

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİDROELEKTRİK SANTRALLERDEKİ HIZ REGÜLATÖRÜ SİSTEMİNİN
GÜVENİRLİK ANALİZİ**

MERVE BALCI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KONTROL ve OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONTROL ve OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD.DOÇ. DR. ÖZGÜR TURAY KAYMAKÇI**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİDROELEKTRİK SANTRALLERDEKİ HIZ REGÜLATÖRÜ SİSTEMİNİN
GÜVENİRLİK ANALİZİ**

Merve BALCI tarafından hazırlanan tez çalışması 13/08/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Recep YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında hidroelektrik enerji üretim tesislerinde kritik öneme sahip hız regülatörü sistemini talep esnasında hataya düşürebilecek tehlike senaryoları incelenmiş, gerekli değerlendirmeler IEC 61362, IEC 60308, IEEE 1207 standartları ve uzman görüşü referans alınarak belirlenmiştir. Kabul edilemez düzeyde risk doğuracak senaryolar seçilmiş ve bu senaryoların güvenilirlik analizi yapılarak, en kritik risk durumu için emniyet sistemi önerilerinde bulunulmuştur.

Bu tezin hazırlanmasında görüş ve önerileriyle bana yol gösteren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI' ya ve tez çalışmam boyunca güven ve destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Ağustos, 2014

Merve BALCI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Orijinal Katkı.....	6
BÖLÜM 2	
HİDROELEKTRİK SANTRALLER	8
2.1 Çalışma Prensibi	8
2.2 Hidroelektrik Santral Çeşitleri.....	9
2.2.1 Nehir Tipi Santraller	9
2.2.2 Depolamalı Santraller.....	10
2.3 Hidroelektrik Santrallerin Ana Bölümleri	10
2.4 Regülatör Sistemi	13
2.4.1 Regülatör Kontrol Sistemi.....	14
2.4.1.1 Hız Hatası	14
2.4.1.2 Regülatör Kontrol Stratejisi	14
2.4.1.3 Hız Sönümlleme	14
2.4.1.4 Primer Frekans Kontrolü	15
2.4.1.5 Ölü Band Aralığı	15

2.4.2	Kontrol Modları.....	16	
2.4.2.1	Konum Kontrol.....	16	
2.4.2.2	Güç Kontrol.....	16	
2.4.2.3	Akış Kontrol	17	
2.4.2.4	Yükleme Havuzu Su Seviyesine Göre Kontrol	17	
2.4.3	Sistemin Elemanları.....	17	
2.4.3.1	Sistemin Çalışma Mekanizması.....	18	
2.5	Basınçlı Yağ Sistemi	19	
BÖLÜM 3			
FONKSİYONEL EMNİYET.....			20
3.1	Fonksiyonel Emniyet Parametreleri	21	
3.2	Risk Analizi	23	
3.3	Güvenirlilik Analizi.....	24	
3.4	Hata Ağacı Analizi (FTA).....	25	
BÖLÜM 4			
HİDROELEKTRİK SANTRALLERDEKİ REGÜLATÖR SİSTEMİNİN GÜVENİRLİK ANALİZİ.....			27
4.1	Sistem Hata Fonksiyonları	27	
4.2	Risk Sonuç Tablosu	38	
4.3	Risk Frekans Ölçekleri Tablosu.....	39	
4.4	Risk Matrisi	40	
4.5	Güvenirlilik Hesaplamaları ve Hata Ağacı Analizleri	42	
4.6	Varsayımlar	52	
BÖLÜM 5			
SONUÇ VE ÖNERİLER.....			53
5.1	Emniyeti Arttırma Yöntemleri.....	53	
5.1.1	Statik Fren Sistemi.....	53	
5.1.2	Aşırı Hız Koruma Ünitesi	57	
KAYNAKLAR.....			60
EK-A			
TDBWT SERİSİ DİJİTAL REGÜLATÖR SİSTEMİ			66
A-1	Sistem Elemanları ve Özellikleri	67	
A-2	Basınçlı Yağ Sistemi Elemanları ve Özellikleri	76	
A-3	Hidrolik Yağın Özellikleri	78	
ÖZGEÇMİŞ.....			83

SİMGE LİSTESİ

§	Amerika Para Birimi
°	Derece
Π _Q	Çevre Şart Çarpanı
μ	Mikron
€	Avrupa Para Birimi
Hz	Hertz
SF ₆	Kükürt Gazı
λ	Hata Oranı
λ _b	Temel Hata Oranı
λ _{DD}	Tehlikeli Saptanabilen Hata Oranı
λ _{DU}	Tehlikeli Saptanamayan Hata Oranı
Ω	Ohm
CO ₂	Karbondioksit Gazı

KISALTMA LİSTESİ

A	Amper
AC	Alternative Current
AD	Analog Dijital
AT	Akım Trafosu
C	Derece
CCW	Counter Clockwise
CPU	Central Processing Unit
CW	Clockwise
DA	Dijital Analog
DC	Doğru Akım
DD	Dangerous Detected Failure
DIN	Deutsches Institut für Normung
DU	Dangerous Undetected Failure
F	Failure (Hata fonksiyonu)
FPMH	Failures Per Million Hours
FTA	Fault Tree Analysis
GWh	Giga Watt Hour
H	Harm
HEPP	Hydro Power Plant
HES	Hidroelektrik Santral
IAEA	International Atomic Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronical Engineers
ISO	International Organization for Standardization
Kgf	Kilogram kuvvet
kVA	Kilovolt Amper
L	Litre
M	Motor
MIL	Military Handbook
mm	Milimetre
Mpa	Milibar

MTTF	Mean Time to Failure
Mwe	Megawatt Elektrik
N	Newton
NAS	National Aerospace Standarts
OREDA	Offshore Reliability Data
PFD _{avg}	Probability Failure on Demand
PLC	Programmable Logic Controller
R	Reliability
RAM	Random Access Memory
ROM	Read-only Memory
RRF	Risk Reduction Factor
RTD	Resistance Temperature Detector
S	Severity
SF	Safe Failure
SIF	Safety Integrated Function
SIL	Safety Integrity Level
SRS	Safety Related System
T	Time
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TI	Time İnterval
TS	Türk Standartları
V	Volt
W	Watt
Yy	Yüzyıl

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 HES prensip şeması	9
Şekil 2. 2 Türbin generatör sistemi	13
Şekil 2. 3 TDBWT hidrolik sistem	18
Şekil 3. 1 Risk analizi gerçekleşme adımları	24
Şekil 3. 2 Hata ağacı analizi gerçekleşme adımları	25
Şekil 3. 3 Hata ağacı analizinde kullanılan semboller	26
Şekil 4. 1 Ana dağıtım valfi hatası hata ağacı	42
Şekil 4. 2 Aşırı hız durumu hata ağacı	43
Şekil 4. 3 Frekans dengelenememe durumu hata ağacı	44
Şekil 4. 4 İstenilen güç seviyesi ayarlanamaması durumu hata ağacı	46
Şekil 4. 5 Servomotorun hata yapması durumu hata ağacı	47
Şekil 4. 6 Step motor hatası hata ağacı	48
Şekil 4. 7 Yağ basıncı yüksek durumu hata ağacı.....	49
Şekil 4. 8 Yağ pompası gürültülü çalışma durumu hata ağacı	50
Şekil 5. 1 Statik fren sistemi	54
Şekil 5. 2 Aşırı hız durumu revize hata ağacı 1	55
Şekil 5. 3 Aşırı hız koruma sistemi.....	57
Şekil 5. 4 Aşırı hız durumu revize hata ağacı 2	58
Şekil A. 1 Hız regülatör sisteminde step motor	68
Şekil A. 2 Elektrohidrolik konverter şematik gösterim	70
Şekil A. 3 Ayar kanadı ve ayar kanadı servomotoru ile hareket iletim kolları ve ayar çemberi prensip şeması	73
Şekil A. 4 Ayar çemberi prensip şeması	74
Şekil A. 5 Kirlilik çeşitleri	79

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1. 1	Kaynaklara göre 2013 yılı Türkiye elektrik üretimi5
Çizelge 3. 1	Emniyet bütünlük seviyeleri25
Çizelge 4. 1	Risk sonuç tablosu38
Çizelge 4. 2	Risk frekans ölçekleri tablosu39
Çizelge 4. 3	Risk matrisi40
Çizelge 4. 4	Risk skor çizelgesi41
Çizelge 4. 5	Ana dağıtım valfi için hesaplamalar43
Çizelge 4. 6	Aşırı hız durumu için hesaplamalar44
Çizelge 4. 7	Frekans dengelenememe durumu için hesaplamalar45
Çizelge 4. 8	Sinyal işleme modülü hata oranı için hesaplamalar46
Çizelge 4. 9	İstenilen güç seviyesi ayarlanamaması durumu için hesaplamalar47
Çizelge 4. 10	Servomotorun hata yapması durumu için hesaplamalar48
Çizelge 4. 11	Step motor hatası için hesaplamalar49
Çizelge 4. 12	Yağ basıncı yüksek durumu için hesaplamalar50
Çizelge 4. 13	Yağ pompası gürültülü çalışma durumu için hesaplamalar51
Çizelge 5. 1	Aşırı hız revize durumu için hesaplamalar56
Çizelge 5. 2	Aşırı hız revize 2 durumu için hesaplamalar59
Çizelge A. 1	Sistemin temel özellikleri66
Çizelge A. 2	Sistemi oluşturan elemanların marka ve modelleri67
Çizelge A. 3	Step motor özellikleri68
Çizelge A. 4	Step motor sürücüsü özellikleri70
Çizelge A. 5	Ana dağıtım valfi özellikleri72
Çizelge A. 6	Kapama valfi hidroliki özellikler72
Çizelge A. 7	Kapama valfi elektriki özellikler73
Çizelge A. 8	Acil durdurma valfi hidroliki özellikler73
Çizelge A. 9	Acil durdurma valfi elektriki özellikler73
Çizelge A. 10	Partikül boyut analizi81
Çizelge A. 11	Sistem tipine göre ISO kirlilik seviyeleri82

HİDROELEKTRİK SANTRALLERDEKİ HIZ REGÜLATÖRÜ SİSTEMİNİN GÜVENİRLİK ANALİZİ

Merve BALCI

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI

Ülkemizin başlıca yenilenebilir enerji kaynağı olan suyu kullanarak enerji üretiminin sağlandığı hidroelektrik santraller; ilk yatırım maliyetleri yüksek gibi görünmekle birlikte, ucuz üretim maliyetli, dışa bağımlılığı olmayan projelerdir. Enerji sistemlerinde güvenilirlik, gelişen teknolojiyle paralel olarak işletmelerin ekonomiklik ve zaman açısından kayıplarının en aza indirgenmesi için önemli faktörlerden biridir. Bu da sistemi oluşturan alt sistemlerin, elemanların güvenilirliği ile ilişkilidir. Bu tez çalışması hidroelektrik santrallerdeki türbin kontrol sistemi bünyesinde bulunan hız regülatörü sisteminin işleyişini, güvenilirlik analizini içermektedir. Ayrıca sistem bünyesinde bulunan en kritik risklere sebebiyet verecek yapılar için emniyet fonksiyonları önerilmiş ve bunlara ait güvenilirlik analizi yapılmıştır.

Bölüm 1’de ülkemizde artan elektrik enerjisi talebinin karşılanmasında hidroelektrik santrallerin önemi ve hidroelektrik santral bünyesinde sistemin işletme sürekliliği için kritik önem taşıyan regülatör sisteminin güvenilirlik analizinin yapılması gerektiği vurgulanmış ve konu ile ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir.

Bölüm 2’de Hidroelektrik santraller, çalışma prensibi, sistemin elemanları ve santral çeşitlerinden bahsedilmiş olup, hız regülatör sistemine türbin kontrol sistemi içerisinde yer verilmiştir. IEC 61362, IEC 60308, IEEE 1207 standartları referans alınarak hız, güç ve frekans kontrolünü sağlayan regülatör sisteminin çalışma ve kontrol modlarına,

sistem işleyişinde hız regülasyon döngüsüne yardımcı olan basınçlı yağ sistemine değinilmiştir.

Bölüm 3’de ise fonksiyonel emniyet kavramı ve ilgili parametreler açıklanmış olup, risk analizi, güvenilirlik analizi yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Bölüm 4’de hidroelektrik santrallerde hız regülatörü sisteminin güvenilirlik açısından değerlendirilmesi IEC 61362, IEC 61508 kapsamında yapılmıştır. Sistem güvenilirlik analizi yapılırken hata ağacı analizi yöntemi kullanılarak, fonksiyonlarının emniyet seviyeleri belirlenmiştir.

Son olarak final bölümünde, yapılan hesaplamalar neticesinde hız regülatör sisteminin hidroelektrik enerji üretim tesisleri için yeterli kabul edilebilecek düzeyde emniyet senaryoları içerdiği fakat generatörün aşırı hıza gitme durumu için en az düzeyde olduğu ve emniyet sistemi önerileriyle bu seviyenin yükseltilebileceği matematiksel olarak kanıtlanmıştır.

Ek-A bölümünde Midilli HES hız regülatör sisteminde yer alan elemanların özellikleri ve yardımcı sistem olan basınçlı yağ sistemi yapısındaki basınçlı hidrolik yağ, yağ depolama tankı, yağın basınçlandırılmasında görev alan pompalar ve diğer ekipmanların özellikleri, arıza nedenleri ve çalışma prensipleri anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidroelektrik santral, hız regülatörü, güvenilirlik analizi, hata ağacı analizi, türbin hız kontrol

ABSTRACT

HYDRO POWER PLANT SPEED GOVERNER SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS

Merve BALCI

Department of Control and Automation Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI

Hydro power plant projects that use our countries primary renewable energy source water, first investment cost is seen as high, however they have been cheap generation cost and foreign independent. Safety for energy systems is one of the important factors for facility's economy and time losses are decreased in view of today's technological conditions. Safety is related with subsystems and equipments safety. This thesis study include speed governing system's operation and reliability analysis in hydro power plant turbine control system. Besides, safety functions has recommended for system's critical risks and reliability analysis have been done.

In Chapter 1, the importance of hydro power plants for increasing electricity demand in our country and speed governing system that has critical importance in plants operation contunity has the reasons for reliability analysis have been highlighted and related studies with the subject has been explained.

In Chapter 2, the basic concepts regarding the hydro power plants are briefly identified, working principle and the types of hydro power plants are defined. Speed governer system has been mentioned in the turbine control system. The control and operation modes regarding the speed, frequency, power governer system have been identified based on IEC 61362, IEC 60308 and IEEE 1207 standards.

In Chapter 3, functional safety concept and related parameters are identified. Risk analysis and reliability analysis methods are evaluated.

In Chapter 4, Speed governor system on hydropower plants reliability analysis have been evaluated based on IEC 61362 and IEC 61508 standards. During the the system reliability analysis, fault tree analysis has been used and integrity levels of the safety functions have been calculated.

Eventually, In final part, as a result of calculations speed governor system safety functions have the required safety level in hydro power energy generation plants but the safety level is minimal level for generator over speed function so this level will be increased with safety instrumented system suggestions.

In Appendix, properties of Midilli HEPP governor system equipments are explained. hydraulic oil and oil tank, oil pressuring pump and the other related equipments for pressure oil system that are auxiliary system for speed governing cycle are identified and the failure causes,working principles are explained.

Keywords: Hydro power plant, speed governor, reliability analysis, fault tree analysis, turbine speed control

1.1 Literatür Özeti

Dünyada sürekli artan nüfus, suya olan ihtiyacın gittikçe artıyor olması, iklim değişikliği gibi nedenler ile dünya üzerindeki su dağılımının değişmesi, kentleşme ve sanayileşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek artması yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi üzerine araştırmalar artmıştır. Her türlü tesisin işletme performansı, sürdürülebilirliği açısından güvenilirlik 21.yy da en önemli kavramlardan biri haline gelmiştir. Bu iki önemli parametrenin birlikte dikkate alındığı literatür çalışmaları gittikçe artmaktadır.

1950' li yıllar elektrik enerjisinin dağıtımı alanındaki güvenilirlik çalışmalarıyla başlamış ve askeri elektronik sanayisinde yoğunlaşmıştır. ABD Milli Savunma Bakanlığı bünyesinde "Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment" A.G.R.E.E. isimli kuruluş oluşturulmuştur. Bu kuruluş yaptığı ilk araştırmalarla, maliyeti 1 \$ olan bir elektronik ürünün, çalışabilmesinin sürekliliği için yılda ortalama 2 \$' lık bir bakım harcaması gerektirdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu önemli çelişki sonrası daha pahalı fakat daha az bakım gerektiren ürünlerin tasarımı fikri gelişmiş ve böylece güvenilirlik olgusu tasarımın bir parçası olarak düşünölmeye başlanmıştır.

1960'lı yıllardaki çalışmalar, sistem güvenilirlik analizleri için yeni yöntemlerin geliştirilmesi doğrultusunda yoğunlaşmıştır. Bileşenlerde meydana gelen arızaların sisteme ve sonucunda çevreye olan yansıması araştırılmıştır. Havacılık ve uzay araştırmaları alanlarındaki çalışmalar nükleer silahlar, füzeler, haberleşme sistemleri,

nükleer santraller ve elektrik enerji sistemleri alanlarında devam etmiş ve bu alanlarda ilk standartlar oluşturulmuştur.

Sonraki yıllarda geliştirilen yöntemlerin nükleer güç santrallerine uyarlanmış; üretilen bir dizi arıza senaryolarının olası sonuçları irdelenmiştir. Bu sırada oluşan "3 mil adası kazası" sonrasında tüm çalışmaların yeniden gözden geçirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Aynı yıllarda başta petrol, kimya, otomotiv ve demiryolu taşımacılığı olmak üzere büyüklü küçüklü çeşitli endüstriyel kuruluşlarda güvenilirlik analizleri yapılmaya başlanmış ve yeni standartların oluşturulması yolunda ciddi adımlar atılmıştır. Diğer taraftan, yürütülen analizlerde kullanılacak bilgilerin önemi kavranmaya başlanmış ve istatistiki bilgi kayıtları gündeme gelmiştir [3].

Güvenirlik analizinin endüstriyel sistemlerde uygulanması yaygınlaştıkça, programlanabilir elektronik emniyetle ilgili sistemler için emniyet uygulamalarının referanslarının belirlendiği 1998-2000 yılları arasında yayınlanan IEC 61508 şemsiye standardı oluşturulmuş olup, zamanla farklı alanlar için detaylı standartlar geliştirilmiştir [4].

Fonksiyonel emniyet sistemlerinde parametreler ve emniyet çevrimi oluşturulmasında William Goble 'nin "Safety Instrumented Systems Verification: Practical Probabilistic Calculations" kitabı temel teşkil etmektedir [25].

Güvenirlik analizinde hesaplamalar yapılırken riskleri ve emniyet seviyesi değerlendirilen sistemlerin arıza kayıt istatistiklerine göre belirlenemeyen hata oranları için deniz altında veya üstündeki enerji üretim, sondaj tesisleri ekipmanları üzerine 1984 yılında yayınlanmış ve 1992 ve 1997, 2002 yıllarında revize versiyonları geliştirilmiş OREDA kataloğu, reaktör araştırmaları ve nükleer santraller baz alınarak hazırlanan IAEA kataloğu ve elektronik ekipmanların hata oranlarını içeren MIL kataloğu değerleri referans alınmaktadır [49], [51].

Literatürde, temel olarak güç sistemlerinin dinamik karakteristiklerinin incelenerek nükleer, termik, rüzgar gibi çeşitli elektrik enerjisi üretim kaynaklarının kullanıldığı tesislerin güvenilirlik analizleri yapıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur. Örneğin, Mihael Perman, Andrej Senegaenik, Matija Tuma'nın (1997), "Semi-Markov Models with an

Application to Power-Plant Reliability Analysis” makalesinde güç santrallerinde güvenilirlik analizine weibull dağılımı kullanılarak markov modeli modeliyle yaklaşılmıştır. Yu Yu, Jiejuan Tong, Ruichang Zhao ve Aling Zhang (2009), “Reliability Analysis for Continuous Operation System in Nuclear Power Plant” çalışmalarında nükleer santrallerde işletmenin dinamiklerini belirlemiş, monte carlo simülasyonu ve hata ağacı yöntemleriyle güvenilirlik analizini gerçekleştirmişlerdir. Farshad Khosravi , Naziha Ahmad Azli, Ebrahim Babaei (2010), “A New Modeling Method for Reliability Evaluation of Thermal Power Plants” adlı makalede termik santrallerin tüm bölümlerinde güvenilirlik endeksi yaklaşımında bulunmuşlardır. “Probabilistic Wind Energy Modeling in Electric Generation System Reliability Assessment” isimli makalede Yi Zhang, A.A. Chowdhury ve D.O. Koval (2010), rüzgar enerjisi üretim tesislerinin şebekeye entegrasyonunda farklı stokastik karakteristikleri araştırmışlardır.

Levent Kılıç ve Ayşen Basa Ersoy’un (2013), “A Reliability Study Of Medium Voltage Grid With Private Sector Power Plants” isimli çalışmada sayıları gittikçe artan özel sektöre ait enerji üretim tesislerinin orta gerilim seviyesinden enterkonnekte sisteme bağlantısının şebekeye etkileri açısından güvenilirlik analizi yapılmıştır.

Hidroelektrik Santrallein temel yapısı ve hız regülasyon sistemi için Hidayet Başeşme’nin (2003), “Hidroelektrik Santrallar ve Hidroelektrik Santral tesisleri” isimli kitabı temel teşkil etmektedir. Ayrıca literatürde su kaynaklı enerji üretim tesisleri ile ilgili olarak hidroelektrik santrallerin modellenmesi ve hız regülasyon sistemleri yardımıyla frekans kontrolünün yapılması ile ilgili çalışmalara ağırlık verilmiştir. P. Nelson Vinotha Kumar Xavier, S. Muthukumar (2010), “Frequency Regulation By Free Governor Mode of Operation in Power Stations” adlı makalelerinde güç sistemi elemanlarından regülatör sistemini çalışma karakteristikleri ve frekans kontrol modları konusunda incelemede bulunup hız, kontrolör ve valf korelasyonunun simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Martin Gustafsson’a ait (2013), “Improved Governing of Kaplan Turbine Hydropower Plants Operating Island Grids” konulu yüksek lisans tezinde ada modunda çalışmada kaplan türbinin frekans kontrolünü geliştirmek amaçlanmıştır [12], [17], [13].

Hidroelektrik güç santrallerinin güvenilirlik açısından incelenmesi konusunda kararlılık ve güvenli çalışma sınırlarını belirleyen faktörlerin değerlendirildiği makale çalışmaları yer almaktadır. R. A. Naghizadeh, S. Jazebi, B. Vahidi (2012), "Modeling Hydro Power Plants and Tuning Hydro Governors as an Educational Guideline" adlı makalelerinde hidroelektrik güç sistemlerini ve türbin hız regülatörü sistemlerini modellemiş ve modeller arasında karşılaştırma yapmışlardır. Mahmut Erkut Cebeci, Ulaş Karaağaç, Osman Bülent Tör, Arif Ertaş'ın (2006) "The Effects of hydro power Plants' governer Settings on the Stability Hydro Power Plant's Governer Settings on the Stability of Turkish Power System Frequency" konulu makalesinde büyük hidroelektrik santrallerin kararlı çalışmasında frekans sönüm performansının etkileri araştırılmıştır. Bunun yanısıra nehir tipi hidroelektrik santral ünitesinin kararlı ve güvenli çalışması için sınırlandırılması gereken cebri-boru aşırı basınç artışına ve türbin aşırı hızlanmasına etki eden faktörler ve önlemler belirlendiği Mahmut Erkut Cebeci, Osman Bülent Tör ,Oğuz Yılmaz, Abdullah Nadar, Erdoğan Güner'in (2007), "Nehir-Tipi Hidroelektrik Santrallerin Kararlı ve Güvenli Çalışma Sınırlarını Belirleyen Faktörler" makalesi ve gibi değerli çalışmalar literatürde yer almaktadır. Charles R. Rutan'ın (2003), "Turbine Overspeed Trip Protection" konulu makalesinde enerji üretim tesislerinin güvenli çalışmasının sürdürülebilirliği için en önemli faktörlerden olan türbin aşırı hıza gitme durumu, etkileri standartlar kapsamında incelenmiş ve sistemi koruma için önerilerde bulunulmuştur. Bu örnek çalışmalardan gördüğümüz üzere literatürde farklı kaynaklı enerji üretim sistemlerinin ve enerji iletim sisteminin güvenilirlik analiz ve değerlendirilmesi üzerine eğilinmiştir. Hidroelektrik santrallerin güvenilirlik analizi üzerine çalışmalar olmakla birlikte hız regülatör sisteminin frekans kontrolü görevi üzerinde durulmuş, sistemlerin modellenmesi ve kararlılığı konularına ağırlık verilmiştir. 17 August 2009 tarihinde Rusya'da yer alan Sayano Shushenskaya barajında ünitenin regülatör sisteminin yağ pompası bozuk olduğu için şebekeden istenilen değişime hızlı cevap verememesi, ünitenin yük atıp aşırı hıza gitmesi durumunda 75 kişinin can kaybı ve 6400 MW'lık bir santralin neredeyse tamamen tahrip olmasıyla sonuçlanan bir felaket gerçekleşmiştir. Yakın zamanda gerçekleşmiş bu olay, hidroelektrik santrallerde regülatör sistemlerinin kritik bir önem arz ettiğini ve

literatürde hız regülatör sisteminin türbin generatör sistemi ile etkileşimini dikkate alarak güvenilirlik analizi çalışmalarının gerekliliğini gösteren iyi bir örnektir [19], [64].

