

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BUHAR KAZANI KONTROL YAPILARI
VE UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hüseyin YEŞİLYURT**

Anabilim Dalı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

Programı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BUHAR KAZANI KONTROL YAPILARI
VE UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hüseyin YEŞİLYURT
(504071137)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Salman KURTULAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Engin YEŞİL (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Levent OVACIK (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Öncelikle bu bitirme çalışmasını bana öneren ve çalışma boyunca karşılaştığım tüm problemlerde benden her türlü desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Salman KURTULAN’a teşekkürü bir borç bilirim. Proje çalışmasını birlikte başarılı bir şekilde yürüttüğüm ve bu esnada bana sürekli yardımcı olan Nokta Endüstriyel çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tüm hayatım boyunca bana destek olan ve bu bitirme çalışmasını hazırlayacak seviyeye gelmemde benden maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen aileme minnettarlığımı belirtmek isterim.

Mayıs 2011

Hüseyin YEŞİLYURT

(Kontrol Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Özeti	1
1.3 SAMA Diyagramları	2
2. YANMA PROSESİNİN TEMELLERİ.....	7
2.1 Yanma Teorisi.....	8
2.2 Buhar Kazanları.....	10
2.3 Neden Buhar Kullanılır?.....	12
2.4 Yanma Türleri	13
3. BUHAR KAZANI KONTROL YAPILARI	15
3.1 Buhar Kazanı Kontrol Konsepti.....	16
3.2 Yanma Kontrolü ve Teknikleri	16
3.2.1 Tek nokta pozisyonlama kontrolü	17
3.2.2 Paralel pozisyonlama kontrolü	18
3.2.3 Tam-ölçümlü, çapraz-limitli kontrol	19
3.2.3.1 Kazan yük kontrol bloğu.....	21
3.2.3.2 Yakıt debisi kontrol bloğu.....	22
3.2.3.3 Yakma havası debisi kontrol bloğu	22
3.2.3.4 Çapraz-limitli kontrol.....	23
3.2.4 O ₂ düzenleme kontrolü	24
3.2.5 Kazan güvenlik yönetimi	25
3.3 Kazan Basınç Kontrolü.....	26
3.3.1 Doğal Akış	26
3.3.2 Üflemlili Akış	27
3.3.3 Vakumlu Akış	27
3.3.4 Dengelenmiş Akış	27
3.4 Dom Seviye ve Besi Suyu Kontrolü.....	30
3.4.1 Tek elemanlı kontrol.....	31
3.4.2 İki elemanlı kontrol	32
3.4.3 Üç elemanlı kontrol	34
3.4.4 Dom su beslemesi.....	35
3.4.4.1 Besi suyu kontrol vanası	35
3.4.4.2 Besi suyu debi hesaplaması.....	36
3.4.5 Buhar domu.....	37

3.4.5.1 Dom seviye ölçümü.....	38
3.4.5.2 Seviye ölçümü basınç kompanzasyonu	38
3.4.5.3 Buhar hattı debi ölçümü	39
3.4.5.4 Kızgın buhar yoğunluk hesabı	40
3.4.5.5 Soğutma suyu debi hesabı.....	41
3.5 Kazan Yönetim Sistemi.....	42
3.5.1 Kazan acil-duruş şartları.....	44
3.6 Yanma Kontrol Sistemi	44
3.6.1 Yakıt-hava oranı ve miktarı kontrolü	45
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
4.1 Çalışmanın Uygulama Alanı	49
4.2 Uygulama Sonuçları.....	50
KAYNAKLAR.....	51
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

SAMA	: Scientific Apparatus Makers Association
BTU	: British Thermal Unit
lb	: Pound
FRD	: Firing Rate Demand
DCS	: Distributed Control System
BMS	: Burner Management System
CCS	: Combustion Control System
PID	: Proportional Integral Derivative
FD	: Forced Draft
ID	: Induced Draft
NG	: Natural Gas
COG	: Coke Oven Gas
BFG	: Blast Furnace Gas
HFO	: Heavy Fueloil
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : SAMA sembol ve açıklamaları-1.	4
Çizelge 1.2 : SAMA sembol ve açıklamaları-2.	4
Çizelge 1.3 : SAMA sembol ve açıklamaları-3.	5
Çizelge 3.1 : Dom seviyesi alarm ve uyarı limitleri.....	38
Çizelge 3.2 : Yakıt türüne göre elde edilen termal güç değerleri.....	49
Çizelge 4.1 : Modernizasyon sonucu elde edilen verim artışı.	52
Çizelge 4.2 : Modernizasyon sonucu elde edilen tasarruf miktarları.	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: Örnek SAMA diyagramı.	3
Şekil 1.2	: PID bloklarının farklı tiplerde SAMA gösterimi.	4
Şekil 2.1	: Tipik bir buhar kazanı ve elemanları.	7
Şekil 2.2	: Buhar kazanının genel yapısı.	12
Şekil 3.1	: Kazanda otomatik kontrolü yapılan değerler.	15
Şekil 3.2	: Tek nokta pozisyonlama kontrol diyagramı.	17
Şekil 3.3	: Paralel pozisyonlama kontrol diyagramı.	19
Şekil 3.4	: Tam-ölçümlü, çapraz-limitli kontrol diyagramı.	21
Şekil 3.5	: O ₂ düzenleme kontrol diyagramı.	25
Şekil 3.6	: Dengelenmiş akış sistemine sahip kazan modeli.	28
Şekil 3.7	: İleri-beslemeli kazan basınç kontrol diyagramı.	29
Şekil 3.8	: Tek elemanlı dom seviye kontrol diyagramı.	32
Şekil 3.9	: İki elemanlı dom seviye kontrol diyagramı.	33
Şekil 3.10	: Üç elemanlı dom seviye kontrol diyagramı.	34
Şekil 3.11	: Buhar domu iç yapısı.	37
Şekil 3.12	: Dom seviye ve besi suyu kontrol ekranı.	42
Şekil 3.13	: Kazan güvenlik şartlarını izleme ekranları.	43
Şekil A.1	: Proses ekranında gösterilen nesneler ve açıklamaları.	56
Şekil A.2	: Kazan genel görünüm ekranı.	57
Şekil A.3	: Besi suyu, dom ve buhar hatları ekranı.	58
Şekil A.4	: Yakma havası, egzoz gazı ve kazan iç basınç kontrol ekranı.	59
Şekil A.5	: Kazan metal ve buhar sıcaklıkları ekranı.	60
Şekil A.6	: Brülörlerin grup bazında gösterimi.	61
Şekil A.7	: Brülörlerin tekli operasyon gösterimi.	62
Şekil B.1	: Yanma kontrol diyagramı sembol açıklamaları.	63
Şekil B.2	: Yanma kontrol diyagramı-1.	64
Şekil B.3	: Yanma kontrol diyagramı-2.	65
Şekil B.4	: Yanma kontrol diyagramı-3.	66
Şekil B.5	: Yanma kontrol diyagramı-4.	67

BUHAR KAZANI KONTROL YAPILARI VE UYGULAMALARI

ÖZET

Son yıllarda dünya genelinde enerjiye olan ihtiyaç sürekli artmaktadır. Bu nedenle de birçok endüstriyel firma yatırımlarını enerji üretimi ve enerji verimliliği konularına yapmaktadır. Enerjinin kaliteli ve verimli bir şekilde üretilmesi hem üretim maliyetleri açısından hem de üretilen enerjinin kullanım alanları açısından oldukça önemlidir. Bu yüzden enerji üretim sistemlerinde emniyet şartlarını göz önünde bulundurmak şartıyla maksimum verim elde etmek için bir takım yöntemler kullanılmak durumundadır. Buhar kazanlarında temel olarak yanma kontrolü, kazan iç basınç kontrolü, dom seviye ve besli suyu kontrolü ve buhar sıcaklığı kontrolü yapılmaktadır. Geliştirilen kazan kontrol yöntemleri ile bu kontrol prosesleri optimum değerlerde çalıştırılır ve sistemin daha kararlı bir şekilde davranmasını sağlarlar. Ayrıca otomasyon sistemlerinin getirdiği kolaylıklar sayesinde üretim takibi ve izlenebilirlik maksimum düzeye çıkarılır.

Bu çalışmada, elektrik enerjisi üretiminde büyük rolü olan buhar kazanlarının kontrol yöntemleri üzerinde durulmuştur. Bu kontrol yöntemleri yanma kontrolü, kazan basınç kontrolü, dom seviye kontrolü ve buhar sıcaklık kontrolünden yola çıkılarak geliştirilmiş yöntemlerdir. Buhar kazanlarının güvenli ve verimli bir şekilde işletilebilmesi için bu yöntemlerin kullanılması kaçınılmaz bir durumdur. Kazan kontrol yöntemlerinin uygulanmasıyla üretim maliyetleri düşürülür, saha emniyeti azami ölçüde sağlanır ve çevre kirliliğine neden olan zararlı atık gazların emisyonu minimize edilmiş olur. Gerçeklenen projede buhar kazanı kontrol yöntemlerinin sistemin verimini artırdığı ve çevre sağlığına olumlu yönde katkı sağladığı görülmüştür.

STEAM BOILER CONTROL STRUCTURES AND APPLICATIONS

SUMMARY

In recent years it's obviously seen that the energy requirements are increasing seriously in whole world. Therefore, many industrial companies are spending their investments on energy production and energy efficiency. Producing qualified and efficient energy is really important due to decreasing production costs and increasing usage areas of the produced energy. For this reason, by keeping the safety conditions, its an urgent situation that some kind of strategies should be applied to get maximum efficiency in energy production plants. In steam boiler applications, typical control problems are combustion control, furnace pressure control, drum level and feed water control, and finally steam temperature control. By using improved steam boiler control strategies these control processes mentioned above are operated with optimum values and the system becomes more stable than before. And also, with the usage of automation technologies in steam boiler plants energy production process becomes more flexible and observable.

In this study, the control strategies of steam boilers which has a big role on energy production are discussed. These control strategies are based on combustion control, furnace pressure control, drum level and feed water control and steam temperature control processes. For a safety and efficient production process of steam boiler plants, these control strategies should be applied. By applying steam boiler control strategies, production cost are reduced, plant safety is maintained and emission of the flue gases that causing air pollution are minimized. The control strategies are applied to a steam boiler plant and realized that they improve total system efficiency and has a positive contribution on air quailty.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, günümüzün en önemli konularından birisi olan enerji verimliliği konusu kontrol mühendisliği bakış açısıyla incelenmiş ve buhar kazanları gibi enerji üreten sistemlerde daha verimli bir enerji üretimi için kullanılabilecek iyileştirilmiş kontrol yöntemleri incelenmiş ve bu yöntemlere yeni düzenlemeler yapılmıştır. Bu amaçla geleneksel PID kontrol yöntemlerinin blok yapılarına ek kontrol yapıları dahil edilmiştir. Elde edilen yeni yapılar otomasyon sistemi ile entegre edilerek hem güvenli hem de verimli bir çözüm elde edilmiştir.

1.2 Literatür Özeti

Günümüzde yanma kontrolü ve buhar kazanı dom seviyesi kontrolü önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Buhar kazanları enerji üretiminde önemli bir paya sahip olduğu için geçmişten bu güne daha verimli ve daha güvenilir kontrol yöntemleri arayışına girilmiş; bu yöntemleri elde edebilmek amacıyla birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, tezde bahsedilen yanma kontrol yapıları ve dom seviye kontrol yapıları ortaya çıkmış ve bu teknikler buhar kazanlarında neredeyse standart hale gelmiş olup endüstride başarıyla uygulanmaktadır.

Daha sonra yapılan ve devam etmekte olan araştırmalarda ise, mevcut kontrol yapıları üzerine modern kontrol yöntemleri uygulanarak daha başarılı sonuçların elde edilmesi hedeflenmektedir.

Tezde bahsedilen en uygun dom seviyesi ve besli suyu kontrol tekniği üç-elemanlı kontrol yapısıdır. Bu yapı durağan yüklerde veya yük değişiminin yavaş olduğu durumlarda başarılı sonuçlar verir. Fakat yük çevrimi olan sistemlerde (sürekli değişen yüke sahip sistemlerde) veya ani yük değişimi durumlarında üç-elemanlı kontrol yapısından yeterince etkili sonuçlar alınamamaktadır. Bu durumu iyileştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmış olup sistem yükü ve dom basıncı da

kontrol yapısına dahil edilerek yük çevrimi olan sistemler için iyileştirilmiş-dom seviyesi kontrol tekniği geliştirilmiştir ve üç-elemanlı kontrol tekniğinin zayıf yönlerinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır [1].

Endüstriyel buhar kazanı sisteminde dom seviyesi tipik bir çok-girişli, çok-çıkışlı kontrol sistemi yapısındadır ve aynı zamanda ölü-zaman, nonlineerlik ve zamanla-değişen sistem özelliklerini de barındırır. Bu nedenlerden dolayı geleneksel geri-beslemeli PID kontrol yöntemlerini kullanarak dom seviyesini kararlı bir şekilde kontrol etmek oldukça güçtür. Fakat geleneksel PID ile bulanık kontrolör tekniğinin birleştirilmiş hali olan bulanık PID kontrol yöntemi kullanılarak sistemin yerleşme zamanında azalma, daha az aşım, daha dayanıklı ve kararlı bir kontrol sistemi elde edilebilmektedir. Ayrıca buhar kazanı sistemlerinin matematik modelini çıkarmak oldukça zordur ve bulanık PID kontrolörü sistemin tam bir matematik modeline ihtiyaç duymadığından bu tür sistemlerde etkili ve başarılı bir yöntem olarak kullanılabileceği konusunda çalışmalar yapılmıştır [2].

Ayrıca, büyük-ölçekli kontrol sistemlerinin tasarımı ve analizinde sistemdeki belirsizliklerin etkisini minimuma indirmek amacıyla, uygulanabilen en basit sistem modeli üzerinde yoğunlaşmak (sistemin modelini basite indirmek) yerine sistemdeki en uygun bilgi yada parametrelerin kullanılmasının daha faydalı olabileceği konusunda çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Buhar kazanı gibi büyük-ölçekli kontrol sistemlerinde geleneksel kontrol yöntemleri yerine bulanık mantık ve yapay-sinir-ağları gibi bilgi-tabanlı kontrol metodlarının daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [3].

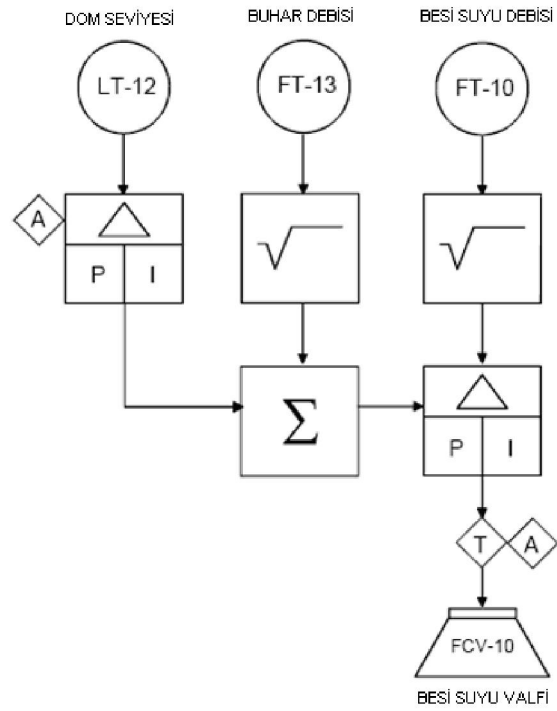
Sonuç olarak, buhar kazanı kontrol yapıları geçmişten günümüze birçok bilimsel çalışmaya konu olmuş ve bu sayede önemli gelişmeler sağlanmıştır. Modern kontrol yöntemlerinin yaygınlaşması sayesinde araştırma ve geliştirmeye açık bir kontrol konusu olmaya devam edecektir.

1.3 SAMA Diyagramları

Güç endüstrisinin fonksiyonel kontrol diyagramları “SAMA (Scientific Apparatus Makers Association) diyagramları” olarak adlandırılır. SAMA diyagramları endüstriyel kazan sistemi uygulamalarında sistemi ve kontrol yapılarını tarif etmek ve dokümantasyon yapmak amacıyla kullanılır. Bu diyagramlar çeşitli komitelerce

kabul edilmiş ve standard hale gelmiştir. Amaç tarif edilen prosesin global olarak kolay bir şekilde anlaşılır olmasıdır. SAMA diyagramları kullanılarak kompleks kontrol şemaları kolay anlaşılır hale gelmektedir. Şekil 1.1’de tipik bir uygulama olan üç elemanlı dom seviye kontrolüne ait SAMA diyagramı örneği gösterilmektedir.

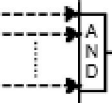
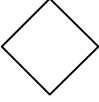
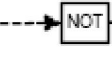
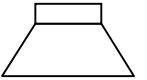
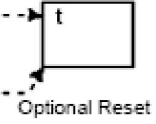
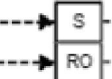
SAMA diyagramları enstrümantasyon, lojik ve analog kontrol sistemleri için uygulanabilir durumdadır. Diyagramdaki semboller göze daha anlaşılır görüldüğünden mühendislik çalışmalarında oldukça faydalı bir araç konumundadır. Değişken ölçümleri, matematiksel işlemler, lojik fonksiyonlar ve kontrol blokları tek bir platformda gösterilir. Böylece proses veya kontrol mühendisi bu SAMA sembollerini kullanarak kompleks kontrol şemalarını basite indirgeyebilir ve bu sayede zaman ve yer tasarrufu yapabilir.



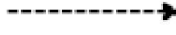
Şekil 1.1 : Örnek SAMA diyagramı.

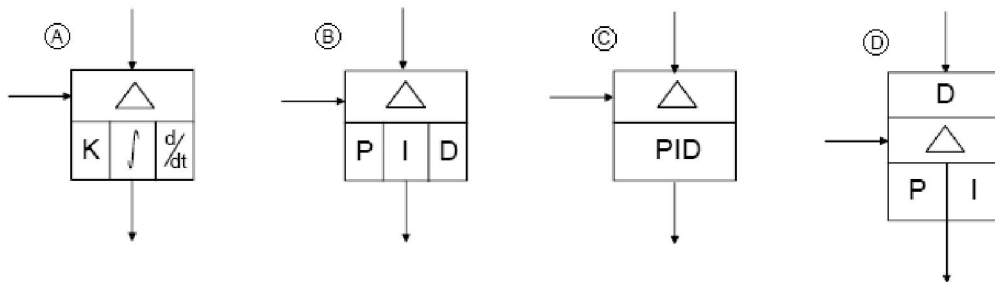
Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2’de en yaygın kullanılan semboller ve işaretler açıklamalarıyla birlikte yer almaktadır.

Çizelge 1.1 : SAMA sembol ve açıklamaları-1.

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
	Değişken Ölçümü (Sıcaklık, basınç, debi vs.)		Lojik AND operatörü
	Manuel Operasyon		Lojik OR operatörü
	Otomatik Operasyon		Lojik şartlı OR operatörü
	Kontrol Ekipmanı (Motor, valf, damper vs.)		Lojik NOT bloğu
	Pozisyonerli Kontrol Ekipmanı		Çeşitli SET , RESET Hafıza elemanları
	Zaman Gecikmesi		
			

Çizelge 1.2 : SAMA sembol ve açıklamaları-2.

Sembol	Açıklama
	Analog Değişken Sinyal
	Kademeli Değişimli Analog Değişken Sinyal
	Dijital (Lojik) Sinyal



Şekil 1.2 : PID bloklarının farklı tiplerde SAMA gösterimi.

Yukarıda yer alan Şekil 1.3'te farklı görünümde PID kontrol blokları gösterilmiştir. A ile gösterilen blokta yer alan işaretler matematiksel ifadelerden oluşur. Üçgen işareti proses değeri ile set değeri arasındaki hatayı, K oransal kontrolü, integral işareti integral kontrolünü ve d/dt türev işareti ise türev kontrolünü temsil eder. B ve C ile gösterilen bloklarda ise PID kısaltma harfleriyle gösterilmiştir. Dikdörtgen biçimli kutucuklar bu işlemin otomatik olarak yapıldığını gösterir. D ile gösterilen blok tipinde ise farklı yapıda bir PID kontrol bloğu gösterilmiştir. Çizelge 1.3'te en yaygın kullanılan matematiksel ve lojik ifadelerin SAMA sembolleri yer almaktadır. Buna ek olarak çeşitli ölçüm değerlerinin de nasıl gösterileceği aynı çizelgede sunulmaktadır.

Çizelge 1.3 : SAMA sembol ve açıklamaları-3.

