



DÜŞÜK KALİTELİ LİNYİT YAKITLI
ENTEGRE GAZLAŞTIRMA KOMBİNE
ÇEVİRİM SANTRALİ TASARIM VE OPTİMİZASYONU

Mehmet ÇANAK

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran – 2016

DÜŞÜK KALİTELİ LİNYİT YAKITLI ENTEGRE GAZLAŞTIRMA KOMBİNE ÇEVİRİM
SANTRALİ TASARIM VE OPTİMİZASYONU

Mehmet ÇANAK

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

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ

Haziran 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Mehmet ÇANAK'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı DÜŞÜK KALİTELİ LİNYİT YAKITLI ENTEGRE GAZLAŞTIRMA KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİ TASARIM VE OPTİMİZASYONU başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

03/06/2016

Üye : Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Üye : Doç. Dr. Mehmet Fevzi KÖSEOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2016 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Danışman Adı Soyadı

Öğrenci Adı Soyadı

Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ

Mehmet ÇANAK

İmzası

İmza

DÜŞÜK KALİTELİ LİNYİT YAKITLI ENTEGRE GAZLAŞTIRMA KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİ TASARIM VE OPTİMİZASYONU

Mehmet ÇANAK

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2016

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ

ÖZET

Ülkemizin birincil enerji üretim arzının karşılanma oranları ile ilgili verileri incelendiğinde % 70'leri aşan oranlarda dışa bağımlılığımız mevcuttur. Bu oran enerjiye olan talebin yükselmesine paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Ülkemiz linyitleri düşük kalorifik değeri nedeni ile elektrik üretiminde tercih edilmektedir ve bu tesislerde daha çok klasik yakma teknolojileri kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada; ülkemiz linyitlerinin büyük kısmı için referans olacak Seyitömer havzasının düşük kaliteli linyitlerinin yakıt olarak kullanıldığı "Entegre Kombine Çevrim Santrali (IGCC)", EBSILON programı kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan bu modelde farklı yakıt tipleri için net üretim değeri 150 MWe değerine sabit tutulmuş ve üç kez yapılan optimisasyon neticesinde en iyi sonuç elde edilmiştir. Sonuç olarak; ilgili modelde brüt elektrik üretimi ortalama 190 MWe, iç tüketim ise ortalama 39 MWe olarak gerçekleşmiştir. Ortalamada % 42 termik verim ve 2100 kcal/kWh'lik ısıl oran değerlerine ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre; çevre ve enerji verimliliği açısından ülkemiz linyitlerinin entegre kombine gazlaştırma çevrim santrallerinde değerlendirilmesi mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Düşük Kaliteli Linyitler, Elektrik Üretimi, Gazlaştırma.

LOW QUALITY LIGNITE FUEL INTEGRATED GASIFICATION COMBINED CYCLE PLANT DESIGN AND OPTIMIZATION

Mehmet ÇANAK

Machine Engineering, Master's Thesis, 2016

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Oğuzhan ERBAŞ

SUMMARY

When the data related to demand and supply of primary energy production are investigated, it is observed that our country is dependent to the foreign supply with an amount exceeding 70%. This necessity in parallel to the increase in the demand for energy is increasing every day dramatically. Lignites in our country are favored mostly in power generation where combustion technologies are widely used because of their low calorific value. In this study, low-rank lignite basin of Seyitömer, a good reference to the majority of the reserves in Turkey, is used as a fuel of Combined Cycle Power Plant (IGCC) where this was designed used EBSILO program. Having completed the design and optimization using our model, it was demonstrated that gross power production in average 190 MWe was obtained for different fuel types while net production value was kept constant to a value of 150 MWe, where power consumption was in average around 39 MW with 42% thermal efficiency and the heat rate value reached to 2100 kcal / kWh. These findings leads us to the fact that "Integrated Combined Gasification Power Plant Cycle " can be established using the lignites in Turkey.

Keywords: Low Rank Lignits, Power Generation, Gasification

TEŐEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın hazırlanması ve yürütülmesinde değerli bilgileri ve önerileri ile beni yönlendirerek destek olan, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan Erbaş'a, her daim en büyük destekçim olan aileme ve birlikte geçirebileceğimiz en değerli zamanlarını çaldıklarım çocuklarım BURAK ve BELİNAY'ıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Konu seçiminde ve model oluşturmada kullandığımız EBSILON programı temininde yardımlarını esirgemeyen Aziz KÖMÜRCÜ ve Ozan ALPKİR'a ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
3. KÖMÜR TANIMI VE TİPLERİ.....	10
4. KÖMÜRÜN GAZLAŞTIRILMASI	13
4.1. Kömürün Gazlaştırılmasının Tarihi Gelişimi	13
4.2. Kömür Gazlaştırmanın Türkiye İçin Önemi	14
4.3. Gazlaştırma	16
4.3.1. Gazlaştırma sürecinde meydana gelen reaksiyonlar	17
4.3.1.1. Kurutma	17
4.3.1.2. Piroliz (Devolatilization)	18
4.3.1.3. Yanma	19
4.3.1.4. Gazlaştırma	19
4.3.2. Gazlaştırma teknolojisi ve sınıflandırması.....	20
4.3.2.1. Sabit yataklı gazlaştırma üniteleri	22
4.3.2.2. Akışkan yataklı gazlaştırma üniteleri.....	23
4.3.2.3. Sürüklemeli (entrained bed) gazlaştırma üniteleri.....	24
4.4. Düşük Kaliteli Linyitlerin Gazlaştırılması	25
4.5. Gazlaştırma İle Üretilen Gazın Karakteristikleri ve Kullanım Alanları	26
5. ENTEGRE GAZLAŞTIRMA KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLERİ (IGCC).....	28
5.1. Tampa Elektrik 250 MW IGCC Elektrik Üretim Tesisi	29
5.2. Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Santralleri (IGCC) Temel Tesis Yapısı.....	30
5.2.1. Kömür hazırlama.....	30
5.2.2. Hava separe ünitesi (ASU).....	32
5.2.3. Gazlaştırma ünitesi.....	33
5.2.4. Gaz temizleme ünitesi	34
5.2.5. Gaz türbinleri	36

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

6. ENTEGRE GAZLAŞTIRMA KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİ TASARI VE OPTİMİZASYONU	38
6.1. Ülkemiz Linyit Kullanımı ve Kullanımdaki Sorunlar.....	38
6.2. EBSILON Programı Tanıtımı.....	41
6.3. Gazlaştırma Ünitesinde Kullanılacak Yakıt Özellikleri	42
6.4. Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Santrali'nin Modellenmesi.....	47
6.4.1. Model oluşturulması	48
6.4.2. Model akış diyagramı.....	54
6.4.3. Model çıktıları.....	56
7. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	65
EKLER	
Ek 1. Seyitömer Tip-1 Program Çıktıları	
Ek 2. Seyitömer Tip-2 Program Çıktıları	
Ek 3. Seyitömer Tip-3 Program Çıktıları	
Ek 4. Türkiye Geneli Tip-1. Program Çıktıları	
Ek 5. Türkiye Geneli Tip-2. Program Çıktıları	
Ek 6. Garanti Yakıt İçin Ekipman Giriş ve Çıkış Verileri	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. 1990-2012 Türkiye'nin birincil enerji üretiminin arzını karşılama oranları.	2
1.2. Türkiye'nin enerji görünümü.	3
2.1. Üç zonlu gazlaştırma ünitesi.	8
4.1. 2012 Dünya linyit rezervinde ülke payı.	15
4.2. 2012 Dünya taş kömürü rezervinde ülke payları.	15
4.3. Gazlaştırma proses çıktıları.	17
4.4. Gazlaştırıcı tipleri.	21
4.5. Ticari boyutlu gazlaştırıcıların kurulu gücüne göre sınıflandırılması.	22
4.6. Biritish Gas Lurgi sabit yataklı gazlaştırıcı.	23
4.7. Akışkan yataklı gazlaştırma ünitesi.	24
4.8. ConocoPhillips E-Gas gazlaştırıcısı.	25
5.1. Gazlaştırma prosesi şematik gösterimi.	28
5.2. Tampa Elektrik 250 MW entegre gazlaştırma kombine çevrim santrali akış diyagramı.	30
5.3. RWE firmasının kurutma tesisi proses şeması 1.	32
5.4. RWE firması kurutma tesisi genel akış şeması 2.	32
5.5. Hava sepere ünitesi örneği.	33
5.6. Gaz türbini ve çevrim şeması.	37
6.1. Türkiye linyitleri kalorifik dağılımı.	43
6.2. 2012 yılı Seyitömer Termik Santralinde yakılan kömür alt ısı değeri.	44
6.3. 2012 yılı Seyitömer Termik Santralinde yakılan kömür kül içeriği değeri.	44
6.4. 2012 yılı Seyitömer Termik Santralinde yakılan kömür nem içeriği değeri.	45
6.5. Entegre gazlaştırma kombine çevrim santrali model-1.	49
6.6. Entegre gazlaştırma kombine çevrim santrali model-2.	50
6.7. Entegre gazlaştırma kombine çevrim santrali model 3.	52
6.8. Akışkan yataklı gazlaştırıcıda üretilen gaz kompozisyonu.	52
6.9. Yıkama sonrası gaz kompozisyonu mol yüzdeleri.	53
6.10. Linyit yakıtlı güç santrallerinin karşılaştırması.	54
7.1. Farklı kömür tipleri için model çıktısı grafiği.	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. 2013 yılı itibari ile Türkiye'nin yerli kaynak potansiyeli.....	1
3.1. Uluslararası genel kömür sınıflandırması.	11
3.2. Çeşitli kömürleşme dereceleri.	12
4.1. Yıllara göre dünyada mevcut gazlaştırıcı sayıları artış miktarı.....	14
6.1. Seyitömer Termik Santrali dizayn değerleri.....	39
6.2. Seyitömer kömürü için hazırlanan sınıflandırma.....	46
6.4. Seyitömer tip-1 kömür çıktıları.....	57
6.5. Seyitömer Tip-2 kömür çıktıları.....	58
6.6. Seyitömer Tip-3 kömür çıktıları.....	59
6.7. Türkiye Tip- 1 kömür çıktıları.	60
6.8. Türkiye Tip- 2 kömür çıktıları.	61
6.9. Farklı yakıt tiplerindeki model çıktısı üretim değerleri.	62

KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
IGCC	Entegre Kombine Gazlaştırma Çevrim (Integrated Gasification Combined Cycle)
ASU	Hava Sepere Ünitesi (Air Seperation Unit)
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
UEA	Uluslar Arası Enerji Ajansı
HRSG	Isı Geri Kazanım Jeneratörü
Hu	Alt Isıl Değer
MWe	Megawatt Elektrik
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu

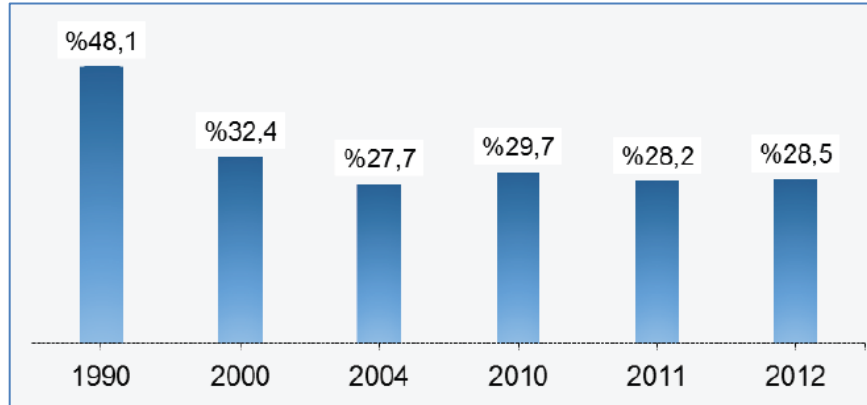
1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında, enerji ülkelerin gelişmişliğini gösteren en büyük göstergelerden bir tanesidir. Bu yüzden ülkelerin tam bağımsız ve gelişmiş bir ülke olduğunu söyleyebilmesi için enerjide kendi kendine yetebilen ülke olması gerekir. Kendi kendine yetebilmenin olmazsa olmaz şartı ise o ülkenin enerji ihtiyacının kendi öz kaynaklarından karşılanabilmesidir. Ülkeler mevcut politikalarını belirlerken ve gelecek ile ilgili planlamalarını yaparken bu planlamalarını enerjiden bağımsız olarak planlayamazlar.

Uluslararası Enerji Ajansı (UEA)'nın farklı senaryolar için yapmış olduğu değerlendirmeye göre 13,3 milyar ton eşdeğer petrol (TEP) olan dünya birincil enerji talebinin 2040 yılında; Mevcut enerji politikaları ile devam senaryosuna göre %50 oranında artacağı ve 20 milyar TEP olacağı, yeni politikalar senaryosuna göre ise %37 oranında artış ile 18,3 milyar TEP olacağı, 450 ppm senaryosuna göre %17 oranında bir artışla 15,6 milyar TEP'e olacağı tahmin edilmektedir. Söz konusu senaryoların tamamına göre 2040 yılına kadar olan dönemde kömür ve petrolün paylarının nispeten azalmasına rağmen fosil yakıtlar hâkim kaynaklar olmaya devam edecektir (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2015).

Çizelge 1.1. 2013 yılı itibari ile Türkiye'nin yerli kaynak potansiyeli (EÜAŞ, 2014).

Kaynak	Potansiyel	
Linyit	14,8	milyar ton
Taşkömürü	1,3	milyar ton
Asfaltit	82	milyar ton
Ham Petrol	7.123	milyar varil
Bitümler	1,6	milyar Ton
Hidrolik	59,2	milyar kWh/yıl
Doğalgaz	24,4	milyar m ³
Rüzgar	48.000	MW
Jeotermal	4,99	btep(2000 MW'ı elektrik üretimine elverişli)
Biyokütle	2.030,70	Mtep
Güneş Enerjisi	1.527	kWh/m ²
Doğal Uranyum	9.129	ton
*Değerler görünür, muhtemel ve mümkün rezervlerin toplamını vermektedir.		

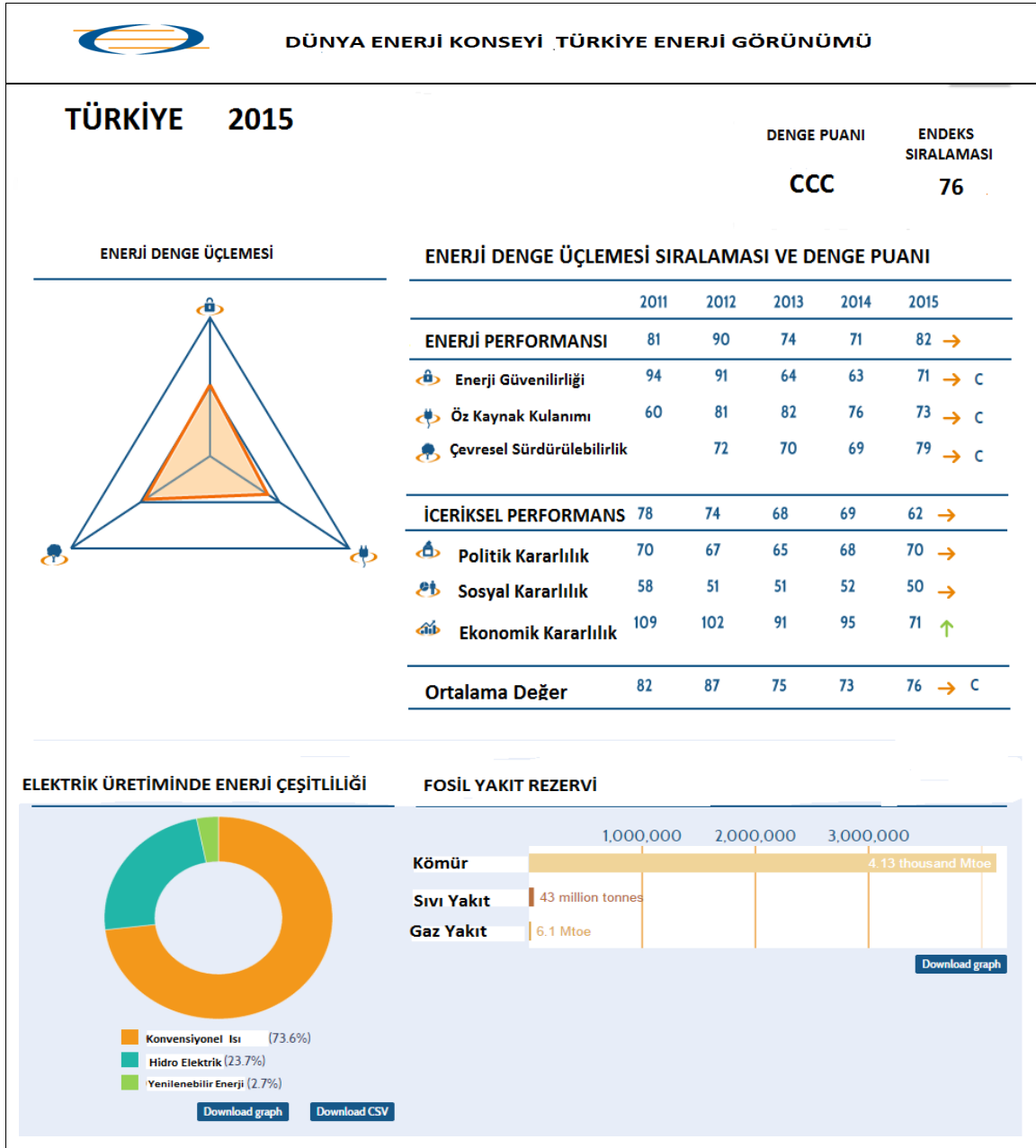


Şekil 1.1. 1990-2012 Türkiye'nin birincil enerji üretiminin arzını karşılama oranları.

