T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ

ENSTİTÜSÜ

# AKIŞKAN YATAKLI BİR TERMİK SANTRAL İÇİN BUHAR KAZANI TASARIMI

**Erdem ÖZTÜRK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GEBZE**

**2011**

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# AKIŞKAN YATAKLI BİR TERMİK SANTRAL İÇİN BUHAR KAZANI TASARIMI

**Erdem ÖZTÜRK**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GEBZE**

**2011**

| GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ | YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU |
|---|---|

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ……. tarih ve ……/……. sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ……/……/…… tarihinde tez savunma sınavı yapılan ……'ın tez çalışması ……Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) :

ÜYE :

ÜYE :

ÜYE :

ÜYE :

**ONAY**

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ……. tarih ve ……/…….. sayılı kararı.

# ÖZET


**TEZİN BAŞLIĞI: AKIŞKAN YATAKLI BİR TERMİK SANTRAL İÇİN BUHAR KAZANI TASARIMI**

**YAZAR ADI: ERDEM ÖZTÜRK**

Türkiye; kişi başına düşen enerji tüketimiyle, hızlı kentleşmesiyle ve güçlü ekonomik gelişimiyle, yaklaşık son yirmi yılda dünyanın en hızlı büyüyen ve en önemli pazarlarından birisi haline gelmiştir. Öyle ki, son yıllarda elektrik üretimindeki artış, elektrik talebindeki artışı karşılayamamaktadır. Enerji refah seviyesinin bir göstergesi ve ekonomik büyümenin en önemli etkenlerinden birisi olarak algılanmaktadır. Enerji üretiminde verimliliğin arttırılması, mümkün olduğu kadar yerli kaynakların kullanımına öncelik verilmesi ve yerli kaynakların değerlendirilmesinin yanı sıra daha temiz enerji kaynaklarının kullanılması ile kaynak çeşitliliğinin sağlanmasına da özen gösterilmesi, enerji politikalarımızın önemli prensipleridir. Bu çalışmada, kömürün elektriğe dönüştürülmesinde önemli rol oynayan, hava yakmalı yanma süreci, uygun yanma ve emisyon kontrolü yönünden incelenmiştir. Bu incelemede temiz kömür teknolojilerinden olan akışkan yataklı kazan teknolojisi uygulaması esas alınmıştır. Bu tezde şu konular incelenmiştir: Enerji üretim sistemlerini, santrallerde kullanılan rankine çevriminin termodinamik analizi ve verim artırma yolları, santralde bulunan ekipman ve görevleri, 135 MWe kurulu güçteki akışkan yataklı kazana sahip olan bir termik santral kazanının, ısıl tasarım analizleri yaparak, elde edilen veriler ışığında tasarım için gerekli yanma ve işletme verilerini hesaplamaları, elde edilen parametrelerin işletme şartlarına nasıl etkilediği, $CO_2$ emisyonunu azaltma yolları, enerji santralin devreye alma prosedürleri konu edilmiştir.

# SUMMARY

**TITLE OF THESIS: FLUIDIZED BED STEAM BOILER DESIGN FOR A THERMAL POWER PLANT**

**AUTHOR'S NAME: ERDEM ÖZTÜRK**

Turkey has become one of the most important and fastest growing markets in the world in the last two decades with its energy consumption per capita, fast urbanization and strong economic development. It is so important that increase in power generation in recent years can not meet the increase in power demand. Energy is considered as indicator of welfare level and one of the most important factors of economic growth. Improving productivity in power generation, giving priority to usage of local sources as much as possible, using cleaner energy sources and caring about providing source diversity as well as utilizing local sources are substantial principles of our energy policies. In this study combustion process with air burning playing a significant role in turning coal into electricity is explored in terms of suitable combustion and emission control. This exploration is based on application of fluidized-bed boiler technology which is one of the clean coal technologies. This thesis examined the following topics: Power generation systems, thermodynamic analysis of Rankine cycle used in power plants and identifying means of increasing productivity, explaining equipments in power plant and their roles, by making thermal design analysis, to make combustion and plant data, required for design, calculable of a thermal power plant boiler having fluidized-bed boiler of 135 $MW_e$ installed power in the light of obtained data, to show how obtained parameters affect plant conditions, identifying ways of decreasing $CO_2$ emission, procedures of starting power plant

# TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda benden maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR'e, kendi yoğun temposuna rağmen her zaman özveriyle yardımıma koşan değerli ağabeyim Evren ÖZTÜRK'e ve termik santraller hakkında öğrendiğin ve ihtiyaç duyduğum tüm bilgileri bana öğreten ve benimle paylaşan saygıdeğer iş arkadaşlarım Murat ÇÜRÜKSULU'ya, Onur TEMİZ'e ve Tansu ÖZDEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelebilmem için her türlü fedakarlığı sevgiyle yapmış olan aileme ve bu çalışmamın en büyük gizli destekcilerim olan Sinan POLAT'a ve Salih KARAMAN'a, her zaman yanımda olarak bana verdikleri sonsuz destek ve güven için çok teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

**ÖZET** **v**

**SUMMARY** **vi**

**TEŞEKKÜR** **vii**

**İÇİNDEKİLER** **vii**

**ŞEKİLLERİN LİSTESİ** **xvii**

**TABLOLAR DİZİNİ** **xviii**

**SİMGELER VE KISALTMALAR** **xx**

**1. GİRİŞ** **24**

**2. ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ** **26**

2.1. Termik Santraller 26

2.1.1. Katı yakıtlı santraller 26

2.1.2. Sıvı yakıtlı santraller 26

2.1.3. Gaz yakıtlı santraller 26

2.2. Hidrolik Santraller 26

2.3. Nükleer Santraller 27

2.4. Diğer Santraller 27

**3. TERMİK SANTRAL ÇEVRİMİ TERMODİNAMİK ANALİZİ..** **28**

3.1. Termik Santral Çevrimi 28

3.1.1. Rankine Çevrimi. 28

3.2. Termik Santral Yardımcı Sistem ve Ekipmanları 29

3.3. Çevrim Verimini Artırma Yolları 33

3.3.1. Ara Kızdırma. 33

3.3.2. Ara Buhar Alma 35

3.4. 135 MW Akışkan Yataklı Termik Santralin Su - Buhar Çevrimi 36

**4. AKIŞKAN YATAKLI TERMİK SANTRALLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ 41**

4.1. AKIŞKAN YATAKLI KAZANLAR 41

4.1.1. Akışkan Yatak Teknolojisinin Gelişimi 42

4.1.2. Akışkan Yatakta Yakma - Genel Özellikler 43

4.2. Akışkan Yataklı Kazanların Sınıflandırılması 44

4.2.1. Kabarcıklı Akışkan Yataklı Kazanlar. 44

4.2.2. Dolaşımlı Akışkan Yataklı Kazanlar. 44

4.3. Akışkan Yatak Teknolojisinin Avantajları. 46

4.3.1. Yüksek yanma verimi ve yüksek ısı transfer katsayısı 47

4.3.2. Yakıt hazırlama kolaylığı 47

4.3.3. Yüksek emre amadelik 47

4.3.4. Yakıt bileşimine esneklik 47

4.3.5. Düşük $NO_x$ ve $SO_2$ emisyonları 48

4.4. Akışkan Yatakta Yakma Teknolojisini Sorunları ve Dezavantajları 49

4.5. Pülverize Kömür Yakma Teknolojisi. 50

**5. TERMİK SANTRALDE BULUNAN EKİPMMANLAR VE GÖREVLERİ.51**

5.1. Besleme Suyu Ön Isıtıcıları 51

5.2. Hava ön ısıtıcıları (luvo) 52

5.3. Besleme suyu pompası 53

5.4. Buhar Türbinleri 55

5.5. Kondenser 56

5.5.1. Kondenser Yıkama Sistemi 57

5.6. Jeneratörler. 60

5.7. Transformatörler: 60

5.8. Kül Atma Ünitesi 61

5.8.1. Kül Atma Sistemi 63

5.8.2. Elektrostatik Filtre. 64

5.8.3. Akışkan Yataklı Kazan Külünün Kullanım Alanları. 64

5.9. Kömür Hazırlama Sistemi 66

5.9.1. Kömür Stok Sahasından Kaynaklanan Tozuma 67

5.9.2. Kömürün Stok Sahasında Kendi Kendine Yanma Riski. 67

5.9.3. Kömür Stok Sahasında Drenaj 68

5.10. Kazan Blöfleri 68

5.11. Rejenerasyon Atık Suları. 68

5.12. Yağlı Atık Sular 69

5.13. Atık Suların Arıtımı ve Bertaraftı 69

5.14. Atık suların Arıtımı ve Bertaraftı 69

5.15. Kükürt oksitler 70

5.16. Azot Oksitler 70

5.17. Baca Gazının Atmosfere Bırakılması 71

**6. BUHAR SANTRALLERİNDE SOĞUTMA SUYU SİSTEMİ, SOĞUTMA SUYU VE SU HAZIRLAMA TESİSLERİ 72**

6.1. Su-Buhar Çevrimi Suyu 72

6.2.Deniz Suyu Arıtma ve Kazan Suyu Hazırlama Sistemi 72

6.2.1. Deniz Suyu Arıtma Sistem Akışı 72

6.2.2. Sistem Kapasitesi 73

6.2.3. Su Kalitesi 73

6.2.4. Operasyon Modülü . 74

6.2.5. Sistem Ekipmanları 75

6.2.6. Sistem İçin Basınçlı Hava 76

6.3.Kazan Suyu Hazırlama Sistemi 76

6.3.1 Kazan Suyu Hazırlama Sistemi Proses ve Kapasitesi 76

6.3.3. Kazan Suyu Hazırlama Sistemi Bağlantı ve Operasyon Modülü 77

6.3.5. Kazan Suyu Hazırlama Tesisi Ekipman Listesi 78

6.3.6. Kimyasal Depolama, Taşıma, Atık Su Arıtma. 79

6.3.7. Sistem İçin Basınçlı Hava 79

6.4.Kimyasal Dozaj Sistemi . 79

6.4.1. Besleme ve Yoğuşturma Suyu Proses Modülü 79

6.4.2. Kimyasal Dozaj Sistemi Ekipmanları.. 80

**7. KAZANA AİT TEKNİK ÖZELLİKLER 82**

7.1. Kazan Teknik Özellikleri. 82

7.2. Kazan Ana Ölçüleri. 83

7.3. Kazan Ekipmanlarının Su Kapasitesi 83

7.4. Yakıt Özellikleri 84

7.4.1. Kömür Bileşik Analizleri 84

7.4.2. Kömür Kalitesi Tasarım Değerleri 85

7.5. Kül ve Curuf Özellikleri: 85

7.5.1. Kül Ergime Noktası:. 85

7.5.2. Kül bileşikleri ( kireç beslemesiz ). 85

7.6. Kireç Özellikleri ( Kalsinasyondan önce) 86

7.7. Kazan Kömür Tüketimi. 87

7.8. Kazan Kireç Tüketimi 87

7.9. Yanma Modu, Yanma Gazı ve Parametreleri: 87

7.10. Kazan Besleme Suyu Kalitesi: 88

**8. TERMİK SANTRALİN DEVREYE ALMA PROSEDÜRÜ 89**

**8.1. KAZANIN DEVREYE ALINMASI 89**

8.1.1. Kazan ateşlenmeden önce yapılması gereken test ve kontroller. 89

8.1.1.1.Ateşlemeye başlamadan yapılacak testler. 89

8.1.1.2. Kazan saha kontrolü 89

8.1.1.3. Su ve buhar hatlarının kontrolü. 90

8.1.1.4. Drum ve drum seviye göstergelerinin kontrolü. 90

8.1.1.5. Emniyet valfleri kontrolü:. 91

8.1.1.6. Kurum üfleyicilerin kontrolü: 91

8.1.1.7. Doğal gaz sistemi kontrolü 92

8.1.2. Kazanı ateşlemeden önceki temel hazırlıklar. 92

8.1.3. Kazan Devreye Alma Hazırlıkları. 93

8.1.3.1. Kazana su alınması. 93

8.1.3.2. Fanların Devreye Alınması. 94

8.1.3.3. Yatak Malzemesinin Alınması: 98

8.1.4. Kazanın Soğuk Devreye Alınması 98

8.1.4.1. Soğuk devreye alma.. 98

8.1.4.2. Ateşleyicilerin Ateşlenmesi. 100

8.1.4.3. Kömür besleme:. 104

8.1.5. Kazan Sıcaklık ve Basıncını Çalışma Şartlarına Getirme . 106

8.1.6. Kazanı Sıcak Ve Ekstra Sıcak Devreye Alma 107

8.1.6.1. Sıcak Devreye Alma . 107

8.1.6.2. Ekstra Sıcak Devreye Alma: 107

8.1.6.3. Sıcak Devreye Alma Şartları: 108

8.1.6.4. Sıcak ve Ekstra Sıcak Devreye Almada Dikkat Edilmesi Gerekenler: 108

8.1.7.Kazan Devreye Alınırken Dikkat Edilmesi Gereken Uyarılar. 109

**8.2. TÜRBİNİN DEVREYE ALINMASI 112**

8.2.1. 1. Ünitenin Devreye Alma Prensipleri. 112

8.2.2. Ünitenin Devreye Alınması 113

8.2.2.1. Çalıştırılmadan Önce Kontrol Edilecek: 113

8.2.2.2. Türbin dönüşünün hazırlanması ve şartları. 117

8.2.2.3. Senkron bağlantısı ve ünitenin ilk yükü 121

8.2.2.4. Sıcak Halde Ünitenin Değişebilir Parametreyle Devreye Alınması.. 125

8.2.3. Ünitenin Durdurulması. 128

8.2.3.1. Normal Duruş. 128

**9. SANTRAL ÇEVRİM YAPISININ VE KAZAN KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ 133**

9.1. Kazan İş Akışkanının Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi 134

9.2. Kazan Isıl Yükünün Belirlenmesi 138

**10.KAZAN ISIL TASARIMI 139**

10.1. Yakıt Isıl Değerinin Hesaplanması 139

10.2. Kazan Isıl Veriminin Hesaplanması. 140

10.3. Kazan Yakıt Tüketimi Hesabı. 142

10.4. Yanma Hesapları. 142

10.4.1. Özgül teorik ve gerçek yakma havası gereksinimi.. 142

10.4.2. Özgül Teorik ve Gerçek Yanma Gazı Üretimi. 143

10.4.3. Toplam Yakma Havası ve Yanma Gazı Debileri Hesabı 144

10.4.4. Yanma Odası Boyutlandırması . 144

10.4.5. Yanma Odası Sıcaklığının Hesaplanması 147

10.4.6. Isı Değiştirgeçleri Yanma Gazı Sıcaklıklarının Hesaplanması 149

10.4.7. Isıtma Yüzeyinin Boyutlandırılması. 151

10.5. Boru Mukavemetleri. 163

**11. BUHAR KAZANLARI GİRDİ-ÇIKTI KOŞULLANDIRMA SİSTEMLERİ 165**

11.1. Kazan Çekiş Sistemi 166

11.2. Besleme Suyu Arıtma Sistemi 167

11.3. Baca Gazı Arıtma Sistemleri 168

11.3.1. Partikül arıtma sistemi 169

11.3.2. $SO_2$ arıtma sistemi 169

11.3.3. $NO_x$ arıtma sistemi 170

11.3.4. $CO_2$ arıtma sistemi 171

**12. SONUÇ VE ÖNERİLER 173**

**Kaynaklar 179**

**ÖZGEÇMİŞ 185**

**EKLER 186**

EK– 1 Tasarım abağı [56] 186

EK– 2 Su buharı için Mollier diyagramı [18] 187

EK– 3 Su buharı için T-s diyagramı [18] 188

EK– 4 Suyun fiziksel özellikleri [58] 189

EK– 5 Sıcaklığın fonksiyonu olarak özgül ısı [18] 190

EK– 6 Duman gazı ortalama özgül ısısı [56] 191

EK– 7 Atmosferik basınçta havanın fiziksel özellikleri [18] 192

EK– 8 Bazı konumlar için ışınım şekil katsayılarına ait diyagramlar [56] 193

EK– 9 $CO_2$ gazının ışınım yayma katsayısı [56] 194

EK– 10 Su buharının ışınım yayma katsayısı [56] 195

# ŞEKİLLERİN LİSTESİ


| Şekil | Sayfa |
|---|---|
| 3.1. Rankine buhar/su çevrimi | 28 |
| 3.2. Akışkan Yataklı Enerji Santrali - Su/Buhar Çevrimi | 30 |
| 3.4. Ara kızdırmadaki buhar santralının h-s diyagramı | 34 |
| 3.6. Enerji santrali proses akış şeması | 36 |
| 3.7. Enerji Santrali Deniz Suyu Boru Hatları Akış Şeması | 40 |
| 4.1. Dolaşımlı akışkan yataklı kazana dayalı elektrik üretimi için akım şeması | 45 |
| 4.1. Kazan ve ön ısıtıcıların akış şeması | 51 |
| 9.1. Ara kızdırmasız standart bir Rankine Çevrimi'nin h-s diyagramı. | 133 |
| 9.2. Ara kızdırmalı bir çevriminin h-s diyagramı. | 133 |
| 9.4. Termik santral sistem yapısı. | 135 |
| 9.5. Santral kazanında yanma gazı ile iş akışkanı arasındaki ısı aktarımını gösteren T-A diyagramı | 137 |
| 10.1. Yanma odası geometrisi. | 145 |
| 10.3. Buhar hatlı boru kesiti | 153 |
| 10.4. Dik akışa maruz kalan boru sıralarının düzenleri. | 158 |
| 10.5. Buharlaşmadaki sıcaklık farkları. | 161 |
| 10.6. Kazanlarda boru patlama mekanizması. | 163 |

# TABLOLAR DİZİNİ


| Tablo | Sayfa |
|---|---|
| 5.1. Ana Ekipman Listesi | 59 |
| 5.1. Ana Ekipmanların Genel Dataları | 73 |
| 6.2. Sistem Ekipmanları | 75 |
| 6.3. Su ve buhar kayıp tablosu. | 76 |
| 6.4. Kazan Suyu Hazırlama Tesisi Ekipman Listesi | 78 |
| 7.1. Kazan teknik Özellikleri | 82 |
| 7.2. Kazan Ana Ölçüleri | 83 |
| 7.3. Kazan Ekipmanlarının Su Kapasitesi | 83 |
| 7.4. Kömür Bileşik Analizleri . | 84 |
| 7.5. Kömür Kalitesi Tasarım Değerleri | 85 |
| 7.6. Kül Ergime Noktası | 85 |
| 7.7. Kül Bileşikleri | 85 |
| 7.8. Kireç özellikleri | 86 |
| 7.9. Kazan Kömür Tüketimi . | 87 |
| 7.10. Kazan Kireç Tüketimi | 87 |
| 7.11. Doğal Gaz Bileşik Analizi | 87 |
| 7.12. Kazan Besleme Suyu Kalitesi | 88 |
| 8.1. Türbin soğuk devreye alma parametreleri . | 111 |
| 8.1. Çalışma planı diyagramı . | 112 |

8.2. Buhar Türbininin ısıtma, hız artırımı, döndürme kuvveti zaman dağılımı 120

8.3. Sıcaklık artış ve düşüş oranı 125

8.4. Sıcaklık Farkı 125

8.5. Ilık ve sıcak devreye almada çalıştırıldığı zaman, farklı performanslarda artan hız periyodu ve buhar kalite gereksinimleri 126

8.6. MSV başlangıç parametrelerinin değeri 126

8.7. Değişebilir parametrede durulduğunda ısıl düşüş ve buhar türbininin metal sıcaklık farkı 131

10.1. Bazı kazan kapasiteleri için kesitsel ısıl yük değerleri 145

10.2. Bazı yakıt çeşitleri için hacimsel ısıl yük değerleri 146

10.3. Baca gazı ve iş akışkanı hızları . 151

10.4. Boru demetine dik akışlarda C ve n değerleri. 158

10.5. Akışa dik sıra sayısına göre ısı aktarım film katsayısı düzeltme çarpanları. 159

# SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Simgeler | Açıklama |
|---|---|
| $\Delta T_m$ | Logaritmik sıcaklık farkı |
| $\eta_k$ | Kazan verimi |
| $\eta_y$ | Yanma verimi |
| $\rho$ | Yoğunluk |
| A | Isı transfer alanı |
| $A_{YO}$ | Yanma odası kesit alanı |
| Cp | Özgül ısı |
| $C_Y$ | Özgül birim ürün yakıt gideri |
| d | Boru çapı |
| $d_{AK*}$ | Birim güç başına ara kızdırıcı buhar debisi |
| $d_{Y*}$ | Birim güç başına yoğuşturucu çıkış debisi |
| $d_{TB*}$ | Birim güç başına taze buhar debisi |
| $h_{bs}$ | Besleme suyu entalpisi |
| $h_{db}$ | Doymuş buhar entalpisi |
| $h_{kb}$ | Kızgın buhar entalpisi |
| h | Isı transferi film katsayısı |
| $h_ç$ | Çıkış entalpisi |

| | |
|---|---|
| $h_g$ | Giriş entalpisi |
| $H_o$ | Yakıt üst ısıl değeri |
| $H_u$ | Yakıt alt ısıl değeri |
| k | Isı iletim katsayısı |
| Simgeler | Açıklama |
| K | Isıl kayıp |
| L | Boru boyu |
| $m_{ak}$ | Ara kızdırıcı buhar debisi |
| $m_{buh}$ | Buharlaştırıcı iş akışkanı debisi |
| $m_{eko}$ | Ekonomizer su debisi |
| $m_{kız}$ | Kızdırıcı buhar debisi |
| $m_B$ | Buhar debisi |
| $M_y$ | Yakıt debisi |
| N | Hava fazlalık katsayısı |
| $n_{öı}$ | Ön ısıtıcı sayısı |
| Nu | Nusselt sayısı |
| $P_{AKÇ}$ | Ara kızdırıcı çıkış basıncı |
| $P_{AKG}$ | Ara kızdırıcı giriş basıncı |
| $P_B$ | Buhar basıncı |
| Pel | Termik santral kurulu gücü |
| $P_{KÇ}$ | Kızdırıcı çıkış basıncı |

| | |
|---|---|
| $P_{TB}$ | Türbin giriş basıncı |
| Pr | Prandtl sayısı |
| Q | Isıl kapasite |
| R | Kirlilik katsayısı |
| Re | Reynolds sayısı |
| S | Sıra sayısı |
| $T_{At}$ | Atomizasyon sıcaklığı |
| $T_{AK}$ | Ara kızdırıcı çıkış sıcaklığı |
| $T_B$ | Buhar sıcaklığı |
| $T_{baca}$ | Baca gazı çıkış sıcaklığı |
| $T_{BS}$ | Besleme suyu sıcaklığı |
| $T_{TB}$ | Taze buhar sıcaklığı |
| U | Toplam ısı transfer katsayısı |
| V | Özgül hacim |
| $V_{max}$ | En dar kesitteki hız |
| $V_{YO}$ | Yanma odası hacmi |

**Kısaltmalar**

| | |
|---|---|
| AK | Ara kızdırıcı |
| B | Buharlaştırıcı |
| EKO | Ekonomizer |
| HÖI | Hava ön ısıtıcı |
| K | Kızdırıcı |
| YO | Yanma odası |
| AYK | Akışkan yataklı kazan |
| K-MSK | Kazan maksimum sürekli kapasite |

# 1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınma için temel girdilerden birisi durumundadır. Artan nüfus, şehirleşme, sanayileşme, teknolojinin yaygınlaşması ve refah artışına paralel olarak enerji tüketimi kaçınılmaz bir şekilde büyümektedir. Buna karşılık enerji tüketiminin mümkün olan en alt düzeyde tutulması, enerjinin en tasarruflu ve verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Günümüzde, kişi başına enerji tüketimi bir gelişmişlik göstergesi olmaktan çıkmış; amaç, kişi başına enerji tüketimini artırmak değil, bir birim enerji tüketimi ile en fazla üretimi ve refahı oluşturmak haline gelmiştir. Doğal kaynaklarımız gözönüne alındığında taş kömürü ve linyit rezervlerinin oldukça önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Bununla beraber, linyitlerimizin yüksek oranda kül ve kükürt ihtiva etmesi sirkülasyonlu akışkan yataklı yakıcıların gelecekte en ciddi çözümlerden biri olacağını açıkca göstermektedir. Sirkülasyonlu akışkan yataklı yakıcılar, akışkan yatak teknolojisinde en geliştirilmiş tip yakıcılar olup, diğer katı yakıtlı kazanlara göre yakıt esnekliği, yüksek yanma verimi, etkili kükürt indirgemesi, düşük $NO_x$ emisyonu, daha düşük kazan kesit alanı, daha az besleme noktası, iyi bir dönüş ve yükleme takip kabiliyeti gibi avantajlara sahiptir. Dünya genelinde endüstriyel enerji üretiminin dayandığı bir numaralı yakıt kömürdür. Geleceğe yönelik eğilimlerde de, ekonomik ve stratejik açıdan kararlı bir yapıya sahip olan kömür, enerji güvenliği göz önüne alınarak hazırlanan enerji üretimi planlamalarında vazgeçilmez bir üstünlüğe sahiptir. Her ne kadar Türk kamuoyunda kömür kullanımı konusunda büyük bir tedirginlik ve bilgi eksikliği bulunsa da, dünya genelinde katı yakıtların değerlendirilmesi konusunda atılımlar devam etmektedir. Kömür gibi katı yakıtların değerlendirilmesi için, çağın gereklerini yakalamış yakma teknolojileri uygulanmakta ve geliştirilmektedir. Günümüzde termik santrallarda, kömüre dayalı enerji üretimi uygulamasında görebildiğimiz 'akışkan yataklı kazan teknolojisi', kömür yakılması ile ilgili her türlü çekinceyi gidermektedir. Akışkan yataklı termik santrallerin daha iyi anlaşılabilmesi için enerji üretim sistemleri sınıflandırarak bunlar hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Bunlar başlıca; Termik santraller, hidrolik santraller ve nükleer santrallerdir. Temiz kömür yakma teknolojilerinden olan akışkan yataklı kazana sahip santraler ayrıntılı bir şekilde incelenip avantajları ve dejavantajları ortaya konulmuştur. Termik santrallerde

kullanılan termodinamik çevrim olan Rankine çevrimi ve bu çevrimin verimini artırma yolları anlatılarak bu santrallerin nasıl geliştiği ve nasıl geliştirilebilceği konusuna ışık tutulmuştur. Termik santralde kullanılan başlıca ana ekipmanlar ve yardımcı ekipmanların çalışma prensipleri ve görevleride bu tezde anlatılan en önemli konulardandır. Her ne kadar santrallerin çalışma prensiplerini bilinsede bu santrallerin devreye alınması ve işletilmesi hakkında çok yaygın bir kaynak bulunmamaktadır. Santrallerin devreye alınması ve işletilmesi konusundaki bilgiler genellikle bu santrallerde çalışarak ve zamanla kazanılan deneyimlerin aktarılmasıyla olmaktadır. Termik santralin devreye alma prosedürlerini kazan ve türbin olarak ayrıntılı bir şekilde anlatılmış olup bu konudaki bilgi eksikliğinin giderilmesine yardımcı olunmuştur. Türkiye Kyoto Protokolünü imzalamasıyla, sıkı $CO_2$ azaltma önleme yükümlülüklerini yerine getirmek zorundadır. Bu nedenle $CO_2$ emisyonunu azaltmaya çözümleri olan; Yanma optimizasyonu, akışkan yatak uygulaması, $CO_2$'nin MEA (Mono Etanol Amin) ile yıkanması, oksijen ile yakma ve $CO_2$ bertarafı ve oksijenle yakmalı ultra süper kritik kazan uygulamaları konularından bir tanesi olan akışkan yataklı kazan teknolojisinin kazan tasarımı yapılmıştır. Böylelikle tasarım firmanlarının vermiş olduğu değerlerin nasıl hesaplandığı ve sistemi nasıl etkilediği konusu ele alınmıştır.

# 2. ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ

Enerji üretim sistemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

## 2.1. Termik Santraller

Yakıt cinsine göre termik santraller üç grupta incelenir. Bunlar katı, sıvı ve gaz olmak üzere üçe ayrılmaktadır [2].

### 2.1.1. Katı yakıtlı santraller

Yaygın olarak kömür kullanır. Linyit elektrik enerjisi üretiminde en çok kullanılan kömürlerdendir. Linyit kömürlerinin ısıl değerleri yaklaşık olarak 1500–4200 kcal/kg civarındadır. Termik santrallerde bu kömürleri yakan kademeli, döner ızgaralı veya akışkan yataklı sistemler vardır [2].

### 2.1.2. Sıvı yakıtlı santraller

Termik santrallerde yakıt olarak ham petrolün işlenmesi sonucu ortaya çıkan benzin, mazot, fuel-oil ve benzerleri kullanılmaktadır [2].

### 2.1.3. Gaz yakıtlı santraller

Yakıt olarak bu santrallerde doğalgaz kullanılmaktadır. Bu sistem ülkemizde kullanımı hızlı bir şekilde artmaktadır [2].

## 2.2. Hidrolik Santraller

En ucuz ve en temiz enerji kaynaklarındandır. Nehir ve göllerdeki sulardan faydalanmak için büyük güçlü santraller kurulmuş ve kurulmaktadır. Ülkemizin coğrafi şartları; arazinin dağlık oluşu akarsu ve göllerde büyük ölçüde faydalanma kolaylıkları getirmektedir. Akarsuların en uygun yerlerine kurulan barajlar yardımı ile sular baraj gölünde toplanır ve bir yükseklik kazanırlar. Bu yükseklikten düşen sulardaki enerji baraj yakınlarında kullanılan hidrolik santrallerde elektrik enerjisine dönüştürülür. Hidrolik enerji tükenmeyen bir enerji kaynağıdır [1].

## 2.3. Nükleer Santraller

Reaktörlerde kontrollü bir şekilde Uranyum, toryum gibi elementlerin atomlarının, parçalanması sonucu ortaya çıkan çok kuvvetli ısı enerjisini elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Yurdumuzda nükleer santral henüz bulunmamaktadır.

## 2.4. Diğer Santraller

Rüzgar enerjisinden faydalanarak çalışan 5–100 kW güçlü santraller kurulmuştur. Denizlerde oluşan gel-git sonucu oluşan bir enerji şeklide gel-git enerjisidir.

# 3. TERMİK SANTRAL ÇEVRİMİ TERMODİNAMİK ANALİZİ

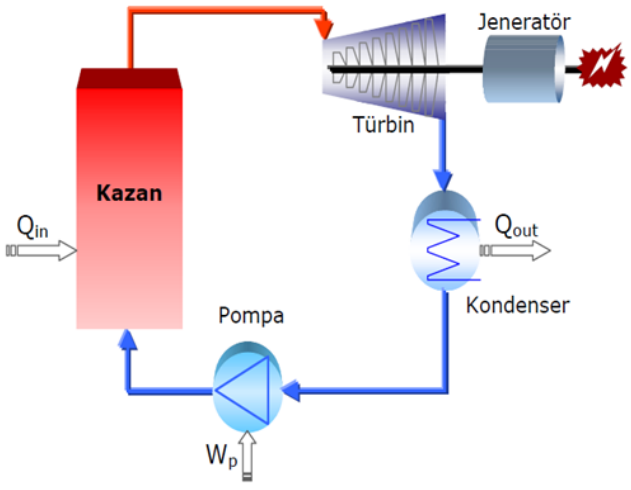
Termik santrallerde kullanılan çevrimi aşağıdaki gibi anlatabiliriz.

## 3.1. Termik Santral Çevrimi

Buhar, günümüzün sanayileşmiş dünyasında kritik bir kaynaktır. Buhar farklı amaçları için sanayinin ve teknolojinin bazı dallarında kullanımasına rağmen, yine de buharın en önemli önceliği elektrik üretiminde birincil kaynak olmasıdır. Dünyanın her yerinde rahatlıkla üretilebildiği için, buhar herhangi bir yakıttan sağlanan enerjiyle her türlü enerji uygulamasında yer alan en önemli ikincil enerji kaynağıdır. Ayrıca buharın enerji üretiminde büyük öneme sahip, kendine has özellikleri vardır: Buhardan suya ve tekrar sudan buhara geçişin basit bir döngüsü vardır ve bu işlemlerin doğa üzerinde toksin bir etkisi yoktur [54].

### 3.1.1. Rankine Çevrimi

Rankine çevrimi pratikte değeri olan en basit buhar çevrimi, olarak adlandırılmaktadır. Buhar çevriminin avantajı, ısının süreklilik içinde işe dönüştürülmesini sağlayan prosesleri birleştirmesinden gelir. Bu çevrimin prosesi, elektrik jeneratörünü çeviren buhar türbinine, kazandan sağlanan buharın;




Şekil 3.1. Rankine buhar/su çevrimi [54]

Beslenmesi üzerine kuruludur. Türbinden çıkan buhar kondensere girer ve burada yoğuşan buhar, su olarak tekrar kazana beslenir. (Şekil 3.1.) Şekilde görüldüğü gibi, pompa tarafından besi suyuna basınç artışı olarak aktarılan enerji ($W_p$) sayesinde suyun kazana akışı sağlanmakta, kazanda suya aktarılan ısı enerjisi ($Q_{in}$) sayesinde buhar oluşmakta, türbini döndüren buhar sayesinde jeneratörde elektrik üretilmekte, türbini terk eden düşük basınçlı buhar kondenserde ısı vererek ($Q_{out}$) suya dönüşmekte ve bu suyun tekrar pompaya girişiyle çevrim tamamlanmaktadır [54].

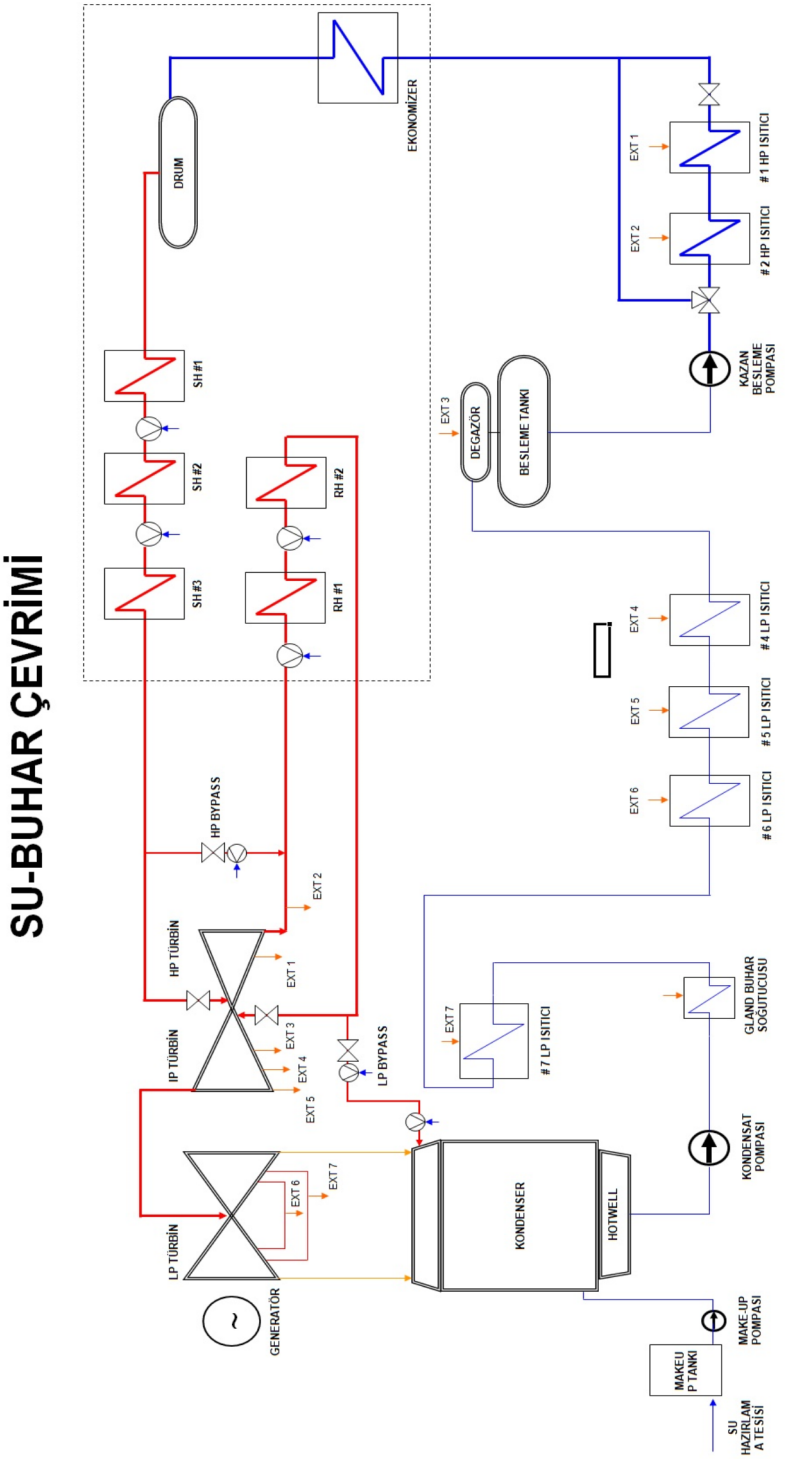
Bu çevrimin verimini artımanın yollarından biri, buharı kızdırmaktır. Bu durumda, aynı miktarda enerji için daha az buhar ve daha az yakıt gerekmektedir. Eğer, buhar tekrar kızdırılır ve ikinci bir türbinden geçirilirse, çevrim verimi daha da artar ve türbinden geçerken buharın içindeki nem azalmış olur. Buharın içindeki nemin azalması türbin kanatlarındaki erozyonu en aza indirir. Bunlara ek olarak, besi suyunun ısıtılması da uygulanırsa, başlangıçta belirtilen Rankine çevriminin verimi önemli oranda artmış olur. Bu işlem, türbinin çeşitli kademelerinden buhar alınarak, bu buharın kondenserden pompaya gidiş hattında besi suyunun ısıtılmasında kullanılmasıyla gerçekleştirilir. İşte bu geliştirilmiş çevrim prensibi, modern enerji santrallerindeki uygulamanın özetidir [54].

## 3.2. Termik Santral Yardımcı Sistem ve Ekipmanları

Termik santrallerde kazan, türbin, jeneratör, kondenser ve pompa gibi kısımlardan öteye, bu ekipmanlara yardımcı ve fiziki olarak çok daha fazla yer kaplayabilen ve sayıları azımsanmayacak kadar çok yardımcı sistem ve ekipman içerirler [54].

Genel olarak katı yakıtlı bir santralde ana sistemler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

1. Yakıt stok ve hazırlama
2. Yanma odası ve buhar üretimi
3. Çevresel koruma
4. Türbin jeneratör ve elektrik üretimi
5. Soğutma suyu sistemi
6. Kondenser ve besi suyu sistemi




Şekil 3.2. Akışkan Yataklı Enerji Santrali - Su/Buhar Çevrimi

Şekil 3.2'de görülmekte olan uygulamada, dolaşımlı akışkan yataklı kazanda üretilen, yüksek sıcaklık ve basınçta kızgın buhar, buhar türbini'ne gönderilmektedir. Türbine giren bu yüksek enerjili buhar, türbin kanatlarını döndürürken enerjisini kaybeder ve önceden tasarlandığı şekilde, türbinin belli bir kademesinde şartları prosese uygun hale gelir. Bu kademede, buharın proses için yeterli olan miktarı türbinden çekilirken, kalan kısmı türbinin sonuna devam edip negatif basınca kadar düşer. Çürük buhar olarak adlandırılan düşük enerjili bu buhar, tekrar kazana beslenmek üzere çeşitli işlemlerden geçmeden önce kondensere girerek suya dönüşür. Bu arada, buharın türbin kanatlarına uyguladığı kuvvetin, türbin rotorunu, dolayısıyla bu rotorun bağlı olduğu jeneratör rotorunu çevirmesi sonucu elektrik üretimi gerçekleşir. Yukarıda belirtilen çürük buharın yoğuşturulması işlemi için, kazan suyundan tamamen ayrı bir soğutma suyu sistemi kullanılmaktadır. Kondensere giren soğutma suyu, türbinden gelen buharın suya dönüşmesini sağlarken, sıcaklığı artar. Sıcaklığı artan soğutma suyunun tekrar kondensere gönderilebilmesi için soğutulması gerekmektedir. Bu amaçla enerji santrallerinde soğutma kulesi olarak adlandırılan sistemler bulunmaktadır. Soğutma kulelerinde temel prensip, suyun hava ile direkt temas ettirilerek, ısı transferi ve buharlaşma ile sıcaklığının düşürülmesidir. Havayla temas sonucunda soğuyan, ancak bir miktarı buharlaşma ile kaybedilen su, yakındaki bir su kaynağından gerekli miktarda ilave yapılarak kondensere gönderilir. Böylece soğutma suyunun döngüsü de tamamlanmış olur. Sonuçta, türbinden gelen çürük buharın yoğuşturulması ile oluşan su, çevrim sırasındaki su kaybının karşılandığı telafi tankına gönderilir. Buhar türbininin ara kademesinden çekilerek prosese gönderilen buhar ise ısıtma, soğutma, kurutma ve motor tahrikleme gibi değişik amaçlarla kullanıldığında yoğuşur ve prosesi kondens olarak terk eder. Prosesten gelen bu su da türbin kondenserinden gelen su gibi telafi tankına gönderilir. Su/buhar çevrimi sırasında hatlarda gerçekleşen hat kayıpları ve proseste kullanılış şekline bağlı olarak değişkenlik gösteren proses kayıplarından dolayı, sisteme dışarıdan bir miktar su ilavesi zorunlu olmaktadır. Türbin kanatlarında ve boru hatlarında mekanik ve/veya kimyasal zararlara yol açmaması için, eklenen suyun da hatlarda dolaşan su gibi çeşitli kimyasal/mekanik arıtma/demineralizasyon işlemlerinden geçmesi gerekir. Bu yüzden, telafi tankına eklenen su, çeşitli işlemlerden geçerek belirli bir kaliteye getirilmektedir. Suyun kazana beslenmeden önce geçeceği önemli işlemlerden biri de

besi suyu tankına gireceği noktada bulunan degazörde gerçekleşmektedir. Degazörün amacı, suyun içinde çözünmüş olarak bulunan oksijeni en aza indirerek, özellikle kazan boruları ve diğer buhar hatları olmak üzere, sistemin genelinde oksitlenme eğilimini azaltmaktır. Degazörde, buhar türbini ara basınç kademesinden alınan buharın besi suyu üzerine uygulanması sonucunda oksijenin besi suyundaki çözünürlüğü azaltılırken, aynı zamanda besi suyunun da bir miktar ısınması sağlanmış olur. Degazörden geçerek besi suyu tankına giren su, besi suyu pompasında yüksek basınca çıkartılarak, ekonomizerde ön ısıtmaya tabi tutulduktan sonra kazana gönderilir. Kazanda yakıtın yanmasıyla, borulardaki su öncelikle doymuş buhara dönüşerek kazan domuna ulaşır. Kazan domundan çıkan doymuş buhar, yanma odasının devamındaki gaz yolunun üstünde bulunan kızdırıcı borulara girerek, aynı basınçta sıcaklığının artmasıyla kızgın buhar halini alır ve buradan da buhar türbinine yönelir. Şekil 3.2.'de akım şeması verilen su/buhar çevrimi basitçe bu şekilde özetlenebilirken, yardımcı sistemlerin de ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır[54].

Ancak, enerji santralinin en önemli bölümünü, yanma odası ve buhar üretimi ile ilgili bir grup boru sistemi ve ekipmanları kapsayan kazan oluşturmaktadır. Kazanların, buhar/su çevriminin gerçekleştiği tarafında yukarıda anlatılana benzer mekanizmalar hakimken, yakıtın ısıl enerjisinin açığa çıktığı yanma odaları, hem yakıt cinsine göre hem de yakma teknolojisine göre büyük farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklarda belirleyici olan bir numaralı unsur yakıt cinsi olmaktadır. Dünya genelinde endüstriyel enerji üretiminin dayandığı bir numaralı yakıt kömürdür. Geleceğe yönelik eğilimlerde de, ekonomik ve stratejik açıdan kararlı bir yapıya sahip olan kömür, enerji güvenliği göz önüne alınarak hazırlanan enerji üretimi planlamalarında vazgeçilmez bir üstünlüğe sahiptir. Her ne kadar Türk kamuoyunda kömür kullanımı konusunda büyük bir tedirginlik ve bilgi eksikliği bulunsa da, dünya genelinde katı yakıtların değerlendirilmesi konusunda atılımlar devam etmektedir. Kömür gibi katı yakıtların değerlendirilmesi için, çağın gereklerini yakalamış yakma teknolojileri uygulanmakta ve geliştirilmektedir [54].

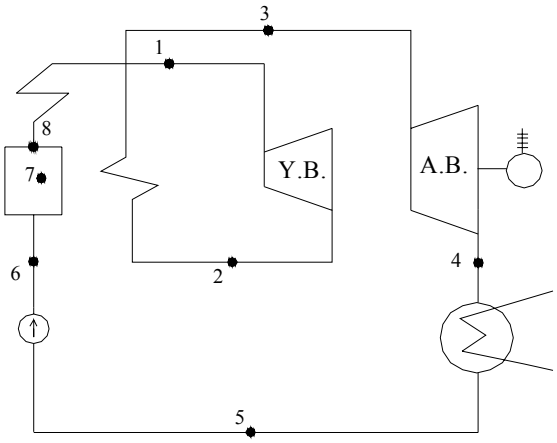
## 3.3. Çevrim Verimini Artırma Yolları

Çevrim verimini artırma yolları aşağıdaki gibidir

### 3.3.1. Ara Kızdırma

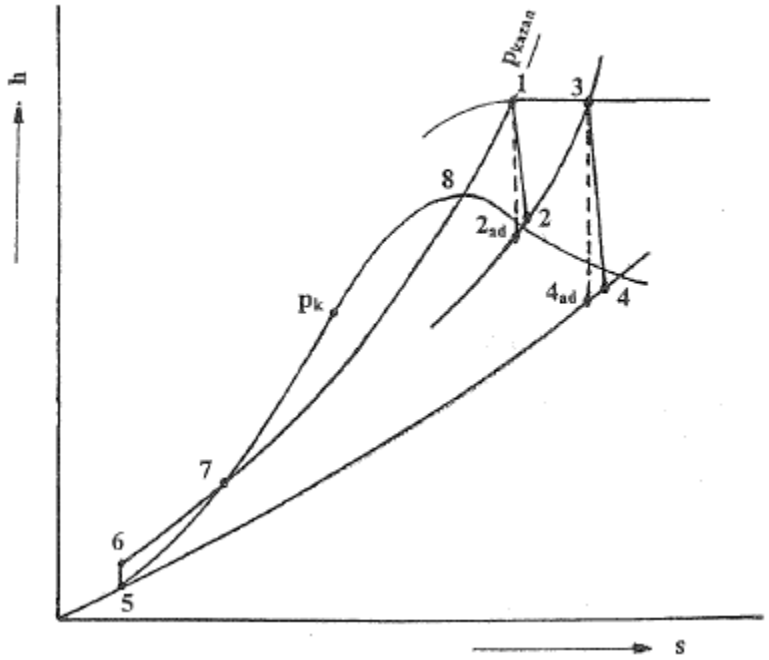
Buhar çevriminde başlangıç basıncı artırılıp, kondenser basıncı sabit tutulursa entalpi düşüş miktarı artar. Ancak basınç arttırılırken aynı anda sıcaklık da arttırılmazsa ıslak buhar bölgesine girilmiş olur. Termik ve mekanik nedenlerle, türbin çıkışındaki buhar ıslaklığı %10'dan büyük olmamalıdır (1-X < 0,10). Aksi halde su damlacıkları türbin kanatlarında erozyona sebep olur [53].

Buharın ıslaklık derecesi, buhar basıncı arttırıldığında, buhar sıcaklığının da arttırılması ile gerekli limitlerin altında tutulabilirse de bu çok zordur ve büyük harcamaları gerektirir. Bu nedenle türbin tek bir gövde yerine, yüksek basınç, orta basınç ve alçak basınç gövdelerinden meydana getirilir. Taze buhar önce yüksek basınç basamaklarından geçerek sınır eğrisi yakınlarına kadar genişler [53].




Şekil 3.3. Ara kızdırmalı bir buhar santralı [53]

Daha sonra türbinden çıkan buhar, ara kızdırıcıda izobar olarak (2–3) yeniden ve mümkünse başlangıç sıcaklığına kadar kızdırılır. Buradan çıkan buhar türbinin orta basınç ve alçak basınç basamaklarından geçerek kondenser basıncına kadar genişler. Bu yolla buharın ıslaklık derecesi istenilen limitler içerisinde tutulmuş olur [53].




Şekil 3.4. Ara kızdırmadaki buhar santralının h-s diyagramı [53]

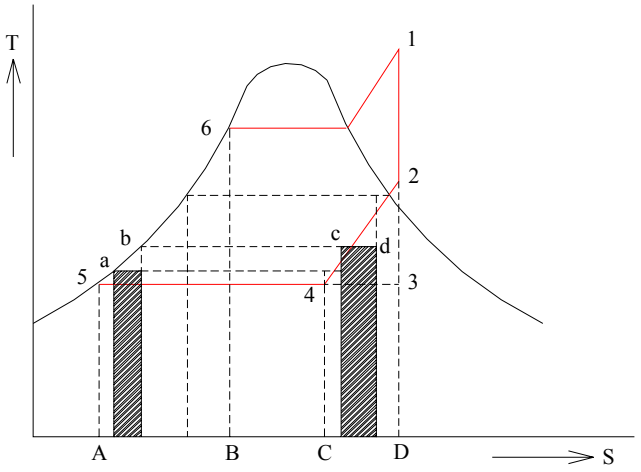
Böyle bir buhar çevrimi için gerçek ısıl verimi aşağıdaki gibidir.

$$\eta = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4) - (h_6 - h_6 - h_5)}{(h_1 - h_6) + (h_3 - h_2)} \tag{3.1}$$

Ara kızdırma, buhar çevrimi veriminde % 3–5 oranında bir artma sağlar. Ancak bununda bazı dezavantajları vardır. Türbinler çok gövdeli ve uzundur, yol vermesi daha zordur, gerekli boru miktarı çok fazladır ve ara kızdırıcının eklenmesi sonucu kazan maliyeti daha yüksektir [53].

### 3.3.2. Ara Buhar Alma

Buhar çevrimini yükseltmek için uygulanabilecek bir başka metot da türbin kademelerinden alınan ara buhar ile besleme suyuna ön ısıtma uygulanmasıdır. Bu metoda rejeneratif metot da denilmektedir. İdeal bir çevrimde ısının tümü, Carnot çevriminde olduğu gibi, mümkün olan en yüksek sıcaklıkta türbine verilmeli ve en düşük sıcaklıkta çekilmelidir. Ara buhar alma ile bu şart yaklaşık olarak sağlanabilir. Şekil 3.5.'de böyle bir çevrimin T-s diyagramı ve bu çevrime göre çalışan düzenin çalışma şeması görülmektedir [53].




Şekil 3.5. Ara buharlı bir santralın çalışma şeması ve T-S diyagramı[53]

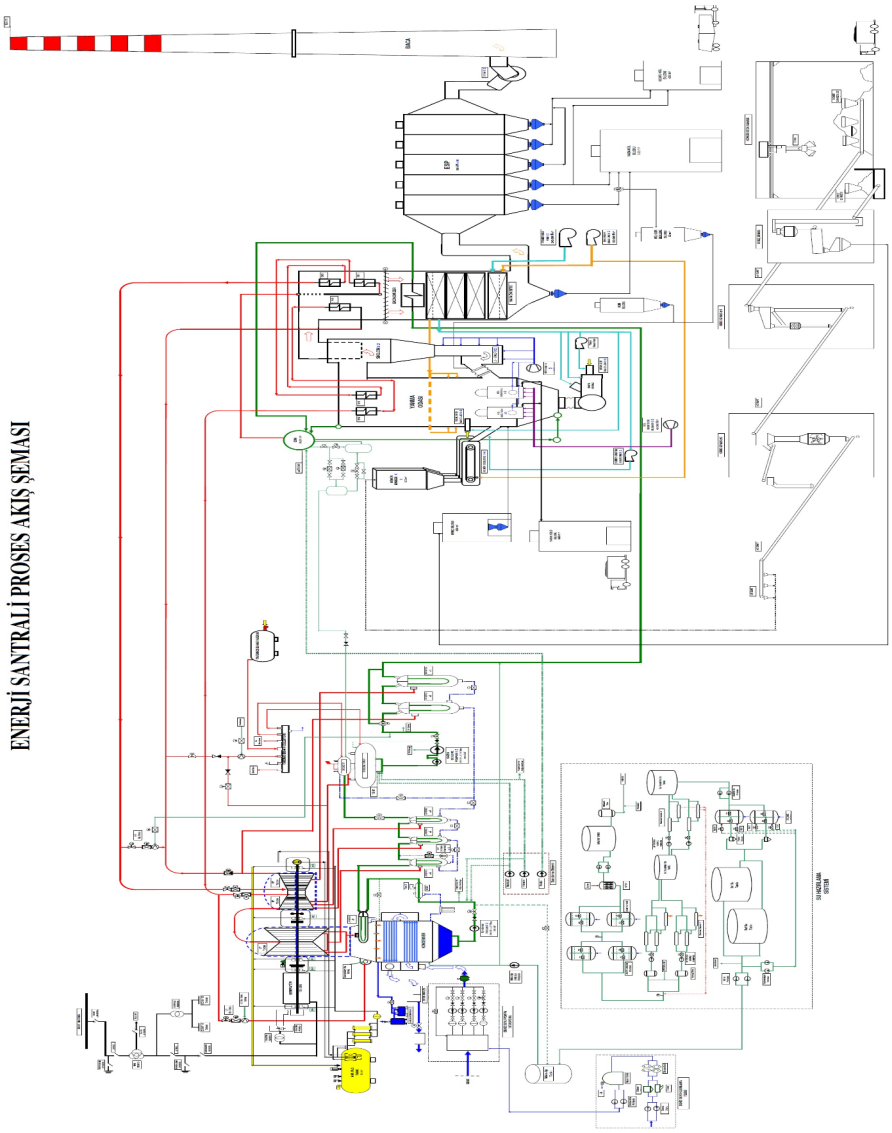
Türbin içerisinde genişlemekte olan buharın bir bölümü genişlemesini tamamlayamadan türbinin kimi basamaklarından alınır ve besleme suyunun ön ısıtılmasında kullanılır. Geri kalan bölüm Clausius-Rankine çevriminde olduğu gibi türbinde, kondenser basıncına kadar genişler. Çok sayıda ara buhar alınması halinde genişleme yaklaşık olarak 2–4 eğrisini takip eder ve yararlı iş alanı 1–2–4–5–6–7–1 dir. A56B alanı ara buhardan sağlanan ısıyı, B612D alanı da kazana verilen toplam ısıyı göstermektedir. Bu ideal çevrimin verimi besleme pompasının işi yok sayılarak şöyle yazılabilir.

$$\eta = 1 - (h_4 - h_5) / (h_1 - h_6) \qquad (3.2.)$$

Ara buhar alma, çevrim verimini %10 kadar arttırır. Buhar santrallerinde ara buhar alma ve ara kızdırma çoğunlukla beraberce yapılır [53].

