

**T.C.**  
**TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KÜÇÜK GÜÇLÜ HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNİN GÜÇ VE  
FREKANS KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Sabahattin BAYDEMİR**

**Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği**

**DANIŞMAN**  
**Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ**

**MAYIS 2013**

**T.C**  
**TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KÜÇÜK GÜÇLÜ HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNİN GÜÇ VE  
FREKANS KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**SABAHATTİN BAYDEMİR**  
**101103105**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Nisan 2013**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Mayıs 2013**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ (T.Ü)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ (T.Ü)**

**Yrd. Doç. Dr. Eyüp ÖKSÜZTEPE (T.Ü)**

**Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK (T.Ü)**

**MAYIS 2013**

Sabahattin BAYDEMİR tarafından hazırlanan KÜÇÜK GÜÇLÜ HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNİN GÜÇ VE FREKANS KONTROLÜ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ (T.Ü)

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. Bu tez, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Eyüp ÖKSÜZTEPE (T.Ü)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ (T.Ü)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK (T.Ü)

Tarih : 15 Mayıs 2013

## ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu çalışmada her konuda yardımcı olan, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, değerli hocam ve danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ 'ye ve yardımlarından dolayı arkadaşım ve meslektaşım Burak YILDIRIM'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmam boyunca manevi desteğini esirgemeyen eşime, kızıma da en içten teşekkürlerimi sunarım.

Sabahattin BAYDEMİR

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>I</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>II</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>IV</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>V</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>IX</b>
<b>SEMBOLLER LİSTESİ</b> .....	<b>X</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. METERYAL VE METOD</b> .....	<b>4</b>
2.1. Materyal.....	4
2.1.1. Güç Sistemlerinin Yapısı.....	4
2.1.1.1. Güç Sisteminin Dizaynı .....	5
2.1.1.2. Generatör Kontrolleri.....	7
2.1.1.2.1. Generatör Kontrol Çevrimleri .....	8
2.1.1.3. Türbinin Kontrolü .....	9
2.1.2. Hız Regülatörü (Governor) Sistemi .....	12
2.1.2.1. Regülasyon Olayı.....	12
2.1.2.2. Regülasyon Sisteminin Çalışması (Hız Kontrol-Yük Kontrol).....	12
2.1.2.3. Sistemin Performansını Etkileyen Parametreler .....	15
2.1.2.4. Regülasyon Sistemleri İle Kontrolün Geleceği .....	15
2.1.2.5. Governor Modellemesi ve Simulasyon.....	16
2.1.2.6. PID-PI Hız Regülatörü.....	17
2.1.2.7. Regülatör Mekanik Hidrolik Parçalar .....	19
2.1.2.8. Rotor Ataleti, Hızlanma ve Yavaşlama.....	21
2.1.2.9. Baraj Gölü Seviye Kontrolü .....	22
2.1.3. Elektrik İleticileri Koordinasyon Birliği .....	24
2.1.3.1. Türkiye Elektrik Sisteminin UCTE Enterkoneksiyonu Tarihçesi .....	24
2.1.3.2. Ülkemizdeki Senkron Bloğu ve Asenkron Bağlantılarımız .....	26
2.1.3.3. Avrupa Elektrik Sistemine Bağlantımız.....	27
2.1.3.4. Frekans Kontrolü .....	28
2.1.3.4.1. Primer Frekans Kontrolü .....	33
2.1.3.4.2. Sekonder Frekans Kontrolü .....	39
2.1.3.4.3. Tersiyer Frekans Kontrolü.....	39
2.1.3.5. UCTE Elektrik Sistemindeki Frekans Kalitesi .....	40
2.1.3.6. Türkiye Elektrik Sistemindeki Frekans Kalitesi.....	40
2.1.3.7. Türkiye Elektrik Sisteminde Frekans Kalitesini İyileştirme Çalışmaları .....	42
2.1.4. Hidrolik Santrallerde Regülasyon Olayı .....	42
2.1.4.1. Hidrolik Santrallerde Hız Regülasyonu .....	42
2.1.4.2. İzole Şebeke ile Enterkonnekte Şebekelerde Türbin Hız Regülasyonu.....	43
2.1.4.3. Hidrolik Türbinlerde Kullanılan Hız Regülatörü Organları.....	44
2.1.4.4. Regülasyon olayı ve (MW-Hz) Karakteristik Eğrisi .....	48

2.1.4.5.	Paralel Çalışan Türbin-Generatör Ünitelerinin Yük Dağılımı .....	49
2.1.5.	Regülatör Plc Programı .....	51
2.1.5.1.	Plc Kontrol İşleminin Çalışma Prensibi .....	52
2.1.5.2.	Regülatör Sisteminin Fonksiyonel Blok Diyagramı .....	54
2.1.5.3.	Regülatör Sistemi Ana Program Akış Şeması .....	55
2.1.5.4.	Regülatör Sistemi Start Program Akış Şeması .....	56
2.1.5.5.	Regülatör Sistemi Yüksüz Çalışma Program Akış Şeması .....	57
2.1.5.6.	Regülatör Sistemi Yüklü Çalışma Program Akış Şeması .....	58
2.1.5.7.	Regülatör Sistemi Stop Program Akış Şeması .....	59
<b>3.</b>	<b>BULGULAR.....</b>	<b>60</b>
<b>4.</b>	<b>SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>65</b>
<b>5.</b>	<b>ÖNERİLER.....</b>	<b>66</b>
	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>67</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>70</b>

## ÖZET

Bu tez çalışmasında, hidroelektrik santrallerde kullanılan hız regülasyon sistemi ile sağlanan güç ve frekans kontrolü hakkında araştırmalar yapılmıştır. Enterkonnekte sistemlerin birbirine bağlanması ile bağlantı hatları üzerinden akan aktif güç kontrol edilebilmektedir. Birbirine bağlanarak çalışmasının en büyük avantajı enterkonnekte sisteme güç sağlayan santrallerden herhangi birinin devre dışı kalması durumunda sistemde enerji sürekliliğinin sağlanmasıdır. Büyük sistemlerdeki yük değişimi, üretim kaybı gibi durumlardan sistemin yapısı çok fazla etkilenmez. Ancak, küçük kapasiteli bir sistemde, enterkonnekte sisteme güç sağlayan büyük güçlü santrallerden herhangi birinin devre dışı kalması durumunda eğer sistem tek başına çalışıyorsa sistem üzerinde büyük değişimler olacaktır. Küçük güçlü bir hidroelektrik santral ile hidroelektrik santralin bağlı olduğu şebekede meydana gelen bu gibi değişimlerde sistemlerin birbiri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Elektrik enerji sistemimizin Avrupa Elektrik İletim Sistemi Koordinasyonu Birliği kriterlerine uygunluğu incelenmiştir. Video citech 7.0 scada yazılım programı kullanılarak Sefaköy Hidroelektrik Santralindeki üretim elemanlarının çalışma esnasında santralin bağlı olduğu şebekede meydana gelen değişimlere verdiği tepkiler, açma-kapama olayları gerçek bir şekilde elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar araştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Hidroelektrik Santral, Governor, Güç ve Frekans Kontrolü, Scada

## SUMMARY

### **Power-Frequency Controlling of Minor Powerful Powerhouse**

In this thesis, searchings have been done about frequency control and power provided by the system of speed regulation which is utilized at the hydroelectric powerhouses. Active power running on connection lines and tying each other of interconnected systems. The biggest advantage of the working of concatenation is that provides the energy continuity in the case of deactivating of any of powerhouse providing power to interconnected system. The structure of the system is not affected in the case of production loss, charge change of the big systems. But; in a small capacity system, in the case of deactivating of any of Grand powerful powerhouses providing a power to the system of interconnected; and if the system Works alone, great changes will be done on the system. The effects of system on each other were sought on such changes forming at grid that hydroelectric powerhouse and a small powerful hydroelectric depends on(it).

The conformity of our electric system for the criterions of coordination union of Europe Electric Transmission system was controlled. By using video citech 7.0 scada software program, opening-closing events, the delivering repercussions to the changes occurred in the grid belonged the powerhouse during the work time for production employees at Sefaköy Hydroelectric were actually controlled and the gathered results were searched.

**Key words:** Hydroelectric powerhouse, governor, power and frequency controlling, Scada.



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Güç sistemi kontrol elemanları(Cebeci M. E., 2007). .....	5
Şekil 2.2.	Generatör ünitesi senkron yapısı .....	6
Şekil 2.3.	Özgül Hıza Bağlı Olarak Türbin Tiplerinin Kullanılma Bölgeleri.....	11
Şekil 2.4.	Türbin Tiplerinin Kısmi Yüklerde Çalışması Halinde Verim Eğrileri.....	12
Şekil 2.5.	Bir regülasyon devresine ait basit prensip şeması .....	14
Şekil 2.6.	Bir regülasyon devresine ait hız kontrol ve yük kontrol basit prensip şeması.....	14
Şekil 2.7.	Türbin dinamikleri ile alternatörün kontrolü basit prensip şeması .....	16
Şekil 2.8.	Hidrolik bir ünite de mekanik gücün artırılması durumunda meydana gelen frekans yanıtları karakteristik eğrisi .....	17
Şekil 2.9.	PID kontrollü hız regülatörlerine ait basit prensip şeması	18
Şekil 2.10.	Regülasyon devresinde servomotora ait prensip şeması(Tianjin, 2009). .....	20
Şekil 2.11.	Döndürme momenti-güç değişimi karakteristik eğrileri.....	21
Şekil 2.12.	Yük atma durumunda hız-frekans değişimi karakteristik eğrileri.....	22
Şekil 2.13.	Seviye-kontrol döngüsü (şebekeye-bağlı çalışma prensibi).....	22
Şekil 2.14.	Sefaköy Barajı ve HES Türbin performans eğrisi .....	23
Şekil 2.15.	Ülkemizdeki senkron bloğu ve asenkron bağlantı şeması .....	26
Şekil 2.16.	Frekans-kontrol döngüsü.....	29
Şekil 2.17.	Generatör ünitesi döndürme momenti- ünite frekansı değişimi karakteristik eğrisi.....	30
Şekil 2.18.	Kararlılık limitleri-PID denetleyici ayar aralığı( $M=L=0.001$ , $K=0.01$ ) .....	31
Şekil 2.19.	Kararlılık limitleri-PID denetleyici ayar aralığı( $N=2.5$ , $K=0.01$ , $L=0.001$ ) .....	31
Şekil 2.20.	Ts değerleri PI denetleyici parametreleri kararlılık limitlerine etkisi.....	32

<b>Şekil 2.21.</b> Seviye ve yüklenme durumunun kararlılık sınırına etkisi .....	32
<b>Şekil 2.22.</b> Frekans kontrolünün blok diyagramı. [TEİAŞ-2006] .....	33
<b>Şekil 2.23.</b> Sistemle paralel çalışan türbin generatör ünitesinin frekans kontrol eğrisi .....	34
<b>Şekil 2.24.</b> Sistem Frekansının Düşmesi Durumunda Ünitenin Primer Frekans Kontrol Tepkisi (Anonim-2006).....	36
<b>Şekil 2.25.</b> Sistem Frekansının Yükselmesi Durumunda Ünitenin Primer Frekans Kontrol Tepkisi (Anonim-2006).....	37
<b>Şekil 2.26.</b> Aktif çıkış gücü (Anonim-2006) .....	38
<b>Şekil 2.27.</b> Primer, sekonder ve tersiyer kontrol işlemini aralıkları (Kaynak:UCTE Handbook).....	39
<b>Şekil 2.28.</b> UCTE Kriterlerine göre frekans trompet eğrisi içinde kalmalıdır (Kaynak: UCTE Handbook).....	40
<b>Şekil 2.29.</b> Türkiye elektrik sisteminde meydana gelen bir arızada trompet eğrisi .....	41
<b>Şekil 2.30.</b> Döndürme momenti-devir sayısı (frekans) karakteristik eğrileri .....	43
<b>Şekil 2.31.</b> Döndürme momenti ile hızın değişimi-frekans karakteristik eğrisi .....	44
<b>Şekil 2.32.</b> Hidrolik türbinlerde kullanılan hız regülatörü organları prensip şeması .....	45
<b>Şekil 2.33.</b> Regülatör parametre ekranı .....	46
<b>Şekil 2.34.</b> Regülatör operasyon ekranı.....	47
<b>Şekil 2.35.</b> Hız regülatörüne ait (kW-Hz) karakteristik eğrisi.....	48
<b>Şekil 2.36.</b> Hız regülatöründe meydana gelen ani güç değişimlerinin ünite frekansına etkisi.....	49
<b>Şekil 2.37.</b> Sistemle paralel çalışan iki türbin generatör ünitesinin sisteme etkisi.....	50
<b>Şekil 2.38.</b> Sistemle paralel çalışan iki türbin generatör ünitesinde birinin servis harici edilmesinden sonra sisteme etkisi.....	51
<b>Şekil 2.39.</b> PLC programına ait basit prensip şeması.....	52
<b>Şekil 2.40.</b> PLC programın çalışma prensibi(Tianjin, 2009).....	53
<b>Şekil 2.41.</b> Governor sistemin fonksiyonel blok diyagramı .....	54
<b>Şekil 2.42.</b> Regülasyon sistemi ana program akış şeması(Tianjin, 2009) .....	55

<b>Şekil 2.43.</b> Regülasyon sistemi start programı akış şeması(Tianjin, 2009).....	56
<b>Şekil 2.44.</b> Regülasyon sistemi yüksüz çalışma programı akış şeması(Tianjin, 2009).....	57
<b>Şekil 2.45.</b> Regülasyon sistemi yüklü çalışma programı akış şeması(Tianjin, 2009).....	58
<b>Şekil 2.46.</b> Regülasyon sistemi stop programı akış şeması(Tianjin, 2009).....	59
<b>Şekil 3.1.</b> Enterkonnekte sistemde meydana gelen darbe sonucu ünite oluşan tepkimeler.....	60
<b>Şekil 3.2.</b> Enterkonnekte sistemde meydana gelen darbe sonucu üniterde oluşan tepkimeler.....	61
<b>Şekil 3.3.</b> Enterkonnekte sistemde meydana gelen darbe sonucu üniterde oluşan tepkimeler.....	62
<b>Şekil 3.4.</b> Generatörün acil stop durumunda tepkimeleri .....	62
<b>Şekil 3.5.</b> Şebeke darbe sonucu gerçekleşen ani gerilim düşmesi ve ünite acil stop tepkimeleri.....	63
<b>Şekil 3.6.</b> Paralel çalışan iki üniteden birinin durdurulması sonu gerçekleşen tepkimeler-1.....	64
<b>Şekil 3.7.</b> Şebeke geriliminde meydana gelen dalgalanmanın sisteme etkisi-2.....	64

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Türbin Tiplerinin Özgül Hıza Göre Sınıflandırılması.....	10
---------------------------------------------------------------------	----

## SEMBOLLER LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ACE	: Alan Kontrol Hatası
$A_{ceb}$	: Cebri Boru Alanı(m <sup>2</sup> )
AGC	: Otomatik Üretim Kontrolü
$A_s$	: Yükleme Havuzu Alanı(m <sup>2</sup> )
At	: Türbin Kazancı
AVR	: İkaz Sistemi
$a_0$	: Türbin Ayar Kanadı Açıklığı veya Türbin Enjektör Açıklığı
$\bar{A}_f$	: Ayar Kanatları Akış Alanı (Birim Değer(BD))(Per Unit)
$b_0, b_1, b_2$	: Ayar Kanatları Akış Alanı İle Ayar Kanat Pozisyonu Arasında İlişkiyi Belirten Eşitliğin Katsayıları
C	: Cebri Boru Sürtünme Katsayısı
DBA	: Dinamik Bulanık Ağı
Df	: Sistem Frekansındaki Sapma Miktarı
DfG	: Ünitenin Ölü Banttan Sonra Algıladığı Frekans Sapma Miktarı
Dturb	: Türbin Sönümleme
% d	: Hız Eğimi
ENTSO-E	: Avrupa Şebekeleri Elektrik İletim Sistem İşletmecileri
EPSY	: Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği
f	: Frekans
fc	: Hız Frekansı

$f_g$	: Türbin Frekansı
$f_o$	: Ünite Kontrol Sisteminin Frekans Sapmalarına Tepki Verdiği Frekans Aralığı(Ölü Bant, Hz)
$f_n$	: Nominal Frekans (50 Hz)
$\Delta f$	: Sistem Frekansındaki sapma miktarı
$g$	: Yerçekimi İvmesini (9. 81 m/s <sup>2</sup> )
$G_{max}$	: Maximum Kanat Açıklığı Limiti
$G_{min}$	: Minimum Kanat Açıklığı Limiti
$G_I$	: İstenen Ayar Kanadı Pozisyonu (BD)
$G_g$	: Gerçek İstenen Ayar Kanadı Pozisyonu(%)
$G1-P$	: Ünite-1 in Ürettiği Enerji
$G2-P$	: Ünite-2 nin Ürettiği Enerji
$\overline{G}_g$	: Gerçek Ayar Kanadı Pozisyonu(BD)
$H$	: Yükleme Havuzu Seviyesi(m)
$H_{ref}$	: Seviye Kontrol Referansı(m)
$H_t$	: Türbin Girişinde Görülen Seviye(m)
$\overline{H}_t$	: Türbin Girişinde Görülen Seviye(BD)
Hz	: Hertz
$H_o$	: Net Düşü
$K$	: PI Oransal Kazanç Değeri(Gerçek Değer İçin)
$K_D$	: Türetilen Kazanç
$K_I$	: Tamamlayıcı Kazanç
$K_P$	: Orantılı Kazanç

L	: Cebri Boru Uzunluğu(m)
MKÜP	: Minimum Kararlı Üretim Gücü
MW	: Megawatt
MVar	: Megavar
n	: Devir Sayısı
ns	: Özgül Hız
P	: Güç
Pe	: Türbin Milinden Alınan Güç(W)
Pel	: Yük Torku
$P_{GN}$	: Ünitenin Nominal Çıkış Gücü
PI	: Oransal İntegral
PID	: Oransal İntegral Türev
Pk	: Elektrik İletim Kayıpları
Pm	: Türbin Torku
Pset	: Ünite Çıkış Gücünün Ayarlanmış Değeri
Püretilen(Pe)	: Üretilen Güç
Pyük	: Elektriksel Yük
$\Delta P_G$	: Ünite Çıkış Gücündeki değişim miktarı
Q	: Türbine Gelen Debiyi (m <sup>3</sup> /s)
Q	: Primer Frekans Kontrol Rezerv Kapasitesi
$Q_\zeta$	: Çıkış Debisi(m <sup>3</sup> /Sn)
$\bar{Q}_\zeta$	: Çıkış Debisi(DB)
$Q_g$	: Giriş Debisi(m <sup>3</sup> /Sn)
QNL	: Yüksüz Akış

R	: Sekonder Frekans kontrol Rezervi
R	: Kalıcı Droop
r	: Geçici Droop
S	: Laplace İşlemler
$s_g$ (%)	: Hız Eğimi (Speed-Droop) (%)
Ta	: Hızlanma ve Eylemsizlik Sabiti
Te	: Elektriksel Tork
Tf	: Filtre Zaman Sabiti
Tg	: Servomotor Zaman Sabiti
$T_g$	: Ayar Kanadı Komut Gecikmesi(Sn)
$T_i$	: PI Kontrol İntegral Zaman Sabiti(Gerçek Değer İçin)
Tm	: Mekanik Tork
$T_m$	: Mekanik Zaman Sabiti
Tr	: Governor Zaman Sabiti
$T_s$	: Yükleme Havuzu Baz Değeri Debisi İle Dolum Süresi(Sn)
$T_w$	: Su Zaman Sabiti
Tw	: Su Zaman Sabiti
TWh	: Terawatt saat
UCTE	: Avrupa Elektrik İletim Koordinasyonu Birliği
VELM	: Ayar Kanatları Hız Limiti
Vf	: Uyarın Sistemi Çıkış Gerilimi
Vi	: DC Çıkış Gerilimi
V REF	: DC Referans Gerilim Değeri
W	: Türbin Açısal Hızı(Rad/s)



$\Delta X$	: Akım Periyoduna Göre Hız Değişimi
$\Delta X_{i-1}$	: Önceki Periyottaki Hız Değişimi
$y_c$	: Açma Ayarı
$Y_i$	: Akım Periyodunda PID Çıkış Gücü
$Y_{i-1}$	: Önceki Periyottaki PID Çıkış Gücü
$\Delta Y$	: Çıkış Gücü Değişimi
ZYHA	: Zorunlu Yan Hizmetler Anlaşması
$\rho$	: Suyun Yoğunluğu ( $1 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ )
$\eta$	: Genel Verimi
$\tau$	: Örnek Periyot

## 1.GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılanı hidrolik enerjidir. HES'lerde enerji kaynağı olarak bilinen su kaynaklarından faydalanılabilmesi için suyun potansiyel enerjisinin arttırılması gerekmektedir. Bunun için su, bir kanal veya baraj gövdesiyle oluşturulan yüksek bir seviyeden alınarak türbine verilmektedir. Bu sayede su enerjisini mekanik enerjiye çevrilmektedir. Türbinlere tahrik edilen enerji ile generatör içinde bulunan rotorun dönmesi ile de elektrik enerjisi üretilmektedir.

Su türbininden su kuvveti yardımıyla enerji üretebilmek için gerekli olan su hızını elde etmek üzere mutlaka bir düşme yüksekliğine (hidrolik düşüye) ve bu su düşüsüne uygun bir basınç farkının bulunmasına gerek vardır. Türbinden elde edilen güç, suyun düşü (üst ve alt kotlar arasındaki düşey mesafe) ve debisine (türbinlere birim zamanda verilen su miktarı) bağlıdır.

HES'ler; içme, kullanma ya da sanayi suyu sağlamak amacıyla ırmakların önü kesilerek oluşturulan baraj göllerinde kurulmaktadır. HES'lerin yıllık üretimleri, baraj gölüne, regülatöre gelen su miktarıyla doğru orantılı olduğundan ve bir yıl boyunca gelen su, tam kapasite çalıştırmaya yetmeyebileceğinden, genel olarak puant santrali olarak çalıştırılırlar. Devreye alınış ve çıkarılışları çok kolay ve hızlı olduğundan, su rejimine bağlı olarak enerji gereksiniminin çok olduğu puant saatlerde çalıştırılarak, enerjiye az gereksinim olduğu zamanlarda devre dışı bırakılırlar. Tam kapasite çalışmada, türbin kanatlarının önündeki su giriş kapakçıkları tamamen açıktır ve kanatlara çarpan su miktarı en üst düzeydedir.

Şebekeden çekilen enerji, kullanıcıların devreye girme ve çıkmalarına göre değişir. Sisteme anlık olarak istenilen enerjinin verilmesini, üretim ünitesindeki regülasyon sistemi sağlar. Regülasyon sistemi, türbin kanatlarının önündeki su giriş kapakçıklarını otomatik olarak ayarlayarak, daha az su girişine paralel olarak daha az üretim yapar. Bu olaya sistemde frekans tutma denir. Tüm elektrikli alıcıların sağlıklı ve verimli çalışabilmesi için frekansın, alıcılarda imalat sırasında belirlenen frekansa uygun olması gerekir.

Elektrik enerjisi üreten HES'lerde şebeke frekansı ile aynı frekansta üretim yapılabilmesi için rotor nominal devir hızının ve kutup sayısının şebeke frekansını sağlayacağı değerlerde olması gerekmektedir. Bu şart sağlandıktan sonra güç sisteminin frekansı aktif güç dengesine bağlıdır. Sistemde oluşacak olan enerji ihtiyacı veya enerji

fazlalığı durumunda meydana gelecek olan aktif güç değişimi frekans değişimlerine neden olacaktır. Değişimler ne kadar büyük olursa sistem daha fazla zarar görecektir.

Enterkonnekte sistemleri birbirine bağlanması ile bağlantı hatları üzerinden akan aktif güç kontrol edilebilmektedir. Birbirine bağlanarak çalışmasının en büyük avantajı enterkonnekte sisteme güç sağlayan santrallerden herhangi birinin devre dışı kalması durumunda sistemde enerji sürekliliğinin sağlanmasıdır. Büyük sistemlerdeki yük değişimi, üretim kaybı gibi durumlardan sistemin yapısı çok fazla etkilenmez. Ancak, küçük kapasiteli bir sistemde, enterkonnekte sisteme güç sağlayan büyük güçlü santrallerden herhangi birinin devre dışı kalması durumunda eğer sistem tek başına çalışıyorsa sistem üzerinde büyük değişimler olacaktır. Frekans aşırı düşecek, geçici güç açısı salınımları tüm sistem elemanlarını yıpratacak ve sonuçta sistem tam olarak çökecektir. Çalışmamda küçük kapasiteli bir sistemde, enterkonnekte sisteme güç sağlayan büyük güçlü santrallerden herhangi birinin devre dışı kalması durumunda sistemde oluşacak değişimleri inceleyeceğiz.

Elektrik şebekeleri tüm dünyada hızla bir şekilde gelişip büyümektedir. Öyle ki bir ülke sadece kendi içinde enterkonnekte şebeke oluşturmakla yetinmeyip, komşu ülkelerle iletim hattı bağlantıları kurup, güç alışverişi yapmaktadır. Türkiye elektrik sistemi şu anda diğer ülkelerle senkron işletme içinde değildir, ancak Azerbaycan, Ermenistan, Bulgaristan, Romanya, İran, Irak ve Suriye gibi birçok enterkonneksiyona sahiptir. Yunanistan, İran, Irak ve Suriye ile ilave 400 kV bağlantılar için planlar yapılmaktadır. Ayrıca 28.09.2005 tarihinde Avrupa Elektrik İletimi Koordinasyonu Birliği UCTE ile protokol imzalanmış ve ulusal enterkonnekte sistemimiz Avrupa enterkonneksiyonu ile 2007'den itibaren Yunanistan üzerinden irtibatlandırılmıştır.

Amacı 22 Avrupa ülkesi iletim sistemi operatörlerinin işletme etkinliklerinin koordine edilmesi, elektrik iletim sisteminin güvenilir ve düşük maliyetli bir şekilde planlanması, işletilmesi ve tüketicilere kaliteli, yeterli ve ucuz elektrik enerjisi arz edilmesi olan UCTE, farklı güç sistemlerini senkronize bir şekilde işletmektedir. UCTE ağları üzerinden 450 milyon insana elektrik enerjisi sağlanmakta olup yıllık elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 2100 TWh'tir (UCTE İşletme El Kitabı-2004).

Çünkü hidrolik santrallerdeki ünitelerin devreye alınması veya devreden çıkarılması, termik santrallere göre çok daha kolay ve hızlı olmaktadır. Bir hidrolik ünite 3-5 dakika içinde

paralele girebilmekteyken bu süre termik santral ünitelerinde saatler sürmektedir. Yine aynı şekilde hidrolik ünitelerde, sistemden gelen yük alma veya yük atma talepleri ayar kanatlarıyla hızlı bir şekilde yerine getirilirken, termik santrallerde daha uzun bir proses işlemektedir.

Hidrolik santrallerde frekans kontrollü çalışmanın bazı zararları da vardır. Özellikle kavitasyon bölgesinde çalışma neticesinde türbin çark kanatlarında aşınmalar, hidrolik sistemlerde yıpranmalar, vibrasyon sorunları vs. bunlardan bazılarıdır. Ayrıca şebeke kaynaklı arızalardan dolayı, ünitelere darbeler gelebilmekte, yük alma ve yük atma limitleri zorlanarak mekanik aksamlarda hasarlar oluşabilmektedir.

Tezimde küçük güçlü HES'te yük frekans kontrol çalışmaları ve 35 MW gücündeki Sefaköy HES santralinde şebekede meydana gelen değişimler karşısında üniteler tarafından verilerin tepkilerin düzeltilme yolları aranmıştır. Yük-frekans kontrol elemanları incelenerek sistemin uygunluğuna olan katkıları gösterilmeye çalışılmıştır.

Tezimde güç sistemlerinin yapısı üzerinde durularak generatör ve türbin kontrolleri hakkında bilgiler verilecektir. Tezimin ana konusu olan güç frekans kontrolünü sağlayan governor sistemini ayrıntılı olarak incelenecektir. Türkiye elektrik sistemi, komşu ülkelerle aramızda olan bağlantılar, ülkeler arasında yapılacak olan çalışmalar hakkında bilgi verilecektir. Tezimi hazırladığım Sefaköy Barajı ve HES'te ünitelerin çalışma esnasında maruz kaldığı olaylar grafiklerle anlatılacaktır.