Çizelge 1.1'de Türkiye'nin yerli kaynak potansiyeli ve Şekil 1.1'de Türkiye'nin birincil enerji üretiminin arzını karşılama oranları verilmiştir. Çizelge 1.1 ve Şekil 1.1 incelendiğinde ülkemiz enerjide, % 70'leri aşan bir oranda dışa bağımlıdır. Bu oran enerjiye olan talebimizin artması neticesinde her geçen gün artmaktadır (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2014). Bu durum enerji kaynakları bakımından fakir olan ülkemizin kendi öz kaynaklarını en verimli ve ekonomik olarak kullanmasını zorunlu kılmaktadır.

Dünya enerji konseyi tarafından, enerji sürdürülebilirlik endeksi hazırlanmış olup Şekil 1.2 de Türkiye'nin görünümü verilmiştir. Bu endeks ile üç farklı açıdan ülkelerin enerji politikaları karşılaştırılmıştır. Birinci harf notu enerji güvenilirliğini ifade etmekte olup ülkenin iç ve dış enerji kaynaklarını etkin bir şekilde kullanması ve ileride ülkenin enerji şirketlerinin, enerji talebini karşılayabilip, bilemeyeceği değerlendirilmiştir. Türkiye enerji güvenilirliği sıralamasında 71. sırada yer almıştır ve harf notu C'dir. İkinci harf notunda ise ülkelerin enerjide öz kaynak kullanımını ifade etmektedir. Burada ülkenin genelinin enerjiye erişilebilirliği ve enerji fiyatları karşılaştırılmış olup, Türkiye 73. sıradadır ve harf notu C'dir. Üçüncü olarak yapılan kıyaslama ise çevresel sürdürülebilirliği ifade etmektedir. Bu sıralama ölçütünde de enerji arz ve talebin karşılanmasında enerji verimliliğine dikkat edilip etmediği ile yenilenebilir enerji ve düşük karbonlu kaynakların kullanılıp kullanılmadığı ölçülmüş olup, Türkiye 79. sırada yer almakta ve harf notu C'dir. Hazırlanan bu üçlü endeks verilerinin tümü üzerinden Türkiye'nin notu CCC olup 130 ülke arasından 76. sırada yer almaktadır (<http://www.worldenergy.org>). Fosil enerji kaynakları bakımından net ithalatçı ülke konumunda olan Türkiye'de 2012 yılında enerji arzının petrolde % 92, doğalgazda % 99, taş kömüründe % 95 olmak üzere toplamda % 73,4'lük bölümü ithalat ile karşılanmıştır (EÜAŞ, 2014). Petrol rezervlerinin 40-50 yıl içinde, doğalgaz rezervlerinin ise 60-80 yıl içerisinde bitecek olması,

kömür ve kömür türevlerinin 250 yıla yakın bir süreye yetecek rezerve sahip olası enerji üretiminde hiç şüphesiz önemli bir noktaya koymaktadır. Türkiye'nin mevcut verilere göre durumu incelendiğinde dışa bağımlılığın azaltılması için yapılacak ARGE çalışmalarında linyit rezervlerinin enerji sektöründe yetkin ve etkin bir şekilde kullanılması büyük önem arz etmektedir.



Şekil 1.2. Türkiye'nin enerji görünümü (<http://www.worldenergy.org>).

Kömür ve kömür türevi rezervlerin gaz ve sıvı olarak değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar dünyada 1950 yılların başlarında başlamış olup günümüzde kömürün gazlaştırılması çalışmaları hız kazanmış durumdadır. Bu kapsamda yapılan çalışmaların önemli bir bölümünü entegre gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) santralleri oluşturmaktadır. Entegre gazlaştırma kombine çevrim santrallerinde üretilen gaz kimya sanayisinde, gübre üretiminde, elektrik üretiminde ve şehir gazı olarak kullanılabilir. Proses aşamasında oluşan katı atıkların sanayide değerlendirilmesi mümkün olup işletme için ikincil bir ürün niteliğindedir. Kömürün ve kömür türevlerinin gazlaştırılarak elektrik üretiminde kullanılması enerji dönüşümündeki ısı verimliliği direk yakma sistemleri ile (kritik altı yakma sistemlerine göre) elektrik üretimine oranla arttırmaktadır. Ancak yüksek kül ve nem oranına sahip kömürlerin gazlaştırılması ile ilgili problemler günümüz teknolojisi ile hala tam olarak aşılmış durumda olmayıp gelişmeler umut verici düzeydedir. Bu tez çalışması ile bulunan düşük kaliteli linyit rezervlerinin gazlaştırılması ile sentetik gaz üretilmesi ve üretilen gazın elektrik üretiminde kullanılabilirliği ve optimizasyonu üzerine olacaktır. Sonuçlar olumlu çıkmış ve bunun sonucu olarak modellemiş olduğumuz sistem tasarımı kullanılarak tesis kurulması halinde, kendi öz kaynaklarımız kullanılarak çevre daha az zarar veren, verimlilik değerleri daha yüksek bir üretim gerçekleşecek ve ülkemizin dışa bağımlılığı azalacaktır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Durgut, (2010), yapmış olduğu deneysel çalışmada Laboratuvar ölçekli dolaşimli akışkan yataklı bir gazlaştırıcıda, beş çeşit linyit kömürü için yapılan gazlaştırma işleminden elde edilen gaz ürünler incelemiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Seçilen kömür numuneleri termogravimetrik (TGA) analiz cihazında, azot atmosferi altında ve dört basamaklı bir sıcaklık programı uygulanarak gazlaştırmıştır. Elde edilen STA eğrilerinden maksimum ağırlık kaybının elde edildiği sıcaklıklar tespit etmiş, kurulu bulunan akışkan yataklı bir gazlaştırma düzeneğinde ise sıcaklıklar maksimum deney sıcaklığı olarak kullanmıştır.

Bu çalışmada ilk önce kullanılan kömürlerin analizlerini yapmıştır. İlk bölümde kömürlerin gazlaşma şartları ve farklı sıcaklık şartları altında davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. İkinci bölümde ise, dolaşimli akışkan yatakta biokütlelerin gazlaştırma işlemi üzerinde çalışmıştır.

Deneyleerde, gazlaştırma prosesinde dolaşimli akışkan yatakta azot gazı ortamında 250–750°C sıcaklıklarda gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmeye çalışılmış ve elde edilen gaz ürün bileşenleri incelemiştir. Deneyleer sırasında gerekli başlangıç enerjisini doğalgaz ile sağlamıştır. Değişik sıcaklık artışlarında (1,5°C/dk-10°C/dk aralığında) denenen gazlaştırma işlemi sonucunda sıcaklık artışına bağlı olarak gaz ürünlerin farklılık gösterdiği tespitini yapmıştır.

Koç, (2006), yapmış olduğu çalışmada Karaman/Ermenek linyitine uygulanan mineral giderme işleminin, bu linyitten farklı sıcaklıklarda elde edilen kokların CO₂ ile gazlaştırılmasında etkisi incelemiştir. Mineral giderme işleminde, % 10'luk ve % 20'lik HCl, HNO₃ ve H₂SO₄ kullanmıştır. Demineralize edilmiş linyit numuneleri, 500 °C – 800 °C arasındaki sıcaklıklarda koklaştırma işlemine tabi tutmuş ve elde edilen kokların, 900 °C – 975°C aralığındaki sıcaklıklarda CO₂ ile gazlaştırma reaksiyonundaki tepkime yetenekleri belirlemiştir. Mineralleri giderilmiş numunelerin CO₂ ile gazlaştırılmaları sırasındaki tepkime yeteneklerinin, asitlerle işlem görmemiş numunelerinkine göre daha düşük olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, asitlerle yıkanmış numunelerin maruz bırakıldığı koklaştırma işleminin sıcaklığı arttıkça, kokların tepkime yeteneğinde de arttığını gözlemlemiştir.

Wang vd., (2014), yapmış oldukları deneysel çalışmada çalışma da reaksiyon sıcaklığı ve kısmi buhar basıncının kömürün gazlaştırılması ve reaksiyon kinetiği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışma ile gazlaştırma reaksiyonlarının gerçekleştiği 750 °C -1100 °C sıcaklık aralığını 750 °C -950 °C ve 950 °C -1100 °C olarak iki bölgeye ayrılması gerektiği belirlenmiştir. Reaksiyonların tanımlayan en iyi model küçülen çekirdek modeli olarak

belirlenmiş ve bu iki bölgedeki gazlaştırma reaksiyonlarındaki aktivasyon enerjisi sırası ile 166,94 kJ/mol ve 79,4 kJ/mol olarak gerçekleşmekte olduğu tespit edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda aktivasyon enerjisinin kinetiği literatürdeki ile benzerlik göstermiştir.

Zeng vd., (2013), yapmış oldukları deneysel çalışmada daha önceki çalışmalarında aşağı akışlı sabit yatak ve akışkan yataklı olarak iki bölmeli olarak inşa ettikleri 50 t/h kapasiteli gazlaştırıcıda düşük kaliteli linyitlerden temiz yakıt üretilip üretilmeyeceğini araştırmışlardır. Yapılan çalışma, akışkan yataklı gazlaştırıcı da ve sabit yataklı gazlaştırıcıda reaksiyon sıcaklıkları sırası ile 860 °C ve 1100 °C sabit tutulduğu zaman üretilen gazın katran içeriğinin 84 mg/Nm³ düştüğü ve ısı değerinin 4186 MJ/Nm³ civarında olacağını göstermiştir. Akışkan yataklı gazlaştırıcıda ve aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcıda üretilen katran karşılaştırıldığında, aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcının katran içeriği hafif yağ bileşenleri olarak daha yüksek, ağır yağ bileşenleri yönünden daha düşük içeriğe sahip olduğu görülmüştür.

Ateşok vd., (2006), yapmış oldukları araştırmada; kirletici emisyonların azaltılması için geliştirilen teknolojiler ile başta gazlaştırma ve akışkan yatakta yakma teknolojileri olmak üzere verimli kömür yakma teknolojileri anlatılmıştır. Yapmış oldukları araştırmanın sonucu olarak; Kömürün gazlaştırılması ve gaz türbin teknolojilerindeki çok büyük gelişmeler, atık ısıyı verimli olarak yeniden elde eden ve kullanan yüksek dereceli sistem entegrasyonundan dolayı günümüzün IGCC'lerini yeterli bir konumda olduğu, bir IGCC güç santralinde gaz temizleme işlemi kömür kullanarak elektrik üreten termik santrallere göre daha ucuz olduğu, daha az hacimli gaz temizleneceği için daha küçük aygıtlara ihtiyaç duyulacağını tespit etmişlerdir.

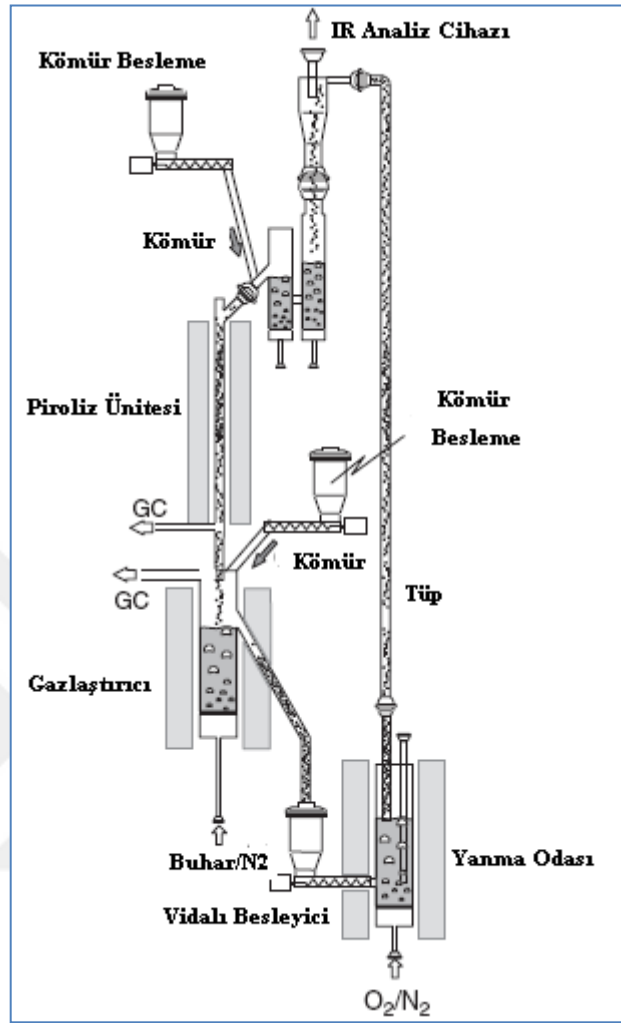
Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesinin Temiz Kömür Teknolojileri Mart 2010 tarihli yayınlamış olduğu raporda Giderek artan enerji talebinin karşılanmasında kömürün öneminin sürdüğü tespitini yapmıştır. Bu nedenle çevre sorunlarının azaltılması, verimin iyileştirilmesi, ürün çeşitliliğinin sağlanması gibi yararlarının yanı sıra, özellikle günümüzde önem kazanan karbon tutma ve depolama teknolojisinin entegrasyonu gibi unsurlarla birlikte ele alındığında kömür gazlaştırma gelecek açısından umut bağlanan teknolojik bir seçenek olarak öne çıkmakta olduğu vurgulanmıştır (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2010).

Tola ve Pettinau, (2013), yapmış oldukları çalışmada karbon yakalama ve depolama tesisine sahip elektrik üretim yöntemlerinin (gazlaştırma ve yakma teknolojileri ile) teknolojik olarak karşılaştırması üzerine yapmışlardır. Bunun için elektrik üretim sitemlerini üç başlık altında toplamışlardır. İlki geleneksel baca gazı arıtma sistemine sahip ultra süper kritik kazan, ikincisi sülfür ve nitrojen oksitlerden arındırmak için SNOx tutuculu ultra süper kritik kazan ve üçüncü olarak ise bulamaç şeklinde yakıtla beslenen sürüklenmeli yataklı entegre

gazlaştırma kombine çevrim santrali olmuştur. Her bir teknoloji 1000 MWth'lik ticari ölçekte karbondioksit tutma teknolojisini ile donatılmış olarak veya karbondioksit tesisi olmadan analiz edilmiştir. Düzgün tasarlanmış model üzerindeki teknoloji-ekonomik analizlerini GATE CYCLE ve ASPEN PLUS gibi simülasyon modelleme araçlarını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları simülasyon modelinde geleneksel yöntemlerle donatılmış (Gaz temizleme işleminde) ultra süper kritik kazanların verimliliği ortalaması % 43,7 civarında gerçekleşirken entegre kombine çevrim santrallerinin verimliliği %43' lar civarında olduğu tespit edilmiştir. Karbon tutuma ve depolama sistemleri ile birlikte düşünüldüğünde ultra süper kritik kazanlardaki tüketim miktarının daha fazla gerçekleştiği görülmektedir. Karbon yakalama ve tutma sistemleri ile birlikte ele alındığında entegre gazlaştırma kombine çevrim santrallerinin verimlilik değerlerinin daha yüksek olduğu tespiti yapılmıştır.

