



DÜŞÜK KALİTELİ LİNYİT YAKITLI
AKIŞKAN YATAKLI TERMİK SANTRAL TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Aziz KÖMÜRCÜ

Yüksek lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2019

DÜŞÜK KALİTELİ LİNYİT YAKITLI AKIŞKAN YATAKLI TERMİK SANTRAL
TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Aziz KÖMÜRCÜ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üye Oğuzhan ERBAŞ

Mayıs-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Aziz KÖMÜRCÜ'nün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı DÜŞÜK KALİTELİ LİNYİT YAKITLI AKIŞKAN YATAKLI TERMİK SANTRAL TASARIMI VE OPTİMİZASYONU başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

24/05/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ramazan KÖSE
Bölüm Başkanı, Makina Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üye Oğuzhan ERBAŞ
Danışman, Makina Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Ramazan KÖSE
Makina Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Hüseyin TOPAL
Makina Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye Oğuzhan ERBAŞ
Makina Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi







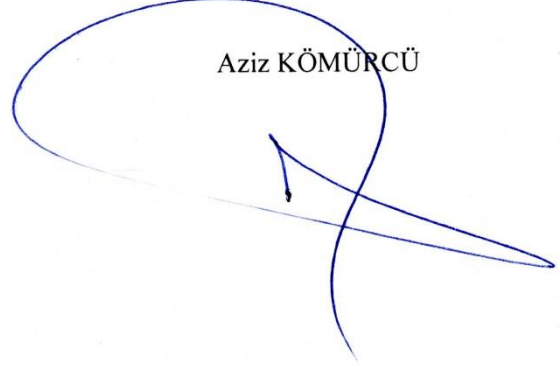




ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının 17 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.


Dr. Öğr. Üye Oğuzhan ERBAŞ


Aziz KÖMÜRCÜ

DÜŞÜK KALİTELİ LİNYİT YAKITLI AKIŞKAN YATAKLI TERMİK SANTRAL TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Aziz KÖMÜRCÜ

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üye Oğuzhan ERBAŞ

ÖZET

Dünya birincil enerji tüketiminde halen fosil yakıtlı elektrik üretim tesisleri önemini korumaktadır. Fosil yakıtlar içinde ise kömür kullanımı dikkati çekmektedir. Yerli kaynak olarak kömür yakıtlı güç santralleri ülkemiz açısından önemlidir. Ülkemizde bulunan pulverize yakma sistemine sahip termik santrallerin bir kısmı, yüksek kül, nem ve silis oranına sahip düşük kaliteli linyit kullanmaktadır. Bu nedenle, ülkemizdeki yerli yakıta dayalı termik santrallerin işletmeciliği oldukça zor olup farklı nedenlerden kaynaklı üretim kayıpları ve verim kayıpları meydana gelmektedir. Yakma sistemi seçimi yapılırken kazan yanma odası sıcaklığı, kül ergime sıcaklığı ve kömürde ki kül ve nem oranının değerlerine dikkat edilmelidir. Standart dışı düşük kaliteli yakıtları tam yanma koşullarına uygun ve içsel SO₂, NO_x emisyonu tutma özellikleri nedeniyle doğrudan yakabilecek en uygun teknoloji, genelde akışkan yatak, özelde ise dolaşımli akışkan yatak (DAY) yakma teknolojisidir

Bu çalışmada, düşük kaliteli linyit yakıtlı bir akışkan yataklı termik santral tasarımı öncesi; Kütahya ilinin Seyitömer ve Tunçbilek yöresinde bulunan kömürlerden alınan numunelerin elementel ve kısa analizleri, kül ergime, kazan dram suyunun, besleme suyu ve kondense suyunun analizleri yapılmıştır. Bir enerji dönüşüm sistemleri tasarım-modelleme programı olan "Thermoflex" kullanılarak Seyitömer yöresine ait düşük kaliteli linyit yakıtlı pülverize ve akışkan yataklı sistem olmak üzere iki farklı elektrik üretim santrali modellenmiştir. Modellenen termik santrallerde kullanılan yakıt değeri olarak; Kütahya yöresinden alınan üç adet numunenin analizleri yapılarak, çıkan değerlerin ortalaması alınmıştır. Tasarımda kullanılan düşük kaliteli linyit kömürünün ortalama analiz değerleri; ısıl değeri 1793 kcal/kg, nem oranı %37,78 ve kül oranı ise % 28,36' dır. Tasarım sonucunda modelleme çıktıları karşılaştırılmış, sistem verimi yüksek ve emisyon değerleri daha düşük olan akışkan yataklı termik santral için ayrıca beş farklı durum koşullarında duyarlılık analizleride yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akışkan yatak, Linyit yakıtlı termik santraller, Pülverize yakma sistemleri.

OPTIMIZATION AND DESIGNING OF A FLUIDIZED BED THERMAL POWER PLANT WITH LOW QUALITY LIGNITE

Aziz KÖMÜRCÜ

Mechanical Engineering, M. S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Oğuzhan ERBAŞ

SUMMARY

Fossil-fueled electricity generation plants are still important in world primary energy consumption. Among fossil fuels, the use of coal is remarkable. As a domestic resource, coal-fired power plants are important for our country. Some of the pulverized combustion power plants in our country use low quality lignite with high ash, moisture and silica content. Therefore, the operation of the domestic fuel-based thermal power plants in our country is quite difficult and generation losses and yield losses due to different reasons occur. When selecting the combustion system, boiler combustion chamber temperature, ash melting temperature and ash and moisture content of coal should be taken into account. The most suitable technology to burn non-standard low quality fuels directly to full combustion conditions and because of their internal SO₂, NO_x emission retention properties is generally fluidized bed, especially dolaşımli akışkan yatak (DAY) combustion technology.

In this study, before designing a fluidized bed thermal power plant with low quality lignite; elemental and short analyzes of samples taken from coals in Seyitömer and Tunçbilek region of Kütahya province, ash melting, boiler drum water, feed water and condensed water were analyzed. Using the energy conversion design/modeling software Thermoflex, two different power generation plants were modeled as Seyitömer region's low quality lignite fueled pulverized and fluidized bed system. As the fuel value used in the modeled thermal power plants; three samples taken from Kütahya region were analyzed and the values obtained were averaged. Average analysis values of low quality lignite coal used in design; its thermal value is 1793 kcal / kg, the moisture content is 37.78% and the ash content is 28.36%. As a result of the design, the modeling outputs were compared, sensitivity analyzes were carried out for five different case conditions for the fluidized bed power plant with high system efficiency and lower emission values and the results were evaluated.

Keywords: Fluidized bed, Thermal power plant with lignite coal fuel, Pulverized combustion power plants

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin gerçekleştirilmesinde çalışmalarımın her anında bilgi birikimiyle beni destekleyen, ilgi gösteren ve her konuda yardımını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ'a katkılarından ve desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Tez yazım aşamasında tüm bilgi birikimiyle desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım, Prof. Dr. Ramazan KÖSE ve Prof. Dr. Hüseyin TOPAL' a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu günlere gelmemde şüphesiz en büyük katkıları ve emeği olan, Lisans ve Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana maddi, manevi destek olan ve sevgilerini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli annem Aysel KÖMÜRCÜ ve babam Hasan KÖMÜRCÜ' ye sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek Lisans tez çalışmalarımın ve yazım aşamasında bana her türlü desteği sağlayan, maddi ve manevi destek olan eşim Hilal KÖMÜRCÜ ve kızım Aybike Aysel KÖMÜRCÜ' ye sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	8
3. DÜNYADA VE TÜRKİYE’ DE ENERJİ DURUMU	28
3.1. Dünya Enerji Tüketiminde Doğalgaz ve Kömürün Yeri	28
3.2. Türkiye’ de Elektrik Enerjisi	31
3.3. Türkiye Elektrik Üretiminde Kömür ve Doğalgaz.....	39
4. TERMİK SANTRALLERDE KÖMÜR YAKMA TEKNOLOJİLERİ.....	48
4.1. Sabit (Izgaralı) Yatakta Yakma Teknolojisi	49
4.2. Pülverize Kömür Yakma Sistemi	50
4.2.1. Pulverize kömür yakmada tasarım özellikleri.....	53
4.2.2. Buhar özelliklerine bağlı kazan sınıflandırılması	56
4.2.3. Gelişmiş ultra-süperkritik araştırmalar	67
4.3. Akışkan Yatakta Yakma Sistemi.....	67
4.3.1. Akışkan yatak ve akışkanlaştırma	71
4.3.2. Kömürün akışkan yatakta yakılması	73
4.3.3. Akışkan yatakta katı yakıt yanma verimleri.....	74
4.3.4. Akışkan yataklı yakma sistemlerinin sınıflandırılması	75
4.3.5. Akışkan yataklı yakma sisteminin avantajları.....	80
4.3.6. Akışkan yatakta yanmanın bazı sorunları	81
4.3.7. Akışkan yatakta düşük kaliteli yakıtların değerlendirilmesi ve emisyon	82
5. DÜŞÜK KALİTELİ LİNYİT YAKITLI TERMİK SANTRAL MODELLEMESİ	86
5.1. Kömür ve Su-Buhar Analizi.....	92
5.1.1. Kömür numunesinin kısa analizi.....	94
5.1.2. Kömür numunesinin elementel analiz.....	95

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
5.1.3. Kül ergime sıcaklığı tayini	96
5.1.4. Su-buhar analizi	99
5.2. Akışkan Yataklı Termik Elektrik Üretim Santrali Modellemesi.....	100
5.3. Pülverize Kazanlı Termik Elektrik Üretim Santrali	103
6. SEYİTÖMER YÖRESİNE AİT KÖMÜRÜN AKIŞKAN YATAKLI BİR TERMİK SANTRALDE KULLANIMININ PERFORMANS VE DUYARLILIK ANALİZİ	109
6.1. Akışkan Yataklı Güç Santraline Ait Duyarlılık Analizi.....	114
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	125
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	130

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı ve toplam tüketimdeki oranı	3
1.2. Fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri	3
2.1. Üç durum için net bugünkü değer	9
2.2. Üç durum için geri dönüş oranı.....	9
2.3. Polijenerasyon tesisinin genel şematik gösterimi.....	10
2.4. Deneysel santral şematik gösterimi.....	12
2.5. Singaz kimyasal döngülü entegre gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) santralinin şeması (Tasarım-1)	13
2.6. Kimyasal döngü hava ayrıştırma (CLAS), kalsiyum döngülü entegre gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) santralinin şeması (Tasarım-4)	14
3.1. Ülkemiz elektrik enerjisi kurulu gücü.....	36
3.2. 2017 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil kaynaklara göre dağılımı	41
3.3. Dünya kömür kaynak rezervlerinin kömür türü bazında dağılımı	43
3.4. Türkiye linyit, asfaltit ve taş kömürü kaynağı ve miktarlarını gösteren harita	45
3.5. Türkiye'nin önemli linyit sahaları ve kaynak rezerv miktarları (Milyon Ton).....	46
3.6. Türkiye toplam kömür kaynak rezervinin kömür türüne göre dağılımı	47
4.1. Pülverize yakma teknolojisine bağlı bir termik santral akış şeması.....	51
4.2. Termik santrallerde kullanılan pülverize kazan kesiti	54
4.3. İsogo Termik Santrali	55
4.4. Kazanda üretilen buhar özelliklerinin zamanla gelişimi	58
4.5. Buhar sıcaklığı ile Santral verim ve CO ₂ azalım oranının değişimi.....	59
4.6. Yakıt cinsine göre farklı kazan tipleri ve kazan boyutlarının karşılaştırması.....	62
4.7. Kazan kızdırıcı boru malzeme gelişimi.....	62
4.8. Bazı ülkelerde bulunan termik santrallerin ortalama termik verimlerinin karşılaştırılması.	64
4.9. Zaman içerisinde termik verim, buhar sıcaklığı ve basıncının gelişimi.....	65
4.10. İşletmede olan bazı termik santrallerin buhar karakteristikleri	66
4.11. Santral veriminin zaman içerisinde gelişimi	66
4.12. Akışkan yataklı kazanların gelişimi ve işletmede olan önemli santraller	69
4.13. Dolaşımli akışkan yataklı termik santral şeması	71
4.14. Kabarcıklı (A) ve dolaşımli akışkan yatak (B) şeması.....	76
4.15. Kabarcıklı akışkan yataklı kazan şeması.....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.16. Dolaşımli akışkan yataklı santral şeması	78
4.17. Dolaşımli akışkan yataklı kazan kesiti	79
5.1. Kazan içerisinde bulunan kızdırıcılardaki aşınma.	87
5.2. Değirmenlerde meydana gelen aşınma.	88
5.3. Kazan içerisinde meydana gelen cüruf.....	89
5.4. Kazanın külhan bölgesinde meydana gelen cüruf.....	90
5.5. Kazanın ekran duvarlarında bulunan yalıtım.	91
5.6. Kazanın ekran duvarlarında meydana gelen cüruf.....	91
5.7. Kazan kızdırıcıların da meydana gelen cüruf.....	91
5.8. Kömür numunesi hazırlama.	92
5.9. Kömür analizi.....	93
5.10. Hazırlanan kömür numunesinin kalorimetreye yerleştirilmesi.	95
5.11. Hazırlanan kül numunesinin ergime noktası ölçme cihazı.....	96
5.12. Modellenen akışkan yataklı termik elektrik üretim santrali akış şeması.....	102
5.13. Modellenen pülverize kazanlı termik elektrik üretim santrali akış şeması	105
6.1. Modellenen akışkan yataklı termik elektrik üretim santrali akış şeması.....	109
6.2. Akışkan yataklı yakma sisteminde kömür nem oranının net elektrik verimi ile değişimi	116
6.3. Akışkan yataklı yakma sisteminde kömür nem oranının net ısı oranı ile değişimi	116
6.4. Akışkan yataklı güç santralinde kondenser vakumunun net elektrik verimi ile değişimi ..	118
6.5. Akışkan yataklı yakma sisteminde kondense vakumun net güç ile değişimi.....	118
6.6. Akışkan yataklı yakma sisteminde buhar basıncının, net elektrik verimi ile değişimi	120
6.7. Akışkan yataklı yakma sisteminde buhar basıncının, net güç ile değişimi	120
6.8. Akışkan yataklı yakma sisteminde, buhar HX2 çıkış sıcaklığının net elektrik verimi ile değişimi.....	122
6.9. Akışkan yataklı yakma sisteminde buhar HX2 çıkış sıcaklığının net güç ile değişimi.....	122
6.10. Akışkan yataklı yakma sisteminde yakıt besleme sıcaklığının net elektrik verimi ile değişimi.....	124
6.11. Akışkan yataklı yakma sisteminde yakıt besleme sıcaklığının net güç ile değişimi	124

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Dünya birincil enerji tüketimi (MTEP).....	4
1.2. Bazı ülkelerin 2015 yılı elektrik üretim değerleri	5
3.1. Bölgelere göre dünya kanıtlanmış doğal gaz rezervi	29
3.2. Bölgelere göre kanıtlanmış kömür rezervleri ve 2015 yılı kömür tüketimleri.....	30
3.3. Bazı ülkelerin kanıtlanmış kömür rezervleri	30
3.4. Bazı ülkelerin kaynak bazında 2015 yılı elektrik üretim oranı (%)	31
3.5. Türkiye elektrik enerjisi görünümü (GWh)	32
3.6. Kaynak bazında Türkiye elektrik enerjisi üretimi (GWh).....	33
3.7. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (GWh).....	34
3.8. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü (MW)	35
3.9. Ülkemiz elektrik enerjisi kaynak bazında kurulu gücü oranları.....	37
3.10. Türkiye elektrik sistemi kuruluş ve kaynaklara göre kurulu güç (2018 Yılı Eylül Sonu İtibariyle).....	38
3.11. Ülkemiz termik santral kurulu gücü dağılımı (MW)	39
3.12. 2017 yılı Türkiye toplam elektrik üretim ve tüketimi	40
3.13. 2017 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil kaynaklara göre dağılımı	40
3.14. Yerli kömür yakıtlı işletmedi ki elektrik üretim tesisleri.....	42
4.1. Kömür yakma sistemleri ve özellikleri	49
4.2. İsoğ Termik Santraline ilişkin işletme değerleri.....	55
4.3. Sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği kapsamında büyük yakma tesislerine izin verilen emisyon sınır değerleri.....	56
4.4. Buhar karakteristiklerine göre kazan sınıflandırması.....	57
4.5. Kritik altı (Sub Critical) ile kritik üstü (Süper-Critical) sistemlerin karşılaştırılması.....	57
4.6. Kritik Altı (Sub Critical), Kritik Üstü (Süper Critical) ve Ultra-superkritik kazanların genel özellikleri.....	61
4.7. Kömürün yanma reaksiyonları tepkimeleri.....	74
5.1. Seyitömer yöresine ait linyit kömür analiz değerleri	97
5.2. Tunçbilek yöresine ait linyit kömür analiz değerleri.....	98
5.3. Kazan su-buhar analiz değerleri.....	99
5.4. Ön tasfiye edilmiş su analizleri	100
5.5. Pülverize yakma ve akışkan yataklı yakma sistemlerinin genel karakteristikleri	106
5.6. Pülverize yakma ve akışkan yataklı yakma sistemlerinin karşılaştırılması.....	107

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.7. Pülverize yakma ve akışkan yataklı yakma sistemlerinin emisyon değerlerinin karşılaştırılması	108
6.1. Seyitömer yöresine ait kömür analiz değerleri.....	111
6.2. Akışkan yataklı güç santraline ait genel özellikler	112
6.3. Akışkan yataklı güç santraline ait özellikler	113
6.4. Akışkan yataklı güç santraline ait emisyon değerleri.....	114
6.5. Farklı yakıt nem oranı değerleri temel alınarak yapılan duyarlılık analiz değerleri	115
6.6. Kondenser vakum basınç değerleri temel alınarak duyarlılık analiz değerleri	117
6.7. Buhar basıncı değeri temel alınarak yapılan duyarlılık analiz değerleri	119
6.8. HX2 buhar sıcaklığı için duyarlılık analiz değerleri	121
6.9. Yakıt besleme sıcaklığı için duyarlılık analiz değerleri.....	123
7.1. Tasarımda kullanılan Seyitömer kömür analiz değerleri.....	126
7.2. Modellenen tesislerin emisyon değerleri	127
7.3. Modellenen tesislerin genel karakterestik değerleri.....	127

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Q _{ir}	İç tüketim ısısı
V _f	Akışkanlaştırma hızı, (m/sn)
W	Hava miktarı, (kg/sn)
T _b	Yatak sıcaklığı, (°C)
A	Yatak alanı, (m ²)
C	Yatak basıncı, (atm)
T	Yatak sıcaklığı, (°C)
T ₀	Başlangıçtaki yatak sıcaklığı (°C)
t	Yakıtın kesildiği andan başlayarak ölçülen zaman (sn)
P91	Yüksek basınçlı kazan borusu
P92	Yüksek basınçlı kazan borusu
<u>Kisaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
DAY	Dolaşımli Akışkan Yatak
DAYK	Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazan
TWh	Terawatt Saat
GWh	Gigawatt Saat
MWe	Megawatt Saat
kWh	Kilowatt Saat
TES	Termik Elektrik Üretim Santrali
HES	Hidrolik Elektrik Üretim Santrali
LNG	Sıvılaştırılmış Doğalgaz
MTA	Maden Tetkik ve Arama
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
TP	Türkiye Petrolleri
DSİ	Devlet Su İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu
A-USC	Gelişmiş Ultra-Süperkritik
USC	Ultra-Süperkritik
ESP	Elektro Statik Filtre
SC	Süperkritik

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
T-S eğrisi	Sıcaklık Entropi Eğrisi
AID	Alt Isıl Değeri
ÜID	Üst Isıl Değeri
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
DKL	Düşük Kaliteli Linyit



1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye’de enerji tüketiminin artması ile birlikte, enerjinin verimli kullanılması, enerji üretiminden kaynaklı çevre kirliliği, birincil enerji kaynaklarının maliyeti, emisyon oranların ulusal ve uluslararası normlara uygun hala getirilmesi, aynı zamanda sürdürülebilir ve yönetilebilir bir enerji politikası ve üretimi, enerji güvenliği, yerli enerji kaynaklarının ekonomiye kazandırılması ve enerjinin arz-talebi gibi hususlar büyük önem kazanmıştır. Sosyo-ekonomik yaşamın ve ulusal güvenliğin sürdürülebilirliği, günümüzde doğrudan enerji arz güvenliğine ve sürdürülebilirliğine bağımlı hala gelmiştir. Ayrıca günümüz dünyasında ülkelerin kendi güvenliklerini sağlamanın ilk şartı enerji güvenliği olmuştur. Gelişmiş ekonomilerde elektrik arzındaki artış yavaş olmakla birlikte, üretim kaynaklarındaki çeşitlenme nedeniyle ciddi yatırım ve altyapı ıslahı önemini korumaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı üyesi 30 ülkeden 18’inde elektrik tüketimi 2010 yılından bu yana düşmüştür. Gelecekte, elektrik üretim sektöründeki büyüme oranı, ısınma ve ulaşımda elektrik kullanımındaki artışın hızına bağlı olacaktır. Kalkınmakta olan ekonomilerde elektrik talebinin çok büyük oranda artması nedeniyle ucuz elektriğe erişim, ekonomik kalkınma ve sera gazı salınımlarının azaltılması hedeflerinin odağında yer almaktadır.

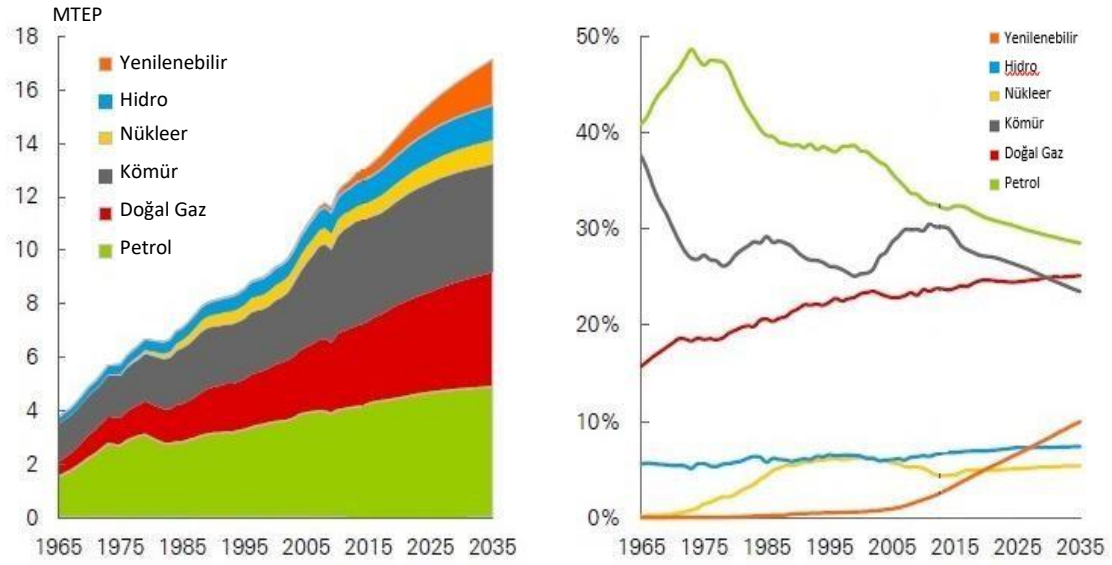
Dünya birincil enerji tüketiminin artmasına neden olan temel etkenlerin başında nüfus ve gelir artışı gelmektedir. Nüfus artışının gelişmekte olan sanayi ve kentleşmelere bağlı olarak küresel enerji talep artışına önemli miktarda etki edeceği öngörülmektedir. Bununla birlikte, artan gelir düzeyiyle, 2040 yılına kadar 1,7 milyar insan, kalkınmakta olan ekonomilerde kentsel nüfusa katılarak küresel enerji talebini, 1/4 oranında yükseltmesi öngörülmektedir. Enerji verimliliği bağlamında alınacak önlemler sayesinde söz konusu talep artışı, normalin yarısında kalmaktadır. Enerji talebindeki artışın tamamı başta Hindistan olmak üzere kalkınmakta olan ekonomilerden kaynaklanmaktadır. 2000 yılında küresel enerji talebinin Avrupa ve Kuzey Amerika ülkeleri % 40’ını, Asya ülkeleri %20’sini tüketirken 2040’ta bu durum tam tersine dönecektir (<https://www.dunyaenerji.org.tr/wec-yayinlari/>; Dünya Enerji Görünümü 2018).

Birincil enerji kaynağı olarak kömür tüketimi, iki yıl art arda düştükten sonra 2017’de yeniden eski seviyesine gelmiştir. Yeni termik santraller için yatırım planları geçmişte olduğunun aksine düşük seviyede seyretmektedir. Bununla birlikte, termik santraller Asya ülkelerinde 15, gelişmiş ülkelerde 40 yıl hizmet verdikleri öngörüsüyle, kömür enerji sepetindeki önemli yerini korumaya devam etmektedir. Yeni politikalar çerçevesinde Çin, Avrupa ve Kuzey Amerika’da kömür tüketimindeki düşüşler Hindistan ve Güneydoğu Asya’daki artışları telafi etmektedir

(<https://www.dunyaenerji.org.tr/wec-yayinlari/>; Dünya Enerji Görünümü 2018; <https://www.iea.org/weo2018/>).

Yapılan senaryolara göre, 2040 yılına kadar olan dönemde fosil yakıtların paylarının nispeten azalmasına rağmen bu yakıtlar hâkim kaynaklar olmaya devam edecektir. Nükleer enerjinin birincil enerji kaynakları içindeki payının artacağı öngörülmekte ve yenilenebilir enerji kaynaklarının da 2040 yılındaki payının % 16,1 olacağı beklenmektedir. Mevcut politikalar senaryosuna göre küresel elektrik talebinin 2040 yılına kadar yıllık ortalama % 2,3 olmak üzere % 80 oranında artacağı beklenmektedir. Yenilenebilir kaynakları yıllık ortalama % 9,8 büyüme payları ile en hızlı büyüme oranına sahip enerji kaynaklarıdır. Nükleer enerji yıllık ortalama % 2,3 ve hidroelektrik yıllık ortalama % 1,8 büyüme oranına sahip olacaktır. Bu üç kaynağın büyüme oranı, toplam birincil enerjinin büyüme oranından daha fazladır (<https://www.dunyaenerji.org.tr/wec-yayinlari/>; <https://www.iea.org/weo2018/>; ve Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017).

Fosil yakıtlar arasında en fazla büyüme oranına sahip olan kaynak yıllık ortalama %1,5 büyüme oranı ile doğal gazdır. Doğal gazı sırasıyla yıllık ortalama %0,4 ve %0,2 büyüme oranları ile petrol ve kömür izlemektedir. Dünya birincil enerji talebinin kaynaklara göre ve toplam tüketim içerisindeki payları Şekil 1.1' de verilmiştir (<https://www.dunyaenerji.org.tr/wec-yayinlari/>; <https://www.iea.org/weo2018/>) ve Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017). Şekil 1.1' de dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı ve toplam tüketimdeki oranı verilmiştir. Şekil 1.1 ' de dünya birincil enerji tüketiminde kömür tüketiminin oranı önümüzdeki 15 yılda azalsada önemini korumaktadır.



Şekil 1.1. Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı ve toplam tüketimdeki oranı.

Şekil 1.1’ de görüldüğü üzere dünya birincil enerji kaynağı olarak fosil yakıtların toplam tüketim içerisinde oranı düşse de 2035 yılına kadar yoğun olarak kullanılmaya devam edilecektir. Dünya birincil enerji tüketiminde fosil yakıtların büyük oranda kullanımı devam etmesinden dolayı da, fosil yakıt rezervleri hızla azalmakta olup özellikle petrol ve doğal gaz rezervleri kritik seviyelere yaklaşmaktadır. Şekil 1.2’ de dünya kömür, doğal gaz ve petrol rezervlerine ilişkin bilgi verilmiştir (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017).



Şekil 1.2. Fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri.

Dünyadaki toplam petrol rezervleri 1,7 trilyon varil civarında olup bu miktar, yaklaşık 51 yıllık tüketimi karşılamaktadır. Dünya doğal gaz rezervi 2015 yılı sonunda 187 trilyon m³ olarak belirlenmiş olup bu miktar küresel üretimi 53 yıl gibi bir süre boyunca karşılamak için yeterlidir.

Dünya kömür rezervleri küresel üretimi 114 yıl boyunca karşılamaya yeterli olup tüm yakıtlar arasında en yüksek rezerv üretim oranına sahiptir. Amerika en fazla yerel rezerve sahip ülke olup, arkasından Rusya ve Çin gelmektedir (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017). Çizelge 1.1’de görüldüğü gibi 2015 yılı dünya birincil enerji tüketimi sıralamasında Türkiye % 1,0 oran ve 126,9 Milyon Tep ile 19. sırada bulunmaktadır. 2015’de, Çin 3.014,0 MTEP ile ilk sırada, ABD 2.280,62. MTEP ile ikinci sırada, Hindistan ise 700,5 MTEP ile üçüncü sırada bulunmaktadır. Hindistan’ı ise sırayla Rusya, Japonya ve Kanada takip etmektedir. İlk beşte bulunan Çin, ABD, Hindistan, Rusya ve Japonya’ nın toplam birincil enerji tüketimleri 7.110,4 MTEP’ dir. Bazı ülkelerin birincil enerji tüketimleri Çizelge 1.1’ de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Dünya birincil enerji tüketimi (MTEP) (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü (2017).

ÜLKE	2013	2014	2015	Dünya Toplamındaki Payı (%)	Sıra
Çin	2.903,9	2.970,3	3.014,0	22,9	1
ABD	2.271,7	2.300,5	2.280,6	17,3	2
Hindistan	626,0	666,2	700,5	5,3	3
Rusya	688,0	689,8	666,8	5,1	4
Japonya	465,8	453,9	448,5	3,4	5
Kanada	335,0	335,5	329,9	2,5	6
Almanya	325,8	311,9	320,6	2,4	7
Brezilya	290,0	297,6	292,8	2,2	8
Güney Kore	270,9	273,1	276,9	2,1	9
İran	247,6	260,8	267,2	2,0	10
Suudi Arabistan	237,4	252,4	264,0	2,0	11
Fransa	247,4	237,5	239,0	1,8	12
Endonezya	175,0	188,3	195,6	1,5	13
Birleşik Krallık	201,4	188,9	191,2	1,5	14
Meksika	188,9	190,0	185,0	1,4	15
İtalya	155,7	146,8	151,7	1,2	16
İspanya	134,2	132,1	134,4	1,0	17
Avustralya	130,7	129,9	131,4	1,0	18
Türkiye	120,3	123,9	126,9	1,0	19
Tayland	120,3	123,4	124,9	0,9	20
Güney Afrika	124,6	128,0	124,2	0,9	21
Tayvan	109,9	111,4	110,7	0,8	22
BAE	97,2	99,0	103,9	0,8	23
Polonya	96,0	92,4	95,0	0,7	24
Ukrayna	114,7	101,0	85,1	0,6	25
TOPLAM	12.873,1	13.020,6	13.147,3	100,0	

Dünyada birincil enerji kaynakları genel olarak ulaşımda, ısınmada, elektrik üretiminde ve sanayide kullanılmaktadır. Birincil enerji kaynaklarının büyük bir oranı ise dünyada elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın ilgili olduğu alan ise birincil enerji

kaynaklarının elektrik enerjisi üretiminde kullanım alanıdır. Bu nedenle Çizelge 1.2' de bazı ülkelerin elektrik üretim değerleri verilmiştir. Çizelge 1.2' ye göre 2015 yılında Türkiye 261,8 TWh elektrik üretim ile 17. sırada bulunmaktadır. İlk beş sırada ise Çin, ABD, Hindistan, Rusya ve Japonya bulunmaktadır. Çin 5810,6 TWh elektrik üretim ile ilk sırada, ABD 4303,0 TWh elektrik üretim ile ikinci sırada, Hindistan 1304,8 TWh elektrik üretim ile üçüncü sırada, Rusya 1063,4 TWh elektrik üretim ile dördüncü sırada ve Japonya ise 1035,5 TWh elektrik üretim ile beşinci sırada bulunmaktadır. Mısır 180,6 TWh elektrik tüketimi ile listede son sırada bulunmaktadır.

Çizelge 1.2. Bazı ülkelerin 2015 yılı elektrik üretim değerleri (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017).

ÜLKE	Miktar (TWh)	Dünya Toplamındaki Payı (%)	SIRA
Çin	5.810,6	24,1	1
ABD	4.303,0	17,9	2
Hindistan	1.304,8	5,4	3
Rusya	1.063,4	4,4	4
Japonya	1.035,5	4,3	5
Almanya	647,1	2,7	6
Kanada	633,3	2,6	7
Brezilya	579,8	2,4	8
Fransa	568,8	2,4	9
Güney Kore	522,3	2,2	10
Birleşik Krallık	337,7	1,4	11
Suudi Arabistan	328,1	1,4	12
Meksika	306,7	1,3	13
İran	281,9	1,2	14
İtalya	281,8	1,2	15
İspanya	278,5	1,2	16
Türkiye	261,8	1,1	17
Tayvan	258,0	1,1	18
Avustralya	253,6	1,1	19
Güney Afrika	249,7	1,0	20
Endonezya	234,7	1,0	21
Mısır	180,6	0,7	22
TOPLAM	24.097,7	100	

Dünyada var olan birincil enerji kaynaklarına bakıldığında fosil yakıtlar dikkati çekmektedir. Fosil yakıtlar içerisinde petrol ve doğalgazın mevcut tespit edilen rezervlerinin ise önümüzdeki 50 yıl içerisinde tükenmesi söz konusudur. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar son zamanlarda hız kazansa da fosil yakıtlardan elde edilen enerjiyi karşılayamamaktadır. Dünya birincil enerji tüketiminde fosil yakıt olarak kömür ise önemini halen korumakta olup, mevcut rezervler ise önümüzdeki 100 yılda da yeterlidir. Ülkeler enerji ihtiyaçlarına karşılama adına farklı yollar aramaktadırlar. Yenilenebilir enerji üretim teknolojisi, enerji depolama sistemleri, hibrit ya da entegre sistemler üzerine ciddi yatırımlar yapılsa da günümüzün enerji talebine cevap verebilecek boyutta değildir. Özellikle, son zamanlarda ulaşım ve ısınmada meydana gelen enerji talebinin artması ve ilerleyen zamanlarda elektrikli araçların daha yaygın kullanılmaya başlanması gibi şartlarda değerlendirildiğinde enerji arz güvenliği daha da önemli hale getirmektedir. Dünyada enerji arzının yanında enerji güvenliği de önem kazanmıştır. Günümüzde ise birçok bölgede ülkelerin kendi enerji güvenliğini sağlayabilme adına farklı politikalar geliştirilmekte ve bazen bu durum ülkeleri karşı karşıya getirebilmektedir. Enerji güvenliğini sağlamanın yolları, enerji çeşitliliğini artırmak, enerjiyi daha verimli kullanmak, alternatif enerji kaynaklarından faydalanmak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ya da var ise yerli enerji kaynaklarını ekonomiyeye kazandırmaktır. Ülkemiz ise birincil enerji kaynakları tedariki noktasında ithalata bağımlı haldedir. Ülkemizde dikkate değer petrol ve doğalgaz rezervi hâlihazırda tespit edilmiş değildir. Ancak ülkemizde 1,5 milyar ton civarında, Zonguldak ilimizde taş kömürü ve ülkemizin farklı bölgelerinde tespit edilmiş yaklaşık olarak 17 milyar ton düşük kaliteli linyit rezervi bulunmaktadır. Ülkemiz de bulunan düşük kaliteli linyitler ağırlıklı olarak elektrik üretim santrallerinde kullanılmaktadır. Bu durum ülkemizi enerji arzı noktasında farklı alternatifler ve politikalar geliştirmeyi zorlamaktadır. Diğer taraftan Türkiye gibi ülkeler için enerji arzı ülke güvenliği açısından önemli hale gelmiştir. Bu değerlendirmeler çerçevesinde; ülkemiz açısından baktığımızda enerji arz güvenliğimizi, ithal edilen enerji kaynaklarının ithal edildiği ülke sayısını artırmak, ülkemizde enerji verimliliği hususunda politikalar geliştirmek, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, alternatif enerji kaynaklarına yönelmek ya da düşük kalite linyit rezervlerimizi zaman geçmeden çevreye daha çok duyarlı ve daha verimli olan yeni nesil yakma teknolojileri ile elektrik üretim tesisleri kurarak ekonomimize kazandırmak olmalıdır. Bu değerlendirmeler çerçevesinde esas olan enerji arz güvenliğinde yerli ve milli kaynaklara yönelmek olmalıdır. Ülkemizin enerji arz güvenliğinin sağlanması açısından, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, akarsu imkanları olan bir ülke olarak biriktirmeli ve nehir tipi hidroelektrik santrallerden faydalanmak ve yaygınlaştırmak, hibrit ya da entegre elektrik üretim tesisleri kurmak (biriktirmeli HES' lerde dubalı güneş elektrik santrali vb.), tüketimin olduğu

noktada mikro yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesisleri kurmak, ve ülkemizde bulunan taş kömürü ile düşük kaliteli linyit sahalarımızı zaman geçmeden ekonomimize katmak gibi yerli kaynaklar değerlendirilmelidir. Bu kapsamda baktığımızda ülkemizde son on yılda yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim santrali kurulu gücünde ve üretilen toplam elektrikte yenilenebilir enerji oranında, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırım ve teşviklerden dolayı önemli artışlar olmuştur. Bu gelişim ile paralel olarak yenilenebilir elektrik üretim santrallerinde kullanılan elektromekanik ekipmanların ülkemiz de üretimi noktasında da gelişmeler sağlanmıştır. Ancak bunlar ülkemizin enerji arz güvenliğine katkı sağlasa da yeterli seviyelere ulaşmamıştır. Ülkemizde bulunan hidrolik kaynaklardan büyük oranda enerji üretimi noktasında faydalanılmaktadır. Diğer önemli bir yerli kaynak ise, ülkemizin farklı bölgelerinde bulunan düşük kaliteli linyit kömür rezervleridir. Ülkemizde hali hazırda toplam 9842 MWe kurulu gücünde işletmede olan linyit yakıtlı elektrik üretim tesisi bulunmaktadır. Bununla birlikte linyit rezervlerimiz olduğu bölgelerde özel sektör ve kamu tarafından yeni termik santrallerin kurulması için ön çalışmalar yapılmaktadır. İşletmede olan linyit yakıtlı eski termik santrallerde ise kapsamlı yenilenme ve revizyonlar planlanmaktadır. İşletmede olan linyit yakıt termik santrallerin büyük bir kısmı ise pülverize yakma sistemine dayalı elektrik üretim tesisleridir. Ancak son yıllarda işletmeye giren, Eskişehir’ de inşaa edilen Yunus Emre TES, Adana ‘da inşaa edilen Tufanbeyli TES, Bolu’ da inşaa edilen Bolu Göynük TES, Çanakkale’ de inşaa edilen Can-2 TES ve aynı zamanda Manisa’ da inşaa edilen Soma TES akışkan yataklı yakma sistemine dayalı elektrik üretim tesisleridir. Son yıllarda kurulan termik santrallerde akışkan yakıtlı teknolojinin tercih edilmesinin sebebi ülkemizde bulunan düşük kaliteli linyit yakıtları için en ideal yakma sistemi olması ve akışkan yataklı yakma sisteminde son yıllardaki teknolojik gelişmelerdir. Bu çalışmada ise; Kütahya yöresinde bulunan linyit kömürlerinin analizleri, yanma sonucu meydana gelen külün analizleri ve aynı zamanda bir termik santralde kullanılan besleme suyuna ilişkin analizler yapılmıştır. Daha sonra yapılan kömür ve kül analiz sonuçlarına göre Kütahya yöresinde Thermoflex programı kullanılarak yerli linyit kömürü yakan, pülverize yakma sistemine dayalı termik santral ile akışkan yataklı yakma sistemine dayalı termik santral modellenmiştir. Thermoflex programından her iki farklı tesis içine çıkan sonuçlar değerlendirilmiş ve raporlanmıştır. Daha sonra yine Thermoflex programı kullanılarak modellenen ve termik verimi yüksek çıkan akışkan yataklı yakma sistemine dayalı termik santral için beş farklı durum için duyarlılık analizi yapılmış olup çıkan sonuçlar değerlendirilmiş ve raporlanmıştır.

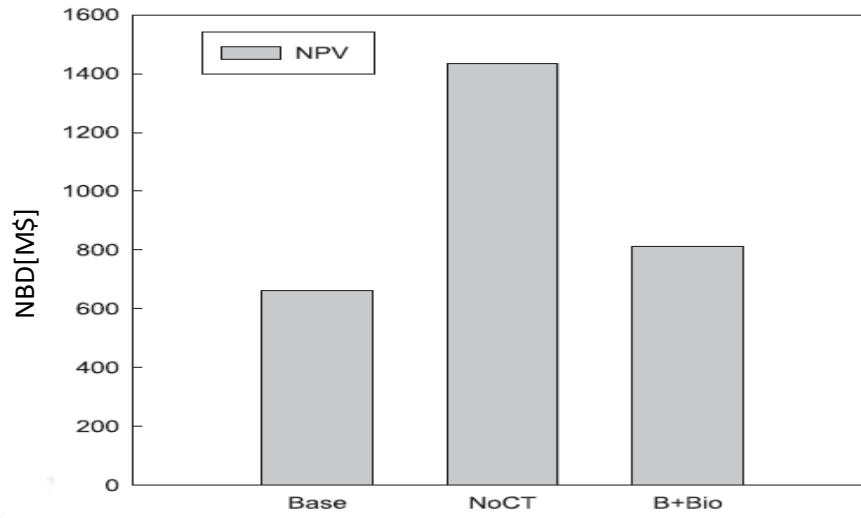
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Gürtürk ve Öztop, işletmede olan bir kojenerasyon güç santralının enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Enerji ve ekserji analizi yaptıkları Kojenerasyon güç santrali tarafından üretilen buhar, tuz üretimi için kullanılmaktadır ve kojenerasyon güç santralının en önemli kısmı dolaşımli akışkan yataklı kazandır. Dolaşımli akışkan yataklı kazanın enerji ve ekserji verimliliğini sırasıyla % 84,65 ve % 29,43 olarak bulmuşlardır. Çalışmalarında, kojenerasyon güç santralının otomasyon sistemi yetersiz olduğunu tespit etmişlerdir. Güç santralının ekserji verimliliğini % 20 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca enerji kaybını artıran bazı tasarım parametreleri tespit etmişlerdir. Bu çalışmalarında aşağıdaki varsayımları yapmışlardır (Gürtürk, Oztop, 2016):

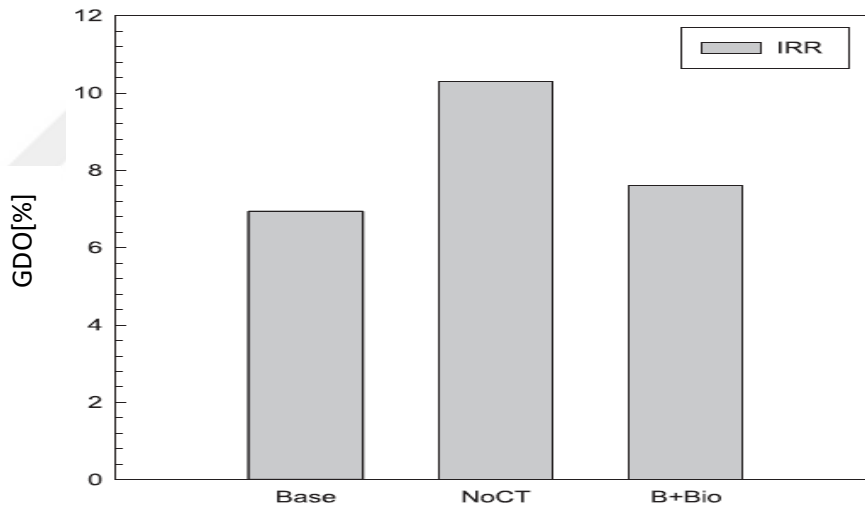
- DAYK buhar tesisi sabit durumda (steady state) çalışır.
- Gaz ideal bir gaz olarak kabul edilmiştir.
- Boru ve kanallardaki basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
- Yanmanın tamamı DAYK' da gerçekleşmiştir.
- Referans çalışma koşulları 293 K ve 101.325 kPa' dir.

Lee vd., kömür ya da kömür ve biokütle karışımını yakıt olarak kullanan ultra-Süperkritik 600 MWe dolaşımli akışkan yataklı kazanın ekonomik fizibilitesini analiz etmişlerdir. 600 MWe ulaşan süperkritik dolaşımli akışkan yataklı kazan ünitelerinin ticarileşmesiyle, ultra-süperkritik dolaşımli akışkan yataklı kazanlar tüm dünyada yaygın olarak geliştirilmektedir. Güç üretimi santrali için ultra-süperkritik dolaşımli akışkan yataklı kazanların entegrasyonunu, yüksek yatırım maliyeti, yüksek yardımcı güç kullanımı ve teknoloji gelişimi engellemesine rağmen, daha temiz çevre talebi ve enerji dönüşümü ultra-süperkritik dolaşımli akışkan yataklı kazanların gelişmesi için toplulukları hareket ettirmiştir (Lee, vd., 2019).

Ekonomik fizibilite olarak, Net bugünkü değer (NBD), fayda / maliyet oranı ve yatırımın geri dönüş oranları (GDO) değerlendirmişlerdir. Özellikle, ekonomik verim üzerine, kömür giderler ve biokütlenin birlikte yakılmasının etkisi analiz etmişlerdir (See Hoon Lee vd., 2019). Üç durum olarak, Karbon vergisi olan kömür (Base), Karbon vergisi içermeyen kömür (NoCT) ve karbon vergisi içermeyen kömür artı % 20 biokütle (B+Bio) için net bugünkü değer ve geri dönüş oranları değerlendirmişlerdir. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2' de Üç durum için net bugünkü değer ve net bugünkü değer grafikleri verilmiştir.



Şekil 2.1. Üç durum için net bugünkü değer (Lee, vd., 2019).



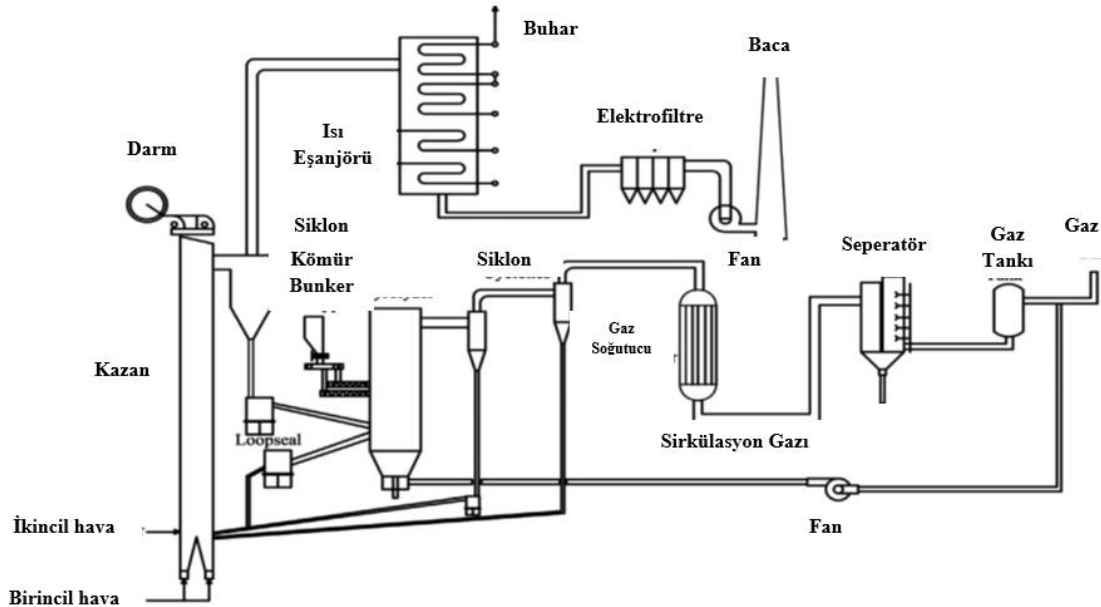
Şekil 2.2. Üç durum için geri dönüş oranı (Lee, vd., 2019).

Guo vd., dolaşım akışkan yataklı güç santraline entegre atmosferik basınçlı kömür piroliz teknolojili, polijenerasyon sisteminin termodinamik ve ekonomik analizini çalışmışlardır. Linyite dayalı polijenerasyon sistemler, kömür kaynaklarının temiz ve verimli kullanımının gerçekleşmesi için uygun bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir. Atmosferik basınçlı akışkan yataklı pirolizler ve 2x300 MW gücünde dolaşım akışkan yataklı (DAY) enerji santralinin kombinasyonunu içeren yeni bir polijenerasyon sistemi önerilmektedir. Xiaolongtan linyiti pirolizörlerde pirolize edilir. Kazanların tam yük şartlarını korumak için, dolaşım akışkan yataklı

kazanlarda kömür atıkları yakılırken metanol, yağ ve elektriğin birlikte üretilmesi için pirolize edilmiş uçucular ayrıca kullanılır. Çalışmalarında, detaylı sistem modelleri oluşturmuşlar ve polijenerasyon santralının optimum işletme parametreleri araştırmışlardır.

Bu çalışmalarında, polijenerasyon santralının optimum tasarımının teknik ve ekonomik performansları analiz etmişlerdir ve iç karlılık oranı, geri ödeme periyodunu, ekserji ve enerji veriminin değerlendirmesine dayalı klasik akışkan yataklı termik santral ile karşılaştırılması yapmışlardır. Sonuç olarak ise, Polijenerasyon santralının iç karlılık oranı ve sistem performansını karşılaştırılmaları ortaya konulmuştur. Çalışma neticesinde çıkan değerlerde sırasıyla, güç santralinden % 9 ve % 14 daha yüksek puan almıştır. Bu çalışmalarında, aynı zamanda polijenerasyon tesisinin ekonomik durumu üzerindeki piyasa dalgalanmalarının etkilerini analiz etmişlerdir ve bulunan yakıt, malzeme ve ürünlerin fiyatlarının, polijenerasyon tesislerinin ekonomik özellikleri üzerinde büyük etkilere sahip olduğu görülmüştür.