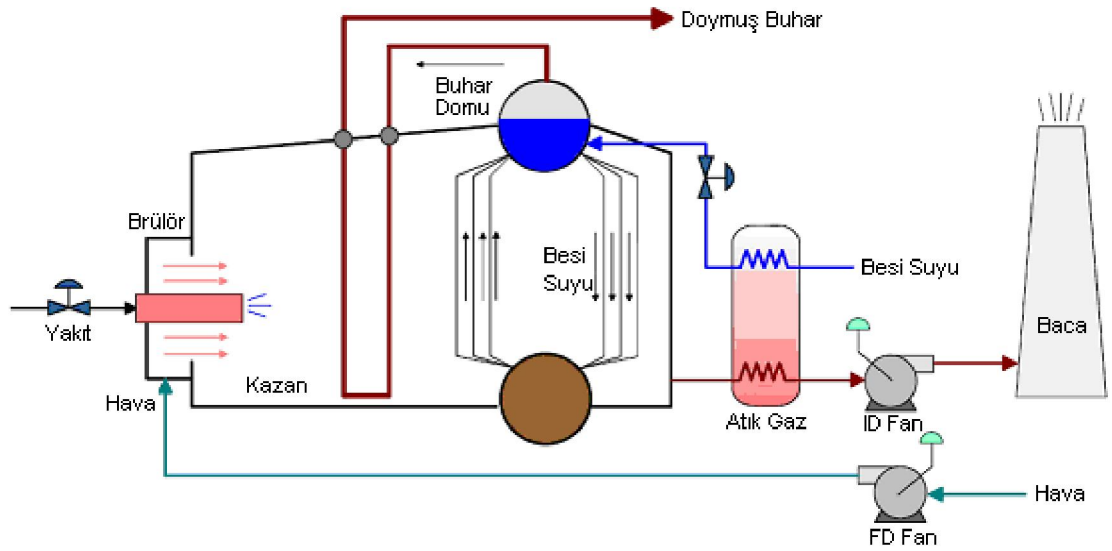
Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
Σ veya +	Toplam	B	Lojik sinyal generatörü
Σ / n	Ortalama	AND	Lojik VE operatörü
Δ veya -	Fark	OR	Lojik VEYA operatörü
K veya P	Oransal kontrol	> n	Karşılaştırma: Büyüktür
$\int$ veya I	İntegral kontrolü	< n	Karşılaştırma: Küçüktür
d/dt veya D	Türev kontrolü	= n	Karşılaştırma: Eşittir
X	Çarpım	NOT	Lojik DEĞİL operatörü
$\div$	Bölme	S, SO	SET hafıza birimi
$\sqrt[n]{}$	Karekök alma	R, RO	RESET hafıza birimi
Xⁿ	Eksponansiyel işlem	A	Analog Sinyal
f(x)	Fonksiyon bloğu	D	Dijital Sinyal
$\updownarrow$	Üç konumlu sinyal (Yukarı, Dur, Aşağı)	E	Voltaj
Q	İntegrasyon ve totalizör	F	Frekans
>	Maksimum seçim	H	Hidrolik
<	Minimum seçim	I	Akım
⤴	Üst Limit	O	Elektromanyetik, ultrasonik
⤵	Alt Limit	P	Pnömatik
+/-	Pozitif / Negatif	R	Rezistans
f(t)	Zamana bağlı fonksiyon	Örn: D/A	Dijital/Analog Dönüşümü
A	Değişken sinyal generatörü		
T	Transfer	Örn: I/P	Analog/Pnömatik Sinyal Dönüşümü
H/, H/L, /L	Sinyal izleme		

Çalışmanın sonraki bölümlerinde kullanılmış olan proses diyagramlarında bu sembollerden sık sık faydalanılacaktır.

2. YANMA PROSESİNİN TEMELLERİ

Bir kazan kontrol uygulaması tasarımında yanma süreci kontrolünün doğru bir şekilde yapılabilmesi için yanma prosesinin temellerini bilmek önemlidir. Yanma kontrolünün temel amacı yakıt-hava oranının ideal stokiometrik değerlere yakın tutabilmektir. Bu sayede kazan verimi maksimize edilmiş olur, güvenli işletme koşulları sağlanmış olur ve çevre kirliliğine neden olan atık gazların emisyonu minimize edilmiş olur [4].

Modern kontrol sistemleri kazanın optimum yakıt-hava oranında yanmasına önemli ölçüde katkı sağlar ve yakıt ve hava debisinde oluşabilecek mevsimsel değişimlere karşı sistemi kompanze eder. Şekil 2.1’de bir buhar kazanının temel yapısı yer almaktadır.



Şekil 2.1 : Tipik bir buhar kazanı ve elemanları.

Şekilden de görüldüğü gibi, bir buhar kazanında brülörler, buhar domu, yanmanın gerçekleştiği yer olan ocak, regeneratif hava ısıtıcısı, vantilatör fanları, aspiratör fanları ve baca yer almaktadır.

2.1 Yanma Teorisi

Yanma reaksiyonu temel olarak yakıt ile havanın tepkimeye girmesi ve bu tepkime sonucunda enerji açığa çıkması olayıdır. Tipik bir endüstriyel uygulamada yanma operasyonu kazanın ocak kısmında (kazan içi) gerçekleşir. Yanma sonucu oluşan enerji ısıtma işleminde kullanılır. Kazan buhar domundaki su bu enerji ile ısıtılarak buhara dönüştürülmesi hedeflenir. Daha sonra, elde edilen buhar generatör-türbin sistemine gönderilerek elektrik enerjisi üretilebilir yada enerji transferi için de kullanılabilir. Kazan ocağından buhar domuna enerji iletimi atık gazların konveksiyonu ve yanma alevinin radyasyonu ile sağlanır [5].

Kullanılabilecek yakıt türleri gaz, sıvı veya katı olabilir. Tipik gaz yakıt türleri doğalgaz, propan ve hidrojendir. Sıvı yakıt türleri ise fuel oil ve buna ek olarak katran gibi sıvı atıklardır. Kullanılan katı yakıtlara ise kömür ve odun örnek olarak gösterilebilir.

Karbon (C) kömürün temel yapıtaşıdır. Karbon, uygun şartlarda oksijen (O₂) ile buluştuğunda tepkimeye girer ve karbondioksit (CO₂) oluşur. Tepkime egzotermiktir ve bu da tepkime sonucunda enerji açığa çıkacağı anlamına gelir.



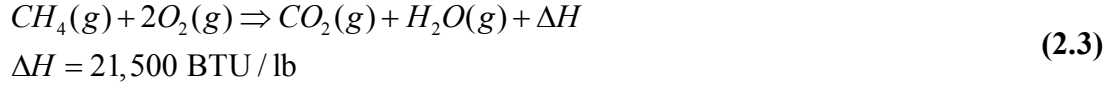
ΔH açığa çıkan enerji olup $\Delta H = 14,100$ BTU/lb 'dır.

1 BTU (British Thermal Unit) 39 °F'deki 454 gram suyun sıcaklığını 1 derece yükseltmek için gerekli enerji miktarıdır.

Hidrojen (H₂), uygun şartlarda oksijen ile buluştuğunda tepkimeye girerek su buharı oluşturur ve tepkime sonucunda enerji açığa çıkar. Açığa çıkan enerji karbon yakıtına göre daha yüksektir.



Doğalgaz içerisinde metan, etan ve propan barındıran bir yakıt türüdür. Metan (CH₄) uygun şartlarda oksijen ile buluştuğunda tepkimeye girer ve tepkime sonucunda karbon dioksit (CO₂) ve su buharı oluşur ve enerji açığa çıkar.

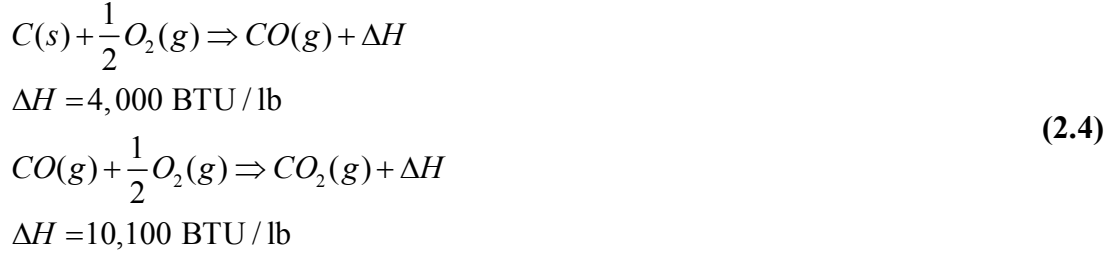


Yanma kontrol sistemleri yakıt ve hava miktarını verim açısından uygun oranda ayarlayarak istenen kazan yük değerini ayarlamaya çalışır. Gerekenden fazla hava olması durumunda, fazla havayı ısıtmak için boşa yakıt ve enerji harcanmış olur. Gerekenden az hava olması durumunda, verilen yakıtın tamamı tepkimeye girmez ve yine aynı şekilde boşa yakıt ve enerji harcanmış olur. Her iki durumda da kazanın verimi olumsuz yönde etkilenir.

Yakıt açısından zengin bir yakma karışımı tehlikeli sonuçlara yol açabilmektedir. Bu tür bir karışım temiz hava ile karşılaştığında kendiliğinden tutuşup patlamalara neden olabilir. Modern kontrol sistemleri yakıt ve hava akışını sürekli olarak denetler ve yanma için yeterli havanın mevcut olduğunu garanti altına alır.

Yanma sistemindeki en önemli faktör havadır. Sağlıklı bir yanma için temiz havanın ocağa girmesi ve atık gazların ocaktan dışarı atılıp bacaya gönderilmesi gerekir. Yanma nedeniyle oluşan basınç farklarından dolayı doğal bir hava akımı oluşur fakat kazan uygulamalarında talep edilen kazan yüküne karşılık bu doğal hava akımı yetersiz kalır. Bu yüzden sisteme üfleme ve emiş fanları ilave edilir. Uygulama tipine göre kazanlar vantilatör sistemini, aspiratör sistemini veya her ikisinin birden kullanılmasıyla dengelenmiş hava akış sistemini kullanır. Vantilatör sisteminde temiz hava vantilatör fanı vasıtasıyla kazan içine yönlendirilir. Aspiratör sisteminde ise atık gazlar aspiratör fanı vasıtasıyla kazan içinden vakumlanarak bacaya gönderilir. Dengelenmiş hava akış sisteminde her iki fan da kullanılarak bir yandan temiz hava kazan içerisine üflenir; diğer yandan atık gazlar kazan içerisinden vakumlanarak dışarı atılır.

Genel uygulamada, kazanlar yanma sonucu karbon monoksit oluşumunu minimuma indirmek amacıyla gerekenden az bir miktar fazla hava ile çalıştırılırlar. Karbonmonoksit (CO) yanma prosesinin bir yan ürünü olarak ortaya çıkmaktadır.



Görüldüğü gibi oksijenin yetersiz olduğu yanmalarda, tepkime esnasında farklı yan ürünler ortaya çıkabilmektedir. Bu yanma yan ürünleri hava ve çevre kirliliğine neden olur ve enerji sarfiyatının olduğunu gösterir. Dolayısıyla bu tür yan ürünlerin oluşması istenen bir durum değildir. Karbonmonoksit genellikle analizörler vasıtasıyla kolayca ölçülebilir ve atık gaz içerisinde diğer yan ürünlerin olup olmadığının iyi bir göstergesidir.

Karbonmonoksit oluşumu yanma prosesinin dinamiği gereği kaçınılmaz bir durumdur. Bu konuda uzmanlarca yapılan incelemeler doğrultusunda, gerekenden az bir miktar fazla oksijenin karbonmonoksit oluşumunu ciddi oranda azalttığı tespit edilmiştir. Tipik olarak, düşük yüklerde %4 fazla oksijenin yeterli olduğu belirtilmektedir. Kazan yükü nominale yaklaştırıldıkça %1-1,5 fazla oksijenin yeterli geleceği saptanmıştır. Çünkü yüksek güçlerde çalışırken kazan içerisi genellikle daha yüksek sıcaklıkta olur ve ayrıca daha fazla türbülans veya yakıt-hava karışımı mevcuttur [5].

2.2 Buhar Kazanları

Buhar 250 yıldan beri insanlığın hizmetindeki en büyük güçlerden biridir. Buharın sahip olduğu ısı enerjisi ısıtma, kurutma ve pişirme işlemleri için kullanılırken buharın potansiyel enerjisinden yararlanılarak buhar türbini, buhar makinesi gibi güç makinalarında mekanik enerjiye dönüşüm sağlanır.

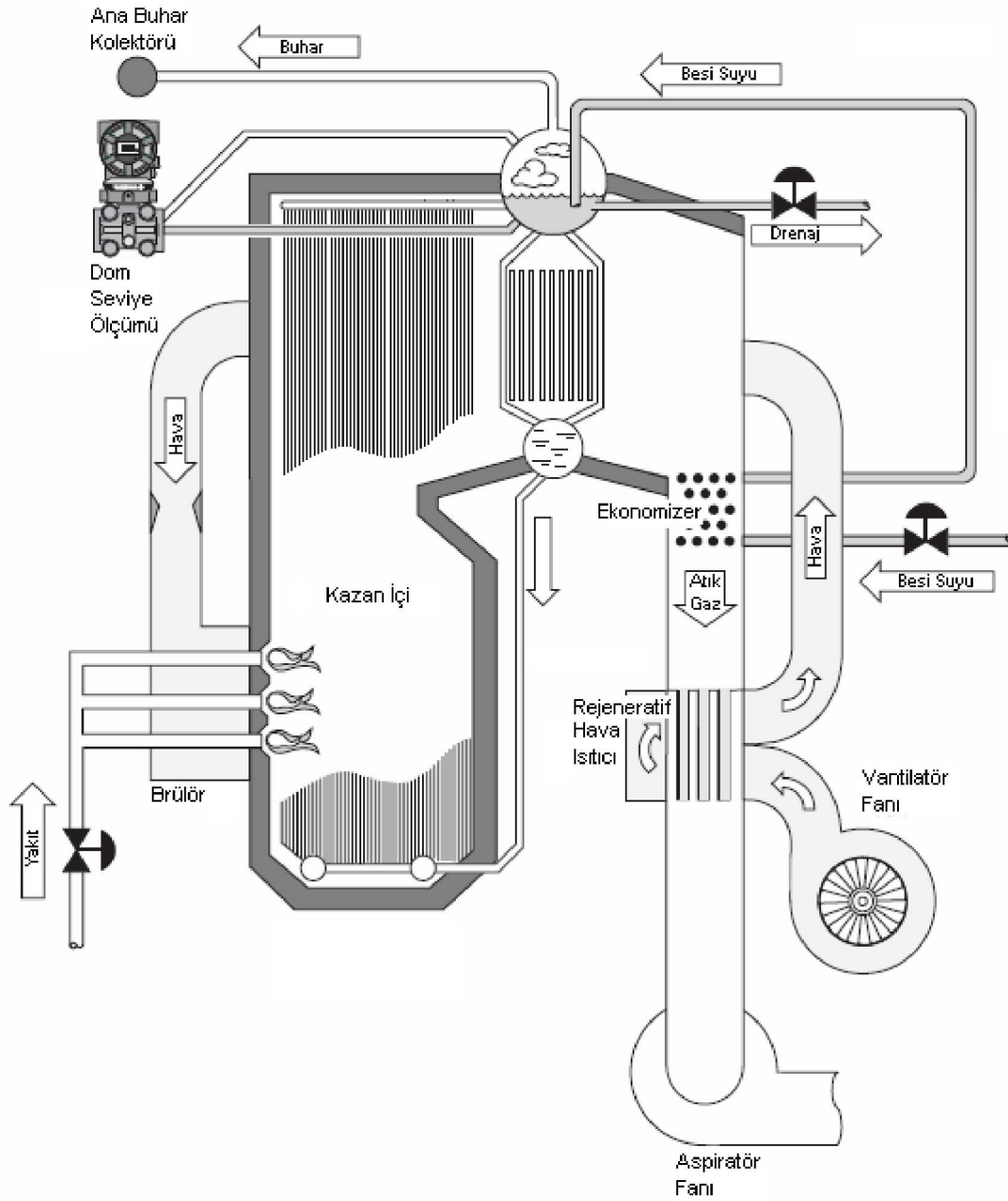
Buhar kazanı tanım olarak istenilen basınç, sıcaklık ve miktarda buhar üreten bir cihazdır. Bunun için herhangi bir yolla elde edilen ısı enerjisinin kapalı bir kap içindeki sıvıya verilerek bu sıvının buharlaşması temin edilir. Buhar kazanlarında buhara verilen ısı enerjisi genellikle çeşitli yakacakların yakılmasından, elektrik enerjisinden, nükleer enerjiden veya eldeki atık bir ısının uygun bir şekilde değerlendirilmesinden elde edilir.

Dünyadaki elektrik arzı sürekli olarak artmaktadır ve elektrik üretimi için uygun akarsu kaynaklarının hemen hemen tamamı kullanılmış durumdadır. Bu nedenle özellikle elektrik üretiminde buhar kullanımı bir çok ülkede artmaya devam etmektedir. Yalnız son yıllarda nükleer santrallerindeki gelişimin bu santralleri fosil yakacaklı termik santraller ile rekabet edilir seviyelere getirdiği unutulmamalıdır.

Bir buhar kazanı genel olarak şu elemanlardan meydana gelir.

1. **Ocak:** Yakacakların yakılarak ısı enerjisinin elde edildiği kısımdır.
2. **Asıl Isıtma Yüzeyleri:** Sıcak duman gazları ile buharlaşmakta olan suyun temasta olduğu yüzeyler.
3. **Kızdırıcı:** Doymuş ıslak buharın, sabit basınçta ısıtılarak sıcaklığının artırıldığı yüzeyler.
4. **Buhar Domu:** Besi suyunun ısı ile buhara dönüştürüldüğü tank.
5. **Su Isıtıcıları:** Besleme suyunun asıl ısıtma yüzeyine girmeden önce bir miktar ısıtıldığı yüzeyler.
6. **Hava Isıtıcıları:** Yakma havasının duman gazları ile ısıtıldığı yüzeyler.
7. **Baca:** Duman gazlarını kazandan uzaklaştıran ve çekmeyi sağlayan elemandır.

Şekil 2.2’de bir buhar kazanının genel yapısı detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Buhar kazanının genel yapısı.

2.3 Neden Buhar Kullanılır?

- **Isı kayıpları azdır.**

Buhar ideal bir ısı taşıyıcısıdır. Küçük çaplı borular ile iletilmesi nedeniyle ısı kayıpları diğer sistemlerden daha azdır.

- **Geri kazanım ile enerji tasarrufu sağlanır.**

Gelişmiş ısı geri kazanma sistemleri ile kazan blöf ve flaş buharı dışarı atılmaz, kazan besleme tankına verilerek, kazan besı suyunun sıcaklığı yükseltilir. Böylece sistemin verimliliği en yüksek değere çıkar. Ayrıca, geri

kazanılan flaş buhar, düşük basınç ve düşük sıcaklıktaki ısıtma ihtiyacı için kullanılır.

- **Yatırım giderleri azdır.**

Buhar, aynı ısı kapasitesi için sıcak su ve ısı transfer yağı sistemlerinden daha küçük boru çapları gerektirir. Bunun sonucunda daha az yatırım, ucuz montaj gideri ve daha az yalıtım malzemesi kullanılır. Buhar sistemlerinde, sıcak su ve ısı transfer yağı sistemlerinde kullanılan sirkülasyon pompalarına gerek yoktur.

- **Buhar emniyetlidir.**

Buhar; yanmaz, alev almaz özelliği nedeniyle patlayıcı ortamlar için çok emniyetlidir. Etkili ve kaliteli sızdırmazlık ürünleri ile bütün ortamlarda emniyetle kullanılabilir. Buhar, steril bir akışkandır. Pişirme ve sterilizasyon proseslerinde direk olarak püskürtülebilir.

- **Buhar çevre dostudur.**

Enerjinin verimli olarak kullanılması ve çevre koruma açısından buhar, tartışmasız tek enerji kaynağıdır. Buhar, sadece temiz ve saf sudur ve daha iyi bir çevre dostu düşünülemez.

2.4 Yanma Türleri

Yakıtların oksijen ile tepkimeye girerek ısı ve diğer yanma ürünlerinin oluşmasına yanma denir. Havanın içindeki yanma için gerekli olan oksijen yakıt ile karışarak yanmayı gerçekleştirir. Bu hava miktarının gerekenden az olması, gerekenden çok olması ya da gerektiği kadar olması oluşan ısı miktarını ve diğer yanma ürünlerinin cins ve miktarlarını belirler. Bu nedenle yakıt-hava karışımındaki duruma göre yanmayı az hava ile yanma, fazla hava ile yanma ve tam yanma olarak isimlendiriyoruz.

a) Az hava ile yanma

Az hava ile yanmanın en belirgin özelliği yanma gazının çok koyu renkli ve isli olmasıdır. Ayrıca alev rengi de olması gerekenden daha koyu renktedir. Ayrıca baca gazı analizörü ile baca gazı çözülmesi yapıldığında fazla miktarda CO (Karbonmonoksit) görülür. Bu durumda ısı geçiş yüzeylerinde is ve kurum birikir ve ısı geçişi zorlaşır. Hem bu nedenle hem de yakılan yakıtın kimyasal enerjisinin tamamını ısıya çevrelemediğinden dolayı yakıt tüketimi artar. Ayrıca zehirli bir gaz

olan CO gazı, is ve kurum bacadan atıldığından dolayı çevre kirliliğine neden olur. Bu da bilindiği gibi hem işletme ekonomisini, hem ülke ekonomisini hem de yaşadığımız çevre için büyük kayıptır.

b) Fazla hava ile yanma

Fazla hava ile yanma durumunda alev rengi çok açık ve parlaktır. Baca gazı hemen hemen gözle görülmez. Bu durumda ocak sıcaklığı düşer. Baca gazı sıcaklığı artar. Böylece aynı miktardaki buharı elde etmek için daha fazla yakıt yakmak durumunda kalınır. Daha fazla yakıt yakıldığı için daha fazla baca gazı atılır. Dolayısıyla çevre de gerekenden daha fazla kirlenmiş olur. Yine hem işletme ekonomisi yönünden, hem ülke ekonomisi yönünden hem de çevre sağlığı yönünden olumsuz bir durum ortaya çıkmış olur. Dolayısıyla az hava ile yanma da fazla hava ile yanma da aynı şekilde zararlıdır.