## 3.4. 135 MW Akışkan Yataklı Termik Santralin Su - Buhar Çevrimi

Elektrik üretebilmek için jeneratör rotorunun dakikada 3000 devir yapacak şekilde döndürülmesi gerekir. Bu nedenle sistemimizde aynı jeneratör rotoru üzerinde bulunan 3 kademeli buhar türbini kullanılmaktadır. Türbinide döndürmek için, sistem içinde kullanılacak iş akışkanı su-buhar olmak durumundadır.




Şekil 3.6. Enerji santrali proses akış şeması

Denizden alınan su ters ozmoz sistemiyle kullanım suyu haline getirilir. Bu kullanım suyu tesis içinde bulunan su tesviye ünitesinde saf su haline getirilir. Demi suyu sisteme yoğuşturucunun alt haznesinden giriş yapar. Yaklaşık 30–35 ˚C arasında çok düşük basınçtaki (4,9 kPa) bu suyun ısıtıcıları dolaşabilecek ve pompaya ulaşabilecek kadar basınçlandırılması gerekmektedir. Bu basınçlandırma işlemi sistemimizde kondensat pompası olarak adlandırılan ekipmanla yapılır. Yaklaşık 17 bara kadar basınçlandırılan su sırasıyla 7, 6, 5 ve 4 nolu ön ısıtıcı esanjörlerden geçirilirerek belli bir miktar ön ısıtma gerçekleştirilmiş olur.

İlk ön ısıtma işleminin gerçekleştiği 7 nolu ısıtıcının ısıtma buharı düşük basınç türbininden çekilen ara buharla gerçekleştirilir. Bu buharın sıcaklık ve basıncı sırasıyla 51 ˚C ve 0,134 bardır. Bu ısıtıcıda suyun sıcaklığı yaklaşık 48 ˚C'ye kadar çıkar. Daha sonra besleme suyu 6 nolu ön ısıtıcıda yine düşük basınç türbininden alınan 130 ˚C ve 0,65 bar'lık buharla 85 ˚C'ye ısıtılarak 5 nolu ön ısıtıcıya gönderilir. Isıtma buharını orta basınç türbininin egzozundan alan 5 nolu ön ısıtıcı 248 ˚C ve 2,46 bar'lık buharla besleme suyunu yaklaşık olarak 125 ˚C'ye kadar ısıtır. Buradan 4 nolu ısıtıcı orta basınç türbininden aldığı 315 ˚C ve 4,37 bar'lık buharla besleme suyu yaklaşık 145 ˚C'ye gelir.

Yüksek alaşımlı dayanıklı su- buhar boruları $O_2$ ve $CO_2$ aşındırıcı etkisini düşük basınçlarda ve düşük sıcaklıkta karşı koyabilmektedir. Ancak yüksek basınç ve yüksek sıcaklıklarda bu durum söz konusu değildir. $O_2$ ve $CO_2$'nin bu aşındırıcı etkisini bertaraf etmek için besleme suyunu pompalamadan önce bu gazlardan arındırılması gerekmektedir. Bu nedenle besleme suyu degazör adlı ekipmana gönderilir. Besleme suyu tankı ve gaz haznesi olmak üzere iki bölümden oluşan degazör gaz haznesinden giriş yapan besleme suyu, su haznesine dolmaya başlar. Besleme suyunun içerdiği gazlar ise bu geniş haznenin üst kısmında toplanır. Gaz haznesinin üzerinde bulunan ventler yardımıyla zararlı gazlar atmosfere atılır.

Gaz alma işleminin yanı sıra ısıtıcı olarakta kullanılan bu ekipman orta basınç türbininden almış olduğu 376 ˚C 6,92 bar'lık ara buharla besleme suyunu yaklaşık 165–170 ˚C'ye ısıtır. Aşındırıcı gazlardan arınmış ve ön ısıtma yapılmıs besleme suyu, besleme suyu pompasıyla yaklaşık 153 bar'a kadar basınçlandırılır. Daha sonra ısıtma işlemi yüksek basınç türbininden aldığı 314 ˚C 24 bar'lık buharla gerçekleştiren 2 nolu

yüksek basınçlı ön ısıtıcıda 218 ˚C'ye kadar ısıtırılır. Buradan 1 nolu yüksek basınçlı ön ısıtıcıya giriş yapar. Bu ısıtıcı ısıtma buharını yine yüksek basınç türbininden alınan 357 ˚C 35 bar'lık buharla, besleme suyunu yaklaşık 240 ˚C'ye çıkarır.

Buharın türbini döndürebilmesi için yüksek sıcaklıklı yüksek basınçlı buhara ihtiyaç duymaktadır. Bizim iş akışkanımız yüksek basınçlı su olduğundan öncelikle faz değişiminin sağlanası daha sonrada yüksek entalpi değerine ulaşmak için yaklaşık 540 ˚C'ye ısıtılması gerekmetedir. Bu işlem sistemimizde doğal sirkilasyonlu tek domlu tek ara kızdırmalı dolaşımlı akışkan yataklı kazan ile yapılır. 1 nolu yüksek basınçlı ısıtıcıda yaklaşık 240 ˚C'ye gelen su 132 bar'daki hal değiştirme sıcaklığı olan 320 ˚C' ye ekomizerde çıkarılır.

Kazan 3 bölümden oluşur. Yanmanın gerçekleştiği ocak bölümü, yanmayan karbon ve belli büyüklükteki külün kazana geri döndürüldüğü siklon (j-valf) kısmı ve yüksek sıcaklıkta baca gazından faydalanılan 2. geçiş bölümü. Kazanın ocak bölümünün her yüzü su borularıyla kaplı olduğu için kazan duvarlarına su duvarı denir. Bu su duvarlarında kömürden elde edilen enerji suya aktarılır. Karışım fazının girişinde olan su, aktarılan bu ısı enerjisiyle borularda yükselirken buhara dönüşür. Ayrıca ocak kısmındaki alev radyasyonundan faydalanmak amacıyla ikinci kızdırıcı ve ikinci ara kızdırıcı paketlerinde bu bölgede bulunmaktadır. Kazanın siklon bölümünde ise ocak bölümünden gelen ve baca gazı emişini yenebilecek büyüklükte olan partiküller kazana geri beslemesi sağlanır.

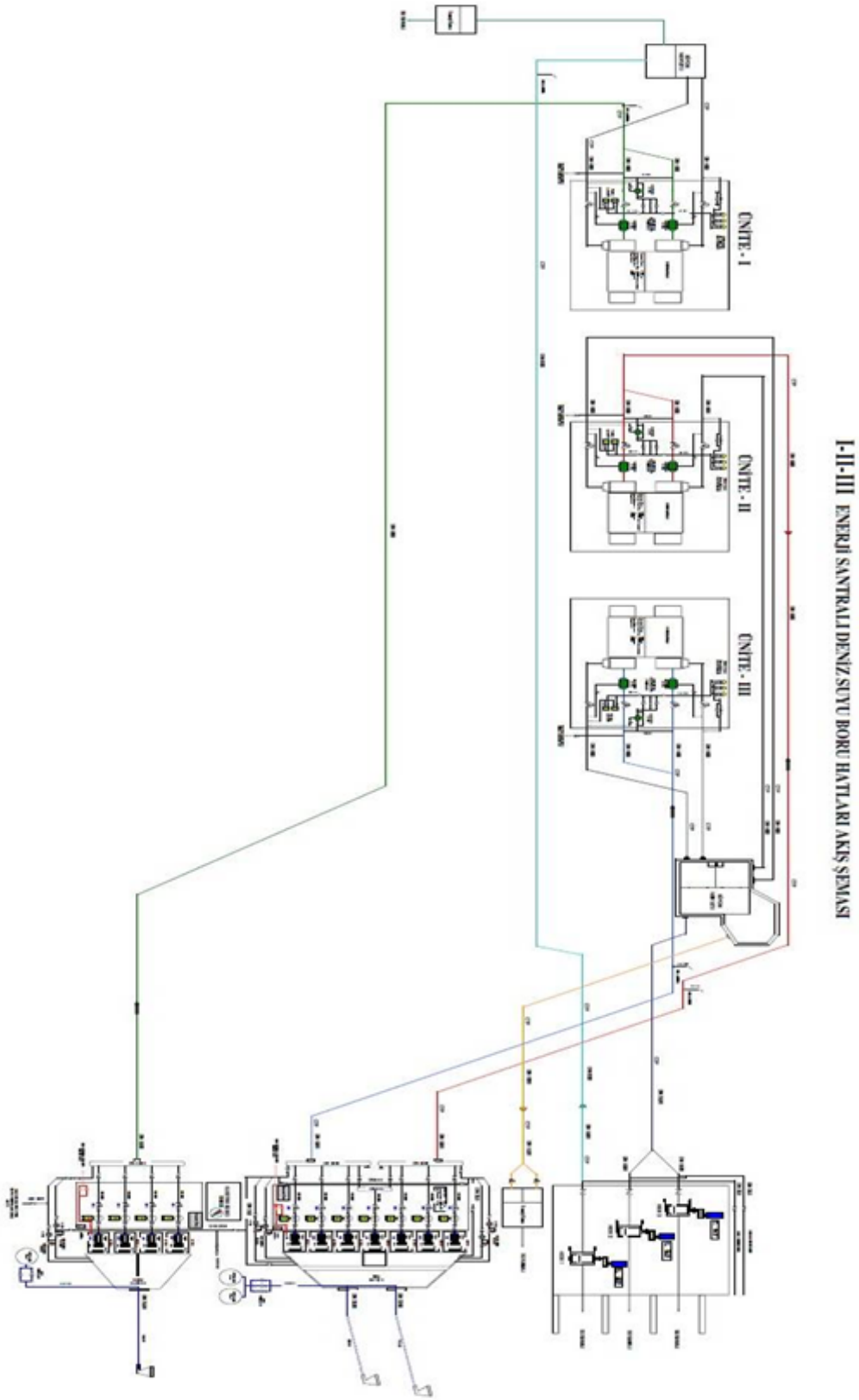
Kazanın 2. geçiş bölgesinde ise çift bölmeli ve tek bölmeli olarak 2 ye ayrılır. Tek bölmeli kısımda aşağıdan yukarıya sırası ile havanın yaklaşık 240 ˚C'ye getirildiği hava ön ısıtıcı paketleri bulunur. Çift bölmeli kısmın baca tarafındaki kısmında kıvrımlı serpantin tipi 1. ve 2. kızılırcı paketleri türbin tarafında ise 1. ara kızdırma paketi bulunur. Türbinden 240 ˚C gelen su, sıcak baca gazından faydalanan ekomizerde 320 ˚C sıcaklığa getirilir.

Karışım sıcaklığı 320 ˚C olan su, su buhar ayrışımının olduğu dom'a gönderilir. Dom'da içindeki buhar tanelerini bırakan su kazanın alt kolektöründen tekrar kazana sokulur. Isındıkça hal değiştiren su ocağın en üstündeki kollektörlerde artık tamamen

buhar olarak toplanmaya başlar. Buradan sonra 1. kızdırıcı paketinin bulunduğu 2. geçişe gönderilir. Burada baca gazından aldığı ısıyla sıcaklığı yaklaşık 360 ˚C'ye yükselir. Burada alev radyasyonundan faydalanmak için ocak içinde bulunan düz tipi kızdırıcı paketlerine yönlendirilir. Bu paketlerde buharın sıcaklığı yaklaşık 490 ˚C' ye yükseltilir. Daha sonra tekrar ikinci geçiş bölümünde bulunan 3. Kızdırıcı paketine yollanan buhar burada 540 ˚C ulaşır. Bu paketler arasındaki sıcaklık kontrolü ara hatlara besleme suyu püskürtülerek yapılır.

540 ˚C'de 13.24 MPa basınçtaki buhar yüksek basınç türbinine girmeye hazırdır. Hazır olan bu buhar kontrol valflerinden geçerek yüksek basınç türbinine sokulur. Burada enerji aktarımı sağlanırken türbin 10. kademesinden 1 nolu yüksek basınçlı ön ısıtıcı için gerekli olan buhar sağlanır. Enerji aktarımına devam eden buhar yüksek basınç türbininin ekzosuna geldiğinde basınç 2.45 MPa sıcaklık ise 315 ˚C'ye düşer. Bu özellikteki buharın orta basınç türbinine sokulması istenmez. Bu yüzden sıcaklık tekrar 540 ˚C çıkarılması gerekmektedir. Bu nedenle bu buhar kazandaki tekrar kızdırıcılara gönderilir. Bu hat üzerinde buhar çekişi sağlanarak 2 nolu yüksek basınçlı ön ısıtıcı için gerekli buhar alınır. Tekrar kızdırıcıdan çıkan buhar 540 ˚C yükselmiş basınçıda 2.27 MPa düşmüş olan buhar orta basınç türbinine sokulur. Enerji aktarımı sağlanırken 7 nolu kademeden degazör için gerekli ısı sağlanır. Daha sonra türbin 10. kademesinden düşük basınçlı ön ısıtıcı için gerekli olan buhar alınır. Orta basınç türbününü terk eden buharın sıcaklık ve basıncı 248 ˚C, 0.25 MPa düşmüştür. Ekzos bölümünün altında bulunan buhar hattı yardımıyla 5 nolu düşük basınçlı ön ısıtıcı için gerekli olan buhar çekilir.

Buradan sonra buhar düşük basınç türbinine sokulur. Düşük basınç türbini 3. kademesinden buhar 6 nolu düşük basınçlı ön ısıtıcıya gönderilir. Yoluna devam eden buhar artık kuru buhar fazında değildir. % 93 buhar % 7 su fazındadır. Bu özelikte buharın tekrar çevrime girebilmesi için tamamen su fazına geçirilmesi gerekir. Bunun için kondersele gönderilir. Konderselde soğuyan buharın sıcaklığı 32.55 ˚C basıncı ise 4.9 kPa düşer.




Şekil 3.7. Enerji Santrali Deniz Suyu Boru Hatları Akış Şeması

# 4. AKIŞKAN YATAKLI TERMİK SANTRALLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

## 4.1. AKIŞKAN YATAKLI KAZANLAR

Bütün toplumlar, yaşamı daha üretken ve konforlu kılmayı hedefleyen teknolojik atılımlar gerçekleştirerek, belirli düzeylere ulaşmayı hedeflemektedir. Bu teknolojilerin bir parçasını oluşturan karmaşık elektronik cihazlar içinde en önemli yeri bilgisayar sistemleri almaktadır. Bunlar gibi birçok sistem, güvenilebilir ve nispeten ucuz bir enerji kaynağı olan elektriğe gereksinim duymaktadır [54].

Elektrik enerjisi, sanayileşmiş dünyaya yüksek düzeyde konfor sağlıyor olmasına rağmen, kaynağı ve elde edilme yolları genelde unutulmaktadır. Bu kritik enerji kaynağını güç santralleri üretmektedir. Dünya genelinde elektriğin % 90'ı, enerji kaynağı olarak buhar kullanan santrallerde üretilmekte, geri kalanın büyük bir kısmı da hidrolik enerjiye dayalı santrallerden elde edilmektedir. Türkiye'de ise buhara dayalı santrallerin elektrik üretimindeki payı % 70'ler civarındadır. Enerji santralleri, değişik formlardaki enerjiyi, çeşitli yararlı amaçlarla kullanılmak üzere elektrik ya da ısıya dönüştüren tesislerdir. Enerji santrallerinin enerji girdisi bariz çeşitlilikler gösterebilirken, her enerji kaynağı için de tesis tasarımı belirgin olarak farklıdır [54].

Enerji girdisinin yapısı aşağıdaki şekillerde olabilir: [54]

1. Yüksek seviyede bulunan su kitlesinin potansiyel enerjisi değerlendirildiğinde hidroelektrik santralı,

2. Kömür, petrol ya da doğal gaz gibi fosil yakıtların yapısında bulunan hidrokarbonlardan çıkan kimyasal enerji; değerlendirildiğinde fosil yakıtlı enerji santralı,

3. Güneşten gelen ışınların enerjisi; değerlendirildiğinde güneş enerjisi santralı,

4. Atom parçacıklarını ayıran veya birleştiren fizyon veya füzyon enerjisi; değerlendirildiğinde nükleer santral.

Bu enerji kaynaklarından herhangi biri kullanılarak, değişik formlarda enerji elde edilebilir [54]:

1. Bir proses için ya da ısıtma için Isı enerjisi

2. Daha sonra başka tip enerjilere dönüştürülmek üzere elektrik enerjisi

3. Gemilerde olduğu gibi taşımacılık için enerji

Bütün bu enerji santrallerinde baskın olan teknoloji, suyun buhara dönüşümüdür. Dolayısıyla enerji üretiminde; gerek direkt olarak kullanılarak, gerekse başka bir enerjiye dönüştürülerek, buhar büyük öneme sahiptir [54].

Akışkan yataklı kazan teknolojisinin, katı yakıtların yakılmasıyla buhar üretilmesinde belirgin avantajları bulunmaktadır. Bu sistemlerin anahtar noktası, yakıt esnekliği ve düşük emisyonlardır. Bu özelliklerin getirdiği avantajlar, yıllar içinde bu teknolojinin geliştirilmesi ve uygulamaya geçişine büyük bir hız kazandırmıştır [54].

### 4.1.1. Akışkan Yatak Teknolojisinin Gelişimi

1930'lu yıllar ve 1940'ların başında geniş çaplı araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda akışkan yatakların katı-gaz teması gerektiren uygulamalardaki avantajlarının saptanması, ilk olarak benzin ve diğer petrol bazlı ürünlerin üretimi için kullanılmasını sağlamıştır. Bugün akışkan yataklar dünya çapında birçok endüstride çeşitli prosesler için kullanılmaktadır. 1960'ların başlarında, termik santrallerden kaynaklanan kükürt dioksit ($SO_2$) ve azot oksit ($NO_x$) emisyonlarının azaltılmasının gerektiği ve akışkan yatakta yakma prosesinin bu emisyonları azaltacağı düşüncesi, akışkan yatak teknolojisini baz alarak kömür yakacak kazanların geliştirilmesi çalışmalarını başlatmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, 1970'li yıllarda kabarcıklı akışkan yataklı kazan teknolojisi geliştirildikten sonra 1980'lerde uygulamalar dolaşımlı akışkan yataklı kazanlara yönelmiş ve o tarihlerden bugüne sayıları hızla artan başarılı santral uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Akışkan yataklı yakma teknolojileri, sanayide sıcak su, buhar, kurutma amaçlı sıcak gaz (örnek olarak; çimento sektöründe hammadde kurutma) eldesinde kullanıldığı gibi termik santrallerde de elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır [54].

### 4.1.2. Akışkan Yatakta Yakma - Genel Özellikler

Bütün yakma teknolojileri, bir şekilde yakıt ve havanın karışmasını sağlayarak, yakıtın yapısındaki kimyasal enerjinin kullanılabilir enerjiye çevrilmesini sağlamaktadır. Akışkan yataklı kazanların, katı yakıt, özellikle de kömür yakma işleminde kullanılması sebebiyle, öncelikle, yaygın olan diğer kömür yakma teknolojilerinin genel özelliklerinin verilmesi, daha sonra da AYK teknolojisinin farklılıklarının ortaya konması uygun olacaktır. Pulverize kömür teknolojisi, mikron boyutunda kömürün yüksek sıcaklıkta yakılmasını gerektirir. Kömür parçacıklarının yanma odasına geniş ölçüde yayıldığı bu sistemlerde, brulörlerin bulunduğu bölgede sıcaklık 1600 °C'ye kadar ulaşır. Parçacıkların boyutu çok küçük olduğundan, kazan içinde kalma süreleri yanma gazlarınınkine çok yakındır. Izgaralı kazanlarda ise parçacık boyutu pulverize kazanlara göre epeyce yüksektir (25–30 mm). Kömür parçacıkları hareketli ızgaranın üstünde havanın ve yanma gazlarının içinden aktığı sabit bir yatak oluşturur. Sıcaklıkların 1600 °C'yi aştığı bu sistemlerde yakıtın ocak içinde kaldığı süre ızgaranın hızına bağlıdır. Akışkan yatakta yakma teknolojisinde parçacık boyutu bu iki sistemdeki parçacık boyutunun ortasına düşmektedir [54].

Genel olarak 12 mm'den küçük boyuta kırılan kömür, yatak malzemesi içindeki oranı yaklaşık % 2 olacak şekilde beslenerek, yukarı doğru akan hava sayesinde akışkanlaşan yatak malzemesi içinde tutuşarak yanmaya başlar. Yatak malzemesi, yakıtın külü, $SO_2$ gazının tutulması için yatak bölgesine beslenen kireçtaşı, kalsiyum sülfat ve bazen de kumdan oluşmaktadır. Yataktaki katıların sıcaklığı 750–900 °C aralığında olurken, hava ve kömür besleme hızı ayarlanarak gereksinim duyulan ısı miktarının elde edilmesinde süreklilik sağlanır. Kömürün sistemde kalma süresinin uzun olması ve yüksek hızlı kütle transferi sayesinde akışkan yataklı yakıcılarda kömür ya da diğer katı yakıtlar, konvansiyonel yakma proseslerinden çok daha düşük sıcaklıklarda verimli olarak yakılabilirler. Yakıt parçacıkları yandıkça boyutları küçülür ve havanın kaldırma kuvvetinin ağırlıklarını yeneceği boyuta ulaştıklarında, hava tarafından taşınarak yanma odasının dışına çıkarlar. Uçucu kül diye adlandırılan bu parçacıklar çıkışta tutularak yatağa geri gönderilebilir ve bu durumda yanmasını tamamlamamış parçacıklar için yeni yanma süresi sağlanmış olur. Bu sebeplerden dolayı, akışkan yatakta kömürün karbon yanma verimi %98''in üstünde gerçekleşir [54].

## 4.2. Akışkan Yataklı Kazanların Sınıflandırılması

Akışkan yataklı kazanlar, akışkanlaştırma koşullarına bağlı olarak kabarcıklı (KAYK) ve dolaşımlı (DAYK) akışkan yataklı kazanlar olmak üzere ikiye ayrılır [54].

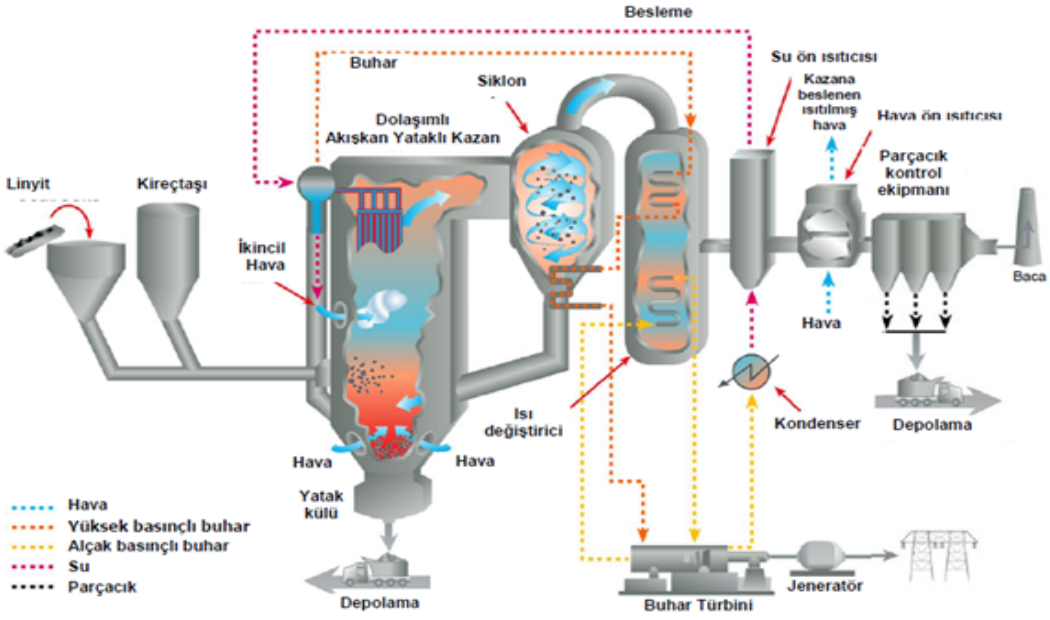
### 4.2.1. Kabarcıklı Akışkan Yataklı Kazanlar

Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlarda, yakıcıya beslenen, kırıcılardan geçirilmiş yakıt ve kireçtaşı parçacıkları, alttaki dağıtıcı plakadan geçerek yanma odasına giren ve yukarı doğru akmakta olan hava akımında asılı kalırlar. Minimum akışkanlaşma koşullarını sağlayan gaz debisinin üstüne çıkıldıkça, yatak içerisinde kabarcıklar ortaya çıkmaya başlar. Kabarcıkların, taneciklerin yatak içerisinde dolaşımını sağlaması ile katı taneciklerin kazan içerisinde mükemmele yakın bir şekilde karışması mümkün olur. Bu kazanlarda katı-gaz karışımının gerçekleştiği yatak bölgesi ile yukarıda bulunan serbest bölge arasında kalan yatak yüzeyi oldukça belirgindir. Yanma sonucu oluşan uçucu kül, gazla beraber sürüklenir ve nispeten daha iri parçalar siklonda, ince taneler de daha ileride bir elektrostatik ya da torba filtrede tutulur. Siklonda tutulan uçucu külün bir kısmının, gerekli görüldüğünde yatak bölgesine tekrar beslenmesiyle, yanma ve kükürt tutma verimlerinin artması sağlanır. Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlarda, kazan borularının bir bölümünün yanmanın gerçekleştiği yatak bölgesinin içine yerleştirilmesiyle 800–900 °C civarında sabit sıcaklık sağlanır. Kazanın diğer bölümlerinde uygun yerlere de baca gazlarının ısısından maksimum seviyede istifade edilecek şekilde kazan boruları yerleştirilir. Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlar özellikle yüksek kapasitelerde uygulanmazken, bu kapasitelerde dolaşımlı sistemler tercih edilmektedir [54].

### 4.2.2. Dolaşımlı Akışkan Yataklı Kazanlar

Dolaşımlı akışkan yataklı kazanlarda, küçük tanecik boyutu ve yüksek gaz hızları sebebiyle yatak ve serbest bölge ayrımı belirgin bir şekilde yapılamaz. Bir başka deyişle, gaz hızları kabarcıklı sistemlerdekinin (1–2 m/s) 2–3 katı daha fazla olduğu için, parçacıklar rahatlıkla sürüklenerek, tanecik yoğun ve seyrek bölgeleri ayıran belirli bir yüzeyin oluşmasını engeller. Bu sistemlerde, yanma havasının kademeli olarak beslenmesiyle yanmanın tüm kazan boyunca sürmesi sağlanır. En alttan giren hava

miktarı toplam havanın % 60 - % 75'ini oluştururken, geri kalan hava daha yukarı seviyelerden ikincil hava olarak sisteme verilir. Yanma 800 – 900 °C'de gerçekleşirken, ince tanecikler (<450 mikron) 4–6 m/s yanma gazı hızıyla yakıcının dışına taşınırlar. Bu parçacıkların büyük çoğunluğu yanma odası çıkışına yerleştirilen siklon tarafından tutularak yanma odasına geri gönderilir. Böylece 'dolaşım' gerçekleşmiş olur. Parçacık dolaşımı, parçacıkların ısısından maksimum yararlanarak yakıcı duvarlarına verimli ısı transferini ve kazanı terk eden parçacıkların geri dönmesi sonucunda kömüre yanma, kireçtaşına da kükürt tutması için yakıcı içinde daha uzun kalma süresini sağlamış olur. Ayrıca, geri döndürülen parçacık debisinin yanma gazı debisinden çok daha yüksek olması, yanma odası sıcaklığının sabit kalmasını sağlar. Yatağın içine yerleştirilmiş kazan boruları bulunmayan bu sistemlerde, borular yanma odasının duvarlarına ve gaz yolu üzerine yerleştirilir. Kazan duvarlarındaki borular gereken ısıyı sistemden alırken, sıcaklığın belirtilen düzeyde kalması için dengeyi sağlarlar. Dolaşımlı akışkan yataklı kazanlarda kullanılan kireçtaşı boyutu daha küçük olduğu için, birim ağırlık başına kireçtaşı yüzey alanının artması, kükürt dioksit – kireçtaşı reaksiyonunun da hızını arttırır. Bu durum, kömürün yapısında bulunan birim kükürt karşılığında




Şekil 4.1. Dolaşımlı akışkan yataklı kazana dayalı elektrik üretimi için akım şeması[54]

Sisteme beslenmesi gereken kireçtaşı miktarını düşürmektedir. Bir başka deyişle, Ca/S molar oranı, teorik limit olan l'e daha yakındır ki, bu değere en çok yaklaşan akışkan yatak tipi, dolaşımlı sistemlerdir. Akışkan yataklı kazanların teknolojisi gereği, hem kabarcıklı hem de dolaşımlı sistemlerde yakıt bünyesindeki kükürdün çok büyük bir bölümü yatakta kireçtaşı ile reaksiyona girerek tutulmuş olduğundan, baca gazlarının kükürt içeriği düşüktür. Yatakta oluşan gazların kükürtten arındırılmış olması, düşük sıcaklıkta korozyon tehlikesini ortadan kaldırarak, kazan çıkışında baca gazı sıcaklığının diğer tip kazanlara göre daha düşük seçilebilmesini, bu da baca gazı ısısından en yüksek oranda yararlanılabilmesini sağlar. Bu durum akışkan yataklı kazanların verimini arttırır. Dolaşımlı sistemlerin bir başka avantajı da, daha yüksek miktarda kademeli hava beslemesi sayesinde yakıt kaynaklı azot oksit oluşumunun kabarcıklı sistemlere göre daha az oluşudur. Yanma için gerekli havanın tamamının alttan beslenmeyişi, yatak bölgesinde indirgeyici atmosfer oluşmasını ve yakıt bazlı azotun atmosferik azota indirgenmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, yüksek ısıdan kaynaklanan azot oksit oluşumunun da çok düşük olduğu dolaşımlı akışkan yataklı kazanlarda, konvansiyonel sistemlerde bulunan herhangi ek bir tesise gereksinim olmaksızın 200 mg/$Nm^3$'den daha az azot oksit emisyonları elde edilebilmektedir [54].

## 4.3. Akışkan Yatak Teknolojisinin Avantajları

Akışkan yatakta yakma teknolojisinin ilk geliştirilme sebebi olan kükürt dioksit ve azot oksit emisyonlarının düşürülmesi, yatak içine kireçtaşı ilavesi ile kükürt dioksitin tutulması ve düşük yanma sıcaklıklarında azot oksit oluşumunun düşük olması sebebiyle, ilave gaz arıtma tesisi gerektirmeden sağlanabilmiştir. Daha sonraları yapılan çalışmalar, bu teknolojinin pratikte diğer teknolojilerle değerlendirilmesi mümkün olmayan düşük kaliteli yakıtları yakabileceğini göstermiştir. Ayrıca, akışkan yataklı kazanlar, kaynağa göre büyük farklılıklar gösteren kömür bileşimindeki değişikliklere karşı da daha esnektir. Özellikle düşük yanma sıcaklığı ve yatak içinde gerçekleşen mükemmel katı-gaz karışımı, akışkan yataklı kazanlara birçok avantaj sağlamaktadır [54].

### 4.3.1. Yüksek yanma verimi ve yüksek ısı transfer katsayısı

Akışkan yataklı kazanlarda mükemmel katı-gaz karışımının sağlanması ve parçacıkların yatakta kalış süresinin uzunluğu nedeniyle yüksek yanma verimi elde edilmektedir. Yanma verimi kazanı terk eden parçacıkların tutularak sisteme geri gönderilmesi ile daha da arttırılır. Bunlara ilaveten yatak içerisinde ısı transfer katsayısı çok yüksek olduğu için, ısı transfer yüzey alanları ve dolayısıyla kazan boyutları konvansiyonel kazanlara göre daha küçüktür ve daha az yatırım maliyeti gerektirir [54].

### 4.3.2. Yakıt hazırlama kolaylığı

İri tane boyutu nedeniyle pulverize kömür tesislerine nazaran daha düşük yatırım maliyetine sahip yakıt hazırlama tesisleri kurulmaktadır. Özellikle yüksek küllü kömürlerde, pulverize yakıt hazırlama sistemleri sıklıkla bakım gerektirmektedir. Akışkan yataklı kazanlar için 12 mm'nin altına kırılan yakıtı hazırlamak daha kolay ve ucuzdur [54].

### 4.3.3. Yüksek emre amadelik

Özellikle erime ve yapışma ihtimali olan kül erime noktası düşük yakıtların akışkan yataklı kazanlarda yakılması durumunda, erime noktasının altında sıcaklıklarda çalışıldığı için, ısı transfer yüzeylerine kül yapışması sonucu oluşacak birçok kazan işletme problemine rastlanmaz. Dolayısıyla, akışkan yataklı kazanlarda % 90–95 düzeyinde emre amadelik söz konusudur [54].

### 4.3.4. Yakıt bileşimine esneklik

Yatak malzemesinin yüksek ısıl kapasitesi sayesinde, yakıtın yatağa girdiğinde anında ısınması ve parçacıklara yanma için uzun süre sağlanması, akışkan yataklı kazanlarda düşük ısıl değerli yakıtların bile rahatlıkla yakılabilmesini sağlamaktadır. Aynı sebeplerden akışkan yataklı kazanlar, kül ve kükürtçe zengin yakıtların değerlendirilmesine ve düşük kaliteli ikinci yakıtlarla beraber yakma işlemine uygundur. Ayrıca akışkan yataklı kazanlar, geniş bir yelpazedeki yakıt bileşimini yakabilecek şekilde tasarlanabilir. Ancak, bu sistemlerde tasarım değerlerini zorlayan bir yakıtın kullanılmasının önünde sınırlar olduğu unutulmamalıdır [54].

### 4.3.5. Düşük $NO_x$ ve $SO_2$ emisyonları

Kükürt dioksit, özellikle asit yağmurlarına yol açması, dolayısıyla havada ve suda asit birikimi oluşturması sebebiyle önemle üzerinde durulan emisyonlardan biridir. Yanma sırasında, yakıtın bünyesinde bulunan kükürdün oksitlenmesiyle kükürt dioksit oluşurken, akışkan yataklı kazanlarda yatak bölgesine kireçtaşı beslenerek bu kükürt dioksit tutulur. Kireçtaşı yatağa beslendiği anda sıcaklığın etkisiyle endotermik kalsinasyon reaksiyonu gerçekleşir [54].

$$CaCO_3(k) \rightarrow CaO(k) + CO_2(g)$$

Kalsiyum oksit oluştuğunda ise kükürt dioksit ve oksijen gazları ile reaksiyona girerek katı fazda kalsiyum sülfat oluşturur:

$$CaO(k) + SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow CaSO_4(k)$$

Dolayısıyla, oluşan kükürt dioksit katı faza geçerek, yatak külü ve uçucu kül olarak sistem dışına taşınacak katı atık haline gelir. Kalsiyum oksitten, kalsiyum sülfat oluşumunun gerçekleştiği yukarıdaki reaksiyonla ilgili olarak; kalsiyum sülfatın, akışkan yataklı kazanlara özgü düşük çalışma sıcaklıklarında (750 – 900 °C) kimyasal olarak kararlı olması sebebiyle, katı fazda ve bozunmadan (kükürt dioksiti geri salmadan) kazandan dışarı alınabildiği unutulmamalıdır. Azot oksitler, çevreyle etkileşimleri açısından kükürt oksitlerden çok daha geniş kapsamda etkileri olan gazlardır. Tüm çeşitlerinin tanımlanması için $NO_x$ formülü ile ifade edilen azot oksitlerin, asit yağmuru, yer seviyesinde ozon oluşumu, atmosferin üst seviyelerinde ozon tabakasının incelmesi, sera gazı etkisi ve fotokimyasal sis oluşumunda rol almaları sebebiyle çevre üzerinde belirgin etkileri vardır. Bu gazların yanma sonucunda oluşması için iki kaynak vardır: Yakıttaki azot ve yanma için beslenen havadaki atmosferik azot. Atmosferik azotun özellikle 1200 °C ve üstündeki sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesinin sonucunda oluşan ısıl-azot oksit, çok daha düşük işletme sıcaklığına sahip akışkan yataklı kazanlarda önemli bir azot oksit kaynağı sayılamaz. Yakıt kaynaklı azot oksitlerin oluşumu ise, değişik mekanizmaların beraber ilerlediği reaksiyonlarla gerçekleşir. Akışkan yataklı yakıcılarda azot oksit emisyonlarının azaltılması için kademeli hava beslemesi yapılarak, sisteme verilen havanın bir kısmı alttan, geri kalanı

da yatak üstünde çeşitli noktalardan beslenir. Bu uygulama ile indirgeyici atmosfer oluşturulması, azotun oksitlenerek azot okside dönüşmesini engeller. Sonuç olarak, düşük yanma sıcaklığı (750 – 900 °C) ve kademeli hava beslemesi sayesinde düşük miktarda ısıl ve yakıt kaynaklı $NO_x$ oluşumu ve yakıcının içinde kireçtaşı ile $SO_2$'nin tutulması sayesinde, ilave baca gazı arıtma tesisleri olmaksızın akışkan yataklı kazanlarda çevre sınırların altında $NO_x$ ve $SO_2$ emisyonları gerçekleşir [54].

## 4.4. Akışkan Yatakta Yakma Teknolojisini Sorunları ve Dezavantajları

1. Akışkan yatakta yakma teknolojisi $SO_2$ (kükürt dioksit) ve $NO_X$ (azot oksit türevleri) emisyonlarını düşürmesi acısından üstün bir teknoloji olmasına rağmen pratikte aşağıda bahsedilen bazı sorun ve dezavantajlarla karşılaşabilmektedir.

2. Söz konusu yakma teknolojinde akışkanlaştırma için belli bir güce ihtiyaç duyulduğundan, üretilen enerjinin küçük de olsa bir kısmı bu amaçla kullanılacaktır.

Tanecikler sıcak ortamda toz oluşumuna sebep olmaktadır. Bu da yatak içerisindeki ortalama tanecik çapının değişmesine yol açtığından, yanma verimi bu tür aşınımdan etkilenmektedir. Bu nedenle yüksek verimli siklonlara ihtiyaç duymaktadır.

3. Başlangıç aşamasında işletme güçlükleri bulunmaktadır.

4. Yatak kütlesinin akışkanlaşmasının kesildiği durumlarda topaklaşarak sistemin sürekliliğini bozması denetim ve donatımda karşılaşılan başlıca güçlüktür.

Dolaşımlı akışkan yatakta yakma teknolojisi kazana beslene kömür ve kireçtaşı taneciklerine gerek yanma ve gerekse kükürt tutma reaksiyonları için kazanda daha fazla kalış süresi sağladığından, yüksek yanma ve özellikle kükürt tutma verimi sağlar. Nitekim çalışmakta ola tesislerdeki ortalama % 98 emre amadelik işletme kolaylığının bir göstergesidir [54].

## 4.5. Pülverize Kömür Yakma Teknolojisi

Pülverize kömür kazanlarında yanma % 70–200 mesh'den az olan kömür parçacıkların oksidasyonu sonucu oluşur. Kazanın içindeki en sıcak bölge yakıcının etraftaki hacim olup, sıcaklık 1.200–1.500 $^{o}$C'ye kadar çıkmaktadır. Akışkan yataklı teknolojisinin pülverize kömür yakma teknolojisi üzerindeki avantajları aşağıda anlatılmaktadır. Akışkan yataklı yakma teknolojisinde yanma odası sıcaklığın düşük olması ve dolayısıyla bir çok yakıtın özellikle düşük kül erime sıcaklığına sahip linyitin kül erime sıcaklığına sahip linyitin kül erime sıcaklığının altında kalması nedeniyle, pülverize tip santralarda karşılaşılan cüruflaşma ve ısı transfer yüzeylerinde oluşacak kirlenmeler önlenmektedir. Bu nedenle, akışkan yataklı kazan dizaynı yakıtın kül özelliğine bağlı değildir.Akışkan yatak içerisine kireçtaşı enjeksiyonu ile $SO_2$ kazan içinde bertaraf edilmekte ve ilave $SO_2$ arıtma tesisine ihtiyaç duyulmaktadır. Akışkan yatak içerisinde katı maddelerin hızı, gazın hızından daha düşük olduğundan, iyi bir karışım sağlanmaktadır. Dolayısıyla ısı ve kütle transferi çok yüksektir. Akışkan yataklı termik santrallerde $SO_2$ emisyonları düşük olduğunda, bu teknoloji ile pülverize kömürlü termik santraller karşılaştırılmıştır. Akışkan yataklı teknoloji ısı sarfiyatı ve yatırım maliyeti pülverize kömür termik santrallerine oranla daha uygun olduğu görülmektedir [53].

Dolaşımlı akışkan yatak tesislerinde $CO_2$ emisyonları baca gazı desülfürizasyonlu pülverize kömür tesislerine göre % 1,1 daha azdır. Pülverize kömür teknolojisinde işletme sıcaklığının linyit kül ergime sıcaklığının üzerinde olmasından dolayı bu teknolojinin Türk linyitlerine uyarlanabilmesi ancak işletme sıcaklığının tasarım değerlerinin altına düşürülmesiyle mümkün olmaktadır. Ülkemizdeki pülverize kömür kazanları hedefledikleri verimin altında çalıştırılmalarına rağmen heterojen bir yapıya sahip olan kül zaman içinde su duvarlarında eriyerek birikmektedir. Bu nedenlerden dolayı kazan ısıl verimi büyük ölçüde düşmektedir. Sabit elektrik üretimini karşılamak için düşen ısıl verimin gerektirdiği kadar ekstra ısıl yükleme yapılması gerekir. Bu da yakıt sarfiyatının artmasına ve tasarım değerlerinin üzerinde $CO_2$ emisyonuna yol açar. Dolaşımlı akışkan yakma teknolojisinde ise işletme sıcaklığı ( 800–900 $^{o}$C ) kül ergime noktasının altında olduğundan kazan verimi düşmemekte ve dolayısıyla zamanla $CO_2$ emisyonunu arttıran bir etken ortaya çıkmaktadır [53].

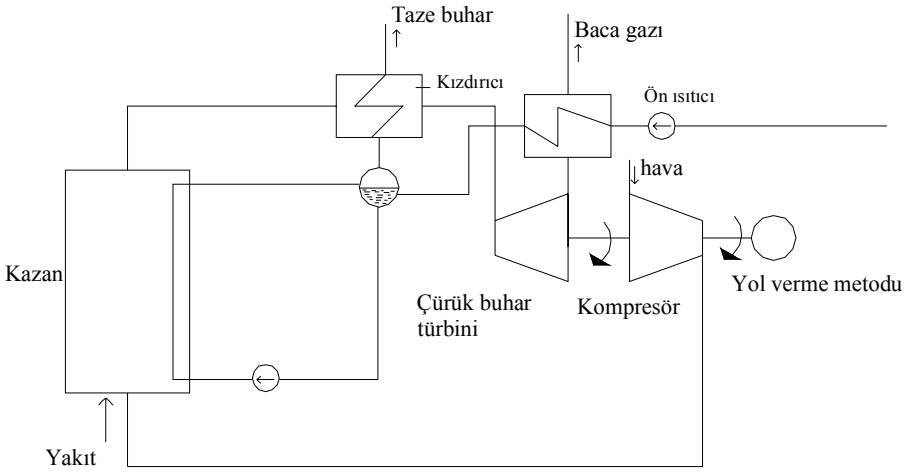
# 5. TERMİK SANTRALDE BULUNAN EKİPMMANLAR VE GÖREVLERİ

Bu bölümden santralde bulunan ekipmanlar ve görevleri anlatılacaktır.

## 5.1. Besleme Suyu Ön Isıtıcıları

Besleme suyu, baca gazları ya da buhar ile ısıtılabilir. Baca gazları ile ısıtılan besleme suyu ön ısıtıcılarına ekonomizör de denir. Ekonomizörler kazanda, kızdırıcılardan gelecek şekilde imal edilirler ve içlerinden su akan bir boru sisteminden oluşurlar. Ara buhar ile ısıtılan ön ısıtıcılar ise kazandan önce ve besleme suyu devresi üzerine imal edilirler. Bu devredeki konumu yönünden besleme suyu pompasından önce gelen ön ısıtıcılara alçak basınç ön ısıtıcıları, besleme suyu pompasından gelen ön ısıtıcılara da yüksek basınç ön ısıtıcıları denir. Bunlar genellikle yüzeyli tip ön ısıtıcılar ya da karışmalı tip ön ısıtıcılardır.Yüzeyli tip ön ısıtıcılar içerisinden besleme suyu geçen borular ile bu boruların içerisinde bulunduğu bir gövdeden oluşurlar. Boruların üzerinden geçen ara buhar, ısısını suya vererek yoğuşur. Yoğuşan su, bir yan kondensat pompası ile su-buhar devresine yeniden katılır [53].

Karışmalı ön ısıtıcılarda ise ara buhar, ön ısıtıcısının içerisine girerek besleme suyu ile karışır ve kondensasyon ısısını besleme suyuna verir [53].




Şekil 4.1. Kazan ve ön ısıtıcıların akış şeması [53]

## 5.2. Hava ön ısıtıcıları (luvo)

Besleme suyu ön ısıtıcılarından çıkan baca gazları oldukça sıcaktır. Bu nedenle, baca gazlarının artan enerjisinden hava ön ısıtıcılarında (Luvo) da yararlanılabilir. İki değişik tip hava ön ısıtıcısı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi reküperatif ön ısıtıcısı, öteki ise rejeneratif ön ısıtıcısıdır. Reküperatif ön ısıtıcılarda ısıtma yüzeylerinin bir tarafından sürekli olarak baca gazları, öteki tarafından ise ters yönde taze hava geçmektedir. Baca gazları ile taze hava arasındaki ısı transferi, ısıtma yüzeyleri aracılığı ile gerçekleşir [53].

Rejeneratif ön ısıtıcılarda, enerji akümülatörü olarak çalışan yüzeyler, bir rotor üzerine ve radyal yönde monte edilmiştir. Rotorun devri genellikle 2-5 d/d'dır. Bu dönme sırasında yüzeyler sürekli olarak bir baca gazı akışıyla karşılaşırlar. Bu şekilde, enerji akümülatörü olarak çalışan yüzeyler, önce baca gazı ile ısınır ve daha sonra da aldıkları bu enerjiyi taze havaya verirler. Bu yüzeylerin et kalınlıkları genellikle 0,5 mm dolaylarındadır. Bu tip hava ön ısıtıcılarına Ljungström ön ısıtıcıları da denir. Bu ön ısıtıcıların avantajı çok geniş yüzeylerin, küçük bir hacmine sığdırılabilmesidir. Bununla beraber, her iki gaz yolu arasındaki sızdırmazlığın sağlanabilmesi önemli olduğu kadar da zordur. Çünkü taze hava basınç altında, baca gazları ise vakum altında bulunmaktadır [53].Pülverize kömür ocaklarında yanma havasına ortalama 400 ºC'a kadar ön ısıtma uygulanabilir. Izgaralı ocaklarda ise ancak düşük ön ısıtma sıcaklıklarına izin verilebilir. Baca gazları 120 ºC sıcaklığa kadar soğutulabilir. Bu sıcaklığın altına inildiğinde gazların içindeki su buharı ve kükürt yüzeylerde korozyona sebep olur [53].




Şekil 5.2. Reküperatif ve regeneratif tip hava ön ısıtıcıları [53]

## 5.3. Besleme suyu pompası

Kazanlara sürekli olarak ve yeterli miktarda besleme suyu sağlanabilmesini garanti altına alabilmek amacıyla çeşitli ülkelerdeki yetkili kuruluşlar tarafından bazı kurallar ortaya konulmuştur. Bu kurallara göre her kazanın en az iki besleme suyu pompası olması ve bu pompaların birbirlerinden farklı birer enerji kaynağı tarafından çalıştırılması gerekmektedir. Amaç, herhangi bir pompa yada enerji kaynağında meydana gelebilecek arızanın kazan çalışmasını etkilememesidir [53].

Kullanılan iki değişik tip enerji kaynağı genellikle buhar ve elektriktir. Bununla beraber, birbirinden tümüyle bağımsız iki ayrı elektrik enerjisi kaynağı bulunmakta ise, her iki besleme suyu pompası da elektrik gücü ile çalıştırılabilir. Aynı şekilde, çapraz beslemeli santrallarda olabileceği gibi, buhar enerjisinin tümünün kesilmesinin söz konusu olmayacağı santrallarda her iki pompa için de buhar gücünden yararlanılabilir [53].

Din normlarına göre, standart kazan basınçları şöyledir:

13, 16, 20, 25, 32, 40, 64, 80, 125, 160 kgf/cm²

Kazanların standart buhar tonajları ise:

20, 25, 32, 40, 50, 66, 80, 100, 125, 160, 200, 250 ton/saat

Kazan kapasitesi yönünden gerekli olan min. Besleme suyu miktarı, kazanın max. Devamlı gücüne eşittir. Bu değer ise kazan nominal gücünün 1,25 katıdır. Besleme suyu basıncı aşağıda verilecek olan kuralların 4. maddesine göre saptanmalıdır. Borular, flanşlar, dirsekler ve diğer fittings elemanlarındaki basınç kayıpları kazan nominal basıncının % 5'i kadar alınmalıdır [53].

Besleme suyu pompalarının seçimi ve kullanılması konusunda aşağıda belirtilen kurallara uyulmalıdır.

a) Her buhar santralında en az iki besleme suyu donanımı bulunmalıdır.

b) Eğer yalnızca iki ayrı besleme suyu donanımı bulunmakta ise bunlardan her biri aşağıdaki koşulları sağlayabilmelidir.

- Eğer o donanımdan beslenen tüm kazanların otomatik besleme suyu kontrol mekanizması yoksa ya da kazanların toplam buhar tonajı 30 ton/saat'in altında ise her besleme suyu pompasının kapasitesi, kazanların maksimum buhar güçleri toplamının en az 1,6 katı olmalıdır [53].

- Eğer o donanımdan beslenen bütün kazanların otomatik besleme suyu kontrol mekanizması varsa ve kazanların toplam buhar tonajı 30 ton/saat'in üzerinde ise, her besleme suyu pompasının kapasitesi, kazanların maksimum devamlı buhar güçleri toplamının en az 1,25 katı olmalıdır [53].

c) Eğer ikiden fazla besleme suyu pompası bulunmakta ise, aynı anda devre dışı olabilme olanağı bulunan pompalardan geriye kalan pompa ya da pompaların toplam kapasitesi, kazanların maksimum devamlı buhar güçleri toplamının en az 1,25 katı olmalıdır [53].

d) Besleme suyu pompaları, yukarıda açıklanan besleme suyu miktarlarını maksimum kazan buhar basıncı değeri ile pompa ve kazan arasındaki basınç kayıplarının toplamından bulunacak basınç değerinin % 10 fazlası olan bir basınçta bile sirküle edebilmelidir [53].

e) Besleme suyu pompalarının çalıştırılmasında, birbirinden bağımsız en az iki enerji kaynağı bulunmalıdır [53].

Besleme suyu pompalarının tiplerini belirleyecek hiçbir norm ya da kural bulunmamaktadır. Prensip yönünden hem santrifüj pompalar ve hem de deplasman pompaları kullanılabilir. Bununla beraber deplasman pompaları küçük güçler ve yüksek basınçlar için tercih edilirler. Çünkü bu pompaların verimi oldukça yüksektir.

Büyük güçler için santrifüj pompalar daha caziptir. Bu pompaların fiyatları daha ekonomik, kapladıkları hacim daha küçük ve reglajları daha basittir.