Polijenerasyon üretim tesisi, fiyatlar geniş bir aralıkta dalgalansa bile, DAY santralinden daha ekonomik olduğunu tespit etmişlerdir. Bu makale de, polijenerasyon üretim tesisinin kapsamlı bir değerlendirmesini yapmışlardır (Guo, vd., 2014). Şekil 2.3' de Çalışılan polijenerasyon santralının genel şematik görünümü verilmiştir.



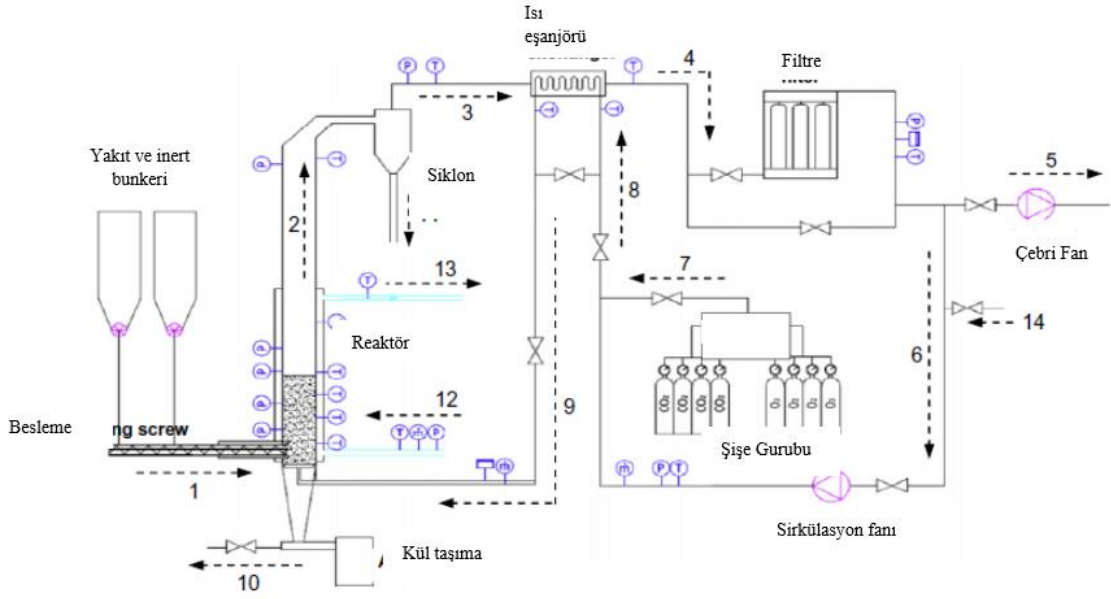
Şekil 2.3. Polijenerasyon tesisinin genel şematik gösterimi (Guo vd., 2014).

Bu makale, atmosferik basınçlı akışkan yatak piroliz ile birlikte 2x300MW gücünde dolaşımli akışkan yataklı güç santralının birleşmesiyle, metanol, yağ ve elektrik üreten yeni bir kömür bazlı polijenrasyon sistemi sunmaktadır. Polijenrasyon sistemi ve DAY enerji santrali için ayrıntılı kararlı durum modelleri ayrı ayrı oluşturmuşlardır.

Polijenerasyon tesisinin optimum tasarımı işletme parametrelerinin optimize edilmesiyle bulunmuşlardır ve termodinamik ve ekonomik performansları DAY santralinkiler ile karşılaştırmışlardır. Yüksek enerji ve ekserji verimliliğine sahip olan polijenerasyon santrali DAY santralinden daha verimli olduğu tespit etmişlerdir. Polijenerasyon santralının, mevcut fiyatlarla DAY santralinden daha kârlı olduğunu tespit etmişlerdir. Fiyat dalgalanmalarının, Polijenerasyon santralının ekonomik durumu üzerinde büyük etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Fiyat faktör analizinin sonuçları, elektrik fiyatlarının yükselmesi Polijenerasyon santralının rekabet gücünü zayıflatırken, kömür, petrol ve metanol fiyatlarındaki artışların, üretim tesisinin rekabet gücünü arttırdığını tespit edilmiştir. Çıkan sonuçlar ayrıca, Polijenerasyon santralının geniş aralıklı fiyat dalgalanmalarında iyi bir ekonomik özelliğe sahip olduğunu göstermiştir. Genel olarak, bu makalede önerilen Polijenerasyon santral verimli ve ekonomik bir teknolojidir (Guo, vd., 2014).

Romeo vd., akışkan yataklı reaktörlerde oksijen-yakıt yanma üzerine çalışmışlardır. Oksijen-yakıt yanma CO₂ tutulması için umut vaat edici bir alternatiftir. Bu, pulverize yakıt brülörlerinde kanıtlanmış olmasına rağmen, akışkan yataklı (AY) reaktörlerde araştırma hala azdır. Söz konusu çalışmada, bu teknoloji hakkında bilgiyi arttırmayı hedeflemişlerdir. Bu amaçla 95 kWth'lik bir akışkan yataklı oksijen-yakıt yanma test düzeneği kurmuşlardır. Başlıca özellikleri, şu bileşenler için detaylı bilgi içermek üzere bu makalede açıklamışlardır: akışkan yataklı reaktörü, yakıt ve oksijen kaynakları ve yardımcıları. Tesis esnekliğini vurgulamışlardır. Bu, farklı CO₂/O₂ oranları altında çalışmasını ve baca gazlarından gelen CO₂'nin geri dönüşümünü sağlamaktadır. Hem süreç tasarımı hem de izleme, akışkan dinamiği, yanma ve ısı aktarımı ile ilgili deneysel verilere göre onaylanmış simülasyonlarla desteklenmiştir. Son olarak, tesisin performansı hem yalnızca kömürle hem de biyokütle ile harmanlanarak test etmişlerdir. Baca gazlarında % 90'ın üzerinde (kuru bazda) CO₂ konsantrasyonları elde etmişlerdir. Hava ve oksijen yanma testlerinin karşılaştırılması ve operasyonel öneriler tartışılmış, akışkan yataklı oksijen-yakıt teknolojisinin CO₂ yakalama amaçları için uygulanabilirliği teyit etmişlerdir (Romeo, vd., 2011).



Şekil 2.4. Deneysel santral şematik gösterimi (Romeo, vd., 2011).

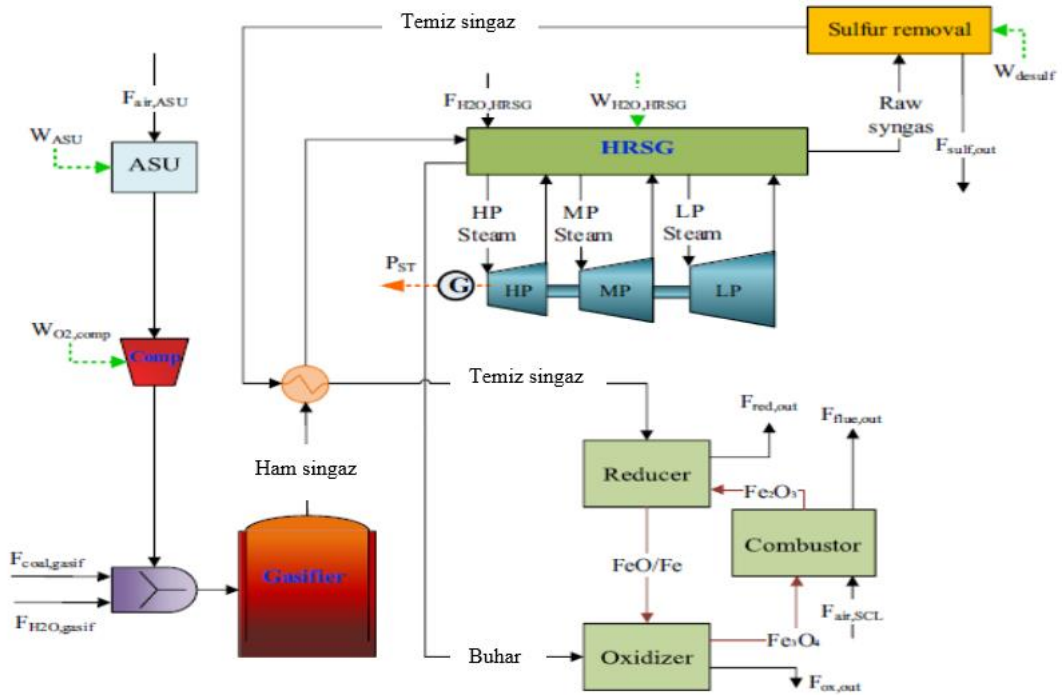
Kabarcıklı akışkan yataktaki oksiyakıt yanmasının uygulanabilirliği deney düzeneğinde doğrulanmıştır. Farklı O_2/CO_2 konsantrasyonları altında yanma, ısı transferi ve kirletici oluşumların karakterizasyonunun araştırılması için oksiyakıt testleri yapmışlardır. Testler, tek başına ve biyokütle ile karışım halinde, düşük uçucu antrasit ateşlemesi ile gerçekleştirmişlerdir. İlk testlere göre, tesis operasyonu öngörülebilir davranış göstermiştir. Tasarım varsayımları ve simülasyonlar, ilk deneysel sonuçlara karşı doğrulanmıştır. O_2 konsantrasyonunu artırırken (sabit bir akışkanlaşma hızını koruyarak) daha yüksek termal girişler gözlemişlerdir. Hava ile ısı girişi 30 kWth civarındadır, yanma sırasında % 65/35 CO_2 / O_2 karışımı ile 70 kWth'e kadardır. Baca gazlarındaki CO_2 konsantrasyonu % 88–92 (kuru bazda) aralığındayken, yatak sıcaklıkları önemli ölçüde artmıştır, bu karbon yakalama amaçları için gösterge değerdir. NO_x emisyonları, konvansiyonel hava yanma işlemi sırasındakine benzer bir seviyede tutmuşlardır. İlk deneysel testlerin ümit verici sonuçları, Kabarcıklı akışkan yataktaki sıcaklık kontrolü, ısı transfer hızlarının artırılması ve hava sızıntılarının önlenmesi gibi sorunları geliştirmek için yardımcı olacağını ifade etmişlerdir. Sonuçları düzene koymak ve akışkan yataklarda oksiyakıt yanması hakkında ek bilgi sunmak için daha fazla çalışma devam etmekte olup bu çalışmada yapılan test düzeneğinin şematik diagramı Şekil 2.4' de verilmiştir (Romeo, vd., 2011).

Wu vd., Geleneksel entegre gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) tesislerini güçlendirmek için, kimyasal döngü hava ayrıştırma (CLAS), kalsiyum döngü (CaL) ve singaz kimyasal döngü (SCL) farklı kombinasyonlarını kullanarak dört santral tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Hızlı

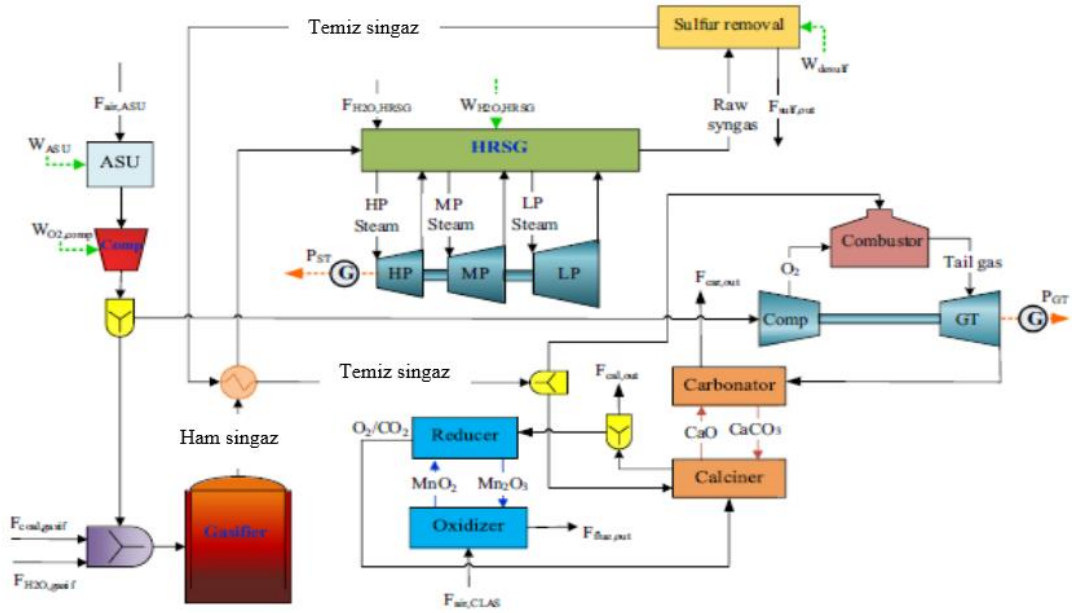
akışkan yataklı ve hareketli yataklı reaktörlerde kalsiyum / kimyasal döngü çevrimlerinin modellenmesi deneysel verilerle doğrulanmıştır.

Geleneksel entegre gazlaştırma kombine çevrim polijenerasyon tesisleri (Tasarım 1 ve 2) ve IGCC enerji santralleri (Tasarım 3 ve 4) bir entegrasyon simülasyon platformunda geliştirmişlerdir ve bunların brüt güç verimliliği (GPE), net termal verimlilik, karbon emisyon oranı (CER) ve su geri dönüşüm oranı (WRR) değerlendirmişlerdir.

Karşılaştırma sonuçları, (i) Tasarım 1'in yüksek ısı verime ve düşük su tüketimine sahip olduğunu göstermektedir, çünkü singaz kimyasal döngüsü net termal verimliliği iyileştirebilir ve yüksek saflıkta hidrojen üreterek ve egzoz gazlarından suyu geri kazanarak geri dönüşüm oranını artırabilir ve (ii) Tasarım 4, Rankine ve Brayton çevrimlerinin bir birleşimi, brüt güç verimliliği' ni arttırmak için entegre edildiğinden ve karbon emisyon oranını azaltmak için kimyasal döngü hava ayrıştırma çevriminde, CO₂-zengin gaz kısmen geri dönüştürüldüğü için yüksek güç verimliliği ve düşük CO₂ emisyonlarına sahiptir (Wu, vd., 2019).



Şekil 2.5. Singaz kimyasal döngülü entegre gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) santralinin şeması (Tasarım-1) (Wu, vd., 2019).



Şekil 2.6. Kimyasal döngü hava ayırıştırma (CLAS), kalsiyum döngülü entegre gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) santralinin şeması (Tasarım-4) (Wu, vd., 2019).

Şekil 2.5 ve Şekil 2.6' de sırasıyla, Wu vd., çalışmış oldukları tasarımların ikisi olan Singaz kimyasal döngülü entegre gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) santralinin (Tasarım-1) ve Kimyasal döngü hava ayırıştırma (CLAS), kalsiyum döngülü entegre gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) santralinin şematik gösterimleri (Tasarım-4) verilmiştir.

Wu vd., yapmış oldukları bu çalışmada ise genel olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır (Wu vd., 2019):

(i) CaL çevrimi için hızlı akışkan yatak reaktörlerinin ve SCL çevrimi için hareketli yatak reaktörlerinin modellenmesinin deneysel verilerle doğrulanmıştır,

(ii) SCL çevrimi, yüksek saflıktaki hidrojeni üretmek ve egzoz gazlarından suyu geri kazanmak için Tasarımlar 1-3'e entegre edilmiştir,

(iii) CO₂ bakımından zengin gaz, Tasarım 2 ve 4'teki CO₂ emisyonlarını azaltmak için CLAS çevriminde kısmen geri dönüştürülür.

(iv) Tasarımlar 1 ve 4, sırasıyla yüksek verimli ve çevre dostu IGCC enerji üretim / enerji santralleri olarak adlandırılabilir.

Özellikle, ısı entegrasyonu ve proses optimizasyonu dört tasarımda ele alınmamıştır. Ekonomi, sistem verimliliği, CO₂ emisyonları ve su tüketimleriyle ilgili spesifik optimizasyon algoritmaları gelecekte dikkate değerdir (Wu, vd., 2019).

Arena vd., geri kazanılmış katı yakıt için küçük ölçekli akışkan yataklı gazlaştırmanın tekno-ekonomik değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmaları, hava gazlaştırma santrali için 5000 ton/yıl geri kazanılmış katı yakıttan (SRF) enerji kazanımı için teknik bir değerlendirme raporudur. Bu, atık depolama alanının kullanımını en aza indirmeyi amaçlayan bir belediye katı atık sınıflandırma platformunun çıktı akışlarından biri olarak elde edilmiştir. Durum çalışma analizini, elde edilen geri kazanılmış katı yakıtının yaklaşık 70 kg / h besleme stoğuna sahip olan pilot ölçekli bir kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcı tarafından sağlanan verilere dayandırmışlardır. Testler, geri kazanılmış katı yakıtının enerji uygulamaları için değerli kalitede bir sentez gazına dönüştürülebileceğini göstermektedir. Kabarcıklı bir akışkan yataklı reaktör, hafif yanma cihazı, bir 400 kWe gücünde Organik Rankine Çevrim generatörü ve bir hava kirliliği kontrol sistemi içeren tesis konfigürasyonu tanımlanmış ve ayrıntılı olarak tarif etmişlerdir. Yatırım ve işletme maliyetleriyle ilgili standart muhasebe kalemleri, resmi üreticinin özelliklerine ve bilgilerine dayanarak tahmin etmişlerdir: bunlar yalnızca enerji üretimi için teşvik edici bir tarifinin varlığında ekonomik bir sürdürülebilirliği göstermektedir. Bir malzeme akış analizi, küçük ölçekli gazlaştırıcının uygulanmasının, 10.000 m³ / y'den daha fazla bir depolama hacmi tasarrufu sağlayabileceğini göstermektedir (Arena, vd., 2015).

Sonuç olarak, sınıflandırılmamış artık atıklardan elde edilen yaklaşık 5000 ton / yıl'lık nominal bir katı geri kazanılmış yakıttan nominal verimi olan gazlaştırmaya dayalı küçük ölçekli atıktan enerji tesisinin tekno-ekonomik performansları nicel olarak değerlendirmişlerdir. Örnek olay incelemesi için önerilen ısı gazlaştırma tesisinin kütle ve enerji dengeleri pilot ölçekli kabarcıklı bir akışkan yataklı hava gazlaştırıcısından elde edilen deneysel verilere dayandırılmışlardır. Singazı yakmak için hafif bir yanma sistemi tercih edilmiş olup ve bir organik rankine çevrim generatörü ile birleştirilmiştir. Toplam tesis ve işletme maliyetleri gibi standart muhasebe kalemlerinin yanı sıra, elektrik enerjisi üretimi ve depolama hacmi tasarruflarından elde edilen gelirlerin tahminine dayanarak ekonomik değerlendirmeler geliştirilmişlerdir. Sonuçlar, önerilen tesis yapılandırmasının sadece enerji üretimi için bir teşvik tarifesi varlığında sürdürülebilir ve yalnızca tesis bir atık yönetim sistemine entegre edilmişse, atık depolama alanı tasarrufunun ekonomik olarak değerlendirilmesine izin verebileceğini göstermektedir. İkincisi, önerilen küçük ölçekli gazlaştırıcının uygulanmasından sonra her yıl 10.000 m³'ten fazla tasarruf sağlanabileceği için olağanüstü görünmektedir (Arena, vd., 2015).

Shi vd., dolaşımli akışkan yatak kullanan basınçlı oksî-kömür yanma sisteminin enerji verimliliği analizini yapmışlardır. Dolaşımli akışkan yataklı oksî-yakıt yanması, karbondioksit yakalama için en önemli teknolojilerden biri olduğu ve bununla birlikte, gelişimi ve uygulaması, esas olarak hava ayırma ünitesi ve karbondioksit sıkıştırma ve temizleme ünitesinin kullanımından kaynaklanan düşük net verimlilik nedeniyle ciddi şekilde engellenmekte olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmalarında, hava ayırma ünitesi, dolaşımli akışkan yatak yanma ünitesi, ısı eşanjörleri, enerji adası ve karbondioksit sıkıştırma ve temizleme ünitesi dahil olmak üzere basınçlı bir oksî-kömür dolaşımli akışkan yatak yanma çevrimi kurmuşlardır. Malzemenin ve enerjinin korunumuna dayanarak, hava ayırma ünitesi, karbondioksit sıkıştırma ve temizleme ünitesi ve devridaim kompresörünün ayrıntılı enerji cezaları, 0,105 MPa ila 3 MPa arasında değişen yanma basınçları altında incelenmişlerdir. Yapmış oldukları çalışma, yanma basıncının artmasıyla birlikte, hava ayırma ünitesi'nin enerji tüketiminin azalırken ve karbondioksit sıkıştırma ve temizleme ünitesinin de azaldığını sonucunu ortaya koymuştur. Pülverize yakma kazanı ile karşılaştırıldığında, devridaim sıkıştırma çalışmasının dolaşımli akışkan yataklı sistemi üzerindeki etkisi düşük basınçlarda önemsiz olduğunu ortaya koymuşlardır. Genel olarak, yüksek yanma basıncı, oksî-kömür dolaşımli akışkan yatak yanması için elverişli olduğunu çalışmalarında ifade etmişlerdir. Çalışmalarında sonuç olarak, cezaları en aza indirerek ve daha fazla gizli ısı geri kazanırken, net verimlilik bu çalışmada % 27,2'den % 30,5'e yükselirken, optimum basınç yaklaşık 1,1 MPa ve karbondioksitin mol oranı talepleri tatmin eden % 92'ye ulaşabilir olduğunun tespitini yapmışlardır (Shi, vd., 2019).

Bu çalışmalarında, akışkan yataklı kazan ile basınçlı bir oksî-kömür yanma sistemi kurulmuş ve yanma basıncının sistem performansı üzerindeki etkileri malzeme ve enerji tasarrufu temelinde incelemişlerdir. Üç tipik çalışma koşulunun karşılaştırılmaları, yanma basıncının yükseltilmesinin sistemin net verimliliğini arttırmada etkili olduğunu göstermiştir. Çeşitli yanma basınçları altındaki hava ayırma ünitesi, karbondioksit sıkıştırma ve temizleme ünitesinin, devridaim kompresörü gibi çeşitli temel birimlerin enerji cezaları hakkındaki ayrıntılı tartışma, yanma basıncının artmasıyla birlikte hava ayırma ünitesinin enerji tüketiminin arttığında, karbondioksit sıkıştırma ve temizleme ünitesinin enerji tüketiminin azaldığını ortaya koymuştur. Pülverize yakma kazanı ile karşılaştırdıklarında, devridaim çalışmasının dolaşımli akışkan yataklı sistemi üzerindeki etkisi ihmal edilebileceğini ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada Asit kondansatöründen çıkan baca gazı sıcaklığı, 0,105 MPa' dan 0,3 MPa' ya 83 °C'ye yükselmiştir ve daha sonra karbondioksit sıkıştırma ve temizleme ünitesinin sıkıştırma çalışmasından tasarruf edilmesine yardımcı olan yaklaşık 1,1 MPa'da 40,2 °C'ye düşmüştür. Mevcut sistemin asgari enerji kaybı 0,4-0,6 MPa'da sağlanmıştır. Ek olarak, basınçlı işletme koşulları altında, dışarı atılan

baca gazı sıcaklığı daha düşük hale gelir ve sistem daha fazla besleme suyunu ısıtmak için daha gizli ve hassas enerji geri kazanabilir ve türbinlerden kayıpları azaltabilir. Basınçlı çalışma koşulları altında sistemin net verimliliği, atmosferik koşullardan çok daha yüksektir ve optimum basınç yaklaşık 1,1 MPa'dır. Ek olarak, bu çalışmada optimum yanma basıncı, enerji verimliliği analizinden elde edilirken, başarılı mühendislik uygulaması ilerideki çalışmalarda yapılacak ekonomik ve güvenlik endişelerinden de etkilenir (Shi, vd., 2019).

Topal vd., Türkiye'de bir elektrik santrali örneği üzerinde yakıt olarak zeytin çekirdekleri kullanan dolaşımli akışkan yataklı bir elektrik santralinin ekserji analizini yapmışlardır.

Bu çalışmalarının amacı, zeytin çekirdekleri ile birlikte ateşlenen Çan Dolaşımli Akışkan Yataklı Santrali (CFBPP) üzerinde termodinamik analiz yapmaktır. Bu çalışmalarının sonuçları ayrıca tesisin toplam ekserji kaybının yaklaşık 295 MW olduğunu ve net ekserji veriminin % 31,26 olduğunu göstermektedir. Ekserji kaybının çoğunluğu (252.40 MW) ana kazanda meydana gelmekte ve Çan Dolaşımli Akışkan Yataklı Santrali 'nin ekserji analizi ile toplam ekserji dağılımının % 86.05'ini oluşturmaktadır. Sonuçlar Çan Dolaşımli Akışkan Yataklı Santrali 'nin ekserji performansı ve CO₂ emisyonları için ek bir biyokütle takviyesi özelliğine ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Topal, vd., 2017).

Büyük ölçekli bir kömür santralinde kömür ile birlikte kullanılan biyokütle, fosil yakıt kaynaklarını muhafaza etmek ve net CO₂ emisyonlarını makul ek maliyetle azaltmak için en etkili ve uygun maliyetli yaklaşımlardan biri olarak düşünülmüşlerdir. Çalışmalarında, biyokütle yakma sistemlerinin dezavantajları da belirtmişlerdir. Mevcut kömür yakıtlı enerji santrallerinde birlikte yakılan biyokütlenin dezavantajı sınırlı kapasiteye sahip disk kurutucudur. Ek olarak, Akışkan yatak yakıcıları, yakıcılar, yüksek bakım gereksinimine ihtiyaç duyan ve haznenin içinden yüksek basınç düşüşlerinin gerçekleştiği karmaşık bir sisteme sahiptir. Bununla birlikte, Çan Dolaşımli Akışkan Yataklı Santralin' de linyitin doğrudan zeytin çekirdeği ile birlikte yakılmasının yanı sıra, Thermoflex programı ile bazı temel ve kritik parametrelerdeki varyasyonlara karşı sistem performansının hassasiyetinin ekserji analizi perspektifinden değerlendirilmesi ile ilgili teknik ve çevresel bir fizibilite çalışması da yapılmıştır. Bu çalışmadan ortaya çıkan önemli sonuçlar sırasıyla belirlenmiştir. Önemli miktarda zeytin ağacının elektrik santraline yakın olduğu Çan Dolaşımli Akışkan Yataklı Santrali'deki zeytin çekirdeklerinin doğrudan birlikte ateşlenmesi, elektrik santralinin ekserji kaybında, SO₂, CO₂ ve toz emisyonlarında belirgin bir azalma sağlamaktadır. Ekserji kaybının % 0,51 oranında, SO₂, CO₂ ve toz emisyonlarının ise sırasıyla % 32,% 7,6 ve% 31,7 oranlarında azaldığı görülmüştür. Öte yandan, ekserji verimliliği % 0.51 oranında bir miktar artmıştır. Simülasyon sonuçları, enerji santralinin ortak kullanım sonrası

toplam ekserji kaybının yaklaşık 295 MW olduğunu ve net ekserji verimliliğinin % 31,26 olduğunu göstermektedir. Ekserji analizi, ekserji kaybının çoğunluğunun (252.40 MW) ana kazanda gerçekleştiğini ve termik güç santralinin toplam ekserji tahribatının % 86.05'ini oluşturduğunu göstermektedir. Kazandaki ekserji kaybı, kimyasal reaksiyonlar ve ısı transfer mekanizmaları gibi tersinmezliklerden kaynaklanabilir. Santralin ekserji kaybı, yanma havası sıcaklığının yanı sıra besleme suyu sıcaklığı, türbin giriş sıcaklığı ve basıncı, hava fazlalığı katsayısı, kondenser basıncı ve ortam sıcaklığı düşürülerek artırılabilir. Ayrıntılı hassasiyet analizi sonuçları, daha yüksek türbin giriş sıcaklığının ve basıncının, yanma havasının ve besleme suyu sıcaklığının, düşük hava fazlalığı katsayısının, kondenser basıncının ve ortam sıcaklığının, tesisin CO₂ emisyonlarının azalmasına neden olabileceğini ortaya koymaktadır (Topal, vd., 2017).

Özdemir vd., kömür yakan akışkan yataklı buharlı güç santralinin ekserji ekonomi analizini yapmışlardır. Ekserji ekonomi analizleri, enerji ile ilgili çeşitli sistemleri incelemek ve optimize etmek için güçlü bir araç olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalarında, gerçek işletme verileri kullanarak, İzmir ilinde bulunan bir kömür yakan akışkan yataklı buharlı güç santralinin pratik bir ekserji ekonomi analizini ele almışlardır. Bu tesis bir havalandırma fanı, bir akışkan yataklı kazan, bir ısı geri kazanımlı buhar kazanı, bir siklon, bir ekonomizer, bir emme fanı, bir pompa ve bir bacadan oluşmaktadır. Her bir bileşen ve tüm akışkan yataklı kömür yakma tesisi için nicel ekserji maliyet dengesi göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmış oldukları santralin, ekserji verimi, 1,861 kg / h 'lik buhar debisinde % 20,28 olarak hesaplanmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada, En yüksek ekserji yıkım oranı, % 89,2 tersinmezlik oranı ile akışkan yataklı kömür yakma tesisinde meydana gelmiştir, bunu ısı geri kazanımlı buhar kazanı, havalandırma fanı, ekonomizer, emme fanı, baca ve pompa takip etmiştir. Bu çalışmalarını, ekserji ekonomi analizinden elde edilen sonuçların maliyet temelli bilgiler sunmasına rağmen ekserji analizlerinden daha fazla bilgi sağlayabildiğini göstermektedir (Özdemir, vd., 2010).

Bu çalışmalarını, bir akışkan yataklı kömür yakıcı buhar tesisinin ısı geri kazanımlı buhar kazanı, havalandırma fanı, ekonomizer, emme fanı, baca ve pompa gibi temel alt sistemleri ile birlikte kapsamlı bir ekserji ekonomik analizini sunmaktadır. Ekserjik performans değerlendirmeleri ekserji verimliliği ve ekserji oranları açısından yapılır. Ekserji ekonomik analiz değerlendirmeleri ayrıca ekserji maliyeti ve birim ekserji maliyeti açısından yapılır.

Mevcut çalışmalarının sonucundan elde edilen bazı açıklamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Özdemir, vd., 2010):

- Akışkan yataklı kömür yakıcı buhar tesisi sisteminin ekserjik verimi, 1, 861 kg / h'lik bir buhar kütle debisiyle ile % 20.28'dir. Bu sistemdeki ekserji yıkım oranı 4701, 44 kW olarak bulundu.
- Akışkan yataklı kömür yakıcı 'nin ekserjik verimi % 17,72'dir. Akışkan yataklı kömür yakıcı buhar tesisinin bileşenleri arasında en yüksek ekserji yıkım oranı, 4193, 38 kW ile akışkan yataklı kömür yakıcıdan dolayıdır.
- Akışkan yataklı kömür yakıcı buhar tesisi tarafından üretilen buharın birim ekserji maliyeti ve ekserji maliyeti, sırasıyla, 17,88 ABD Doları / GJ ve 93,57 ABD Doları /saat olarak hesaplanmıştır.
- Buharın birim maliyeti 1, 397 ABD Doları / kg olarak bulunmuştur.
- Tesis sahibi, Akışkan yataklı kömür yakıcısındaki ekserji tüketimini azaltmak için havalandırma fanı ile akışkan yataklı kömür yakıcısı arasına bir hava ön ısıtıcısı yerleştirebilir.

Man vd., bir dolaşımli akışkan yatak içerisinde tekrar ısıtılmış pülverize kömürün yanma karakteristikleri üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Dolaşımli bir akışkan yatakta, toz haline getirilmiş kömürü önceden ısıtmak için yeni bir teknik kabul edilmiştir. Bu teknik iki aşamadan oluşur: toz haline getirilmiş kömür ilk önce dolaşımli akışkan bir yatakta kendiliğinden ön ısıtılır ve daha sonra önceden ısıtılmış yakıt gazı ve kömür partikülleri, hava hazırlama koşulları altında, aşağı ateşlemeli bir yakıcıda yakılır. Deneyle, iki çeşit kömür, dolaşımli akışkan yatakta iki hava oranı ve yakıcıdaki farklı hava dağılımları ile gerçekleştirmişlerdir. Ön ısıtma ve yanma işlemleri tüm deney koşulları altında stabil bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları her iki kömür tipi için, dolaşımli akışkan yataktaki ön ısıtma sıcaklıkları 800-950 °C arasında geniş bir şekilde ayarlanabilir ve temel hava oranları 0,15'e düşürülebilir. Yanma verimliliği ve azot dönüşümü, hava dağılımından dikkate değer bir şekilde etkilenmiş ve iki hedefe aynı anda ulaşılmasına rağmen, sırasıyla% 98'in üzerinde ve % 10'un altında kontrol edilmiştir (Man, vd., 2018).

Dolaşımli akışkan yatak ve bir Pülverize yakma sistemli kazanı içeren 0,2 MW giriş gücüne sahip bir test sistemi kurmuşlardır. Toz haline getirilmiş kömür ilk önce bir DAY'da ısıtılmış ve daha sonra yakıcıda yakılmıştır. Ön ısıtma ve yanma özelliklerini incelemişlerdir.

- Kurdukları, test sistemi kararlı bir şekilde çalışmış ve toplam yanma verimi % 98'e ulaşmış, bu da yeni “ön ısıtma-yanma” tekniğinin yüksek yanma verimi sağlayabileceğini göstermektedir.
- Toz haline getirilmiş kömür, DAY'da kısmi piroliz, gazlaştırma ve yanma ile CO, CO₂, CH₄ ve H₂ salarak sürekli olarak 800-950 °C'ye ısıtılmıştır. Kömür gazının ürün ve ısıl değerinin yanında ön ısıtma sıcaklığı, esas havanın artan oranıyla birlikte artmıştır. Bundan dolayı, oksijen arzının artması reaksiyonları yoğunlaştırmıştır, böylece kömürde daha fazla C ve H salınmış ve kömür gazına dönüştürülmüştür.
- Önceden ısıtılmış kömürün yanması, hava akımı ile yanmanın ekseni boyunca homojen bir sıcaklık profili ile bulmuşlardır. Artan λ_2 ile, yüksek sıcaklıktaki ön ısıtmalı yakıtta daha fazla hava sağlanmıştır. Hava ile zenginleştirilmiş durum, N yakıtının salınmasını ve NO_x oluşumunu desteklemiş ve yanma sıcaklığını yükseltmiştir. Bu nedenle, yakıt N dönüşümü ve yanma verimliliği artan λ_2 ile arttırılmıştır.
- Daha düşük bir üçüncül hava enjeksiyon pozisyonu, yakıt N'nin NO_x'e dönüşümünü kısıtlayan daha uzun bir azaltma bölgesinin oluşumuna yol açtı. Bununla birlikte, indirgeyici atmosfer yanmayı sınırlandırdı ve böylece NO_x üretimi ile birlikte yanma verimini düşürmüştür (Man, vd., 2018).

Do vd., odun talaşı yakıtlı dolaşımli akışkan yatak gazlaştırmalı güç santralinin tekno ekonomik analizini yapmışlardır. Biyokütle, hem sanayileşmiş hem de gelişmekte olan ülkelerdeki enerji ihtiyacına katkıda bulunma potansiyeli yüksek olan yenilenebilir enerji alanında ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalarının amacı, dolaşımli akışkan yataklı (DAY) gazlaştırmaya dayanan üç farklı güç santrali konfigürasyonunun ekonomik uygulanabilirliğini değerlendirmek ve karşılaştırmaktır: (1) bir gaz motoru, (2) bir gaz türbini ve (3) gaz ve buhar türbinleri. Proses simülatörü Aspen Plus kullanarak santralin kapsamlı bir modelini geliştirmişlerdir. Yapmış oldukları modeller üzerinde, Ekonomik fizibilite, geri ödeme süresi (GÖS), yatırım getirisi (YG) ve iskonto edilmiş nakit akış oranı (DCFRO) açısından analiz etmişlerdir. Her üç durumda da santralin 150 ton/gün kuru odun yongası santral büyüklüğü için ekonomik bir faydaya sahip olduğu öne sürmüşlerdir. Gaz ve buhar türbinleri, 200 ton/gün 'nün üzerindeki büyük tesis boyutlarında en yüksek faydayı sahip iken, gaz motoru, 200 ton/gün veya 22 MWe'dan küçük santral boyutları için daha iyi bir seçim olduğunu neticesine varmışlardır. İskonto edilmiş nakit akış oranı üzerinde güçlü etkiye sahip anahtar değişkenleri tanımlamak için 150 ton/gün tesis için duyarlılık analizi yapmışlardır. Toplam sermaye yatırımı (TCI) ve tesis

büyüklüğü, iskonto edilmiş nakit akış oranı' nı büyük ölçüde etkilediğini görmüşlerdir (Do, vd., 2014).

Bu çalışmalarında, gaz motoru, gaz türbini ve gaz ve buhar türbinleri için odun yongalarından dolaşımli akışkan yatak gazlaştırması yoluyla elektrik santralinin ekonomik fizibilitesini araştırmışlardır. Tesisin kapsamlı modelini, ticari işlem simülatörü Aspen Plus kullanılarak geliştirilmişlerdir. Gazlaştırma sonrasındaki singaz bileşimi, pilot ölçekli deney verilerinden elde etmişlerdir. Toplam Sermaye Yatırımı faktoring yöntemiyle tahmin etmişlerdir. Toplam satın alınan ekipman maliyetini (TPEC) 2013 yılında teslimat maliyeti olmadan tahmin etmek için kimya mühendisliği fabrika maliyet endeksi (CEPCI) kullanmışlardır. Dolaşımli akışkan yataklı gazlaştırıcının (CFBG) ve elektrik trafo merkezinin TPEC'si piyasa fiyatından almışlardır. SCC (özel sermaye maliyeti), PBP (geri ödeme süresi), ROI (yatırımın geri dönüşü) ve DCFROR (geri dönüşün indirimli nakit akış hızı) açısından ekonomik kriterler, beş farklı tesis büyüklüğündeki üç durum için değerlendirmişlerdir: 15, 50, 150, 300 ve 500 ton / gün kuru odun yongası. Odun yongası maliyeti, gelir vergisi, toplam sermaye yatırımı, net verimlilik, tesis büyüklüğü, elektrik fiyatı, REC (yenilenebilir enerji maliyeti) ve sıcak su ısı fiyatı gibi sekiz temel parametrenin duyarlılık analizi yapmışlardır. 150 ton/gün tesis büyüklüğü bazal olarak kullanmışlardır.

Biyokütle santralinin 150 ton/gün'lük tesis büyüklüğündeki her üç durum için ekonomik faydaya sahip olduğu öne sürülmüştür. Çalışmalarında, Gaz ve buhar türbinlerini kullanan tesisler (durum 3), büyük tesis boyutlarındaki daha kısa geri ödeme süresi, daha yüksek ROI (yatırımın geri dönüşü) ve daha büyük Geri Dönüşün İndirimli Nakit Akış Hızı nedeniyle yalnızca gaz motoru veya gaz türbini kullanan tesislerden daha karlı olduğunu tespit etmişlerdir. Truong Xuan Do ve arkadaşları bu çalışmalarında, Durum 3 yerel bir bölgedeki ısı talebine daha az bağlı olduğunu, Ancak küçük tesis büyüklüğünde (<200 ton/gün veya <22 MWe), gaz motoru diğerlerinden daha iyi bir seçim olduğu, Elektrik üretimi alanı A400 ve kamu hizmetleri alanı A500, toplam kurulu maliyetine yaklaşık % 55-60 oranında en fazla katkı sağladığını, A200 gazlaştırma alanı yaklaşık % 20 - 25 olduğunu, Diğer alanlar yalnızca yaklaşık % 15-20 aldığını tespit etmişlerdir.

Geri Dönüşün İndirimli Nakit Akış Hızı üzerindeki etkileri incelemek için sekiz hassas parametreyi analiz etmişlerdir. Tesis büyüklüğü tüm ekonomik kriterleri (geri ödeme süresi, yatırımın geri dönüşü ve geri dönüşün indirimli nakit akış hızı) güçlü bir şekilde etkilediği ortaya çıkmıştır. Çalışmalarında, Gaz ve buhar türbinlerini kullanan en büyük tesis büyüklüğü (500 ton / gün) için geri ödeme süresi 3,5 yıl, yatırımın geri dönüşü % 20 ve Geri Dönüşün İndirimli Nakit

Akış Hızı yaklaşık % 25 olarak bulmuşlardır. Yapmış oldukları Hassas analizde, Toplam Kurulum Maliyeti ve tesis büyüklüğünün Geri Dönüşün İndirimli Nakit Akış Hızı üzerinde önemli bir etkisi olduğu doğrulanmıştır. Geri Dönüşün İndirimli Nakit Akış Hızı ayrıca net verimlilik, elektrik fiyatı ve odun yongası maliyetine de duyarlı olduğunu görmüşlerdir.

Bu çalışmaları, elektrik generatörlerinin tipini seçmek ve proses simülasyonu ve ekonomik analiz yoluyla biyokütle gazlaştırma tesisinin büyüklüğüne karar vermek için yararlı bir yol sunmuştur. Tekno-ekonomik analiz metodolojisi, sadece işletme koşullarını değil aynı zamanda hammadde fiyatı gibi ekonomik parametreleri de içeren deneysel veriler sağlandığı takdirde, diğer biyokütleden gazlaştırma yoluyla elektrik üretimine uygulanabilir.

Biyokütle elektrik santrali, diğer geleneksel yakıtlarınki ile karşılaştırıldığında halen başlangıç aşamasındadır. Biyokütle ile ilişkili teknolojilerden bazıları, elektrik üretimi için birlikte yakılan ve doğrudan yakılan yanmada hala geliştirilmektedir. Ekonomik kar, hükümet desteği altında ve küçük ve orta tesis büyüklüğünden dolayı 20 yıllık kısa proje ömrü için hesaplamışlardır. Truong Xuan Do ve arkadaşları bu çalışmalarında hem enerji dönüşüm verimliliğini hem de tesis büyüklüğünü artırma stratejileri yanında diğer teknolojilerin entegrasyonu gibi ileri teknolojik gelişmeler tesisin karlılığını artırabilir olduğunu ifade etmişlerdir (Do, vd., 2014).

Su vd., Dolaşımli akışkan yataklı enerji santralinin baca gazı arıtma sisteminin kirletici emisyonu analiziyle, değerlendirilmesini yapmışlardır. Belediye katı atıklarının yakılmasından kaynaklanan baca gazı hava kirliliği giderek daha ciddi bir hal almaktadır. Baca gazı içerisinde, asit gazlar(SO₂, NO_x, HCl vb.), partikül madde (PM), ağır metaller ve organik bileşikler gibi çok zararlı ürünler vardır. Zehirli maddelerin emisyonunun kontrolü için baca gazı temizleme sisteminin seçimi bir yakma tesisinin işletmesinde önemli bir rol oynar. Bu çalışmalarında, Çin'in doğusundaki Shandong'da yer alan, dolaşımli akışkan yataklı bir enerji santralinin baca gazı arıtma sistemi değerlendirilmiştir. Araştırmaları, organik kirleticileri, partikül madde' yi, asit gazlarını ve ağır metalleri kapsamaktadır. Baca gazı içindeki kirleticilerin verilerine göre, bu maddelerin emisyon seviyeleri kontrol altındaydı ve gerekli yerel mevzuata uygundu. Mevcut baca gazı temizleme sisteminin optimizasyonu ile ilgili uluslararası standartlara ve sıfır-salınımlı projeye uyumluluk için seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR), kalsiyum magnezyum asetat (ACM), katalitik filtrasyon (CF) ve ikincil torba filtre sistemleri önerilmiştir. Yarı kuru temizleyicili, aktif karbon enjeksiyonlu ve torba filtreli DAY yakma fırınlarının Çin'in küçük ve orta büyüklükteki şehirlerinde uygulanması, Belediye katı atık yönetiminde gelişmekte olan ülkelere örnek teşkil etmektedir (Su, vd., 2015).

Bu çalışmalarında, Çin'deki küçük ve orta ölçekli şehirlerdeki DAY yakma fırınları için bir baca gazı temizleme sistemi önerilmiştir. Çevresel kirleticilerin kontrolü için kullanılan ana teknoloji ve cihazlar; yarı kuru temizleyici, aktif karbon enjeksiyonu ve torba filtresidir. Bu baca gazı temizleme sisteminin etkisi ve mevcut sorunları, kirleticilerin ölçülen emisyon verileri ve yasal standartlardaki limitler arasındaki bir karşılaştırma ile kanıtlanmıştır. Asit gazlar ve partikül maddeler önemli ölçüde azaltılabilmekteydi, ancak HCl ve SO₂ konsantrasyonları AT deşarj sınırlarının hala üzerindeydi ve partikül madde (PM) konsantrasyonu bazı yabancı ülkelerinkinden daha yüksekti. Ağır metal içeriği tüm numunelerde düşüktü. Bununla birlikte, bu toksik ağır metallerin olası olumsuz etkileri ihmal edilemezdi. Numune A ve numune B'deki PCDD/F'lerin I-TEQ değerleri ulusal standartlara uygundu ancak önceki çalışmalardan daha yüksekti. PCDD/F emisyon değerleri mevzuattaki limitlerden daha düşük olsa da yüksek toksisiteleri nedeniyle kamuoyunun dikkatini çekebilir.

İlgili emisyon standartları zamanla daha sıkı olacaktır ve baca gazı temizleme sistemini optimize etmek büyük önem taşımaktadır. Zorlaştırılmış standartlara uymak ve sıfır-salım şartlarına uymak için emisyon seviyelerini kontrol etmek amacıyla seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR), kalsiyum magnezyum asetat (ACM), katalitik filtrasyon (CF) ve ikincil torbalı sistemler önerilmiştir. Enerji santralının baca gazı temizleme sistemi üzerindeki değerlendirmeler, benzer şartlardaki santraller için gaz arıtma teknolojilerinin seçiminde ve geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Su, vd., 2015).

Zebian vd., Basınçlı oksit-kömür yanması üzerine çalışmışlardır. Yakıtta, ortam koşullarında ve diğer girdi özelliklerinde belirsizliklerin olabileceği, 300 MWe ıslak-geri dönüşümlü basınçlı, karbon yakalama ve tutmalı oksit-kömür yakma sürecinde eşzamanlı, çoklu başlangıçlı, çoklu değişkenli gradyan bazlı optimizasyon yapmışlardır. Biri yüzey ısı eşanjörü ve biri doğrudan temaslı ayırma sütunu olmak üzere baca gazı termal geri kazanımının iki şeklini incelemiştirlerdir. Optimizasyon süreçlerinde ideal esneklik sağlar: kullanılan kömürü değiştirirken, o kömür için özel olarak tasarlanmış bir işlemin optimum performansına kıyasla performanstan ödün verilmez. Benzer şekilde; işlemler ortam koşulları, hava akımı, bulamaç su akışı, atomizer buhar akışı ve oksitleyici buhar oksijen saflığı gibi diğer belirsizliklere karşı dirençlidir. Sonuç olarak, çalışmalarında stokastik programlamanın gereksiz olduğu gösterilmiştir. Çalışmalarında, Optimum tasarıma yaklaştıkça, süreçlerin besleme suyu ısıtıcıları gibi tasarım değişkenlerine duyarsızlaştıkları da gösterilmiştir. Optimizasyon sürecinde, süreci daha hızlı ve güçlü kılan, son zamanlarda önerilen termodinamik kriterler gömülü tasarım spektleri kullanılmıştır (Zebian, vd., 2013).

Bir santralin işletilmesi, girdiler veya parametrelerde veya çevre şartlarındaki belirsizliklerden etkilenir. Bir kömür santralinin gerçekçi bir yaklaşımla işletilmesi; pazar, çevre, arz, talep vb. gibi öngörülemeyen çeşitli faktörlere bağlı olarak farklı kömür türleri kullanılmasını içerir. Diğer parametreler yanında, bulamaç suyu, atomizer akışı ve hava akışı gereksinimleri değişebilir. Ayrıca, ortam koşullarındaki değişiklikler, doğru şekilde hesaplanmazsa, enerji üretim sürecini önemli ölçüde değiştirebilir. Kârlı enerji üretimi için tesis; kontrol edilemeyen, olası farklı koşullara yüksek üretim verimliliği ile uyum sağlamalıdır.

Bazı işlem değişkenleri işletme süresince, işletme değişkenleri değişebilirken değişmeyen tasarım değişkenleridir. Bu çalışmalarında, nispeten ayrıntılı modeller kullanarak, girdi parametrelerinde belirsizlikle karşı karşıya kalırken belirli kömür tipleri, özellikleri ve ortam sıcaklığı özelinde iki oksit-kömür yanması işleminin optimizasyonu yapmışlardır.

Giriş debilerindeki ve oksitleyici akışının oksijen saflığındaki belirsizlikleri de tartışmışlardır. Sonuçlar çalışılan basınçlı oksit-kömür yanması kavramının ideal olarak esnek olduğunu göstermektedir. Daha spesifik olarak, girişlerdeki değişiklikler, özellikle girdilerin yeni değerleri için tasarlanmış bir süreçle karşılaştırıldığında, süreçlerin performansında ödün vermeden yapılabilir. Çalışmada, esnek enerji santrali tasarımı için stokastik optimizasyonun gerekli olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Temelde, girdi koşullarındaki belirsizlikler ve parametrelerin nicelendirilmesi gerekli değildir; tasarım sırasında yalnızca girdi koşulları aralığının dikkate alınması gerekir. Süreçlerin ideal esnekliği farklı çalışmalarda sunulan optimum operasyon kriterleri yardımıyla keşfetmişlerdir. Bu kriterler tasarım sırasında ideal esnek tasarımın bulunmasına, işletme sırasında temel talimatların temin edilmesine imkân tanımıştır.