## **2. METERYAL VE METOD**

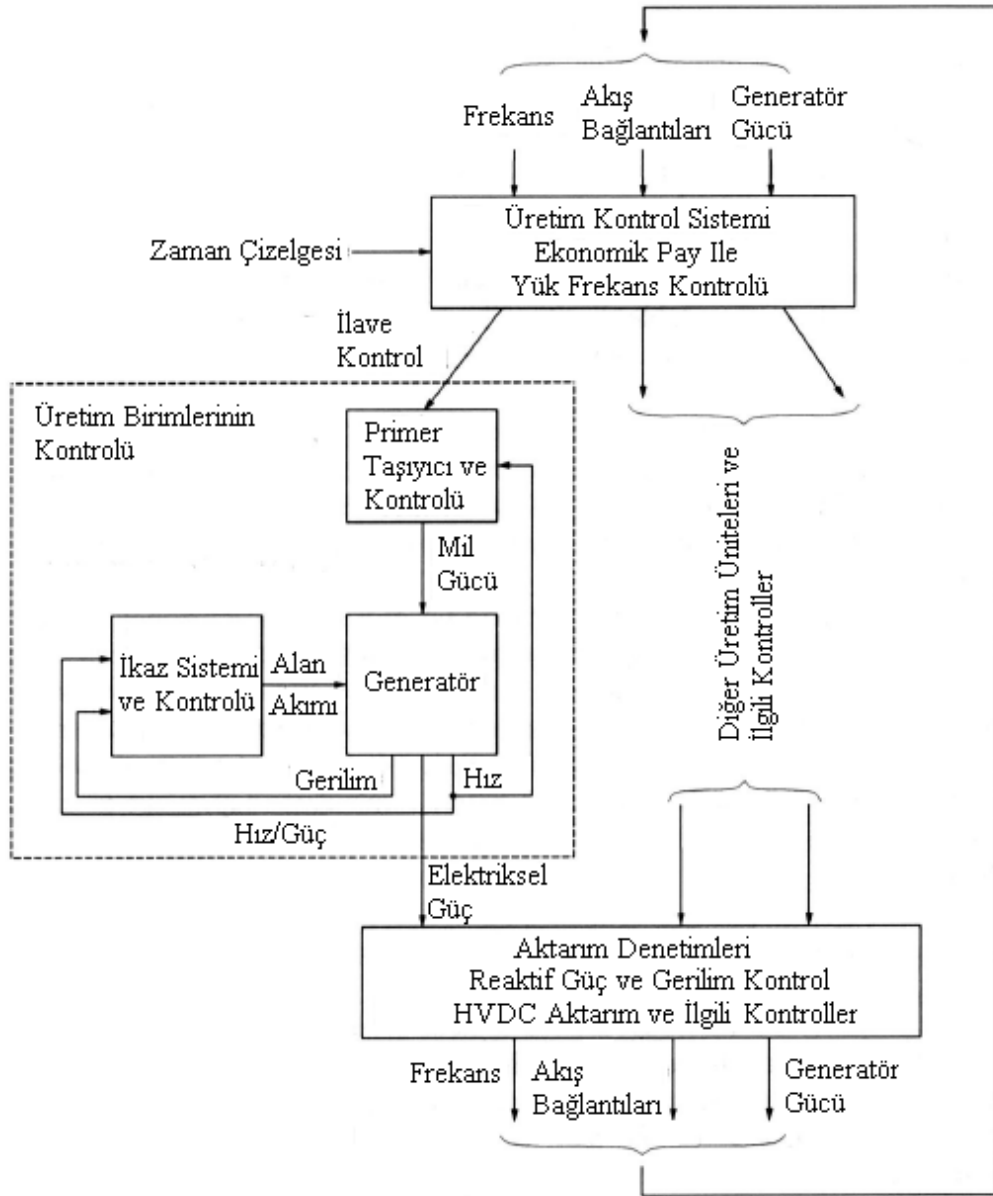
### **2.1. Materyal**

#### **2.1.1. Güç Sistemlerinin Yapısı**

Güç sistemi, hedeflenen amaca ulaşmak için birlikte çalışan ve birbirinden farklı birçok elemandan oluşmuş bir topluluktur. Düzgün tasarlanmış ve çalışan güç sistemi aşağıda belirtilen temel gereksinimleri sağlaması gerekmektedir.

- Sistem tarafından talep edilen ve sürekli değişen aktif güç ve reaktif güç yükünü her zaman karşılamalıdır.
- Sisteme ekolojik etkisi önemsiz olmaksızın ve olası en düşük maliyette güç sağlanmalıdır.
- Sistem güç kalitesi açısından bazı standart frekans ve gerilim değerlerini sürekli karşılayabilmelidir. Ayrıca güvenilirlik seviyesi güç kalitesini değerlendirirken önemli başka bir konudur.

Yukarıdaki açıklamalar güç sisteminin kontrol yapısı hakkında genel bilgi vermektedir. Şekil 2.1.'de, güç sistemlerinin kontrolünde meydana gelen problemlerde etkili çözümler ve kazanılan pratikler küçük gruplar halinde sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.1. Güç sistemi kontrol elemanları(Cebeci M. E., 2007).

### 2.1.1.1. Güç Sisteminin Dizaynı

Başlangıç olarak iki temel aşama aşağıdaki gibidir.

1. Üretim birimlerinin kontrol seviyesi
2. Üretim kontrol seviyesi



Sisteme enerji verilmesi için gerekli işlemler anlatılacaktır. Öncelikli olarak su alma yapısından su alınarak cebri boru tarafı ile salyangoz tarafındaki suyun basıncının eşitlememiz gerekmektedir. İki taraf için denge basıncını sağlandıktan sonra vanayı açmalıyız. Eğer baypass işlemini yapmadan vanayı açmak istersek salyangoz içinde su azalmışsa veya salyangoz içinde hava oluşmuşsa vananın açılmasıyla beraber cebri borunun içinden su alma yapısına doğru salyangoz içinde bulunan hava yükselecektir. Bu tehlikeli bir durumdur. Vana tamamen açıldıktan sonra senkron generatörün rotorunu harekete geçirmemiz gerekmektedir. Rotoru şaft ile bağlı çarkın hareket edebilmesi için head coverlara bağlı kanatları açmamız gerekmektedir. Kanatların açılmasının veya kapatılmasının kontrolünü governor kontrol sistemi ile sağlamaktayız. Kanatlarımızı sistem boşta çalışırken rotor dönüş hızını nominal seviyeye ulaşmasına yetecek kadar açmamız gerekmektedir. Rotorumuz nominal hızı dönmeye başladıktan sonra boşta çalışma durumunda üretilen gerilim değeri ve akım değeri ölçü hücresinde bulunan gerilim ve akım trafoları tarafından belirlenir. Bu bilgiler sistem elemanları tarafından kontrol edilir. Değerler nominal hızdaki değerlerden farklı olduğu durumlarda sistem kendini korumaya alır ve enerji üretimi gerçekleşmez. Değerlerimizde bir farklılık görülmediği zaman generatörümüzün gücünü arttırmak için rotorumuza DC bir gerilim uygularız. Alternatörün uyarıtımı doğru akımla yapılır. Üretilmeye başlanan elektrik enerjisi step-up trafo tarafından şebeke gerilim seviyesine dönüştürülür. Üretilen enerjinin şebekeye verilebilmesi için senkron şartları dediğimiz üretilen enerjinin gerilim değerinin, frekansın ve faz sırasının şebeke ile aynı olması gerekmektedir. Senkron şartları sağlandıktan sonra hat kesicisini kapatarak sisteme üretilen elektrik enerjisini verebiliriz.

### **2.1.1.2. Generatör Kontrolleri**

Genel olarak enerji üretim sistemindeki üretim ünitesi içerisinde bulunan senkron generatörün kontrolleri ikiye ayrılır.

- Hız Kontrol Ünitesi
- Gerilim Kontrol Ünitesi

Enerji üretim birimlerinin çalışma sisteminden bahsederseniz, bir generatör diğer generatörlerle senkron halde yani aynı hız ve gerilim değerlerinde paralel bağlı olarak çalışmaktadır. Ayrıca bu generatör gruplarından oluşan enerji üretim birimleri de diğer



enerji üretim birimleriyle senkron halde paralel bağlanarak enterkonnekte sistemi oluştururlar. Tüm sistem eşzamanlı olarak birbiriyle enterkonnekte çalıştığından hız ve gerilim kontrolleri sistemin önemli bir parçasıdır ve sistem üzerinde önemli rol oynarlar. Generatörler senkronize bağlandığı zaman hız regülatörü olsa da olmasa da tüm generatörlerin hızları birbirine eşit kalır. Bu durumda hız regülatörleri, generatörler arasındaki güç dağılımının kontrol edilmesini sağlarlar. Operatörler tarafından regülatörün referans girişi değiştirilerek generatör güç ayarı yapılır. Aynı şekilde olmasa da ikaz sistemi(AVR) için de durum böyledir. Enterkonnekte güç sisteminin gerilimi nominal değerlere çok yakındır. AVR 'ler esasında generatör tarafından üretilen reaktif gücü kontrol eder. Tabii bu da alt ve üst limitlerle sınırlıdır. Enterkonnekte sistemde bir değişim olduğunda hız ve uyartım regülatörleri birincil amaçlarını yerine getirirler. Sistemde yük azalırsa generatörler hızlanır ve hız regülatörleri tarafından belirlenen yeni kararlı hız değerine ulaşırlar. Sonuçta sistemden çekilecek güç, generatörlerin etiket değerlerine göre paylaşılacaktır. AVR 'ler ise çıkış gerilimini nominal değer ve reaktif güç ihtiyacına uygun bir değerde tutmaya çalışırlar. Her iki kontrol de, enterkonnekte sistem içerisinde sürekli oluşan küçük yük değişimlerinde frekans ve gerilim değişimlerini minimize etmeye çalışır. Aslında generatör kontrollerinin ana amacı da budur. Yüklü bir generatörün sistemden ayrılması ender bir olaydır. Bu durumda hız regülatörü tahrip edici aşırı hızları önlemeye, AVR ise tahrip edici aşırı gerilimleri önlemeye çalışır (Rogers, 1999).

#### **2.1.1.2.1. Generatör Kontrol Çevrimleri**

Senkron generatörlerin yapısından kaynaklanan hız-frekans ve uyartım akımı-gerilim ilişkilerinden yola çıkılarak iki adet kontrol çevrimi geliştirilmiştir.

- Frekans kontrol çevrimi (birincil ve ikincil olarak)
- Uyartım kontrol çevrimi

Bu iki geri beslemeli kontrol çevrimi ile senkron generatör çıkışlarındaki frekans ve gerilimin regülasyonu sağlanır. Ve sırasıyla generatörün aktif ve reaktif güç çıkışını kontrol ederler. Uyartım kontrolü daha hızlıdır ve sistem kararlılığında frekans kontrolüne göre daha önemlidir (Elgerd, 1982).

Frekans kontrol çevrimi, birincil ve ikincil olmak üzere iki döngüye sahiptir. Birincil döngüde hız regülatörü ve kontrol valfleri vardır. Aktif güç çıkışını ve frekansı yani

generatör mil hızını düzenler. Hızlı yük değişimlerine karşı aktif güç dengesi sağlanır. Kontrol valfleri ile buhar veya sıvı akış kontrolü sağlanır. Hız regülatörü ile de frekans kontrolü sağlanır. Yani birincil döngü ile aktif güç dengesi sağlanmasının dolaylı etkisiyle hız ve frekansın kabaca kontrolü sağlanır. İkincil döngü ile de diğer güç havuzlarıyla aktif güç alışverişi yapılarak frekansta hassas ve iyi bir ayar sağlanır. Fakat bu döngü hızlı yük ve frekans değişimlerine karşı duyarsızdır. Buna karşın uzun süreli değişim trendlerinde etkilidir (Elgerd, 1982).

Uyartım kontrol çevriminde ise çıkış geriliminin genliği kontrol edilir. Çıkış gerilimi sürekli olarak algılanır, doğrultulur ve filtrelendir. Çıkış gerilim değerinin DC eşdeğerini ifade eden bu DC sinyal “Vi”, DC referans gerilim değeri “V REF” ile karşılaştırılır. Oluşan hata gerilimi sinyali, yükseltme ve kırılma işlemlerinden sonra uyartım sisteminin girişine verilir. Uyartım sistemi çıkış gerilimi Vf ise generatör alan sargısını besler. Senkron generatörlerin uyartım sistemi kontrol edilerek gerilim ve reaktif güç kontrolü sağlanır (Elgerd, 1982).

Uyartım ve frekans kontrol çevrimleri birbirlerinden bağımsız değildirler. Yani birbirleriyle etkileşim içindedirler. Uyartım kontrol çevrimi generatörün ürettiği emk'nın genliğini etkiler. Generatörün iç emk'sındaki değişim de aktif gücün genliğini değiştirir. Ve bu güç değişikliği de frekans kontrol çevrimini etkiler. Uyartım kontrol çevrimi çok daha hızlı olduğundan aktif güçte oluşan değişimler, frekans kontrol çevrimini çok daha yavaş etkiler (Elgerd, 1982).

### **2.1.1.3. Türbinin Kontrolü**

Türbinler, akışkanın hidrolik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Basit olarak bir mil ve mil üzerindeki kanatçıklardan oluşurlar. Kullanılan akışkana göre türbinin yapısı değişmektedir. Genel olarak şu prensiple çalışırlar; Sistemdeki akışkan (su) türbinin kanatçıklarına çarparak türbin miline hareket verir, hareket milin çıkışında mekanik işe dönüşür ve mekanik işten jeneratörler vasıtasıyla elektrik üretilir. Hidroelektrik güç tesislerinde kullanılan türbinlere hidrolik türbinler veya su türbinleri adı verilir. Türbin milinden alınan güç formülü aşağıda belirtilmiştir.

$$P_e = g \cdot Q \cdot H_o \cdot \rho \cdot \mu \quad (1)$$

Burada;

**$P_e$** : Türbin milinden alınan gücü (W),

**$\rho$** : Suyun yoğunluğunu ( $1 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ ),

**$g$** : Yerçekimi ivmesini ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ),

**$H_o$** : Net düşüyü (giriş ağzı ile kuyruk suyu arasındaki kot farkından toplam düşü kayıplarını çıkartarak bulunur, m),

**$Q$** : Türbine gelen debiyi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

**$\eta$** : Genel verimi göstermektedir. Bir hidroelektrik güç sisteminde toplam güç çıkışı ve kayıpların oluşumu şu şekilde gösterilmiştir (Şekil 5. 1);

$$\text{Güç çıkışı} = \eta_{\text{irasez}} \times \eta_{\text{cebriboru}} \times \eta_{\text{türbin}} \times \eta_{\text{jeneratör}} \times \eta_{\text{transformatör}} \times \eta_{\text{nakli hattı}} \times \text{Güç girişi} \quad (2)$$

Bir türbinin  $n_s$  özgül hızı, o türbine benzer olan ve aynı cins akışkanla 1 m net düşü altında çalışıp en iyi verimle milinden 1 BG güç veren türbinin dakikadaki devir sayısı olarak tanımlanır. Tablo'da özgül hıza bağlı olarak türbin tipleri görülmektedir. Özgül hız bağıntısı şu şekilde verilmektedir;

$$n_s = n \cdot \frac{\sqrt{P_e}}{H_0^{5/4}} \quad \begin{array}{l} n : d / d \\ P_e : BG, \\ H_0 : m \end{array} \quad (3)$$

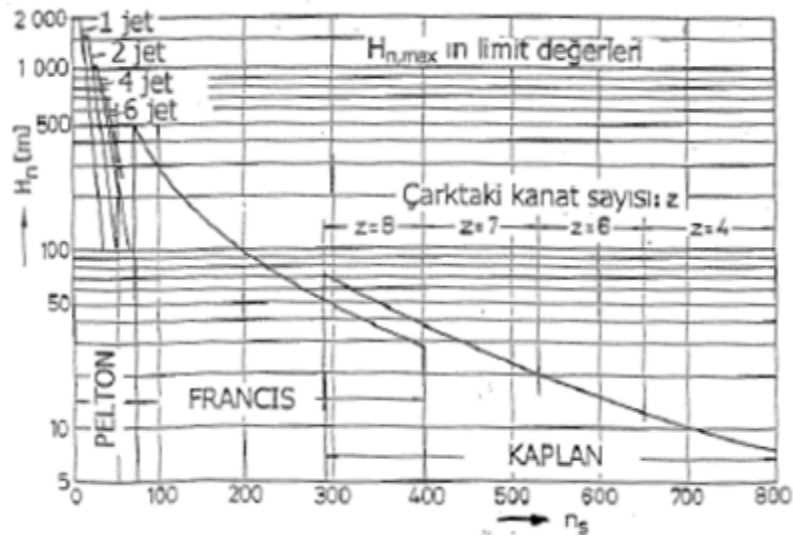
TÜRBİN TİPİ	ÖZGÜL HIZ ( $n_s$ )
Pelton	12-30
Turgo	20-70
Banki Michell-Ossberger	20-80
Francis	80-400
Uskur veya Kaplan	340-1000

**Tablo 2.1.** Türbin Tiplerinin Özgül Hıza Göre Sınıflandırılması

Türbin tipi seçiminde türbin veya jeneratörün hızı da önemlidir. Türbin tarafından döndürülen jeneratörler, tipik bir türbinin optimum hızından daha yüksek bir devirde dönerler. Bu bağlantı kayış kasnak, dişli mekanizması veya bir kavrama yardımıyla sağlanır. Burada hız oranının minimum olması tercih edilir. Bu durumda bağlantı daha kolay ve maliyet daha düşüktür. Kural olarak 3:1 oranından kaçınmak gerekir en azından 2. 5:1 oranı veya altı tercih edilmelidir. Şayet 1500 d/d ile dönen bir jeneratör varsa seçilecek

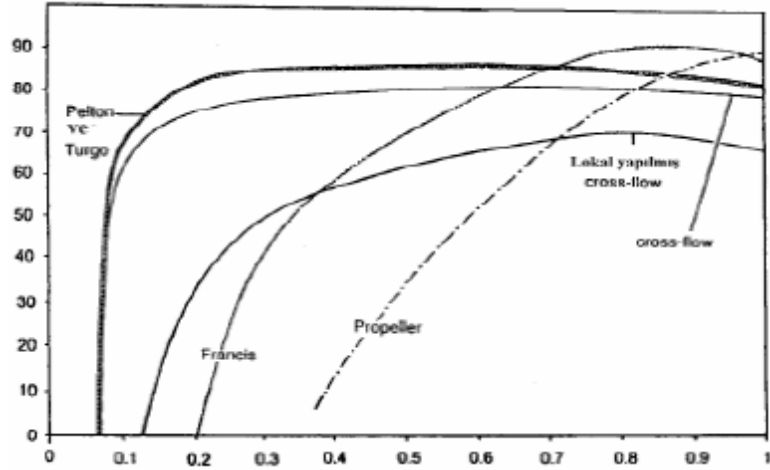
türbinin hızı en az 500 d/d veya üzeri olmalıdır. Türbin hızının jeneratör hızında olması durumunda jeneratör direkt olarak türbin miline bir kavrama ile bağlanır. Üreticiler bunu tavsiye ederler. Genellikle, mikro türbin yerleştirmelerinde üniteleri ayrı olarak satın almak daha ucuzdur ve daha sonra bağlantı sistemiyle onlar yerlerine monte edilirler.

Türbini ve türbinlenen suyu verimli kullanmak için seçilecek türbinin, kullanılacağı HES'e uygun özelliklerde olması gerekmektedir. Şekil 2.3. te türbinlerin özgül hıza ve yükseklik faktöründe bağlı olarak çıkarılan bir grafiği verilmiştir.



**Şekil 2.3.** Özgül Hıza Bağlı Olarak Türbin Tiplerinin Kullanılma Bölgeleri

Diğer bir kriter ise türbinin kısmi debi koşullarında çalıştırılıp çalıştırılmayacağıdır. Şekil 2.4. de kısmi yüklerde türbinlerin verim eğrilerinin değişimi verilmiştir. Tüm türbinler, bir güç-hız ve verim-hız karakteristiğine sahiptir. Pelton ve Cross-flow (Banki) türbinleri dizayn değerlerinin dışında farklı değerlerde de çalışmaları durumunda oldukça yüksek verim vermektedirler. Francis türbinlerinde kısmi yükler karşısında verim düşmektedir. Hatta Uskur türbinlerinde, tasarım debisinin %80 ve üstü haricindeki debi bölgesinde çok düşük verim elde edilir. Francis türbinleri büyük hidrolik sistemlerde oldukça popüler bir türbin olmasına karşılık karmaşık bir yapıya sahip olmaları ve kısmi yüklerdeki davranışı nedeniyle mikro hidrolik sistemlerde fazla kullanılmazlar.



Şekil 2.4. Türbin Tiplerinin Kısmi Yüklerde Çalışması Halinde Verim Eğrileri

## 2.1.2. Hız Regülatörü (Governor) Sistemi

### 2.1.2.1. Regülasyon Olayı

Bir sistemde meydana gelecek çalışmanın sürekli kontrol edilerek çalışmanın devamlılığının sağlanması olayıdır. Regülasyon olayında regülatörün ilgili organına verilen değer sistemin çalışma süresi boyunca kontrol edilir. Bu değer sürekli regülatör organına girilen değerde kalması istenir. İstenen değerde herhangi bir değişme meydana geldiğinde bu değişiklik ilgili regülatör organı tarafından düzeltilir (Başışme-2003).

Regülasyon olayında kullanılan regülatörün kalitesi, regülasyonda meydana gelen değişmelere karşı cevap verme kabiliyeti ile belirlenir. Regülasyon sisteminin çalışması, sistemde meydana gelen değişmeler sonucunda gerçekleşir. Sistemde meydana gelen bir değişim sonucunda değişimleri kontrol eden regülasyon devresi ilk olarak mevcut durumun tespitini gerçekleştirir. Ardından regüle edilen sistemde istenen değeri ve istenen değerle mevcut durum arasındaki farkı belirler. Son olarak bu bilgileri regülatöre iletip gerekli ayarların yapılması sağlanır.

### 2.1.2.2. Regülasyon Sisteminin Çalışması (Hız Kontrol-Yük Kontrol)

Regülasyon sisteminin çalışması sırasında etkili bazı değerler;

- a-) Hız algılama(mekanik, hidrolik, elektrik)
- b-) İşleme(hidro-mekanik, elektro-hidrolik, dijital-elektrohidrolik)

c-) Güçlendirme(hidrolik güçlendirme çalışması)

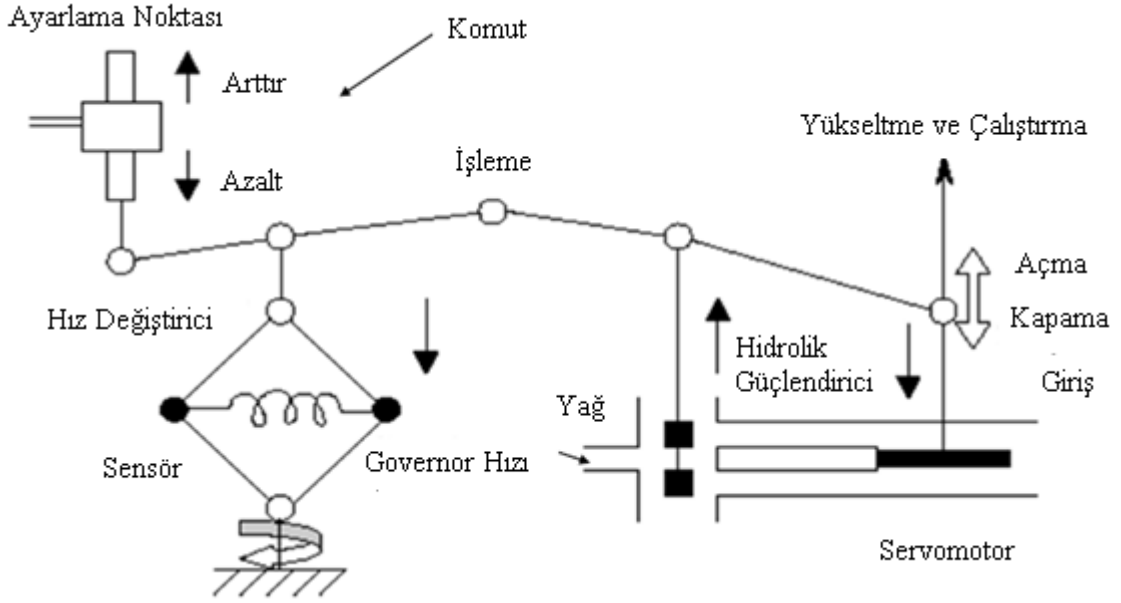
d-) Çalıştırma(hidrolik motor)

Mikro-türbin tesisinden kullanıcı tarafından çekilen gücün zaman zaman değişiklik göstermesi türbinin devrinin, dolayısıyla çıkış geriliminin ve frekansının değişiklik göstermesine sebep olur. Sistemden çekilen güç arttığında alternatördeki zorlanmayı bağlı olarak türbin devri düşer, gerilim ve frekans istenilen değerin altına düşer. Türbini normal devrine getirmek için sisteme daha çok su almak gerekir. Aynı şekilde, sistemden çekilen güç azaldığında, alternatördeki yükün azalmasına bağlı olarak türbin devri artar, gerilim ve frekans istenilen değerin üstüne çıkar. Bunları normal değerlerine getirmek için sisteme giren suyu azaltmak gerekir. Bunun için otomatik kontrol sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem türbin devrini ölçen bir sensör ve devri sabit tutmak için sensörden alınan bilgiye göre ayar kanadını açıp kapatarak sisteme giren suyun miktarını ayarlayan bir mekanizmadan oluşur.

Regülâtörler türbin hızını kontrol etmek için kullanılırlar. Son yıllara kadar hidrolik sistemlerde kullanılan bütün regülâtörler, türbine giden suyu ayarlayarak güç değişimi sağlamaktaydı. Regülâtörün görevi ister mekanik ister elektriksel olsun türbin milindeki hızı ayarlamaktır. Daha fazla güce ihtiyaç duyulduğunda türbin girişine daha fazla su verilir, benzer olarak daha az güce ihtiyaç duyulduğunda ise türbin girişi kısılarak daha az miktarda suyun türbine girişi sağlanır.

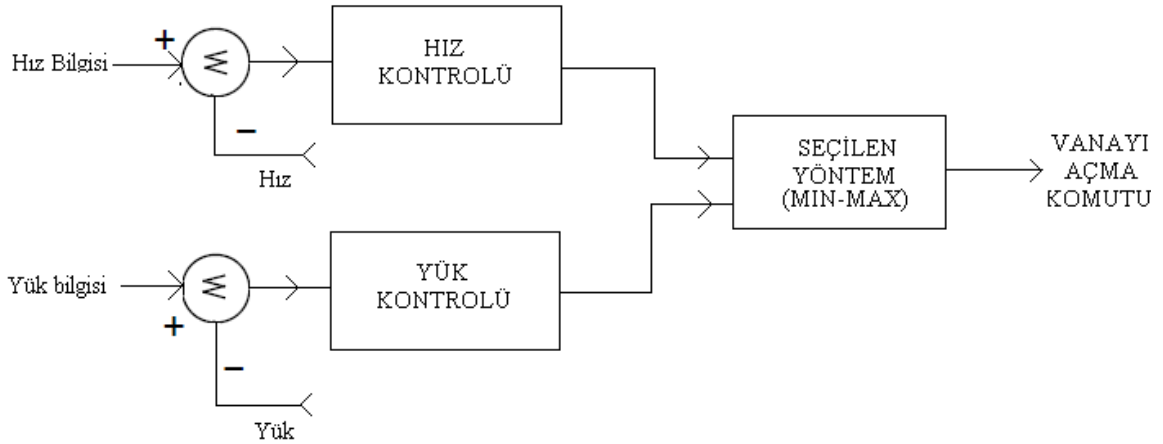
Küçük sistemler için daha fazla yük kontrol regülâtörleri kullanılmaya başlanmıştır. Bunların yapısı çok daha basittir. Maliyetin düşük olması istenen bütün mikro hidrolik sistemlerde yük kontrol regülâtörleri tercih edilir. Yük kontrolü bir elektronik cihaz olup kullanıcı yükünün değişmesinde dahi jeneratörde sabit bir elektrik yükü sağlar. Türbinde debi akış kontrol cihazına ve regülâtör sistemine ihtiyaç duymaz. Türbin debisi sürekli aynı sabit değerinde tutulur. Yük kontrolü jeneratörde daima sabit bir elektrik yükünü garanti eder. Türbin çıkış gücü sabittir dolayısıyla hız da sabit olacaktır. Yük kontrolü, ana yük tarafından istenmeyen ikinci bir safra yükü sağlayarak sabit bir jeneratör çıkışı sağlar. Çalışma prensibi ise kısaca şu şekildedir: Daha az yüke ihtiyaç olduğu anda türbin hızı ve frekans düşmeye başlayacaktır, bu durum yük kontrolü tarafından algılanacak ve ilave safra yükünü sağlamak üzere dirençler devreye girecektir, böylece kullanıcı yükünün değişmesi durumunda da jeneratördeki toplam yük sabit kalacaktır. Yük kontrolü normalde

frekansı veya voltajı sürekli ölçerek türbin hızını kontrol edecektir. Bu sistemin en büyük avantajı ucuzluğu ve basitliğidir. Tamir ve hareketli parça gerektirmez.



**Şekil 2.5.** Bir regülasyon devresine ait basit prensip şeması

Ayarlama noktasında kanatların açıklıkları artırılıp azaltılmaktadır. Bu noktanın kontrolü hem plc aracılığı ile uzaktan ayarlanabilmekte hemde manuel olarak cihazın yanında ayarlanabilmektedir. Sistem çıkış gücü su tüketimi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bir üniteden maksimum güç üretmesini sağlamak istiyorsak ayar kanatlarımızı tam olarak açmamız gerekmektedir. Ayar kanatlarının açılması hidrolik bir sistemle gerçekleştirildiğinden servomotor basınçlı yağ ile hidrolik sistemi kumandasını sağlar. Sistem üzerinde bulunan sensör vasıtasıyla veya üretilen gerilim değeri ile alternatör hız bilgisini alır.