1.2 Tezin Amacı

Ülkemizin sosyal ekonomik gelişme düzeyinin ve nüfusunun artması, sanayileşme, kentleşme, teknolojik gelişmişlik gibi sosyo-ekonomik fatörlere bağlı olarak enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. TEİAŞ'ın 2013 yılı enerji verilerine göre, enerji ihtiyacını karşılayabilmek için üretimde doğalgaz ve kömür kaynaklarının kullanımı elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık %70 lik bir bölümünü oluşturmaktadır. Kömür rezervlerin giderek azalması ve çevre kirliliğine olumsuz etkilerinin yüksek olması, doğalgaz temininin dışa bağımlılığı arttırması ve ülke ekonomisine maliyetinin yüksek olması nedeniyle, ülkemizin enerji ihtiyacının bir kısmını karşılayabilmek için yenilenebilir ve çevre kirliliği yaratmayan, ülkemizin hem bugünü hem de yarını dikkate alan yerli su kaynaklarımızdaki hidroelektrik potansiyelden yararlanmak, ortalama yağışlı bir yıl için 130 milyar kWh olan akarsularımızın hidroelektrik potansiyelinin tamamını değerlendirmek kaçınılmaz bir durum haline gelmektedir.

2013 yılı Türkiye elektrik üretimi 239.308,1 GWh, tüketim ise 245.501,6 GWh olarak gerçekleşmiştir. Üretilen enerjinin %25 seviyelerinde hidroelektrik santrallerden sağlandığı Çizelge 1.1'de görülmektedir.

Çizelge 1. 1 Kaynaklara göre 2013 yılı Türkiye elektrik üretimi

Kaynaklar	Üretim (GWh)	Katkı %
Kömür	60.844.089,0	25,4%
Doğalgaz+Lng	104.835.049,2	43,8%
Hidrolik	59.245.767,9	24,8%
Rüzgar	7.517.598,7	3,1%
Yenilenebilir Atık + Jeotermal	1.273.915,3	0,5%
Diğer	5.576.853,0	2,3%
Toplam	239.293.273,0	100,0%

Enerji talebinin zamanında ve kesintisiz olarak karşılanabilmesini teminen hidroelektrik enerji üretim tesislerinin yüksek emniyetli sistemlerden oluşması tesisin faydalı ömrünün uzun olmasını, üretim, verimlilik, güvenilirlik ve emre amadeliliği en üst seviyede tutabilmeyi sağlayacaktır.

Kaliteli bir güç sisteminde, frekansın kabul edilebilir bir aralıkta sabit olması istenilir ve bu amaçla hız kontrolü yapılır. Hız regülatörü, hem türbin generatör sisteminin hızının hem de üretilen elektrik enerjisinin güç kontrolünün yapıldığı sistemdir. Buna istinaden hidroelektrik santrallerin işletilmesinde rol alan hız regülatör sistemlerinin emniyet seviyesinin kabul edilebilir düzeye çekilmesi sistemin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca hız regülatör sisteminde oluşacak herhangi bir arıza sebebiyle, ünitenin aşırı hıza gitmesi, parçalanması, şebekeye senkron olamaması gibi enerji üretim sistemini aksatacak birçok risk meydana gelebilecektir.

Bu tez çalışmasında, nehir tipi bir hidroelektrik santraldeki dijital hız regülatör sisteminin, hidroelektrik santraller ile ilgili IEC ve IEEE standartları kapsamında, incelenerek sistemi hataya düşürebilecek hata fonksiyonlarının belirlenmesi, belirlenen hataların güvenli ve tehlikeli olarak sınıflandırılıp, tehlikeye götürecek hataların oluşturabileceği risk senaryolarının hata ağacı yöntemi kullanılarak değerlendirilmesi, kritik risk durumları için sistemin sürdürülebilirliğini koruyarak, işletme performansını yükseltecek emniyet sistemleri önerilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bundan sonraki yapılacak çalışmalar için referans olması amaçlanmaktadır.

1.3 Orijinal Katkı

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, orta ölçekli, nehir tipi bir hidroelektrik santral olan 32.548 MWe kurulu gücündeki Midilli HES'in türbin-generatör sisteminin hız, güç ve frekans kontrolünü sağlayan dijital hız regülatörü (governer), hidroelektrik santrallerin güvenli ve verimli işletilmesinin sürekliliğini sağlamak amacıyla, IEC 61362 "Hidrolik Türbin Kontrol Sistemi Özellikleri", IEC 60308 "Hidrolik Türbin Kontrol Sistemi Test Rehberi" standartları ve benzer hidroelektrik santrallerdeki eski arıza kayıtları kapsamında incelenerek sistemde meydana gelebilecek hatalar, olası nedenleri, gerçekleşmeleri durumunda sistemde oluşabilecek maddi kayıplar, çevreye ve personel

sağlığına gelebilecek zararlar tespit edilmiş, risk fonksiyonları belirlenmiş olup, sistemin emniyet seviyesini arttırıcı emniyet fonksiyonları ortaya konulmuştur. Belirlenen emniyet fonksiyonları için IEC 61508 referansı kapsamında hata ağacı metodu kullanılarak hatayı oluşturabilecek etkenler, ilişkileri değerlendirilmiştir. Hatayı oluşturan faktörlerin hataya düşme oranları uzman görüşüne başvurularak OREDA, MIL, IAEA kataloglarından seçilmiştir. Hata oranları ve hata ağacında belirlenen etken ilişkileri neticesinde analizler ve talepte ortalama hataya düşme olaslıkları hesaplanmış olup, fonksiyonların emniyet seviyeleri belirlenmiştir. Gerçekleşmesi durumunda sistem işleyişine engel olacak, generatör, türbin, elektromekanik ekipmanların hasar göreeği ve hatta tüm santral yapısını tahrip edebilecek, çevredeki insanların yaralanma veya ölüm riskini ortaya çıkarabilecek generatörün aşırı hıza gitmesi fonksiyonu için iki adet alternatif emniyet sistemi önerilmiş olup, önerilen sistemlerin emniyet seviyelerine göre fonksiyonu gerekli emniyet seviyesine ulaştırdığı matematiksel olarak ispatlanmıştır [43], [44], [4], [49], [67], [51].

HİDROELEKTRİK SANTRALLER

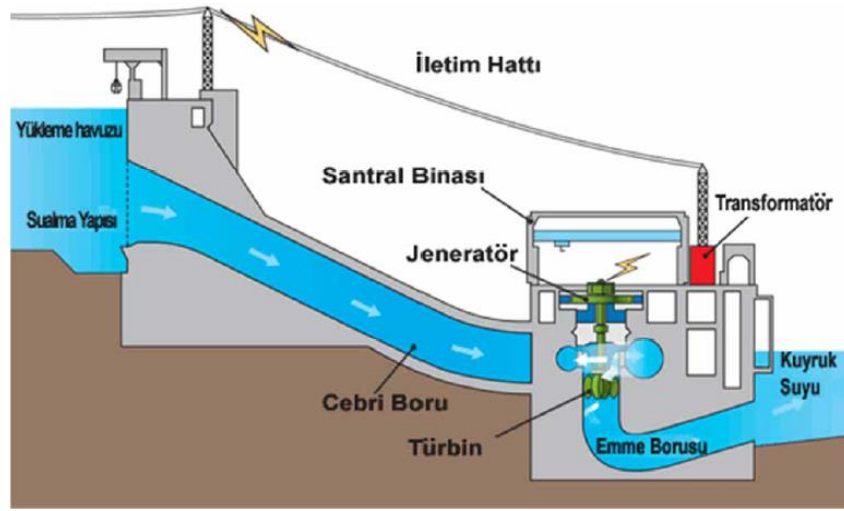
Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle sağlanan bir enerji türüdür. Suyun üst seviyelerden alt seviyelere cebri boru veya kanal yardımıyla düşürülmesi sonucu açığa çıkan kinetik enerji mekanik enerjiye dönüşerek türbin çarklarını döndürmekte ve türbin çarklarına bağlı jeneratör motorunun dönmesi aracılığıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir.

Hidrolik potansiyel, yağış rejimine bağlıdır. Dolayısıyla, hidrolik enerji, iklim şartlarındaki değişimlere karşı hassas bir enerji türüdür. Hidroelektrik santraller, diğer üretim tipleri ile kıyaslandığında en düşük işletme maliyetine, en uzun işletme ömrüne ve en yüksek verime sahip santrallerdir.

2.1 Çalışma Prensipleri

Hidrolik Santraller su değirmeni çalıştırma ilkesine dayandığından savak kapakları ile tutulan su cebri borudan geçirilerek suya düşü kazandırılır ve türbin çarkına çarpan su türbin shaftını döndürerek mekanik enerji üretir. Türbin shaftı direk veya bir dişli sistemi ile jeneratör rotoruna bağlıdır. Jeneratör rotoru üzerinde bulunan sargıların dışarıdan bir doğru akım güç kaynağı ile uyarılması sonucu rotor çevresinde bir manyetik alan doğar. Dönen rotorun etrafında oluşan manyetik alanın stator sargılarının üzerinde indüklenmesi ile stator sargılarında gerilim oluşarak elektrik enerjisi elde edilir. Elde edilen elektrik enerjisinin santral binasında güç dağılımı yapıldıktan sonra trafodan enerji nakil hattına transfer edilir. Ancak, bir su

türbininden su kuvveti yardımıyla enerji üretebilmek için gerekli olan su hızını elde etmek üzere mutlaka bir düşme yüksekliğine (hidrolik düşüye) ve bu su düşüşüne 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. Şekil 2.1’de HES prensip şeması gösterilmiştir (Susuz HES PTD, 2008).



Şekil 2. 1 HES prensip şeması

2.2 Hidroelektrik Santral Çeşitleri

Hidroelektrik santrallar, depolama tipine göre, depolamalı (rezervuarlı) ve nehir tipi (regülatör) olarak tesis edilebilirler.

2.2.1 Nehir Tipi Santraller

Nehir tipi santrallerde akarsuyun üzerine yapılan bir regülatör ile su seviyesi bir miktar kabartılır. Böylece debilerin su alma yapısı tarafından daha kolay alınması sağlanır, hem de bir miktar düşü kazanılmış olur. Bu tip tesislerde debi düzenlemesi olmaz. Santralin üreteceği elektrik enerjisi mevsimlere bağlı havzada bulunan su miktarına bağlı olarak değişir.

Nehir tipi Santrallerin ilk yatırım masrafları düşüktür, işletme ve bakım masrafları azdır. Bu sebeplerden dolayı ürettikleri enerjinin maliyeti düşüktür. Ayrıca temiz havaya

katkıda bulunurlar. Örneğin Midilli Regülatörü ve HES yıllık ürettiği elektrik enerjisi ile 69.468 ton CO₂ salımı engellenmektedir, bir başka deyişle tesis yılda yaklaşık 3,3 milyon ağacın saldığı temiz havaya eşdeğer katkıda bulunmaktadır.

2.2.2 Depolamalı Santraller

Depolamalı sistemde suyun önu bir baraj ile kapatılarak, barajın gerisinde bir rezervuar oluşturulur. Yağışlı sezonda akarsuyun debileri bu rezervuarda biriktirilir. Yağışsız ve kurak sezonda ihtiyaç duyulan su eksiği, birikmiş su hacminden temin edilir böylece üretilen elektrik enerjisini verimli şekilde satışa sunmak mümkün olur.

Barajların en büyük avantajı, debi düzenlemesidir. Depolamalı HES lerde, zaman içinde rastgele bir değişken niteliğinde olan akım, depolama yapılmak suretiyle düzenlenmekte ve bu düzenli debiyle akarsudan elde edilen güvenilir enerji büyük ölçüde artmaktadır. Ayrıca üzerinde inşa edildikleri akarsuyun doğal şartlarda yaratabileceği taşkın tehlikesinin ve taşkınlardan kaynaklanan çok büyük mal ve can kayıplarının azaltmaktadırlar [8].

2.3 Hidroelektrik Santrallerin Ana Bölümleri

Su tutma yapısı: Rezervuarlı santrallerde baraj, kanal tipi santrallerde tünel ya da açık kanal, nehir tipi santrallerde ise regülatör şeklindedir.

Su alma yapısı: İletim yapısına suyun giriş yaptığı ızgaralar, kapak ve kapak açma-kapama mekanizmalarından oluşan yapıdır.

İletim yapısı: Hidroelektrik tesisin işletmede öngörülen debideki suyu trapez, duvarlı, kapalı duvarlı kanal, tünel veya doğrudan cebri borularla iletteği yapıdır. Kanal sonu yükleme havzuna bağlanır.

Cebri boru: Cebri borular, tünel ile türbin salyangozu arasında veya doğrudan doğruya su alma tesisleri ile türbin salyangozu arasında tesis edilen ve genellikle çelik saç levhaların bükölüp kaynak edilmesi ile imal edilen dairesel kesitli iletim tesisleridir. Santralın jeolojik yapısına göre gömölü oldukları gibi, görünür olanları da vardır. Türbin

çarkını çeviren suyun geçişine olanak sağlar. İletim hattı bulunan HES lerde genellikle iletim hattı ile cebri boru arasında yükleme havuzu yapısı bulunur.

Yükleme havuzu: İletim hattından gelen ve burada bulunan su iletim hattında oluşabilecek su seviyesi düşüklüğü durumunda cebri boruda basınç eksikliği oluşmasını engellemek amacıyla dengeleme işlevini yerine getirir.

Salyangoz: Cebri boru sonuna monte edilen, salyangoz biçimindeki basınçlı su haznesi, suyun çarka çevresel olarak ve her bir noktadan eşit debide girmesini sağlar. Çevresel olarak sabit kanatçıkları suya yön verir, açılıp-kapanabilir kanatçıkları ise çarka verilen suyun debisini ayarlar. Çoğu santralda, cebri boru ile salyangoz birleşme noktasında kelebek vanalar bulunur.

Kelebek Vana: Kelebek vanalar çelik döküm malzemelerden veya çelik sac malzemelerin kaynak konstrüksiyonu olarak imal edilirler. Kelebek vanaların açılması basınçlı yağ ile çalışan servomotorlar vasıtası ile ve kapamaları ise, ya bir ağırlık yardımıyla veya basınçlı yağ ile çalışan servomotor vasıtası ile olur.

Kelebek vananın açılabilmesi için giriş ve çıkıştaki basıncın eşitlenmesi gerekir. Eşitlenmenin sağlanabilmesi için baypas vanası teçhizatı konulmuştur. Teçhizat başlatıldığı zaman, baypas vanası otomatik olarak açılır, salyangoz dolar. Salyangoz dolunca basınç eşitlenmiş demektir. Basınç eşitlenince kelebek vana otomatik açılma kumandası alır. Kelebek vana kapama kumandası aldığı zaman ise önce kelebek vana kapanır sonra baypas vana kapanır.

Türbin: Suyun hidrolik akım enerjisini devamlı olarak döner çarklar (rotorlar) yardımı ile mekanik enerjiye çeviren döner (dinamik) hidrolik makinelerdir. Hidrolik türbinlerde türbin rotoru kanatlarının aralıklarından geçirilen suyun basınç enerjisi ile hız enerjisi, dönen türbin rotorunun kanatlarının aralıklarında mekanik enerjiye dönüşürler. Türbin çarkı, türbin shaftı, türbin kapağı, hız regülatör sistemi, basınçlı yağ sistemi, türbin yatağı, soğutma sistemi, kumanda panosu ve yardımcı teçhizattan oluşur. Türbin shaftı, suyun kanatlarına çarparak döndürdüğü türbin çarkı ile generatör rotoru arasında entegre olup generatör rotorunun dönmesini sağlar.

Generatör: Türbin milinden aldığı mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren makinalardır. Generatör rotoru, statoru, yatağı, ikaz, soğutma sistemi, koruma sistemi, kumanda ve işletim sistemi, doğru akım sistemi, kesici ve ayırıcılar ile yardımcı organlardan oluşur.

Stator: Stator nüvesi yüksek kalitede aşınmaz, her iki yüzü ince silisli çelik saçlardan imal edilir. Saçlar daha sonra düzgün bir şekilde dizilir ve her iki ucundan kırlangıç tip civatalarla tutturulur.

Rotor: Kutuplar, rotor çemberi, rotor örümceği, rotor sargısı, sönümlenme sargısından oluşur. Rotor kutup parçaları için yüksek dereceli soğuk işlemden geçmiş ince çelik saçlar basınç altında dizilir ve kırlangıç yada t şeklinde geçmelerle rotor rimine bağlanır. Rotor çemberi üzere yüksek dayanımlı soğuk işlemden geçmiş ince çelik saçlardan imal edilir. Rotor, çok güçlü tesis edilmiş yatak üzerinde sabit hızla döner. Dönüş sayısı, frekans ve kutup sayısı ile doğru orantılıdır.

Generatör yatakları: Taşıyıcı yataklar generatörün dönen kısımlarının ağırlığını ve hidrolik basıncı karşılayacak kapasitede imal edilirler. Genellikle iki parçadan oluşan segmentler halindeki pabuçlar yay yada pivot denen bir mil üzerinde desteklenir. Yatak yağının soğutulması, yatak yağ haznesinin içine monte edilen su soğutucuları ile sağlanır. Genellikle soğutma suyu serpantinleri yağ haznesi içinde bulunur. Motorla tahrik edilen yüksek basınçlı yağ pompaları, boruları ve gerekli kumanda teçhizatı ile birlikte temin edilirler.

İkaz Sistemi: İkaz sistemleri, generatör alan sargıları için gerekli olan doğru akımı sağlar, miktarını düzenler ve tüm güç düzenleyici kontrol ve koruyucu devrelerinden oluşurlar. Hidroelektrik generatörler de aşağıdaki ikaz sistemleri kullanılmaktadır:

- Döner tip ikaz sistemleri (fırçalı veya fırçasız)
- Statik ikaz sistemleri

Fren sistemi: Fren sistemi, generatör nominal hızının yaklaşık olarak % 30 kadarı olan bir hızdan itibaren 5 dakika içinde durabilecek şekilde boyutlandırılır.

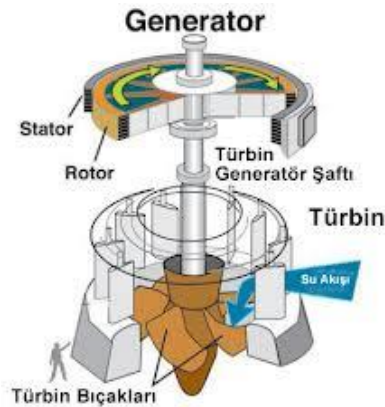
Kontrol Sistemi: Otomatik işletme için gerekli olan sensörleri, tahrik mekanizmalarını ve otomasyon ünitelerini bulunduran sistemdir. Günümüz kontrol sistemleri ile üniteleri lokal olarak veya bir kontrol odasından işletmek mümkündür. Kontrol odasında scada ekranından santralin bütün bölümleri izlenebilir ve bütün temel kontrol fonksiyonları bilgisayar klavyesinden gerçekleştirilir.

Transformatör: Elektromanyetik endüksiyon yolu ile elektrik enerjisini, aynı frekansta fakat farklı gerilim ve akımda, bir veya birkaç devreye dönüştüren ve statik bir makinedir. Genellikle elektriğin iletim ve dağıtım aşamalarında, elektriğin üretildiği santrallerde generatör gerilimini yükseltmek için kullanılır.

Şalt alanı: Transformatörlerden çıkan yüksek gerilimli enerjinin iletim hatlarına bağlantı noktasıdır. Kesiciler, ayırıcılar, topraklama sistemi, koruma sistemi, basınç sistemi, ölçü sistemi, iletim hatları üzerinden haberleşme sistemi kısımlarından oluşur.

2.4 Regülatör Sistemi

Hız regülatör sistemi hidroelektrik santrallerde türbin kontrol sistemi içerisinde yer alan, türbin - generatör sisteminin düzgün çalışmasını, şebeke frekansına senkronizasyonu, frekans değişimine göre ayar kanat açıklıklarını ayarlayarak türbin hızını ve ünite aktif çıkış gücünü düzenleyen yardımcı sistemdir. Kaplan, Francis, Pelton tip su türbinlerinde kullanılabilir. Kaplan türbin tipinde hız regülatör sistemi ile türbin ayar kanat açıklıklarının ayarlanması yanısıra türbin çark kanatlarının kontrolü de sağlanır. Türbin generatör sistemi prensip şeması Şekil 2.2'de gösterilmiştir [13].



Şekil 2. 2 Türbin generatör sistemi

2.4.1 Regülatör Kontrol Sistemi

2.4.1.1 Hız hatası

Hız regülatör sisteminin temel gereği türbin hızının ölçümüdür. Regülatör türbin dönüş hızını ölçer, kontrolcüye işlenen referans hız değeri ve ölçülen türbin dönüş hızını karşılaştırır ve hız hata sinyali oluşturur.

Hız hataları, özel performans kriterlerini karşılamak için hız ve hidrolik türbin generatör çıkış gücünü düzenlemek amacıyla seçilen regülatör kontrol stratejisine göre türbin cihazlarının kontrol edilen çıkışlarını geliştirmek için kullanılır.

2.4.1.2 Regülatör kontrol stratejisi

Regülatör kontrol stratejisi ekipmanın performans gereklerine göre belirlenir. Regülatör hız hata sinyalini işler, hızı sönümler ve türbin kontrol tahriğinde kullanılan sönümlenme planını uygular. Sönümlenme stratejisi olarak geçici düşürme, çift türev, ilerleme – gerileme, PID kontrolörleri kullanılabilir.

2.4.1.3 Hız Sönümlenme

Hız sönümlenme kontrol sinyali üzerine frekans tarafından ayarlanabilir ek bir etki uygulanması ile frekans çıkışında bir düşmenin meydana getirilmesidir. Böylece primer frekans kontrolü gerçekleştirilir. Regülatör sistemleri için hız sönümlenmesi (speed droop) belirli bir aralığın üstünde ayarlanabilir olmalıdır. Bu ayar regülatör kontrol kabininde ayarlanabilmeli ve uzaktan kontrol edilebilinmelidir. Ayar aralığı olarak genellikle % 0 - % 10 kullanılır. Hız sönümlenme parametresi kontrol tahrik konum geri bildirimle aktif güç geri bildirim veya su seviyesi geri bildirim cinsinden elde edilir.

Speed droop modunda frekansın değişiminde ayarlanan sönüm oranına göre ayar kanat açıklığı ayarlanır. Ünitelerin aynı yüke ve rezerve sahip olmasının yanısıra speed droop ayarlarına göre değişen primer frekans katkıları farklıdır.

2.4.1.4 Primer Frekans Kontrolü

Bir elektrik sisteminde üretim ve tüketim miktarı arasındaki dengesizlik, jeneratörlerin kinetik enerjisinde artış veya azalışa, dönüş hızlarının (frekansın) değişimine sebep olur. Bu değişimin kontrolü, Elektrik Piyasası Yan Hizmetler Yönetmeliği kapsamında Türkiye enterkonnekte sisteminde primer, sekonder ve tersiyer frekans kontrolü olmak üzere üç seviyede gerçekleştirilir. Primer frekans kontrolü, türbin hız regülatörleri ile sağlanan, sapmaya uğrayan sistem frekansını sabit bir değerde dengeleyip, frekans değişimini durdurmak için ünite rezerv kapasitesinin, hız eğim (speed drop) oranına, frekans sapması süresince otomatik olarak sağlandığı frekans kontrolüdür.