İşlem değişkenlerinde değişiklik gerektiren girdi spesifikasyonlarının asgari çaba ile uyumlaştırılması özellikle ilginç ve kullanışlıdır. Özüde, ideal esnek tasarımın bulunmasının ardından, uygulanan şartlarda değişiklik yapmak, farklı bir kömür kullanmak kadar önemli ölçüde bile olsa, optimum işletme için besleme suyu ısıtıcısı alanları ve ortam sıcaklıkları için ek modelleme ve optimizasyon çalışmaları gerekmeyeceğini; bunun yerine, değişkenlerde ilgili kriterleri karşılayan bir değişiklik yeterli olacağını ifade etmişlerdir. Aynıısı; bulamaç su debisi, hava debisi, atomizer akış debisi ve oksitleyici akış oksijen saflığı gibi diğer işletme parametreleri için de geçerli olduğunu ifade etmişlerdir.

Çalışma sonuçları ayrıca, optimumlarının yakınında tasarım değişkenleriyle ilgili duyarsızlığı da göstermektedir. Özellikle, basınçlı oksit-kömür yanması işlemi, tesisin tasarımının bir parçası olan besleme suyu ısıtıcısı alan spesifikasyonlarına göre ideal olarak esnek

bulunmuştur. İşletmedeki bir santralin sabit tasarımlarından, özellikle sabit ısı eşanjörü alanları ve sabit türbin genişleme hatlarından, optimumdan çok uzakta olmadıkları sürece yüksek performans elde edilebilir. Ayrıca, bunların performansları girdi spektleri ve işletme parametrelerinde öngörülemeyen değişimlerden de zarar görmez. Besleme suyu ısıtıcıları alanları gibi diğer santral özelliklerine daha az bağlı olduğu gösterilen genişleme hatları ve çekme lokasyonlarının tasarımında türbin üreticileri ile ilgili ek olumlu belirtiler görülmektedir.

Kömür değiştirilirken, üç nedenden dolayı, net çıkış gücü yerine yakıt ısı oranı girişi sabit tutulur. Ana motivasyon; işlemlerin yanma odası, atık ısı kazanının boyutları ve termal yükler tarafından sınırlandırılmasıdır. Bunun, (atık ısı kazanın ve geri dönüşüm borularının referans / temel basınç kayıpları, türbin ve ısı eşanjörünün boyutlandırması gibi) döngünün aynı temel referans koşullarının korunmasına izin vermesi de ilave bir motivasyondur. Üçüncüsü; bu, çalışma akışkanı debisinin nominal değere yakın tutulmasını sağlar; bu da türbinler için yüksek performans getirir ve performans eğrileri ihtiyacını ortadan kaldırır. Aksine, çevrim sabit net iş çıktısı ile işletilirse, Kömür B gibi düşük kaliteli kömür kullanımından kaynaklanan ek sıkıştırma gereksinimlerini karşılamalıdır; yani, Rankine çevriminin daha fazla brüt güç çıktısı üretmesi gerekir. Daha büyük brüt güç çıkışı daha da fazla yakıt ve giriş akışı gerektirir ve karşılanması gereken daha da fazla sıkıştırma gereksinimi ile sonuçlanır. Neticede, atık ısı kazanı ve türbin genişleme hattından geçen besleme suyu debisi artar ve bu da tasarım koşullarından önemli ölçüde sapma ile sonuçlanır. Ayrıca, daha düşük kaliteli (düşük ekserjili bir baca gazı oluşturan) bir kömür kullanırken yakıt akış hızını sabit tutmak, atık ısı kazanının da düşük termal enerji aktarımı ile neticelenir; sonuç olarak, atık ısı kazanından ve sonunda genişleme hattı boyunca akabilen besleme suyu debisi azalacak, bu da genişleme hattı tasarım koşullarından sapmaya neden olacaktır.

Düzenli ve basınçlı kömür işlemlerinde, burada basınçlı oksijen-kömür yanması için sunulan esnekliği tartışmak önemlidir. Standart olarak, oksijen-kömür yanması dışı kömür santrallerinde, bir RHE veya bir DCSC gibi düşük sıcaklık ısı transfer bölümünün yokluğuna bağlı olarak termal enerji, baca gazından sadece kazandaki çalışma sıvısına transfer edilir. Bir geri kazanım bölümü dahil olsa bile, baca gazı basıncı atmosferiktir ve önemsiz miktarda termal geri kazanım elde edilir; karbon yakalamalı olmayan basınçlı kömür işlemi için, basınçlı oksijen-kömür yanması işleminde yüksek geri dönüşüm oranlarının sıkıştırma entalpisinde artış yoktur. Bu nedenle, aynı kazan yükünde çalışırken, çalışma akışkanına aktarılabilen termal enerji miktarı azalır. Sonuç olarak, çalışma akışkanı debilerinin önemli ölçüde etkilenmesi muhtemeldir ki bu türbin genişleme hattı özelliklerini de değiştirir; genişleme hattının tepkisi çevrimin özgün tasarımı, çekme konumları ve basınçları, besleme suyu ısıtıcısı boyutları, yeniden ısıtma akımı basıncı ve sıcaklığı

gibi unsurlarla uyumlu olmayabilir. Bu nedenle, oksî-kömür yanması dışı kömürden enerji üretiminin burada değerlendirilen süreçlerden daha az esnek olması beklenmektedir. Bununla birlikte, bu iddianın kontrolü için ayrıntılı bir araştırma gerekmektedir (Zebian, vd., 2013).

Seddighi vd., yakıt sirkülasyonlu akışkan yataklarla ölçek büyütme zorlukları ve karbon yakalama fırsatları üzerine çalışmışlardır. Oksî-yakıt yanması, büyük noktasal kaynaklarından gelen karbon tutma ve depolama (CCS) için umut verici bir teknolojidir. Bilhassa, akışkan yataklı (FB) kazanlar, oksî-yakıt kavramını kullanabilecek güç üretim teknolojilerinden birini temsil etmektedir. Bu makale; yayımlanmış materyali kazan ısı dengesi, ısı transfer mekanizmaları, fırın hidrodinamiği ve sürecin mekanik ve kimyasal mekanizmaları dahil olmak üzere, oksî-yakıt sirkülasyonlu akışkan yataklı' nin ana yönleri ile incelemektedir. Özellikle, akışkan yataklarda oksî-yakıt sürecinde girdi olarak yüksek konsantrasyonlar da O₂ kullanımının zorluklarını göstermektedir. Bu, (özellikle baca gazındaki 2,15 g/m³ Hg ve % 19 tutmalı Cl için) daha verimli gaz-parçacık temizleme teknolojisi yüksek dolaşım katılar ve fırın dışından önemli miktarda (kazandan çekilen toplam ısının % 60'ına kadar) ısı çekilimi gerektirir. Oksî-yakıt DAY teknolojisinin ölçeğinin büyütülmesi, girişte yüksek O₂ konsantrasyonların da çalışırken fırının küçülmesi ile havanın ayrılmasının getireceği enerji cezalarını kısmen telafi edebilir. Sayısız ölçüm kampanyası ile pilot ölçekte ve daha az olarak endüstriyel ölçekte bunlara karşılık gelen model varken, bu çalışma, gelecekteki tasarım ve ölçek büyütme için bu deneysel kampanyalardan güvenilir ve kullanışlı hangi bilginin alındığını sorguluyor (Seddighi, vd., 2018).

Oksî-yakıt DAY yanması artık oturmuş akışkan yataklı kazan teknolojisini temel alır ve CO₂ ısı üreten tesislerin emisyonlarını azaltmak için iyi bir fırsat sunar. Sadegh Seddighi ve arkadaşlarının bu çalışmalarında elde etmiş oldukları ana sonuçları şunlardır (Seddighi, vd., 2018):

Ölçek büyütme: Laboratuvar ölçeğinde ve pilot ölçekte birimler, daha büyük ölçekte oksî-yakıtlı kazanlar ile aşağı yukarı aynı kalış süresi ve çevreyi sundukları için kimyasal kinetik hakkında değerli bilgiler verirler. Pilot ölçekte ve endüstriyel ölçekte oksî-yakıtlı DAY birimleri için sayısız ölçüm kampanyası varken bu tür deneysel kampanyalardan alınan yalnızca sınırlı sayıda sonuç büyük ölçekli oksî-yakıtlı DAY birimlerin tasarlanması ve büyütülmesi için güvenilirdir. Örneğin, reaksiyon mekanizmalarına ilişkin veri ve modeller. laboratuvar ölçeğinde ve pilot ölçekte fırınlardan büyük ölçekli birimlere aktarılabilir. Bununla birlikte, ısı transferi korelasyonlarının kullanılması, kül biriktirme verileri ve fırın hidrodinamiği daha fazla araştırma gerektirir. Özellikle, karışma birim büyüklüğüne çok bağlıdır ve bu nedenle büyütme, endüstriyel veya büyük ölçekli kazanlarda karışma meselesine yönelik deney yapılmasını gerektirir.

Kazan tasarımı: Sabit Fırın Boyutlu Senaryo ve Sabit Isıl Güç Senaryosu'nun iki yol haritası teknik ve ekonomik açılardan önemlidir. Her iki senaryo da artırılmış O₂ konsantrasyonlarında oksijen-yakıtlı karbon tutma ve depolama'nın ekonomik potansiyeline dayanmaktadır. Sabit Fırın Boyutu Senaryosu, aynı fırın geometrisi ile yükseltilmiş O₂ konsantrasyonunun kazan ısı gücünü de artırdığı hava kaynaklı DAY kazanlarının güçlendirilmesi için daha uygun bir seçenektir. Sabit Isıl Güç Senaryosu'nda O₂ konsantrasyonu arttığında, artırılmış O₂ konsantrasyonunda azaltılmış hacimsel tekrar dolaşan atık gaz debisine bağlı olarak fırın boyutu küçülür. Girişte yüksek O₂ konsantrasyonuna ulaşmak, kazan ısı gücünü artırarak veya fırın boyutunu küçülterek üretilen gücün maliyetini düşürmede önemlidir Fırın boyutundaki ciddi küçülmeye ek olarak daha homojen sıcaklık profili ve fırın su duvarlarından gelen düşük ısı akısı, Sabit Isıl Güç Senaryosu'nu ticarileştirilme için daha iyi bir yol haritası yapıyor.

Isı transferi: Radyatif ısı çekme normalde baskın ısı çekme mekanizmasıdır. Fırın maksimum ısı akısının oksijen-yakıt koşullarına yerel sıcaklıkların kontrolü, yüksek O₂ konsantrasyonlu girişlerde su duvarlarındaki hasarı önlemek için gereklidir. Isı çekme yüzeylerindeki kül biriktirme mekanizmaları, sıcaklık değişimleri farklı kimyaya bağlı olarak tipik hava kaynaklı koşullarda görülenlerden farklı olabilir

Akışkan dinamiği: Girişte yüksek O₂ konsantrasyonlarında, dolaşım katı katılardaki kadar kayda değer fırın hidrodinamiğinde yüksek katı madde konsantrasyonu, ince parçacıkların yüksek payı ve (nanoparçacıklarına kadar) fırındaki aerosoller ve çok daha verimli siklonlarını da kapsayan değişikliklere yol açar. Hidrodinamik açıdan değerlendirildiğinde, güçlendirme senaryosu yalnızca düşük ila orta O₂ konsantrasyonlu girişlerde uygulanabilir. Girişte yüksek O₂ konsantrasyonları için yeni bir kazan tasarımı gereklidir ve tipik hava ile çalışan DAY'den veya pilot ölçeğindeki oksijen-yakıt DAY'den alınan yarı-deneysel veriler, girişteki O₂ konsantrasyonu % 40'ın üzerinde olan büyük ölçekli birimlerin tasarımlarında kullanılıyorsa yeniden değerlendirilmelidir.

Yanma: Hava-kaynaklıdan oksijen-yakıtlıya ana tepkimeler değişebilir. CO, SO_x ve NO_x gibi gazların fırın içi profilleri tipik hava-kaynaklı DAY'lara göre önemli ölçüde değişirken kömür gazlaştırma tepkimeleri önem kazanıyor. Bununla birlikte, dolaylı kükürtlemenin kükürt yakalamanın hâkim rotası olması muhtemeldir. NO_x emisyonu, NO_x yeniden yakma süreci ve ıslak tekrar dolaşan atık gazdan gelen buharın daha yüksek konsantrasyonlarına bağlı olarak oksijen-yakıtlı koşullarda daha düşük olmalıdır (Sadegh, vd., 2018).

3. DÜNYADA VE TÜRKİYE' DE ENERJİ DURUMU

Dünyadaki nüfus ve gelir artışı ile birlikte enerji tüketimi de artmaktadır. Nüfus artışının gelişmekte olan sanayi ve kentleşmelere bağlı olarak küresel enerji talep artışına önemli miktarda etki edeceği öngörülmektedir. Bununla birlikte, Artan gelir düzeyiyle, 2040 yılına kadar 1,7 milyar insan, kalkınmakta olan ekonomilerde kentsel nüfusa katılarak küresel enerji talebini, 1/4 oranında yükseltmesi öngörülmektedir. Enerji talebindeki artışın tamamı başta Hindistan olmak üzere kalkınmakta olan ekonomilerden kaynaklanmaktadır.

Önümüzdeki yıllarda, dünya enerji tüketiminde fosil yakıtların paylarının nispeten azalmasına rağmen bu yakıtlar hâkim kaynaklar olmaya devam edecektir. Nükleer enerjinin birincil enerji kaynakları içindeki payının artacağı öngörülmekte, yenilenebilir enerji kaynaklarının 2040 yılındaki payının % 16,1 olacağı beklenmektedir. Mevcut politikalar senaryosuna göre küresel elektrik talebinin 2040 yılına kadar yıllık ortalama % 2,3 olmak üzere % 80 oranında artacağı beklenmektedir. Yenilenebilir kaynakları yıllık ortalama % 9,8 büyüme payları ile en hızlı büyüme oranına sahip enerji kaynaklarıdır. Nükleer enerji yıllık ortalama % 2,3 ve hidroelektrik yıllık ortalama % 1,8 büyüme oranına sahip olacaktır. Bu üç kaynağın büyüme oranı, toplam birincil enerjinin büyüme oranından daha fazladır

3.1. Dünya Enerji Tüketiminde Doğalgaz ve Kömürün Yeri

Dünya elektrik üretiminde kullanılan önemli kaynaklardan biri ise doğal gazdır. Günümüzde birçok ülke elektrik üretiminde büyük oranlarda kaynak olarak doğal gaza bağımlıdır. Çizelge 3.1' de bölgelere göre dünya kanıtlanmış doğal gaz rezervleri verilmiştir. Çizelge 3.1' de bakıldığında dünya doğal gaz rezervi 2015 yılı sonu itibarıyla 186,9 trilyon m³ olduğu görülmektedir. Bu rezervin % 42,8'i Orta Doğu bölgesinde bulunmaktadır. İran ve Katar bu bölgede önemli rezervlere sahip ülkeler olarak öne çıkmaktadır. Avrupa ve Avrasya bölgesi rezerv açısından % 30,4 ile ikinci sırada yer almaktadır. Kuzey Amerika Bölgesi dünya üretiminin %28,1'ini karşılarken bu oran Avrupa ve Avrasya'da 27,8 Orta Doğu'da ise % 17,4'dür (<https://www.dunyaenerji.org.tr/wec-yayinlari/> ; Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017).

Çizelge 3.1. Bölgelere göre dünya kanıtlanmış doğal gaz rezervi (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017).

BÖLGE	Miktar (Trilyon m ³)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Orta Doğu	80,0	42,8
Avrupa ve Avrasya	56,8	30,4
Asya Pasifik	15,6	8,4
Afrika	14,1	7,5
Kuzey Amerika	12,8	6,8
Güney ve Orta Amerika	7,6	4,1
Toplam	186,9	100

Günümüzde gerek elektrik üretiminde kaynak olarak gerekse de birincil enerji kaynağı olarak kömür en fazla kullanılan enerji kaynaklarından biri durumunda olup önümüzdeki yıllarda da birincil enerji kaynağı olarak önemini koruyacaktır. Dünya kömür rezerv bilgisine göre yaklaşık 892 milyar ton kesinleşmiş kömür rezervi bulunmakta olup rezervin %57,1'ine karşılık gelen 509 milyar ton kömür ABD, Rusya ve Çin'de bulunmaktadır. Dünya kömür üretimi incelendiğinde; 2015 yılında toplam 7,9 milyar ton üretim gerçekleşmiş, bu üretimin %47,7'sine denk gelen 3,7 milyar ton üretimi Çin tek başına yapmış ve bu ülkeyi sırasıyla ABD, Hindistan ve Avustralya takip etmiştir (<https://www.dunyaenerji.org.tr/wec-yayinlari/> ; Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017). Bölgelerin günümüzde kanıtlanmış kömür rezervleri ve 2015 yılı kömür tüketimleri Çizelge 3.2' de gösterilmektedir. Çizelge 3.2' e göre dünya kömür rezervleri Avrupa Avrasya, Asya Pasifik ve Kuzey Amerika' da yoğunlaşmıştır.

Çizelge 3.2. Bölgelere göre kanıtlanmış kömür rezervleri ve 2015 yılı kömür tüketimleri (<https://www.dunyaenerji.org.tr/wec-yayinlari/> ; Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017).

BÖLGE	Kanıtlanmış Rezervler (Milyar ton)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Avrupa Avrasya	311	34,8
Asya Pasifik	288	32,5
Kuzey Amerika	245	27,5
Ortadoğu ve Afrika	33	3,7
Güney ve Orta Amerika	15	1,6
Toplam	892	100
Bölgelere Göre 2015 Yılı Kömür Tüketimleri		
Asya Pasifik	2.798,5	72,9
Avrupa Avrasya	467,9	12,2
Kuzey Amerika	429,0	11,2
Afrika	96,9	2,5
Güney ve Orta Amerika	37,1	1,0
Ortadoğu	10,5	0,3
Toplam	3.839,9	100,0

Çizelge 3.3.'de ise Bazı ülkelerin kanıtlanmış kömür rezervleri gösterilmektedir. İlk sırada ABD 237,3 Milyar ton ve % 26,6 oranla ilk sırada bulunmaktadır. Rusya, 157,0 Milyar ton rezerv ve % 17,6 oranla ikinci sırada bulunmaktadır. Çin, 114,5 Milyar ton rezerv ve % 12,8 oranla üçüncü sırada bulunmaktadır. Bu ülkeleri ise Avusturya, Hindistan, Almanya, Ukrayna, Kazakistan, Güney Afrika Cumhuriyeti ve Endonezya takip etmektedir.

Çizelge 3.3. Bazı ülkelerin kanıtlanmış kömür rezervleri (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017).

ÜLKE	Miktar (Milyar ton)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
ABD	237,3	26,6
Rusya	157,0	17,6
Çin	114,5	12,8
Avustralya	76,4	8,6
Hindistan	60,6	6,8
Almanya	40,5	4,5
Ukrayna	33,9	3,8
Kazakistan	33,6	3,8
Güney Afrika Cumhuriyeti	30,2	3,4
Endonezya	28,0	3,1
Toplam	892	100

Bazı ülkelerin elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Çizelge 3.4’de gösterilmektedir. Dünya elektrik üretimi için en yaygın olarak kullanılan kaynağın % 40,6 oranla kömür olduğu ve hemen arkasından % 22,9 yenilenebilir enerji kaynaklarının geldiği görülmektedir. Doğal gaz ise % 21,6 oranla üçüncü sırada, Nükleer % 10,6 oranla ise dördüncü sırada bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Hindistan ve Almanya’da kömür, Rusya’da doğal gaz, Fransa’da nükleer enerji ve Kanada’da yenilenebilir enerji elektrik enerjisi üretiminde en fazla paya sahip olan kaynaklardır. Elektrik üretiminde kaynak olarak en fazla kömür kullanan ülke % 75,1 oranla Hindistan görünmektedir, İkinci sırada ise % 72,5 oranla Çin, üçüncü sırada ise % 45,4 oranla ise Almanya bulunmaktadır. Elektrik üretiminde ilk beşte bulunan ülkelerden ilk dördü elektrik üretiminde kaynak olarak büyük oranlarda kömür kullanmaktadır. Günümüzde elektrik üretiminde yenilenebilir enerjiye yönelik teşvikler ve politikalar belirlense de Çizelge 3.4’ de bakıldığında elektrik üretiminde kaynak olarak kömür kullanımı önemini halen korumaktadır ve gelecekte de koruyacağını göstermektedir.

Çizelge 3.4. Bazı ülkelerin kaynak bazında 2015 yılı elektrik üretim oranı (%) (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017).

ÜLKE	Kömür	Petrol	Doğal Gaz	Nükleer	Yenilenebilir Enerji	Diğer
Fransa	2,1	0,3	2,3	77,6	17,5	0,2
Almanya	45,4	0,9	9,9	15,5	28,0	0,3
ABD	39,5	0,9	26,8	19,1	13,6	0,1
Kanada	9,9	1,2	9,3	16,4	62,8	0,3
Çin	72,5	0,2	2,0	2,3	23,0	0,0
Hindistan	75,1	1,8	4,9	2,8	15,5	0,0
Rusya	14,9	1,0	50,1	17,0	17,0	0,0
Dünya	40,6	4,3	21,6	10,6	22,9	0,1

3.2. Türkiye’ de Elektrik Enerjisi

Ülkemiz 2016 yılı sonu itibarıyla elektrik üretiminin 273,4 milyar kWh, tüketiminin ise 278,3 milyar kWh olduğu Çizelge 3.5’de görülmektedir. Ülkemizin yıllık elektrik enerjisi tüketim artış hızı son 15 yılda ortalama % 5,4 seviyelerinde gerçekleşmiş ve 2002 yılında 132,6 milyar kWh olan elektrik tüketimimiz 2016 yılında yaklaşık 2 katına çıkarak 278,3 milyar kWh’e ulaşmıştır. Elektrik enerjisi talebindeki artış 2014 yılında % 4,4, 2015 yılında % 3,3 iken, 2016 yılında % 4,7 olarak gerçekleşmiştir

Çizelge 3.5. Türkiye elektrik enerjisi görünümü (GWh) (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017;<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Enerji-ve-Tabii-Kaynaklar-Gorunumleri>;
<http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>).

YIL	ÜRETİM	İTHALAT	İHRACAT	TÜKETİM	Üretim Artış Oranı (%)	Tüketim Artış Oranı (%)
2002	129.400	3.588	435	132.553	5,4	4,5
2003	140.581	1.158	588	141.151	8,6	6,5
2004	150.698	464	1.144	150.018	7,2	6,3
2005	161.956	636	1.798	160.794	7,5	7,2
2006	176.300	573	2.236	174.637	8,9	8,6
2007	191.558	864	2.422	190.000	8,7	8,8
2008	198.418	789	1.122	198.085	3,6	4,3
2009	194.813	812	1.546	194.079	-1,8	-2,0
2010	211.208	1.144	1.918	210.434	8,4	8,4
2011	229.395	4.556	3.645	230.306	8,6	9,4
2012	239.497	5.826	2.954	242.370	4,4	5,2
2013	240.154	7.429	1.227	246.357	0,3	1,6
2014	251.963	7.953	2.696	257.220	4,9	4,4
2015	261.783	7.135	3.194	265.724	3,9	3,3
2016	273.387	6.400	1.442	278.345	4,4	4,7

2016 yılı sonu itibarıyla 273.387 GWh olan elektrik üretimimizin 184.889 GWh'i termik santrallerden, 67.268 GWh'i hidroelektrik santrallerden, 21.230 GWh'i de diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır. 2009 yılı ile birlikte yenilenebilir enerji kaynak bazlı üretimimizde ciddi artışlar gözlenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve jeotermal bazlı üretimimiz 2002 yılındaki 153 GWh seviyelerinden 2016 yılı sonu itibarıyla güneşin de dahil olmasıyla 21.230 GWh düzeyine ulaşmıştır. Çizelge 3.6' da kaynak bazında Türkiye elektrik enerjisi üretiminin 2002 -2016 yılları arasındaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kaynak bazında Türkiye elektrik enerjisi üretimi (GWh) (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017; <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Enerji-ve-Tabii-Kaynaklar-Gorunumleri>; <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>).

YIL	TERMİK (%)		HİDROLİK (%)		RÜZGÂR + GÜNEŞ + JEOTERMAL (%)		TOPLA M	ARTIŞ (%)
2002	95.563	%73,9	33.684	%26,0	153	%0,1	129.400	5,4
2003	105.101	74,8	35.330	25,1	150	0,1	140.581	8,6
2004	104.464	69,3	46.084	30,6	151	0,1	150.698	7,2
2005	122.242	75,5	39.561	24,4	153	0,1	161.956	7,5
2006	131.835	74,8	44.244	25,1	221	0,1	176.300	8,9
2007	155.196	81,0	35.851	18,7	511	0,3	191.558	8,7
2008	164.139	82,7	33.270	16,8	1.009	0,5	198.418	3,6
2009	156.923	80,6	35.958	18,5	1.931	1,0	194.813	-1,8
2010	155.828	73,8	51.796	24,5	3.585	1,7	211.208	8,4
2011	171.638	74,8	52.339	22,8	5.418	2,4	229.395	8,6
2012	174.872	73,0	57.865	24,2	6.760	2,8	239.497	4,4
2013	171.812	71,5	59.420	24,7	8.921	3,7	240.154	0,3
2014	200.417	79,5	40.645	16,1	10.901	4,3	251.963	4,9
2015	179.366	68,5	67.146	25,7	15.271	5,8	261.783	3,9
2016	184.889	67,6	67.268	24,6	21.230	7,8	273.387	4,4

2016 sonu itibarıyla elektrik üretimimizin % 67,6'sı termik santrallerden, % 24,6'sı hidroelektrik santrallerden, % 7,8'i diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır. 2002-2016 dönemi içerisinde termik ve hidrolik kaynaklı elektrik üretim oranları mevcut oranlara kıyasla çok fazla değişkenlik göstermezken rüzgâr ve jeotermal kaynaklı elektrik üretim oranları 2002 yılındaki değeri olan % 0,1'lerden 2016 sonu itibarıyla % 8'e kadar yükselmiştir.

Çizelge 3.7' de ise Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımının 2014-2016 yılları arasındaki değerler verilmiştir. 2016 yılı sonu itibarıyla termik santrallerden ürettiğimiz elektrik enerjisinin toplam elektrik enerjisi üretimi içindeki oranı % 67,6'dır. Bu oran içerisinde ilk sırayı % 33,74'lik payı ile kömür kaynaklı santraller alırken onu % 32,1'lik orana sahip doğal gaz + LNG kaynaklı santraller takip etmekte, termik santralleri ise % 24,6'lık pay ile hidrolik santraller takip etmektedir. 2016 sonu itibarıyla 2014 yılına göre rüzgâr santrallerinde üretilen elektriğin toplam üretimdeki payının % 3,4'ten % 5,7'ye yükselmiş olması son derece önem arz etmektedir.

Çizelge 3.7. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (GWh) (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017; <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Enerji-ve-Tabii-Kaynaklar-Gorunumleri>; <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>).

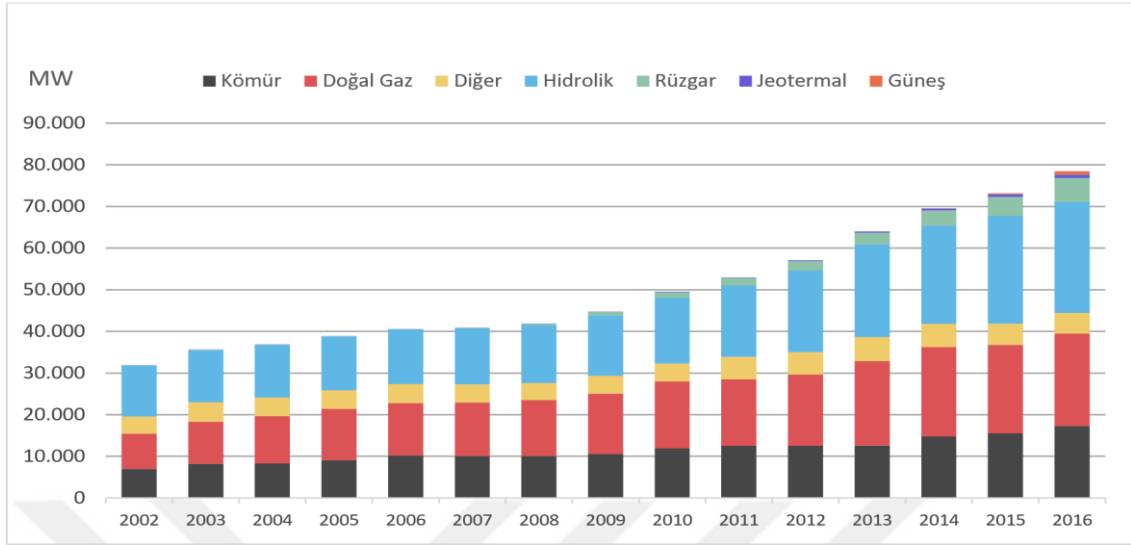
BİRİNCİL ENERJİ KAYNAĞI		2014		2015		2016	
		ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI (%)	ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI (%)	ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI (%)
KÖMÜR	Taşkömürü+ İthal Kömür+ Asfaltit	39.647	15,7	44.830	17,12	53.778	19,67
	Linyit	36.615	14,5	31.336	11,97	38.460	14,07
SIVI YAKITLAR	FUEL-OIL	1.663	0,66	980	0,37	1.103	0,40
	MOTORİN	482	0,19	1.244	0,48	1.548	0,57
	LPG		0,00		0,0		0,0
	Nafta		0,00		0,0	2	0,00
DOĞALGAZ + LNG		120.576	47,9	99.219	37,9	87.820	32,1
YENİLENEBİLİR + ATIK		1.433	0,57	1.758	0,67	2.179	0,80
TERMİK		200.417	79,5	179.366	68,52	184.889	67,63
HİDROLİK		40.645	16,1	67.146	25,6	67.268	24,6
RÜZGÂR		8.520	3,4	11.652	4,45	15.492	5,67
JEOTERMAL		2.364	0,9	3.424	1,31	4.767	1,74
GÜNEŞ		17,4	0,01	194	0,07	972	0,36
GENEL TOPLAM		251.963	100	261.783	100	273.387	100

Çizelge 3.8' de Ülkemiz elektrik enerjisi kurulu gücünün 2002-2016 yılları arasındaki kaynak bazındaki değişimine ilişkin değerler verilmiştir. 2002 yılında 31.846 MW olan elektrik enerjisi kurulu gücümüz 2016 yılı sonu itibarıyla yaklaşık 2,5 katına çıkarak 78.497 MW'a yükselmiştir. 2002-2016 arası son 15 yıllık dönemde ise ortalama yıllık %7,1'lik bir kurulu güç artışı gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.8. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü (MW) (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017; <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>).

YIL	TERMİK			HİDROLİK	RÜZGÂR	JEOTERMAL	GÜNEŞ	TOPLAM	ARTIŞ (%)
	Kömür	Doğal Gaz	Diğer						
2002	6.983	8.438	4.147	12.241	18,9	17,5		31.846	12,4
2003	8.239	10.053	4.683	12.579	18,9	15		35.587	11,7
2004	8.296	11.349	4.500	12.645	18,9	15	-	36.824	3,5
2005	9.117	12.275	4.487	12.906	20,1	15	-	38.820	5,4
2006	10.197	12.641	4.520	13.063	59	23	-	40.502	4,3
2007	10.097	12.853	4.322	13.395	146,3	23	-	40.836	0,8
2008	10.095	13.428	4.072	13.829	363,65	29,8	-	41.817	2,4
2009	10.501	14.555	4.284	14.553	791,6	77,2	-	44.761	7,0
2010	11.891	16.112	4.276	15.831	1.320	94,2	-	49.524	10,6
2011	12.491	16.005	5.436	17.137	1.729	114,2	-	52.911	6,8
2012	12.530	17.164	5.335	19.620	2.261	162,2	-	57.072	7,9
2013	12.563	20.255	5.830	22.289	2.760	310,8	-	64.007	12,2
2014	14.771	21.476	5.555	23.643	3.630	404,9	40,2	69.520	8,6
2015	15.483	21.261	5.159	25.868	4.503	623,9	248,8	73.147	5,2
2016	17.316	22.217	4.878	26.681	5.751	820,9	832,5	78.497	7,3

Şekil 3. 1' de ise Ülkemiz elektrik enerjisi kurulu gücünün 2002-2016 yılları arasındaki kaynak bazındaki değişimine ilişkin grafik verilmiştir. Şekil 3. 1'e göre son on yıl elektrik enerjisi kurulu gücünde kömür ve doğal gazla dayalı termik santral kurulu gücü artarak devam ettiği görülmektedir.



Şekil 3.1. Ülkemiz elektrik enerjisi kurulu gücü ((Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017; <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>).

Çizelge 3.9’ da ülkemiz elektrik enerjisi kaynak bazında kurulu gücü oranları verilmektedir. Çizelge 3.9 bakıldığında, elektrik üretimin kullanılan birincil enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar ve hidrolik kaynaklar son on yıldır önemini korumuştur. 2002-2016 yılları arasında rüzgâr, güneş ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim santralinde ise önemli oranda artış gözlenmektedir. 2002 yılında toplam elektrik enerjisi kurulu gücü içerisinde % 38,4’lük pay ile hidrolik kaynaklar ilk sırayı alırken onu % 26,5’lik pay ile doğal gaz, % 21,9’luk pay ile kömür ve % 0,1’lik pay ile rüzgâr + jeotermal izlemektedir. Geriye kalan % 13’lük payı ise diğer kaynaklar oluşturmaktadır. 2016 sonu itibarıyla ülkemiz elektrik enerjisi kurulu gücü içerisinde hidrolik kaynakların oranı % 34,0, doğal gazın % 28,3, kömürün % 22,1 ve rüzgâr + güneş + jeotermalin ise % 9,4 olarak gerçekleşmiştir. Bu kaynaklar haricinde kalan diğer kaynakların payı ise % 6,2’dir. 2002-2016 döneminde en büyük artış oranı güneş, rüzgâr ve jeotermal kaynaklı kurulu güç payında gözlenmektedir.

Çizelge 3.9. Ülkemiz elektrik enerjisi kaynak bazında kurulu gücü oranları (Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017; <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Enerji-ve-Tabii-Kaynaklar-Gorunumleri>; <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>).

YIL	TERMİK			HİDROLİK (%)	RÜZGÂR + GÜNEŞ + JEOTERMAL (%)
	Kömür (%)	Doğal Gaz (%)	Diğer (%)		
2002	21,9	26,5	13,0	38,4	0,1
2003	23,2	28,2	13,2	35,3	0,1
2004	22,5	30,8	12,2	34,3	0,1
2005	23,5	31,6	11,6	33,2	0,1
2006	25,2	31,2	11,2	32,3	0,2
2007	24,7	31,5	10,6	32,8	0,4
2008	24,1	32,1	9,7	33,1	0,9
2009	23,5	32,5	9,6	32,5	1,9
2010	24,0	32,5	8,6	32,0	2,9
2011	23,6	30,2	10,3	32,4	3,5
2012	22,0	30,1	9,3	34,4	4,2
2013	19,6	31,6	9,2	34,8	4,8
2014	21,2	30,9	8,0	34,0	5,9
2015	21,2	29,1	7,1	35,4	7,3
2016	22,1	28,3	6,2	34,0	9,4

Çizelge 3.10' da Türkiye elektrik üretim tesislerinin kuruluş ve kaynaklara göre kurulu güç dağılımının 2017 ve 2018 Eylül sonu itibariyle verileri gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Türkiye elektrik sistemi kuruluş ve kaynaklara göre kurulu güç (2018 Yılı Eylül Sonu İtibariyle) (<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Enerji-ve-Tabii-Kaynaklar-Gorunumleri>; <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>; <https://www.teias.gov.tr/tr/2017-yili-isletme-faaliyetleri-raporu>; <https://www.teias.gov.tr/tr/sector-raporlari>).

KURULUŞ TÜRLERİ	2017 YILI SONU İTİBARIYLA			30 EYLÜL 2018 SONU İTİBARIYLA		
	KURULU GÜÇ MW	KATKI %	SANTRAL SAYISI ADET	KURULU GÜÇ MW	KATKI %	SANTRAL SAYISI ADET
EÜAŞ	19.899,8	23,4	62	19.856,8	22,6	58
İşletme Hakkı Devredilen Santraller	1.820,9	2,1	76	2.018,8	2,3	84
Yap İşlet Santralleri	6.101,8	7,2	5	6.101,8	6,9	5
Yap İşlet Devret Santralleri	1.378,9	1,6	15	1.358,8	1,5	12
Serbest Üretim Şirketleri	52.353,3	61,4	1.127	53.503,0	60,8	1.166
Lisanssız Santraller	3.645,3	4,3	3.736	5.108,6	5,8	5.764
TOPLAM	85.200,0	100,0	5.021	87.947,7	100,0	7.089
YAKIT CİNSLERİ	2017 YILI SONU İTİBARIYLA			30 EYLÜL 2018 SONU İTİBARIYLA		
	KURULU GÜÇ MW	KATKI %	SANTRAL SAYISI ADET	KURULU GÜÇ MW	KATKI %	SANTRAL SAYISI ADET
Fuel-Oil + Nafta + Motorin	303,6	0,4	12	294,0	0,3	11
Yerli Kömür(Taş Kömürü + Linyit + Asfaltit)	9.872,6	11,6	30	10.203,5	11,6	31
İthal Kömür	8.793,9	10,3	11	8.793,9	10,0	11
Doğalgaz + Lng	23.063,7	27,1	243	22.678,6	25,8	252
Yenilen.+Atık+Atıksı+Pirolitik Yağ	575,1	0,7	98	623,3	0,7	99
Çok Yakıtlar Katı+Sıvı	682,9	0,8	22	697,1	0,8	22
Çok Yakıtlar Sıvı+D.Gaz	3.433,6	4,0	47	3.361,2	3,8	47
Jeotermal	1.063,7	1,2	40	1.198,7	1,4	43
Hidrolik Barajlı	19.776,0	23,2	117	20.503,5	23,3	117
Hidrolik Akarsu	7.489,7	8,8	501	7.643,2	8,7	513
Rüzgar	6.482,2	7,6	161	6.760,5	7,7	170
Güneş	17,9	0,0	3	81,7	0,1	9
Termik (Lisanssız)	201,1	0,2	67	275,9	0,3	95
Rüzgar (Lisanssız)	34,0	0,0	46	57,3	0,1	68
Hidrolik(Lisanssız)	7,4	0,0	10	7,4	0,0	10
Güneş (Lisanssız)	3.402,8	4,0	3.613	4.768,0	5,4	5.591
TOPLAM	85.200,0	100,0	5.021	87.947,7	100,0	7.089

3.3. Türkiye Elektrik Üretiminde Kömür ve Doğalgaz

Ülkemizde ki hali hazırda işletmede olan elektrik üretim santrallerinin toplam kurulu gücündeki fosil yakıtlı termik santrallerin oranı oldukça yüksektir. Son 10 yılda yenilenebilir enerji üretim tesislerine ciddi yatırımlar yapılsa da fosil yakıt termik santraller halen önemini korumaktadır. Çizelge 3.11’ de ülkemiz 2002-2016 yılları arasındaki termik santral kurulu gücü dağılımı verilmektedir. Termik santrallerin kurulu gücü, 2002 yılında 19.568 MW olup 2016 sonunda ise 44.411 MW’ ye yükselmiştir. Çizelge 3.11’ den görüldüğü üzere 2002 yılında tek yakıtlı termik santrallerin toplam termik santraller kurulu gücü içerisindeki payının % 91,2 olduğu, bu oranın 2016 sonu itibarıyla % 90,9’a gerilediği görülmektedir. Tek yakıtlı santraller içinde doğal gaz ile çalışan santraller ağırlıkta olmakla birlikte onu linyit kaynaklı santraller takip etmektedir. Tek yakıtlı termik santrallerin sahip olduğu toplam kurulu güç içerisinde doğal gaz ile çalışan santrallerin sahip olduğu kurulu güç payının 2016 sonu itibarıyla % 55,0 olduğu görülmektedir. Doğal gaz santrallerini % 22,5’lik oranı ile linyit kaynaklı santraller takip etmektedir.

Çizelge 3.11. Ülkemiz termik santral kurulu gücü dağılımı (MW) ((Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü, 2017; <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Enerji-ve-Tabii-Kaynaklar-Gorunumleri>; <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>).

		2002	2012	2014	2015	2016
TEK YAKITLI	Linyit	6.503	8.148	8.238	8.663	9.087
	Taşkömürü	335	335	335	350	350
	İthal Kömür + Asfaltit	145	4.048	6.198	6.469	7.879
	Fuel-Oil	2.009	1.196	509	440	363
	Motorin	236	27	11	1	1
	LPG	24	0	0	0	0
	Nafta	132	5	5	5	5
	Doğalgaz +LNG	8.438	17.164	21.476	21.261	22.217
	Yenilenebilir + Atık + Atık Isı + Prolitik Yağ	28	159	288	362	488
	Toplam	17.849	31.080	37.060	37.552	40.390
ÇOK YAKITLI	Katı + Sıvı	456	676	668	667	667
	Sıvı + D. Gaz	1.264	3.273	4.074	3.684	3.354
	Toplam	1.719	3.949	4.742	4.351	4.021
	TERMİK TOPLAM	19.568	35.029	41.802	41.903	44.411

Çizelge 3.12’ de Türkiye’ nin 2017 yılında toplam elektrik üretim ve tüketim değerleri verilmiştir. Çizelgede Türkiye’ nin 2017 toplam üretimi 297 milyar kWh, tüketimi ise 296 milyar kWh olduğu görülmektedir. Ayrıca 2017 toplam elektrik üretiminin ise 215 milyar kWh’ i termik santrallerden üretilmiştir.

Çizelge 3.12. 2017 yılı Türkiye toplam elektrik üretim ve tüketimi (<https://www.teias.gov.tr/tr/2017-yili-isletme-faaliyetleri-raporu>).

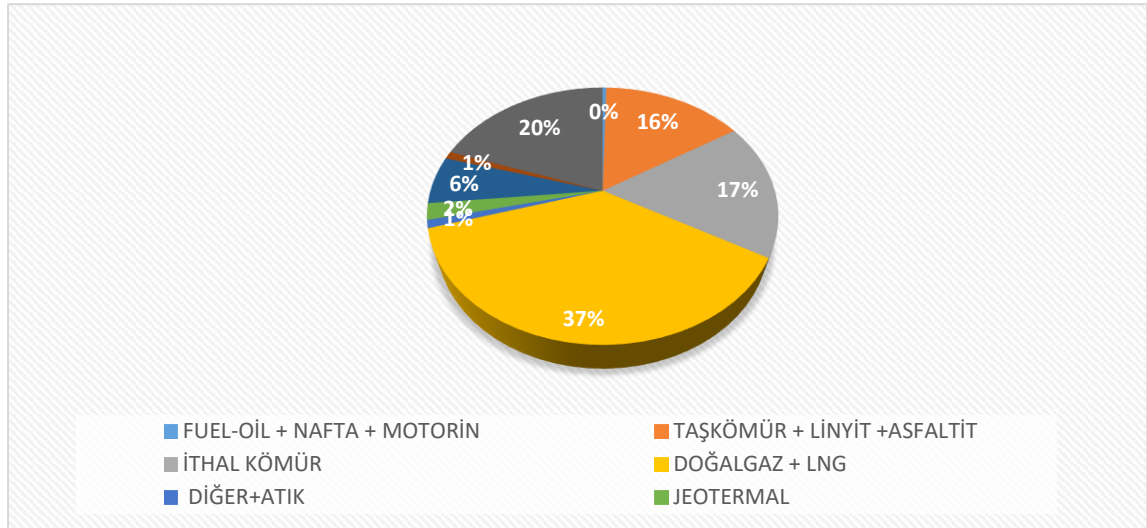
ÜRETİM(Kwh)					ÜRETİM +			
TERMİK	JEOTERMAL	RÜZGAR	HİDROLİK	TOPLAM	DIŞ ALIM			
					TOPLAM	TOPLAM	DIŞ SATIM	TÜKETİM
215.027.764.421	6.127.481.907	17.903.815.110	58.218.462.419	297.277.523.857	2.728.268.228	300.005.792.084	3.303.673.414	296.702.118.670

Çizelge 3.13’ de Türkiye’nin 2017 yılı içerisinde elektrik enerjisi üretiminin birincil kaynaklara göre dağılımı verilmektedir. Çizelge 3.13 incelendiğinde fosil yakıtların toplam elektrik üretimindeki birincil enerji kaynağı olarak önemini koruduğu görülmektedir. Taş kömürü, linyit ve asfaltitden üretilen elektrik enerjisi miktarı 46 milyar kWh olmuştur.

Çizelge 3.13. 2017 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil kaynaklara göre dağılımı (<https://www.teias.gov.tr/tr/2017-yili-isletme-faaliyetleri-raporu>).

Fuel-Oil + Nafta + Motorin	Taşkömür + Linyit +Asfaltit	İthal Kömür	Doğalgaz + Lng	Diğer+Atık	Termik Toplam	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Hidrolik Toplam	Genel Toplam
1.199,9	46.358,2	51.118,1	110.490,0	2.972,3	212.138,5	6.127,5	17.903,8	2.889,3	58.218,5	297.277,5

Şekil 3.2’ de ise 2017 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil kaynaklara göre dağılımı oransal olarak verilmiştir. 2017 yılında üretilen elektrik enerjisinin % 16’sı taş kömürü, linyit ve asfaltitden üretilmiştir. % 37’si ise doğalgaz ve LNG den üretilmiştir. Toplam üretimdeki ithal kömürün payı ise % 17’ dir.



Şekil 3.2. 2017 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil kaynaklara göre dağılımı.

Çizelge 3.10’ da Türkiye Elektrik Kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı gösterilmektedir. 2018 yılı eylül ayı itibarıyla Türkiye de kömür yakıtlı santraller toplam kurulu gücün % 21,09’ dur. 2017 yılında yerli Kömür yakıtlı santrallerden elektrik üretiminin toplam üretimdeki payı ise % 16 olduğu Şekil 3.2’ de görülmektedir. Yerli kömür yakıtlı santrallerin üretim değerleri ve Türkiye de tespit edilmiş kömür rezervleri dikkate alındığında günümüzde kömürün elektrik üretiminde yerli kaynak olması nedeniyle, ülke ekonomisine katkı sağlamak ve aynı zamanda enerjide dışa bağımlılığımızı azaltmak için önemli hale gelmiştir. Ekonomik büyüme, nüfusun kentlerde yoğunlaşması ve nüfus artışıyla birlikte Türkiye’de enerjiye olan talep her yıl artmakta olup, artan talebin yerli kaynaklarla karşılanması ülke ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada yerli yakıt olan düşük kaliteli linyit kömür rezervleri için verimli ve uygun yakma sistemi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Türkiye Kömür İşletmeleri yerli linyit sahalarının ekonomimize katmak adına rüdevans yöntemiyle birçok sahayı termik santral kurulması şartıyla ihale çıkmıştır. Bu kapsamda, Adana-Tufanbeyli’de bulunan; 323 milyon ton kömür rezervli sahada 600 MW minimum kapasiteli termik santral kurulumu şartı ile 2012 yılı haziran ayında, Manisa-Soma’da bulunan; 153 milyon ton kömür rezervli sahada, 510 MW kapasiteli termik santral kurulumu şartı ile 2012 yılı ekim ayında, Bursa-Keles’te bulunan;

61 milyon ton kömür rezervli sahada 270 MW minimum kapasiteli termik santral kurulumu şartı ile 2012 yılı kasım ayında, Kütahya-Domaniç’ te bulunan; 117 milyon ton kömür rezervli sahada 300 MW minimum kapasiteli termik santral kurulumu şartı ile 2013 yılı mayıs ayında, Bingöl-Karlıova’da bulunan; 103 milyon ton kömür rezervli sahada 150 MW minimum kapasiteli termik santral kurulumu şartı ile 2013 yılı ağustos ayında, ihaleleri kazanan firmalarla sözleşmeler imzalanarak sahaların yer teslimleri yapılmıştır. Önümüzdeki yıllarda devreye alınması hedeflenen bu projeler sayesinde, yaklaşık 900 milyon tona yakın kömür rezervi değerlendirilerek, toplamda 3.065 MW’ lık bir ilave kapasiteyle ülkemizin elektrik kurulu gücünde önemli bir artış sağlanmış olacaktır.(<http://www.tki.gov.tr/depo/file/faaliyet%20raporu/2017faaliyetraporu.pdf>; <http://www.mta.gov.tr/v3.0/>).

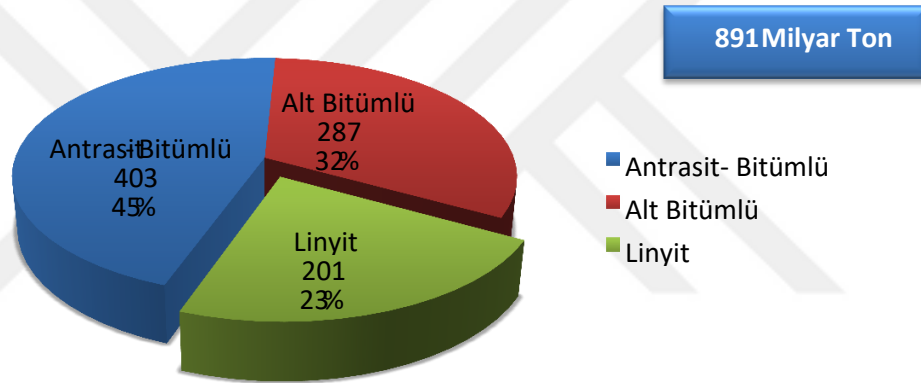
Çizelge 3.14. Yerli kömür yakıtlı işletmedi ki elektrik üretim tesisleri (www.epdk.gov.tr).