**Şekil 2.6.** Bir regülasyon devresine ait hız kontrol ve yük kontrol basit prensip şeması.

### **2.1.2.3. Sistemin Performansını Etkileyen Parametreler**

Hidrolik bir sistemin verimli ve problemsiz çalışabilmesi için gerekli şartların sağlanması gerekmektedir. Sistem performansını etkileyen başlıca etkenler aşağıda belirtilmektedir.

- Rotor ataleti
- Salınım
- Hız/yük kontrol parametreleri
- Vana karakteristikleri
- Türbin kontrolü
- Basınç kontrol modları

### **2.1.2.4. Regülasyon Sistemleri İle Kontrolün Geleceği**

1- Mekanik-hidrolik kontrol

2- Elektrohidrolik kontrol

- Algılama, işleme, ana güçlendirme, elektronik devrelerde kullanma
- Transistör sürümü

3-Dijital elektro-hidrolik kontrol

- Mikroişlemci tabanlı

Regülasyon sistemlerindeki son gelişmeler ise dijital teknolojiyle tanışma sayesinde olmuştur. Daha önce analog devrelerle sağlanan kontrol, koruma ve lojik fonksiyonlar dijital olarak uygulanmaya başlanmıştır.

Dijital kontrolün ilave avantajları arasında

- Esnek olması,
- Diğer kontrol ve koruma fonksiyonları arasında bilgi alışverişine olanak sağlaması
- Karmaşık kontrol stratejilerinin kolay uygulanmasına olanak sağlaması sayılabilir.

Dijital kontroller ucuzluk ve güvenilirlik bakımından analog devrelere alternatif olduğu sürece, gelecekte daha yoğun bir şekilde kullanılmaya devam edecektir.



### 2.1.2.5. Governor Modellemesi ve Simulasyon

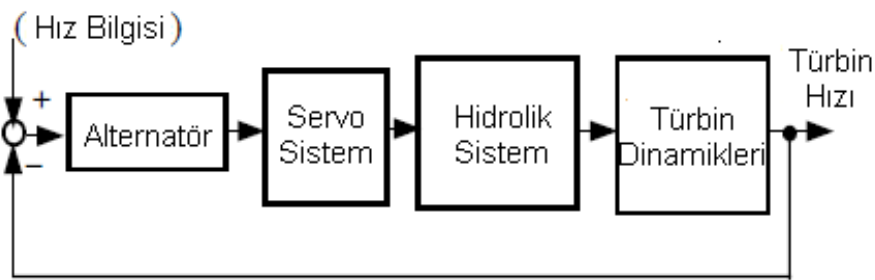
Bir generatörün ürettiği elektriksel güç, elektriksel yük ile elektrik iletim kayıplarının toplamına eşit olmalıdır. Aksi takdirde, türbin şaftına etki eden toplam tork, yani mekanik ve elektrik tork farkı, üretilen gücün hat kayıpları ile tüketilen gücün toplamına eşit olana kadar türbinin hızlanmasına veya yavaşlamasına neden olur. Elektriksel hız, mekanik hız ile doğru orantılı olduğu için güç sistemindeki elektriksel hız, frekans, değişecektir. Kaliteli bir güç sisteminde frekans kabul edilebilir aralıkta sabit olması istendiği için, hız kontrolü yapılır.

$$P_{\text{üretilen}} = P_e = P_{\text{yük}} + P_k \quad (4)$$

$$P_e = P_{\text{yük}} + P_k \quad (5)$$

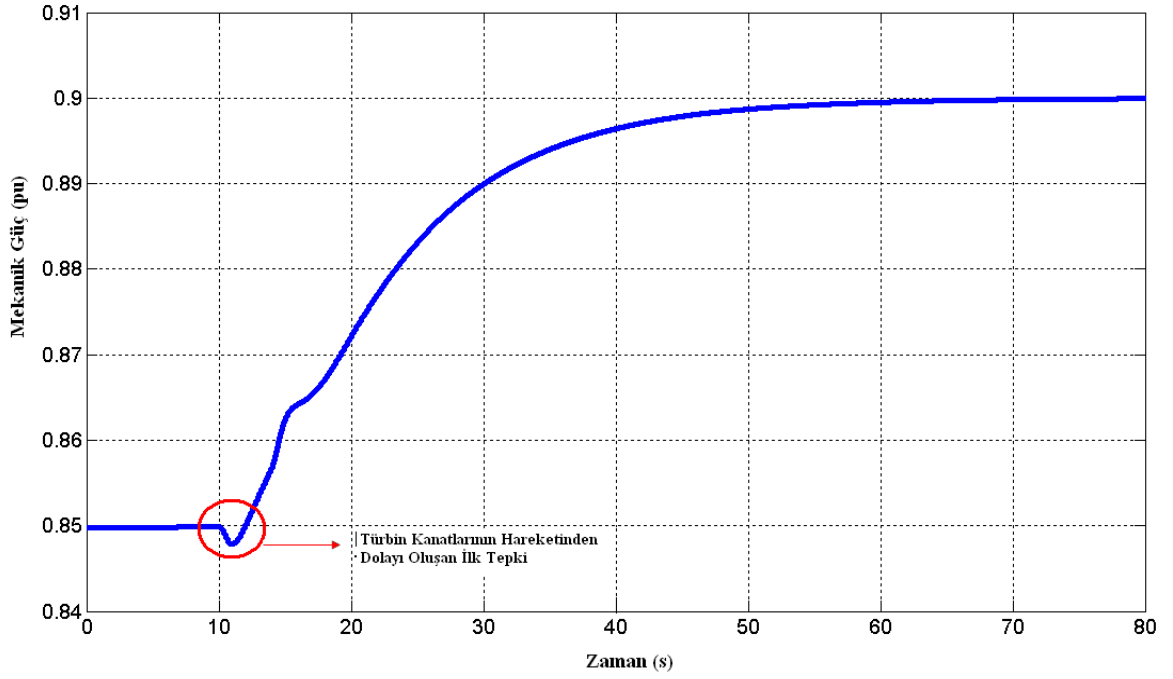
$$T_m - T_e = -J \frac{d}{dt} \omega \quad (6)$$

Hız regülatörü hem hızı hem de üretilen elektrik gücünü ayarlar. Hız, referans hıza göre geri besleme yaptırılarak hız regülatörünün pozisyonunu değiştirmesi ve sırasıyla, mekanik ve elektrik gücünü değişmesine neden olacaktır. Geri besleme için kabul edilen maksimum hız değişimine göre kalıcı hız eğimi (permanant droop) kullanılır. Kalıcı hız eğimi, bağlı olunan şebeke yönetmeliklerine göre, genellikle %4-%5 arası seçilir. %5 hız eğimi kullanılması demek, hızın %5 değişmesi durumunda kanatların pozisyonunda veya çıkış gücünde %100 değişim elde edilecektir.



Şekil 2.7. Türbin dinamikleri ile alternatörün kontrolü basit prensip şeması.

HES'lerde kullanılan hidrolik bir ünite mekanik gücün artırılması esnasında meydana gelen (ani geçici basınç yükselmeleri ve azalmaları) ve governor kontrolünde olan türbin kanatlarının gücü artırabilmek amacıyla harekete geçtiği ilk andaki trendi Şekil 2.8' de gösterilmiştir.



**Şekil 2.8.** Hidrolik bir ünite mekanik gücün artırılması durumunda meydana gelen frekans yanıtları karakteristik eğrisi

### 2.1.2.6. PID-PI Hız Regülatörü

Bazı hız regülatörleri, PID (oransal, integral, türevsel) kontrollü olarak kullanılır. PID kontrollü hız regülatörleri, hızlı tepkime süresi vermeye olanak sağlar. Türevsel eleman, yüksek suyun hareket etme süresi olan türbinlerde izole çalışma için fayda gösterir. Ancak, türevsel eleman, enterkonnekte bir sistemde çalışan generatörde dalgalanmalara neden olarak sistemin dengesiz (unstable) çalışma rejimine geçmesine yol açar. Bu nedenle, PID kontrolcüler PI (oransal, integral) olarak çalıştırılırlar(Tianjin, 2009).

PID kontrolcü parametreleri, geçici hız eğimi kazanç ve sıfırlama sürelerine göre tespit edilir.

Günümüzde governor kontrol sistemi için en fazla kullanılan PID yöntemdir. Lütfen Şekil 2.9 a bakarsanız, genel olarak ifadesi aşağıdaki gibidir.

1. Diferansiyel denklemi:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

2. Laplace Denklemi:

$$W(S) = K_p + \frac{K_I}{S} + K_D S \quad (8)$$

3. Discretization expression:

$$Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y_i \quad (9)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + K_p (\Delta X_i - \Delta X_{i-1}) + K_I \cdot \tau \cdot \Delta X_i + K_D \frac{1}{T + \tau} (\Delta X_i - 2\Delta X_{i-1} + \Delta X_{i-2}) \quad (10)$$

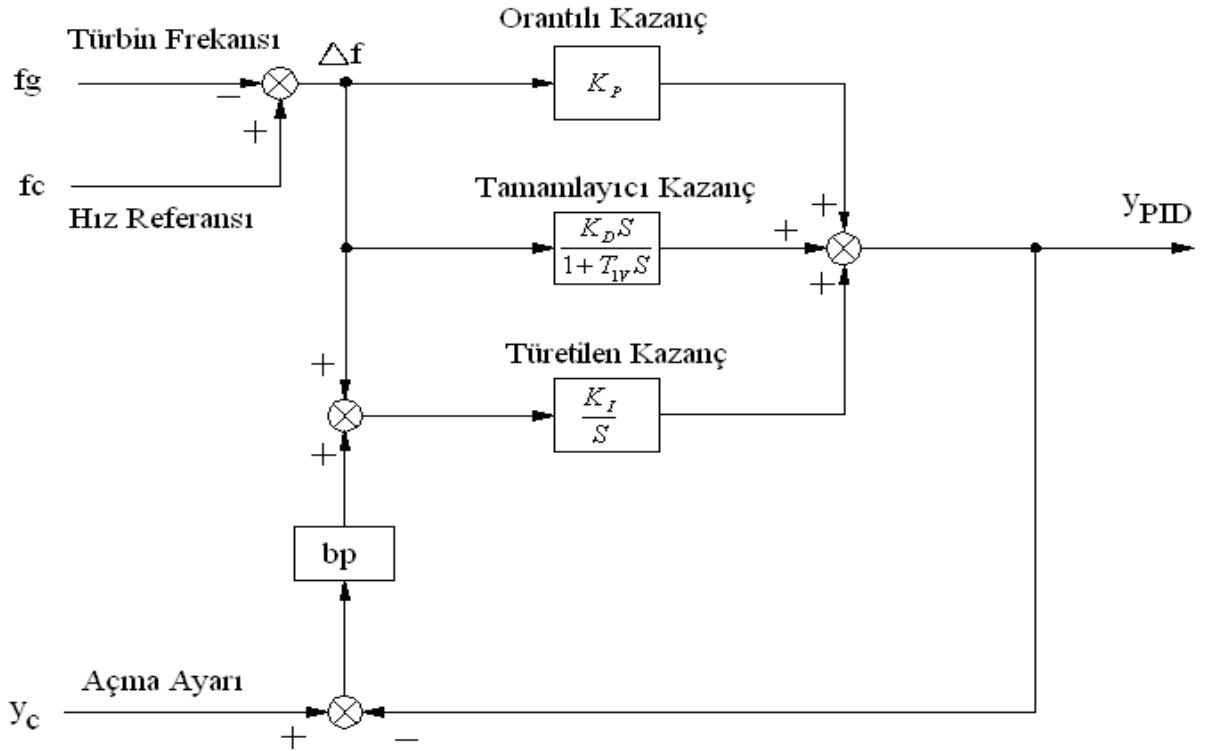
Açıklama:

PID discretization denklemi ile uygun bir yöntemdir.

Fiili kullanım, genellikle türetilen PID gerçek türev bölümü kazancı aşağıdaki gibi kullanılır

$$W(S) = K_p + \frac{K_I}{S} + \frac{K_D S}{1 + T_{IV} S} \quad (11)$$

$T_{IV}$ —Hızlandırılmış Hız Atalet zaman sabiti,  $T_{IV}=0$  olduğu zaman önceki ifadelerle aynı ifadelerdir.



Şekil 2.9. PID kontrollü hız regülatörlerine ait basit prensip şeması

Her bölümün etkisi aşağıdaki gibidir.

**Orantılı Kazanç:** Tüm sisteme göre oransal sapmayı ve büyüklüğü gösterir. Eğer sistem de bir sapma meydana gelirse bu bölüm meydana gelen saptmaları azaltmak için tüm sistemleri kontrol ederek saptmaların oluşmasını engellemektedir.

**Tamamlayıcı Kazanç:** Karalı durumu sağlamak için oluşan hataları yok eder. Eğer hata oluşursa, oluşan hataları gidermek için çalışacağız.

**Türetilen Kazanç:** Sistem üzerinde meydana gelen sistemden sapma oranlarını yansıtır. Bu yüzden sistemi önceden kontrol etme eğilimini ve sisteme öngörülebilir bir fonksiyonu öneriyoruz. Sapma oluşmadan önce bu problemi ortadan kaldırmış oluyoruz.

### **2.1.2.7. Regülatör Mekanik Hidrolik Parçalar**

**a-) Uygulaması:** Hidrolik sistem de vidalı step motor elektrikli hidrolik dönüştürücü olarak kabul edilir. Bilya vidalı step motor elektrikselsinyal mekanizmasının dönüştürme aygıtıdır.

**b-) Bileşenler:** Dönüştürücü step motoru meydana getirir. Ana dağıtım vidası ve valfi

**c-) Çalışma Prensipleri:** Step motor pozitif veya negatif darbe sinyallerini aldığında vidalı bilya üzerinden doğrudan ana dağıtım valfinin hareketlerini kontrol edebiliriz. Bu sebepten dolayı servomotorun kontrolü gerçekleştirilebilir.

Açılış sinyali alındıktan sonra adım motoru ters saat yönünde döndürülür. Sonra ana kontrol valfi pistonu aşağı taşır. Sonra basınçlı yağ servomotorun açılan kısmının içerisine girer. Servomotor açma işlemini yapar.

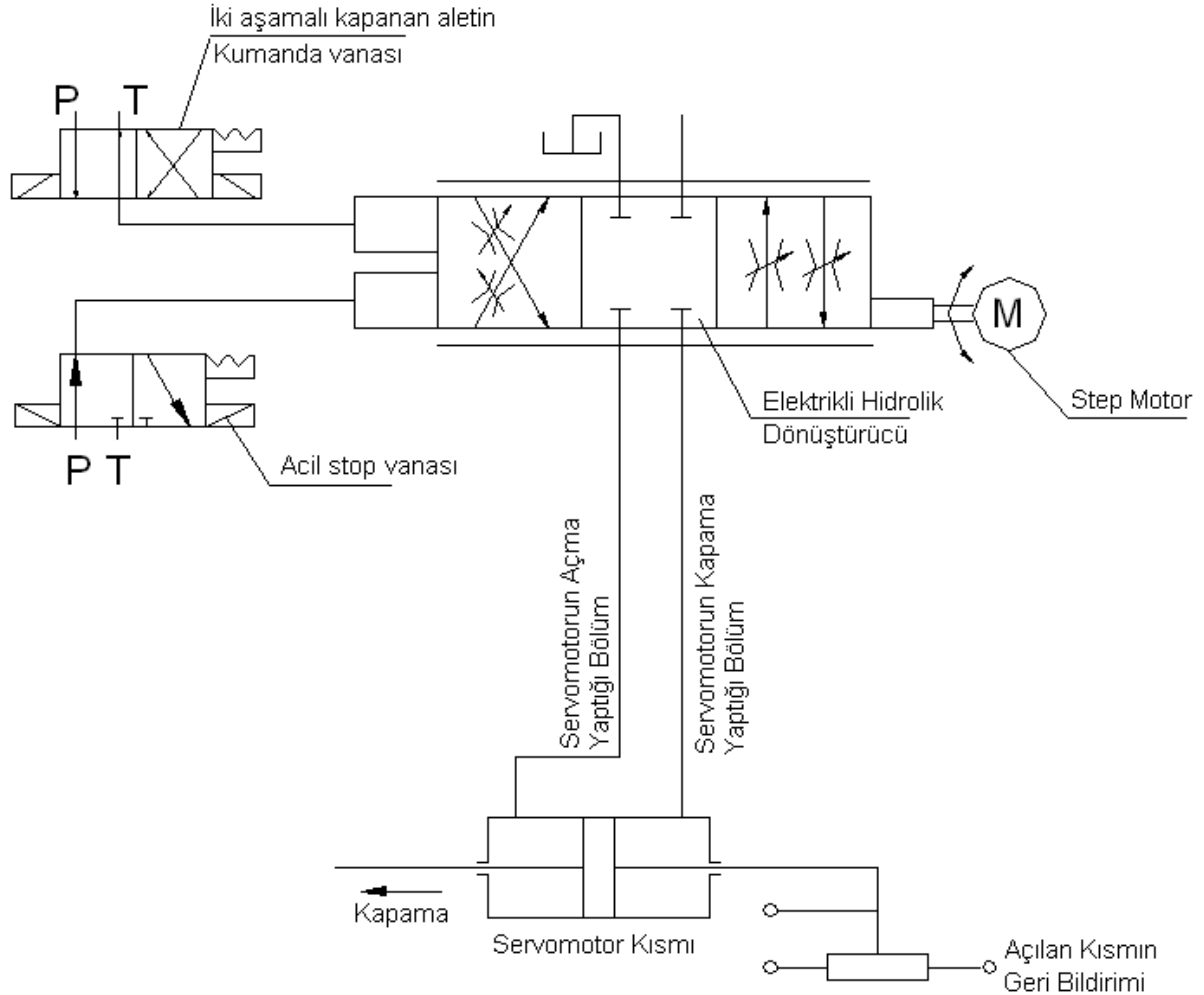
Kapanış sinyali alındıktan sonra step motor saat yönünde döndürülür. Sonra ana kontrol valfini piston yukarıya taşır. Sonra basınçlı yağ servomotorun kapalı kısmının içerisine dolar ve servomotor kapanır.

Ana kontrol valfinin pistonu denge konumunda olduğunda basınçlı yağ servomotorun kapalı kısmına ne de açık olan kısmına girecektir. Bu yüzden servomotor görel bir statik konumda kalır.

Servomotor sisteminde ana dağıtım valfini doğrudan kontrol etmek için vidalı bilyalı step motorlar kullanılır. Elektro-hidrolik dönüştürücü ile bu sistemde yağın kirli olmasından kaynaklanan sorunları ortadan kaldırmak için. Bu yüzden elektro-hidrolik

dönüştürücü yüksek tepki hızı ve iyi ayarlanabilir özelliklere sahiptir.

Alternatör otomatik moda aniden kapandığında vidalı bilya eski konumuna hızla geri gelerek denge konumuna dönecektir. Yani ana kontrol valfinin pistonu uygun pozisyonuna geri dönecek ve bu konumda kalacaktır.



Şekil 2.10. Regülasyon devresinde servomotora ait prensip şeması(Tianjin, 2009).

Step motor pozitif veya negatif darbe sinyalleri aldığı anda vidalı bilya üzerinden doğrudan ana dağıtım valfi hareketlerini kontrolünü yapabiliriz. Böylece servomotor kontrolünü yapabiliriz.

### 2.1.2.8. Rotor Ataleti, Hızlanma ve Yavaşlama

Hidrolik türbinlerde suyun ataletinden dolayı, kanatların pozisyonunda bir değişiklik, ters yönde ilk türbin gücü değişimi oluşturur. Ani değişiklik, sistemin dengesiz çalışmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, kalıcı hız eğimi etkisini kompanze etmek için büyük geçici hız eğimi ve uzun sıfırlama süresi (reset time) gerekir. Geçici hız eğimi, kanatların pozisyonunda değişimi kontrol altında tutarak, suyun akışındaki değişimin güç değişimini yakalamasını ve eş zamanlı hareket etmesini sağlar. Sonuç olarak, hız regülatörü, yüksek hız dalgalanmasında yüksek hız eğimi (düşük kazanç) ve normal çalışma rejimindeki küçük hız dalgalanmalarında ise düşük hız eğimi (yüksek kazanç) sağlar.

- Kararlı durum:

$$\text{Türbin Torku}(P_m) = \text{Yük Torku}(P_e)$$

- Geçiş Sırasında:

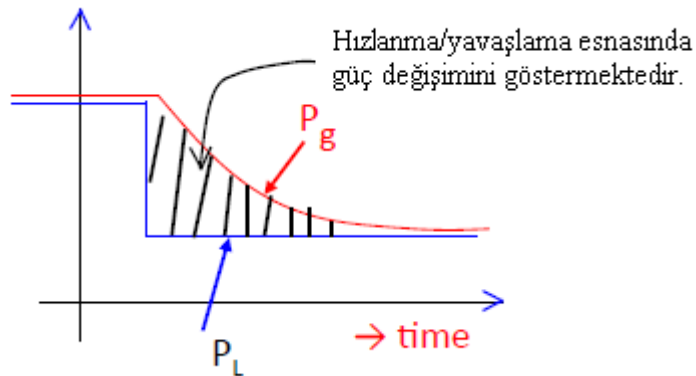
$$\text{Hız} = \int ((P_m - P_e) / T_a) dt$$

$$T_a = \text{Hızlanma sabiti veya eylemsizlik sabiti}$$

Tipik değerler: 9-12 sn

Hızlanma ve yavaşlama;

Sapma alanı hızlanma veya yavaşlamanın bir göstergesidir.



Şekil 2.11. Döndürme momenti-güç değişimi karakteristik eğrileri

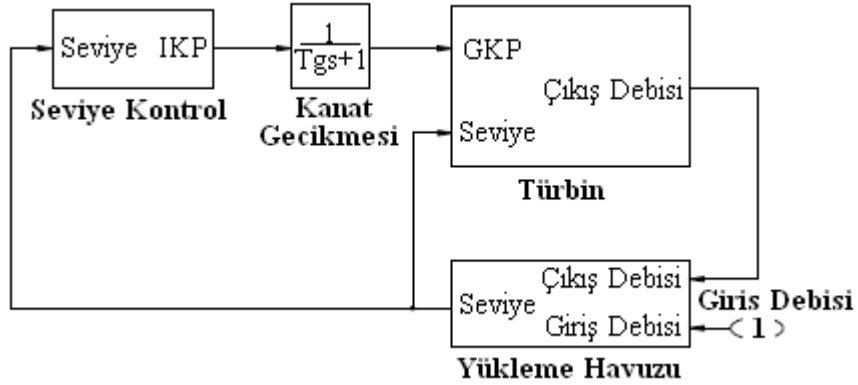
Frekans ve hız yük atma durumunda çok daha hızlı yükselecektir. Yük atma durumunda frekanstaki ve hızdaki değişim Şekil 2.12' de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Yük atma durumunda hız-frekans değişimi karakteristik eğrileri

### 2.1.2.9. Baraj Gölü Seviye Kontrolü

Seviye kontrol şeması Şekil 2.13 te gösterilmiştir. Bir regülatör tipi HES'te veya baraj tipi HES'te üretim esnasında güvenli ve verimli çalışmak için yükleme havuzunda ve baraj gölünde su seviyesinin belirli aralıklarda tutulması gerekir. Çalışma aralığı, minimum ve maksimum çalışma seviyeleri arasında olan kısımdır.



Şekil 2.13. Seviye-kontrol döngüsü (şebekeye-bağlı çalışma prensibi).

Yükleme havuzu:

$$A_s \frac{dH}{dt} = Q_g - Q_\zeta \quad (12)$$

Cebri boru:

$$\frac{L}{gA_{ceb}} \frac{dQ_\zeta}{dt} = H - H_t - CQ_\zeta^2 \quad (13)$$

PI Seviye kontrol:

$$\frac{dG_I}{dt} = \frac{H - H_{ref}}{T_i} + K \frac{d(H - H_{ref})}{dt} \quad (14)$$

Ayar kanatları gecikmesi:

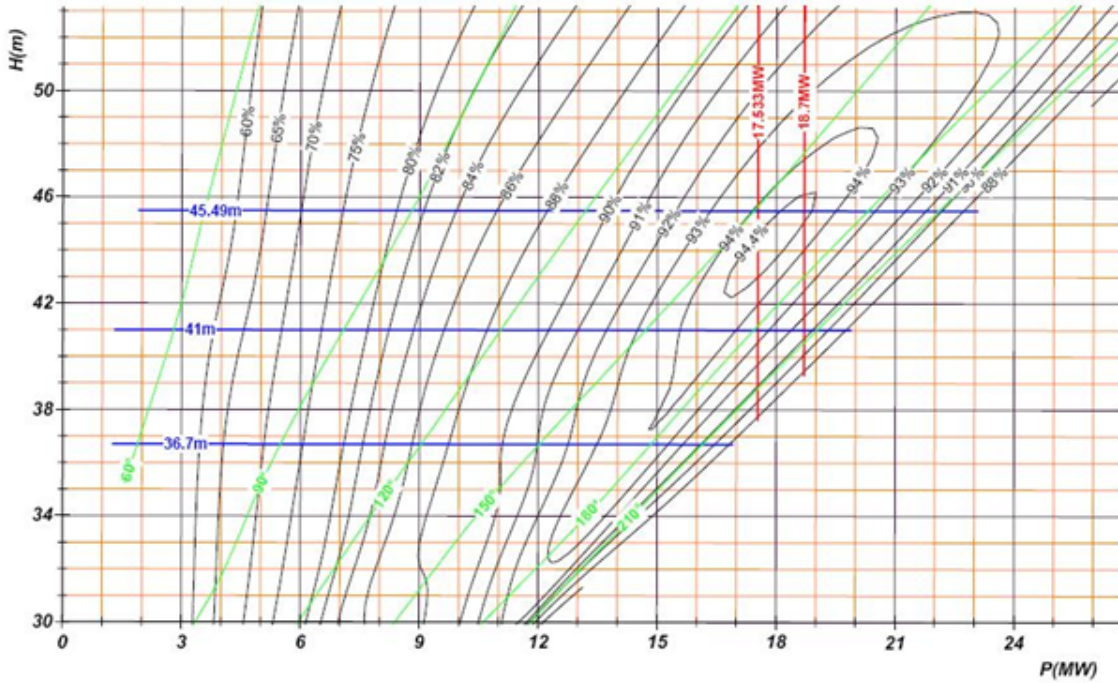
$$\frac{dG_g}{dt} = \frac{G_I - G_g}{T_g} \quad (15)$$

Yukarıdaki durum eşitliklerinin yanı sıra, durum-uzayı (statespace) gösterimi için aşağıdaki yardımcı eşitlikler kullanılmıştır.

$$\overline{Q}_\zeta = \overline{A}_f \sqrt{\overline{H}_t} \quad (16)$$

$$\overline{A}_f = b_0 + b_1 \overline{G}_g + b_2 \overline{G}_g^2 \quad (17)$$

Su seviyesine göre türbinin göstereceği performans eğrileri üretici firmalar tarafından yapılan testler neticesinde oluşturulur. Performans eğrisine bakılarak herhangi bir çalışma anında türbinin verimi gözlemlenebilir. Doğru olan türbini verimli bir biçimde kullanabilmek için güç-düşü aralığının en uygun noktasının belirlenmesidir.



Şekil 2.14. Sefaköy Barajı ve HES Türbin performans eğrisi



### **2.1.3. Elektrik İleticileri Koordinasyon Birliği**

Elektrik İleticileri Koordinasyon Birliği(UCTE) Avrupa’da 1950 yılında kurulmuştur. Görevi, 23 Avrupa Ülkesinin İletim Sistemi İşletmecilerinin ortak amacı olan; enterkonnekte sistemin işletme emniyetini, enterkonnekte sistemin senkron işletiminin kalitesini sağlamaktadır.

UCTE ağları üzerinden 450 milyon insana elektrik enerjisi sağlanmaktadır; yıllık elektrik tüketimi toplam yaklaşık 2100 TWh’tır. Talebin en yüksek olduğu andaki (puant) üretim 389GW dır. UCTE sistemi içerisinde ki güvenilir üretim kapasitesi 440 GW, toplam kurulu güç ise 600 GW dır.

Türkiye kıtalar arasındaki coğrafî konumu nedeniyle doğal bir köprü görünümündedir ve gerek ulaşım gerekse ticari açıdan koridor işlevine sahiptir. Bu işlevin kullanımında en dikkat çekici alanlardan biri ise başta petrol ve doğalgaz olmak üzere rezervce zengin olan Ortadoğu ve Hazar enerji kaynaklarının enerjinin tüketimi dikkate alındığında dünya sıralamasının başlarında yer alan Avrupa ülkelerine aktarılmasıdır. Türkiye’nin birincil enerji kaynaklarının aktarılmasındaki “koridor” işlevini ikincil enerji kaynağı olan elektrikte de yerine getirmesi gündemdedir.

Enerji arz güvenliği, 1970’lı yıllardaki petrol krizleri ile gündeme gelmiştir. 1980’lerle birlikte çevre ve çevreye zarar veren sera gazı emisyonlarının azaltılması bir başka ilgi konusu olarak ortaya çıkmıştır. 1990 ve 2000 yıllarda enerji arz güvenliği, enerjinin verimli kullanılması konuları önem kazanmış ve bu durum enerjide rekabetçi bir enerji sisteminin oluşturulmasını zorunlu kılmıştır.