## 5.4. Buhar Türbinleri

Bir buhar türbini genel olarak yatay ekseni etrafında dönebilen bir türbin rotoru bu rotor üzerine monte edilmiş olan ve rotorla beraber dönen hareketli kanatlar türbin gövdesi bu gövde içerisinde bulunan iç gövde sabit kanat taşıyıcıları ve sabit kanatlardan meydana gelir. Rotor her iki taraftan radyal yataklarla yataklanmışlardır. Eksenel yatak rotoru eksenel yönde sabitleştirir. Buharın türbinden dışarı kaçmasından söz konusu olduğu yerler labirentlerle donatılmıştır.[53]

Kazandan gelen taze buhar ani kapama ventilinde, giriş kasasından, ayar ventilinden geçerek lülelere ve buradan da genellikle Curtis ya da Laval çarkına gelir. Bu çarktan çıkan buhar gövde içerisine girerek türbinin tüm kanat basamaklarından akar. Buhar, türbinin içerisinde ilerlerken iş meydana getirir ve hacmi genişler. Bu nedenledir ki türbin sabit ve hareketli kanatları basamaklar ilerledikçe daha uzun imal edilir. Buhar, yaralı enerjisini kanatlar yardımıyla rotora verdikten sonra, çürük buhar gövdesinden geçerek kondensere dökülür. Çeşitli basınç basamaklarından alınan ara buhar borularla gövdeden ayrılarak kullanılacağı yere gönderilir [53].

Ön yatak gövdesinde bulunan ana yağ pompası, rotora bağlanmıştır. Bu pompa yatakları yağlanması türbin reglajı gerekli olan basınçlı yağı sağlar. Yine ön yatak gövdesinde bulunan hız güven mekanizması ve hız regülatörü türbin rotoru tarafından döndürülür. Hız güven mekanizması, rotor ile hareketli kanatlar aşırı hıza karşı ve ani kapama ventilini harekete geçirerek korur. Hız regülatörü, ayar ventili ile birlikte sabit bir hız ve güç temin edilmesini sağlar. Türbin çıkış tarafında bulunan jeneratörün indüktörü (yani jeneratör rotoru) türbin rotoruyla kaplinlenmiştir [53].

Türbinlerde genellikle birde döndürme dişlisi (virör düzeni) bulunmaktadır. Santralin devre dışı olmasından sonra rotoru, virör aracılığıyla düşük bir hızda döndürmeye devam edilmektedir. Bunun nedeni, soğuma sırasında rotorun bel vermesi ve özellikle ağır rotorların radyal yatakları zedelenmemesidir. Görüldüğü gibi buhar türbini bir akım makinesidir. Buharın entalpisi bu makine da önce kinetik enerjiyi ve daha sonrada mekanik işe dönüşür [53].

Türbin girişindeki buharın, basınç ve sıcaklığına bağlı olarak bir entalpisi vardır. Buhar türbin içerisinde genişleyerek akarken basınç enerjisi, türbin gövdesine yerleştirilmiş olan bir sabit kanat diskinden kinetik enerjiye dönüşür. Bu kinetik enerji, buharın türbin rotoru üzerinde bulunan bir hareketli kanat diskinde yön değiştirmesi sırasında ise mekanik işi meydana getirir. Birbiri ardına sıralanmış olan öteki sabit ve hareketli kanat disklerinde aynı işlemi tekrarlanması ile, buharın türbin giriş ve türbin çıkış entalpileri arasındaki fark mekanik işe dönüşmüş ve bu iş rotora verilmiş olur [53].

Bir sabit kanat diski ile bir hareketli kanat diski bir türbin basamağını meydana getirir. Buhar türbinleri genellikle birçok basamaklardan meydana gelirler.

## 5.5. Kondenser

Buhar santrallarında kullanılmakta olan kondenserler yüzeyli tiptir. Bu sistemlerde yoğuşan buhar ile soğutma suyu birbirlerine karışmazlar. Türbinden çıkan çürük buhar, kondenserin üzerindeki geniş bir ağızdan gövdenin içerisine dolar ve soğutma borularını yalayarak yoğuşur. Daha sonra kondenserin altında bulunan ve hotwell adı verilen bir haznede toplanır. Buradan alınan kondensat, kondensat pompası ile alçak basınç ön ısıtıcılarına gönderilir. Soğutma suyu boruları genellikle bakır borulardır. Kullanılan bakır boruların kalınlıkları 1 mm'dir. Bununla birlikte vakum elde edilebilmesi için havanın emildiği yere yakın olan boruların et kalınlıkları daha fazla olabilir ya da boru malzemesi bakır-nikele dönüştürülür. Bu boruların akma sınırı 30-38 kgf/mm² dolaylarındadır. Soğutma suyu borularının giriş tarafları hidrolik dirençlerin azaltılabilmesi için lüle şeklinde genişletilir. Bu boruları taşıyan boru aynaları kondenser gövdesine, özel olarak imal edilmiş cıvatalarla ya da kaynakla tutturulur. Ayna et kalınlıkları genellikle 25-30 mm dolaylarındadır. Aynaların birbirlerine olan uzaklıkları farklıdır. Bunun sebebi, boruların periyodik vibrasyonlara uğramalarını ve bu nedenle de boru kırılmalarını önleyebilmektir [53].

Kondenserde buhar ile su arasındaki sızdırmazlık çok önemlidir. Bu sızdırmazlık tam olarak temin edilemezse hem kondenser vakumu bozulur ve hem de soğutma suyu ile birlikte çeşitli tuzlar ve sertlik maddeleri kondensata karışır. Bu nedenle boruların aynalara tutturulması da oldukça önemlidir [53].

## 5.5.1. Kondenser Yıkama Sistemi

### 5.5.1.1. Tasarım Kriterleri

Kondenser yıkama sistemi, kondensat suyunda ki silisyum, bakır, demir ve çözünmemiş tuzları arıtmak ve kazanı, sızan su ve buharların kirliliğinden korumak ve ayrıca ünite çalıştığında yoğuşturma suyunda ki metal oksit tanelerini arıtmak için kullanılır [55].

Kondenser yıkama sistemi şu şekilde tasarlanmıştır;

1-% 100 kondensat akışı sağlanır.

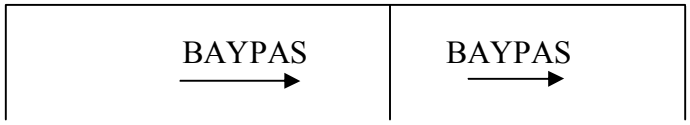
2- Bu sistem düşük basınçlı sistemdir.

3- İki ünite için bir dış rejenerasyon ve yardımcı sistem kurulacaktır.

4- 3 × % 50 yüksek akış oranlı karışım yatağı tasarlanmıştır. Bunlar devreye alma sırasında içerisinde ki reçineler yardımıyla demirin minerallerinin verdiği zararları ortadan kaldırmak için demir minerallerini ayrıştırır. Ayrıca yüksek sıcaklıktaki su ve buharın korozif etkisini engeller. Karışım yataklarında önce demir tutucu filtrelerde kullanılabilir. EPC ihtiyaçlarına göre, iki adet aktif ve bir adet yedek olmak üzere toplam 3 × % 50 demir tutucu filtreler tasarlanmıştır.

### 5.5.1.2. Termal Sistem ve Kondenser Yıkama Sistemi Bağlantı Modülü

Termal Sistem ve Kondenser Yıkama Sistemi Bağlantı Modülü aşağıda ki gibidir;[55]




Kondensat Pompaları → Demir Tutucu Filtreler → Yüksek Akışlı Karışım Yatakları → Sızdırmazlık Buharı Soğutucu

#### 5.5.1.3. Sistem Operasyon Modülü

Devreye alma sırasında, sadece demir tutucu filtreler çalışır (2 aktif filtre 1 tane yedek filtre). Bir filtredeki basınç düşüşü ayarlanan değeri aşarsa o filtre devreden çıkarılır ve yedek filtre aktif hale getirilir. İki adet aktif ve bir adet yedek olmak üzere üç adet karışım yatağı tasarlanmıştır. Ürün suyu iletkenliği 10 us/cm veya silisyum oranı 10 ug/l'yi aştığında (karışık yatağın içinde) ya da karışım yatağında ki basınç düşüşü 0,30 MPa'ı aştığında yedek karışım yatağı çalıştırılır. Suyun iletkenliği gerekli değere ulaşmadıkça karışım yatağı çalıştırılmamalıdır. Sistemdeki basınç düşüşü 0,35 MPa'ı aştığında veya sistemin giriş suyu sıcaklığı 50 °C'yi aştığında baypas valfleri otomatik olarak açılacaktır. Devreye alma, durma, yıkama, reçinelerin durdurulması veya çalıştırılması gibi sistemler otomatik kontrollüdür. Otomatik sistem arızalandığında manüel olarak da çalıştırılabilir [55].

#### 5.5.1.4. İşlem Sonrası Su Kalitesi

Sistemdeki su kalitesi düzenli veya düzensiz operasyon sırasında gerekli şartlara uygun olmalıdır.

#### 5.5.1.5. Kondenser Yıkama Sistemi Kapasitesi

Sistemin kapasitesi 347,39 ton/saat'tir.

#### 5.5.1.6. Kimyasal Depolama ve Atık Su arıtma

Asit ve kostik tankerlerle taşınacak ve yüksüz asit-kostik pompalarıyla tanklara pompalanacaktır. Depolama tankları asit ve kostik depolama odasına yerleştirilecektir. Asit ve kostik kirliliğini ve anti korozyon oluşturmak için, ventilasyon ölçümü ve asit/kostik buharı emiciler kurularak kirlilik azaltılacaktır.Yıkamada kullanılan asit % 30 HCI (Hidroklorik Asit), baz ise % 40 NAOH (Sodyum Hidroksit)'tir. Kondenser yıkama suyu kazan arkasındaki atık su havuzuna boşaltılacak ve endüstriyel atık su arıtma tesisine pompalanacaktır [55].

### 5.5.1.7. Ana Ekipman Listesi

Konderser yıkama sisteminin ana ekipmanları aşağıdaki gibidir.

Tablo 5.1. Ana Ekipman Listesi

| NO | İSİM | DATA | BİRİM |
|---|---|---|---|
| 1 | Filtre Ünitesi | | |
| | Ön Filtre | 3 | Set |
| | Çap | DN1800 P= 4 MPa | mm |
| | Her Bir Ekipman Kapasitesi | 162–175 | ton/saat |
| 2 | Kondenser Yıkama Sistemi | | |
| 2.1 | Yüksek Akışlı Karışık Yatak | 3 | Set |
| | Çap | DN3000 P=4MPa | mm |
| | Debi | ≤25 | m/saat |
| | Max. Debi | ≤30 | m/saat |
| | Reçine Oranı | 1:1 | |
| | Reçine Hacmi | Katyon 3.5/Anyon 3.5 | $m^3$ |
| 2.2 | Reçine Tutucu | 3 | Set |
| | Parametre | DN800 P= 4 MPa | |
| 2.3 | Sirkülasyon Pompası | 1 | Set |
| | Parametre | Q= 112 ton/saat<br>H= 10 $mH_2O$ | |
| 3 | Rejenerasyon Ünitesi | 1 | Set |
| 4 | Yardımcı Sistem | | |
| 4.1 | Yıkama/Ters Yıkama Pompaları | 3 | Set |
| | Parametreler | H= 50 $mH_2O$ | |
| 4.2 | Sıcak Su Tankı | 1 | Set |
| | Parametreler | V= 7.8 $m^3$ | |
| 4.3 | Blower | 2 | Set |
| | Parametreler | Q= 9.22N $m^3$/dak<br>P= 80 kPa | |
| 4.4 | Asit Tankı | 1 | Set |
| | Parametreler | DN2000 V=12 $m^3$ | |
| 4.5 | Kostik Tankı | | |
| | Parametreler | DN2000 V= 12 $m^3$ | |
| 4.6 | Asit Ölçüm Tankı | 1 | Set |
| | Parametreler | DN1400 V= 3 $m^3$ | |
| 4.7 | Kostik Ölçüm Tankı | 1 | Set |
| | Parametreler | DN1400 V= 3 $m^3$ | |

## 5.6. Jeneratörler

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren ya da belirli büyüklükteki elektrik enerjisini başka büyüklükte bir elektrik enerjisine çevirebilen makinelere elektrik makineleri denir. Elektrik makineleri dinamik makineler ve statik makineler iki ana grupta toplanırlar. Jeneratör ve motorlar dinamik elektrik makineleri, transformatörler ise statik elektrik makineleridir. Bunlardan jeneratörler mekanik enerjiyi elektrik enerjisine, motorlarda elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirirler. Transformatörler de elektrik enerjisini yine elektrik enerjisine çevirirler. Jeneratörler, alternatif akım jeneratörleri ve doğru akım jeneratörleri olarak iki çeşittir. Bunlardan alternatif akım jeneratörlerine senkron jeneratörlerde denir. Buhar santrallerinde kullanılan jeneratörler senkron jeneratörlerin yuvarlak kutuplu tipleridir [53].

## 5.7. Transformatörler:

Transformatörlerin, belirli büyüklükteki bir elektrik enerjisinin başka büyüklükteki bir elektrik enerjisine çeviren statik elektrik makineleridir. Buhar santrallerinde transformatörler özellikle jeneratör çıkış gerilimi 150 kv, 380 kv gibi yüksek gerilimlere dönüştürmekte ya da santralin iç ihtiyacını karşılayabilmek için jeneratör ve şebeke gerilimlerini 600, 500, 380 volt gibi değerlere düşürmekte kullanılır. Transformatörler basit olarak alaşımlı demir saç paket bir nüve üzerine iki sargıdan oluşurlar. Birincil sargı elektrik enerjisiyle beslenir. Demir nüve giriş sargısından akan alternatif akım nedeniyle mıknatıslanır. Oluşan bu manyetik alan nedeniyle sekonder yani çıkış sargısından yine bir alternatif gerilim endüklenmiş olur. Bu çıkış sargısının kapalı bir devre oluşturması halinde sargıdan alternatif akım alınabilir. Transformatörlerin verimleri çok yüksektir. İdeal olarak bu verim1 kabul edersek giriş sargısı ile çıkış sargısı güçleri birbirine eşit olur. O halde giriş tarafı 1, çıkış tarafını da 2 kabul edersek:

$$U_1.I_1=U_2.I_2$$

Buradan

$$U_1/U_2=I_2/I_1$$

Öte yandan transformatörlerin giriş ve çıkış taraflarındaki gerilimlerin oranları aynı tarafların sarım oranlarına eşittir.

$$U_1/U_2=n_1/n_2$$

Görüldüğü gibi sarım sayısı çok olan tarafın gerilimi yüksek, az olan tarafın ise gerilimi düşüktür [53].

## 5.8. Kül Atma Ünitesi

Kül atma donanımının amacı yanma sonucu meydana gelen külü baca gazından ayırtmaktır. Bu amaç için çok çeşitli metotlar geliştirilmiştir.Hidrolik kül tutucularında sudan yaralanılır. Bunların bazılarında su sadece külü ıslatarak çökeltme, bazılarında ise aynı zamanda külü taşımakta kullanılır. İstenildiğinde su çökelme havuzlarında külden ayrılarak yeniden kullanılabilir. Havalı kül tutuculardа kullanılan taşıma aracı havadır. Külün havadan ayrılması bankerlerde gerçekleştirilir [53].

Külün ayrılması için kullanılacak metodun seçiminde, külün tane iriliği, sertliği, herhangi bir amaç için kullanılıp kullanılmayacağı gibi faktörler rol oynar. Izgaralı ocaklardan elde edilen küller yol inşasında kullanılır. Pülverize kömür ocaklarından çıkan kültende inşaat malzemesi olarak yaralanılabilir. Santral küllerinin tutulma ve atılma problemine özellikle eğilmek gerekir. Pülverize kömür ocakta kazanların baca gazlarında çok miktarda kül bulunmaktadır. Bu durum ise çevre sağlığı yönünden oldukça büyük önem taşımaktadır. Özellikle yerleşme merkezleri yakınlarında bulunan santrallere yüksek bacalar kurmak problemin çözümüne yeterli değildir. Bu santrallerde luvo ile cebri çekme vantilatörü (baca gazını bacaya basan vantilatör) arasına her halde bir kül tutucu yerleştirmek gerekir. Baca gazı temizlenmesinde kullanılabilecek en pratik yöntemlerden biri baca gazı yoluna bir çökeltme hücresinin yerleştirilmesidir. Çökeltme hücresinden baca gazı hızı 1–2 m/s ye düşürülür ve böylece kül zerrecikleri

kendi ağırlıkları ile aşağıya düşer. Bu metot da çekiş kayıpları oldukça azdır. Ancak büyük bir hacme ihtiyaç baş göstermektedir. Tutulabilen kül oranı ise % 70 dolayların dadır [53].

Islak kül tutuculardа tutulabilen kül oranı oldukça yüksektir. Bu metot da baca gazları ya bir su perdesinde oldukça sık yerleştirilmiş olan ve üzerindeki deliklerden su fışkıran plakaların arasından geçer. Islak kül tutuculardan kül ile birlikte baca gazında bulunan $SO_2$ gazanın da bir bölümünde sıvı ile yıkanarak alınır. Bununla beraber bu tip kül tutucular da çekiş kayıpları oldukça yüksek ve su harcaması da epey fazladır. Öte yandan nemin fazla olması nedeni ile gerek kül tutuculardа ve gerekse baca gazının daha sonra kat ettiği yerler de korozyona karşı dirençli olan malzemelerim kullanılması zorunludur. Bu dezavantajlarından ötürü ıslak kül tutucular günümüzdeki santrallerde kullanılmaktadır [53].

Siklonlu kül tutucular merkez kaç kuvvetinden yararlanarak çalışır. Baca gazları dikey konumda bulunan silindirik bir ayırtıcıya teğetsel olarak girer ve oldukça büyük bir açısal hız kazanır. Bu açısal hızın etkisi ile dış yönden harekete geçen kül zerrecikleri silindirin yan yüzeylerinden çıkarak alt bölümdeki bir siklona girerler. Burada alınan küller ya tekrar ocağa basılarak yakılır ya da kömür curufuna karıştırılır.

Siklonlu kül tutuculardа tutulabilen kül oranı %90'a kadar çıkabilir bununla beraber çekiş kayıpları ise oldukça yüksektir.Günümüzdeki santrallerde bu konuda hemen sadece eletro filtrelerden yararlanılmaktadır. Elektro filtrelerde çökeltme elektrotları ile püskürtme elektrotları elektriksel alan meydana getirirler. Baca gazları bu elektrotların arasından geçerken kül zerrecikleri elektrostatik olarak yüklenirler püskürtme elektrotları 10–70 kv'luk bir kaynaktan beslenirler bir redresör burada kullanılacak olan alternatif akımı doğru akıma çevirir. Çökeltme elektrotları topraklanmıştır. Yüklenmiş olan kül zerrecikleri püskürtme elektrolarında uzaklaşarak çökeltme elektrotlarına doğru hareket derler. Burada elektrik yüklerini bırakan küller fitrenin altındaki siklona dökülürler [53].

Elektro filtrelerde ki her çökeltme elektrotuna bir silkme düzeni bağlanmıştır. Bu düzen, belirli zaman aralıklarında otomatik olarak harekete geçer ve elektrot üzerine

toplanmış olan külleri silker. Bu filtrelere kısaca E-filtre denilmektedir. Elektro filtrelerde tutulabilen kül oranı baca gazı oranı ile orantılıdır. Bu hız 1-3 m/s dolaylarında olmalıdır. E- filtredeki çekiş kayıpları yalnızca 2–4 mmss dir. Ayrıca bu metotla tutulabilen kül oranı % 99'un üzerine bile çıkabilmektedir. Elektro filtrelerin enerji harcaması her 1000 $m^3$ baca gazı için 0,15 – 0,5 kwh arasındadır. Ayrılmış olan küllerin alt ısıl değeri kimi zaman hala 2000 kcal/kg kadar olabilmektedir. Bu nedenle küller özel bir donanımla tekrar kazana sevk edilebilir [53].

### 5.8.1. Kül Atma Sistemi

Kazanda kömürün kireçtaşı ile birlikte yanması sonucunda ortaya çıkan kül kazan çıkışında siklonlarda tutulduktan sonra; kazana geri döndürülecek, kazan tabanından basınç farkı ve akışkan kül kanalları vasıtasıyla kül soğutucusuna taşınacaktır (kazan altı külü). Burada belirli bir sıcaklığa soğutulan kül, pnömatik olarak taşınarak cüruf silolarında depolanacak ve kül depolama alanına gönderilecektir. Siklonlarda tutulmayan daha küçük tane boyutuna sahip küller (uçucu kül) ise Elektrofiltrelerde tutulduktan sonra yine pnömatik olarak taşınarak kül silolarında toplanacaktır. Santralde, tasarım kömürü için 54 ton/saat kazan altı külü, 100 ton/saat uçucu kül olmak üzere toplam 154 ton/saat kül oluşması beklenmektedir. Toplanan kül, kül sahasına taşınırken ve yayılırken tozumaya neden olmaması amacıyla, kül bandına alınmadan önce ağırlıkça % 15 oranında suyla nemlendirilecektir. Bu amaçla, en fazla 40 $m^3$/saat (iki ünite için) su kullanılacaktır. Bu suyun büyük bir bölümü santralın atık sularından, kalanı ise ham su deposundan karşılanacaktır. Santralde kül bankerlerinden toplanan ve yukarıda tanımlandığı şekilde nemlendirilen küller, tamamen kapalı tüp konveyörlerle kül stok sahasına taşınacaktır. Bahsi geçen önlemler nedeniyle külün, kül depolama sahasına taşınması sırasında tozuma ve kaçak olmayacaktır. Taşıma işlemi günde iki vardiya (16 saat) boyunca yapılacaktır. Siloların depolama kapasiteleri günde 8 saat kül atımı yapılamayacağı varsayımına dayandırılarak yapılmıştır. Kül depo sahasına taşınan küller, kül depo sahasında düzgün depolamayı sağlayacak gezici-portatif konveyörlerle sahaya boşaltılarak geçici yığınlar oluşturulacaktır. Sahada kül ıslatma için kullanılacak maksimum su miktarı 20 $m^3$/saat'tir. Bu suyun bir bölümü santralın atık sularından, kalanı ise ham sudan karşılanacaktır [53].

### 5.8.2. Elektrostatik Filtre

Elektrostatik filtreler, termik santrallerde, yakıtın yanması sonucu oluşan baca gazının içerdiği uçucu küllerin atmosfere atılarak çevre kirliliğine neden olmasını Önlemek için baca gazının içerdiği uçucu küllerin tutulması amacıyla kullanılmaktadır. Elektrostatik filtreler hava ısıtıcıları İle cebri çekme fanları arasına yerleştirilir. Böylece baca gazının içerdiği uçucu küllerin, gaz kanalları ve fan kanatlarında abrazyon hasarları (katı katı aşındırması) oluşturması da önlenmektedir. Elektrostatik filtreler, katı asıltı içeren gazların, oluşturulan elektrik alanı içersinden geçirilerek, katı asıltıların yükleme elektrotları ile elektriksel olarak negatif yükle yüklenmesi ve negatif yüklenmiş katı asıltıların pozitif toplama elektrotlarında toplanarak gazdan ayrılması ilkesi ile çalışmaktadır. Toplama elektrotları üzerinde toplanan kül, elektrotların belirli aralıklarla silkelenmesi sonucu elektrofiltre altındaki kül bunkerlerine dökülmektedir. Kül bankerlerinde biriken kül, genel olarak, basınçlı hava (pnömatik olarak) İle kül silosuna taşınmaktadır. Elektrostatik filtrelerde elektrik alanı, yüksek gerilim trafosundan elde edilen ve bir doğrultmaç ile doğru akıma dönüştürülen yüksek gerilim ile oluşturulmaktadır. Yükleme elektrotları, doğrulmacın negatif ucuna, toplama elektrotları ise pozitif ucuna bağlı durumdadır. Elektrostatik filtrelerde partikül madde tutma verimi % 99,9 olacaktır [53].

### 5.8.3. Akışkan Yataklı Kazan Külünün Kullanım Alanları

Akışkan yataklı kazanlarda yakma işlemi sonucunda elde edilen kuru ve depolanabilir külün değişik kullanım alanları bulunmakta, yeni kullanım sahaları için de araştırma çalışmaları yapılmaktadır. Tarıma elverişli toprak eldesi ve tarımda kullanılan kireç ve bitkiler için bazı önemli besinleri içeren gübrelerin yaptığı görevlerin büyük bir bölümünü yerine getirebilen bir yan üründür. Ayrıca AYK külünde düşük miktarlarda bulunan demir, mangan, molibden, bor, bakır ve çinko elementlerine tarım ürünlerinin yetişmesi esnasında ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Atık/çamur stabilizasyonu, yol yapımında taban malzemesi, atık alanlarının kapatılması gibi işlemlerde akışkan yataklı kazanların külleri kullanılabilmektedir[54].

### 5.8.3.1. Arazi ıslahı

Endüstriyel kullanım, taş ocağı ve madencilik çalışmaları gibi sebeplerden bozunmaya uğramış toprak yapısının tekrar kazanılması için AYK külleri kullanılmaktadır. AYK külü çimento benzeri bir yapıya sahip olduğu için, ihtiyaca uygun olarak düşük dayanımlı, ya da katkı yapılarak yüksek dayanımlı dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. AYK külü endüstri arazilerinin geri kazanımında ve sıvı atıkların nötralize ve stabilize edilmesinde kullanılır. Çimento benzeri yapısıyla sıvı atıkların katılaştırılması için kullanılırken, bazı katkılarla sıvı atıkların etrafa sızıntısını engelleyerek endüstriyel arazilerin ıslah edilmesinde önemli rol alır. Şehir katı atıklarının depolandığı yerlerde, AYK külü suyla karıştırılarak günlük olarak atıkların üstünün kapatılması için kullanılır. Bazı katkılarla beraber atıkların üstüne püskürtüldüğünde kabuksu bir tabaka oluşturarak çöp sahalarının üstünü örtmektedir [54].

### 5.8.3.2. İnşaat Endüstrisi

AYK külü çimento üretiminin bir parçası olan klinker eldesinde kullanılabilirken, bazı çimento çeşitlerinin üretiminde de temel malzeme olarak değerlendirilmektedir. AYK külü yapısal dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Uygulama olarak AYK külünün, kazılabilir dolgu, boru yatağı, yapısal dolgu, yol taban malzemesi, kazık dolgu ve maden çukurlarının kapatılması için kullanıldığı görülmektedir. Kendinden sertleşebilme özelliğiyle AYK külü kullanılarak, normal topraktan daha yüksek mukavemet elde edilir. Akışkan özelliği sayesinde ulaşılması zor noktalara döküldüğünde, yüksek sıkışma mukavemetine ulaşır, ayrıca ileri bir zamanda çıkarılması gerekirse, kazılarak uzaklaştırılması betondan daha kolaydır [54].

### 5.8.3.3 Atık Stabilizasyonu

Kanalizasyon atıklarının işlenmesinde, pastörizasyon ve alkali stabilizasyon için kullanılır. AYK külü, patojenlerin ve koku yapan birçok bakterilerin elenmesi için uygun özelliklere sahiptir. Bu işlemlerin sonunda elde edilen az kokulu granüle ürün, tarımsal toprak, arazi ıslahı ve çöp sahalarının kapatılması için uygundur ve taşınması ya da araziye yayılması için özel ekipmanlara ihtiyaç duyulmaz. AYK külünde bulunan kireç, asidik sıvı atıkların nötralize edildiği çeşitli işlemlerde kullanılabilir. AYK külü

birçok sıvı atığın katılaştırılmasında kullanılmaktadır. Sıvı emme özelliği ve çimento benzeri yapısı, bu külü belirtilen işlem için uygun kılar. Ayrıca, AYK külünün geniş bir yelpazedeki atık çamurlarının stabilizasyonu için etkili bir malzeme olduğu bilinmektedir. AYK külünün ilave edilmesiyle çamur akışkan özelliğini kaybederken, belli miktarın üstünde kül ilavesi yapılarak betonlaşması da sağlanabilir. Külün kokuyu azaltma etkisi de gözlenmektedir [54].

## 5.9. Kömür Hazırlama Sistemi

İÇDAŞ Değirmencik termik santralinin kömür hazırlama ve depolama tesislerine alınan kömür, buradan kazan bunkerlerine verilecektir. Santraldeki ünite için toplam saatlik kömür ihtiyacı ortalama 56 ton'dur. Kömür ocaklarından kömür teslim noktasına (kömür boşaltma ünitesi veya geçici depolama sahasına) getirilecek ve metal bantların üzerine doğrudan boşaltılacaktır. Kömür teslim noktasında kömür boşaltma ünitesinin hemen yanında bulunan 15.000 ton kapasiteli bir geçici depolama sahası, kamyonların geliş trafiğinin metal konveyör kapasitesini aşması veya metal konveyör de bir arıza çıkması halinde, gelen kömür geçici depolama sahasında depolanacaktır. Kömür stok sahası 400 m × 29 m ölçülerinde ve 50.000 ton kapasiteli dört yığından oluşan toplam 200.000 ton kapasitede öngörülmektedir. Kömür hazırlama tesisi başında yer alan ön kırıcıdan geçen linyit, stok sahasından taşıyıcı bantlarla ikinci ve üçüncü kırıcılara iletilmektedir [53].

Kömür hazırlama sistemi ön kırıcı ile entegre metalik konveyörlü kömür alma ağzı (boşaltma) ünitesi, ikinci kırıcı ve son (ince) kırıcıdan oluşmaktadır. Metal konveyöre boşaltılan kömür, önce ön kırıcıdan geçirilerek kaba bir şekilde kırılmakta, kömür stok sahasında depolanmakta ve harmanlanmakta ve daha sonra ikinci kırıcı ve ince kırıcıdan geçirilerek kazana beslenecek duruma getirilmektedir. Birinci kırıcı ile ikinci kırıcı üniteleri, çekiç türü kırıcılardan ve konveyörlerden oluşmaktadır. İki ünite için biri yedek olmak üzere % 100 kapasiteli ikişer adet ön, ikinci ve üçüncü kırıcı bulunmaktadır. Kömür, kömür teslim noktasına (kömür boşaltma ünitesi ya da geçici depolama sahası) 0–1000 mm boyutunda getirilecek, ön kırıcıda boyutu 0–300 mm'ye, ikinci kırıcıda 0–30 mm'ye ve son kırıcıda 0–10 mm'ye indirildikten sonra kazana gönderilecektir. Her aşamada, kapalı mekanlarda toz kaçakları için sızdırmazlık

önlemleri alınacaktır. Kırıcılardaki toz çıkışı, yalnızca havalandırma çıkışlarından olacaktır. İkinci ve üçüncü kırıcıların havalandırma çıkışlarında torba filtre bulunacak, toz filtrelerde süzülen havada partikül madde konsantrasyonu 150 mg / $Nm^3$'ün altında kalacaktır. Filtre fan debisi sırasıyla 3600 ve 8000 $m^3$/saat olacaktır. Kömür siloları çıkışında linyit tozu kazanlarda yakılmak üzere taşıyıcı bantlara transfer edilecektir [53].

### 5.9.1. Kömür Stok Sahasından Kaynaklanan Tozuma

Toplam 200000 ton kapasiteli kömür stok sahasının alanı 46400 $m^2$'dir. Buna göre, her bir $m^2$ başına 43 ton kömür stoklanacaktır. Öte yandan, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Teşkilatı tarafından kömür stok sahaları için verilen emisyon faktörü, stoklanan kömürün tozuyabilecek 0,03 mm'lik BM kısmının ağırlıkça %2,5 olacağı varsayımıyla 4,16,3 g/$m^2$ olarak hesap edilmiştir. Bu koşullar altında, 200.000 tonluk stok sahasından kaynaklanacak toplam toz emisyonu 75 kg olacaktır. Santralin saatlik kömür ihtiyacının 56 ton olduğu düşünüldüğünde, stok sahasına yeni kömür aktarımı ile ilgili kaçak toz emisyonunun 1 kg/saat mertebesinde olacağı tahmin edilmektedir. Bu toz emisyon değeri, santralin 151,2 kg/saat olan toplam emisyonu ile mukayese edildiğinde ihmal edilebilecek boyuttadır.

Stok sahasında kullanılacak olan kömür serme ve alma (park) makinesinin tüm boru ve kepçeleri su ile devamlı surette temizlenecek ve toz kaynaklan bu şekilde azaltılacaktır. Gerek kömürün tane büyüklüğü ve gerekse de uygulanacak ıslatma ve sıkıştırmanın etkinliği dikkate alındığında, kömür stok alanından kaynaklanacak kaçak toz emisyonunun daha da düşük olacağı açıktır [53].

### 5.9.2. Kömürün Stok Sahasında Kendi Kendine Yanma Riski

Kömür stok sahasındaki kendi kendine yanma riski, linyitin kalitesine ve depolama süresine bağlıdır. santralde uygulanacak İşletme programına göre, stok sahasındaki maksimum depolama süresi bir ay ile sınırlı kalacak ve dolayısıyla yığın yükseklikleri tehlikeli boyutlara ulaşmayacaktır. Ek olarak, yanma riskinin asgari düzeyde tutulabilmesi için sıkıştırma işlemi uygulanacaktır. Kömürde yanmanın başlaması halinde ise öncelikle kömürü soğutmak için harmanlama işlemi yapılacak ve sıcaklığın hava sirkülasyonu yardımıyla düşürülmesi sağlanacaktır. Bu işlemle sonuç

alınamaması halinde, yanan kısmı ayrılacak ve üzerinin toprakla örtülmesi suretiyle hava ile teması kesilerek yanma önlenecektir [53].

### 5.9.3. Kömür Stok Sahasında Drenaj

Kömür stok sahasının platformu, doğal zemin üzerine serilmiş kırma taş veya çakıl türü filtre malzemeden oluşacaktır. Bu alana düşen yağmur suları, filtre tabakasının tabanında oluşturulacak drenaj kanalları ile toplanacak ve cazibe ile 4500 $m^3$ kapasiteli betonarme bir havuza iletilecektir. Bu havuzda, linyit taneleri çöktürme yolu ile sudan alınacak ve yakılmak üzere sisteme geri döndürülecektir. Kömür tozlarından arındırılacak sular İse atık su toplama havuzuna alınıp, kül nemlendirme işleminde kullanılacaktır. Bu betonarme havuzdan çıkacak drenaj suları, sadece kül nemlendirmede kullanılacak olup, hiç bir şekilde alıcı ortama deşarj edilmeyecektir. Dolayısıyla, bu drenaj sularının çevreye herhangi bir etki yapması söz konusu değildir.

## 5.10. Kazan Blöfleri

Dolaşımdaki suyun istenen özellikte olmasını sağlamak için, kazandan sürekli olarak blöf yapılmaktadır. Kazan blöfleri saf su özelliğinde olup, kazan suyuna verilen trisodyum fosfattan dolayı eser miktarda fosfat içerecektir. Kazan blöfü süreklidir ve akış hızı kazan yüküne bağlıdır. Kazan blöfü tanklarda ham su spreylenerek soğutulmakta, dolayısıyla içerisindeki fosfat eser mertebesine inmektedir. Kazan blöfleri atık su toplama havuzuna alınarak, kül nemlendirmede kullanılacaktır [53].

## 5.11. Rejenerasyon Atık Suları

Demineralizasyon ünitesinde saf su üretmek için kullanılan anyon ve katyon reçineleri ile kondensat arıtma ünitesinde bulunan reçinelerin kirlendikçe, belirli aralıklarla baz ve asitle rejenere edilmeleri (yenilenmeleri) gerekmektedir. Bu işlemler sonucunda ortaya çıkan atık sular bazik ve asidik karakterdeki sular olup, bu sular nötralizasyon havuzunda toplanarak pH'ı 6–9 arasında bir değere ayarlanmaktadır. Nötralize edilmiş sıvı atıklar atık su toplama havuzuna kül nemlendirmede kullanılmak üzere aktarılmaktadır. Bu atık suların 850 mg/L $SO_{4-2}$ ve 380 mg/L Cl- içermesi beklenmektedir [55].

## 5.12. Yağlı Atık Sular

Santral sahası ekipmanlarına (elektrik trafoları, türbin yağ tankı, fuel-oil tankı, vb.) bağlı yağ toplama boruları, olabilecek yağ sızıntılarını yağ geri kazanım havuzuna ve oradan da yağ/atık su boşaltma veya çökelme havuzuna aktarılmaktadır. Boşaltma/çökeltme havuzunda yağ, sudan ayrıştırılmakta ve yağ oranı yaklaşık 10 mg/L olan su, kül nemlendirmesinde kullanılmak üzere, atık su toplama havuzuna aktarılmaktadır. Miktarı ihmal edilebilecek kadar az olan fuel-oil, kazanda yardımcı yakıt olarak kullanılan fuel-oil katkı olarak eklenerek yakılacaktır [55].

## 5.13. Atık Suların Arıtımı ve Bertaraftı

Yağlı suların, yağ tutucuda yağdan arındırılması ve arıtıldıktan sonra atık su toplama havuzuna verilmesi planlanmaktadır. Yağlı ve endüstriyel atık sular ile nötralizasyon ünitesinden gelen sular, atık su toplama havuzunda toplanacaktır. Toplanan atık sular, santral sahasında kül nemlendirmede ve kül depolama alanında küllerin yağmurlama ile ıslatılmasında kullanılacaktır. Dolayısıyla, bu atık sular deşarj edilmeyecektir. Kül nemlendirmede kullanılacak atık suların normal işletme koşullarında aşağıda belirtilen özelliklerde olması beklenmektedir [55]:

- KOİ : 30 mg/L
- Toplam Askıda Katı Madde (AKM) : 25 mg/L
- Yağ ve Gres : 0, l mg/L
- pH : -7,2

## 5.14. Atık suların Arıtımı ve Bertaraftı

Yağlı suların, yağ tutucuda yağdan arındırılması ve arıtıldıktan sonra atık su toplama havuzuna verilmesi planlanmaktadır. Yağlı ve endüstriyel atık sular ile nötralizasyon ünitesinden gelen sular, atık su toplama havuzunda toplanacaktır. Atık su toplama havuzunda toplanan atık sular, santral sahasında kül nemlendirmede ve kül depolama alanında küllerin yağmurlama ile ıslatılmasında kullanılacaktır. Dolayısıyla, bu atık sular deşarj edilmeyecektir [55].

## 5.15. Kükürt oksitler

Akışkan yatakta yakma teknolojisinde, yanma sırasında oluşan $SO_2$ ek bir baca gazı arıtma tesisine ihtiyaç olmadan yanma odasına kömürle birlikte beslenen kireçtaşı ile tutulur. Yakıcıya beslenen kireçtaşı desülfürizasyonu (kükürt giderme) reaksiyonlarla gerçekleştirilir. Öngörülen şekilde akışkanlaştırma, yakma ünitesinde homojen bir sıcaklık profili yaratmaktadır. Bu ortamda elde edilen sıcaklık aralığı desülfürizasyon işleminde yüksek reaktivite oluşturarak CaO'nun ekonomik kullanımını sağlamaktadır. Örnek santralde % 4 kükürt içerikli kömür yakıldığında, % 95,9 $SO_2$ arıtma verimi gerçekleşecektir. Yakıt ısıl gücü 300 MW veya üzerinde olan tesislerde baca gazında $SO_2$ standardı, % 5 hacimsel $O_2$ esas alınarak, 1.000 mg/Nm$^3$ olup, kurulması önerilen tesisten kaynaklanacak emisyonlar baca çıkışında kuru bazda 914 mg/Nm$^3$ değerinin altında oluşacaktır. Ancak, kurulması önerilen tesisten kaynaklanacak toplam $SO_2$ emisyonu 60 kg/saat seviyesinin üzerinde, 920 kg/saat civarında gerçekleşeceğinden, $SO_2$ emisyonlarına ilişkin olarak bir hava kalitesine etki modellemesi yapılmış olup, yöntem ve sonuçlar aşağıda ayrıntılarıyla açıklanmıştır [55].

## 5.16. Azot Oksitler

Kurulması önerilen tesisin kazanlarında gerçekleştirilecek yakma işlemi sonucu meydana gelecek $NO_X$ emisyonlarının oluşumuna yol açan iki faktör bulunmaktadır. Bunlardan ilki, yakma işleminde kullanılan yakıtın İçerdiği azottur. Ancak bundan daha önemli olarak, $NO_X$ emisyonu, yakma işlemi esnasında havadaki serbest azotun yüksek sıcaklıkta oksidasyonundan (yükseltgenmesinden) kaynaklanmaktadır. Kurulması önerilen tesiste, söz konusu emisyonları belirleyecek olan kazan yakma tekniği, yanma sıcaklığı ve basıncı gibi faktörlerdir. Akışkan yatak yakma teknolojisinin en önemli özelliği olan düşük yanma sıcaklığı (~850 °C) daha yüksek sıcaklıklarda oluşan azot oksit emisyonlarını minimuma indirmekte, ayrıca yakıt azotundan kaynaklanan $NO_X$ emisyonu, yanma odasına kademeli hava verilmesi ile düşük seviyelere çekilmektedir. Toz halinde kömür kullanan tesisler için belirlenen baca gazı $NO_X$ emisyon standardı, hacimde % 5 $O_2$ ile 800 mg/Nm$^3$ olup, kurulması önerilen tesisten kaynaklanacak $NO_X$ emisyonu kuru bazda 753 mg/Nm$^3$ değerinin

altında olacaktır. Kurulan tesisten kaynaklanacak toplam $NO_X$ emisyonu, 40 kg/saat seviyesinin oldukça üzerinde, 761 kg/saat civarında gerçekleşeceğinden, $NO_X$ emisyonuna ilişkin bir hava kalitesine etki modellemesi yapılmış olup, kullanılan yöntem ve elde edilen sonuçlar ayrıntılarıyla açıklanmıştır [55].

## 5.17. Baca Gazının Atmosfere Bırakılması

Baca gazının atmosferde daha iyi bir dağılım göstermesi amacıyla, bacanın soğutma kulesi içinde yer alması öngörülmüştür. Baca gazı soğutma kulesi içinden geçen hava kütlesine bırakılacak; buradan da yüksek bir hızla atmosfere ulaşıp dağılacaktır. Soğutma kulesinden çıkan gaz, kazandan kaynaklanan baca gazı ve soğutmayı sağlayan hava karışımıdır. İşletmedeki iki ünite için baca gazı hacimsel akış hızı 1.008.000 $Nm^3/h$ (kuru bazda, % 5 $O_2$)'dır. Baca gazı, soğutma kulesi içersinden geçen hava içine bırakıldığında hava-gaz karışımının hacimsel akış hızı 17.400 $m^3/s$ (62.640.000 $m^3/saat$) olarak gerçekleşecektir. Normal hava sıcaklığında (14,8 °C) çıkan hava-gaz karışımı sıcaklığı 37,3 °C'dır.

# 6. BUHAR SANTRALLERİNDE SOĞUTMA SUYU SİSTEMİ, SOĞUTMA SUYU VE SU HAZIRLAMA TESİSLERİ

Buhar santrallerinde su iki ayrı bölümde incelenmektedir.

## 6.1. Su-Buhar Çevrimi Suyu

Su- buhar çevrimindeki su, yüksek basınçlı santrallerde çok yüksek arlıkta olan sudur. Bu su doğal suların santral karakteristiğine göre çeşitli işlemlerden geçmesi ile elde edilir. Doğal suları genellikle ham su olarak adlandırıyoruz. Ham suyun arı su haline geçmesine de suyun arıtılması diyoruz arıtıldıktan sonra elde edilen su katma suyu adı altında su- buhar çevrimine karıştırılır. Su buhar çevriminde çeşitli yerler de sular çeşitli isimler alırlar. Bu suları beş bölüme ayırmak mümkündür [55].

a) Kondenser suyu: Türbinde iş gören buhar kondenserde yoğuşarak kondenser suyu adını alır. Bu su gaz alıcıya kadar kondenser suyu olarak kalır.

b) Besleme suyu: Gaz alıcıdan sonra aynı su besleme suyu adını alır.

c) Kazan suyu: Kazana giren su artık kazan suyu olmuştur.

d) Doymuş buhar: Kazanda buharlaşan yaş buhara doymuş buhar denilir.

e) Kızgın buhar: Doymuş buhar kızdırıcılarda kızgın buhar haline gelerek türbine girer.

## 6.2.Deniz Suyu Arıtma ve Kazan Suyu Hazırlama Sistemi

### 6.2.1. Deniz Suyu Arıtma Sistem Akışı

Bu projede santralden geçen kazan besleme suyu, servis suyu, yangın suyu gibi sistemlerin üretimi anlatılmıştır [55].

Sistem prosesi şöyledir;

Deniz Suyu → Deniz Suyu Havzası → Deniz suyu booster pompa → Mekanik Filtre → Filtrelenmiş Su Tankı → Filtrenmiş Su Pompası → Kendi Kendini

Temizleme Filtresi → Ultra Filtrasyon → UF Tankı → UF Su Pompası → Güvenlik Filtresi → Yüksek Basınç Pompası → RO Ünitesi → Desaline Su Tankı → Desaline Su Pompası → Kazan Suyu Hazırlama Tesisi → Su Besleme Sistemi.

Yıkama suyu ve RO (Ters Osmos)'da arıtma işleminden kalan atık su tuzlu su pompalarıyla denize pompalanır.

### 6.2.2. Sistem Kapasitesi

Santralin su tüketimine göre, deniz suyu desalinasyon sisteminin kapasitesi 40 ton/saat'tir. Bunu 20 ton/saat'i kazan suyu hazırlama sistemine, 20 ton/saat'i de servis suyu, yangın suyu vb. sistemlere gider. Bu durumlar değerlendirildiğinde 2×30 ton/saat kapasiteli RO ünitesi tasarlanmıştır. Bunların biri aktif diğeri yedektir [55].

### 6.2.3. Su Kalitesi

Bulanıklık < 2NTU

Serbest Klor < 0,1 mg/l

Demi 0,05 mg/l

$KMnO_4$ < 2 mg/l

Sertlik < 250 mg/l

pH < 6,5 – 8,5

Tablo 5.1. Ana Ekipmanların Genel Dataları

| Değer | Birim | Mekanik Filtre | UF | 1. RO |
|---|---|---|---|---|
| Miktar | Set | 3 | 2 | 2 |
| Kapasite | $m^3$/saat | 60 | 100 | 30 |
| Sistemden Arıtılan Tuz Oranı | % | | | ≥99 |
| Oluşum | % | 95 | 90 | 45 |

### 6.2.4. Operasyon Modülü

1- Deniz suyu desalinasyon sistemi otomatik olarak kontrol edilip izlenir. Otomatik kontrol PLC sistemiyle kontrol odasından kumanda edilir. Operatör sistemi kumanda odasından izler ve kontrol eder. Sistem izleme ve analiz cihazlarıyla durma, çalışma, yıkama, kimyasal dozajlama gibi işlemler uygulanabilir.

2- UF Sistemi Operasyon Kriterleri: Ürün suyu miktarı, sistem yeniden üretim miktarı, sistemin basınç değişimi, ürün suyu iletkenliği, silisyum oranı vs. dikkate alınması gereken değerlerdir.

3- RO Operasyon Kriterleri: Ürün suyu miktarı, sistem yeniden üretim miktarı, sistemin basınç değişimi, ürün suyu iletkenliği, silisyum oranı, tuz oranı vs dikkate alınması gereken değerlerdir.

4- Kendi Kendini Temizleme Filtresi: Basınç değişimine bağlı olarak otomatik olarak devreye girerler.

5- Önemli ölçüm noktaları

Kendi kendini temizleme filtresi giriş debisi

Kendi kendini temizleme filtresi giriş sıcaklığı

Kendi kendini temizleme filtresi giriş ve çıkış basıncı

Kendi kendini temizleme filtresi giriş ve çıkış basınç farkı

Ürün suyu ve arıtılmış su debileri

Hassas filtre sonrası temizleme ve UF ters yıkama suyu debileri

UF girişi, tahliye suyu, ürün suyu basınçları

UF çıkış suyu bulanıklık ölçümü

Ters osmos girişi iletkenlik oranı

Ters osmos giriş ve çıkış debisi

Ters osmos giriş ve çıkış iletkenlik oranı

Ters osmos giriş ve çıkış basınç farkı

Su tanklarında yüksek ve düşük seviye alarmı

Her pompanın çıkış basıncı [55].

### 6.2.5. Sistem Ekipmanları

Deniz suyu arıtma sisteminin ana ekipmanları aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.2. Sistem Ekipmanları

| NO | İSİM | ÖZELLİK | MİKTAR |
|---|---|---|---|
| 1 | Deniz suyu booster pompa | Q= 60-120 ton/saat<br>H= 35.6-29.4 m | 3 |
| 2 | Mekanik filtre | Q= 60 ton/saat | 3 |
| 3 | Filtrelenmiş su tankı | V= 100 $m^3$ Ø= 2040 | 1 |
| 4 | Filtrelenmiş su pompası | Q= 56-112 ton/saat<br>H= 31,6-25,4 m | 2 |
| 5 | Ters yıkama pompası | Q= 30-60 ton/saat<br>H= 5,6-4,3 m | 2 |
| 6 | Kendi kendini temizleme filtresi | Q= 105 ton/saat | 2 |
| 7 | Ultra filtrasyon cihazı | Q= 100 ton/saat | 2 |
| 8 | UF su tankı | V= 100 $m^3$ Ø= 2037 | 1 |
| 9 | UF su pompası | Q= 53-106 ton/saat<br>H= 7-5 m | 2 |
| 10 | UF ters yıkama pompası | Q= 243-369 ton/saat<br>H= 5-3 m | 2 |
| 11 | RO ünitesi | Q= 45 ton/saat | 2 |
| 12 | Birinci Desaline Su tankı | V= 400 $m^3$ Ø=8150 | 2 |
| 13 | Birinci desaline su pompası | Q= 52,8-105,6 ton/saat<br>H= 24,7 m | 4 |
| 14 | RO yıkama suyu pompası | Q= 30-60 t/h<br>P= 0.34-0.29 MPa | 1 |
| 15 | Atık su tahliye pompası | Q= 75-90 ton/saat<br>H= 5-3 m | 2 |
| 16 | Blower | Q= 3 $m^3$/dak.<br>P= 0,05 MPa | 2 |
| 17 | UF ters yıkama emniyet filtresi | Q=200 ton/saat | 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 18 | Basınçlı hava tankı | V=6 $m^3$ | 2 |
| 19 | Yıkama cihazı | | 1 |
| 20 | Reduktant dozaj tankı | | 1 |
| 21 | Göstergeli inhibitör dozaj tankı | | 1 |
| 22 | Kostik Dozaj Tankı | | 1 |
| 23 | Asit Dozaj Tankı | | 1 |
| 24 | NaCIO Dozaj Tankı | | 1 |
| 25 | Koagulant Dozaj Tankı | | 1 |

### 6.2.6. Sistem İçin Basınçlı Hava

Sistem için kompresör binasından gelen basınçlı hava valfler ve diğer gerekli cihazlarda kullanılır. Binanın dışına 2 adet 6 $m^3$ hacminde basınçlı hava tankı yerleştirilmiştir [55].

## 6.3.Kazan Suyu Hazırlama Sistemi

### 6.3.1 Kazan Suyu Hazırlama Sistemi Proses ve Kapasitesi

#### 6.3.1.1 Sistem Prosesi:

Deniz Suyu Desalinasyon Tesisinden Gelen Arıtılmış Su → RO Ünitesi → Katyonik İyon Değiştirici → Anyonik İyon Değiştirici → Karışık Yataklı İyon Değiştirici → Demineralize Su Tankı → Demineralize Su Pompası → Santral kullanımı [55].

#### 6.3.1.2 Sistem Kapasitesi

Tablo 6.3. Su ve buhar kayıp tablosu

| Kayıplar | Veri | Miktar (ton/saat) |
|---|---|---|
| Su ve buhar çevrimi kaybı | % 1.5 kazan max. buhar çıkışı | 6 |
| Kapalı çevrim soğutma suyu hazırlama | Tasarıma göre | 2 |
| Kazan, preheater fan kayıpları | Tasarıma göre | 0,6 |
| Kondenser yıkama sistemi | | 1 |
| Kışın ısıtma sistemi kaybı | | 0,5 |
| Deniz suyu desalinasyon sisteminde kışın ısıtma buharından meydana gelen kayıplar | | 2 |
| Diğerleri (laboratuvar, hidrojen üretim tesisi vb.) | | 0,5 |
| TOPLAM | | 12,6 |

Sistemin toplam kayıpları 12,6 ton/saat'tir. Ancak sözleşme gereğince 20 ton/saat olarak tasarlanmıştır [55].

#### 6.3.2. Su Kalitesi:

Kazan suyu hazırlama sistemi çıkış suyu kalitesi alt kritik basınç ünitesinin gerekliliklerine uygun olmalıdır [55].

### 6.3.3. Kazan Suyu Hazırlama Sistemi Bağlantı ve Operasyon Modülü

#### 6.3.3.1. Sistem Bağlantısı:

RO ünitesi, katyon eşanjörü, anyon eşanjörü, karışım yatağı birbirlerini takip etmektedirler. Her bir ekipmandan 2 adet olup bunlar birbirine paralel bağlıdır ve normal şartlarda bunların birer tanesi çalışır diğerleri yedektir. Demineralize edilmiş su normal çalışmada direk kondensere, devreye alma durumunda ise dearatöre pompalanır. Bunu için 2 adet telafi su pompası, 2 adet kazan besleme pompası olmak üzere toplam 4 adet pompa vardır. Bu pompalar kazan besleme ihtiyacına göre tasarlanmıştır [55].

#### 6.3.3.2. Sistem Operasyon Modülü:

1- "Kazan Suyu Hazırlama Sistemi" tam otomatik izleme ve kontrol etme sistemine sahiptir. Otomatik operasyon, kontrol paneli üzerinde ki kontrol sistemi ile uygulanır. Operatör, sistemi kontrol odasında izleyip takip eder. Analiz ve izleme ekipmanları ile operasyonu çalıştırma, durdurma, yıkama gibi işlemler çalıştırılabilir.