Tesis Adı	Tesis İli	Tesis İlçesi	Kurulu Gücü (MWe)
Afşin Elbistan A Termik Santrali	Kahramanmaraş	Afşin	1355
Soma Termik Santrali	Manisa	Soma	44
Çan-2 Termik Santrali	Çanakkale	Çan	330
Tunçbilek Termik Santrali	Kütahya	Tavşanlı	365
Orhaneli Termik Santrali	Bursa	Orhaneli	210
Soma B Termik Santrali	Manisa	Soma	990
Yeniköy Termik Santrali	Muğla	Milas	420
Kemerköy Termik Santrali	Muğla	Milas	630
Çatalağzı Termik Santrali	Zonguldak	Merkez	315
Yatağan Termik Santrali	Muğla	Yatağan	630
Çayırhan Termik Santrali	Ankara	Nallıhan	620
Kangal TES	Sivas	Kangal	457
Seyitömer TES	Kütahya	Merkez	600
Bolu-Göynük Elektrik Santrali	Bolu	Göynük	270
Polat-1 Termik Santrali	Kütahya	Tavşanlı	51
İçdaş Biga Termik Santrali	Çanakkale	Biga	405
Tufanbeyli Termik Santrali	Adana	Tufanbeyli	450
Çan Termik Santrali	Çanakkale	Çan	320
Çan-2 Termik Santrali	Çanakkale	Çan	330
Afşin - Elbistan B	Kahramanmaraş	Afşin	1440

Çizelge 3.14. de yerli kömür yakıtlı elektrik üretim tesisleri görülmektedir. Bu tesisler içerisinde bulunan Bolu- Göynük TES, Tufanbeyli TES, İçdaş Biga TES, Çan TES, Çan-2 TES akışkan yataklı elektrik üretim tesisleridir.

Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yüksek Planlama Kurulunun 2009/11 No'lu kararı ile “Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Stratejisi Belgesi” kabulü ile kaynak kullanım hedefleri doğrultusunda yerli linyit ve taşkömürü kaynak payının artırılması ve 2023 yılına kadar elektrik enerjisi üretimi amacıyla değerlendirmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Dünya Enerji Konseyi'nin araştırmalarına göre; dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi toplam 891 milyar ton büyüklüğündedir. Söz konusu rezervin; 403 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 287 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 201 milyar tonu ise linyit kategorisindedir. Tahmini rakamlara göre ise dünya toplam rezervinin yaklaşık 1,1 trilyon olduğu bilinmektedir (<https://www.dunyaenerji.org.tr/wec-yayinlari/>).



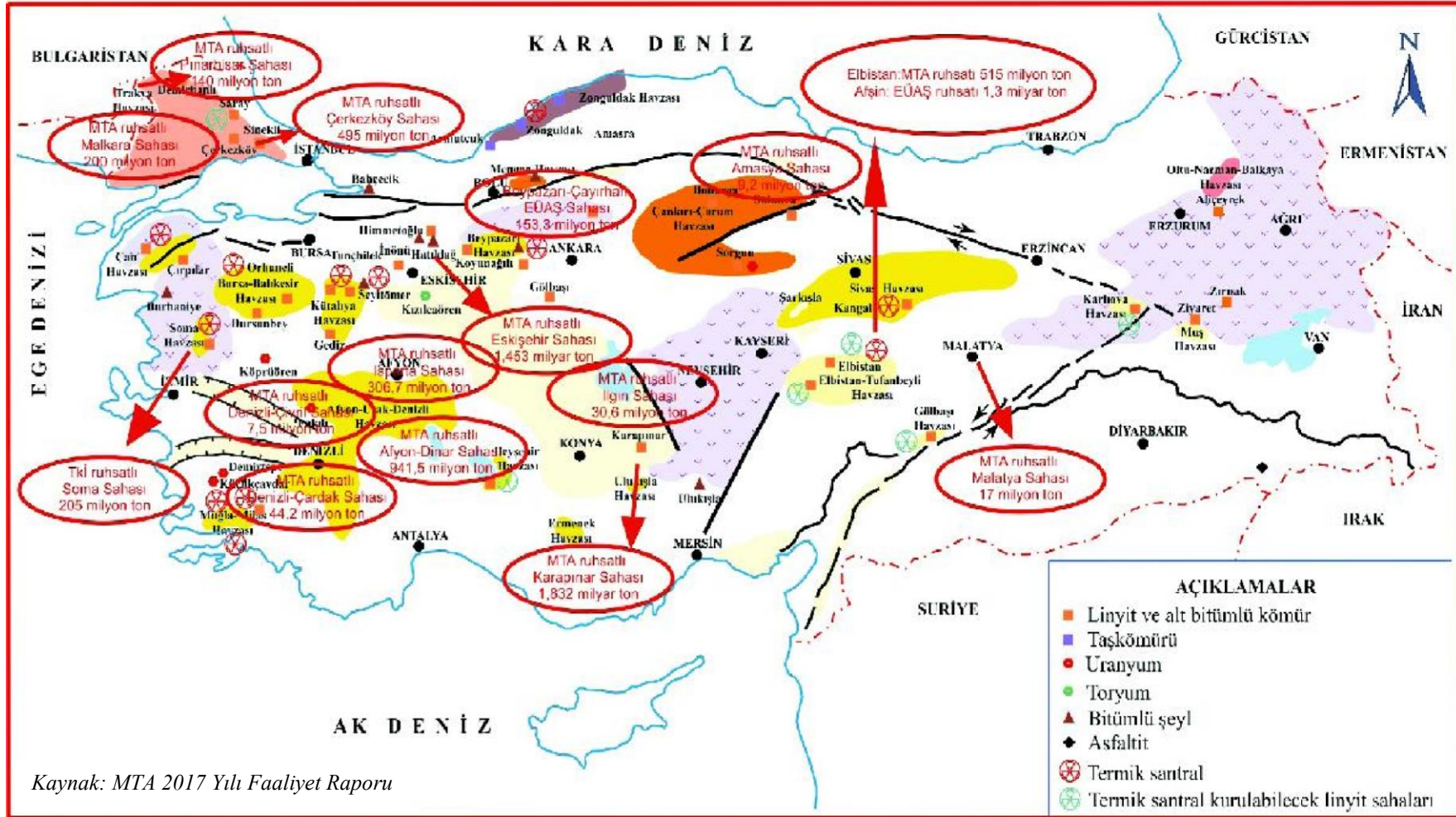
Şekil 3.3. Dünya kömür kaynak rezervlerinin kömür türü bazında dağılımı (<https://www.dunyaenerji.org.tr/wec-yayinlari/>; <http://www.tki.gov.tr/depo/file/faaliyet%20raporu/2017faaliyetraporu.pdf>).

Ülkemiz rezerv ve üretim miktarları açısından linyitte dünya ölçeğinde orta düzeyde, taşkömüründe (antrasit) ise alt düzeyde değerlendirilebilir. Toplam dünya linyit rezervlerinin % 8,7'si, linyit ve alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %3,6'sı ve antrasit dâhil toplam dünya kömür rezervinin yaklaşık % 2,1'i ülkemizde bulunmaktadır.

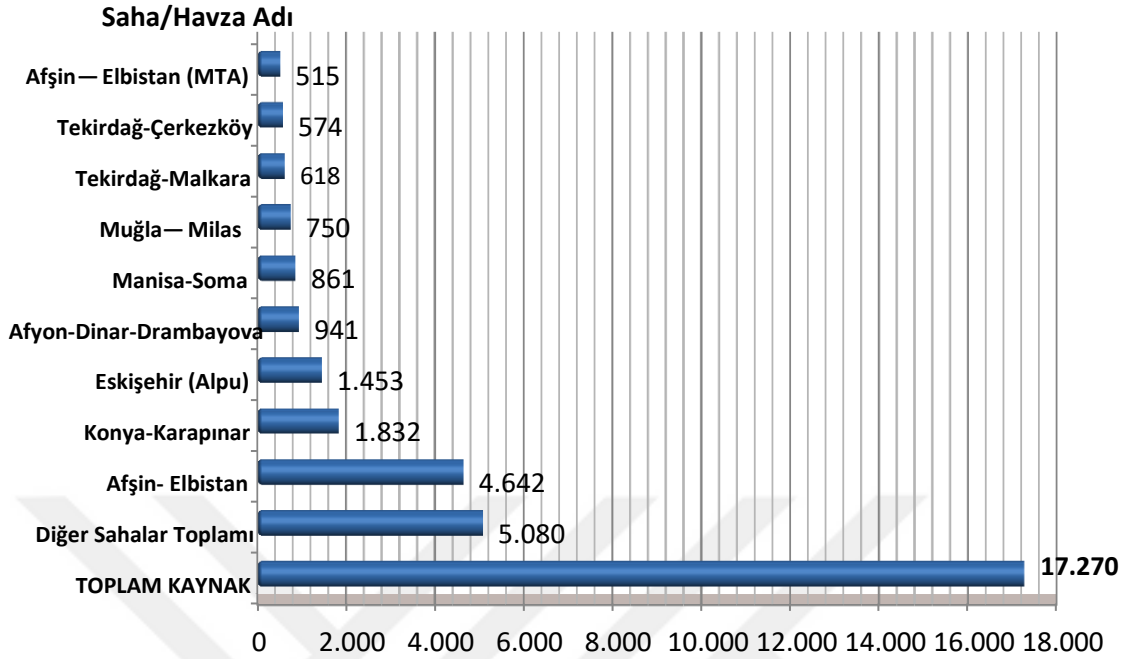
2005 yılından başlayarak MTA Genel Müdürlüğü'nün koordinatörlüğünde; TKİ, TP, DSİ, MTA, EİE ve TTK ile ortak bir çalışma (Linyit Arama Projesi) başlatılmış olup son yıllarda tespit edilen yeni linyit kaynakları ile birlikte toplam linyit kaynak miktarımızda ciddi artışlar söz konusu olmuştur. 2005-2017 yılları arasında 4 adedi büyük rezervli (Karapınar-Ayrancı, Eskişehir-Alpu, Afyon-Dinar, Tekirdağ-Malkara) olmak üzere 13 adet yeni kömür sahası keşfedilmiş, 3 sahada ise rezerv artışı sağlanarak; ülkemiz linyit kaynağı yaklaşık 8,97 milyar ton

artırılarak 8,3 milyar ton seviyelerinden 17,27 milyar ton seviyesine yükseltilmiştir. Bu durum son 12 yılda yaklaşık %110 oranında yerli linyit kaynağı artışını ifade etmektedir. Son linyit kaynağı artışları ile birlikte ülkemiz linyit kaynağının yaklaşık %29,5'i Afşin-Elbistan havzasında yer alırken %10,5'i Konya-Karapınar, %8,3'ü Eskişehir-Alpu, %5,4'ü Afyon-Dinar, %4,9'u Manisa-Soma ve %4,3'ü Muğla-Milas'ta yer almaktadır (<http://www.tki.gov.tr/depo/file/faaliyet%20raporu/2017faaliyetraporu.pdf> ; <http://www.mta.gov.tr/v3.0/>).

Ülkemizin en önemli taşkömürü kaynağı ise Zonguldak ve civarındadır. MTA'nın güncel raporlarına göre taş kömürü kaynağı 1,5 milyar ton' dur (<http://www.mta.gov.tr/v3.0/>). Linyit, asfaltit ve taş kömürü ile birlikte toplam kömür kaynağı 18,77 milyar ton' dur (<http://www.tki.gov.tr/depo/file/faaliyet%20raporu/2017faaliyetraporu.pdf>; <http://www.mta.gov.tr/v3.0/>). Ülkemiz kömür kaynaklarının henüz üçte birinin etüt ve fizibilite çalışmaları tamamlandığı için çok az bir kısmı rezerv olarak nitelendirilmektedir. Şekil 3.4' de Türkiye linyit, asfaltit ve taş kömürü kaynağı ve miktarlarını gösteren harita verilmiştir.

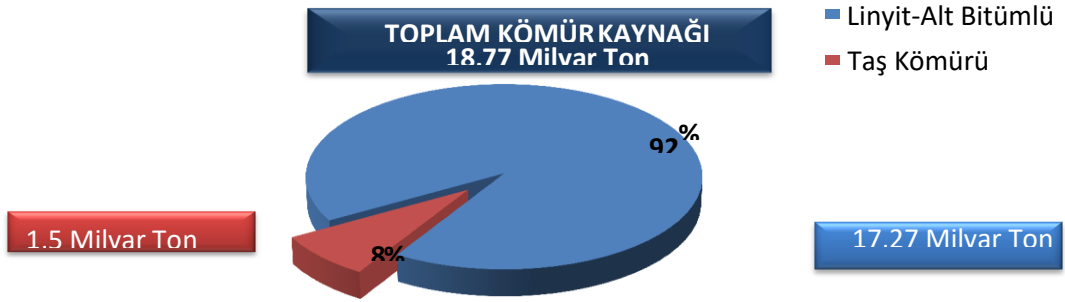


Şekil 3.4. Türkiye linyit, asfaltit ve taş kömürü kaynağı ve miktarlarını gösteren harita (<http://www.mta.gov.tr/v3.0/>).



Şekil 3.5. Türkiye'nin önemli linyit sahaları ve kaynak rezerv miktarları (Milyon Ton) (<http://www.tki.gov.tr/depo/file/faaliyet%20raporu/2017faaliyetraporu.pdf>; <http://www.mta.gov.tr/v3.0/>).

Şekil 3.5' de Türkiye'nin önemli linyit sahaları ve kaynak rezerv miktarları grafiksel olarak gösterilmiştir. Linyit/alt bitümlü kömür sahaları ülkemizde bütün bölgelere yayılmış olup bu sahalardaki linyit/alt bitümlü kömürün ısı değerleri 1000-5000 kcal/kg arasında değişmektedir. Ülkemizdeki toplam linyit/alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık % 68'i düşük kalorili olup % 23,5'i 2000-3000 kcal/kg arasında, % 5,1'i 3000-4000 kcal/kg arasında, % 3,4'ü 4000 kcal/kg üzerinde ısı değerindedir. Bununla birlikte linyitlerimizin büyük kısmının ısı değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmıştır. Şekil 3.6' da ise Türkiye toplam kömür kaynak rezervinin kömür türüne göre dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Türkiye toplam kömür kaynak rezervinin kömür türüne göre dağılımı.



4. TERMİK SANTRALLERDE KÖMÜR YAKMA TEKNOLOJİLERİ

Fosil yakıtlar içerisinde kömür, ülkemiz de düşük kaliteli linyit türünde bulunmakta olup ülkemizde kurulu olan termik santrallerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda linyit rezerv araştırmaları halen ülkemizde ilgili kurumlar tarafından yapılmaktadır. Kamu ve özel sektör tarafından yerli linyite dayalı termik santral kurulumu ise planlanmaktadır. Termik santrallerde elektrik üretimi basit olarak, kazana gönderilen kömür ve yakma havası ile oksitlenerek yanma meydana gelir. Yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjisi ile türbinlerde mekanik enerjiye, generatör de ise elektrik enerjisine dönüşür. Kazanda meydana gelen yanma işlemi ise karmaşık bir kimyasal olaydır.

Yanma, bir kimyasal işlemdir. Amaç kimyasal enerjinin termik enerjiye dönüşümü yoluyla ısı elde etmektir. Dolayısıyla yanma olayı kimyasal tepkimeler için geçerli esaslara bağlıdır. Bu işlem genel olarak;

$$A_{\text{Yakıt}} + B_{\text{Oksitleyici}} = C_{\text{Tepkime Ürünleri}} + D_{\text{Isı}} \text{ denklemiyle belirlenir.}$$

Kömürün yanma mekanizması ise kimyasal olarak çok karmaşık olaydır. Ortam şartlarına bağlı olarak karmaşıklık daha da artar. Basit olarak kömürün ve katı yakıtların yanmasını sağlamak için, oksitleyici ortamın(hava) yakıtla tam temas sağlanması gereklidir. Bütün yakıtın oksitlendiği durumlarda tüm elemanlar ortamı oksitlenmiş olarak CO₂, H₂O, NO_x, SO₂ ve SO₃ olarak ortamı terk ederler. Kazanda meydana gelen yanmayı etki eden en önemli faktörlerden bir tanesi yakma sistemidir. Bu bölümde termik santrallerde kullanılan yakma sistemleri üzerinde durulacaktır.

Dünya birincil enerji tüketiminde, kömür tüketiminin oranı günümüzde halen önemini korumaktadır. Dünya kömür tüketiminin büyük bir oranı ise kömür yakıtlı santrallerde elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Bu nedenle, kömür yakıtlı termik santrallerde, gerek verimliliği artırmak gerekse de işletme ve bakım şartlarını iyileştirmek için kömür yakma teknolojileri önemli hale gelmiş olup kömür yakma teknolojilerinin araştırılması ve geliştirmesi büyük firma ve Ar-ge merkezleri tarafından yapılmaktadır. Kömürün enerji üretmek amacıyla yakılmasında genel olarak üç sistem kullanılmaktadır. Günümüzde katı yakıtlı termik santrallerde kömür yakma teknolojisi olarak; ızgaralı (sabit yatak) yakma sistemi, pülverize kömür yakma ve akışkan yataklı yakma teknolojileri kullanılmakla birlikte bu teknoloji sınıflandırması termik santral tipi olarak da kullanılmaktadır. Bu yakma teknolojilerinden termik santrallerde yoğun olarak kullanılan ise pülverize kömür yakma ve akışkan yataklı yakma teknolojileridir. Kömür özelliklerine göre yakma teknolojisi seçimi de farklılık göstermektedir. Teknoloji seçiminde ise, termik santrallerde kullanılmak istenen kömür, öncelikle yanma testine tabii tutulduktan sonra, kül, nem, kükürt vb.

gibi özelliklere göre teknoloji seçimi ve kazan tasarımı yapılır. Örnek: kül oranının yüksek ve kül ergime sıcaklığı düşük olan bir kömür için yanma odası sıcaklığının pülverizeye göre daha düşük akışkan yataklı yakma teknolojisi seçilmesi uygun olur. Bu bölümde, termik santrallerde kullanılan kömür yakma teknolojileri, bu teknolojilerin karşılaştırılması, avantajları, dezavantajları, kullanım alanları ve teknolojideki gelişimlere değinilecektir. Çizelge 4. 1’ de katı yakıtlı yakma sistemleri ve genel karakteristikleri verilmiştir. Çizelge 4.1’ de üç farklı yakma sisteminin, yakma biçimleri, yakıt tane iriliği, ısı kapasite, yanma evreleri ve yakıt türleri gibi özellikler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1. Kömür yakma sistemleri ve özellikleri (Topal, 2018).

SİSTEM ÖZELLİKLERİ	YAKMA SİSTEMLERİ		
	IZGARALI	AKIŞKAN YATAKLI	PÜLVARİZE
Yakma Biçimi	Yüzeyde Yakma	Akışkanlaştırılmış Ortamda Yakma	Yanma Odası Hacminde Askıda Yakma
Yakıt Tane Büyüklüğü	(150 - 5 mm)	(10 - 0,5 mm)	(200 - 0 µm)
Yanma Isıl Kapasitesi	Küçük	Orta	Büyük
Yanma Evrelerinde Yakıt Dinamiği	Yüzeyde Hareketsiz	Akışkanlaştırılmış Ortamda Yoğun Türbülanslı	Hacimde Askıda
Kömür Gazlaşma Ve Tutuşma Isı Deposu (Qit)	Kor Tabakası	Akışkan Yatak	Alev
Yakıt	Kok, Taşkömürü, Briket (Standart Kömür)	Her Türü Kömür ve Atıklar	Toz Kömür, Sıvı ve Gaz Yakıtlar
Yapısal Emisyon Filtreleme	Yok	Var	Çok Sınırlı
Emisyon Kontrolü	Standart Kömür	Baca Gazı Arıtma Sistemleri Gereksiz	Baca Gazı Arıtma Sistemleri Gerekli

4.1. Sabit (Izgaralı) Yatakta Yakma Teknolojisi

Kömür sabit veya hareketli bir ızgaranın üzerindedir ve hava düşük hızda aşağıdan yukarıya doğru kömürün içinden hareket eder. Kül ızgara altından alınır. Günümüzde bu sistemlerle ilgili birçok problem çözülmüş olmasına rağmen hala araştırma isteyen noktalar, yanma randımanının artırılması, yakma hızı, kül toplanma ve kül aşındırmalarının önlenmesidir (Kural, 1988). Izgara üzerinde yakma yapısal olarak; sabit karbon oranı yüksek, yanıcı uçucu madde oranları düşük yakıtlar (kok, taş kömürü) için uygundur. Bu tür yakma sistemlerinde

verimli ve temiz bir yanmanın sağlanabilmesi için, uygun biçim ve tane büyüklüğünde, taşınabilir, depolanabilir uygun ısı değer ve içeriğe sahip, standart özellikte yakıtlara (taşkömürü, kok, briket, vb.) gereksinim vardır (Topal, 2018).

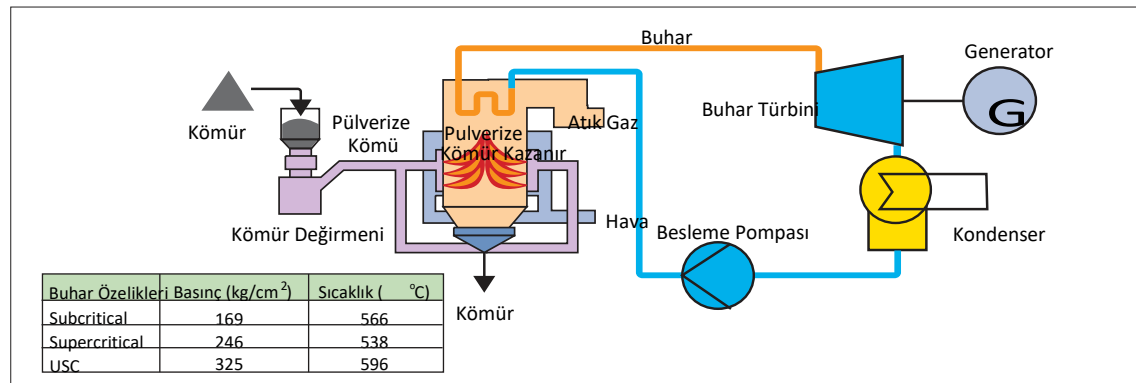
Izgaralı yakma teknoloji kazanlarda yakıt kazan tabanında bulunan ızgaranın yüzeyine serili olarak ya da üstüne püskürtülerek yakıldığı bir uygulamadır. Izgaralı yakma uygulamalarının çoğunluğunda ızgara ya da yatak devamlı arkadan öne doğru yavaşça hareket halindedir. Kömür besleyiciler kömürü ızgaranın üzerine bırakırlar ya da mekanik veya pnömatik olarak ızgaranın en fazla 6 m üzerine gelecek şekilde püskürtürler. Püskürtme uygulamasında yanmanın büyük kısmı askıda gerçekleşir, yanmadan ızgaraya düşen, kalan yakıt tanecikleri de ızgara üstünde yanarlar. Askıda ya da ızgarada gerçekleşen yanma oranları kömürün parçacık büyüklüğüne, reaktivitesine ve püskürtmenin tarzına göre değişmektedir. Izgaralı yakma tekniğinde ısıtılmış hava uygun hava akısını sağlamak için ızgara altına yerleştirilmiş damperlerle, ızgara deliklerinden yukarıya doğru verilmektedir. Izgaranın üzerinden ayrıca verilen hava aşağıdan gelen yanma ürünleri için türbülans yaratırken aynı zamanda askıda yanma için gereken havayı da sağlar. Izgaralı fırındaki ısı transferinin temel şekli, sıcak yakıt yatağından, yanma ürünleri ve kor halindeki karbon taneciklerinden gelen radyasyondur. Izgara yatağının ortalama sıcaklığı; ızgaranın hızı, hava sıcaklığı, fazla hava yüzdesi, yakıttaki uçucu madde ve sabit karbon oranı, yanan yakıttaki nem oranı ve yakıtın parçacık boyutunun bir fonksiyonudur. Izgaralı yakmanın verimli olması için kömürün ince ve kalın parçacıklarının iyi karışmış ve düzgün dağılım göstermesi gerekmektedir. Çifte eleme yapılan kömür tercih edilmelidir. Önce parçacıklar askıda yandığı için fazla miktarda ince parçacıklı yakıtın yanmasıyla baca gazındaki partikül yükü artacak (ızgaralı sistemde külün büyük kısmı ızgaranın altından alınmaktadır), fırında dalgalanmalar, ısı dağılımında düzensizlikler, yüksek yanmamış karbon ve emisyonlarda artış olacaktır. Izgaranın üstünde gerçekleşen askıda yanmada parçacık boyutu büyük olduğunda da yetersiz yanma ve alev kararlılığının bozulması görülecektir. Izgaralı kazanda yanma tekniğinin günümüzde büyük ölçekli tesislerde kullanımı azdır. Izgaralı sistemlerde düşük kaliteli katı yakıtların yakılması oldukça zor ve yetersiz olması, diğer katı yakıtlı yakma teknolojilerinin araştırılması ve geliştirilmesini zorun hale getirmiş, yanma konusunda çalışma yapan bilim insanlarını ve bu konuda çalışma yapan firmaların dikkatini pülverize ve akışkan yatakta yakma sistemlerine yöneltmiştir.

4.2. Pülverize Kömür Yakma Sistemi

Günümüzde, buhar üretimi için pülverize kömür yakma sistemine dayalı kazanların kullanımı, termik santrallerde oldukça yaygın bir teknolojidir. Sistemin temel prensibi, kömür

belli bir tane iriliğinin altına değirmenlerde öğütülüp, pülverize hale gelen kömür hava ile kazana püskürtülür. Kazana pülverize olarak beslenen kömür yanma odasında yakma havası içinde askıda kalarak yanma işlemi gerçekleşir. Yakıtın yanma odasında kalma süresi saniyelerle ifade edilir. Pülverize yakma tekniğinde kömürün çok küçük tane iriliklerine kadar öğütülmesi, gaz gibi yanmasını sağlamaktır. Toz halindeki kömür kolayca alevlenmekte ve kontrolü de mümkün olmaktadır. Pülverize yakma teknolojisiyle buhar elde etmek için antrasitten linyite kadar geniş bir yakıt çeşitliliğini kullanma esnekliği vardır. Kazanın uygun dizaynı dolayısıyla kömür karakteristiklerinden fazla etkilenmeyişi, yüksek ısı açığa çıkarma, tam yanma ve düşük duman emisyonu özellikleri sistemin kullanımı cazip hale getirmiştir. Kömür yakıcıları tarafından ayarlanan yanma şekli (vorteks, teğetsel, köseli ya da çoklu yakıcı sistemleri), fazla hava yüzdesi, kazan içindeki hava dağılımı, yanma yoğunluğu ya da kazan yanma odası hacmi basına ortaya çıkan ısı, kazan tasarımı, ön ısıtılmış hava sıcaklığı, kazan duvar borularının kirliliği gibi unsurlar askıda yanan yanma ürünlerinin ortalama sıcaklığını etkileyen değişkenlerdir (Kural, 1988). Kazanda meydana gelen yanma sıcaklığı yaklaşık 1300-1400 °C' dir (Utt vd., 2011). Yanma hızı yüksektir. Ayrıca, yüksek yanma sıcaklığı, kül ergimesi meydana getirir buda kazan içerisinde cürufanma oluşmasına sebep olur. 1300 MW' a kadar kapasiteye sahip pülverize kazanlar inşa edilmiştir, Ancak pülverize kazana sahip termik santrallerde arıza riskini azaltmak için 300 MW ile 700 MW arasında üniteler kullanılmaktadır (Lockwood, 2013).

Şekil 4.1' de Pülverize yakma teknolojisine bağlı termik santral akış şemasında gösterildiği gibi, pülverize termik santrallerde kömür öncelikle değirmenlerde pülverize hale getirilir ve hava ile birlikte yanmak üzere kazana gönderilir. Kazanda yanma sonucu açığa çıkan sıcak gaz ısı kazın içerisindeki kızdırıcılara verilerek öncelikle ön hava ısıtıcısına oradan ise bacaya gönderilir.



Şekil 4.1. Pülverize yakma teknolojisine bağlı bir termik santral akış şeması.

Buhar üretim sistemi ise Şekil 4.1 ' deki yakma sistemine paralel olarak işler. Pulverize kömür, kazanın yanma odasında yanar ve yanma sonucu açığa çıkan yüksek sıcaklıktaki ısı, buhar hatlarında bulunan buharı kızgınlaştırmak için kullanılır. Yüksek sıcaklıktaki gazlar daha sonra, kazanın içerisine yerleştirilmiş olan buhar tüpleri ve ekonomizerden sırasıyla geçer, burada ısını buhar ve besleme suyuna verir. Kazandan ayrılan sıcak gazların ısısı, ayrıca kazan besleme suyunun ve havayı ön ısıtmasında da kullanılır. Gazlar en sonunda kül tutuculardan ve bazı ünitelerde sıcak gaz de-sülfirizasyon işleminden sonra atmosfere verilir. Kızgın buhar ise yüksek sıcaklık ve basınçta buhar hattından çıkarak yüksek basınç türbinine oradan orta basınç ve daha sonra da alçak basınç türbinine girer. Ardından kondenser de yoğunlaşarak, besleme suyu pompaları vasıtasıyla kazanın ekonomizer kısmından kazana verilir. Şekil 4.1' de verilen termik santral akış şemasında asgari olarak termik santrallerde bulunan ekipmanlar gösterilmiştir. Bu tasarım kömür kalitesi veya termik santralin kurulacağı bölgeye göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin, yüksek basınç, orta basınç türbini ya da alçak basınç türbinin farklı kademelerinden belli bir miktarda buhar alarak kazan öncesi bulunan ısıtıcılarına verilir ve besleme suyu kazana verilmeden önce bu ısıtıcılarda sıcaklığı artırılır. Pülverize yakma sisteminin genel karakteristik özellikler aşağıdaki gibidir (Kural, 1988; Utt vd., 2011; Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017);

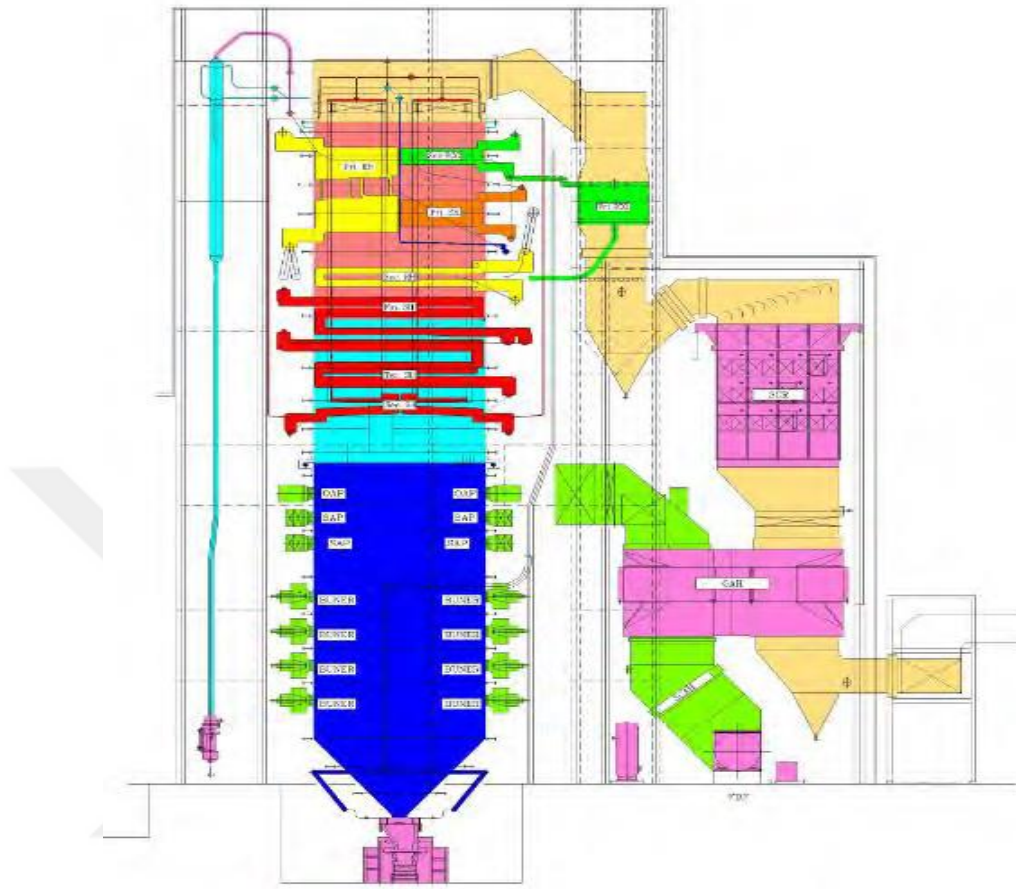
- Kazanda yanma sonucu meydana gelen sıcaklık 1300-1400 ° C' dir.
- Kazan kurum üfleyicileri sistemde normal olarak uygulanır.
- Yanma odası sıcaklığının yüksek olması nedeniyle erimiş küller cürufanma neden olur.
- Kazanda meydana gelen yanma hızlı bir şekilde meydana gelir.
- Yanma odası sıcaklığının çok yüksek olması sebebiyle NO_x oluşumu yüksektir. Sınır değerlere uygun NO_x seviyelerine ulaşmak için SCR ile birlikte düşük NO_x brülörleri ihtiyaç vardır
- Yanma odasında kükürt tutma oranı çok zayıftır.
- Ülkemizdeki hali hazırda yürütmekte olan çevre mevzuatına uygun emisyon değerlerine uymak için ilave baca gazı arıtma tesisine ihtiyaç vardır. Genelde ıslak tip baca gazı arıtma tesislerinin verimi daha yüksek olması nedeniyle, ıslak baca gazı arıtma tesisleri tercih edilir. Bu ise ilave enerji tüketimi ve ilave işletme ve bakım maliyeti demektir.

- Kazanın yanma bölgesindeki yüksek ısı akısı ve kazanda bulunan su ile yanma bölgesindeki yüksek sıcaklık farkından dolayı, kazan borularında termal gerilmeler meydana gelebilir.
- Yakıt kalitesinin ani değişimlerine karşı duyarlıdır.
- Akışkan yataklı yakma sistemlerine nispeten daha küçük boyutta elektro statik filtre tercih edilir.
- Pülverize yanmada tane boyutlarının 0,1 mm altında olması istenir. Buda enerji tüketimini arttıran bir faktördür. Kazana pülverize halde püskürtülen kömürün tane iriliği mikron seviyesinde olmasından dolayı kömür hazırlama tesislerinde bulunan kırıcılardan sonra ve bunkerlere gönderilen kömür, bunker sonrası kazana direk verilmeden istenen tane iriliğinde olması için değirmenlerde öğütülür. 150 MWe gücünde bir pülverize yakma sistemli bir üniteye her birinin kapasitesi 50 t/s olmak üzere 6 adet değirmen bulunmaktadır. Her bir değirmenin çektiği güç yaklaşık 1000 kWe olduğu düşünülürse, pülverize yakma sistemlerinde enerji tüketimini arttıran bir unsur olmak birlikte ek işletme ve bakım maliyeti demektir.

4.2.1. Pulverize kömür yakmada tasarım özellikleri

Sistem tasarımı ve operasyonu zaman, sıcaklık ve türbülans prensiplerine dayanır. Yüksek sıcaklık yanma zamanını kısaltmış, fakat kazan yapısına zararlı olması ve NO_x gazlarının oluşması nedeni ile daha fazla artırılması sınırlandırılmıştır. Kazanda yanma yüksek sıcaklıkta meydana geldiğinden bu durum külün ergimesine de neden olmaktadır. Türbülans, yüksek tepkime hızlarının ve kömürün kazanı terk etmeden tam kullanımının sağlanması için önemlidir. Hava/yakıt üfleyici uçlarında taşınma hızları 1900-2500 cm/s arasındadır. Kömürün ve havanın kazan içinde kaldığı zaman yanma kapasitesini, kazan boyutlarını, maliyeti ve atılan küller içindeki karbon oranını etkiler. Genelde % 90' ın üzerinde yanma verimi sağlamak için kazanda kalış zamanı 2 sn dolayında olmalı ve bunu sağlamak içinde en üst seviyedeki üfleyici ile kazan çıkışı arası uzaklığı 1400-1900 cm/s olmalıdır. Bu uzaklık sıcaklığın, kazan çıkış noktasında külün ergime sıcaklığının altında olmasını sağlar (Kural, 1988).

Sistemin tasarımı sırasında önemli olan diğer parametreler, alev stabilitesinin sağlanması için yakıt / hava oranının seçilmesi, net ısı açığa çıkma hızı, gazların hızı, korozyon, ısı transferinin gerçekleştiği ünitelerin yeri, miktarı ve yardımcı ünitelerin yerleşimidir. Kazan tasarımı, kullanılan üfleyici sistemlerine ve kül alma şekline göre değişebilir.



Şekil. 4.2. Termik santrallerde kullanılan pülverize kazan kesiti (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017).

Şekil. 4.2' de Japonya' nın Yokohama şehrinde bulunan pülverize yakma sistemli Ultra-Süperkritik (buhar sıcaklığı: 600°C) İsoگو termik santralinin 2002' de işletmeye alınan 600MWe gücünde ki 1.ünitesine ait kazanın kesit görünüşü verilmektedir.



Şekil. 4.3. İsoگو Termik Santrali (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017).

Japonya’da 1998 yılında 700 °C USC termik santral için çalışmalara başlanmış ve verim % 50 hedeflenmiştir. Bu sıcaklıkta buhar üretimi yapan kazan teknolojisi ise gelişmiş ultra-süperkritik A-USC (Advanced USC) termik santral olarak adlandırılmıştır. Japonya’da, yapılan çalışmalar sonucunda 700 °C buhar sıcaklığına sahip 2016 yılında gerçek bir santral devreye alınmıştır. İsoگو Termik Santrali Şekil. 4.3’ de gösterilmiştir. Çizelge 4.2’ de ise İsoگو termik santraline ait verim değeri, buhar sıcaklığı, buhar basıncı, işletmeye girme tarihleri, NO_x, SO_x ve partikül değerleri verilmiştir (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017; <http://www.jcoal.or.jp/eng/>: Japon Kömür Enerji Merkezi: <https://www.mhps.com>).

Çizelge 4.2. İsoگو Termik Santraline ilişkin işletme değerleri (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017)

Ünite	Güç	Buhar Karakteristikleri		Verim (%)	Devreye Girme (yıl) Tarihleri
		Sıcaklık (°C)	Basıncı (Mpa)		
1	600	600/610	25	45	2002
2	600	600/620	25	45	2009
Emisyon Değerleri					
Ünite	NO _x Ppm (O ₂ =6%)	SO _x Ppm (O ₂ =6%)	Partikül mg/Nm ³		
1	20	20	10		
2	13	10	5		

Çizelge 4. 3' de ise 03.07.2009 tarih ve 27277 sayılı Resmî Gazete' de yayımlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği kapsamında büyük yakma tesislerine izin verilen emisyon sınır değerleri gösterilmektedir. Çizelge 4. 3' de, izin verilen değerlerin Çizelge 4.2'de İsogo termik santraline ait emisyon değerlerin çok üstünde olduğu görülmektedir. Bu durum ise kazan tasarımının, emisyon değerleri üzerindeki etkisini göstermektedir.

Çizelge 4.3. Sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği kapsamında büyük yakma tesislerine izin verilen emisyon sınır değerleri (Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2009).

Yakıt türü	Yakıt Isıl Gücü	Emisyon Sınır Değerleri (mg/Nm ³)			
		Toz	SO ₂	NO ₂ (NO ve NO ₂)	CO
Katı yakıt	50 MW ≤ Yakıt ısı gücü <100 MW	50	850	400	150
	Yakıt ısı gücü ≥100 MW	30	200	200	200
Petrol koku	50 MW ≤ Yakıt ısı gücü <100 MW	20	400	400	150
	Yakıt ısı gücü ≥100 MW	20	200	200	200
Biokütle	50 MW ≤ Yakıt ısı gücü <100 MW		200	400	
	100 MW ≤ Yakıt ısı gücü <300 MW		200	300	
	Yakıt ısı gücü ≥300 MW		200	200	

4.2.2. Buhar özelliklerine bağlı kazan sınıflandırılması

Basınç değeri 221 bar, sıcaklık değeri 374°C buhar şartları, termodinamikte kritik nokta olarak adlandırılır. Kazan ana buharın basıncı 221 bar üzerinde olursa T-S eğrisinde sıcaklıktan çok basınç önemli olur. T-S eğrisinin üzerinde, su buhar ayrımı olmadan kazan boruları içindeki su, direk sıvı fazından gaz fazına geçer. Klasik kazanlar bu kritik basıncın altında çalıştıkları için subkritik olarak da adlandırılmaktadır. Kritik basıncın üstünde çalışan kazanlar 1980'li yıllardan bu yana ticari olarak kullanıma sunulmuşlardır.

Termik santrallerde kullanılan kazan boyut ve tasarımları, yakılan kömür özelliklerine, kül ergime sıcaklığına, kül deformasyon sıcaklığına, kül içindeki asidik bileşenlerin bazik bileşenlere oranına, kül miktarına, kömürün öğütülebilirliği ve yakma teknolojisine göre değişmektedir. Genel olarak, termik santralde yakılması planlanan kömür kalitesi düştükçe kazan

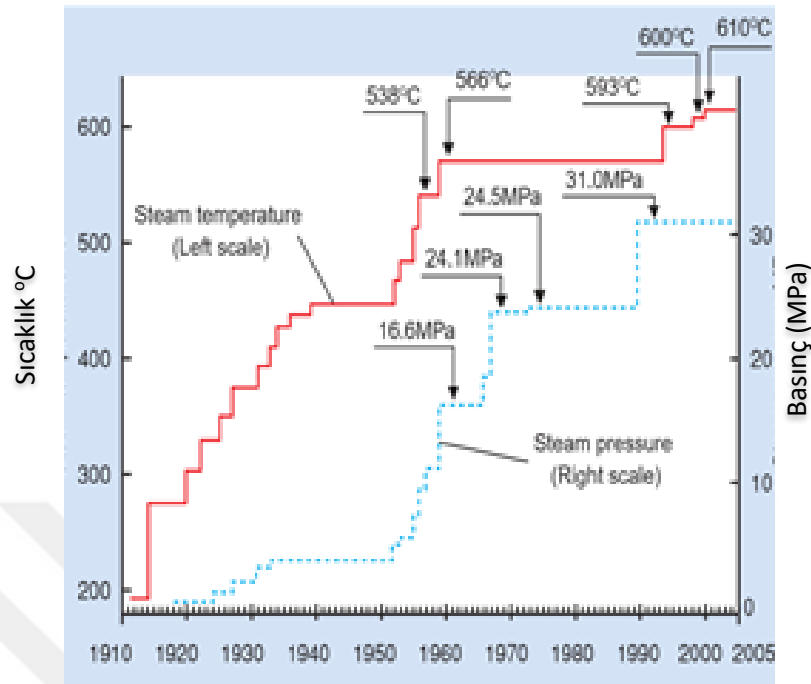
boyutu da artmaktadır. Bu sınıflandırmaların en önemlisi ise basınç guruplarına göre sınıflandırmadır.

Termik Santrallerde kullanılan kazanlar basınç sınıflarına göre Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Buhar karakteristiklerine göre kazan sınıflandırması (Fan, vd., 2018; Nalbandian, 2009).

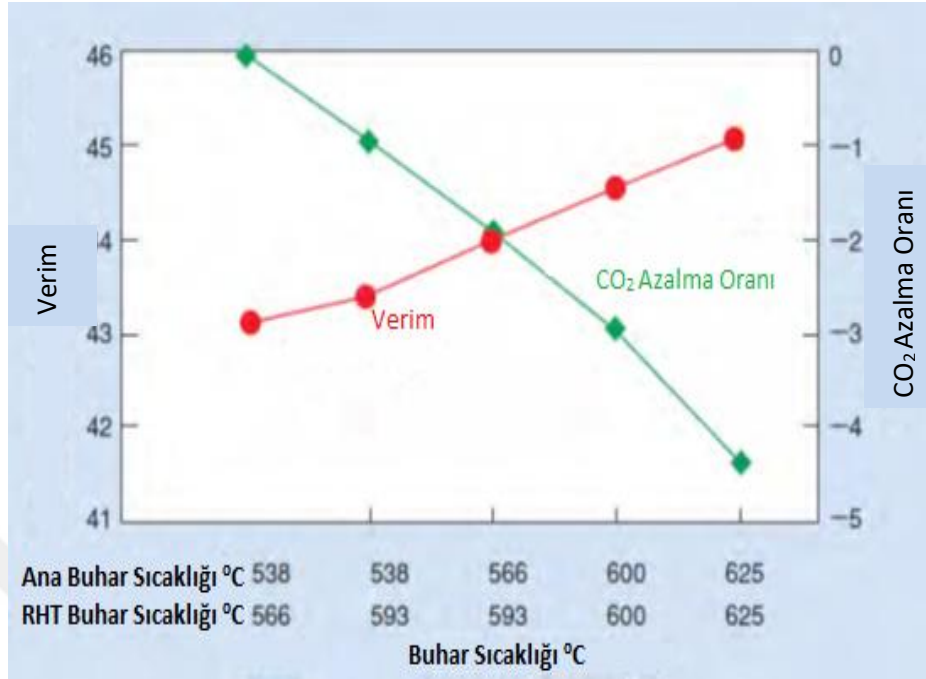
Basınç Sınıfı	Basınç (MPa)	Sıcaklık (°C)	Güç (MWe)	Verim (%)
Kritik Altı (Sub Critical)	P < 22.1	T < 565	< 350 (Genel),	35-41
Kritik Üstü (Süper Critical)	P > 22.1	540-580	350-1000	38-44
Ultra Kritik Üstü (Ultrasüper Critical)	P > 22.1	T > 580	500-1100	> 44

Termik santrallerde buhar şartlarına göre kullanılan kazanları Çizelge 4.4' de ki gibi üç sınıfa ayırmak mümkündür. Burada kritik üstü kazanlarda bir nevi buhar seperatörü olan dram bulunmamakla birlikte kritik altı kazanlarda dram mevcuttur. Şekil 4.4'de Termik santrallerde kullanılan kazanlarda üretilen buhar özelliklerinin zamanla gelişimi de gösterilmektedir. 1950' li yıllara kadar buhar üretiminde buhar sıcaklığının gelişimi dikkat çekerken buhar basınç gelişimindeki daha azdır. Yine Şekil 4.4' de görüldüğü gibi işletme değerleri açısından buharın sıcaklık ve basınç değerlerinin artışı 1950' den sonra olmaktadır. Bu tarihten günümüze baktığımızda buhar üretiminin teknolojisinde ciddi gelişmeler sağlanmış olduğu görülmektedir.



Şekil. 4.4. Kazanda üretilen buhar özelliklerinin zamanla gelişimi (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017).

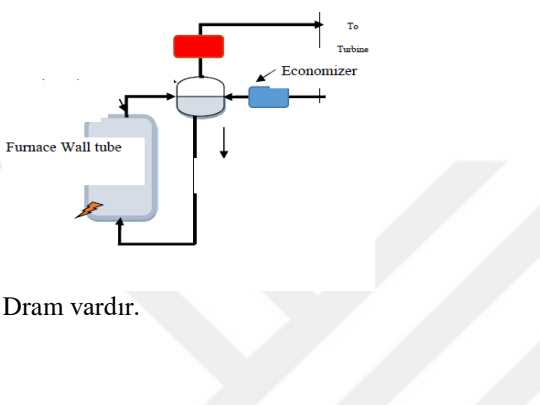
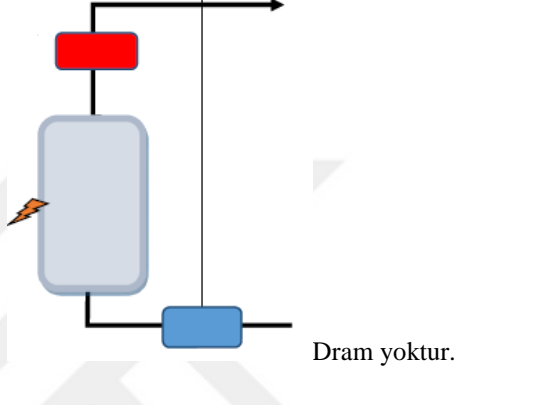
Şekil. 4.4' de kazanda üretilen buhar özelliklerinin zamanla gelişimi verilmiştir. Yakma teknolojilerinin gelişimi ile birlikte emisyon oranlarında da gelişmeler sağlanmıştır. Kazan da yanma sonucu meydana gelen emisyonlar, termik santrallerde elektro filtre kullanımı, de-NO_x sistemleri ve de-sülfirizasyon sistemleri gibi baca gazı arıtma tesisleri kurularak emisyon oranları günümüzde ilgili mevzuat çerçevesinde istenen değerlere getirilmektedir. Şekil. 4.5'de Buhar sıcaklığının değişimi ile termik santral verim ve CO₂ azalım oranının değişimi gösterilmektedir. Buhar sıcaklığının günümüzde 600°C seviyelerine çıkması hatta yukarıda bahsedilen buhar sıcaklığının 700 °C' de gelişmiş ultra-süperkritik A-USC (Advanced USC) termik santrallerde dikkate alındığında termik santral verimlerinin % 46 seviyelerin, bulduğu ve aynı zamanda CO₂ emisyonunun da % 5 gibi bir oranda azalma olduğu görülmektedir.