Son yıllarda daha şiddetli ve sık oluşan iklim felaketleri meydana gelmekte ve bu yüzden Avrupa’da pek çok ülke; 2020 yılına kadar AB, “20-20-20” inisiyatifini üstlenerek, CO2 salınımlarını azaltacakları plan ve hedefleri belirlemiş ve buna yönelik girişimlerini başlatmışlardır.

#### **2.1.3.1. Türkiye Elektrik Sisteminin UCTE Enterkoneksiyonu Tarihçesi**

Türkiye elektrik sisteminin UCTE enterkoneksiyonu uzun yıllar öncelikli olarak gündemde kalmıştır. 1970’lerden itibaren Türkiye, Yunanistan, Bulgaristan arasında değişik enterkoneksiyon alternatiflerini inceleyen çalışmalar yapılmıştır.

Geçmişte Yunanistan dışında tüm komşu ülkelerle enterkoneksiyonlar tesis edilerek ikili anlaşmalara dayalı enerji alışverişi yapılmış ancak senkron paralel çalışma gerçekleşmemiştir. 1990'lı yıllarda Türkiye'nin Yunanistan ve Bulgaristan sistemleri üzerinden değişik alternatiflerle UCTE sistemine bağlantısı konusunda yapılan analizlerde olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

21 Mart 2000'de Mülga TEAŞ 'ın ( Türkiye Elektrik İletim Sistemi Operatörü) senkron paralel çalışma ve üyelik isteği UCTE prosedürleri çerçevesinde; komşu ülke statüsü ile Yunanistan tarafından teklif edilmek suretiyle UCTE ye bağlantısı için başvuruda bulunmuştur. UCTE yönetim komitesi 26 Nisan 2000' de Türkiye Elektrik sistemi ile UCTE elektrik sistemi arasındaki senkronize bağlantı imkanlarını göz önünde bulundurarak başvuruyu olumlu olarak değerlendirmiş ve bu konuda UCTE Sistem Gelişim Çalışma Grubuna bağlı Türkiye'nin UCTE' ye bağlantısı ile ilgili bir alt grup oluşturmuştur.

Bu kapsamda Türkiye'nin Bağlantısı Alt Çalışma Grubu tarafından; Strateji belirleme, teknik şartlar ve uygulanacak prosedürler konusunda çalışmalar yapılmıştır. Türkiye elektrik sisteminin bağlantı şartları için gerekli sistem analizleri ile ilgili Teknik Şartname hazırlanmış ve yapılacak testler ile hazırlanacak raporlar belirlenmiştir. UCTE yönlendirme komitesi tarafından Teknik Şartname Nisan 2002'de onaylanmıştır.

Teknik Şartnamede belirtilen ve istenilen analiz, raporlama ve testler;

- Statik ve Stabilite Analizleri
- Raporlamalar
- Frekans Kontrolü
- Güç ve Üretim Dengeleri
- Gerilim ve Reaktif Güç Kontrolü
- Savunma ve Sistem Toparlanması Planları
- Sistem Frekans Kontrol Performansının ve Üretim Ünitelerinin Test Edilmesi,
- İzleme

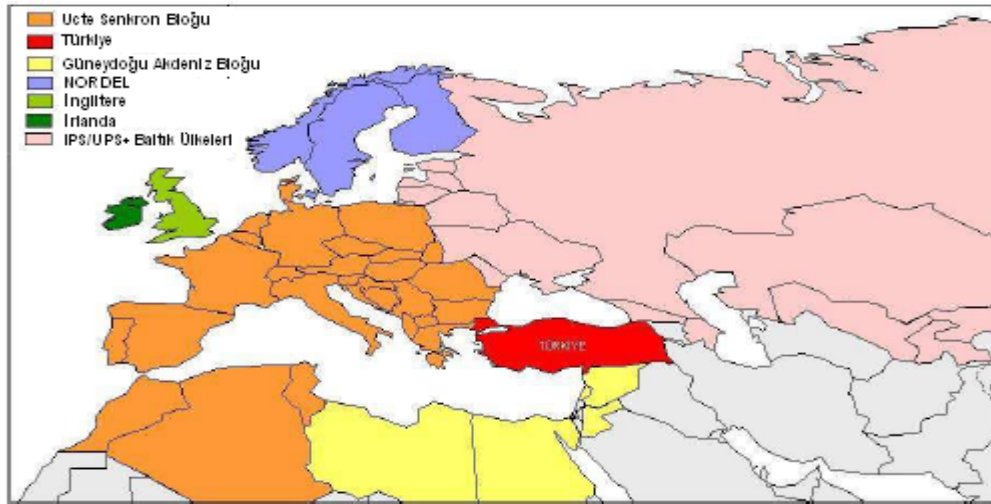
Görüldüğü üzere UCTE bağlantısı öncesi en önemli kriter frekans kontrol kalitesi olacaktır.

Uluslararası enterkonneksiyon projeleri ile;

- Yedek kapasitenin ortak kullanımı
- Önemli arızalar sonucu oluşan beklenmeyen üretim kayıplarında yardımlaşma
- Normal çalışma koşullarında maliyeti en düşük üretim tesislerinin çalıştırılması sonucunda ortak işletme tasarrufu sağlanması
- Doğal kaynakların ülkeler arasında rasyonel bir şekilde paylaşımı ve elektrik ticaretinin artırılması
- Büyük ve güçlü bir sistemle senkron paralel çalışmanın sağladığı teknik avantajlar ile daha kolay ve ekonomik olarak arz kalitesinin yükseltilmesi
- Diğer ülkelerle ilişkilerin geliştirilmesi
- Çevrenin korunması hedeflenmektedir.

### 2.1.3.2. Ülkemizdeki Senkron Bloğu ve Asenkron Bağlantılarımız

Ulusal elektrik pazarlarının liberalleşmesini takiben, enterkonneksiyon hatları uluslararası ticareti özendirerek bölgesel ve daha sonra kıtasal pazarların oluşturulması amacıyla kullanılmaya başlanılmıştır. Şekil 2.15. te ülkemizin senkron bloğu ve asenkron bağlantıları gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Ülkemizdeki senkron bloğu ve asenkron bağlantı şeması

Asenkron bağlantı yapmış olduğumuz ülkeler hakkında kısaca bilgi verecek olursak,

### **Türkiye-Gürcistan:**

400kV Akhaltsikhe-Borçka EİH ve Gürcistan tarafında 600MW kurulu güçte DC B-to-B dönüştürücü merkez tesis edilmesi planlanmıştır. Gürcistan tarafında tesis başlamıştır.

### **Türkiye-Suriye:**

400kV Birecik-Halep arasında mevcut hattın Türkiye tarafında birinci bloğu 500MW olacak şekilde DC B-to-B dönüştürücü merkezin önümüzdeki yıl ihale edilmesi planlanmaktadır. İleride ikinci 500MW kurulu güçte dönüştürücü bloğun da tesis edilmesi düşünülmektedir.

### **Türkiye-Irak:**

400 kV Cizre -Musul EİH tesisi planlanmıştır. Türkiye tarafında her biri 500MW kurulu güçte iki blok DC B-to-B dönüştürücü merkezin tesisi öngörülmekte olup 2012 yılında ihale edilmesi ve 2014 yılında da tesisin tamamlanması planlanmaktadır.

### **Türkiye-İran:**

Mevcut Khoy-Başkale 400kV'luk hattın orijinal geriliminde çalıştırılmasını sağlamak amacıyla 400kV Khoy-Başkale-Van arasındaki ringin tamamlanması ve Van'da her biri 500MW kurulu güçte iki blok DC B-to-B dönüştürücü merkezin tesis edilmesi planlanmıştır.

### **2.1.3.3. Avrupa Elektrik Sistemine Bağlantımız**

Bilindiği gibi uluslararası enterkoneksiyonlardan maksimum faydanın sağlanabilmesi için hedeflenen yöntem sistemlerin senkron paralel çalışmasıdır. Türkiye elektrik sisteminin Avrupa elektrik sistemine senkron paralel bağlantısı 1975 yılından beri öncelikli hedef olarak ülkemizin gündemindedir.

28 Eylül 2005 – 20 Nisan 2007 tarihleri arasında “Türkiye Elektrik İletim Sisteminin UCTE Sistemine Bağlantısı Tamamlayıcı Teknik Çalışmalar” 1.UCTE Projesi, Kuruluşumuz ve UCTE üyesi Elektrik İletim şirketleri uzmanları tarafınca başarı ile tamamlanmıştır.

Türkiye elektrik sisteminin frekans kontrol performansının iyileştirilmesi amacıyla “Türkiye Elektrik Sisteminin UCTE Sistemi ile Senkron İşletilmesi için Frekans Kontrol Performansının İyileştirilmesi” adlı 2.UCTE Projesi geliştirilmiş ve sürdürülmektedir.

Bahsedilen iki projeden elde edilen olumlu sonuçlar neticesinde, 18 Aralık 2009 tarihinde, TEİAŞ ile Yunanistan'dan HTSO, Bulgaristan'dan ESO EAD, Almanya'dan Amprion GmbH ve Transpower arasında "Türkiye Elektrik Sisteminin ENTSO-E Kıta Avrupası Senkron Bölgesi ile Enterkoneksiyonunun Gerçekleşmesi İçin Önlemler ve Prosedür Aşamaları" konusunda bir anlaşma imzalanmıştır.

UCTE ve piyasa kurallarını belirleyen ETSO organizasyonu bütün yetki ve sorumluluklarıyla ENTSO-E (European Networks of Transmission System Operators for Electricity - Avrupa Şebekeleri Elektrik İletim Sistem İşletmecileri) organizasyonu çatısı altına taşınmıştır (1 Temmuz 2009).

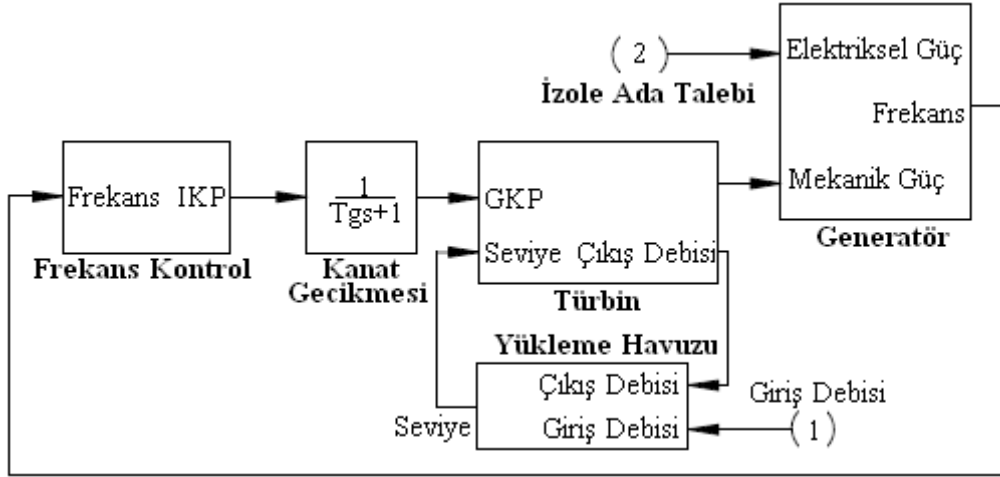
18 Eylül 2010 tarihinde Türkiye elektrik sistemi ENTSO-E Avrupa Kıtası senkron bölgesi şebekesine bağlanmış, ve deneme paralel işletme çalışmaları başlatılmıştır.

ENTSO-E kurallarına göre, bu dönem boyunca enterkonnekte sistemin güvenliği ve performansı, ENTSO-E Plenary Avrupa Kıtası Bölgesel Grubu tarafınca izlenmektedir. Türkiye elektrik sisteminin, Avrupa ülkeleri elektrik şebekesine senkron paralel bağlantısı ile kalite ve güvenilirliği artarken, Avrupa elektrik piyasasına erişim imkânı da sağlanmış bulunmaktadır.

#### **2.1.3.4. Frekans Kontrolü**

HES'lerde bir güç sisteminin kararlı çalışabilmesi için sistem frekansı sabit kalmalıdır. Sabit frekansta çalışabilme güç dengesi durumunda mümkündür. Frekans kontrolü, bir elektrik sisteminin üretim-tüketim dengesinin kontrolüdür.

İzole-ada çalışan bir santralin frekans-kontrol döngüsünün blok diyagramı Şekil 2.16'da verilmiştir.

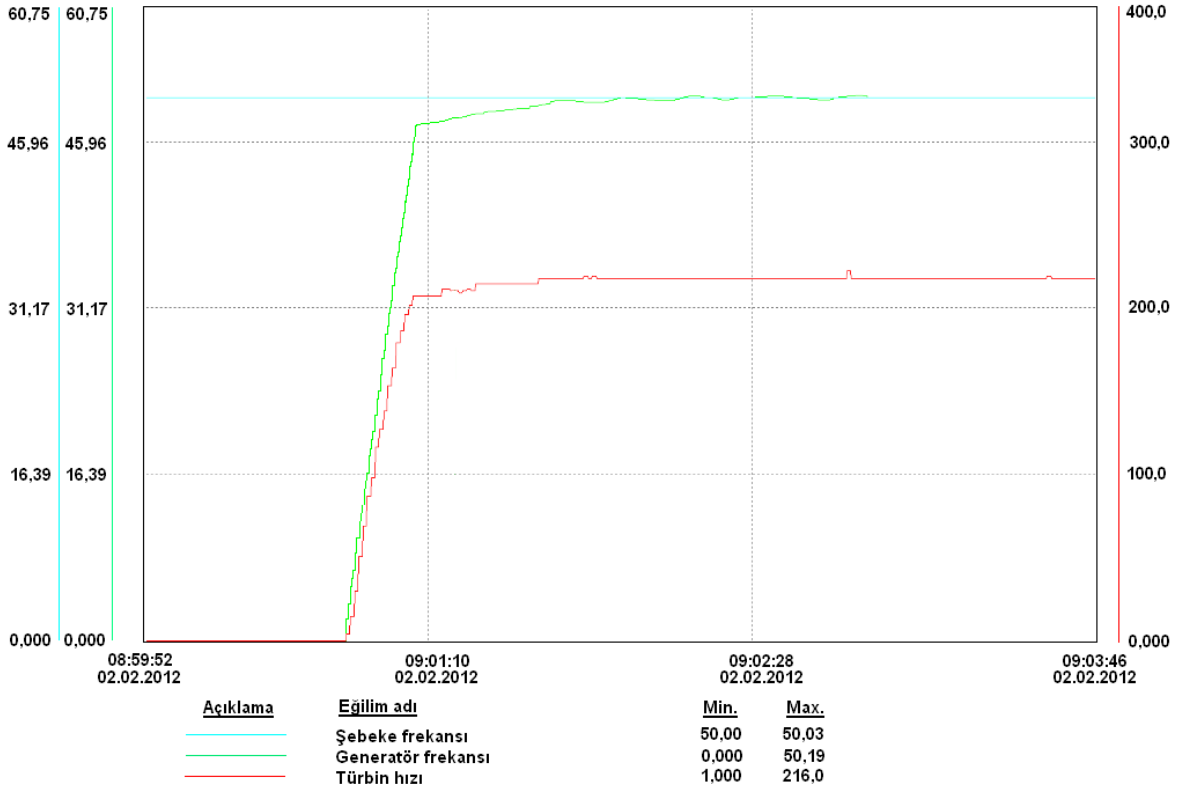


**Şekil 2.16.** Frekans-kontrol döngüsü

Genellikle elektrik şebekesinin tepkisi bir motor ve yükünün oluşturmuş olduğu bir makina davranışı olarak kıyaslanabilir. Birbiriyle paralel çalışan senkron generatörlerin normal şartlarda hızları aynıdır. Ayrıca her birine türbin tarafından uygulanan mekanik tork, sistem tarafından uygulanan elektriksel tork'a eşittir.

Senkron generatörler de üretilen güç türbini hareket ettirmek için harcanan mekaniksel güce eşitse sistem dengededir ve senkron generatör rotorunun dönüş hızı sabittir. Eğer generatör, türbini hareket ettirmek için harcanan mekanik gücün sağladığı elektriksel gücü sağlayamamışsa sistem dengede değildir. Bu durumda generatör tarafından üretilen elektriksel güç artar veya azalır. Hız da ise ufak dalgalanmalar olmasına rağmen generatör nominal hızında dönmeye devam eder.

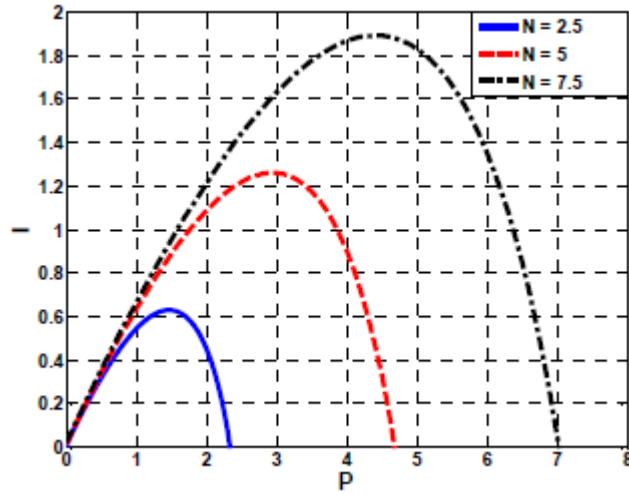
Şekil 2.17'de duran bir senkron generatöre start verilmesiyle birlikte generatör rotorunun dönüş hızı giderek artmaktadır. Rotorun dönüş hızı ile birlikte ünite frekansı da artmaktadır. Rotorun hızı nominal hız değerine ulaştığı anda senkron generatörün frekansı şebeke frekansına eşit olacaktır. Generatör nominal hızında döndüğü zaman senkron generatörün frekansı şebeke frekansına eşit olacaktır.



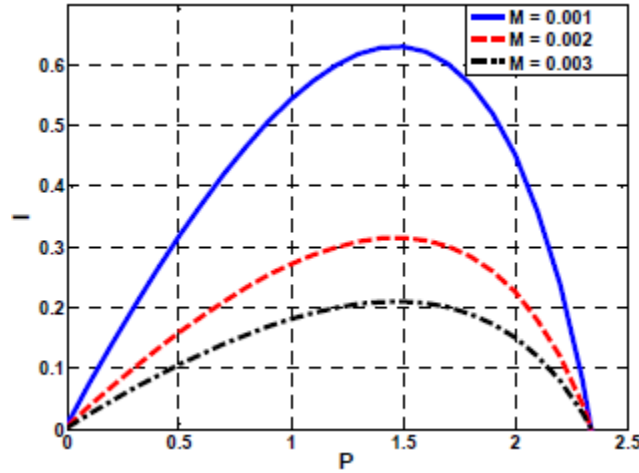
**Şekil 2.17.** Generator ünitesi döndürme momenti- ünite frekansı değişimi karakteristik eğrisi

Enterkonnekte sistemde meydana gelebilecek bir arıza sonucu santralin şebekeden izole bir biçimde bölgesel yükleri beslediği durum araştırılmıştır. Frekans-kontrol döngüsünün kararlılığı dört temel değişkene bağlıdır: 1) Su hızlanma zaman sabiti, 2) Ayar kanadı gecikme zamanı, 3) Yükleme havuzu dolma zamanı, 4) Mekanik zaman sabiti. Bu değişkenlerin kontrol döngüsünün kararlılığına etkisini incelemek amacıyla bu parametrelerin kararlılık sınırlarına etkileri Şekil 2.18 ve 2.19’da verilmiştir(Cebeci, M.E., Tör, O.B., Yılmaz, O., Nadar, A., Güner, E.).

$$K = T_w / T_s; \quad L = T_g / T_s; \quad M = T_w T_g / T_s; \quad N = T_m / T_w$$



Şekil 2.18. Kararlılık limitleri-PID denetleyici ayar aralığı( $M=L=0.001$ ,  $K=0.01$ )



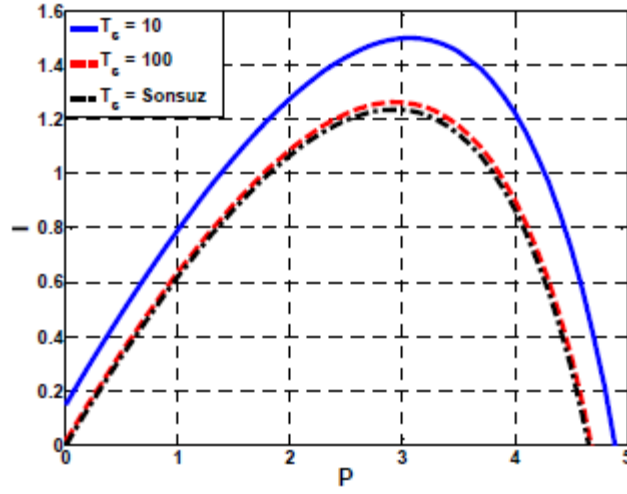
Şekil 2. 19. Kararlılık limitleri-PID denetleyici ayar aralığı( $N=2.5$ ,  $K=0.01$ ,  $L=0.001$ )

$T_w$  ve  $T_g$  büyüdükçe kararlılık sınırları daralmaktadır. Bir başka açıdan  $T_m$  değeri arttıkça kararlılık sınırları genişlemektedir. Bu durumda  $T_m$ 'in kararlılığa etkisi ön plana çıkmaktadır.

$T_s$  değerinin küçük olması ayar kanatlarında meydana gelebilecek bir değişimin hızla seviyeye yansması anlamına gelecektir. Yani, ayar kanat pozisyonunun artması hızla seviye düşüşüne, azalması ise hızla seviye artışına sebep olacaktır. Bu durum kontrol sisteminden kaynaklı aşırı hareketler sebebiyle çıkış gücündeki değişimleri azaltacak ve sistemin kararlı kalmasına yardımcı olacaktır. Bunun yanında, küçük yükleme havuzu olan

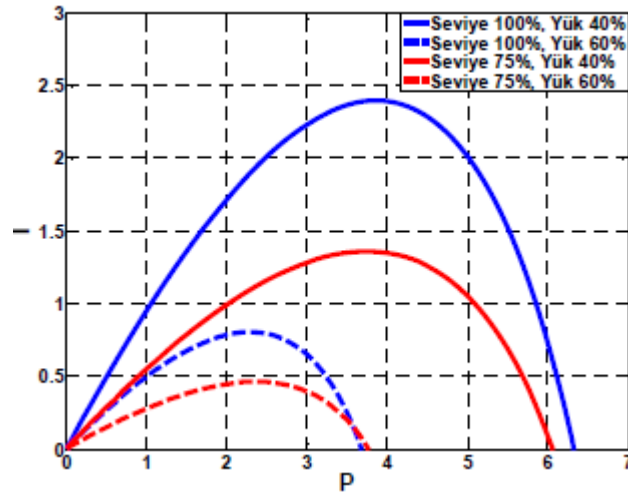


bir santral izole-ada modunda, yükteki bir artışta hızla seviye kaybedeceğinden, yük regülasyon aralığı dardır (Cebeci, M.E., Tör, O.B., Yılmaz, O., Nadar, A., Güner, E.).



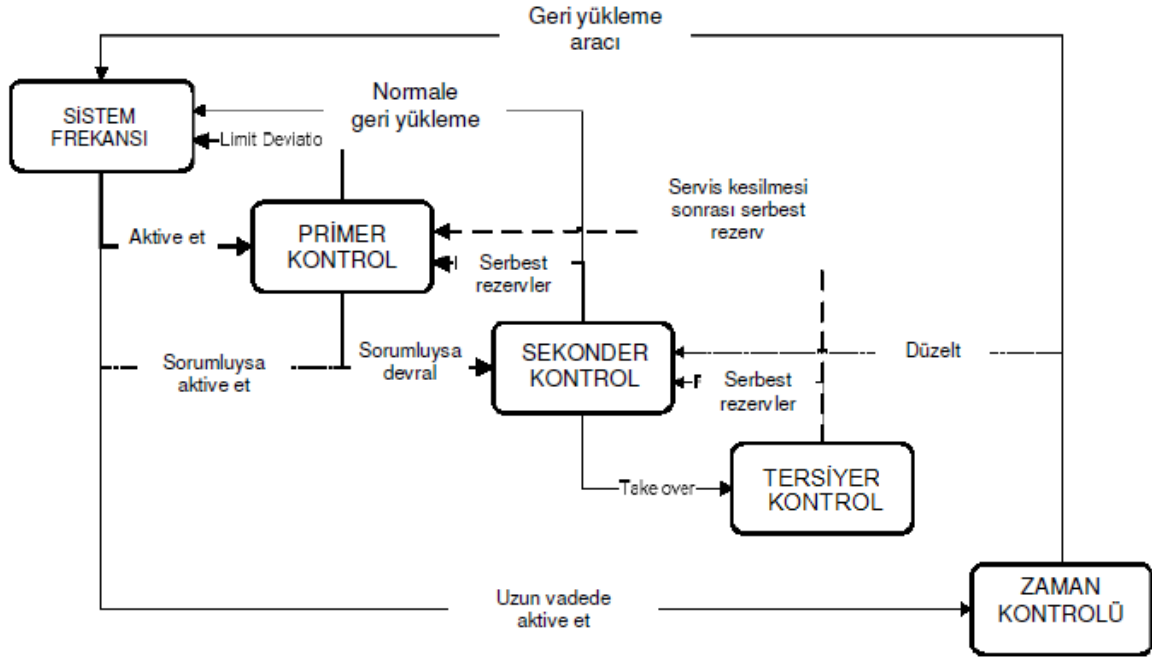
Şekil 2.20. Ts değerleri PI denetleyici parametreleri kararlılık limitlerine etkisi

Yüklenme ve seviye koşullarının kararlılık sınırlarına etkisi incelendiğinde, seviye düştükçe ve ünite yükü arttıkça kararlılık sınırının daraldığı görülmektedir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Seviye ve yüklenme durumunun kararlılık sınırına etkisi

Frekans Kontrolü, bir elektrik sisteminin üretim-tüketim dengesinin kontrolüdür ve üç seviyede kontrol edilir.

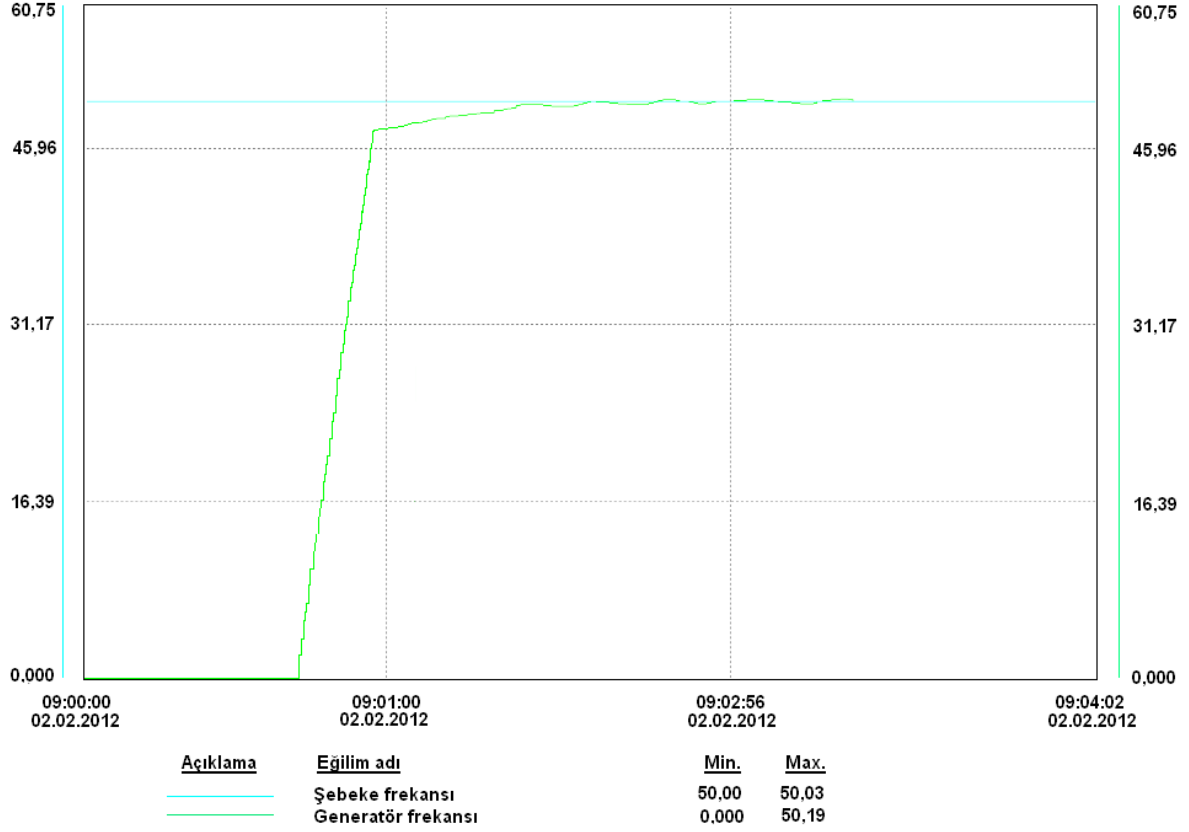


Şekil 2.22. Frekans kontrolünün blok diyagramı. [TEİAŞ-2006]

#### 2.1.3.4.1. Primer Frekans Kontrolü

Primer frekans kontrolünün amacı enterkonnekte sistemde üretilen enerji ile tüketilen enerji arasındaki dengeyi sağlamaktır. Üretim-tüketim arasındaki denge durumunda şebeke frekansı sabit bir değerdedir. Enterkonnekte sistemde üretim-tüketim dengesini bozacak çeşitli dalgalanmalar durumunda 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 (generatörler) bu dalgalanmaya cevap vererek sistem frekansının sabit değerde kalmasını sağlar.