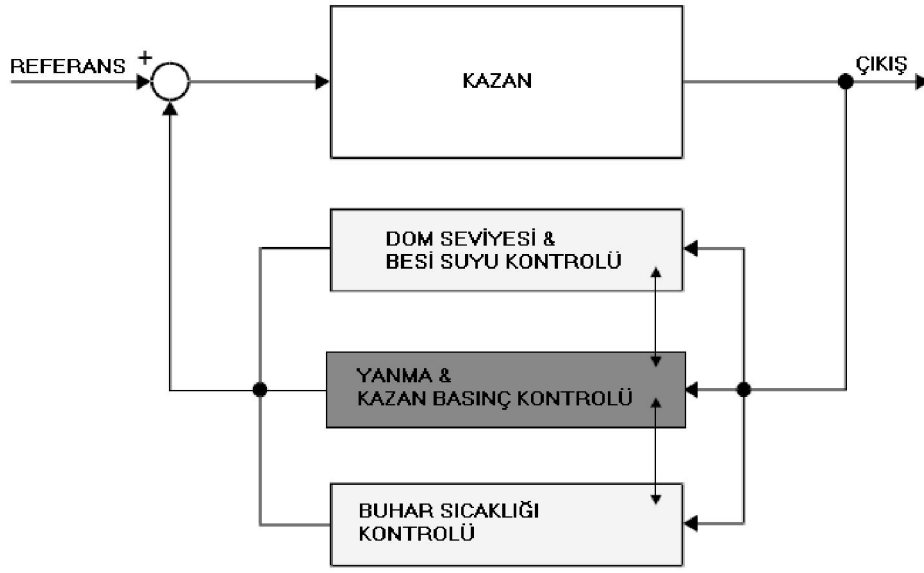
c) Tam yanma

Tam yanmada genellikle alev rengi katı ve sıvı yakıtlarda açık sarı - portakal renginde, gaz yakıtlarda ise mavidir. Yanma ürünlerinde ve geri kalan kısımlarda yanıcı madde bulunmaz ise yanma tam yanmadır. Baca gazı içinde CO bulunmamalıdır. Baca gazı içinde CO bulunması hem çevreye zarar verir, hem de yakıt miktarını arttırır. Ayrıca O₂ ölçümü ile de yanmanın fazla hava yönünde olup olmadığı araştırılmalıdır.

İdeal bir yanma da baca gazının karbondioksit ve azot gazından oluşması gerekir. Fakat genellikle yanma işlemi bir miktar fazla hava ile yapılır. Yakıtın içinde karbon miktarının artması alev renginin kırmızıya dönmesine, hidrojen miktarının artması ise yanma sonucu oluşan su miktarının (su buharı) artmasına neden olmaktadır. İyi bir yanma neticesinde baca gazı içinde % 12-13 CO₂ bulunmalı, CO miktarı ise mümkün olan en alt seviyeye indirilmelidir.

3. BUHAR KAZANI KONTROL YAPILARI

Buhar kazanları genel olarak dört ana işlevi yerine getirmek üzere tasarlanır. Bunlar dom seviyesi ve besî suyu kontrolü, istenen kazan yüküne göre yanma kontrolü, kazan iç basınç kontrolü ve buhar sıcaklık kontrolüdür. Aşağıdaki şemada (Şekil 3.1) bu kontrol yapıları sembolize edilmiştir.



Şekil 3.1 : Kazanda otomatik kontrolü yapılan değerler.

Bir yanma kontrol sisteminin temel görevi talep edilen yüke göre brülöre yakıt ve hava sağlamak ve bunun yanında yakıt-hava karışımını en verimli hale getirmek için optimize etmektir. Bu kontrol sisteminin tasarımı, konfigürasyonu ve çalıştırılması esnasında tesisin işletme güvenlik ve ekonomisini göz önünde bulundurmalıdır.

Güvenlik ve ekonomik kriterler göz önüne alındığında optimum yakıt-hava karışımı elde etmek oldukça önemlidir. Yanma için gereken hava yetersiz olduğunda yanma reaksiyonu tam olarak gerçekleşmez ve reaksiyon sonucunda zehirli gazlar açığa çıkar. Tam gerçekleşmemiş bir yanma reaksiyonu sonucunda karbonmonoksit gazı oluşur ve bu gaz herhangi bir nedenle tesise yayılırsa ölümcül sonuçlar doğurabilmektedir. Bazı durumlarda, egzoz gazı içerisinde yanmamış yakıt kalabilir. Bu durum da potansiyel olarak oldukça büyük tehlike arz etmektedir. Çünkü, bu tür

yanmamış yakıt barındıran egzoz gazları temiz hava ile karışması durumunda kendiliğinden alev alabilir. Ekonomik açıdan bakıldığında tam gerçekleşmeyen yanma kazan verimini düşürür ve normalden daha yüksek yakıt maliyetlerinin doğmasına neden olur.

Benzer şekilde hava miktarının yakıt oranına göre daha fazla olması durumunda da tam yanma gerçekleşmez ve fazla havayı ısıtmak için ekstradan enerji harcanmış olur. Buna rağmen yanma kontrol sistemlerinde tam yanmanın gerçekleşmesi ve karbonmonoksit oluşumunun minimuma indirilmesi amacıyla hava miktarı gerekenden bir miktar fazla tutulur.

3.1 Buhar Kazanı Kontrol Konsepti

Bir buhar kazanının otomasyon sistemi ile kontrol edilmesiyle aşağıdaki gibi önemli faydaları görülür:

- **Performans artışı**
Modern kontrol sistemleri sayesinde kayıplar azaltılarak daha yüksek verimli bir üretim sağlanır.
- **Atık gaz düşük emisyon değerleri**
Çevresel yasal düzenlemeler hava kalitesini artırmakta faydalı olmalarına rağmen, kazan işletme maliyetlerini oldukça yükseltebilmektedir. Kazan kontrol sistemi sayesinde verimli işletme ve düşük emisyon değerlerine sahip bir denge noktası bulunabilir.
- **Yüksek seviyede emniyetli bir üretim**
Otomasyon sisteminin beraberinde getirmiş olduğu güvenlik önlemleri sayesinde daha emniyetli bir üretim gerçekleştirilir. Bunun yanında, alarmlar, diyagnostik bilgileri ve saha durum bilgileri daha kolay izlenebilir hale gelir ve böylece üretim takibi kolaylaşır.
- **Düşük kazan işletme maliyetleri**
Modern kontrol sistemleri sayesinde optimum yanma oranı ayarlanarak yakıt tüketimi azaltılır. Mühendislik, kurulum ve devreye alma maliyetleri düşer. Eski ve güvenilir olmayan ekipmanlarla uğraşılmadığından bakım maliyetleri azalır. Yük değişimlerine karşı otomatik olarak adaptasyon sağlanacağından insan gücü gereksinimi azalır.

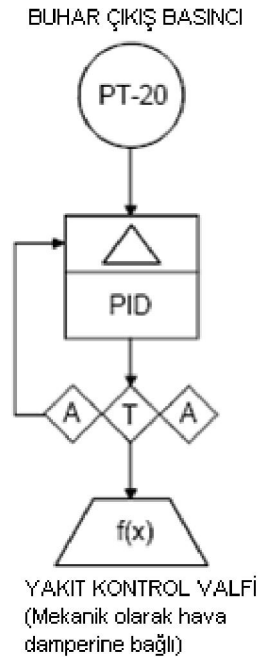
3.2 Yanma Kontrolü ve Teknikleri

Yanma kontrol sisteminin amacı verimli ve güvenli bir yanma operasyonu için yakıt-hava karışımının en uygun şekilde ayarlanarak brülöre verilmesidir. Netice olarak bir yandan optimum yakıt-hava oranının sağlanması hedeflenirken diğer yandan yetersiz hava akışı nedeniyle yanma sonucu zehirli gazların ortaya çıkması engellenmeye çalışılır. Bu amaca yönelik bir takım yanma kontrol teknikleri geliştirilmiştir. Bunlar:

- Tek nokta pozisyonlama kontrolü
- Paralel pozisyonlama kontrolü
- Tam ölçümlü, çapraz limitli kontrol
- O₂ düzeltme kontrolü

3.2.1 Tek nokta pozisyonlama kontrolü

Buhar kazanlarına uygulanabilecek en basit yakma kontrol tekniğidir. Bu tür bir kontrol daha çok küçük güçlü kazanlara uygulanır. Tek nokta pozisyonlama kontrolünde yakıt kontrol vanası ile hava damperi birlikte hareket edecek şekilde mekanik olarak birbirine bağlanmıştır. Bu bağlantı elemanı belli bir orana göre ayarlanır. Bu yapı “Jackshaft Kontrolü” olarak da isimlendirilir. Şekil 3.2’deki şema bu tekniğe ait geribeslemeli kontrol yapısını göstermektedir.



Şekil 3.2 : Tek nokta pozisyonlama kontrol diyagramı.

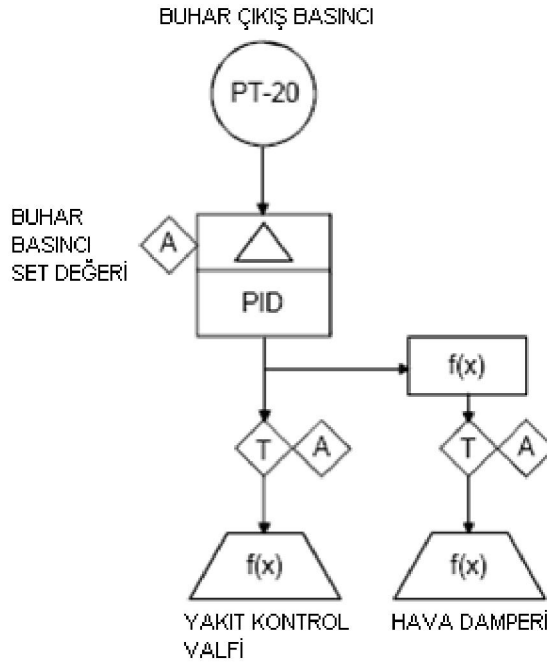
Tek nokta pozisyonlama kontrolünde yakıt kontrol vanası ve hava damperinin pozisyonlarının iyi ayarlanması gerekir çünkü bu iki ekipman farklı akış karakteristiklerine sahiptir ve bu nedenle verimli bir operasyon için bu akış karakteristikleri doğrusallaştırılmalıdır.. Genel uygulamada öncelikle hava akışı doğrusallaştırılır, daha sonra bu hava miktarını karşılayacak şekilde yakıt vanası doğrusallaştırılır. Ayarlama düzgün yapıldığında, yakıt ve hava akışı yüzdesel olarak tek bir kontrol sinyali ile kontrol edilmiş olur.

Tek nokta pozisyonlama kontrol tekniğinde kazan tipine göre buhar basıncı veya su çıkış sıcaklığı ölçülür ve geri besleme değeri olarak kullanılır. Hem yakıt kontrol vanası hem de hava damperi bu değere göre hareket eder.

3.2.2 Paralel pozisyonlama kontrolü

Yakma işleminin kontrol edilmesinde paralel pozisyonlama da tek nokta pozisyonlama kontrolüne benzer bir tekniğe sahiptir. Aynı şekilde kazan tipine göre tek bir ölçüm değeri alınır (kazan basıncı yada su çıkış sıcaklığı) ve geri-besleme sinyali olarak kullanılır. Fakat bu kontrol yapısında iki kontrol çıkışı vardır. Birisi yakıt kontrol vanası için, diğeri ise hava damperi içindir. Hem yakıt debisi hem de hava debisi doğrusal olmadığından yakıt debisi mekanik bir kam vasıtasıyla doğrusallaştırılır. Hava debisi doğrusallaştırması ise bir elektronik kontrolör ile yapılır.

Paralel pozisyonlama kontrolü tüm yük değerlerinde optimum yakıt-hava karışım oranını ayarlar. Şekil 3.3'te bu yapıya ait SAMA diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.3 : Paralel pozisyonlama kontrol diyagramı.

Diyagramdan da görüldüğü gibi, yapıda iki kontrol çıkışı olup bu çıkışlar yakıt kontrol vanası ve hava damperine gönderilir. Tek nokta pozisyonlama kontrolünde yer alan mekanik bağlantı bu teknikte yazılımsal olarak sağlanmıştır ve kontrolör içerisindeki bir fonksiyonla karakterize edilir.

3.2.3 Tam-ölçümlü, çapraz-limitli kontrol

Bu kontrol tekniği genel uygulamada yaygın olarak kullanılır ve kazan sistemlerinde neredeyse standartlaşmış durumdadır. Tam ölçümlü kontrolde yakıt hava karışım oranının daha hassas ayarlanabilmesi amacıyla hem yakıt debisi hem de hava debisi ölçülerek kontrol yapısına dahil edilir. Bu yapı sayesinde:

- ✓ Yakıt ve hava debisindeki dalgalanmalar kompanze edilir.
- ✓ Emniyet koşulları göz önünde bulundurularak tehlikeli durumlar önlenir.

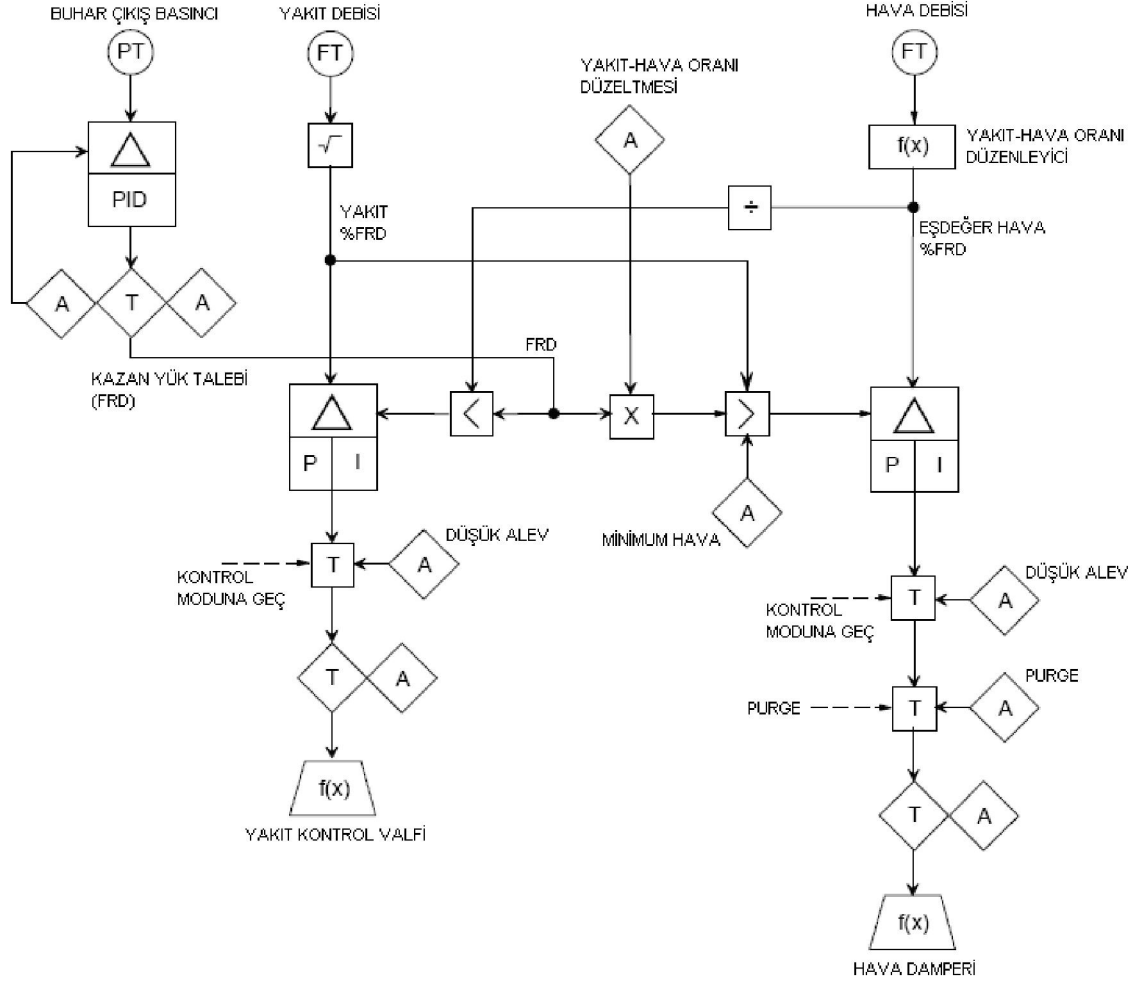
Tam-ölçümlü kontrol sisteminde yakıt-hava dengesinin kontrolünde buhar basıncı, yakıt debisi ve hava debisi olmak üzere üç değer ölçülerek kontrol yapısına girer. Tam-ölçümlü kontrol optimum yanma oranının elde edilmesinde yakıt ve hava debilerinin birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilmesini sağlar. Bu tür bir kontrol sistemi kazan verimliliğini artırmaktadır.

Çapraz-limitli kontrol ise tam-ölçümlü kontrol sistemine yanma prosesinde dikkat edilmesi gereken güvenlik şartlarının entegre edilmiş halidir. Herhangi bir mekanik arıza durumunda (örn: yakıt kontrol vanası sıkışması, hava damperi kilitlenmesi vs.) yüksek oranda yakıt barındıran bir yanma karışımı meydana gelebilir. Çapraz-limitli kontrol yapısı hava debisinin yakıt debisine göre düşük kalmasını ve yakıt debisinin hava debisinden yüksek (yüzdesel olarak) olmasını önler [6].

Tam-ölçümlü, çapraz-limitli kontrol üç proses değişkeni ölçümüne ihtiyaç duyan bir kaskad kontrol yöntemidir. Bu değişkenlerden buhar basıncı ana kontrol bloğu için, yakıt debisi ve hava debisi de ikincil kontrol blokları içindir.

Buhar basıncı bir basınç ölçüm cihazı ile ölçülür. Yakıt debisi ölçümü ise yakıtın tipine göre farklılık gösterir. Gaz yakıtların (örn: doğalgaz) debisi genellikle fark basıncı mantığına göre çalışan debimetrelerle ölçülür. Ölçüm fark basıncına göre yapıldığından hacimsel debi değerinin elde edilebilmesi için okunan fark basıncı değeri karekök alma işlemine tabi tutulur. (Hacimsel debi, ölçülen fark basıncının karekökü ile orantılıdır) Sıvı yakıtların (örn: fuel oil) debi ölçümü ise coriolis tipi debimetrelerle ölçülür ve bu tip debimetreler kütleli debi ölçtüğü için okunan değer sıcaklık yada basınçtan etkilenmez.

Tam-ölçümlü, çapraz limitli kontrol tipi buhar kazanları için standart kontrol tekniğidir. Şekil 3.4'te gösterilen SAMA diyagramı bu kontrol yönteminin detaylarını göstermektedir.



Şekil 3.4 : Tam-ölçümlü, çapraz-limitli kontrol diyagramı.

Diyagramdan da görülebileceği gibi tam ölçümlü kontrol, kazan yük kontrolünün birincil kontrol bloğu, yakıt ve hava debi kontrollerinin ikincil kontrol bloğu olduğu bir kaskad kontrol yapısıdır.

3.2.3.1 Kazan yük kontrol bloğu

Kazan yük kontrol bloğu istenen buhar talebini karşılamak ve set edilen buhar basıncını oluşturmak için kontrol sinyalini oluşturur. Bu kontrol bloğu geri-beslemeli bir PID kontrol bloğudur. Proses değeri olarak dom buhar basıncını alır ve set değeri operatör tarafından manuel olarak girilir. PID kontrol bloğunda hesaplama sonucu oluşturulan kontrol sinyali kazan yük talebi olup “firing rate demand (FRD)” olarak adlandırılır ve diyagramda bu şekilde gösterilmektedir. FRD sinyali yakıt debi kontrol ve hava debi kontrol blokları için kaskad set değeri olmaktadır.

Fiziksel olarak FRD sinyali talep edilen anlık güç (MW) miktarını temsil eder. Tek yakıtlı uygulamalarda genellikle FRD sinyali kazanın tam yüküne göre yada yakıt debisine göre yüzdesel (0-100%) olarak tanımlanır.

3.2.3.2 Yakıt debisi kontrol bloğu

Yakıt debi kontrol bloğu yük kontrol bloğunun oluşturduğu FRD sinyalini set değeri olarak alır. Yakıt besleme basıncındaki dalgalanmalar yakıt debisinin etkilenmesine neden olur ve yakıt debi kontrol bloğu bu dalgalanmaları kompanze ederek debinin istenen değer civarında kalmasını sağlar. Kontrol bloğu, proses değeri olarak yakıt debisi ölçümünü alır ve bu değer PID bloğuna girerken %FRD olarak tanımlanır. Fiziksel anlamda, %FRD anlık kütleli yakıt debisinin maksimum yakıt debisine oranıdır.

Kütleli debi ölçümü yapan enstrümanlar genellikle doğrusal bir debi çıkış değeri verirler. Fakat gazların debisi fark basıncıyla ölçüldüğünden, yakıt debisinin doğrusallaştırılması için cihazdan okunan değer karakök alma işlemine tabi tutulur.

3.2.3.3 Yakma havası debisi kontrol bloğu

Yakma havası debi kontrol bloğu, kazan yük kontrol bloğundan elde edilen FRD set değeri için gereken yeterli hava miktarını kontrol eder. Kazan iç basıncındaki dalgalanmalar yakma hava debisini etkilenmesine neden olur ve hava debi kontrol bloğu bu dalgalanmaları kompanze ederek hava debisinin yakma için yeterli düzeyde olmasını sağlar. Kontrol bloğu, proses değeri olarak hava debisi ölçümünü alır ve bu değer PID bloğuna girerken %FRD olarak tanımlanır.

SAMA diyagramında görülen fonksiyon bloğu hava debi ölçümünü alır ve %FRD oranına çevirir. Fiziksel olarak, %FRD değeri anlık kütleli hava debisinin maksimum yakıt debisine oranıdır. Hava debi kontrol bloğunda %FRD değeri kütleli yakıt debisi için gereken hava miktarını temsil eder. Devreye alma sırasında, kazan farklı yük değerlerinde çalıştırılarak optimum yanma için gereken yakıt ve hava miktarları kayıt edilir. Optimum yanmanın tespit edilebilmesi için yanma sonucu oluşan atık gazların miktarı gözlemlenir.