Gaz temizleme prosesinde günümüz teknolojilerinin kullanıldığı ultra süper kritik kazanların kullanıldığı güç santrallerini işletmek entegre gazlaştırma kombine çevrim santrallerini işletmekten daha pahalıdır. Hangi teknoloji ile üretim yapılırsa yapılsın Karbon tutuma ve depolama işletmelere ek maliyetler getirmektedir ve mevcut piyasa koşullarında özendirici teşvikler olmadan kullanılması pek ekonomik görülmediğini çalışmalarında belirtmişlerdir

Matsuoka vd., (2013), yapmış oldukları çalışmada üç zonlu bir akışkan yataklı gazlaştırma ünitesi geliştirmişlerdir. Bu gazlaştırma ünitesi Şekil 2.1 'de gösterildiği gibi piroliz zonu, kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırma zonu ve akışkan yataklı yanma zonundan oluşturulmuştur. Bu sistemde gazlaştırma reaksiyonlarını tamamen tamamlamamış kok yanma odasına verilir, yanma odasında yakılır ve tamamen yanmayan kısmı ise piroliz ünitesine tekrar gönderilir. Bu şekilde yanma ve gazlaştırma reaksiyonlarından maksimum verim alınması amaçlanmıştır. Gazlaştırma ve yanma reaksiyonlarının kısmen yanmamış karbonun geri dönüşümü piroliz ünitesinin yoğunluğunu arttırdığı belirlenmiştir. Ancak Piroliz ve kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırma ünitesinden çıkan gazın toplam verimi gazlaştırma ünitesinin direkt beslediği akışkan yataklı gazlaştırıcılara göre % 45 daha fazla gerçekleşmiştir. Tasarlanan sistemde gazlaştırma ve yanma reaksiyonlarının daha verimli gerçekleştiği yapılan çalışma ile tespit edilmiştir.



Şekil 2.1. Üç zonlu gazlaştırma ünitesi.

Álvaro vd., (2015), gazlaştırma ile üretilen sentez gazını geleneksel yanma teknolojilerinden ve gaz türbinlerinde farklı olarak kimyasal looplular olarak tasarlanan bir yanma reaksiyonlarının gerçekleştiği bir model üzerinde analiz etmişlerdir. Tasarlamış oldukları entegre kombine çevrim santralının performansını Thermo Flex programını kullanarak analiz etmişlerdir. Modellemiş oldukları sistemden iki farklı sentez gazı bileşimi kullanılarak sonuçlar üretmişlerdir ve yanma öncesi karbon dioksit tutma sistemleri ile donatılmış geleneksel entegre gazlaştırma kombine çevrim santralleri ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre Karbon yakalamada ünitelerinin performanslarının başa baş olmasına karşın termal verimlilikte bazı durumlarda % 7'lere yakın bir iyileşme olduğunu tespit etmişlerdir.

Cormos, (2013), yapmış oldukları çalışmada kömüre dayalı olarak üretim yapan, karbon yakala sistemi olarak kalsiyum loplular bağlaç kullanan gazlaştırma ve yakma teknolojilerin tekno-

ekonomik analizini yapmışlardır. Çalışmalarında teknik performans değerlendirmesinde; enerji verimliliği, brüt ve net enerji, CO₂ emisyonu ve su tüketim değeri temel almışlardır. Ekonomik analizde ise yatırım maliyeti, bakım maliyetleri, işletme maliyetleri CO₂ yakalama maliyetleri vb. temel alınmışlardır. Yapmış oldukları değerlendirmelerde 545-560 MW net elektrik üreten aynı güç değerinde ve en az % 90 karbon yakalama oranına sahip santraller karşılaştırılmış olup karbon yakalama sistemine sahip olmayan santraller içinde düşünülmüştür. Karbon yakalama sistemi, kritik ve süper kritik kazanlarda elektrik üretiminde % 5-7,5 lik bir üretim düşüklüğüne sebep olurken bu durum gazlaştırma ünitelerinde %10'lar civarında olduğu tespit edilmiştir. Gazlaştırma ünitelerinin ultra süper kritik kazanlara göre yatırım maliyetleri açısından değerlendirildiğinde % 20 daha pahalı, bakım maliyetlerinin %5 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Aynı trendi elektrik üretim maliyetlerinde de görmenin mümkün olduğu belirtilmiş olup genel olarak bakıldığında kömüre dayalı yakma sistemlerinin daha iyi bir tekno- ekonomik performans sunduğu tespiti yapılmıştır.

Zhang vd., (2012), yapmış oldukları çalışma karbon tutma sistemi mevcut olmayan kömür ve suyun bulamaç halinde yakıt olarak kullanıldığı sürüklenmeli akışkan yataklı gazlaştırıcıda kömürün reaktöre verilmeden önce ısıtıcı ilavesinin verimlilik üzerine etkisi üzerine olmuştur. Sistem simülasyonları yapılırken ASPEN PLUS ve THERMO FLEX gibi simülasyon programlarını kullanarak ıslak ve kuru tip beslemeli sistemlerin enerji performans değerlerinin analizleri yapılmıştır. Yapmış oldukları çalışmanın sonuçları göstermiştir ki kömür su bulamacının ön ısıtma yapılarak reaktöre gönderilmesi gazlaştırma prosesinin enerji verimliliğini etkin bir şekilde geliştirmektedir. Bunun sonucu olarak kömür bulamacının ısıtılarak verilmesi oksijen miktarını % 17 azaltırken, soğuk gaz miktarında %7-8'lik bir artışa sebep olabileceğini yapmış oldukları çalışmada belirlemişlerdir. Ayrıca ön ısıtmada güneş enerjisinin kullanılması sistem verimliliklerini %43,39'lara kadar çıkartabileceği belirlenmiştir. Bu çalışma ile yakıtın ön ısıtma ile gazlaştırma ünitesine gönderilmesi özellikler karbon yakalama sisteminin kuru olduğu tesisleri rekabetçi bir hale getireceğinin tespiti yapılmıştır.

Yılmazoğlu, (2009), yapmış olduğu çalışmada iki kademeli sürüklenmeli akışlı bir gazlaştırıcı modelini Thermoflex programı kullanılarak tasarlanmış ve simülasyonunu yapmıştır. Elde ettiği sonuçları mevcut alışılmış bir santralle karşılaştırdığında atmosfere salınacak CO₂'in büyük miktarın alışılmış santrallere nazaran daha verimli olarak tutulabileceğini tespit etmiştir.

3. KÖMÜR TANIMI VE TİPLERİ

Kömür homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla lignoselülozik bitki parçalarından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içerisinde çoğunlukla karbon (C), az miktarda hidrojen (H), oksijen (O), kükürt (S) ve azot (N) elementlerinin bulunduğu, inorganik maddeleri de içeren, bataklıklarda oluşan, kahverengi ve siyah renk tonlarında, yanabilen, katı fosil organik kütlelerdir. Kömürler yakıt hammaddesi oldukları gibi, kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi değişik alanlarda da kullanılırlar (TKİ, 2010).

Bitkisel maddeler ya da bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çökelir ve jeolojik işlemlerle birlikte yer altına gömülürler. Bu organik kütleler, yerin altında, önce gömülmenin oluşturduğu basınç şartları, daha sonra ise ortamın ısı şartlarından etkilenirler. Bu etkilenme sonucu organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Önceleri turba olarak adlandırılan bu organik maddeler zamanla daha koyu bir renge ve daha sert bir yapıya sahip olurlar. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, bu ortamdan, sırasıyla önce (turbadan taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, karbon dioksit (CO₂), oksijen (O₂) ve en ileri aşamalarda hidrojen (H₂) (antrasit aşamasında) uzaklaşır. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine "kömürleşme (coalification)" denilmekte, her bir seviye ise "kömürleşme derecesi" (rank) şeklinde adlandırılmaktadır.

Kömürler, kil, silt, kum ve değişik oranlarda inorganik madde içermektedirler. Kömürlerin içerisinde bulunan bu inorganik maddeler kömürün kalitesini negatif yönde etkilerler. Bir kömürün kalitesi, kullanıldığı alana göre farklı anlamlar taşıyabilir. Örneğin; kok imalinde en kaliteli kömür, şişebilen, gözenekli hale gelebilen ve dayanıklı olabilen, okside olmamış kömürler kullanılır. Yakıt hammaddesi olarak kullanılacak olan kömürde en fazla aranan özellik ise yüksek ısı değere sahip olmasıdır.

Kömürün sınıflandırılmasında da esas alınan kıstas kömürün kimyasal özelliklerinden sabit karbon miktarı, ısı değeri, nem, uçucu madde, hidrojen ve oksijen miktarlarıdır. Kömürün oksitlenmeye ve indirgenmeye olan tepkileri, piroliz esnasındaki davranışları ve organik çözücüler içindeki çözünürlüğü kimyasal açıdan en belirleyici özellikleridir. Fiziksel açıdan kömürün belirleyici özellikleri rutubet, renk, parlaklık sertlik, ufalanabilirlik, yoğunluktur.

Kömür üretimi, kullanımı ve teknolojisinde ileri ülkeler öncelikle kendi kömürlerinin özelliklerine göre bir sınıflama yaptıkları gibi uluslararası genel bir sınıflama için ortak standartlar da geliştirmişlerdir. Değişik tipte kömürlerin kullanım amaçlarına göre uluslararası sınıflandırılmasında; ilk olarak 1957 yılında çeşitli ülkelere üyelerin oluşturduğu Uluslararası

Kömür Kurulu'nca birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada; kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak, kömürler sert (taşkömürü) ve kahverengi (alt-bitümlü ve linyit) kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Uluslararası genel kömür sınıflandırması (TKİ, 2010).

A. Taşkömürü (Hard Coal)	B. Kahverengi Kömür (Brown Coal)
1. Koklaşabilir kömür (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede)	1. Alt bitümlü kömür (4.165-5.700 Kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
2. Koklaşmayan kömür a- Bitümlü kömürler b- Antrasit	2. Linyit (4.165 Kcal/kg'ın altında ısı değerinde olup topaklaşma özelliği göstermez)

A-Sert Kömürler (Taşkömürü-Hard Coal): Nemli ve külsüz bazda 24 MJ/kg (5700 Kcal/kg) üzerinde kalorifik değere haiz olan kömürdür. Uçucu madde içeriği, kalorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılır.

- Koklaşabilir Kömür: Yüksek fırınlarda kullanılabilir kalitede koklaşma özelliğine sahiptir. Metalurjik kömür olarak da adlandırılır.

- Diğer bitümlü kömürler ve antrasit: Koklaşabilir kömür olarak sınıflandırılmayan taşkömürüdür. Buhar kömürü (steam coal) olarak da adlandırılır. Şlam, mikst ve düşük kalitede diğer ürünler de bu sınıfa dâhildir.

B-Kahverengi kömürler (Brown Coal): Nemli ve külsüz bazda 24 MJ/kg (5700 Kcal/kg) altında kalorifik değere haiz olan kömürdür. Toplam nem içeriği ve kalorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Kömür üretimi ve ticaretinde IEA/OECD tarafından bu iki kategori kullanılmaktadır. IEA/OECD kömür istatistiklerinde 1978 yılından itibaren kömür pazar analizleri ve tahminlerinde bu iki kategori alt sınıflara bölünmektedir.

- **Yarı bitümlü kömür:** 17-24 MJ/kg (4.165-5.700 Kcal/kg) arasında kalorifik değere haiz olan kömürdür.

- **Linyit:** 17 MJ/kg (4.165 Kcal/kg) altında kalorifik değere haiz olan kömürdür (TKİ, 2010).

Çizelge 3.2. Çeşitli kömürleşme dereceleri (TKİ, 2010).

Rank (Kömürleşme Derecesi)	Uçucu Madde İçeriği (% Ağırlık, ıslak- külsüz)	Karbon içeriği (% Ağırlık, ıslak, külsüz)	Kalorifik değer (kcal/kg, Mineral maddesiz)	Nem içeriği (% Ağırlık)
1. Linyit	69-44	76-62	4.600-3.500	52-30
2. Alt Bitümlü	52-40	80-71	6.400-4.600	30-12
3. Bitümlü				
a) Yüksek uçuculu-B	50-26	88-76	5.600-7.800	15-2
b) Yüksek uçuculu-C				
c)Yüksek uçuculu-A	49-31	88-78	7800	5-1
d) Orta uçuculu	31-22	91-86	7800	5-1
e) Düşük uçuculu	22-14	91-86	7800	5-1
4. Antrasit	14-2	99-91	7.800	5-1

Linyit, nem ve yanıcı uçucular yönünden zengin, ısı değeri düşük, genç bir kömürdür. Uygulamada alt ısı değeri 1000 – 6000 [kcal/kg] arasında bulunan kömür bandı, genel olarak linyit kömürü olarak isimlendirilir. Isı değeri 1000 – 2500 [kcal/kg] olan linyitler genelde düşük kaliteli, 2500 – 4000 [kcal/kg] olanlar orta kaliteli, 4000-6000 [kcal/kg] olan linyitler ise iyi kaliteli linyitler olarak tanımlanır. 5000 – 6000 [kcal/kg] ısı değerindeki kömürler, alt sınıf bitümlü kömürler olarak da isimlendirilir (Çürüksulu, 2006).

Türkiye'nin kömür rezervlerinin büyük bir bölümünü linyit rezervleri oluşturmaktadır. Türkiye'deki linyitler standartta belirtilen üst ısı değerinin oldukça altındadır. Ülkemiz linyit rezervleri kalorifik değeri 1.000 kcal /kg ile 4.200 kcal /kg arasında değişiklik göstermektedir.

4. KÖMÜRÜN GAZLAŞTIRILMASI

Kömürün gazlaştırılması; kömür doğrudan doğruya yakılmadan oksijen ve buharla reaksiyona sokularak sentez gazı üretilmesi prosesidir. Üretilen sentez gazı genel olarak hidrojen ve karbon monoksitten oluşan bir yapıdadır. Fosil yakıtların direk yakılarak yapılan elektrik ve güç üretiminde termik verim çok düşük kalmakta, sera gazı salımı yüksek oranda gerçekleşmektedir. Dünyamızda son yıllarda gelişen çevre duyarlılığı Elektrik Üretim Santrallerinde yeni teknolojilerin geliştirilmesi sonucunu doğurmuştur. Bu yeni teknolojilerden biri de kömür gazlaştırılması ile elde edilen gazın gaz türbinlerinde yakılarak elektrik üretilmesi prensibidir.

4.1. Kömürün Gazlaştırılmasının Tarihi Gelişimi

Kömürün gazlaştırılması ile ilgili araştırmaların başlangıcı 200 yıl öncesine kadar gitmektedir. Ancak ticari olarak ilk kez 1842 yılında Baltimore Elektrik şehir gazı üretiminde kullanılmıştır, 1887 Lurgi Firması gazlaştırma ile ilgili patent almış, 1900 yılların başlarında Avrupa ve Amerika şehir gazı olarak kullanılması için ortak çalışma yapmışlar, 1940 yıllarda kimya sanayisi için gerekli olan amonyağın üretimi için kömür gazlaştırmıştır. (1950’li yıllarda Koppers Totzek Gazlaştırıcısı amonyak ve amonyum nitrat üretimi için Kütahya da kurulmuş 1990’lı yıllarda hurdaya ayrılmıştır.) 1960 yıllarda kömürden üretilen gaz, gaz türbinlerinde test edildi ve 1970’li yıllarda DOE firması bütünleşmiş gazlaştırma kombine çevrim santrali için test çalışmalarına başlamıştır. 1973 yılında gündeme gelen petrol krizi birçok ülke için kömürün gazlaştırılması ile ilgili çalışmalara yönelmesine sebep oldu. 1995 yılından itibaren dünyanın pek çok ülkesinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandı. Gazlaştırma teknolojisi bugün en hızlı gelişen enerji teknolojilerinden biri haline gelmiştir.

2014 yılı verilerine göre dünya gazlaştırma veri tabanına dâhil toplam 862 proje ve 2378 gazlaştırıcı bulunmaktadır. Günümüzde bu projelerden 272 proje ve 686 gazlaştırıcı ticari faaliyetlerine devam ettirmektedir. 82 proje kapsamında 262 gazlaştırıcının inşası devam etmekte, 133 proje ile birlikte 735 gazlaştırıcının yapılması planlanmaktadır (Higman, 2014).

Çizelge 4.1. Yıllara göre dünyada mevcut gazlaştırıcı sayıları artış miktarı (Higman, 2014).