Enterkonnekte sistemdeki açma-kapama olayları ve ani üretim kayıpları milisaniyeler mertebesinde bir zamanda gerçekleşir ve üretim sistemlerinin primer frekans kontrol sistemleri bu süre içerisinde buna cevap verip sistemdeki dengesizliği gidermesi mümkün değildir. Bu tür olaylarda enterkonnekte sisteme bağlı tüm üretim sistemleri tepki verir ve kendi dönel (kinetik) enerjilerini harcayarak üretim-tüketim dengesini sağlarlar. Yaşanan bu tür olaylar şebeke sistemine bir frekans sapması olarak yansır.



**Şekil 2.23.** Sistemle paralel çalışan türbin generatör ünitesinin frekans kontrol eğrisi

Pratik olarak eğer bir dalgalanma durumunda kinetik enerjilerini kaybetmeye başlayan üretim sistemlerine ilave bir enerji verilmezse (vanaları açma-kapama veya yakıt ilavesi veya azaltılarak kaybedilen dönel enerjinin iademe edilmesi) frekansı ya sıfırlayacak ya da aşırı artarak sisteme bağlı üretim sistemlerinin durmasına (trip) neden olur. Teker teker santralların birbirini tetikleyerek trip etmesi neticesinde de şebeke çöker.

Sistemde bu olayın oluşmasını önlemek için şebekeye bağlı bazı santralların primer frekans kontrolü yapması gereklidir. Elektrik piyasası şebeke yönetmeliğine (EPSY) göre 50 MW ünite gücü, 100 MW kurulu gücü bulunan tüm elektrik üretim santrallarının primer frekans kontrolü yapması zorunludur. Primer frekans kontrolü yapacak santrallar kabiliyetleri ölçüsünde belirlenen oranlarda (şu an için TEİAŞ tarafından belirlenen oranlar; hidroelektrik santrallar için %10, kömür ve doğal gaz yakıtlı termik santrallar için ise %5 'dir) primer frekans kontrolüne katılmalıdır.

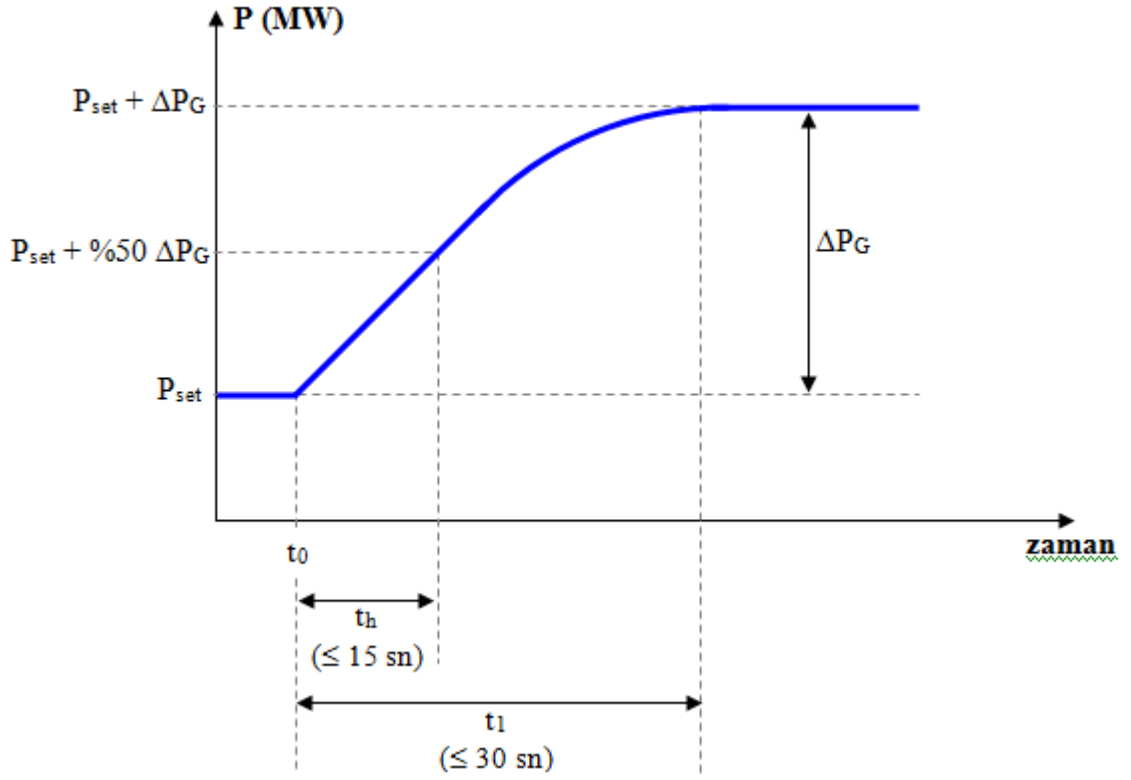
UCTE kriterlerine göre minimum anlık frekans -800 mHz (49. 2 Hz) in altına düşmemeli, maksimum anlık frekans +800 mHz (50. 8 Hz)'in üzerine çıkmamalıdır. Frekansın 49. 00 Hz'in altına düşmesi durumunda yük atma röleleri otomatik olarak çalışır.

Ünitelerin primer frekans kontrol performansı, sistem frekansında  $\pm 200$  mHz'lik sapma olması durumunda Primer Frekans Kontrol Rezerv Kapasitesini (Q) hız eğim değeri (speed-droop) oranında, en fazla 30 saniye içinde lineer olarak tamamen etkinleştirebilecek ve eriştiği bu çıkış gücünü en az 15 dakika sürdürebilecek yeterlilikte olacaktır.

Primer frekans kontrolüne katılan bir HES'te enterkonnekte şebeke üzerinde meydana gelen değişimlere bağlı olarak düşen şebeke frekansına ünitelerin vermiş olduğu tepki güç artışı olarak kendini göstermektedir. Bu durum Şekil 2.24. te gösterilmiştir.

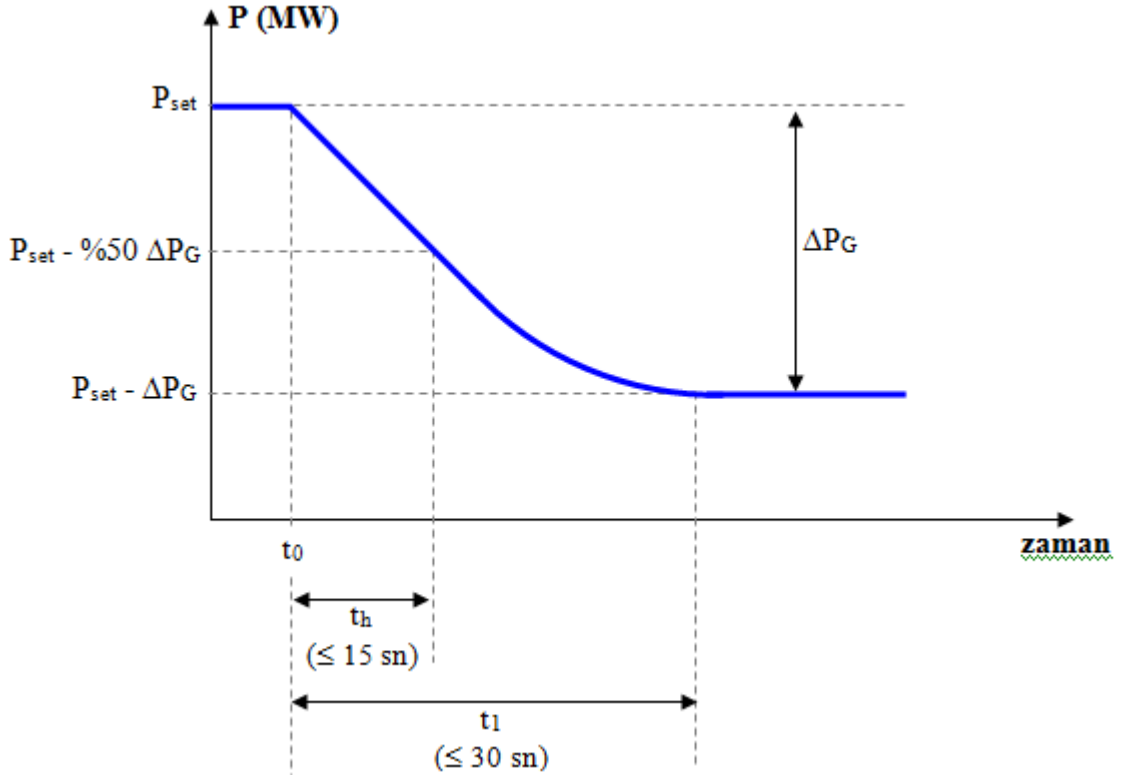
Ünite, sistem frekansında sapmanın olduğu  $t_0$  anından itibaren çıkış gücünü, frekans sapmasına göre,  $t_h$  süresi içinde, Primer Frekans Kontrol Rezerv Miktarının ( $\Delta P_G$ ) % 50'si kadar,  $t_1$  süresi içinde ise tamamı kadar arttırarak veya azaltarak sistem frekansındaki sapmayı sürekli takip etmeli ve beklenen tepkiyi otomatik olarak vermelidir.

Ünite, Primer Frekans Kontrol Rezerv Miktarının yarısını en fazla 15 saniye içinde, tamamını ise en fazla 30 saniyelik süre içinde lineer olarak etkinleştirmelidir.



**Şekil 2.24.** Sistem Frekansının Düşmesi Durumunda Ünitenin Primer Frekans Kontrol Tepkisi (Anonim-2006)

Primer frekans kontrolüne katılan bir HES'te sistem frekansının yükselmesi durumunda ünitenin vermiş olduğu tepkiler gücün azaltılması yönündedir. Bu durum Şekil 2.25. te gösterilmiştir.



**Şekil 2.25.** Sistem Frekansının Yükselmesi Durumunda Ünitenin Primer Frekans Kontrol Tepkisi (Anonim-2006)

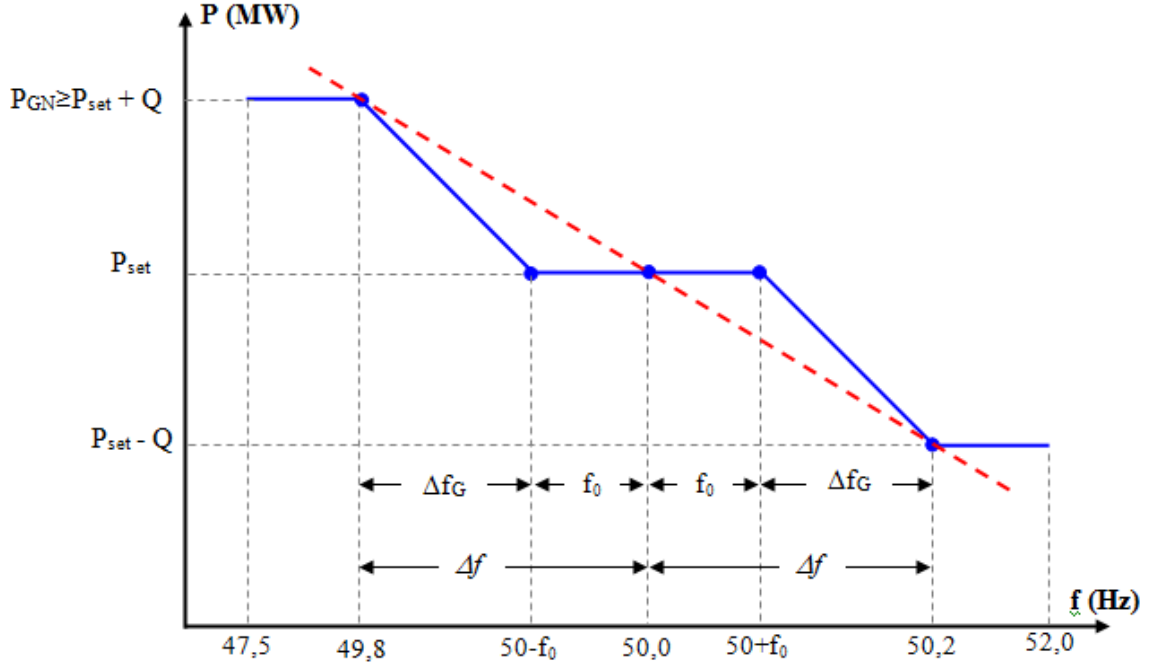
### Ölü Bant ( Dead Band)

Ölü bant belli frekans limit değişimine kadar üretim sistemi primer kontrol sisteminin cevap vermemesidir ( çıkış yükünün sabit kalması). Bu uygulama sadece primer kontrol sistemine uygulanır. Ölü bant aralığı uygulaması, şebeke frekansı stabilitesi için istenmeyen bir durum olmasına rağmen üretim sistemi (türbin generatör) ömrü açısından faydalıdır. UCTE bağlantısı sonrasında tüm ünitelerin ölü bantları 0 (sıfır) olarak ayarlanacaktır (TEİAŞ-2006).

Primer frekans kontrol hizmeti sağlayan ünitelerin sistemdeki frekans sapmalarına göre aktif çıkış gücü değişimi Şekil 2.26 da modellendiği gibi olmalıdır.

Santral ünitesinin hız eğimi, sözleşme ile belirlenen Primer Frekans Kontrol Rezerv Kapasitesine göre aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$s_g (\%) = \frac{\Delta f / f_n}{\Delta P_G / P_{GN}} \times 100 \quad (17)$$



Şekil 2.26. Aktif çıkış gücü (Anonim-2006)

$P_{set}$ : Ünite çıkış gücünün ayarlanmış değeri

$f_0$  : Ünite kontrol sisteminin frekans sapmalarına tepki vermediği frekans aralığı (Ölü bant, Hz)

$Q$  : Primer Frekans Kontrol Rezerv Kapasitesi

$\Delta f_G$  : Ünitenin ölü banttan sonra algıladığı frekans sapma miktarı

$\Delta f$  : Sistem frekansındaki sapma miktarı

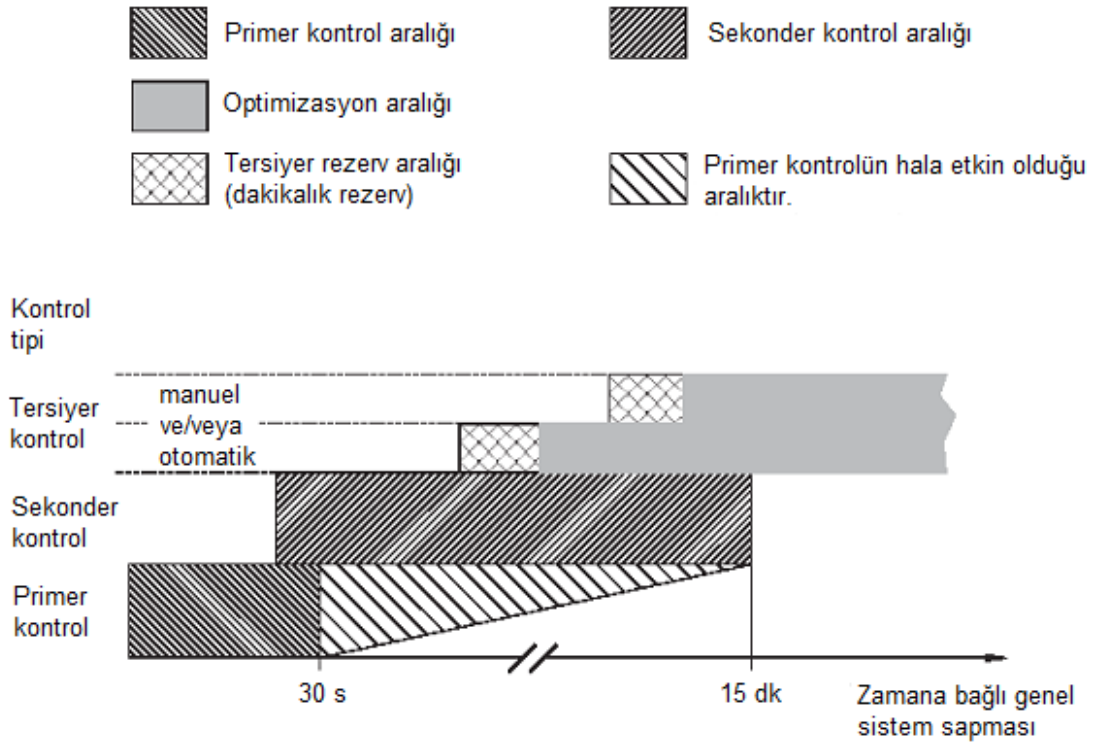
EPSY'ye göre; Ünitelerin hız eğim ve ölü bant değerleri, sistemin ihtiyacına göre TEİAŞ tarafından belirlenir. Ünitelerin hız eğim değeri ve ölü bant değeri ayarlanabilir yapıda olmalıdır. Ünitenin hız eğimi, Primer Frekans Kontrol Rezerv Kapasitesi ( $Q$ ) miktarına karşılık gelen değere ayarlanmalıdır. 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  $\pm 10$  mHz'i aşmamalıdır. Primer Frekans Kontrol Rezervi, hiç bir kesintiye maruz kalmadan her zaman, emre amade olmalıdır.

### 2.1.3.4.2. Sekonder Frekans Kontrolü

Sekonder kontrol edici (AGC) aracılığıyla ve primer kontrol (primer kontrol rezervi) tarafından kullanılan gücün serbest kalması amacıyla frekansın nominal değerine geri dönebilmesi için katkıda bulunmak üzere ( özellikle en büyük üretim ünitesinin servis harici olmasından sonra ) alan kontrol hatasını otomatik olarak düşürmeye yeterli olan işletme rezervinin ilave bir miktarıdır. Ünitenin çıkışındaki değişimin başlaması için maksimum tepki süresi 30 saniyedir ve sapma maksimum 15 dakika içinde dengelenmelidir (Şekil 2.27).

### 2.1.3.4.3. Tersiyer Frekans Kontrolü

Sekonder kontrole katılan ünitelerin çalışma noktasını değiştirmeye ve sekonder kontrol gücünü ekonomik açıdan farklı ünitelere mümkün olan en iyi şekilde dağıtmaya yeterli olan işletme rezervinin ilave bir miktarıdır. Tersiyer kontrol rezervi herhangi bir anda (genelde 3-20 dakika) devreye alınabilmelidir. Tersiyer rezerv, başka bir olayı karşılayabilmek için sekonder rezervi serbest hale getirir. Primer, sekonder ve tersiyer kontrol işlemini aralıkları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.27. Primer, sekonder ve tersiyer kontrol işlemini aralıkları (Kaynak:UCTE

Handbook)

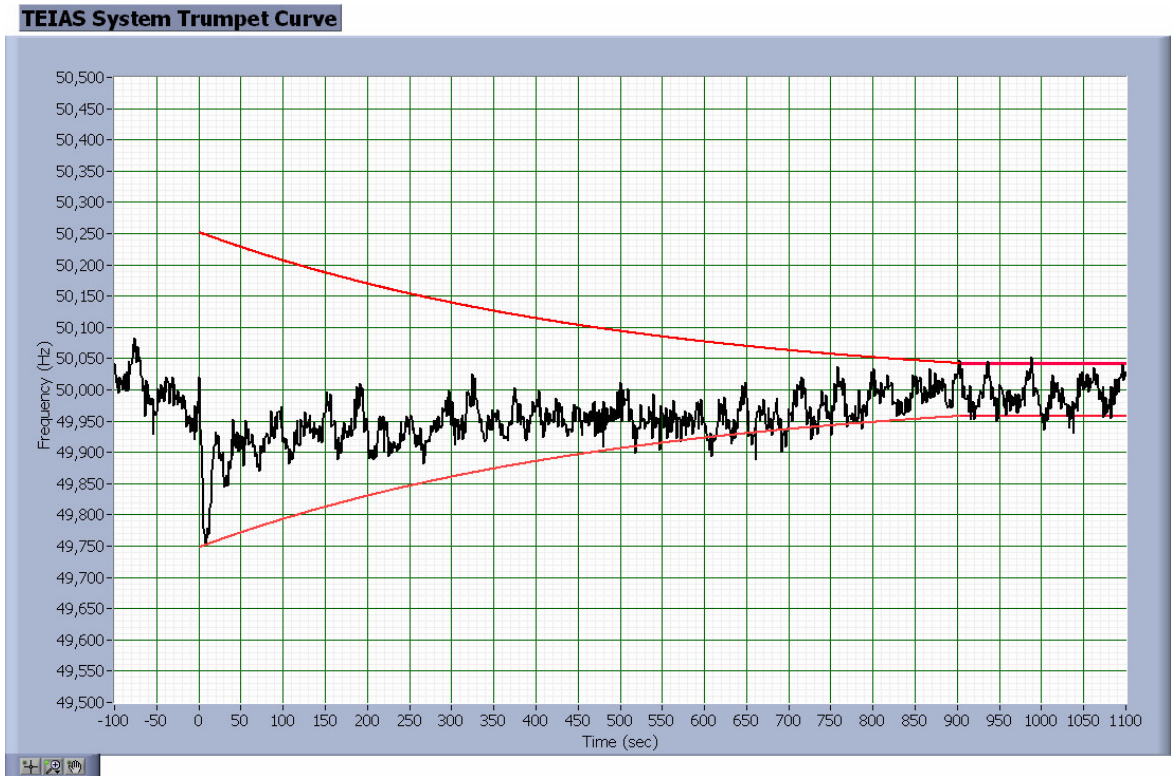




(ölü bant) 0-100 mHz arasında değişmektedir. UCTE kriterlerine göre normal işletme sırasında kabul edilebilir frekans sapmasının  $\pm 20$  mHz olması gerekirken ülkemizde bu yaklaşık  $\pm 100$  mHz'dir. Santrallarımızın primer frekans kontrolü performansı yapılan testlerle belirlenmekte olup, genelde UCTE kriterlerine göre rezerv yüklerinin %50'sini ilk 15 saniye içerisinde tamamını 30 saniyede lineer olarak verebilmekteler. Ancak bazı santrallar bu kriterleri yerine getirememektedir. UCTE kriterlerine göre minimum anlık frekans -800 mHz (49. 2 Hz) in altına düşmemeli, maksimum anlık frekans +800 mHz (50. 8 Hz)'in üzerine çıkmamalıdır.

Ülkemizdeki anlık frekans sapmaları bu değerlere çok yakın olup, iyileştirilmesi çalışmaları yapılmaktadır.

Ülkemizdeki büyük frekans sapmaları sırasında, frekans değeri, sistem şartlarına da bağlı olarak belirlenen parametrelerle tespit edilmiş trompet eğrisi içerisinde kalmalıdır(Şekil 2.29).



**Şekil 2.29.** Türkiye elektrik sisteminde meydana gelen bir arızada trompet eğrisi

### **2.1.3.7. Türkiye Elektrik Sisteminde Frekans Kalitesini İyileştirme Çalışmaları**

Elektrik piyasası şebeke yönetmeliğinde belirtildiği şekliyle primer frekans kontrolü yapma zorunluluğu olan; 50 MW ünite gücü, 100 MW kurulu gücü bulunan tüm elektrik üretim santrallerinin primer frekans kontrol performanslarının tespit edilmesi için santrallerde testler yapılmakta, yapılan bu testlerin sonuçları raporlanarak UCTE kriterleri ile uyumlu hale getirilmeye çalışılmaktadır. Avrupa Birliği projeleri kapsamında, “Türkiye Elektrik Sisteminin Frekans Kalitesinin UCTE Kriterlerine Uyumlu Hale Getirilmesi” projesi çalışmaları devam etmektedir. Tamamı AB hibesi ile gerçekleştirilecek 2, 5 Milyon Euro bütçeli bu proje ile eğitimler verilecek, santrallerin primer frekans performans testleri yapılacak, yine yapılacak testler ile santrallerin simülasyonunda kullanılacak matematiksel modelleri çıkarılacaktır. Yapılan bu testler sonucu görülecek gerekli ayarlamalar da yapılacak olup tüm çalışmaların sonucunda en güvenilir ve verimli işletme modeli oluşturulacaktır.

Elektrik üretiminde rol olan tüm katılımcılara UCTE ve entegrasyon süreci konusunda eğitimler verilmiştir.

### **2.1.4. Hidrolik Santrallerde Regülasyon Olayı**

#### **2.1.4.1. Hidrolik Santrallerde Hız Regülasyonu**

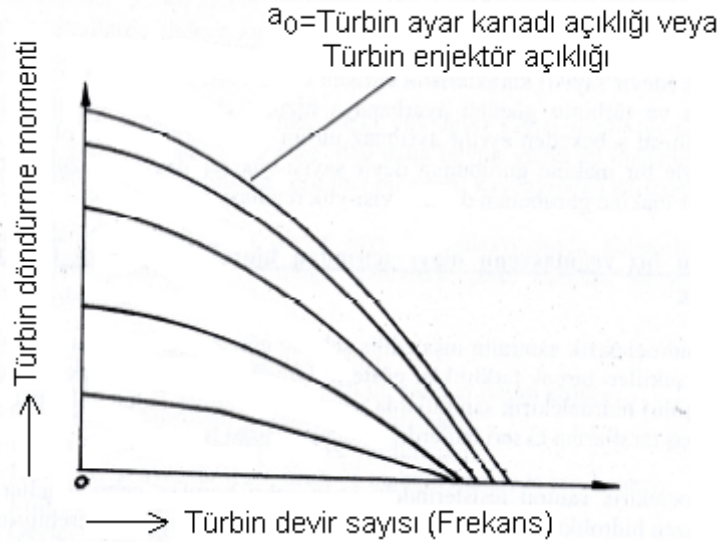
Su enerjisi ile üretim yapan santrallerde hız regülatörü, türbin kumanda mekanizmasının (Francis türbinlerde ayar kanatlarını servomotor ile, pelton türbinlerde pelton püskürtücüsü servomotoru ile) ayar kanatlarının veya türbin düzesi iğnesi ile saptırıcısının açıklıklarının değişmesine ve türbin gücünün değişmesine etki eder. Ancak, gücün değişmesi esnasında türbinin devir sayısı sabit kalır. Güç değişimlerinde devir sayısının sabit kalması regülatör tarafından sağlanır.

HES’lerde türbin-generatör ünitesinin devir sayısının (frekansının) istenilen sınırlar içinde sabit kalması ile birlikte türbin-generatör ünitesinin gücünün değişmesi için hız regülatörünce, yani regülasyon tertibatınca, türbin ayar kanatlarının veya türbin düzesi iğnesi ile saptırıcılarının açıklıklarının değiştirilmesi olayına, yani türbinin su debisinin ayarlanması olayına, "regülasyon olayı" veya "regülasyon hareketleri" adı verilmektedir.

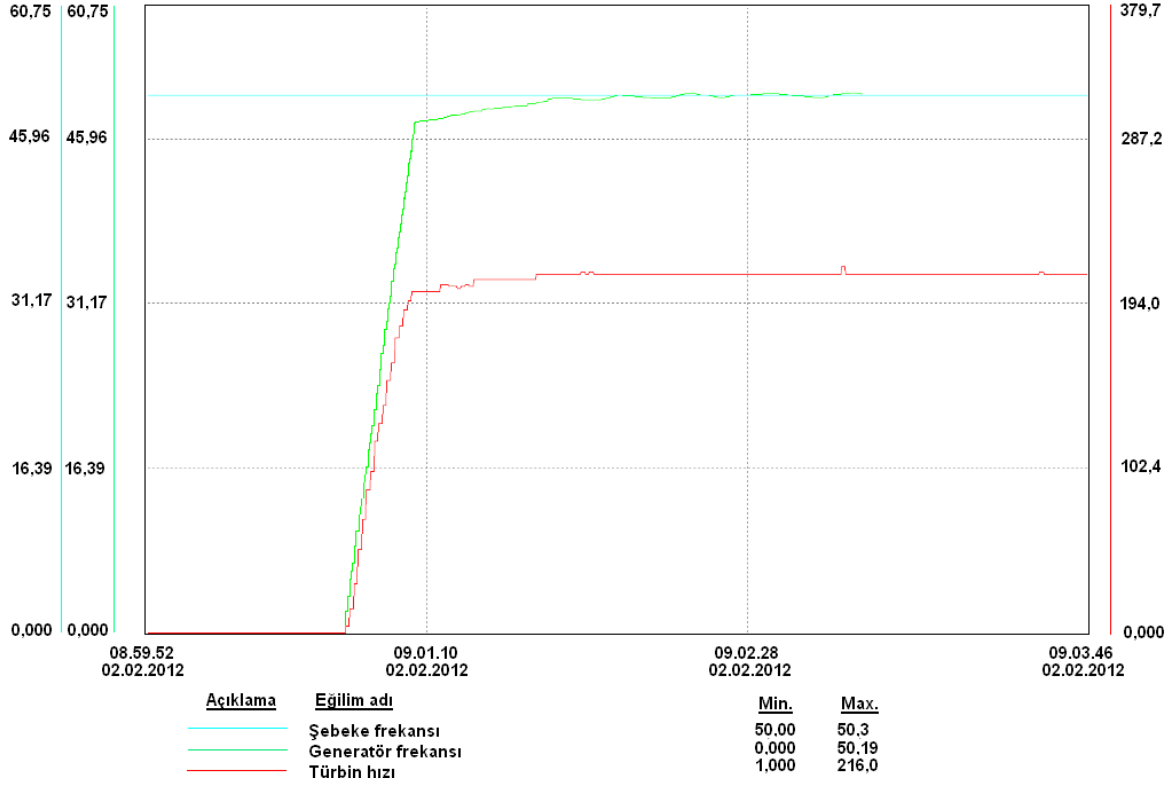
Meydana gelen regülasyon hareketleri ile su akımının ve su debisinin değişmesi sonucu cebri boru ve salyangoz gibi organlarda ani geçici basınç değişiklikleri (ani geçici basınç yükselmeleri ve azalmaları) meydana gelir. Bu ani geçici basınç değişiklikleri regülasyon olayı üzerine kötü etkide bulunurlar; yani regülasyon olayını bozucu büyüklükler olarak tesir ederler. Keza elektriki şebeke, yani izole veya enterkonnekte şebeke de, generatör üzerinden türbin regülasyonu üzerine bazen regülasyonu bozucu, bazen de regülasyon olayını iyileştirici etkilerde bulunabilirler.