2- Katyon Eşanjörleri Rejenarasyonu: Otomatik rejenarasyon başlangıcı, katyon eşanjörü çıkışında ki Na oranı 100 ug/l'yi aştığında ve ya eşanjör girişinde su hacmi aşırı derecede arttığında gerçekleştirilir.

3- Anyon Eşanjörü Rejenarasyonu: Otomatik rejenerasyon başlangıcı iletkenlik 5 us/cm'yi, anyon eşanjörü çıkışında Silisyum oranı 20 ug/l'yi, girişinde ise su hacmi aşırı derecede arttığında gerçekleştirilir.

4- Karışık Yatak Eşanjörü Rejenerasyonu: Karışık yatağın rejenerasyonu, karışık yatak çıkışında iletkenlik 0,2 us/cm'yi, silisyum oranı 20 ug/l'yi, girişinde ise su hacmi limit değerleri aştığında gerçekleştirilir.

5- RO Sistemi Operasyon Şartları: Ürün suyu oranı 27-16 ton/saat, yeniden üretim oranı % 75-80, sistem basınç farkı 1.5-4 bar, tuz arıtma oranı % 96-99.5, ürün suyu iletkenliği 5-50 us/cm, atılan silisyum oranı % 90-99.5 değerlerinde olmalıdır.

### 6.3.5. Kazan Suyu Hazırlama Tesisi Ekipman Listesi

Kazan suyu hazırlama sistemi ekipman listesi aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.4. Kazan Suyu Hazırlama Tesisi Ekipman Listesi

| NO | AD | ÖZELLİK | BİRİM | MİKTAR |
|---|---|---|---|---|
| 1 | İkincil RO | Q= 16 ton/saat | Set | 2 |
| 2 | Katyon Eşanjörü | Ø=2000 H=1600 mm | Set | 2 |
| 3 | Anyon Eşanjörü | Ø=2000 H=1600 mm | Set | 2 |
| 4 | Karışık Yatak | DN1250HC/HA= 500/1000 | Set | 2 |
| 5 | Demineralize Su Tankı | V= 750 $m^3$ | Set | 2 |
| 6 | Demineralize Su Pompası(a) | Q= 15-30 ton/saat P= 0.54-0.47 MPa | Set | 2 |
| 7 | Demineralize Su Pompası(b) | Q= 54-56 ton/saat P= 0.99-0.87 MPa | Set | 2 |
| 8 | Rejenerasyon Su Pompası | Q= 8-16 ton/saat P= 0.335-0.305 MPa | Set | 2 |
| 9 | Asit Tankı | V=16 $m^3$ | Set | 2 |
| 10 | Kostik Tankı | V=16 $m^3$ | Set | 2 |
| 11 | Katyon Eşanjörü Asit Ölçüm Tankı | DN900 V= 1 $m^3$ | Set | 1 |
| 12 | Anyon Eşanjörü Anyon Ölçüm Tankı | DN900 V= 1 $m^3$ | Set | 1 |
| 13 | Karışık Yatak Asit Ölçüm Tankı | DN800 V= 0.63 $m^3$ | Set | 1 |
| 14 | Katyon Eşanjörü Asit Enjektörü | DN800 V= 0.63 $m^3$ | Set | 1 |
| 15 | Katyon Reçine Yıkama Tankı | DN2000 H= 16000 mm | Set | 1 |
| 16 | Anyon Reçine Yıkama Tankı | DN2000 H= 16000 mm | Set | 1 |
| 17 | Basınçlı Hava Tankı | V= 6 $m^3$ | Set | 2 |
| 18 | Yüksüz Asit Pompası | Q= 6 $m^3$/saat P= 0.2 MPa | Set | 1 |
| 19 | Yüksüz Kostik Pompası | Q= 6 $m^3$/saat P= 0.2 MPa | Set | 1 |
| 20 | Asit Buhar Emici | DN500 | Set | 2 |
| 22 | Rejenerasyon Atık Suyu Pompası | Q= 25 $m^3$/saat P= 26 $mH_2O$ | Set | 2 |

### 6.3.6. Kimyasal Depolama, Taşıma, Atık Su Arıtma

Asit ve kostik tankerlerle taşınacak ve yüksüz asit-kostik pompalarıyla tanklara pompalanacaktır. Asit % 30 HCI (Hidroklorik Asit), kostik ise % 40 NaOH (Sodyum Hidroksit)'tir. 2'şer adet 16 $m^3$ hacminde asit ve kostik tankları tasarlanmıştır.

Eşanjörlerin yıkanmasından sonra deşarj edilen atık su endüstriyel atık su arıtma tesisine pompalanacaktır. RO'dan deşarj edilen atık su ise konsantrasyon havuzuna ve oradan da tekrar kullanım ünitesine pompalanır [55].

### 6.3.7. Sistem İçin Basınçlı Hava

Sistem için kompresör binasından gelen basınçlı hava valfler, reçine karıştırma işlemi için ve diğer gerekli cihazlarda kullanılır. Binanın dışına 2 adet 6 $m^3$ hacminde basınçlı hava tankı yerleştirilmiştir [55].

## 6.4.Kimyasal Dozaj Sistemi

### 6.4.1. Besleme ve Yoğuşturma Suyu Proses Modülü

Besleme ve yoğuşturma suyu için iki işlem modülü kurulmuştur. Bir tanesi "Uçuculardan Arıtma (UA)" diğeri ise "Oksijenden Arıtma (OA)". Su-Buhar sisteminin durumuna göre bu işlemlerden biri seçilebilir [55].

**UA işlem modülü;**

1. Yoğuşturucu ve besleme suyunun pH oranını ayarlamak için sisteme Amonyak(NH3) gönderilir. Böylece termal sistem korozyondan korunur.

2. Kazana kurulmuş olan dearatör oksijeni tutar. Dearatörün bu işlevini yerine getirebilmesi için besleme ve yoğuşturma suyuna Asetomoksin beslenir. Böylece oksidif korozyonda önlenmiş olur.

**OA işlem modülü;**

1-Besleme ve yoğuşturma suyunun pH değerini 8–9 oranlarında tutabilmek için sisteme Amonyak ($NH_3$) beslenir.

2-Besleme ve yoğuşturma suyunda ki Serbest Oksijen oranının 30–150 ug/l değerinde tutabilmek için sisteme oksijen beslenir.

Ünite normal operasyondayken OA işlem modülü aktiftir. Oksijen beslenmesinden dolayı yüzeylerde oluşan $Fe_2O_3$ yüzeyde katı bir film oluşturarak korozyonun daha derinlere inmesini engeller.

OA işlem modülünün çalışma şartları şöyledir;

1-Metal yüzeyi mikro aşınmalardan koruyabilmek için yüzeyler yeterince temizlenmelidir.

2-Bütün yoğuşma sistemi yüzeyleri temizlenmelidir, yoğuşma suyunun iletkenliği 25 us/cm den düşük olmalıdır.

3-Besleme suyu oksijen dozajı 25 ug/l dan düşük olmalıdır.

4-Besleme suyu pH değeri 8–9 arasında olmalıdır.

Bu uygulamaların sebebi OA işlem şartlarının yüksek su kalitesi gerektirmesidir. Bu durum aynı zamanda UA işlemi içinde geçerlidir.

## 6.4.2. Kimyasal Dozaj Sistemi Ekipmanları

### 6.4.2.1. Amonyak Dozaj Sistemi

1. ünite için bir adet amonyak dozaj tankı tasarlanmıştır. Amonyak, kondenser yıkama ekipmanlarına ve dearatör çıkışına pompalanır. Kondensat amonyak dozajı otomatik kontrollüdür. Amonyak dozaj pompasına, kondenser yıkama sisteminin çıkışından ve kondenser debimetresinden 4–20 mA'lik sinyal gelir. Besleme suyu amonyak dozajı da otomatik kontrollüdür. Amonyak dozaj pompasına, besleme suyu hatlarından ve besleme suyu debimetresinden 4–20 mA'lik sinyal gelir [55].

Besleme suyu ve kondenser suyu amonyak dozaj sistemi ana ekipmanları;

Çözelti Tankı V= 0,6 $m^3$ 2 set

Ölçüm pompası Q= 80 L/saat P=5,1 MPa 2 set(kondenser için)

Ölçüm pompası Q= 80 L/saat P=2,5 MPa 2 set(besleme suyu sistemi için)

### 6.4.2.2. Oksijen Tutucu Dozaj Sistemi

Bir ünite için bir adet oksijen dozaj tankı tasarlanmıştır. Oksijen, kondenser yıkama sistemi çıkış ana borularına ve dearatör çıkışına beslenir. Besleme suyu ve kondenser suyu asetonoksin beslemesi manüel kontrollüdür. Kapalı çevrim soğutma suyu dozajı ve kazanın duruşlarda temizlenmesi için kullanılan dozajlar ayrıca uygulanacaktır [55].

Besleme suyu ve kondenser suyu asetoksim dozajı ana ekipmanları;

Çözelti Tankı V= 0,6 $m^3$ 2 set

Ölçüm Pompası Q= 40 L/saat P=5,1 MPa 2 set (kondenser için)

Ölçüm Pompası Q= 80 L/saat P=2,5 MPa 2 set (besleme suyu sistemi için)

Ölçüm Pompası Q= 38 L/saat P=1 MPa 2 set (kapalı çevrim soğutma suyu sist. için)

### 6.4.2.3 Oksijen Dozaj Sistemi

Bir ünite için bir adet oksijen dozaj tankı tasarlanmıştır. Oksijen, kondenser yıkama sistemi çıkış ana borularına ve dearatör çıkışına beslenir. Kondenser ve besleme suyu için oksijen dozajı otomatik kontrollüdür. Bu otomatik kontrol sistemi, kondenser sisteminin debi ve oksijen oranı ölçümlerinden gelen 4–20 mA lik sinyallere göre çalışır [55].

# 7. KAZANA AİT TEKNİK ÖZELLİKLER.

## 7.1. Kazan Teknik Özellikleri

Kazana ait teknik özellikler aşağıdaki gibidir.

Tablo 7.1. Kazan teknik Özellikleri [56]

| İsim | Birim | K-MSK Çalışma Şartında |
|---|---|---|
| Buhar kapasitesi | ton/saat | 440 |
| Drum çalışma basıcı | MPa | 15.05 |
| Kızgın buhar basıncı | MPa | 13.8 |
| Kızgın buhar sıcaklığı | °C | 540 |
| Ekonomizer giriş basıncı | MPa | 15.24 |
| Besleme suyu sıcaklığı | °C | 246 |
| Besleme suyu sıcaklığı( YB ısıtıcılar devre dışı) | °C | 167 |
| Ara kızdırıcı buhar debisi | ton/saat | 361 |
| Ara kızdırıcı giriş basıncı | MPa | 2.63 |
| Ara kızdırıcı çıkış basıncı | MPa | 2.48 |
| Ara kızdırıcı giriş sıcaklığı | °C | 322 |
| Ara kızdırıcı çıkış sıcaklığı | °C | 540 |
| Kazan uçucu kül miktarı | ton/saat | 9.67 |
| Kazan yatak külü miktarı | ton/saat | 8.25 |
| Kazan tasarım verim degeri (düşük deger) | % | 92 |
| Soğuk hava sıcaklığı | °C | 20 |
| Sıcak hava sıcaklığı | °C | 261 |
| Fazla hava katsayısı | | 1.2 |
| Kül soğutma sistemi kül çıkış sıcaklığı | °C | $\leq 150$ |
| Baca gazı debisi | $Nm^3$/saat | $456.32 \times 10^3$ |
| Hava debisi | $Nm^3$/saat | $413.89 \times 10^3$ |
| Yakıt tüketimi | kg/saat | $59.9 \times 10^3$ |
| Kireç tüketimi | ton/saat | 6.7 |
| Yatak sıcaklığı | °C | ~ 890 |
| Ortalama yatak sıcaklığı | °C | 876 |
| Kazan baca gazı sıcaklığı | °C | 853 |
| Siklon çıkışı baca gazı sıcaklığı | °C | 888 |
| AK1, K3, K1 çıkışı baca gazı sıcaklığı | °C | 501 |
| Ekonomizer çıkısı baca gazı sıcaklığı | °C | 304 |
| Hava ön ısıtıcısı çıkışı baca gazı sıcaklığı | °C | 131 |

## 7.2. Kazan Ana Ölçüleri

Kazan ana ölçüleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 7.2. Kazan Ana Ölçüleri [56]

| İsim | Birim | Tasarım değerleri |
|---|---|---|
| Kazan boyu (kazan boruları merkezlerinden ölçü alınmıştır) | mm | 15240 |
| Kazan eni (ön ve arka su boruları merkezlerınden ölçü alınmıştır) | mm | 6705.6 |
| Drum yükseklik kodu | mm | 47500 |
| Kazan binası çatı kodu | mm | 54300 |
| Kazan binası boyu | mm | 29400 |
| Kazan binası eni | mm | 31500 |

## 7.3. Kazan Ekipmanlarının Su Kapasitesi

Tablo 7.3. Kazan Ekipmanlarının Su Kapasitesi [56]

| İsim | Test basınçında（$m^3$） | Çalışma basınçında |
|---|---|---|
| Drum | 27.7 | 12.2 |
| Kazan duvar boruları | 74.1 | 74.1 |
| Ana kızdırıcılar | 35 | 0 |
| Ara kızdırıcılar | 44.2 | 0 |
| Ekonomizer | 17.7 | 17.7 |
| Toplam | 198.7 | 104 |

## 7.4. Yakıt Özellikleri

Akışkan yataklı kazan % 80 ithal % 20 yerli linyit kömür karışımına göre tasarlanmıştır. (Kalite oranına göre), fakat aynı zamanda % 100 ithal kömürle de K-MSK şartlarında çalışabilmektedir [56].

### 7.4.1. Kömür Bileşik Analizleri

Kullanılan kömürün bileşik analiz değerleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 7.4. Kömür Bileşik Analizleri [56]

| No. | İsim | Sembol | Birim | Karışık kömür | İthal kömür | Yerli linyit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Kömür Analizi | | | | | |
| | Karbon | $C_{ar}$ | % | 56.05 | 63.23 | 27.31 |
| | Hidrojen | $H_{ar}$ | % | 3.84 | 4.18 | 2.47 |
| | Oksijen | $O_{ar}$ | % | 7.34 | 6.23 | 11.76 |
| | Azot | $N_{ar}$ | % | 1.25 | 1.44 | 0.46 |
| | Sülfür | $S_{.ar}$ | % | 1.53 | 0.91 | 4.00 |
| 2. | Endüstriyel analiz | | | | | |
| | Kül | $A_{ar}$ | % | 18.40 | 15.00 | 32.00 |
| | Toplam nem | $M_t$ | % | 11.60 | 9.00 | 22.00 |
| | Nem | $M_{ad}$ | % | | | |
| | Uçucu madde | $V_{d.af}$ | % | 29.80 | 31.00 | 25.00 |
| | Düşük ısıl değer | Qnet.ar | KJ/kg | 22273 | 25120 | 10886 |
| 3. | Öğütebilirlik İndeksi | HGI | | 55 | 50 | 60~65 |
| Kazana giren kümür tanecik çapı: $d_{max}$ = 9 mm; $D_{50}$ = 1,8 mm. | | | | | | |

Note: Yakıt tanecik boyutu yatak malzemesi ve kül boşaltım prosedürlerine uyacak şekilde ve yanma veriminin en yüksek olduğu şartlara göre hesaplanır. Yakıt tanecik boyutu; malzeme akışkanlaşma hızının ve kazan ölçülerinde oldukça önemli bir parametredir. Eğer kazana giren tanecik boyutu çok büyük olursa, bu sadece kül boşaltım sisteminin stabilizasyonu etkilemekle kalmaz aynı zamanda kül içindeki yanmamış karbon miktarınında artmasına olanak verir. Eğer kazana giren tanecik boyutu çok küçük olursa, bu uçucu kül içindeki yanmamış karbon miktarının artmasına sebep olur [56].

### 7.4.2. Kömür Kalitesi Tasarım Değerleri

Tablo 7.5. Kömür Kalitesi Tasarım Değerleri [56]

| No. | İsim | Sembol | Birim | Tasarım kömürü | Kontrol edilen kömür |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Bileşim analizi | | | | |
| | Karbon | Car | % | 56.05 | 51.05 |
| | Hidrojen | Har | % | 3.84 | 3.05 |
| | Oksijen | Oar | % | 7.34 | 8.27 |
| | Nitrojen | Nar | % | 1.25 | 1.49 |
| | Sülfür | Sar | % | 1.53 | 2.13 |
| 2. | Endüstrüyel analiz | | | | |
| | Kül | Aar | % | 18.40 | 20.40 |
| | Toplam nem | Mar | % | 11.60 | 13.60 |
| | Alt ısıl deger | Q | kJ/kg | 22273 | 22040 |

## 7.5. Kül ve Curuf Özellikleri:

### 7.5.1. Kül Ergime Noktası:

Tablo 7.6. Kül Ergime Noktası [56]

| İsim | Sembol | Birim | İthal kömür | | Yerli linyit | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min. | Mak. | Min. | Mak. |
| Kül deformasyon sıcaklığı | DT（$t_1$） | °C | 1235 | 1400 | 1227 | 1558 |
| Kül yumuşama sıcaklığı | ST（$t_2$） | °C | 1300 | 1500 | 1200 | 1563 |
| Kül ergime sıcaklığı | FT（$t_3$） | °C | 1300 | 1600 | 1312 | 1650 |

### 7.5.2. Kül bileşikleri ( kireç beslemesiz )

Tablo 7.7. Kül Bileşikleri [56]

| İsim | Sembol | Birim | İthal kömür | Yerli linyit |
|---|---|---|---|---|
| Silikon dioksit | $SiO_2$ | % | 67.70 | 36.02 |
| $Al_2O_3$ | $Al_2O_3$ | % | 22.60 | 9.88 |
| Ferrik oksit | $Fe_2O_3$ | % | 3.30 | 10.68 |
| Mangan dioksit | $MnO_2$ | % | 0.00 | 0.00 |
| Titanium dioksit | $TiO_2$ | % | 1.20 | 0.00 |
| Kalsiyum oksit | CaO | % | 2.00 | 0.86 |
| Potasyum oksit | $K_2O$ | % | 1.00 | 0.25 |
| Magnezyum oksit | MgO | % | 0.50 | 0.21 |
| Sodyum oksit | $Na_2O$ | % | 0.20 | 0.10 |

## 7.6. Kireç Özellikleri ( Kalsinasyondan önce)

Tablo 7.8. Kireç özellikleri [56]

| İsim | Sembol | Birim | Değerler |
|---|---|---|---|
| Öğütülebilirlik İndeksi | HGI | | 104 |
| Su Miktarı | M | % | 1.82 |
| Yanma Azalması | L.O.I | % | 42.44 |
| Kalsiyum Karbonat | $CaCO_3$ | % | 92.54 |
| Magnezyum Karbonat | $MgCO_3$ | % | 1.43 |
| Silikon Dioksit | $SiO_2$ | % | 1.00 |
| $Al_2O_3$ | $Al_2O_3$ | % | 0.75 |
| Ferrik Oksit | $Fe_2O_3$ | % | 0.23 |
| Kalsiyum Oksit | CaO | % | 51.82 |
| Magnezyum Oksit | MgO | % | 0.68 |
| Sodyum Oksit | $Na_2O$ | % | 0.03 |
| Potasyum Oksit | $K_2O$ | % | 0.13 |
| Titanyum Oksit | $TiO_2$ | % | - |
| Sülfür Trioksit | $SO_3$ | % | 0.05 |
| Magnezyum Dioksit | $MnO_2$ | % | 0.01 |
| Silikon Dioksit | $SiO_2$(F) | % | 0.90 |
| Kazana giren kireç tanecik boyutu : $D_{max}$ = 1.5 mm: $D_{50}$ = 0.45 mm. | | | |

Not: Kireç tozu kazana gönderildikten sonra $SO_2$ ile kimyasal tepkimeye girer, o suretle $SO_2$ arındırılmış olur. Diğer yandan kazanın ve ekonomizerin randımanlı çalışması açısından da kireç tanecik boyutu önemli bir parametredir. Kireç tanecik boyutunun tasarım değerlerinden büyük ya da küçük olması kazan işletmesine kötü etkileri olur. Örneğin tanecik boyunun çok büyük olması fazla kireç tüketimine, yatak sıcaklığının düşük olmasına, kazan veriminin düşmesine ve yatak külünün fazla olmasına sebep olur. Eğer tanecik boyutu çok küçük olursa, kireç tozunun kazan içinde kalma süresi azalır, buda daha fazla kireç tüketilmesine sebep olur. Diğer bir negatif etkisi de uçucu kül hatlarının da fazla malzeme birikintisine sebep olur, aynı zamanda reaksiyona girmeyen büyük kireç taneciklerinde hatların aşırı dolmasına sebebiyet verir [56].

## 7.7. Kazan Kömür Tüketimi

Tablo 7.9. Kazan Kömür Tüketimi [56]

| Kapasite (MW) | Tasarım kömür | | | Kontrol edilen kömür | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Saatlik kömür tüketimi (ton/saat) | Günlük kömür tükemi (ton/gün) | Yıllık kömür tüketimi (ton/yıl) (%82) | Saatlik kömür tüketimi (ton/saat) | Günlük kömür tükemi (ton/gün) | Yıllık kömür tüketimi (ton/yıl) (%82) |
| 1X135 | 59.88 | 1437,12 | 431.136 | 61.109 | 1.466.616 | 439.985 |

## 7.8. Kazan Kireç Tüketimi

Tablo 7.10. Kazan Kireç Tüketimi [56]

| İsim | Birim | 1x135MW |
|---|---|---|
| Saatlik kireç tüketimi (tasarım kömürü) | ton/saat | 6.669 |
| Saatlik kireç tüketimi (kontrol edilen kömür) | ton/saat | 9.348 |

## 7.9. Yanma Modu, Yanma Gazı ve Parametreleri:

Kazanda yanmaya destek amaçlı 2 adet alt yatak ve 6 adet üst yatak doğal gaz yakıcısı bulunmaktadır. Kazan yakıcıları kullanmaksızın % 30 kapasitede çalışacak şekilde tasarlanmıştır [56].

Tablo 7.11. Doğal Gaz Bileşik Analizi [56]

| Kimyasal Bileşim Analizi | | | |
|---|---|---|---|
| Metan($CH_4$) | Minimum | % | 82 |
| Etan($C_2H_6$) | Maksimum | % | 12 |
| Dimetilmetan($C_3H_8$) | Maksimum | % | 4 |
| Bütan($C_4$) | Maksimum | % | 2 |
| Dimetilmetan ve Hidrokarbon | Maksimum | % | 1 |
| Karbon Diosit($CO_2$) | Maksimum | % | 3 |
| Oksijen($O_2$) | Maksimum | % | 0.5 |
| Nitrojen($N_2$) | Maksimum | % | 5 |
| Sülfür(S) | Maksimum | | |
| Dihidrojen Sülfür ($H_2S$) | Maksimum | $mg/m^3$ | 5.10 |
| Meraptan Sülfür | Maksimum | $mg/m^3$ | 15.30 |
| Toplam Sülfür Kapasitesi | Maksimum | $mg/m^3$ | 102.00 |
| Toplam Isıtma Kapasitesi | Maksimum | $MJ/Nm^3$ | 43.64 |
| Toplam Isıtma Kapasitesi | Minimum | $MJ/Nm^3$ | 33.90 |

## 7.10. Kazan Besleme Suyu Kalitesi:

Besleme suyunun hazırlanması: ilk basamak desalinasyon + karışık yatak; kazan daimi blöf oranı: %0.3~1; ( aşagıdaki tabloda bulanan değerleri sağladığı durumda.) [56]

Tablo 7.12. Kazan Besleme Suyu Kalitesi [56]

| İsim | | Birim | Tasarım değeri | Görüş |
|---|---|---|---|---|
| Besleme suyu | Toplam tuz miktarı | mg/L | ＜1 | |
| | Sertlik | μmol/L | ≤1.0 | Kazan-devreye alma ≤5 |
| | Çözünmüş oksijen | μg/L | ＜7 | Kazan-devreye alma ≤30 |
| | Demir | μg/L | ＜20 | Kazan-devreye alma ≤75 |
| | Bakır | μg/L | ＜5 | |
| | Hidrazin | μg/L | 10~30 | |
| | Silikon Dioksit | μg/L | ＜15 | Kazan-devreye alma ≤80 |
| | Diamin | μg/l | 10~50 | |
| | PH değeri | | 8.8~9.3 | |
| | Yağ | mg/L | ＜0.3 | |
| | İletkenlik | μs/cm | ＜0.2 | Devreye alma ≤1 |
| Kazan suyu | Trisodyum Fosfat | mg/L | 2~8 | |
| | Klor iyonu | mg/L | ＜4 | |
| | Tuz miktarı | mg/L | ＜50 | |
| | Silikon Dioksit | mg/L | ≤1.5 | |
| | PH değeri | | 9~10 | |
| Buhar | Sodyum | μg/L | ＜20 | Start'ta ≤20 |
| | Silikon Dioksit | μg/L | ＜20 | Start'ta ≤60 |
| | Demir | μg/L | ＜20 | Start'ta ≤50 |
| | Bakır | μg/L | ＜5 | Start'ta ≤15 |
| | İletkenlik | μs/cm | ≤1 | |

# 8. TERMİK SANTRALİN DEVREYE ALMA PROSEDÜRÜ

## 8.1. KAZANIN DEVREYE ALINMASI

Kazan devreye alınmadan önce ekipmanların ve bakım yapılan bölgelerin kontrol edilmesi ve gözlemlenmesi gerekir [56].

### 8.1.1. Kazan ateşlenmeden önce yapılması gereken test ve kontroller.

Kazan ateşlenmeden önce yapılması gereken işlemler.

#### 8.1.1.1.Ateşlemeye başlamadan yapılacak testler

- Yardımcı sistem ekipmanların açıklık-kapalılık testi, acil durum düğmesi testi
- Ekipmanların interlock testleri
- Koruma, uyarı ve ikaz sinyal testleri
- DCS ve Kontrol sistemleri testleri.
- Motorlu ve pnömatik olarak çalışan valf ve damper testleri
- Yanma ekipmanları, MFT ve OFT testleri
- Emniyet valflarinin set ve hidrolik basınç testleri
- Hava nozzlarının direnç ve akışkanlaştırma testleri [56]

#### 8.1.1.2. Kazan saha kontrolü

- Kazan bölgesinde çalışan personel bulunmayacak.
- Kazan bölgesinde herhangi bir çalışma araç-gereç bulunmayacak ( çalışma için kurulan iskele, merdiven, takım. vb…)
- Isıtma yüzeylerinde herhangi bir yağ, kül birikmesi olmayacak.

- Kazan refrakter bölgeleri temiz olacak, büyük çatlaklar olmayacak
- İç yakıcılar ve üst yatak ateşleyicilerinde herhangi bir deformasyon ve iç yüzeylerinde yatak malzemesi birikintisi olmayacak.
- Dış yüzey izolasyonları normal olacak, genleşme plakaları çalışabilir durumda olacak.
- Bütün kazan giriş kapakları çalışır ve kapalı durumda olacak.
- Bütün yaylı, kayar ve sabit destekler normal olacak.
- Bütün genleşme bağlantıları normal ve genleşme yönünde serbest hareket edebiliyor durumda olmalıdırlar.
- Bütün ölçüm notlarındaki ölçüm cihazlarının doğru yerinde ve çalışır konumda olması gerekir [56].

### 8.1.1.3. Su ve buhar hatlarının kontrolü.

- Besleme suyu, buhar hatları, blöf hattatı ve bunların drenaj hatlarının normal, izalasyonlarının iyi olduğunu kontrol edilmeli. Hatların akış yönlerinin doğru ve genleşme yönlerini normal olduğunu kontrol edilmeli.
- Hat üzerlerinde bakım çalışmalarından sonra bırakılmış her hangi bir ekipman ve durum giriş kapaklarının iyice sıkılmış olduğunu kontrol et.
- Hatlar üzerindeki valflerin normal olduğunu kontrol et [56].

### 8.1.1.4. Drum ve drum seviye göstergelerinin kontrolü

- Su ve buhar hatlarının izolasyonlarının normal olduğunu kontrol et.
- Lokal seviye göstergesinin normal ve çalışır durumda olduğunu kontrol et (gösterge, ışık ve televizyon )

- Daimi blöf hattı bağlantı ve valflerinin normal ve çalışır durumda olduğunu kontrol et.

- Drum lokal manometresinin çalışır durumda olduğunu kontrol et ( minimum ve maksimum gösterge değerlerini manometre sertifikasından kontrol et) [56]

### 8.1.1.5. Emniyet valfleri kontrolü:

- Buhar çıkış ve drenaj borularının normal olduğunu kontrol et.

- Yay ve kaldırma kolunun normal ve valfte herhangi bir toz birikintisi ya da pas oluşmadığını kontrol et.

- Valf koruma kapağının montaj edilmiş olduğunu kontrol et [56].

### 8.1.1.6. Kurum üfleyicilerin kontrolü:

- Kurum üfleyicilerin ve valflerinin normal ve çalışır durumda olduğunu kontrol et.

- Aktarma elemanları normal ve çalışır durumda olduğunu kontrol et.

- Basınç düşürme hattının normal olduğunu kontrol et.

- Drenaj ve kontrol sistemlerinin bağımsız ve iyi, otomatik drenaj fonksiyonun iyi olduğu kontrol edilmelidir.

- Dış kısımlarda bulunan dönen ekipmanların normal olduğunu kontrol et. Burada bulunan vanaların iyi sıkılmış ve motor bağlantılarının normal olduğunu kontrol et.

- Yatak yağı kalitesinin ve seviyesinin normal, ekipman üzerindeki ölçü aletlerinin normal ve çalışır durumda olduğunu kontrol et.

- Ekipmanlar üzerindeki yağ filtrelerinin, soğutucu ünitelerinin ve soğutma suyu bağlantılarının normal olduğunu kontrol et [56].

### 8.1.1.7. Doğal gaz sistemi kontrolü

- Kazana gelen doğal gaz boru hattının normal ve herhangi bir kaçağın olmadığını kontrol et.
- Hava vent vanalarının ve azot besleme vanasının iyice sıkılmış olduğunu kontrol et.
- Doğal gaz hattı kolektör basıncının 0.2 Mpa olduğunu ve gaz debisinin 11050 $Nm^3$/h. civarında olduğu kontrol et [56].

## 8.1.2. Kazanı ateşlemeden önceki temel hazırlıklar.

- ESP ısıtma sistemini ve çekiçleme sistemini devreye al.
- Motorlu ve kontrol valflerinin ve interlock koruma testlerinin bitirilmiş olması ve normal olması gerekir.; MFT ve interlockları devreye al.
- Nozzların hava direnç testi bitirilmiş, nozzle yüzeylerinin temiz ve her hangi tıkanıklığın olmaması gerekir.
- Enstrüman havası ve kül taşıma havası kompresörlerini devreye al, basınçları normal olduğunu kontrol et.
- Su tesviye bölümünün yeterli kapasitede deminarilize suya sahip olduğunu kontrol et.
- Doğal gaz hattının normal ve kömür bankerlerinde yanma için yeterli kömür bulunduğunu kontrol et.
- Deniz suyu pompalarını devreye al (yeterli soğutma yükünde).
- Personel tarafından çalıştırılacak yardımcı sistemlerin enerjilerin verilmesi gerekir.
- Ön hava ısılılarını fanlar devreye alınmadan önce devreye al ve sitemin çalışır ve gereksinimleri sağladığını kontrol et.

- Kazan alttan ısıtma sistemini gereksinimler doğrultusunda devreye al.
- Yetkili amir ile irtibata geç ve dogal gaz sistemini kazan ön gaz basıncını ayarlayacak şekilde devreye al.
- Değer takibi yapıp bunları kayda alan kişileri bilgilendir.
- Basınç ölçüm noktalarında ki, ölçüm cihazlarının havalandırmalarını yap ve gelen hava basıncının normal koşullarda olmasını sağla. Diğer basınç göstergelerinin havasını al ve normal çalışır durumda olduğunu kontrol et [56].

## 8.1.3. Kazan Devreye Alma Hazırlıkları

Kazan devreye alma prosedürü aşağıdaki gibidir.

### 8.1.3.1. Kazana su alınması.

Kazana su almak için bir takım hazırlıklar yapılması gerekmektedir. Bunun başında alınan suyun kazan için istenilen değerlerde olması gerekmektedir.

#### 8.1.3.1.1. Besleme suyu gereksinimleri:

- Besleme suyu deminarilize ve oksijenden arındırılmış olması gerekir. Besleme suyu sıcaklığı 20–70 °C arasında ve durum metal sıcaklığından düşük olmamalıdır.
- Besleme suyu zamanı yazın 2, kışın ise 4 saatten az olmamalıdır. (Kazanda su olmadığı zaman besleme suyu debisi yazın 80 ton/saat, kışın ise 35–45 ton/saat olmalıdır. Durum metal sıcaklığının çok düşük olduğu veya besleme suyu sıcaklığının yüksek olduğu hallerde, besleme suyu zamanı uzatılabilir.
- Besleme suyu kazana yavaşça beslenmelidir, durum üst ve alt metal sıcaklık farkı 40 °C fazla olmamalıdır ve besleme suyu ile durum metal sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı 40 °C den az olmalıdır [56].

#### 8.1.3.1.2. Su besleme sıralaması:

- Kazan alt drenaj valfleri, besleme hattı drenajları ve ekonomizer drenajlarının kapalı olduğunu kontrol et.
- Kazan hatlarındaki ventlerin açık olduğunu kontrol et.
- Türbin operatörü ile irtibata geç ve 1 tane besleme suyunu devreye al (minimum devirde).
- Besleme suyunu baypas hattından manüel olarak kontrol et.
- Ekonomizer hattı üzerindeki venten su göründü zaman venti kapat.
- Drum su seviyesi -100 mm ye ulaştığında besleme suyu valfini kapat ve ekonomizer geri dönüş valfini aç. Hattı kontrol et her hangi bir sızıntı ve kaçak varmı. Besleme suyu kesildikten sonra durum seviyesi sabit duracak, eğer seviye düşüyorsa hatları kontrol et ve kaçağı bul. Eğer su seviyesi yükseliyorsa bu besleme suyu valfinde kaçak olduğunu gösterir, valfin bakımının yapılması veya değiştirilmesi gerekir.
- Eğer kazanda su bulunuyorsa ve suyun kalitesi yetkili kimya mühendisi tarafından onaylanırsa su seviyesi istenen değere göre ayarlanır. Eğer su kalitesi istenilen değerlerde değilse kazan boşaltılıp yeniden su beslenir.
- Kazana su beslenmeden önce ve beslendikten sonra bütün genleşme noktalarındaki genleşme göstergelerinin gösterdiği değerleri kayıt edin.
- Refrakterlerin durumuna göre kazan alttan ısıtma sitemi devreye alınabilir [56].

### 8.1.3.2. Fanların Devreye Alınması.

#### 8.1.3.2.1. YB üfleçini devreye alınması

- İnterlock şartlarının sağlandığını kontrol et.
- Yatak soğutma suyu hattının, yağ seviyesi ve yağ kalitesinin normal olduğunu kontrol et.

- Yatak sıcaklılık ve titreşim göstergelerinin normal olduğunu kontrol et.
- YB üfleçlerini j valfe giren her branşmanın kontrol valflerini % 65 oranında aç, çıkış amperlerini aç, YB üfleyici ile birincil hava bypass hattı valflerini % 50 oranından fazla aç.
- YB üfleçlerini çalıştır.
- YB üfleçlerinin basınçlarını 45–55 kPa arasında ayarla ve branşmalara giden havaların normal seviyede olacak şekilde ayarla [56].

**8.1.3.2.2. ID Fan'ın Devreye Alınması.**

- İnterlock şartlarının sağlandığını kontrol et.
- Kontrol damperinin minimum pozisyonda olduğunu kontrol et.
- Giriş ve çıkış motorlu damperlerin kapalı pozisyonda olduğunu kontrol et.
- Fan yatak soğutma suyunun normal oluğunu kontrol et.
- Yatak yağı seviyesini ve yağ kalitesini kontrol et.
- IDF çalıştır, fan çıkış motorlu valfinin açıkladığını kontrol et, voltaj, titreşim, sıcaklık ve akım değerlerini kontrol et. Manüel olarak giriş kontrol damperini aç.
- Giriş kontrol valfinden basınç değerini -1.2 kPa seviyesinde olacak şekilde ayarla, fanın çalışması normal ve istenilen çalışma değerlerine ulaşıldığında otomatik moda alınabilir [56].

**8.1.3.2.3. İkincil Hava Fanın Çalıştırılması**

- İnterlock şartlarının sağlandığını kontrol et.
- Giriş kontrol valfi ve çıkış motorlu valfinin kapalı olduğunu kontrol et.
- Kömür beslemelerin sızdırmazlık havası hattı damperinin açıklığı % 25 olduğunu kontrol et.

- İkincil havanın kazana giriş hatlarındaki damperlerin açıklık pozisyonun istenilen değerde olduğunu kontrol et.
- Fan yatakları soğutma suyunun normal, yağ seviyesinin ve yağ kalitesinin normal olduğunu kontrol et.
- İkincil hava fanını çalıştır ve motorlu valfinin açıldığını kontrol et.
- Fan çalıştığında; voltaj, akım, sıcaklık ve titreşim değerlerinin normal olduğunu kontrol et.
- Kontrol valfini kullanarak hava debisini minimum düzeyde ayarla [56].

**8.1.3.2.4. Birincil Hava Fanın Çalıştırılması.**

- İnterlock şartlarının sağlandığını kontrol et
- Fan giriş kontrol damperinin minimum pozisyonda oluğunu ve çıkış damperinin kapalı pozisyonda olduğunu kontrol et.
- Yatak soğutma suyunu, yağ seviyesini ve yağ kalitesinin normal olduğunu kontrol et.
- Fanı çalıştır ve çıkış valfinin açıldığını kontrol et.
- Fan çalıştıktan sonra yakma havası giriş damperi ile iç yakıcı ateşleyicisi soğutma havası damper pozisyonlarını % 25 civarında ayarla.
- Fan kontrol valfini yavaşça aç, hava debisini minimum akışkanlaştırma hava debisi olacak şekilde ayarla.

Yukarıdaki çalıştırma metotlarına göre diğer baca gazı sistemlerini çalıştır, minimum akıllaştırma havası debisini 89000 $m^3$/saat (1.2 m/s); kazana giren toplam hava debisini % 25 ten fazla (% 40 ten fazla olmayacak) şekilde ayarlanıt [56].

#### 8.1.3.2.5. Detektör Soğutma Havası Üfleçlerinin Çalıştırılması:

- Herhangi bir üfleci DCS ekranından çalıştır. Üfleç çalıştığında kırmızı ışık yanar, durdurulduğunda yeşil ışık yanar.
- Üfleç çalışma yönünü, titreşim ve hava basıncının normal olduğunu kontrol et.
- Diğer üfleçleri bekleme (yedek pozisyonu) pozisyona al. Eğer herhangi bir sebepten dolayı fan devreden çıkarsa veya üfleç ile kazan arasındaki fark basınç değeri çok düşük olursa, yedekteki üfleç otomatik olarak devreye girer.
- Birincil hava debisi minimum akışkanlaştırma debisinin üstünde olacak, 1.2 m/s şekilde ayarlanır. Toplam hava miktarı % 25 ile % 40 arasında ayarlanır [56].

#### 8.1.3.2.6. Kömür Dağıtım Hava Fanının Çalıştırılması.

- İnterlock şartlarının sağlandığını kontrol et.
- Fan giriş kontrol damperinin kapalı olduğunu kontrol et; her branşmanın kontrol damperini % 25 oranında aç. Baypas valfinin ve çıkış damperinin kapalı olduğunu kontrol et.
- Yatak soğutma suyunu, yağ seviyesini ve yağ kalitesinin normal olduğunu kontrol et
- Fanı çalıştır ve çıkış damperinin açıldığını kontrol et.
- Yatak titreşim, sıcaklık değerlerini, voltaj ve akım değerlerini kontrol et.
- Fan normal olarak çalıştıktan sonra, giriş kontrol damperini yavaşça aç ve hava debisini 30000 $Nm^3$/saat. civarında ayarla.
- Bypass valfi kullanarak hava debisini istenilen değerde ayarlanabilir.
- Hava ön ısıtıcılarını devreye al, hava ısıtıcısı birincil ve ikincil hava sıcaklıklarını uygun değerlerde tut.

Note: Kazanın normal çalışması esnasında, eğer baca gazının hava ısıtıcısı çıkış sıcaklığı 120 $^{o}$C'nin altındaysa hava ön ısıtıcıları devreye alınmalıdır. Bütün hava ayar damperlerini otomatik konuma alınmalı. [56]

### 8.1.3.3. Yatak Malzemesinin Alınması:

- Kazana ve kül soğutucusuna yatak malzemesi al. Yatak malzemesi kaba kireç taşı veya kül olabilir, çapı 1.0 mm den küçük kum, çapı 3.0 mm den küçük elenmiş yatak malzemesi olabilir.
- Yatak malzemesi silosunda yeterli malzeme olduğunu kontrol et.
- Yatak malzemesinin fanlar çalışırken alınması daha iyi bir yöntemdir. Kazana ve j valfe yatak malzemesini besle, malzemenin kazan yüzeyinde düzgünce dağılmasını sağla.
- Yatak içi basıncı 4560 Pa'la ulaştığında malzeme beslemesini durdur. Eğer yatak malzemesi kum ise malzeme statik yüksekliği yaklaşık 380 mm'dir.

Not: Fanların çalıştıktan sonra, eğer yatak içi basıncı çok düşükse, malzeme eklenmesine devam edilebilir veya yatak malzemesi yatağa manüel olarak alınır [56].

## 8.1.4. Kazanın Soğuk Devreye Alınması

### 8.1.4.1. Soğuk devreye alma.

- Her soğuk devreye almadan önce veya besleyiciler devreden çıktığı zaman (ortalama yatak sıcaklığı 650 °C'nin altında ) ve herhangi bir ateşleyici çalışmıyor ise, kazan havalandırılmalıdır
- Yatak sıcaklığı 650 °C'nin üstünde olduğu zaman, kazan koruma lociği tarafından pörç edilmelidir.
- Pörç işlemi kazan içi ve baca gazı hattının temizlenmesi için yapılır, birikmiş gazları dışarıya atacak kapasitede hava debisinin olmasına dikkat edilmelidir [56].

#### 8.1.4.1.1. Pörç şartları :( MFT den 15 dakika sonra )

- En az iki YB üfleç çalışıyor ve hava basıncı 45 kPa'nın üzerinde
- En az 1 adet IDF fan çalışıyor ve damperler açık pozisyonda.
- En az 1 adet ikincil hava fanı çalışıyor ve damperler açık pozisyonda.
- En az 1 adet birincil hava fanı çalışıyor ve damperler açık pozisyonda. ve hava debisi 89200 $Nm^3$/saat den büyük.
- En az 1 adet kömür dağıtım havası çalışıyor veya baypas valf açık.
- Toplam hava debisi % 25 den büyük % 40 den küçük.
- Bütün doğal gaz pnömatik valfleri kapalı ve vent valfleri açık.
- Kazan acil durum butonu aktif değil.
- Bütün kömür besleyicileri devre dışı.
- Bütün kireç beslemeleri devre dışı.
- Herhangi bir sıcak devreye alma şartı yok.
- Bütün ikincil hava damperleri kapalı değil.
- Her hangi bir MFT, OFT şartı yok [56].

#### 8.1.4.1.2. Bütün pörç şartları sağlandıktan sonra

- Sistem otomatik olarak kendini pörç pozisyonuna getirecek ve ekranda pörç hazır olduğuna dair ışık yanacaktır. Pörç düğmesine basarak pörç işlemini başlat; pörç süresi 5 dakikadır. (pörç işlemi esnasında durdurma düğmesine basıldığında veya işlemi durduracak her hangi bir şart oluştuğunda sistem orijinal pozisyonunda geri döner ve şartlar yeniden sağlanınca zamanlamayı tekrar başlatır.) pörç işlemi bittikten sonra, MFT normal konumuna döner ve aşağıdaki işlemler takip edilir.

- Bütün ikincil hava ayar damperleri minimum açıklıkta ve yeterli hava debisinde olacak şekilde ayarla
- Birincil hava debisini minimum akışkanlaştırma debisi 89200 $Nm^3$/saat (1.2 m/s) olacak şekilde ayarla
- İç yakıcı ateşleyici hava damperleri ve kazan akışkanlaştırma havası damperleri normal pozisyonlarında ve yeterli yanma havası ayarlarını yap.
- Ara kızdırıcı tarafı baca gazı damperlerini kapat ve ana kızdırıcılar tarafı damperleri aç [56].

### 8.1.4.2. Ateşleyicilerin Ateşlenmesi.

- Detektör soğutma havasını ayarla; ateşleme hava fanını çalıştır, uygun havayı ayarla. Kazan önü gaz basıncını 0.2 Mpa'la ayarla, iç yakıcı hattı kolektörünün gaz basıncını 12.5–24.5 kPa aralığında ayarla. Üst yatak yakıcı hattı kolektörünün gaz basıncını 9.5~20.5 kPa aralığında ayarla.
- İlk iç yakıcı ateşlicisini yak, yanma normal olduğu zaman diğer iç yakıcı ateşleyicide yak.
- İç yakıcılar ateşlericeler normal yandığında sırasıyla ana ateşleyicileri yak. Ana ateşli yelerin yanması normal olduğunda tetikleme ateşleyicilerini sırasıyla durdur.
- Birincil hava minimum akışkanlaştırma havasından az değilse, iç yakıcı ana ateşleyicisine giden havayı minimum yanma olacak şekilde ayarla.
- Kazan ateşlendiği zaman, iç yakıcı dağıtım havasını ayarla.
- Bütün sıcak birincil hava damperleri kapalı
- İç yakıcı yakma havasını yavaşça aç.

- Toplam birincil hava debisi yaklaşık 80000 $Nm^3$/saat.

- Yanma esnasında eğer iç yakıcılara giden hava debisi çok az ise ve yakma kolay olmuyorsa havayı anlık olarak 1500-2000 $m^3$/saat civarında ayarlayabiliriz.

- Yanma ateşleyicisi ateşlendikten sonra, yakma havası ve gaz ayarlanarak sabit bir yanma sağlanır.

- Yarım saat sonra diğer iç yakıcı aynı yöntemle ateşlenir.

Not: Pörç işlemi tamamlandıktan sonra, soğuk devreye alma işlemi başlatılır (soğuk devreye alma düğmesi ile ) 10 dakika içinde stabil bir yanma sağlanamazsa MFT olur [56].

- Ateşleyicilerin yanmasını ve oksijen değişimini gözlemleyin. Sıcaklık artımı ve gaz basıncı eğrilerine göre, hava debisini artırarak stabil yanma sağlayın. Her iki iç yakıcılarının yanma oranları aynı olmalıdır.

- Sıcaklık artımı ve hava debisine göre iç yakıcı yakıcıların gücünü ayarla, yatak sıcaklık artım oranı 60–80 °C/saat civarında, ateşleyici baca gazı sıcaklığını 980 °C ve hava kanalı sıcaklığını 870 °C'nin altında olacak şekilde ayarla ve drum metal sıcaklık değişiminin <56 °C/saat, ara kızdırıcı ve kızdırıcı metal sıcaklıklarının malzeme yapısına zarar verecek sıcaklıklarda olmamasına dikkat edilmelidir.

- Yanmadan sonra, YB ve DB baypaslar sırasıyla devreye al. Baypas valfini buhar basıncı artışına göre yavaşça aç, durum basıncı 0.068~0.103 MPa

- Şu vent valfleri kapat: durum çıkışı hava ventleri; orta buhar paneli üst kolektörü venteleri; K2 giriş ve çıkış kolektörleri venleri; AK2 giriş kolektörü venti; K3 çıkış kolektörü vent valfi

- Su drenaj valfleri kapat: ön, orta ve arka buhar paneli alt kolektörü drenajları; sağ ve sol buhar paneli alt kolektörü drenaj valfleri; K2 orta kolektörü drenaj

valfi; K3 giriş kolektörü drenaj valfi; AK2 giriş kolektörü drenaj valfi; AK1 giriş kolektörü drenaj valfi.

- Drum basıncı yükselmeye başladığı zaman, kazan suyu silikat konsantrasyonuna dikkat edin. Yetkili kimya mühendisinin tavsiyeleri doğrultusunda, daimi blöf hattını devreye al ve periodik blöfleri normal pozisyonlarına al, ihtiyaç doğrultusunda periyodik blöf yap.

- Yatak içi basıncı 2.0 Kpa'nın üzerine çıkmayana kadar, her bir iç yakıcı ateşleyici yükü % 30 dan fazla olmayacak; yatak basıncı durumuna göre kazana yatak malzemesi alınabilir.

- Yatak malzemesini ısıtın, ve durum basıncını stabil yapın. Yatak sıcaklığı artma miktarının 85 °C/saat üzerinde olmamasını kontrol edin. Bunun için ateşleyilerde gerekli ayarlamayı yapın [56].

**8.1.4.2.1. Kazan basınçlandıktan sonra aşadaki işlemleri yapın.**

- Drum basıncı 0.2 MPa'a ulaştığında, bütün buhar buhatları üzeri vent valflerini kapat. Ara kızdırıcı tarafı baca gazı damperlerini kapat (ara kızdırıcı tarafı baca gazı sıcaklığı 650 °C'nin üstünde olmayacak).

- Drum basıncı 0.3~0.4 MPa'a ulaştığında, durum renkli seviye göstergesini drain edin. Drum alt kollektörü, kazan alt kolektörleri ve periyodik blöf hatlarını bir kez drenaj edin.

- Drum basıncı 0.5 MPa'ya ulaşmadan, giriş kapaklarında her hangi bir bakım çalışması var ise, hatların basınçlandığı hakkında gerekli bütün birimleri uyarın.

- Buhar debisi % 10 MSK üstünde olduğu zaman, bütün drenaj hatları çalışma pozisyonunda olacak şekilde kapatın.

- Buhar sıcaklıkları durumuna göre püskürtme sularını devreye al.

- Drum seviyesi konumuna göre, türbin ile irtibata geç ve besleme suyu pompasını çalıştırın ve baypas hattından su beslemesini yapın.
- Drum basıncı aşağıdaki değerlere geldiği zaman, yetkili amire haber verin ve türbin ile irtibata geç; türbini devreye alın, yıkama ve sirkülasyon işlemini yapın.
- Kızgın buhar basıncı: 1.5~2.0 MPa
- Ana kızdırıcı sıcaklığı: 250~280 °C
- Ara kızdırıcı sıcaklığı 120 °C'nin üzerinde.
- Yapılan buhar numuneleri kabul edilebilir durumda.
- Herhangi bir ekipmanda ciddi bir problem yok, kazan çalışması normal, yanma stabil ve durum seviyesi normal.
- Türbine yük aldıktan ve döndükten sonra, YB ve DB baypasları sırayla kapat ve kazan parametrelerinin normal olduğunu kontrol et, gerekli ayarlamaları yap.
- Kazanın yanması ve buhar basıncına göre üst yatak ateşleyicileri sırasıyla devreye al.
- ESP ile irtibata geç; gerekli ekipmaları devreye al ( akışkanlaştırma üfleçleri, ısıtıcılar ve hatların temizlenmesi ve siloların havalandırılması) [56].

## 8.1.4.3. Kömür besleme:

### 8.1.4.3.1. Kömür besleme şartları:

- Ortalama yatak sıcaklığı 650 °C
- Kazan ana interlock şartları normal.
- MFT şartı yok.
- Kömür dağıtım havası normal [56].

### 8.1.4.3.2. Kömür beslemeden önce yapılması gereken gözlemler.

- Bankerlerde yeteri kadar kömür olduğunu teyit edin.
- Kömür besleyicilerin giriş ve çıkış motorlu valflerinin çalışır durumda oluğunu kontrol et.
- Kömür besleyicilerde her hangi bir yabancı malzemenin olmadığını, motor ve yatak sıcaklıklarının normal ve yağ seviyelerinin normal olduğunu kontrol edin.
- Kömür besleyici alt valflerini aç.
- Besleme yalıtım havası damperini aç; hava debisini 5000 $Nm^3$/saat civarında ayarla ve dağıtım havası debisini 30000 $Nm^3$/saat civarında ayarla.
- Besleyici temizleme motoru ve hız düşürücü normal.
- Kömür bankeri hidrolikli titreşim ekipmanlarını çalıştır [56].

### 8.1.4.3.3. Kömür besleme:

- Bir adet kömür besleyiciyi çalıştır; besleme oranı kazan çalışma miktarının % 15 i yaklaşık 10 ton/saat olacak şekilde ayarla. 1 dakika çalıştıktan sonra besleyiciyi durdur. Yatak sıcaklığı değişimini gözlemle. Yatak sıcaklığının başlangıçta azaldığını, hemen sonrada artığını göreceksiniz ve aynı şekilde oksijen oranın başlangıçta değişmediğini fakat hemen akıbetinde oranda yüzde

1,2 düşme olacaktır. Aynı işlem üç defa tekrarlandıktan sonra başarılı bir yanma sağlanır. Yatak sıcaklığı artışının sürekli olarak 4–7 derece arasında olmasını sağlayın ve oksijen miktarının düşüşünü gözlemleyin. Refrakter sıcaklık grafiğine göre düzenli kömür beslemesine devam edin.