Güncellenme Yılı	Toplam Proje	Toplam Gazlaştırıcı	Gerçek Zamanlı Aktif proje/Gaz.	İnşa Edilen Proje/Gaz.	Planlanan Proje/Gaz.	Gerçek Zamanlı aktif GWth	İnşa Edilen GWth	Planlanan GWth
1999	329	754	128/366	n/a	33/48	42,7	n/a	18,2
2001	350	800	131/409	n/a	32/59	43,3	n/a	24,5
2004	391	841	117/385	n/a	38/66	43	n/a	25,3
2007	408	891	144/427	n/a	10/34	56,2	n/a	36,5
2010	463	990	192/505	11/17	37/76	70,8	10,9	40,4
2013	747	1741	234/618	61/202	98/550	104,7	63,4	84
2014	862	2378	272/686	82/262	133/735	116,6	82,8	109,2

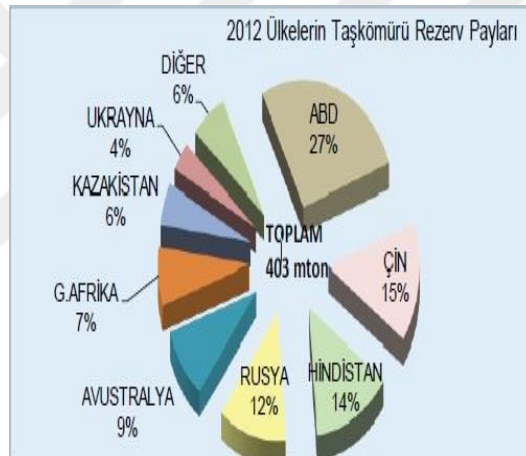
4.2. Kömür Gazlaştırmanın Türkiye İçin Önemi

Birincil enerjide, dışa bağımlılığımız 2012 yılında, % 72,4 olarak gerçekleşmiştir. Bu değer bu kadar yüksek olmasında en büyük paya sahip elektrik üretiminde ise dışa bağımlılığımız %56'lar civarında gerçekleşmiştir. Bunun en büyük sebebi doğalgaz santralleri ve ithal kömür kullanan termik santrallerdir(% 44 oranında doğal gaz santralleriyle %12 'si de ithal kömür). Dünyadaki gelişmeler ve yakın coğrafyamızın son derece olumsuzluklara gebe olması, enerjide dışa bağımlılığımızın mümkün olduğu kadar çabuk azaltılmasını gerektirmektedir. Bu anlamda ulusal kömürlerimize dayalı üretilebilecek en az 100 milyar kWh elektriğin, devreye girmesi halinde, 2023 deki elektrik talebinin 450 milyar kWh civarında olacağı öngörüsüne göre %22 oranında bağımlılığımızı azaltacak etkisi olacaktır. Böylelikle strateji belgesinde belirtilen elektrik üretiminde doğal gaz santralleri payının 2023 yılında %30 düzeyine indirilmesi hedefinin gerçekleşmesi de mümkün olabilir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2014).

Ülkemizin enerji ihtiyacının her geçen gün artması artan ithal yoluyla sağlanan enerjiden çok, eldeki kaynakların daha bilinçli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ülkemizde, çok sınırlı doğal gaz, petrol ve rezervlerine karşın, 512 milyon tonu görünür olmak üzere, yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü ve 13 milyar tonu görünür rezerv niteliğinde toplam 14,8 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır.



Şekil 4.1. 2012 Dünya linyit rezervinde ülke Payı (World Energy Council, 2013).



Şekil 4.2. 2012 Dünya taş kömürü rezervinde ülke payları (World Energy Council, 2013).

Ülkemizin ileriye dönük enerji politikalarının belirlenmesinde linyitler önemli bir yere sahiptir. Dünya üzerinde petrol ve doğalgaz kaynakları yeterli miktarda olmayan ülkeler için fosil yakıtların gazlaştırılmasından elde edilen yakıtlar, gelecek yıllarda petrol ve doğal gazın yerini alacak en güçlü adaylar olarak gözükmektedir. Bu durumda dikkate alındığında dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizde de linyit rezervlerinin verimli kullanılması için ARGE çalışmaları yapılmalıdır. Katı yakıtları (taş kömürü, linyit, biokütle, katı atık) katı halden gaz haline dönüştüren temiz enerji dönüşüm prosesine katı yakıtların gazlaştırılması denilmektedir. Kömürün su buharı (veya su), oksijen (veya hava), hidrojen ile atmosferik, vakumlu veya basınçlı ortamda bir dizi reaksiyona girmesi sonucu gaz elde edilmesine kömürün gazlaştırılması denilmektedir. Kömürün gazlaştırılmasında düşük oksijen seviyesiyle bağlı olarak yanma reaksiyonları tam olarak gerçekleşemediği eksik yanma reaksiyonları olarak

tanımlayabileceğimiz bazı tepkimeler gerçekleşmektedir. Bu tepkimeler sonucu olarak CO, CH₄, H₂, CO₂ vb. gazlar ile su buharı oluşmaktadır. Gazlaştırma ile kömürün içeriğinde yer alan kükürt klasik yakma tepkimesinde olduğu gibi SO₂ şeklinde açığa çıkmamaktadır. Elde edilen sentez gazı temizleme ünitesi vasıtasıyla temizlenerek içerisindeki partiküller ve zehirli maddeler tutulmaktadır. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta oksijen veya hava ile yakılan söz konusu sentez gazından ise enerji, endüstriyel kullanımda metanol, amonyak, gübre gibi kimyasal madde, benzin, dizel gibi sıvı yakıt elde edilebilmektedir. Bu şekilde üretilen gaz, elektrik üretiminde, evsel kullanımda veya sanayi tesislerinin ham maddesi olarak kullanılacağı için ülkemiz açısından dışa bağımlılığın azaltılmasında önemli yere sahip olacaktır.

4.3. Gazlaştırma

Gazlaştırma yolu ile kömürden gaz üretimi, kömürün belirli bir sıcaklıkta, oksijen veya hava, su buharı, hidrojen ve karbondioksit gibi gazlaştırıcılarla, reaksiyona sokulması sonucu elde edilmektedir. Gazlaştırma prosesinde ilk olarak ekzotermik reaksiyonlar gerçekleşir. Burada üretilen ısı daha sonraki endotermik reaksiyonların gerçekleşmesi için gereklidir.

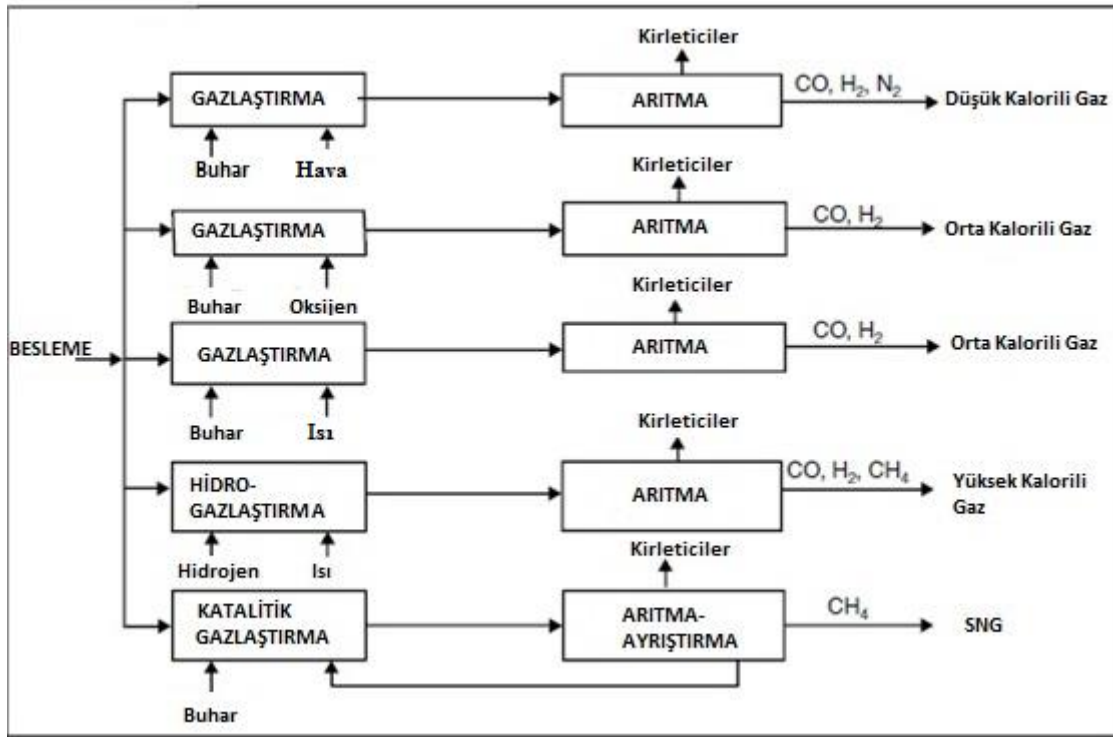
Kömürlerin gazlaştırılmasıyla elde edilen gazların bileşim ve miktarı, kömürün tepkime yeteneğine, kullanılan gazların cinsine ve uygulanan gazlaştırma işlemine (basınç, sıcaklık, kömür ve gazın akış yönleri v.b.) bağlıdır. Bu adımda ele geçen ham gaz, çeşitli oranda CO, CH₄, H₂, CO₂, su buharı ve N₂ içerir. Kullanılan kömürdeki kükürdün önemli bir kısmı da H₂S ve COS halinde ham gaz içinde bulunur. Ham gaz karışımı suyla yıkanarak CO₂ ' in uzaklaştırılması, CO'in CO₂'ye dönüştürülmesi, kükürtlü bileşiklerden arındırma ve hidrokarbonların parçalanması gibi işlemlerle istenen özellikteki karışıma dönüştürülür (Canel, 1986).

Tipik bir gazlaştırıcıda meydana gelen fiziksel ve kimyasal reaksiyonların meydana geldiği sıcaklıklar;

1. Kurutma (>150 °C)
2. Piroliz (150 °C-700 °C)
3. Yanma (700 °C-1500 °C)
4. İndirgeme (800 °C-1100 °C)

Kömürün gazlaştırma prosesi reaktör içerisinde 150 °C altındaki sıcaklıkta kurutma işlemi ile başlamakta, 150 °C - 700 °C arasında piroliz işlemi ile devam edip, 700-1500 °C sıcaklıkları arasında yanma ve 800 - 1100 °C sıcaklıklarında ise indirgenme reaksiyonları

gerçekleşmektedir. Kurutma, piroliz ve indirgenme reaksiyonları endotermik, yanma reaksiyonu ekzotermik reaksiyondur. Kurutma işlemi ile yakıt içerisindeki nem alınır. Piroлиз işlemi ile yakıtın içerisindeki organik sıvılar, gazlar ve su buharı sabit karbondan ayrıştırılır (Basu, 2006). Yanma reaksiyonu ile gazlaştırma prosesi için gerekli olan ısı sağlanmış olur. İndirgenme ve piroliz reaksiyonları ile gaz üretimi gerçekleşmektedir.



Şekil 4.3. Gazlaştırma proses çıktıları (Rezaiyan vd., 2005).

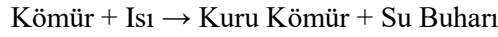
4.3.1. Gazlaştırma sürecinde meydana gelen reaksiyonlar

Gazlaştırma içerisinde ekzotermik ve endotermik bir dizi kimyasal reaksiyonu barındıran karmaşık bir yapıya sahiptir. Reaksiyonların başlangıcı yakıtın gazlaştırma ünitesine girmesi ile başlar ve devam eder. Gazlaştırıcı içinde gerçekleşen 4 temel aşama hakkındaki bilgiler, sadece kinetik modellerin oluşturulması için değil aynı zamanda termodinamik modellerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için de gereklidir.

4.3.1.1. Kurutma

Katı yakıtın ısınması sürecinde ilk gerçekleşen değişimdir. Katı yakıt bünyesinde bulunan sıvı suyun buhar haline geçerek katı parçacığı terk etmesi olayıdır. Kuruma, katı

parçacığı saran su moleküllerinin ilgili sıcaklık ve basınçta suyun doyma noktasında olmadığı sürece tüm sıvı su buharlaşana kadar devam eder.

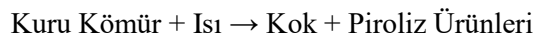


Suyun katı parçacıktan ayrılma süreci farklı mekanizmalarla ve değişken bir kurutma hızı profili ile gerçekleşir. Bu süreç temel olarak üç aşamaya ayrılabilir.

İlk aşamada parçacığın sıcaklığı son derece hızlı bir şekilde artar. Suyun ilk olarak ayrılmaya başladığı bu süreçte kuruma hızı belirgin bir şekilde artar ve ikinci aşamadaki kuruma hızı değerine ulaşılır. İkinci aşama, suyun katı yüzeyinde toplandığı ve buharlaşmanın yüzeyden gerçekleştiği aşamadır. Katı parçacık yeterince ıslaksa, su bir şekilde sıvı olarak yüzeye taşınır ve yüzeyde ince bir tabaka oluşturur. Dolayısıyla bu aşamada kuruma katı parçacığın yapısından bağımsız olarak çevresel koşulların belirlediği bir hızda gerçekleşir. Yüzey ıslak kaldığı ve çevresel koşullar değişmediği sürece bu aşamadaki kuruma hızı sabittir. Katı yüzeyindeki su derişimi ile çevreleyen ortamdaki su derişimi arasındaki derişim farklılığı ve sisteme yeni giren katı yüzeyi ile çevre ortam arasındaki sıcaklık farklılığı bu aşamadaki kuruma hızının yüksek olmasını sağlar. Üçüncü aşamada, suyun katıdan ayrılması yüzeyin altındaki buharlaşma ile gerçekleşir. Yüzeydeki sıvı su tabakası bittiği zaman ısı geçişi, yüzeyin altındaki gözeneklerdeki suyun buharlaşmasına neden olur. Buharlaşan su, katı parçacığın tabakaları arasından yüzeye ulaşarak katı parçacıktan ayrılır. Bu nedenle katı parçacık içerisindeki ısı ve kütle geçişi dirençleri kuruma hızını önemli ölçüde etkiler ve kuruma tabakasının kalınlığı arttıkça kuruma hızı düşer (Kaya, 2009).

4.3.1.2. Piroliz (Devolatilization)

Organik maddeler oksijensiz ortamda ısıtılırsa ortaya çıkan termal parçalanma sürecine piroliz adı verilir. Piroliz sırasında karmaşık kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar meydana gelmektedir. Piroliz işlemi 350 °C sıcaklıkta yavaş yavaş başlar, 700 °C üzerindeki sıcaklıklara kadar artarak devam eder. Piroliz işlemi sonucu üretilen ürünün bileşimi basınç ve sıcaklığın fonksiyonudur.



Sürecin aşağıdaki temel adımlardan oluştuğu kabul edilebilir:

- Isınma parçacık gözenekleri içerisindeki gazların genişmesine neden olur ve gözenekler genişlen bu gazları barındıramaz hale gelir.

- Büyük organik moleküller parçalanırlar ve oluşan daha küçük yapılara metaplast denir.

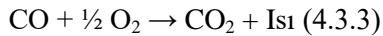
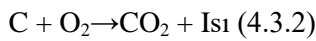
- Metaplast moleküller çapraz bağlarla yeniden polimerize olurlar.

- Gaz ve sıvı bileşenler (buğu) birbirlerini destekleyerek yüzeye taşınırlar.

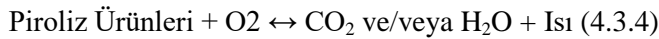
Yüzeye taşınma esnasında sıvı bileşenlerin bir miktarı koklaşma neticesinde katı içerisinde kalır. Ayrıca taşınma esnasında gaz ve sıvıların birbirleriyle ve yüzeyle olan reaksiyonları devam eder (Kaya, 2009).

4.3.1.3. Yanma

Gazlaştırıcı içerisinde gerçekleşen kuruma, piroliz ve gazlaşma reaksiyonlarının çoğu endotermiktir ve gerçekleşebilmeleri için ya dışarıdan bir ısı kaynağı ile desteklenmelidirler ya da bu ısı, içeri beslenecek bir miktar oksijen ile gerçekleşecek yanma reaksiyonları ile elde edilmelidir (Kaya, 2009). Yanma reaksiyonları son derece hızlı ve neredeyse tamamlanmış reaksiyonlar olduğu için gazlaştırıcı içerisine gönderilen O₂'nin bu reaksiyonlarda tamamına yakınının harcadığı varsayılabilir. Bu reaksiyonların pek çok gazlaştırıcıda en çok gerçekleştiği bölge O₂'nin sisteme beslendiği bölgedir. Bu nedenle bu bölgelerde yüksek bir sıcaklık profili gözlenebilir. Sabit yataklarda bu bölge dolaşımli akışkan yataklara göre çok daha belirgindir (Koç, 2006).



Diğer yanma reaksiyonu yakıt olarak kullanılan hidrojenin oksitlenmesi ile su buharının üretildiği tepkimedir.



4.3.1.4. Gazlaştırma

Gazlaştırma yukarıda tarifi yapılan yanma sonucu oluşan ısı ile desteklenen bir dizi endotermik reaksiyon sonucu meydana gelir. Gazlaştırma bölgesindeki meydana gelen bir dizi reaksiyonlar sonucunda yanıcı özelliği olan hidrojen, karbon monoksit, metan vb. gazları üretilir. Isı bilimi literatüründe gazlaşma reaksiyonları oksijen dışındaki gazlarla gerçekleştirilen reaksiyonları ifade eder. Yanma bu nedenle ayrı bir aşama olarak değerlendirilmiştir. Gazlaşma

reaksiyonları bu çalışma kapsamında heterojen ve homojen reaksiyonlar ayrımıyla iki şekilde incelenmiştir. Homojen reaksiyonlar her ne kadar gaz-gaz reaksiyonları ise de heterojen reaksiyonların devamı gibi değerlendirilebileceği için pek çok çalışmada bu şekildeki bir sınıflandırmayla incelenmektedir (Kaya, 2009).