#### 2.1.4.2. İzole Şebeke ile Enterkonnekte Şebekelerde Türbin Hız Regülasyonu

Türbin hız regülatörü izole şebekeye bağlı tüketicilerin frekansını tayin eder. Bu şebekelerde meydana gelecek olan değişimde sistem döndürme momentinde de bir değişme olur. Şekilde sistem döndürme momentinde meydana gelen bir değişimde frekans değişimini görebiliriz. Frekans değişimi tamamen türbinin dönme hızının değişimi ile ilgilidir. Türbin hızını kontrol eden birim regülatördür.



Şekil 2.30. Döndürme momenti-devir sayısı (frekans) karakteristik eğrileri



**Şekil 2.31.** Döndürme momenti ile hızın değişimi-frekans karakteristik eğrisi

Türbin hız regülatörü belirli bir güçte şebekeyi besleyebilmek için yük-devir sayısı (frekans) karakteristik eğrisini otomatik veya manuel olarak ayarlayarak türbinin şebeke frekansında güç üretmesini sağlar.

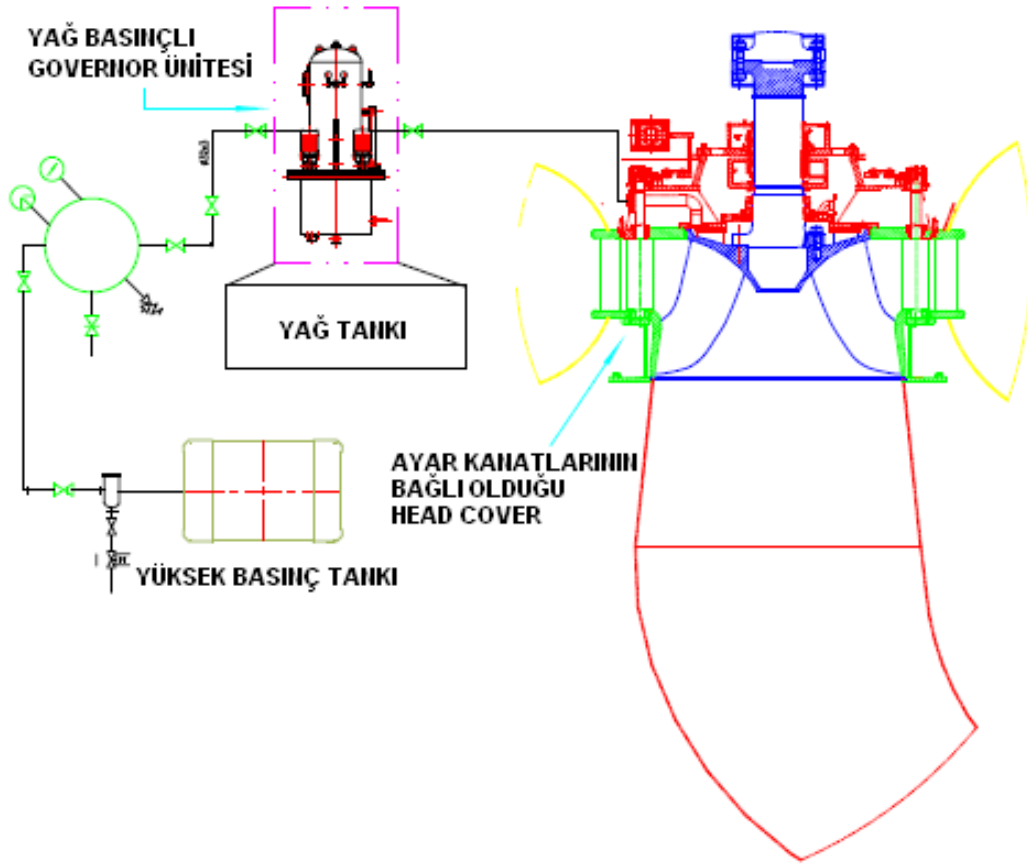
#### 2.1.4.3. Hidrolik Türbinlerde Kullanılan Hız Regülatörü Organları

HES'lerde kullanılan regülatörler yük kontrolü yaparken türbin ayar kanatlarını veya türbin düzesi iğnesini basınçlı yağ çalıştırır.

Yük-frekans (devir sayısı) regülasyonun da kullanılan bir hız regülatörü 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, stabilite 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 servomotorları)



**Şekil 2.32.** Hidrolik türbinlerde kullanılan hız regülatörü organları prensip şeması

Büyük güçlü su türbinlerinin yük-devir sayısı regülasyonun da kullanılan hız regülatörleri oldukça karmaşık bir yapıya ve oldukça büyük organlara sahiptirler. Büyük su türbinlerinin yük-frekans (devir sayısı) regülasyonun da kullanılan hız regülatörlerine ait türbin ayar kanatları kumanda servomotorları hız regülatörlerinden uzakta ve türbin mahallinde; basınçlı ve basmasız regülasyon yağı sistemleri ise ya yan yana veya ayrı ayrı mahallerde; ölçü tertibatı yani ölçü değeri vericisi, pilot valf ve tevzi valfi ile hareket iletim kolları, stabilite tertibatları ve yardımcıları, emniyet tertibatları, limitleme tertibatları ve

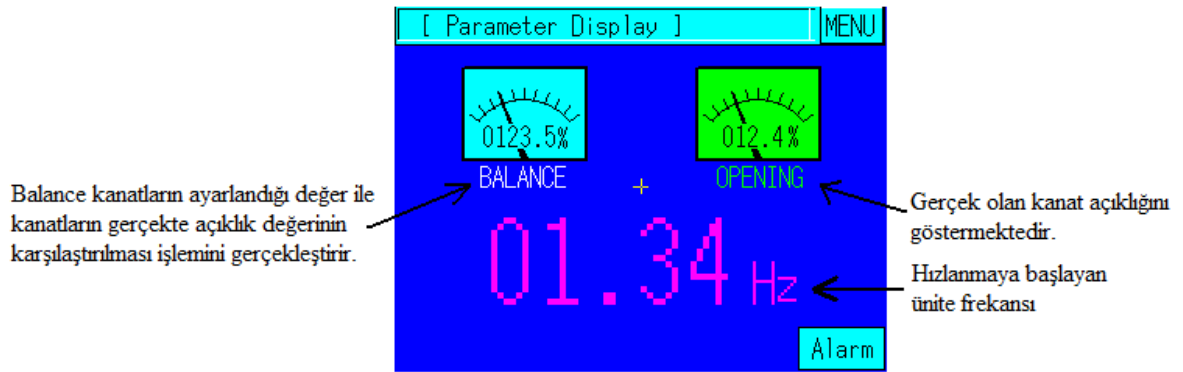
uzaktan veya mahallinden kumanda tertibatları ise yan yana fakat ayrı bir pano içinde tesis edilirler. Bu pano üzerine ayrıca, türbin devir sayısı göstergesi, türbin ayar kanatları açıklık limit göstergesi, türbin ayar kanatları açıklık göstergesi, hız regülatörü daimi statik göstergesi vs. gibi diğer yardımcı alet veya göstergelerde yerleştirilirler.

Hız regülatöründe yönetici kısım, türbinin nominal devir sayısında meydana gelen değişimleri belirleyip, devir sayısını nominal devir sayısına eşitlemek için hidrolik bir sisteme bağlı olan ayar kanatlarının açıklığını istenen değere ayarlamaya yarar. Yönetici kısmın ayarlanması otomatik veya manuel şekilde ayarlanabilir. Yönetici kısım genellikle governor sistem olarak adlandırılır.

Sistemin çalışması; kanatların hareketini sağlayan kanatların bağlı olduğu head cover parçasını hareket ettirebilmek için governor sistem içinde bulunan yağ, yüksek basınç tankının sağlamış olduğu yüksek basınç ile hidrolik sisteme aktarılır. Basınçlı yağ uygulanan head cover istenen hareketin uygulanmasını sağlar. Sonuç olarak ayar kanatları açılır veya kapanır.

Governor sistem üzerinde bulunan ekranlarda bulunan başlıca değerler aşağıda belirtilmiştir.

Parametre ekranı;



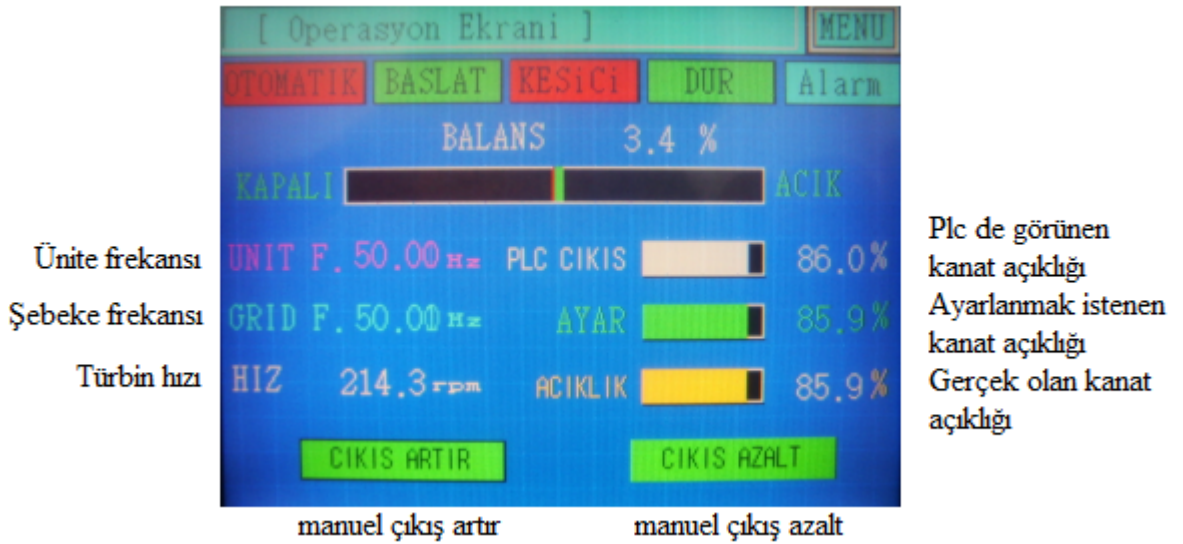
Şekil 2.33. Regülatör parametre ekranı

Bu ekran çalışma durumunu izlemek için kullanılır. Frekans veya hız değişimini göstermek için dijital kısım genişletilebilmektedir. Governor ünite frekansını (Hz) gösterirken, ünite hızını (rpm) olarak gösterecektir.

Alarm ekranı;

- Ünite frekansında sinyal problemleri
- Şebeke frekansında sinyal problemleri
- AC güç problemleri
- DC güç problemleri
- A/D modülde oluşan arızaları
- Servo sistemde meydana gelen arızalar

Operasyon ekranı;



Şekil 2.34. Regülatör operasyon ekranı

İşletme ekranı üzerinde bulunan değerler sistemin kumanda ve kontrol bölümünü oluşturmaktadır. Bu ekran üzerinde manuel olarak governorun çalışması için başlatma veya durdurma yapabiliriz. Bunun dışında çıkış arttır ile kanat açıklığını arttırabilir, çıkış azalt ile de kanatların açıklığını azaltarak tamamen kapatabiliriz.

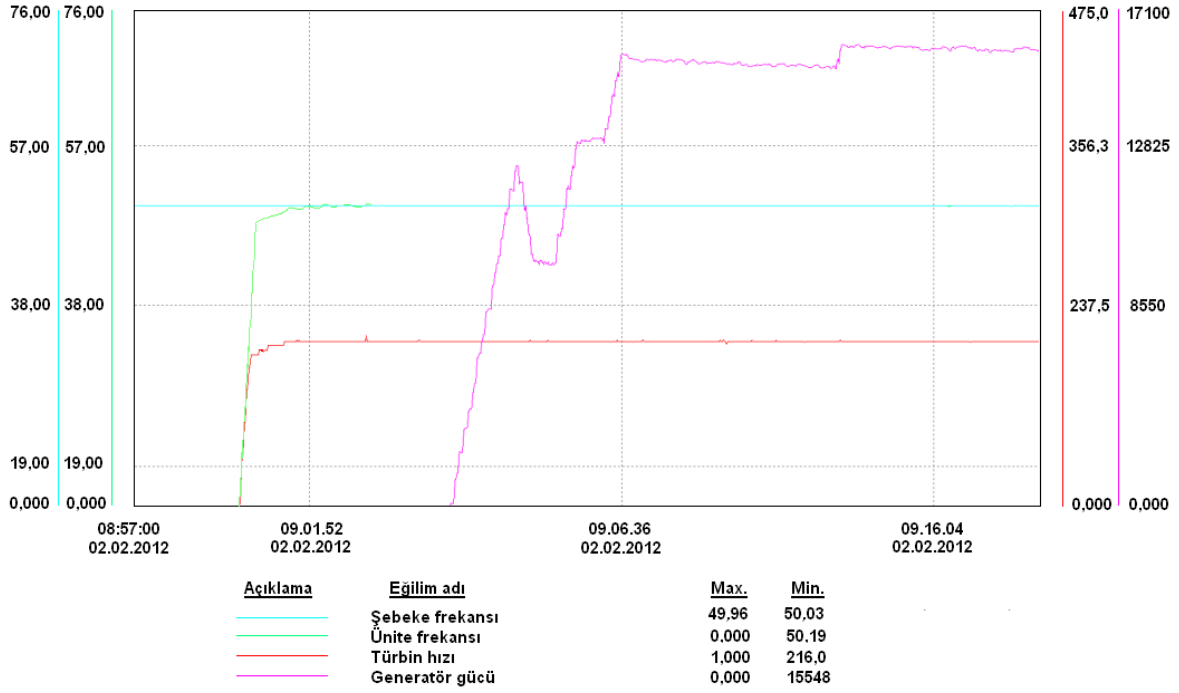
Ekran üzerinde türbin kanatları ile ilgili olarak kanat ayarlarına, kanatların açıklık miktarına ve mevcut durumun PLC deki değerini görebilmekteyiz.

Balans kanatların ayarlandığı değer ile kanatların gerçekte açıklık değerinin karşılaştırılması işlemi gerçekleştirir. İki değer arasındaki farkın sıfır olması istenir.



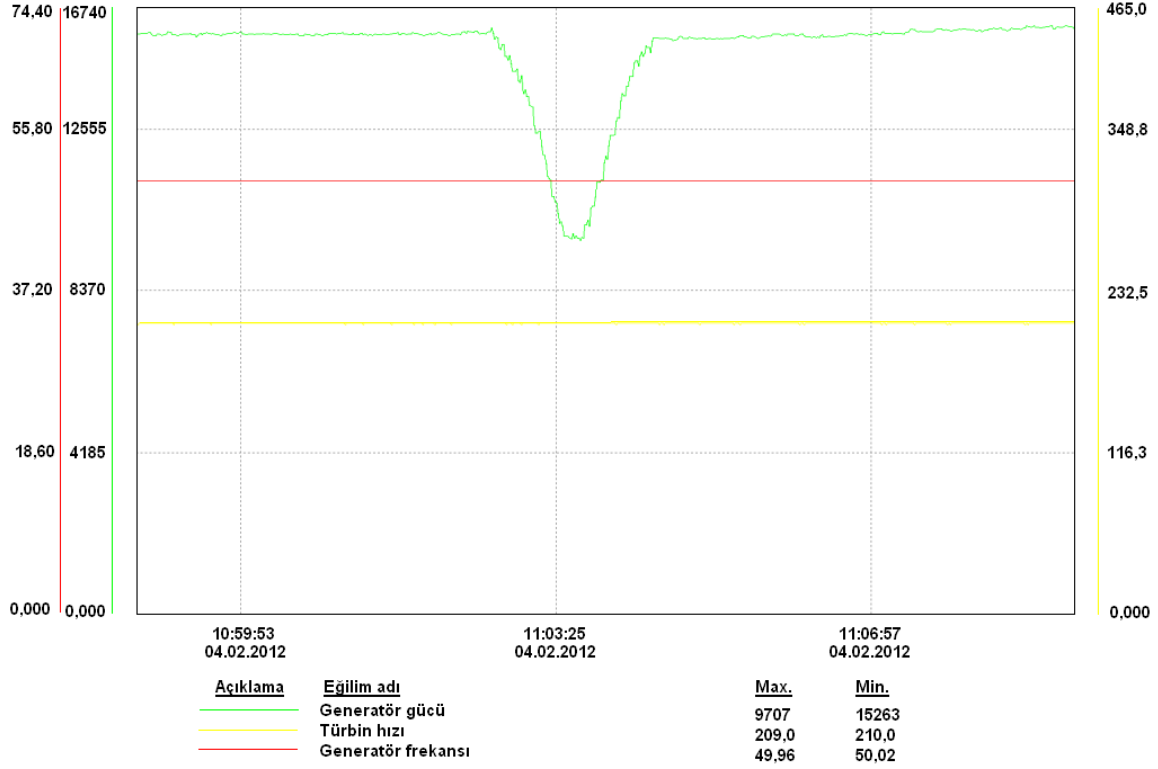
#### 2.1.4.4. Regülasyon olayı ve (MW-Hz) Karakteristik Eğrisi

HES'lerde generatörü tahrik eden su miktarı üretilen güç miktarına göre değişmektedir. Fakat üretilen güç miktarı ne olursa olsun su türbinin devir sayısı hep aynı kalmalıdır. Devir sayısının aynı olması şebeke frekansının ve ünite frekansının da aynı kalmasına neden olur.



Şekil 2.35. Hız regülatörüne ait (kW-Hz) karakteristik eğrisi

Ancak ünitelerin çalışması sırasında yapılan güç değişikliklerinde regülatörün türbin ayar kanatlarını veya türbin düzesi iğnesi ile saptırıcıların açıklıklarını uygun değerlere ayarlaması gerekmektedir. Ayarlamaları yaparken devir sayısında ve frekansta geçici olarak dalgalanmalar meydana gelmektedir.



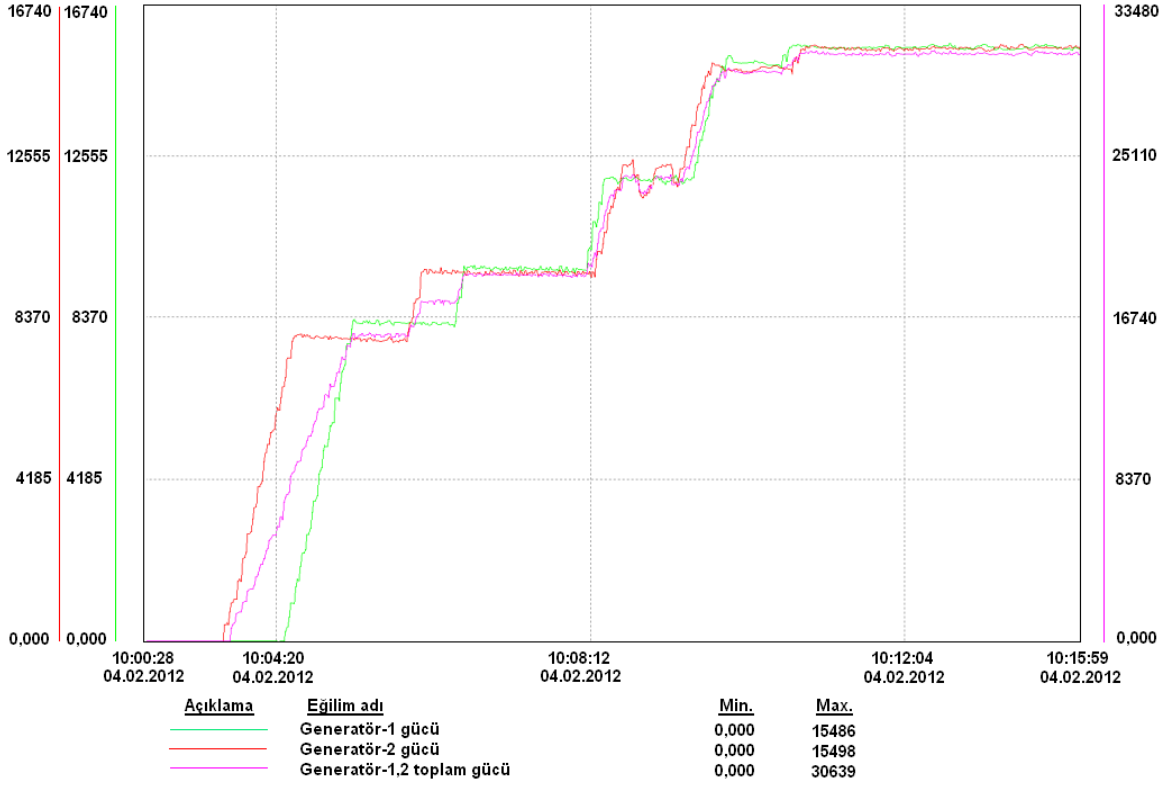
**Şekil 2.36.** Hız regülöründe meydana gelen ani güç değişimlerinin ünite frekansına etkisi

Ünitelerin çalışması sırasında yapılan güç değişikliklerinde türbin hızında ve generatör frekansında hiçbir değişme oluşmamaktadır. Bu durum Şekil 2.36 da görülmektedir.

Sisteme aktarılan güç değişmedikçe ünite frekansı çok az da olsa oluşan dalgalanmalara sistem frekansına yakın seyrederek. Özellikle büyük güçlü santrallerde meydana gelen ani güç değişimleri ünite frekansı üzerinde çok büyük dalgalanmalara neden olur.

#### 2.1.4.5. Paralel Çalışan Türbin-Generatör Ünitelerinin Yük Dağılımı

Paralel çalışan iki türbin-generatör ünitesinin birlikte çalışmasını gösteren grafik Şekil 2.37'deki gibi olsun. Türbin-generatör ünitelerinin besledikleri sistemin frekansı  $f=50$  Hz olduğuna göre ünite-1'in ürettiği enerji G1-P, ünite-2'nin ürettiği enerji G2-P ve sisteme aktarılan enerji ( $\Sigma G-P=G1-P+G2-P$ ) olur.

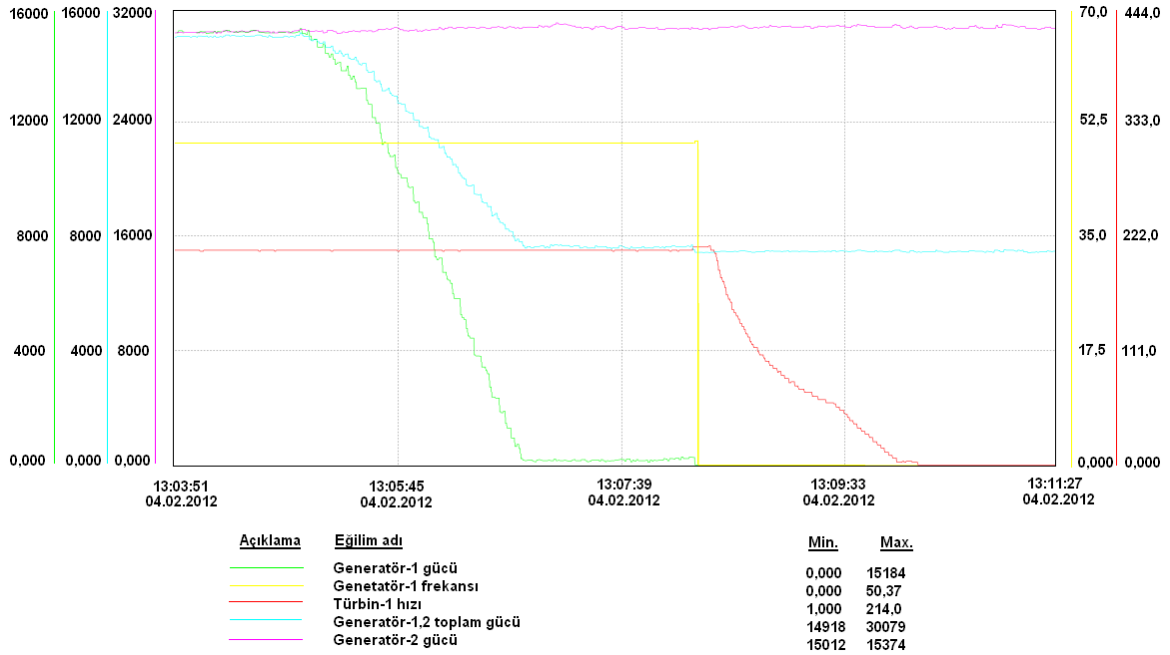


**Şekil 2.37.** Sistemle paralel çalışan iki türbin generatör ünitesinin sisteme etkisi

Sistemle paralel çalışan iki üniteden bir tanesi servis harici edilirken sistem üzerindeki etkileri Şekil 2.38’de incelenmektedir. Servis harici edilen generatör-1 durma işlemini tamamlayabilmek için sisteme aktardığı gücü azaltırız. Böylelikle ünitenin servis harici olması esnasında enterkonnekte sistem üzerinde oluşturacağı etkiyi de azaltmış oluruz. Aksi taktirde bulunduğu bölgede enterkonnekte sisteme direk etki eden bir santralde ünitenin tam kapasite çalışırken aniden enterkonnekte sistemle olan bağlantısı kesilirse bu durum şebeke üzerinde darbelere neden olmakta ve ünitenin kendi içinde türbinin aşırı hıza gitmesine, vibrasyonun artmasına ve ünite ömrünün azalmasına neden olmaktadır.

Enterkonnekte sisteme enerji sağlandığı sürece türbin hızı nominal hızda değildir. Ünite frekansı da nominal hıza bağlı olduğundan şebeke frekansına çok yakın olmalıdır. Ünite çıkış gücü düşürüldükten sonra enterkonnekte sistemden ayrılır. Rotoru fırçalar yardımıyla aktarılan DC uyarım olan ikaz kesilir ve türbin yavaşlamaya başlar. Hıza bağlı olarak ünite frekansı da düşmeye başlar. Türbinin hareketini tamamen durdurabilmek için yaklaşık türbin nominal hızının %10 gibi bir hız değerinde fren sistemi devreye alınarak türbinin dönüşü tamamen durdurulur. Fren sisteminin türbin hızının yavaşlamasıyla

devreye alınmasının nedeni yüksek hızda oluşacak sürtünmeden dolayı fren papuçlarındaki sıcaklığın artması ve hatta yanmasından dolayı oluşacak etkileri önleme çabasıdır.



**Şekil 2.38.** Sistemle paralel çalışan iki türbin generatör ünitesinde birinin servis harici edilmesinden sonra sisteme etkisi

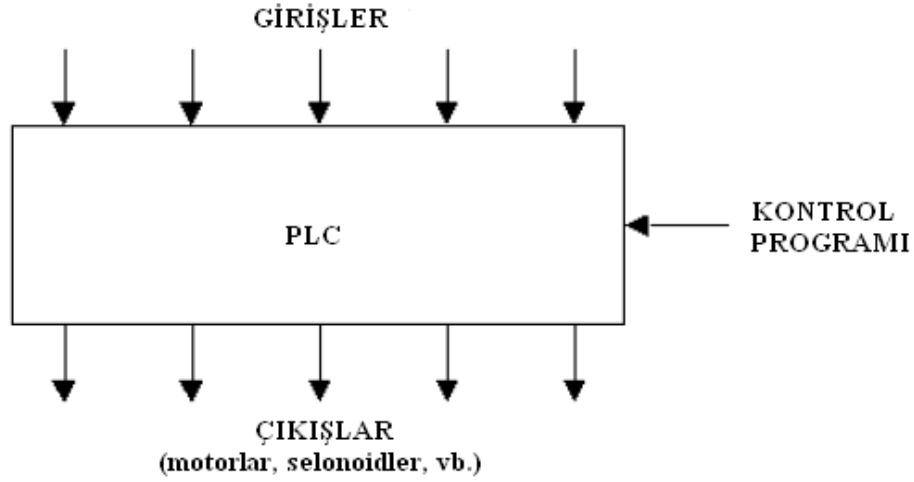
Farklı frekanslarda çalışan iki ünite; yüksek frekansla çalışan ünite diğerinden yük alarak yavaşlamaya ve düşük frekansla çalışan ünite ise yüksek frekansla çalışan üniteye yük vererek hızlanmaya çalışacaktır. Bu yük alışverişi her iki ünite aynı frekansa sahip oluncaya kadar devam edecek ve en sonunda mutlaka denge durumu meydana gelecektir.