Karakterizasyon fonksiyon bloğu optimum yakıt-hava oranını tanımlar. Mevsimsel değişiklikler havadaki nemi ve hava yoğunluğunu etkiler ve bu durum da birim miktardaki yakıtın yanması için gereken hava miktarını etkilemektedir. Hava debi

ölçümü hacimsel olarak yapıldığından tanımlanan yakıt-hava oranlarının düzenlenmesi gerekir. SAMA diyagramında bu düzenleme manuel olarak yapılmıştır (Air/Fuel Ratio Trim). Daha ileri bir çalışma tekniği ile, yakıt-hava oranının optimum şekilde ayarlanması atık gaz içerisindeki O_2 miktarı kontrol edilerek otomatik olarak yapılabilir. Bu konu daha ileriki bölümlerde incelenecektir.

Yakıt debi kontrol bloğu ve yakma havası debi kontrol bloğu geri-beslemeli PID kontrol bloğudur. Kazan yük kontrol bloğundan elde edilen %FRD değeri kaskad set değeri olarak alınır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta hem set değeri hem de proses değeri aynı mühendislik birimleri cinsinden ifade edilmiştir. Kontrol işareti 0-100% olarak yakıt ve hava debi kontrol valfine gönderilir.

3.2.3.4 Çapraz-limitli kontrol

Çapraz limitli kontrol, yakma operasyonu esnasında istenen yük miktarına göre yakıt debisinin gerekli hava debisinden yüksek olmamasını garanti eder. Yakıt debisi de hava debisi de %FRD cinsinden tanımlandığı için karşılaştırma işlemi basite indirgenmiştir. Yakıt debisi kontrol bloğunda, kazan yük kontrolünden gelen FRD set değeri o anki anlık %FRD cinsinden hava debisi ile karşılaştırılır ve bir “minimum-seçim” fonksiyon bloğu ile küçük olan değer seçilir. Bu işlem yakıt talebinin o anki mevcut hava miktarına uygun değerden fazla olmasını önler.

Yakma havası debi kontrol bloğunda kazan yük kontrolünden gelen FRD set değeri o anki anlık %FRD cinsinden yakıt debisi ile karşılaştırılır ve bir “maksimum-seçim” fonksiyon bloğu ile büyük olan değer seçilir. Bu işlem hava talebinin o anki mevcut yakıt miktarına uygun değerden az olmasının önüne geçer. Emniyet amacıyla kazanda her zaman minimum düzeyde hava akışı olması gerekmektedir. Bunun için seçim fonksiyon bloğuna bu değer manuel olarak girilir.

Çapraz-limitli kontrol tekniği sayesinde kazan yükü için set değeri artırıldığında hava debisi yakıt debisine klavuzluk görevi yapar ve yakıt debisi artmadan önce hava debisi artar. Hava debisinin artmaya başlamasıyla birlikte artış oranına bağlı olarak (hava debisini geçmemek şartıyla) yakıt debisi de artmaya başlayacaktır. Çünkü yakıt debi kontrol bloğunun set değerindeki minimum-seçim fonksiyonu yakıttan önce hava debisinin artmasını gerektirir. Benzer şekilde, kazan yükü için set değeri azaltıldığında yakıt debisi hava debisinden önce azalacaktır. Yakıt debisinin azalmaya başlamasıyla birlikte azalma oranına bağlı olarak (yakıt debisinin altına

düşmemek şartıyla) hava debisi de azalmaya başlayacaktır. Çünkü hava debi kontrol bloğunun set değerindeki maksimum-seçim fonksiyonu havadan önce yakıt debisinin azalmasını sağlar.

Çapraz-limitli kontrol sayesinde her durumda, yakma için gereken hava miktarının yakıt miktarının gerektirdiği orandan az olması durumunun önüne geçilmiş olur ve böylece emniyetli ve verimli bir yanma prosesi gerçekleştirilir [6].

3.2.4 O₂ düzenleme kontrolü

Otomatik yakıt-hava oranı ayarlanmasında genellikle yanma sonucu oluşan atık gaz içerisindeki fazla oksijen (O₂) miktarı baz alınır. Yakıt ve hava kimyasal olarak doğru (stokiometrik) oranlarda karışırsa teorik olarak tepkime sonucu karbondioksit (CO₂) ve su buharı (H₂O) açığa çıkar. İdeal şartlarda yakma havası ile sağlanan tüm oksijen tepkime sonucu harcanmış olması gerekir. Yanma reaksiyonunun doğası gereği, yakıtın tamamıyla yakılabilmesi için teorik olarak gereken miktardan biraz daha fazla havaya ihtiyaç duyulur. Bu sayede tam yanma reaksiyonu gerçekleştirilmiş olur ve insan sağlığı için tehlikeli olan karbonmonoksit (CO) oluşumu minimize edilmiş olur.

Sonuç olarak, gerekenden biraz fazla tutulan hava miktarı nedeniyle atık gaz içerisinde bir miktar oksijen bulunur. Atık gaz içerisinde oksijen miktarı bir oksijen analizörü ile ölçümlenir ve O₂ düzenleme kontrol bloğuna proses değişkeni olarak girer. O₂ düzenleme kontrol bloğu operatör tarafından set edilen O₂ miktarına göre optimum yanma reaksiyonunu sağlamak için yakıt-hava karışım oranını ayarlar. Şekil 3.5'te yer alan diyagramda O₂ düzenleme kontrol yapısı gösterilmektedir.

gerçekleşmesi hedeflenmektedir. Brülör sağlıklı bir şekilde ateşlendikten sonra yakıt ve hava debi kontrol vanaları istenen kazan yük değerine göre gereken yakıt ve hava miktarını ayarlamak üzere serbest bırakılır.

Sonuç olarak tam-ölçümlü çapraz-limitli kontrol tekniği kullanılarak yakıt ve hava debisindeki dalgalanmalar kompanze edilir ve böylece daha düzenli bir yanma sağlanarak kazan verimi artırılır. Buna ek olarak, yakıt-hava oranının ayarlanmasında emniyet şartları sürekli kontrol altında tutularak güvenli bir işletme sağlanmış olur.

3.3 Kazan Basınç Kontrolü

Tipik bir buhar kazanı iki ana sistemden oluşur. Bir tanesi kazan üzerindeki buhar domu etrafında kurulu olan buhar-su sistemidir. Diğeri ise kazan içerisindeki yanma prosesiyle ilgili olan yakıt-hava-egzoz gazı sistemidir. Yakıt-hava-egzoz gazı sisteminde, yakıt ve hava karıştırılarak kazan içerisinde yakılır ve yanma sonucu oluşan atık gazlar emilerek bacaya gönderilir ve atmosfere bırakılır. Bu gaz emişini sağlayan kuvvet kazan içerisindeki gazların basıncı ile atmosfer arasındaki basınç farkından kaynaklanır. Kazan iç basıncı genel olarak atmosfer basıncına bir miktar düşük tutulur. Böylece yanma sonucu oluşan atık gazların ve külün kazanda bulunan delik ve açıklıklardan dışarıya çıkıp saha personeline zarar vermesi önlenmiş olur. Aynı zamanda, en iyi verimi elde edebilmek amacıyla kazan iç basıncı atmosfer basıncına mümkün olduğunca yakın tutulur ki, bahsi geçen delik ve açıklıklardan kazan içerisine soğuk hava girişi minimuma indirilir ve bu sayede kazan verimi düşmemiş olur.

Kazanlar, yanma sonucu açığa çıkan atık gazların dışarı atılma şekline göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırma aşağıdaki gibidir.

- Doğal Akış
- Üfleli Akış
- Vakumlu Akış
- Dengelenmiş Akış

3.3.1 Doğal akış

Doğal akış temel olarak baca etkisinden faydalanır. Yanma sonucu oluşan gazlar atmosfere göre daha sıcak ve yoğunluğu daha düşüktür. Yoğunluğu düşük ve

sıcaklığı yüksek olan gazın fizik kurallarına göre kendiliğinden yükselmesi nedeniyle sistemde doğal bir akış meydana gelmektedir. Bu durum, atık gazların doğal etki ile bacaya sürüklenmesine ve yakma havasının kazan içine girmesine neden olur. Doğal akışlı kazanlar mekanik yönlendirmeli (vakum veya üfleme) kazanlara göre daha az verime sahiptir. Bu tür bir iç basınç kontrol sistemine sahip bir kazan atmosfer basıncının altında işletilir.

3.3.2 Üflemleri akış

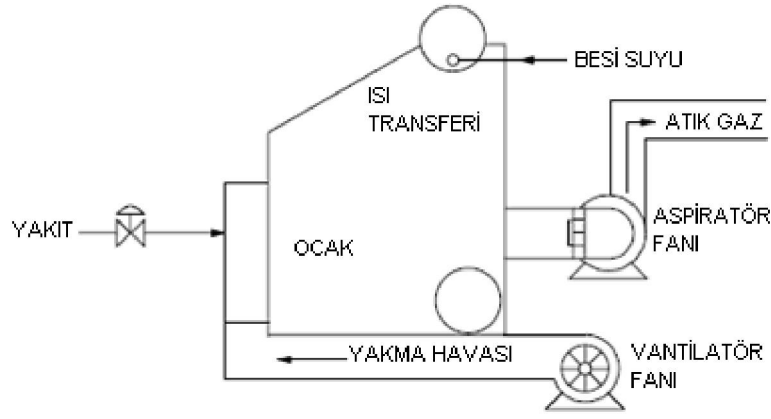
Üflemleri hava akış sistemine sahip bir kazanda yakma havası bir vantilatör fanı vasıtasıyla kazan içerisine üflenir. Akış kontrolü fanın hızıyla yapılabildiği gibi, ana hava damperlerinin pozisyonlaması ile de gerçekleştirilebilir. Bu tür bir kazan sistemi, genelde atmosfer basıncından az miktarda yüksek basınçta işletilir. Üflemleri hava akışı sistemine sahip kazanlar atık gazların kazandan dışarıya kaçmasını önlemek amacıyla sızdırmazlık şartlarına uygun olmalıdır.

3.3.3 Vakumlu akış

Vakumlu hava akış sistemine sahip bir kazanda yakma havası bir aspiratör fanı vasıtasıyla kazan içerisine emilir ve aynı şekilde yanma sonucu oluşan atık gazlar bu emiş sayesinde bacaya yönlendirilerek dışarıya atılır. Akış kontrolü fanın hızıyla yapılabildiği gibi, ana hava damperlerinin pozisyonlaması ile de gerçekleştirilebilir. Bu tür bir kazan sistemi, genelde atmosfer basıncından az miktarda düşük basınçta işletilir. Vakumlu hava akışı sistemine sahip kazanlarda genellikle katı yakıtlar tercih edilir çünkü kazan içi sızdırmaz özellikte değildir.

3.3.4 Dengelenmiş akış

Dengelenmiş akış sistemine sahip kazanlarda vantilatör ve aspiratör fanları bir arada kullanılır. Bu tür sistemlerde vantilatör ve aspiratörler yakma havasının kazan içine alınması ve atık gazların kazan içinden atmosfere atılması amacıyla birlikte hareket ederler. Şekil 3.6'da dengeli akış sistemine sahip tipik bir kazan modeli gösterilmektedir.



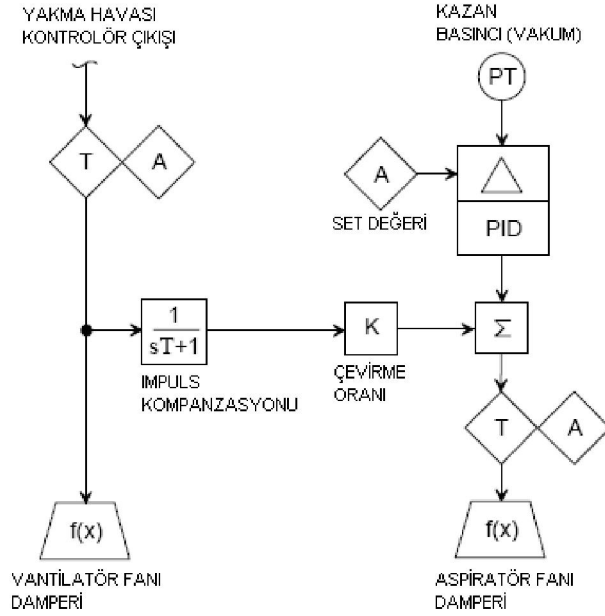
Şekil 3.6 : Dengelenmiş akış sistemine sahip kazan modeli.

Çalışma yöntemi olarak, vantilatörler yakma havasının debisini ayarlar; aspiratörler ise kazan iç basıncını kontrol ederler. Dengelenmiş hava akışı sistemine sahip kazanlar genelde atmosfer basıncından çok az miktarda düşük basınçta işletilir.

Kazan basınç kontrolü tipik olarak dengeli akış sistemine sahip kazanlarda uygulanır. Çoğunlukla atık gazların kazan dışına kaçmasını önlemek amacıyla kazan basıncı atmosfer basıncının çok az altında tutulur. Buna rağmen, delik ve açıklıklardan kazan içerisine dışarıdan soğuk hava girişi olacağından verimliliği düşürmemek amacıyla bu basıncın çok düşük olmasından kaçınılır.

Kazan iç basıncı tipik olarak fark basıncı prensibine göre çalışan bir basınç ölçüm cihazı ile ölçülür. Sinyal filtreleme özelliğine sahip ölçüm cihazları tercih edilerek ölçümde oluşan gürültülerin önüne geçilir ve daha dengeli bir ölçüm sağlanır.

Kazan iç basıncı dengeli akış sisteminde hem vantilatörler hem de aspiratörlerin çalışmasından etkilenir. Vantilatörler yakma kontrol sistemi tarafından kontrol edilir ve amaç istenen kazan yükü için gerekli hava miktarının sağlanmasıdır. Aspiratör fanları ise kazan basınç kontrol blokları tarafından kontrol edilir ve amaç atık gazların sağlıklı bir şekilde atmosfere atılması esnasında kazan iç basıncını sabit tutmaktır. Kazan basınç kontrolü ileri-beslemeli kontrol yapısına sahiptir ve bu yapıya ait SAMA diyagramı Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : İleri-beslemeli kazan basınç kontrol diyagramı.

Yakma havasının debisi talep edilen kazan yükü ile dalgalanmalara uğrayacağından kazan iç basıncında büyük oranda bozulmalar olur. Standard geribeslemeli kontrol stratejisi kullanılarak iç basıncın dengede tutulması oldukça zor bir işlemdir. İleribeslemeli kontrol yapısı sayesinde yakma havası debisinde meydana gelen değişiklikler kazan basıncını etkilemeden önce tespit edilir ve standard yapıya göre daha önce harekete geçilerek daha dengeli bir kontrol sağlanır.

Hava sıkıştırılabilir özelliğe sahip olması nedeniyle vantilatör nedeniyle ortaya çıkan bozulmalar kazan basıncında hemen etkisini göstermeyecektir. Bu nedenle vantilatör kontrol bloğu ile aspiratör kontrol bloğu arasına birinci dereceden bir impuls kompanzasyon bloğu dahil edilmiştir. Bu sayede vantilatör tarafında meydana gelen bozulmalar aspiratör tarafında daha çabuk tespit edilerek tepki süresi azaltılır [7].

Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise, vantilatörler ile aspiratörler arası ilişkinin doğru bir şekilde kurulmasıdır. Genellikle aspiratörlerin gücü vantilatörlere göre daha yüksektir çünkü yanma sonucunda oluşan atık gazlar ile yakma havası arasında bariz bir şekilde hacimsel değişiklik meydana gelir. Bu hacimsel değişiklik çoğu zaman sıcaklığın yükselmesinden kaynaklanır. Oluşan bu farklılığın kompanze edilmesi amacıyla kontrol yapısında vantilatör ve aspiratörler arası bir çevirme oranı eklenmiştir. Bu oran her bir fanın akış oranının damper pozisyonu ile lineer olarak değiştiği varsayılarak sabit bir değer olarak kabul edilmiştir.

Pratikte kazan içi sıcaklığı istenen yük miktarına bağlı olarak değişir. Aynı zamanda, hava damperleri ile yapılan regülasyonda hava akışı lineer davranış göstermez. Fakat teoride hesaba katılmayan bu sapmalar PID kontrol bloğu tarafından kompanze edilir.

Gerçekleştirilen proje iki adet vantilatör ve iki adet aspiratörü olan kazanlar üzerinde yapılmıştır. Vantilatör ve aspiratörler ikili gruplar halinde çalıştırılır ve kazanın sağında ve solunda yer alırlar. Her bir vantilatör ve aspiratör çift hızlı fan motorlarına sahiptir. Kazan ilk devreye alınırken bu fanlar öncelikle 1. hızda çalıştırılır. Daha sonra kazan yükü arttıkça yakma için gereken hava miktarı artacağından vantilatör ve aspiratörler otomatik olarak 2. hıza geçerler. Basınç kontrolü her bir vantilatörün önünde yer alan hava damperleri vasıtasıyla gerçekleştirilir. Vantilatörlerin önündeki hava damperleri yakma için gereken hava miktarını düzenler; aspiratörlerin önündeki damperler ise kazan iç basıncının sabit bir değerde tutulmasında rol oynar.

3.4 Dom Seviye ve Besi Suyu Kontrolü

Buhar kazanlarında, en önemli noktaların başında su seviyesi ve besleme kontrolü gelir. Buhar kazanı içerisindeki su seviyesi belirli limit değerler (maksimum-minimum) arasında tutulmalıdır. Su seviyesi maksimum limit değerini aştığında kazan verimi düşer ve kazan boğulması meydana gelebilir. Aynı şekilde su seviyesinin minimum limit değerinin altına düşmesi ile kazan susuz kalır ve aşırı ısınmadan dolayı boruların mukavemeti azalır. Kızgın olan kazana aniden soğuk besleme suyu verilirse kazan patlar; büyük hasarlar oluşabilir. Bu nedenlerden dolayı kazan içindeki su seviyesi sürekli kontrol edilmelidir. Seviye kontrolü temel olarak şu şekilde yapılır:

- Limit (ON/OFF) kontrol
- Sürekli ölçümleme ile kontrol
 - Tek elemanlı kontrol
 - İki elemanlı kontrol
 - Üç elemanlı kontrol

Kazan dom seviyesi kontrolünün iki temel faydası vardır. Birincisi buhar kalitesi maksimize edilir, ikincisi ise kazanın emniyetli bir şekilde işletilebilmesi için uygun seviyenin uygun değerde tutulmasıdır.

Seviye kontrolü yapılarak kazana giren su miktarı ile kazandan çıkan buhar miktarı arasında kütle dengesi sağlanır. Denge noktasında, sadece giren su miktarı ile çıkan buhar miktarı dengelenerek kazan seviyesi sabit tutulur. Aynı zamanda, kütle dengesiyle birlikte enerji dengesi de sağlanmalıdır ki; böylece buhar kolektörünün ihtiyacı olan oranda enerji transfer edilir. Bu enerji dengesi sağlanmazsa oluşacak basınç değişimlerinden ya kazan ya da buhar kolektörü zarar görebilir. Örneğin, kolektörden buhar talebi azaldığında bu durum dom basıncının yükselmesine yol açar ve kazan suyunun (buhar kabarcıklarının) hacimsel olarak büzülmesine neden olur. Bu nedenle dom seviyesinde kısa bir süreliğine azalma meydana gelir. Bu olaya büzülme etkisi (shrink effect) denir. Ayrıca, buhar kolektörüne iletilen fazla buhar türbinin durumuna göre kolektör basıncını artırıp hasara yol açabilir.

Diğer yandan, kazandan kolektöre fazla buhar verildiğinde (buhar talebi arttığında) bu durum dom basıncının düşmesine yol açar ve kazan suyunun (buhar kabarcıklarının) hacimsel olarak genişlemesine neden olur. Bu nedenle dom seviyesinde kısa bir süreliğine yükselme meydana gelir. Bu olaya şişme etkisi (swell effect) denir [8].

Aynı zamanda, buhar kolektörüne iletilen yetersiz buhar türbinin talep durumuna göre basınç düşmesine neden olabilir. Bu da üretilen elektriğin kalitesini etkiler. Sonuç olarak verimli bir kazan-türbin işletimi için kütle ve enerji dengesinin kontrol altında tutulması kaçınılmazdır.

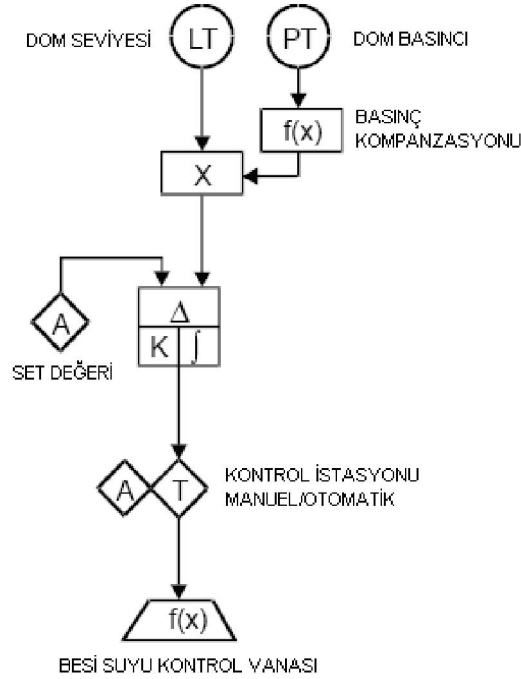
Dom seviyesi, buhar akışı ve besı suyu akışı ölçümleri genellikle her biri üç farklı noktadan ölçüm alınarak hesaplanır. Bu üç ölçüm enstrümanından en doğru kabul edileni PID için feedback bilgisi olarak seçilebildiği gibi; üçünün ortalaması da kullanılabilir. Buradaki esneklik seviye bilgisini en doğru biçimde saptamak ve ölçüm tutarsızlıklarını ortadan kaldırarak kazan güvenliğini sağlamaktır.