- Refrakter durumuna göre, yukarıdaki yöntemle diğer bir beslemeyi çalıştırın ( normal çalışmada besleyiciler her iki taraftan simetrik olarak çalıştırılır ve beslenen kömür miktarları dengelenir, eğer dengeleme olmaz ise sistem 30 saniye içinde alarm verir ve operatör bu esnada dengelemeyi sağlamak için elinden gelen çabayı göstermelidir). Yatak sıcaklığı ile oksijen seviyesi arasında iyi bir ilişki yakalandıktan sonra sistem normal operasyonda çalıştırılır.

- Kömür besleme miktarı arttığı zaman, oksijen seviyesi düşer ve birincil hava debisi artırılır ve minimum akışkanlaştırma hava debisine ulaşır. Uygun toplam havayı sağlamak için ikincil hava ayarlanır. Yanma stabil bir hale geldiği zaman üst yatak ateşleyici gücü yavaşça azaltılarak, ateşleyiciler durdurulur.

- İç yatak ana ateşleyici gücünü düşür. Ortalama yatak sıcaklığı 830 °C'ye geldiği zaman iç yakıcı ateşleyicileri durdur. Oksijen yüzdesini % 3.5~6.5. civarında tut.

- Kömür besleme miktarını arttır ve buna orantılı olarak yakma havası miktarını da arttır. Aynı zamanda ana iç yakıcı ateşleyicileri yükünü yavaşça azaltrak, ateşleyici sıcaklığı 540 °C'ye düştüğü zaman 15 dakika arayla ateşleyicileri durdurun. Ateşleyicilerin durdurulması esnasında toplama birincil hava debisi sabit kalır.

- Yatak basıncına göre, yatak külü taşıma sistemini ve kül soğutucu üfleçlerini devreye al.

- İşletme sorumlusunu bilgilendirin ve ESP birimiyle irtibata geçip, ESP ünitesini devreye alın.

- Eğer dizayn kömürü kullanılıyorsa ateşleyiciler durduktan sonra kömür besleme miktarı 4~6 ton/saat oranına artırılabilir.

- Ateşleyiciler durduktan sonra primer havanın kazana giriş damper açıklığı yavaş yavaş arttırılır, fakat aynı zamanda ateşleyici bölgesindeki refrakter bölgelerin durumu göz önünde bulundurularak yeterli soğutma sağlandıktan sonra, amper uygun şekilde ayarlanır. Yakma havası fanını durdur [56].

### 8.1.5. Kazan Sıcaklık ve Basıncını Çalışma Şartlarına Getirme

- Sıcaklık, basınç ve yük durumuna göre yanma kapasitesi arttırılır.

- Ünite yükü 30 MW'a ulaştığı zaman, besleme suyu yükü baypas hattından alınarak besleme suyu ana hattına aktarılır. Drum seviyesi değişimlerine göre besleme suyu debisi ayarlanır.

- Kireç besleme sistemini devreye al. Yük ve yanma durumuna göre $SO_2$, konsantrasyonu gözlemleyin ve kireç besleme miktarını buna göre ayarlayın

- Ünite yükü 80 MW'a geldiği zaman, bütün kazan sistemlerini otomatiğe al.

- Ünite yükü tam yüke çıktığı zaman, local durum seviyesini ve bütün kazan ekipmanlarını kontrol edin ve işler bitirildiğinde ve her şey normal ise işletme sorumlusunu bilgilendir [56].

## 8.1.6. Kazanı Sıcak Ve Ekstra Sıcak Devreye Alma

### 8.1.6.1. Sıcak Devreye Alma

- Sıcak devreye alma; ortalama yatak sıcaklığı 650 °C'nin altında ve kömür besleme yapılamayan şartlarda olur
- Pörç işlemi yatak sıcaklığının düşmesine mahal vermeyecek şekilde en kısa zaman içinde yapılmalıdır.
- Pörç işlemi bittikten hemen sonra, yatak sıcaklığını yükseltmek için 6 adet üst yakıcı ateşleyici en kısa zaman içinde devreye alınır. Eğer yatak sıcaklığı hala düşmeye devam ediyorsa iki adet ana iç yakıcı ateşleyicicide devreye alın.
- Kömür besleme şartları yatak sıcaklığının artmasıyla sağlandığında, soğuk devreye almada ki gibi kömür beslemeye başlanır [56].

### 8.1.6.2. Ekstra Sıcak Devreye Alma:

- Ekstra sıcak devreye alma yatak sıcaklığının 650 °C'nin üstünde olduğu ve kömür beslemenin yapılabildiği haldir.
- Sırasıyla YB üfleçlerini, ID fan, ikincil ve birincil hava fanlarını devreye al.
- Yatak malzemesi akışkan hale geldiği zaman, kömür dağıtım hava fanını devreye al ve debisini ayarla.
- Fanlar çalıştıktan sonra, eğer ortalama yatak sıcaklığı hala kömür besleme sıcaklığının üstünde ise, direk kömür beslemesi yapılabilir. Kömür besleme oranı yavaş yavaş artırılarak istenilen yük değerine çıkarılır. Burada pörç işlemi yapmaya gerek yoktur. (Eğer gerekli olursa yanmayı desteklemek amacıyla üst yatak ateşleyiciler devreye alınabilir.)
- Yaklaşık yarım saat içinde kazan tam yüke çıkabilir [56].

### 8.1.6.3. Sıcak Devreye Alma Şartları:

- MFT şartı yok
- Bütün kömür besleyiciler durmuş vaziyette.
- Gaz hattı vent valfleri açık
- Ortalama yatak sıcaklığı 650 °C'nin üzerinde.
- Birincil hava debisi 89200 $Nm^3$/saat'nin üzerinde.
- Kömür dağıtım havası debisi minimumun üzerinde [56].

### 8.1.6.4. Sıcak ve Ekstra Sıcak Devreye Almada Dikkat Edilmesi Gerekenler:

- Eğer yapılan kömür besleme fazla olursa yatak sıcaklığı ani bir şekilde yükselecek ve oksijen seviyesi buna bağlı olarak hızlı bir şekilde düşecektir. Böyle bir oluştuğu zaman kömür besleme durdurulmalı, stabil yanma akışkanlaşma şartları sağlanana kadar beklenmelidir. Yatak sıcaklığının ani yükseldiği ve 950 °C'yi bulması halinde yakma havası miktarı düşürülmelidir. Eğer oksijen seviyesi ve yatak sıcaklığı stabil bir yanmanın olmağını gösteriyorsa, birincil hava damperi yanmayı oksijensiz bırakmak için kapatılmalıdır.
- Sıcak devreye alma esnasında eğer beslenen kömür 5 dakika içinde yanmazsa, sıcak devreye alma işlemi başarısız olmuştur, kömür besleme durdurulmalı ve pörç işlemi yapılmalıdır. Daha sonra üst yatak ateşleyiciler devreye alınmalıdır. Uygun şartlar sağlandığında kömür beslemesi tekrar yapılmalıdır [56].

### 8.1.7.Kazan Devreye Alınırken Dikkat Edilmesi Gereken Uyarılar.

- Baca gazı içi oksijen göstergesi çalışmaksızın kazan devreye alınmamalıdır.
- Yanmanın ilk başlama zamanlarında, su sirkülasyonun olması için alt kolektör drenajlarının uygun şekilde ayarlanmış olması gerekir.
- 1 Adet birincil hava fanı devreye alındığı zaman, yatak malzemesini iyi akışkanlaşması için birincil hava hızı minimum 1.2 m/s olmalıdır.
- Ana iç yakıcı ateşleyiciler devreye alındığı zaman, yatak iki taraf sıcaklığı birbirine yakın olmalıdır. Ateşleyici kanal sıcaklığı 1500 ˚C'nin altında ve sıcaklık farkları 30 °C'nin altında olmalıdır.
- Kazanın devreye alınması esnasında, gaz hattı basıncı, debisi ve ateşleyencilerin yanma durumu sıkıca takip edilmelidir. Hava ısıtıcısı baca gazı çıkış sıcaklığı, ikinci bir yanmanın o bölgede oluşmaması için iyi gözlemlenmelidir. Eğer hava ısıtıcısı baca gazı sıcaklığı artıyorsa eş zamanlı olarak kurum üfleyicileri devreye alın.
- Kazana su alınmadan ve alındıktan sonra, sıcaklık ve basın yükseltilmesi çok hızlı olmamalıdır. Genelde 2.24 °C'den fazla olmamalıdır. Basın dalgalanmalarının yüksek olmaması için sıcaklık eğrisine uyulması gerekir. Bütün genleşme noktaları dikkatlice gözlemlenmelidir, eğer genleşme miktarı çok fazla ise besleme durdurulabilir.
- Durum seviye göstergesi otomatik konumdayken büyük değişimler gösterirse, sistem manüel konuma alınabilir.
- Kazana su alınmadan önce ekonomizer sirkülasyon valf açılmalıdır. Kazana su alınması sürekli olduğu zaman bu valf sıkıca kapatılmalıdır.
- Yanma esnasındaki değişimler sıkıca takip edilmelidir. Buhar sıcaklığı ve baca gazı sıcaklığı ani yükselirse, basınç arta oranı düşürülür. Eğer gerekliyse bazı besleyiciler geçici olarak durdurulabilir. Ana ve ara kızdırıcıların metal

sıcaklıkları sıkıca takip edilmelidir, metal sıcaklığının çalışma değerlerinden yüksek olmamasına dikkat edilmelidir.

- Türbin devreye almadan önce gerekli sıcaklık ayarlamaları yapın. Mümkün olduğunca püskürtme sularını kullanmayın veya hiç kullanmayın. Türbin dönmeye başladıktan sonra kızgın buhar sıcaklığı 50 °C'nin üstündedir.

- Ana ve ara buhar kızdırıcıları metal sıcaklıklarını gözlemleyin. K1 çıkışı ortam sıcaklığı 443 °C, K2 çıkışı ortam sıcaklığı 536 °C ; K3 çıkışı ortam sıcaklığı 573 °C ; AK2 çıkış ortam sıcaklığı 580 °C （giriş 650 °C）.

- Üst yatak ve iç yakıcı ateşleyiciler durdurulduktan sonra, yarım saat süresince az oranda soğutma havası açık olmalıdır. Detektör havası fanı durdurulur.

- Türbin devreye alındıktan sonra, ana ve ara kızdırıcı buhar sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı ayarlanmalıdır.

- Her zaman durum üst ve alt metal sıcaklık farkı 40 °C'nin altında olmalıdır.

- Yatak basıncı değeri 2.3 Kpa'nin altında olmamalıdır.

- Basınç yükseltme işleminde yetkili kimya mühendisi denetiminde silikat oranı gözlemlenmelidir, ihtiyaca göre daimi blöf hattını açın. Eğer silikat oranı yüksek değerlerde ise basınçlandırma işlemini durdurun ve priodik blöf yapılan noktaların sayısını artırıp yıkama yapın. Eğer gerekliyse buhar basıncı düşürülebilir. Silikat oranı gerekli değerleri sağlayana kadar basınçlandırma yapılmamalıdır.

- Kazan buhar debisi 440 ton/saat. üzerinde olamaz.

- Ünite çalışma yükündeyken, çalışma değerleri 135 MW yükü değerlerine yakın olmalıdır, üstünde olmamalıdır.

- Ünite tam yükteyken önemli parametrelerin değişim oranları:

- Durum metal sıcaklığı 50 °C /saat tin üstünde olmadığında, sıcaklık değişim oranı ilk başlarda küçük, daha sonraki uygun yüklerde hızlı olabilir.
- Doymuş buhar sıcaklığı oranı < 2 °C /dak. ;
- Ortalama yatak sıcaklığı değisim oranı ≤60~80 °C /saat
- Siklon sıcaklığı değişim oranı ≤70 °C /saat ;
- Kızgın buhar değişimi oranı 0.5~1.5 °C /dak. ;
- Durum basıncı ≤5 MPa nın altında olduğunda, kızgın buhar basıncı artışı oranı 0.02~0.05 MPa/dak olmalıdır.(Özellikle 0.1～0.5MPa değerlerinde, cok hızlı basınç artışına olanak verilmemelidir.
- Durum basıncı 5 MPa'nin üstündeyse, kızgın buhar basıncı artış oranı 0.05~0.10 MPa/dak. ; olmalıdır.
- Kızgın buhar basınç değişim oranı 0.02~0.05 MPa/dak aralığındadır.
- Normal çalışma esnasında herhangi bir giriş kapağı yabancı kişilerce açılmamalıdır [56].

Tablo 8.1. Türbin soğuk devreye alma parametreleri [56]

| Yük (MW) | Zaman (Dakika) | Buhar Sıcaklığı (ºC) | Sıcaklık Artışı (ºC) | Buhar Basıncı (Bar) | Basınç Değişim Oranı (Bar/Dakika) |
|---|---|---|---|---|---|
| Tan hız -paralel | 20 | 260~280 | 1.0 | 15 | |
| 0~10 | 60 | 280~350 | 1.2 | 15~25 | 0.2 |
| 10~20 | 60 | 350~400 | 0.8 | 25~35 | 0.2 |
| 20~30 | 30 | 400~430 | 1.0 | 35~40 | 0.2 |
| 30~40 | 30 | 430~450 | 0.7 | 40~45 | 0.2 |
| 40~50 | 20 | 450~470 | 1.0 | 45~55 | 0.5 |
| 50~135 | 60 | 470~535 | 1.1 | 55~137 | 0.8 |

# 8.2. TÜRBİNİN DEVREYE ALINMASI

## 8.2.1. 1. Ünitenin Devreye Alma Prensipleri

Çalışma planı diyagramdaki gibidir.

Tablo 8.1. Çalışma planı diyagramı [57]

| YB alt sabit kanat taşıyıcısı iç duvar sıcaklığı ºC | Çalışma hali | Tam hıza ulaşma zamanı (dak.) | Eşzamanlaşmadan yaklaşık tam yüke ulaşma zamanı (dak) |
|---|---|---|---|
| <200 | Soğuk durum | 90 | 130 |
| 200~320 | Ilık durum | 50 | 80 |
| 320~450 | Sıcak durum | 10 | 20 |
| >450 | Aşırı sıcak | 10 | 20 |

Eğer aşağıdaki şartlardan biri mevcutsa, buhar türbininin çalışmasına ve dönmesine izin verilmez:

- DEH sisteminde aşağıdaki anormal durumdan birinin ortaya çıkması:
- EH tank seviyesi 295 mm altında
- EH sıcaklığı 21 °C'nin altında
- EH yağ basıncı 11,03 MPa'dan düşük
- Membran (diyafram) valfi, OPC selenoid valfı ve AST selenoid valfı tamamen kapanmayabilir.
- Servo valflerin herhangi birisinin hatalı olması
- 2 akümülatör devreye alınamıyorsa
- DEH sistemi otomatik moda döndürülemiyorsa
- Türbin güvenlik yağı basıncı 1.0 MPa'dan düşüktür.

- Reglaj valfi anormal olarak hareket ediyorsa, ana kesme valfi ve tekrar kızdırılmış buharın ana kesici valfinin emişinin çek valfi blokedir veya tam olarak kapatılmamıştır
- Ünitede çeşitli sürtünme sesinin olması
- Soğuk halde rotor egzantriklik değerinin 0.03 mm'den yüksek olması
- Yağlama pompası, çalıştırma (başlangıç) pompası, kaldırma yağ sistemi ve döndürme dişlisinin anormal olması
- Türbin yağı ve EH yağının kalitesizleşmesi
- Buhar türbini ısıl izolasyonun esikliği
- Ana parametrelerin (eksensel yer değiştirme, genleşme farkı, dönme oranı, ana metal sıcaklığı ve ana buhar parametreleri) göstergesinde arıza olması
- YB, OB silindirinin alt ve üst sıcaklık farkı 50 °C'den fazla
- Ana korumaların arızası [57]

## 8.2.2. Ünitenin Devreye Alınması

### 8.2.2.1. Çalıştırılmadan Önce Kontrol Edilecek:

- Tüm tamir işlerinin bittiğinden, tüm çalışma notlarının alındığından emin olunmalı ve ayrıntılı tamir notları olmalı
- Güvenlik tedbirleri kaldırıldığında, alanın temizliği, yolların temiz ve ışıklandırmanın tamam olduğundan emin olunmalı
- Çalışan ekipman ve enstrüman kontrolü yapılır, tüm kayıtların hazır olduğundan emin olunur.

- Tüm ünitelerin güç ekipmanlarının izolasyonu, buhar hattı izolasyonunun tam olduğundan emin olunur. Güç sinyallerinin dağıtıldığı ve normal olduğundan emin olunur.
- Sinyal sisteminin normal olduğu, kayıt enstrümanların ve tüm dokümanların girdilerini tam olduğundan emin olunmalı.
- DEH, ETS, DCS işlerinin düzeninden emin olunmalı. CRT, monitörden görüntü sağlanmalı. Alarm ve ekipman ölçümleri sağlanmalı.
- Yeterli demineralize suyun hazır olduğu onaylanmalı
- İnterlock koruma testi ve çalışmadan önceki test tamamlanmalı.
- Tüm yardımcı sistemlerin dönen parçalarının rahatça dönebilmeli. Yatak yağı, soğutma suyu ve sızdırmazlık su sistemi normal olmalı.
- Tüm akış ve yağ göstergelerini hazır durumda olmalı.
- Buhar türbini yağ tank seviyeleri normaldir. Yağ sirkülasyonu normal ve yağ uygun olmalı.
- Vakum sisteminin ıslaklık testi ve sıkılık testi uygundur.(kondenser ile alakalı)
- Dönen ekipmanların devreye alınması uygun olmalı.
- İlgili ekipman sisteminin yıkama işlemi bitmiş olmalı.
- Ana sistem çalışma testleri tamamlanmış olmalı.
- Tüm sistemin valflerinin yerleşimi kontrol edilmeli.
- Devreye alma öncesi test yapılmalı.

Elektrik ve kontrol sinyali ve alarm testlerinin normal olduğundan emin olunur.

na yapının koruma testi normal olmalı.

**Soğuk Halde Ünitenin Değişebilir Parametrelerle Devreye Alınması Ünitenin ve Ekipmanlarının Alt Sistemlerinin Devreye Alınması**

- Çevrim suyu sisteminin çalıştırılır. (deniz suyu)
- Yardımcı buhar sistemi normal halde çalıştırılır. (kazan çalıştırılır)
- Hava kompresor sistemi çalıştırılır.
- Kondensat sistemi çalıştırılır, yeniden çevrim kullanılarak sistem basıncı kontrol edilir.
- Açık ve kapalı soğutma suyu çevrimi sistemi çalıştırılır.
- Kazan ihtiyacına göre kül soğutma su sistemini çalıştırılır.
- Su besleme ve oksijen giderme sistemi çalıştırılır. Dearatöre su gönderilir ve ısıtılır.
- Yağ testi uygun olana kadar, buhar türbini AC yağlama pompası çalıştırılır. Yağ basıncının normal olduğundan emin olmak için, yağ sıcaklığı 35 °C'den fazla olmalı. Gaz atma fanı çalıştırılır. Emiş basıncı 196–245 Pa olmalıdır. EH yağ sistemi çalıştırılır. EH yağ basıncı kontrol edilir ve EH yağ sıcaklığının normal olduğundan ve yağın uygun olduğundan emin olunur. Jacking (yatak kaldırma) yağ pompası çalıştırılır ve döndürme dişlisi işletmeye alınır. Buhar türbini çalıştırılmadan en az 2–4 saat önce dönüş sistemi devreye alınmalıdır.
- Jeneratör hava soğutma sistemi devreye alınmalıdır.
- Kazan çalıştırıldıktan sonra, vakum pompası çalıştırılır ve kondenser vakumlanır.
- Yardımcı buhar ve ısıtma sistemi devreye alınır. Basınç 0,6~0,7 MPa' da, sıcaklık 200~250 °C'de tutulur. Sonra drenaj yapılır, şaft sızdırmazlık buhar kanalları ısıtılır. Buhar kalitesi ve vakum durumuna göre türbin sızdırmazlık buharı kullanılır. Ana kanallardaki buhar basıncı 0,101~0,127 MPa ve sıcaklık

125 °C'den fazla olmalıdır. Tüm drenaj valfleri kapatılır. Tüm açık kanallar ve drenajlar kontrol edilir.

- I, II nolu baypasların ısıtılmasından sonra, kazan ihtiyacına göre baypas sistemi devreye alınır. II ve I sırayla devreye alınır ve sonra püskürtme baypas açıklığı ayarlanır. Duruma göre püskürtmeler devreye alınıp alınmayacağına karar verilir. II nolu baypasın tam açıklığı mümkün olduğu kadar korunur. RSV valfi öncesi basınçtan kaçınılır. Baypas devreye alındığı zaman, püskürtme suyu basıncına müsaade edilip edilmediğine dikkat edilir.

- Kazan su seviyesine göre besleme pompası çalıştırılır. Kondenser parametrelerine, dearatör su seviyesi ve basıncına dikkat edilir. Isıtma hızı ve kaldırma basıncı, kazan soğuk çalışma şartlarına göre yürütülmelidir.

- Ana basınç 0,196 MPa'da olmalıdır. MSV önündeki drenaj valfinin çalışma pozisyonunda olduğundan emin olunmalı ve kontrol edilmelidir. Silindir metal sıcaklık davranışlarına dikkat edilir. Ana valflerin sızdırmazlıklarına dikkat edilir. Tüm drenaj kanalları kontrol edilir. Geçişlerin temiz olduğundan emin olunur. Buhar türbini içine girişlerden soğuk su ve soğuk buhar girişi engellenir. Buhar basıncı 1,6 MPa'a yükseltilir. Ana buhar sıcaklığı 360 °C olmalıdır. Tekrar kızdırılmış buharın sıcaklığı 300 °C olmalı. Ana ve tekrar kızdırılmış buhar sıcaklık farkı 17 °C'den az olmalı. Buhar kalitesi uygun olmalı. Kazan tüm parçaları normal olmalı ve buhar türbinin hazır olduğu bildirilmelidir. Buhar türbini döndürmeden önce kontrol edilmelidir. Buhar türbini izolasyonu kontrol edilir. ETS sisteminin normalliği kontrol edilir. DEH kontrol edilir ve yeterli şartları sağladığı not edilir.

- Ana valflerin kapalı olduğundan emin olunur.

- Döndürme dişlisi lambası (pilot) yanıyor olmalı. Devir oranı 7~8 d/d'yı göstermeli.

- "Otomatik/ manüel anahtar düğmesi " otomatik pozisyonda olmalıdır.

- Aşırı hız koruma düğmesi işletme pozisyonunda olmalı.
- Valflerin tek bir valf gibi hareket ettiren düğme yanıyor olmalı [57].

### 8.2.2.2. Türbin dönüşünün hazırlanması ve şartları

- Soğuk pozisyonda buhar türbini döndürme kuvveti buhar parametreleri: Ana buhar basıncı 1,6~1,7 MPa, Ana buhar sıcaklığı 360 ºC olmalı, tekrar kızdırılmış buhar sıcaklığı 300 ºC'den fazla olmalı (ana buhar ve tekrar kızdırılmış buharı ilgili basınç altında 50 ºC'den fazla kızdırma sıcaklığına sahip olmalıdır.

Kondenser vakumu -60,325 kPa'dan fazla olmalı (çok fazla olmalı). Eğer buhar türbini döndürme dişlisi pozisyonundaysa gösterge ışığı yanar. Döndürme dişlisi düzenli elektrik akımı sağlaması için, en az 4 saat boyunca çalışmalıdır. Ünite yağı kontrol edilmeli ve sıcaklığı 35~45 ºC olmalı, yağlama yağı basıncı 0,14 MPa civarında olmalı, hız regülatör yağı basıncı 1,17 MPa civarında olmalıdır. EH yağı sıcaklığı ve yağ basıncı kontrol edilir. Güvenlik yağı 1,1 MPa dan fazla olmalı. OPC ve AST basıncı EH yağı basıncına yaklaşmalı.

Şaftın denge değeri kontrol edilmeli ve <0,076 mm olmalı, 0.03 mm orijinal değerinden az olacağı gibi.

Buhar türbinin diferansiyel genleşmesi kontrol edilir ve normalliğinden emin olunur.

Buhar türbini alt ve üst silindir sıcaklık farkı kontrol edilir ve < 50 ºC olmalı.

Pnömatik kontrol için hava basıncı kontrol edilir. Ana ve yardımcı makinelerin interlock sisteminin devrede olduğundan emin olunur.

Buhar türbini tüm drenaj valflerinin açık olduğundan emin olunur.

YB ve DB ısıtıcıları su geçişlerinin normal olduğundan emin olunur.

Isıtıcıların drenaj sistemi normal olmalıdır. .

Isıtıcıların tüm acil drenaj motor valfleri otomatik pozisyonda olmalıdır [57].

#### 8.2.2.2.1. Buhar türbini döndürme kuvveti

- DEH in dört kontrol modu:

  1. TM( Manüel kontrol modu)
  2. OA(Otomatik kontrol modu )
  3. ADS (Uzaktan kontrol modu )
  4. AS (Eşzamanlama Kontrol modu)

- Manüel işletme panelinden ‘’değişiklik’’ butonuna basılarak güvenli yağ basıncı sağlanır. Sonra “kapatmak”(kırmızı ışık yanar) görülmelidir.

- MSV ve RSV’yi açmak için ekrandan ‘’açık ana kısma valfi’’ türbin kurma düğmesine basılarak OPC yağı oluşturulur.

- Kontrol modu düğmesine tıklanır. Kontrol modu ifadesi çıkar. Bu anda, kontrol modu seçilebilir. OA butonu tıklanır ve devreye al düğmesine 3 saniye içinde basılır. Sonra OA seçilir ve aynı anda, operatör otomatik modunu girdiğimiz ekrandan görülür.

- Sınırlama düğmesine basılır. Bir alt panel çıkacaktır. Valflerin limit değerleri girilir, valf pozisyonu limit değerine kadar yükselecektir. Valf değerine yükseldiğinde, döndürme kuvvetini hazırlamak için GV devamlı olarak açılacaktır.(Not: Kırmızı ışık yandıktan sonra, valf limitlendirmesi devreye girene kadar kontrol valfleri açılamayacaktır.)

- Dönme oranı kontrolü düğmesine basılır. Dönme oranı hedefi 500 d/d ayarlanır ve 500 d/d lık hız artış oranı gözlenir.

- Giriş düğmesine basıldıktan sonra, ünite kontrol edilir ve işletmeden emin olunur.

- Dönme oranı >7~8 d/d olduğu zaman, döndürme dişlisinin otomatik devreden çıkma durumu kontrol edilir, döndürme dişlisi elektrik motoru durdurulur.

- Buhar türbin devri 500 d/d olduğu zaman, MSV ve RSV kapatılır ve sürtünme kontrolü yapılır. Ünite dönen parçaları kontrol edilir ve normal olduğundan emin olunur. Eğer sürtünme kontrolü normal ise, MSV ve RSV valfler yeniden açılır. 5~10 dak. lık ısıtma için 300~500 d/d düşük hız sağlanır. Tamamen kontrol edilir.

- DEH panelinde dönme oranı penceresinde 500 d/d görüldüğü zaman koruma lambası yanar.

- Dönen parçaların sesi dinlenir.

- Yatak sıcaklığı, dönüş yağı sıcaklığı kontrol edilir. Vibrasyonun normal olduğundan emin olunur, yağ akışı kontrol edilir. Yağlama yağı sıcaklığının 35~45 ºC'de olduğu kontrol edilir.

- Yatak vibrasyon <0,076 mm olduğundan emin olunur.

- Eksenel yer değiştirme göstergesinin normal olduğundan emin olunur. Silindirin tamamının ve yüksek – orta basınç genleşme farkının normal olduğundan emin olunur.

- YB silindirinin alt ve üst sıcaklık farkı < 50 ºC, ana buhar kızdırıcı sıcaklığı > 50 ºC olmalıdır.

- Yataklar için yatak kaldırma pompası kontrol edilir.

- Ünitenin normal olduğundan emin olunduktan sonra ısıtma ve hız artışı için yavaş yavaş hedef değeri değiştirilir. DEH ekranından türbin dönme hızı düğmesine basılır. Hedef dönme oranı 1500 d/d ya ayarlanır. Kaldırma hız

oranı düğmesine basılır ve 100 d/d ya ayarlanır. Giriş düğmesine ve ardından git düğmesine basılır.

- Hız artırımı esnasında, buhar türbinin tüm parçaları kontrol edilir ve ayarlanır. Hız artırımı esnasında, eğer türbin parametreleri üst limitlere vardıysa ısıtmaya gerek vardır, Git düğmesine basılır. Rezonans bölgede (kritik hızlarda) ısınmaya izin verilmez. Operatör ünitenin titreşimleri gözlemlemelidir. Dönme oranı 1500 d/d ya yükseldiği zaman, türbin orta hızda 15 dak. Bu oranda ısıtılır. Anormal bir durum bulunursa, işletme derhal durdurulur ve ünite incelenir. Orta hızda ısıtmadan sonra, hız artış oranı 100 d/d ya ayarlanır. Dönme oranı 2300 d/d ya ayarlanır. Giriş düğmesine basılarak 18 dak, için hız artarken ısıtma başlatılır. Kritik dönme hızı aşıldığı zaman, hız artışı otomatik olarak transfer edilir. Eğer yatak titreşimi kritik sınır aşarsa, işletme derhal durdurulur.

- 2300 d/d da ısıtmadan sonra, 25 dakikada hız yavaş yavaş 3000 d/d ya artırılır [57].

Buhar Türbininin ısıtma, hız artırımı, döndürme kuvveti zaman dağılımı aşağıdaki gibidir:

Tablo 8.2. Buhar Türbininin ısıtma, hız artırımı, döndürme kuvveti zaman dağılımı[57]

| Dönme hızı d/d | Zaman dak. | Yüksek basınç stator kanatlarındaki kanat taşıyıcı sıcaklığı ºC | Silindirin tüm genleşmesi mm | Kondenser vakumu Kpa |
|---|---|---|---|---|
| 300den 500'e | 5~10 | 60 | 1 | 66.625 |
| 500den 1500'e ısıtma | 25 | 90 | 2.5 | 73.325 |
| 1500den 2300~2500'e ısıtma | 25 | 130 | 3.5 | 80 |
| 2500den 3000'e | 25 | 150 | 5~6 | Tam vakum |

- Tam hıza ulaşmak yaklaşık 90 dakika alır.
- Hız artırımı esnasında kazana göre herhangi bir anda buhar kalitesi ayarlanır. Isıtma ve kaldırma basıncı, soğuk şart parametresi başlama eğrisine göre yapılacaktır.
- Yüksek basınç çıkış AK çek valfi kontrol edilir ve açık olduğundan emin olunur.
- Isıtma ve hız artışı boyunca not tutulmalıdır.
- Darbe olmamasına ve titreşimlere dikkat edilir.
- Taze buhar ve tekrar kızdırılmış buhar değişim sapması, başlangıç eğrisinden farklı olmamalıdır.
- Her bir genleşme noktasının, eksenel yer değiştirme, yüksek ve düşük basınç genleşme farkı ve tüm genleşmelerin düzgün olduğundan emin olunmalı. Türbindeki sıcaklık farkı ve sıcaklık artışı ölçülmeli.
- Yağlama yağı sıcaklığı, EH yağı sıcaklığı, kondenser su seviyesi, dearatör su seviyesi kontrol edilmeli.
- Buhar türbininin normal dönüşü sağlandıktan sonra, ihtiyaca göre benzer deneyler yapılır. Normal şartlardan emin olunduktan sonra senkron bağlanabilir [57].

### 8.2.2.3. Senkron bağlantısı ve ünitenin ilk yükü

- Buhar türbini ilk yükü kontrol edilir ve 3000 d/d. Yapılır. Otomatik senkronizasyon şartları böylece sağlanır. Operatör kontrol modu butonunun basılır. AS eşzamanla düğmesine tıklanır ve bu moda geçmek için bilgi giriş düğmesine 3 saniye içinde basılır. Aynı anda ekranda AS modunun girildiği görülür.

- Ünitenin eşzamanlaşmadan sonra, DEH buhar türbinin % 5'lik ilk yükünü sağlayacaktır.

- Aynı zamanda, AS modu otomatik olarak OA moduna dönecektir.

- Bağlantıdan sonra, yük 5~10 MW'ta tutulur ve 3 dakika için ısıtma sağlanır. Kazanla bağlantıdan sonra, yüksek ve düşük voltaj paralel devre kullanımı durdurulur. Paralel devre koruması girilir. (Yük 40 MW'tan yüksek olduğu zaman )

- Başlangıç eğrisine göre, kazanın düzenleyici basıncı ve ısınma bilgisi verilir. Nominal orana ulaşana kadar aşırı beslemeye devam edilir. Besleme pompası işletmesine dikkat edilir. Besleme suyu akışı 240 tona vardığı zaman, yeniden çevrim otomatik olarak kapanmalıdır.

- Yük nominal yükün % 10'una vardığı zaman, ana buhar sıcaklığı 400 °C'ye varır. Ana buhar valfi ara ısıtmanın tüm üst akış drenajları kapatılır.

- DB silindiri çıkış sıcaklığı normal olduğu zaman, otomatik püskürtme düzeni duracaktır .(45 °C'nin altına düştüğü zaman)

- 2 YB ısıtıcı buhar basıncı tarafı, dearatör basıncından 0,4 MPa kadar yüksek olduğu zaman, bütün YB ısıtıcı drenajı dearatöre boşaltılır. Drenaj otomatik olarak akar.

- DB ısıtıcı su seviyesine göre DB ısıtıcı drenaj pompası çalıştırılır. DB ısıtıcı drenaj valfi kapatılır. Su seviyesinin ayarlanmasından sonra, otomatik drenaja geçilir.

- Kazanın onayından sonra, güç geri beslemesi girilebilir. Operatör geri besleme döngüsü düğmesine basmalıdır. Megawatt döngüsü butonuna basılır ve 3 saniye içinde bilgi giriş düğmesine tıklanır (güç döngüsü moduna geçiş için). Aynı zamanda megawatt döngüsünün göstergesi görülür.

- Yüklü işletme OA'da iken, operatör kazan ihtiyacına göre buhar basıncı prensibiyle TPL (Ana buhar basınç sınırlama) veya RTPL yi girebilir. Limit düğmesine basılır. Limit değeri ayarlanır, TPL veya RTPL düğmesine tıklanır ve bilgi giriş düğmesine 3 saniye içinde basılarak bu mod girilir. Aynı zamanda IN gözlenir. Sınırlı şartlarda, TPL veya RTPL nin tamamen değişimi gerçekleştirilebilir. TPL veya RTPL düğmesine tıklanır ve geçiş düğmesine basılarak, bu moddan çıkılabilir. Not: TPL veya RTPL modunda, buhar basıncı set değerinden olduğu zaman, yük set değeri sabit hızla azaltılacaktır.

- Ana buhar basıncı aşırı azalmasından kaçınmak için regülatör valfi kapatılarak ana buhar basıncı azalışı eşitlenir. RTPL modunda ayarlı basınç DCS tarafından uzaktan olarak ayarlanmalıdır.

- Yüklü işletme OA dayken, operatör HLL Yüksek yük sınırlamayı seçebilir. Limit düğmesine basılır. Yüksek yük limit modunda yüksek yük limit değeri girilir. Yüksek yük sınırlama düğmesine tıklanır ve bilgi giriş düğmesine 3 saniye içinde basılır. Aynı zamanda HLL modu girilmiştir ve ekranda IN görülür. Geçiş düğmesine tıklanarak limit yük modundan çıkılabilir.

- İşletme OA da iken, operatör VPL valf sınırlamayı seçebilir. Limit düğmesine basılır. Valf yeri limit modunda, valf yeri limit değeri seçilir. Bilgi giriş düğmesine tıklanır ve valf yeri limit DEH kontrol yazılımına girecektir. Bu modda valf değeri, limit değerini aşmayacaktır.

- OA işletme modunda, yük nominal yükün % 80'i olduğu zaman, Tek moddan reglaj moduna geçilir, valf modu düğmesine basılır. Reglaj valf düğmesine basılır ve bağlantı düğmesine 3 saniye içinde basılır. Her iki buton da kırmızı olduğu zaman etkilidir. Bu anda kontrol reglaj moduna geçmiştir. Açıp kapama periyodu yaklaşık 3 dakikadır.

- Yüklü işletme OA da iken, set değeri uzaktan kumanda değerine yaklaşır, operatör uzaktan kumanda moduna girmeyi seçebilir. Kontrol mode düğmesine basılır. Uzaktan kumanda düğmesine basılır ve ADS'e girmek için bilgi giriş düğmesine 3saniye içinde tıklanır. Ayını anda ekranda ADS modunu girildiği

görülür, yükün set değeri CCS sistemi tarafından kontrol edilir. NOT: OA yı çalıştır, sonra ADS modundan otomatik olarak çıkılır. Aşırı besleme-güçlendirici süresince dikkat edilir.

- Yüklü aşırı besleme-güçlendirici hızı ve ısıtma periyodu, silindirin tüm genleşmesi ve yüksek basınç sabit kanat taşıyıcı sıcaklık göstergesine göre ayarlanmalıdır. Aşırı besleme-güçlendirici hızı, 15 dakika içinde 10 MW'tan fazla olmamalıdır. Aynı zamanda, yüksek basınç silindiri benzer genleşme değeri gözlenmelidir. Sonra Aşırı besleme-güçlendirici devam edilir.

- Aşırı besleme-güçlendirici esnasında ünitenin titreşim durumuna dikkat edilir. Dönüş sesi dinlenir ve normal olduğundan emin olunur. Aşırı besleme-güçlendirici boyunca, buhar türbinin eksenel yer değiştirmesi, baskı yatağı sıcaklığı, yağ basıncı, yağ akışı, seviyesi gözlenir. Metal sıcaklık davranışı gözlenir, tekrar kızdırıcı basınç- sıcaklık diyagramında artış ve ana buhar basınç sıcaklığı gözlenir.

- Buhar kalitesinin başlangıç eğrisinden çok fazla sapmasına izin verilmemelidir.

- Türbin vibrasyonu, diferansiyel genleşme, türbin genleşmesi, eksenel yerdeğiştirme, yatak metal sıcaklığı, dönüş yağı sıcaklığı, yağlama basıncı, silindir alt ve üst sıcaklık farkı, kontrol edilir ve normal olduklarından emin olunur.

- Kondenser, dearatör, normal aralıkta tutmak için ısıtıcıların alt ve üst su seviyeleri ayarlanır ve kontrolünün yapılmasına dikkat edilir.

- Eğer kritk dönme hızının şaft vibrasyonu 0,254 mm'yi aşarsa, işletme durdurulur. Döndürme dişlisi devreye alınır, şaft sapması ölçülür, sebebi bulunur, hata iptal edilir ve yeniden çalıştırılır [57].

- Döndürme dişlisinin çalışma periyodu 4 saatten fazla olmalıdır.

Tablo 8.3. Sıcaklık artış ve düşüş oranı [57]

| İsim | Sıcaklık artışı | Sıcaklık düşüşü |
|---|---|---|
| Ana buhar sıcaklığı | <2~2,5°C/dak | <1,5 °C/dak |
| Tekrar kızdırılmış buhar sıcaklığı | <3 ~°C/dak | <2,5°C/dak |
| Ana buhar, tekrar kızıdırlmış buhar boruları dış duvarı | <8°C/dak | |
| Valf dış duvarı | <4~ °C/dak | |
| Silindir flanş duvarı | <2~ °C/dak | |

Tablo 8.4. Sıcaklık Farkı [57]

| İsim | Birim | Sıcaklık yükselme oranı | Sıcaklık azalma oranı |
|---|---|---|---|
| Yüksek ve orta basınç ,dış sindirin alt ve üst sıcaklık farkı | °C | < 50 | |
| Ana ve tekrar kızdırılmış buhar sıcaklık farkı | °C | 40~70 | < 40 |
| Sol ve sağ taraf ana ve tekrar kızdırılmış buharı sıcaklık farkı | °C | < 17 | |

NOT: Çalıştırma, durdurma ve kontrol esnasında diyagramlar kontrol edilmeli ve gözlenmelidir [57].

### 8.2.2.4. Sıcak Halde Ünitenin Değişebilir Parametreyle Devreye Alınması

- Sıcak halde Buhar türbinin başlangıç modu, stator metal sıcaklığına bağlı olarak ılık hal, sıcak hal, aşırı sıcak hal olmak üzere bölünmelidir. Devreye alma süresince, ilgili işletme yükündeki performansına ulaşana kadar yük artırılır ki bu performans, yüksek sıcaklık altındaki parçaların ani soğumalarından kaçınmak için yüksek basınç sabit kanat taşıyıcılarının alt yarım sıcaklığına göredir [57].

Tablo 8.5. Ilık ve sıcak devreye almada çalıştırıldığı zaman, farklı performanslarda artan hız periyodu ve buhar kalite gereksinimleri [57]

| Madde | Ilık Devreye Alma | Sıcak Devreye Alma | Notlar |
|---|---|---|---|
| Yüksek basınç sabit kanat taşıyıcısının alt metal sıcaklığı °C | 200~320 | 320 üzeri | |
| Taze buhar sıcaklığı(°C) | Yüksek basınç sabit kanat taşıyıcısının alt metal sıcaklığından en az 50 °C yüksek olmalıdır. | Yüksek basınç sabit kanat taşıyıcısının alt metal sıcaklığından en az 50 °C yüksek olmalıdır. | İlgili basınç altında 50 °C lik kızdırma derecesi olmalı |
| AK buharı sıcaklığı 50 °C | Tekrar kızdırma kısmı alt flanş metal sıcaklığından en az 50 °C fazla olmalıdır. | Tekrar kızdırma kısmı alt flanş metal sıcaklığından en az 50 °C fazla olmalıdır. | İlgili basınç altında 50 °C lik kızdırma derecesi olmalı |
| Tam hıza ulaşana kadar geçen süre (dak.) | 50 | 10 | |
| Bağlantıdan nominal yüke kadar olan zaman(dak) | 80 | 20 | |
| Hız artırımı esnasında hızın en büyük oranı(dev./ dak) | 100 | 450 | |

Tablo 8.6. MSV başlangıç parametrelerinin değeri [57]

| Ana buhar basıncı MPa | Doyma sıcaklığı (°C) | Devreye alma boyunca ana buhar minimum giriş sıcaklığı (°C) |
|---|---|---|
| 2.5 | 222 | 277.6 |
| 3 | 233 | 288.6 |
| 3.5 | 240 | 295.6 |
| 4 | 247 | 302.6 |
| 4.5 | 255 | 310.6 |
| 5 | 263 | 318.6 |
| 5.5 | 269 | 324.6 |
| 6 | 275 | 330.6 |
| 6.5 | 280 | 335.6 |
| 7 | 285 | 340.6 |
| 7.5 | 291 | 346.6 |

Sıcak devreye almadan önce ayarlar ve kontrolü soğuk devreye alma durumuna göre yürütülmelidir. Rotor eksantrikliğine, yüksek basınç genleşme farkı ve silindir sıcaklık farkına özel önlem gösterilmelidir [57].

#### 8.2.2.4.1. Sıcak Hal Çalıştırmada Süresince Dikkat Edilecekler

- Döndürme dişlisi devrede iken, ilk olarak şafta sızdırmazlık buharı gönderilir ve vakum oluşturmak için vakum pompası çalıştırılır. Şaft sızdırmazlık sıcaklığı artırılır, şaft sızdırmazlık sıcaklığının, sızdırmazlık duvar sıcaklığına yaklaşması sağlanır. Yüksek basınç sızdırmazlık kaplama ve sıcaklık farkı +/- 30 °C'yi aşmamalıdır. Şaft eğilmesinden kaçınılmalıdır.

- Vakum oluşturulduktan sonra kazan çalıştırılır. Ara sıra, kazan basıncı arttığı zaman vakum artırılır, yaklaşık olarak paralel devre devrede iken.

- MSV ve RSV valflerinin kapanmamasından kaçınmak için, buhar türbini otomatik dönüşü, yüksek sıcaklıktaki parçaların soğuması, kondenser vakumu, ana buhar basıncı, kazan çalıştırılmadan önce ve buhar türbini yavaşlatılmadan önce çok yüksek yapılmamalıdır. Döndürme kuvveti esnasında yağ sıcaklığı 40~45 °C arasında kontrol edilmelidir. Yağ sıcaklığı ayarlamasına dikkat edilmelidir.

- Hız artışının hızlı olduğu durumlarda kontrol edilir. Kritik hıza aniden varılmasına izin verilmez.

- Ünitenin titreşim değişimi, diferansiyel genleşme ve devreye alma boyunca silindir genleşmesi gözlenir. Duruştan sonraki kılavuz kanal, yüksek ve orta ana kısma valfinin hızlı soğuması gibi, devreye alma da hızlı ısınmadan kaçınmak için bu parçaların sıcaklık artışına dikkat edilir.

- Sıcak devreye almada 2300 d/d 2 dakika için ısıtma yapılır. Seçilen hız artış oranı ≤450 d/d olmalı. Ilık devreye almada da 500 d/d. 3 dakika için ısıtma yapılır veya 2300 d/d da 2 dakika için seçilen hız artış oranı ≤100 d/d olmalı.

- Bitişik sonra, silindir sıcaklığına göre en kısa sürede ön yükleme yapılır.

- Ana buhar hattı ve buhar türbini dreanjı, sıcak devreye alma boyunca kuvvetlendirilmelidir. Soğuk su ve soğuk buharın, döndürme esnasında silindir içine girmesine izin verilmez.

- Sıcak devreye alma esnasında herhangi bir deney yapılmasına izin verilmez [57].

## 8.2.3. Ünitenin Durdurulması

- Ünitenin durdurulmasından önceki hazırlıklar:

- Vardiya amirinden gelen normal durdurma emri alındıktan sonra, duruştan önceki hazırlıkların yapılması için her bir bölüm ile irtibata geçilir.

- Buhar türbini yağlama pompası, doğru akım yağlama pompası, yataklar için yatak kaldırma pompası, buhar türbini döndürme dişlisi elektrik tertibatının başlama için iyi olduğundan emin olunmalı.

- Temel otomatik sistemlerin doğru çalıştığından emin olunmalı.

- Kazan çalıştırılır. Yardımcı buhar kanalının normal olduğu kontrol edilmeli. Silindir sıcaklığının kayıt işlemleri yapılmalı [57].

### 8.2.3.1. Normal Duruş

#### 8.2.3.1.1.Yük Koruma ve Durdurma İşletmesi

- DEH kontrol modundan OA kontrol moduna geçilir. Geri besleme çevriminden güç çevrimi girilir. Valf modunda tek moda geçilir.

- Kazanın buhar basıncını düşürmesine müsaade edilir. Regülatör valfin açılmasından sonra, güç çevrimi kapatılır. Rügülatör valfin bloke olmasından kaçınılmalıdır.

- Yük ve buhar basıncı normal duruş eğrisine göre devreye alınır.

- Yatak titreşimine, sesine, metal sıcaklık farkına ve soğutma oranı yakından gözlenir.

- Eksenel genleşmeye dikkat edilir. Silindir ve rotorun bağıl genleşmesi ve silindirin mutlak genleşmesi ve silindirin mutlak genleşmesi normal aralık içinde kontrol edilmeli.

- İhtiyaca göre boru sistemi ve ana gövdenin drenajlarının kapanmaması ( MSV 0'a düşmeden önce drenajların kapanmaması)

- Vardiya amirine haber verildikten sonra, güç çevrimi DEH girilir. Yük yavaş yavaş sıfıra düşürülür veya valf limit vasıtasıyla yükü düşürmek için rügülatör valf yavaş yavaş kapatılır. Elektrik jeneratör devre dışı bırakılır ve buhar türbini normal hızda işletilir. Bu süre 10 dakikayı geçmemelidir.

- Devreye alma yağ pompası ile bağlayıcı yağ pompası interlock düğmesi kapatılır. Yağ basıncı kontrol edilir. Normal olduğundan emin olunur.

- Nominal koruyucudan çıkılır.

- Elle trip yapılır, trip zamanı ve çalışma zamanı not edilmelidir. Yüksek ve orta basınç ana kısma valfi emiş motorlu valfin kapalılığı kontrol edilir.

NOT: Tam vakum çalışma zamanı yaklaşık 40 dakka; vakumsuz çalışma yaklaşık 25 dakikadır [57].

**8.2.3.1.2.Trip Sonrası İşler**

- Yüksek ve düşük paralel devre akımı kullanımının durdurulması için kazan ile irtibata geçilir.

- Yüksek basınç buhar boşaltma çek valfi ve diğer buhar boşaltma çek valfleri kontrol edilir ve kapalı olduklarından emin olunur.

- Vakum pompası durdurulur, vakum kırıcı valfi çalıştırılır, vakum kırma ayarlanır. Dönüş oranı sıfıra ulaştığı zaman, aynı anda vakumda sıfıra varmalıdır.

- Turbo jeneratörün dönen parçaları dinlenir.

- Kazan talebine göre besleme pompası durdurulur.

- Dönme hızı 200 d/d'ya düştüğü zaman, yataklar için 2 yatak kaldırma yağ pompası çalıştırılır.

- Rotor hızı sıfıra vardığında döndürme dişlisi devreye alınır. Rotor eksantrikliği ölçülür.

- Döndürme dişlisi durdurulduktan sonra yağlama pompası durdurulur [57].

#### 8.2.3.1.3. Değişebilir Parametrelerle Duruş

- Kazan operatörü ile irtibata geçilir, buhar kalitesi ayarlanır ve 500 °C yapılır. Buhar basıncı 10.79 MPa olmalıdır. Regülatör valfi açılması yavaş yavaş durdurulur ve ünitenin yükünün yaklaşık 100 MW'ta kalması sağlanır.

- Sabit bir işletme süresinden sonra, kazan ile irtibata geçilir ve basınç azaltma yapılır [57].

#### 8.2.3.1.4. Değişebilir Parametre İle Duruşta Dikkat Edilecekler:

- Acil hız regülatörü testini, düşük parametreden dolayı yapmak uygun değildir.

- Şok olaylarından kaçınmak için dikkat edilir. Taze buhar basıncı, ilgili buhar basıncı altında kontrol edilmelidir ve 50 °C lik kızdırma sağlanmalıdır. Şoklardan kaçınmak için; yük nominal yükün % 10'u olduğu zaman buhar türbini tekrar kızdırma ana valfi üst akış drenajları kapanmalıdır. Buhar türbini tekrar kızdırma ana buhar alt akış drenajları açılmalıdır, yük nominal yükün % 20 sine düştüğü zaman.

- Ana buhar sıcaklığı 460 °C'ye düştüğü zaman, ana buhar basıncı 1,569~2,059 MPa'dadır ve yük yaklaşık 10 MW'tadır. Duruş için hazırlanılır.

- Yağlama pompası çalıştırılır. Ünite trip ettikten sonra, çalışma zamanı kaydedilir ve hareketli parçaların sesleri dinlenir.

- Eksenel yer değiştirme koruyucuların kapatılmasına izin verilmez.

Değişebilir parametrede durulduğunda ısıl düşüş ve buhar türbininin metal sıcaklık farkı aşağıdaki kriterleri aşmamalıdır: [57]

Tablo 8.7. Değişebilir parametrede durulduğunda ısıl düşüş ve buhar türbininin metal sıcaklık farkı [57]

| Seri numarası | Madde | Birim | Müsaade edilebilir alan |
|---|---|---|---|
| 1 | Yük düşüş hız oranı | kW/dak | 400 |
| 2 | Ana buhar basıncı alt hızı | MPa | 0,049 |
| 3 | Ana buhar sıcaklığı althızı | °C/dak. | 1,5 |
| 4 | Tekrar kızdırılmış buhar sıcaklığı alt hızı | °C/dak. | 2,5 |
| 5 | Ana ve tekara kızdırılmış buhar sıcaklık farkı | °C | 40 |
| 6 | Ana ve tekara kızdırılmış buharı sağ ve sol taraf sıcaklık farkı | °C | 20 |

- Yük koruma esnasında, şaft sızdırmazlığı ve dearatör basıncına dikkat edilir. Duruma göre buhar girişi kapatılır.

- Kondenser su seviyesinin ve kondensat pompası normal çalıştığından emin olmak için kondensat yeniden çevrim valfi açılır.

- Yük koruma esnasında eksenel yer değiştirme ve genleşmenin değişimine dikkat edilir. (-) genleşme toleransının artışı kontrol edilir. Silindirin tüm genleşmesi kontrol edilir ve düzgün dağımı olarak azaltılır.

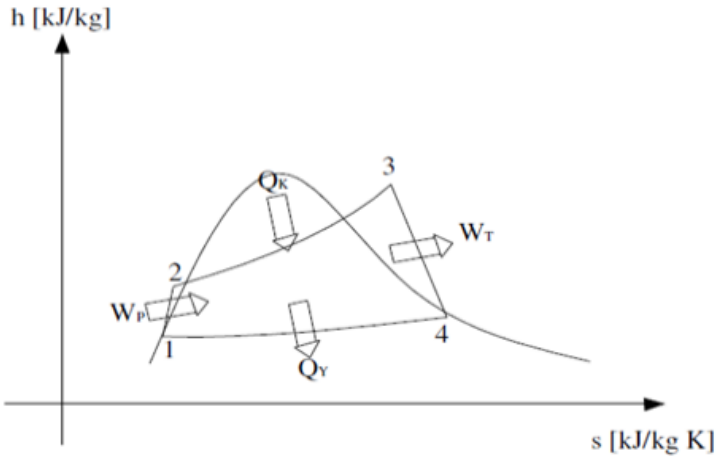
- Yük koruma düşük basınç silindiri çıkış sıcaklığına dikkat edilir.

- Yüksek su potansiyel durumuna göre 4 nolu düşük basınç ısıtıcı ile drenaj yapılabilir.