Eğer bir dalgalanma durumunda kinetik enerjilerini kaybetmeye başlayan üretim sitemlerine ilave bir enerji verilmez ise frekansı düşer veya aşırı artarak enterkonnekte sisteme bağlı üretim tesislerinin durmasına neden olur. Sırayla santrallerin devre dışı olması sonucunda tüm elektrik sistemi devre dışı olabilecektir. Bu durumun oluşmasını önlemek amacıyla Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği'ne göre üretici primer frekans kontrolü kapsamında primer frekans kontrol rezerv miktarını sistem frekansında meydana gelen sapsmalar doğrultusunda primer frekans kontrol tepkisi olarak sürekli sağlayacaktır. Primer frekans kontrolüne katılan üniteler, sistem frekansının ünite için ayarlanan ölü bant limitlerinin dışına çıkması ile hemen tepki vermeye başlayacak ve çıkış gücünü, frekans değişiminde göre arttırmak veya azaltmak suretiyle ayarlayacaktır.

Primer frekans, frekans değişiminin ± 200 mHz'i geçmesi durumunda devreye girer. Primer kontrol yapan üniteler frekanstaki sapmayı takip ederek maksimum 15 sn içinde primer rezerv yükünün %50'sini, 30 saniye içerisinde de tamamını aktif hale getirebilecek şekilde ayarlanmalıdır [21], [22].

2.4.1.5 Ölü Band Aralığı

Belli bir frekans limit değişimine kadar üretim sisteminin çıkış yükünün sabit kalması böylece primer kontrol sistemine cevap vermemesidir. Ölü band aralığı uygulaması, şebeke frekansı için istenmeyen bir durum olmasına rağmen üretim tesisleri için türbin generatör ekipmanlarını enterkonnekte sistemde oluşacak ani frekans değişimlerine

karşı koruyucu etkisi olduğundan faydalıdır. Hidrolik santraller için yönetmeliğe göre ölü band değeri 200 mHz dir.

2.4.2 Kontrol Modları

Bir generatörü tahrik eden su türbininin devir sayısı, generatörün yükü arttığı zaman azalmak ve generatörün yükü azaldığı zamanda artmak ister. Devir sayısındaki bu artışlar, hız regülatörü tarafından türbin ayar kanatlarının bir miktar kapatılması ve devir sayısındaki azalışlar ise türbin ayar kanatlarının bir miktar açılması ve geçen su debilerinin değiştirilmesi ile önlenir. IEEE 125 standardına göre regülatör sistemi beş çeşit kontrol parametresiyle bu ayarlamayı gerçekleştirebilir [21].Türkiye'deki uygulamalarında pompaya göre çalışma modu kullanılmayıp dört çalışma modu bulunmaktadır.

2.4.2.1 Konum Kontrol

Konum kontrolü modunda çalışan regülatör sistemlerinde, regülatör ölçüm devresi ile türbin kontrol tahrik pozisyonunu karşılaştırılır, bu hata sinyali sönümlenme parametresiyle çarpılır buna göre türbin kontrol aktivatör ayarı için toplama alanına gönderilir. Ölçülen konum bilgisi analog veya dijital aktivatör konum-ölçüm algılayıcısından gelir [14].

2.4.2.2 Güç Kontrol

Güç kontrolü modunda çalışan regülatör sistemlerinde, regülatör ölçüm devresi ile türbin kontrol tahrik pozisyonunu karşılaştırılır, bu hata sinyali sönümlenme parametresiyle çarpılır buna göre türbin kontrol aktivatör ayarı için toplama alanına gönderilir. Ölçülen güç bilgisi genellikle watt çeviricilerden gelir. Güç kontrolcüsüne alternatif metod iç veya dış çevrime güç hata sinyali uygulayarak pozisyon kontrolü yapmaktır.

Frekans bilgisine göre çıkış gücünün kontrolünün sağlanması primer frekans kontrolü gerekliliğidir [14].

2.4.2.3 Akış Kontrol

Akış kontrolü modunda çalışan regülatör sistemlerinde, regülatör ölçüm devresi ile türbin kontrol tahrik pozisyonunu karşılaştırılır, bu hata sinyali sönümlenme parametresiyle çarpılır buna göre türbin kontrol aktivatör ayarı için toplama alanına gönderilir. Ölçülen akış bilgisi genellikle akış ölçüm cihazlarından veya ayar kanat açıklık bilgisine göre ayarlanan düşüş seviyesinden gelir [14].

2.4.2.4 Yükleme Havuzu Su Seviyesine Göre Kontrol

Su seviyesi kontrolü modunda çalışan regülatör sistemlerinde, regülatör ölçüm devresi ile türbin kontrol tahrik pozisyonunu karşılaştırılır, bu hata sinyali sönümlenme parametresiyle çarpılır buna göre türbin kontrol aktivatör ayarı için toplama alanına gönderilir. Paralel çalışma modundan izole çalışma moduna geçilmesi halinde kontrol sinyali hız bandı limitlerinin dışına çıkar [14].

2.4.3 Sistemin Elemanları

Midilli HES de mevcut olan TDBWT serisi hız regülatör sistemi elektronik sistem ve elektro hidrolik servo sistemden meydana gelir. Elektronik kısımda; Mitsubishi marka PLC, sinyal işleme modülü, sinyal üretim modülü, analog dijital dönüştürücüler, step motor, step motoru süren bir sürücü kartı bulunmaktadır. Servo sistemde ise ana elektrohidrolik konverter, ana dağıtım valfi, emniyet ve kontrol valfleri, servomotor bulunmaktadır.

Sistemi oluşturan ekipmanların çalışma prensipleri ve özellikleri Ek-A bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır.

Sistemdeki temel elemanlara ek olarak türbin hız regülatör sisteminde fonksiyonların ve elemanların kontrol ve korunması için pozisyon, seviye, basınç anahtarları, benzer sensör ve transdüserler kullanılır. Bu elemanlar ile basınç, seviye ve pozisyon konumları kontrol devresiyle iletişimde olunarak istenilen seviyede tutulur. Böylece sistem performansının bozulması önlenir, sistemin güvenilirliği sürdürülür [15].

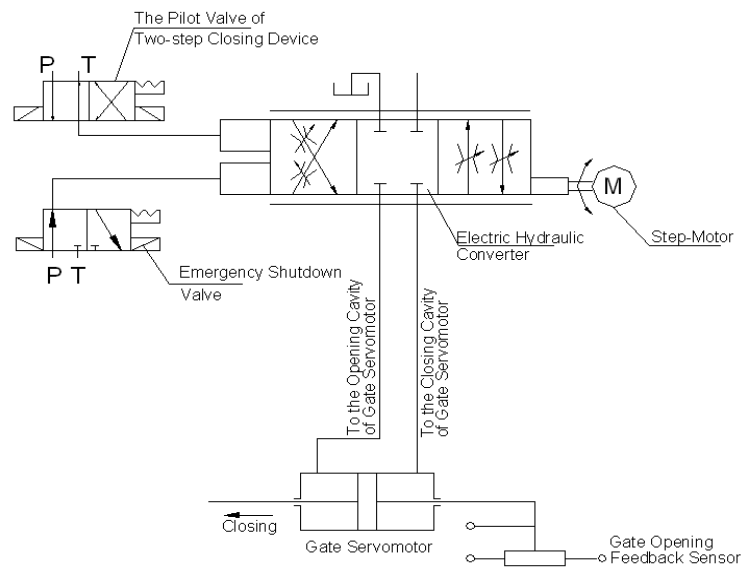
Generatörün aşırı hız gitme durumu istenmeyen kritik bir fonksiyondur. Ünitenin aşırı hız gitme durumunu belirlebilmesi için yüksek emniyet seviyesinde elektronik bir hız anahtarı kullanılır. Aşırı hız durumunda acil durdurma valfinin devreye girerek sistemi güvenle devreden çıkarması amaçlanmıştır.

Servomotorda bulunan pozisyon anahtarı ile servomotor pozisyon transduserinin ürettiği sinyal karşılaştırılarak servomotorun istenilen pozisyonda tutulması sağlanmaktadır.

Step motor, ana dağıtım valfi, servomotor elemanlarında istenilen çalışma performansını sağlamak amacıyla pozisyon sensörleri, limit anahtarlar, encoderlar bulunmaktadır. Basıncsız yağ tankında ve basınçlı yağ sistemi elemanlarında ise, sistemin güvenilirliğinde aktif rol üstlenen hidrolik yağın etkilerinden oluşabilecek hata durumlarına karşı, basınç sensörleri, seviye sensörleri, emniyet valfleri ve acil boşaltma valfi bulunmaktadır.

2.4.3.1 Sistemin Çalışma Mekanizması

Step motor bilyalı vida ile elektrik hidrolik konvertere bağlanır. Step motor bilyalı vida mekanizması ile elektriksel sinyali mekanik harekete çevirir. Ana kontrol bloğu step motor, bilyalı vida mekanizması ve dağıtım valfinden oluşur (Şekil 2.3) [35].



Şekil 2. 3 TDBWT Hidrolik sistem

Açılma sinyalinin alınması ile step motor saat yönünün tersine döner, ana kontrol valfinin pistonu aşağı doğru hareket ettirilir, böylece basınçlı yağ servomotorun açma yönünde hareket eder ve servomotor aracılığıyla ayar kanatları istenilen kadar açılmış olur.

Kapama sinyali geldiğinde step motor saat yönüne döner, ana kontrol valfinin pistonu yukarı doğru hareket ettirilir, böylece basınçlı yağ servomotorun kapama yönünde hareket eder ve servomotor aracılığıyla ayar kanatları istenilen kadar kısalmış olur. Ana kontrol valfinin pistonu denge konumunda olduğu zaman, basınçlı yağ açma veya kapama yönüne iletilmez böylece servomotor son konumunu korumuş olur.

Elektro hidrolik konverter kullanarak kirli yağın sebep olabileceği hatalar önlenmiş olur. Hız regülatörü otomatik moda aniden durdurulduğu zaman, bilyalı vida yerleşme yayını denge pozisyonuna getirir, ana kontrol valfinin pistonu denge pozisyonuna döner ve servomotor son konumunu korur. Böylece servomotorun kontrolsüz olarak açılma kapanması yaparak güç harcaması önlenmiş olur. Hız regülatörü kullanıcı kontrolü modundayken, step motor enerjisi otomatik olarak kesilir, yerleşme yayı tarafından ana dağıtım valfi pistonunun denge konumuna gelmesi sağlanır. Step motor döndürme kolunun kullanıcı kontrollü çevrilmesi ile servomotor hareketi düzenlenmiş olur [24].

2.5 Basınçlı Yağ Sistemi

Hız regülatör sisteminin içerisinde düşünülebilecek yan yardımcı sistem basınçlı yağ sistemidir. Basınçlı yağ sistemi hidrolik yağ, hava kompresörü ve pompa ile yağın basınçlandırıldığı basınçlı (hava/yağ) yağ tankı, yağın içinde depolandığı yağ biriktirme tankı (basıncsız), yağ pompaları, kontrol ve emniyet valfleri, hidrolik borular, filtre sisteminden oluşur.

FONKSİYONEL EMNİYET

Emniyet her türlü tehlikeye karşı koruma demek iken, fonksiyonel emniyet sistemin veya ekipmanın yanlış çalışmasından kaynaklanan tehlikelere karşı korumadır.

IEC 61508 standardına göre emniyet, sistemin insan sağlığını etkileyebilecek fiziksel zararlardan, çevre veya sistemin karşılaştacağı büyük tehlike doğuran “kabul edilemez” risklerden uzaklaşmış olmasıdır. Fonksiyonel emniyet ise güvenliğin bir parçası olarak emniyetle ilgili sistem veya ekipmanın giriş bilgilerinin doğru işlenip, işlemin doğru cevaplar vermesidir. Fonksiyonel emniyet aktif sistemlere uygulanabilir, pasif sistemler için emniyet terimini kullanmak uygun olacaktır. Fonksiyonel emniyet için önem arz eden sistemin hata durumuna düşmeden güvenli moda geçişini sağlamaktır [4].

Emniyet sistemlerinin özellikleri, tasarımı ve operasyonu ile ilgili olarak ilk versiyonu 1998 yılında ortaya çıkmış, 2000 yılında revize edilmiş, 2010 da 2.versiyonu yayınlanmış olan endüstride fonksiyonel güvenliği kapsayan uygulamalar için uluslararası şemsiye standart olarak adlandırılan IEC 61508 standardı bulunmaktadır. Farklı sektör ve operasyonlar için türetilmiş birçok standart bulunmaktadır [4].

Tüm fonksiyonel emniyet standartlarının temeli emniyet çevrimine dayanmaktadır. Emniyet çevrimi sistemin analiz, gerçekleştirme ve işletme fazlarında aktif olarak devrededir. Herbir aşamada sistemin hata risklerini azaltmak amacıyla, emniyet şartlarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu standartlar ile koruyucu önlemler birleştiğinde risk seviyesini kabul edilebilir seviyeye düşürürler. Koruyucu önlemlerin emniyet seviyesi Safety Integrity Level (SIL) olarak adlandırılan dört adet emniyet bütünlük seviyesi ile değerlendirilir. En yüksek güvenliğin sağlandığı seviye SIL 4

seviyesidir. Bir fonksiyonun (prosesin) emniyet seviyesi zararın büyüklüğü ve oluşma sıklığı ile belirlenir.

Bir sistemde sadece tolere edilemez riskler için bir emniyet fonksiyonu (SIF) belirlenmesi ve emniyet sistemi (SIS) önerilmesi gerekmektedir. SIS ile sistemdeki risklerin azaltılması, tolere edilemez risklerin tolere edilebilir seviyelere getirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen SIS (Safety Instrumented System) emniyet sisteminin yapısı kontrol sistemi, aktüatör ve ölçüm sisteminden oluşmaktadır. [25], [26]

3.1 Fonksiyonel Emniyet Parametreleri

IEC 61508 standardında emniyetle ilgili sistemler için emniyet parametrelerinden söz edilmektedir. Sistemlerin donanım ekipmanları bu emniyet parametreleri üzerinden sınıflandırmıştır. Bu parametrelerden tezin içeriğinde ele alınan, hız regülasyon sisteminin güvenilirlik analizinde değerlendirilen, parametrelere aşağıda yer verilmiştir. [25], [26].

Güvenirlik (R): Sistemin veya ekipmanın belirlenmiş işlevlerini başarıyla gerçekleştirebilmesidir. Bir olasılık fonksiyonudur, 0 ve 1 arasında değer alır. Güvenirlik fonksiyonu denklem (3.1)'de verildiği gibi modellenir.

$$R = \frac{1}{T} \int_0^T \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} (t) dt \quad (3.1)$$

Hata Fonksiyonu (F): Sistemin veya ekipmanın hataya düşme olasılığının (f) fonksiyonudur. Hata (failure), güvenli hata (S) ve tehlikeli hata (D) olmak üzere hatalar ikiye ayrılır. Hata fonksiyonu denklem (3.2) ve (3.3)'de verildiği gibi modellenir.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3.2)$$

$$F = 1 - R(t) \quad (3.3)$$

Hata Oranı (λ): Hata oranı emniyet sistemleri için en önemli parametredir. Sistemin hataya düşme sıklığıdır. Hata yoğunluk fonksiyonunun güvenilirlik fonksiyonuna oranıdır. λ olarak ifade edilir ve denklem (3.4)'de verildiği gibi modellenir. Ayrıca

denklem (3.5)'de verildiği gibi hata güvenli hata (S) ve tehlikeli hata (D) olmak üzere iki çeşittir.

$$\lambda(t) = \frac{[f(t)]}{R(t)} \quad (3.4)$$

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_D \quad (3.5)$$

Güvenli Hata: Emniyetle ilgili sistemi tehlikeye düşürmeyen veya fonksiyonu arıza durumuna götürmeyen hatalardır.

Tehlikeli Hata: Emniyetle ilgili sistemi tehlikeye düşüren veya fonksiyonu arıza durumuna götüren hatalardır.

Denklem (3.6)'da verildiği gibi tehlikeli hata, saptanabilen tehlikeli hata (DD) ve saptanamayan tehlikeli hata (DU) olarak ikiye ayrılır.

$$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU} \quad (3.6)$$

Saptanamayan Tehlikeli Hata: Sistemi durdurmadan belirlenemeyen, tehlikeye düşüren hatalardır.

Saptanabilen Tehlikeli Hata: Sistemi durdurmadan belirlenebilen, tehlikeye düşüren hatalardır.

Emniyetle İlgili Sistem (SRS- SIS): Kontrol elemanı, sensör ve aktüatörden oluşan var olan risk seviyesinin azaltarak, sistemin hataya düşmeden güvenli moda geçişini sağlamak amacıyla tasarlanan emniyet sistemidir.

Talep Esnasında Hataya Düşme Olasılığı (PFD): Emniyetle ilgili sistemin çalışması gerektiği anda hataya düşme olasılığını ifade eder. Emniyetle ilgili sistemlerin emniyet bütünlük seviyelerinin belirlenmesinde ortalama hataya düşme olasılığı (PFD_{avg}) kullanılır. Sistemin her bir elemanının PFD_{avg} değerini hesaplamak için saptanamayan tehlikeli hatalar ve kanıt süresi dikkate alınır. Talep esnasında ortalama hataya düşme olasılığı, denklem (3.7) ve (3.8)'de verildiği gibi hesaplanır.

$$PFD_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T 1 - e^{-\lambda_{DU} t} dt \quad (3.7)$$

$$PFD_{avg} = 1 + \frac{-1 + e^{-\lambda_{DU} \cdot T}}{\lambda_{DU} \cdot T} \quad (3.8)$$

Ortalama Hataya Düşme Zamanı (MTTF): Bir sistemin ya da ekipmanın ilk hataya düşmesine kadar geçebilecek ortalama süredir. Sistemin mimarisine ve hata oranına bağlıdır. Denklem (3.9) olarak ifade edilir.

$$MTTF = \int_0^T R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (3.9)$$

Kanıt Testi Süresi (TI): Sistemin veya ekipmanın tüm işlevlerini doğru yerine getirip getiremediğinin denetlenmesi için yapılacak büyük bakımlar arası geçen süredir. Opsiyonel bir işletme arbirimi ile veya kontrol odasından başlatılıp izlenebilir.

Faydalı Ömür Süreci: Ekipmanın işletmeye başladıktan sonraki uyum süreci ile eskime süreci arasındaki, hata oranlarının belirlenmesinde dikkate alınan zaman ifadesidir.

Risk Azaltım Faktörü (RRF): Risk analizi sonucunda belirlenen risk azaltım faktörüdür.

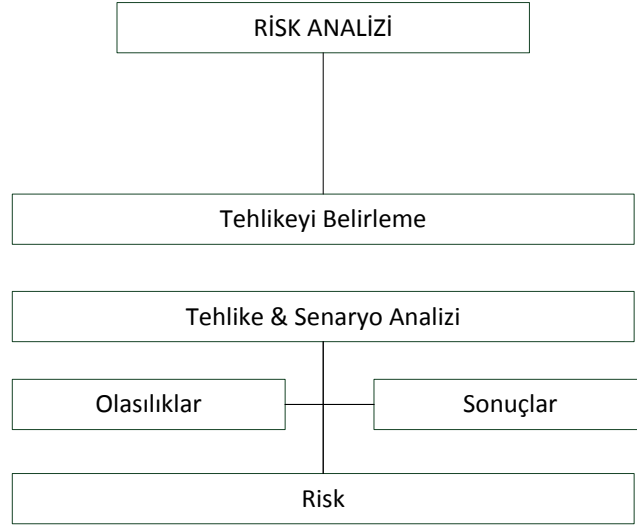
3.2 Risk Analizi

Risk (R) : Risk zararın olma olasılığı ile zararın hayatiliğinin kombinasyon ifadesidir. (3.10) olarak modellenir.

$$R = H \times S \quad (3.10)$$

Sistemin performans isterlerini belirlemek ve mevcut risklerin tolere edilebilir seviyede tutulması veya bu seviyeye düşürülmesi için ihtiyaç olan risk azaltımını belirlemek suretiyle gerçekleştirilen analizdir.

Risk analizi, Şekil 3.1'de verilen adımlardan meydana gelmektedir [33].



Şekil 3. 1 Risk analizi gerçekleştirme adımları

Tehlikeyi belirleme aşamasında sistemdeki elemanların çalışma koşulları, sistemler arası etkileşimler, çalışma süreçleri bilgileri toplanır ve meydana gelebilecek tehlikeler tespit edilir.

Tehlike analizi aşamasında, Hata ağacı, olay ağacı, markov modeli gibi yöntemler aracılığıyla her bir tehlike durumu için senaryo belirlenir. Tespit edilen senaryoların hangi sıklık ile ortaya çıkabileceği ve ortaya çıkması durumunda çevresine verebileceği zarar öngörülür. Bu bilgilere dayanarak sistemdeki tolere edilebilir ve tolere edilemez riskler analiz edilmiş olur.

3.3 Güvenirlilik Analizi

Sistemin üzerine yüklenen görevlerini sağlıklı şekilde yerine getirmesine engel teşkil eden risklerin analiz edilmesi sonucunda sistemi tehlikeli hatalara düşürebilecek olan kabul edilemez riskler için PFD_{avg} hesabı yapılarak bütünlük seviyelerinin belirlenmesi, ayrıca emniyet seviyeleri belirlenen kritik senaryolar için risk azaltımını sağlamak amacıyla emniyet sistemi önerme çalışmasıdır.

Düşük modda çalışması talep edilen emniyetle ilgili sistemler için PFD_{avg} değeri dikkate alınarak emniyet bütünlük seviyeleri belirlenebilir. Çizelge 3.1'de emniyet bütünlük seviyeleri ve PFD_{avg} ilişkisi verilmiştir [26].

Çizelge 3. 1 Emniyet bütünlük seviyeleri

Emniyet Seviyesi (SIL)	Hataya Düşme Yoğunluğu (PFD_{avg})
1	$10^{-2} \leq PFD_{avg} < 10^{-1}$
2	$10^{-3} \leq PFD_{avg} < 10^{-2}$
3	$10^{-4} \leq PFD_{avg} < 10^{-3}$
4	$10^{-5} \leq PFD_{avg} < 10^{-4}$

3.4 Hata Ağacı Analizi (FTA)

Hata ağacı temelleri boolean cebri, olasılık hesapları ve güvenilirlik teorisine dayanan, varsayılan/tanımlanmış istenmeyen olay veya durumların nedenlerinin mantıksal kombinasyonunun grafiksel ifadesidir.

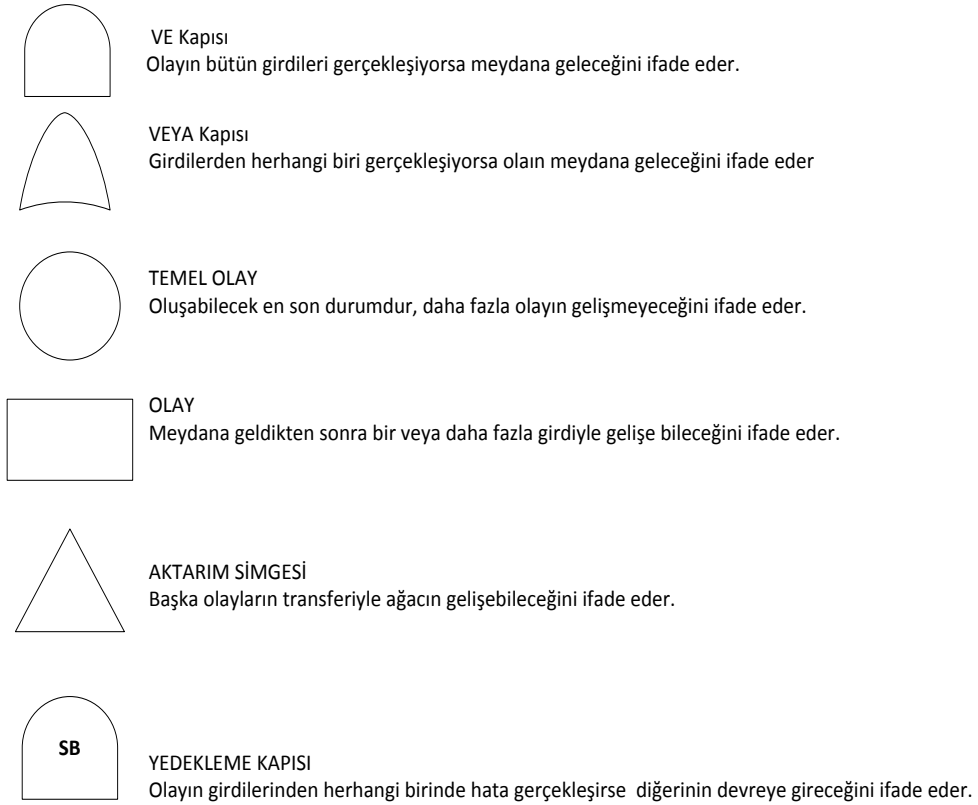
Sistemi oluşturan her parçanın ele alınmasına olanak sağlayan, tasarım, operasyon ve geliştirme süreçlerinde çalışır bir tümdengelim tekniği olması sebebiyle güvenilirlik ve risk analizlerinde sıklıkla başvurulmaktadır. Hata ağacı analizi şekil 3.2’de görüldüğü üzere 3 aşamadan oluşmaktadır [33].