Heterojen Gazlaşma Reaksiyonları:

1. Su – Gaz Reaksiyonu: $C + H_2O + Isı \rightarrow H_2 + CO$ (4.3.5)
2. Boudouard Reaksiyonu: $CO_2 + C + Isı \rightarrow 2CO$ (4.3.6)
3. Hidrojenle gazlaştırma Reaksiyonu $C + 2H_2 \rightarrow CH_4 + Isı$ (4.3.7)

Homojen Gazlaşma Reaksiyonları:

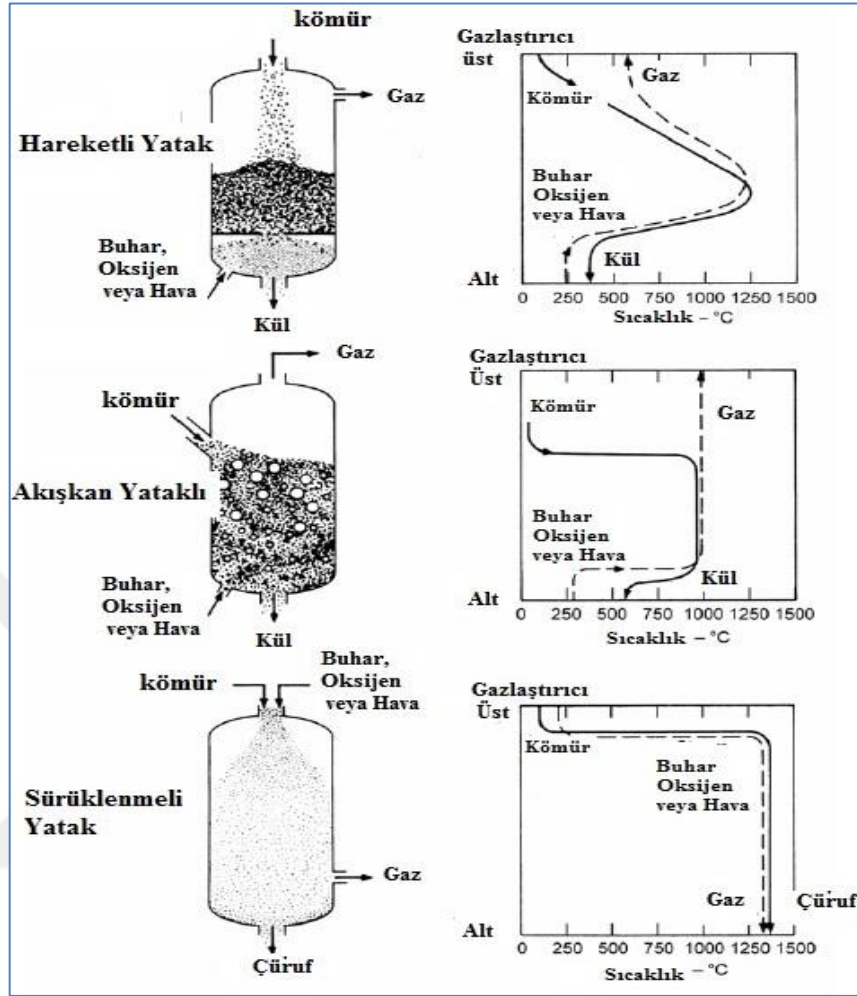
1. Shift conversion: $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 + Isı$ (4.3.7)
2. Methanation: $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O + Isı$ (4.3.7)

Gazlaştırma ünitesinde üretilen gazın bileşimi; yakıt bileşimine, gazlaştırma ünitesinin tipine (ortamına), işletme basıncına, işletme sıcaklığına, yakıtın kül miktarına bağlıdır. Fakat üretilen gazın bileşimini önceden tahmin etmek çok zordur (Basu, 2006). Gaz – gaz reaksiyonları katı – gaz reaksiyonlarına göre daha hızlı ilerler ve gazlaştırıcı çıkısına yakın bölgelerde de gerçekleşmeye devam edecekleri için çıkan gaz bileşimi üzerinde önemli ölçüde etkilidirler.

4.3.2. Gazlaştırma teknolojisi ve sınıflandırması

Katı yakıt gazlaştırma, Kömür, biokütle vb. katı yakıtları katı halden gaz haline dönüştüren temiz enerji dönüşüm prosesidir. Gazlaştırma işlemi vakumlu, atmosferik veya basınçlı ortamlarda hava veya oksijenin ortama kontrollü olarak verilmesi ile gerçekleşir. Gazlaştırma üniteleri bir çok farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür ancak en önemli sınıflandırma kömürün ve gazın akış yönüne göre yapılan sınıflandırmadır.

Şekil 4.4. de gazlaştırma ünitesine verilen kömür, oksijen ve havanın gazlaştırma ünitesindeki kimyasal reaksiyonlar sonucu gaza dönüşümünün sıcaklıkla olan ilişkisi verilmiştir. Gazlaştırma ünitesinin yapısına göre kömür oksijen ve havanın gazlaştırma ünitesine verildiği kısma göre gazın çıkış noktası ve kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği bölgeler değişiklik göstermekte sistem tasarımları buna göre yapılmaktadır.



Şekil 4.4. Gazlaştırıcı tipleri (Maurstad, 2005).

Ticari boyuttaki gazlaştırma ünitelerinde reaktörün çalışma prensibi ve kömürün reaktör içindeki durumuna göre;

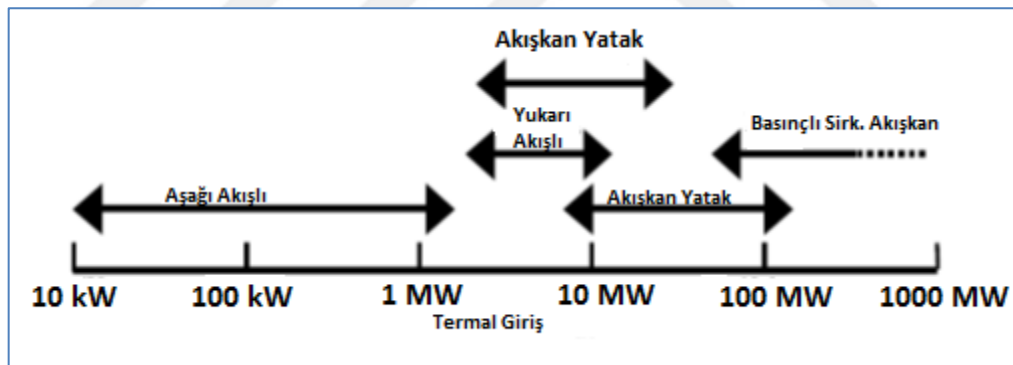
- Sabit Yataklı Gazlaştırma Üniteleri
 - a-Yukarı Akışlı (Updraft)
 - b-Aşağı Akışlı (Downdraft)
 - c- Çapraz Akışlı (Crosdraft)
- Akışkan Yataklı Gazlaştırma Üniteleri
 - a- Atmosferik
 - b- Basınçlı

c- Kabarcıklı (Bubbling)

d-Dolaşimli (Circulating)

- Sürüklemeli (Entrained bed) Gazlaştırma Üniteleri
- Tumbling Bed Gazlaştırma Üniteleri
- Stirred Bed Gazlaştırma Üniteleri olarak sınıflandırılmaktadır.

Sabit yataklı gazlaştırma üniteleri daha çok biyokütle ve katı atıkların gazlaştırılması için düşük güçlerde kullanılmaktadır. Basınçlı gazlaştırıcı sistemler büyük güçler için tasarlanmaktadır. Yakıt besleme sistemleri daha karmaşık ve daha pahalıdır. Temizleme için daha fazla inert gaza ihtiyaç duyulur. Basınç yükseltme ekipmanı maliyeti atmosferik gazlaştırma için gerekenden çok daha pahalıdır. Buna karşılık daha küçük boyutta ekipman gerektirir. Kömür gazlaştırma prosesinde sabit yataklı gazlaştırma, akışkan yataklı gazlaştırma ve sürüklenmeli gazlaştırma uygulamaları ticari amaç için en yaygın kullanılan gazlaştırıcılardır.

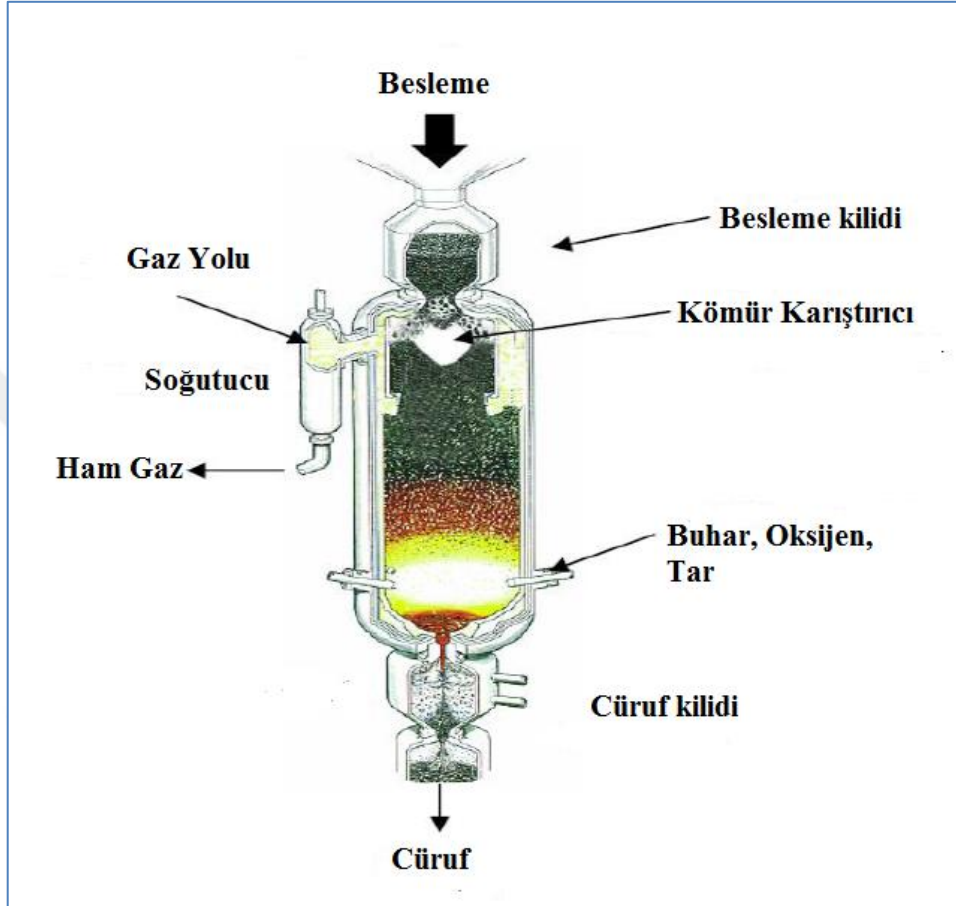


Şekil 4.5. Ticari boyutlu gazlaştırıcıların kurulu gücüne göre sınıflandırılması.

4.3.2.1. Sabit yataklı gazlaştırma üniteleri

Sabit yataklı gazlaştırma ünitelerinde tane iriliği 3-30 mm aralığında kömür kütlesi gazlaştırıcıya tepeden yüklenir. Oksijen ve buhar gazlaştırma ünitesine aşağıdan verilir. Kömür sabit bir ızgaranın üzerinde tutularak oksijenin onun arasında geçirilmesi ile yanma ve gazlaştırma tepkimeleri basınç değeri 10-100 bar arasında, işletme sıcaklığı 800-1000 OC arasında gerçekleşir. Gaz oldukça düşük hızlarda yukarıya doğru yükselir. Çok düşük hızlarda bile bir miktar uçucu kül ve küçük kömür parçacıkları gazla birlikte sürüklenmektedir. Daha

sonra oluşan gaz ve kül cüruf gazlaştırıcıdan uzaklaştırılır. Aşağı akışlı, yukarı akışlı ve çapraz akışlı olarak sınıflandırmak mümkündür.

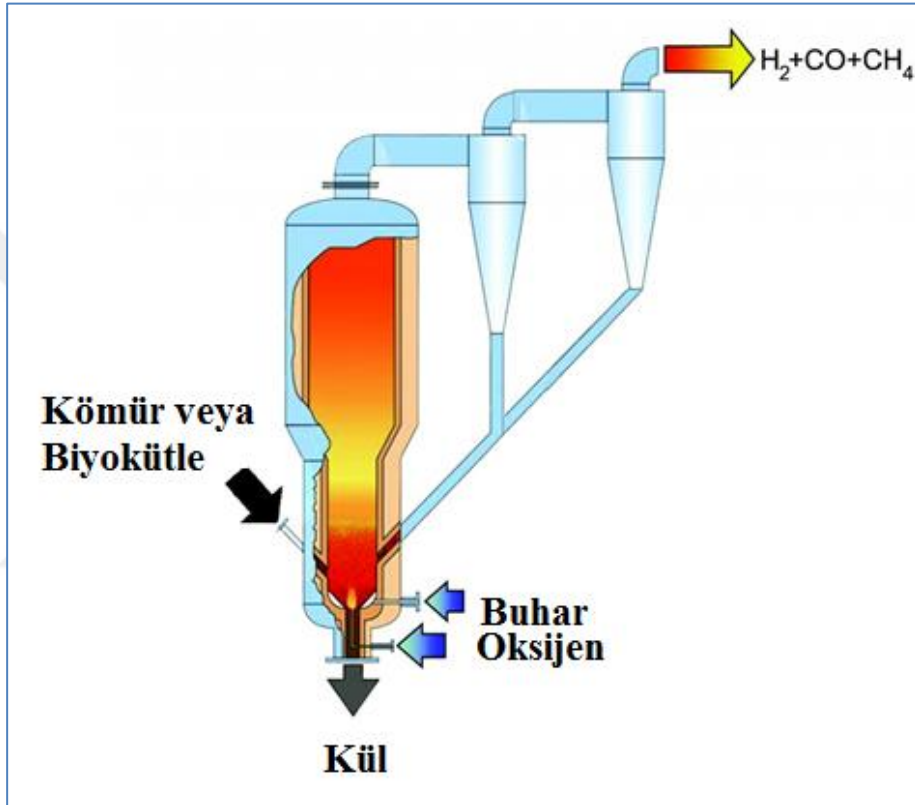


Şekil 4.6. British Gas Lurgi sabit yataklı gazlaştırıcı (Breault, 2010).

4.3.2.2. Akışkan yataklı gazlaştırma üniteleri

Akışkan yataklı gazlaştırıcılarda öğütülmüş kömür (1-5 mm tane iriliğinde) kullanılır. Buhar ve oksijen yanma odasının alt kısımlardan verilir. Kömür yukarı doğru çıkan gazlar içinde, akışkan yatakta yüksek bir verimle tepkimeye girer ve yukarı doğru çıkarken bir kaynama etkisi yaratır. Yanma odasındaki kesit daralmaları ve katı gaz etkileşimleri nedeni ile akışkan yataklı gazlaştırıcılarda türbülans işin doğası gereği oluşmaktadır. Bu etki sayesinde kömür ve oksijenin etkileşim yüzey alanını artırarak gazlaştırma için uygun ortamı yaratır. Tipik hali ile akışkan yataklı gazlaştırıcılarda kömür gazlaştırıcıya gazlaştırma odasının orta kısmına yakın bir noktadan gider ve yükselen gazın sıcaklığı ile kurutma ve piroliz evrelerini geçirir. Gazlaştırma odasında kömür aşağılara doğru indikçe oksidatif ve indirgenme reaksiyonlarına

maruz kalarak gazlaştırma işlemi tamamlanır. Gazlaştırıcının alt kısmından tepkimeye girmiş yakıt atığı olan kül ve cüruf alınarak uygun depolama alanına gönderilir. Oluşan gaz gazlaştırıcıyı üst kısmından terk eder, gaz ile birlikte gazlaştırıcıyı terk eden kül, partikül ve yanmamış karbonlar siklonlar vasıtası ile tekrar gazlaştırıcıya gönderilir. Gazlaştırma işlemi 800-1100 °C sıcaklık ve 10-25 bar basınç aralığında gerçekleştirilmektedir.