Şekil. 4.5. Buhar sıcaklığı ile Santral verim ve CO₂ azalım oranının değişimi (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017)

Buhar şartları kritik altı (Sub Critical) basınçtan kritik üstü (Süper Critical) basınca değişimiyle kazan karakteristikleri ve yapısı değişmektedir. Çizelge 4. 5' de kritik altı (Sub Critical) kazan ile kritik üstü (Süper-Critical/ Ultra-süper Critical) kazanın karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kritik altı (Sub Critical) ile kritik üstü (Süper-Critical) sistemlerin karşılaştırılması (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017; <http://www.jcoal.or.jp/eng/>: Japon Kömür Enerji Merkezi; <https://www.mhps.com>; Poulsen, Bendixen, 2006).

Kritik Altı (Sub Critical) Dramlı Kazan	Kritik Üstü (Süper-Critical) ve Ultra Kritik Üstü (Ultra-süper Critical) Tek Geçişli Kazan
 <p>Dram vardır.</p>	 <p>Dram yoktur.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Kazan suyu dramı besler. • Kazan suyu kazan duvar borularından aşağı doğru iner ve ısınır. Isınan buhar-su tekrar drama gider. Buhar kazandan ayrılır ve kızdırıcıya gider. Kızgın buhar buradan türbine gider. • Kazandaki sirkülasyonda, duvar borularında ki su ve ısıtma tüplerindeki buhar-su karışımının arasındaki yoğunlukları farkına etki eden yer çekimi harekete sebep olur. • Termik santrallerde maksimum kapasite, dram boyutundan dolayı 600 MWe ile sınırlıdır. • Dram blöfö vardır. • Kazan maliyeti daha düşüktür. 	<ul style="list-style-type: none"> • Besleme suyu, süper kritik basınçta doğrudan su formundan buhar formuna dönüşür. • Besleme suyu doğrudan ekonomizere girer ve buradan kazan duvar borularına geçer, kazan duvar borularında ısınan besleme suyu buhar formuna geçer ve buradan kızdırıcıya geçer. Ardından kızgın buhar türbine gider. • Kazanda İki fazlı durum meydana gelir bu yüzden drama ihtiyaç duyulmaz. • Kondensat arıtma sistemi olması zorunludur. • Tek geçişlidir. • Su kalitesi devamlı kontrol altında olmalıdır. • Su analizleri daha kapsamlıdır (toplam demir, toplam bakır) • Kazan maliyetleri çok daha yüksektir. • Kazan tasarımı kullanılan kazan boruları yüksek alaşımlı borulardır.

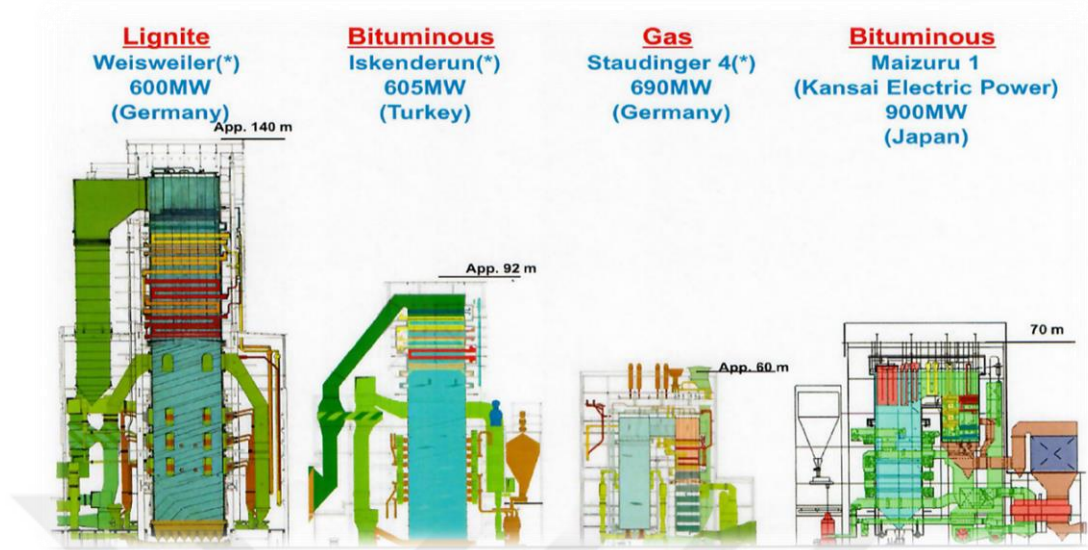
Süperkritik ve Ultra – Süperkritik termik santrallerin ünite güçleri 420 MWe ile 1100MWe arasında değişmektedir. Çizelge 4. 6' de Kritik Altı (Sub Critical), Kritik Üstü (Süper Critical) ve Ultra-süperkritik termik santrallere ilişkin Buhar basıncı, buhar sıcaklığı, Kazan tipi, Üretim Verimi, Devreye alma ve Durdurma Süresi, Ana Boru Malzemeleri özelliği, İşletme ve Bakım gibi konularda karşılaştırılmalar verilmiştir. Ultra-süperkritik kazanlarda verimin yüksek, devreye alma ve durdurma süresinin daha kısa, yakıt tüketiminin nispeten az, işletme ve bakımın

nispeten daha zor ve hassas olduğu görölmektedir. Sub-kritik kazanın buhar değerleri 16,6 MPa basınç ve 538-566 °C sıcaklığında, süperkritik kazanın buhar değerleri 24,1 MPa basınç ve 538-566 °C sıcaklığında, Ultra-süperkritik kazanın buhar değerleri ise 24,1 MPa basınç ve 593-620 °C sıcaklığında olduğu Çizelge 4.6' da görölmektedir.

Çizelge 4.6. Kritik Altı (Sub Critical), Kritik Üstü (Süper Critical) ve Ultra-süperkritik kazanların genel özellikleri (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017; <http://www.jcoal.or.jp/eng/>: Japon Kömür Enerji Merkezi; <https://www.mhps.com>; Poulsen, Bendixen, 2006).

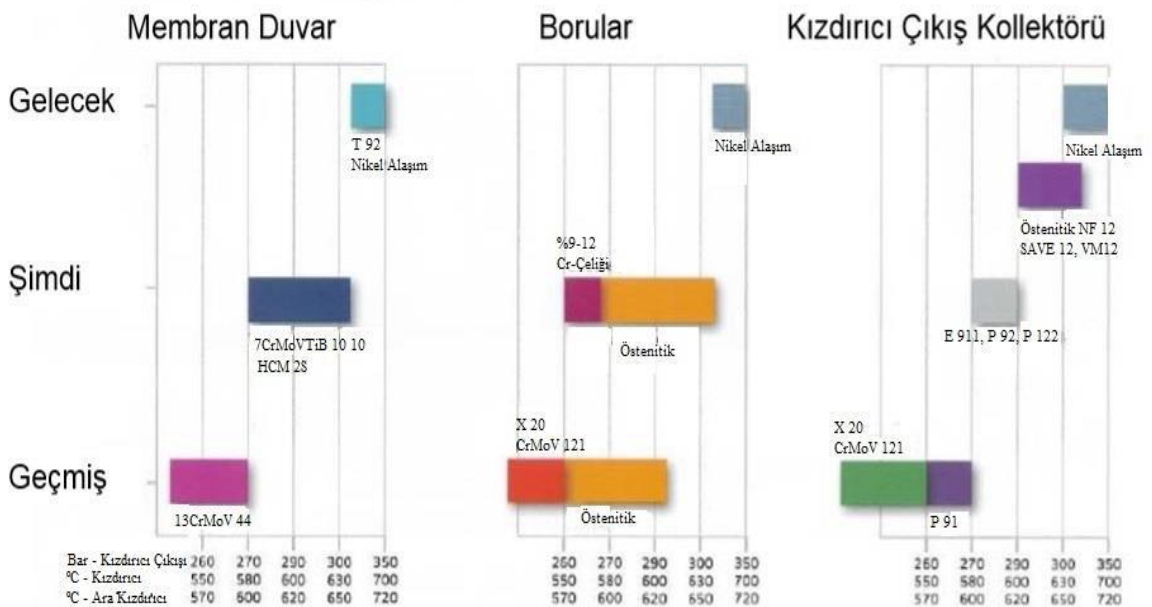
Buhar Özellikleri	Subkritik	Superkritik	Ultra-süperkritik
Basınç MPa	16.6	24.1	24.1
Sıcaklık °C	538 - 566	538 - 566	593 - 620
Kazan Tipi	Dramlı	Tek Geçişli	Tek geçişli
Üretim Verimi	Düşük	Yüksek	Daha Yüksek
Yakıt/Atık Gaz	Fazla	Az	Daha Az
Su Kalitesi Kontrolü	Kolay	Zor	Daha Zor
Buhar Sıcaklık	Kolay	Zor	Zor
Yük Değişim Oranı	Düşük	Yüksek	Yüksek
Devreye alma ve Durdurma Süresi	Uzun	Kısa	Kısa
İşletme	Kısmi olarak kolay	Hızlı ve hassas kontrol ister	Hızlı ve hassas kontrol ister
Bakım	Kısmi Kolay	Kısmen Zor	Kısmen Zor
Ana Boru Malzemeleri	Düşük alaşımlı	Düşük/Yüksek Alaşımlı	Östenitik Paslanmaz Çelik

Kömür yakıtlı termik santrallerde kazan tasarım ve boyutlandırmasında yakıt olarak kullanılacak kömürün kül oranı, nem oranı, kalorisi gibi karakteristik değerleri önemlidir. Şekil 4.6' de yakıt cinsine göre farklı kazan tipleri ve kazan boyutlarının karşılaştırması verilmiştir. Şekil 4.6' de görüldüğü üzere yakıt olarak, kalorifik değeri 6000-8000 kcal/kg olan Bituminous kömür yakan Kansai Elektrik Üretim Santralindeki kazan boyutu, Ünite gücü 900 MW olmasına rağmen diğer kazanlara göre boyut olarak daha küçüktür ve kazan yüksekliği 60 m' dir. Aynı şekilde ünite gücü 600 MWe olan ve yakıt olarak linyit kullanan Weisweiler Termik Santralinde kullanılan kazan boyutu, diğer termik santral kazanlarının boyutundan daha büyük olduğu ve kazan uzunluğunun 140 m olduğu Şekil. 4.6' de görölmektedir. Yakıt olarak gaz kullanılır ise kazan boyutu daha küçölmektedir. Tabi bu kazanlardaki boyutlandırma sadece kömür karakteristiklerine bağlı olduğu gibi aynı zamanda kazan tasarımında kullanılan teknolojide önemlidir.



Şekil. 4.6. Yakıt cinsine göre farklı kazan tipleri ve kazan boyutlarının karşılaştırması (<https://www.mhps.com>).

Malzeme teknolojisinin gelişimi ile kazanlarda kullanılan sıcak çelik çekme borularının malzeme teknolojisi de gelişmiştir. Yüksek sıcaklık ve yüksek basınca dayanıklı malzeme üretimi ile birlikte de kazan teknolojisi eş zamanlı gelişim göstermiştir.

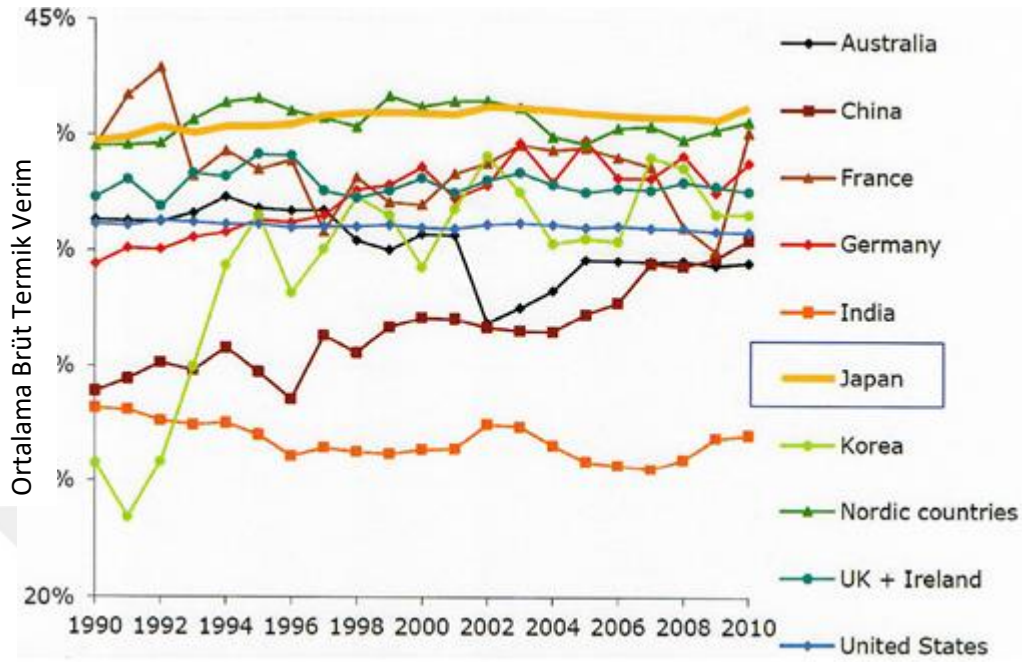


Şekil. 4.7. Kazan kızdırıcı boru malzeme gelişimi (Türkiye de Termik Santraller, 2017)

Şekil. 4.7' de Kazanlarda kullanılan kızdırıcı boru malzemelerinin teknolojik gelişimi verilmiştir. Şekil. 4.7' de gelecekte kurulacak termik santrallerde kullanılan kazan borularının malzemesinin nikel alaşımı olacağı görülmektedir. Şekil. 4.7' de bakıldığında ile kazan da kullanılan kızdırıcı ya da diğer boruların malzemelerinde ki değişimi ile buhar sıcaklık değerlerinin değişimi net olarak görülmektedir. Kazan tasarımında kullanılan kızdırıcı boru malzeme kalitesinde değişim ve gelişim ile kazanlarda üretilen buharın basınç ve sıcaklık gibi değerlerin değişmiş ve gelişmiştir. Bu nedenle kazan tasarımında kullanılan boru malzemesinde ki gelişme kazan imalatının maliyetini büyük oranda artırmıştır. Ancak buhar şartlarının değişim ve gelişim ile termik verimde ciddi oranda artışlar meydana gelmiştir. Bu durum ise birim elektrik üretim maliyetini azaltmıştır. Kazanların evaporatör (membran) boru duvarlarda, borularda ve kollektörler de kullanılan malzemeler Şekil. 4.7' de verilmektedir. Şemanın alt satırlarında malzeme kalitesindeki artış sayesinde kızdırıcı çıkış basıncı (bar) ile kızdırıcı (SH) ve ara kızdırıcı (RH) çıkış sıcaklıklarında (°C) yaşanan ve öngörülen gelişme görülmektedir 1980'lerde martensitik P91 ve P92 gibi yüksek performanslı çeliklerin gelişimi, ultra süperkritik (USC) olarak bilinen yeni bir süper kritik ünitelerin geliştirilmesine öncülük etti (Fan, vd. 2018; Türkiye de Termik Santraller, 2017; Viswanathan, Bakker, 2000). Geniş terim olan bu ultra süperkritik (USC) genellikle, 590 °C üzerindeki sıcaklıkta ve 25 MPa üzerindeki basınçlı buharı kullanan, termik verimi % 47'ye (AID) kadar ulaşılmış kazanalı içerir. Bu teknolojiyi kullanan ilk kömür santrali örneği, 1990'ların başlarında Japonya'da inşaa edilmiştir (Lockwood, 2013).

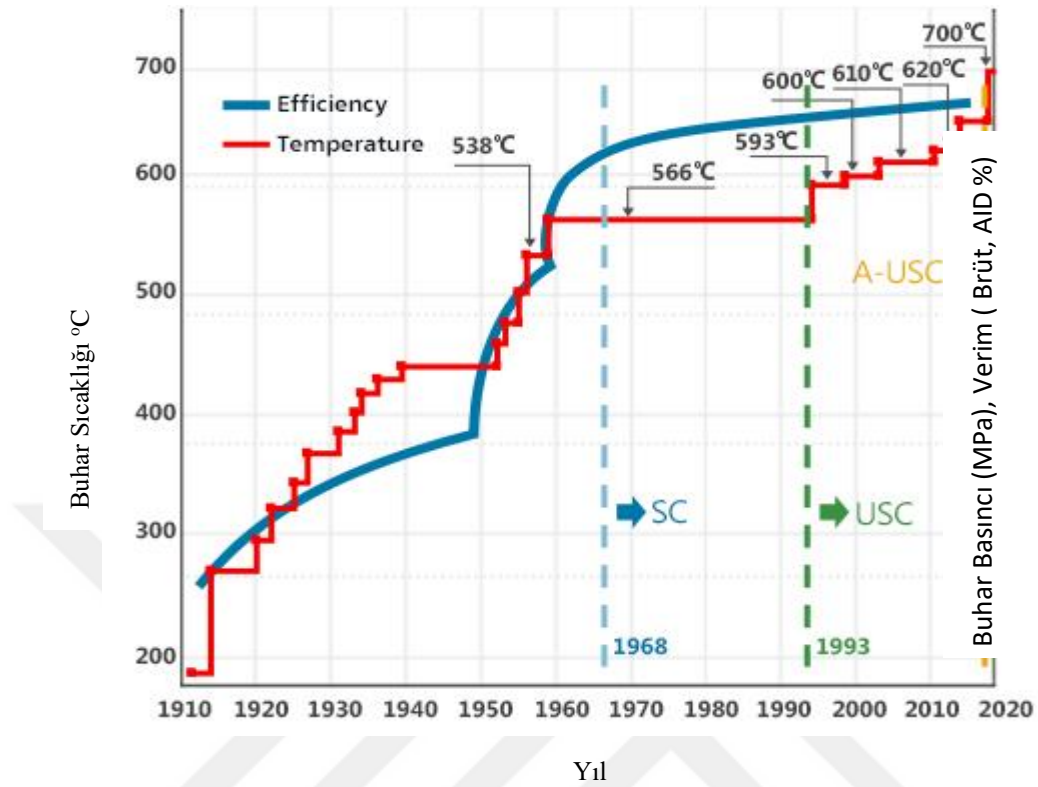
USC kazanlarında, düşük ısıl genleşmeleri ve yüksek ısıl iletkenliklerinden nedeniyle buhar boruları ve kolektörler için P91 gibi martensitik çelikler kullanır, kızdırıcılarda ve tekrar kızdırıcılar tarafında ise korozyona karşı yüksek direnç isteyen östenitik çelik kullanılır (Fan vd., 2018).

Şekil. 4.8' de Almanya, Çin, Fransa, Hindistan, İngiltere, ABD ve Japonya gibi bazı ülkelerde bulunan termik santrallerin ortalama termik verimlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Şekil. 4.8' e bakıldığında Japonya' da işletmede olan kömür yakıtlı termik santrallerin ortalama termik verimlerinin % 40 dolaylarında olduğu ve diğer ülkelere nispeten yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Bazı ülkelerde bulunan termik santrallerin ortalama termik verimlerinin karşılaştırılması (<https://www.mhps.com>; <https://www.ihl.co.jp/en/>).

Şekil. 4.9' de Termik santrallerde zaman içerisinde termik verim, buhar sıcaklığı ve basıncının gelişimi gösterilmektedir. Termik santrallerde üretilen buharın basınç ve sıcaklığı arttıkça, termik verimin arttığı Şekil. 4.9' de görülmektedir. Günümüzde ise buhar sıcaklığının 700 °C, de buhar basıncının 24,5 MPa üzerine ve termik verimin ise % 40' ın üzerine çıkan termik santraller vardır. Şekil. 4.9' de ' de görüldüğü gibi süperkritik kazanların 1968 den sonra geliştiği, ultra-süperkritik kazanların ise 1993 yılından sonra geliştiği günümüzde ise gelişmiş ultra süperkritik kazan teknolojisine gelindiği görülmektedir.



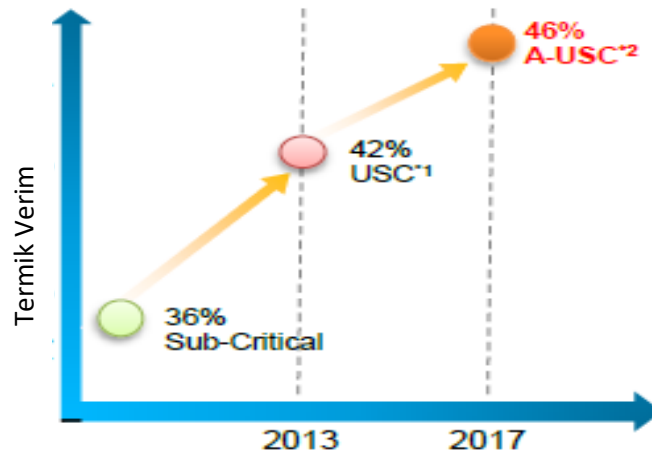
Şekil 4.9. Zaman içerisinde termik verim, buhar sıcaklığı ve basıncının gelişimi (<https://www.mhps.com>; <https://www.ihl.co.jp/en/>).

Şekil. 4.9' da 2020' lerden sonra buhar sıcaklığının 700 °C ve buhar basıncı ise 30 MPa olan kazan tasarımlarının olacağı görülmektedir. Bu buhar şartlarına sahip teknoloji gelişmiş ultra süper kritik olarak adlandırılacaktır. Termik verimin buhar sıcaklığı ve basıncın artışıyla eş zamanlı olarak termik veriminde artmıştır. Günümüzde termik verim % 45' lere gelmiştir.

Plant	Electricity Output	Steam Capacity	Steam Condition	COD	Country	USC
Hekinan No.3	700MW	2,250 t/h	25.0MPa/543/596C	1993	Japan	x
Noshiro No.2	600MW	1,860 t/h	25.0Mpa/570/596C	1994	Japan	x
Reihoku No.1	700MW	2,260 t/h	25.0Mpa/570/568C	1995	Japan	-
Nanao Ohta No.2	700MW	2,120 t/h	25.0Mpa/597/595C	1998	Japan	x
Tachibana-wan No.1	1,050MW	3,000 t/h	25.9Mpa/605/613C	2000	Japan	x
Hekinan No.4	1,000MW	3,050 t/h	25.0Mpa/571/596C	2001	Japan	x
Callide No.3/No.4	420MW	1,281 t/h	25.9Mpa/569/568C	2001	Australia	-
Hekinan No.5	1,000MW	3,050 t/h	25.0Mpa/571/596C	2002	Japan	x
Tomato Atsuma No.4	700MW	2,040 t/h	25.9Mpa/603/602C	2002	Japan	x
Isogo New No.1	600MW	1,710 t/h	27.5Mpa/605/613C	2002	Japan	x
Tarong North No.1	450MW	1,370 t/h	25.9Mpa/569/568C	2003	Australia	-
Shinko Kobe No.2	700MW	2,340 t/h	25.0Mpa/541/568C	2004	Japan	-
Sumitomo Kashima	507MW	1,590 t/h	25.0Mpa/542/568C	2007	Japan	-
Isogo New No.2	600MW	1,670 t/h	27.2Mpa/605/623C	2009	Japan	x
Maizuru No.2	900MW	2,570 t/h	25.4Mpa/600/598C	2010	Japan	x
Sandy Creek No.1	998.5MW	2,852 t/h	26.9Mpa/585/583C	2013	U.S.A	-
TKL Lünen	813MW	2,225 t/h	28.8Mpa/600/610C	2013	Germany	x

Şekil. 4.10. İşletmede olan bazı termik santrallerin buhar karakteristikleri (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017).

Şekil. 4.10' da ise dünyada şu an işletmede olan ultra-süperkritik ve süperkritik bazı termik santrallerin işletmedeki kurulu gücü, buhar debisi, buhar sıcaklığı, buhar basıncı ve bulunduğu ülkeler verilmiştir. Japonya' da 2000 yılında işletmeye giren ultra-süperkritik kazan sahip olan tachibana-wan termik santralının 1 nolu ünitesinin gücü 1050 MW olduğu görülmektedir. Şekil. 3.11' de termik santrallerde termik verimin gelişimi görülmektedir. Gelişmiş-Ultrasüperkritik kazanların gelişimiyle termik verim % 46'lara gelmiştir.



(*1) USC: Ultra-Süperkritik

(*1) A- USC: Gelişmiş-Ultrasüperkritik

Şekil. 4.11. Santral veriminin zaman içerisinde gelişimi.

4.2.3. Gelişmiş ultra-süperkritik araştırmalar

Gelişmiş ultra süperkritik (USC) teknolojisi, özellikle elektrik üretiminin öncelikli olarak kömüre bağlı olduğu ülkelerde, CO emisyon azaltımı için kömür yakıtlı termik santrallere en uygun çözümdür (Fan vd., 2018). Yoğun araştırma enerjisi günümüzde, % 50 (AID) termik verime izin verebilen, buhar özellikleri 30 MPa basıncın üzerinde ve buhar sıcaklığı 700 °C olan gelişmiş-ultra-süperkritik olarak adlandırılan bir sisteme ulaşmaya yönelmiştir. Teknoloji harikası martensitik çeliklerin mukavemetleri, 620 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda zayıf oksidasyon direnci ile tehlikeye girdiğinden dolayı, bu buhar şartlarının üzerinde, yüksek sıcaklıklarda ve buhar veya atık gazın varlığında aşınma ve yorulmaya direnç sağlayabilen yeni metal alaşımlarının geliştirilmesini gereksinim vardır. Dünya çapında bir grup hükümet, bazı umut verici yeni materyallerin ortaya çıkmasına da önderlik eden bu alanda araştırma programlarını desteklemektedirler. Metalde ince nitrit çökeltilerinin oluşumunu teşvik eden, martensitik çeliklerin çalışma sıcaklığını uzatmak için çeşitli alaşımlama stratejileri belirlenmiştir. Fakat, 700 °C' de çalışma, halen gaz türbinlerinde ve jet motorlarında halihazırda kullanılmakta olan nikel bazlı süper alaşım malzemelerinin yaygın olarak kullanım gerekliliği hala muhtemeldir. Bu nedenle yapılan araştırmalar, çelik birleşenlerle başarılı entegrasyonları ile buhar boruları ve türbinler için gerekli büyük parçalardaki süperalaşım prosesini yönlendirmektedir. 1994'te AD 700 adında Avrupa' da bir proje başlatılmıştır. Projenin amacı, ultra süper kritik kazanlarda şu anda 620°C civarında olan kazan çıkış buhar sıcaklığını 700°C'a çıkararak, verimin % 47'lerden % 55'lere çıkarılmasıdır. Böylece CO₂ emisyonu % 15 düşecektir. Projeye 10 Avrupa ülkesinden 40 kuruluş katılmıştır. Katılanlar arasında elektrik üreticileri olduğu gibi, büyük santral ekipman imalatçıları da vardır. Projeyi AB ve bir çok fon tarafından desteklenmektedir. Çalışmanın konsantre olduğu konular nikel bazlı yeni alaşımların geliştirilmesi, optimum çevrimlerin belirlenmesi, kazan ve türbin dizayn konseptinin tespiti, kullanılacak malzemenin tespitidir. Teknolojinin 2025 dolaylarında ticarileştirilmesi beklenmektedir (Lockwood, 2013; Jablonski., vd., 2011; Mao, Feng, 2012; Gauvillé, 2013).

4.3. Akışkan Yatakta Yakma Sistemi

Akışkanlaştırma ilk önce 19. Yüzyılda öne sürülmüştür. İlk patent 1922 yıllarında Almanya' da alınmış, 1926' da ise kömürün bu tür yataklarda yanması uygulamaya konmuştur. Ancak bu kullanımdan 10 yıl sonra Amerikan Kimya Mühendisleri akışkan yatakların prensiplerini ortaya koymuşlardır. Fakat bu yıllarda katı yakıtlar toz haline getirilip pulverize yanma tekniği ile yakılmışlardır, bu usul akışkan yatakta yanma yerine benimsenmiştir. 1940' lardan sonra petrokimya endüstrisinde doğan darboğazlar, akademik ilgiyi bu tür yakma üzerine

çekmiştir. Böylece ısı transferi, kütle transferi, hidrodinamik kavramlar konusunda ilk veriler birikmiştir.

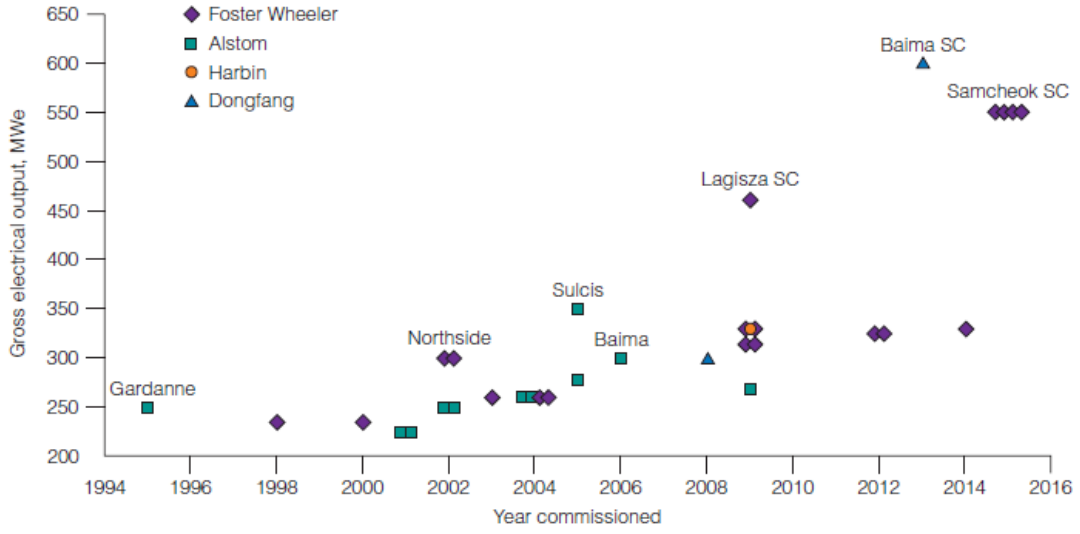
1950' den sonra peş peşe patentler alındığı görülmüştür. İgnifluid denen ve % 35 kül ve nem oranlı antrasit yakabilen yöntemi geliştiren Gadel akışkan yatakta yakma prensibini Fransa' da Activik ve Bobcock- Atlantique firması için geliştirmiştir (Kural, 1988).

Kömürün bu tür yataklarda yakılma prensipleri 1963' den beri sistematik bir şekilde araştırılmış ve ilk hedef yüksek ısı transferinden yararlanarak elektrik üretimi için buhar elde etmek olmuştur. İngiltere' de bu yıllarda yapılan sabit sermaye yatırımlarına göre, akışkan yatağın püskürtme ateşleme sistemine oranla % 9 daha ucuza geldiği görülmüştür. Bunun üzerine American Office of Coal Research ve Bureau of Mines gibi araştırma kurumları ve bazı özel firmalar bu konu üzerine eğilmişlerdir.

1967' de akışkan yatakta kükürt giderimi ve 760 °C-980 °C' de yakılma sırasında azot oksitlerin az miktarda oluşması konusu üzerine çalışılmış, öğütülmüş kireç taşının (CaCO_3) ilavesi ile % 90 kükürdün giderildiği görülmüştür. Atmosfer basıncında çalışan yatakta kömür ve soğutucuya bağlı olmak üzere 760 °C- 870 °C arasının kükürt giderme için en uygun sıcaklık olduğu ve % 90' ın üzerinde kükürt giderebilmek için Ca/S oranının üçün üzerinde olması gerektiği vurgulanmıştır (Kural, 1988).

1960' dan sonra akışkan yataklar ticari olarak uygulanmaya konmuştur. Akışkan yatakta yakma ile yüksek kül ve kükürt içerikli, düşük kaliteli katı yakıtlar veya yüksek kaliteli katı yakıtlar değerlendirilmekte, ayrıca basınç altında çalışan akışkan yataklarda elde edilen sıcak ve basınçlı gazlar ile birlikte ısı ve güç cevrimi yoluyla elektrik üretiminde kullanılmasında söz konusu olabilmektedir. Tüm dünya ülkelerinin ekonomisinde dar boğaz olarak görülen enerji krizine yönelik ümit verici birçok teknolojiden biride kömürü basınçlı akışkan yatakta yakma yoluyla enerji üretimidir. Burada bilim adamları, çevre koruyucusu ve politikacıların dikkatini çeken husus, düşük kaliteli yakıtların çevreye kirlenmeden değerlendirilmeleridir.

Şekil. 4.12' de Dünyada büyük kazan imalatçıları olan, Foster Wheeler, Alstom, Harbin, Dongfang gibi firmaların üretmiş olduğu Akışkan yataklı kazanların gelişimi ile bu kazan firmaları tarafından üretilen ve işletmede olan önemli santraller isimleri verilmiştir. Şekil. 4.12' de akışkan yataklı kazanların 1996' dan sonraki gelişimine baktığımızda kurulu kapasite olarak büyük bir ilerleme olduğu görülmektedir. 2016' lı yıllara kadar 600 MW kapasitede işletmede olan akışkan yataklı kazan üretimi olduğu Şekil 4.12' den görülmektedir.



Şekil 4.12. Akışkan yataklı kazanların gelişimi ve işletmede olan önemli santraller (Lockwood Toby, 2013).

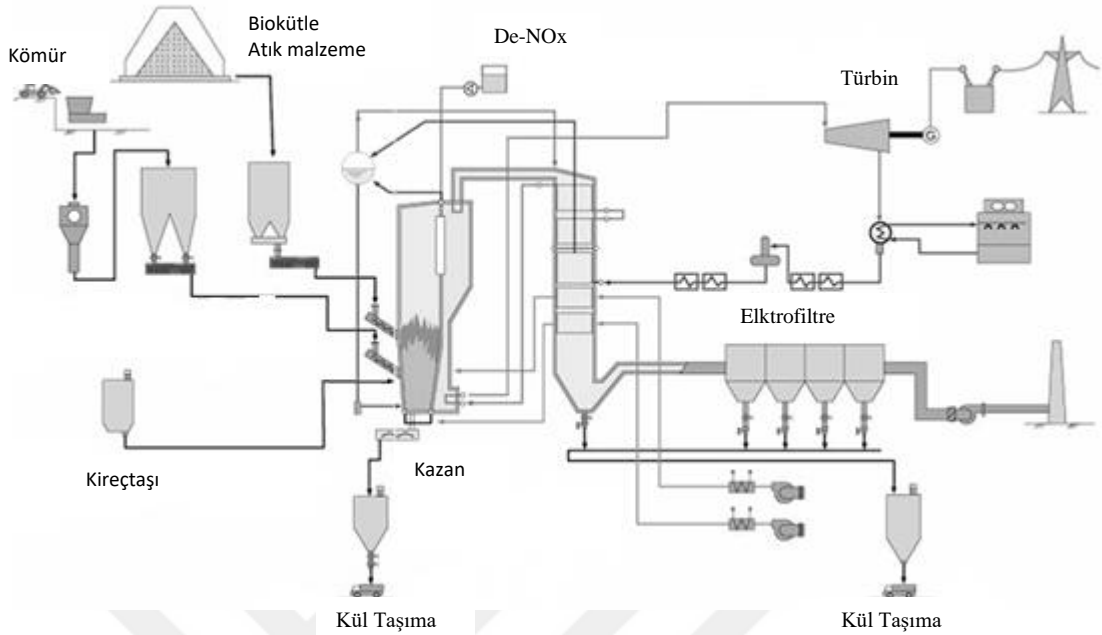
Dolaşımli akışkan yatak (DAY) teknolojisi, dünyanın ilk dolaşımdaki akışkan yatak (DAY) kazanının Almanya'da başarılı bir şekilde uygulanmasından beri kömür yakan kazanlarda büyük ilerleme kaydetmiştir (Kuhle, 1984). Foster Wheeler firması tarafından üretilen 460 MWe kapasiteli süper kritik büyük kapasiteli DAY kazanı Polonya'daki Lagisza' da kurulmuştur (Shi, 2004). Çin'de, faaliyete geçirilen ticari DAY kazanlarının sayısı 800'ün üzerinde olup, aralarında 100-150MWe kapasiteli üniteler 30'a yakındır. Ancak ilk 300MWe DAY kazanı (Ahlstrom lisanslı) yapım aşamasındadır (Yu, vd., 2004).

Bu arada, üç Çinli üretici tarafından Alstom'un 300 MW Dolaşımli akışkan yatak yakma (DAY) teknolojisi satın alınmasının ardından, bu sıkalada hızlı bir şekilde kazanların hızlı yayılması, şu anda altmışın üzerinde olduğu ve dünyanın en büyük DAY kapasitesini temsil ettiği 2006'dan itibaren de Çin'de gerçekleşmeye başladı. 2009'da Foster Wheeler, Polonya'daki Lagisza santralinde 460 MW kazan tasarladı. Dünyanın ilk süper kritik DAY birimi. Dongfang kazan bölümü tarafından 2013 de 600 MW'lık süper kritik bir DAY ünite tasarlanırken, Benzer bir tasarım Güney Kore'de yapım aşamasında olan dört 550 MW kazan için de uygulandı (Lockwood, 2013).

Son yıllarda büyük bir aşama gösteren akışkan yatakta yakma sistemleri ülkemizde de uygulama alanı bulmaktadır. Ultra-süper kritik kazan, özellikle büyük ölçekli kömür yakıtlı santral gelişimi için oldukça önemli ve dominantken, orta ve küçük ölçekli bir kömür termik santrali için, dolaşımli akışkan yataklı kazan ise daha iyi bir çözümlerden biri olmaktadır. Akışkan yataklı yakma teknolojisi, özellikle linyit kömürün yanmasında orta ölçekli kömür yakıtlı termik

santraller için yanma teknolojiler arasında önemli hale gelmiştir (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017). DAY' lerin pülverize kazanlara göre en büyük avantajı, yakıt türü ve kalitesindeki değişikliklerle ve düşük kaliteli kömürlere karşı performansları daha iyidir. Yüksek küllü kömürler, akışkan yataklı kazanların düşük yanma sıcaklığı, külün erimesini ve kazanda cürüflanmayı engellediği için DAY larda pülverize kazanlara göre daha az problem oluşturur (Lockwood, 2013). Yatak sıcaklığının kontrol edilmesi ve yatak malzemesi olarak kireçtaşı gibi reaktiflerin kullanılmasıyla azot oksit (NO_x) ve kükürt dioksit (SO_2) emisyonları kontrol edilebilir. Akışkan yataklı yanmanın ilave faydaları arasında geniş yakıt esnekliği ve düşük ısı değerleri, düşük uçucu madde, yüksek nem içeriği veya diğer özelliklerinden dolayı geleneksel sistemlerde yakılması zor olan biokütle veya atık yakıtlar gibi yakıtları yakma kabiliyetleri sayılabilir (The Babcock, 2015; <https://www.babcock.com/en/products/fluidized-bed-boiler>).

Bu sistemlerde yanma akışkanlaştırılmış yatakta olur. Akışkan yatağın büyük bölümü (~99 %) yanmaya katılmayan (kül, küm, kireçtaşı, vb.) maddelerden oluşur ve kömür gazlaşma ve tutuşma ısısının (iç tüketim ısısı Q_{IT}) sağlanmasında büyük bir ısı deposu işlevi görür. Dağıtıcı elekten verilen yakma havası yastığı üzerinde ve yastık kaldırma kuvveti etkisi ile yatak taneciklerinin ağırlıkları dengelenir, yerçekimi etkisi ortadan kaldırılır ve tanecikler kararsız ve türbülanslı bir davranışa zorlanır. Kömür oranının %1-5, davranış biçiminin kararsız ve yoğun türbülanslı olması, yapısal olarak akışkan yatağa; kömür taneciğini yatakta tutma, çıkmasını geciktirme ve zorlaştırma (filtre) özelliğini kazandırır. Bu nedenle akışkan yatak, yanmanın yapısal olarak, yanma şartlarına uyum sağlayan uygun bir yanma ortamıdır (Topal, 2018). Bir Dolaşımli akışkan yatağın tasarımında ve uygun işletme koşullarının oluşturulmasında dikkate alınması gereken yakıtla ilgili başlıca parametreler; ısıl değer, uçucu madde, sabit karbon, kül ve nem oranları, kül ergime sıcaklığı, kömür gözenekliliği ve reaktivitesidir. Yanma ve emisyon davranışını etkileyen başlıca işletme parametreleri ise hava fazlalığı, gaz hızı, yatak sıcaklığı, yakıt ve yatak malzemesi boyutsal özellikleridir. Bu parametrelerin, yatakta uygun hidrodinamik yanma ve emisyon koşullarının oluşmasına yönelik belirlenmesi, dolaşımli akışkan yatağın yakıt ekonomisine ve çevresel koşullara uyumunu sağlar (Topal, 1999).



Şekil. 4.13. Dolaşımli akışkan yataklı termik santral şeması (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017).

Akışkan yataklı yakma sisteminde, Biokütle yakıtı, atık malzemeler, nem ve kül oranı yüksek linyit kömürü, atık lastik ve plastikler yakıt olarak kullanılabilir.

Akışkan yataklı yakma teknolojisi aşağıdaki özelliklerden dolayı geniş bir yakıt çeşitliliğinden faydalanır (Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017).

- Dolaşımdan dolayı uzun yanma zamanı: reaktif olmayan yakıtın yanması kolaydır.
- Kazandaki büyük ısı kapasitesi: biokütle gibi yüksek nemli yakıtların yanması kolaylaştırılır
- Yanma sıcaklığı kontrollüdür: düşük ve kontrollü emisyon sağlar (SO_x ve NO_x)
- Yataktaki güçlü akışkanlaşma: büyük irilikte yakıt kullanılabilir, farklı kömür yakıt özelliklerine sahip olabilir

4.3.1. Akışkan yatak ve akışkanlaştırma

Akışkanlaşma olayı, içi ince katı partiküllerle dolu, tabanında geçirgen bir plaka bulunan, silindirik veya dikdörtgen kesitli sabit bir kolon altından bir akışkan (sıvı veya gaz) basılmasıyla içerdeki partiküllerin sıvıya benzer bir davranış göstermesi olarak basitçe tanımlanabilir (Topal,

2018). Kömür yakma teknolojisinde en büyük aşama akışkan yataklı yakmadır. İnce taneli katı parçacıklardan oluşan bir yatağa, aşağıdan yukarı doğru düşük hızlı hava veya herhangi bir gaz akımı verildiğinde, bu hava katı parçacıklar arasından geçerek etki etmeden yukarı çıkar. Hava hızı devamlı artırılacak olursa, öyle bir nokta gelir ki, parçacıkların bir kısmı yukarıya doğru harekete zorlanır ve akım içinde asılı duruma geçer. Yatak içinde basınç düşüşünün, yatağın birim yüzeye düşen ağırlığına eşit olduğu ana ‘‘ Yatağın akışkan hale gelme anı ’’, bu andaki hava hızına da ‘‘Kritik akışkanlık hızı’’ denmektedir. Hız, bu kritik değerin üzerine çıkacak şekilde arttırılırsa, yatak daha fazla akışa imkân verecek şekilde kabarır. Verilen fazla havanın büyük bir kısmı yatak arasından kabarcıklar halinde geçer. Akış hızı, kritik hızın 3-5 katı arasında bir değere ulaştığında sistem, parçacıkların çabucak birbirine karıştığı yüksek bir türbülans nitelik kazanır. Bu durum ile yatak şiddetli kaynayan bir sıvı görünümündedir. Akışkan yatak denilen böyle bir yatak, bir sıvının birçok özelliklerini taşımaktadır. Örneğin yatak herhangi bir yöne eğilirse, yatak yüzeyi yatay konumunu korur. Değişik derinliklerde iki yatak birleştirilirse iki yatak boyu eşit oluncaya kadar yüksek yataktan düşük yatağa tanecik akışı devam eder ve akışkan yatağa herhangi bir noktada açılacak deliklerden katı parçacıklar, gaz veya sıvı ortam gibi dışarıya akıtılarak boşaltılabilir. Sonuç olarak, katı parçacıklara böyle bir yatak içerisinde akışkan özellik kazandırılmasına ‘‘ Akışkanlaştırma ’’ denir.

İyi akışkanlaştırılmış bir yatak birçok bakımdan sürekli karıştırmalı bir tank reaktörünü andırır. Hızlı karıştırmanın sonucu olan bu özellik akışkan yatak tipi reaktörü mühendislik açısından vazgeçilmez kılar. Çünkü şiddetli karışım, yatak içinde tek düzeye yakın sıcaklık dağılımı, yüksek ısı transfer hızları kolay ve çabuk kontrol olanakları sağlamaktadır. Ayrıca katı ve hava arasında ısı transferi kolaylaşır, çünkü katı parçacıklar her an ısılarını yeni gaz moleküllerine aktarabilirler.

Hava kabarcıkları tabanda küçüktürler, yüzeye doğru yükseldikçe büyürler, yukarı doğru yükselirken katıları da beraberinde sürüklerler. Dolayısıyla hava kabarcıkları, katıların taşınmasında önemli rol oynamaktadırlar. Kabarcıklar yatak yüzeyine çıktıkları zaman patlarlar. Taşdıkları katı parçacıklar etrafa saçılır ve çok büyük bir kısmı yeniden yüzeye geri döner.

‘‘ Gaz Fazı’’ ve ‘‘ Katı Fazı’’ olmak üzere, iki fazlı bir ortama sahip böyle bir sistem de, hem hava ile katı parçacıklar ve hem de özellikle katı parçacıklar arasında çok iyi bir temas olanağı vardır.

Akışkan yatak kimya sayesinde kurutma, yüzey kaplama, karıştırma, ısı transferi, adsorbsiyon, sentez tepkimeleri (etilenin oksidasyonu, anhidrit, alkil klorür yapımı), gazlaştırma, kömür sıvılaştırma, kalsinasyon ve klinker yapımında kullanılmaktadır (Kural, 1988).

4.3.2 Kömürün akışkan yatakta yakılması

Genellikle üstün nitelikli bir yakıcı olan akışkan yatak, kömür ve özellikle düşük kaliteli kömür yakma yönteminde daha kullanışlı olmaktadır. Akışkan yatakta % 95 ' e kadar varan oranlarda kül içeren kömürler karmaşık ve pahalı püskürtme işlemlerine gerek kalmadan yakılabilmektedir. Püskürtmeli yakıcılarda büyük ölçüde aşınmaların olduğu ve sık sık arızaların ortaya çıktığı düşünülürse akışkan yatağın yararları daha da belirginleşir. Akışkan yatakta sürüklenen kül taneleri kolay parçalanabilir olduğundan aşındırma yapmazlar. Akışkan yatağın önemli bir özelliği de yakıtın 700°C-900 °C' gibi aralığındaki düşük sıcaklıklarda ve karışmanın hızlı olduğu bir ortamda yanarak homojen sıcaklıklı bir yanma oluşturmasıdır. Bunun sonucu olarak da Sodyum, Potasyum ve Vanadyum tuzları gibi uçucuların yayılımı azalmakta ve küller kolay parçalanabilmektedir. Akışkan yatak teknolojisinde kazana kömürle birlikte kireçtaşı (CaCO₃) da verilir. Böylece, kazanda kömür, kül ve kireçtaşı birlikte yatak malzemesini oluşturur. Akışkan yatakta yanma aslında kum ya da kül gibi yanıcı olmayan bir ortamda meydana geldiğinden, yatağa verilen kömürün çok küllü olması yanmayı etkilemez. Böylece % 85' e varan oranlarda mineral ve su gibi yanıcı olmayan yapılar içeren ve ısı değerleri 1200 kcal/Kg kadar düşen kötü nitelikli kömürler yakılabilmektedir.

Kömür için kullanılan yatağın inert parçacıkları kum, ateş tuğlası, kireç taşı veya özellikle kömürün kendi külü olabilir. Yatakta inert parçacıkların kullanılmasının nedeni kömür parçalarının yüksek sıcaklıklarda şişme ve koklaşma özelliklerinden dolayı birbirlerine yapışmalarını önlemektir.

Yatak genellikle 0,5 - 1 metre derinliğindedir. Kömür yatağa beslenmeden önce 1,6-6,4 mm' lik tane boyutuna indirilir. Nem giderme boyut küçültme işlemi sırasında yataktan çıkan gazlar aracılığıyla yapılabilir.

Akışkanlaştırma için hava hızı genellikle 1.4-4 m/sn' dir bu hızlarda çalışma için dizayn edilmiş bir yatakta elütrasyon (küçük kömür parçacıklarının hava ile yanmadan taşınması) minimuma indirilmiştir. Ayrıca bu parçaları tutup tekrar yatağa geri gönderilmesi amacı ile hidrosiklonlarda kullanılabilir. Akışkan yatak hızı aşağıdaki eşitlik hesaplanır.

$$V_f = \frac{W}{C} \times \frac{T_b + 273}{273} \times \frac{1}{A}$$

Akışkan yataklarda ısı transferinin yüksek olmasının nedeni yataktaki şiddetli karışım ile oluşan ısının uniform dağılmasıdır. Isı kaybı, taşınması, yatağa yerleştirilen su soğutucuları ve

sıcak gazlar yoluyla oluşur. Yatak çalışma sıcaklığı böylece kontrol edilerek 750 °C-950 °C olması sağlanır.

Maksimum sıcaklık kömür külünün özelliği ile değişebilir. Akışkan yatakta, çalışma sıcaklığı külün ergime sıcaklığının 200 °C altında olmalıdır.

Kömürün yanma mekanizması kimyasal olarak çok karmaşık bir olaydır. Ortam şartlarına bağlı olarak karmaşıklık daha da artar. Basit olarak kömürün ve katı yakıtların yanmasını sağlamak için, oksitleyici ortamın (hava) yakıtla tam olarak temas sağlaması gereklidir. Yakıtın tam olarak yanması durumunda yakıttaki elementler CO₂, H₂O, NO_x, SO₂ ve SO₃ halinde ortamı terk ederler. Yanma sırasında oluşan tepkimeler Çizelge 4.7’ de verilen tepkimeler gibi özetlenebilir (Kural, 1988).

Çizelge 4.7. Kömürün yanma reaksiyonları tepkimeleri.