Şekil 3. 2 Hata ağacı analizi gerçekleştirme adımları

Sistem analiz aşamasında detaylı olarak incelenir. Hata ağacı oluşumuna başlarken analiz edilecek tepe olay seçilir ve bunu etkileyen diğer olaylar belirlenir. Kapılar ve semboller kullanılarak hata ağacı inşa edilir. Değerlendirme aşamasında, hata ağacı, olaylar ve olaylar arası akış tekrar gözden geçirilir, nihai ağaç belirlenir.

Hata ağacı analizinde olaylar ve olaylar arası etkileşim lojik kapılar ve semboller kullanılarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan semboller aşağıda açıklanmaktadır. Şekil 3.3'te hata ağacı analizinde kullanılan semboller verilmiştir [32].



Şekil 3.3 Hata ağacı analizinde kullanılan semboller

HİDROELEKTRİK SANTRALLERDEKİ REGÜLATÖR SİSTEMİNİN GÜVENİRLİK ANALİZİ

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi gittikçe önem kazanmaktadır. Yenilenebilir kaynakların başında ise su, rüzgar, ve güneş enerjisi gelmektedir. Su kaynaklarının çoğunlukta olduğu ülkemizde hidroelektrik santrallerle üretilen enerjinin optimizasyonu büyük önem arz etmektedir. Hız regülasyon sistemi santraldeki türbin generatör ünitesinin, enterkonnekte sisteme senkronizasyonunda görev almakta böylece üretilen enerjinin sisteme aktarımını ve şebeke sistem bütünlüğünü sağlamaktadır. Elektrik enerjisi üretim prosesi içerisinde kritik önem taşıyan regülatör sisteminin performansını etkileyebilecek risklerin belirlenmesi ve tespit edilen, tolere edilemeyecek risklerin azaltılması prosesin doğru işleyişine önemli derecede katkıda bulunacaktır.

Amasya İli, Merkez İlçesi Yeşilırmak Nehri sınırları içerisinde yer alan nehir tipi, 32.548 MWe kurulu gücündeki Midilli Hidroelektrik Santrali'nin hız regülasyon sisteminin risk analizi ve değerlendirmesi yapılmış olup, sistemde oluşabilecek hatalar, olası nedenleri ve sonuçları aşağıda belirtilmiştir. [38], [39], [41], [45], [46].

4.1 Sistem Hata Fonksiyonları

Hata: Basıncı yağ sistemi kapalı yağ devresindeki pompa şaftı yağ kaçırıyor ise;

Olası Nedenler: Yağ sızdırmazlık contası zarar görmüş olabilir.

İç direnaj hattı tıkanmış olabilir.

Yağ pompasında önemli bir bozukluk olabilir.

Risk: Ünite paralel işletmeye geçişte nominal hızını kararlı bir şekilde sürdürememektedir. Ayrıca şebeke frekansında meydana gelen değişikliklere hız regülatörü tepki veremediği için santral primer frekans kontrolüne katılamamaktadır.

Önlem: Basınçlı yağ sisteminde olması gereken belli yerlere seviye sensörü konulmalı ve böylece seviyenin değişimlerinde alarm devreye sokulmalıdır.

Yapılması Gerekenler: Şaft kapağı değiştirilir ve bir yağ boşaltım valfi ile sistemin içerisindeki basınçlı yağ tahliye edilir.

Drenaj hattı temizlenir.

Yağ pompası değiştirilir.

Hata: Servo silindir kollarında hassasiyet sıkıntıları var ise;

Risk: Valf istenilen konuma gelemmez ve kanat açıklıklarının konumu istenilen hassasiyette ayarlanamaz.

Önlem: 1) Başka bir kullanıcı tarafından kontrol edilen valf ile sistem baypas yapılabilir.
2) Direkt olarak sistem kullanıcı operasyonuna alınarak kullanıcı tarafından kontrol edilen hidrolik kollar ile çalışmaya alınabilir.

Hata: Ünite frekansı, şebeke frekansı dengelenmesi sağlanamıyor ise veya ünite frekansı bilgisi (ünite hız bilgisi) alınamıyor ise;

Risk: Türbin şebekeye senkron olamayıp şebekede dalgalanmalar, harmonikler oluşturabilir. Ulusal elektrik sistemine bozucu etkide bulunduğu için sistem işletmecisi tarafından cezai yaptırımlara maruz kalınır.

Önlem: 1) Hız sensörleriyle mevcut şebeke frekansı ve ünite frekansı akuple edilebilir. Şebeke frekansı 50 Hz kabul edildiği için türbin / generatör sistemindeki bir hız sensörü ile 50 Hz aşağısında ve yukarısında ise alınan veriler PLC de işlenip, step motora gerekli sinyal gönderilir.

2) Eğer ünite frekansı düzeltme yapamıyor ise çıkışa harmonik filtre konulmalıdır. Fakat büyük bir harmonik filtre maliyet açısından sık tercih edilmez.

Hata: İstenilen su seviyesi (dijital veri), yükleme havuzu su seviyesi (analog veri) bilgileri alınamıyor ise;

Risk: Sistem düzgün çalışmaz.

Önlem: 1) Bilgilerin alındığı sensörler yedeklenmelidir.

2) Kullanıcı operasyonlu olarak şamandıra sistemi ile birlikte kullanıcı operasyonlu izleme yapılabilir.

3) Dışarıdan vanalarla su seviyesi istenilen seviyeye getirilebilir.

Hata: İstenilen güç seviyesi (dijital veri), ünite güç seviyesi (analog veri) bilgileri alınamıyor ise;

Risk: Sistem düzgün çalışmaz. İstenilen optimal enerji üretilemez buna bağlı olarak maddi kayıplar ve yersiz durmalar ile ünite verimsiz kullanılmış olur, mekanik zorlanmalar oluşabilir.

Önlem: Bilgilerin alındığı sensörler yedeklenmelidir..

Hata: PLC ünitesi yanlış çalışıyor veya hata veriyor ise;

Risk: Sistem çalışmaz. Buna bağlı generatör hızı aşırı hıza çıkabilir, generatör parçalanabilir maddi ve manevi çevreye büyük zararlar doğabilir. Gereksiz mekanik zorlanmalar oluşur. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi ve üretim santrali sahibi tüzel kişilik arasında imzalanan Sistem Bağlantı ve Kullanım Anlaşması, Yan Hizmetler Kontrol Hizmet Anlaşması gereğince güç üretimi ve frekans denetimi (primer ve sekonder frekans kontrolü) yükümlülüklerinin karşılanamaması sonucunda cezai yaptırımlar uygulanabilir. Optimal kazancı elde etmek ve elektromekanik ekipmanları verimli kullanabilmek üretim planlaması yapılamaz veya yapılan plana uyulamaz.

Önlem: 1) İkinci bir PLC ile baypas yapılabilir.

2) İşletme modu kullanıcı operasyonuna geçirilerek operatör vasıtasıyla sistem kontrol edilebilir.

Hata: Step motorun çalışmaması veya hatalı çalışması durumu mevcut ise

Risk: Step motor çalışmaz ise kanat açıklıkları konum kontrolü yapılamaz, sistem çalışmaz.

Önlem: 1) Motorun çalışmasını denetlemek için hareket sensörü konulabilir. Motordan geri besleme alınarakta motorun çalışması denetlenebilir.

2) Motor dönüş miktarını belirlemek için limit anahtarı kullanılabilir.

3) Ana kontrol valfi yedek bobinlerle ve yaylarla istenilen konuma getirilerek valfin, böylece sistemin çalışması sağlanabilir.

Hata: Ana kontrol valfi çalışmaz veya yanlış çalışır ise;

Olası nedenler: Yağ pompası veya pompa emniyet valfi bozuk olabilir.

Basınç anahtarı yanlış ayarlanmış olabilir.

Yağ kaçağı olabilir.

Otomatik kontrol hatası olabilir.

Risk: Kanat servomotoru harekete geçemez, ayar kanatlarına istenilen değişiklikler yaptırılmamış olur, fiziksel deformasyon oluşabilir.

Yapılması Gerekenler: İki aşamalı durdurma valfi ve acil kapama valfi ile sistem çevreye zarar vermeden devre dışı edilir.

Hata: Regülatör hidrolik sisteminde yağ basıncı düşük sinyali geliyor ise;

Set değeri yardımcı pompanın ve ana pompanın başlangıç basınç değerinden düşük ise yağ basıncı düşük sinyali gelir.

Risk: Valf istenilen konuma gelemmez ve kanat açıklıklarının konumu ayarlanamaz.

Yapılması Gerekenler: Ayarlar doğrulanır .

Kaçak izlenir düzeltilir.

Sinyaller ve fonksiyonlar kontrol edilir.

Kritik seviyelere düşmüşse ünitenin acil kapamaya gitmesi istenir.

Önlem: Ana dağıtım valfine, servomotora basınç sensörü konulur. Basınç düşük sinyali bilgisi PLC ye iletir.

Hata: Regülatör hidrolik sisteminde yağ basıncı yüksek sinyali geliyor ise;

Risk: Basıncın yüksek olmasıyla hidromekanik ekipmanlarda mekaniksel zorlanmalar oluşabilir.

Yapılması Gerekenler: Tanktaki yağın basıncını dengelemek için hava veya nitrojen takviyesi yapılır.

Önlem: 1) Yedek basınç sensörü konularak yağ basıncı kontrol altında tutulabilir.

2) Acil tahliye vanaları konularak sensör çıkışındaki bilgi ile sistem otomatik olarak korumaya alınabilir.

Hata: Basınçsız yağ tankında yağ seviyesi düşük sinyali geliyor ise;

Basınçsız yağ tankındaki yağ seviyesi istenilen referans değerinin altına düştüğünde yağ seviyesi düşük alarm devreye girer.

Risk: Basınçsız yağ tankından basınçlı yağ tankına yağ gönderimi yapılamaz. Sistemde mekanik hareketin sağlanması için gerekli basınç oluşturulamamıştır.

Yapılması Gerekenler: Azalan yağ seviyesi yağ ısısının artmasına neden olur. Bu yüzden kayıp yağ acil olarak değiştirilmelidir. Ve yağ kaybının sebebi araştırılmalıdır.

Önlem: 1) Basınçsız yağ tankına, tanktaki yağ seviyesini ölçen seviye sensörü konulmalıdır.

2) Yağ sıcaklığı 20° ile 50° arasında tutulmalıdır.

Hata: Basınçsız yağ tankında yağ seviyesi yüksek sinyali geliyor ise;

Basınçsız yağ tankındaki yağ seviyesi maksimum değerin üzerinde ise yağ seviyesi yüksek alarmı devreye girer.

Risk: Yağ kaçaqları meydana gelir.

Yapılması Gerekenler: Drenaj hattından tanktaki yağ seviyesi istenilen değere ulaştırılıncaya kadar yağ boşaltımı yapılır.

Önlem: Buna ilave olarak manuel olarak şamadıra sistemi yapılarak veya elektronik olarak limit anahtar ile sistem korumaya alınabilir.

Hata: Yağ basıncı ve yağ akışı yok ise;

Olası Nedenler: Motorun yanlış yöne dönüyor olabilir.

Yanlış sinyal gelebilir.

Yüksek yağ vizkozitesi olabilir. (yağ sıcaklığı çok düşük)

Pompa kontrol - kapama valfi, kapalı veya kısmi açık olabilir.

Risk: Sistemde mekanik hareketin sağlanması için gerekli basınç oluşturulamamıştır.

Yapılması Gerekenler: Elektriksel bağlantıları doğrulanmalıdır.

Basınç sensörünü ve basınç bağlantıları kontrol edilmelidir.

Yağ sirkülasyon pompasının fonksiyonu kontrolü yapılmalı ve heating valf kontrol ve kapama valfini açılmalıdır.

Hata: Yağ akışı yok veya kısa süreli ise;

Olası Nedenler: Motor dönmesine rağmen akış olmayabilir.

Seviye anahtarı çok düşük ayarlanmış olabilir.

Pompa tankı boşaltıyor olabilir.

Motor devreden çıkmış olabilir.

Motor - pompa shaftı kırık olabilir.

Risk: Sistemde mekanik hareketin sağlanması için gerekli basınç oluşturulamamıştır.

Yapılması Gerekenler: Seviye anahtarı fonksiyonu kontrol edilmelidir.

Otomatik kontrol yağ kaçağının takip edilip izi sürülebilir ve tamir edilir. Yağ yeniden doldurulur. Pompa motor ünitesi değiştirilir.

Hata: Pompa çalışıyor ancak çok yavaş çalışıyor ise;

Olası Nedenler: Basınç sensörü ve anahtarı bozuk olabilir.

Basınç emniyet valfi yanlış çalışıyor olabilir.

Risk: Sistemde mekanik hareketin sağlanması için gerekli basınç oluşturulamamıştır.

Yapılması Gerekenler: Basınç valfinin fonksiyonu kontrol edilmelidir.

NOT: Basınç anahtarı sadece akümülatör basıncını gösterir. Pompa basıncını göstermediği için basınç emniyet valfi kontrol edilmelidir.

Hata: Basıncı yağ hava kabarcığı içeriyor ise (köpüklenme);

Olası Nedenler: Pompa vakum borusuna hava kaçmıştır.

Vakum borusu yağ seviyesinin altında olabilir.

Pompa shaftı hatalı kapatılmış olabilir.

Pompa sıkı kapatılmamış olabilir.

Boruların kıvrım biçimi 90°'den büyük olabilir.

Risk: Köpüklenen yağ, basıncın düşmesine neden olur ayrıca emme hattında verimsiz ve titreşimli çalışma, kavitasyon oluşturur.

Yapılması Gerekenler: Vakum borusunun sıkma döner bağlantısı düzeltilir.

Vakum borusunun blokesi varsa kontrol edilir.

Yağ kaçağının izi sürülür, tamir edilir ve yağ yeniden doldurulur.

Şaftı yüzüğü yenilenir.

Yağa katkı eklenebilir.

Hata: Yağ pompası anormal gürültüde çalışıyor ise;

Olası Nedenler: Pompa hava emiyor olabilir.

Vakum borusunda kavitasyon olabilir.

Pompa motor dişlisi eksik olabilir.

Motor veya pompa bozuk olabilir.

Risk: Basınçlı yağ sisteminin verimsiz çalışmasına sebep olur, sistem kararlılığını bozar.

Önlem: Hidrolik pompaların düzgün ve sürekli çalışması için bu pompaların hava alması engellenmelidir. Sistemde oluşabilecek herhangi bir kaçak yağ pompalarına yağ yerine hava gelmesine sebep olur bu yüzden toplama tankındaki yağ seviyesinin belirli bir seviyenin üzerinde tutulması istenir ve yağ seviye sensörü bulunmalıdır.

Yapılması Gerekenler: Vakum borusu sıklığı kontrol edilir.

Vakum borusu temizlenir.

Dişliler sıkılır.

Motor veya pompa değiştirilir.

Hata: Yağ biriktirme tankında yağ sıcaklığı yüksek ise;

Olası Nedenler: Toplama tankının yağ sıcaklığı yüksek olabilir.

Pompa emniyet valfi bozuk veya yanlış ayarlanmış.

Anormal yağ tüketimi olabilir.

Risk: Toplama tankındaki yağ sıcaklığı yükseldiğinde her 100 litrede hacimde 2,8 litre hacim artışı olduğu varsayılabilir ve yağ seviyesinin yükselmesiyle yağ kaçağı meydana gelebilir.

Yapılması Gerekenler: Pompa emniyet valfi kontrol edilir.

Önlem: Regülatörden gelen elektronik kontrol sinyalleri ve dağıtım valfi tank sinyalleri ve aktüatör emniyet valfi kontrol edilir. Hidrolik sistemin kullandığı akışkanın optimal çalışma sıcaklığı, basınçsız yağ tankı için 20°C dir. Bu nedenle sistemde yağ sıcaklık sensörleri, yağ ısıtıcıları ve yağ soğutucuları bulunmaktadır.

Hata: Pistonu aktüatörünün emniyet valfi yanlış ayarlanmış veya bozulmuş ise;

Olası Nedenler: Yağ boşaltım valfi tam kapanmamış veya yağ kaçırıyor olabilir.

Soğutma suyu uygun değildir.

Yön veren hidrolik kol bozulmuş olabilir.

Risk: Ana dağıtım valfi doğru çalışmaz ve ayar kanatları istenilen açıklığa getiremez.

Önlem: Valf kontrol edilir, kapatılır veya gerekiyorsa değiştirilir.

İzolasyon valfinin kapalı olup olmadığı kontrol edilir.

Önlem: Akış düzenleme valfine konulan limit anahtarı ile tam kapanıp kapanmadığı izlenir.

Selonid valfin düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilir.

Hata: Ayar kanadı servomotorlarındaki vana anormal hareketler yapıyor ise;

Olası nedenler: Osilasyon olabilir.

Basınçlı yağ sisteminde hava olabilir.

Dağıtım valfi arızası olabilir.

Risk: Servomotor ayar kanatlarının konum ayarlamasını istenilen hassasiyette yapamaz.

Yapılması Gerekenler: Yağ sistemi havalandırılmalıdır.

Hidrolik bloklardan dağıtım valfini kaldırılmalıdır.

Hidrolik blokların yüzeyi temiz, düz, pürüzsüz olmalıdır.

Hata: Servomotor çalışmıyor ise;

Olası Nedenler: Yağ filtresi kontrollü kapatılmıyor olabilir.

Valf işletme pozisyonunda olmayabilir.

Dağıtım valfi hatası olabilir.

Yağ kesen kontrol valfinin zamanı yanlış veya valf kapalı olabilir.

Risk: Ayar çemberinin dönüşü sağlanamaz ve böylece ayar kanat açıklıkları ayarlanamaz. Ünite çıkış gücü sağlanamaz, yanlış komutlarla ünite hız kontrolü yapılamaz.

Yapılması Gerekenler: Yağ filtresi kontrol edilmeli ve gerekiyorsa değiştirilmelidir.

Valf pozisyonlarını kontrol edilmelidir.

Valf fonksiyonlarını kontrol edilmelidir.

Valf ayarlarını kontrol edilmelidir.

Önlem: Valfin çalışıp çalışmadığını gözlemek için hareket sensörü ve limit anahtarı koyulmalıdır.

Basınç değişikliklerini gözlemek için valfe basınç sensörü konulmalıdır.

Hata: Emniyet pimi sigortası kırıldı sinyali geliyor ise;

Olası Nedenler: Su ile gelen pislikler ile ayar kanatçıkları mekanik olarak zorlanmış olabilir.

Risk: Eğer kırılan pimler yenilenmez veya elektriksel bağlantı arızalarından dolayı sinyali iletmez ise benzer durumda ayar kanatçıkları mekanik zarara uğrayabilir.

Önlem: Filtre sistemi gözenekleri küçültülmelidir.

Hata: Aşırı Hız Sinyali geliyor ise;

Olası Nedenler: Ayar kanatları tam açılmış olabilir. Regülatör sistemi devreden çıkmış olabilir.

Risk: Ünite hızı aşırı hıza çıkabilir, generatör parçalanabilir maddi ve manevi çevreye büyük zararlar doğabilir. Ekipmanların yeniden temin edilmesi veya onarılması sürecinde işletme durur. Hasarın giderilmesi sürecinde elektrik üretimi ve satışı yapılamaz kar kaybı meydana gelir. TEİAŞ ve üretim santrali sahibi tüzel kişilik arasında imzalanan Sistem Bağlantı ve Kullanım Anlaşması, Yan Hizmetler Kontrol Hizmet Anlaşması gereğince güç üretimi ve frekans denetimi (primer ve sekonder frekans kontrolü) yükümlülüklerinin karşılanamaması sonucunda cezai yaptırımlar uygulanabilir.

Önlem: Aşırı hıza gitme sinyali geldiğinde devreye girerek üniteyi güvenli bir şekilde durduracak acil durduma valfi ve fren sistemi bulundurulmalıdır.

Hata: Şebeke frekansında bozulma var ise;

Olası nedenler: Ulusal şebeke sisteminden aşırı akım çekilmesi, şebekede oluşmuş harmonikler, atmosferik şartlar sebebiyle enerji nakil hattının kopması şebekeden kaynaklanacak bir arızayı doğurur.

Risk: Frekans dengelenemez ise aşırı artar veya sıfırlanır böylece ünite, santral hataya düşer. Durma sürecindeki maddi ve manevi külfet üstlenilir.

Yapılması gerekenler: Ünite kesicisi açılır, ayar kanatları ve giriş vanası kapatılır. Frenler otomatik devreye girer.

Önlem: Giriş filtresi ile gelen harmonik dalgaları sönmülenebilir.

Risk Sonuç Tablosu Tespit edilen hataların güvenli veya tehlikeli hatalar olarak sınıflandırılabilmesi amacıyla, hataların oluşturduğu risklerin sonuçları ve meydana

gelme sıklıkları dikkate alınarak risk matrisi oluşturulmuştur. Çizelge 4.2 ve 4.3'te Risk sonuç ve frekans çizelgeleri verilmiştir [30].

4.2 Risk Sonuç Tablosu

Çizelge 4. 1 Risk sonuç tablosu

Sonuç \ Ölçek	İhmal edilebilir (1)	Küçük (2)	Orta (3)	Büyük (4)	Çok ciddi (5)
İnsan kaybı (yaralanma)	Pansumanlı tedavi, iş gücü kaybı yok.	Ezilme, burkulma, 1 haftadan az iş gücü kaybı	Yaralanma, kırık, 1-6 hafta iş gücü kaybı	Hastane tedavisi, 6 hafta ve fazlası iş gücü kaybı	Ölüm, uzuv kaybı, sürekli iş göremezlik
Üretim Kaybı	Sistemi durdurma ve yeniden devreye alma sonucu 15 dakikalık süre kaybı	Bakım ve tamir amaçlı sistemi 1 günlük devre dışı yapma sonucu üretim kaybı	Bakım ve tamir amaçlı sistemi 5 günlük devre dışı yapma sonucu üretim kaybı	Ekipman tedariki sebebiyle sistemi 1 aylık devre dışı yapma sonucu üretim kaybı	Ekipman tedariki sebebiyle sistemi 3 aylık devre dışı yapma sonucu üretim kaybı

Çizelge 4. 1 Risk sonuç tablosu (devamı)

Maddi Kayıp	Ekipman tamiri gerekli	Düşük fiyatlı (50€ altı) ekipmanın değişmesi gerekli	Büyük fiyatlı (50€ üzeri) ekipmanın değişmesi gerekli	Ekipman sipariş, değişiklik, tedarik, supervizör kontrolü sürecinde oluşan maddi kayıp	Saha ekspertiz denetimi ve iş ekibinin mobilize olması, hasar onarım çalışmaları neticesinde bütçeyi %10'dan fazla etkisi olan maddi kayıp
-------------	------------------------	--	---	--	--

4.3 Risk Frekans Ölçekleri Tablosu

Çizelge 4. 2 Risk frekans ölçekleri tablosu

Ölçek	Tanım
Çok ender (1)	Sadece olağanüstü koşullarda hız regülatör sistemi ve buna bağlı türbin generatör sistemi zarar görür.
Düşük olasılık (2)	Herhangi bir zamanda hız regülatör sistemi ve buna bağlı türbin generatör sistemi zarar görür. (5 Yıl)
Olası (3)	Herhangi bir zamanda hız regülatör sistemi ve buna bağlı türbin generatör sistemi zarar görür. (1 Yıl)
Yüksek Olasılık (4)	Herhangi bir zamanda hız regülatör sistemi ve buna bağlı türbin generatör sistemi zarar görür. (6 Ay)
Hemen hemen kesin (5)	Her an hız regülatör sistemi ve buna bağlı türbin generatör sistemi zarar görür.