3.4.1 Tek elemanlı kontrol

Tek elemanlı kontrol en basit dom seviye kontrol yöntemidir. Bu yöntemde dom seviyesi ölçümü alınarak kontrol bloğuna girilir ve set edilen değere göre kontrol sinyali oluşturularak besı suyu kontrol vanasına gönderilir. Bu yapı hem ON/OFF hem de analog kontrollü yöntemde kullanılır.

Tek elemanlı seviye kontrol stratejisi genellikle küçük çaplı ve durağan yük talebi olan kazanlarda tercih edilir. Bunun nedeni şişme ve büzülme etkilerinin yanlış

yönde kontrol işareti oluşmasına neden olmasıdır. Bu durum da dom seviyesinin aşırı yükselmesine yada alçalmasına neden olur. Şekil 3.8’de kontrol yapısı görülebilir.



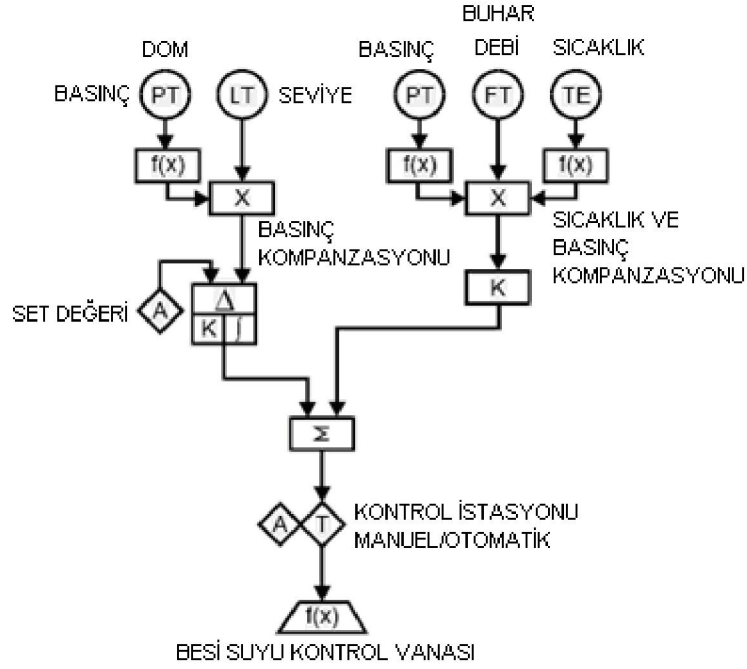
Şekil 3.8 : Tek elemanlı dom seviye kontrol diyagramı [9].

Sistemde buhar talebi arttığında başlangıçta dom basıncı düşer. Bu durumda buhar kabarcıkları genişler ve dom seviyesinde yapay bir yükselme meydana gelir. Aslında buhar talebinin artmasıyla besi suyu debisinin artması gerekirken seviye yükseldiği için PID kontrol bloğu besi suyu kontrol vanasına kısma yönünde kontrol işareti gönderecektir. Önceki durumun tersine, buhar talebinde düşüş olduğunda ilk etapta dom basıncında yükselme olur. Böylece buhar kabarcıkları küçülür ve dom seviyesinde yapay bir azalma meydana gelmiş olur. Aslında buhar talebinin azalmasıyla besi suyu debisinin düşmesi gerekirken seviye azaldığı için PID kontrol bloğu besi suyu kontrol vanasına açma yönünde kontrol işareti gönderir. Her iki durumda da PID bloğu gerçek değişimi kestiremediğinden hatalı kontrol yapar ve bir süre sonra bu hatalı kontrolün etkisi ortaya çıkarak dom seviyesinde aşırı dalgalanmalara neden olur.

3.4.2 İki elemanlı kontrol

İki elemanlı seviye kontrol tekniği değişken yüklü kazanlar için oldukça uygun bir tekniktir ve her büyüklükteki kazan için uygulanabilir. Sistem proses değeri olarak dom seviye ölçümünü ve besi suyu ile kütle dengesini sağlamak amacıyla buhar

debisi ölçümünü kullanır. Şekil 3.9’da iki elemanlı dom seviye kontrol yapısı görülmektedir.



Şekil 3.9 : İki elemanlı dom seviye kontrol diyagramı [9].

Bu kontrol yapısında dom seviyesi ölçümü proses değeri olarak PID kontrol bloğuna girer ve set değerine göre kontrolör çıkış sinyali üretir. Daha sonra bu kontrol sinyali ile buhar debisi bir toplama elemanına gönderilerek toplanır. Toplama bloğunun çıkışı besi suyu kontrol vanası için kontrol işareti olarak kullanılır.

Sistemde buhar debisi oldukça dinamik olduğundan, bu kontrol stratejisi sayesinde yük talebindeki artış yada azalma henüz dom seviyesinde değişiklik olmadan algılanacaktır. Bu teknik daha sonra kontrolör çıkış sinyalini buhar debisindeki değişimine ekleyerek yada çıkararak besi suyu kontrol vanasının doğru yönde hareket etmesini sağlar. Böylece dom seviyesi daha stabil olarak kontrol altında tutulur. Kontrol yapısında buhar debisinin dom seviye ölçümüne göre daha büyük etkisi olduğundan (doğrudan toplama bloğuna girdiği için) ani yük değişimlerinde buhar debisi daha baskın olarak görev yapar ve doğru yönde kontrol işareti üretilmesini garanti eder. Kazan yükünün durağanlaştığı zamanlarda ise seviye kontrol PID bloğu baskın hale gelir ve istenen set değerine göre seviyeyi ayarlar.

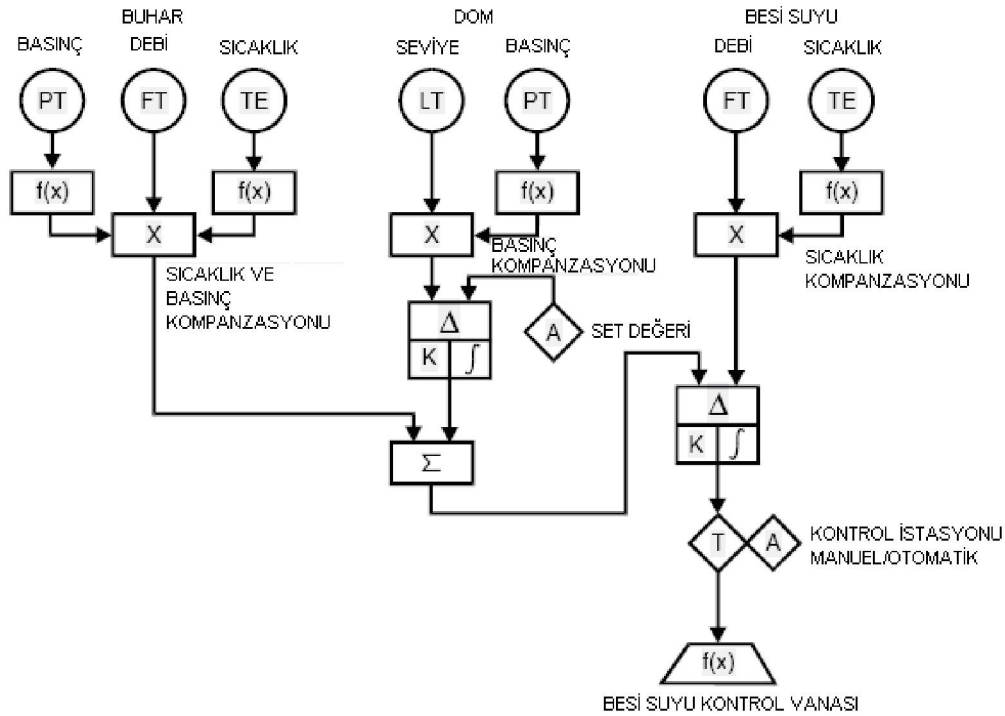
İki elemanlı seviye kontrol yönteminin dikkat edilmesi gereken iki dezavantajı vardır. Birincisi, tek elemanlı kontrolde olduğu gibi, bu teknikte de besi suyu debisinde meydana gelen basınç ve yük değişimlerine karşı duyarsız kalır. Bir diğer

dezavantajı ise, iki elemanlı kontrol besi suyu debisi ile dom seviyesi arasındaki etkileşimi tolere edemez çünkü dom seviyesinin sadece göreceli yavaş değişimleri kontrol edilir. Bu durum, buhar talebinde ani büyük artışlar olduğunda kazanın termal dinamik kapasitesi göz önünde bulundurulmaksızın dom içerisine (göreceli) soğuk su dolmasını sağlar.

3.4.3 Üç elemanlı kontrol

İki elemanlı seviye kontrol yöntemindeki eksiklikleri gidermek amacıyla kontrol yapısına üçüncü bir eleman olarak besi suyu debisi eklenmiştir. Bu sistemde, iki elemanlı kontrol sistemindeki toplama bloğunun çıkışı ikinci bir kontrol bloğu olan besi suyu debi kontrol PID'sine kaskad set değeri olarak girer. Şekil 3.10'da bu kontrol yapısı gösterilmektedir.

Besi suyu debi kontrolörü proses değeri olarak besi suyu debisini, set değeri olarak buhar debisini kullanır ve hızlı tepki veren bir kontrol yapısıdır. Bu sayede domdan çıkan her birim miktardaki buhar yerine aynı miktarda besi suyu domda verilir. Ayrıca, besi suyu debisinde meydana gelen basınç ve yük dalgalanmaları da eklenen ikinci kontrol PID'si ile kompanze edilir. Böylece, daha önce bahsi geçen kontrol yöntemlerine göre daha dengeli ve hassas bir kontrol yapılmış olur [10].



Şekil 3.10 : Üç elemanlı dom seviye kontrol diyagramı [9].

Üç elemanlı seviye kontrol tekniği ani ve büyük yük değişimlerine karşı kolayca adapte olabilir çünkü domdan çıkan buhar miktarı ile giren su miktarı arasında doğrudan ilişki kurar. Bu kontrol tekniği birden fazla kazan sisteminin aynı besi suyu kaynağını kullandığı durumlarda mutlaka kullanılması gereken bir yapıdır. Çünkü kazanların birinde meydana gelen yük değişimi nedeniyle o kazana giden besi suyu miktarında değişim olacak ve diğer kazanların besi suyu debisi bu durumdan etkilenecektir [8]. Bu sistem sayesinde her bir kazanda besi suyunda oluşan dalgalanmalar kendi içerisinde kompanze edilir. Ayrıca üç-elemanlı kontrol tekniği her büyüklükteki kazana rahatlıkla uygulanabilir.

3.4.4 Dom su beslemesi

Mevcut sistemde dom su beslemesi için 3 adet vana bulunur. Bunlardan ikisi kazanın tam güçte çalışması durumunda yeterli akışı sağlayacak biçimde (vananın tam kapasitesinin ~%75-80'i olacak şekilde) seçilir ve yedekli olarak (operatör seçimi ile) çalıştırılır. Diğer vana ise düşük güçlerde (<%20) kullanılmak üzere küçük kapasitelidir.

3.4.4.1 Besi suyu kontrol vanası

Kazan besi suyu kontrolünün ana amacı; kazanın değişik buhar yüklerinde buhar domu su seviyesinin istenilen aralıkta kalmasını sağlamaktır. Kazan sürekli blöfü gibi buhar üretimine göre düşük miktardaki kayıplar göz önünde bulundurulmazsa, kazana beslenen her 1 kg su için 1 kg buhar üretilmektedir. Ancak buhar tüketimindeki ani gereksinim değişiklikleri buhar domundaki su seviyesinin anormal şekilde yükselmesine ya da azalmasına neden olur. Bu da istenilmeyen bir durumdur. Bu gibi durumlarla karşılaşmamak için kazan besi suyu kontrolü için üç elemanlı bir kontrol sistemi kullanılmıştır.

Üç elemanlı kontrol sistemi kazandan çıkan buhar debisine eşit miktarda besi suyu beslenmesini sağlar ve buhar domu su seviyesinin istenilen aralıkta kalmasını sağlamak için bilgi olarak buhar domu seviyesi, buhar akışı ve besi suyu akışını kullanır.

Kazan besi suyu debisi için temel talep olan buhar akış ölçerinden gelen buhar debisi sinyali buhar domu seviye kontrolöründen alınan çıktı veri ile toplanır ve toplayıcı sonuç verisi besi suyu kontrolörü için toplam gerekli besi suyu gereksinimi miktarı

sinyalidir. Besi suyu kontrolörü besi suyu akış ölçerinde alınan sinyal ile toplam besi suyu gereksinimi sinyalini karşılaştırarak besi suyu kontrol vanasının pozisyonu için bilgi gönderir. Bu bilgiye göre besi suyu kontrol vanası pozisyonu (açılır ya da kapanır) otomatik olarak değişir.

Besi suyu kontrol vanasına etki eden değişkenler etkinlik sırası ile:

- Buhar domunun anlık seviye değeri
- Set değeri olarak girilen dom du deviyesi
- Besi suyu debisi
- Buhar debisi (Kızgın buhar olduğu için anlık ölçümlerde anlık buhar basıncı ve sıcaklık bilgilerine göre buhar ölçümü düzeltilmelidir.)

Kazan istenildiği takdirde sadece dom seviye bilgisine göre tek eleman kontrol modunda da çalışabilmektedir. Kontrol ekranına bir seçim kutusu eklenerek, operatörün istediği zaman tek elemanlı seviye kontrolüne geçebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca kazan yükü %25'in altında ise akış ölçerlerde debi ölçümü hataları yüksek olabileceği için, %25 kazan yükü altında tek elemanlı seviye kontrolü kullanılmaktadır. Bu bilgi 3 elemanlı kontrol için önşart olarak kullanılır. Kazan yükü % 25'in altında iken operatör istese de 3 elemanlı kontrol moduna geçemez.

Not: Kazan yük bilgisi buhar hattı akış transmitterlerinden alınır. Nominal buhar debisi 220 ton/h dir. Kazan yükü, buhar hattı akış ölçerinde ölçülen anlık debi değerinin, nominal buhar debisi (220 ton/h) değerine bölünmesiyle hesaplanır.

3.4.4.2 Besi suyu debi hesaplaması

Kalibrasyon için aşağıda belirtilen değerlerin kullanıldığı göz önünde bulundurulursa:

Basınç, Pd	$184 \text{ Kg/cm}^2 = 180 \text{ Barg}$
Sıcaklık	215°C
Maksimum Debi	250 ton/h
Fark Basınç, ΔPd	$0.63 \text{ Kg/cm}^2 = 0.618 \text{ Bar} = 618 \text{ mBar}$

Yukarıda verilen basınç ve sıcaklık değerinde besi suyunun yoğunluk değeri 846.76 kg/m^3 olarak hesaplanır.

$$Q_s = \frac{m_s}{\rho_d} = \frac{250000}{846.76} = 295.24 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.1)$$

$$C = \frac{Q_s}{\sqrt{\Delta P}} = \frac{295.24}{\sqrt{618}} = 11.8763 \quad (3.2)$$

Hesaplarda kullanılan formül:

$$Q_s = 11.8763 * \sqrt{\Delta P} * \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_d}} \quad (3.3)$$

Q_s Ölçülen Su debisi, m³/h

ΔP Transmitter tarafından okunan fark basınç değeri, mBar

ρ_a Anlık ölçülen sıcaklık değerindeki suyun yoğunluğu, Kg/m³

ρ_d Tasarım sıcaklığındaki suyun yoğunluğu (846.76 Kg/m³)

ρ_a değerinin hesabında, besi suyu sıcaklık transmitterinden alınan sıcaklık değerine göre aşağıdaki formül kullanılır:

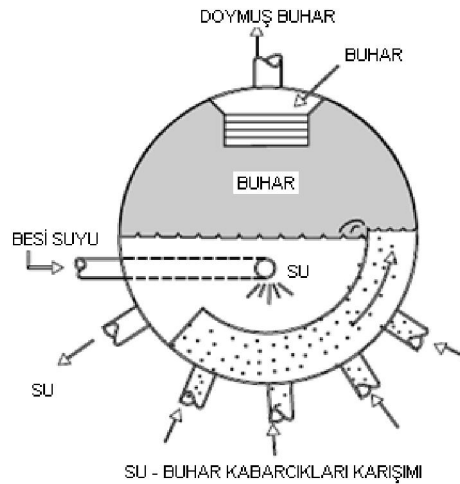
$$\rho_a = 1101.05 - 1.18272 * T(^{\circ}\text{C})$$

m_s : Besi Suyu debisi, ton/h (3.4)

$$m_s = Q_s * \rho_a / 1000$$

3.4.5 Buhar domu

Sistemde bulunan buhar domu 1600 mm iç çapında ve 13940 mm uzunluğunda olup, dom et kalınlığı 100mm dir. Şekil 3.11’de tipik bir domunun iç yapısı görülmektedir.



Şekil 3.11 : Buhar domu iç yapısı.

Çalışmadaki buhar domu normal su seviyesi, dom geometrik ekseninin 150mm altındadır. Bu su seviyesi ölçümlerde 0 mm olarak görülecek şekilde ayarlanır. Buhar domunun su seviyesi kontrolünde, aşağıdaki çizelgede belirtilen seviye değerleri göz önünde bulundurulmaktadır:

Çizelge 3.1 : Dom seviyesi alarm ve uyarı limitleri

+ 175mm	HH Alarm (Trip)
+ 150mm	Acil Boşaltma
+ 50mm	H Alarm
0 mm	Normal Seviye
- 50mm	L Alarm
-175mm	LL Alarm (Trip)

3.4.5.1 Dom seviye ölçümü

Buhar domu seviye kontrolü; esas olarak dom seviye bilgisi, buhar debisi bilgisi ve besi suyu akış debisi bilgisinin değerlendirilerek besi suyu kontrol vanasının regülasyonu ile 3 elemanlı olarak yapılmaktadır. Ancak operatör için tek elemanlı kontrol modu seçeneği de bulunur. Tek elemanlı kontrol modunda; dom seviye bilgisi, seviye set değerini sağlayacak şekilde besi suyu kontrol vanasının regülasyonu için kullanılır. Kazan yükü % 25'in altında bulunduğu zamanlarda, operatör istese de 3 elemanlı kontrol moduna geçemez.

Dom su seviyesinin ölçülmesi için 3 adet seviye transmitteri birlikte kullanılmaktadır. Esas olarak transmitterlerin ölçtüğü debi değerlerinin aritmetik ortalaması hesaplanıp kullanılır. Ancak operatör için seçim şansı da sunulmaktadır.

3.4.5.2 Seviye ölçümü basınç kompanzasyonu

Seviye transmitterlerinden alınan fark basınç değeri, dom işletme basıncı ile transmitter bağlantı borularındaki su sıcaklıklarına göre aşağıdaki formül (3.5) kullanılarak düzeltilip, gerçek dom su seviyesi belirlenir.

$$l = \frac{L * (\rho_{ref} - \rho_s) - \rho_c * \Delta P}{\rho_w - \rho_s} \quad (3.5)$$

l Dom su yüksekliği, mm

L Dom bağlantı noktaları arası mesafe, mm

Bu değer her bir transmitter için farklı olabileceğinden, sahada ölçülüp girilir.

P	Dom işletme basıncı, Barg
ΔP	Transmitter tarafından ölçülen fark basıncı, mmSS
ρ_s	Dom işletme basıncındaki doymuş buhar yoğunluk değeri, Kg/m ³
ρ_w	Dom işletme basıncındaki doymuş su yoğunluk değeri, Kg/m ³
ρ_c	Transmitter kalibrasyon sıcaklığındaki suyun yoğunluğu, Kg/m ³ (Bu değer 25°C olarak kabul edilmiştir)
ρ_{ref}	Referans bağlantı tubingindeki suyun yoğunluk değeri, Kg/m ³ (Bu değer sahada 288-295°C olarak ölçülmüştür. 290°C kabul edildi.)

290°C de $\rho_{ref} = 732 \text{ kg/m}^3$

25°C de $\rho_c = 997 \text{ kg/m}^3$

Değerleri formülde (3.5) yerine konulursa;

$$l = \frac{L * (732 - \rho_s) - 997 * \Delta P}{\rho_w - \rho_s}$$

l yüksekliği hesaplandıktan sonra, dom su seviyesi aşağıdaki gibi belirlenir.

Dom Su Seviyesi = [l-X] mm

X: Dom normal su seviyesi ile transmitter alt boru bağlantısı arası mesafe, mm

İşletme basıncına göre, doymuş buhar ve su yoğunlukları için aşağıda bulunan formüller kullanılmaktadır:

$$\begin{aligned}\rho_s &= 0.13452 + 4.9167E - 3 * P - 1.051E - 9 * P^2 + 4.8022E - 12 * P^3 + 1.288E - 16 * P^4 \\ \rho_w &= 960.78 - 7.4664E - 2 * P + 1.1386E - 5 * P^2 - 9.2337E - 10 * P^3 + 2.619E - 14 * P^4\end{aligned}\quad (3.6)$$

Formüllerde kullanılan P, basınç değeri kPa olarak girilir.

$P = (\text{Basınç Transmitteri Ölçüm Değeri} + 1) * 100 \text{ kPa}$

Hesaplanan yoğunluk değerleri, kg/m³ cinsindendir.

3.4.5.3 Buhar hattı debi ölçümü

Long Radius akış ölçerler için verilen etiket değerlerinde tasarım basıncı olarak 89 Bar değeri verilmiştir. Ancak buhar hattı 100 Kg/cm² işletme basıncında çalışmaktadır. Bu yüzden Pd değeri olarak 99 Kg/cm² değeri göz önünde

bulunduruldu. 89 Bar değerine göre yoğunluk değeri kullanılırsa normal işletme koşullarına göre %13 lük bir ölçüm hatası ortaya çıkmaktadır.