Süreç	Tepkimeler	T °C
1	Kömür karbonlaşması Kömür \longrightarrow yarıkok+ uçucu madde	650
2	Uçucuların yanması Uçucu+ O ₂ \longrightarrow CO, CO ₂ , H ₂ O	700
3	Yarı kokun yanması nC+O ₂ \longrightarrow p CO + qCO ₂	775
4	CO yanması 2CO+O ₂ \longrightarrow 2CO ₂	845
5	H ₂ yanması 2H ₂ + O ₂ \longrightarrow 2H ₂ O	825
6	C/H ₂ O gazlaştırması C + H ₂ O \longrightarrow CO + H ₂	1125
7	C/CO ₂ gazlaştırması C + CO ₂ \longrightarrow 2CO	1175
8	Kireçtaşının parçalanması CaCO ₃ \longrightarrow CaC +CO ₂	
9	Kirecin Kükürdü Tutması CaO+SO ₂ + 1/2O ₂ \longrightarrow CaSO ₄	

Akışkan yanmada ortaya çıkan ısının % 60 ‘ nın yatak içine yerleştirilmiş tüplere transferi nedeni ile yüksek gaz sıcaklığına ihtiyaç olmadığından pülverize sisteme göre düşük sıcaklıklardadır- (750 °C-950 °C)

4.3.3. Akışkan yatakta katı yakıt yanma verimleri

Akışkan yatağın yanma verimi, yatakta elde edilen ısı miktarının yatağa giren değerlendirilebilir ısı potansiyeline oranı olarak tanımlanabilir. Oran birden küçükse yanmanın tam olmamasını vurgular. Yakıtın yatak içerisinde bekleme süresinin az olması, taneciklerin çok

küçük olması, hava hızının çok yüksek olması, yanmamış karbon taşınımını doğurur. Yanma verimini etkileyen faktörler aşağıdaki gibidir:

- Yatak sıcaklığının artması verimi artırır.
- Fazla hava miktarı ile yanmamış karbon miktarı taşınımı azalır.
- Tanecik büyüklüğü: yapılan deneylerde 6-25 mm arası kömürün 1,4 mm boyutlu kömürden daha büyük yanma verimlerine sahip bulunduğu ortaya çıkmıştır.
- Kömürün türü verime etki edebilir. Bazı kömürler üzerinde yapılan deneylerden kül miktarının değiştirilmesi ile verimin değiştiği görülmüştür.
- Yatak derinliği ile verim artar. Derinliği fazla olan yataklarda yakıt yatak içerisinde daha fazla kalır.

Yanma verimini artırmak için, düşük sıcaklıkta ve az oksijen içeren yanma bölgesinden taşınan yanmamış karbon, yüksek sıcaklıkta olan ve fazla hava bulunan bölgeye yeniden beslenir.

Akışkan yatağa hava verilirken kömür beslemesi kesilecek olursa yatak sıcaklığı üstel olarak düşmektedir.

$$T = T_0 \cdot e^{-t/a}$$

Burada;

Özel bir durum olarak 623 kg'lık bir yatakta yapılan deneyde:

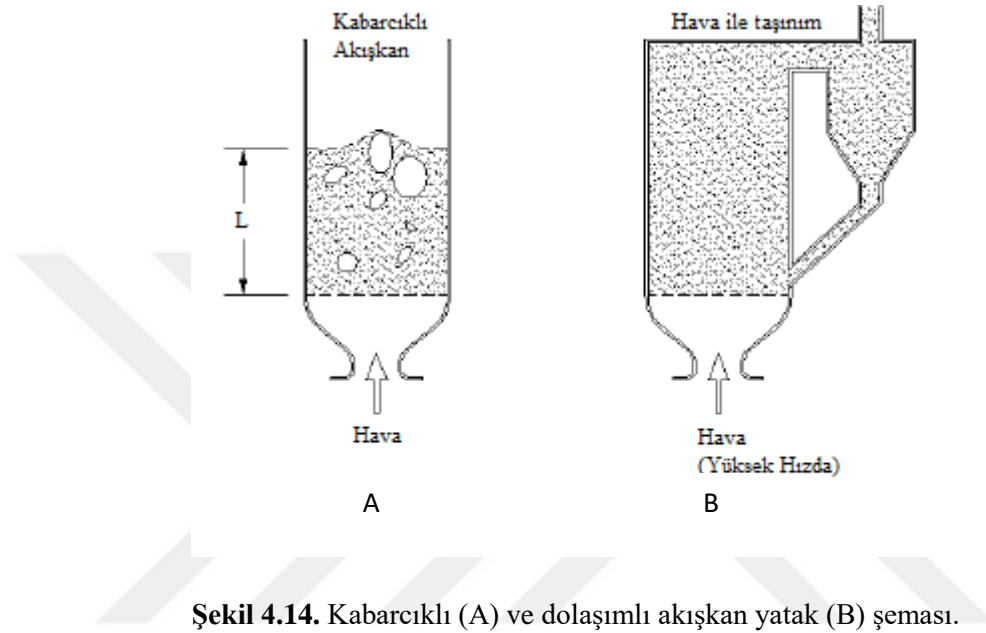
$a = 1/0,00133 = 752$ Sn bulunmuştur.

Zaman değişmesi çok büyük olduğundan yakıt kesilmesi bile sıcaklıkta büyük bir değişiklik olmamaktadır. Bir kömür sisteminin verimli çalışması için % 99 kömürü yakması istenir. Bu derecede bir verime ulaşmak için yatak sıcaklığını artırmak, SO₂'nin sıcaklık arttıkça tutulmasının güçleşeceği dezavantajını getirir. NO_x'in de oluşması artar. Aynı zamanda külün erime sıcaklığından (cürüflaşma) 200 °C aşağıda çalışmanın gereği, sorun olarak ortaya çıkar. Ancak böyle durumlarda geri besleme düzenleri yapılarak verimin artırılması gidilebilir, bu da ilk yatırım masraflarını artırır.

4.3.4. Akışkan yataklı yakma sistemlerinin sınıflandırılması

Akışkan yataklı buhar kazanları iki gruba ayrılabilir. Birinci grup işletme basıncına göre sınıflandırılır. Bu grup, atmosfer basınçlı akışkan yataklı kazanlar ve basınçlı akışkan yataklı

kazanlar olarak ikiye ayrılır. Diğer grup ise Akışkanlaşma durumuna göre sınıflandırılır. Bu grup ise, kabarcıklı akışkan yataklı kazan ve dolaşimli akışkan yatak olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 4.14 ' de Kabarcıklı akışkan yataklı kazan ve dolaşimli akışkan yataklı kazanın basit şekilleri gösterilmiştir [Topal vd., 2018].

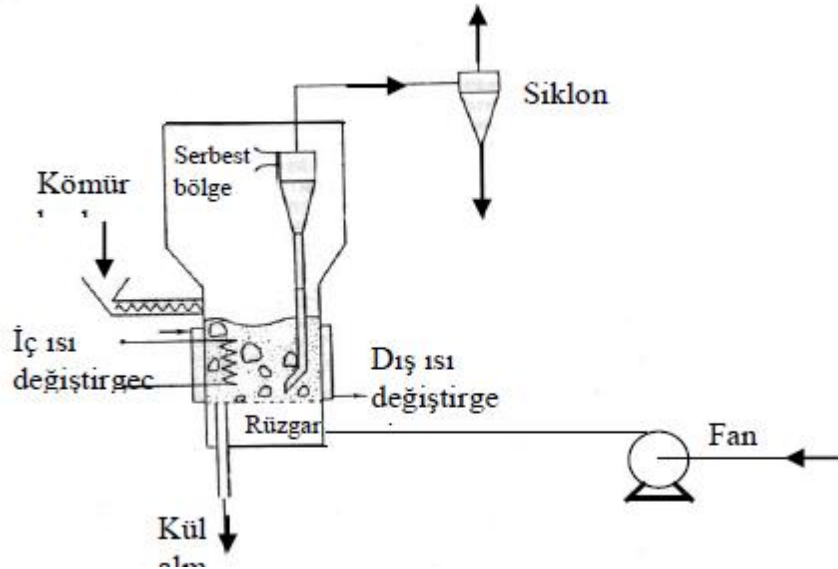


Şekil 4.14. Kabarcıklı (A) ve dolaşimli akışkan yatak (B) şeması.

Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlar

Kabarcıklı akışkan yataklı yakıcılar akışkan yatak teknolojisinin gelişiminde ilk ortaya çıkan ve yaygın olarak kullanılan tiptir. Minimum akışkanlaşma koşullarını sağlayan gaz debisinin artmasıyla yatak içerisinde kabarcıklar ortaya çıkmaya başlar. Kabarcıklar taneciklerin yatak içerisinde dolaşımını sağlar, böylece katı taneciklerin yakıcı içerisinde mükemmel bir şekilde karışması mümkün olur. Kabarcıklı akışkan yataklı yakıcılarda işletme gaz hızı (boş kolon gaz hızı) minimum akışkanlaşma rejimindeki gaz hızının 3 - 6 katıdır. Bu yakma sistemi şekil 4.15'de şematik olarak gösterildiği gibi yatak malzemesi ve kömür karışımını taşıyan ve yanma için verilen akışkanlaştırıcı havanın uygun şekilde dağılmasını sağlayan bir dağıtıcı elek, kömür besleme ve kül boşaltma sistemleri, yatak ön ısıtma sistemi, ısı transfer boruları, bir hava üfleycisi ve baca gazı aspiratörü ile sistemden kaçan tozları tutacak siklon, siklonlar veya filtrelerden oluşmaktadır. Akışkan yataklarda ısı çekme işlemi, genel olarak hem aktif yataktan (iç ve dış ısı değiştirgeçleri ile) hem de serbest bölgeden yapılmaktadır. Yatağın ısıl kapasitesinin, serbest bölgenin ısıl kapasitesinin yaklaşık 1000 katı olması nedeniyle yatak içerisinden, serbest bölgeye oranla 6-7 kat daha fazla ısı çekilebilir. Ancak, aktif yatak ve serbest bölgeden ısı çekme

oranları yatak tasarımına ve kullanılan kömür cinsine bağlı olarak değişebilir. Yüksek uçucu madde içeren kömürlerde aktif yatak bir gazlaştırıcı olarak görev yapmakta ve açığa çıkan gazların yanması, daha fazla yatağın üst kısmı ve serbest bölgede olmaktadır. Atmosferik kabarcıklı akışkan yataklı sistemler kazan endüstrisinde kullanılan diğer klasik sistemlere göre iyi bir gaz-katı temasına izin verdiklerinden, daha yüksek bir kömür yakma ve kazan verimliliğine sahiptirler. Akışkan yatakların diğer bir üstünlüğü ise yanmanın üç T (Zaman(Time), Türbilans(Turbulance), Sıcaklık(Temperature)) kuralını kolayca sağlayabilmeleri nedeniyle yapısal olarak yüksek emisyon kontrol özelliğine sahip olmalarıdır. Bu nedenlerle atmosferik akışkan yatakların günümüzde ülkemizde de ticari boyutta kullanımları hızla artmaktadır (Topal, 2018).



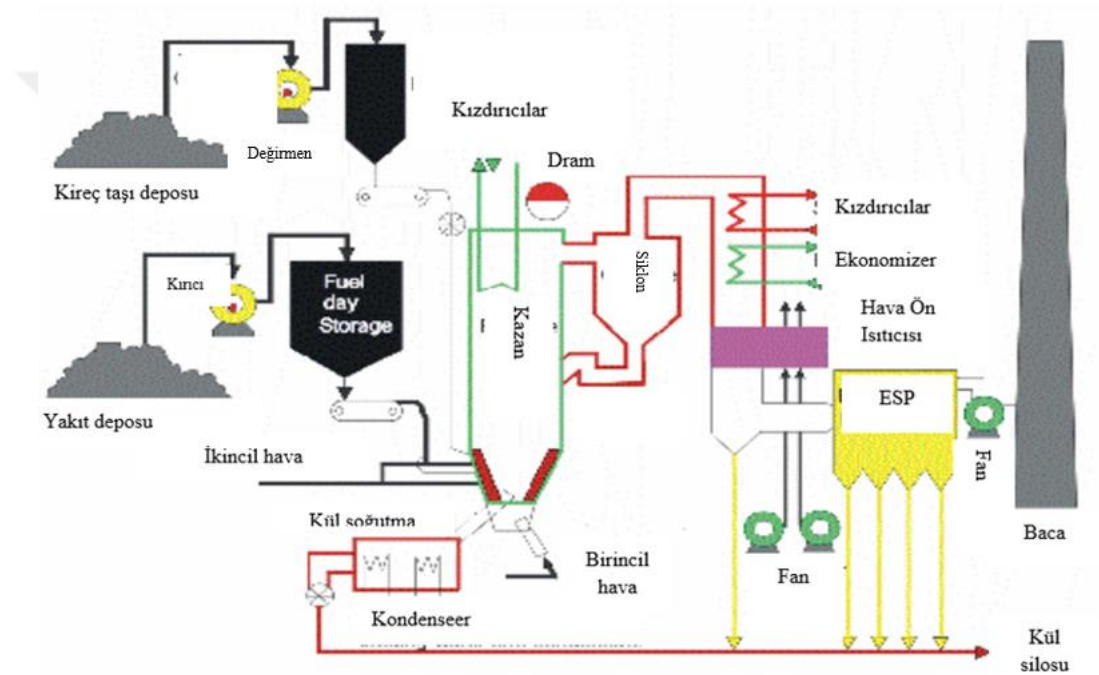
Şekil 4.15. Kabarcıklı akışkan yataklı kazan şeması.

Dolaşımli akışkan yataklı kazanlar

Düşük hız rejiminde çalışan akışkan yataklara alternatif olarak hızlı ve dolaşımli akışkan yataklar geliştirilmiştir. Bu tip yataklarda akışkanlaşma hızı ortalama olarak atmosferik kabarcıklı yataklarda uygulanan 3-4 m/s' lik hızlardan daha yüksek olup yaklaşık 7-10 m/s kadardır.

Dolaşımli akışkan yatak ilk defa Reh tarafından 1971 yılında F.C.C. (Fluid Catalytic Cracking) işleminde kullanılmıştır. Yüksek akışkanlaşma hızları nedeniyle aktif yataktan taşınan yanmamış katılar, siklon veya siklonlar vasıtasıyla yatağa geri beslenir. Yüksek akışkanlaşma hızının neden olduğu erozyon dolayısıyla aktif yatak içine ısı değiştirici borular konulmaz; serbest

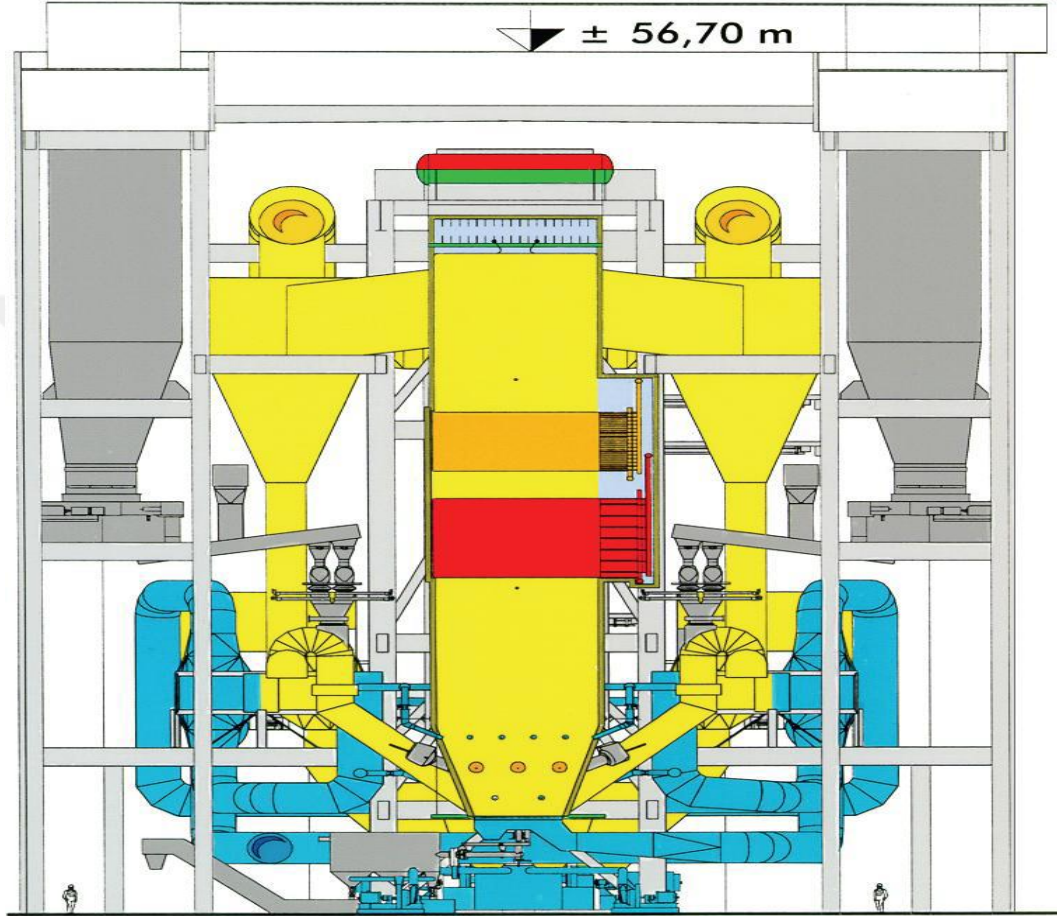
bölge daha yüksek yapılarak yanmanın tamamlanması sağlanmaya çalışılır. Genelde DAY'larda ısı aktarımı su borulu duvarlarda yapılır. Dolaşımli akışkan yataklarda kömür ve absorbent besleme sistemi kabarcıklı yataklara göre daha basittir ve kükürt tutma veriminin % 90 ve üzerinde sağlanabilmesi için kullanılması gereken kireçtaşı miktarı da daha az olup Ca/S mol oranı 1,5'den küçüktür. Tipik bir DAY yakma sistemi şekil 4.16' de verilmiştir. Aynı kükürt tutma oranları için kabarcıklı sistemlerde Ca/S mol oranının ise 3-5 arasında olması gerekmektedir.



Şekil 4.16. Dolaşımli akışkan yataklı santral şeması.

Dolaşımli akışkan yatak uygulamalarında, siklon hattı (düşme borusu) ve yanma odası (reaktör, yükselme borusu) arasında akışkanlaştırılmış ortamda yoğunluk farkı oluşturularak yatak dolaşımına zorlanır. Bu ise yanma odası koşullarının tasarım yönünden, toz kömür yakma koşullarına benzer bir biçime dönüştürülmesi, reaksiyon (yanma, SO₂ tutma vb.) sürelerinin uzatılarak yanma verimi, kapasite ve SO₂ ansorbsiyon etkinliğinin artırılması, erezyonun azaltılması, mevcut kazanların akışkan yatağa dönüştürülmesi vb. birçok üstünlüğü beraberinde getirmektedir. Burada temel sorun, reaktör dışında her noktada (düşme borusu, geri dönüş borusu vb. elemanlar) tüm işletme süresince akışkanlaşma koşullarının oluşumunun güvence altına alınmasıdır (Kural, 1988). DAY' lı kazanlarda yatağın çok yoğun türbülanslı olması ve yanma odasını doldurması nedeni ile ısıtma yüzeylerine olan ısı transferi, diğer yakma sistemlerine

kıyasla çok daha büyüktür. Bu durum yanma odasının ve ısıtma yüzeyi boyutlarını, dolayısıyla ilgili yatırım maliyetlerini düşürmektedir (Erbaş, 2007). Şekil 4.17’ de Dolaşımli akışkan yataklı kazan kesiti verilmiştir.



Şekil 4.17. Dolaşımli akışkan yataklı kazan kesiti.

Basınçlı akışkan yataklar

Son yıllarda atmosfer basıncından daha yüksek basınçlı yataklar üzerinde teorik ve pratik çalışmalar sürdürülmektedir. Temel olarak atmosfer basınçlı yatak, ev ve araba ölçüsünde gerekli buharı sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Ancak elektrik üretimine uygulanan basınçlı yataklar da vardır. Bunun yanında güç santrallerinde aşırı kızgın buhar üretimini gerçekleştirmek için, basınçlı akışkan yatağın geliştirilme fikri üzerinde çalışılmaktadır.

Basınçlı akışkan yataklar 5-20 atm basıncı arasında çalışırlar. Basınçlı akışkan yataklı kazanlar, sadece buhar üretimi değil, gaz türbinlerini beslemek için yanma gazları üretirler. Atmosferik akışkan yatağa göre daha verimlidirler (Erbaş, 2007).

Basınçlı yataklar ile atmosfer basınçlı yatakların karşılaştırılması;

- Basınçlı akışkan yatağın diğerine göre hacmi küçüktür. Ancak 10 atm basınca dayanacağı için yapısı özeldir.
- Basınçlı yatağın verimi daha yüksektir.
- Yatak boyutları küçüldüğünde hava ve katı taneciklerin homojen dağılımını sağlamak daha kolaydır.
- Birleşik gaz-buhar türbin çevrimi ile ısı transfer yüzeyi gereksinimi azalmıştır.
- Temiz yanma konusunda ikisi arasında fazla bir farklılık belirmez ancak basınçlı yatakta Ca/S oranı 2 ' dir ve NO_x yayımı biraz azalmıştır.

4.3.5. Akışkan yataklı yakma sisteminin avantajları

Akışkan yataklı yakma sistemlerin pülverize yakma sistemlere göre birçok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlar aşağıda sıralanmıştır (Utt ve Giglio, 2011; Lockwood, 2013; Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017; Hotta, 2013);

- Kazandaki yanma sıcaklığı düşük olduğu için kül ergimesi meydana gelmemekte bundan dolayı kazan içini kaplayan cüruf oluşmamaktadır ve ısı transferi de daha etkin olmaktadır.
- Yanma sıcaklığı 800-900 °C olup, konvensiyonel sistemlerden daha düşük olduğundan buhar boruları üzerinde korozyon azalmıştır. Ayrıca düşük yanma sıcaklığı kömürde alkali tuzlarının, petrolde ise vanadyumun, baca gazları ile taşınmasını azaltmakta ve sonuçta baca gazlarının ısısının alındığı konveksiyon boruları üzerinde tuzların birikmesi nedeniyle olan korozyonu önlemektir. Ayrıca bu tuzların atmosfere verilen miktarı da azalmaktadır.
- Yatak içerisindeki taneciklerin her yöne serbest hareket etmesinden dolayı homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilir. Yatağın ısı kapasitesi yüksek olduğu için ısı girdisinde yapılacak değişikliklere sistemin tepkisi yavaştır. Bu nedenle sıcaklık kontrolünün çok hassas olması gerekmez. Homojen sıcaklık ve yüksek ısı kapasitesi kontrol kolaylığı sağlar. Yatak içerisindeki yüksek ısı transfer katsayıları nedeniyle gerekli ısı transferi yüzeyi % 30-40 daha azdır. Bu durum yatırım maliyetlerini de azaltmaktadır.

- Akışkan yakıcıda yanma, kömür tipi, kül ve nem içeriğinden etkilenmez. Bu nedenle yüksek kül içerikli düşük kaliteli kömürlerin bu sistemde verimli bir şekilde yakılabilme olanağı, gelecekte faydalanabilir kömür rezervlerini büyük oranda arttıracaktır.
- Akışkan yataklarda çok yüksek ısı transferi katsayıları elde edilir, çünkü yatak materyali içine ısı alan yüzeyler daldırılmıştır. Ayrıca, sıcaklık tüm yatak boyunca düzenli ve ısı alan yüzeyler eşit bir şekilde etkilenirler.
- Akışkan yakıcıda yakılan kömürün tane büyüklüğü, pulverize sistemi ile karşılaştırıldığında çok büyük olduğundan kömürün öğütme masrafları azalmıştır. Bu nedenle değirmen sistemi Akışkan yataklı yakma sisteminde kullanılmaz. Buda enerji tüketimi ile işletme ve bakım maliyet giderlerinin azalması demektir.
- Baca gazları ile yayılan SO_2 'nin neden olduğu hava kirliliği, yatağa kireç taşı veya dolomit katılarak kolayca ve çok etkili bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Yatakta kireçtaşı veya dolomit kalsine olmakta ve oluşan CaO , baca gazındaki SO_2 ile oksitleyici şartlarda $CaSO_4$ 'a dönüşerek yatak içinde kalmaktadır. Çok düşük kaliteli yakıt kullanımında baca gazı arıtma tesisi kullanma ihtiyacı doğmaktadır.
- Ayrıca düşük yanma sıcaklığı azot oksitlerin oluşmasını da önlemekte ve NO_x ($NO + NO_2$) emisyonu diğer uygulanan sistemlerden daha düşük olmaktadır. Bu da De- NO_x ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Tabi bu ihtiyaçta yakıt kalitesine ve istenen emisyon oranlarına göre değişim göstermektedir.
- Her türlü yakıtın yatakta kullanılabilmesi reaktör yapısının standartlaşmasını doğurur.
- Akışkan sistem pulverize sisteme göre aynı kapasite için çok daha küçük hacimli olabilmektedir. Buda kazan maliyetini düşürmektedir.
- Kazanda meydana gelen yanma ani yakıt kalitesi değişikliklerinden fazla etkilenmez
- Yakıt içerisinde bulunan karbonun tam yanması için yeterli zaman vardır.

4.3.6. Akışkan yatakta yanmanın bazı sorunları

Akışkan yataklı yakma sisteminde karşılaşılan bazı sorunlar ise aşağıda sıralanmıştır (Kural, 1988; Utt ve Giglio, 2011; Lockwood, 2013; Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, 2017);

- Yüksek gaz geçiş hızları nedeniyle taneciklerin sürüklenmesi, yanma verimini azaltabilmektedir. Tanecikler, sıcak ortamda ufanarak tozlar yaratmaktadır. Bu, yatak içerisindeki ortalama tanecik çapının değişmesine yol açmaktadır.
- Pülverize yakma sistemlerine nispeten daha büyük ölçekli elektro statik filtre kullanılmaktadır.
- Akışkan yataklı yakıcı içinde ve dağıtıcı elekteki basınç düşüşü nedeniyle, üretilen elektriğin veya buna eş değer ısı enerjisinin %3-4'ü kadarı üfleçler için gereklidir
- Düşük nitelikli yakıtın hazırlanma ve külünün atılma güçlükleri
- Kabarcıklar, bir ölçüde karışmayı artırmalarına karşılık, reaksiyona girmeden yatağı terk edebilmektedirler. Bu da, daha yüksek hava fazlalık katsayısı ile akışkan yataklı yakıcının çalıştırılmasını gerektirmektedir. Eğer, dağıtıcı elek tasarımında hata yapılmışsa, kabarcık çapı çok büyümekte, hatta akışkan yataklı yakıcının çapına ulaşmaktadır.
- Donatım, ölçüm ve süreç denetim de ilk tasarım ve işletme güçlükleri
- Akışkan yataklı yakıcı, içindeki ısı iletim yüzeyleri ile aktif yatağın hemen üzerindeki bölgede yer alan yatay geçişli borular erozyondan etkilenmektedirler.
- Eksik yanmaya neden olan zayıf türbülans ve yetersiz yatak yüksekliği
- Yük kontrolü, kısıtlı ölçülerde sağlanabilmektedir.

4.3.7. Akışkan yatakta düşük kaliteli yakıtların değerlendirilmesi ve emisyon

Düşük kaliteli yakıtların ısı değeri düşük, kül oranı yüksek ve çevreye kirlenmeleri fazladır. Yüksek kaliteli kömürlerin yakılarak endüstriyel ölçüde değerlendirildiği pulverize ateşleme sisteminde, yüksek kül oranlı yakıtları değerlendirmek çok zordur, çünkü yanma odasında biriken kül veya inert madde yanmayı önler veya verimsiz kılar. Pulverize yanmada tane boyutlarının 0,1 mm altında olması istenir. Ancak akışkan yataklarda daha büyük taneli yakıtlar kullanılabilir. Yüksek kül içerikli düşük kaliteli bir yakıtın pulverize olarak yanması için 0,1 mm' den aşağı tane boyutuna indirilmesi işleminde yakıtın külünü de toz haline getirmek için de enerji harcamak gerekir. Böylece öğütme enerjisinin %50 külün tane boyutunu azaltmaya gitmiş olacaktır.

Düşük kaliteli yakıtların çoğu zaman kül oranı, nem oranı ve kükürt oranı yüksektir, ayrıca aynı kükürt oranına sahip olsalar bile kalorisi düşük olduğundan birim ısıya karşı üreteceği azot ve kükürt fazladır. Bu yüzden bu tür yakıtların akışkan yataklarda değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Düşük kaliteli yakıtların yakılmasında kriter kül ve inert madde oranları değildir. Yanma kriteri, yatak ısı kayıplarının başlıcalarını oluşturan artık gaz entalpileri ile rutubet, kül ve fazla hava ısılarının toplamı ile düşük kaliteli yakıtın yanmasında açığa çıkan ısı toplamı arasındaki farktır. İkincisi birincisinden fazla olduğu ve yatakta diğer şartlar sağlandığı sürece yanma olacaktır. Hatta yatak ısı kayıpları tüm ısı girdisinin % 70' ine kadar ulaşabilir. Çekoslovak Yakıt Araştırma Enstitüsü' nde yapılan düşük kaliteli yakıtlara yönelik çalışmalarda % 75' e kadar çıkan kül oranlı linyitlerin yakılabildiği ortaya çıkmıştır. Romanya' da % 48 kül ve % 32 rutubet oranlı linyitleri yakacak sistemler geliştirilmiştir.

Ancak verilere göre 900- 950 °C' lik bir yatak sıcaklığının sağlanabilmesi için, yataktaki inert madde oranının % 75' i geçmemesi gereklidir. Öte yandan % 80 inert madde içeren bir kömürün yanması beslenen hava miktarı çok fazla olsa bile, 800 °C ' den fazla sıcaklığa ulaşılmaz. Ancak Amerika ve diğer birkaç ülkede % 60 küllü kömürler ülkenin gereksinimleri doğrultusunda yakılabilmişlerdir.

Akışkan yatakta yakılan yakıtın külü % 20 ' yi geçerse kül, gazlarla dışarıya taşınmaz ve yatakta kalır ve böylece yatak malzemesi olarak kullanılabilir. Böylece ayrı bir yatak malzemesine de gerek duyulmaz. hatta CaCO₃ de içeriyorsa kükürdün tutulma sorunu kendiliğinden halledilir. Örnek olarak Avgamasya asfaltiti içinde % 26, 75 kalsiyum karbonat bulunmaktadır.

Akışkan yataklarda düşük değerli artıkların yakılması ayrıca çevre kirliliği sorununa da çözüm getirir. Amerika' da penssylvania eyaletinde kuzeydoğusunda kömür işletmeciliğinden yıllar boyu biriken artıklar 1250 km² ' yi kaplamışlardır. 800 farklı yığından oluşan bu artıkların rezervi 700 milyon tonu aşmaktadır. Bu tür yığınların yakılıp inert madde haline çevrilmeleri de ancak akışkan yataklar sayesinde olacaktır.

Akışkan yataklarda ayrıca birçok yanabilen sanayi artığı, tarımsal atıklar, lağım artıkları, şehir çöpleri de değerlendirilebilir.

Hava kirliliğini oluşturan ana etkenler kül, kükürt oksitler, azot oksitler, karbon dioksitler, hidrokarbonlar ve aldehitler olarak özetlenebilir. Bu elemanların doğal dengeyi ve çevreyi etkilemesi ise asit yağmuru ve atmosferdeki CO₂ artışı gibi iki noktada önem kazanmaktadır.

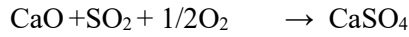
Kül, ESP ve çöktürücüler ile tutulabilir, kükürt oksitler düşük kükürtlü yakıtlar kullanarak azaltılabilir. Ancak kükürt oranı ve kül oranı düşük olan bu tür kaliteli yakıtlar diğerlerine göre piyasa değeri yüksektir.

Yüksek kükürtlü yakıtlar pahalı yöntemler ile zararlı maddelerden arındırılırlar. Bu işlem ısıl etkinliği % 4 azaltır, çünkü temizlemeden sonra gazlar tekrar kullanılmak için sıcaklıklarını kaybederler.

Bir akışkan yataktan çıkan baca gazı içindeki katı tanecikleri daha basit sistemlerle gazdan ayrılırlar, çünkü çoğu daha yanma sırasında yatakta kalırlar ve miktarları azdır. Ayrıca katı parça büyüklüğü pulverize sistemden daha fazla olduğu için yakalanmaları kolaylaşmıştır.

Kalsiyum karbonat (Kireçtaşı), veya dolomit ilavesi ile yanma sırasında oluşan kükürt oksitleri yatak içinde CaSO_4 şeklinde tutulabilmektedir. Yüksek sülfürlü kömürlerde bile % 90 SO_2 tutulması gerçekleştirilmiştir. Ancak, en fazla kükürt giderilmesi 750-850 °C arasında sıcaklıklarda olmaktadır.

Kömürde bulunan kükürdün yanması sonucunda oluşan kükürt dioksit gazı yayılımının yatağa kireçtaşı CaCO_3 ya da dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ katılarak azaltılabildiği bilinmektedir. SO_2 kireçtaşı ya da dolomit ile oksitleyici şartlarda tepkimeye girip CaSO_4 oluşturmaktadır.



Oluşan CaSO_4 yatakta tutulmaktadır. Kireçtaşı ya da dolomit sarfiyatının ve yatakta biriken CaSO_4 ' in azaltmak için gene akışkan yatak kullanan bir yeniden oluşturucu üzerinde çalışılmaktadır.

SO_2 'nin tutulmasındaki verim, kömürün içindeki yanar kükürt oranına uygun miktarda kireçtaşının kullanılmasına bağlıdır. Bu nedenle, Ca/S oranı önemli olup, kazan tasarımında kömürün içindeki kükürt miktarı ile baca gazında SO_2 emisyonunda yeterli azaltma sağlayabilecek şekilde kullanılması gereken CaCO_3 miktarı, diğer bir deyişle Ca/S oranı dikkate alınmaktadır. Genel olarak Ca/S oranı 2-2,5 civarındadır. SO_2 emisyonundaki gerekli azaltmanın sağlanabilmesi ayrıca, kireçtaşının kalitesine (reaktivite nem oranı, CaCO_3 yüzdesi vb.) ve kazanda kalış süresine de bağlıdır. Yanma gazının hızıyla kazandan ayrılan büyük parçacıkların siklondan geri dönmesi, kazanda kalış süresini biraz daha uzatarak, emisyonlarda daha fazla azalma sağlamaktadır.

Kireçtaşı, yüksek basınçla çalışan akışkan yataklarda kükürdü daha iyi tutmaktadır. Dolomitin kükürt tutmasına basıncın etkisi olmaması gerekirken yüksek basınçta kükürt daha iyi

tutulmaktadır. Bu durum, gaz ile katı arasındaki temasın yüksek basınçta daha fazla olmasıyla açıklanmaktadır.

Havayı çeşitli azot oksitleri de kirletmektedir. Yanma sırasında baca gazlarında bulunan NO_x 'in büyük bölümü, havanın azotundan değil de yakıttaki azottan oluşmaktadır. Azot oksitlerinin oluşumu yatak sıcaklığına sıkı bir biçimde bağlıdır. NO_x yoğunluğu, 680 °C de çalışma sıcaklığı olan yataklarda 180 ppm iken 850 °C olan çalışma sıcaklıklarında 600 ppm e çıkmaktadır. yüksek basınçla çalışan yataklarda NO_x yayımı azalmaktadır. SO_2 yayımını azaltmak için Ca/S mol oranı artırıldıkça NO_x yayımı artmaktadır.



5. DÜŞÜK KALİTELİ LİNYİT YAKITLI TERMİK SANTRAL MODELLEMESİ

Ülkemizde pülverize yakma ve akışkan yatak sistemine sahip farklı bölgelerde kurulu özel sektör ve kamu tarafından işletilen birçok termik elektrik üretim santrali bulunmaktadır. Bu tezde Kütahya yöresinde bulunan düşük kaliteli linyit kömürüne ait numuneler alınarak analizler yapılmış ve thermoflex programı kullanılarak modellenen güç santrallerinde bu değerler kullanılmıştır. Kütahya yöresinde ise kurulmuş ve halen işletilmekte olan linyit kömüre dayalı iki adet büyük pülverize yakma sistemine sahip termik elektrik üretim santrali bulunmaktadır. Bilindiği üzere ülkemizde Pulverize yakma sistemine sahip termik santrallerin bir kısmı, ülkemizde bulunan yüksek kül, nem ve silis oranına sahip düşük kaliteli linyit kullanmaktadır. Bu nedenle, ülkemizdeki yerli yakıta dayalı termik santrallerin işletmeciliği oldukça zor olup farklı nedenlerden kaynaklı üretim kayıpları ve verim kayıpları meydana gelmektedir. Önemli üretim kayıpları olarak; kazan ve yardımcılarından, türbin ve yardımcılarından, generatör ve yardımcılarından, kömür kalitesi düşüklüğünden, yük tevzi merkezi talimatları olduğu söylenebilir. Bu elektrik üretim santrallerinde gerek üretim kayıplarını azaltmak gerekse de verim artırmak için farklı yöntemler uygulanabilir. Bir kömür yakıtlı termik elektrik üretim santralinde verimi artırmak için genel olarak; kül atma sisteminin yenilenmesi, kazan hava ısıtıcı yüzeyi artırılması, yanma sistemi optimizasyonu, kondenser optimizasyonu, soğutucu sistem performansının iyileştirilmesi, besleme suyu ısıtıcılarının optimizasyonu, baca gazı nemi alınması, baca gazı ısısının alınması, kömür kurutma sisteminin kurulması, ölçü kontrol sisteminin yenilenmesi/iyileştirilmesi, cürufanma ve yanma odası kirlenmesi azaltılması, kurum üfleyicilerin optimizasyonu, buhar kaçaklarının azaltılması, buhar türbini iyileştirilmesi gibi hususlar üzerinde durulmalıdır. Bunlar içerisinde en fazla dikkate alınması gereken husus ise kazan ve yanma ile ilgili verim artırıcı çalışmalarıdır.

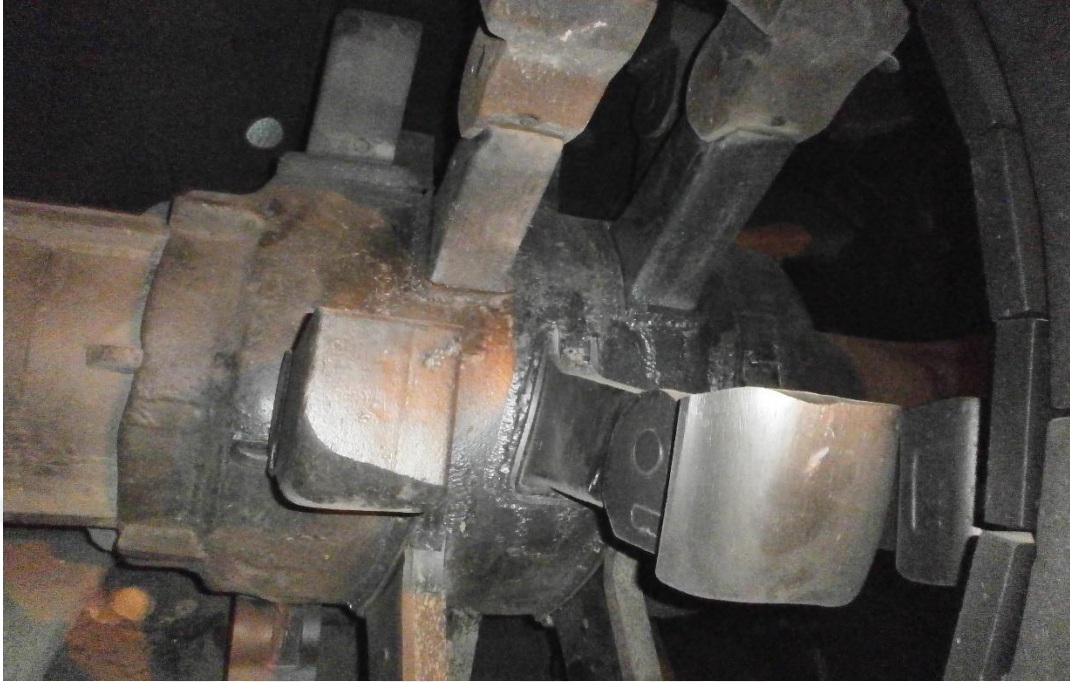
Mevcut santrallerin verimini artırmanın en etkin yolu kazan ve kazan yardımcı elemanlarını iyileştirmek ya da buralarda yeni teknolojileri denemektir. Örneğin: yüksek nemli kömürü değirmenlerde pülverize hale getirmeden atık ısı ile önce bir ön kurutma yaparak nemine almak daha sonra değirmene göndermek verimi arttıracak gibi değirmenlerde meydana gelen bir çok arızayı da önlemiş olacaktır. Diğer bir husus ise kazanda meydana gelen yanma ile ilgili hususlar üzerinde çalışmalar yapmaktır.

Kül ve nem oranı yüksek, düşük kalorili linyitler yakıt olarak kullanılan ülkemizdeki pülverize yakma sistemine sahip termik santrallerde; sıcak gaz kanallarında cürufanma, yüksek

sıcaklık kızdırıcılarında ve tekrar kızdırıcılarda cürufanma ve kül birikintisi aynı zamanda kızdırıcılarda yüzeylerinde ve değirmenlerde aşınmalar, kızdırıcı üzerinde biriken kül birikintisi nedeniyle ısı transferinin düşmesi, külden dolayı aşınmalar, korozyon, sık sık meydana gelen boru patlakları gibi problemler yaşanmaktadır. Bu durum ise termik santralde ciddi üretim ve verim kayıplarına sebebiyet vermektedir.



Şekil 5.1. Kazan içerisinde bulunan kızdırıcılardaki aşınma.



Şekil 5.2. Değirmenlerde meydana gelen aşınma.

Şekil 5.2' de kömürün değirmenlerde öğütülmesi ile meydana gelen aşınma ve Şekil 5.1' de ise kazan içerisinde bulunan kızdırcılardaki külden dolayı meydana gelen aşınmalar gösterilmiştir. Pülverize yakma sistemlerinde kömürün kazana gönderilmeden önce belli bir tane iriliğine getirilmesi gereklidir. Bu nedenle pülverize yakma sistemlerinde değirmen kullanılır ancak kül oranı ve aşındırıcı partikül oranı yüksek olan yerli linyit kömürünün değirmenlerde öğütülmesi neticesinde değirmenlerde ciddi aşınmalar meydana getirir. Her ne kadar termik santrallerde biri yedek olmak üzere toplamda 6 adet değirmen bulunsa da bu aşınmalar işletmedeki değirmenlerin performansını olumsuz yönde etkilemekte, zamanla da, kömürü istenen tane iriliğinde öğütememekte bu ise kazanda meydana gelen yanmayı olumsuz yönde etkilemektedir. Kazan da meydana gelen yanmanın tam gerçekleşmemesi de kazan verimini düşürmektedir. Aynı zamanda bu durum üretim kayıplarına sebep olmaktadır. Bununla birlikte; nem oranı yüksek olmasından, kömürü istenen değerde öğütülemediğinden dolayı değirmenlerde sarma meydana gelmekte olup buda değirmenlerin öğütme kapasitesini etkilemekte ve kömürün kazanda verimli bir şekilde yanmasını sağlayacak tane iriliğine getirilememekte, bu durum ise yanmayı olumsuz olarak etkileyerek yanma verimini düşürmektedir. Kazanda meydana gelen yanma sonucunda oluşan küller ve aşındırıcı partiküller kazan içerisinde sürüklenmesiyle kazan kızdırcılarında aşındırmalar meydana getirmektedirler. Yüksek sıcaklık ve basınçta kızgın buhar kazan kızdırcılarında meydana gelen bu aşınmalar belli biri limitin üstüne çıktığında boru

patlamaları meydana gelmektedir. Yerli yakıtlı düşük kalite linyit yakan kömür santrallerinde bu sorun sık sık yaşanmaktadır. Bu aşınmaların yoğun olması yoğun boru patlakları anlamına gelmekte olup bu ise üretim kaybı demektir.



Şekil 5.3. Kazan içerisinde meydana gelen cüruf.

Şekil 5.3' de Kazan içerisinde meydana gelen cüruf gösterilmektedir. Pülverize yakma sisteminde yanma sıcaklığı yüksek olması ve kül ergime sıcaklığın üstünde gerçekleşmesi, külün ergimesine sebep olmaktadır. Yüksek yanma sıcaklığından dolayı meydana gelen bu kül ergimesi ise kazan içerisinde birçok problemi beraberinde getirmektedir. Kazan büyük çaplarda meydana gelen cüruflar belli büyüklükten sonra aşırı ağırlıktan dolayı aşağı doğru düşmekte bu ise kazanın güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Kazan içerisinde basınç dalgalanmalarına sebep vermektedir, bu durum ise yanmanın olumsuz yönde etkilemektedir. Aynı zamanda bu durum üretim kaybına sebep olmaktadır. Yerli linyit kullanan pülverize yakma sistemli termik santrallerde kazan içerisinde meydana gelen bu cüruflar bazen çok ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Bu nedenle tehlikeli durumlar oluşmaması için kazan içerisinde meydana gelen cüruflar işletme sırasında görevliler tarafından bir apartla kırılmaktadır. Bu cüruflanmalar sıcak gaz kanallarının giriş kısmında ve yakıcı kanallarında da meydana gelmekte olup bu durumda yanmayı yine olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 5.4' de ise kazanın külhan bölgesinde meydana gelen yanma sonucu kazan ızgarasında meydana gelen cüruf gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Kazanın külhan bölgesinde meydana gelen cüruf.

Şekil 5.5' de kazanın ekran duvarlarında bulunan izolasyon, Şekil 5.6' da kazanın ekran duvarlarında meydana gelen cüruf ve Şekil 5.7' de ise kazan kızdırıcıların da meydana gelen cüruf ve kül birikintisi gösterilmiştir. Kazan verimini etkileyen en önemli hususlardan biri ise ısı transferine engel bir durumun olmasıdır. Yerli linyit yakıtlı Pülverize yakma sistemine dayalı termik santrallerde yanma sonucu oluşan sıcak gazlardan kızdırıcılara ısı transferini etkileyen husus kızdırıcı borularının üzerini kaplayan cüruflar ve kül birikintisidir. Kızdırıcı paketleri üzerinde meydana gelen bu cüruflar kızdırıcı borularına yapışır ve bir tabak meydana getirir. Bu oluşan tabaka ısı transferini engeller. Isı kaybını etkilen diğer önemli bir husus ise kazan izolasyonudur. Pulverize yakma sistemlerinde yanma yüksek sıcaklıklarda meydana gelmesi kazan izolasyonunu olumsuz yönde etkilemektedir. Bu neden kazanlarda belli periyotlarla izolasyonun yenilenmesi ya da kazan dış cidarlarından termal kamera ile kontrol edilmesi gereklidir.



Şekil 5.5. Kazanın ekran duvarlarında bulunan yalıtım.



Şekil 5.6. Kazanın ekran duvarlarında meydana gelen cüruf.



Şekil 5.7. Kazan kızdırcıların da meydana gelen cüruf.

Yerli linyit yakıtların kül oranının ve nem oranının yüksek olması kazanlarda yanmayı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden yerli linyit yakıt termik santral tasarlarken yakma sistemlerinin ayrıntılı olarak incelenmesi, araştırılması ve aynı zamanda yerli yakıtı yakma testine tabi tutup en ideal yakma sistemi bulunmalıdır. Yukarıda izah etmeye çalıştığımız hususlardan dolayı düşük kaliteli yerli linyit yakıtlı pülverize yakma sistemlerinde önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu nedenle yakma sistemi seçimi yapılırken kömürün birçok özelliği dikkate alınmalıdır. Buradaki en önemli hususlardan bir kaçı ise yanma odası sıcaklığı ve kömürde ki kül ve nem oranının yüksekliğidir. Bu tezde yakma sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmış olup bu kapsamda Kütahya ilinin Seyitömer ve Tunçbilek yöresinde bulunan kömürden alınan numunelerin elementel ve kısıtlı analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda kül ergime, kazan dram suyunun, besleme suyu ve kondense suyunun analizleri yapılmıştır. Daha sonra Seyitömer yöresine ait düşük kaliteli linyiti yakan pülverize yakma sistemine ve akışkan yataklı sisteme dayalı iki farklı elektrik üretim santral modellenmiştir. Çıkan sonuçlar karşılaştırmış ve verimi yüksek çıkan akışkan yataklı termik santral için ise 5 farklı durum için duyarlılık analizi yapılmış olup çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.1. Kömür ve Su-Buhar Analizi



Şekil 5.8. Kömür numunesi hazırlama.

Şekil 5.8' de Kömür numunesi hazırlama aşaması gösterilmiştir. termik elektrik üretim santrallerinde, maden sahasından çıkarılan kömür, maden sahasında belli bir tane iriliğinde getirildikten sonra elektrik üretim santralini beslemek üzere tesise ait kömür kırma eleme tesislerine verilir. Kömür kırma elemelerden sonra 0-30 mm iriliğe getirilen kömür park sahasına verilmeden kömür bantları üzerinden kömür numunesi alınır. Numune alıcıları tarafından 150 ton da bir numune alınarak bu işlem 8 saat süreyle devam eder. 8 saatin sonucunda alınan tüm numuneler bir kovada karıştırılır. Daha sonra karıştırılan numune homojen hale getirebilmek için ilk olarak kaba dörtleme tabii tutulur. Kaba dörtlemeyle elde edilen numune ince dörtleme için hazır hale gelir. Numuneyi ince dörtleme yapmadan önce bir silindir vasıtasıyla kömür tane iriliği 900 mikron olacak şekilde bir plaka üzerinde öğütülür. Öğütülen kömür 900 mikronluk elek ile elenir. Elekten geçmeyen iri kömürler istenen değere gelene kadar tekrardan aynı işleme tabii tutulur. Hazırlanan numunenin hepsi istenen iriliğe geldikten sonra ince dörtleme yapılır. İnce dörtleme analiz için yeterli miktarda numune elde edene kadar dörtleme devam eder. Bu işlem neticesinde kömürün kısıtlı ve elementel analizini yapmak için numunemiz hazır hale gelir.