4.4 Risk Matrisi

Çizelge 4. 3 Risk matrisi

FREKANS	Hemen Hemen kesin (5)	Orta 5	Yüksek 10	Yüksek 15	Aşırı 20	Aşırı 25
	Yüksek Olasılık (4)	Orta 4	Orta 8	Yüksek 12	Yüksek 16	Aşırı
	Olası (3)	Az 3	Orta 6	Yüksek 9	Yüksek 12	Yüksek 15
	Düşük Olasılık (2)	Az 2	Az 4	Orta 6	Orta 8	Yüksek 10
	Çok Nadir (1)	Çok az 1	Az 2	Orta 3	Orta 4	Yüksek 5
		İhmal edilebilir (1)	Küçük (2)	Orta (3)	Büyük (4)	Çok Ciddi (5)
	SONUÇ					

Oluşturulan risk matrisi neticesinde Midilli HES 'in hız regülatör sisteminde ortaya çıkabilecek 1 adet aşırı öneme sahip, 10 adet yüksek öneme sahip, 11 adet de orta öneme sahip risk belirlenmiştir. Risklerin analizi ve değerlendirmesi yapılırken konuyla ilgili uzman görüşüne başvurulmuş olup, aşırı ve yüksek öneme sahip olan risklerden 8 tanesinin tehlikeli hatalardan meydana gelebileceği belirlenmiş, bu kritik senaryoların

güvenirlilik analizinin yapılmasında hata ağacı analizi yönteminden yararlanılmış, talepte hataya düşme hesapları yapılarak emniyet bütünlük seviyeleri belirlenmiştir.

Çizelge 4. 4 Risk skor çizelgesi

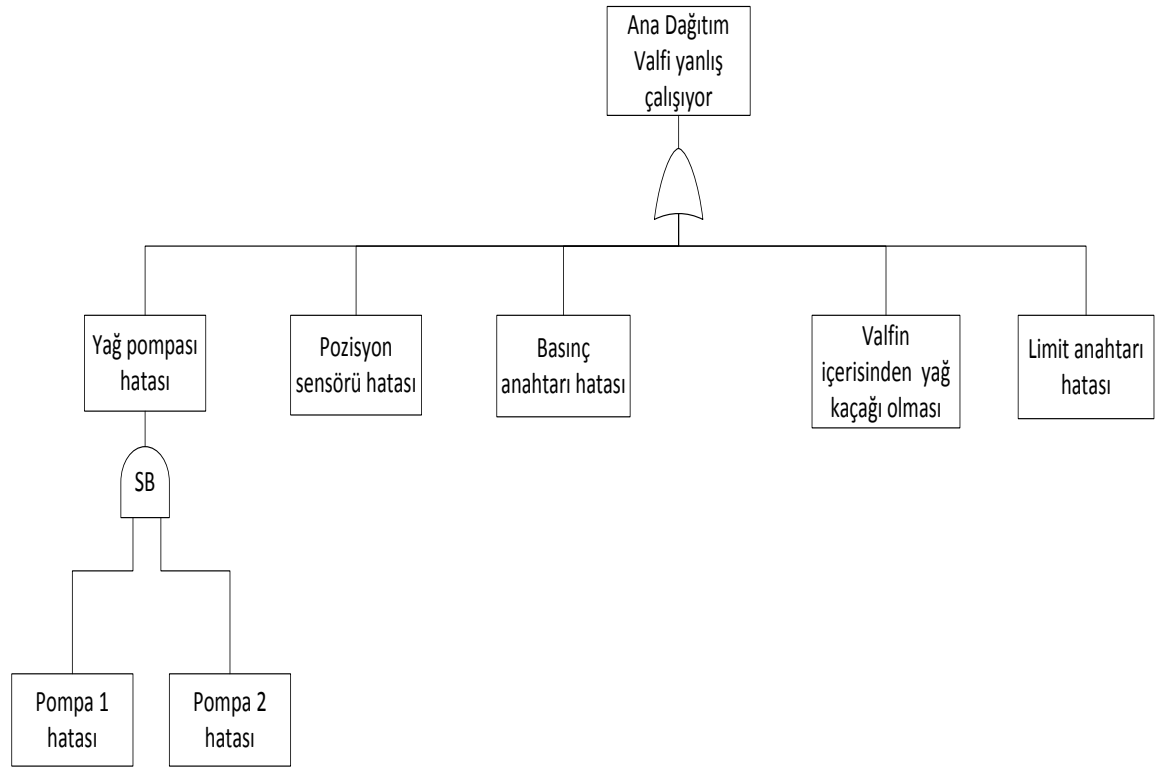
Tehlike durumu	Oluşma Sıklığı	Ortaya Çıkan Zarar	Risk Skoru
Aşırı hıza gitme durumu	Yüksek olasılık	Çok ciddi kayıp	20A
Frekans dengelenemiyor	Yüksek olasılık	Büyük maddi kayıp	16Y
Yüksek basınç durumu	Yüksek olasılık	Büyük maddi kayıp	16Y
PLC hatası	Olası	Büyük maddi kayıp	12Y
Ana dağıtım valfi hatası	Olası	Büyük maddi kayıp	12Y
Step motor hatası	Yüksek olasılık	Orta dereceli kayıp	12Y
İstenilen güç seviyesi sağlanamıyor	Olası	Büyük maddi kayıp	12Y
Şebeke frekansında bozulma	Düşük olasılık	Çok ciddi kayıp	10Y
İstenilen su seviyesi sağlanamıyor	Olası	Orta dereceli kayıp	9Y
Servomotor hatası	Olası	Orta dereceli kayıp	9Y
Pompa gürültülü çalışıyor	Olası	Orta dereceli kayıp	9Y
Yağ seviyesi düşük	Yüksek olasılık	Küçük maddi kayıp	80
Yağ seviyesi yüksek	Yüksek olasılık	Küçük maddi kayıp	80
Pompa yavaş çalışıyor	Yüksek olasılık	Küçük maddi kayıp	80
Yağ sıcaklığı yüksek	Yüksek olasılık	Küçük maddi kayıp	80
Düşük basınç durumu	Yüksek olasılık	Küçük maddi kayıp	80
Pompa yağ kaçırıyor	Yüksek olasılık	Küçük maddi kayıp	80
Yağ basıncı ve yağ akışı yok	Olası	Küçük maddi kayıp	60
Yağ akışı kısa süreli	Olası	Küçük maddi kayıp	60
Servo slindir hatası	Olası	Küçük üretim kaybı	60
Yağda köpüklenme var	Yüksek olasılık	İhmal edilebilir	40
Emniyet pimi kırık	Yüksek olasılık	İhmal edilebilir	40

Risk analiz ve değerlendirmesi zaman, çalışma şartları, konuyu değerlendiren uzman görüşüne göre farklılık gösterebilecektir.

4.5 Güvenirlik Hesaplamaları ve Hata Ağacı Analizleri

Bu çalışmada regülatör sistemi için belirlenen 8 adet emniyetle ilgili fonksiyon (SRF) için hata ağacı analizi yapılmış olup, hesaplamalar için kullanılan hata oranları ve referansları her bir ağacın altında yer alan çizelgeler ile verilmiştir.

Hesaplamalar yapılırken part count set yöntemi ile elektronik devreler ve bazı elektriki ekipmanlar için ile MIL Handbook, elektriki ve mekanik ekipmanlar için OREDA, IAEA, RAC Library databook verilerinden yararlanılmıştır ve bazı ekipmanlar için uzman görüşüne dayalı değerler kullanılmıştır [49], [51], [63].

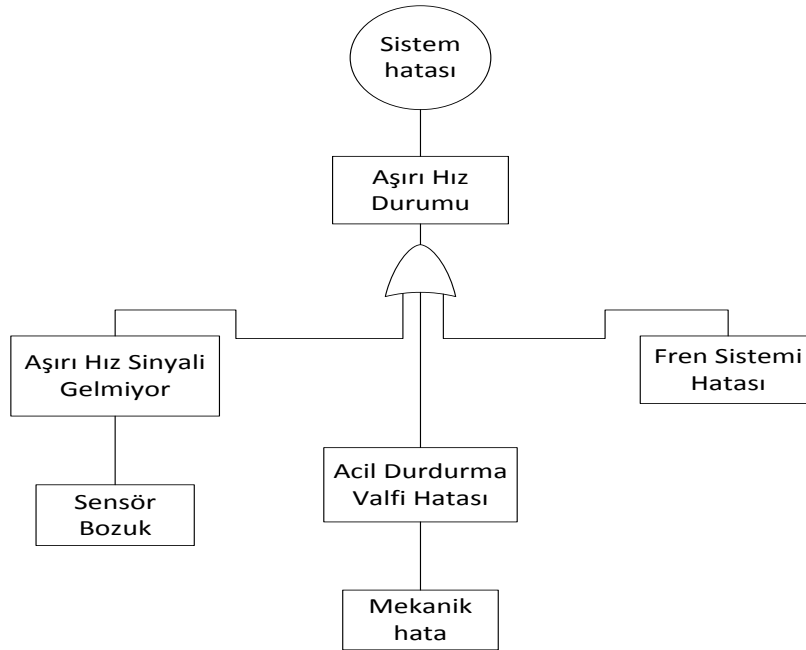


şekil 4. 1 Ana dağıtım valfi hatası hata ağacı

Çizelge 4. 5 Ana dağıtım valfi için hesaplamalar

Kaynaklar	λ_D (yıl)	MTTF (yıl)	PFD_{avg}	Referanslar
Yağ pompası			7.84×10^{-4}	Bknz. Syf. 50
Pozisyon sensörü	0.1701	5.878	8.04×10^{-2}	OREDASyf. 548
Basınç anahtarı	0.0788	12.690	3.80×10^{-2}	IAEA Syf. 64
Yağ kaçağı	0.4529	2.208	1.96×10^{-1}	OREDASyf. 204
Limit anahtarı	0.1139	8.781	5.48×10^{-2}	MIL Syf. 9
Ana dağıtım valfinin yanlış çalışması durumu			3.69×10^{-1}	

Sistemde 2 adet pompa birinin arızalanması durumunda birbirlerinin yerine geçebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle yedek fazlalıklı sistem (standby redundancy) ile ifade edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ana dağıtım valfinin yanlış çalışarak sistemi hataya düşürme fonksiyonu emniyet seviyesi SIL 1 olarak hesaplanmıştır.

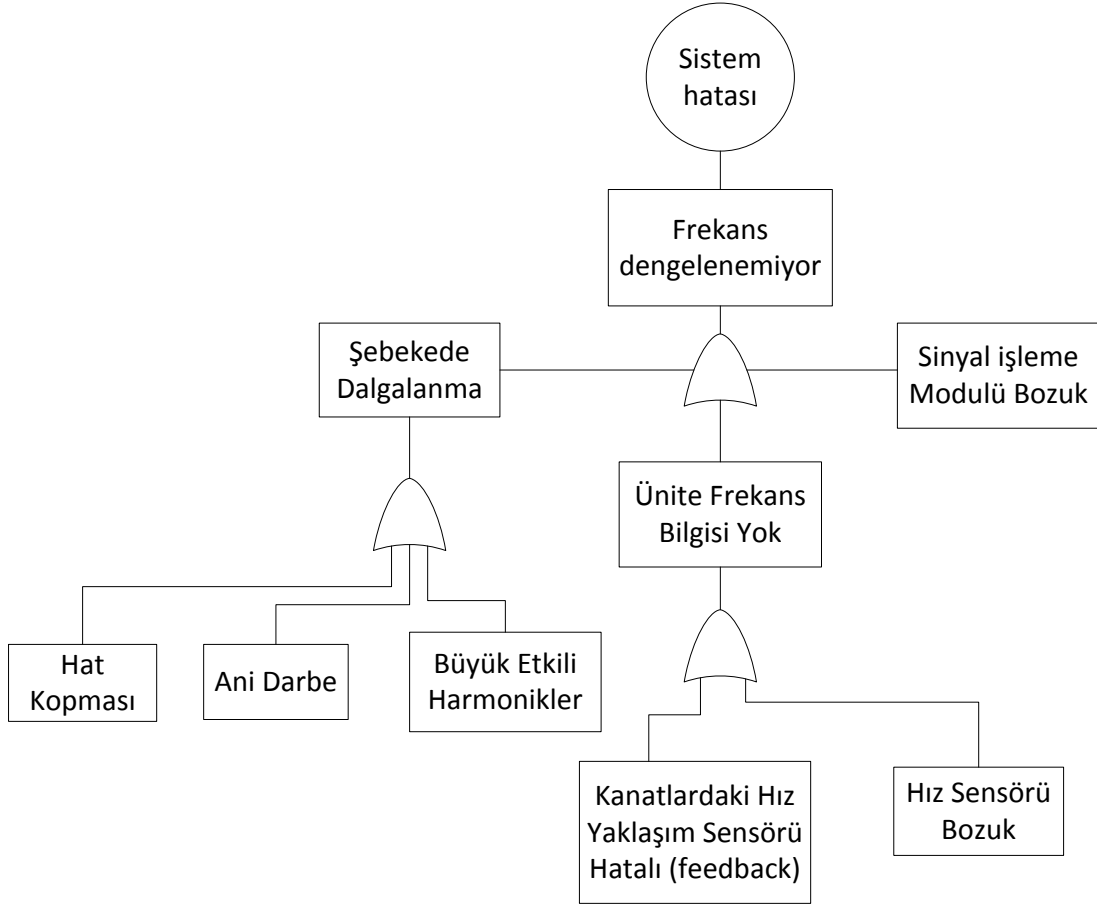


Şekil 4. 2 Aşırı hız durumu hata ağacı

Çizelge 4. 6 Aşırı hız durumu için hesaplamalar

Kaynaklar	λ_D (yıl)	MTTF (yıl)	PFD_{avg}	Referanslar
Aşırı hız sensörü	0.0037	270.270	1.85×10^{-3}	OREDASyf. 296
Acil durdurma valfi	0.7958	1.257	3.10×10^{-1}	OREDASyf. 581
Fren sistemi	0.0081	61.728	8.06×10^{-3}	RAC Library
Aşırı hız durumu			3.20×10^{-1}	

Yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin aşırı hıza gitme fonksiyonu emniyet seviyesi SIL 1 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 3 Frekans dengelenememe durumu hata ağacı

Çizelge 4. 7 Frekans dengelenememe durumu için hesaplamalar

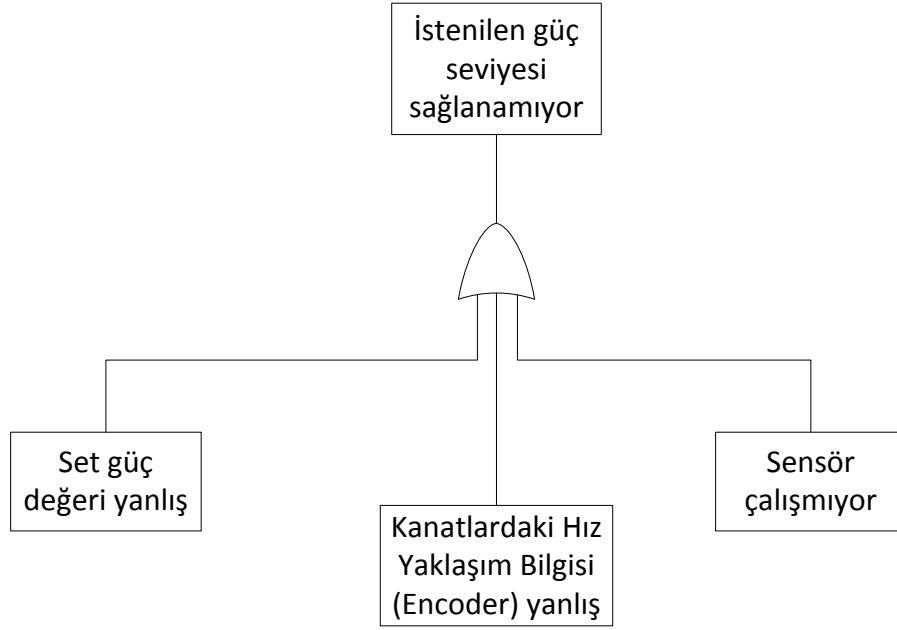
Kaynaklar	λ_D (yıl)	MTTF (yıl)	PFD_{avg}	Referanslar
Hat kopması	0.0006	1636.661	0.30×10^{-3}	Uzman görüşü
Ani darbe oluşması	0.0275	36.364	1.36×10^{-2}	Uzman görüşü
Büyük etkili harmonikler	0.0092	108.696	4.60×10^{-3}	Uzman görüşü
Yaklaşım sensörü	0.0096	103.778	4.80×10^{-3}	IAEA Syf. 58
Hız sensörü	0.0037	270.270	1.80×10^{-3}	OREDASyf. 296
Sinyal işleme modülü	0.0516	19.379	2.50×10^{-2}	MIL pcs
Frekansın dengelenememesi			5.01×10^{-2}	

Santralin bağlı olduğu yüksek gerilim hattında oluşabilecek arızaların hata oranları santral arıza geçmişinden yararlanılarak, uzman görüşü alınarak belirlenmiştir. Elektronik bir kart olarak tasarlanan, şebekeden alınan şebeke frekansı ile generatör çıkışından alınan generatör frekansı bilgilerini karşılaştırıp, filtreleyip yükselterek PLC nin girişine set point olarak veren sinyal işleme modülünün hata oranı MIL-HDBK-217F kataloğundan yararlanarak parts count set metoduyla hesaplanmıştır. Devre elemanlarının özelliklerine göre sınıflandırılarak hesaplanan kartın güvenilirlik tablosu aşağıda verilmektedir [67].

Çizelge 4. 8 Sinyal işleme modülü hata oranı için hesaplamalar

No.	Part Type	Env.	Qty.	Base Failure Rate (λ_b , FPMH, 10)	π_Q Description	π_Q	$\lambda_p = Qty. * \lambda_b * \pi_Q$
1	Diodes,Power Rectifier/Schottky Power	GF	4	0.022	Lower	6	0.484
2	Capacitors, Ceramic (General Purpose), CK, MIL-C-11015	GF	17	0.026	MIL-SPEC Q=3.0	3	1.326
3	Resistors, Composition, Variable, RV, MIL-R-94	GF	6	0.016	MIL-SPEC Q=3.0	3	0.288
4	Resistors, Wirewound, Power, RW, MIL-R-26	GF	19	0.038	MIL-SPEC Q=3.0	3	2.166
5	Inductive Devices, Transformer, Power, MIL-T-27	GF	2	0.36	MIL-SPEC	1	0.72
6	Diodes,Voltage Reference/Regulator (Avalanche and Zener)	GF	1	0.024	Lower	6	0.132
7	Opamp	GF	6	0.13			0.78
					Total failure rate (FPMH)		5.896×10^{-6}

Yapılan hesaplamalar sonucunda sistemde frekansın dengelenememesi fonksiyonu emniyet seviyesi SIL 2 olarak hesaplanmıştır.

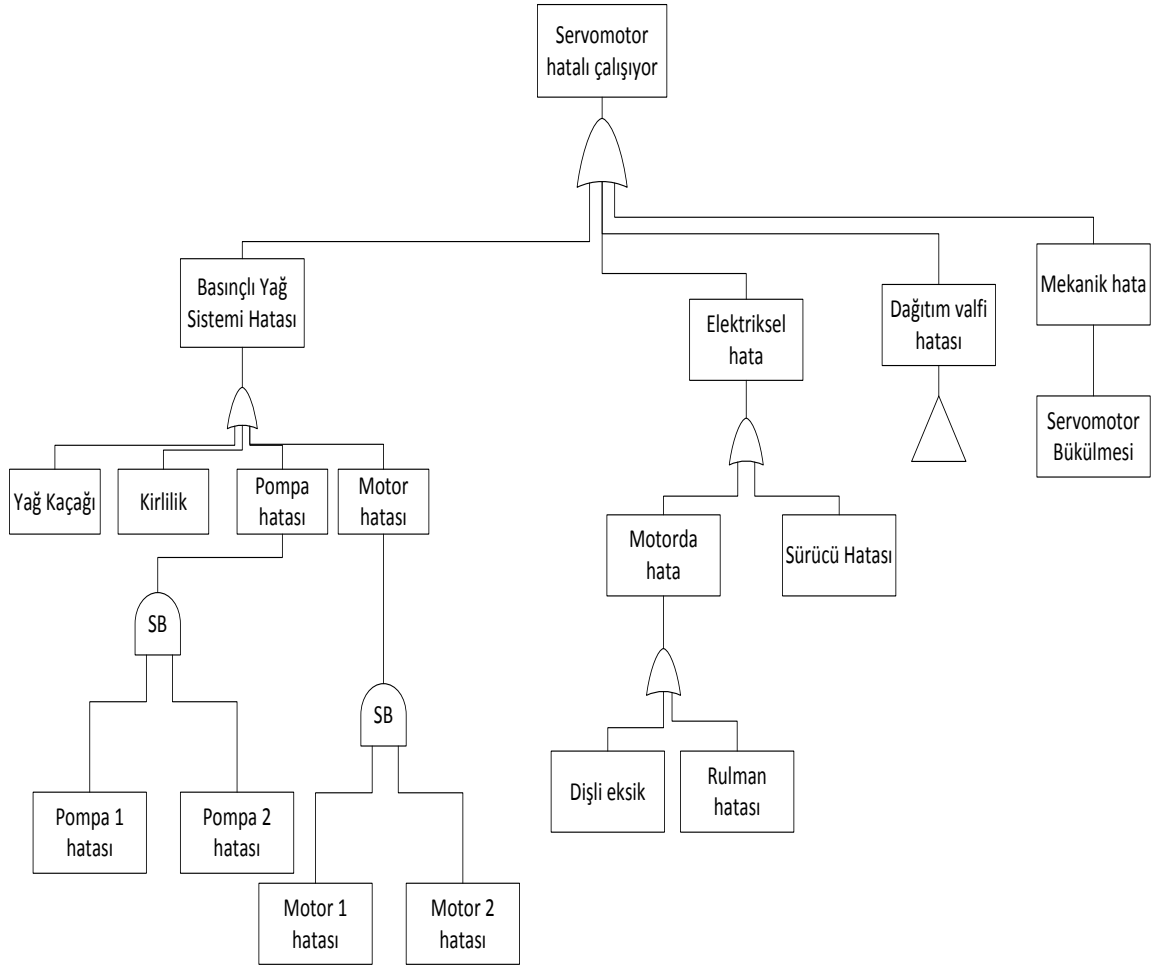


Şekil 4. 4 İstenilen güç seviyesi ayarlanamaması durumu hata ağacı

Çizelge 4. 9 İstenilen güç seviyesi ayarlanamaması durumu için hesaplamalar

Kaynaklar	λ_D (yıl)	MTTF (yıl)	PFD_{avg}	Referanslar
Referans güç değeri	0.3154	3.171	1.42×10^{-1}	IAEA Syf. 64
Yaklaşım sensörü	0.0096	103.778	4.80×10^{-3}	IAEA Syf. 58
Hız sensörü	0.0037	270.270	1.80×10^{-3}	OREDASyf. 296
İstenilen güç değerini sağlayamama durumu			1.49×10^{-1}	

Yapılan hesaplamalar sonucunda sistemde istenilen güç değerinin sağlanması sonucunda sistem performansının olumsuz etkilenmesi fonksiyonu emniyet seviyesi SIL 1 olarak hesaplanmıştır.