- Tripten sonra, yüksek ve orta basınç ana kısma valfi, ayar valfi kontrol edilir ve kapalı olduklarından emin olunur.
- Vakum sıfıra ulaştığı zaman, şaft sızdırmazlık buhar temini durdurulur.
- Dönme oranı sıfıra ulaştığı zaman, döndürme dişlisi devreye alınır. Rotor kavis değeri ölçülür ve kaydedilir.
- İhtiyaca göre besleme pompası durdurulur. Çıkış sıcaklığına göre kondensat pompası durdurulur.
- Çıkış sıcaklığı 50 °C'nin altına düştüğü zaman, tüm soğutma suyu sisteminin soğutmasına ihtiyaç kalmaz ve deniz suyu çevrimi durdurulur.
- İlk duruşta boşta çalışma eğrisi çizilir ve kaydedilir. Referans olması için.
- Duruştan sonra yağda duman olmadığından emin olunur. Sonra fanlar durdurulur.
- Duruştan sonra, soğuk su ve soğuk buharın silindire geri gidişiyle oluşacak şaft eğilmesinden kaçınmak için ölçüm ve takip yapılır, yakından gözlenir.
- Yük koruma, soğutma ve serbest bırakma, buhar türbini ihtiyacına göre yavaşça yapılmalıdır. Buhar sıcaklığı 10 dakika içinde aniden 50 °C'ye düşerse, işletme durdurulur [57].

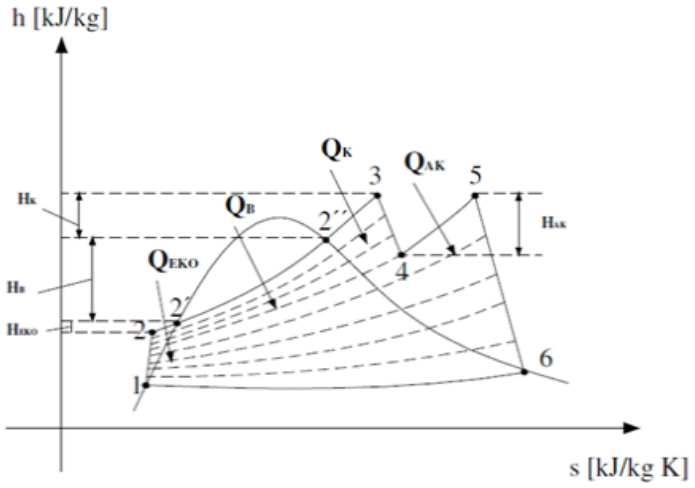
# 9. SANTRAL ÇEVRİM YAPISININ VE KAZAN KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

İlk olarak h-s diyagramını çizip, santralin ısıl durumunu ortaya koyarak santral yapısını belirleriz. (Şekil 9.1). Bundan sonra tüm kritik noktaların termodinamik koşulları belirlenir [18].




Şekil 9.1. Ara kızdırmasız standart bir Rankine Çevrimi'nin h-s diyagramı.[56]

Tasarımı yapılan santralin kazan yapısı ara kızdırmalı olduğu için bir h-s diyagramından faydalanmak gerekir (Şekil 9.2.) [18].

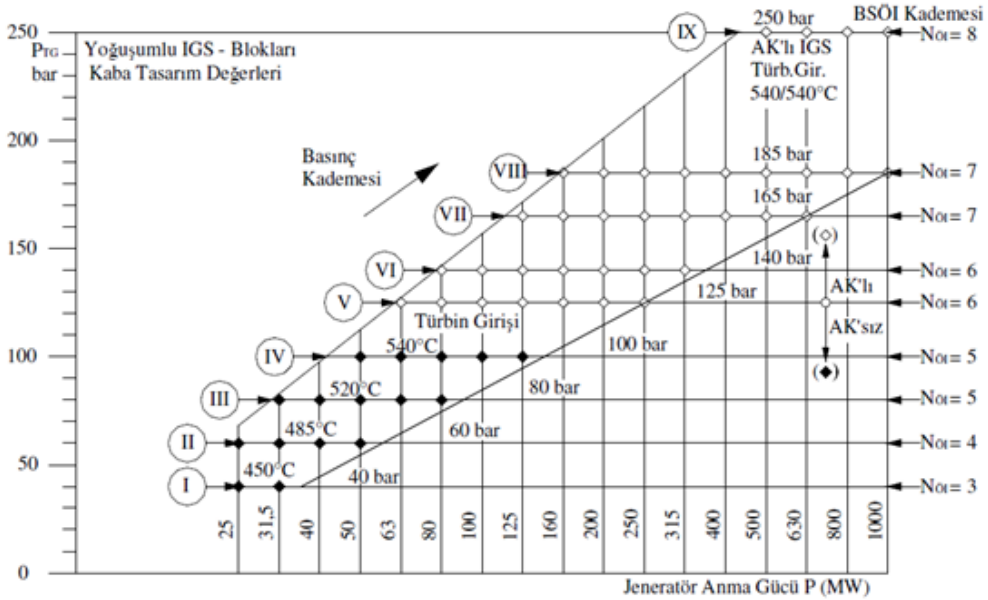



Şekil 9.2. Ara kızdırmalı bir çevriminin h-s diyagramı.[56]

Üretilecek ısının ve buna bağlı olarak elektriğin belirlenmesi için iş akışkanımızın (buhar-su) termodinamik koşullarının belirlenmesi gerekmektedir.

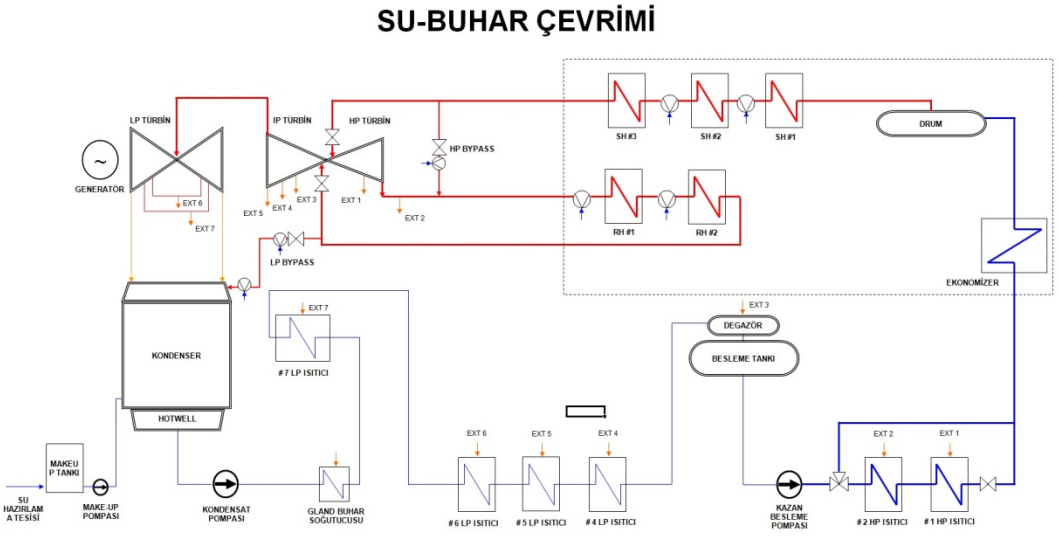
## 9.1. Kazan İş Akışkanının Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi

Tasarım abağıdan ulaştığımız bütün termodinamik veriler, oluşturulacak termik santralin yapısını belirlerken faydalanacağımız en önemli kaynaktır. Bu abak üzerinde, kurulması istenen santralin kurulu gücünün, santral yük durumu (tepe yük, değişken yük, temel yük) ile kesiştirilmesiyle, santralin basınç kademesi belirlenecek ve böylelikle istenilen değerler elde edilebilecektir (Şekil 9.3.).




Şekil 9.3. Türbin giriş basıncı - jeneratör anma gücü diyagramı.[56]

Tasarladığımız santral 135 $MW_e$ kurulu güce sahip olup abağın yedinci basınç kademesindeki değerlerden faydalanılarak termik santral sistem yapısı belirlenebilir (Şekil 9.4.). Böylece besleme suyu sıcaklığı; kazan çıkış ve ara kızdırıcı çıkış sıcaklıkları; türbin giriş basıncı; türbin, ara kızdırıcı ve yoğuşturucudan geçen buhar-su debileri gibi değerler elde edilebilir.




Şekil 9.4. Termik santral sistem yapısı.

$P_{TB}$ = 132 [bar]

$P_{KÇ}$ = 132 [bar]

$P_{AKG}$= 25 [bar]

$P_{AKÇ}$= 22 [bar]

$T_{BS}$ = 240 [°C]

$T_{TB}$ = 540 [°C]

$T_{AK}$ = 540 [°C]

$d_{TB*}$=0,829 [(kg/s)/MW]

$d_{AK*}$=0,763 [(kg/s)/MW]

$d_{Y*}$= 0,516 [(kg/s)/MW]

$m_{buh}$= 111,91 [kg/s]

$m_{kız}$ = 111,91 [kg/s]

$m_{ak}$= 103 [kg/s]

$m_{eko}$= 111,91 [kg/s]

Şekil 9.2.'de de görüldüğü gibi 2 noktası ile 5 noktası arasında ısı üretimi gerçekleşmekte. Noktalar arasındaki ısı üretimini şu şekilde açıklarız.

2-2' : Yakıttan tasarruf sağlamak amacıyla besleme suyu ön ısıtma işlemi (ekonomizer) yapılır. Bu işlem, buharlaştırma işleminden sonra arta kalan sıcak gazın

kullanılmasıyla olur. Basıncın en yüksek olduğu yer besleme pompa çıkışı olduğu için iş akışkanına bu noktada uygulanır.

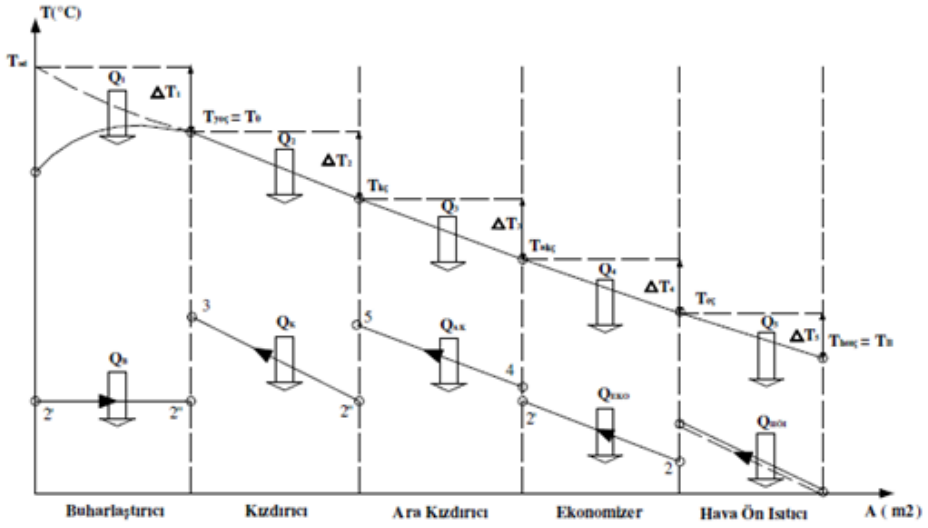
2'-2" : Buharlaştırma işlemi (buharlaştırıcı). Ön ısıtılmış besleme suyuna, kömürün yakılmasıyla elde edilen yüksek ısı verilerek bu su buhar haline dönüştürülür. İş akışkanı faz değiştirdiği için kömürden elde edilen ısının en büyük bölümü, bu işlem için harcanır.

2"-3: Kızdırma işlemi (kızdırıcı). Yüksek ısı düşü potansiyeli elde etmek için sıcak gaz yardımı ile buharlaştırıcıdan çıkan düşük entalpili yeni buhar, kızgın buhar haline dönüştürülür.

4–5: Ara kızdırma işlemi (ara kızdırıcı). Türbinden aldığımız iş akışkanının büyük bir kısmı dış ortama göre hala yüksek sıcaklığa sahip olan yanma gazı yardımıyla tekrar ısıtılır. Böylelikle yeni bir ısı düşü potansiyeli elde edilerek verimlilik artırılmış olur.

Yüksek sıcaklığa sahip yanma gazı ısı ihtiyacının karşılanmasına yönelik temel kaynak olarak kullanılır. Enerji verimliliğini artırmak için yanma gazının kullanılabilirliğinin artırılması gerekir.

Ancak yanma gazının kullanılmasının da belli bir alt sınırı bulunmaktadır. Yanma gazının dış ortam sıcaklığında değil de yaklaşık 130 [°C] civarında salınması gerekmektedir. Aksi takdirde düşük sıcaklıktaki gazın geçtiği bölümlerde kükürt kaynaklı asit korozyonu görülecektir. Bu da işletme ömrünü kısaltacağından istenmeyen bir durum teşkil edecektir. Yanma gazı ısısının 5 farklı amaç için kullanımı Şekil 9.5.'te görülmektedir.




Şekil 9.5. Santral kazanında yanma gazı ile iş akışkanı arasındaki ısı aktarımını gösteren T-A diyagramı[56]

Burada $Q_1$= $Q_B$, $Q_2$= $Q_K$, $Q_3$=$Q_{AK}$, $Q_4$=$Q_{EKO}$ ve $Q_5$=$Q_{HÖI}$ olacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır (35). Bu bilgiler ışığında kritik noktalar için entalpi değerleri:

**2 noktası için**

$T_2$ = 240 [°C]

$Cp_2$ = 4,34 [kJ/kg°C]

$h_2 = Cp_2.T_2$= 1042 [kJ/kg]

**3 noktası için**

$T_3$ = 540 [°C]

$P_3$ = 132 [bar]

$h_3$ = 3430 [kJ/kg] (Mollier'den)

**2" noktası için**

$T_{2"}$ = 330 [°C]

x = 1

$h_{2"}$ = 2658 [kJ/kg] (Mollier'den)

**4 noktası için**

$T_4$ = 320[°C]

$P_4$ = 25 [bar]

$h_4$ = 3057 [kJ/kg] (Mollier'den)

**2' noktası için** **5 noktası için**

$T_{2'}$ = 330 [°C] $T_5$ = 540 [°C]

$Cp_{2'}$ =4,34 [kJ/kg°C] $P_5$ = 22 [bar]

$h_{2'} = Cp_{2'} . T_{2'}$ = 1440 [kJ/kg] $h_5$ = 3544 [kJ/kg] (Mollier'den)

## 9.2. Kazan Isıl Yükünün Belirlenmesi

Termodinamik koşulların belirledikten sonra kazan ısıl yükleri, sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplarız;

$Q_{buh}$ = $m_{buh}$ [kg/s] × ($h_{2''}$ - $h_{2'}$) [kj/kg] = 136219,09 [kW] (9.1)

$Q_{kız}$ = $m_{kız}$ [kg/s] × ($h_3$ - $h_{2''}$) [kj/kg] = 86338,57 [kW] (9.2)

$Q_{ak}$ = $m_{ak}$ [kg/s] × ($h_5$ - $h_4$) [kj/kg] = 48620 [kW] (9.3)

$Q_{eko}$ = $m_{eko}$ [kg/s] × ($h_{2'}$ - $h_2$) [kj/kg] = 44683,43 [kW] (9.4)

Bulduğumuz bu değerlerin toplamı, toplam kazan ısıl yükü verir:

$Q_{kazan} = Q_{buh} + Q_{kız} + Q_{ak} + Q_{eko}$ = 315861,08 [kW] (9.5)

Ayrıca hava ısıtılması için gerekli ısının aktarıldığı hava ön ısıtıcısı bulunmaktadır. Bu ısı değiştirgecinin ısıl gücü ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$Q_{HÖI}$ [kW] = VH [$Nm^3$/s] x $Cp_H$ [kJ/$Nm^3$ °C] x ($T_{HÇ}$ - $T_{HG}$) [°C] (9.6)

$V_H$= 106,6 [$Nm^3$-H/s] (Bölün 10.4.3)

$Cp_H$ = 1,296 [kJ/$Nm^3$°C] (35)

$T_{HÇ}$ - $T_{HG}$ = (261- 40) [°C] (tasarım değerleri)

$Q_{HÖI}$ = 30534 [kW]

# 10.KAZAN ISIL TASARIMI

## 10.1. Yakıt Isıl Değerinin Hesaplanması

Kazanın ısıl tasarımının yapılabilmesi için, o santral kazanında rezerv ömrü boyunca yakılacak yakıtın ortalama elementler karışım oranlarının belirlenmesi ve bu değerlerden yola çıkılarak ısıl değerlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada belirlenen örnek santralde yakılacak kömür karışımının yaş bazdaki elementler analiz değerleri aşağıdaki gibidir [24].

C 0,561 [kg-C/kg-yakıt]

H 0,038 [kg-H/kg-yakıt]

O 0,073 [kg-O/kg-yakıt]

N 0,013 [kg-N/kg-yakıt]

S 0,015 [kg-S/kg-yakıt]

W 0,116 [kg-W/kg-yakıt]

A 0,184 [kg-A/kg-yakıt]

Üst ısıl değer (yanma ısısı, $H_o$ [kcal/kg-yakıt]): Bir yakıtın üst ısıl değeri, o yakıtın 1 atmosfer sabit basınç ve 273 K sıcaklıkta belirli şartlar altındaki belirli hacimde hava ile tam olarak yakıldığı zaman, yanma gazları içindeki su buharının tamamının belirli bir sıcaklıkta yoğuşturulduğunda açığa çıkan toplam ısı miktarıdır [35].

$$H_o = 8100\ C + 34100\ (H - O/8) + 2220\ S = 5562\ [kcal/kg\text{-}yakıt] \quad (10.1)$$

*Alt ısıl değer (ısıtma ısısı. $H_u$ [kcal/kg-yakıt]):* 1 atm sabit basınç ve sabit sıcaklıktaki gazın belirli şartlar altındaki V hacmindeki hava ile yakıldığı zaman, yanma gazları içindeki suyun tamamının buhar olarak gaz fazında bulunduğu durumda açığa çıkan ısı miktarına alt ısıl değer denir [35].

$$H_u = H_o - 572\ (W + 9H) = 5300\ [kcal/kg\text{-}yakıt] \qquad (10.2)$$

Bu değerler, seçilen örnek santral olan İÇDAŞ Değirmencik Termik Santrali'nde kullanılan kömürün değerleriyle uyum göstermektedir.

## 10.2. Kazan Isıl Veriminin Hesaplanması

Kazan ısıl verimi, kazanda üretilmesi istenen ısıl yükün, yakıtın kayıpsız verebileceği maksimum ısıya oranıyla bulunur.

$$\eta_K = \frac{Q_{Kazan}}{My.Hu}.100 \qquad [\%] \qquad (10.3)$$

$M_y$ [kg-yakıt/h] : Yakıt Debisi

Buradan da görüldüğü gibi kazan çıkışında istenilen ısının elde edilebilmesi aşamasında temel kayıplar söz konusu olmakta. Bu kayıplar, yanma kaynaklı ve kazan kaynaklı olmak üzere iki grupta incelenebilir. Yatak külündeki yanmamış karbon ($K_{YK}$), eksik yanan karbon ($K_{CO}$). Eksik yanan yanıcı uçucular ($K_{CH}$) ve filtrelerde toplanan küçük taneli yanmamış kok partiküller ($K_{UK}$) yanma kaynaklı kayıplar olarak adlandırılır. Bu kayıplar göz önünde bulundurularak yanma verimi şu şekilde hesaplanabilir.

$$\eta_Y = 100 - (K_{YK} + K_{CO} + K_{CH} + K_{UK}) \quad [\%] \qquad (10.4)$$

Kazan kaynaklı kayıplar ise, yüksek sıcaklıkta salınan baca gazı kaybı ($K_B$). yalıtım kaybı ($K_{KK}$) ve işletme bakım-onarım kayıpları ($K_İ$) şeklinde sıralanabilir. Bu kayıplar da dahil edildiğinde kazan genel kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\eta_K = \eta_Y - (K_B + K_{KK} + K_İ) \quad [\%] \qquad (10.5)$$

Bu çalışmada tasarımda standart kayıplar olarak hesaba katılan yalıtım kaybı ve işletme kaybı 0,5 [%] olarak hesaba katılmıştır. Bunun yanı sıra kayıplara çok az etkisi olan eksik karbon yanma kaybı ve yanıcı uçucu kaybı toplamı 0,03 [%] olarak belirlenmiştir [37]. Diğer kayıpların hesaplanması ise sırasıyla,

$$K_{YK} = \frac{A.YK.H_{kok}}{Hu}.100 = 0{,}42\ [\%] \quad (10.6)$$

A [kg-kül/kg-yakıt] : Kül oranı

YK [kg-kok/kg-kül] : Küldeki yanmamış kok oranı

$H_{kok}$ [kcal/kg-kok] : Kok ısıl değeri

$H_u$ [kcal/kg-yakıt] : Yakıt alt ısıl değeri

$$K_{UK} = \frac{A.UK.H_{kok}}{Hu}.100 = 2.8 \quad [\%] \quad (10.7)$$

UK [kg-kok/kg-kül] : Uçucu küldeki yanmamış kok oranı

$$K_B = \frac{V_{GY}.C_{p_G}.(T_B - T_{KD})}{Hu}.100 = 5.4\ [\%] \quad (10.8)$$

$V_{GY}$ [$Nm^3$-G/kg-yakıt] : Özgül yanma gazı miktarı

$Cp_G$ [kcal/kg°C] : Yanma gazı özgül ısısı

$T_B$ [°C] : Baca gazı çıkış sıcaklığı

$T_{KD}$ [°C] : Kazan dairesi sıcaklığı

Bulunan değerler 10.4 ve 10.5 numaralı denklemlerde yerlerine konursa;

$\eta_Y = 96{,}75$ [%]

$\eta_K = 90{,}85$ [%] olarak bulunur.

İÇDAŞ Değirmencik Termik Santrali tasarım değerlerine göre $\eta_Y$ değeri %97, $\eta_K$ değeri ise %91 olarak belirtilmiştir. Bu da bulunan verim değerlerinin gerçekle uygunluk içinde olduğunu göstermektedir.

.

## 10.3. Kazan Yakıt Tüketimi Hesabı

Kazanın istenilen ısıl yükü karşılayabilmesi için ihtiyaç duyduğu yakıt debisi My[kg-y akıt/h].

$$M_y = \frac{Q_{Kazan}}{Hu.\eta_K} \quad (10.9)$$

Formülü ile bulunur.

$M_y$ = 56404,08 [kg-yakıt/h]

Yıllık yakıl tüketiminin (YYT [t-yakıt/a]) hesaplanabilmesi için santralin yıl boyu çalışma oranını veren yük faktörünün ($F_y$ [-]) belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada yük faktörü, 0,8 [-] olarak tayin edilmiştir. Bu değer, tasarlanacak olan santralin bir yılın % 80'inde çalıştığını gösterir.

YYT [t/a] = $M_y$ [kg/h].$F_y$ [-].8760 [h/a].0,001 [t/ kg] (10.10)

YYT= 494099,7 [t-yakıt/a]

## 10.4. Yanma Hesapları

Kütlesel temelde [kg/kg-yakıt], kömürün elementer analizi (C, H, O, N, S, W, A) ve stokiyometrik yanma kuralları ile tam yanma koşulları esas alınarak bulunan temel yanma denklemleri, aşağıda özet olarak verilmiştir [16].

### 10.4.1. Özgül teorik ve gerçek yakma havası gereksinimi

Teorik yanmada özgül oksijen gereksinimi ($O_{2min}$ [$Nm^3$- $O_2$/kg-yakıt]):

$O_{2min}$= 1,87C+5,6(H-O/8)+0,7S = 1,2213 [$Nm^3$- $O_2$/kg-yakıt] (10.11)

Teorik yanmada özgül hava gereksinimi ($V_{Hth}$ [$Nm^3$- H/kg-yakıt]):

$V_{Hth}$ = (1/0,21) $O_{2min}$ = 5,8156 [$Nm^3$-H/kg-yakıt] (10.12)

Gerçek yanmada özgül hava gereksinimi ($V_H$ [$Nm^3$- H/kg-yakıt]):

$V_H = n \cdot V_{Hth} = 6{,}804$ [$Nm^3$-H/kg-yakıt] (10.13)

Burada n, hava fazlalık katsayısını tanımlar ve yakıt yakma sistemi ve işletme koşullarına bağlı olarak değişir. Ölçülen yanma gazı oksijen oranına göre (bu çalışma için % 3) hava fazlalık katsayısı n; teorik yanma özgül hava gereksiniminin ($V_{Hth}$), teorik yanma özgül kuru yanma gazı miktarına ($V_{Gkrth}$) eşit olduğu varsayımı ile aşağıdaki gibi hesaplanır [16]:

$$n = \frac{21}{21 - O_2} = 1{,}17 \quad (10.14)$$

## 10.4.2. Özgül Teorik ve Gerçek Yanma Gazı Üretimi

Teorik yanmada özgül kuru yanma gazı miktarı ($V_{Gkrth}$ [$Nm^3$-G/kg-yakıt]):

Yakıtın yanıcı bileşenlerinin (C, H, S) tam yandığı, yakıt ve yakma havası azotunun oksitlenmediği varsayımı ile $V_{Gkrth}$, aşağıda verildiği biçimde hesaplanır [16].

$V_{Gkrth} = V_{CO2} + V_{SO2} + V_{NY} + V_{NH} = 5{,}661$ [$Nm^3$- G/kg-yakıt | (10.15)

$V_{CO2} = 1{,}87$ C [$Nm^3$-G/kg-yakıt], $V_{SO2} = 0{,}7$ S [$Nm^3$- G/kg-yakıt],

$V_{NY} = 0{,}8$ N [$Nm^3$-G/kg-yakıt], $V_{NH} = 3{,}76\ O_{2min}$ [$Nm^3$- G/kg-yakıt] (10.16)

Teorik yanma gazı özgül nem miktarı ($V_{H2O}$ [$Nm^3$-$H_2O$/kg-yakıt]):

$V_{H2O} = 1{,}244\ (W + 9H) = 0{,}5698$ [$Nm^3$-$H_2O$/kg-yakıt] (10.17)

Teorik yanmada özgül yaş yanma gazı miktarı ($V_{GYth}$ [$Nm^3$-G/kg-yakıt])

$V_{GYth} = V_{Gkrth} + V_{H2O} = 6{,}23169$ [$Nm^3$-G/kg-yakıt] (10.18)

Gerçek yanmada özgül yanma gazı miktarı ($V_{GY}$ [$Nm^3$-G/kg-yakıt]):

$V_{GY} = V_{GYth} + (n\text{-}1)\ V_{Hth} = 7{,}22034$ [$Nm^3$-G/kg-yakıt] (10.19)

### 10.4.3. Toplam Yakma Havası ve Yanma Gazı Debileri Hesabı

Kazanın yanma odası, duman kanalları, fan, brülör, baca, arıtma tesisi gibi sistemlerinin boyutlanmasında kullanılan, normal şartlarda toplam yakma havası debisi $V_{H0}$ ve yanma gazı debisi $V_{G0}$, saatteki ortalama kömür debisi kullanılarak aşağıda belirtilen şekilde hesaplanır [16]:

$$V_{H0}\ [Nm^3\text{-}H/h] = My\ |kg\text{-}yakıt/h]\ .V_H = 383785{,}7\ [Nm^3\text{-}Hava/h] \qquad (10.20)$$

$$V_{G0}\ [Nm^3\text{-}G/h] = My\ [kg\text{-}yakıt/h]\ .V_{GY} = 407256{,}9\ \ [Nm^3\text{-}Gaz/h] \qquad (10.21)$$

Herhangi bir T [°C] sıcaklığındaki kazan bölgesinde, yakma havası ve yanma gazı debisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$V_H\ [m^3\text{-}Hava/h] = V_{H0}\ [Nm^3\text{-}Hava/h]\ (273 + T)/273 \qquad (10.22)$$

$$V_G\ [m^3\text{-}Gaz/h] = V_{G0}\ [Nm^3\text{-}Gaz/h]\ (273 + T)/273 \qquad (10.23)$$

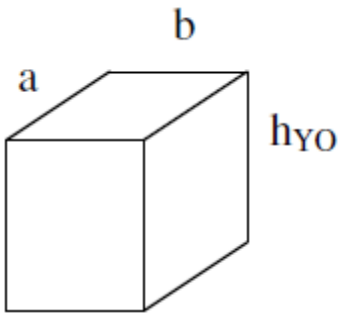
Ortam sıcaklığının yaklaşık 25 °C olduğu düşünülürse bu değerler aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_H\ [m^3\text{-}H/h] = 418930{,}9\ [m^3\text{-}H/h]$$

$$V_G\ [m^3\text{-}G/h] = 444551{,}5\ [m^3\text{-}G/h]$$

### 10.4.4. Yanma Odası Boyutlandırması

Yanma odası boyutlandırılırken en önemli kriter, alevin yanma odasını kapladığı ve alev boyunun yanma odası enine eşit olduğu varsayımı olacaktır. Ayrıca en üst düzeyde ısı aktarımını gerçekleştirilebilmesi için alev topunun yanma odasını tam doldurması gerektiği düşünülürse, yanma odası kesit alanının kare şeklinde olması gerekliği düşünülebilir. Tasarlanacak yanma odası için en etkin alev soğumasının sağlanacağı $A_{YO}/V_{YO}$ oranının maksimum olacağı şekilde bir geometri belirlenecek olursa [16];




Şekil 10.1. Yanma odası geometrisi.

a [m] = b [m]

$A_{YO}$ [$m^2$] = a [m]. b [m] (10.24)

$V_{YO}$ [$m^3$] = $A_{YO}$ [$m^2$]. $h_{YO}$ [m] (10.25)

Görüldüğü gibi boyutlandırmanın gerçekleştirilebilmesi için a, b ve $h_{yo}$ verilerinin tespit edilebilmesi gerekir. Bu verilerin tespiti için ise daha önceki benzer çalışmalardan veya sanayiden elde edilecek kesitsel ($q_F$ [$MW/m^2$]) ve hacimsel ($q_v$ [$MW/m^3$]) ısıl yük değerlerinin (Çizelge 10.1 ve Çizelge 10.2) bilinmesi gerekmektedir [35].

Tablo 10.1. Bazı kazan kapasiteleri için kesitsel ısıl yük değerleri [$MW/m^2$]

| Kazan Kapasitesi (ton/saat) | Kesitsel Isıl Yük Değerleri İçin Üst Sınır Değerler | | |
|---|---|---|---|
| | Tky < 1300 °C | Tky = 1300 °C | Tky > 1300 °C |
| 130 | 2,13 | 2,56 | 2,59 |
| 220 | 2,79 | 3,37 | 3,91 |
| 420 | 3,65 | 4,49 | 5,12 |
| 500 | 3,91 | 4,65 | 5,44 |
| 1000 | 4,42 | 5,12 | 6,16 |
| 1500 | 4,47 | 5,45 | 6,63 |

Bu çizelgedeki $T_{ky}$. Külün yumuşama sıcaklığını göstermektedir.

Tablo 10.2. Bazı yakıt çeşitleri için hacimsel ısıl yük değerleri [MW/m$^3$]

| Yakıt | Kuru Cüruflu Yanma Odası | Ergimiş Cüruflu Yanma Odası | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Açık Yanma Odası | Yan Açık Yanma Odası | Cüruf Havuzlu Yanma Odası |
| Antrasit | 0,110 – 0,140 | < 0,145 | < 0,169 | 0,523 – 0,598 |
| Yarı Antrasit | 0,116 – 0,163 | 0,151 – 0,186 | 0,163 – 0,198 | 0,523 – 0,698 |
| Tas Kömürü | 0,140 – 0,200 | | | |
| Fuel-Oil | 0,230 – 0,350 | | | |
| Linyit | 0,090 – 0,150 | < 0,186 | < 0,198 | 0,523 – 0,640 |
| Gaz Yakıt | 0,350 | | | |

Bu çizelgeler yardımıyla kazan özelliklerine göre ısıl kapasiteler aşağıdaki gibi belirlenmiş olur.

$q_F = 4,2$ [MW/m$^2$]

$q_V = 0,135$ [MW/m$^3$]

$A_{YO} = O_{YO}$ [MW] / $q_F$ [MW/m$^2$] = 80,1 [m$^2$] (10.26)

$V_{YO} = O_{YO}$ [MW] / $q_V$ [MW/m$^3$] = 2491,6 [m$^3$] (10.27)

$Q_{YO}$ [MW] = $M_y$ [kg/h] . $H_u$ [kWhy/kg]. $\eta_Y$ [kWht/ kWhy] (10.28)

Bulunan bu değerler 10.24 ve 10.25 numaralı formüllerde yerlerine koyulursa;

a = b = 8,94 [m]

$h_{YO}$ = 31,1 [m] olarak bulunur.

## 10.4.5. Yanma Odası Sıcaklığının Hesaplanması

Yanma odası sıcaklığı tespiti için, yanma odasına verilen ısı toplamının belirlenmesi gerekir. Yanma odasının ısı kaynakları ise yakıt ve sıcak havadır.

$$Q_{YO} = Q_{Yakıt} + Q_{Hava} \quad (10.29)$$

$$V_G.Cp_G.T_{YO} = M_y.H_u + V_H.Cp_H.T_H \quad (10.30)$$

$$T_{YO} = \frac{My.Hu+V_H.Cp_H.T_H}{V_G.Cp_G} \quad (10.31)$$

Bu ifadede görüldüğü gibi yanma odası sıcaklığından başka gazın özgül ısı değeri de bilinmemektedir. Bu nedenle çözüm için, yanma odası sıcaklığını ve özgül ısı ifadesini içeren ikinci bir denklem gerekmekledir. Bunun için de aşağıdaki genel üçüncü dereceden eşitlikleri faydalanılabilir [18].

$$\bar{C}p = a + bT + cT^2 + dT^3 \text{ [kJ/kmol.K]} \quad (10.32)$$

Bu eşitlikle belirtilen ortalama özgül ısı değeri, yanma gazını oluşturan diğer gazlar için teker teker bulunur ve bu gazların hacimsel oranları dikkate alınarak ağırlıklı ortalama yoluyla gazın o sıcaklık için bir fonksiyonu olarak özgül ısısı belirlenmiş olur. Bütün gazlar için katsayı değerleri EK-6'daki çizelgeden belirlenerek denklemlere yerleştirilir.

$$\bar{C}p_{CO_{2\,@\,T}} = 22{,}26 + 0{,}05981 \times T - 3{,}501 \times 10^{-5} \times T^2 + 7{,}469 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (10.33)$$

$$\bar{C}p_{SO_{2\,@\,T}} = 25{,}78 + 0{,}05795 \times T - 3{,}812 \times 10^{-5} \times T^2 + 8{,}612 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (10.34)$$

$$\bar{C}p_{NO_{@\,T}} = 29{,}34 - 9{,}395 \times 10^{-4} \times T + 9{,}747 \times 10^{-6} \times T^2 - 4{,}187 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (10.35)$$

$$\bar{C}p_{NO_{2\,@\,T}} = 22{,}9 + 0{,}05715 \times T - 3{,}52 \times 10^{-5} \times T^2 + 7{,}87 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (10.36)$$

$$\bar{C}p_{H_2O\,@\,T} = 32{,}24 + 0{,}001923 \times T + 1{,}055 \times 10^{-5} \times T^2 - 3{,}595 \times 10^{-9} \times T^3$$

(10.37)

$$\bar{C}p_{Hava\,@\,T} = 28{,}11 + 0{,}001967 \times T + 4{,}802 \times 10^{-6} \times T^2 - 1{,}966 \times 10^{-9} \times T^3$$

(10.38)

Bu yaklaşımın gerçek değere nazaran hata payları EK-6'daki çizelgede verilmiştir. Bu hata değerlerinden de anlaşıldığı gibi bulunacak özgül ısı değerleri gerçek değer için kullanılabilir.

Eş. 10.38'den yanma odasına giren havanın giriş sıcaklığındaki özgül ısı değeri belirlenir ve gerekli birim dönüşümü yapılacak olursa;

$\bar{C}p_{Hava\,@\,261^oC} = 0{,}305\ [kcal/Nm^3\ °C]$ Olarak bulunur.

Yanma gazını oluşturan bütün gazların özgül ısı değerleri, gazların toplam yanma gazı içindeki hacimsel oranı dikkate alınarak ortalama tek bir özgül ısı değerine dönüştürülmüş olur.

$$\bar{C}p_{G\,@\,T} = \sum_{i=1}^{6}(\bar{C}p_{i\,@\,T} \times X_i) \qquad (10.39)$$

Denklemlerin çözülmesi ve gerekli birim dönüşümlerinin yapılması halinde, yanma odası sıcaklığında özgül ısı ve bu değere bağlı olarak yanma odası sıcaklığı, 11.31 ve 11.39 numaralı eşitliklerden çekilerek aşağıdaki gibi bulunur.

$\bar{C}p_{G\,@\,T_{YO}} = 0{,}38\ [kcal/Nm^3\ °C] = 1{,}5884\ [kj/Nm^3\ °C]$

$T_{YO}$= 1365 [$^oC$]

## 10.4.6. Isı Değiştirgeçleri Yanma Gazı Sıcaklıklarının Hesaplanması

Yanma sonucu açığa çıkan yanma gazı, kazanda iş akışkanına aktarılmak üzere, ısısını ısı değiştirgeçlerinde (buharlaştıncı, kızdırıcı, ara kızdırıcı, ekonomizer, hava ön ısıtıcı) kaybederek, gerekli filtre ve arıtma işlemlerinden geçip bacadan atmosfere atılır. Bu ısı değiştirgeçlerinin tasarımı, kazan tasarımının en önemli noktaları olacağından, çekilmesi gereken ısılardan faydalanarak çıkış sıcaklıklarının belirlemesi gerekmektedir.

**Buharlaşmada Yanma Gazı Sıcaklığının Hesaplanması**

Yanma odası çıkış sıcaklığının belirlenmesinde yanma gazından buharlaştırma işlemi için çekilen ısıl yükten faydalanılır.

$$Q_{buh}\ [kW] = V_G\ [Nm^3/s].\ Cp_{Gbuh}\ [kJ/Nm^3\ °C].\ (T_{YO} - T_{YOÇ})\ [°C] \qquad (10.40)$$

$Cp_{Gbuh}$= 1.9113 [kJ/Nm$^3$ °C]

$T_{YOÇ}$ = 908,13 [°C]

Bu değer, örnek santralde 880 °C olduğuna göre gerçek değerle uyum gösterdiği görülebilir.

**Kızdırıcıda Yanma Gazı Sıcaklığının Hesaplanması**

Kızdırıcı çıkış sıcaklığının belirlenmesinde yanma gazından kızdırma işlemi için çekilen ısıl yüklen faydalanılır.

$$Q_{kız}\ [kW] = V_G\ [Nm^3/s].\ Cp_{Gkız}\ [kJ/Nm^3\ °C].\ (T_{YO} - T_{KÇ})\ [°C] \qquad (10.41)$$

Kızdırıcıdaki ortalama özgül ısının ve yanma gazının kızdırıcıyı terk ettiği sıcaklığın belirlenmesi için de iki bilinmeyenli iki denklem (Eş. 10.39 ve Eş. 10.41) çözülürse aşağıdaki sonuçlar bulunabilir.

$Cp_{Gkız}$= 1.8373 [kJ/Nm$^3$ °C]

$T_{KÇ}$ = 606,9 [°C]

Bu değerin gerçek santral değeriyle karşılaştırılması mümkün değildir. Çünkü örnek santralde kızdırıcı paketlerinin diziliş düzeni karmaşık tercih edilmişken, bu çalışmada kızdırıcı paketlerinin art arda konulduğu düzgün sıra tercih edilmiştir.

**Ara Kızdırıcıda Yanma Gazı Sıcaklığının Hesaplanması**

Ara kızdırıcı çıkış sıcaklığının belirlenmesinde yanma gazından tekrar kızdırma işlemi için çekilen ısıl yükten faydalanılır.

$$Q_{ak}\ [kW] = V_G\ [Nm^3/s].\ Cp_{Gak}\ [kJ/Nm^3\ °C].\ (T_{KÇ} - T_{AKÇ})\ [°C] \qquad (10.42)$$

Benzer şekilde çözüm yolu uygulanarak 10.39 ve 10.42 numaralı eşitlikler birlikte çözülürse ara kızdırıcı ortalama özgül ısısı ve yanma gazının ara kızdırıcıyı terk ettiği sıcaklık değeri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$Cp_{Gak} = 1,8258\ [kJ/Nm^3\ °C]$

$T_{AKÇ} = 436,19\ [°C]$

Bu değer, seçilen örnek santralin tasarım değerlerinde 465 °C olduğu için bu değerin de uygunluk gösterdiğini söylemek mümkün olacaktır.

**Ekonomizerde Yanma Gazı Sıcaklığının Hesaplanması**

Ekonomizer çıkış sıcaklığının belirlenmesinde yanma gazından buharlaştırma işlemi için çekilen ısıl yükten faydalanılır.

$$Q_{eko}\ [kW] = V_G\ [Nm^3/s].\ Cp_{Geko}\ [kJ/Nm^3\ °C].\ (T_{AKÇ} - T_{EKOÇ})\ [°C] \qquad (10.43)$$

10.39 ve 10.43 numaralı eşitliklerin birlikte çözümü ile aşağıdaki sonuçlar bulunabilir.

$Cp_{Geko} = 1,7288\ [kJ/Nm^3\ °C]$

$T_{EKOÇ} = 270,5\ [°C]$

Örnek santral için bu değer 285 °C'dir. Bulunan değer, gerçek değerle uygunluk göstermektedir.

**Hava ön Isıtıcı Çıkış Sıcaklığının Hesaplanması**

Hava ön ısıtıcı yani aynı zamanda baca gazı çıkış sıcaklığının belirlenmesinde yanma gazından hava ön ısıtma işlemi için çekilen ısıl yükten faydalanılır.

$$Q_{HÖI}\ [kW] = V_G\ [Nm^3/s].\ Cp_{GHÖI}[kJ/Nm^3\ °C].\ (T_{EKOÇ} - T_{HÖIÇ})\ [°C] \qquad (10.44)$$

10.39 ve 10.44 numaralı denklemler birlikte çözülerek aşağıdaki sonuçlar bulunabilir.

$Cp_{GHÖI} = 1{,}3923\ [kJ/Nm^3\ °C]$

$T_{HÖIÇ} = T_{baca} = 129\ [°C]$

Baca gazı çıkış sıcaklığı seçilen örnek santralin tasarım koşullarında 135 °C'dir. Bu değer, gerçek değerle uygunluk gösterdiği gibi, düşük sıcaklık korozyonunun sebebi olan sıcaklık değerinin de üzerinde bir değerde gaz dışarı atılmış olur.

## 10.4.7. Isıtma Yüzeyinin Boyutlandırılması

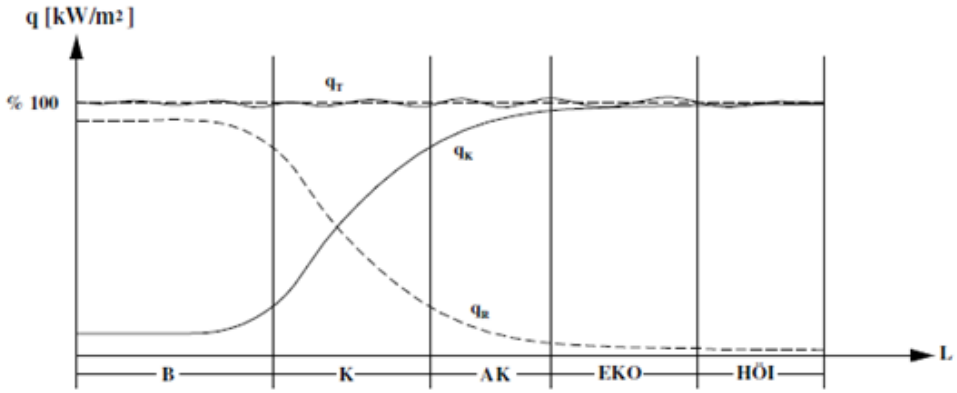
Isı değiştirgeçlerinin ısıtma yüzeylerinin hesabı yapılırken, öncelikle ısı değiştiricilerden geçecek gazın ve iş akışkanının hızlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ısı aktarım katsayısının belirlenmesinde kullanılacak baca gazı ve iş akışkanı hızları Tablo 10.3.'de verilmiştir.

Tablo 10.3. Baca gazı ve iş akışkanı hızları [35].

| Akışkan / Isı Değiştirgeci | Baca Gazı (m/s) | İş Akışkanı (m/s) |
|---|---|---|
| Buharlarına | 20 | 10 |
| Kızdırıcı | 20 | 15 |
| Ara Kızdırıcı | 20 | 15 |
| Ekonomizer | 20 | 0,9 |
| Hava ön Isıtıcı | 15 | - |

## Toplam Isı Aktarım Katsayılarının Belirlenmesi

Isı aktarımı ve boyutlandırma hesaplarının temelini ısı aktarım katsayıları oluşturmaktadır. İş akışkanına bir ısı aktarımı söz konusu ise, o akışkana ne şekilde bir ısı aktarımı (ışınım, taşınım, iletim, karmaşık) yapıldığının belirlenmesi ve bütün bu aktarım çeşitlerinin tek bir ortak katsayıda (U) toplanabilmesi gerekmektedir. Her bir ısı değiştirgecinde etkili olan ısı aktarımları. Şekil 10.2.'de açıkça görülmektedir.



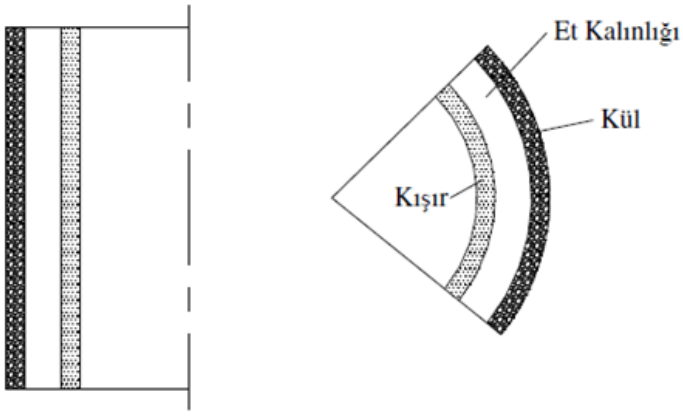

Şekil 10.2. Isı değiştirgeçlerinde ışınım ($q_R$) ve taşınım ($q_K$) ile ısı aktarımının toplam ısı aktarımındaki ($q_T$) payları [%].

Görüldüğü üzere yanmanın gerçekleştiği ve yanma gazının en yüksek sıcaklığının görüldüğü buharlaştırıcıda ışınım ile ısı aktarımının etkisi çok fazla iken, kızdırıcıda iki çeşit aklarımdan de söz etmek mümkün olacaktır. Diğer ısı değiştirgeçlerinde ise artık büyük oranda zorlanmış taşınım görülmektedir.

Her bir ısı değiştirici için ortak bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$Q=U.\ A.\ \Delta T_m \qquad (10.45)$$

Burada U, toplam ısı aktarım katsayısını; A, ısı aktarımının gerçekleştiği yüzey alanı: $\Delta T_m$ ise ısı değiştirgeci logaritmik sıcaklık farkını göstermektedir. Toplam ısı aktarım katsayısının bulunması için, ısı aktarım alanında, aktarıma karşı direç oluşturacak etkenler (Şekil 10.3.) belirlenmelidir.




Şekil 10.3. Buhar hatlı boru kesiti [56]

Şekilden de anlaşılacağı gibi boru içindeki iş akışkanına ısı aktarılmasına üç farklı iletimsel direnç etkisi söz konusudur. Bunlar sırasıyla, dış kirlilik faktörü (kül), boru el kalınlığı ve iç kirlilik faktörüdür (kışır). Bunların dışında ayrıca borunun içinden iş akışkanı taşınım direnci, dışarısından da gaz tasınım ve ışınım dirençleri olmak üzere ısı transferini etkileyen 6 farklı ısıl direnç söz konusu olacaktır.

**<u>Buharlaştırıcı için ısı aktarım katsayısının belirlenmesi</u>**

Buharlaştırıcı için gazın ısı taşınım direncinin önemi çok düşük olacağından bu hesaplamada 5 direnç ele alınacaktır.

$$Q_{buh} = U_{buh} \cdot A_{buh} \cdot (\Delta T_m)_{buh} \tag{10.46}$$

$$U_{buh} = \frac{1}{\frac{1}{h_{GR}} + \sum_{i=1}^{3} \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_{BK}}} \tag{10.47}$$

Bu ifadede yer alan $h_{GR}$ yanma gazı tarafının ısı aktarım katsayısı; $h_{BK}$, buhar tarafının ısı aktarım katsayısı; $(\delta/\lambda)$ ise kışırın, külün ve boru et kalınlığının ısı aktarımına gösterdiği direnç olarak adlandırılır.

Şekil 10.2'den de anlaşılacağı gibi buharlaştıncıda yanma gazı için ışınım ile ısı aktarımı baskın olarak görülmektedir. Genel ışınım ifadesinden faydalanılacak olunursa;

$$Q = \varphi\sigma\varepsilon A((T_s^4 - T_\infty^4) = h_{GR}A(T_s - T_\infty) \quad (10.48)$$

$$h_{GR} = \frac{\varphi\sigma\varepsilon(T_s^4 - T_\infty^4)}{T_s - T_\infty} \quad (11.49)$$

Bu ifadede yer alan φ ifadesi, su borusunun tamamen siyah bir cisim olmadığı dikkate alınarak hesaba katılan ısıl verim faktörü olarak adlandırılabilir [17]. σ, Stefan-Boltzman sabitini göstermektedir, ε ise gaz ile yüzeyin birbirine paralel olarak düşünüldüğü durum için ışınım yayma katsayısıdır [38].

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{Gaz}} + \frac{1}{\varepsilon_{Yüzey}} - 1} \quad (10.50)$$

Bu ifadedeki $\varepsilon_{Gaz}$ ve $\varepsilon_{Yüzey}$ ve yüzey yayıcılığını göstermekledir. $\varepsilon_{Yüzey}$, su borusunun yüzey yayıcılığını göstermekledir ve EK tablolardan yüzeyin durumuna göre belirlenebilen bir değerdir. $\varepsilon_{Gaz}$ değerinin tespiti için ise gaz ışınımının irdelenmesi gerekmektedir. Gaz molekülünü oluşturan atomlar serbest elektrik yükü içerdiklerinde dönme ve titreşim hareketleri yaparak elektromanyetik dalga yayarlar. $CO_2$, $H_2O$, CO, $NH_3$, $C_mH_n$ gibi molekülünde çok sayıda atom bulunan gazlar, bu duruma örnek gazlardır.

Gazların ışınımı yüzeyde olmayıp, hacim içerisinde gerçekleşir [35]. Buna göre gazlar için ortak ışınım katsayısı, aşağıdaki ifadeyle bulunabilir:

$$\varepsilon_{Gaz} = \varepsilon_{CO_2} + \varepsilon_{H_2O} - \Delta\varepsilon \quad (10.51)$$

Burada $\varepsilon_{CO_2}$ ve $\varepsilon_{H_2O}$ gazların kısmi basınçları, sıcaklıkları ve eşdeğer tabaka kalınlığına ($L_e$) bağlı olarak EK tablolardan belirlenmektedir [35]. Teorik yoldan, gazın kendi ışınımını yutması önemsiz olduğundan eşdeğer tabaka kalınlığı ($L_e$):

$$L_e = 4\frac{V}{A}[m] \quad (10.52)$$

Burada V, alevin yanma odasını tamamen doldurduğu varsayımından hareketle yanma odası hacmini, A ise dikdörtgenler prizması şeklindeki yanma odasının toplan yüzey alanını ifade etmektedir. Δε ise iki gazın birbirlerinin ışımalarını kısmen yutmalarından gelen bir zayıflama terimi olup yine EK tablolardan ya da yaklaşık olarak $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{CO_2} + \varepsilon_{H_2O}$ bağıntısından bulunabilir.

Bu bilgiler ışığında;

$\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ [W/m$^2$K$^4$]

$\varphi = 0{,}45$

$\varepsilon_{CO_2} = 0{,}25$

$\varepsilon_{H_2O} = 0{,}48$

$\Delta\varepsilon = 0{,}12$

$\varepsilon_{Gaz} = 0{,}61$

$\varepsilon_{Yüzey=}0{,}258$

$h_{GR} = 28{,}107$ [W/m$^2$ °C] olarak bulunur.

Eş. 10.47 silindirik koordinatlara göre düzenlenirse [39];

$$\frac{1}{U_{buh}} = \frac{1}{h_{GR}} + R_d + \frac{D_d}{2k}\ln\left(D_d/D_i\right) + R_i\frac{D_d}{D_i} + \frac{1}{h_{BK}}\frac{D_d}{D_i} \qquad (10.53)$$

Burada $R_d$, boru etrafında kül toplanmasıyla oluşan kalınlığın aktarıma gösterdiği direnç, $R_i$ ise boru içinde zamanla biriken kışır tabakasının gösterdiği dirençtir. $D_d$ ve $D_i$, dış ve iç boru çapını, k ise borunun iletim katsayısıdır [39].

$R_d$ = 0,0002 [m$^2$ °C/W]

$R_i$ = 0,0001 [m$^2$ °C/W]

$D_d$ = 0,08 [m]

$D_i = 0,07$ [m]

k = 50 [W/m °C]

$h_{BK}$ değeri ise iş akışkanı tarafının ısı transfer katsayısıdır. Bu katsayı değerinin analitik olarak hesaplanması son derece karmaşık ve zor olduğu için, uygulamalarda deneysel çalışmalar sonucu belirlenmiş Nusselt (Nu), Reynolds (Re) ve Prandtl (Pr) sayılarına bağlı olarak film katsayısını veren ifadeler kullanılmaktadır [35].