Şekil 5.9' da hazırlanan kömür numunelerinin analiz için cihazlara yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Kömür analizi.

5.1.1. Kömür numunesinin kısa analizi

Nem tayini

Yukarıda bahsedilen yöntemle hazırlanan numuneden yaklaşık 5gr numuneyi, nem tayini için numune kabına koyup, MA35 Sartarius model nem tayin cihazına yerleştirilmiştir. Cihaz çalıştırılıp, 105 °C’de 10 dk. süre bekletildikten sonra cihazın dijital ekranından kömürün nem oranı alınmıştır.

Kül tayini

Nemi alınmış numuneden yaklaşık 1 gr kömür, darası alınan krozeye konduktan sonra XB220A-Precisa elektronik hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra tartılarak, krozedeki numune kül tayini için Protherm kül tayin cihazına yerleştirilmiştir. Numune, Cihaz çalıştırılıp 800 °C’de 3 saat fırında yakılmıştır. Yakma işleminden sonra fırından çıkartılıp Desiccator (Nem Tutucu) cihazında ortam sıcaklığına gelen kadar soğutulmuştur. Ortam sıcaklığına gelen numune tekrardan hassas tartıda tartılıp aradaki fark alınarak kömürdeki kül miktarı tespit edilmiştir.

Uçucu madde

Nemi alınmış kuru kömürden yaklaşık 1 gr kadar kuvars kroze konur ve hassas tartıda tartılımı yapılmıştır. Daha sonra hazırlanan numune protherm cihazına yerleştirilmiştir. Cihaz çalıştırıldıktan sonra 850 °C’de 7 dk. süre beklenmiştir. Cihaz kapatıldıktan sonra numune cihazdan alınıp desiccator cihazında ortam sıcaklığına gelen kadar soğutulmuştur. Ortam sıcaklığına gelen numune tekrardan hassas tartıda tartılıp aradaki fark, uçucu madde miktarını vermiştir.

Sabit karbon

Kuru bazda hesaplanmıştır. 100 den kül oranı ve uçucu madde oranı çıkarılarak hesaplanmıştır.

Kalori tayini



Şekil 5.10. Hazırlanan kömür numunesinin kalorimetreye yerleştirilmesi.

Kalori tayini kuru kömür numunesinden hazırlanarak Leco AC500 marka kalorimetrede yapılmıştır. Nemi alınmış 5 gr kuru kömürden yaklaşık 0,5-1 gr arası numune alınmıştır. Bu numune özel bir pres makinesinde preslenerek küçük bir tablet haline getirilmiştir. Oluşturulan tabletin gramı XB 220A-Presica cihazında ölçülmüştür. Gramı alınan tablet kalorimetre cihazına konmak için bomba olarak adlandırılan kaba yerleştirilmiştir. Numune Tablet halinde bombaya yerleştirildikten sonra bombaya 28 Atü O₂ basılmıştır. Bomba hazır hale geldikten sonra kalorimetredeki yuvasına yerleştirilip kalorimetre cihazı çalıştırılmıştır. Cihaz da 3 dk. akışkan arası sıcaklık sabitleme sonra 5dk. yanma meydana gelmiştir. İşlem bittikten sonra cihazımız akışkanlar arası "Dt" farkından ÜID hesaplamıştır. Daha önce bulmuş olduğumuz nem miktarını ve faktör sayısını kullanarak AID hesaplanmıştır.

5.1.2. Kömür numunesinin elementel analiz

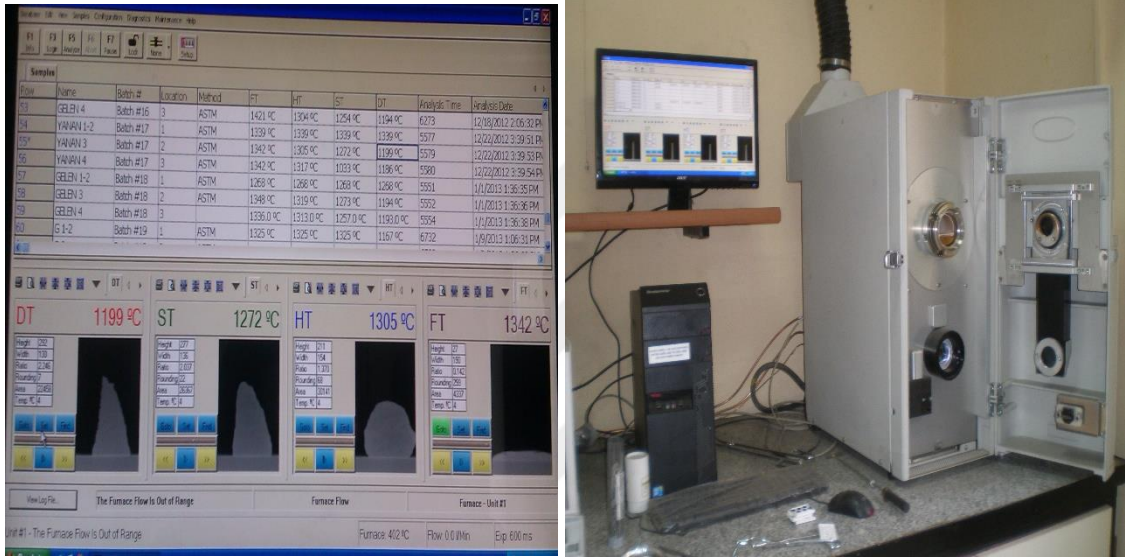
Kükürt tayini

Leco SC -144DR kükürt tayin cihazına orjinal kömür numunesinden yaklaşık 0,25 gram numune korozeye konularak cihaza yerleştirilmiştir. Yaklaşık 1300 °C de 2-3 dk. süreyle yakılarak detektörler tarafından kükürt tayini yapılır.

C, N, H Tayini

Kuru kömür numunesinden yaklaşık 0,25 gr alüminyum folyo sargıd numune hazırlanıp LECO TRUSPEC CHn cihazının döner kroze kısmına yerleştirilip cihaz çalıştırılır. Numune yaklaşık 1000 °C de 5 dk. zaman süresi içerisinde kömür numunesini yakar. Çıkan sonuçları yüzde olarak cihazın bilgisayar ekranından okunur.

5.1.3. Kül ergime sıcaklığı tayini



Şekil 5.11. Hazırlanan kül numunesinin ergime noktası ölçme cihazı.

Kuru kömürden özel aparatlarla harç karılır. Karılan harç piramit şekline alacak olan bir kalıba dökülür. Bu oluşan piramitler bu kalıptan alınarak seramik tabletlere dikey bir şekilde yerleştirilir. Hazır olan numunemiz ergime sıcaklığını bulmak için Leco-AF700 markalı cihazımıza yerleştirilir. Cihaz çalıştırılır. Cihaz çalıştıktan sonra fırın sıcaklığı yaklaşık 1500 °C' ye kadar yükselir. Bu işlem yaklaşık olarak 4 saat sürer. Kül sıcaklık karşısındaki davranışı bilgisayar ekranından izlenmiş olup ergime sıcaklıkları bilgisayar ekranından okunmuştur. Bilgisayar ekranında 4 değer çıkar. İlk değer ilk deformasyon sıcaklığı, ikinci değer yumuşama sıcaklığı, üçüncü değer ergime sıcaklığı, son değer ise akma sıcaklığını göstermektedir. Bu değerlerden bizim için önemli olan, cürufanma sıcaklık değeri olan yumuşama sıcaklık değeridir.

Çizelge 5.1. Seyitömer yöresine ait linyit kömür analiz değerleri.

Seyitömer Kömür Analiz Değerleri				
Analiz değerleri	Numune-1	Numune-2	Numune-3	Ortalama
Kısa Analiz	%	%	%	%
Nem	37,65	38,66	37,03	37,78
Kül	28,10	26,30	30,70	28,36
Uçucu madde	21,74	21,68	20,12	21,18
Sabit karbon	12,50	13,36	12,15	12,67
Toplam	100	100	100	
Alt ısııl değ.	1809	1877	1694	1793
Elementel analiz	%	%	%	
Nem	37,65	38,66	37,03	37,78
Kül	28,10	26,30	30,70	28,36
Karbon	22,94	23,24	21,70	22,62
Hidrojen	2,06	3,02	2,02	2,36
Kükürt	0,28	0,35	0,37	0,33
Azot	0,46	0,56	0,44	0,48
Oksijen	8,51	8,82	7,74	8,35
Toplam				
Kül ergime değerleri	(°C)	(°C)	(°C)	
İlk deformasyon	1199	1184	1219	
Yumuşama	1272	1204	1243	
Erime	1305	1254	1271	
Akma	1342	1351	1361	
Öğütüle bilirlık indeksi	60			

Çizelge 5.1' de Kütahya ilinin Seyitömer bölgesinde bulunan düşük kaliteli linyite ait 3 adet numunenin kısıtlı ve elementel analiz sonuç değerleri ile kül ergime noktaları görülmektedir. Kısıtlı ölçümde kül, nem, kalori değeri ölçümleri yapılmıştır. Elementel ölçümde ise azot, hidrojen ve diğer özelliklere bakılmıştır.

Çizelge 5.2. Tunçbilek yöresine ait linyit kömür analiz değerleri.

Tunçbilek Kömür Analiz Değerleri			
Analiz değerleri	Numune-1	Numune-2	Numune-3
Kısa analiz	%	%	%
Nem	14,5	14	15,8
Kül	43,7	46,2	44,6
Uçucu madde	24,6	24,1	23,7
Sabit karbon	17,2	15,7	15,9
Toplam	100	100	100
Alt ısııl değer	2726	2537	2522
Elementel analiz	%	%	%
Nem	14,5	14	15,8
Kül	43,7	46,2	44,6
Karbon	29,4	27,2	27,4
Hidrojen	2,03	2,6	1,27
Kükürt	0,94	1,01	1,3
Azot	1,25	1,23	1,18
Oksijen	6,15	6,09	7,18
Toplam	100	100	100
Kül ergime değerleri	(°C)	(°C)	(°C)
İlk deformasyon	1194	1219	1266
Yumuşama	1324	1342	1306
Erime	1367	1360	1354
Akma	1432	1421	1411

Çizelge 5.2' de Kütahya yöresine ait Tunçbilek düşük kaliteli linyit kömürünün elementel ve kısıtlı analiz değerleri görülmektedir. Çizelge 5.2'de görüldüğü üzere, Kısıtlı ölçümde kül, nem, kalori değeri ölçümleri yapılmıştır. Elementel ölçümde ise azot, hidrojen, oksijen, kükürt ve diğer özelliklere bakılmıştır.

5.1.4. Su-buhar analizi

Çizelge 5.3’de görüldüğü üzere, genelde termik santrallerde su-buhar çevriminin kazan dramından, kazan besleme suyundan, kondense suyundan, doymuş buhardan, kızgın buhardan, ham sudan, soğutma sularından numuneler alınır ve bu numunelerin analizleri yapılır. Numuneler genelde 4 saatte bir olmak üzere bir lt kaplarla numune alınır.

Çizelge 5.3. Kazan su-buhar analiz değerleri.

Numune	Kazan dram suyu			Besleme suyu			Kondense		
	pH	İlet.	SIO ₂	pH	İlet.	SIO ₂	pH	İlet.	SIO ₂
		µs/cm	PPm		µs/cm	PPb		µs/cm	PPb
N1	10	38	0,12	9,0	3,4	20	9,0	3,3	20
N2	10,1	44	0,12	9,0	3,4	20	9,0	3,4	20
N3	9,8	29	0,14	8,6	2,6	20	8,5	2,4	20
Numune	Doymuş buhar			Kızgın buhar			Saf su		
	pH	İlet.	SIO ₂	pH	İlet.	SIO ₂	pH	İlet.	SIO ₂
		µs/cm	PPb		µs/cm	PPb		µs/cm	PPm
N1	9,2	4,4	20	9,2	4,2	20	6,0	0,5	<0,01
N2	8,7	2,6	20	8,6	2,4	20	6,1	0,6	<0,01
N3	8,9	2,9	20	8,8	2,8	20	6,2	0,8	<0,01
Numune	Kazan dram suyu			Besleme suyu			Kondense		
	pH	İlet.	SIO ₂	pH	İlet.	SIO ₂	pH	İlet.	SIO ₂
		µs/cm	PPm		µs/cm	PPb		µs/cm	PPb
N1	10	38	0,12	9,0	3,4	20	9,0	3,3	20
N2	10,1	44	0,12	9,0	3,4	20	9,0	3,4	20
N3	9,8	29	0,14	8,6	2,6	20	8,5	2,4	20
Numune	Doymuş buhar			Kızgın buhar			Saf su		
	pH	İlet.	SIO ₂	pH	İlet.	SIO ₂	pH	İlet.	SIO ₂
		µs/cm	PPb		µs/cm	PPb		µs/cm	PPm
N1	9,2	4,4	20	9,2	4,2	20	6,0	0,5	<0,01
N2	8,7	2,6	20	8,6	2,4	20	6,1	0,6	<0,01
N3	8,9	2,9	20	8,8	2,8	20	6,2	0,8	<0,01

Kazan dram suyunda, yapılmış olan analizlerde pH, iletkenlik, PO₄, silis gibi kimyasal özellikler bakılır. Burada yapılmış analizlerde de kazan dramından alınan 3 numuneye bu analizler yapılmıştır. İlk olarak kazan dramından alınan numune, Sension 7 cihazıyla pH' na bakılmıştır. Alınan numune pH metre probu numune kabına daldırılarak Cihazın pH göstergesi sabitlenene kadar prob numune içinde kalır. Değer sabitlendikten sonra probumuz numuneden çıkarılır. Değerler dijital ekrandan okunmuştur.

Kazan dram suyunun iletkenliği ise Sension 3 cihazıyla ölçülmüştür. Yine PH ölçümü gibi cihazın probu numuneye daldırarak cihazın dijital ekrandaki değerimiz sabitlene kadar beklenir. Değer sabitlendikten sonra prob numuneden çıkartılıp değerimiz okunur.

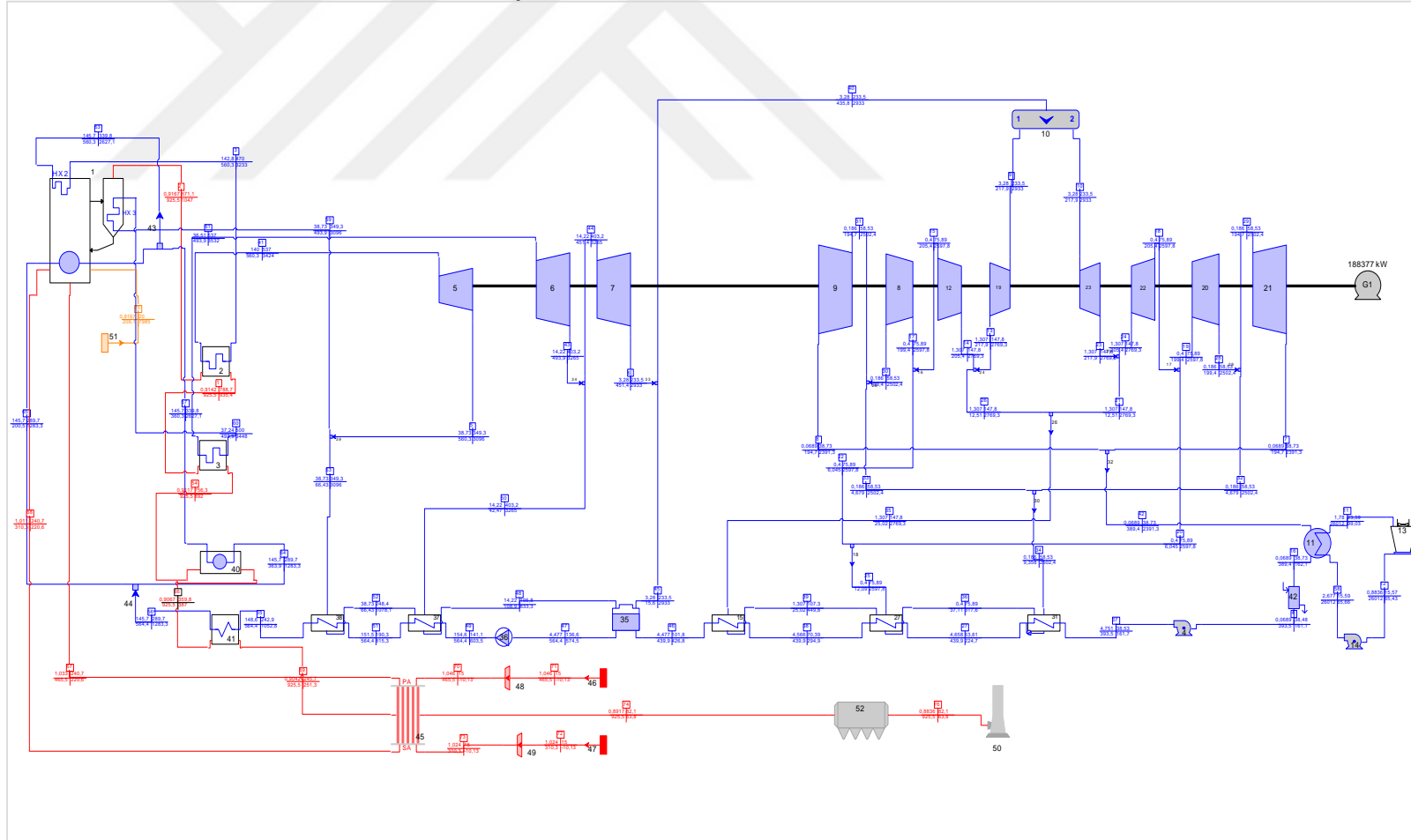
Çizelge 5.4. Ön tasfiye edilmiş su analizleri.

Numunenin Adı	pH	İLETK.	Top. Sert.
		µs/cm	
Ham Su	8,2	680	381
Filtre Çıkışı	10,9	350	141
Kule Suyu-1	8,8	1460	670
Kule Suyu-2	8,5	1110	530
Kule Suyu-3	8,9	1020	450

5.2. Akışkan Yataklı Termik Elektrik Üretim Santrali Modellemesi

Bu tez çalışmasında modellediğimiz düşük kaliteli linyit yakıtlı akışkan yataklı termik elektrik üretim santralinin yakma sisteminde kullanılan yakıt değeri olarak; Kütahya ilinin Seyitömer bölgesinden alınan üç adet numunenin analizleri yapılarak, çıkan değerlerin ortalaması alınmıştır. Çizelge 5.1' de görüldüğü üzere, bu düşük kaliteli linyit kömürün ortalama analiz değerleri; ısıl değeri 1793 kcal/kg, nem oranı %37,78 ve kül oranı ise % 28,36' dir. Thermoflex programı ile modellenen akışkan yataklı termik elektrik üretim santralinin Şekil 5.12' de su-buhar akış şeması ve su-buhar akış şemasına ait veriler gösterilmiştir. Şekil 5.12' de verilen su-buhar akış şemasında görüldüğü üzere; sisteme taze hava 15 °C ve % 60 nem oranında fan ile basılarak öncelikle hava ön ısıtıcısına girer ve hava ön ısıtıcısından geçerken kazandan yanma sonucu çıkan atık sıcak gazın ısısını alarak, taze havanın çıkış sıcaklığı 240 °C' ye yükselir. Sıcaklığı 240 °C' ye yükselen hava, yanma havası olarak kazana girer. Kazanda yanma sonucu ortaya çıkan sıcak gaz öncelikle kazan yanma odasından çıkarak siklona geçer. Siklondan 871 °C' de çıkan sıcak gaz, öncelikle 2 nolu buhar kızdırıcısına girer, buradan ısısını kızgın buhara vererek sıcaklığı

788 °C' ye düşerek buradan 3 nolu buhar kızdırıcısına girer burada ise ısısını yüksek basınç türbininde iş gören ve tekrar kızdırılmak için kazana gönderilen buhara ısısını vererek sıcaklığı 756 °C' ye düşer. Sıcaklığı 756 °C' ye düşen sıcak gaz 3 nolu buhar kızdırıcıdan çıktıktan sonra 40 nolu evaporatöre girer burada ise ısısını buhara vererek sıcaklığı 359 °C' ye düşer. Daha sonra sıcak gaz evaporatörden çıktıktan sonra 41 nolu ekonomizere girerek burada ise ekoya giren kazan besleme suyuna ısısını vererek sıcaklığını artırır. Ekonomizerden 245 °C' de ayrılan çürük gaz daha sonra hava ön ısıtıcısına girerek, buradan 82 °C ' de ayrılır ve bacaya gönderilir. Akışkan yataklı kazanın HX2 kızdırıcı hattından çıkan kızgın buhar öncelikle 142 bar ve 470 °C de 2 nolu buhar kızdırıcısına girer burada sıcaklığını artırarak çıkar ve 5 nolu yüksek basınç türbinine 140 bar ve 537 °C sıcaklıkta girer. Genleşerek iş gören kızgın buhar 5 nolu yüksek basınç türbininden ayrılır ve tekrar sıcaklığını arttırmak için kazanın HX3 kızdırıcısına girer. Tekrar kızdırılmış olan buhar, Kazanın HX3 kızdırıcısından yaklaşık 37 bar ve 500 °C de ayrılarak 3 nolu buhar kızdırıcısına girer. 3 nolu buhar kızdırıcısından ise sıcaklığını artırarak ayrılır ve yaklaşık 36 bar ve 537 °C de 6 ve 7 nolu orta basınç türbinine girer. 6 ve 7 nolu Orta basınç türbininde genleşerek iş gören kızgın buhar, buradan ayrılarak yaklaşık olarak 3,28 bar ve 233 °C' de alçak basınç türbinine girer. Alçak basınç türbininde genleşerek iş gören buhar, çürük buhar olarak kondensede oluşan vakum sayesinde kondensere geçer. Kondenserde yoğuşan çürük buhar 38.73 °C sıcaklıkta ayrılarak 4 nolu kondense tahliye pompası vasıtası ile kazan besleme suyu ısıtıcılarına pompalanır. Kazan besleme suyu, sırasıyla alçak basınç türbinin ara kademelerinden alınan buhar ile 31,27 ve 15 nolu alçak basınç ısıtıcılarından geçerek sıcaklığını yaklaşık olarak 101 °C ' ye yükseltir. Kazan besleme suyu daha sonra degazöre girer buradan da sıcaklığını belli bir kademe artırarak kazan besleme suyu pompasına girer. Kazan besleme pompasından 154 bar basınçla ayrılan kazan besleme suyu, orta basınç türbininin ara kademelerinden ısıtma buharı alan 37 nolu yüksek basınç kızdırıcısına girer burada, sıcaklığı 190 °C yükselir. Daha sonra ise yüksek basınç türbininin ara kademelerinden ısıtma buhar alan 38 nolu yüksek basınç kızdırıcısına girer ve buradan kazan besleme suyu sıcaklığı 242 °C ye yükselir. Yüksek basınç ısıtıcısından sonra kazan besleme suyu 242 °C de ve 148 bar' da ekonomizerine girer.



0 File = C:\USERS\AZIZ\DESKTOP\YENI KLASÖR (2)\AKIPKAN YATAKLI SEYİTÖMER.TFX 12-02-2014 03:00:58

Sheet 1

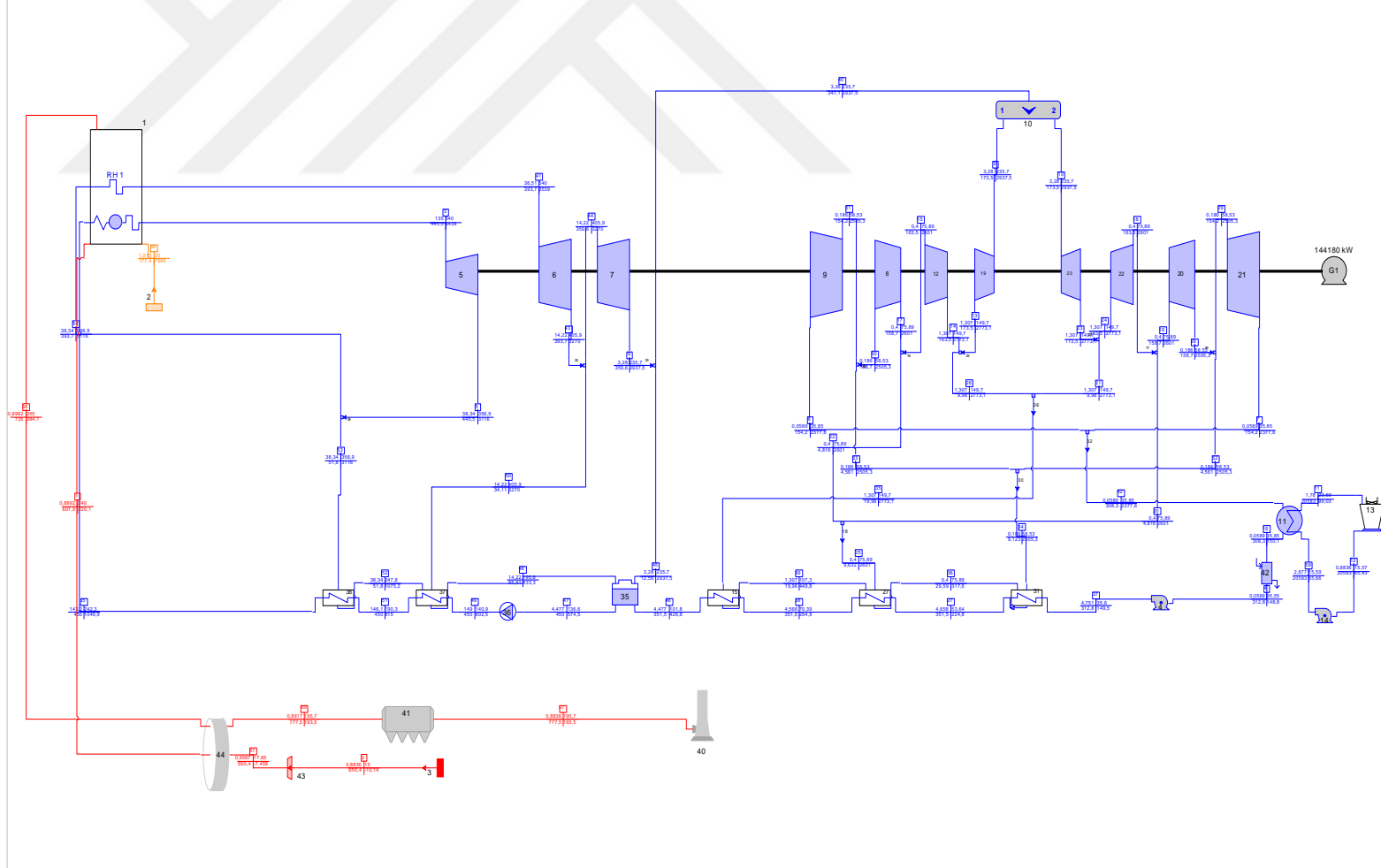
Şekil 5.12. Modellenen akışkan yataklı termik elektrik üretim santrali akış şeması.

5.3. Pülverize Kazanlı Termik Elektrik Üretim Santrali

Bu tez çalışmasında aynı zamanda Thermoflex programı kullanılarak Pulverize yakma sistemine dayalı termik elektrik üretim santralinin modellenmesi yapılmıştır. Thermoflex programı ile modellenmesi yapılan bu santralin yakma sisteminde kullanılan yakıt değeri olarak; Kütahya ilinin Seyitömer bölgesinden alınan üç adet numunenin analizleri yapılarak çıkan değerlerin ortalaması alınmıştır. Anılan yöreye ait düşük kaliteli linyit kömürün ortalama analiz değerleri sırasıyla; ısı değeri 1793 kcal, nem oranı %37,78 ve kül oranı ise % 28,36' dir. Modellemesi yapılan Pulverize yakma sisteme sahip termik elektrik üretim santralinin su-buhar akış şeması ve su-buhar akış şemasına ait veriler Şekil 5.13' de verilmiştir. Şekil 5.13' de verilen su-buhar akış şemasında görüldüğü üzere; sisteme taze hava 15 °C ve % 60 nem oranında fan ile basılarak öncelikle hava ön ısıtıcısına girer ve taze havanın çıkış sıcaklığı, hava ön ısıtıcısından geçerken kazanda yanma sonucu çıkan atık sıcak gazın ısısını alarak, 240 °C' ye yükselir. Sıcaklığı 240 °C' ye yükselen hava, yanma havası olarak kazana verilir. Kazanda yanma sonucu ortaya çıkan 355 °C' deki sıcak gaz öncelikle kazan yanma odasından çıkararak hava ön ısıtıcısına geçer. Burada ısısını taze havaya vererek 196 °C' de hava ön ısıtıcısından ayrılır ve daha sonra elektro filtreye girer buradan ise bacaya gider. Kazandaki yanma sonucu oluşan sıcak gazlar kazandan ayrılırken enerjisinin büyük bir kısmını kazan içerisinde bulunan kızdırıcı boru paketlerinden geçen buhara verir. Kazandan yüksek sıcaklık kızdırıcılarında 135 bar ve 540 °C sıcaklıkta ayrılan kızgın buhar 5 nolu yüksek basınç türbinine girer. Yüksek basınç türbininde giren yüksek basınçlı buhar, genişlerken iş yaptıktan sonra yaklaşık 38 bar basınç ve 356 °C sıcaklıkta ayrılır ve tekrar sıcaklığını artırmak üzere RH1 kızdırıcılarına girer. Tekrar sıcaklığı artmış olan buhar kazan RH1 ısıtıcısından yaklaşık 37 bar ve 540 °C' de çıkararak 6 ve 7 nolu orta basınç türbinine girer. 6 ve 7 nolu Orta basınç türbininde genişlerken iş gören kızgın buhar, buradan yaklaşık olarak 3,28 bar ve 235 °C' de çıkararak alçak basınç türbinine girer. Alçak basınç türbinin de genişlerken iş gören buhar, kondensede oluşan vakum sayesinde kondensere geçer. Kondenser de yoğuşan buhar 35.85 °C sıcaklıkta ayrılarak 4 nolu kondense tahliye pompası vasıtası ile kazan besleme suyu ön ısıtıcılarına pompalanır. Kazan besleme suyu, sırasıyla alçak basınç türbinin ara kademelerinden alınan buhar ile 31,27 ve 15 nolu alçak basınç ısıtıcılarından geçerek sıcaklığını yaklaşık olarak 101 °C ' ye yükseltir. Kazan besleme suyu daha sonra degazöre girer buradan da sıcaklığını belli bir kademe artırarak kazan besleme suyu pompasına girer. Kazan besleme pompasından 149 bar basınçla ayrılan kazan besleme suyu, orta basınç türbininin ara kademelerinden ısıtma buharı alan 37 nolu yüksek basınç kızdırıcısına girer burada, sıcaklığı 146 °C yükselir. Daha sonra, yüksek basınç türbininin ara kademelerinden ısıtma buhar alan 38 nolu yüksek basınç kızdırıcısına girer

ve buradan kazan besleme suyu sıcaklığı 242 °C' ye yükselir. 38 nolu yüksek basınç ısıtıcısından sonra kazan besleme suyu 242 °C' de ve 143 barda kazan ekonomizere girer.





0 File = C:\USERS\AZIZ\DESKTOP\BAP PROJESY\PÜLVARİZE KAZAN SİSTEMİ\PÜLVARİZE MEVCUT SİSTEM.TFX 12-03-2014 02:12:36

Sheet 1

Şekil 5.13. Modellenen pülverize kazanlı termik elektrik üretim santrali akış şeması.

Çizelge 5.5. Pülverize yakma ve akışkan yataklı yakma sistemlerinin genel karakteristikleri.

Sistem Özeti	Birim	Pülverize Kazan		Akışkan Yataklı Kazan	
		AID	ÜID	AID	ÜID
Net yakıt girdisi	kW	394119	465061	464512	548125
Brüt ısı oranı	kJ/kWh	9841	-	8877	-
Net ısı oranı	kJ/kWh	11007	12989	9493	11202
Brüt elektrik verimi	%	36,58	-	40,55	-
Net elektrik verimi	%	32,71	27,72	37,92	32,14
Brüt güç	kW	144180	-	188377	-
Net güç	kW	128898	-	176158	-
İç ihtiyaç tüketimi	kW	15282	-	12220	-

Çizelge 5.5’ de pülverize yakma sistemli termik elektrik üretim santrali ile akışkan yataklı termik elektrik üretim santralinin Thermoflex programında modellenmesi yapılması sonucunda elde edilen veriler gösterilmektedir. Çizelge 5.5’ de görüldüğü üzere modellenmesi yapılan akışkan yataklı termik elektrik üretim santralinin brüt ısı oranı 8877 kJ/kWh iken modellenmesi yapılan pülverize yakma sistemli termik elektrik üretim santralinin brüt ısı oranı 9841 kJ/kWh’ dir.

Çizelge 5.6. Pülverize yakma ve akışkan yataklı yakma sistemlerinin karşılaştırılması.

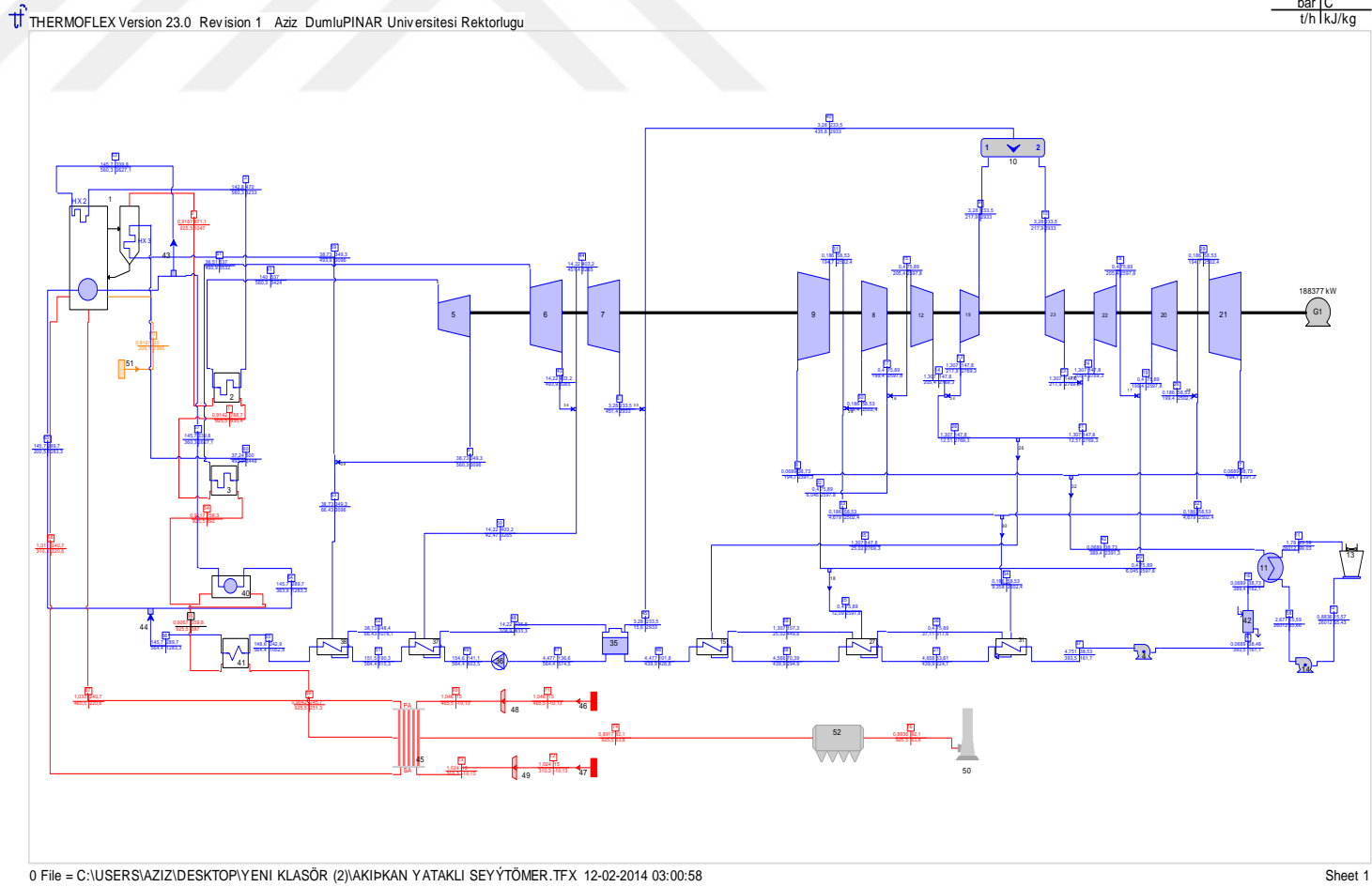
Santral Özeti	Birim	Pülverize Kazanlı	Akışkan Yataklı Kazanlı
Ortam basıncı	bar	0,8836	0,8836
Ortam sıcaklığı	°C	15	15
Bağıl nem	%	60	60
Yaş termometre sıcaklığı	°C	10,57	10,57
Brüt güç	kW	144180	188377
Brüt elektrik verimi(AID)	%	36,58	40,55
Brüt ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	9841	8877
Net güç	kW	128898	176158
Net elektrik verimi(AID)	%	32,71	37,92
Net ısı oranı(AID)	kJ/kWh	11007	9493
Net yakıt girdisi(AID)	kW	394119	464512
Net proses ısı çıktısı	kW	0	0
Santral yardımcıları	kW	15282	12220
Net elektrik verimi(ÜID)	%	27,72	32,14
Net ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	12989	11202
Net yakıt girdisi(ÜID)	kW	465061	548125
Su tüketimi	t/h	297425	375860
Su deşarzu	t/h	7,721	7,369

Çizelge 5.6' de, Thermoflex programı ile modellenen pülverize yakma sistemli termik elektrik üretim santrali ile akışkan yataklı termik elektrik üretim santraline ait, Ortam basıncı, Ortam sıcaklığı, ıslak termometre sıcaklığı, Brüt güç, Brüt elektrik verimi(AID), Brüt ısı oranı(ÜID), Net güç, Net elektrik verimi(AID), Net ısı oranı(AID), Net yakıt girdisi(AID), Net proses ısı çıktısı, Santral yardımcıları, Net elektrik verimi(ÜID), Net ısı oranı(ÜID), Net yakıt girdisi(ÜID), Su tüketimi, Su deşarzu gibi değerleri verilmiştir. Çizelge 5.6' de görüldüğü üzere modellenen akışkan yataklı termik elektrik üretim santralinin net elektrik verimi % 37,92 ve Pülverize yakma sistemine dayalı elektrik üretim tesisinin net elektrik verimi ise % 32,71 çıkmıştır. Çizelge 5.7' de ise modellenen pülverize yakma sistemli termik elektrik üretim santrali ile akışkan yataklı termik elektrik üretim santraline ait yıllık toplam emisyon oranları verilmiştir.

Çizelge 5.7. Pülverize yakma ve akışkan yataklı yakma sistemlerinin emisyon değerlerinin karşılaştırılması.

Pülverize Yakma Sistemi					
Birleşenler	Giren kg/h	Çıkan kg/h	Net kg/h	AID 25°C	ÜID 25°C
Santral toplam Emisyon	kg/h	ton/yıl	kg/MWh(brüt)	g/GJ	g/GJ
SO ₂	1170	9477	8,115	824,6	698,8
SO ₃	33,37	270,3	0,2315	23,52	19,93
CO ₂	147469	1194498	1022,8	103939	88084
Toz	46,55	377,1	0,3229	32,81	27,8
Dolaşımli Akışkan Yataklı Yakma Sistemi					
Birleşenler	Giren kg/h	Çıkan kg/h	Net kg/h	AID 25°C	ÜID 25°C
Santral toplam Emisyon	kg/h	ton/yıl	kg/MWh (brüt)	g/GJ	g/GJ
SO ₂	137,9	1117	0,732	82,46	69,88
SO ₃	39,71	321,7	0,2108	23,75	20,13
CO ₂	173996	1409367	923,7	104051	88179
Toz	22,38	181,3	0,1188	13,39	11,34

6. SEYİTÖMER YÖRESİNE AİT KÖMÜRÜN AKIŞKAN YATAKLI BİR TERMİK SANTRALDE KULLANIMININ PERFORMANS VE DUYARLILIK ANALİZİ



Şekil 6.1. Modellenen akışkan yataklı termik elektrik üretim santrali akış şeması.

Bu tez çalışmasında Thermoflex programı kullanarak simülasyonunu yaptığımız akışkan yataklı termik elektrik üretim santralının yakma sisteminde kullanılan yakıt değeri olarak, Kütahya ilinin Seyitömer yöresinden alınan üç adet numunenin analizleri yapılarak, çıkan değerlerin ortalaması, alınmıştır. Anılan bölgeye ait düşük kaliteli linyit kömürün ortalama analiz değerleri sırasıyla, ısıl değeri 1793 kcal, nem oranı %37,78 ve kül oranı ise % 28,36' dir. Şekil 6.1' de modellenen akışkan yataklı akışkan yataklı termik elektrik üretim santralının su-buhar akış şeması ve su-buhar akış şemasına ait veriler verilmiştir. Şekil 6.1' de su-buhar akış şemasında görüldüğü üzere; sisteme taze hava 15 °C ve % 60 nem oranında fan ile basılarak öncelikle hava ön ısıtıcısına girer ve taze hava çıkış sıcaklığı, bu hava ön ısıtıcısından geçerken kazandan yanma sonucu çıkan atık sıcak gazın ısısını alarak, 240 °C' ye yükselir. Sıcaklığı 240 °C' ye yükselen hava, yanma havası olarak kazana girer. Kazanda yanma sonucu ortaya çıkan sıcak gaz öncelikle kazan yanma odasından çıkarak siklona geçer. Siklondan 871 °C' de çıkan sıcak gaz, 2 nolu buhar kızdırıcısına girer buradan ısısını kızgın buhara vererek sıcaklığı 788 °C' düşerek buradan 3 nolu buhar kızdırıcısına girer. 3 nolu buhar kızdırıcısında ısısını, yüksek basınç türbininde iş gören ve tekrar kızdırılmak için kazana gönderilen buhara ısısını vererek sıcaklığı 756 °C'ye düşer. Sıcaklığı 756 °C' ye düşen sıcak gaz 3 nolu buhar kızdırıcıdan çıktıktan sonra 40 nolu evaporatöre girer burada ise ısısını buhar vererek sıcaklığı 359 °C'ye düşer. Daha sonra sıcak gaz evaporatörden ayrıldıktan sonra 41 nolu ekonomizere girer. Ekonomizerde ise ekoya giren kazan suyuna ısısını vererek sıcaklığını artırır. Ekonomizerden 245 °C' de ayrılan çürük gaz daha sonra hava ön ısıtıcısına girerek, buradan 82 °C' de ayrılır ve bacaya gönderilir. Akışkan yataklı kazandan HX2 kızdırıcı hattından çıkan kızgın buhar öncelikle 142 bar ve 470 °C de 2 nolu buhar kızdırıcısına girer burada sıcaklığını artırarak 5 nolu yüksek basınç türbinine 140 bar ve 537 °C sıcaklıkta girer. Yüksek basınç türbininde genişlerken iş gören kızgın buhar ayrılır ve tekrar sıcaklığını artırmak için kazanın HX3 kızdırıcısına girer. Tekrar kızdırılmış olan buhar, Kazan HX3 kızdırıcısından yaklaşık 37 bar ve 500 °C de ayrılarak 3 nolu buhar kızdırıcısına girer. 3 nolu buhar kızdırıcısından ise sıcaklığını artırarak yaklaşık 36 bar ve 537 °C de 6 ve 7 nolu orta basınç türbinine girer. 6 ve 7 nolu Orta basınç türbininde genişlerken iş gören kızgın buhar, buradan ayrılarak yaklaşık olarak 3,28 bar ve 233 °C' da alçak basınç türbinine girer. Alçak basınç türbininde genişlerken iş gören buhar, çürük buhar olarak kondensede oluşan vakum sayesinde kondensere geçer. Kondenser de yoğuşan buhar, doymuş su olarak 38,73 °C sıcaklıkta ayrılarak 4 nolu kondense tahliye pompası vasıtası ile kazan besleme suyu ısıtıcılarına pompalanır. Kazan besleme suyu, sırasıyla alçak basınç türbinin ara kademelerinden alınan buhar ile 31,27 ve 15 nolu alçak basınç ısıtıcılarından geçerek sıcaklığını yaklaşık olarak 101 °C'ye yükseltir. Kazan besleme suyu daha sonra degazöre girer buradan da sıcaklığını belli bir kademe artırarak kazan

besleme suyu pompasına girer. Kazan besleme pompasından 154 bar basınçla ayrılan kazan besleme suyu, orta basınç türbininin ara kademelerinden ısıtma buharı alan 37 nolu yüksek basınç kızdırıcısına girer burada, sıcaklığı 190 °C yükselir. Daha sonra ise yüksek basınç türbininin ara kademelerinden ısıtma buhar alan 38 nolu yüksek basınç kızdırıcısına girer ve burada kazan besleme suyu sıcaklığı 242 °C ye yükselir. Yüksek basınç ısıtıcısından sonra kazan besleme suyu 242 °C de ve 148 barda ekonomizere girer.

Çizelge 6.1. Seyitömer yöresine ait kömür analiz değerleri.

Seyitömer Kömür Analiz Değerleri				
Analiz değerleri	Numune-1	Numune-2	Numune-3	Ort.
Kısa Analiz	%	%	%	%
Nem	37,65	38,66	37,03	37,78
Kül	28,10	26,30	30,70	28,36667
Uçucu madde	21,74	21,68	20,12	21,18
Sabit karbon	12,50	13,36	12,15	12,67
Toplam	100	100	100	
Alt ısııl dğer	1809	1877	1694	1793
Elementel analiz	%	%	%	%
Nem	37,65	38,66	37,03	37,78
Kül	28,10	26,30	30,70	28,36
Karbon	22,94	23,24	21,70	22,62
Hidrojen	2,06	3,02	2,02	2,366
Kükürt	0,28	0,35	0,37	0,33
Azot	0,46	0,56	0,44	0,48
Oksijen	8,51	8,82	7,74	8,35
Kül ergime değerleri	(°C)	(°C)	(°C)	
İlk deformasyon	1199	1184	1219	
Yumuşama	1272	1204	1243	
Erime	1305	1254	1271	
Akma	1342	1351	1361	
Öğütülebilirlik indeksi	60			

Yukardaki Çizelge 6.1. de Seyitömer kömüründen alınan 3 adet numunenin kısıtlı ve elementel analiz değerlerini aynı zamanda kül ergime noktalarını göstermektedir. Son sütunda bulunan değerler ise 3 adet numuneden çıkan değerlerin ortalamasıdır. Simülasyonu yapılan

akışkan yataklı güç santraline Thermoflex programı kullanılarak yapılan duyarlılık analizinde Çizelge 6.1’ de gösterilen düşük kaliteli linyite ait ortalama değerler temel alınmıştır. Bu tez çalışmada Thermoflex modelleme programı kullanılarak 188MW gücünde klasik akışkan yataklı güç santralinin modellenmesi yapılmıştır. Yakıt olarak ise yukarıda tabloda belirtilen özelliklere sahip düşük kaliteli linyit kullanılmış olup, yer olarak Kütahya ilinin Seyitömer bölgesi düşünülmüştür. Modellenen akışkan yataklı güç santrallerine ait, net elektrik verimi, net güç üretimi, net ısı oranı ve emisyon oranları gibi karakteristik özellikler aşağıdaki tablolarda göstermiştir.

Çizelge 6.2. Akışkan yataklı güç santraline ait genel özellikler.

	Birim	Genel Değerler	
		AID	ÜID
Net yakıt girdisi	[kW]	464512	548125
Brüt ısı oranı	[kJ/kWh]	8877	-
Net ısı oranı	[kJ/kWh]	9493	11202
Brüt elektrik verimi	[%]	40,55	-
Net elektrik verimi	[%]	37,92	32,14
CHP verimi	[%]	37,92	-
Brüt güç	[kW]	188377	-
Net güç	[kW]	176158	-
Toplam yardımcılar	[kW]	12220	-

Tasarlanan güç santrallerine ait net yakıt girdisi, brüt ısı oranı, net ısı oranı, brüt elektrik verimi, CHP verimi, brüt güç, net güç, toplam iç ihtiyaç gibi karakteristik değerler Çizelge 6.2’ de verilmiştir. Çizelge 6.2 incelendiğinde tasarlanan akışkan yataklı güç santralinde net elektrik verimi % 37,92, Net Isı Oranı ise 9493 kJ/kWh olduğu görülmektedir. Tasarlanan akışkan yataklı güç santralinde İç ihtiyaç tüketimi ise 12220 kW olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.3. Akışkan yataklı güç santraline ait özellikler.

Santral Özeti		Akışkan Yataklı Yakma Sistemi
Ortam basıncı	bar	0,8836
Ortam sıcaklığı	°C	15
Bağıl nem	%	60
Yaş termometre sıcaklığı	°C	10,57
Brüt güç	kW	188377
Brüt elektrik verimi(AID)	%	40,55
Brüt ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	8877
Net güç	kW	176158
Net elektrik verimi(AID)	%	37,92
Net ısı oranı(AID)	kJ/kWh	9493
Net yakıt girdisi(AID)	kW	464512
Net proses ısı çıktısı	kW	0
Santral yardımcıları	kW	12220
Net elektrik verimi(ÜID)	%	32,14
Net ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	11202
Net yakıt girdisi(ÜID)	kW	548125
Su tüketimi	t/h	375860
Su deşarjı	t/h	7,369

Thermoflex programı kullanılarak modellenen akışkan yataklı güç santrallerine ait net yakıt girdisi, brüt ısı oranı, net ısı oranı, net ısı oranı, brüt elektrik verimi, CHP verimi, brüt güç, net güç, toplam iç ihtiyaç, çevre basıncı, çevre sıcaklığı, su tüketimi, su deşarjı gibi karakteristik değerler Çizelge 6.3' de verilmiştir. Çizelge 6.3 incelendiğinde modellenen akışkan yataklı yakma sistemine dayalı güç santraline ait net elektrik verimi % 37,92, net ısı oranı ise 9493 kJ/kWh, Su tüketimi 37580 t/h, brüt elektrik verimi ise %40,55 olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.4. Akışkan yataklı güç santraline ait emisyon değerleri.