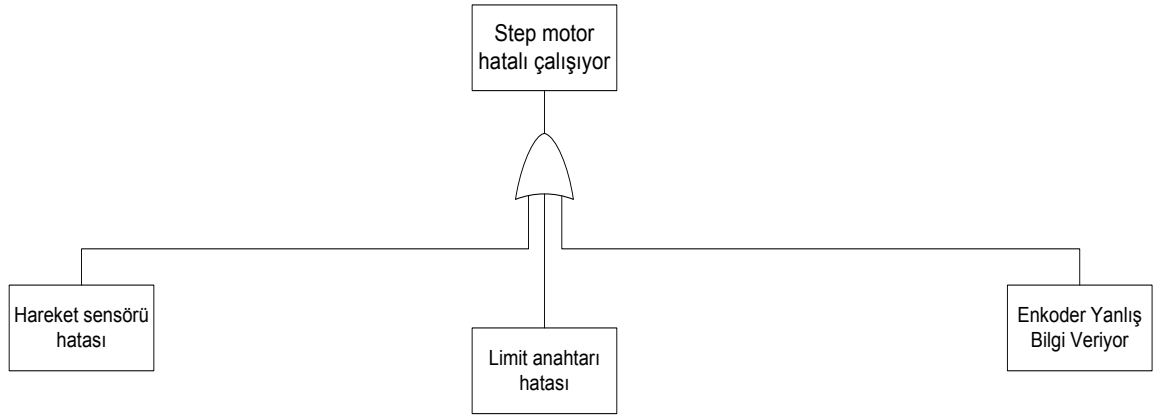


Şekil 4. 5 Servomotorun hata yapması durumu hata ağacı

Çizelge 4. 10 Servomotorun hata yapması durumu için hesaplamalar

Kaynaklar	λ_D (yıl)	MTTF (yıl)	PFD_{avg}	Referanslar
Yağ kaçağı	0.4529	2.208	1.96×10^{-1}	OREDA Syf. 204
Yağda kirlilik	0.0032	317.460	1.59×10^{-1}	OREDA Syf. 338
Yağ pompası			7.84×10^{-4}	Bknz. Syf 50
Pompa motoru	0.7008	1.427	7.89×10^{-2}	Uzman görüşü
Motor dişlisi	0.0095	105.263	4.73×10^{-3}	OREDA Syf. 338
Rulman	0.0063	158.730	3.14×10^{-3}	OREDA Syf. 338
Motor sürücüsü	0.0175	57.200	8.70×10^{-3}	Uzman Görüşü
Ana dağıtım valfi			3.69×10^{-1}	Bknz. Syf 42
Servomotor bükülmesi	0.0125	80	6.22×10^{-3}	OREDA Syf. 338
Servomotor hatası			8.29×10^{-1}	

Sistemde 2 adet pompadan ve 2 adet motordan biri diğeri bozulduğunda diğeri devreye girmektedir. Bu nedenle yedekleme kapısı (standby redundancy) ile ifade edilmiştir. Yağ pompası ve ana dağıtım valfi hataya düşme olasılıkları çalışma içerisinde diğeri hata ağacı analizlerinde hesaplanmıştır. Motor sürücüsü hata oranı [69] uzman görüşünden alınmıştır. Pompa motoru hata oranı OREDA kataloğu ve IAEA kataloğu değerlerinin sağlandığı çalışma şartları kıyaslaması yapılarak uzman görüşü ile belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda servomotorun yanlış çalışarak sistemi hataya düşürme fonksiyonu emniyet seviyesi SIL 1 olarak hesaplanmıştır.

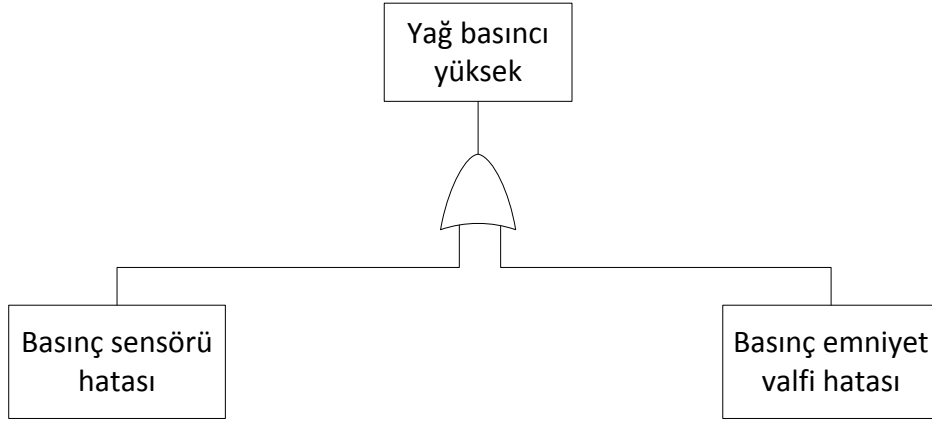


Şekil 4. 6 Step motor hatası hata ağacı

Çizelge 4. 11 Step motor hatası için hesaplamalar

Kaynaklar	λ_D (yıl)	MTTF (yıl)	PFD_{avg}	Referanslar
Pozisyon sensörü	0.1701	5.878	8.04×10^{-2}	OREDA Syf. 548
Limit anahtarı	0.1139	8.781	5.48×10^{-2}	MIL Syf. 9
Enkoder	0.0096	103.778	4.80×10^{-3}	IAEA Syf. 58
Stepmotor hatası			1.40×10^{-1}	

Yapılan hesaplamalar sonucunda sistemde step motorun hatalı çalışması sonucunda sistem performansının olumsuz etkilenmesi fonksiyonu emniyet seviyesi SIL 1 olarak hesaplanmıştır.

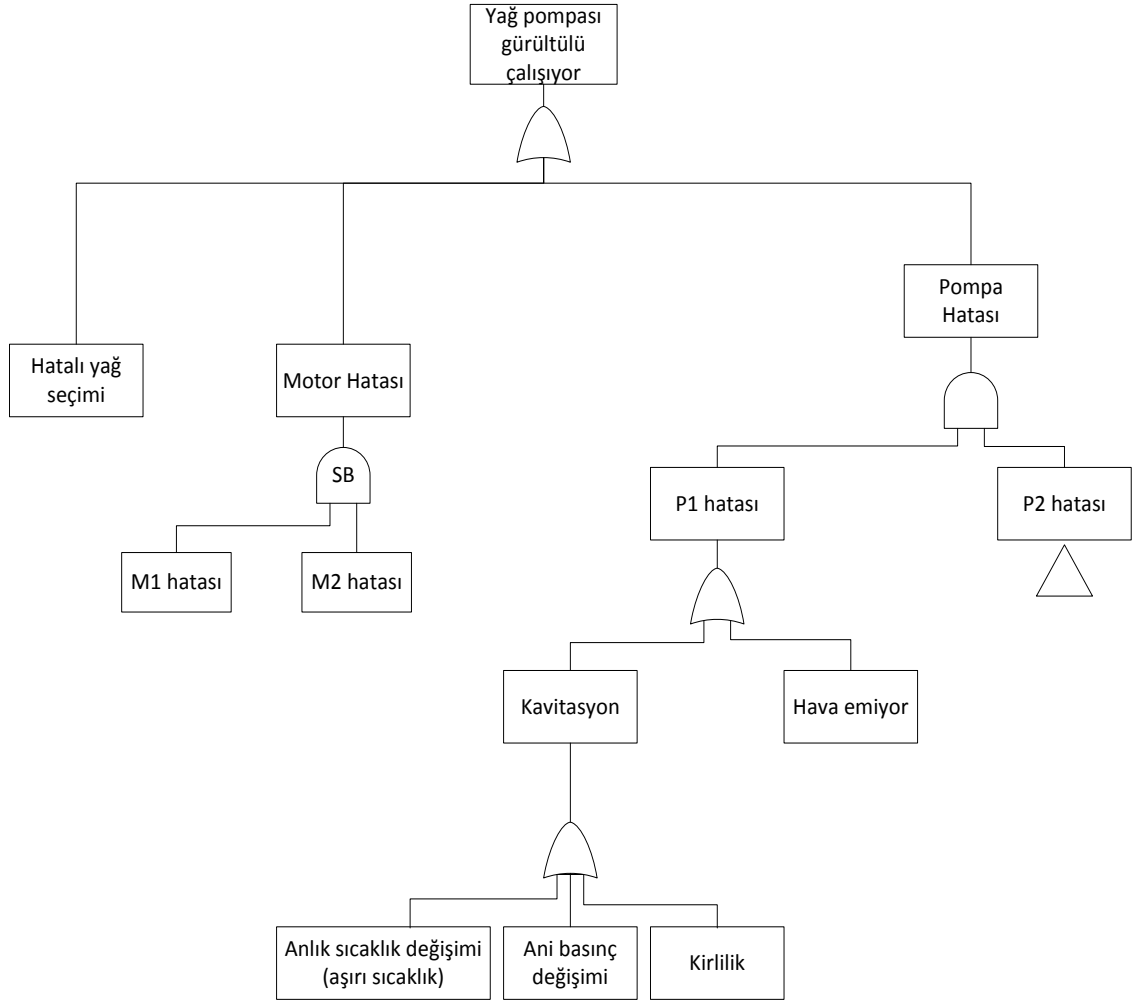


Şekil 4. 7 Yağ basıncı yüksek durumu hata ağacı

Çizelge 4. 12 Yağ basıncı yüksek durumu için hesaplamalar

Kaynaklar	$\lambda_D(\text{yıl})$	$MTTF(\text{yıl})$	PFD_{avg}	Referanslar
Basınç sensörü	0.0162	61.706	8.06×10^{-3}	Uzman görüşü
Emniyet valfi	0.0253	39.500	1.25×10^{-2}	OREDASyf. 786
Yağ basıncının yükselmesi			2.06×10^{-2}	

Basınç sensörü hata oranı ,OREDA kataloğu ve IAEA kataloğu değerlerinin sağlandığı çalışma şartları kıyaslaması yapılarak, uzman görüşü ile belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yağ basıncının yükselerek sistemi hataya düşürme fonksiyonu emniyet seviyesi SIL 2 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 8 Yağ pompası gürültülü çalışma durumu hata ağacı

Çizelge 4. 13 Yağ pompası gürültülü çalışma durumu için hesaplamalar

Kaynaklar	$\lambda_D (yıl)$	$MTTF (yıl)$	PFD_{avg}	Referanslar
Hatalı yağ	0.0799	12.516	3.89×10^{-2}	www.hse.gov.uk
Pompa motoru	0.7008	1.427	7.89×10^{-2}	Uzman görüşü
Aşırı sıcaklık	0.0133	75.188	0.66×10^{-2}	OREDA Syf. 218
Ani basınç değişimi	0.0133	75.188	0.66×10^{-2}	OREDA Syf. 218
Yağda kirlilik	0.0133	75.188	0.66×10^{-2}	OREDA Syf. 218
Hava katkısı	0.0133	75.188	0.66×10^{-2}	OREDA Syf. 218
Yağpompasının gürültülü çalışması			1.18×10^{-1}	

Pompa motoru hata oranı OREDA kataloğu ve IAEA kataloğu değerlerinin sağlandığı çalışma şartları kıyaslaması yapılarak uzman görüşü ile belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yağ pompasının gürültülü çalışarak sistemi hataya düşürme fonksiyonu emniyet seviyesi SIL 1 olarak hesaplanmıştır.

4.6 Varsayımlar

Basınçlı yağ sistemi hız regülatör sistemi içerisinde yardımcı sistem olarak kabul edilmiş olup, yağ sisteminin etkisiyle oluşabilecek riskler risk değerlendirilmesine dahil edilmiştir.

Talepte hataya düşme olasılık hesaplamaları yapılırken tüm ekipmanlar için kanıt testi süresi 1 yıl kabul edilmiştir.

Tüm hesaplamalar yapılırken ekipmanların montaj, devreye alma hataları kullanıma başlandıktan sonraki alışma evresindeki yanıtıcı değerler verebileceğinden ihmal edilmiştir. Aynı şekilde faydalı ömrünü tamamladıktan sonra yıpranma aşamasındaki hatalar da dikkate alınmamıştır.

Sistemde oluşabilecek elektriksel sinyal, bağlantı ve kablaj hataları ihmal edilmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan hesaplamalar sonucunda hidroelektrik santrallerdeki türbin ayar kanatları açıklığını ayarlayan, üretilecek güç miktarını belirleyen, türbin generatör sisteminin frekansının şebeke frekansı ile senkronize olmasını sağlayan hız regülasyon sisteminin emniyet seviyesi SIL 1 olarak hesaplanmıştır. Bu da enerji üretim sistemlerinde hidroelektrik santral ekipmanlarının sahip olması gereken minimum emniyet seviyesidir.

Emniyet seviyeleri belirlenmiş olan emniyetle ilgili fonksiyonlardan sistemin talep anında çalışmaması karşısındaki en en kritik sonuçlar doğurabilecek olan risk grubu aşırı hız durumuna gitme senaryosu için sisteme balatalı fren sistemi ve acil durdurma valfinin çalışmaması durumunda devreye girerek sisteme paralel yapıda çalışacak olan statik fren sistemi eklenmesinin sistemin emniyet seviyesini istenen seviyeye ulaştıracağı düşünülmüştür. Bu öneriye istinaden, aşağıda statik fren sistemi prensip şeması ve çalışma prensibi sunulmuş, revize hata ağacı ve analizi ile sistemin daha güvenilir hale geldiği ispatlanmıştır.

5.1 Güvenliği Arttırma Yöntemleri

5.1.1 Statik Fren Sistemi

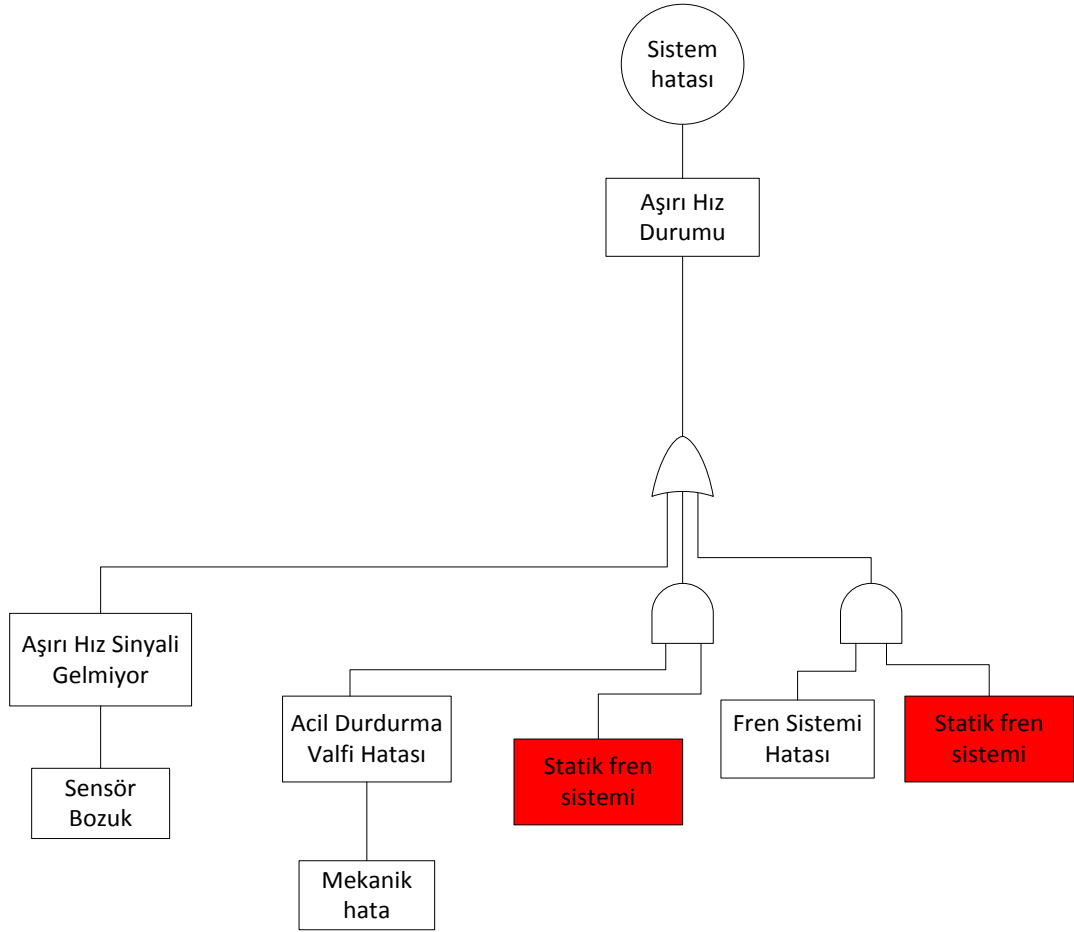
Statik fren sistemi Şekil 5.1'de görüldüğü üzere frenleme dirençleri, SF6 gazlı kesici, kesici kontrol devresi ve motor dan oluşmaktadır.

Frenleme Direnci: Frenleme dirençleri, hız kontrol cihazları ile kontrol edilen AC ve DC elektrik motorlarının kısa sürede durmasını ya da hızının düşürülmesini sağlamak amacıyla kullanılan devre elemanlarıdır [79].

Enerjisi kesilen motorun durması istense bile, o anda sahip olduğu kinetik enerji etkisiyle bir süre daha dönmeye devam eder. Rotor dönmeye devam ettiği için motor bir generatör gibi çalışıp şebekeyi besler. Bu generatif çalışma evresinin kısa tutulması ve ters yönde üretilen bu enerjinin ısıya dönüştürülmesi için kesici ve ayırıcılar enerjiyi “frenleme direnci” terminallerine bağlı olan, uygun güç ve ohmajdaki frenleme direncine aktarır. Hız regülatör sisteminde ise bir anda oluşan yük boşalması ile aşırı hıza gitme durumu ile karşışıkaya kalınması durumunda fren sisteminin devreye girememesi ve üniteyi güvenli bir şekilde durduramaması halinde, generatör üzerindeki enerjinin frenleme dirençleri üzerinde harcanması ve böylelikle ünitenin emniyetli bir şekilde yavaşaltılıp, durdurulması istenir.

Etiket değerinde belirtilen gücü 10485 kVA olan her bir generatör ünitesi için 12.775 Ω 'luk alüminyum kaplı seramik direnç ile SF6 gazlı motorlu kesici kullanılarak statik fren sistemi oluşturulmuştur.

Yeni durumda oluşan hata ağacı ve emniyet bütünlük seviyesi hesaplamaları aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 5. 2 Aşırı hız durumu revize hata ağacı 1

Çizelge 5. 1 Aşırı hız revize durumu için hesaplamalar

Kaynaklar	$\lambda_D (yıl)$	$MTTF (yıl)$	PFD_{avg}	Referanslar
Aşırı hız sensörü	0.0037	270.270	1.85×10^{-3}	OREDA Syf. 296
Acil durdurma valfi	0.7958	1.257	3.10×10^{-1}	OREDA Syf. 581
Fren sistemi	0.0081	61.728	8.06×10^{-3}	RAC Library
Statik fren sistemi			3.03×10^{-3}	MIL-SQL-Syf. 61
Aşırı hız durumu			2.81×10^{-3}	

Emniyet seviyesi SIL 1 olan aşırı hıza gitme fonksiyonu, statik fren sisteminin paralel olarak sisteme eklenmesi ile SIL 3 emniyet seviyesine yükselmiştir.

Emniyet seviyeleri belirlenmiş olan emniyetle ilgili fonksiyonlardan en kritik sonuçlar doğurabilecek olan aşırı hız durumuna gitme senaryosu için ikinci bir öneri olarak sürekli canlı haldeki bir emniyet sistemi olan aşırı hız koruma cihazının sisteme paralel yapıda eklemesinin sistemin emniyet seviyesini istenen seviyeye ulaştıracağı düşünülmüştür. Bu öneriye istinaden, aşağıda aşırı hız koruma cihazının prensip şeması ve çalışma prensibi sunulmuş, revize hata ağacı ve analizi ile sistemin daha güvenilir hale geldiği ispatlanmıştır.

5.1.2 Aşırı Hız Koruma Ünitesi

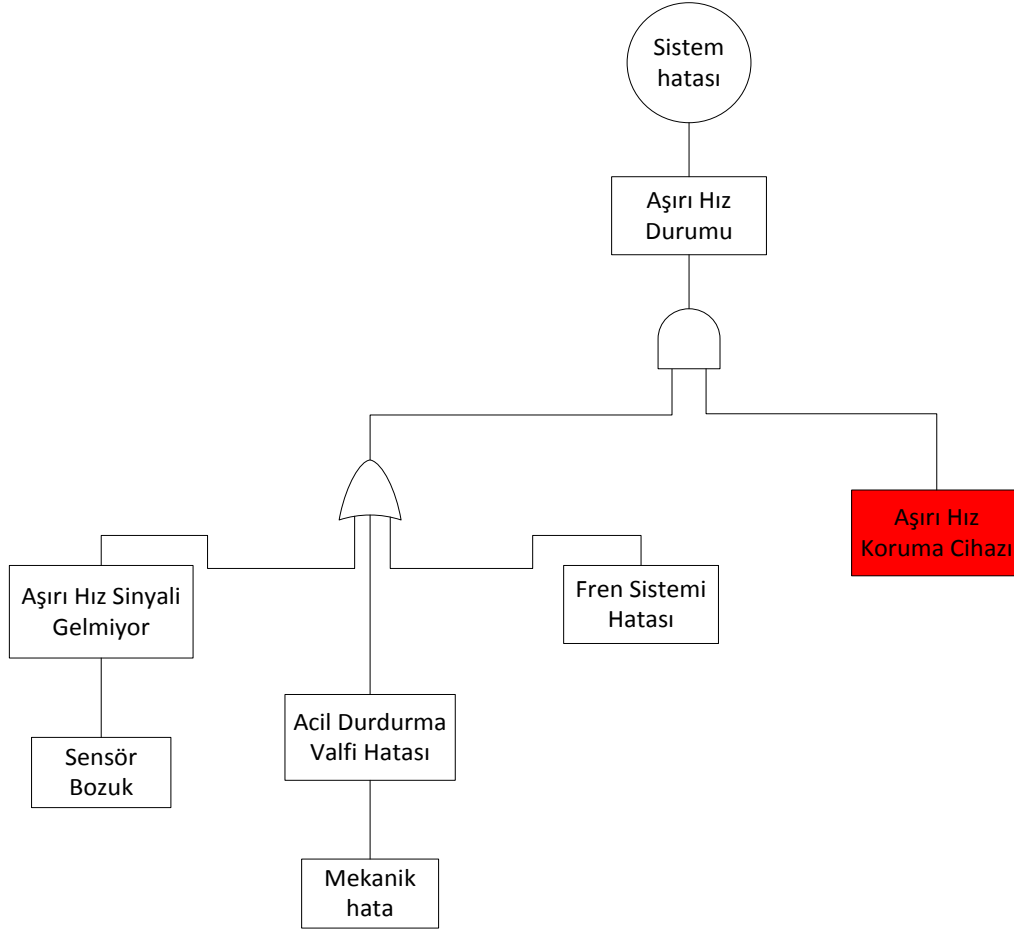
Sistemde enerji var iken sürekli olarak canlı olan yüksek emniyet seviyesindeki röle, kontrol ünitesi ve acil durdurma valfinden oluşan bir emniyet sistemi önerisidir.

Hız sensörü ile generatörden aldığı hız bilgisini incelenmesi için kontrol devresine gönderir. Bu kontrol devresi aynı zamanda kontrol vafini kontrol eden ünitedir. Kontrol ünitesinden alınan +24 V DC gerilim ile kontaktör enerjilendirilir.

Sistem normal çalışmasına devam ederken, trip durumu mevcut değil iken, cihazın kontrol devresi valfini süren bobini enerjili tutarak yaya karşı sürekli bir ters kuvvet uygular.

Sistemin hataya gitmesi durumunda trip uyarısını tespit eder ve kontaktörün normalde açık olan kontağını kapatarak, trip akımını cihazın kontrol devresine aktarır. Cihazın kontrol devresi bir yaya karşı mukavemet gösteren bobinin enerjisini keserek ana kontrol valfi konumunu yağ yolları tıkamadan açık pozisyona gelecek şekilde ayarlar [77].

Yeni durumda oluşan hata ağacı ve emniyet bütünlük seviyesi hesaplamaları aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 5. 4 Aşırı hız durumu revize hata ağacı 2

Çizelge 5. 2 Aşırı hız revize 2 durumu için hesaplamalar

Kaynaklar	$\lambda_D (yıl)$	$MTTF (yıl)$	PFD_{avg}	Referanslar
Aşırı hız sensörü	0.0037	270.270	1.85×10^{-3}	OREDA Syf. 296
Acil durdurma valfi	0.7958	1.257	3.10×10^{-1}	OREDA Syf. 581
Fren sistemi	0.0081	61.728	8.06×10^{-3}	RAC Library
Aşırı Hız koruma cihazı			2.97×10^{-1}	MIL-SQL-Syf. 61
Aşırı hız durumu			9.50×10^{-2}	

Emniyet seviyesi SIL 1 olan aşırı hıza gitme fonksiyonu, aşırı hız kontrol ünitesinin paralel olarak sisteme eklenmesi ile SIL 2 emniyet seviyesine yükselmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Vatansever, F. ve Uysal F., (2002), Enerji Sistemlerinde Bilgisayar Destekli Güvenilirlik Analizi, http://www.emo.org.tr/ekler/fc89c3ee67d8812_ek.pdf, 22 Haziran 2014.
- [2] Adıgüzel, F., (2002). "Türkiye'de Enerji Sektöründe Hidroelektrik Enerjinin Önemi", TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri Su Kaynaklarının Geliştirilmesi ve Yönetimi, 4-5-6: 420-422.
- [3] Özdemir, Ö., (2013), Güvenilirlik Ders notları, <http://triton.elk.itu.edu.tr/~ozdemir/guven5.pdf>, 10 Haziran 2014.
- [4] BSI Standards Publication, (2010), IEC 61508 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, IEC, Version II, Brussels.
- [5] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümü, http://www.enerji.gov.tr/yayinlar/raporlar/Dunyada_ve_Turkiyede_Enerji_Gorunumu.pdf, 23 Haziran 2014.
- [6] Karakaş, E., (2010). Hes Projeleri Sorunları ve Çözüm Önerileri, http://akademik.maltepe.edu.tr/~serdarcelebi/ENS%20204/HES%20hk.da%20EPDK%20Sunumu_Duzeltim%FDs.ppt, 22 Nisan 2014.
- [7] Oğuz, S., (2008). Yenilenebilir Enerji Küçük Hidroelektrik Santraller, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19 Aralık 2008, İstanbul.
- [8] Korkmaz, O., (2010). "Hidroelektrik Santraller İçin Saatlik Elektrik Üretim Tahmin Modeli", ICCI Enerji ve Çevre Konferansı ve Fuarı, 12-14 Mayıs 2010, İstanbul.
- [9] Özkaldı, Y.V., (2012). "Barajlar ve Hesler Hidromekanik ve Elektromekanik Teçhizat Tasarım Rehberi", I. Barajlar Kongresi, Ekim 2012, Ankara.
- [10] Özbay, E. ve Gençoğlu, M.T., (2009). Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi, Lisans Tezi, FÜ Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ.