Tasarım Değerleri:

Basınç, P_d	99 Kg/cm ² =97.114 Barg
Sıcaklık, T_d	535°C
Maksimum Debi, Q_{sd}	250 ton/h
Fark Basınç, ΔP_d	1000mBar

Yukarıda verilen basınç ve sıcaklık değerinde kızgın buhar yoğunluk değeri 28,552 kg/m³ olarak hesaplanır.

$$Q_s = \frac{m_s}{\rho_d} = \frac{250000}{28.552} = 8755.95 m^3 / h \quad (3.7)$$

$$C = \frac{Q_s}{\sqrt{\Delta P}} = \frac{8755.95}{\sqrt{1000}} = 276.89 \quad (3.8)$$

Hesaplarda kullanılan formül:

$$Q_s = 276.89 * \sqrt{\frac{\rho_a}{28.552}} * \sqrt{\Delta P} \quad (3.9)$$

Q_s Ölçülen buhar debisi, m³/h

ρ_a Aşağıda bulunan formül ile ölçülen işletme basıncı ve sıcaklığındaki yoğunluk değeri, kg/m³

ΔP Transmitter tarafından okunan fark basınç değeri, mBar

m_s Buhar debisi, ton/h

$$m_s = Q_s * \rho_a / 1000 \quad (3.10)$$

3.4.5.4 Kızgın buhar yoğunluk hesabı

Kızgın buharın yoğunluğu sıcaklık ve basınca göre değişiklikler göstereceği için buhar debisinin doğru olarak hesaplanmasında Long radius akış ölçerinden okunan bilginin bu yoğunluk bilgisine göre düzeltilmesi gerekir.

Yoğunluk hesabı için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

Sıcaklık $T = ^\circ C + 273.15$

Basınç $P = \text{Barg} + 1$

Spesifik Hacim $v = m^3/kg$

Yoğunluk $\rho = \text{kg/m}^3$

$$B_0 = 1.89 - \left(\frac{2641.62}{T} \right) * 10^{\left(\frac{80870}{T^2} \right)} \quad (3.11)$$

$$v = \left[4.55504 * \left(\frac{T}{P} \right) + B_0 \right] / 1000 \quad \rho = 1/v \quad (3.12)$$

Not: Yukarıdaki hesaplarda, C katsayısının hesabında yukarıda belirtildiği gibi tasarım basınç değeri olarak 99 kg/cm² değeri göz önünde bulundurulmuştur.

3.4.5.5 Soğutma suyu debi hesabı

Kazandan çıkan kızgın doymuş buhar, istenen sıcaklıkta türbine gönderebilmek için püskürtme suyu ile soğutulur ve daha sonra türbine gönderilir. Soğutma (püskürtme) suyu debisi için kullanılan formülasyon aşağıdaki gibidir.

$$Q_s = 0.744 * \sqrt{\Delta P} \quad (3.13)$$

Q_s Ölçülen soğutma suyu debisi, m³/h

ΔP Transmitter tarafından okunan fark basınç değeri, mBar

m_s Soğutma Suyu debisi, Kg/h

$$m_s = Q_s * 680.27 \quad (3.14)$$

Projede gerçekleştirilen dom seviye ve besli suyu kontrolüne ait proses ekranı Şekil 3.12'de gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi operatör tek elemanlı yada üç elemanlı kontrol arasında (şartlar dahilinde) seçim yapabilmektedir.

ulaştığı zaman diğer yakıtlarda kullanılabilir duruma gelir ve her brülörde tek bir yakıt tipi veya birden fazla yakıt birlikte kullanılarak istenen yakıt kombinasyonu uygulanabilir.

Kazanın emniyetli bir şekilde üretim yapabilmesi için Kazan Yönetim Sistemi'nin belli durumları sürekli kontrol etmesi gerekir ve bu şartlardan birinde alarm oluştuğunda kazanı güvenli bir şekilde duruşa geçirmesi gerekir. Bu şartlar saha ve kazan emniyeti için son derece önemlidir. Aşağıda bu şartlar maddelenmiştir. Ayrıca Şekil 3.13'te SCADA ekranlarında görünümü de yer almaktadır.

- Acil stop butonları basılı değil
- Dom seviyesi tolerans değerleri içinde ve buhar sıcaklığı yüksek değil
- Kazan iç basıncı maksimum limitin altında
- Yakma havası akışı minimum değer üstünde
- Regeneratif hava ısıtıcılarının ikisi de devrede
- Hava aspiratörleri devrede
- Hava vantilatörleri devrede



Şekil 3.13 : Kazan güvenlik şartlarını izleme ekranları.

Kazan devreye alınabilmesi için bu şartların yerine gelmiş olması gerekir ve işletme esnasında herhangi birisi alarm durumuna düşerse tüm yakıt emniyet vanaları kapatılır ve kazan duruşa geçirilir. Kazanın ilk ateşlenmesinden önce verimli ve güvenli bir ateşleme için öncelikle kazan içinde kalmış olabilecek yakıt veya atık gazların dışarı atılması gerekir. Bunun için ilk adım olarak purge (temizlik) işlemi yapılır ve tüm brülörlerin hava damperleri açık pozisyona getirilerek kazan içine azami ölçüde temiz hava alınır. Bu işlem geçen hava miktarı takip edilerek tüm kazan hacminin 5 kez temiz hava ile değişecek şekilde veya belirli bir süre boyunca devam eder. Purge işlemi yapıldıktan sonra operatör tarafından brülörlere tek tek start verilebilir.

3.5.1 Kazan acil-duruş şartları

Aşağıda belirtilen şartlar oluştuğu zaman, kazan acil olarak durdurulur:

- Dom su seviyesinde aşırı yükselme ve azalma olduğu zaman (Normal su seviyesine göre ± 175 mm)
- Dom seviye göstergelerinin hepsi bozulursa
- Kazan ve su/buhar hattında herhangi bir çatlak, kaçak gibi bir problem olursa
- Kazan buhar üretici yüzeylerinde, dom su seviyesinin kontrol edilmesini önleyecek herhangi bir problem oluşursa
- Emniyet vanalarının çalışmasında bir sorun varsa yada bozulmuşsa
- Her iki aspiratör ve vantilatör devre dışı kalırsa
- Her iki regeneratif hava ısıtıcısı devre dışı kalırsa
- Fırında yada gaz kanallarında bir patlama olması durumunda ve bu patlama sonucunda, kazan üzerinde yada diğer ısıtma yüzeylerinde personele zarar verecek bir durum ortaya çıkarsa
- Alev kopması durumunda yada brülör gaz hatlarında izin verilenin üzerinde basınç düşmesi olması durumunda
- Kazan vakum değerinin pozitif çıkmasıyla

Yukarıda belirtilen koşulların oluşması durumunda kazan otomatik olarak yada manuel olarak durdurulacaktır. Operatör yada saha personeli acil stop butonlarına basarak da kazanı durdurabilmektedir.

3.6 Yanma Kontrol Sistemi (CCS: Combustion Control System)

Yanma kontrol sistemi sistemdeki tüm sayısal hesaplamaların yapıldığı ve analog kontrol işlemlerinin gerçekleştiği sistemdir. Kazan emniyeti ile ilgili sinyaller ve dijital kontrol ile çalışan ekipmanlar bu kontrol biriminde değerlendirilmez. Gerekli bilgiler BMS ve CCS kontrolör birimleri arasında kurulan haberleşme ile sağlanır. Buna ek olarak güvenlik amacıyla bazı sinyaller iki birim arasında fiziksel olarak da iletilmektedir. Kazandaki tüm kontroller için PID kontrol blok yapısı kullanılmıştır ve aşağıda maddelenen parametreler kontrol edilmektedir:

- Yakıt-hava karışımı ve miktarı
- Kazan iç basıncı
- Dom seviyesi

- Buhar sıcaklığı

Kazanın verimli ve emniyetli işletilmesi açısından yukarıda geçen parametreler sürekli kontrol altında tutulmalıdır ve toleranslar dışına çıkmaması sağlanmalıdır. Aksi durumda ciddi hasarlara yol açılabilmektedir. Bahsedilen parametrelerin nasıl ve ne şekilde kontrol edildiği detaylarıyla açıklanacaktır.

3.6.1 Yakıt-hava oranı ve miktarı kontrolü

Alt brülörlerde doğalgaz, fuel oil, kok gazı ve yüksek fırını yakılabilmektedir. Üst brülörlerde ise sadece ana yakıtlar olan doğalgaz ve katran/fuel oil yakılabilmektedir. Her bir brülör maksimum 40 MW'lık yakma kapasitesine sahip olacak şekilde limitlendirilmiştir. Böylece 8 brülör toplamı %100 kapasiteyi aşmayacak şekilde yapılandırılmıştır. Otomatik yakıt kontrol sistemlerinde böyle bir kısıtlama güvenlik açısından zorunludur.

Yakma kontrolü ikili gruplar bazında yapılmaktadır. Gruptaki yakıt ve hava besleme hatları ortaktır. Dolayısıyla oransal yakıt kontrol ve hava kontrol vanaları gruptaki iki brülör için de ortaktır. Bir brülör veya iki brülör devrede olması durumuna göre yakıt miktarı ve buna karşılık düşen hava miktarı hesaplanarak kontrol vanaları ayarlanır.

Genel uygulamada yakma kontrolü kazan ve türbin yük kontrolüne bağlı olarak otomatik bir şekilde yapılmaktadır. Fakat bu sistemdeki kazanlarda otomatik yük kontrolü olmadığından operatör türbin tarafındaki talebe göre istenen güç set değerlerini kendisi verir. Her bir brülör grubu için yakıt bazında istenen MW set değerini SCADA ekranından girer ve brülör devreye alındığında bu set değerlerine göre yakıt ve hava akış kontrolü gerçekleşir. Yakma kontrolünün aktif hale geçebilmesi için gruptaki brülörlerden en az birinin devreye girmiş olması gerekmektedir. Brülör devreye girdikten sonra öncelikle set edilen güç miktarı için gerekli hava miktarı ayarlanır. Hava miktarı istenen değere ulaştığında ise yakıt kontrol vanası yeterli oranda yakıt akışı sağlayacak şekilde kontrol edilir.

Yakma havası akış ölçümü, fark basıncı prensibine göre çalışan ölçüm enstrümanı ile okunur. Hava hattında oluşan fark basıncı değerinin ölçüm enstrümanı üzerinde karekökü alınır ve akış miktarı buna göre hesaplanır. Fakat nominal akış gerçekte geçen havanın sıcaklığına ve basıncına da bağlı olduğundan, hacimsel olarak gerçek akış bilgisini elde edebilmek için enstrümandan okunan değer bir kompanzasyon işlemine tabi tutulur. Bu kompanzasyon formülü aşağıdaki gibidir:

V_N	kompanze edilmiş nominal hacimsel akış [Nm^3/h]
V_{VOL}	ölçüm enstrümanından okunan aktüel hacimsel akış değeri [m^3/h]
P_{OP}	basınç ölçüm cihazından okunan aktüel hava basıncı değeri [mbar]
P_{ABS}	mutlak referans basınç değeri (sabit: 1013 mbar)
T_{OP}	sıcaklık ölçüm cihazından okunan aktüel hava sıcaklığı değeri [$^{\circ}\text{C}$]
T_{ABS}	mutlak referans sıcaklık değeri (sabit: 273,15 $^{\circ}\text{K}$)

$$V_N[\text{Nm}^3 / \text{h}] = V_{VOL}[\text{m}^3 / \text{h}] * \frac{(P_{OP} + P_{ABS}) [\text{mbara}]}{P_{ABS}} * \frac{T_{ABS} [\text{deg K}]}{T_{OP} + T_{ABS} [\text{deg K}]} \quad (3.15)$$

Doğalgaz, kok gazı ve yüksek fırın gazı için hacimsel debi ölçümü için hesaplama formülü aşağıdaki gibidir:

$$V_N[\text{Nm}^3 / \text{h}] = V_{VOL}[\text{m}^3 / \text{h}] * \frac{(P_{OP} + P_{ABS}) [\text{mbara}]}{P_{ABS}} * \frac{T_{ABS} [\text{deg K}]}{T_{OP} + T_{ABS} [\text{deg K}]} \quad (3.16)$$

Fuel oil ve katran debisi ölçümünde geri dönüş hattı da hesaba katılır ve formülasyon aşağıdaki gibidir.

V_{EFF}	efektif kütleli akış değeri [kg/h]
V_{FEED}	yakıt besleme hattındaki kütleli akış değeri [kg/h]
V_{RETURN}	geri dönüş hattındaki kütleli akış değeri

$$V_{EFF}[\text{kg} / \text{h}] = V_{FEED}[\text{kg} / \text{h}] - V_{RETURN}[\text{kg} / \text{h}] \quad (3.18)$$

Yakıt debisi için set değerinin ayarlanmasında çapraz-limitli kontrol yapısından faydalanılır. Çapraz-limitli kontrol yapısında yakıt debisi set değeri için istenen kazan yükü ve aktüel hava debisi minimum seçim bloğundan geçirilir. Böylece yakıt debisi hiçbir zaman yakma havası debisinden daha yüksek olamaz.

Optimum yakıt-hava oranının ayarlanmasını basite indirmek amacıyla tüm hesaplamalar ve yük/debi dengeleri termal kapasite göstergesi olan MW cinsinden yapılmıştır. Yani aktif olarak kullanılan yakıt türüne bağlı olmakla birlikte, o an ölçülen yakıt debisinin kaç MW'lık yük oluşturduğu aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$Fuel_{THERMALCAP}$	kullanılan yakıtın aktüel termal kapasitesi [MW]
$Flow_Fuel_{NOM}$	set edilen güç için gerekli olan nominal yakıt debisi NG/COG/BFG: [Nm^3/h], TAR/HFO:[kg/h]

LHV_{fuel}

kullanılan yakıtın kalorifik değeri

NG/COG/BFG: [MJ/Nm³], TAR/HFO:[MJ/kg]

$$Fuel_{THERMALCAP}[MW] = \frac{Flow_Fuel_{NOM}[unit/h] * LHV_Fuel[MJ/unit]}{3600} \quad (3.19)$$

Bu formül sayesinde, aktüel yakıt debisi okunarak bu debinin ne kadar termal güce karşı geldiği hesaplanır ve yanma kontrol bloğuna proses değeri olarak girilir.

Benzer şekilde, hesaplamaları ve kontrolü basite indirmek amacıyla, operatör tarafından set edilen MW değerini elde etmek için o anki kullanılan yakıt türüne göre ne kadar debi ile yanma gerçekleşmesi gerektiği aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Flow_Fuel_{NOM}[unit/h] = \frac{Fuel_{THERMALCAP}[MW] * 3600}{LHV_Fuel[MJ/unit]} \quad (3.20)$$

Hesaplama sonucu elde edilen debi değeri yanma kontrol PID bloğuna set değeri olarak gönderilir ve yakıt kontrol vanası vasıtasıyla istenen MW set değeri tutturulmaya çalışılır. Yakma havası için set değerinin ayarlanmasında çapraz-limitli kontrol yapısından faydalanılır. Çapraz-limitli kontrol yapısında yakma havası set değeri için istenen kazan yükü ve aktüel yakıt debisi maksimum seçim bloğundan geçirilir. Böylece yakma havasının debisi hiçbir zaman yakıt debisinin altına düşmez ve aynı şekilde yakıt debisi hiçbir zaman yakma havası debisinden daha yüksek olamaz. Aşağıdaki formül yakma havası set değerinin hesaplanmasında kullanılır.

w/SP_CA yakma havası debisi için hesaplanan set değeri [Nm³/h]

$(SP_CA_Fuel)_n$ aktif kullanılan yakıtların MAX seçim değerleri [MW]

p_St_Fac stokiometrik katsayı [Nm³/(h*MW)]

(yanma sonucu 1 MW'lık güç elde etmek için gereken hava)

λ_{act} o anki kazan yükü için aktüel lambda katsayısı

BFG_{CORR} (Opsiyonel) Yüksek fırın gazı için düzeltme değeri [Nm³/h]

$$w/SP_CA[Nm^3/h] = \sum_n^1 (SP_CA_FUEL)_n[MW] * p_St_Fac[\frac{Nm^3}{h * MW}] * \lambda_{act} + BFG_{CORR}[Nm^3/h] \quad 3.21$$

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, sağlıklı bir yanma reaksiyonu gerçekleştirebilmek ve bu yanma sonucunda açığa çıkan zararlı gazların oranını minimum düzeye indirebilmek amacıyla yakma havası, aktüel yakıt debisi için gereken hava miktarından biraz fazla tutulur. Aşağıdaki formülasyon bu hava

fazlasının kazan yüküne göre ne boyutta olması gerektiğini hesaplamak için kullanılmıştır.

λ_{act}	o anki kazan yükü için aktüel lambda katsayısı
$Load_{REL}$	istenen yük değerinin [MW] kazanın maksimum kapasite yüküne oranı [MW] (0,0 ile 1,0 arasında bir değer)
p_{EXP}	exponansiyel değer (sabit: -0,17)
$p_{AIREXC_{ACT}}$	kullanılan yakıt kombinasyonuna göre istenen uygulanabilir yakma havası fazlası (maksimum kapasite için)

$$\lambda_{ACT} = (Load_{REL} [0,0 - 1,0])^{p_{EXP}} * p_{AIREXC_{ACT}} \quad (3.22)$$

Yakıtların debi set değerlerinin ayarlaması yapılırken minimum seçim bloğunda aktüel hava debisine karşılık MW cinsinden üretilebilecek termal yük miktarı kullanılır. Bu değer aşağıdaki formül ile hesaplanarak seçim bloğuna girilir.

CA_{AVAIL}	aktif yakıt(lar) için kullanılabilir hava miktarı
BFG_{CORR}	(Opsiyonel) Yüksek fırın gazı için düzeltme değeri [Nm^3/h]
p_{St_Fac}	stokiyometrik katsayı [$Nm^3/(h*MW)$] (yanma sonucu 1 MW'lık güç elde etmek için gereken hava)
λ_{act}	o anki kazan yükü için aktüel lambda katsayısı

$$CA_{AVAIL} [MW] = \frac{(x / PV_CA_flow [Nm^3 / h] - BFG_{CORR} [Nm^3 / h])}{p_{St_Fac} [\frac{Nm^3}{h * MW}] * \lambda_{act}} \quad (3.23)$$

Yanma kontrol sisteminin buhar kazanına uygulanmasıyla yakıt türüne göre elde edilen termal güç değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Projenin gerçekleştirildiği işletmede kok gazı ve yüksek fırın gazı tesisteki diğer sistemlerden elde edilen atık gazlardır ve bu gazlar buhar kazanlarında yakılarak değerlendirilir.

Çizelge 3.2 : Yakıt türüne göre elde edilen termal güç değerleri.

Yakıt Türü	Yakıt Debi Aralığı [Nm^3/h]	Birim Enerji Miktarı [MJ/Nm^3]	Termal Güç Kapasitesi [MW]	Toplam Yüke Oranı [%]
Doğalgaz	370 – 1850	43,65	4,48 – 22,43	11,21 – 56,07
Fuel Oil	300 – 1500 [kg/h]	41,86 [MJ/kg]	3,48 – 17,44	8,72 – 43,6
Kok Gazı	800 – 4000	16,12	3,58 – 17,91	8,8 – 44,78
Y.Fırın Gazı	5000 – 28000	3,31	4,59 – 25,7	11,47 – 64,3

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

İSDEMİR A.Ş. Enerji Tesisleri Müdürlüğü Enerji Üretim ve İşletme Başmühendisliği'ne ait Kuvvet Santrali'nde 100 kg/cm² basınç, 540 °C de ve her biri 220 ton/h buhar üretim kapasitesine sahip domlu, doğal sirkülasyonlu Sovyet menşeli 5 adet buhar kazanı mevcuttur. Her bir kazanda, her iki tarafında biri diğerine simetrik, dördü altta diğer dördü üstte olmak üzere 8 adet brülör mevcuttur. Üst brülörler ana yakma brülörleri, alt brülörler ise gaz brülörleri olarak adlandırılır. Bu brülörlerin konstrüksiyonu yakıtları yalnız veya beraber olmak üzere farklı kombinasyonlarla yakılabilmelerine müsaade edecek şekilde dizayn edilmişlerdir. Alt brülörlerde Yüksek fırın gazı, Kok gazı, Fuel oil veya Doğalgaz, üst brülörlerde ise Fuel oil/Katran veya Doğalgaz yakılabilmektedir.

Mevcut kazanlar çalışma ömrünü doldurdıkları için modernizasyona ihtiyaç duymaktadırlar. Yapılan çalışma ile bu kazanlar son teknoloji otomasyon sistemi ile modernize edilmiş ve performans artışı hedeflenmiştir.

Bu amaca yönelik mevcut kazanlar SIEMENS DCS sistemi ile entegre edilmiştir. DCS sisteminde iki ayrı kontrol grubu vardır: BMS ve CCS. BMS sisteminde kazanın tüm güvenlik tedbirleri ve proses başlatma-durdurma vb. durumlar kontrol edilir. CCS sisteminde ise güvenlik şartlarından bağımsız yakıt-hava oranı, yanma kontrolü, dom seviye kontrolü, kazan iç basıncı kontrolü, buhar sıcaklığı kontrolü gibi prosesler kontrol edilmektedir.

Her iki kontrol sistemi de bir SCADA sistemine bağlıdır ve bu sayede prosesin tamamı operatör tarafından kontrol altında tutulur. Operatör, ilgili ekranlara girerek kazanın güvenli ve doğru olarak işletilmesi için gereken adımları yerine getirir.