Birleşenler	Dolaşım Akışkan Yataklı Yakma Sistemi				
	Giren kg/h	Çıkan kg/h	Net kg/h	AID 25°C	ÜID 25°C
Santral toplam emisyonu	kg/h	ton/yıl	kg/MWh(brüt)	g/GJ	g/GJ
SO ₂	137,9	1117	0,732	82,46	69,88
SO ₃	39,71	321,7	0,2108	23,75	20,13
CO ₂	173996	1409367	923,7	104051	88179
Toz	22,38	181,3	0,1188	13,39	11,34

Modellenen akışkan yataklı yakma sistemine dayalı güç santraline ait SO₂, SO₃, CO₂ ve toz emisyon değerleri Çizelge 6.4' de verilmiştir. Çizelge 6.4 incelendiğinde tasarlanan sistemin birim saatte SO₂ emisyonu 137,9 kg/h, SO₃ emisyonu 39,71 kg/h, CO₂ emisyonu 173996 kg/ saat olduğu görülmektedir.

6.1. Akışkan Yataklı Güç Santraline Ait Duyarlılık Analizi

Thermoflex programında modellenen akışkan yataklı güç santraline ait karakteristik değerler incelendiğinde net elektrik verimi klasik güç santrallerine oranla daha yüksek iken, net ısı oranı ise klasik güç santrallerine oranla daha düşüktür. Modellenen Akışkan yataklı güç santraline ait değerler incelendikten sonra bu bölümde duyarlılık analizi yapılmış olup bununla ilgili çizelge ve şekiller aşağıda verilmiştir.

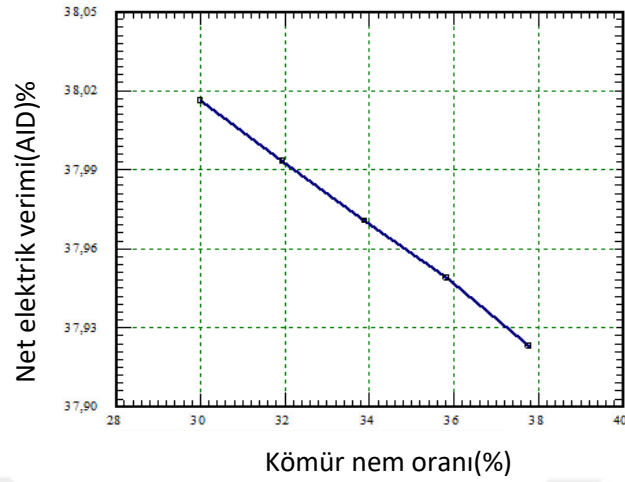
Modellenen akışkan yataklı güç santralinde, yakıt nem oranı, an buhar basıncı, buhar sıcaklığı, kondense vakumu ve yakıt besleme sıcaklığı farklı oranlarda değiştirilerek sistemde meydana gelen değişiklikler gözlenmiştir. Aşağıda verilen çizelge ve grafiklerde meydana gelen değişiklikler değerlendirilmiştir.

Modellenen Akışkan yataklı güç santralinin yakıtın nem oranı % 37,78' dir. Öncelikle, Nem oranı % 30 ile % 37,78 arasındaki 5 farklı değer için duyarlılık analizi yapılmış olup programdan çıkan değerler Çizelge 6.5' de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Farklı yakıt nem oranı değerleri temel alınarak yapılan duyarlılık analiz değerleri.

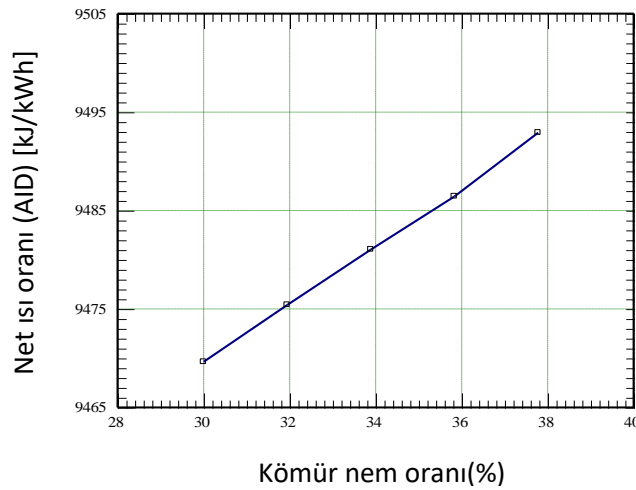
Santral Karakteristikleri	Birim	Mevcut Durum	Durum1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5
Yakıt nem oranı	%	37,78	30	31,94	33,89	35,84	37,78
Ortam basıncı	bar	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836
Ortam sıcaklığı	°C	15	15	15	15	15	15
Bağıl nem	%	60	60	60	60	60	60
Yaş termometre sıcaklığı	°C	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57
Brüt güç	kW	188377	151337	159066	167709	177445	188375
Brüt elektrik verimi(AID)	%	40,55	40,63	40,61	40,59	40,57	40,55
Brüt ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	8877	8861	8865	8869	8872	8877
Net güç	kW	176158	141613	148821	156881	165961	176156
Net elektrik verimi(AID)	%	37,92	38,02	37,99	37,97	37,95	37,92
Net ısı oranı(AID)	kJ/kWh	9493	9470	9475	9481	9486	9493
Net yakıt girdisi(AID)	kW	464512	372506	391704	413166	437326	464508
Santral yardımcıları	kW	12220	9725	10246	10828	11484	12220
Net elektrik verimi(ÜID)	%	32,14	32,88	32,69	32,51	32,32	32,14
Net ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	11202	10949	11012	11075	11138	11202
Net yakıt girdisi(AID)	kW	548125	430706	455231	482627	513448	548120
Su tüketimi	t/h	375860	302246	317628	334825	354193	375854
Su değeri	t/h	7,37	6,27	6,5	6,76	7,04	7,37

Çizelge 6.5’ de görüldüğü üzere Kütahya ilinin Seyitömer yöresinde bulunan düşük kalite linyitin nem oranı yapılan analizlerde % 37,78 olup, nem oranına bağlı yapılan duyarlılık analizinde, nem oranı %37,78 ile % 30 arasında 5 farklı değer için değiştirilerek çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir. Çizelge 6.5 incelendiğinde de, belirtilen aralıklarda nem oranı düştükçe, net ısı oranının düştüğü ve net elektrik verimi yükseldiği gözlenmektedir.



Şekil 6.2. Akışkan yataklı yakma sisteminde kömür nem oranının net elektrik verimi ile değişimi.

Şekil 6.2’de Thermoflex programı kullanılarak modellenen akışkan yataklı güç santralinde yakıt nem oranını değiştirerek yapılan duyarlılık analizinde, yakıt olarak kullanılan düşük kaliteli linyitin nem oranı belli oranda azaldıkça net elektrik verimi arttığı görülmektedir.



Şekil 6.3. Akışkan yataklı yakma sisteminde kömür nem oranının net ısı oranı ile değişimi.

Şekil 6.3’de Thermoflex programı kullanılarak modellenen akışkan yataklı güç santralinde yakıt nem oranını belli bir aralıkta değiştirerek yapılan duyarlılık analizinde, yakıt olarak kullanılan düşük kaliteli linyitin nem oranı belli oranda artıkça net ısı oranının arttığı görülmektedir. Bu durum, yakıtın nem oranının artmasının, üretilen bir birim elektrik için

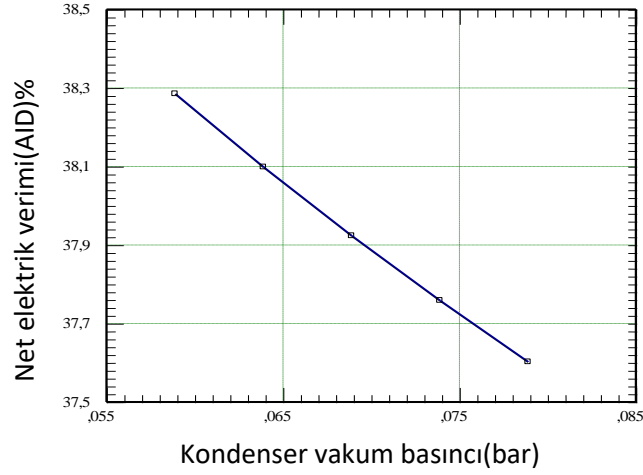
harcanan enerjinin daha fazla olacağı göstermektedir. Aynı zamanda bu grafik bizlere termik santrallerde yakıtı kazana vermeden önce belli bir oranda mevcut olan bir atık ısı ile kurutma işlemine tabi tutularak nem oranının belli bir oranda azaltılmasının güç santralının verimini ve performansını artıracağını göstermektedir.

Thermoflex programı kullanılarak modellenen Akışkan yataklı güç santralının Kondenser vakum basıncı 0,0689 bardır. Kondenser vakum basıncı 0,0589 bar ile 0,0789 bar arasında 5 farklı değer için duyarlılık analizi yapılmış olup programdan çıkan değerler Çizelge 6.6' de verilmiştir.

Çizelge 6.6. Kondenser vakum basınç değerleri temel alınarak duyarlılık analiz değerleri.

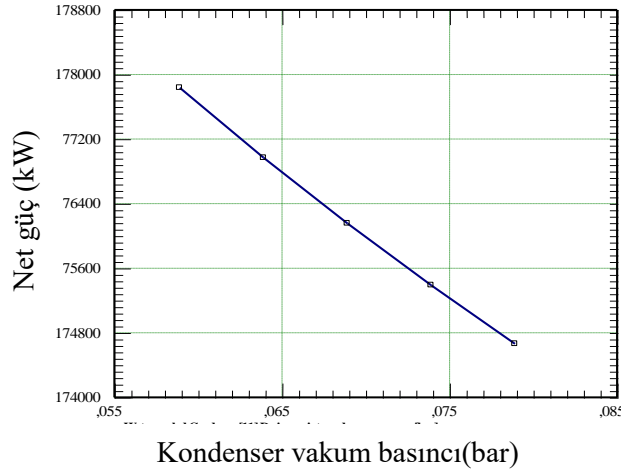
Santral Karakteristikleri	Birim	Mevcut Durum	Durum1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5
Kondese vakumu basıncı	bar	0,0689	0,0589	0,0639	0,0689	0,0739	0,0789
Ortam basıncı	bar	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836
Ortam sıcaklığı	°C	15	15	15	15	15	15
Bağıl nem	%	60	60	60	60	60	60
Yaş termometre sıcaklığı	°C	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57
Brüt güç	kW	188377	190049	189185	188375	187610	186887
Brüt elektrik verimi(AID)	%	40,55	40,91	40,73	40,55	40,39	40,23
Brüt ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	8877	8799	8839	8877	8913	8948
Net güç	kW	176158	177835	176968	176156	175389	174664
Net elektrik verimi(AID)	%	37,92	38,28	38,1	37,92	37,76	37,6
Net ısı oranı(AID)	kJ/kWh	9493	9403	9449	9493	9534	9574
Net yakıt girdisi(AID)	kW	464512	464507	464507	464508	464507	464507
Santral yardımcıları	kW	12220	12215	12217	12220	12222	12224
Net elektrik verimi(ÜID)	%	32,14	32,44	32,29	32,14	32	31,87
Net ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	11202	11096	11150	11202	11251	11297
Net yakıt girdisi(AID)	kW	548125	548119	548119	548120	548119	548119
Su tüketimi	t/h	375860	373210	374574	375854	377058	378200
Su deşarzu	t/h	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37

Modellenen akışkan yataklı güç santralinde kondenser vakumu 0,0689 bar olarak hesaplanmıştır. Duyarlılık analizinde, vakum basıncı, 0,0589 bar ile 0,0789 bar arasında 5 farklı değer kullanılmıştır. Çizelge 6.6 incelendiğinde, Kondenser vakumu, belirtilen değerler aralığında artıkça net gücün ve net elektrik veriminin ise düştüğü gözlenmektedir.



Şekil 6.4. Akışkan yataklı güç santralinde kondenser vakumunun net elektrik verimi ile değişimi.

Şekil 6.4'de Thermoflex programı kullanılarak modellenen akışkan yataklı güç santralinde güç santralının kondenser vakumunun değeri değiştirilerek yapılan duyarlılık analizinde, güç santralının kondenser vakumu arttıkça, güç santralının net elektrik verimi düştüğü görülmektedir.



Şekil 6.5. Akışkan yataklı yakma sisteminde kondense vakumun net güç ile değişimi.

Şekil 6.5'de Modellenen akışkan yataklı güç santralinde kondenser vakum basıncının belli bir aralıkta değiştirilerek yapılan duyarlılık analizinde, güç santralının kondenser vakum basıncı arttıkça net gücün azaldığı, kondenser vakum basıncı azaldıkça net gücün arttığı görülmüştür. Bu durum ise mevcut işletmede olan termik güç santrallerinde vakum basıncının güç santralının verimi açısından önemli olduğunu ve bu nedenden dolayı, kondenser vakum

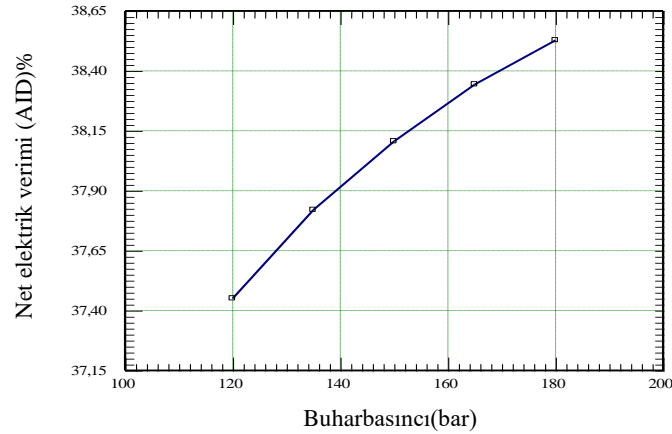
basıncının arttığı gözlemlendiğinde kondenser bakımının ihmal edilmemesi gerektiğini göstermektedir.

Thermoflex programı kullanılarak modellenen Akışkan yataklı güç santralının buhar basıncı 142 bardır. Buhar basıncı 120 bar ile 180 bar arasında 5 farklı değer için duyarlılık analizi yapılmış olup programdan çıkan değerler Çizelge 6.7’ de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Buhar basıncı değeri temel alınarak yapılan duyarlılık analiz değerleri.

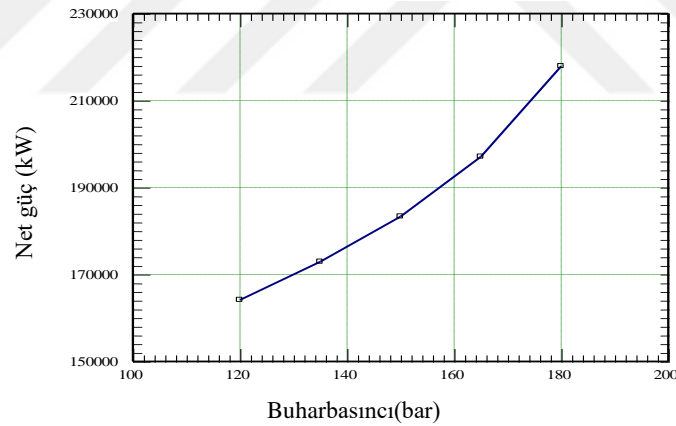
Santral Karakteristikleri	Birim	Mevcut Durum	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5
Buhar basıncı	bar	140	120	135	150	165	180
Ortam basıncı	bar	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836
Ortam sıcaklığı	°C	15	15	15	15	15	15
Bağıl nem	%	60	60	60	60	60	60
Yaş termometre sıcaklığı	C	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57
Brüt güç	kW	188377	175050	184801	196331	211544	234409
Brüt elektrik verimi(AID)	%	40,55	39,94	40,41	40,81	41,15	41,45
Brüt ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	8877	9014	8908	8822	8748	8686
Net güç	kW	176158	164150	172936	183329	197095	217897
Net elektrik verimi ((AID)	%	37,92	37,45	37,82	38,11	38,34	38,53
Net ısı oranı(AID)	kJ/kWh	9493	9613	9519	9447	9389	9344
Net yakıt girdisi(AID)	kW	464512	438313	457261	481101	514024	565559
Santral yardımcıları	kW	12220	10900	11865	13001	14449	16513
Net elektrik verimi(ÜID)	%	32,14	31,74	32,05	32,29	32,49	32,65
Net ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	11202	11343	11232	11148	11079	11026
Net yakıt girdisi(AID)	kW	548125	517210	539569	567700	606550	667361
Su tüketimi	t/h	375860	358235	370865	387618	412067	451545
Su deşarızı	t/h	7,37	7,10	7,29	7,55	7,92	8,51

Modellenen akışkan yataklı güç santralinde buhar basıncı 142 bar olarak hesaplanmıştır. Buharbasıncının farklı değerleri temel alınarak yapılan duyarlılık analizinde; buharbasıncı için, 120 bar ile 180 bar arasında 5 farklı değer kullanılmıştır. Çizelge 6.7 incelendiğinde, güç santralının buhar basıncı, belirtilen değerler aralığında artıçça net gücün ve net elektrik veriminin ise yükseldiği gözlenmektedir.



Şekil 6.6. Akışkan yataklı yakma sisteminde buhar basıncının, net elektrik verimi ile değişimi.

Şekil 6.6'de Thermoflex programı kullanılarak modellenen akışkan yataklı güç santralinde güç santralının buhar basınç değeri değiştirilerek yapılan duyarlılık analizinde, güç santralının buhar basıncı arttıkça, güç santralının net elektrik verimi arttığı görülmektedir.



Şekil 6.7. Akışkan yataklı yakma sisteminde buhar basıncının, net güç ile değişimi.

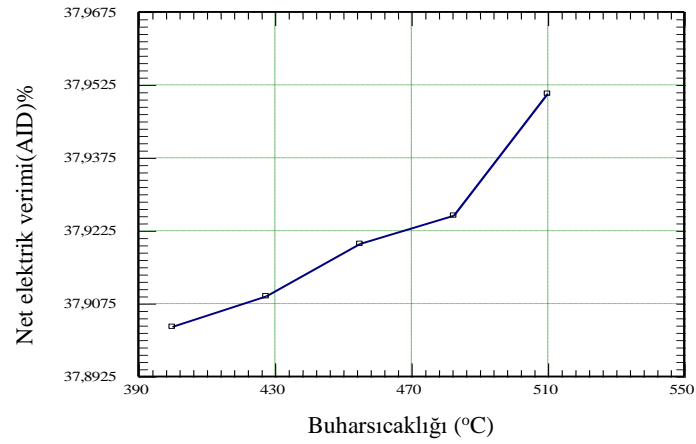
Şekil 6.7 'de Thermoflex programı kullanılarak modellenen akışkan yataklı güç santralinde güç santralının buhar basınç değeri değiştirilerek yapılan duyarlılık analizinde, güç santralının buhar basıncı arttıkça, güç santralının net gücün yükseldiği görülmektedir.

Thermoflex programı kullanılarak modellenen Akışkan yataklı güç santralının HX2 buhar sıcaklığı 470 °C' dir. HX2 Buharsıcaklığı 470 °C' ile 510 °C' arasında beş farklı değer için duyarlılık analizi yapılmış olup programdan çıkan değerler Çizelge 6.8 de verilmiştir.

Çizelge 6.8. HX2 buhar sıcaklığı için duyarlılık analiz değerleri.

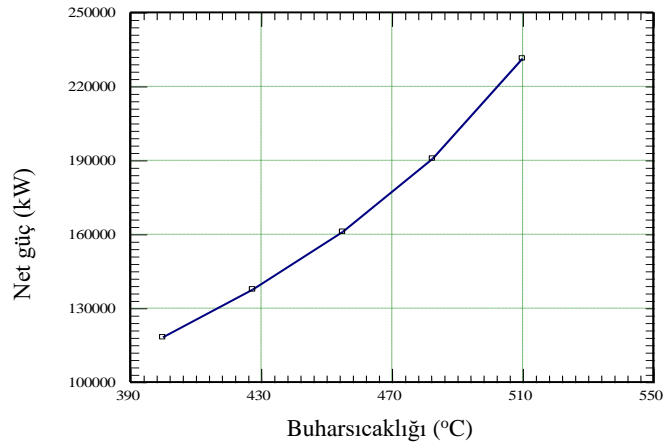
Santral Karakteristikleri	Birim	Mevcut Durum	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5
Buhar sıcaklığı	°C	470	400	427,5	455	482,5	510
Ortam basıncı	bar	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836
Ortam sıcaklığı	°C	15	15	15	15	15	15
Bağıl nem	%	60	60	60	60	60	60
Yaş termometre sıcaklığı	°C	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57
Brüt güç	kW	188377	126378	147101	172112	203857	247290
Brüt elektrik verimi(AID)	%	40,55	40,54	40,54	40,55	40,56	40,58
Brüt ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	8877	8881	8880	8878	8877	8871
Net güç	kW	176158	118170	137551	160944	190638	231266
Net elektrik verimi(AID)	%	37,92	37,9	37,91	37,92	37,93	37,95
Net ısı oranı(AID)	kJ/kWh	9493	9498	9496	9494	9492	9486
Net yakıt girdisi(AID)	kW	464512	311771	362845	424432	502663	609387
Santral yardımcıları	kW	12220	8208	9550	11168	13220	16023
Net elektrik verimi(ÜID)	%	32,14	32,12	32,13	32,14	32,14	32,16
Net ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	11202	11208	11206	11203	11201	11193
Net yakıt girdisi(AID)	kW	548125	367891	428158	500831	593143	719078
Su tüketimi	t/h	375860	252548	293811	343583	406531	492757
Su deşarız	t/h	7,37	5,53	6,14	6,89	7,83	9,12

Modellenen akışkan yataklı güç santralinde HX2 buhar sıcaklığı 470 °C olarak hesaplanmıştır. Buhar sıcaklığı için yapılan duyarlılık analizinde; buhar sıcaklığı, 470 °C ile 510 °C arasında 5 farklı değer kullanılmıştır. Çizelge 5.8 incelendiğinde de, güç santralinin buhar sıcaklığı, belirtilen değerler aralığında arttıkça net gücün ve net elektrik veriminin ise yükseldiği görülmektedir.



Şekil 6.8. Akışkan yataklı yakma sisteminde, buhar HX2 çıkış sıcaklığının net elektrik verimi ile değişimi.

Şekil 6.8'de Thermoflex programı kullanılarak modellenen akışkan yataklı güç santralinde, güç santralının buhar HX2 çıkış sıcaklığının değeri değiştirilerek yapılan duyarlılık analizinde; güç santralının buhar HX2 çıkış sıcaklığı artıkça, güç santralının net elektrik verimi arttığı görülmektedir.



Şekil 6.9. Akışkan yataklı yakma sisteminde buhar HX2 çıkış sıcaklığının net güç ile değişimi.

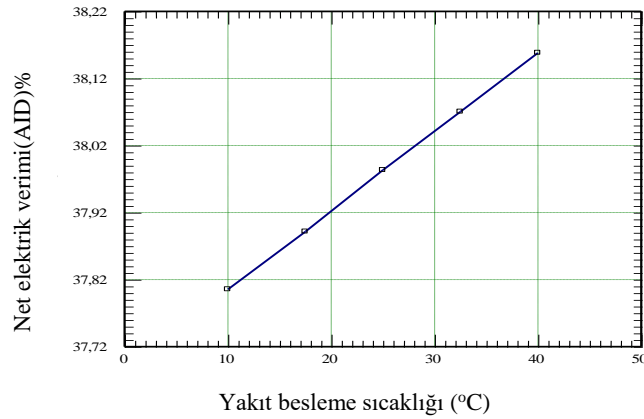
Şekil 6.9. 'de Thermoflex programı kullanılarak modellenen akışkan yataklı güç santralinde güç santralının buhar HX2 çıkış sıcaklığının değeri değiştirilerek yapılan duyarlılık analizinde, güç santralının buhar HX2 çıkış sıcaklığı artıkça, güç santralının net gücü arttığı görülmektedir.

Thermoflex programı kullanılarak modellenen Akışkan yataklı güç santralının yakıt besleme sıcaklığı 20 °C' dir. Yakıt besleme sıcaklığı 10 °C' ile 40 °C' arasında 5 farklı değer için duyarlılık analizi yapılmış olup programdan çıkan değerler Çizelge 6.9. de verilmiştir.

Çizelge 6.9. Yakıt besleme sıcaklığı için duyarlılık analiz değerleri.

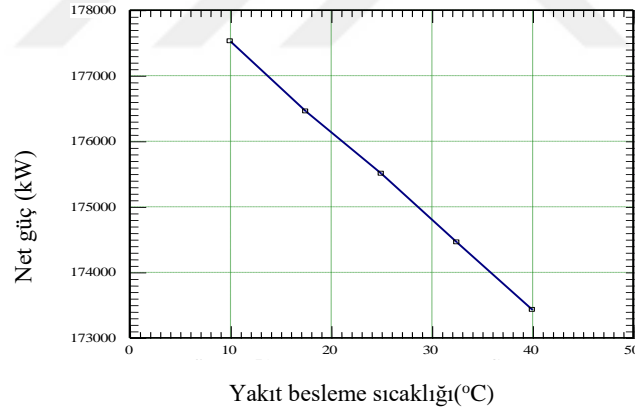
Santral Karakteristikleri	Birim	Mevcut Durum	Durum1	Durum2	Durum3	Durum4	Durum5
Yakıt besleme sıcaklığı	°C	20	10	17,5	25	32,5	40
Ortam basıncı	bar	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836	0,8836
Ortam sıcaklığı	°C	15	15	15	15	15	15
Bağıl nem	%	60	60	60	60	60	60
Yaş termometre sıcaklığı	°C	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57
Brüt güç	kW	188377	189845	188696	187675	186549	185442
Brüt elektrik verimi(AID)	%	40,55	40,43	40,52	40,62	40,71	40,8
Brüt ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	8877	8904	8884	8863	8843	8823
Net güç	kW	176158	177523	176454	175504	174456	173426
Net elektrik verimi(AID)	%	37,92	37,81	37,89	37,98	38,07	38,16
Net ısı oranı(AID)	kJ/kWh	9493	9522	9501	9478	9456	9434
Net yakıt girdisi(AID)	kW	464512	469570	465682	462054	458245	454491
Santral yardımcıları	kW	12220	12322	12242	12171	12093	12016
Net elektrik verimi(ÜID)	%	32,14	32,04	32,11	32,19	32,26	32,34
Net ısı oranı(ÜID)	kJ/kWh	11202	11236	11211	11184	11158	11133
Net yakıt girdisi(AID)	kW	548125	554093	549506	545224	540730	536301
Su tüketimi	t/h	375860	378732	376450	374502	372263	370067
Su deşarzu	t/h	7,37	7,41	7,38	7,35	7,32	7,29

Modellenen akışkan yataklı güç santralinde yakıt besleme sıcaklığı 20 °C olarak hesaplanmıştır. Buhar sıcaklığı için yapılan duyarlılık analizinde; yakıt besleme sıcaklığı, 10°C ile 40 °C arasında 5 farklı değer kullanılmıştır. Çizelge 6.9 incelendiğin de, güç santralının yakıt besleme sıcaklığı, belirtilen değerler aralığında artıkça net gücün azaldığı ve net elektrik veriminin ise yükseldiği gözlenmektedir.



Şekil 6.10. Akışkan yataklı yakma sisteminde yakıt besleme sıcaklığının net elektrik verimi ile değişimi.

Şekil 6.10'de Thermoflex programı kullanılarak modellenen akışkan yataklı güç santralinde güç santralının yakıt besleme sıcaklığının değeri değiştirilerek yapılan duyarlılık analizinde, güç santralının yakıt besleme sıcaklığı arttıkça, güç santralının net elektrik verimi artışı görülmektedir.



Şekil 6.11. Akışkan yataklı yakma sisteminde yakıt besleme sıcaklığının net güç ile değişimi.

Şekil 6.11'de Thermoflex programı kullanılarak modellenen akışkan yataklı güç santralinde güç santralının yakıt besleme sıcaklığının değeri değiştirilerek yapılan duyarlılık analizinde, güç santralının yakıt besleme sıcaklığı arttıkça, güç santralının net gücün artışı görülmektedir.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Türkiye'nin, AR-GE alt yapısını düşük kaliteli linyitlerin (DKL) yanma ve emisyon davranışlarının belirlenmesine, yakma optimizasyonu ve gerekli baca gazı arıtma sistem tasarımına yönelik verilerin eldesi ile bu sistemlerle ilgili tasarımlara yönelmesi; temiz enerji üretimi, enerji arz güvenliği, enerjinin sürdürülebilirliği ve yönetilebilirliği, milli enerji politikaları hususları açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminde kömür tüketimi önemli yer tutmaktadır. Kömür yakıtlı elektrik üretim santrallerinin büyük bir bölümü yerli linyit yakıtlı termik santrallerdir. Bu santrallerin büyük bir kısmı ise pülverize yakma sistemine dayalı elektrik üretim tesisleridir. Ülkemizde bulunan pülverize yakma sistemine sahip termik santraller, yüksek kül, nem ve silis oranına sahip düşük kaliteli linyit kullanmaktadır. Bu nedenle, ülkemizdeki yerli yakıta dayalı termik santrallerin işletmeciliği oldukça zor olup farklı nedenlerden kaynaklı üretim kayıpları ve verim kayıpları meydana gelmektedir. Yanma ve yakma sorunlarının yaşadığı DKL yakan mevcut santrallerin sistem verimlerini artırmanın yolu kazan ve kazan yardımcı elemanlarını iyileştirmek ya da buralarda yeni temiz kömür yakma teknolojilerini denemektir. Son zamanlarda ülkemizde, özel sektör tarafından kurulan yerli kömür yakıtlı termik santrallerde akışkan yataklı kazanlar tercih edilmektedir. Avrupa Birliği tarafından da temiz kömür teknolojilerinden birisi olarak kabul edilen akışkan yatakta yakma teknolojisi, düşük kaliteli yakıtlar için verimli yakma ve emisyon filtreleme koşullarını sağlayabilen en uygun sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Akışkan yataklı kazanlar, yapısal emisyon filtreleme özellikleri nedeni ile, ek-ilave (SO₂ ve NO_x) arıtma tesislerine ihtiyaç göstermeksizin, yönetmeliklerde öngörülen emisyon sınır değerlerinin altındaki emisyonlarla işletilebilmektedir. Pülverize yakma sistemlerinde ise emisyon kontrolü için ayrıca ihtiyaç duyulan baca gazı arıtma tesislerinin yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle, temiz ve verimli enerji eldesi için yerli yakıt olan düşük kaliteli linyit (DKL) kullanan termik santrallerde akışkan yataklı kazan teknolojisinin tercih edilmesi ile bu teknoloji üzerinde tasarım ve Ar-Ge çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, Thermoflex modelleme programı kullanılarak pülverize yakma sistemli ve akışkan yataklı olmak üzere düşük kaliteli linyit yakıtlı iki farklı elektrik üretim tesisi modellenmesi yapılmıştır. Modellenen elektrik üretim tesislerinde yakıt olarak Seyitömer bölgesinde bulunan düşük kaliteli linyit kullanılmıştır. Çizelge 7.1' de Tasarımda kullanılan Seyitömer bölgesinde bulunan kömürün analiz sonuçları verilmektedir.

Çizelge 7.1. Tasarımda kullanılan Seyitömer kömür analiz değerleri.

Seyitömer Kömür Analiz Değerleri				
Analiz değerleri	Numune-1	Numune-2	Numune-3	Ortalama
Kısa Analiz	%	%	%	%
Nem	37,65	38,66	37,03	37,78
Kül	28,10	26,30	30,70	28,36
Uçucu madde	21,74	21,68	20,12	21,18
Sabit karbon	12,50	13,36	12,15	12,67
Alt ısııl değ.	1809	1877	1694	1793
Kül ergime değerleri	(°C)	(°C)	(°C)	
İlk deformasyon	1199	1184	1219	
Yumuşama	1272	1204	1243	
Erime	1305	1254	1271	
Akma	1342	1351	1361	

Anılan yöreye ait düşük kaliteli linyit kömürün ortalama analiz değerleri sırasıyla; ısııl değeri 1793 kcal, nem oranı %37,78 ve kül oranı ise % 28,36' dir. Numune analizlerinin çıkan alt ısııl değerleri ise sırasıyla; 1809 kcal/kg, 1877 kcal/kg ve 1694 kcal/kg olarak bulunmuştur. Seyitömer bölgesinden alınan üç adet numunenin elementel ve kısa analizleri yapılmış olup, çıkan değerlerin ortalaması ise modellemede kullanılmıştır. Bununla birlikte Tunçbilek bölgesinde bulunan kömür içinde elementel ve kısa analizler yapılmış ancak, modellenen santral için yer seçimi Seyitömer bölgesi seçildiği için yakıt olarak Seyitömer bölgesindeki kömür değerleri alınmıştır. Daha sonra bu çalışma kapsamında, kül analizleri, termik santral işletmesinde kullanılan saf su, ham su analizleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Öncelikle DKL kullanarak pülverize yakma sistemine dayalı bir termik santral modellenmiştir. Modellenen pülverize yakma sistemli tesis ara buhar almalı, tekrar ısıtılmalı, ekonomizerli, yüksek basınç türbini, orta basınç türbini ve alçak basınç türbinine sahip, üç adet alçak basınç ısıtıcısı ile iki adet yüksek basınç ısıtıcısı olan generatör çıkış gücü 144 MWe olan bir elektrik üretim tesisidir. Modellenen tesisin akış şeması Şekil 5.2' de verilmiştir. Bu modellemede buhar 135 bar ve 540 °C yüksek basınç türbinine girmektedir. Bu sistemde; net ısı oranı 11007 kJ/kWh, net elektrik verimi ise % 32,71, iç ihtiyaç tüketimi: 15282 kW ve yakıt girdisi: 39411 kW olarak bulunmuştur. SO₂, SO₃, CO₂ emisyon ve toz değerleri Çizelge 7.2' de verilmiştir. Modelleme sonucunda çıkan sonuçlar değerlendirilmiş, bu çalışmanın beşinci bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Daha sonra, DKL kullanarak dolaşımli akışkan yataklı yakma sistemine dayalı bir termik santral modellenmiştir. Modellenen dolaşımli akışkan yataklı yakma sistemli tesis, ara buhar

almalı, tekrar ıstmalı, ekonomizerli, yüksek basınç türbini, orta basınç türbini ve alçak basınç türbinine sahip, üç adet alçak basınç ısıtıcısı ile iki adet yüksek basınç ısıtıcısı olan generatör çıkış gücü 188 MWe olan bir elektrik üretim tesisidir. Modellenen tesisin akış şeması Şekil 5.1' de verilmiştir. Bu modellemede buhar 140 bar ve 537 °C yüksek basınç türbinine girmektedir. Bu sistemde ise; net ısı oranı 9493 kJ/kWh, net elektrik verimi ise % 37,92, iç ihtiyaç tüketimi: 12220 kW ve yakıt girdisi: 464512 kW olarak bulunmuştur. SO₂, SO₃, CO₂ emisyon ve toz değerleri Çizelge 7.2' de verilmiştir. Modelleme sonucunda çıkan sonuçlar değerlendirilmiş, bu çalışmanın beşinci bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir. Yapılan bu iki farklı modelleme sonucunda çıkan değerler karşılaştırılmış pülverize yakma sistemine göre dolaşımli akışkan yataklı elektrik üretim tesisinin net elektrik veriminin yüksek, net ısı oranının düşük ve MWh başına düşen emisyon ve toz oranlarının ise düşük olduğu görülmüştür. Bu değerlerin karşılaştırılması Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3' de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 7.2. Modellenen tesislerin emisyon değerleri.

Birleşenler	Dolaşımli Akışkan Yataklı Yakma Sistemi	Pülverize Yakma Sistemi
Santral Toplam Emisyon Değerleri	kg/MWh(brüt)	kg/MWh(brüt)
SO ₂	0,732	8,115
SO ₃	0,2108	0,2315
CO ₂	923,7	1022,8
Toz	0,1188	0,3229

Çizelge 7.3. Modellenen tesislerin genel karakterestik değerleri.

Sistem Özeti	Birim	Pülverize Kazan		Akışkan Yataklı Kazan	
		AID	ÜID	AID	ÜID
Net yakıt girdisi	kW	394119	465061	464512	548125
Brüt ısı oranı	kJ/kWh	9841	-	8877	-
Net ısı oranı	kJ/kWh	11007	12989	9493	11202
Brüt elektrik verimi efficiency	%	36,58	-	40,55	-
Net elektrik verimi	%	32,71	27,72	37,92	32,14
Brüt güç	kW	144180	-	188377	-
Net güç	kW	128898		176158	
İç ihtiyaç tüketimi	kW	15282		12220	

Tasarımı yapılarak modellenen akışkan yataklı güç santralline ait karakteristik değerler incelendiğinde net elektrik verimi klasik güç santrallerine oranla daha yüksek iken, net ısı oranı ve emisyon oranları ise klasik güç santrallerine oranla daha düşüktür. Akışkan yataklı güç santraline ait değerler incelendikten sonra, bu tasarım için optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Modellenen akışkan yataklı güç santralinde, yakıt nem oranı, buhar basıncı, buhar sıcaklığı, kondense vakum basıncı ve yakıt besleme sıcaklığı farklı oranlarda değiştirilerek sistemde meydana gelen değişiklikler gözlenmiştir.

Modellenen akışkan yataklı güç santralinin;

- Yakıtın nem oranı % 37,78' dir. Öncelikle, nem oranının % 30 ile % 37,78 arasındaki beş farklı değeri için duyarlılık analizi yapılmış olup, belirtilen aralıklarda nem oranı düştükçe, net ısı oranının düştüğü ve net elektrik verimi yükseldiği gözlenmektedir. Kömür nem oranı % 30 olduğunda; net ısı oranının 9470 kJ/kWh, net elektrik verimi ise % 38,02 olduğu,
- Kondenser vakum basıncı 0,0689 bardır. Kondenser vakum basıncının 0,0589 bar ile 0,0789 bar arasında beş farklı değeri için duyarlılık analizi yapılmış olup, kondenser vakumu, belirtilen değerler aralığında artıkça net ısı oranının düştüğü ve net elektrik veriminin ise yükseldiği gözlenmektedir. Kondenser vakum basıncı 0,0589 bar olduğunda; net ısı oranının 9403 kJ/kWh, net elektrik verimi ise % 38,28 olduğu,
- Buhar basıncı 142 bardır. Buhar basıncının 120 bar ile 180 bar arasında beş farklı değeri için duyarlılık analizi yapılmış olup, güç santralinin buhar basıncı, belirtilen değerler aralığında artıkça net ısı oranının düştüğü ve net elektrik veriminin ise yükseldiği gözlenmektedir. Buhar basıncı 180 bar olduğunda; net ısı oranının 9344 kJ/kWh, net elektrik verimi ise %38,53 olduğu,
- “HX2” buhar sıcaklığı 470 °C' dir. HX2 buhar sıcaklığının 470 °C' ile 510 °C arasında beş farklı değeri için duyarlılık analizi yapılmış olup, güç santralinin buhar sıcaklığı, belirtilen değerler aralığında artıkça net ısı oranının düştüğü ve net elektrik veriminin ise yükseldiği görülmektedir. HX2 buhar sıcaklığı 510 °C olduğunda; net ısı oranının 9486 kJ/kWh, net elektrik verimi ise %37,95 olduğu,

- Yakıt besleme sıcaklığı 20 °C' dır. Yakıt besleme sıcaklığının 10 °C' ile 40 °C arasında beş farklı değeri için duyarlılık analizi yapılmış olup, güç santralının yakıt besleme sıcaklığı, belirtilen değerler aralığında artıkça net ısı oranın düştüğü ve net elektrik veriminin ise yükseldiği gözlenmektedir. Yakıt besleme sıcaklığı 40 °C' olduğunda; net ısı oranının 9434 kJ/kWh, net elektrik verimi ise % 38,16 olduğu yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda görülmüştür.

Emisyon değerlerinin düşük ve net sistem veriminin yüksek olduğu akışkan yataklı elektrik üretim santrali için yapılan optimizasyon çalışması sonucunda; yakıt sıcaklığının, buhar basıncının, buhar sıcaklığının yükseltilerek, vakum basıncının ve yakıt nem oranının düşürülerek, net sistem verimi artırılabilirken, net ısı oranında düşürülebilmektedir. Buda enerjini birim maliyetinin düşmesi demektir.

Ulusal enerji politikamızın, AB enerji-çevre mevzuatlarına ve Kyoto protokolüne uyumlaştırma çalışmalarının gereği olarak, düşük kaliteli linyitlerin yanma ve emisyon özelliklerinin kavranması, bu özelliklere uygun yakma ve emisyon kontrol sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu büyük ölçüde önem arz etmektedir. "THERMOFLEX" güç santrali simülasyon programı ile tasarlanan akışkan yataklı termik santralline ait karakteristik değerler incelendiğinde net elektrik verimi klasik güç santrallerine oranla daha yüksek ve baca gazı emisyon değerleride oldukça düşüktür. Bu değerlerle birlikte baca gazı yatırım maliyetleride dikkate alındığında, ülkemiz için işletmede olan pülverize kazanların akışkan yataklı kazana dönüştürülmesi ve yeni geliştirilen projelerde ise akışkan yataklı kazanın tercih edilmesi enerji verimliliği ve yatırım maliyetleri açısından ülkemize katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Arena, U., Gregorio, F., Troia, G., Saponaro, A., (2015), “A techno-economic evaluation of a small-scale fluidized bed gasifier for solid recovered fuel”, ELSEVIER, Fuel Processing Technology, 69-77.

Asean Clean Coal Technology (Cct) Handbook For Power Plant, Ver 2, (2017),
<http://www.jcoal.or.jp/>

Do, T., Lim, Y., Yeo, H., Lee, U., Choi, Y., Song, J. H., (2014), “Techno-economic analysis of power plant via circulating fluidized-bed gasification from woodchips”, ELSEVIER, Energy, 547-560.

Dünya Enerji Görünümü (2018), <https://www.iea.org/>

Dünya ve Türkiye Enerji Görünümü (2017), <https://www.iea.org/>

Erbaş, O., (2007), “Dolaşımli Akışkan Yatakta Isı Transferi Mekanizması ve Bu Mekanizmanın Kuramsal Ve Deneysel Analizi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi

Fan, H., Zhang, Z., Dong, J., Xu, W., (2018) ; “China’s R. ve D. of advanced ultra-supercritical coal-fired power generation for addressing climate change; Institute of Thermal Energy Engineering, School of Mechanical Engineering”, Shanghai Jiao Tong University, 800 Dongchuan RD, Minhang District, Shanghai 200240, China, ELSEVIER, 164-371.

Gauvillé, P., (2013), “Advanced supercritical CFB product launch. Presentation at: *PowerGen Asia 2013*”, Bangkok, Thailand, 21s.

Gürtürk, M., Oztop, H., (2016), “Exergy Analysis Of A Circulating Fluidized Bed Boiler Cogeneration Power Plant” ELSEVIER, Energy Conversion And Management.

Guo, Z., Wang, Q., Fang, M. Luo., Cen, K., (2014), “Thermodynamic and economic analysis of polygeneration system integrating atmospheric pressure coal pyrolysis technology with circulating fluidized bed power plant” ELSEVIER, Applied Energy, 1301-1314.

Hotta, A., (2013), “Circulating fluidised bed combustion technology and its latest achievements. Paper presented at: Fuel characterisation workshop”, Jyväskylä, Finland

<http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>

<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Enerji-ve-Tabii-Kaynaklar-Gorunumleri>

<http://www.jcoal.or.jp/eng/>: Japon Kömür Enerji Merkezi

<http://www.mta.gov.tr/v3.0/>

<http://www.tki.gov.tr/depo/file/faaliyet%20raporu/2017faaliyetraporu.pdf>

<https://www.babcock.com/en/products/fluidized-bed-boiler>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<https://www.dunyaenerji.org.tr/wec-yayinlari/>

<https://www.iea.org/weo2018/>

<https://www.ihl.co.jp/en/>

<https://www.mhps.com>

<https://www.teias.gov.tr/tr/2017-yili-isletme-faaliyetleri-raporu>

<https://www.teias.gov.tr/tr/sector-raporlari>

<https://www.epdk.gov.tr>

Jablonski, P. D., Hawk, J. A., Cowen, C. J., Maziasz, P. J., (2011), ‘‘Processing of advanced alloys for A-USC steam turbine applications. In: Proceedings from the 6th international conference on advances in materials technology for fossil power plants’’, Santa Fe, NM, USA, 31 Aug 2010. Materials Park, n OH, USA, ASM International, s.271-279.

Kuhle, K., (1984), Zement-Kalk-Gips., 34: 219~225, 21.

Kural, O., (1988), Kömür Kimyası ve Teknolojisi, Güney Grafik.

Lee, S., Lee, T., Jeong, S., Lee, J., (2019), ‘‘Economic analysis of a 600mwe ultra supercritical circulating fluidized bed power plant based on coal tax and biomass cocombustion plans’’ ELSEVIER, Renewable Energy, 121-127.

Lockwood T., (2013), ‘‘Techno-economic analysis of PC versus CFB combustion Technology’’, IEA Clean Coal Centre

Man, C., Zhu, J., Ouyang, Z., Liu, J., Lyu, Q., (2018), ‘‘Experimental study on combustion characteristics of pulverized coal preheated in a circulating fluidized bed’’, ELSEVIER, Fuel Processing Technology, 72-78.

Mao, J., Feng, W., (2012), ‘‘Ways to further improve efficiency for ultra-supercritical coal-fired power plants in China. Paper presented at: 1st IEA Clean Coal Centre workshop on advanced USC coal-fired power plants’’, Vienna, Austria

Nalbandian, H., (2009), ‘‘Performation and risk of advanced pulverized coal plants’’, Energeia 20.

Özdemir, K., Hepbasli, A., Eskin, N., (2010), ‘‘Exergo economic analysis of a fluidized-bed coal combustor (FBCC) steam power plant’’, ELSEVIER, Applied Thermal Engineering, 1621-1631.

Poulsen, H. F., Bendixen, K. E., (2006), ‘‘Advantages of ultra supercritical technology in power generation’’ Milan, Italy, STF.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Romeo, L., Díez, L., Guedea, I., Bolea, I., Lupiáñez, C., González, A., Pallarés, J., Teruel, E., (2011), “Design and operation assessment of an oxyfuel fluidized bed combustor”, ELSEVIER, Experimental Thermal and Fluid Science, 477-484.

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, (2009), <http://www.mevzuat.gov.tr/>

Seddighi, S., Clough, P., Anthony, J.A., Hughes, W. R., Lu, P., (2018), “Scale-up challenges and opportunities for carbon capture by oxy-fuel circulating fluidized beds”, ELSEVIER, Applied Energy, 527–542.

Shi, Y., (2004), “The First Supercritical Circulating Fluidized Bed Boiler in the World”, Power Station Reconnaissance and Design, 1: 44-48, 22.

Su, X., Zhang, L., Xiao, Y., Sun, M., Gao, X., Su, J. (2015), “Evaluation of a flue gas cleaning system of a circulating fluidized bed incineration power plant by the analysis of pollutant emissions”, ELSEVIER, Powder Technology, 9–15.

The Babcock & Wilcox Company Forty-second edition, STEAM ITS GENERATION AND USE (2015).

Topal, H., (1999), “Dolaşımli akışkan yatağın hidrodinamik, yanma ve emisyon özelliklerinin deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.

Topal, H., (2018), “Buhar Kazanları Ders Notları. Gazi Üniversitesi”

Topal, H. Altınsoy, Y., Erbaş, O., (2018), “Design and Application of Automatic Control System in a Laboratory Scale Fluidized Bed Coal Combustion System”, Gazi University, Journal of Science.

Topal, H., Taner, T., Naqvi, S. A. H., Altınsoy, Y., Amirabedin, E., Ozkaymak, M., (2017), “Exergy analysis of a circulating fluidized bed power plant co-firing with olive pits: A case study of power plant in Turkey”, ELSEVIER, Energy, 40-46.

Türkiye’ de Termik Santraller (2017), MMO

Utt, J.ve Giglio, R., (2011) “Technology comparison of CFB versus pulverized-fuel firing for utility power generation”, Foster Wheeler Global Power Group, Clinton, NJ, USA., Industrial Fluidization South Africa: 91–99.

Viswanathan, R., Bakker, W. T., (2000), “Materials for ultra supercritical boilers, EPRI report TR-114750. Palo Alto”, CA, USA, Electric Power Research Institute, 66ss

Wu, W., Wen F., Chen, J., Kuo, P., Shi, B., (2019), “Comparisons of a class of IGCC polygeneration/power plants using calcium/chemical looping combinations ” ELSEVIER, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 193-2014.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Shi, Y., Zhong, W., Shao, Y., Liu, X., (2019), ‘‘Energy efficiency analysis of pressurized oxy-coal combustion system utilizing circulating fluidized bed’’, ELSEVIER, Applied Thermal Engineering, 1104-1115.

Yu, L., Lu, J., Wang, Z., (2004), ‘‘The Future Investigation of Circulating Fluidized Bed Combustion Technology’’, Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 19(4): 336-341, 23.

Zebian, H., Mitsos, A., (2013), ‘‘Pressurized oxy-coal combustion: Ideally flexible to uncertainties’’, ELSEVIER, Energy, 513-526.