- [11] Lab-Volt Ltd., (2013). Hydropower Electricity Generation, 978-2-89640-574-9, First Edition, Canada.
- [12] Başıme, H., (2003). Hidrolik Santraller Ve Hidroelektrik Santral Tesisleri, EÜAŞ Genel Müdürlüğü Hidrolik Santraller Daire Başkanlığı Yayınları, 2. Baskı, Ankara.
- [13] Gustafsson, M., (2013). Improved Governing of Kaplan Turbine Hydropower Plants Operating Island Grids, Master's Thesis, KTH Vetenskap Och Konst, Electrical Engineering, Stockholm. (Unpublished Thesis).
- [14] IEEE 125, (1988). Recommended Practice for Preparation of Equipment Specifications for Speed-Governing of Hydraulic Turbines Intended to Drive Electric Generators, IEEE, II. Revision, New York.
- [15] IEEE 1207, (2004). Guide for the Application of Turbine Governing Systems for Hydroelectric Generating Units, IEEE, New York.
- [16] Patterson, S., (2011). "Frequency Response and Governor Modeling", WECC Modeling and Validation Workshop, 21 Haziran 2011, Salt Lake City.
- [17] Nelson Vinotha Kumar Xavier, P. ve Muthukumar, S., (2010) "Frequency Regulation by Free Governor Mode of Operation in Power Stations", IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, 1-5.
- [18] Alley, D.S. (1993). "Generator Basics Applied to Field Problems", International Electrical Testing Association, 1-6.
- [19] Naghizadeh, R.A., Jazebi, S. ve Vahidi, B., (2012)." Modeling Hydro Power Plants and Tuning Hydro Governors as an Educational Guideline", Praise Worthy Prize, 1974-9821: 1780-1788.
- [20] Mesa Associates , Inc., (12.15.2011). Best Practice Catalog Governor, Revision 1.0, Chattanooga.
- [21] Akçay, S., (2007). Hidroelektrik Santrallerde Güç – Frekans Denetimi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [22] T. C. Resmi Gazete, Elektrik Şebeke Yönetmeliği, (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (29013 Mükerrer), 28.05.2014.
- [23] EPS Enerji Test, (2013). Doğu Karadeniz ve Yöresi HES işletme Müdürlüğü EÜAŞ Borçka HES Primer Frekans Kontrol Performans Test Raporu, 13-R-010, Artvin.
- [24] Yüksel, İ. ve Şengirgin, M., (2003). "Elektrohidrolik Valflerin Gelişimi ve Karakteristiklerinin İncelenmesi", II. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 4-7 Aralık 2003, İzmir, 265-279.
- [25] Goble, W.M. ve Cheddie, H., (2005). Safety Instrumented Systems Verification: Practical Probabilistic Calculations, 1-55617-909-X, The Instrumentation, Systems and Automation Society, United States.

- [26] Kaymakçı, Ö.T. ve Üstoğlu, İ., (2013). Fonksiyonel Emniyet ve Endüstriyel Uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yayınlanmamış ders notları.
- [27] Goble, W.M., (2007). Probabilistic design verification of instrumented protection functions, http://entrac.iaea.org/I-and-C/TM_TORONTO_2007/Book%20of%20Abstracts%202.pdf, 22 Mayıs 2014.
- [28] MTL Instruments Group plc., (2002). An Introduction to Functional Safety and IEC 61508, AN9025-3.
- [29] Kwatny, H.G., Engineering Reliability Fault Trees and Reliability Block Diagrams, <http://www.pages.drexel.edu/~hgk22/courses/MEM361/MEM361-Lecture4b.pdf>, Jun 10, 2014.
- [30] Kozacı, C., (2010), Risk Yönetimi, <http://www.mess.org.tr/content/isgsunum/CEMAL%20KOZACI%20%C4%B0S%20R%C4%B0SK%20Y%C3%96NET%20C4%B0M%20C4%B0,%20KOZACI.pdf>, 15 Nisan 2014.
- [31] Çakmak, M. ve Uluyurt, B., (2009), Büyük Endüstriyel Kazalar Risk Değerlendirmesi ve Modelleme Çalışmaları, http://www.rec.org.tr/dyn_files/42/4520-REC2.pdf, 23 Haziran 2014.
- [32] Ringdahl, L.H., (2001). Safety Analysis Principles and Practice in Occupational Safety, Second Edition , Taylor and Francis, London Newyork.
- [33] Hata Ağacı Analizi Metodolojisi, <http://www.isgfrm.com/threads/hata-a%C4%9Fac%C4%B1-analizi-metodolojisi-fault-tree-analysis-fta.2246/>, 20 Haziran 2014.
- [34] Sahu, M. ve Barve, A., (2013). “Reliability and Availability Evaluation of Hydro Power Station”, International Journal on Emerging Technologies , 4(2): 89-93.
- [35] Tianjin Design Research Insitute of Electric Drive (TRIED), (2009). User’s Manuel TDBWT Series PLC Governor, China.
- [36] HYDEX Systemhydraulikk, Service Manuel Gunesli, Oslo.
- [37] Türkiye Elektrik Kurumu (TEK), (1978). Hasan Uğurlu Santrali Şematik Diyagramları Açıklaması Hazırlık ve Türbin Kontrol Devreleri, Ankara.
- [38] Tianjin Design Research Insitute of Electric Drive, TRIED, Tdbwst Series Plc Governor User’s Manual, China.
- [39] Choo, Y.C., Muttaqi, K.M. ve Negnevitsky, M., (2008). “Modelling of Hydraulic Governor Turbine for Control Stabilisation”, Anziam j., 682-697.
- [40] Andritz Hydro, (2012), Operation Manual Digital Governor, Ganglberger.
- [41] Andritz Hydro, (2012), Operation Manual Hydraulic Governor, Wahlmüller.
- [42] Tianjin Design Research Insitute of Electric Drive, TRIED, YYK-I Series Governor Oil Pressure Control Cabinet Manual, China.
- [43] IEC 61362, (1998). Guide to specification of hydraulic turbine control systems, IEC, First Edition, Brussels.

- [44] IEC 60308, (2005). Hydraulic turbines Testing of control systems, IEC, Second Edition, Brussels.
- [45] MASAT Enerji Elektrik Üretim ve Ticaret Ltd.Şti., (2011-2014), Santral Arıza Kayıtları.
- [46] Yıldızlar Grup, (2013), Kulp HES Santral Arıza Kayıtları.
- [47] T. C. Resmi Gazete, 28896, Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliği, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 28.01.2014.
- [48] T.C. Resmi Gazete, 27200, Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 14.04.2009.
- [49] OREDA Participants, (2002). Offshore Reliability Data Handbook (OREDA), 82-14-02705-5 , Trondheim, Norway.
- [50] Hoseinabadi, H.H., (2013). “Reliability and component importance analysis of substation automation systems“, Electrical Power and Energy Systems, 49: 456-463.
- [51] International Atomic Energy Agency (IAEA), (1997). Generic component reliability data for research reactor PSA, 93.
- [52] Reliability Prediction Basics , <http://www.reliabilityeducation.com/ReliabilityPredictionBasics.pdf>, 23 Haziran 2014.
- [53] International Atomic Energy Agency (IAEA), (1988). Component Reliability Data For Use in Probabalistic Safety Assesment, 478, Vienna.
- [54] Bukowski, J.V., Rouvroye, J. ve Goble, W.M., (2002), What is PFDavg?, <http://www.exida.com/articles/WhatisPFDavgv2.pdf>, 23 Hziran 2014.
- [55] Kitapçığıl, S.N., (2010). A Study on the Reliability – Based Safety Analysis of Hardfill Dams, Master's Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- [56] Börçsök, J., (2013), Comparison of PFD Calculation, <http://www.eic2.com/pdf/HIMA%20%20Comparison%20of%20PFD%20Calculation.pdf>, 20 Haziran 2014.
- [57] Aydın, T., (2012). Hafif Raylı Sistemlerin Elektrik Güç Beslemesinde Güvenilirlik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [58] Akçay, E., (2007). Enerji İletim Sistemlerinde Güvenilirlik Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [59] Boardman, J.R., (1994). “Operating Experience Feedback Report - Reliability of Safety-Related Steam Turbine-Driven Standby Pumps” , First Edition, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington.
- [60] Üçkardeş, E., (2010). Nevşehir Bölgesi Elektrik Dağıtım Şebekesinin Güvenilirlik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

- [61] Pendleton, C., (2006), Failure Mode and Effect Analysis for ITT Neo-Dyn Pressure, <http://www.neodyn.com/download/pdf/industrial/certificates/130p11c6mn.pdf>, 14 Mayıs 2014.
- [62] Reliability Analysis Center (RAC), (1993). The Reliability Sourcebook, 6528, Rome.
- [63] Reliability Analysis Center (RAC), (1994). Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment, NSWC-94/L07, Bethesda, Maryland.
- [64] Cebeci, M.E., (2008). The Effects of Hydro Power Plants' Governor Settings on the Stability of Turkish Power System Frequency, Master's Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- [65] T. C. Resmi Gazete, Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (28809), 02.11.2013.
- [66] T. C. Resmi Gazete, Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (28809), 02.11.2013.
- [67] Department of Defense, (1991). Military Handbook reliability Prediction of electronic Equipment (MIL-HDBK-217F), Washington.
- [68] Lambda,(2012). Glossary of Power Supply Terms, 69639, America.
- [69] Rome Air Development Center, (1977). Electric Motor Reliability Model Final Technical Report, RADC-TR-77-408, New York. [68]Tianjin Design Research Insitute of Electric Drive, TRIED, YYK-I Series Governor Oil Pressure Control Cabinet Manual, China.
- [70] Bazzi, A.M., Dominguez, A. ve Krein, T.P., (2010). "Markov Reliability Modeling for Induction Motor Drives under Field-Oriented Control", Unpublished.
- [71] Bucher Hydraulics, Pressure Relief Cartridge Valve, <http://www.epaper.fi/reader/?issue=10690;50b3fc354b03a7a65dae8151f56b34e9;438>, 20 Mayıs 2014.
- [72] Goble, W.M., (2002). Getting Failure Rate Data, <http://exida.com/articles/GettingFailureRateData.pdf>, 22 Haziran 2014.
- [73] Taşel, R.G., Pompalarda Gürültü, <http://www.alarko-carrier.com.tr/Yayin/Makaleler/Makale7.pdf>, 22 Haziran 2014.
- [74] Hatalı Yağ Seçimi, <http://www.hse.gov.uk/offshore/statistics/hsr2002/section5-figfailure.htm>, 5 Haziran 2014.
- [75] Rutan, R.C., (2003). "Turbine Overspeed Trip Protection", Proceedings of the Thirty-Second Turbomachinery Symposium, 109-120.

- [76] Taylor, S.L. ve Smith, S.S., (2009). "Turbine Overspeed Systems and Required Response Times", Proceedings of the Thirty-Eigth Turbomachinery Symposium, 157-167.
- [77] Türbin hız regülatörü, <http://www.voith.com/en/products-services/hydro-power/automation/turbine-governor-3090.html>, 10 Mayıs 2014.
- [78] Megger Co., Circuit Breaker Testing Guide, <http://www.maxicont.hu/doc/hirek/Megszakito-diagnosztika%20alapjai.pdf>, 11 Mayıs 2014.
- [79] Atabek, H., (2014). Elektromekanik Kumanda Sistemleri, Sakarya Üniversitesi, Ders notu.
- [80] Kocabaş, M., (2001)., " Hidrolik Sistemlerde Oransal ve Servo Valfler" , I. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 3-5 Aralık 1999, İzmir, 319-325.
- [81] Servomotor, <http://www.bilgiustam.com/servo-motor-nedir-nasil-calisir/>,15 Mayıs 2014.
- [82] Aykaç, S., (2011). Pnömatik-Hidrolik, I. Baskı, Genç Ofset Gıda San. ve Tic.Ltd.Şti., Ankara.
- [83] Uğurludemir, V., Temel Hidrolik- Karakteristik Eğriler, http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/3a9ebd86cb7ba3a_ek.pdf?tipi=68&turu=X&sube=1, 23 Haziran 2014.
- [84] Akkanat, Ö., (2010). Hidrolik Yağlar ve Uygulamaları, <http://www.hidroparkocaeli.com.tr/makaleler/Hidrolik-Yaglar-Ve-Uygulamalari.html?aid-24>, 13 Mart 2014.
- [85] Emanet, S., (2001), "Hidrolik Sistemlerde Filtrasyon ve Filtre Elemanının Özellikleri", II.Ulusal Hidrolik ve Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 8-11 Kasım 2001, İzmir, 161-187.
- [86] Ertuğrul, D., Çulcuoğlu E. ve Karaosmanoğlu, F., (2001), "Hidrolik Yağların Katkıları", II.Ulusal Hidrolik ve Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 8-11 Kasım 2001, İzmir, 37-45.
- [87] Çağlayan, İ., Kurt, R. ve Özkürkçü, Y., (2001), "Hidrolik ve Yağlama Yağlarında Kirliliğin Önemi", I.Ulusal Hidrolik ve Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 3-5 Aralık 1999, İzmir, 215-241.
- [88] Çağlayan, İ., (2001), "Hidrolik Yağların İki Büyük Düşmanı: Kirlilik ve Su", II.Ulusal Hidrolik ve Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 8-11 Kasım 2001, İzmir, 149-158.

TDBWT SERİSİ DİJİTAL REGÜLATÖR SİSTEMİ

Midilli HES’de mevcut olan TDBWT serisi PLC ile kontrolü sağlanan elektro hidrolik servo sistemden oluşan dijital bir hız regülatör sistemidir. Sistem elemanlarının özellikleri çizelgelerde verilmiştir [35].

Çizelge A. 1 Sistemin temel özellikleri

Açılma ayar aralığı	0~100%
Elektriksel açılma ayar aralığı	0~100%
Frekans ayar aralığı	45~55Hz
Kalıcı hız eğimi	0~10%
Oransal kazanç	0.5~20
İntegral kazanç	0.05~10 1/s
Türev kazancı	0~5 s
Ölü band aralığı	0~±0.5Hz
AC güç kaynağı	AC380/220V+10% 50Hz
DC güç kaynağı	DC110V±15%
Ünite frekans sinyali	AC0.5~200V - DC24V
Şebeke frekans sinyali	AC0.5~200V
Su seviye sinyali	4~20mA

Çalışma basıncı	2.5/4.0/6.3 Mpa
Servomotor açma/kapama süresi	2.5-60 s

Çizelge A. 2 Sistemi oluşturan elemanların marka ve modelleri

Ekipmanın İsmi	Modeli	Marka
Programlanabilir Lojik Kontrolör	FX2N-48MT	Mitsubishi, Japan
A/D modül	FX2N-4AD	Mitsubishi, Japan
Sinyal Üretim Modülü	FX2N-1PG	Mitsubishi, Japan
Sürücü Modül	RS-023M	Rorze, Japan
Step Motor	RM28D44D	Rorze, Japan
Kontrol Paneli	F940	Mitsubishi, Japan
Sürücü Modülü Güç Kaynağı	SD-100D-24	Mingwei, Taiwan
Kontrol Paneli Güç Kaynağı	S-35-24	Mingwei, Taiwan
Sinyal İşlem Bordu Güç Kaynağı	T-50B	Mingwei, Taiwan

A-1 Sistem Elemanları ve Özellikleri

Temel Birim (PLC)

Midilli HES de mevcut olan TDBWT serisi hız regülatöründe Mitsubishi marka FX2N programlanabilir kontrol ünitesi (PLC) kullanılır. FX2N PLC lerde 16, 32, 48, 64 veya 128 giriş / çıkış kanalı mevcuttur. Temel birim olan kontrol ünitesi regülatör sisteminin şebeke frekansı, ünite frekansı gibi dışarıdan aldığı sinyalleri değerlendirerek işlemsel komutlarını verdiği için sistemin performansında büyük öneme sahiptir. İşlemci (CPU), hafıza birimi (RAM-ROM), giriş/çıkış portları ve güç kaynağı olmak üzere 4 birimden meydana gelir.

Sinyal İşleme Modülü

Elektriksel kısımda şebekeden alınan şebeke frekansı ile generatör çıkışından alınan generatör frekansı bilgilerini karşılaştırır, filtreler böylelikle sinus dalga şeklini kare dalgaya çevirir ve sinyali amplifikatör ile güçlendirerek PLC'nin girişine referans değer olarak verir. Sinyal işleme modülü elektronik bir kart olarak tasarlanmıştır. Kart içeriğinde 2 adet güç trafosu, 4 adet güç dönüştürücü diyot, 1 adet zener diyot, 6 adet opamp, 19 adet direnç, 6 adet potansiyometre, 17 adet kapasitör bulunmaktadır.

Referans değer güvenilirlik hesabında haberleşme modülü (elektriksel sinyal) olarak dikkate alınmaktadır. Referans değerlerin karşılaştırılması ve ayar açıklık bilgisinin ölçümü işlevlerini yerine getirmektedir. Bu modülün güvenilirlik hesapları için parts count set yöntemi kullanılmıştır, devre elemanları özelliklerine göre sınıflandırılarak kartın güvenilirlik tablosu çıkarılmıştır.

Açıklık Ölçüm Devresinde açıklık ölçüsünü ayar kanadı açılma sinyaline dönüştürür ve bu bilgiyi de gösterge paneline kanat açıklık bilgisi olarak iletir.

Frekans Ölçüm Devresinde ise kare dalga voltaj/frekans dönüştürücü ile gerilim sinyaline dönüştürülür ve gösterge paneline iletilir.

Sinyal Üretim Modülü

Servomotor ayar açıklığı bilgisini akım transdüserinden alarak sinyal üretir ve üretilen sinyali PLC ye iletir. Böylece ana dağıtım valfi yaprak yayı eski konumuna çekilerek restore mekanizması gerçekleşmiş olur.

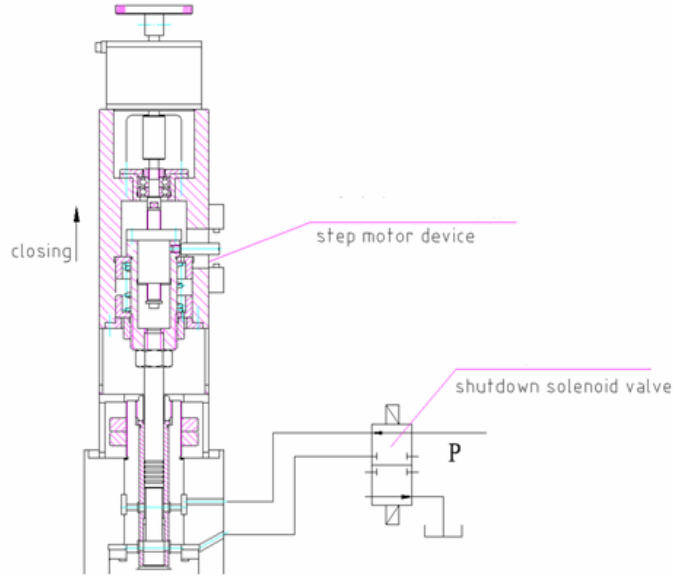
Analog Dijital Dönüştürücü (A/D Modül)

FX2N- 4AD analog dijital dönüştürücü bloğun 4 adet analog giriş kanalı mevcuttur. Ayar kanat açıklığı, yükleme havuzu su yüksekliği, ünite güç değeri gibi analog parametreleri dijital sinyale çevirir. Analog değerler -10V +10V DC, 4-20 mA, -20 +20 mA seçilebilir.

Dijital Analog Dönüştürücü (D/A Modül)

FX2N-4DA dijital analog dönüştürücü fonksiyon bloğunun 4 çıkış kanalı mevcuttur. Çıkış kanalları dijital bir giriş sinyalini alır, analog sinyale dönüştürür ve analog sinyallerle bazı ekipmanları sürer

Step Motor



Şekil A. 1 Hız regülatör sisteminde step motor

Step motor kaynağı step motor, bilyalı vida mekanizması ve yerleştirme yayından oluşur. PLC den elektriksel sinyali alır. Bilyalı vida tarafından, ana kontrol valfi pistonunun lineer hareketi ile step motorun dönüş yönü belirlenir. Şekil A.1'de hız regülatör sisteminde step motor çalışma şeması gösterilmiştir. Saat yönünün tersine döndüğünde servomotorlar açma yönünde saat yönünde döndüğünde ise kapama yönünde hareket ederler [35].

Çizelge A. 3 Step motor özellikleri

Faz Sayısı	2 Fazlı
Faz Akımı	4A
Tork	4.4 Nm
Adım Açısı	1.8°

Step Motor Sürücüsü

Mikroişlemci kontrollü bir sürücüdür. Hız ve pozisyon bilgilerini kusursuz olarak sağlar. Çok hassas motor hareketlerini control sinyalleriyle kolaylıkla dijital bilgilere dönüştürür.

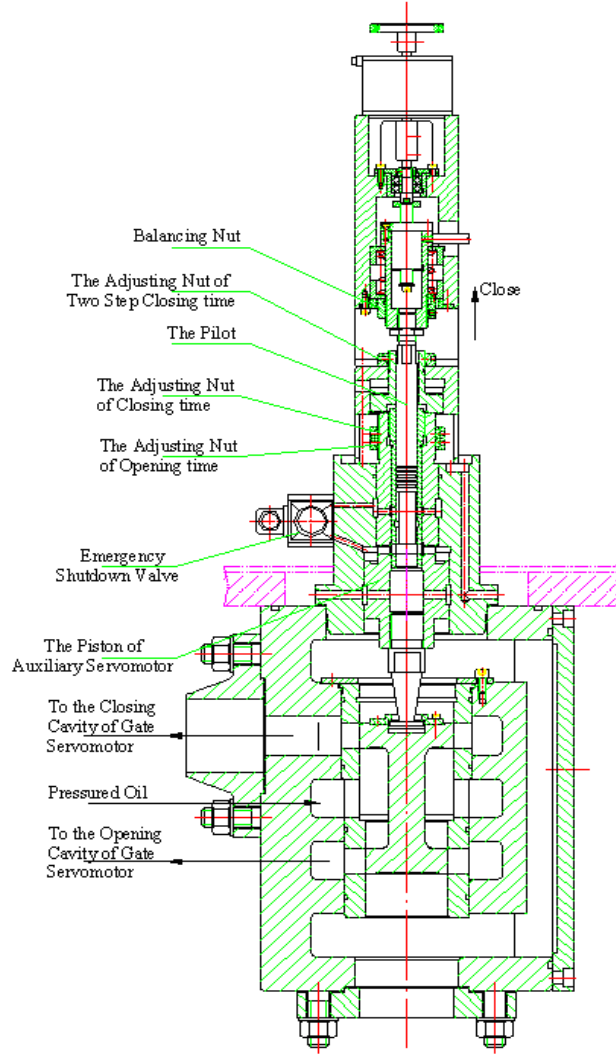
Çizelge A. 4 Step motor sürücüsü özellikleri

Gerilim	DC 18V~40V
Motor Akımı	0.3~3A / faz
Sürme Metotları	Unipolar, Chopper Metot
Adım Oranı	400 mikroadım/adım
Hatasızlık	±2%

Elektrohidrolik Konverter

Step motor bilyalı vida ile elektrik hidrolik konvertere bağlanır. Step motor bilyalı vida mekanizması ile elektriksel sinyali mekanik harekete çevirir. Konverter step motor, bilyalı vida mekanizması ve dağıtım valfinden oluşur.