### 2.1.5. Regülatör Plc Programı

PLC'ler için uygun bir tanım şu şekilde yapılabilir. PLC'ler; makineleri ve prosesleri kontrol etmek amacıyla lojik, zamanlama, sayma ve aritmetik işlemleri gibi özel fonksiyonları yürütebilen ve emirleri saklamak için programlanabilir hafıza kullanan sayısal bilgisayar kontrollü elektronik cihazlardır. PLC lafi role mantığı ve bilgisayar sisteminden adapte edilmiştir. PLC yapısı mikroişlemciye dayanan karmaşık kontrol sistemine uygulanmış bir çeşit profesyonel bilgisayardır. PLC'yi kullanması çok kolaydır. Bilgisayarı yeni öğrenenler bile program yazıp PLC'yi çalıştırabilir. Genellikle iki çeşit program yazma metodu vardır. Bir tanesi ayrıntılı (bilgisayar programı gibi) program yazma, diğeride eleman ve hat çizerek oluşturulan basamak veya merdiven (Ladder)

program. Değişik role ve devrelerden oluşan bir sistemi kontrol etmedeki çoğu işi bilgisayarda basit bağlantılarla oluşturulan bu ladder diagramı ile yapabiliriz. Bir diğer üçüncü yöntem ise fonksiyon işlemleri ile gerçekleştirilmesidir fakat diğerleri kadar fazla kullanılmazlar (Tianjin, 2009).

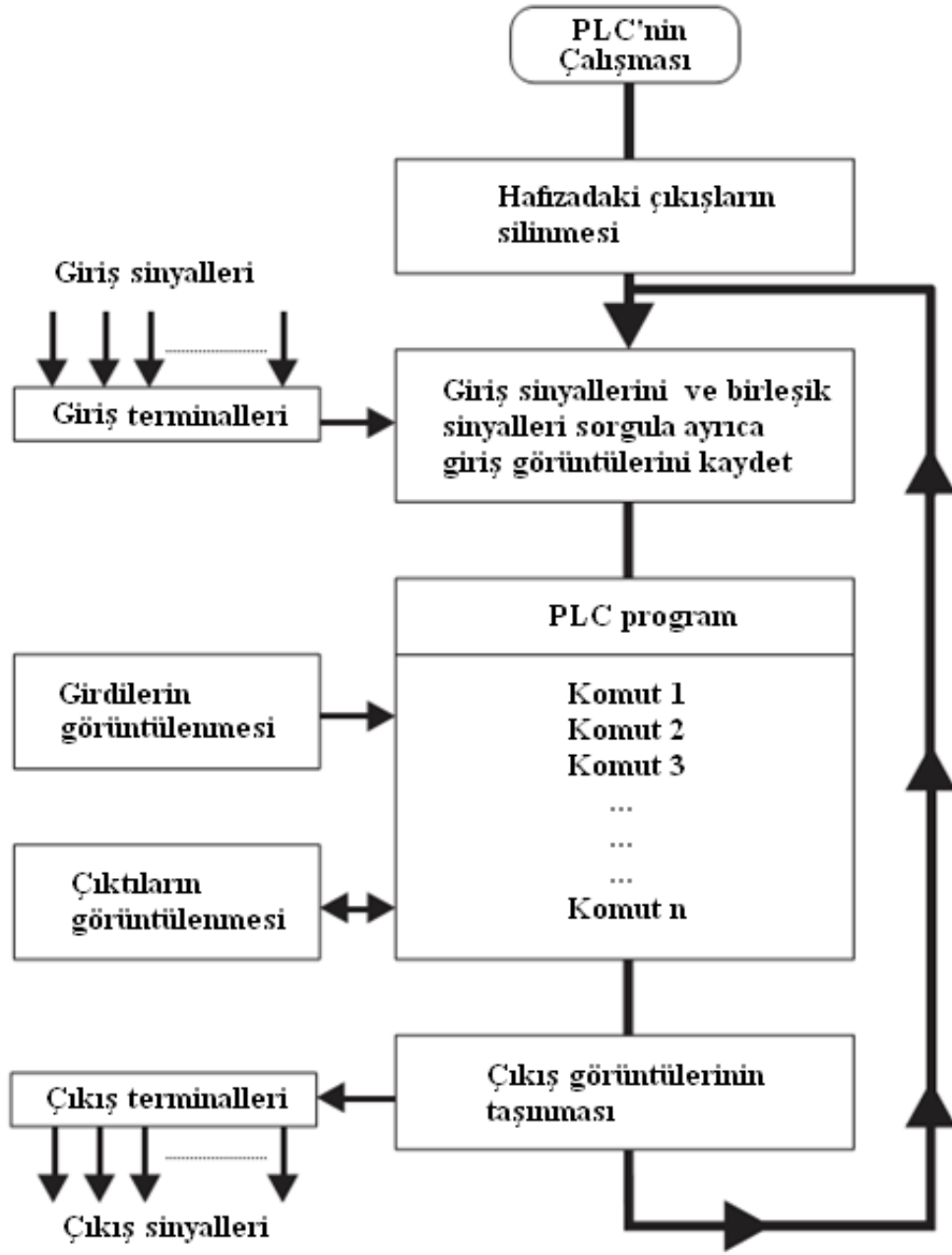
Aşağıdaki Şekil 2.39'da kontrol işleminin nasıl icra edildiği genel olarak verilmiştir.



Şekil 2.39. PLC programına ait basit prensip şeması

#### 2.1.5.1. Plc Kontrol İşleminin Çalışma Prensibi

Bütün PLC işletim sistemleri görüntü belleğine kaydedilmiş giriş ve çıkışların lojik değerlerini tarayarak merdiven programını icra ederler. Öncelikle işletim sistemi tüm girişleri tarar. Daha sonra kullanıcının yazmış olduğu program icra edilir. Son olarak çıkışlar taranarak icra edilen program sonuçları ve girişlerin durumuna göre anahtarlanır. Program and, or, not vb. Fonksiyonları içerebilir veya sayma , zamanlama, matematiksel fonksiyonlar ve değişik fonksiyonları içerebilir. Şekil 2.40. ta PLC programının çalışma prensibi hakkında bir akış şeması oluşturulmuştur.



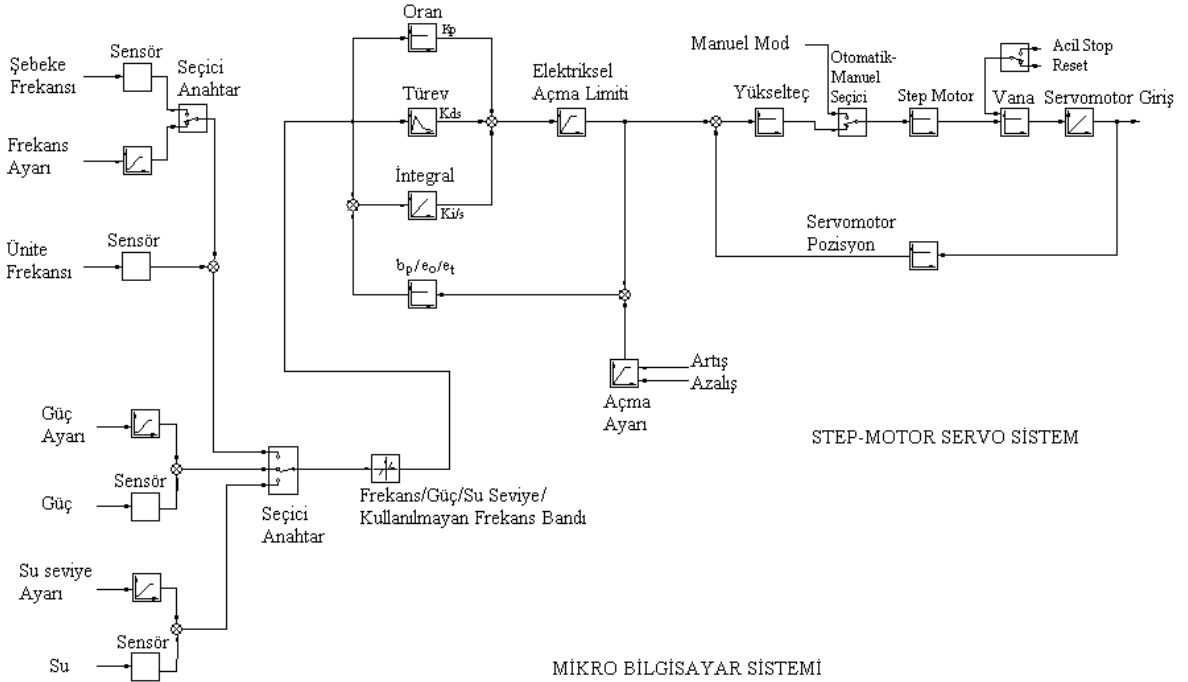
Şekil 2.40. PLC programın çalışma prensibi(Tianjin, 2009)

### 2.1.5.2. Regülatör Sisteminin Fonksiyonel Blok Diyagramı

Regülatör sistemi çalışmaya başlamadan şebeke frekansının önceden sistem parametrelerine elle girilmiş olan değerler arasında olup olmadığını kontrol eder. Eğer şebeke frekans değerinde bir sorun varsa şebeke frekansı düzelinceye kadar bekler. Uygun frekans değeri oluştuğundan sonra türbin frekansını şebeke frekansına eşitler.

Sisteme girilen güç değerini üretebilmek için güç kontrolünü gerçekleştirir ve bu üretimleri istenilen su seviyesi aralığında gerçekleştirir.

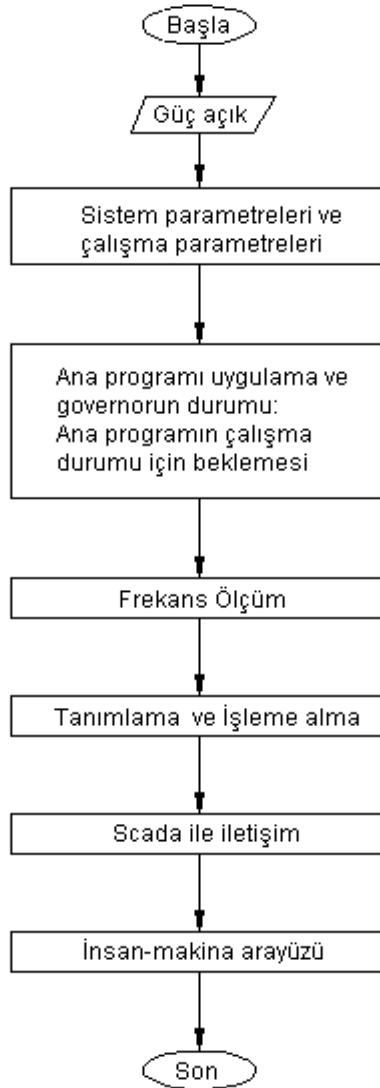
Regülatör sistemi bu verileri sürekli kontrol ederek uygun ve istenilen çalışma şartlarının sağlanması için ayar kanatlarının kontrolünü gerçekleştirir. Şekil 2.41. de governor sisteminin fonksiyonel blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.41. Governor sistemin fonksiyonel blok diyagramı

### 2.1.5.3. Regülatör Sistemi Ana Program Akış Şeması

Regülatör sisteminin çalışmasını ana başlıklar altında açıkladığında öncelikli olarak sistem kendini kontrol eder. Daha sonrasında tüm sistemi kontrol eden scada sisteminden kendi durumu için çalışma komutunu bekler. Komut geldikten sonra türbin ve şebeke frekans kontrolünü sağlar. Bu kontrol döngüsünü ünite duruncaya kadar yapmaya devam eder. Scada sistemi ile sürekli iletişim halinde olur.



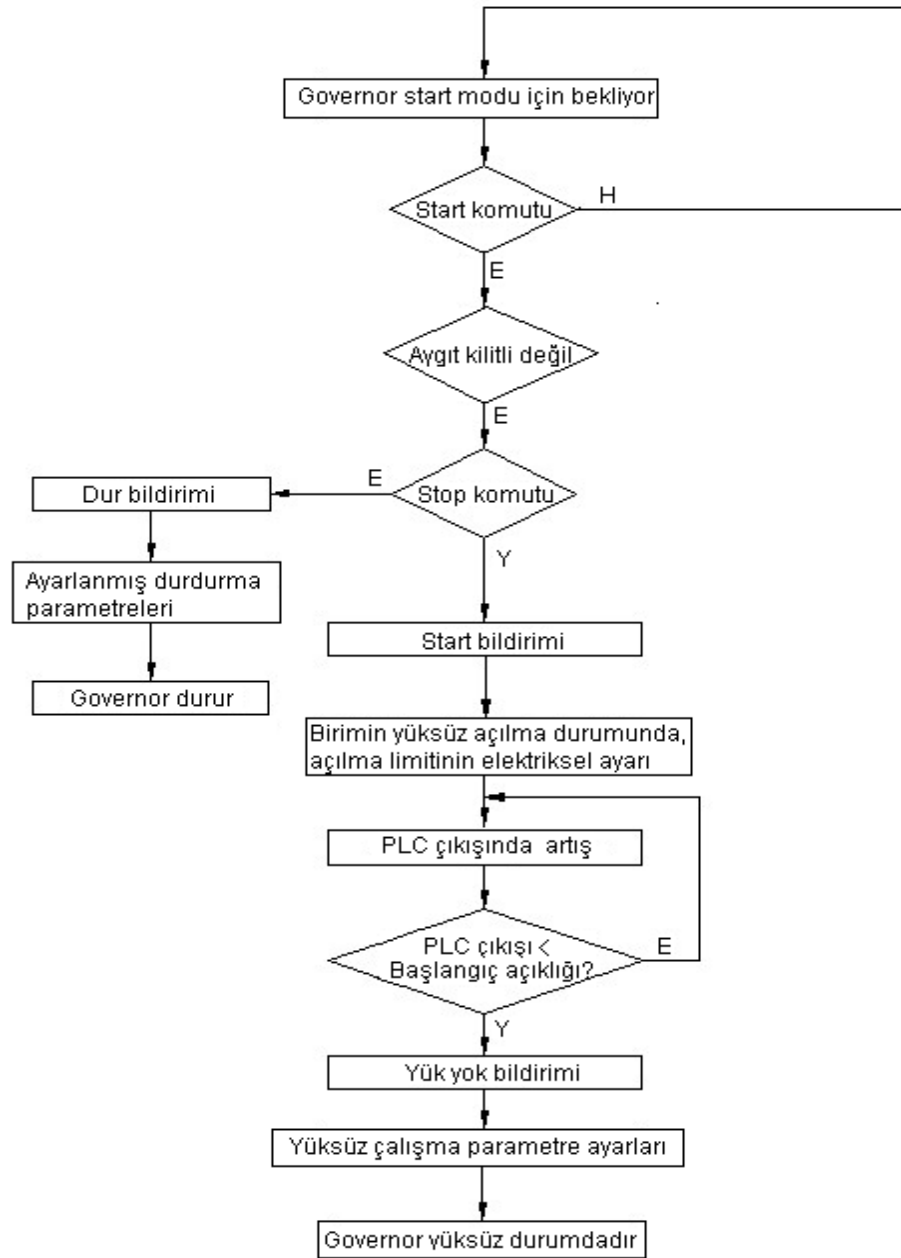
Sistem parametreleri - Stepmotorun döndürme aralığı, Amplifikasyon  
Operasyon parametreleri: Frekans ayarları, orantılı kazanç, tamamlayıcı kazanç, start açıklığı, elektriksel açılma limiti, dönüş hızı, kalıcı eğilim, açıklık arttırma/azaltma hızı

Şekil 2.42. Regülasyon sistemi ana program akış şeması(Tianjin, 2009)



#### 2.1.5.4. Regülatör Sistemi Start Program Akış Şeması

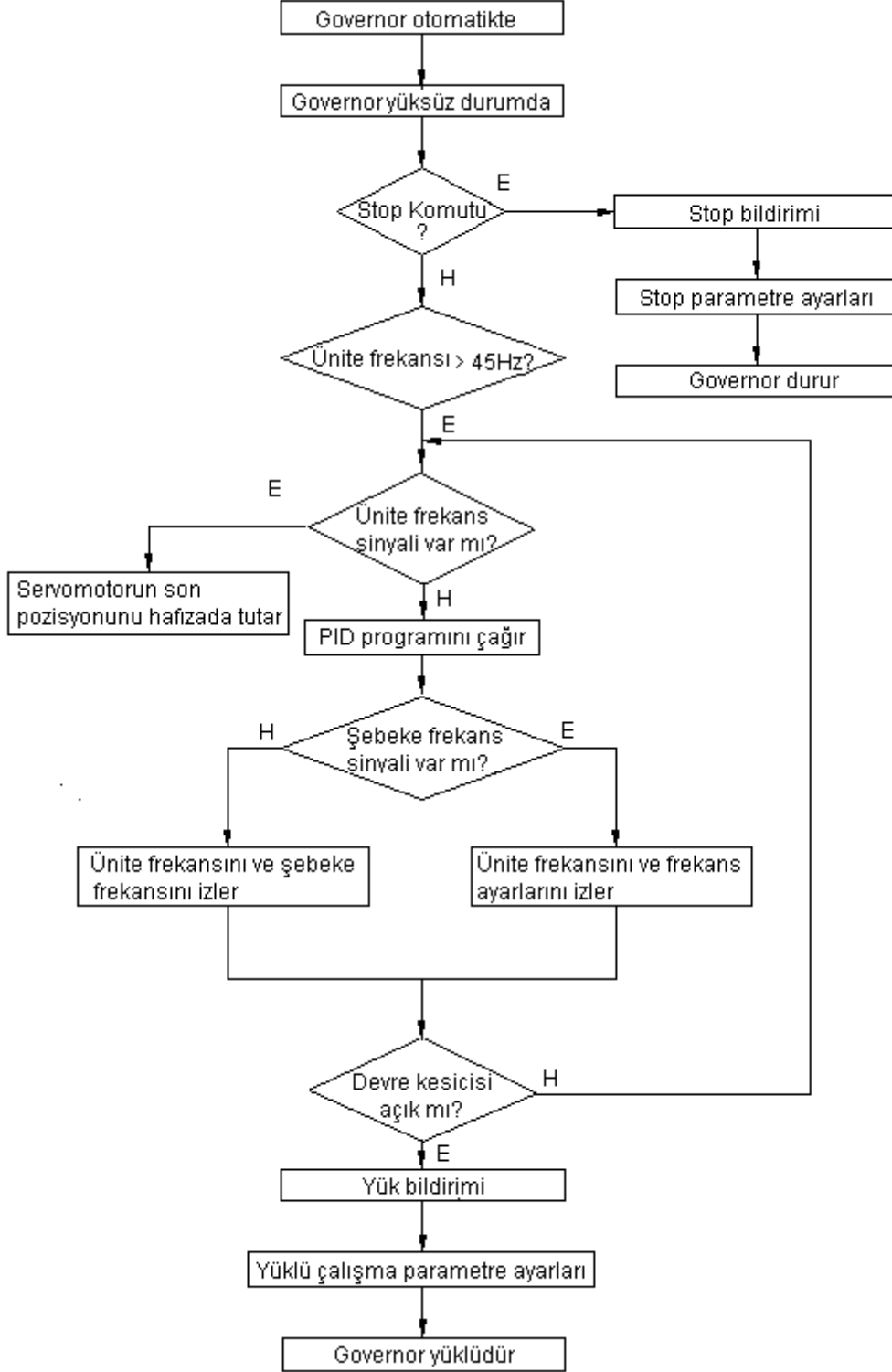
Regülatör sistemi start edilirken sistemin yük altına girmeden kendi içindeki çalışma şartlarını sorunsuz bir şekilde sağlaması gerekmektedir. Start bildirimının geldiği esnada sistem kendini yüksüz olarak nominal hız değerine getirmeye çalışır. Aynı zamanda şebeke frekansına ulaşır. Bu durum sonrasında sistem yük altına girmeye hazırdır. Şekil 2.43. te regülasyon sistemi start programı akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.43. Regülasyon sistemi start programı akış şeması(Tianjin, 2009)

### 2.1.5.5. Regülatör Sistemi Yüksüz Çalışma Program Akış Şeması

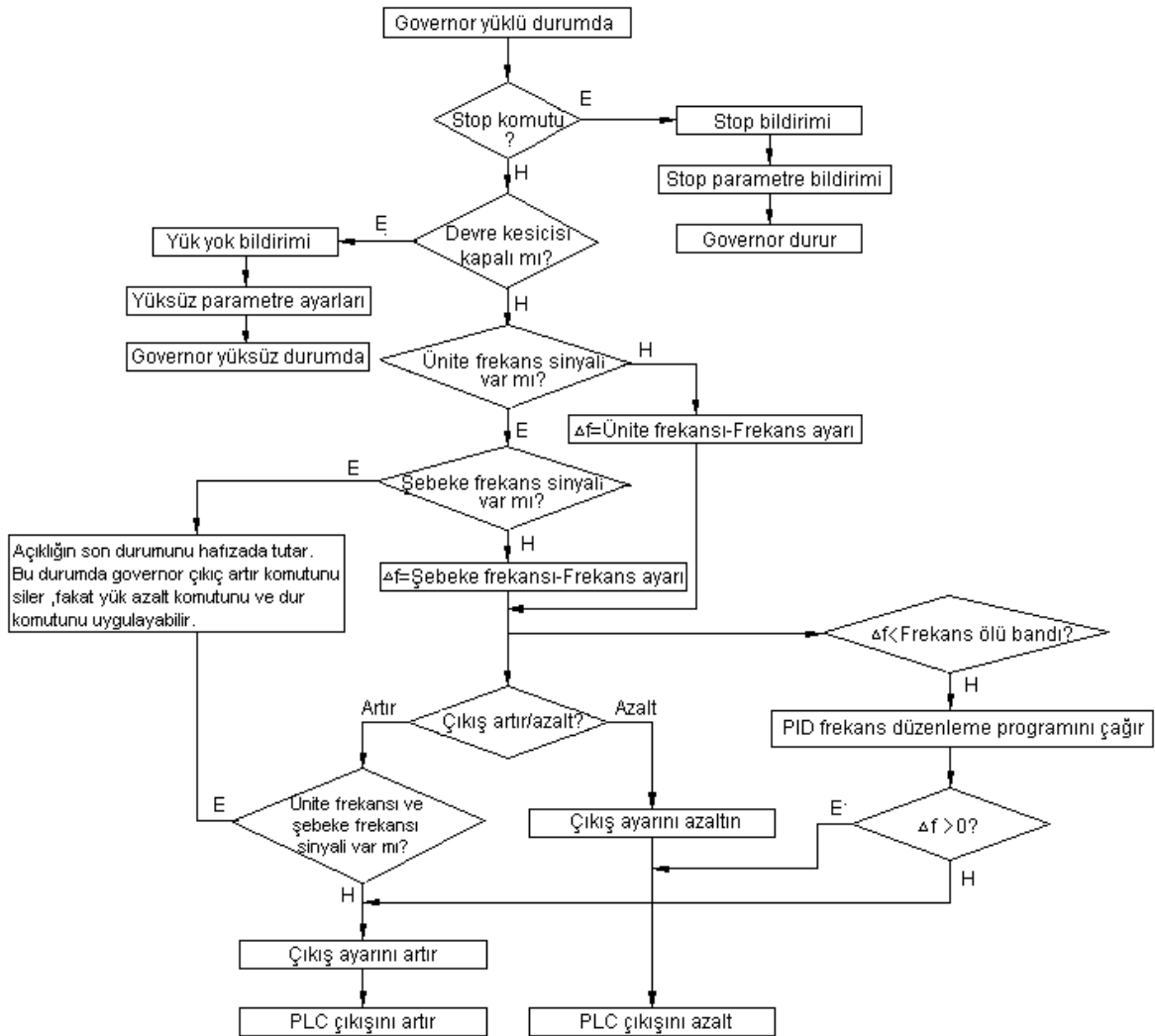
Regülatör sisteminin yük altına girmeden yapmış olduğu son kontrollerin gösterildiği akış şeması Şekil 2.44 te gösterilmiştir.



Şekil 2.44. Regülasyon sistemi yüksüz çalışma programı akış şeması(Tianjin, 2009)

### 2.1.5.6. Regülatör Sistemi Yüklü Çalışma Program Akış Şeması

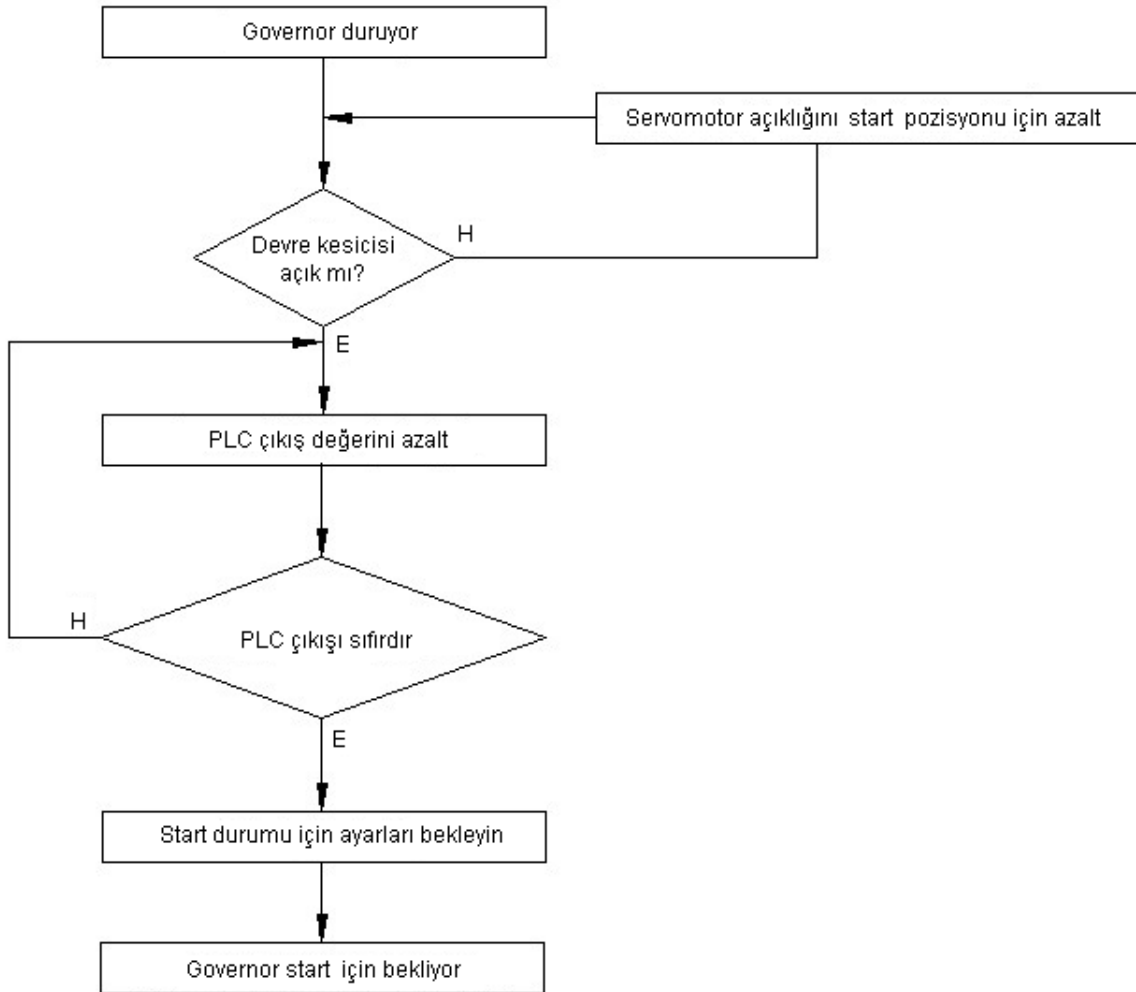
Regülatör sistemi yüksüz çalışma şartlarını tamamladığında yönetici birim olan scada sistemine hazır olduğu bilgisini iletir. Sonrasında scada sistemi tarafından regülatör yüklü duruma geçirilir. Yüklü durumda çalışması esnasında scadadan gelecek komutları, devre kesici bilgisini ve ünite frekans sinyali ile şebeke frekans sinyali karşılaştırmalarını sürekli kontrol eder. Kendini bu durumlara göre ayarlar. Regülasyon sistemi yüklü çalışma programı akış şeması Şekil 2.45. te gösterilmiştir.



Şekil 2.45. Regülasyon sistemi yüklü çalışma programı akış şeması(Tianjin, 2009)

### 2.1.5.7. Regülatör Sistemi Stop Program Akış Şeması

Regülasyon sisteminin durdurulması scada sisteminden gelecek komutla veya kendi panosu üzerinden verilecek acil stop komutuyla gerçekleştirilir. Governora dur komutu geldiğinde sistem kendisini durma şartlarına hazırlar. Bunlar çıkış gücünün MKÜP değerine düşürülmesi, türbinlenen su miktarının azaltılması gibi gelişmelerdir. Bu şartlar sağlandıktan sonra sistem durdurulur ve bir sonraki çalışma için kendisini hazırlar.