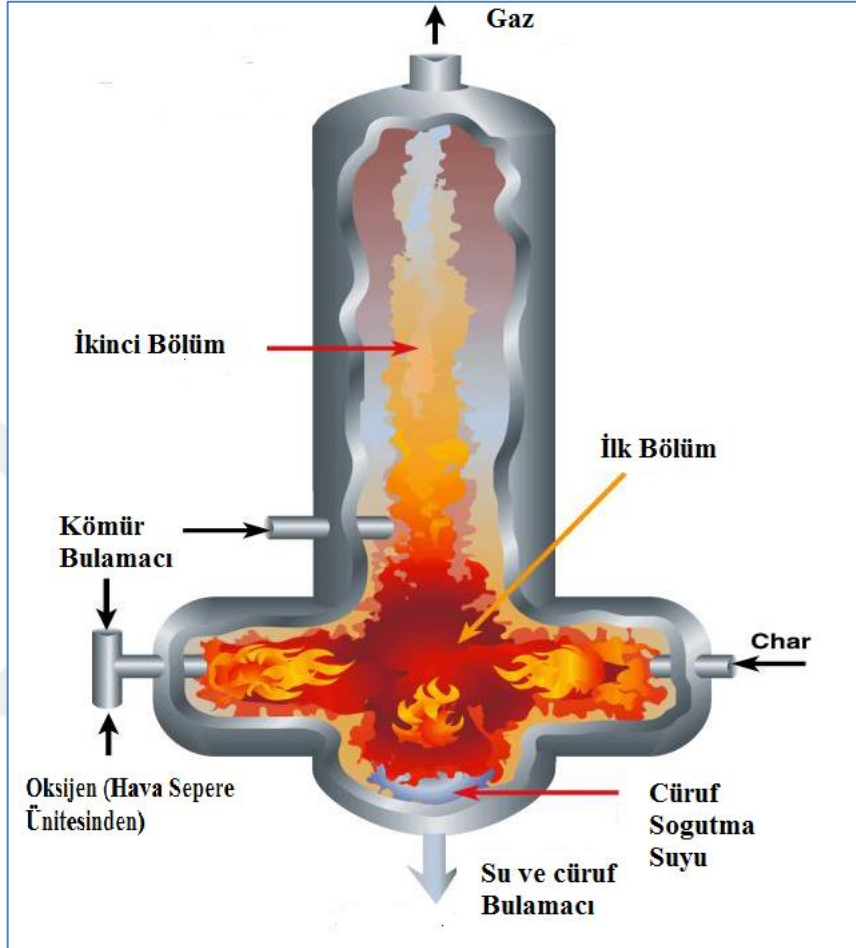


Şekil 4.7. Akışkan yataklı gazlaştırma ünitesi.

4.3.2.3. Sürüklemeli (entrained bed) gazlaştırma üniteleri

Sürüklenmeli akışkan yataklı gazlaştırma sistemlerinde yakıt kazana pülverize olarak veya 0.1 mm tane iriliğinde oksijen ve buhar ile birlikte bulamaç edilerek verilebilir. Sürüklenmeli akımlı gazlaştırıcılarda öğütülmüş kömür gazla sürüklenir, gaz akımı aşağı veya yukarı doğru olabilir. Gazlaştırma işleminde külün gazlaştırıcıdan uzaklaştırılma şekli, gazlaştırıcı içindeki en yüksek sıcaklığa bağlıdır. Kömürün mineral maddesinin erime derecesi ve yumuşama aralığı, inorganik bileşiklerin sayısına ve miktarına göre belirlenir. 980 °C'nin altındaki sıcaklıklarda mineral madde kurudur, daha yüksek sıcaklıklarda yumuşama ve aglomerleşme başlar. 1540 - 1760 °C sıcaklıklarda kül akışkanlaşır. Bazen akışkanlık sıcaklığını

düşürmek amacıyla katkı maddeleri (fenxing agent) kullanılır. Külün durumuna göre, kömür gazlaştırıcıları kuru tipli, aglomerli veya cürufli olarak sınıflandırılabilirler.



Şekil 4.8. ConocoPhillips E-Gas gazlaştırıcısı (Cooper vd., 2012).

Genellikle gazlaştırıcı sıcaklığı en düşük sabit yataklarda olur ve sabit yataklı, akışkan yataklı, kül aglomerli ve cürufli gazlaştırıcılarda sırayla yükselir. Tepkime hızı sıcaklıkla doğru orantılı olduğundan, yüksek sıcaklıklar gazlaştırıcı hacminin küçük olabilmesi olasılığını getirirler. Ayrıca bu sıcaklıklarda katran parçalanması da tam olur. Bu gaz soğutma, kükürtten arıtma ve artık su kontrolü için önemli ölçüde kolaylık demektir.

4.4. Düşük Kaliteli Linyitlerin Gazlaştırılması

Başta fosil yakıtlar, biokütle ve katı atıklar olmak üzere içerisinde karbon bulunan tüm katı yakıtları katı halden gaz haline dönüştüren temiz enerji dönüşüm prosesidir. Kömür, biokütle gibi karbon içerikli hammadde bir reaktör içerisinde hava, oksijen, buhar veya bunların

karışımı ile yüksek sıcaklıkta reaksiyona girerek içeriği H₂, CO, CO₂, CH₄, vb. olan bir proses ürüne dönüşmektedir. Kömürün gazlaştırılması ise kısmi oksidasyon yöntemi ile katı kömürü gaz halinde bir yakıtla dönüştüren sürecin genel adıdır. Gaz haline dönüştürülmüş yakıt kullanılmadan önce içerisinde istenilmeyen kül, sülfür içerikli bileşikler vb. gaz içerisinden arındırılır ve gaz kullanıma hazır hale getirilir. Üretilen gaz yakıt olarak kombine enerji üretim tesislerinde, şehirlerde şehir gazı olarak ve endüstride gaz yakıt olarak kullanılabilir. Kömürlerin gazlaştırılmasıyla üretilen gazların bileşimi ve miktarı, kömürün cinsine ve aktivitesine, kullanılan gazların türüne ve uygulanan gazlaştırma işlemine (basınç, sıcaklık, vb.) bağlıdır.

4.5. Gazlaştırma İle Üretilen Gazın Karakteristikleri ve Kullanım Alanları

Gazlaştırma ile üretilen gaz karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen, metan, su ve azot'un yanı sıra kömür parçacıkları, kül ve katran gibi artıklarda içermektedir. Üretilen gaz kullanım alanındaki istenilen özellikleri sağlamak için ilk olarak toz temizleme (toz ayırma) işlemine tabi tutulur, daha sonra oluşan gazın kimyasal ve fiziksel kompozisyonuna göre yıkama, kükürttan arıtma, karbondioksitten arıtma işlemlerinden hepsi veya bir kısmı uygulanarak düşük ve orta ısı değerli sentez gazı üretilir. Daha sonra bu gaz sırası ile kullanılacağı yere göre karbon monoksit ve hidrojen ayarlama, kükürttan arıtma, metanlaştırma ve kurutma işlemlerinin tamamına veya bir kısmına tabi tutularak yüksek ısı değerli gaz üretilir.

Kömür gazı ısı değerine göre üç grupta toplanabilir.

Düşük Kalorili Gazlar: Isıl değeri, 1000-1800 kcal/m³ arasında olan gazlardır. Gazlaştırıcı olarak hava veya hava ile buhar karışımı kullanılarak elde edilen gazların ısı değerleri, bu sınırlar içindedir ve bu gazlar zayıf gaz olarak sınıflandırılırlar. Zayıf gazlar, endüstride Siemens-Martin fırınlarında, cam sanayinde, kok fırını ısıtılmasında v.b. gibi tesislerde kullanılırlar. Diğer taraftan koklaştırma gazına ilave edilerek, kalori ayarlaması yapılmasında da kullanılırlar.

Orta Isıl Değerli Gazlar: Isıl değeri 2250-3600 kcal/m³ arasında olan gazlardır.

Su Gazı: Kızgın kok üzerine sadece su buharı verilerek elde edilen bir gazdır. (C + H₂O → CO + H₂). Bu gazın ısı değeri 2600 kcal/m³ civarındadır. Su gazı, geleceğin gazı olarak geliştirilmesine rağmen, kimya endüstrisinde sentez gazı ve şehir gazına ilave gaz gibi bazı kullanım alanları bulabilmiştir.

Oksijen-Su Gazı: Gazlaştırmada, oksijen ve su buharı kullanılarak elde edilen bir gazdır. Isıl değeri 2500 kcal/m^3 civarındadır. Bu gaz da, sentez gazı ve hidrojenasyon için H_2 üretiminde kullanılmaktadır.

Teknik Karbonmonoksit Gazı: Oksijen ve karbonmonoksitle ile gazlaştırma sonucunda, teknik karbonmonoksit gazı elde edilir. Karbonmonoksit gazı, daha çok kimyasal sentezlerde kullanılır.

Oksijen-Basınç Gazı: Oksijen ve su buharı, 20-25 atmosfer basınç altında kızgın kok üzerine verildiğinde CH_4 oranı yüksek bir gaz elde edilir. Bu gaz belli oranda CO_2 içerir ve CO_2 yıkandığında, 4000 kcal/m^3 'e varan ısıl değeri ile, şehir gazı olarak kullanılabilirdiği gibi, bazı kimyasal sentezlerde de kullanılabilir.

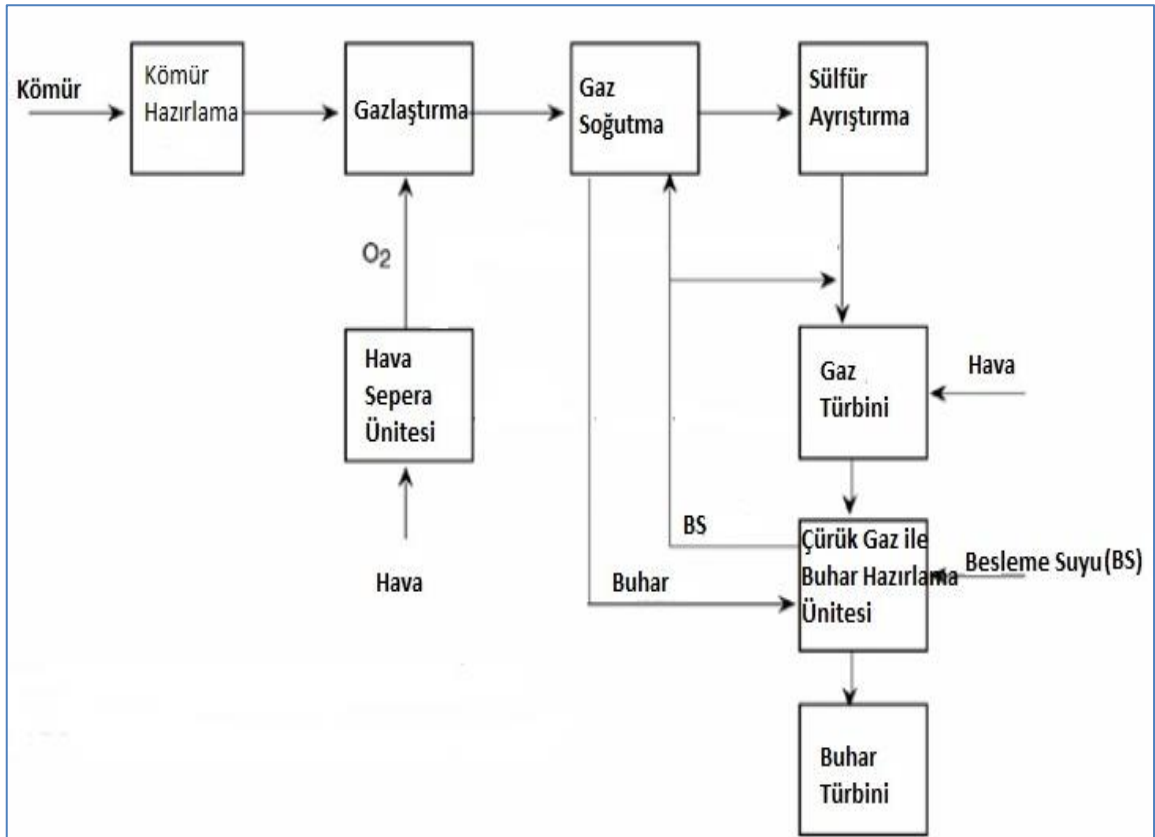
Yüksek Isıl Değerli Gazlar: Metan oranı yüksek ve ısıl değeri $6000-8000 \text{ kcal/m}^3$ arasında olan gazdır. Yüksek basınç altında, kızgın kok üzerine H_2 verilmek suretiyle veya metanizasyon reaksiyonu ile elde edilir.

Yukarıda sınıflandırılması yapılmış olan kömür ve biyokütle kullanılarak üretilen gaz; elektrik üretiminde, kimyasal üretiminde, sıvı yakıt ve hidrojen üretiminde ve petro kimya endüstrisinde ticari boyutta kullanılır.

Dünyada, gerek çevre kirliliği kaygıları ve gerekse petrole dayalı enerji kaynaklarının giderek azalmaya yüz tutması ve fiyatlarının artması nedeniyle özellikle elektrik enerjisi üretim teknolojileri alanında hissedilebilir bir değişim ve gelişim süreci yaşanmaktadır. Kömür, önemli bir enerji kaynağı olmasına ve halen yaygın olarak kullanılmasına rağmen verimliliği düşük ve olumsuz çevresel etkileri yüzünden hala geliştirilmesi gereken teknolojilere ihtiyaç duymaktadır. Özellikle 1970 sonrası petrol krizinden sonra kömürün gazlaştırılması üzerine yapılan çalışmalar artırılmış olup entegre gazlaştırma kombine çevrim santralleri sayısı hızla artmıştır. Entegre Kombine Çevrim Santralleri (IGCC) ile birlikte kömür kullanılarak çevresel etkileri daha düşük ve verimli elektrik enerjisi üretilmesinin önü açılmıştır.

5. ENTEGRE GAZLAŞTIRMA KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLERİ (IGCC)

Kömür gazlaştırma kombine çevrim santrali kömüre dayalı yeni nesil elektrik üretim santralleridir. Kömürün direkt yakılarak elektrik enerjisi üretilmesi halinde verimlilik düşük ve çevreye olan zararlı etkileri fazla olmaktadır. Entegre gazlaştırma kombine çevrim santrallerinin kurulmasındaki amaç fosil yakıtların daha verimli kullanılarak temiz enerji üretimini gerçekleştirmektir.



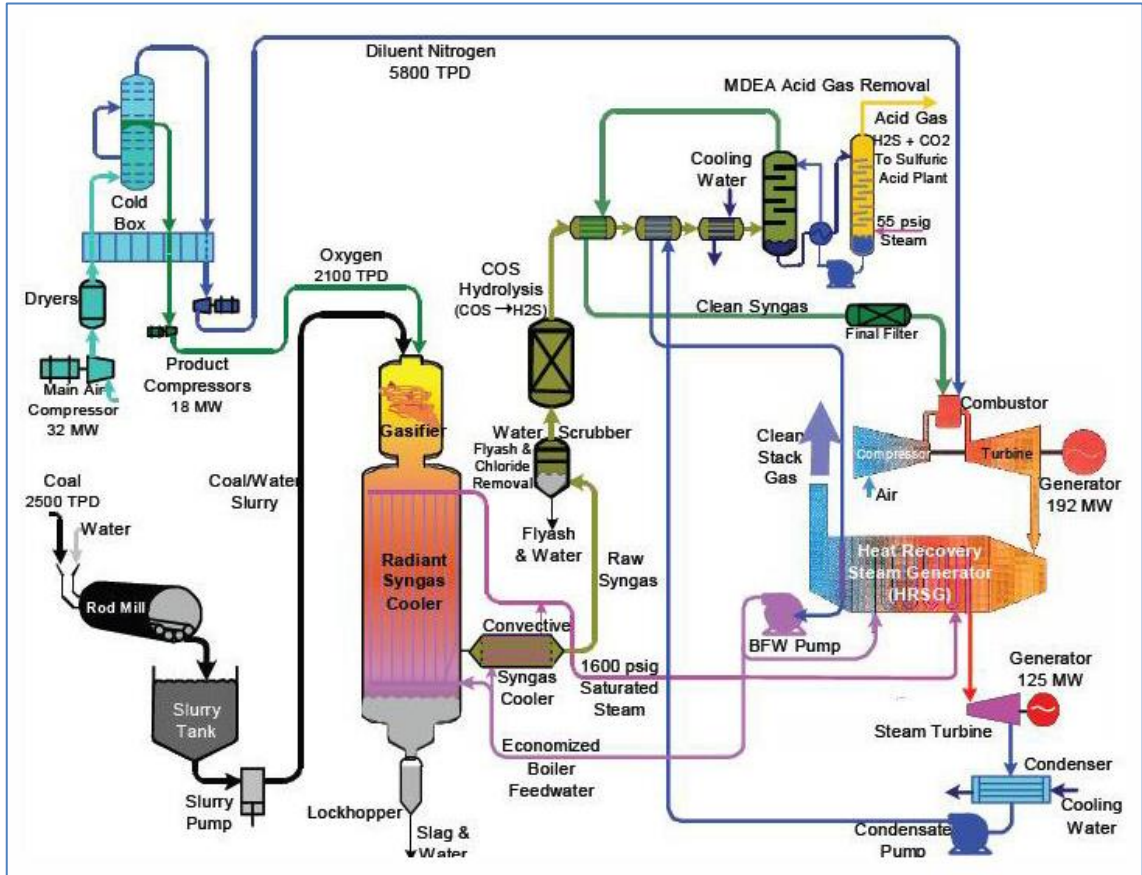
Şekil 5.1. Gazlaştırma prosesi şematik gösterimi.