Nusselt sayısı (Nu): Akışkanın iletim katsayısı, akışın olduğu boru çapı D ve ısı transfer film katsayısı h olmak üzere,

$$Nu = \frac{hD}{k} \tag{10.54}$$

Olarak ifade edilmektedir.

Reynolds sayısı (Re): Akışkanın ortalama hızı V, kinematik viskozitesi v ve akışın olduğu boru çapı D olmak üzere,

$$Re=VD/v \tag{10.55}$$

Olarak ifade edilmektedir.

Prandtl sayısı (Pr): Akışkanın kinematik viskozitesinin v, ısıl yayılım katsayısına oranı olarak ifade edilmektedir. Uygulamalarda boru içindeki tam gelişmiş türbülanslı oranı olarak ifade edilmektedir. Uygulamalarda boru içindeki tam gelişmiş türbülanslı akış için Dittus ve Boelter tarafından Re>104 ve 0,6 < Pr < 100 aralığında

$$Nu = 0.023\ Re^{0,8}\ Pr^{n} \tag{10.56}$$

Bağıntısı verilmektedir. Bu ifadede n. akışkanın ısınması halinde 0,4 ve soğuması halinde 0,3 değerini almaktadır [39].

Bu bilgilerden faydalanılarak $h_{BK}$ değeri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$h_{BK}$= 14760,817 [W/m$^2$ °C]

Bu değer Eş. 10.53'te yerine konulursa, buharlaştırıcı için toplan ısı transfer katsayısı bulunabilir.

$U_{buh}$= 27,72 [W/m$^2$ °C]

**<u>Kızdırıcı için ısı aktarını katsayısının belirlenmesi</u>**

Kızdırıcıda ısı aktarımını zorlaştıracak 6 direncin hepsi hesaba katılmak zorunda olacaktır.

$$Q_{kız} = U_{kız}.A_{kız}.(\Delta T_m)_{kız} \quad (10.57)$$

$$U_{kız} = \frac{1}{\frac{1}{h_{GR}}+\frac{1}{h_{GK}}+\sum_{i=1}^{3}\frac{\sigma}{\lambda}+\frac{1}{h_{BK}}} \quad (10.58)$$

Şekil 10.2'den de anlaşılacağı üzere kızdırıcıda yanma gazı tarafının ısı transfer katsayısı belirlenirken hem ışınını ile ısı aktarımı hem de taşınım ile ısı aktarımı göz önünde bulundurulmalıdır. İşınım ile ısı aktarımı hesaplamalarında buharlaştırıcıdaki hesaplama yöntemi ve parametreler kullanılabilir. Bu hesaplamalar sonucunda

$h_{GR}$ = 17,604 [W/m$^2$ °C] olarak bulunabilir.

Yanma gazının taşınılma ısı transfer katsayısının belirlenebilmesi için genel taşınım hesaplamaları için faydalanılan Nusselt (Nu). Reynolds (Re) ve Prandtl (Pr) sayılarının tespit edilebilmesi gerekmektedir. Yanma gazının boru etrafından geçmesi sırasında boruların çapraz ve düz sıralanmış durumları için ortalama Nusselt sayısı aşağıdaki şekildedir [39].

$$Nu = C\,Re^{n}\,Pr^{1/3} \quad (10.59)$$

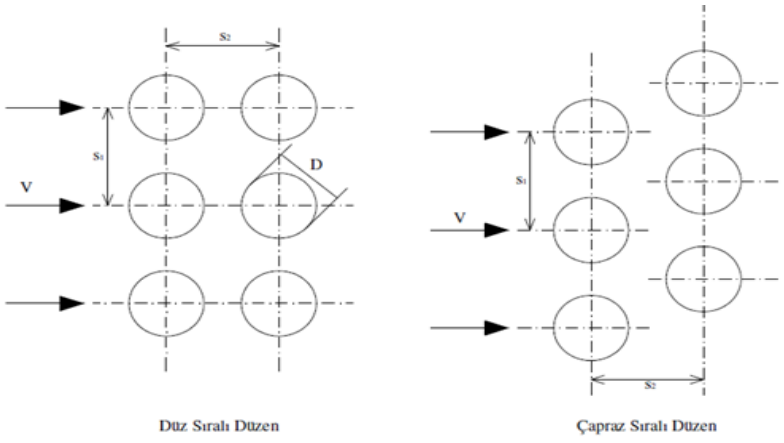
Bu bağıntı 2000 < Re < 40000 koşullarında geçerlidir. C ve n değerleri ise Tablo 10.4.'dan elde edilebilir. Reynolds sayısının belirlenebilmesi için gerekli gaz hızı, ortalama hız olarak değil, en dar kesitteki maksimum hız tercih dilmelidir.

$$V_{max} = \frac{V_{s_1}}{s_1 - D} \text{ [m/s]} \qquad (10.60)$$

Bu ifadede V yanma gazının kızdırıcıdaki ortalama hız değerini, D ise kızdırıcıdaki su borularının çapını ifade etmektedir. $s_1$ ise boru demetleri arasındaki mesafedir (Tablo 10.4.). Ayrıca akışa dik boru sayısının 10 sıranın altında olması durumunda, bulunan film katsayıları, boruların düzenlemesine ve boru sıra sayısına göre hazırlanan Şekil: 10.5.'den elde edilen katsayılarla çarpılarak düzeltilmelidir [28].

Tablo 10.4. Boru demetine dik akışlarda C ve n değerleri.

| $s_2/D$ | $s_1/D$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,25 | | 1,50 | | 2,00 | | 3,00 | |
| Düz Sıralı Düzenleme | | | | | | | | |
| | C | n | C | n | C | D | C | D |
| 1,250 | 0,386 | 0,592 | 0,305 | 0,608 | 0,111 | 0,704 | 0,070 | 0.752 |
| 1,500 | 0,407 | 0,586 | 0,278 | 0,620 | 0,112 | 0,702 | 0,075 | 0.744 |
| 2,000 | 0,464 | 0,570 | 0,332 | 0,602 | 0,254 | 0,632 | 0,220 | 0,648 |
| 3,000 | 0,322 | 0,601 | 0,396 | 0,584 | 0,415 | 0,581 | 0,317 | 0,608 |
| Çapraz Sıralı Düzenleme | | | | | | | | |
| 0,600 | - | - | - | - | - | - | 0,236 | 0,636 |
| 0,900 | - | - | - | - | 0,495 | 0,571 | 0,445 | 0,581 |
| 1.000 | - | - | 0,552 | 0,558 | - | - | - | - |
| 1,125 | - | - | - | - | 0,531 | 0,565 | 0,575 | 0,560 |
| 1,250 | 0,575 | 0,556 | 0,561 | 0,554 | 0,576 | 0,556 | 0,579 | 0,562 |
| 1,500 | 0,501 | 0,568 | 0,511 | 0,562 | 0,502 | 0,568 | 0,542 | 0,568 |
| 2,000 | 0,448 | 0,572 | 0,462 | 0,568 | 0,535 | 0,556 | 0,498 | 0,570 |
| 3,000 | 0,344 | 0,592 | 0,395 | 0,580 | 0,488 | 0,562 | 0,467 | 0.574 |




Şekil 10.4. Dik akışa maruz kalan boru sıralarının düzenleri.[56]

Tablo 10.5. Akışa dik sıra sayısına göre ısı aktarım film katsayısı düzeltme çarpanları

| Akışa Dik Boru Sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Düz Sıralı | 0.68 | 0,75 | 0,83 | 0,89 | 0,92 | 0,95 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1,0 |
| Çapraz Sıralı | 0.64 | 0,80 | 0,87 | 0,90 | 0,92 | 0,94 | 0.96 | 0.98 | 0.99 | 1,0 |

Bu bilgiler yardımıyla aşağıdaki değerler tespit edilir.

$V_{max}$ = 60 m/s

$s_1 = s_2$ = 0,06 m

D = 0.04 m

Bu değerlerin tespitiyle kızdırıcı için gaz tarafı ısı taşının film katsayısı $h_{GK}$:

$h_{GK}$ = 814,205 [W/m$^2$ °C] olarak bulunur.

10.58 numaralı eşitlik silindirik koordinatlara göre düzenlenirse [39];

$$\frac{1}{U_{kız}} = \frac{1}{h_{GR}} + \frac{1}{h_{GK}} + R_d + \frac{D_d}{2k} ln(D_d/D_i) + R_i \frac{D_d}{D_i} + \frac{1}{h_{BK}} \frac{D_d}{D_i} \qquad (10.61)$$

$R_d$ = 0,0002 [m$^2$ $^o$C/W]

$R_i$ = 0,0001 [m$^2$ $^o$C/W]

$D_d$ = 0,04 [m]

$D_i$ = 0,034 [m]

k = 50 [W/m °C]

Bu eşlilikteki $h_{BK}$ değeri iş akışkanı tarafı ısı taşınım film katsayısını temsil etmektedir ve buharlaştırıcı için belirlenen hesaplama yöntemine benzer yöntemle aşağıdaki gibi bulunabilir.

$h_{BK}$ = 328,585 [W/m$^2$ °C]

Böylelikle kızdırıcıdaki toplam ısı aktarım katsayısının belirlenmesi için gerekli değerler elde edilmiş olur ve $U_{kız}$ ifadesi aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$U_{kız}$= 16,13 [W/m °C]

**Ara Kızdırıcı ve ekonomiler için ısı oklarım katsayısının belirlenmesi**

Ara kızdırıcı ve ekonomizerde ise artık gazın ışınım etkisi çok azalacağından gaz tarafından yalnızca taşınım göz önünde bulundurulacak ve etkili direnç sayısı yine beş olacaktır.

Benzer yolla yapılan hesaplamalarla $U_{ak}$ ve $U_{eko}$ aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$Q_{ak} = U_{ak}.A_{ak}.(\Delta T_m)_{ak} \quad (10.62)$$

$$U_{ak} = \frac{1}{\frac{1}{h_{GK}}+\sum_{i=1}^{3}\frac{\sigma}{\lambda}+\frac{1}{h_{BK}}} \quad (10.63)$$

$U_{ak}$= 34,78 [W/m$^2$ °C]

$$Q_{eko} = U_{eko}.A_{eko}.(\Delta T_m)_{eko} \quad (10.64)$$

$$U_{eko} = \frac{1}{\frac{1}{h_{GK}}+\sum_{i=1}^{3}\frac{\sigma}{\lambda}+\frac{1}{h_{BK}}} \quad (10.65)$$

$U_{eko}$ = 161,82 [W/m$^2$ °C]

**Logaritmik Sıcaklık Farklarının Belirlenmesi**

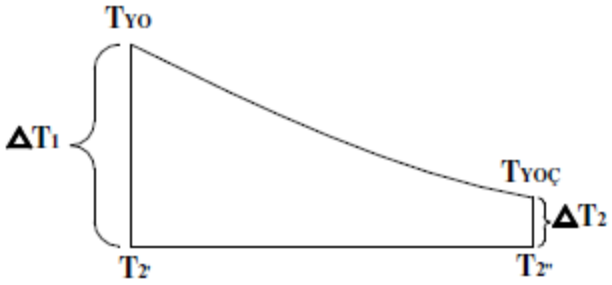
Isı değiştirgeçleri için uygun şekilde tanımlanabilecek ortalama sıcaklık farkına logaritmik sıcaklık farkı denir. Bu çalışmadaki gibi ters akışlı ısı değiştirgeçleri için bu ifade aşağıdaki gibidir.

$$\Delta T_m=(\Delta T_1-\Delta T_2)/\ln(\Delta T_1/\Delta T_2) \quad (10.66)$$

Bu bağıntıdaki $\Delta T_1$ ve $\Delta T_2$ değerleri, değiştiricilerin uçlarındaki akışkanlar arası sıcaklık farkını göstermektedir. Ortalama logaritmik sıcaklık farkı, ısı değiştiricisi boyunca toplam ısı geçiş katsayısı ile akışkanların özgül ısılarının sabit olması ve

değiştiriciden ortalama bir ısı kaybı olmaması kabulleri için geçerlidir [35]. Pratik açıdan bu kabuller genelde doğrudur.

Buharlaştırıcıdaki logaritmik sıcaklık farkının belirlenmesi için, buharlaştırıcıya giren yanma gazı ile ona ters yönlü giren ve buharlaşma sürecinde olduğundan sabit sıcaklıkta olan iş akışkanının sıcaklıkları arasındaki farklar kullanılacaktır (Şekil 10.5).




Sekil 10.5. Buharlaşmadaki sıcaklık farkları.

$$(\Delta T_m)_{buh} = \frac{(T_{YO} - T_{2'}) - (T_{YOÇ} - T_{2''})}{ln\frac{T_{YO} - T_{2'}}{T_{YOÇ} - T_{2''}}} \quad (10.67)$$

$$(\Delta T_m)_{buh} = 784{,}5\ [^oC]$$

Aynı işlemler diğer ısı değiştiricileri için de düşünülürse;

$$(\Delta T_m)_{kız} = \frac{(T_{YOÇ} - T_3) - (T_{YOÇ} - T_{2''})}{ln\frac{T_{YOÇ} - T_3}{T_{KÇ} - T_{2''}}} \quad (10.68)$$

$$(\Delta T_m)_{kız} = 465{,}4\ [^oC]$$

$$(\Delta T_m)_{ak} = \frac{(T_{KÇ} - T_5) - (T_{AKÇ} - T_4)}{ln\frac{T_{KÇ} - T_5}{T_{AKÇ} - T_4}} \quad (10.69)$$

$$(\Delta T_m)_{ak} = 89{,}2\ [^oC]$$

$$(\Delta T_m)_{eko} = \frac{(T_{AKÇ} - T_{2'}) - (T_{EKOÇ} - T_2)}{ln\frac{T_{AKÇ} - T_{2'}}{T_{EKOÇ} - T_2}} \quad (10.70)$$

$$(\Delta T_m)_{eko} = 60{,}2\ [^oC]$$

**Isı Aktarımı Yüzey Alanlarının ve Boru Boylarının Belirlenmesi**

Kazan içindeki ısı değiştirgeçlerinin ısı aktarım yüzey alanları. Eş. 10.36'dan alan ifadesi çekilerek elde edilir.

$$A = \frac{Q}{U.\Delta T_m} \quad (10.71)$$

Bu formül, bütün ısı değiştirgeçlerine uygulanırsa alanlar;

$A_{buh}$ = 6264 $m^2$

$A_{kız}$= 11501 $m^2$

$A_{ak}$ = 15672 $m^2$

$A_{eko}$= 4587 $m^2$ olarak bulunabilir.

**<u>Boru Boylarının Belirlenmesi</u>**

Silindirlerin yanal alan formülünden yola çıkarak boru boyları şu şekilde belirlenir:

$$L = \frac{A}{\pi.D} \quad (10.72)$$

$L_{buh}$ = 24927 m

$L_{kız}$= 91523 m

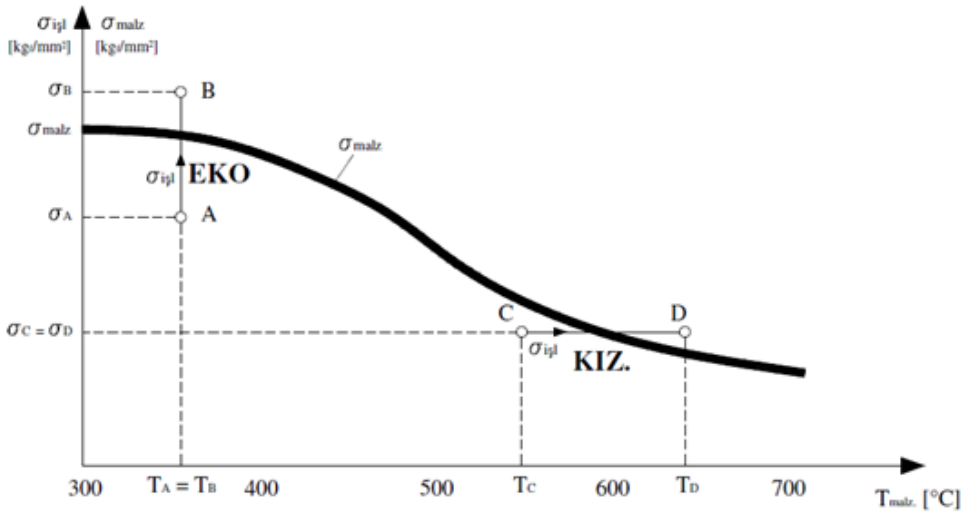
$L_{ak}$= 124722 m

$L_{eko}$ = 24334 m olarak bulunabilir.

## 10.5. Boru Mukavemetleri

Kazan çalışmasının sürekliliği acısından, kazanlarda yüksek basınçların ve yüksek sıcaklıkların görülmesi nedeniyle özellikle boruların dayanımları, çok önem taşımaktadır. Boru patlakları kazanlarda sıkça görünen ve istenmeyen durumların başında gelir. Boru patlamalarının başlıca sebeplerinin belirlenmesi ve bu sebeplere yönelik çözümler üretilmesi gerekmektedir.

Boru mukavemet sınırları. Şekil 10.6'de görülmektedir. Bu şekilde görülen mukavemet sınırını en çok zorlayan durum, yanma odasına verilen birincil hava hızının 3-4 m/s'den fazla olması durumunda ve ikinci geçişte kurum üfleme yapılmamasından dolayı biriken külün zamanla içinde bulundurduğu yanmamış karbonun uygun ortama sahip olmasından dolayı boruları aşındırması ve zayıflatması sonuçu boru patlakları meydana gelmektedir, borunun mukavemet sınırını zorlayacak hatta geçecek gerilme değerlerine ulaşmasına neden olabileceği için, bu gerilme basıncına dayanamayan boruda patlamalar görülecektir [23].




Şekil 10.6. Kazanlarda boru patlama mekanizması.[56]

Ekonomizer ısı değiştirgecinde malzeme dayanım sınırı yüksektir. Bunun nedeni şekilde görüldüğü gibi yanma gazı ve iş akışkanı sıcaklıklarının düşük olmasıdır. Bu noktada ($T_A$=$T_B$) dayanım sınırını zorlayan etken ise iş akışkanının yüksek basıncıdır. Basınç artışı ile malzemenin gerilim değeri $\sigma_A$'dan $\sigma_B$'ye yükseldiği zaman malzeme

dayanım sınırı aşıldığından, ekonomizer boruları bu artışa dayanamayacağından patlar [23].

Kızdırıcıda görülen boru patlamaları ise kül ergimeleri nedeniyle cidar sıcaklığının artmasıyla ($T_A$'dan $T_B$'ye), sabit gerilmeye rağmen ($\sigma_A = \sigma_B$) sınır değerin üzerinde kalınacağından kızdırıcı boruları patlar.

Bu nedenlerden ötürü sınır değerler bilinerek daha az basınç değerlerinde çalışılmalıdır. Ayrıca yanma odası çıkış sıcaklığının kül ergimesinin altında tutulması, hem ısı aktarımını rahatlatacak, hem de boru patlamalarıyla kaybedilen üretim zamanı, işletmeye kazandırılmış olacaktır.

# 11. BUHAR KAZANLARI GİRDİ-ÇIKTI KOŞULLANDIRMA SİSTEMLERİ

Yakıtın içerdiği kimyasal enerjiyi, yanmayla ısıya dönüştürüp, bu ısıyı iş akışkanına (su) aktararak türbin termodinamik koşullarında buhar üreten sisteme buhar kazanı denir. Buhar kazanının ekonomik boyutu; ucuz, kaliteli ve frekans kontrolüne uygun yük değişim uzun sistem ömrü, koşullarında gerekli buharın üretilmesidir. Bu boyut; ısıl verimi, işlerliği, güvenilirliği ve kazan emniyeti ile belirlenir. Kazan tasarımında beşinci kriter olan çevresel uyum kriterinin sağlanması kazanın çevresel boyutu ise kazanın katı, sıvı ve gaz atıklarının ilgili çevre yönetmeliklerinde öngörülen arıtma koşullarıyla çevreye atılmasıyla sağlanır.

Kazan ana girdileri olan yakıt, yakma havası ve besleme suyunun, teknolojinin ön gördüğü koşullarda kazana beslenmesi, kazan tasarımı ve işletmesinin güncel ekonomik koşullarda gerçekleştirmemizi sağlar. Termik santral bağlamında bu işlemler; kömür hazırlama, yakma havası hazırlama, besleme suyu hazırlama (su tasfiye sistemi) sistemleri veya kazan donanım sistemleriyle gerçekleştirilir.

Çevresel çıktı olarak dikkate almamız gereken en önemli sorun, baca gazı partikül, $SO_2$, $NO_x$ ve $CO_2$ değerlerinin mevcut yönetmelikler ve ileride yürürlüğe girecek yönetmelik sınır değerlerinde bacadan atmosfere salınımının sağlanmasıdır.

Kazan tasarımı yapılırken, yakıt özellikleri, sistem yapısına uygun yakma havası ve besleme suyu giriş koşulları esas alınarak tasarım yapılır, donatılır ve işletilir. Yukarıda bahsedilen her bir girdideki sapma, yanmanın bozulması, kazan hasar ve durmaları, ısıl verimin düşmesi, sistem ömrünün azalması, emisyonların artması vb. birçok olumsuzluklara neden olur. Kömür hazırlama sistemleri, kömürün tasarıma esas olan koşullarda hazırlanıp kazana beslenmesi sağlar.

Isıl tasarımın ardından kazan yapısal ve termodinamik özellikleri, sistem boyutları ve işletme koşulları belirlenir. Bu bölümde yakma havası hazırlama (çekiş) sistemi, besleme suyu hazırlama sistemi, baca gazı arıtma sistemleri kısaca incelenmiştir. Bu sistemlerin tasarımı, boyutlandırılması ve işletilmesiyle ilgili temel mühendislik yaklaşımları aşağıda özetlenmiştir.

## 11.1. Kazan Çekiş Sistemi

Yanma odasına giren yanma, yakıt ve yakma havasının (birincil, ikincil, üçüncül hava) girmesini, yanmayla ısısını verilmesini, oluşan ısının ısıtma yüzeylerine (buharlaştırıcı, kızdırıcı, ara kızdırıcı, besleme suyu ön ısıtıcı-eko) aktararak, baca gazı sıcaklığında atmosfere geçmesini sağlayan sistemdir.

Taşınımlı ısı transferinin oluşturulabilmesi için, yanma gazlarının yüksek hızlarda ısıtma yüzeylerini temas ederek geçmesi gerekir. Bu geçişe karşı oluşan yanma gazı basınç (çekiş, yük) kayıplarının, vantilatör, aspiratör ve bacadan oluşan üçlü çekiş sistemiyle aşılması gerekir. Oluşan toplam basınç kaybı, uygun vantilatör, aspiratör ve baca tasarım, seçim ve uygulamalarıyla ortaklaşa olarak karşılanır. Önce vantilatör çıkış basıncı ve bu basıncın toplam çekiş kaybını karşılamaya katkısı belirlenir. Bu koşullar genelde "sıfır" basıncının ("+" basınçtan "-" basınca geçiş noktası) yanma odası çıkışında oluşmasını sağlayarak, yanmayı vakum etkisinden uzak tutar. Böylelikle yanma esnasından kazana öngörülenden fazla hava kaçması, dolayısıyla yanmanın bozulması engellenmiş olur. Bir termik santral çekiş sistemi basınç dağılımları, çekiş elemanları konumları ve toplam basınç kaybını karşılama oranları gösterilmiştir.

Aspiratör çekiş kaybını karşılama payı ne kadar artırılırsa, baca yatırımı, dolayısıyla baca boyu o kadar kısalır. Burada temel yaklaşım, Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği uyarınca baca yüksekliği belirlenerek baca çekişi hesaplanıp [40], geriye kalan kısmının aspiratör tarafından karşılanması, günümüzde genel mühendislik yaklaşımıdır.

## 11.2. Besleme Suyu Arıtma Sistemi

Besleme suyu, geçtiği borularda erozyon ve korozyon etkileriyle malzemelerde hasar ve ömür kısaltıcı özelliklere ve buhar üretim sürecinde ısı transferini önleyen (kışırlaşma) sahip olmaması gerekir. Bu olumsuz etkileri yaratan ve suyun içeriği olan organik madde, katı, gaz, iyon vb. maddelerin kazan tasarımına esas olan değerlerin altında tutulması gerekir. Bu işlemler, besleme suyu koşullandırma (su tasfiye) sistemleriyle gerçekleştirilir. Suyun içerdiği katı partiküller, ısıtma yüzeyinin iç tarafında çökelerek kışır oluşur, ısı transferi önlenir, baca ısıl kayıpları artar, kazan kapasitesi ve verimi düşer. Ham suda bulunan organik içerikler, borularda tıkanmalara, kazan ayrım deposunda köpürmelere, kazan kütle dengesinde bozulmalara, kızdırıcılara su yürümesine, malzeme yorulmasına, kazan otomatik kontrolünde bozulmalara neden olur. Besleme suyu iyon içerikleri, iş akışkanının iletkenliğini ve pH değerini belirler. pH değerinin 7 olması durumunda suyun kimyasal özelliği nötr, 7'den küçük olması durumunda asidik, büyük olması durumunda ise baziktir. Asidik özellikteki su, malzemede korozyona, aşırı bazik özellikteki su ise kazanda köpürmelere, malzemede çözünmelere neden olur. Bu nedenle kazan besleme suyu pH değeri 8-9 dolayında tutulur.

Yüksek su hızlarında oluşan emiş (vakum) etkisiyle kazan bağlantı elemanlarında atmosferden suya hava, dolayısıyla oksijen sızması olur. Yüksek sıcaklıklarda buhar çelik arasındaki kimyasal etkileşimler sonucu $CO_2$ açığa çıkar. Hem oksijen hem de $CO_2$, boruların içinde korozyona neden olur. Oksijen, çukurcuk korozyonuna; $CO_2$ ise boru iç yüzeyinde yüzeysel korozyona neden olur. Su arıtma tesisinde organik maddeler, dinlenme havuzlarına çökeltilir. Katı içerikler, filtrelerle (anyon, katyon ve karışık yatak), pH değerleri çeşitli kimyasallar yardımıyla istenen değerlere getirilir. $CO_2$ ve $O_2$ ise degazörlerde buhar ilavesiyle çözülerek atmosfere atılır.

Isı değiştirgeçlerinin dış yüzeylerinde yanma ürünü uçucu küller birikerek ısı transferini engeller. Belirli aralıklarla kurum üfleyiciler üzerinden bu yüzeyler üzerine buhar püskürtülerek, kül birikimleri yıkanıp boru yüzeyleri temizlenmiş olur. Buradan da görüldüğü gibi kazanın ön görülen ısıl verimde işletilmesi için iş akışkanının geçtiği boruların iç ve dış yüzeyleri, su arıtma sistemleri ve kurum üfleme uygulamalarıyla sürekli temiz tutulmalıdır.

## 11.3. Baca Gazı Arıtma Sistemleri

Termik santraller, özellikle düşük kaliteli linyit yakanlar, en fazla emisyon yayan ve hava kirliliğine neden olan sistemlerdir. Hava kirliliğini azaltmak, aynı elektrik üretimi için olabildiğince az yakıt yakmayla mümkün olabilir. Bu ise enerji verimliliği yönünden en uygun kazan tasarımı ve işletmesini gerektirir. Başlıca kazan emisyonları, CO, toz, $SO_2$ ve $NO_x$'tir. Günümüzde $CO_2$ emisyonu azaltılması ve bertaraf edilmesi, önümüze konulan en önemli maddedir. Bu konuyla ilgili teknolojiler henüz ar-ge aşamasındadır.

Yanma kontrolüyle emisyon değerlerini en etkin bir şekilde kontrol altına alabiliriz. Yakıt kullanımı minimum olduğunda atmosfere atılan emisyonlar da minimum düzeye iner. Optimum yanma koşullarını sağladığımızda emisyon kontrol yatırımları ve işletme giderleri minimize etmiş oluruz [41].

### 11.3.1. Partikül arıtma sistemi

Elektrofiltreler termik santrallerde baca gazında bulunan kül ve toz arıtma sistemi olarak kullanılırlar. Bu sistemlerde toz yüklü ham baca gazı, elektrofiltre girişinde, yüksek gerilimli elektrotlar arasındaki elektrik deşarjı ile statik elektrik yüklenir. Negatif yüklü partiküllerin, pozitif yüklü elektrotlara gelinceye kadar bu yüklerini kaybetmemesi gerekir. Bu nedenle partikül iletkenlikleri, hem baca gazı sıcaklığı, nemi, gaz debisi ve partikül yükü, elektrofiltre tasarımıyla ilgili başlıca verilerdir [42].

### 11.3.2. $SO_2$ arıtma sistemi

Baca gazındaki $SO_2$ arıtma sistemlerinden çok azı uygulanmaktadır. SO arıtmak için baca gazıyla temasa geçen arıtıcı akışkan tarafından emme (absorbsiyon, kimyasal afinite) veya yüzeysel tutma (adsorbsiyon) etkileriyle arıtıcı akışkana çekilir ve bu akışkanda bağlanır. Günümüzde yatırım ve işletme maliyetleri yönünden termik santral kazanları için en uygun $SO_2$ tutma yöntemi, yaş kireçtaşı yöntemidir [44].

Saf deniz suyu ile kükürtsüzleştirme işlemi deniz suyundaki alkali tarafından gazdaki $SO_2$'nin uzaklaştırılması ile bir ıslak kükürtsüzleştirme metodudur. $SO_2$ deniz suyu tarafından absorbe edildikten sonra $HSO_3$- ve H+ oluşur. $HSO_3$- ve $O_2$ tepkimeye girer ve $HSO_4$- oluşur. Son olarak da $HSO_4$- ve $HCO_3$- tepkimeye girer ve sudan uzaklaştırılması kolay olan kararlı sülfat iyonu ve $CO_2$ üretilir. Havalandırma yöntemi ile üretilen $CO_2$ deniz suyundan uzaklaştırmak kolaydır ve bu şekilde $CO_2$ konsantrasyonu düşer. Deniz suyunu istenilen kaliteye getirip denize deşarj edebilmek için pH ve çözülmüş oksijen değerleri arttırılır [56].

Deniz suyu ile kükürtsüzleştirme işleminin kimyasal eşitliği:

$$SO_2 + 1/2O_2 + 2HCO_3^- \rightarrow SO_4^{2-} + H_2O + CO_2$$

Arıtıcı akışkanın CaOH olduğu en tanınmış sistem, Bischoff yöntemidir. Uygulamada birçok yeni sistem verilmektedir. Bunların birbirlerinden farkları, arıtıcı akışkanın etken püskürtülmesine dayanan baca gazı - arıtıcı akışkan türbülansı ve reaksiyon kulesinde yeterli süre kalma koşuludur.

Wellman - Lord yöntemi NaOH'nin arıtıcı akışkan olarak kullanıldığı başlıca arıtma yöntemidir. Burada çıktı olarak endüstride kullanılan $SO_2$ gazı, $H_2SO_4$ ve amorf - kükürt elde edilir [30].

NH3 uygulamasıyla $SO_2$ ve NO birlikte tutulabilir. Literatürde bu yöntem, Walther yöntemi olarak bilinir. Bu sistemde yan ürün olarak, tarım sektöründe kullanılan azotlu gübre üretilir.

Adsorbsiyonlu $SO_2$ tutma uygulamalarında, yüzeysel tutucu madde olarak genelde aktif karbon kullanılır.

### 11.3.3. $NO_x$ arıtma sistemi

$NO_x$ iki şekilde oluşur. Birinci oluşma şekli kömürün içerdiği azotun oksitlenmesiyle, ikinci oluşum şekli ise yakma havasının içerdiği azotun oksitlenmesiyledir. Bu reaksiyonlar genelde 1500 $^oC$ ve üzerinde oluşmaya başlar. Yanma aşamasında oluşan $NO_x$'in yaklaşık %95'i NO, %5'i ise $NO_2$ biçimindedir. Düşük $NO_x$ oluşumlu brülörler, kademeli yakma prensibiyle oluşan $NO_x$'lerin Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde ön görülen sınırların dışına çıkmaması sağlanabilir. Aşağıda verilen eşitlik uyarınca NO emisyonunun oluşabilmesi için oksijen ve sıcaklık koşulunun birlikte oluşması gerekir. Kademeli yakma ile bu birliktelik koşulu önlenerek, NO oluşumu engellenmiş olur [56].

$$N_2 + O_2 \xrightarrow{>1500^oC} 2NO$$

İlk aşamada gereğinden çok az birincil hava verilerek, yakıt zengin CO bol, oksijen çok az bulunan yüksek sıcaklıklı yanma gazı oluşur. Burada sıcaklık koşulu sağlansa bile oksijen koşulu sağlanamadığından NO oluşmaz. Yanma odasının ortalarına doğru aleve, tam yanmayı sağlayan ikincil hava dışında, alev soğutmaya yönelik alev dış çeperine üçüncül hava verilir. Bu bölgede bol miktarda oksijen bulunmasına karsın, alev 1500 $^{o}$C'nin altına soğutulduğu için sıcaklık koşulu sağlanamadığından yine NO oluşumu engellenmiş olur [56].

Taş kömürü, fuel-oil ve doğalgaz yakan santrallerde kademeli yakmanın yetmediği koşullarda kazan yanma gazlarının 350 - 450 $^{o}$C'ye soğuduğu bir bölgede bal peteği biçiminde oluşturulmuş katalizör blokları konumlandırılır. Bu katalizör, $NO_x$'in $NH_3$ ile reaksiyonunda $NO_2$'nin $N_2$'ye indirgenme reaksiyon sıcaklığını 350 - 400 $^{o}$C'ye düşürür. Ayrıca gerekli temas alanı ve kalma süresi koşullarının sağlanmasıyla $N_2$'ye dönüşüm sürecini hızlandırır. Bu arıtma reaksiyonu aşağıda görüldüğü gibi gerçekleşir [56]

$$6NO_2 + 8NH_3 \longrightarrow 7N_2 + 12H_2O$$

## 11.3.4. $CO_2$ arıtma sistemi

Türkiye'nin, iklim değişikliği sözleşmesine taraf olmasıyla önümüzdeki yıllarda Kyoto Protokolü'nü kabul etmesiyle ve bununla ilgili $CO_2$ salınım sınırlarına uymak yükümlülüğü bulunmaktadır. Bu bağlamda yoğun enerji tüketen sektörler enerji verimliliği ve $CO_2$ salınımı ile ilgili fayda maliyet analizleri çalışmaları yapılmıştır. Termik santrallerde bu çalışmaları yapmak zorundadır. Günümüzde her sektördeki üretimin, mevcut en iyi teknoloji (Best Available Technology) ile gerçekleştirilerek, bu teknoloji için gerekli yakıt tahsisleriyle karşı karşıya kalacaktır. Karbon Vergisi; düşük enerji verimliliği nedeniyle kulanılması gerekenden fazla yakıt kullanılması sonuçu oluşan fazla $CO_2$ emisyonları için ödenen tutardır. Bu vergiden kurtulmak için tesislerin, rehabilitasyon çalışmalarıyla güncel verimliliğinin yükseltilmesi veya fazla yakıttan kaynaklanan $CO_2$'yi karşılayacak yenilenebilir enerji yatırımlarının (hidrolik santraller, biyokütle, rüzgar enerjisi vb.) gerçekleştirilebilmesi gerekir [45].

$CO_2$ sorununu çözmek, temiz kömür teknolojilerinden geçmektedir. Bu teknolojinin aşamaları aşağıdaki gibidir:

- Yanma optimizasyonu
- Akışkan yatak uygulaması
- $CO_2$'nin MEA (Mono Etanol Amin) ile yıkanması
- Oksijen ile yakma ve $CO_2$ bertarafı
- Oksijenle yakmalı ultra süper kritik kazan uygulamaları

Yanma Optimizasyonu: Yanma optimizasyonu ile mevcut santrallerde yakıt tüketimi en aza indirilerek karbon vergisine tabi olacak fazla yakıt kullanımı minimize edilmiş olur.

Akışkan Yatak Uygulaması: Dolaşımlı akışkan yatak uygulamasıyla $SO_2$ ve $NO_X$ arıtma tesisleri yatırımlarına gerek duyulmaz. Burada kömür gazlaştırılması ile hidrojen üretimi sağlanabilir. Baca gazı içerisindeki $CO_2$'nin kısmi basıncı artacağı için, $CO_2$ ayrıştırma işlemi kısmen de olsa etkinleştirilmiş olur.

$CO_2$'nin MEA (Mono Etanol Amin) ile yıkanması: Ham doğalgaz içerisinde önemli oranda $CO_2$ bulunmaktadır. Ham doğalgaz, MEA ile yıkanarak $CO_2$ tutulur. Endüstriyel olarak doğrudan kullanılamayan bölümü boru taşıma sistemleriyle petrol kuyularına gönderilerek oralara enjekte edilir. Bu enjeksiyon ile petrol yataklarındaki ağır petrolün viskozitesi azaltılıp akışkanlığı artırılır. Böylelikle petrol kuyularının üretim verimliliği artar. Bu uygulamanın termik santral baca gazlarına uygulanması ile ilgili ar-ge çalışmaları yoğun bir biçimde devam etmektedir. Bu uygulama, santral baca gazlarının MEA çözeltisi ile yıkanıp, çözeltide bağlanmasına dayanır. $CO_2$ zengin MEA çözeltisine ısı verilerek, %100 konsantrasyon dolayında açığa çıkan $CO_2$, 30 bar dolayına sıkıştırılarak yoğuşma sıcaklığı -5 $^oC$'lere düşürülür. Buradan da görüldüğü gibi $CO_2$'nin bağlanması, buharla ayrıştırılması, kompresörle sıkıştırılması, soğutulması ile sıvılaştırılması, çok büyük boyutlarda yatırıma ve enerjiye gereksinim

duymaktadır. Bu uygulamanın elektrik üretim maliyetini %20'lerin üzerinde artıracağı hesaplanmaktadır. Bu uygulamanın en erken doğalgazla çalışan kombine çevrim santrallerinin bacalarında gerçekleştirilmesi mümkündür. Amin çözeltisinin $CO_2$ tutma etkinliğinin $SO_2$, $NO_x$, toz ve diğer baca gazı emisyonları tarafından bozulması (zehirlenme) nedeniyle özellikle düşük kaliteli kömür yakan termik santrallerde uygulanması, teknik ve ekonomik yönden mümkün görülmemektedir. %10 $CO_2$ kısmi basınçlı bir kömür santrali baca gazındaki $CO_2$'nin amin yıkamasız sıvılaştırılması için baca gazının -100 $^oC$'nin altına soğutulması gerekir. Bu durum ise ekonomik yönden söz konusu değildir.

Oksijen ile Yakma ve $CO_2$ Bertarafı: Yakma havasının, dolayısıyla yanmadan oluşan yanma gazlarının yaklaşık %80'i $N_2$, geriye kalanı $CO_2$, $O_2$, $SO_2$, $NO_x$ vb.dir. Yakıtın hava yerine oksijenle yakılması halinde, baca gazları sadece $CO_2$, $O_2$, $SO_2$, $NO_x$ vb.den oluşur. Yanma gazı debisi yaklaşık beş kat azalır. Buna paralel olarak, kazan yatırımı, elektrofiltre, $SO_2$, $NO_x$ filtre yatırımları ve tüm işletme giderleri de benzer ölçüde azalmış olur. Elektrofiltrede toz tutulur, $SO_2$ ve $NO_x$, ilgili arıtma tesisinde tutulduktan sonra geriye %100 derişimde $CO_2$ kalır. Kalan bu $CO_2$ gazı soğutulup, 30 bar civarında sıkıştırılırsa sıvılaştırılır. Teknik olarak kullanılamayan $CO_2$, yer altına enjekte edilir.

Oksijenle yakmalı Ultra Süper Kritik Üstü Kazan Uygulamaları: Bugünkü termik santraller, ortalama % 45 verimle çalışmaktadır. Oksijen ile yakma için gerekli hava parçalamalı oksijen üretimi, üretilen elektriğin % 20'sini tüketmektedir. Eğer termik santral elektrik üretim verimleri, ultra süper üstü kritik kazan uygulamasıyla % 20 artırılabilirse, bugünkü verimlerde elektrik üretimi "sıfır" emisyon salınım koşullarında üretilebilir. Yanma sonucu oluşan beş kat daha düşük debilerdeki ham yanma gazları, doğrudan hiçbir toz, gaz, $NO_x$ ve $CO_2$ arıtma uygulamalarına gerek duyulmaksızın 100 bar dolayında sıkıştırılıp yeraltına gaz geçirmeyen katmanlara enjekte edilir. Bacasız kazan uygulamasıyla "sıfır" emisyon termik santral düzenine geçilmesi, günümüzde ar-ge aşamasındadır. Böyle bir kazanda türbin buhar giriş sıcaklıkları 750 - 800 $^oC$, buhar basıncı ise 350 - 400 bar olması öngörülmektedir[29].

# 12. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kömüre dayalı bir termik santraldeki ana işlem kömürde var olan kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Bu dönüşüm, esas itibarı ile büyük miktardaki kömürün kazan adı verilen yanma odasında yakılması ile elde edilen ısı ile, bir dizi arıtma işlemi ile saflaştırılan suyun yüksek basınç ve sıcaklıkta buharlaştırılması ve bu buharın türbinde mekanik enerjiye, jeneratörde de elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile gerçekleştirilmektedir. Pulverize kömür teknolojisine alternatif çözümün, tasarıma göre değişken özellikli yakıtların hava kirliliği yaratmadan verimli yakılmasını temin eden ve işletme esnekliği sağlayan AYK teknolojisidir. Akışkan yakma teknolojisin de milimetre mertebesindeki kömür tanecikleri akışkan yatağın yaklaşık %2'sini oluştururlar. Kömür, eylemsiz tanecikler içinde mükemmel bir karışmayla yanar. Yanma 800-900 °C aralığında gerçekleştirilir. Santralde, tasarım kömürü için 2 ton/saat kazan altı külü, 8 ton/saat uçucu kül olmak üzere toplam 10 ton/saat kül oluşması beklenmektedir. Bu değer yılda 87600 ton'a karşılık gelmekte olup. Santralın ekonomik ömrü olan 30 yıl boyunca ortaya çıkacak külün miktarı 2628000 tondur.

Kondenserde soğutma suyu olarak kullanılan ve kondenserden ısınarak çıkan deniz suyu sıcaklığı 2-3 derece artarak tekrar denize verilir. Soğutma suyu çevrimi açık çevrimdir. Kazanı tam doldurmak için 130 ton deminarilize su kullanılır. Santral işletmedeyken 4 ton/saat su kayıp olduğu için bu su tekrar kazana verilmek zorundadır.Santral de kullanılacak Filtre fan debisi 3.600 $Nm^3$/saat'tir. Torba filtre çıkışı toz konsantrasyonu ise 75 mg/$Nm^{3'}$ü aşmayacaktır. İTS 135 MW kapasiteye sahip olacaktır. Yılda yaklaşık net 976.368.516 kW saat'lik elektrik üretimi yapması öngörülen İTS, Ege Bölgesi'nin kuzeyi ile Marmara bölgelerinin enerji ihtiyacının karşılanmasına katkıda bulunacaktır.

Türkiye Kyoto Protokolünü imzalamasıyla, sıkı $CO_2$ azaltma önleme yükümlülüklerini yerine getirmek zorundadır. Ham doğalgazın içerdiği $CO_2$'nin ayrıştırılmasında kullanılan amin ile baca gazı yıkama teknolojisinin, temiz baca gazı olan doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali bacalarından yayılan $CO_2$ emisyonlarının tutulmasında kullanılması, yeni konuşulur hale gelmiştir. Ayrıca

termik santrallerimizde mevcut elektrofiltrelerin ve birkaçında yeni uygulamaya konulan $SO_2$ arıtma sistemlerinin genelde tasarımda öngörüldüğü biçimde çalıştırılması mümkün olmamaktadır. Düşük kaliteli linyitlerde amin yıkamalı $CO_2$ arıtma uygulaması, söz konusu değildir. Ancak termik santrallerde enerji verimliliği çalışmaları yapılıp, santraller için enerji tasarrufu sağlama eğrileri [45] çıkarılıp santrallerin geri kalan işletme ömürleri için tasarruf yatırımları yapılabilir. Böylece yakıt tüketimindeki azalma oranında önemli ölçüde $CO_2$ ve diğer alışılmış emisyonlarda da azalma sağlanabilir.

Linyit yakıtlı termik santrallerin yanma optimizasyonlarıyla ilgili rehabilitasyon yatırımları yapılarak, santrallerin yüksek verim ve yük faktöründe çalışmaları sağlanabilir. Böylelikle sürekli ve kararlı yanma koşullarının oluştuğu enerji ve kütle dengesinde mevcut emisyonlar en aza iner ve alışılmış toz, $SO_2$ arıtma tesisleriyle, günümüzde uygulaması olan düşük $NO_x$ oluşumlu brülörlerin tekniğine uygun biçimde çalışmaları sağlanmış olur.

Termik santrallerde yapılan araştırma çalışmaları [15,26,27,33,34] ve bu araştırmanın sonuçları [39] mevcut teknolojilerle ülkemizde bulunan çok düşük kaliteli linyitlerin AB standartlarındaki emisyon sınır değerleri, enerji dönüşüm verimleri ve Kyoto Protokolü'nün istediği $CO_2$ azaltma oranlarına indirilmesi teknolojik olarak mümkün değildir. Bu nedenle ileri yakma teknolojileri ve kazan türlerine geçilmesi zorunludur. Bu teknoloji literatürde oksijenle yakmalı süper kritik üstü zorlanmış geçişli (Benson, Sulzer) kazan uygulamalı termik santrallerdir [49-51].

Bu ileri yakma sistemlerinde, yanma için kullanılan oksijen, elektrik uygulamasıyla havanın parçalanmasıyla elde edilir. Bu işlem için, santralin ürettiği elektriğin %20 dolayındaki bir bölümün, hava parçalamada kullanılması gerekir. Bu yakma sisteminin uygulanabilir olması için, %30-45 dolayında olan mevcut termik santrallerin net verimlerinin % 65-70'lere çıkarılması gerekir. Rankine eş değer Carnot çevrimi yaklaşımıyla, kazan çıkışı kızgın buharın günümüz standart değeri olan 550 $^oC$'den 800-850 $^oC$'ye, kızgın buhar basıncının da süper kritik (221,3 bar) üstü düzeydeki 350-400 bar'a çıkarılması gerekir.

Özet olarak kritik altı Rankine çevriminin, süper kritik üstü Rankine çevrimine, doğal dolaşımlı olan kazan türünün, zorlanmış geçişli süper kritik üstü kazana geçirilmesi gerekir. Bu geçişte gerçekleştirilecek hesaplama çalışmalarında, bu tez çalışmasında gerçekleştirilen hesaplama yaklaşımına paralel bir yöntem takip edilebilir. Örnek olarak kurutma prosesi için tercih edilen kontrol hacminin giriş ve çıkış noktalarındaki entalpi değerleri göz önünde tutularak kömür kurutma oranı belirlenebilir. Kazan enerji dengesi, kazandan çekilecek ve kazana beslenecek ısıl yükler göz önüne alınarak kurulabilir.

Verim yükseltmenin diğer bir yolu ise, yüksek ekserjili (1000 $^{o}$C yanma gazı) kömür kurutma yerine düşük ekserjili ara buhar uygulamalı düşük kurutma oranlı (%60 -%30) kömür kurutmaya geçilmesidir. Analizi yapılan kazanda alt ısıl değer Hu = 5300 kcal/kg-linyit, n = 1,17, özgül yaş yanma gazı $V_{GY}$ = 7,22 Nm3/kg-yakıt, ortalama yanma odası adiyabatik sıcaklığı yaş kömürde $T_{ad}$ = 1132 $^{o}$C (kuru temelde $T_{ad}$=1365 $^{o}$C)'dir. Bu santralin oksijenle yakmalı ileri teknolojilere geçilmesi durumunda, özgül oksijen gereksinimi $V_{oksijen}$ = 0,43 $Nm^3$-$O_2$/kg-linyit'tir. 5300 kcal/kg-linyit ısıl değer, 0,41 $Nm^3$-$CO_2$/kg-linyit'ten oluşan yanma gazı (yanma odası) adiyabatik sıcaklığını yaklaşık 7500 $^{o}$C'ye çıkarır. Bunun nedeni, havanın veya yanma gazının yaklaşık %80'ini oluşturan hava azotunun kazana girmesinin engellenmesidir. Havayla yakmalı özgül yanma gazı (2,87 $Nm^3$ yaş yanma gazı)'nın oksijenle yanmalı $CO_2$'den oluşan özgül yanma gazı (0,38 $Nm^3$-$O_2$ ~ 0,38 $Nm^3$-$CO_2$)'an oranı yaklaşık 7,5'tir. Buna göre oksijenle yakmalı kazanın yanma gazı debisi, havayla yakmalı kazanın yanma gazı debisinin 1/7,5'idir. Bu durumda teorik anlamda oksijenle yakmalı süper kritik üstü kazanın boyutu, havayla yakmalı alışılmış kazanın boyutunun 7,5'te biridir. Yanma odası sıcaklığının 7500 $^{o}$C'lere çıkması, malzeme sorunlarına, kazan boyutlarının 1/7,5'e düşmesi ise, hacmin çok küçülmüş olması nedeniyle ısı transferi yüzeylerinin (ısıtma yüzerleri), yanma gazı kanalına konumlanması olanaksızdır.

Malzeme emniyeti, tasarım ve işletme koşulları yönünden böyle bir kazanın gerçekleştirilebilmesi için, yanma odasına yoğuşabilen, emisyon yaratmayan, soğutucu akışkanların beslenerek, hem yanma odası sıcaklıklarının 2000 $^{o}$C dolayına düşürülmesi, hem de kazan gaz kanalı kesitlerinin, ısıtma yüzeylerinin

yerleşilebilecek boyutlara çıkarılması gerekir. Bu soğutucu gaz, $CO_2$ ve sudur. $CO_2$, baca girişinden alınarak yanma odasına geri beslenir. Su ise kömür nemi, ham kömür durumundaki % 60'lardan ara buharlı soğutma ile % 30-40'lara düşürülür ve % 30-40 nemli linyit, bu haliyle yanma odasına beslenerek, kalan kurumanın yanma odasında yapılmasıyla yanma odası sıcaklığının belli oranda düşürülmesi sağlanır. Buna rağmen yanma odası sıcaklığı, malzemeye zarar vermeyecek boyutlara düşürülemiyor ise, yanma odasına doğrudan düşük entalpili türbin ara buharı enjekte edilerek, ilave buharla soğutma işlemi uygulanır.

İncelenen havayla yakmalı kazana, sıvılaştırılmış $CO_2$ arıtma sistemi uygulansa, baca gazındaki $CO_2$ oranı % 10-13 dolayında olduğundan, $CO_2$'in kısmi basıncı 0,1 - 0,13 bar'dır. Bu kısmi basınçta $CO_2$'nin sıvılaşabilmesi için baca gazının -105 $^oC$'nin altına düşürülmesi gerekir. Kısmi basıncın 1 bar olması durumunda $CO_2$ sıvılaşma sıcaklığı -70 $^oC$, 30 bar'a sıkıştırılmış saf $CO_2$'nin yoğuşma sıcaklığı ise -5 $^oC$ dolayındadır [52]. $SO_2$'nin sıvılaşma sıcaklığı, $CO_2$'nin çok üzerinde, $NO_x$'inki ise $CO_2$'nin oldukça altındadır. Oksijenle yakmalı uygulamada hava yerine oksijen kullanıldığından, oluşabilecek $NO_x$'ler yalnızca linyitten kaynaklanacaktır. Bu nedenle $NO_x$'in yoğuşma sıcaklığının $CO_2$'nin yoğuşma sıcaklığının çok altında olması, önemli değildir. Bunun anlamı, oksijenle yakmalı sistemlerde baca gazı debisi, havayla yakmalıya kıyasla çok küçük, $CO_2$ oranı % 95'in üzerinde, geriye kalan ise $SO_2$ ve NO'dur. Eğer bu baca gazını -5 $^oC$'ye düşürebilirsek, sıvı biçimindeki $CO_2$ ve $SO_2$ gazları, pompalarla 100 barı'ın üzerine çıkarılıp yeraltına enjekte edilebilir. $CO_2$'nin bir bölümü yer üstünde endüstriyel $CO_2$ kullanımı ve boru hatlarıyla petrol yataklarına götürülerek çıkarılması zorlaşmış çok yüksek graviteli ham petrole enjekte edilip kuyuların üretim verimleri artırılabilir. Bu yaklaşımda 120 $^oC$ dolayındaki toz yüklü ham baca gazı, yaş filtrelerde yıkanarak toz çamur biçiminde santralden uzaklaştırılır. 50 $^oC$ dolayında içindeki buhar yoğuşmuş olan, tamamına yakını $CO_2$ ve az miktarda $SO_2$ ve $NO_x$'ten oluşan baca gazı, absorbsiyonlu soğutma sistemiyle +6 $^oC$ dolayına düşürülebilir. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin gereksinim duyduğu düşük-orta ekserji değerli buhar, türbin ara buharından sağlanır. 30 bar dolayında $CO_2$ sıvılaştırması için gerekli -5 $^oC$ sıcaklıklara elektrik uygulamalı buhar sıkıştırmalı alışılmış soğutma sistemi kullanılabilir. Böylelikle atmosfere hiçbir emisyonun

salınmadığı, "sıfır emisyon -temiz kömür teknolojisi" kapsamında oksijenle yakmalı süper kritik üstü kazan uygulamalı termik santral konsepti ve modellemesine geçilebilir. Bu modellemede de bu çalışma kapsamında, havayla yakmalı su borulu dolaşımlı alışılmış kazanlar için geliştirilen benzeri biçimde uygulanabilir. Yanma gazı tarafi yanma hesapları, ısı ve kütle transferi vb. hesaplamalar, benzer yaklaşımla olur. Oksijenle yakmalı sistemlerde ısıl tasarımda azot yerine $CO_2$ termodinamik özellikleri (Cp, Pr, Nu, Re, v, vb.) etken olmaktadır.