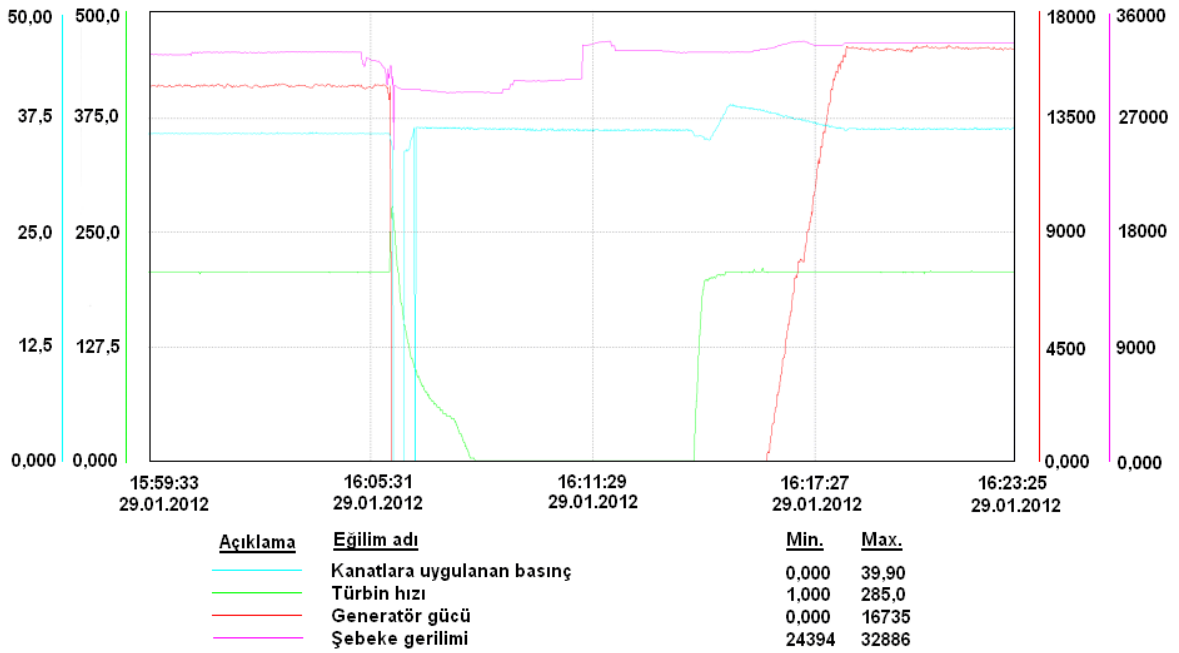


Şekil 2.46. Regülasyon sistemi stop programı akış şeması(Tianjin, 2009)

### 3. BULGULAR

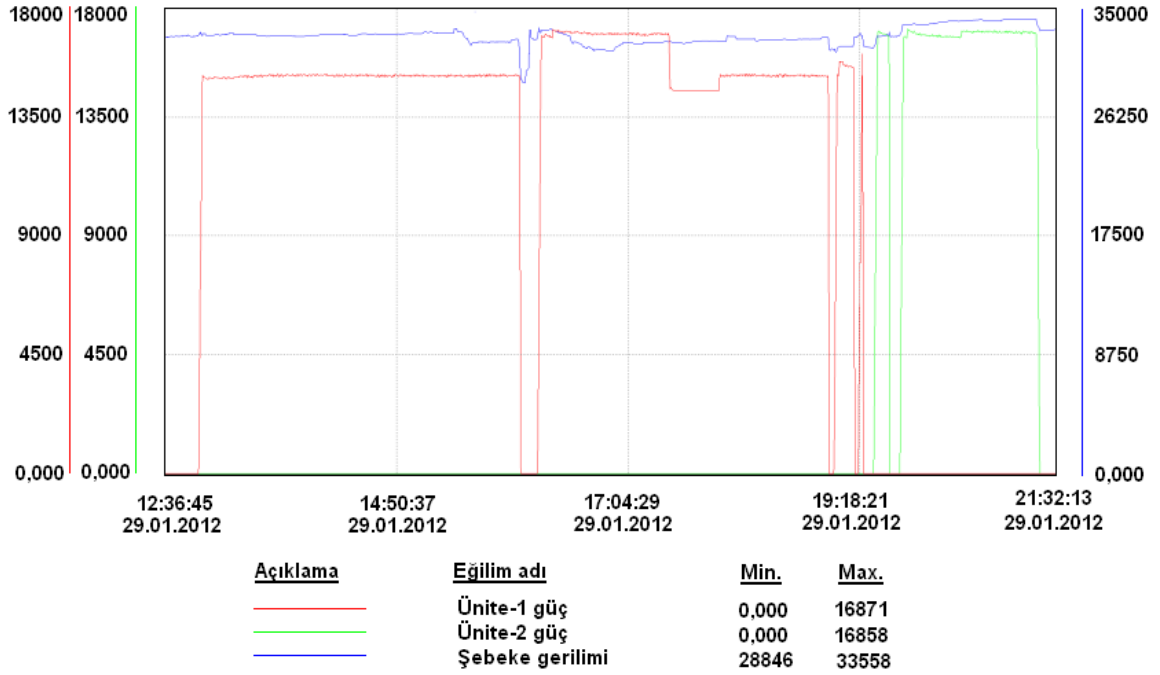
Sistem arızaları ve ünite tepkisi;

Gerimin düştüğü an alternatör bu durumu algılayıp kendini korumaya alarak acil stop a gidiyor. Bu esnada kanatlara uygulanan basınç değişimini grafikten görebiliyoruz. Ayrıca şebeke gerilimindeki düzensizliği de görmüş oluyoruz.



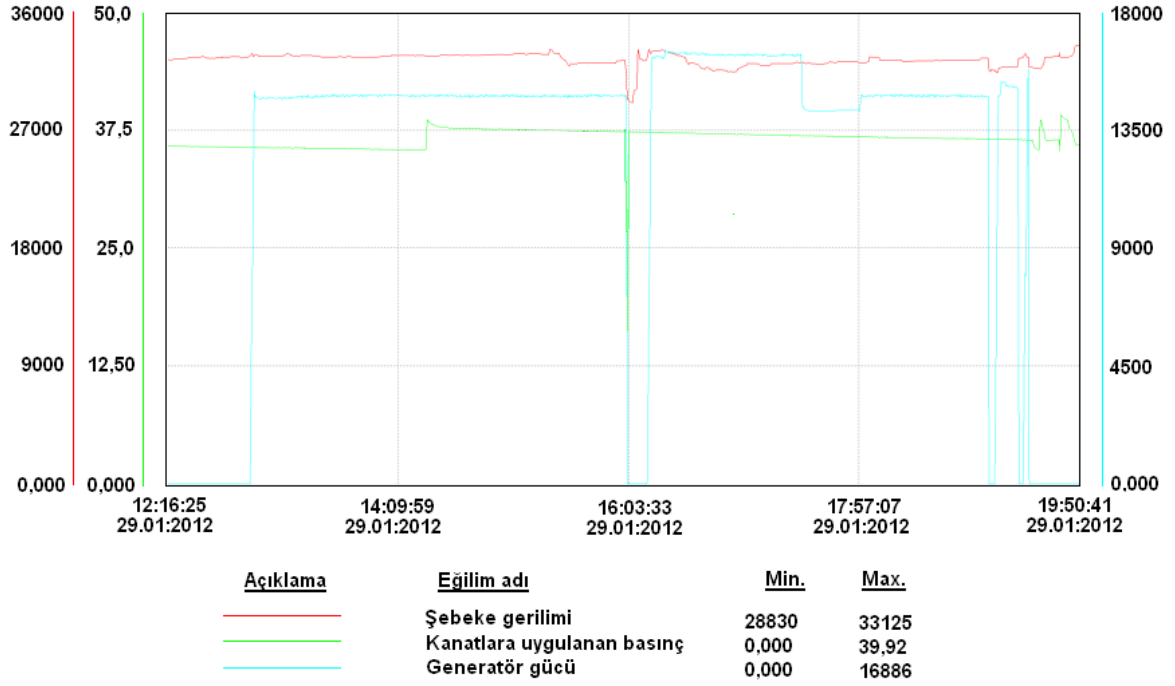
Şekil 3.1. Enterkonnekte sistemde meydana gelen darbe sonucu ünite oluşan tepkimeler.

Şebekeye bağlı büyük ölçekli enerji üretimi yapan santrallerin devreden çıkarılması halinde veya büyük enerji tüketicilerinin sistemden enerji çekmesi sonucu sistem üzerinde meydana gelen değişimleri Şekil 3.2. de görebiliyoruz. Farklı ünitelerin çalışması esnasında şebekede oluşan bu gerilim düşümleri nedeniyle servis harici kalmasını görmüş oluyoruz.



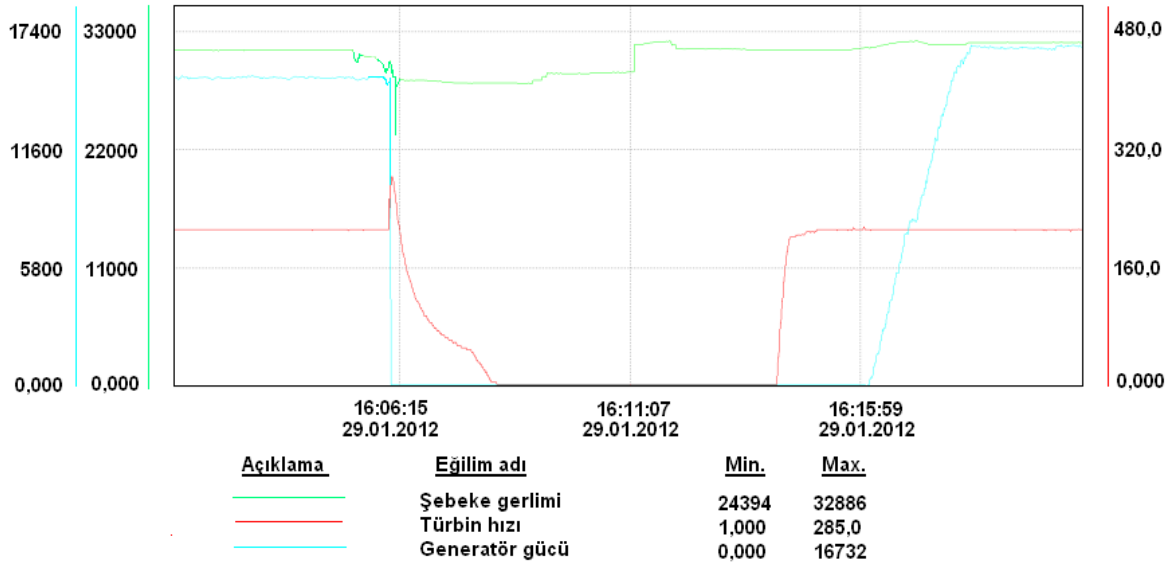
**Şekil 3.2.** Enterkonnekte sistemde meydana gelen darbe sonucu üniterde oluşan tepkimeler.

Şebeke meydana gelen gerilim dalgalanmaları sonucu ünite kesicisi, kesicide yapılan sepam ayarları doğrultusunda kendisini korumaya alarak şebekeden ayrılıyor ve ünite acil stop yaparak servis harici olduğunu Şekil 3.3. de görüyoruz. Bu olay çok kısa sürede gerçekleştiğinden alternatör üzerinde bu yükün ortadan kalkmasına bağlı olarak türbin devri artıyor, gerilim ve frekans istenilen değer üstüne çıkıyor. Bunları normal değerlerine getirmek için sisteme giren suyu azaltmamız gerekmektedir. Kanat açıklıklarının kapatılması için kanatlara uygulanan basınç azaltılıyor.



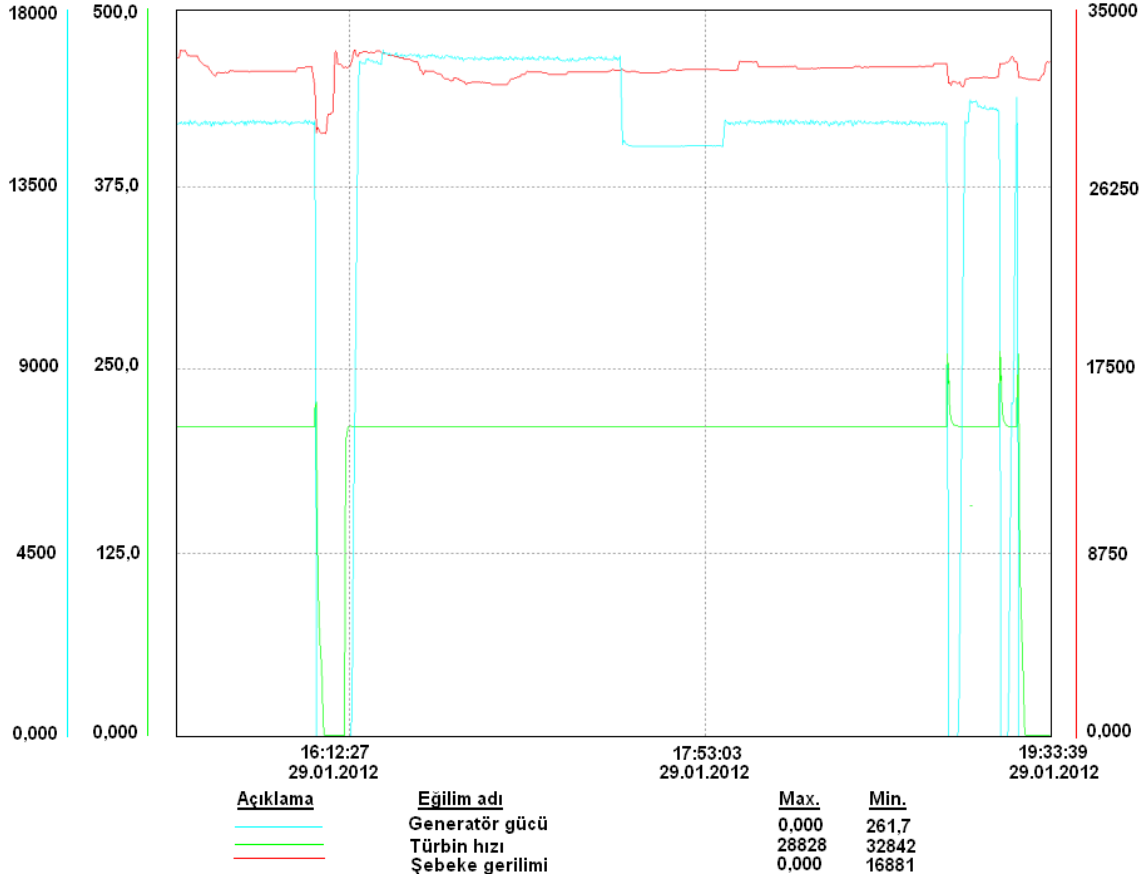
**Şekil 3.3.** Enterkonnekte sistemde meydana gelen darbe sonucu üniterde oluşan tepkimeler.

Ünitenin acil stop anında generatör gücünün anında sıfıra düştüğünü görüyoruz. Ayrıca türbin hızındaki değişimi, yükün ortadan kalkması ile hızlanma ve sonrasında yavaşlama olduğunu Şekil 3.4. de grafikten görebiliyoruz.



**Şekil 3.4.** Generatörün acil stop durumunda tepkimeleri

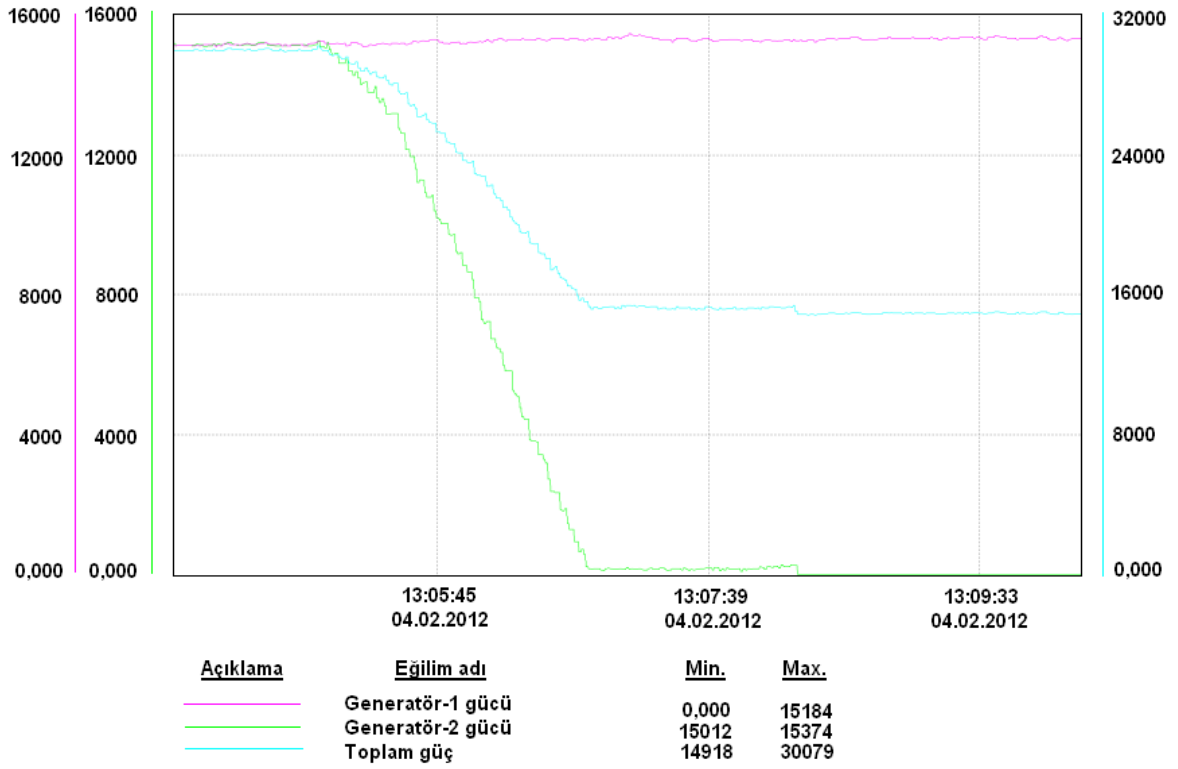
Acil stop anında gücün sıfıra düşmesiyle alternatör üzerinde yükün kalkmasına bağlı olarak türbin devrinin artmasını ve governor ünitesinin kendini korumaya alarak hızının azalmasını Şekil 3.5 teki grafikten görebiliyoruz.



**Şekil 3.5.** Şebeke darbe sonucu gerçekleşen ani gerilim düşmesi ve ünite acil stop tepkimeleri

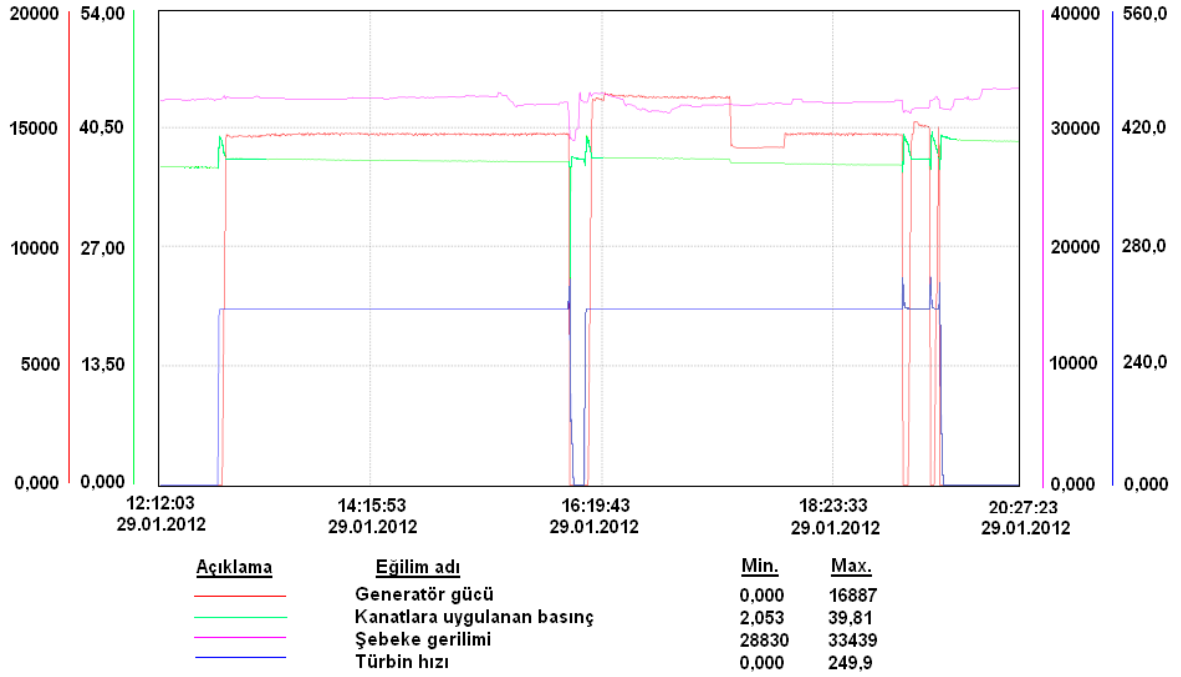
Paralel çalışan iki generatörden birisinin servis harici edilmesiyle birlikte servis harici edilen generatördeki güç değişimi ve şebekeye aktarılan toplam güçte meydana gelen değişimleri Şekil 3. 6. daki grafikten görebiliyoruz.





Şekil 3.6. Paralel çalışan iki üniteden birinin durdurulması sonu gerçekleşen tepkimeler-1

Şebekede meydana gerilim dalgalanması sonucu meydana gelen acil stop ta generatör gücünü, governor tepkisini ve türbin hızını gösteren grafik Şekil 3.7 de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Şebeke geriliminde meydana gelen dalgalanmanın sisteme etkisi-2

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında küçük güçlü HES'te yük frekans kontrolünün nasıl gerçekleştirildiğinin ve 35 MW gücündeki Sefaköy HES santralının enterkonnekte şebekede meydana gelen değişimler karşısında vermiş olduğu tepkiler grafiklerle gösterilmiştir.

HES'lerin kurulmaya başladığı ilk yıllardan itibaren sürekli olarak gelişen PLC sistemi sayesinde santral içerisinde bulunan bir çok sistem daha kolay ve güvenli çalıştırılabilmektedir.

Tez çalışmamda hız regülatörü(governor) sisteminin yapmış olduğu yük-frekans kontrolü plc yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Plc kullanılarak bu kontrol daha esnek bir yapıya kavuşmuştur. Ayrıca sistem üzerinde meydana gelebilecek arıza veya hatalarda sistem kendini korumaya alacak bir yapıya kavuşturulmuştur.

Enterkonnekte sistem üzerinde büyük ölçekli enerji üretimi yapan santrallerin devreden çıkarılması halinde veya büyük enerji tüketicilerinin sistemden enerji çekmesi sonucu sistem üzerinde meydana gelen değişimler scada programı sayesinde incelenmiştir. Bu gibi durumlarda şebeke geriliminin anlık olarak yükselip veya alçaldığını gördük. Anlık yükselip alçalmalar bazı üretim santrallerinde acil stoplara neden olmakta ve üretim santralini servis harici edebilmektedir. Sonuç olarak bozulan şebeke sistemi daha da kararsız bir hale dönüşmektedir.

## 5. ÖNERİLER

Şebeke üzerinde üreticilerden ve tüketicilerden kaynaklanan etkilerin azaltılması için yapılacak bir takım çalışmalar vardır. Üreticilerin yapacağı çalışma, üretebilecekleri enerji miktarını hesaplayıp Türkiye Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi'ne (PMUM) zamanında bildirmeleri gerekmektedir. Ayrıca özellikle büyük güçlü santrallerde üniteler elektrik enerjisi üretirken servis harici edileceği zaman, üretilen enerji kademeli olarak azaltılmalı ve MKÜP değerlerinde durdurulmalıdır. Tüketicilerin yapabileceği, özellikle büyük tüketicilerin (Fabrikalar, Ocaklar, Tesisler) makinalarını servise planlı bir şekilde almaları daha uygun olacaktır.

Elektrik iletim sisteminin güvenilir ve düşük maliyetli bir şekilde planlanması, işletilmesi ve tüketicilere kaliteli, yeterli ve ucuz elektrik enerjisi arz edilmesi olan UCTE, farklı güç sistemlerini senkronize bir şekilde işletmektedir. Bu açıdan UCTE kriterlerine göre üretim santralleri yük-frekans kontrolüne katılırlarsa Türkiye elektrik sisteminin kalitesi daha mükemmel olabilir.

## KAYNAKLAR

- [1]. DEMİRÖREN, A. , ZEYNELGİL, L. 2004. Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı, Kontrolü ve Çalışması, Birsen Yayınevi.
- [2]. BAŞEŞME, H. 2003. Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri.
- [3]. Cebeci M. E. , Karaağaç U. , Tör O. B. , Ertuş A. , 2007, “The Effects of Hydro Power Plants’ Governor Settings on the Stability of Turkish Power System Frequency”, 178-183.
- [4]. Duncan W. , Cline R. , 2002. *Mechanical Governors for Hydroelectric Units*, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
- [5]. IEEE Working Group on Prime Mover and Energy Supply Models for System Dynamic Performance Studies, "Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for System Dynamic Studies", *Trans. On Power Systems*, Vol. 7 No 1, 167-179, Şubat 1992.
- [6]. KUNDUR, P. 1994. Power System Stability and Control, Mc Graw Hill-IEEE.
- [7]. TEİAŞ, 2004. UCTE İşletme El kitabı.
- [8]. “Complementary Studies for the Synchronization of the Turkish Power System with the UCTE Power System”, UCTE, May 2007.
- [9]. OYSAL, Y. , YILMAZ, S. , KÖKLÜKAYA, E. 2004. Elektrik Güç Sistemlerinde Dinamik Bulanık Ağ Tabanlı Bir Yük Frekans Denetleyici Tasarımı.
- [10]. F. R. Schleif AND A. B. Wilbor, July 1966 “The Coordination of Hydraulic Turbine Governors for Power System Operation”, *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol. Pas-85, pp. 750–758.

- [11]. TRIED Tianjin August 2009, Design & Research Institute of Electric Drive.
- [12]. IEEE Committee Report, 1973, "Dynamic Models for Hydro Turbines in Power System Studies", *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*.
- [13]. Güner E., Tor O. B., Altın M., 2008, "Küçük Hidrolik Santrallerin Projelendirilmesinde Dikkat Edilmesi Gereken Bazı Teknik Hususlar, "Bursa, Türkiye.
- [14]. U.A. Bakshi, M.V. Bakshi, 2009. Power System-1.
- [15]. DSİ, 2011., [www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr).
- [16]. Basmacı, E., 2004, Enerji Darboğazı ve Hidroelektrik Santrallerimiz, DSİ Vakfı Yayını.
- [17]. Dursun, Ö., 2003, Çok Küçük Güçlü Santrallerde PLC ile otomatik Kontrol, Elazığ.
- [18]. Öztürk, D., Özdemir, M.T., Cebeci, M., 2004, "Çok Küçük Güçlü Hidroelektrik Santrallerde PLC ile Gerilim ve Frekans Kontrolü ".
- [19]. Hannet, L., Fardanesh, B., Feltes, J., 1994, Field Tests to Validate Hydro Turbine-Governor Model Structure and Parameters.
- [20]. TEİAŞ, 2006 Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği.
- [21]. EPDK, 2010. Elektrik Piyasası Raporu.
- [22]. TEİAŞ, 2007. Elektrik Piyasası.
- [23]. TEİAŞ, 2006. Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği.

- [24]. Rogers, G., 1999, Power System Oscillations, Kluwer Academic Publishers, Springer
- [25]. Elgerd, O.I., 1982, Electric Energy Systems Theory: An Introduction, New York:McGraw-Hill; 2nd edition.
- [26]. TMMOB, 1999. Türkiye II. Enerji Sempozyumu Notları.
- [27]. PADIYAR, K.R. 1996. Power System Dynamics, Stability and Control, Wiley and Sons.
- [28]. Demirhan, A. Y., 2006, Küçük Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [29]. Cebeci, M.E., Tör, O.B., Yılmaz, O., Nadar, A., Güner, E., Nehir-Tipi Hidroelektrik Santrallerin Kararlı ve Güvenli Çalışma Sınırları Belirleyen Faktörler
- [30]. BAŞEŞME, H. 2003 “Hidroelektrik santraller ve hidroelektrik santral tesisleri”, geliştirilmiş ve genişletilmiş ikinci baskı, Ankara.
- [31]. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2004 <http://www.eie.gov.tr/YEK.html>.

## ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Elazığ'da doğdum. İlköğrenimimi Alpdoğan İlköğretim Okulunda, ortaokulu Yunus Emre İlköğrenim Okulunda, liseyi Fatih Lisesinde tamamladım. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandım. 2008 yılında aynı bölümden Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak mezun oldum. Vatani görevimi yedek subay olarak Kırklareli'de tamamladım. 2009 yılında başladığım Gülsan Şirketler Grubu firmasında 2012 sonuna kadar Sefaköy Barajı ve HES'te işletme müdür yardımcısı olarak görev yaptım. 2012 sonunda başladığım Eksim Yatırım HOLDİNG firmasında Uzundere1 Regülatörü ve HES'te işletme müdürü olarak çalışmaya devam ediyorum. 2011 yılında Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladım. Evli ve bir çocuk babasıyım.