Ekte SCADA sistemine ait proses ekranları (EK-A) ve yakma sistemine ait kontrol diyagramları (EK-B) yer almaktadır.

4.2 Uygulama Sonuçları

Gerçeklenen proje ile tesisteki mevcut buhar kazanları otomasyon sistemine geçirilmiştir. Uygulanan kazan kontrol yöntemleri sayesinde kazanın verimliliği önemli ölçüde artırılmıştır. Ayrıca, kazan yönetim sisteminin kazan emniyetini öncelikli olarak takip etmesi sonucunda, işletme esnasında oluşabilecek kaza ve hasarlar minimuma indirilmiştir.

Otomasyon sisteminin hayata geçirilmesiyle birlikte sistemin izlenebilirliği maksimum düzeye çıkmıştır. Operatör, SCADA ekranlarından prosesle ilgili tüm verileri kolayca takip edebilmekte ve oluşan alarm yada arıza durumlarını spesifik olarak görebilmektedir. Dolayısıyla arıza tespiti daha kısa sürede yapılmakta, duruş süreleri azalmakta ve böylece üretimde süreklilik sağlanmaktadır.

Bunlara ek olarak, yanma sisteminin yakıt-hava oranını optimize etmesiyle birlikte yanma sonucu oluşan çevre sağlığına zararlı atık gazların emisyonu minimum düzeye indirilmiştir. Modernizasyon sonucunda CO emisyonu 10 mg/m^3 seviyelerine (yasal sınır 100 mg/m^3) düşürülmüştür. Aynı şekilde NO₂ emisyonları da 300 mg/m^3 (yasal sınır 500 mg/m^3) seviyelerine düşürülmüştür.

İSDEMİR A.Ş Enerji Tesisleri Müdürlüğü'nden alınan verilere göre modernizasyon sonrası elde edilen verim artışı ve tasarruf miktarları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Modernizasyon sonrası elde edilen verim artışı.

TEP/Yıl	7645 TEP	
TL/Yıl	7.891.677 TL	
US(\$)/Yıl	5.127.918 US(\$)/Yıl	
Verim Artışı	% 1,95	Toplam % 8,92
BFG Gazı Kazanımı	% 6,97	

Çizelge 4.2: Modernizasyon sonrası elde edilen verim artışı.

Yapılan İyileştirme Faaliyeti	Tasarruf Miktarı (\$)
Buhar Kazanlarındaki Verim Artışı	2.304.806
Yakılan BFG Gazı Miktarının Artırılması	2.823.112
Toplam Tasarruf Miktarı	5.127.918

Sonuç olarak buhar kazanı kontrol yöntemleri mevcut sisteme başarı ile uygulanarak enerji verimliliği ve çevre sağlığı açısından büyük faydalar sağladığı görülmüştür.

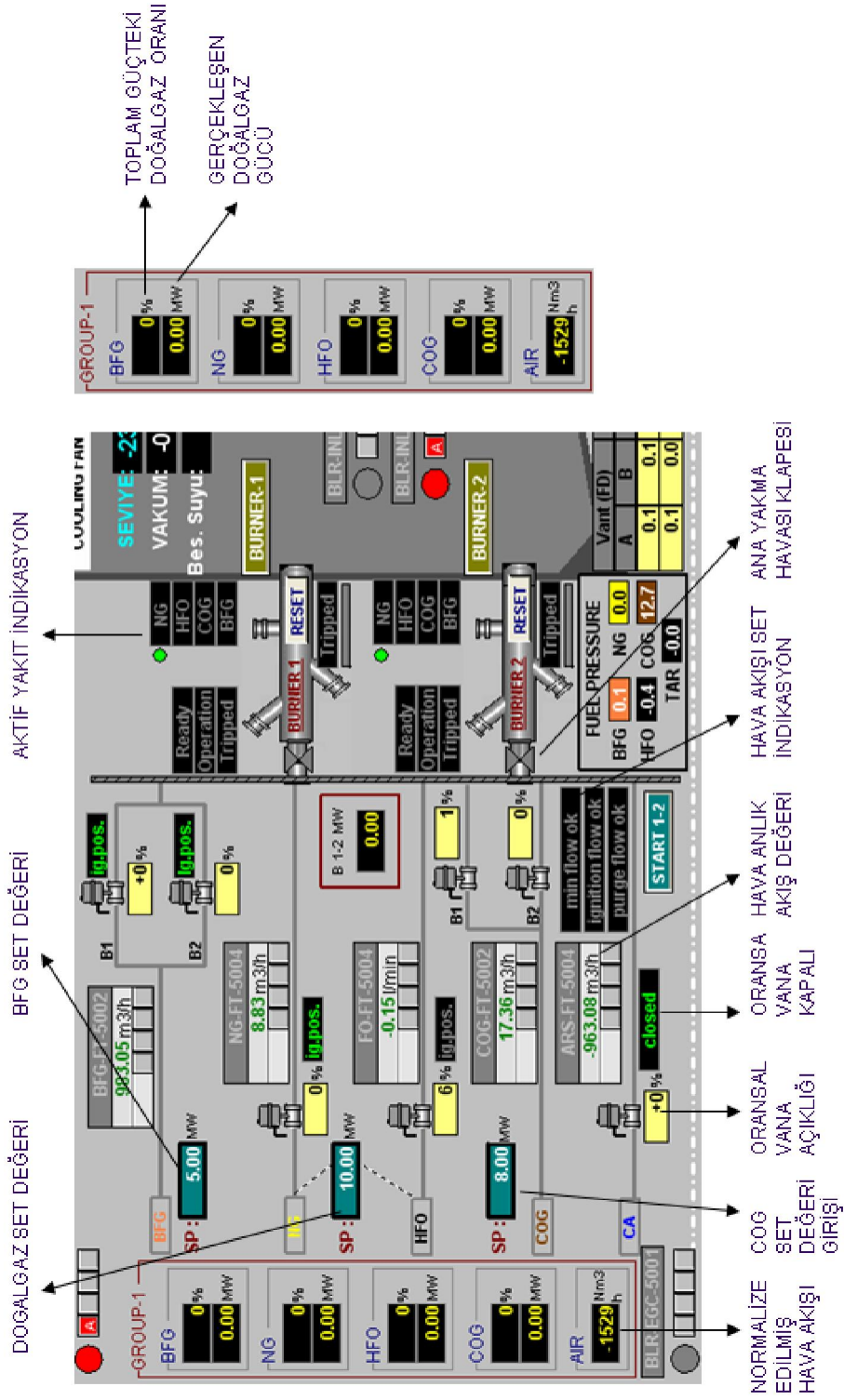
KAYNAKLAR

- [1] **Peet W.J., Leung T.K.P.**, 1993. Improved Drum Level Control for Load Cycling, *IEEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, December 1993, Hong Kong
- [2] **Wei-Jie Y. & Yong-Xin, L.**, 2009. Boiler Drum Level Controlled by Fuzzy Self-adapting PID, *2009 Second Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications*, Collage of Electronic Information Engineering Inner Mongolia University Hohhot, China
- [3] **Jiang L., Kong X., Yang Q., Shao F.**, 2010. Application of Compound PID Controller in the Boiler, *2010 Chinese Control and Decision Conference*, College of Computer and Information Engineering, Lishui University, Lishui 323000, China & School of Mechanical & Electronic Engineering, Henan Institute of Science & Technology, Xinxiang 453003, China
- [4] **Siemens Energy & Automation**, 2006: Procidia™ Control Solutions, Boiler Control Overview, *Application Data*, AD353-132, Rev 1, March 2006.
- [5] **Siemens Energy & Automation**, 2006: Procidia™ Control Solutions, Fundamentals of Combustion, *Application Data*, AD353-130, Rev 1, March 2006.
- [6] **Siemens Energy & Automation**, 2005: Combustion Management Solutions, Full-Metered, Cross Limited Control, *Application Data*, AD353-103, Issue 2, January 2005.
- [7] **Siemens Energy & Automation**, 2005: Combustion Management Solutions, Furnace (Draft) Pressure Control, *Application Data*, AD353-106, Rev 2, January 2005.
- [8] **Farthing, D. C.**, 2001: Improving Boiler Room Efficiencies, Boiler Drum Level Measurement and Control. *A Seminar on the ways and means of increasing boiler room efficiencies 01.02.2001*, Federal Corporation
- [9] **ANSI/ISA -77.42.01-1999**, 1999: Fossil Fuel Power Plant, Feedwater Control System – Drum Type, *The Instrument Society of America*, North Carolina, ISBN: 1-55617-717-8
- [10] **Siemens Energy & Automation**, 2005: Combustion Management Solutions, Boiler Drum Level (Feedwater) Control, *Application Data*, AD353-105, Rev 2, January 2005.

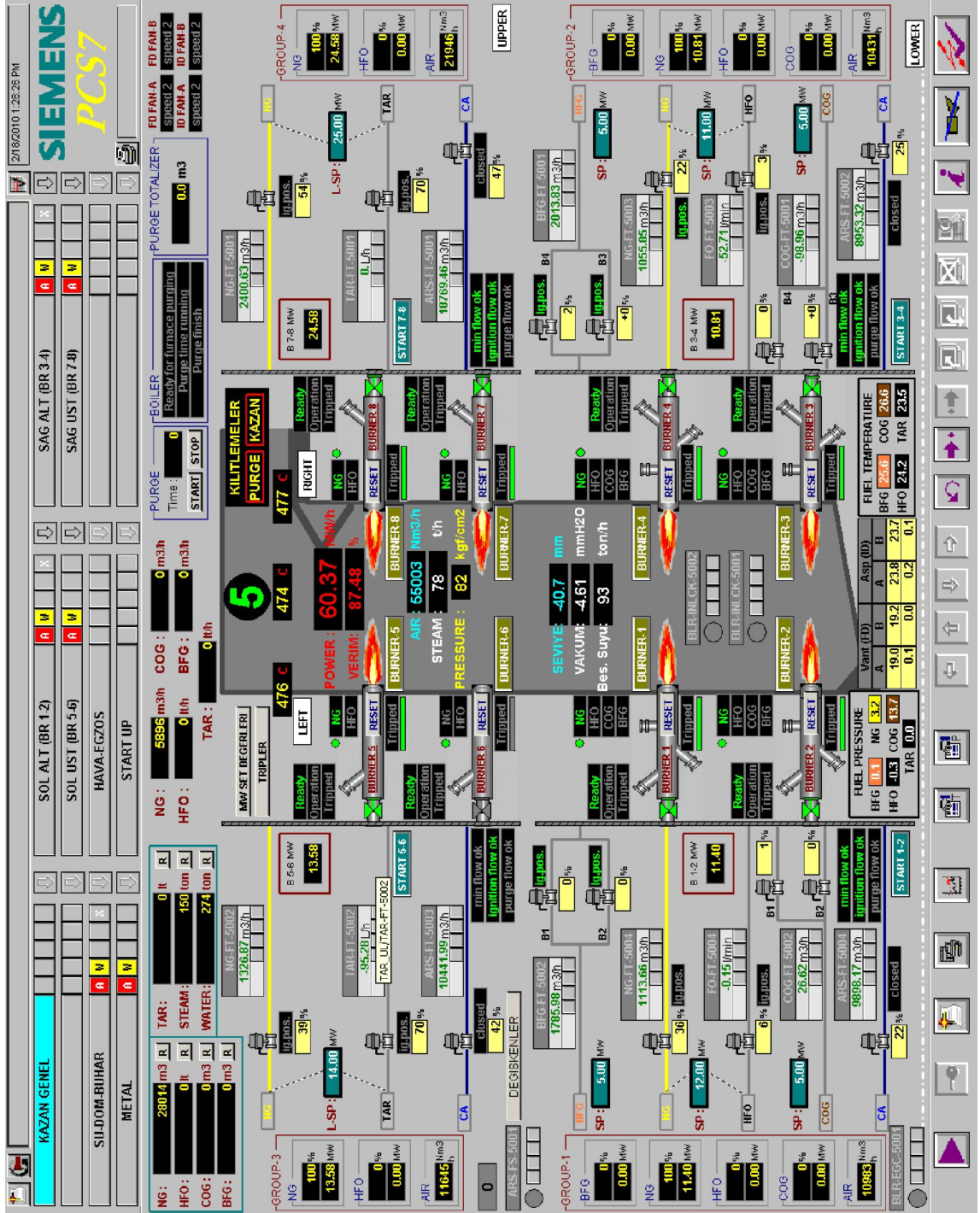
EKLER

EK A : SCADA Proses Ekranları

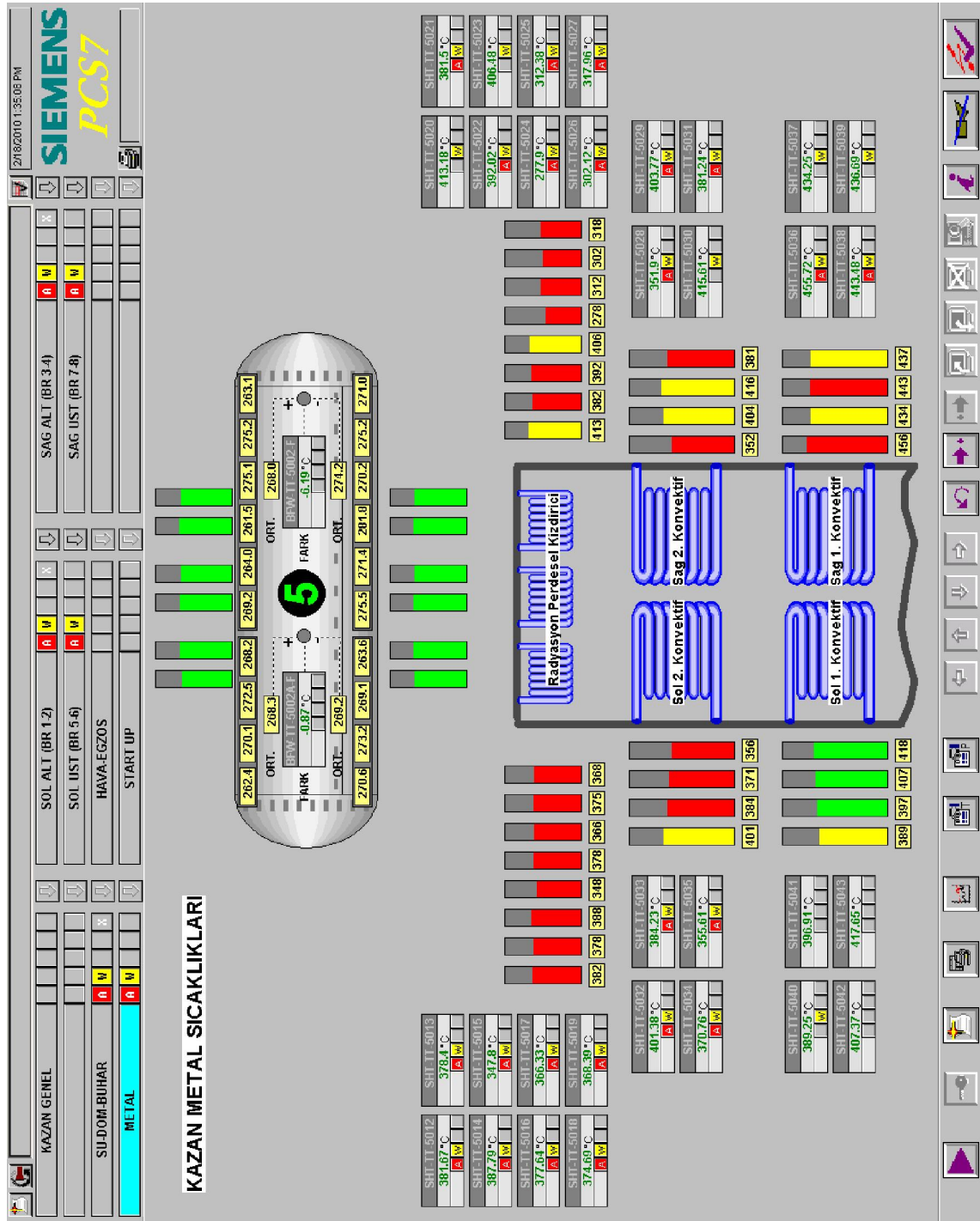
EK B : Yanma Kontrol Sistemi Proses Kontrol Diyagramları

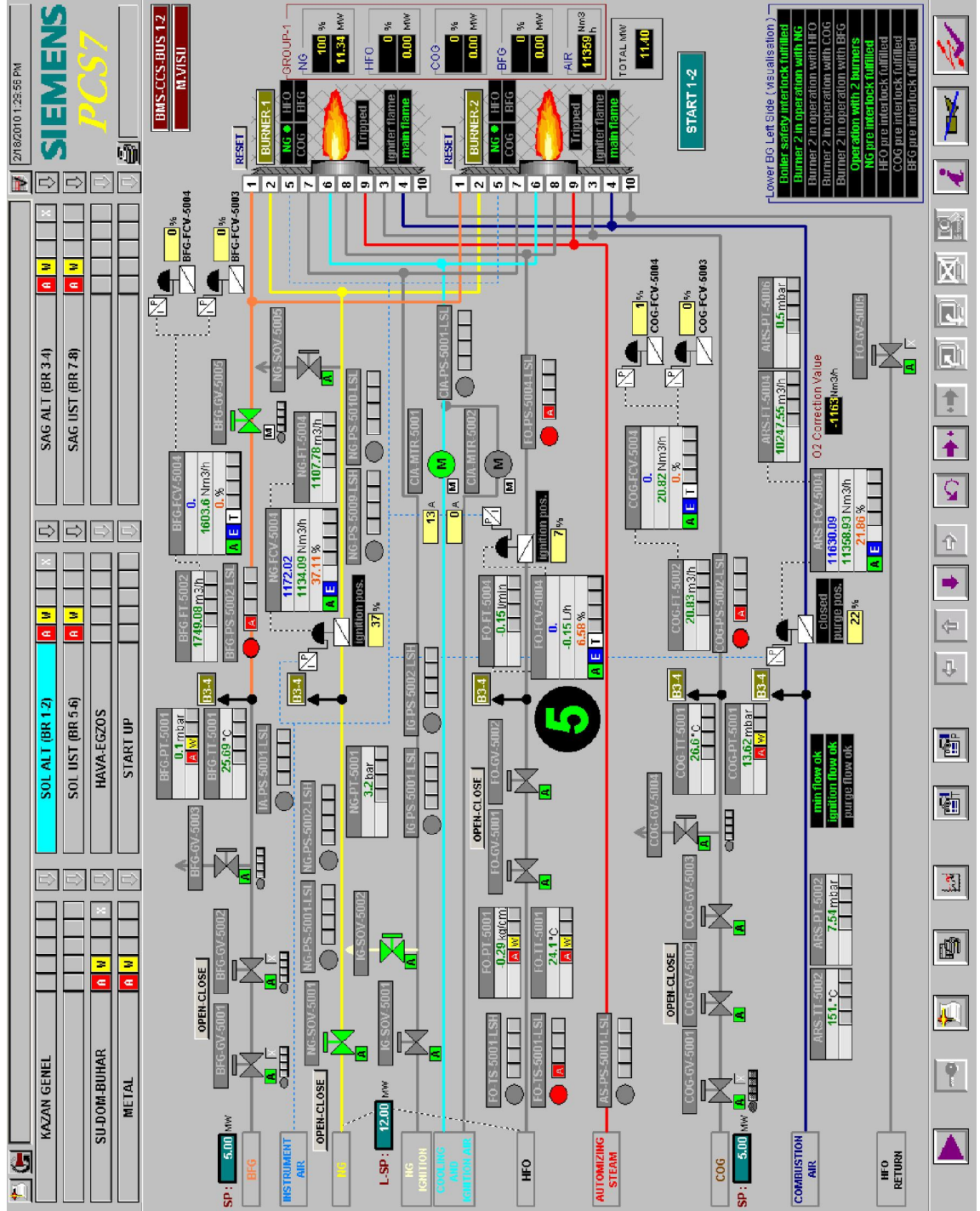


Şekil A.1 : Proses ekranında gösterilen nesneler ve açıklamaları.