Bu bilgiler ışığında havayla yakmalı alışılmış termik santral kazanları ve oksijenle yakmalı ileri teknoloji termik santrallerle ilgili olarak gelecekte yapılması önerilen çalışmalar aşağıda sıralanmıştır:

- Havayla yakmalı sistemlerde toz, $SO_2$. $NO_x$ arıtma sistemleri araştırmaları.

- Havayla yakmalı sistemlerde amin yıkamalı $CO_2$ tutma sistemleri araştırmaları.

- Oksijenle yakmalı sistemlerde buharla kömür kurutma ve öğütme araştırmaları.

- Oksijenle yakmalı sistemlerde yanma odası soğutma ve ısıtma yüzeyi konumlama çalışmaları.

- Oksijenle yakmalı sistemleri için havadan oksijen üretim yöntemleri araştırması.

- Oksijenle yakmalı sistemlerde absorbsiyonlu soğutma sistemi uygulamaları.

- Oksijenle yakmalı sistemlerde sıvılaştırılmış CCV'nin endüstriyel uygulama ve petrol üretiminde kullanılması araştırmaları.

- Oksijenle yakmalı sistemlerde tüm emisyonların yer altına enjeksiyonu, depolanması ve bertaraf uygulamaları.

Enerji üretilmesi ve sürekliliğinin garanti altına alınması toplumlar için büyük önem arz etmekteyken, günümüzde artık bu üretilen enerjinin üretim aşamalarını çevre boyutlarında en az üretimin gerekliliği kadar üzerinde durulması gereken önemli bir konu haline gelmiştir. Şirketler çevre boyutlarının minimize edilmesi için yasalarla ve kalite çalışmalarıyla önemli yatırımlar yapmak zorunda kalmıştır. Bu çerçevede düşünüşlünce çevre yatırımlarına minumum düzeyde ihtitiyaç duyan akışkan yataklı termik santralerin önemi artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, termik santrallerde elektrik üretiminde, iş akışkanı taraflı buhar (Rankine) çevrimi ile yanma gazı taraflı yanma, yanma gazı ısı transferi davranışlarının, kazan enerji dengesi hesaplanabilir hale getirilmesidir. Bu amaçla ısıl tasarım hesapları (yanma, ısı transferi, yük kayıpları vb.) yapılmıştır. Kazan enerji dengesinin oluşturulmasıyla ilgili ısıl tasarım hesaplarının yapılabilmesi için, enerji denge koşulları dikkate alınarak excel ve wolframalpha adlı siteden faydalanılmıştır. Bu bilgiler ışığında alt ısıl değeri Hu =5300 kcal/kg-yakıt olan linyitle çalışan 135 MWe kurulu güçteki bir termik santral kazanının ısıl tasarımı yapılmış, hesap sonuçları, gerçek sistemin tasarım ve işletme değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, kabul edilebilir sapmalar içinde, gerçek sistemin enerji dengesinin ve ısıtma yüzeyleri hesabının yapılmasında kullanılabileceğini göstermiştir. Bu kapsamda stabil yanma için gerekli yanma odası boyutları, ısıtma yüzeyleri boyutları vb. hesaplar yapılmıştır.

Gelişmekte ve yaygınlaşmakta olan bu teknoloji ile ilgili hala yeterli tasarım ve geliştirme çalışmaları bulunmamaktadır. Çalışan santrallerde ise sadece işletme parametrelerine ulaşılabilinmektedir. Bu parametrelerin hesaplama yöntemi pek çok kişi tarafından bilinmemektedir. Bu çalışmada gerçekleştirlen ısıl tasarım ile birlikte, şeçilen santralin parametrelerinin kıyaslanmasının yapılması sayesinde akışkan yatak teknolojisi ile ilgili genel bir şablon oluşturulmasında katkıda bulunulacak bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın kömür gazlaştırma çalışmalarının gerçekleştirilmesiyle $CO_2$ tutma etkiliğinin artırılması sağlanabilir. Ayrıca $CO_2$ bertarafına yönelik ileriye yönelik arge çalışmaları, bu çalışmada bahsedildiği yönde yapılabilir. Bu sayede $CO_2$ bertarafı ve akışkan yatak teknolojisi ile ilgili yapılacak olan çalışmalara ışık tutulmuş olur. Böylelikle Kyoto protokolünün yükümlülüklerini yerine getirilmesinde büyük alt yapı oluşturulacak bilimsel çalışmaların çoğalması sağlanır.

# KAYNAKLAR

1. GÖRKELİM Ahmet, “Hidrolik Santraller Ve Su Türbinleri”, Birsen Yayınları, İstanbul 1982.

2. PEŞİNT, Adnan, “Elektrik Santralleri”, M.E. B. Devlet Yayınları, Üçer Ofset Matbaacılık, Ankara 1978.

3. EYİCE, Suavi,”Buhar Türbinleri Tesisleri Cilt: 5/A”, İstanbul,1969.

4. PEŞİNT Adnan, ATEŞ Hüsamettin, “Elektrik Makinaları Esasları”, Isbn 975- 507–021-4, Ankara 1990.

5. Editörler: ÖNAL Güven, ATEŞOK Gündüz,”Kömür Teknolojisi Ve Kullanımı Semineri 2”, Ofset Hazırlık, İstanbul, 1994.

6. Editörler: ÖNAL Güven, ATEŞOK Gündüz,” Kömür Teknolojisi Ve Kullanımı Semineri 3”, Damla Grafik Ve Matbaacılık, İstanbul, 1996.

7. EYİCE Suavi, “Buhar Türbinleri Tesisleri Cilt: I”, İstanbul, 1981.

8. KARAKOÇ Hikmet, “Enerji Ekonomisi”, Demirdöküm Teknik Yayınları, 1997

9. Steam Plant Operation, E. Woodruff, H. Lammers, F. Lammers, 7th ed. McGraw-Hill, 1998.

10. Steam, ed. S.C. Stultz and J.B. Kitto, Babcock & Wilcox Company, 4th Ed. 1992.

11. N. Selçuk , "Akışkan Yatakta Yakma Teknolojileri", TMMOB Kimya Mühendisleri Odası - TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Türkiye'de Kömür Politikaları ve Temiz Kömür Teknolojileri Sempozyumu, 21-22 Ekim 1999, Ankara.

12. "Akışkan Yataklı Kazan Teknolojilerine Dayalı Buhar - Elektrik Üretimi" Paneli - Konuşma ve Sunuş Metinleri, MÎMAG-SAMKO Enerji Teknolojileri A.Ş., 5 Aralık 2001, TÜBİTAK, Ankara.

13. JEA Large-Scale CFB Combustion Demonstration Project, Advanced Electric Power Generation, Fluidized Bed Combustion, US Department of Energy, 1999.

14. 6. 0. Oymak, î. Temuçin and G. Türeli, "Performance Test Data from the First 23MWth ABFB Boiler in Turkey", Proceedings of the 16th International Conference on Fluidized Bed Combustion, (ed. Donald J. Geiling, P.E.), ASME, CD-ROM, 2001.

15. Durmaz, A., Ercan, Y., "Orhaneli Termik Santrali Kazanının Yanma ve Emisyon Sorunlarının İncelenmesi", GEÇER Araştırma Merkezi, Ankara, 1-20 (2004).

16. Durmaz, A., "Kömürün Yanması", Kömür Özellikleri Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 353-394 (1998).

17. Durmaz, A., "Modeling Simulation and Optimization of the Combustion Control System of a Steam Generator", Proceedings of AMSE Conference on Modeling and Simulation, 80-97 (1982).

18. Çengel, Y., Boles, M., "Thermodynamics: An Engineering Approach", McGraw Hill College Div., 116-129 (1994).

19. Durmaz, A., Güngen, G., Karabay, M., Ercan Y., "Application of Energy Conservation Techniques to Some Industrial Complexes in Turkey", Symposium on the Outlook of Energy in the Third World, Tahran, 1-30 (1983).

20. Durmaz, A., Ercan, Y., "Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolu", Gazi Üniversitesi, Ankara, 1-26 (1987).

21. Durmaz, A., "Türkiye'nin Enerji Altyapısı ve Hava Kirliliği", Uluslararası Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Sempozyumu Bildiri Kitabı, Ankara, 65-72 (1987).

22. Durmaz, A., "Energy Sources and Industrial Energy Saving", Applied Research Journal of METU, 1:1-10 (1983).

23. Durmaz, A., "Düşük Kaliteli Linyitlerin Elektriğe Dönüşümünde Yanma-Emisyon Sorunları ve Yanma Optimizasyonu", EÜAŞ Genel Müdürlüğü Semineri, Ankara, 1-12 (2005).

24. Ercan, Y., Durmaz, A., "Kangal Termik Santralı Çevresinde Hava Kirliliği Dağılımının Modellenmesi", 5. UlusalYanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Sempozyumu, Elazığ, 76-84 (2000).

25. Durmaz, A., Çürüksulu, M., "Düşük Kaliteli Linyitler İçin Yakma Sistemi Tasarımı ve Uygun Yanma Koşullarının Oluşturulması", Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi GAP V. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, 1(34):264–272 (2006).

26. Durmaz, A., Ercan, Y., "Kangal Termik Santrali Kazanının Yanma ve Emisyon Sorunlarının İncelenmesi", GEÇER Araştırma Merkezi, Ankara, 1-16 (2004).

27. Durmaz, A., Ercan, Y., "Tunçbilek Termik Santrali Kazanının Yanma ve Emisyon Sorunlarının İncelenmesi", GEÇER Araştırma Merkezi, Ankara, 1-18 (2004).

28. Ledinegg, M., "Dampferzeugung, Dampfkessel und Feuerungen", Springer-Verlag, 1-255 (1966).

29. Babcock, G.H., Wilcox, S., "Steam/Its Generation and Use", The Babcock & Wilcox Company, 67–245 (1972).

30. Durmaz, A., "Zorlanmış Geçişli Termik Santral Kazanlarının Dinamik Davranışının Modellenmesi ve Simulasyonu", Doçentlik Tezi, ODTÜ, Ankara,(1979).

31. Basu, P., Kefa, C., Jestin, L., "Boiler and Burners: Design and Theory", SpringerVerlag, 128–211 (2000).

32. Durmaz, A., "Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği Kontrolü", II. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Kütahya, 20-28 (2004).

33. Durmaz, A., Ercan, Y., "Çatalağzı Termik Santrali Kazanının Yanma ve Emisyon Sorunlarının İncelenmesi", GEÇER Araştırma Merkezi, Ankara, 1-16 (2004).

34. Durmaz, A., Ercan, Y., "Orhaneli Termik Santrali Kazanının Yanma ve Emisyon Sorunlarının İncelenmesi", GEÇER Araştırma Merkezi, Ankara, 1-20 (2004).

35. Kıykım, C., "Öğütülmüş Linyit ile Çalışan Bir Termik Santral Kazanı Tasarımı ile İlgili Bilgisayar Programı Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 62-79 (2003).

36. Onat, K., "Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları İçin Yardımcı Levhalar", Birsen Kitabevi Yayınları, İstanbul, 1-40 (1973).

37. İnternet: TS4041'e Göre Isıl Verim Hesapları. http://www.kimyamuhendisi.com (2004)

38.Kakaç, S., Arınç, F., "Örneklerle Mühendislik Isı Transferinin Esasları", PelikanYayıncılık, 249–383 (2004).

39.Genceli, O.F., "Isı Değiştiricileri", Birsen Basın Yayın, İstanbul, 90-129 (1999).

40. Dağsöz, K.A., "Bacalar", Alp Teknik Kitaplar, İstanbul, 111-152 (1993)

41. "Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği", Çevre ve Orman Bakanlığı, 1–32 (2004).

42. Durmaz, A., "Enerji Tasarrufu Önlemlerinin ve Bileşik Isı Güç Santralı Uygulamalarının Hava Kirliliği Kontrolundaki Önemi", Çevre Sempozyumu,İzmir, 45–53 (1987).

43. Doğu, G., Ercan, Y., Durmaz, A., Çulfaz, M., 1988 "Baca Gazı Desülfirizasyon Tesislerinin Türkiye için Uygulanabilirlik ve Ekonomikliğinin Araştırılması", GEÇER Araştırma Merkezi, Ankara, 1-26 (1988).

44. Doğu, G., Ercan, Y., Durmaz, A., Çulfaz, M., "Baca Gazı Desülfürüzasyon Proseslerinin Değerlendirilmesi", GEÇER Araştırma Merkezi, Ankara, 35-51(1991).

45. Ercan, Y., Durmaz, A., Çürüksulu, M., "Türkiye Çimento Sektöründe Enerji Verimliliğinin Artırılması ve Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılması İle İlgili Fayda-Maliyet Analizleri", TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, 55-59(2006).

46. Durmaz, A., "Automatic Control of Steam Generators", 3 rd National HeatCongress of TIBTD, Trabzon, 34–45 (1981).

47. Durmaz, A., "Simulation and Optimization of the Combustion Control System of an Oil Fired Water Tube Steam Generator", Proceedings of the VI.Congressof TUBITAK, İzmir, 197–211 (1977).

48. Durmaz, A., "Termik Santrallerde Yanma Sorunları, Yanma Optimizasyonu ve Rehabilitasyon Çalışmalarında Mühendislik Yaklaşımı", Geçer Araştırma Merkezi, Ankara, 1-24 (2004).

49. Swanekamp, R., "Return of The Super Critical Boiler", Power, 146(4): 32-40(2002).

50. Ruth, R.A., "The U.S. Department of Energy's Combustion 2000 Program: Clean, Efficient Electricity From Coal", Energy Conversion, 38(10-13): 1249-1257(1997).

51. Ann, Y.K., "Application of a Boiler Performance Model to Evaluate Low Rank Coal Fired Subcritical and Supercritical Boilers", Proceedings of Annual International Pittsburgh Coal Conference, Pittsburgh, 157-164 (1995).

52. Bosnjakovic, F., "VDI-Warmeatlas", VDI-Verlag GmbH, 51-64 (1974)

53. Heper Y. Buhar santralleri teorisi ve uygulaması genişletilmiş 4. Baskı Ankara 2001

54. http://www.mimag-samko.com.tr/

55. İÇDAŞ Su Tesisleri Manueli Sayfa 1-535

56. İÇDAŞ Kazan Manueli Sayfa 1-603

57. İÇDAŞ Türbin Manueli Sayfa 1-432

58.http://pompaakademisi.com/index.php?option=com_content&view=category&id=51:pa-tabloo&Itemid=62

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler


| | |
|---|---|
| Soyad, Ad | ÖZTÜRK Erdem |
| Uyruğu | T.C. |
| Doğum Tarihi ve Yeri | 22/02/1984 Bakırköy |
| Medeni Hali | Bekar |
| Telefon | 0536 878 88 23 |
| e-mail | erdemozturk22@hotmail.com |


## Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet Tarihi |
|---|---|---|
| Lisans | Sakarya Üniversitesi Mak. Müh. Böl. | 2007 |
| Lise | Vefa Anadolu Lisesi | 2002 |

## İş Deneyimi

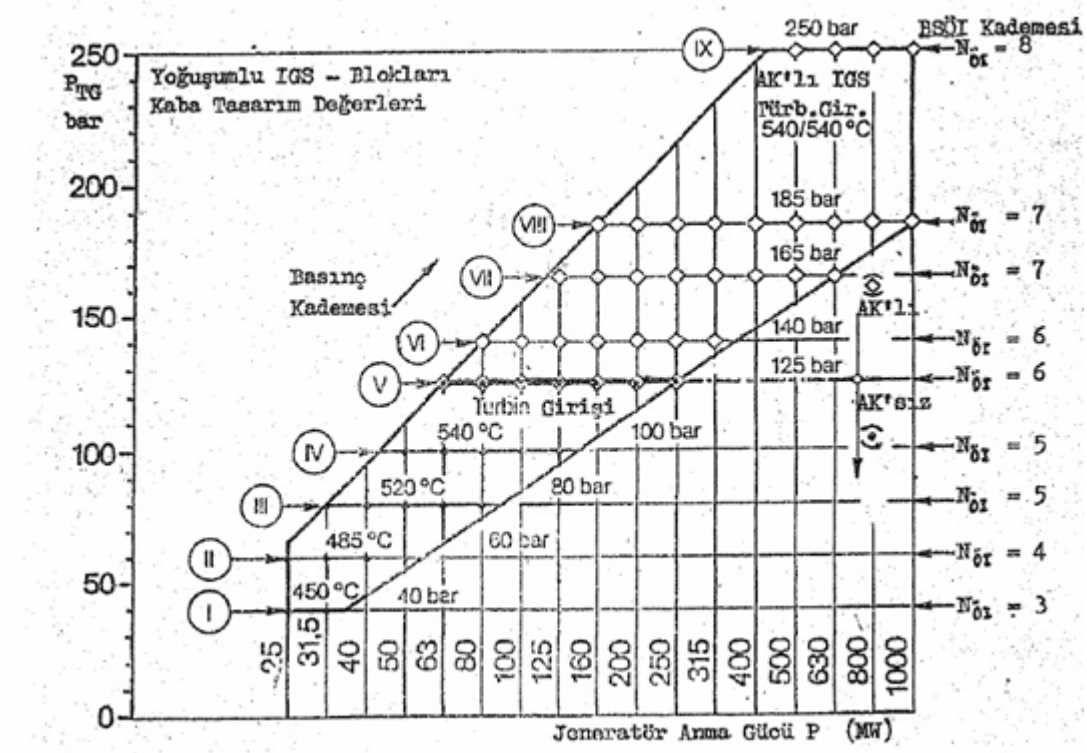
| Başlangıç Yılı | Yer | Görev |
|---|---|---|
| 2008 | İÇDAŞ Elektrik Enerjisi Üretim ve Yatırım AŞ. | Proses Müh. |

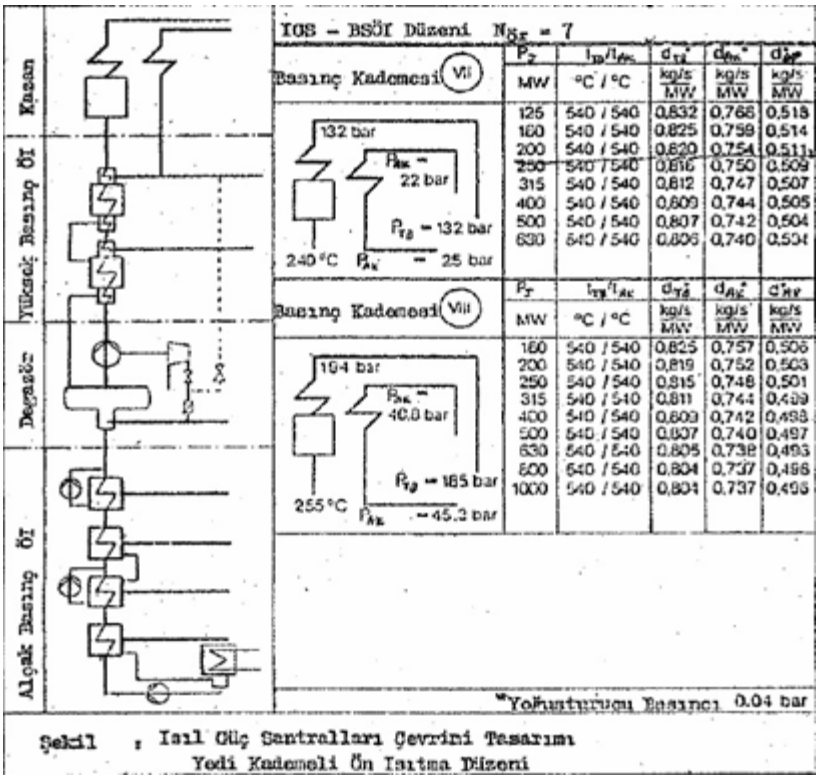
## Yabancı Dil

İngilizce (ileri)

# EKLER

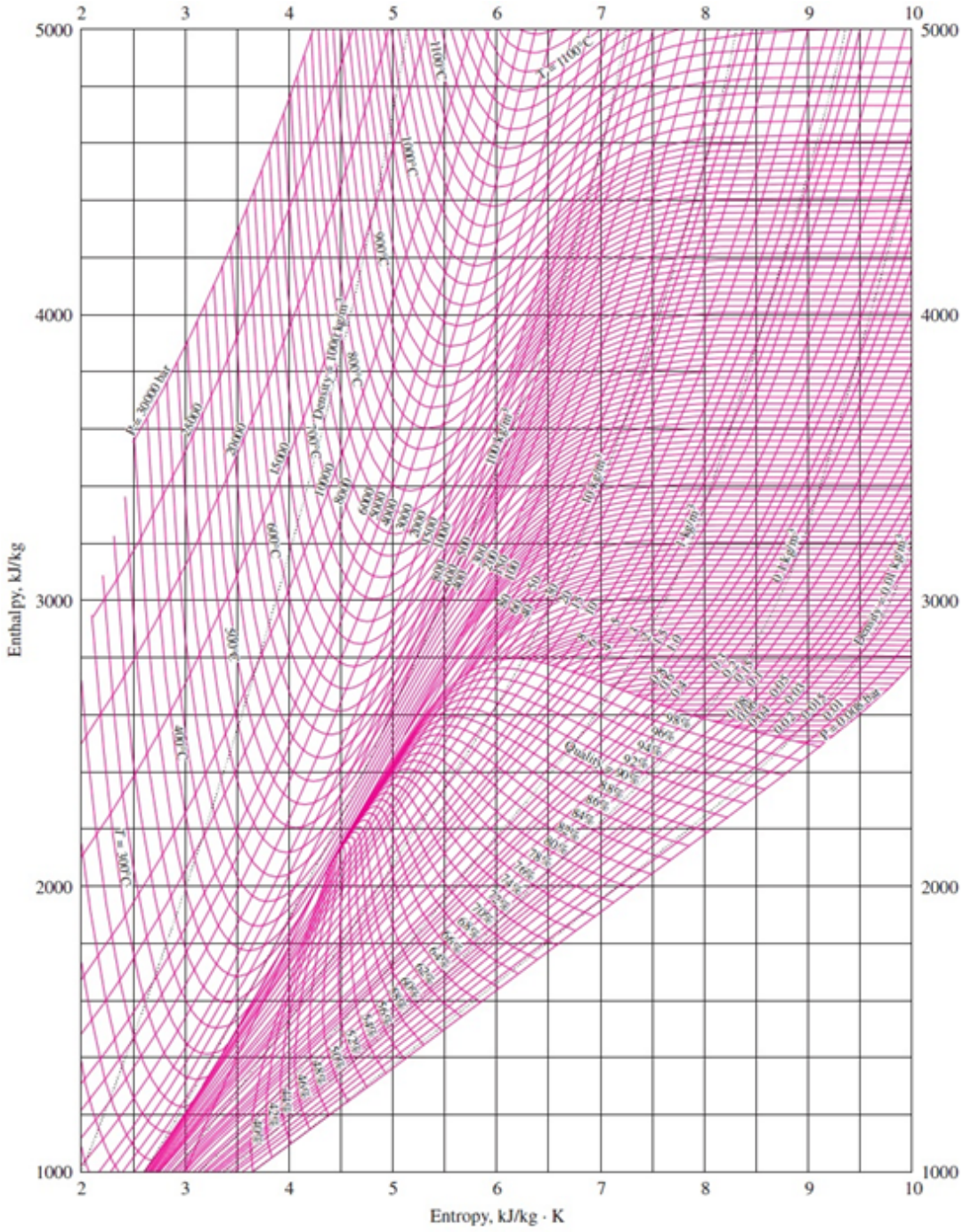
## EK– 1 Tasarım abağı [56]



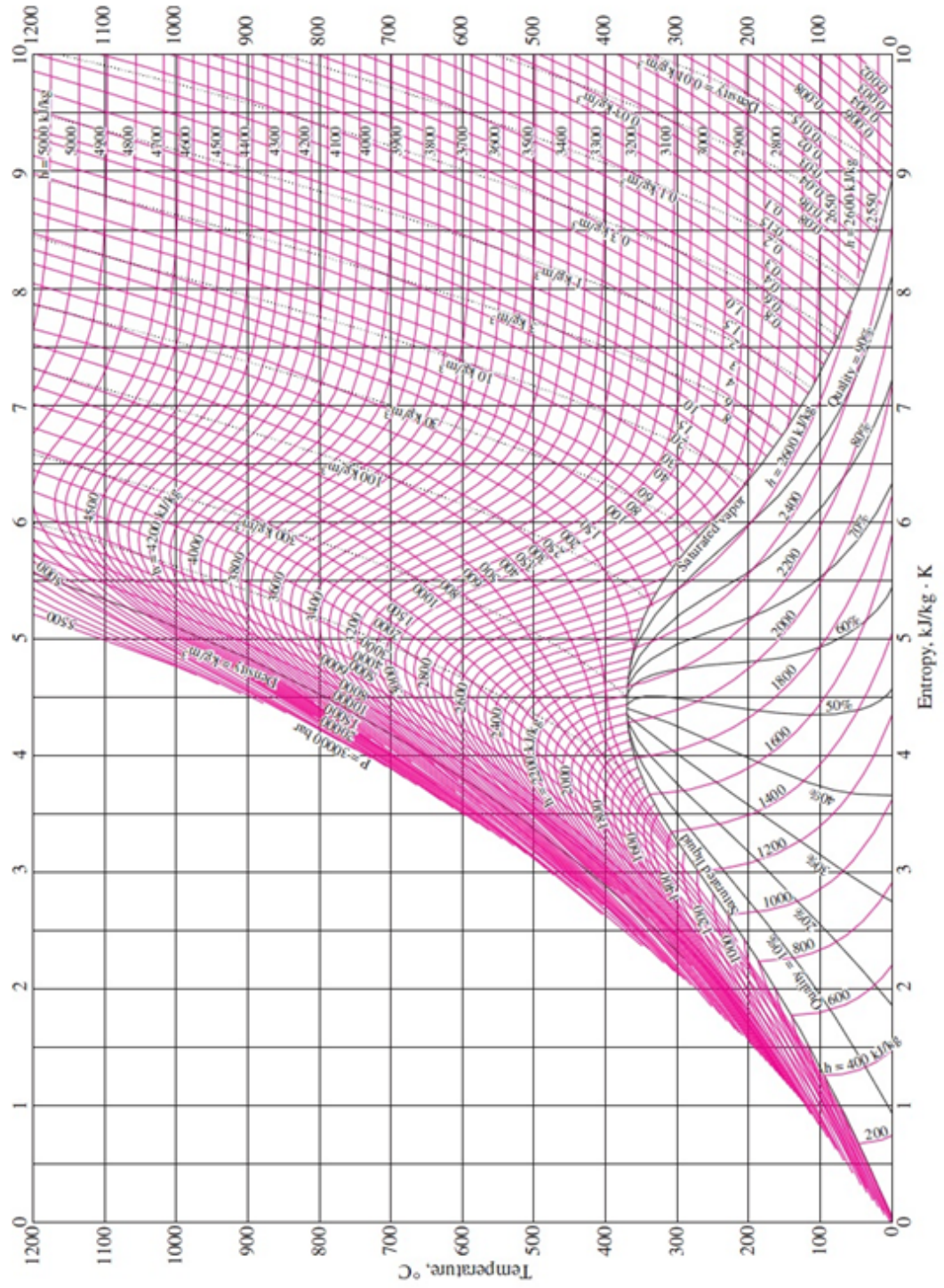




Şekil : Isıl Güç Santralları Çevrimi Tasarımı
Yedi Kademeli Ön Isıtma Düzeni

# EK– 2 Su buharı için Mollier diyagramı [18]



# EK– 3 Su buharı için T-s diyagramı [18]



# EK– 4 Suyun fiziksel özellikleri [58]

| T<br>C | $c_p$<br>kJ/kg C | $\rho$<br>kg/m$^3$ | $\mu$<br>kg/m s | $k$<br>W/m C | Pr | $\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k}$<br>1/m$^3$ C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 4,225 | 999,8 | $1,79 \times 10^{-3}$ | 0,566 | 13,25 | |
| 4,4 | 4,208 | 999,8 | 1,55 | 0,575 | 11,35 | $1,91 \times 10^{9}$ |
| 10 | 4,195 | 999,2 | 1,31 | 0,585 | 9,40 | $6,34 \times 10^{9}$ |
| 15,5 | 4,186 | 998,6 | 1,12 | 0,595 | 7,88 | $1,08 \times 10^{10}$ |
| 21,1 | 4,179 | 997,4 | $9,8 \times 10^{-4}$ | 0,604 | 6,78 | $1,46 \times 10^{10}$ |
| 26,6 | 4,179 | 995,8 | 8,6 | 0,614 | 5,85 | $1,91 \times 10^{10}$ |
| 32,2 | 4,174 | 994,9 | 7,65 | 0,623 | 5,12 | $2,48 \times 10^{10}$ |
| 37,7 | 4,174 | 993,0 | 6,82 | 0,630 | 4,53 | $3,3 \times 10^{10}$ |
| 43,3 | 4,174 | 990,6 | 6,16 | 0,637 | 4,04 | $4,19 \times 10^{10}$ |
| 48,8 | 4,174 | 988,8 | 5,62 | 0,644 | 3,64 | $4,89 \times 10^{10}$ |
| 54,4 | 4,179 | 985,7 | 5,13 | 0,649 | 3,30 | $5,66 \times 10^{10}$ |
| 60 | 4,179 | 983,3 | 4,71 | 0,654 | 3,01 | $6,48 \times 10^{10}$ |
| 65,5 | 4,183 | 980,3 | 4,3 | 0,659 | 2,73 | $7,62 \times 10^{10}$ |
| 71,1 | 4,186 | 977,3 | 4,01 | 0,665 | 2,53 | $8,84 \times 10^{10}$ |
| 76,6 | 4,191 | 973,7 | 3,72 | 0,668 | 2,33 | $9,85 \times 10^{10}$ |
| 82,2 | 4,195 | 970,2 | 3,47 | 0,673 | 2,16 | $1,09 \times 10^{11}$ |
| 87,7 | 4,199 | 966,7 | 3,27 | 0,675 | 2,03 | |
| 93,3 | 4,204 | 963,2 | 3,06 | 0,678 | 1,90 | |
| 104 | 4,216 | 955,1 | 2,67 | 0,684 | 1,66 | |
| 115,6 | 4,229 | 946,7 | 2,44 | 0,685 | 1,51 | |
| 126,7 | 4,250 | 937,2 | 2,19 | 0,685 | 1,36 | |
| 137,8 | 4,271 | 928,1 | 1,98 | 0,685 | 1,24 | |
| 148,9 | 4,296 | 918,0 | 1,86 | 0,684 | 1,17 | |
| 176,7 | 4,371 | 890,4 | 1,57 | 0,677 | 1,02 | |
| 204,4 | 4,467 | 859,4 | 1,36 | 0,665 | 1,00 | |
| 232,2 | 4,585 | 825,7 | 1,20 | 0,646 | 0,85 | |
| 260 | 4,731 | 785,2 | 1,07 | 0,616 | 0,83 | |
| 287,7 | 5,024 | 735,5 | $9,51 \times 10^{-5}$ | | | |
| 315,6 | 5,703 | 678,7 | 8,68 | | | |

# EK– 5 Sıcaklığın fonksiyonu olarak özgül ısı [18]

**TABLE A–2**

Ideal-gas specific heats of various common gases (*Concluded*)

(*c*) As a function of temperature

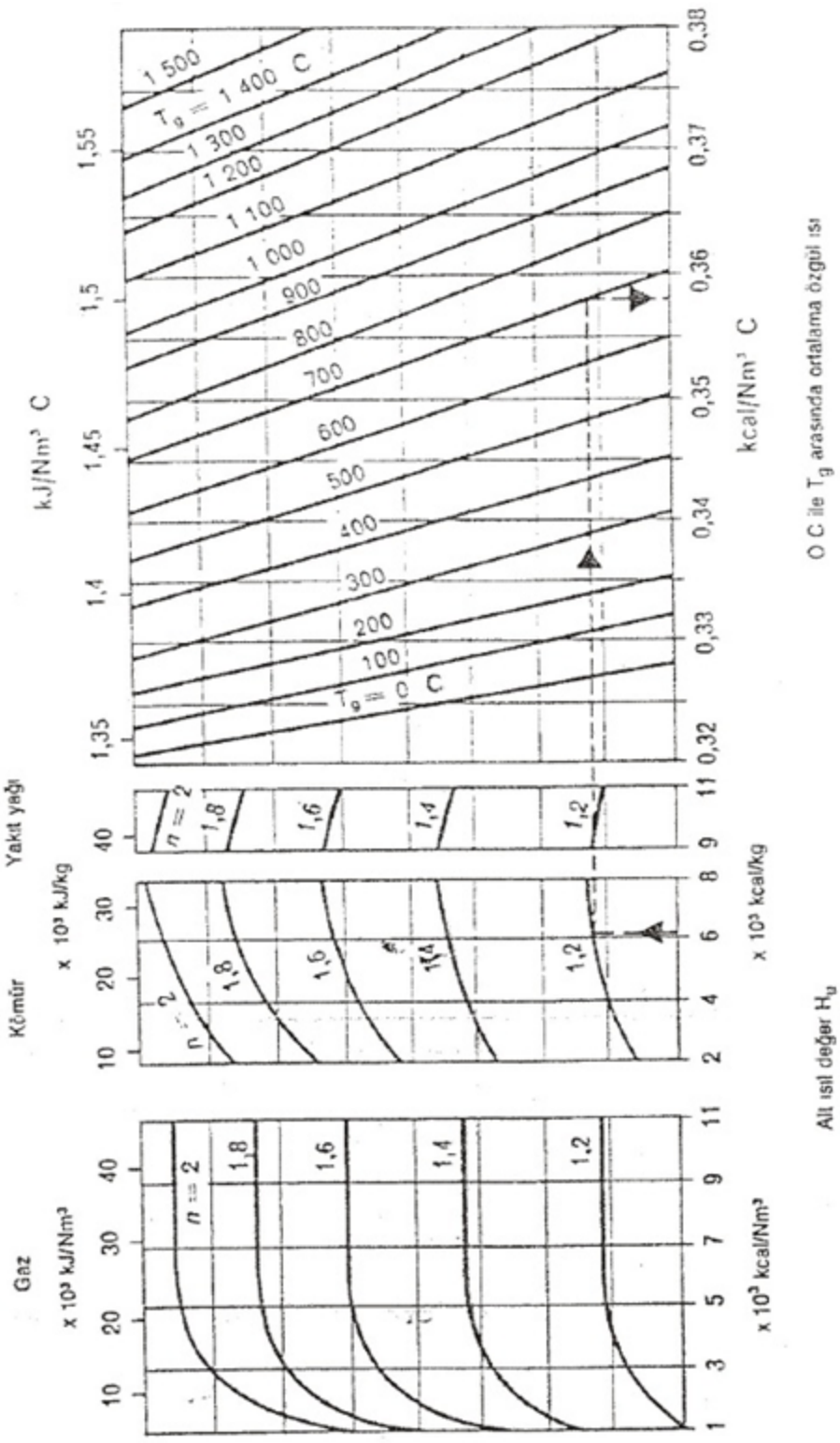
$$\bar{c}_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

($T$ in K, $c_p$ in kJ/kmol · K)

| Substance | Formula | $a$ | $b$ | $c$ | $d$ | Temperature range, K | % error Max. | % error Avg. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nitrogen | $N_2$ | 28.90 | $-0.1571 \times 10^{-2}$ | $0.8081 \times 10^{-5}$ | $-2.873 \times 10^{-9}$ | 273–1800 | 0.59 | 0.34 |
| Oxygen | $O_2$ | 25.48 | $1.520 \times 10^{-2}$ | $-0.7155 \times 10^{-5}$ | $1.312 \times 10^{-9}$ | 273–1800 | 1.19 | 0.28 |
| Air | — | 28.11 | $0.1967 \times 10^{-2}$ | $0.4802 \times 10^{-5}$ | $-1.966 \times 10^{-9}$ | 273–1800 | 0.72 | 0.33 |
| Hydrogen | $H_2$ | 29.11 | $-0.1916 \times 10^{-2}$ | $0.4003 \times 10^{-5}$ | $-0.8704 \times 10^{-9}$ | 273–1800 | 1.01 | 0.26 |
| Carbon monoxide | CO | 28.16 | $0.1675 \times 10^{-2}$ | $0.5372 \times 10^{-5}$ | $-2.222 \times 10^{-9}$ | 273–1800 | 0.89 | 0.37 |
| Carbon dioxide | $CO_2$ | 22.26 | $5.981 \times 10^{-2}$ | $-3.501 \times 10^{-5}$ | $7.469 \times 10^{-9}$ | 273–1800 | 0.67 | 0.22 |
| Water vapor | $H_2O$ | 32.24 | $0.1923 \times 10^{-2}$ | $1.055 \times 10^{-5}$ | $-3.595 \times 10^{-9}$ | 273–1800 | 0.53 | 0.24 |
| Nitric oxide | NO | 29.34 | $-0.09395 \times 10^{-2}$ | $0.9747 \times 10^{-5}$ | $-4.187 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.97 | 0.36 |
| Nitrous oxide | $N_2O$ | 24.11 | $5.8632 \times 10^{-2}$ | $-3.562 \times 10^{-5}$ | $10.58 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.59 | 0.26 |
| Nitrogen dioxide | $NO_2$ | 22.9 | $5.715 \times 10^{-2}$ | $-3.52 \times 10^{-5}$ | $7.87 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.46 | 0.18 |
| Ammonia | $NH_3$ | 27.568 | $2.5630 \times 10^{-2}$ | $0.99072 \times 10^{-5}$ | $-6.6909 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.91 | 0.36 |
| Sulfur | $S_2$ | 27.21 | $2.218 \times 10^{-2}$ | $-1.628 \times 10^{-5}$ | $3.986 \times 10^{-9}$ | 273–1800 | 0.99 | 0.38 |
| Sulfur dioxide | $SO_2$ | 25.78 | $5.795 \times 10^{-2}$ | $-3.812 \times 10^{-5}$ | $8.612 \times 10^{-9}$ | 273–1800 | 0.45 | 0.24 |
| Sulfur trioxide | $SO_3$ | 16.40 | $14.58 \times 10^{-2}$ | $-11.20 \times 10^{-5}$ | $32.42 \times 10^{-9}$ | 273–1300 | 0.29 | 0.13 |
| Acetylene | $C_2H_2$ | 21.8 | $9.2143 \times 10^{-2}$ | $-6.527 \times 10^{-5}$ | $18.21 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 1.46 | 0.59 |
| Benzene | $C_6H_6$ | −36.22 | $48.475 \times 10^{-2}$ | $-31.57 \times 10^{-5}$ | $77.62 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.34 | 0.20 |
| Methanol | $CH_4O$ | 19.0 | $9.152 \times 10^{-2}$ | $-1.22 \times 10^{-5}$ | $-8.039 \times 10^{-9}$ | 273–1000 | 0.18 | 0.08 |
| Ethanol | $C_2H_6O$ | 19.9 | $20.96 \times 10^{-2}$ | $-10.38 \times 10^{-5}$ | $20.05 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.40 | 0.22 |
| Hydrogen chloride | HCl | 30.33 | $-0.7620 \times 10^{-2}$ | $1.327 \times 10^{-5}$ | $-4.338 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.22 | 0.08 |
| Methane | $CH_4$ | 19.89 | $5.024 \times 10^{-2}$ | $1.269 \times 10^{-5}$ | $-11.01 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 1.33 | 0.57 |
| Ethane | $C_2H_6$ | 6.900 | $17.27 \times 10^{-2}$ | $-6.406 \times 10^{-5}$ | $7.285 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.83 | 0.28 |
| Propane | $C_3H_8$ | −4.04 | $30.48 \times 10^{-2}$ | $-15.72 \times 10^{-5}$ | $31.74 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.40 | 0.12 |
| *n*-Butane | $C_4H_{10}$ | 3.96 | $37.15 \times 10^{-2}$ | $-18.34 \times 10^{-5}$ | $35.00 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.54 | 0.24 |
| *i*-Butane | $C_4H_{10}$ | −7.913 | $41.60 \times 10^{-2}$ | $-23.01 \times 10^{-5}$ | $49.91 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.25 | 0.13 |
| *n*-Pentane | $C_5H_{12}$ | 6.774 | $45.43 \times 10^{-2}$ | $-22.46 \times 10^{-5}$ | $42.29 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.56 | 0.21 |
| *n*-Hexane | $C_6H_{14}$ | 6.938 | $55.22 \times 10^{-2}$ | $-28.65 \times 10^{-5}$ | $57.69 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.72 | 0.20 |
| Ethylene | $C_2H_4$ | 3.95 | $15.64 \times 10^{-2}$ | $-8.344 \times 10^{-5}$ | $17.67 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.54 | 0.13 |
| Propylene | $C_3H_6$ | 3.15 | $23.83 \times 10^{-2}$ | $-12.18 \times 10^{-5}$ | $24.62 \times 10^{-9}$ | 273–1500 | 0.73 | 0.17 |

*Source:* B. G. Kyle, *Chemical and Process Thermodynamics* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984). Used with permission.

# EK– 6 Duman gazı ortalama özgül ısısı [56]

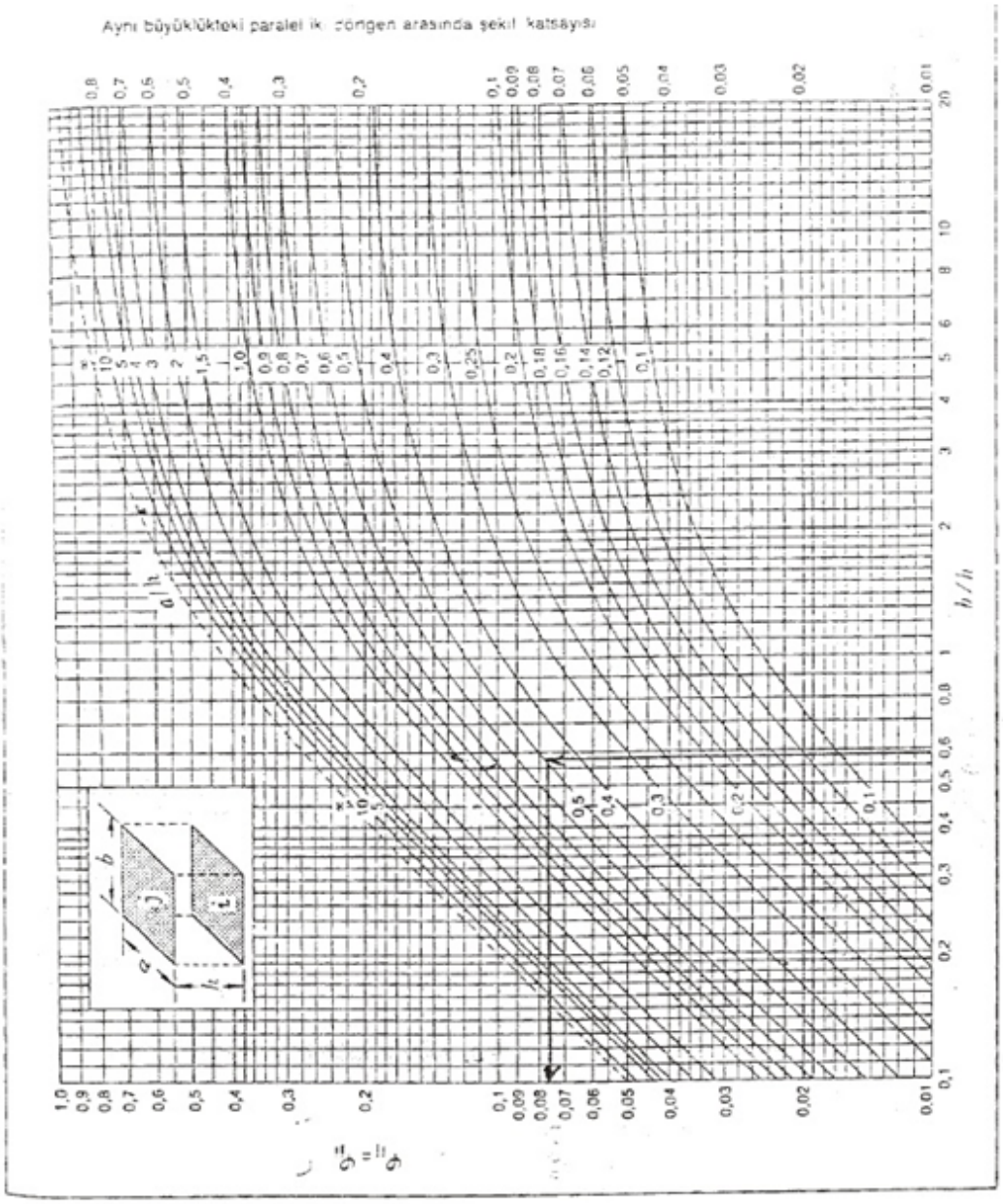


# EK– 7 Atmosferik basınçta havanın fiziksel özellikleri [18]

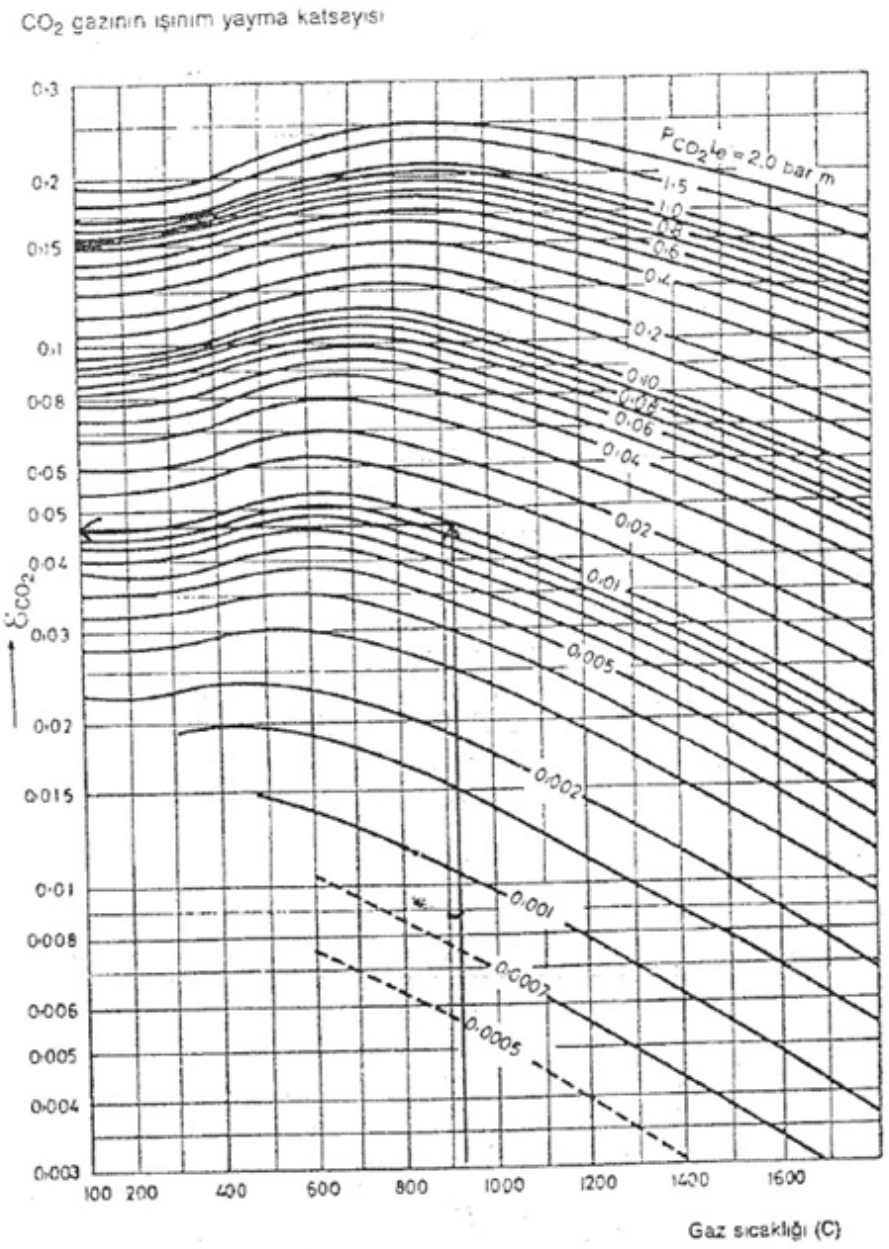
| $T$, K | $\rho$ kg/m³ | $c_p$, kJ/kg · °C | $\mu$, kg/m · s $10^{-5}$ | $\nu$, m²/s $10^{-6}$ | $k$, W/m · °C | $\alpha$, m²/s $10^{-4}$ | Pr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 3.6010 | 1.0266 | 0.6924 | 1.923 | 0.009246 | 0.02501 | 0.770 |
| 150 | 2.3675 | 1.0099 | 1.0283 | 4.343 | 0.013735 | 0.05745 | 0.753 |
| 200 | 1.7684 | 1.0061 | 1.3289 | 7.490 | 0.01809 | 0.10165 | 0.739 |
| 250 | 1.4128 | 1.0053 | 1.5990 | 11.31 | 0.02227 | 0.15675 | 0.722 |
| 300 | 1.1774 | 1.0057 | 1.8462 | 15.69 | 0.02624 | 0.22160 | 0.708 |
| 350 | 0.9980 | 1.0090 | 2.075 | 20.76 | 0.03003 | 0.2983 | 0.697 |
| 400 | 0.8826 | 1.0140 | 2.286 | 25.90 | 0.03365 | 0.3760 | 0.689 |
| 450 | 0.7833 | 1.0207 | 2.484 | 31.71 | 0.03707 | 0.4222 | 0.683 |
| 500 | 0.7048 | 1.0295 | 2.671 | 37.90 | 0.04038 | 0.5564 | 0.680 |
| 550 | 0.6423 | 1.0392 | 2.848 | 44.34 | 0.04360 | 0.6532 | 0.680 |
| 600 | 0.5879 | 1.0551 | 3.018 | 51.34 | 0.04659 | 0.7512 | 0.680 |
| 650 | 0.5430 | 1.0635 | 3.177 | 58.51 | 0.04953 | 0.8578 | 0.682 |
| 700 | 0.5030 | 1.0752 | 3.332 | 66.25 | 0.05230 | 0.9672 | 0.684 |
| 750 | 0.4709 | 1.0856 | 3.481 | 73.91 | 0.05509 | 1.0774 | 0.686 |
| 800 | 0.4405 | 1.0978 | 3.625 | 82.29 | 0.05779 | 1.1951 | 0.689 |
| 850 | 0.4149 | 1.1095 | 3.765 | 90.75 | 0.06028 | 1.3097 | 0.692 |
| 900 | 0.3925 | 1.1212 | 3.899 | 99.3 | 0.06279 | 1.4271 | 0.696 |
| 950 | 0.3716 | 1.1321 | 4.023 | 108.2 | 0.06525 | 1.5510 | 0.699 |
| 1000 | 0.3524 | 1.1417 | 4.152 | 117.8 | 0.06752 | 1.6779 | 0.702 |
| 1100 | 0.3204 | 1.160 | 4.44 | 138.6 | 0.0732 | 1.969 | 0.704 |
| 1200 | 0.2947 | 1.179 | 4.69 | 159.1 | 0.0782 | 2.251 | 0.707 |
| 1300 | 0.2707 | 1.197 | 4.93 | 182.1 | 0.0837 | 2.583 | 0.705 |
| 1400 | 0.2515 | 1.214 | 5.17 | 205.5 | 0.0891 | 2.920 | 0.705 |
| 1500 | 0.2355 | 1.230 | 5.40 | 229.1 | 0.0946 | 3.262 | 0.705 |
| 1600 | 0.2211 | 1.248 | 5.63 | 254.5 | 0.100 | 3.609 | 0.705 |
| 1700 | 0.2082 | 1.267 | 5.85 | 280.5 | 0.105 | 3.977 | 0.705 |
| 1800 | 0.1970 | 1.287 | 6.07 | 308.1 | 0.111 | 4.379 | 0.704 |
| 1900 | 0.1858 | 1.309 | 6.29 | 338.5 | 0.117 | 4.811 | 0.704 |
| 2000 | 0.1762 | 1.338 | 6.50 | 369.0 | 0.124 | 5.260 | 0.702 |
| 2100 | 0.1682 | 1.372 | 6.72 | 399.6 | 0.131 | 5.715 | 0.700 |
| 2200 | 0.1602 | 1.419 | 6.93 | 432.6 | 0.139 | 6.120 | 0.707 |
| 2300 | 0.1538 | 1.482 | 7.14 | 464.0 | 0.149 | 6.540 | 0.710 |
| 2400 | 0.1458 | 1.574 | 7.35 | 504.0 | 0.161 | 7.020 | 0.718 |
| 2500 | 0.1394 | 1.688 | 7.57 | 543.5 | 0.175 | 7.441 | 0.730 |

Not: μ, k, $c_p$ ve Pr basınçla fazla değişmediğinden, basıncın oldukça geniş bir aralığında bu değerler sabit varsayılabilir.

# EK– 8 Bazı konumlar için ışınım şekil katsayılarına ait diyagramlar [56]



# EK– 9 $CO_2$ gazının ışınım yayma katsayısı [56]



# EK– 10 Su buharının ışınım yayma katsayısı [56]