Açılma sinyalinin alınması ile step motor saat yönünün tersine döner, ana kontrol valfinin pistonu aşağı doğru hareket ettirilir, böylece basınçlı yağ servomotorun açma yönünde hareket eder ve servomotor aracılığıyla ayar kanatları istenilen kadar açılmış olur.



Şekil A. 2 Elektrohidrolik konverter şematik gösterim

Şekil A.2’de elektrohidrolik konverter şematik gösterimi verilmiştir [35]. Kapama sinyali geldiğinde step motor saat yönüne döner, ana kontrol valfinin pistonu yukarı doğru hareket ettirilir, böylece basınçlı yağ servomotorun kapama yönünde hareket eder ve servomotor aracılığıyla ayar kanatları istenilen kadar kısılmış olur.

Ana kontrol valfinin pistonu denge konumunda olduğu zaman, basınçlı yağ açma veya kapama yönüne iletilmez böylece servomotor son konumunu korumuş olur.

Elektro hidrolik konverter kullanarak kirli yağın sebep olabileceği hatalar önlenmiş olur. Hız regülatörü otomatim moda aniden durdurulduğu zaman, bilyalı vida yerleşme yayını denge pozisyonuna getirir, ana kontrol valfinin pistonu denge pozisyonuna döner ve servomotor son konumunu korur. Böylece servomotorun kontrolsüz olarak açılma

kapanması yaparak güç harcaması önlenmiş olur. Hız regülatörü kullanıcı kontrolü modundayken, step motor enerjisi otomatik olarak kesilir, yerleşme yayı tarafından ana dağıtım valfi pistonunun denge konumuna gelmesi sağlanır. Step motor döndürme kolunun kullanıcı kontrollü çevrilmesi ile servomotor hareketi düzenlenmiş olur. 2.5 – 6.3 Mpa basınç aralığında çalışır.

Ana dağıtım valfi, üç odalı ve dört yönlü servo sürgülü bir valftir. Yardımcı servomotor, piston, metal kabuk, kontrolör ve yatak kovanından oluşur. Piston ve yatak kovani alaşımlı çelik yapıdadır. Nitrojen ve ısıl sertleşme ile sertleştirilmiş piston ve kovan yüksek sertleşmede ve aşınabilirlikte uzun ömürlüdür.

Çizelge A. 5 Ana dağıtım valfi özellikleri

Çalışma Basıncı	2.5 - 6.3 Mpa
Valfin Çapı	50 – 200 mm
Maksimum Yağ Akış Kapasitesi	11 - 180 l/s
Servomotoru Açma / Kapama Zamanı	2.5 – 60 s

İki Aşamalı Kapama Valfi

Çizelge A. 6 Kapama valfi hidroliki özellikler

Çalışma Basıncı	≥ 31.5 Mpa
Özkiriş	6 mm
Akış	≤ 800 L /min
Çalışma Sıcaklığı	-30 ~+80°C
Dielektrik vizkozitesi	2.8 – 500 mm ² / s

Çizelge A. 7 Kapama valfi elektriki özellikler

Gerilim	DC12; 24,110; 125; 220 V
Güç	26 W
Çalışma Sıcaklığı	~+50°C
Bobin Sıcaklığı	~+150°C

Acil Durdurma Valfi

Çizelge A. 8 Acil durdurma valfi hidroliki özellikler

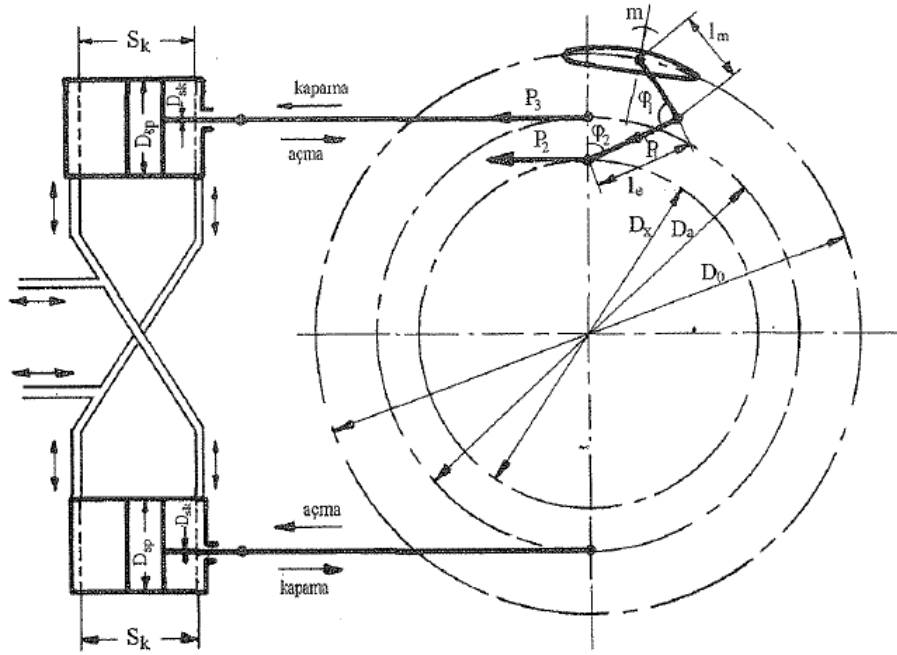
Çalışma Basıncı	≤ 31.5 Mpa
Özkiriş	6 mm
Akış	≤ 800 L /min
Çalışma Sıcaklığı	-30 ~+80°C
Dielektrik vizkozitesi	2.8 – 500 mm ² / s

Çizelge A. 9 Acil durdurma valfi elektriki özellikler

Gerilim	DC12; 24,110; 125; 220 V
Güç	26 W
Çalışma Sıcaklığı	~+50°C
Bobin Sıcaklığı	~+150°C

Ayar Kanadı Açma Kapama Servomotoru

Hız regülatör sisteminde ayar çemberi vasıtasıyla türbin ayar kanatlarınm açıp kapatabilmek, ayar kanat açıklıklarını (Kaplan tipi türbinlerde ayar kanatları ile birlikte rotor kanatlarının açıklıklarını) ayarlayabilmek, ayar kanatları açık iken regülasyon işlemini yapabilmek ve hidrolik bir kuvvet ile ayar çemberine dairesel hareketi sağlamak için ihtiyaç duyulan kuvvet hidrolik servomotorlar ile sağlanır. Servomotor basınçlı yağ ile çalışan çelik döküm bir silindir ile paslanmaz çelikten yapılan bir pistondan ibarettir.



Şekil A. 3 Ayar kanadı ve ayar kanadı servomotoru ile hareket iletim kolları ve ayar çemberi prensip şeması

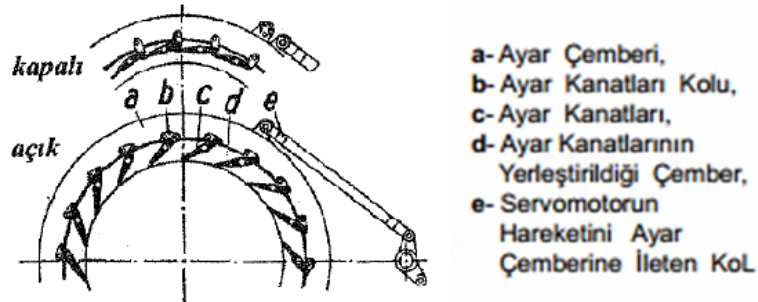
Şekil A.3'de ayar kanadı ve ayar kanadı servomotoru ile hareket iletim kolları ve ayar çemberi prensip şeması gösterilmiştir [12]. Ayar kanatlarını açma ve kapama yapmak için gerekli kuvvet, santralin düşüsü, ayar kanat sayısı, servomotor sayısı, ayar kanat muylularının sürtünme kayıpları ve kullanılacak basınçlı yağın basınç kuvveti gibi parametrelerle hesaplanır.

Servomotor hareketini açma ve kapama zamanını kontrol eden diyafram boru vasıtasıyla hız regülatörü ana dağıtım valfinden alır. Pistonun silindir içerisindeki

hareket mesafesine "strok boyu" denilir. Servomotora açma kumandası geldiği zaman ilk önce diyafram borudan geçen basınçlı yağ pistonu yavaşça hareket ettirir. Piston ana boru mesafesini geçince açma işlemleri hızlanır. Kapama işleminde ise piston büyük çaplı açma borusunu kapatıncaya kadar hızlı kapanır. Diyafram borusu devreye girince yağ tahliyesi az olacağından, piston yavaş olarak hareket eder. Böylece pistonun açma ve kapamadaki yavaş hareketleri biyel kol mafsallarını, ayar kanat sigortalarını ve ayar kanat yataklarını korumuş olur.

Ayar Çemberi

Türbin ayar kanatlarının tümü; üst kısımlarındaki muyluya bağlı olan ayar kanat biyel kolları vasıtasıyla bir çembere bağlıdır. Bu çembere "Türbin Ayar Kanatları Ayar Çemberi" denir. Servomotor sistemi tarafından kumanda edilen "Türbin Ayar Kanatları Ayar Çemberi"nin çevresel olarak sola yada sağa çevrilmesiyle bu mekanizmaya ayar kanat biyel kolları vasıtasıyla bağlı bulunan ayar kanatlarının tümü aynı anda açılır veya kapanır. Ayar kanatlarının tümünün aynı anda açılıp kapanması sonucu, salyangozdaki tahrik suyunun türbine kontrollü bir şekilde girmesi sağlanır. Yani türbini döndüren suyun debisi ayarlanır, yada tamamen kesilir. Yani ayar çemberinin görevi; türbin için gerekli olan su debisini ayarlamak ve bir kapama organı rolünü oynamaktır. Şekil A.4'te ayar kanatlarının açıklıklarını ayarlayan ayar çemberi mekanizmasının prensip şeması gösterilmiş bulunmaktadır [12].



Şekil A. 4 Ayar çemberi prensip şeması

Ayar Kanatları

Francis ve Kaplan tipi hidrolik türbinlerde kullanılan ,salyangoz içinde, sabit kanatlar ile türbin çarkı arasında olup salyangozun alt ve üst kısımlarından sızdırmazlık sağlanarak yataklanmış olan ve salyangozdan türbine gelen suyun tahrik suyunu türbin rotoru kanatlarına yönlendirmeye ve tahrik suyunun debisini ayarlamaya yarayan teçhizat türbin ayar kanatlarıdır.Türbin ayar kanatları hidro dinamik kesitli olarak imal edilmiş ve türbin rotorunu çevreleyen yüksekliği, türbin rotorunun su giriş yüksekliğine eşit olan özel bir çember üzerine (alt aynaya) dizilirler. Alt aynanın üst kısmı paslanmaz krom nikel malzeme ile kaplanmıştır. Ayar kanatları bu ayna üzerinde rahatça hareket edebilecek şekilde techiz edilen ayar kanatlarının üst uçları biyel vasıtası ile ayar kanat çemberine bağlanırlar. Ayar kanatları üst muylularına yataklık görevi yapan ve alt yüzey paslanmaz krom-nikel çelikten yapılan üst distribütör kapağı mevcuttur.

A-2 Basıncı Yağ Sistemi Elemanları ve Özellikleri

Basıncı Yağ Tankı

Üniteler için gerekli yağın içinde depolandığı ve basınç altında tutulduğu kaba basınçlı yağ tankı denir. Basınç, tanka hava kompresöründen hava basılması veya azot tüplerinden azot basılması ile oluşur. Hava/yağ tankı, çelikten yapılmalı ve bakım gözleme penceresini, drenaj vanasını,emniyet vanası, basınç anahtarlarını, basınç transdüserlerini, yağ seviye göstergelerini, basınç ölçü manometrelerini ve seviye anahtarlarını içermelidir.Hava basıncında meydana gelecek bir azalma, manometre tarafından kontrol edilir. Hava kompresörü otomatik olarak devreye girer ve yeteri kadar hava takviyesi yaptıktan sonra devreden çıkar.

Basıncısız Yağ Tankı

Üniteler için gerekli yağın içinde depolandığı ve gerektiğinde pompalar çalıştırılarak sisteme verildiği kısımdır. Depoda yağ hem dinlenir hem de depodaki filtre tarafından temizlenir.

Yağ tankı ara perde,emiş filtresi, emiş boruları, kaçak veya dönüş boruları, drenaj, gözetleme penceresi, filitreli hava tahliye vanası, doldurma, tahliye ve magnetik

kapama vanası, kapak, hidrolik pompa, elektrik motoru, seviye göstergesi, yağ sıcaklık ölçümü için RTD (yağdaki su karışımını belirtilen alarm detektörü), sıcaklık göstergesinden oluşur. Bütün yağ, drenaj, kaçak veya dönüş yağ boruları yağ toplama tankına bağlanır. Hidrolik sistemlerde depodaki yağın bulunduğu veya çalıştığı ortama göre ısıtıcı ve soğutucular gerekebilir.

Hidrolik Pompalar

Hidrolik sistemlerde akışkanı basınçlandırmak için pompalar kullanılır. Pompa; Elektrik motorundan aldığı mekanik enerjiyi, akışkanı depodan emerek sisteme istenen debide basınçlı olarak gönderme işini yerine getiren devre elemanıdır.

Sisteme biri yedek olmak üzere iki adet pompa bulunur. Pompanın verimli çalışması için basınç seviyesi, sıcaklık seviyesi sensor ve switchler ile kontrol altında tutulur. Nominal sistem basıncının %90 seviyesine düşmesiyle ana pompa çalışır ve basınçsız yağ tankından aldığı yağı basınçlandırarak sisteme verir. Nominal basıncın %85 seviyesine indiği durumda ise yağ basıncı düşük basınç alarmı devreye girer ve yedek pompa devreye alınır. Maksimum pompa basıncı nominal system basıncının %5-%10 üzerinde olabilir. Basınç bu seviyeyi geçtiğinde emniyet valfi sistemden yağ tahliyesi yaparak basınç dengesini sağlar [15].

Pompa çalıştırılırken elektrik motorunun dönüş yönü ile pompa milinin dönüş yönü birbirine uygun olmalı, pompanın içindeki koruyucu yağlar temizlenmeli, ilk harekete geçerken basınç borusunun havası alınmalı, pompanın içinde hava düşmesini önlemek için emiş borusu hidrolik yağla doldurulmalıdır. Ayrıca yağ seviyesi sık sık kontrol edilmeli, sistemdeki emiş ve dönüş hattındaki valfler açık olmalı, filtreleri temiz olmalıdır.

Pompalarda Arıza Nedenleri

Kirlilik

Kirli olan yağ pompa içerisinde istenen film tabakasını oluşturmaz, tam tersine hareketli iki parça arasına girerek parçaların asınmasına, yağ kaçaqları ve ısınmaya neden olur. Yağda kirlilik denince akla 2 -50 arasında partiküller kastedilmektedir.

Hidrolik pompalar için yağın kirlilik derecesi Nas 9 olmalıdır. Nas 9 değerinden yüksek olması durumunda pompa parçalarında aşınmalar başlamaktadır.

Kavitasyon

Ani sıcaklık ve basınç değişimleri sebebiyle hidrolik elemanlarda meydana gelen bölgesel aşınmaya ya da parça kopmasına kavitasyon denir. Hidrolik akışkan dar bir kesitten geçerken hızı oldukça yükselir, buna rağmen basınç düşer. O kadar düşer ki bu bölgede vakum oluşur. Vakumla beraber hidrolik akışkanın içindeki hava kabarcıkları ortaya çıkar. Akışkanın geçtiği kesit tekrar arttığında ise hız düşer basınç yükselir ve hava kabarcıkları patlar ve çok yüksek ısılar ortaya çıkar. Kabarcıkların patladığı yerde malzeme erozyonları gerçekleşir, sıcaklıktan dolayı da kendiliğinden alevlenme oluşabilir.

Kavitasyon, ömürlerini oldukça kısalttığından pompalar için çok tehlikeli bir durumdur. Genellikle pompa ve valflerde gözlemlenir. Gürültülü çalışmaya, aşınmaya ve verimsiz titreşimli çalışmaya sebep olur.

Kavitasyonun tesisatta önlenmesi için emiş borusunun dar, çok uzun ya da dirsekli olmamasına, emiş filtresinin tıkanmamasına, emilecek yağın çok soğuk olmamasına, emiş hattı vanasının tam açık olmasına ve son olarak da tankın hava almamasına dikkat edilmelidir.

Hatalı Yağ Seçimi

Hidrolik yağın hatalı seçilmesi durumunda pompanın hava emmesine ve kavitasyona neden olmaktadır. Bu nedenle hidrolik pompalar için uygun viskozitedeki yağın seçiminde aşağıdaki konulara dikkat edilmelidir.

A-3 Hidrolik Yağın Özellikleri

Viskozite: Sıvıların akmaya karşı gösterdiği dirence viskozite denir. Yağların viskozitesi çalıştıkları ortamın sıcaklığına göre değişir. Isı yükseldikçe yağın viskozitesi azalır. Isı azaldıkça yağın viskozitesi artar. Yağın viskozitesinin sıcaklığa bağlı olarak değişmesine viskozite indeksi denir.

Köpüklenme: Hidrolik devrelerde yağın içine hava karışmasıyla meydana gelen durumdur. Köpüklenme, sistemin verimsiz ve titreşimli çalışmasına sebebiyet verir. Sistemin basıncı da azalır. Boruların kıvrım biçimi köpüklenme nedeni olabilir.

Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için; borular keskin (90°) köşeli bükülmemelidir. Büyük kavislerle bükülmelidir. Kesitleri birdenbire daraltılmamalı, iç yüzeyleri düzgün olmalıdır. Depo içinde sisteme uygun filtre seçilmeli ve boruların ağzı (45°) eğik kesilmeli, emiş ve dönüş hattı arasına ara perde konularak türbülansa izin verilmemelidir .Bunun için devrede hava alma elemanları olmalıdır.

Yağlama Yeteneği: Hidrolik devreler için iyi bir yağ, çalışan parçaları yağlamalıdır. Yağlama yeteneğinin iyi olması, çalışan parçaların hareketini rahatlatır, güç kaybını azaltır.Hareket eden parçalar arasında yağ filmi tabakası oluşturur. Hidrolik yağlarda aranan bu nitelikler; yağın viskozitesine, akıcılığına, viskozite indeksine ve içinde yabancı madde barındırmamasına bağlıdır.

Polimerleşme: Hidrolik devrelerde, yüksek basınç ve ısıda yağın özelliğini korumasıdır. Yağ bu olumsuz şartlarda bozulmuyor ve moleküllerine ayrışmıyorsa polimerleşme özelliği iyidir.

Oksidasyon: Polimerleşme nedeni ile oluşan olumsuz durum, hidrolik devre elemanlarında oksit ve paslanma oluşturur. Ayrıca yağın içindeki suyun da ayrışması veya çeşitli bölgelerden içeri giren oksijen, metal kısımların oksitlenmesine neden olur. Bunun için hava ve suyun hidrolik devreden dışarıya atılması gerekir.

Akma Noktası: Hidrolik devre yağlarının akıcılık özelliğini kaybedip koyulaşmaya başladığı ısıya "akma noktası" denir. Hidrolik devrelerde yağın çalışma sıcaklığı 50°C ile 100°C arasındadır. Çalışma ısıları düştükçe yağın viskozitesi artar yani akıcılığı azalır. Böyle durumlarda sistemin verimi de azalır. Yağların akma noktası ve özellikleri üretici firmalar tarafından belirtilir.

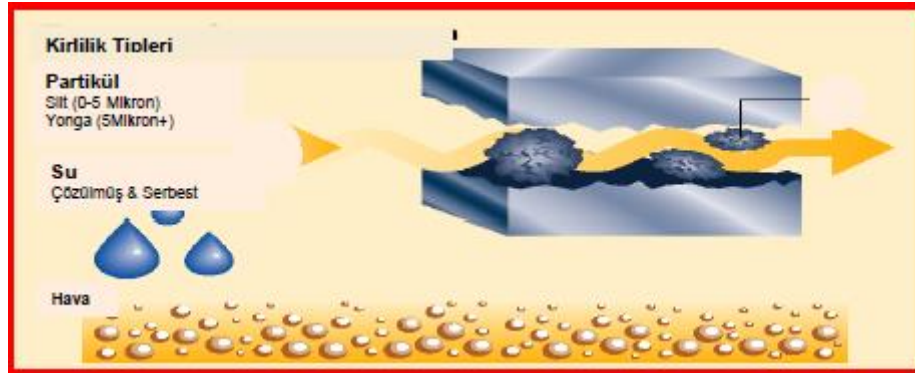
Isıl Genleşme: Hidrolik devrelerde yağın ısısının artması ile yağda ısıl genleşmeler meydana gelir. Isıl genleşme neticesinde yağın hacmi artar. Hacmi artan yağ, sistemde sıkışma oluşmasına neden olur. Bu nedenle depoya doldurulacak yağ miktarı, ısıl genleşme sonucu hacminin artacağı hesaplanılarak doldurulmalıdır.

Özgül Ağırlık: Hidrolik yağların 20°C ısıda birim hacminin ağırlığıdır. N/dm^3 veya kgf/dm^3 birimleri ile ölçülür. Genel olarak hidrolik yağların özgül ağırlıkları 0.90-0.95 N/dm^3 olarak ifade edilir.

Film Dayanımı: Yağın çalışan parçalara yapışma ve katman oluşturma özelliğidir. Hidrolik devre-lerde birbiri ile çalışan parçalar arasında aşınma olmaması için yağ filmi tabakası meydana getirilir. Yağların film dayanımı özelliğinin iyi olması güç kaybını azaltır. Sistemin, ömrünü uzatır.

Alevalma Noktası: Yağların 160°C-200°C arasındaki ısılarda toz halinde püskürtüldükleri zaman yanmaya başladığı noktadır.

Yağlarda Kirliliğin Nedenleri



Şekil A. 5 Kirlilik çeşitleri

Şekil A.5'te yağlarda oluşabilen kirlilik çeşitleri şemalandırılmıştır [85]. Yağ kirliliği için ISO Standartları arasında yayınlanmış ISO4406 standardı mevcuttur. Bu standartta, yağın içinde bulunan yağ partiküllerinin sayısının tanımlanması için bir kod geliştirilmiştir. Bu koda göre, bir "taksim=bölü" işaretiyle ayrılan a/b gibi iki rakam kullanılmaktadır.

Bu tanımda "a" yağ numunesinin 1 mL (mililitre)'sinde bulunan 5 mm veya daha büyük parçaların sayısını tanımlayan bir rakam, "b" ise yine yağ numunesinin bir mL'sinde bulunan 15 mm veya daha büyük partiküllerin sayısını tanımlayan bir rakamdır. Çizelge A.10 da partikül boyut analizi verilmiştir [88].

Çizelge A. 10 Partikül boyut analizi

a veya b	Alt sınır	Üst sınır
24	80000	160000
23	40000	80000
22	20000	40000
21	10000	20000
20	5000	10000
19	2500	5000
18	1300	2500
17	640	1300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5

Bir yağın ISO kirlilik kodu, 20/16 olarak ifade edildiğinde, bundan anlaşılan: Bu yağın bir mililitresinde 5 mm partiküllerden 5.000-10.000 arasında bir sayıda parçacık bulunduğu, 15 mm parçacıklardan ise 320-640 arasında bir sayıda parçacık bulunduğu anlaşılır [87], [88]. Çizelge A.11’de istem tipine göre ISO kirlilik seviyeleri belirtilmiştir [87].

Çizelge A. 11 Sistem tipine göre ISO kirlilik seviyeleri

Sistem Tipi	ISO kirlilik
Yüksek basınçlı hidrolik sistem veva servovalfli sistemler	13/10
Duruşu kritik türbinler ve diğer döner makinalar	14/11
Orta yüksek basınçlı hidrolik sistemler	14/11
Orta kritiklikteki döner makinalar	15/12
Daha az kritik, değişken hızı/yüklü döner makinalar	15/12
Kritik olmayan döner makinalar ve dizel motorlar	16/13
Dişi kutuları ve geri kalan diğer makinalar	17/14

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Merve BALCI
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.01.1991 Isparta
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : merve.balci@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Sayısal	Isparta Anadolu Öğretmen Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
05.2013-	BRK (Bereket) Enerji	Varlık Yönetimi ve Elektrik Ticaret Uzmanı
07.2011-05.2013	Habboushgroup (Cogentrix Energy)	Varlık Yönetimi ve Elektrik Ticaret Uzmanı