Entegre kombine çevrim santrallerinde gazlaştırıcı türüne göre kömür ön hazırlama işlemine tutulur. Ön hazırlık işlemi ile kömürün tane iriliği, nem miktarı ve kalorifik değeri gazlaştırma ünitesinin dizayn değerlerine yaklaştırılması amaçlanır. Ön işlemden geçirilen kömür hava separetörü (ASU tesisi) aracılığı ile havadan ayrıştırılarak üretilen oksijen ve kapalı çevrimin belirli noktasından çekilen buhar ile birlikte gazlaştırma ünitesine verilir. Burada bir takım kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar geçirerek sentez gazına dönüştürülür. Gazlaştırma sonucu oluşan çürük atılır. Üretilen gaz, gaz türbininde yakılabilecek kompozisyona ginceye kadar toz tutma, gaz soğutma sülfür ayrıştırma gibi bir dizi işlemden geçirilir. Daha sonra hava

ile birlikte gaz türbininde yakılarak elektrik üretilir. Gaz türbininde meydana gelen yanma sonucu oluşan gazın sıcaklığı ısının kullanılarak elektrik üretimine yeteceği düzeydedir. Doğalgaz çevrim santrallerinde olduğu gibi buradada ısı geri kazanım jeneratörü tesis edilmiştir. Gaz türbininde iş gören gaz bu ısı geri kazanım jeneratöründen geçirilerek boru demetlerinin içerisinde dolaştırılan suyu belirli basınç ve sıcaklıkta kızgın buharara dönüştürür. Daha sonra üretilen kızgın buhar buhar türbininden geçirilerek ikinci bir elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olur. Bu şekilde termik verimi % 40'ların üzerinde, sera gazı salımları daha düşük olan prosesle elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Aşağıda Şekil 5.1 şematik olarak basit bir entegre kombine çevrim santali gösterilmiştir.

5.1. Tampa Elektrik 250 MW IGCC Elektrik Üretim Tesisi

Tampa elektrik üretim şirketine ait 250 MWe gücündeki örnek entegre gazlaştırma kombine çevrim santralinde % 60-70 oranında kömürden oluşan kömür su karışımı % 95 saflık yüzdesindeki oksijenle birlikte Texaco firması tarafından üretilen sürüklenmeli yataklı gazlaştırma ünitesine verilmektedir. Yaklaşık olarak 1482 °C sıcaklıkta oksijen ve kömür su karışımı tepkimeye girerek ham yakıt gazı (syngas) üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretilen gaz aşağıya doğru akarken radyand ısıtıcıların arasından geçerek buhar türbininde iş görecektür buharın ısıtılmasına katkıda bulunur. Gazlaştırma ünitesini terk eden ham gazın konvektif soğutma ünitesinde geçerek sıcaklığı belirli bir dereceye getirilirken temizleme işlemine tabi tutularak partikül ve zararlı gazlar temizlenir. Temizleme işlemi tamamlanan gaz iş görmek üzere hava, nitrojen ile birlikte “General Elektrik model MS 7001F” gaz türbinine gönderilir. Gaz türbininin ucuna bağlanan jeneratörden 192 MW elektrik üretimi gerçekleşir. İş görmüş çürük gaz ise buhar türbini için gerekli buharı ısıtmak üzere ısı geri kazanım jeneratörüne (HRSG) gönderilir. Oradanda baca aracılığı ile atmosfere temiz gaz olarak bırakılır. Isı geri kazanım jeneratörü tabi sirkülasyonlu, tekrar kızdırıcı ve üç basınç kademeli olarak tasarlanmıştır. HRSG nin yüksek basınç kızdırıcısından 100 bar nominal basınç ve 540 °C çıkan buhar ve türbinde iş görüp ısı geri kazanım jeneratöründe tekrar ısıtılan buharlarla birlikte türbinin yüksek basınç kademesi ve diğer basınç kademelerine gönderilir. Türbinde buharın iş görmesi sonucu 125 MW elektrik üretir. Üretilen elektriğin bir kısmı sistemin işletilmesi için kullanılarak toplam net üretim 250 MWe olarak gerçekleşir.



Şekil 5.2. Tampa Elektrik 250 MW entegre gazlaştırma kombine çevrim santrali akış diyagramı.

5.2. Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Santralleri (IGCC) Temel Tesis Yapısı

Entegre kombine çevrim santralleri karmaşık yapıları olan tesisler olup ağır sanayi iş kolunda faaliyet göstermektedirler. Gazlaştırma, kömür hazırlama, hava separe ve elektrik üretim tesislerinin bir arada planlandığı kompleks tesislerdir. Gazlaştırma, hava separe, kurutma ve elektrik üretim tesisleri kendi başlarına kurulduklarında bile büyük tesisler olup her birinin kurulması, işletilmesi ve bakımının yapılması büyük maliyetli işlerdir. Doğalgazı olmayan ülkeler için yüksek verimliliğe sahip temiz elektrik üretimi gerçekleştirmeye imkân tanıyan doğalgaza alternatif bir elektrik üretim yöntemi olması hasebi ile stratejik bir öneme sahiptir.

5.2.1. Kömür hazırlama

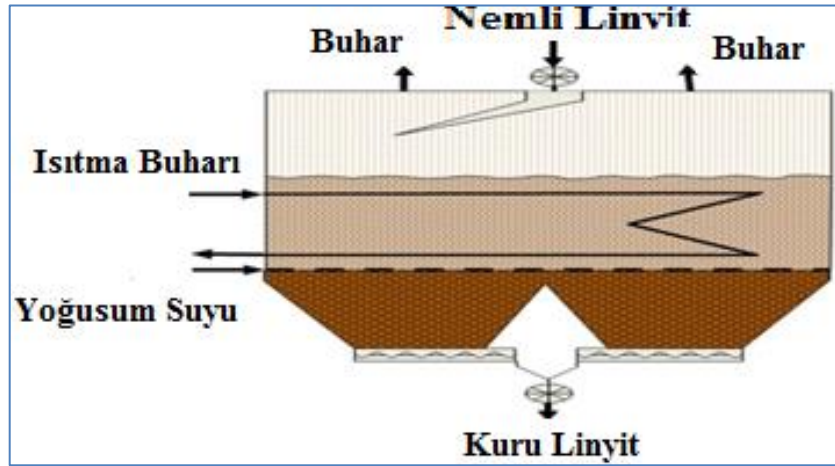
Yakma ve gazlaştırma ünitelerinin seçiminde yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri birinci derecede önem arz etmektedir. Linyit gibi düşük kalorifik değeri yüksek nem ve kül oranına sahip kömürlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için kömür kurutma ve zenginleştirme ünitelerine gereksinim duyulmaktadır.

Kömürün ısıl değerini etkileyen en önemli parametre içerdiği nem miktarıdır. Nem içeriği kazan ve gazlaştırma ünitelerinin verimini, yakıt yanma oranını, alev sıcaklığını, buhar jeneratörü ve gaz jeneratöründe ısı transferini, birincil hava sıcaklık gereksinimini ve elektrostatik filtrelerdeki kül direncini belirlemektedir. Bunun yanı sıra kömürün nem içeriği, uçucu madde çıkışını, yanma süreçlerini, gaz fazında seyrelmeyi sağlayarak kütle difüzyon direncini de etkilemektedir. Ayrıca kömür kurutmanın emisyonları azaltıcı etkisi vardır. Nem içeriğindeki her % 1 artışa karşılık ısı gereksinimi 5.04 kcal/kWh artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı elektrik üretimi veya başka amaçla kullanılacak olan linyitlerin kurutulması gerekmektedir.

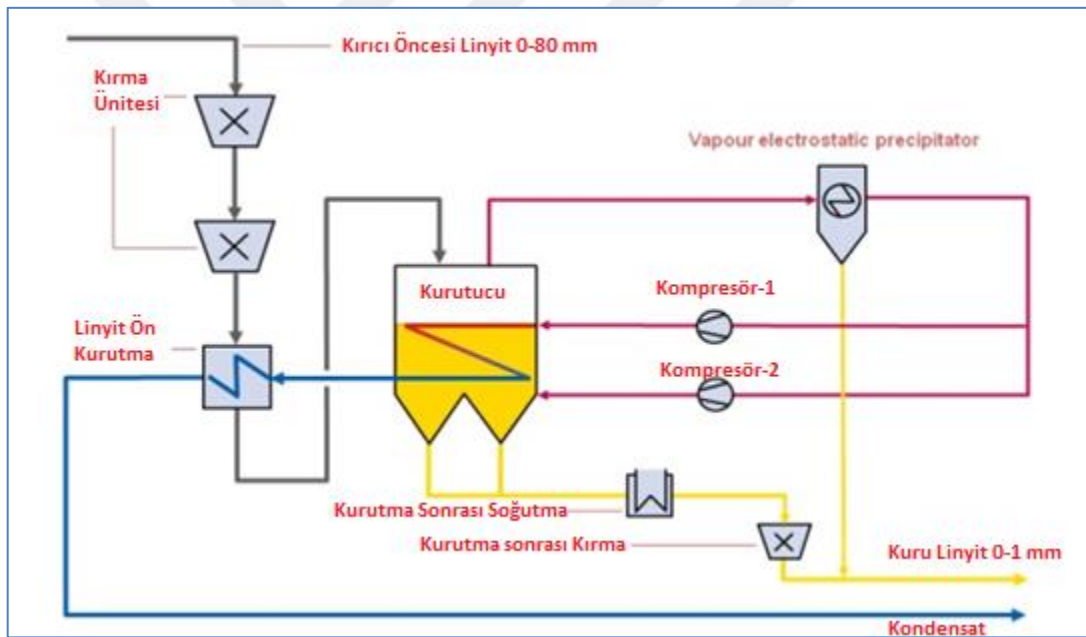
Ülkemizdeki mevcut linyit yataklarının büyük bir bölümü düşük kalorifik değere, yüksek nem ve kül oranına sahiptir. Bu yüzden gerek pülverize kömür santrallerinde gerek akışkan yataklı yakma sistemlerinde gerekse de gazlaştırma amacı ile olsun kömürün ön hazırlık aşamasından geçmesi kaçınılmazdır. Kömürün ön hazırlık aşaması zenginleştirme ve kurutma prosesini oluşturur. Kömürün ön hazırlık aşaması linyitin ıslak veya kuru yöntemlerle yabancı maddelerden temizlenmesi ve kalorifik değerinin artırılması sağlanırken, kurutma ile kömürün nem oranının düşürülmesi sağlanmış olur.

Ülkemiz linyitleri ile “Entegre Kömür Gazlaştırma Kombine Çevrim Santralleri” tasarımı yapılırken düşük kaliteli linyitlerin gazlaştırılabilmesi için ön işlem olarak linyitin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin gazlaştırma ünitesinin dizayn değerine kadar kurutma ve zenginleştirme işlemine tabi tutulması gerekecektir. Zenginleştirme ve kurutma işlemleri pratik uygulamada işletmeye ilave kurutma ve lavar tesisleri kurularak yapılmaktadır. Özellikler yüksek nem içeriği Türkiye linyitlerinin yaklaşık olarak %70 lik kısmını yansıttığı için dizaynde referans alınan seyitömer linyitlerinin gazlaştırılmasında önlem alınması gereken bir durumdur.

Dizayn değerleri bizim tasarladığımız sistem değerlerine yakın olan kömür kurutma prosesine RWE firmasının kurutma prosesini örnek olarak verebiliriz. RWE firmasının kurutma prosesinde ocaktan çıkartılarak paçallanan kömür, kurutma tesisine alınmadan önce 0-80 mm olacak şekilde kırma eleme tesislerinde işlenir. Daha sonra kurutma ünitesinde tekrar kırma ve elemeyden geçirilerek belirli tane iriliğine kadar küçültülür (bu proses için 0-20 mm), daha sonra ön ısıtması yapılarak kurutma ünitesine sevk edilir. Kurutma ünitesinde prosesin bir bölümünden alınan belirli sıcaklık ve basınçtaki buhar ile kurutması yapılarak gazlaştırma ünitesine verilebilecek hale gelir.



Şekil 5.3. RWE firmasının kurutma tesisi proses şeması 1.

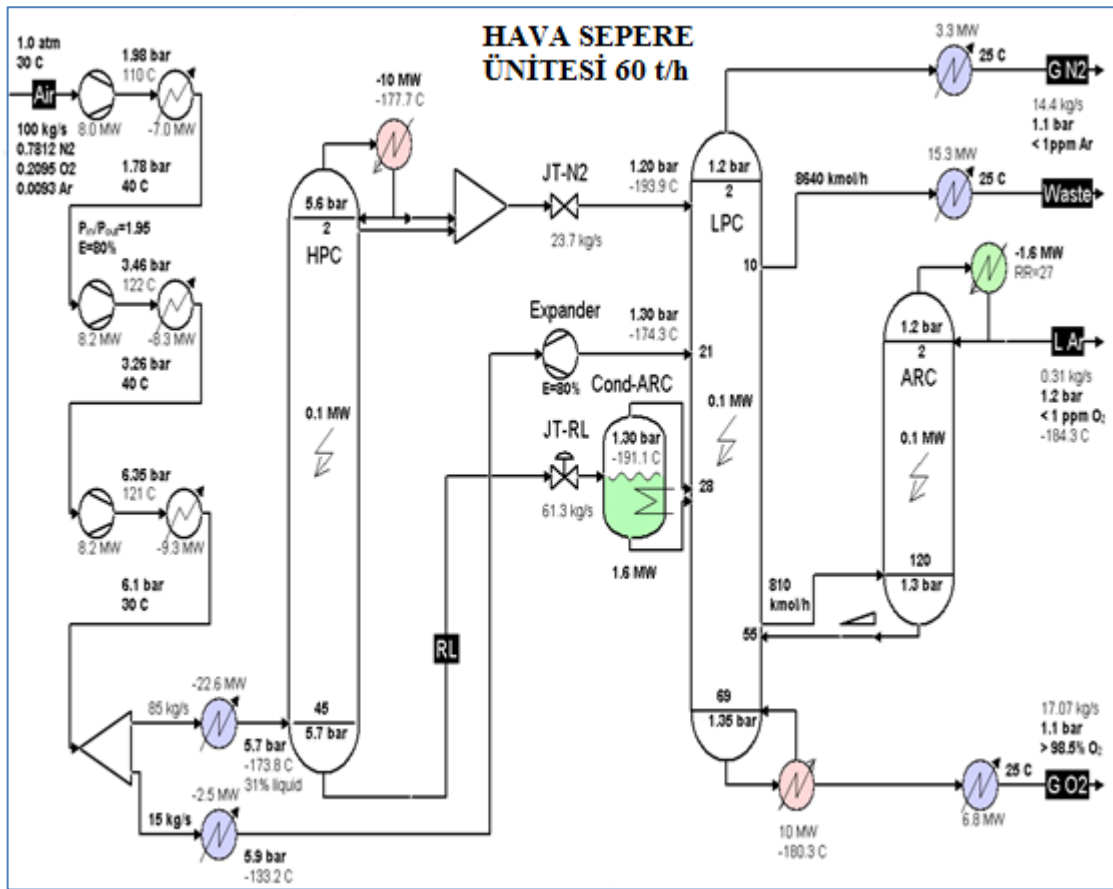


Şekil 5.4. RWE firması kurutma tesisi genel akış şeması 2.

5.2.2. Hava separe ünitesi (ASU)

Mevcut hava bir gaz karışımıdır ve bilindiği kadarıyla oksijen gazını elde edecek başka kaynaktan yoktur. Atmosferdeki hava içerisinde % 78 azot, % 21 oksijen ve % 0,9 argon gazı içerir. Geriye kalan % 0,1 kısmı ise xenon, neon, hidrojen, helyum, karbondioksit oluşturmaktadır. Bütün bu gazların kaynama noktaları farklıdır. Gazların bu özelliğinden hareketle, hava, öncelikle özel yöntemlerle sıkıştırılarak buhar, toz ve karbondioksitten temizlenir. Daha sonra ileri derecede soğutulur (-195 °C) ve daha da sıkıştırılarak sıvı hale gelen

hava damıtmaya veya özel malzemelerin yüzüne çarptırılarak kaynama noktalarını farklılığından dolayı gazlar ayrışmaya başlar önce oksijen, daha sonra azot ve daha sonra da argon gazı ayrışır. Böylelikle gazlaştırma ünitesi için gerekli olan oksijen havadan bir gaz separe ünitesi aracılığı ile sağlanmış olur. 60 t/h kapasiteli bir oksijen üretim tesisinin örneği şekil 5.5’de verilmiştir. Gazlaştırma ünitelerinin kurulum maliyetlerinin %15 kısmını hava separe üniteleri oluşturmaktadır.