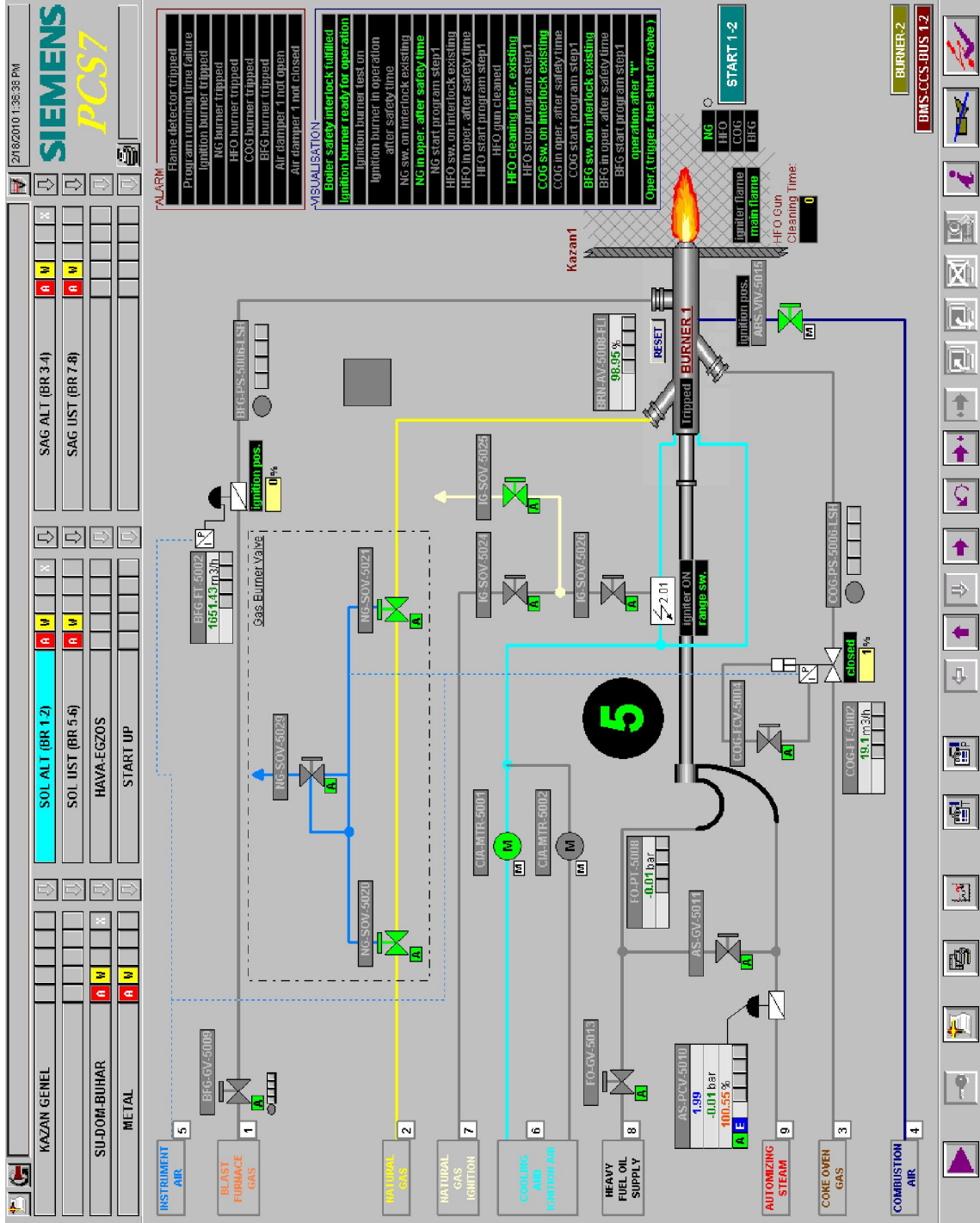


Şekil A.2 : Kazan genel görünüm ekranı.

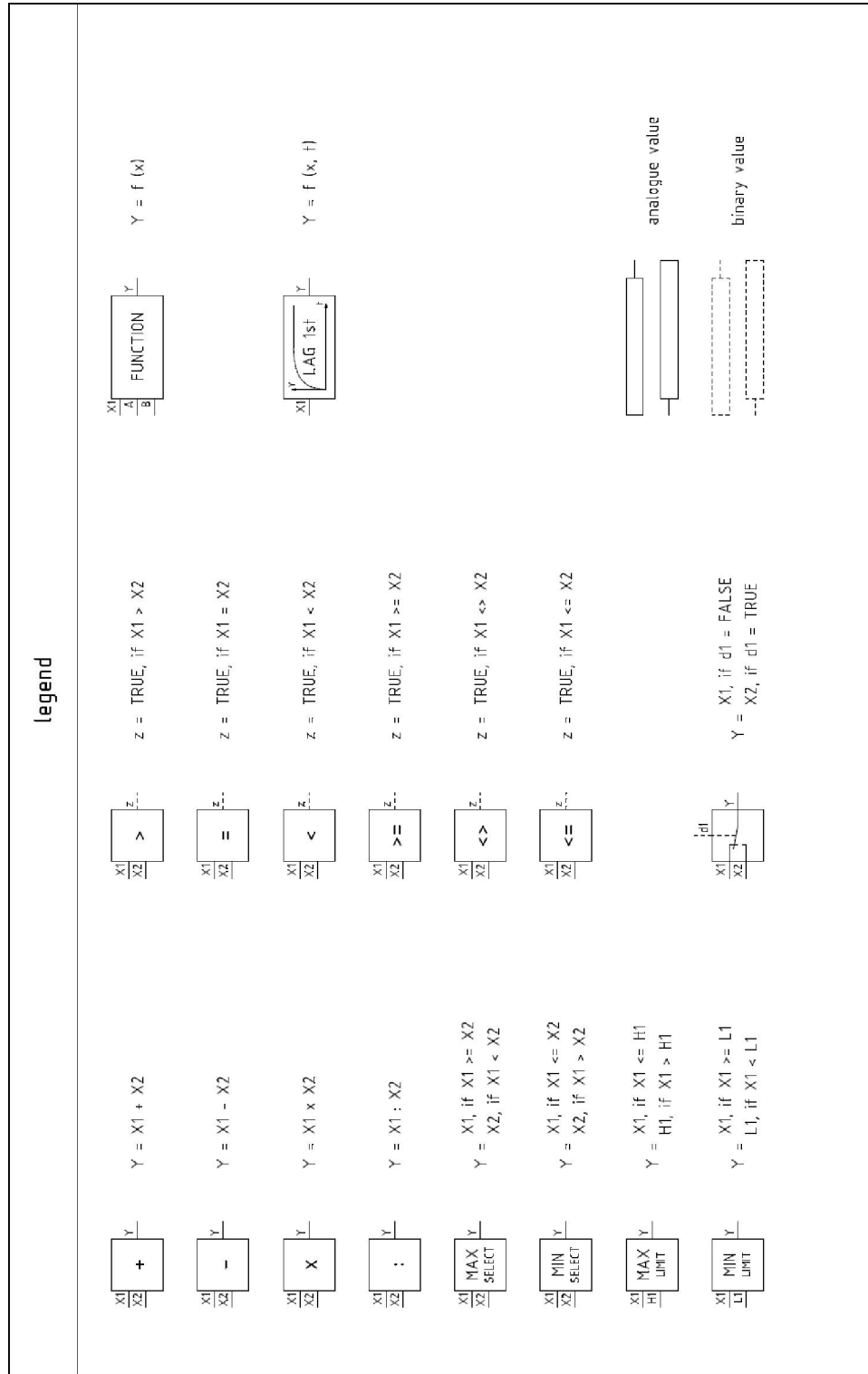




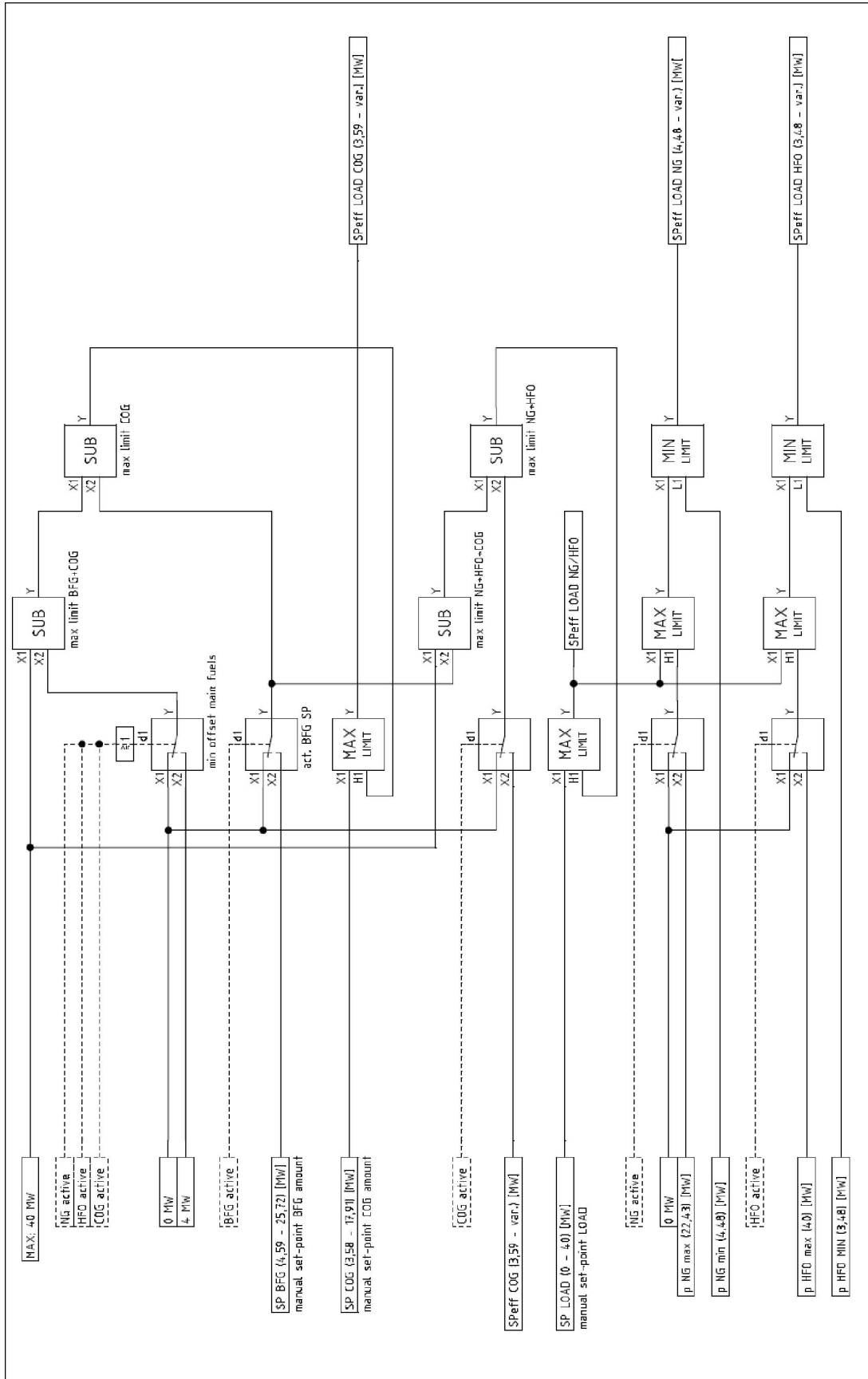
Şekil A.6 : Brülörlerin grup bazında gösterimi.



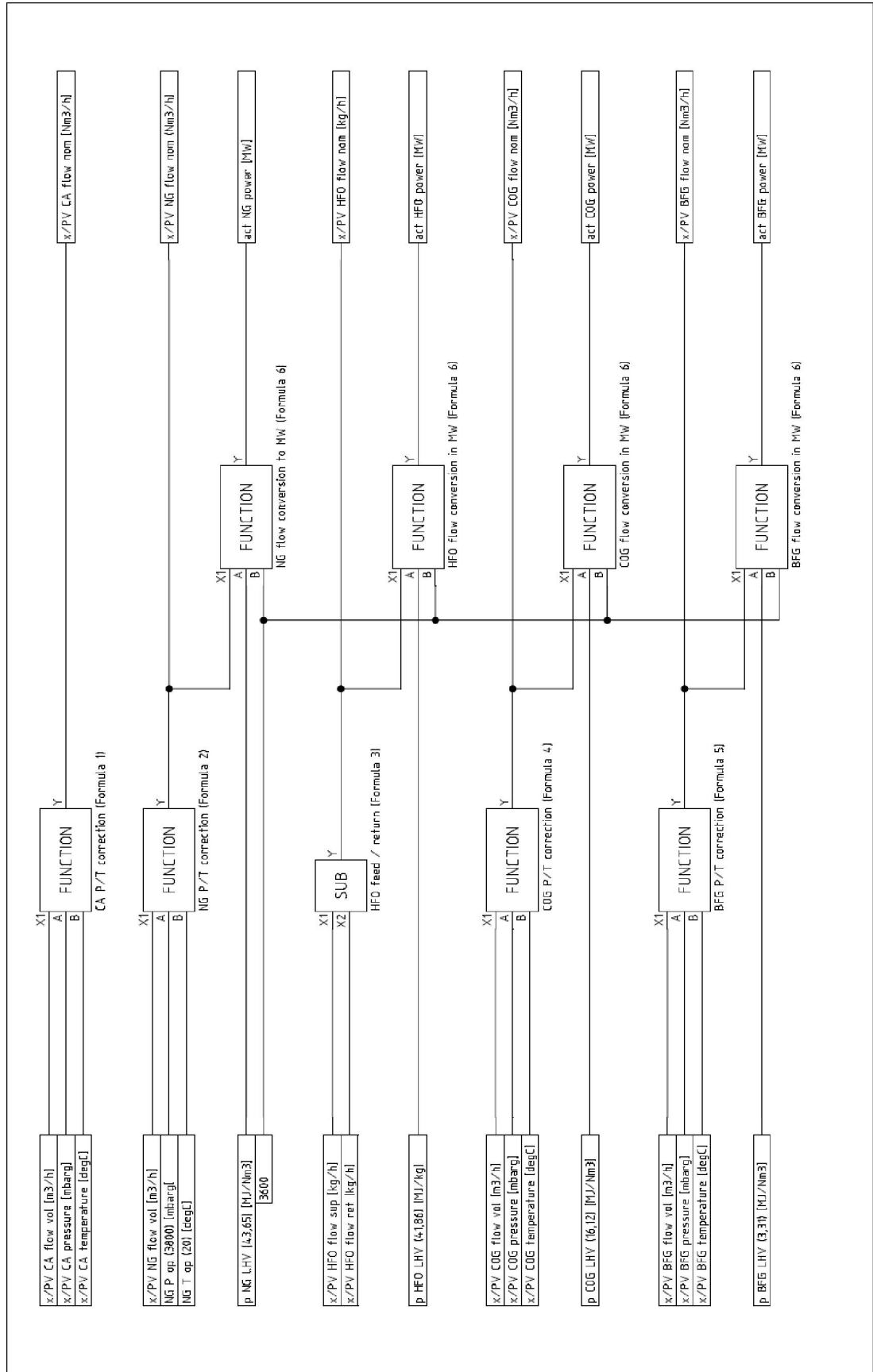
Şekil A.7 : Brülörlerin tekli operasyon gösterimi.



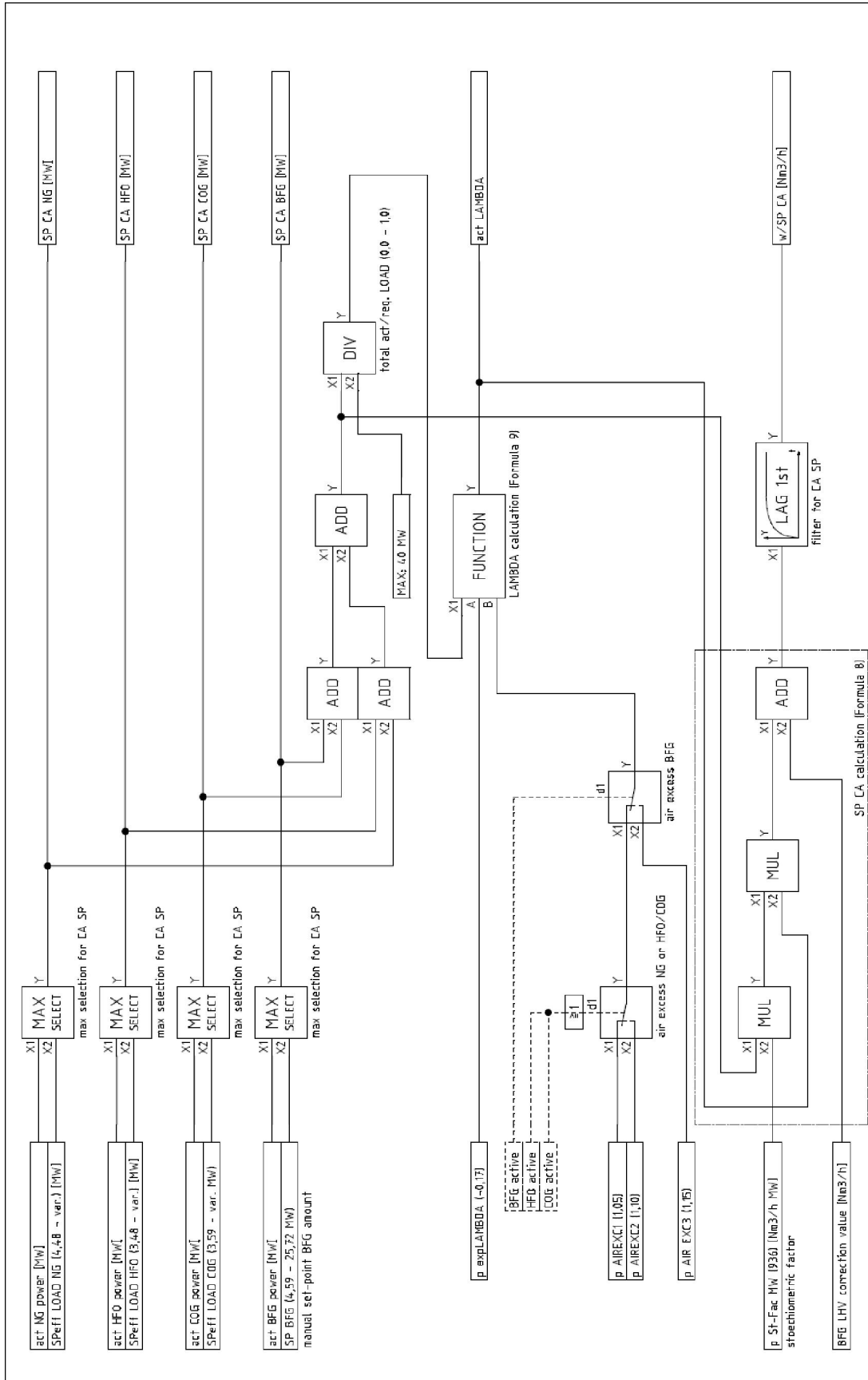
Şekil B.1 : Yanma kontrol diyagramı sembol açıklamaları.



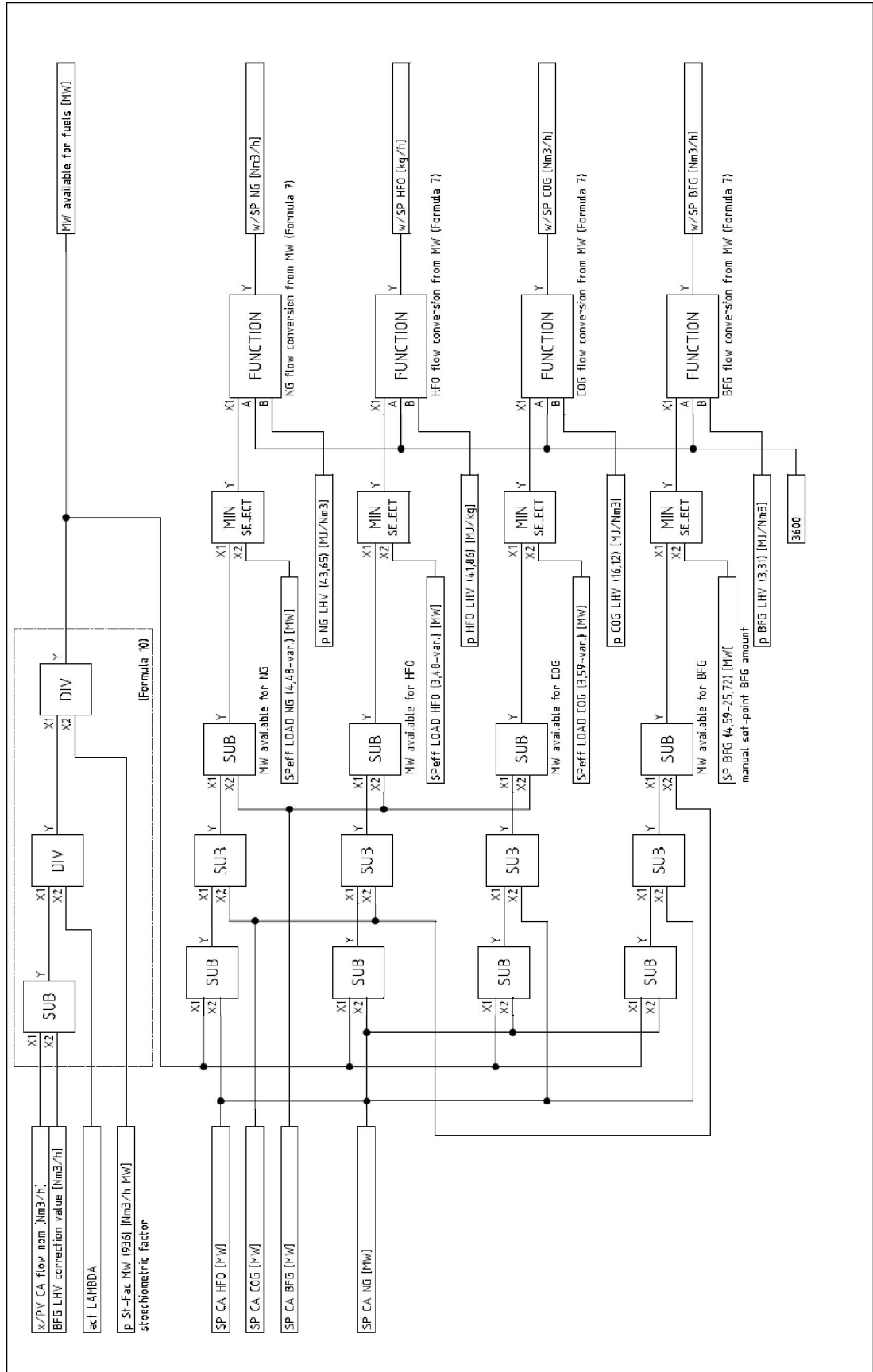
Şekil B.2 : Yanma kontrol diyagramı-1.



Şekil B.3 : Yanma kontrol diyagramı-2.



Şekil B.4 : Yanma kontrol diyagramı-3.



Şekil B.5 : Yanma kontrol diyagramı-4.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Hüseyin YEŞİLYURT
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul 08.06.1985
Adres : Büyükdere M. Topçu Karakol S. No: 64/2
Sarıyer / İSTANBUL
Lisans Üniversite : İTÜ Kontrol Mühendisliği