Şekil 5.5. Hava separe ünitesi örneği (<http://www.chemsep.org>).

5.2.3. Gazlaştırma ünitesi

Sistemin ilk aşaması yakıt hazırlama ünitesidir. Ocaktan çıkarılan kömür uygun paçallama yapılarak kırıcılar yardımıyla uygun partikül boyutuna ve kalorifik değere getirilir. Gerekli görüldüğü takdirde sıcak hava ile gazlaştırma odasına girmeden önce kurutma işlemine tabi tutulur. Gazlaştırma reaktörü, termo-kimyasal reaksiyonun gerçekleştiği alandır ve sentez gazı burada oluşur. Yakıt reaktöre püskürtülür ve ilk olarak yanma gerçekleşir. Devam eden süreçte hava pompalanması kontrol edilerek ortamdaki oksijen miktarı dengelenir ve yanma

reaksiyonu gazlaşma reaksiyonları ile bir arada gerçekleşir. Gazlaştırıcı tipine göre sıcaklık bu ortamda oksijen yardımıyla kontrol altında tutulur ve yaklaşık 800 – 1300 °C de sabitlenir. Yüksek sıcaklığın etkisiyle moleküler bağlar çözülür ve sentez gazı oluşur. Sentetik gazın içeriği yüksek oranda hidrojen ve karbonmonoksitten oluşurken az miktarda diğer gazları içerir. Sentez gazı, gaz temizleyiciler yardımıyla zararlı olabilecek gazlardan temizlenir ve gaz motoru veya türbini yardımıyla yakılarak elektrik enerjisine enerjiye dönüştürülür. Gazlaştırma ünitesinde meydana gelen yanma reaksiyonlarının sonucu olarak açığa çıkan ısı gazlaştırma reaksiyonları için gereklidir. Gazlaştırma reaksiyonları yüksek sıcaklıkta meydana geldiği için reaktörü terk eden gaz hala yüksek sıcaklıktadır. Bu gaz sistem verimini artırmak için suyun ısıtılmasında kullanılmaktadır. Sentez gazının yanmasından elde edilen enerji elektriğe dönüştürülür ve şebekeye aktarılırken gaz türbininde iş görmüş atık ısı da kazan yardımıyla buhar türbinlerinden elektrik üretmek için kullanılır. Eğer 100 MW üzeri güçlerde elektrik üretimi gerçekleştirmek istenirse basınçlı yöntemlerle gazlaştırma yapmak daha uygundur.

5.2.4. Gaz temizleme ünitesi

Gazlaştırma ünitesinde üretilen sentez gazı içerisinde katran, toz, amonyak ve kükürt vb. gibi istenmeyen bileşenler içerir. İstenmeyen bileşenleri sentez gazından ayırmak için çeşitli teknolojiler mevcuttur. Uygulamada gazlaştırıcı ile gaz temizleme teknolojileri entegre sistemler olarak kabul edilirler. Gaz temizleme şartları gazın kullanılacağı yere göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin sentez gazının içerisindeki partikül miktarı gaz motorları için 50 mg / Nm³, türbinler için 15 mg / Nm³ olması istenmektedir . Basit bir gaz temizleme ünitesi siklon filtre, bariyerli filtre, elektro filtre ve ıslak tip gaz temizleme sistemlerinden oluşur. Siklonlu filtrelerde gaz, dairesel bir yol içerisinde geçirek santrüfj kuvvetlerin etkisi ile gaz içerisindeki katı partiküllerin tutulduğu ilk ekipmanlardır. Katı partiküllerin ataletinden dolayı gaz ile aynı yolu takip etmesi imkansızdır ve bu yöntemle gaz katı partiküllerinden arındırılır. Fiziksel olarak açıklanması karmaşık olsada yüksek performansları ve düşük maliyetleri nedeni ile siklonlu filtreler katı partiküllerin ayrıştırılmasında uzun yıllardır ilk gaz temizleme adımı olarak kullanılmaktadırlar. Siklonlu filtreler yüksek sıcaklıklarda çalıştırıldıklarında üretilen gazın yüksek sıcaklığını muhafaza etmesini sağlayabilirler. Ayrıca siklonlu filtreler gazın içerisinde buhar halindeki katran ve alkali partiküllerin haricindeki yoğunlaşmış olanlarını temizlenmesinde yardımcı olurlar. Gaz içerisinde az miktarda kalan katran ve alkaliler yoğunlaşarak ayrıştırılır.

Diğer bir gaz temizleme aracı olan bariyerli filtrelerde bir dizi gözenekli malzemenin içerisinde gazın geçirilmesi ile gaz içerisindeki daha küçük partiküllerin tutulması

sağlanmıştır. Bu yöntemle 05-100 µm çapındaki partiküller tutulur. Bariyerli filtrelerde gözenek çapları ile oynanarak daha büyük veya daha küçük partiküllerin tutulması mümkün olmaktadır. Ancak gözenek boyutu küçükdükçe filtre boyunca basınç farkı artar. Büyük gaz hacimleri gereken gazlaştırıcılarda teknik ve ekonomik yönden partikül oranı 5 µm olarak sınırlandırılmıştır. Bariyerli filtreler gazın akışına aksi yönde gaz verilerek temizlenirler. Bariyerli filtreler partikül yükünü hafifletmek için genellikle siklonlu filtrelerden sonra kullanılırlar. Katı partiküllerin tutulmasında etkin olmalarına rağmen ıslak ve yapışkan parçaçıkların tutulması pek istenmez. Sert bariyerli filtreler gazın sıcaklığını koruyarak temiz bir yakıt gazı üretmek için iyi fırsatlar sunarlar. Büyük ölçekli gazlaştırma sistemlerinde gazın ayrıştırılmasında sert bariyerli sistemler tercih edilmektedir. Büyük ölçekli sistemlerde metalik bariyerli filtreler kullanılması halinde metalin sinterlenmesini önlemek için gazın bir miktar soğutulması gerekebilir. Bunun yanında metalik filtreler korozyona karşı duyarlıdır. Seramik filtreler ise yüksek sıcaklıklarda çalışabilir ancak termak şoklar bu filtrelerin kırılmasına sebep olabilir.

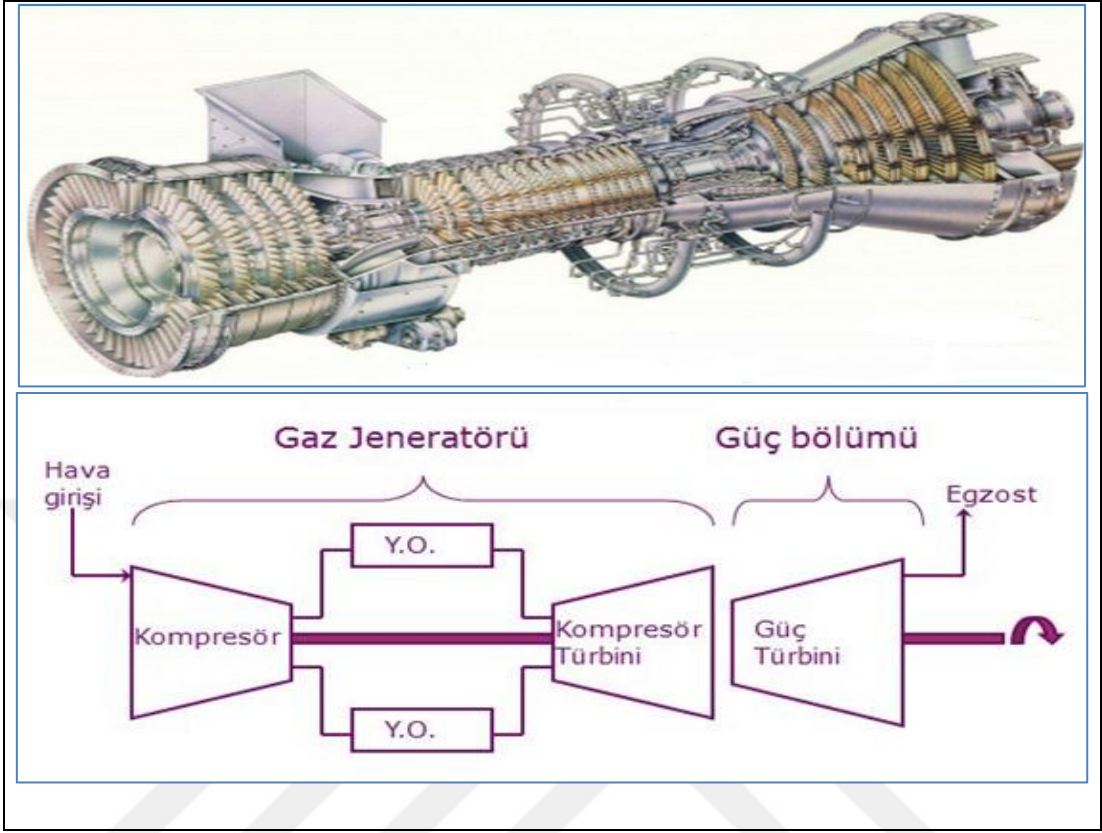
Dokunmuş torba filtreler temas ve elektrostatik çekim ile küçük toz partiküllerinin tutulduğu filtrelerdir. Küçük partiküllerin tutulmasında bile yüksek verimliliğe sahip filtrelerdir. Genellikle 350 °C sıcaklığa kadar çalışacak şekilde uygun malzeme ile dokunurlar. Bu filtreler farklı türdeki partiküllerin tutulması için denenmiş ve başarılı olmuş filtrelerdir. Ancak biyokütle içerikli partiküllerin tutulması için denenmemiştir. Gazlaştırma sistemlerinde sıcak gazı bu filtrelerden geçirmeden önce soğutmak gereklidir. Bu tip filtrelerde gazın içerisinde katran varlığı büyük sorunlara yol açabilir bunun için ön işlemlerde gaz katrandan arındırılmış olması gereklidir. Torba filtre kullanılması büyük ve orta ölçekli gazlaştırma tesislerinde önerilmektedir. Buhar santralinde ve gaz türbinlerinden oluşan güç santrallerinde gaz 300 °C'ye kadar soğutularak türbinden geçirilir. Paket halinde yataklanmış filtrelerde torba filtre olarak değerlendirilebilir. Bu tip sistemlerde seramik ve talaş parçalarından oluşan yatak boyunca gaz geçirilerek temizlenir (Rezaiyan vd., 2005).

Elektro filtreler birçok gaz temizleme sisteminde kullanılmaktadır. Bu sistemde gaz yüksek voltajlı elektronların arasından geçerken elektrik yüklenir ve toplama elektrotlarına yönelir buralarda toplanan partiküller silkenlenerek veya kendi cazibesi ile toplama bunkerinde toplanır böylelikle temizleme işlemi gerçekleşmiş olur. Kuru sistemler mekanik aksiyonlar ile gaz temizleme prensibine dayalı sistemlerdir ve 500 °C sıcaklıklara kadar kullanılabilir. Islak gaz temizleme sistemleri ise 60 °C sıcaklıkta gazın su ile yıkanması prensibine dayanır.

Su kullanılarak uygulanan gaz temizleme işleminde su nozullar yardımı ile püskürtülür ve damla ayırıcılar sayesinde damla şeklinde aşağıya düşerken gaz bu damlacıklarla temas ederek temizlenmesi prensibi ile çalışmaktadır.

5.2.5. Gaz türbinleri

Gaz türbini, kompresör ile havanın sıkıştırıldığı, sıkıştırılmış hava ile yakıtın yanma odasında yakılarak sıcak gazın üretildiği ve bu gazın türbinde genişlemesi sağlanarak iş elde edildiği içten yanmalı bir makinedir. Gaz türbinlerinin diğer içten yanmalı motorlara nazaran en önemli üstünlüğü dönme hareketini aktarma parçaları kullanmadan sağlamasıdır. Bu yüzden diğer içten yanmalı motorlara nazaran daha yüksek hız değerlerine ulaşabilmektedir. Bu sebepten dolayıdır ki gaz türbinlerinin verim değerleri diğer içten yanmalı motorlara göre daha yüksektir. Gaz türbinlerinin elektrik üretiminde kullanıldığı uygulamalarda tek başlarına verimleri oldukça düşük olmasına rağmen atık gazın sıcaklığından faydalanılarak üretim gerçekleştiren buhar türbinleri ile birlikte kullanıldığında verimleri oldukça artmaktadır. Büyük hacim kaplayan ve ağır buhar türbini tesislerine göre gaz türbinlerinin yapısı basittir. Basitlik ve göreceli olarak hafiflik gaz türbinlerinin en büyük avantajıdır. Gaz türbinleri bir ünite olarak güç dönüşümü yaptıklarından türbine gaz sevkeden diğer elemanlarla birlikte komple değerlendirilir. Gaz türbinleri kompresör, yanma odası ve türbin olmak üzere üç ana donanımdan oluşmaktadır. Kompresör yanma için gerekli olan havayı belirli basınç değerine getirene kadar sıkıştırarak yanma odasına gönderir. Gaz türbinlerinde eksenal ve radyal olmak üzere iki tip kompresör kullanılmaktadır. Radyal olanların verimleri 0,78 - 0,82 arasında, eksensel akışlı olanları ise 0,82 - 0,87 civarındadır. Radyal tip kompresörlerde hava, merkez kısımda alınarak yarıçap doğrultusunda, basıncı ve hızı büyüyerek hareket eder. Hız oldukça büyür, daha sonra hız düşürülerek basınç yükseltilir. Eksenal akışlı kompresörler ise, arka arkaya sıralanan sabit ve hareketli kanatlardan meydana gelir. Hareketliler havaya enerji verirken, sabitler hızı basınca çevirir. Aynı zamanda havayı rotora uygun açı ile iletirler. Bir türbin pekçok kanadın bir araya getirilerek oluşturulan kademelerden ibaret olup, bunların her birinde rotor (dönen parça) ve stator (sabit parça) mevcuttur. Genellikle 6-7 kademeli olurlar. Yanma odasında hava ile buraya verilen yakıt karışımı yakılarak belirli bir yol üzerinden iş görmek üzere türbine gönderilir. Türbinler kompresörlere göre daha basittirler. İç verimleri 0,87-0,90 arasındadır. Türbinde gaz genişler ve kanallar arasında hızlanır. Akış sırasında doğacak türbilans, verimi düşürür. Genel olarak türbinler eksensel akışlı olup, merkezsiz olanları nadirdir. Kompresörlerde açıklanan benzer fayda ve mahzurlar burada geçerlidir.



Şekil 5.6. Gaz türbini ve çevrim şeması.

6. ENTEGRE GAZLAŞTIRMA KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİ TASARI VE OPTİMİZASYONU

Doğalgaz gibi kullanılabilir daha verimli ve çevre üzerinde daha az zararlı etkileri olan bir elektrik üretiminin gerçekleştirilmesi için ülkemiz linyitlerinin büyük kısmı için referans olacak Seyitömer havzasının düşük kaliteli linyitlerinin yakıt olarak kullanıldığı Entegre Kombine Çevrim Santrali (IGCC), EBSILON programı kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde gazlaştırma ünitesinde gerçekleşen zincirleme reaksiyonların sonucu olarak sentez gazı üretilir. Üretilen gaz, gaz türbininde yakılarak elektrik enerjisine dönüşür. Daha sonra gaz türbininden çıkan çürük gazın sıcaklığından faydalanılarak üretilen buharla ikincil bir elektrik üretimi daha gerçekleştirilir.

Sistem tasarımı yapılmadan önce ülkemiz ve bölgemizdeki mevcut durum iyi analiz edilmelidir. Daha sonra ülkemiz linyitlerini analizi yapılarak uygun özelliklerdeki numuneler belirlenmelidir. Bunun sonucu olarak modelimize doğru veri girişi ile doğru sonuçlar alınacaktır. Bunu için ilk olarak ülkemizde linyit kullanımındaki sorunlar incelenmiştir.

6.1. Ülkemiz Linyit Kullanımı ve Kullanımdaki Sorunlar

Ülkemizde düşük kaliteli linyitlerden elektrik üretimi yanma teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Düşük kaliteli linyitlerin elektrik üretimindeki payı % 11'ler civarındadır (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2007). Yanma teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilerek elektrik üretiminde yakma sistemi kaynaklı kayıplar önemli bir yere sahiptir. Bunlardan önemlileri aşağıda özetlenmiştir;

- Baca gazı sıcaklığı, hava karışımı, yakıt ترکیbi ile buhar kazanı bozulma seviyelerine bağlı olarak gerçekleşen atık proses gazı yoluyla ortaya çıkan kayıplar,
- Tam yanmanın olmamasına bağlı olarak baca gazında CO ve hidrokarbon oluşumuna bağlı kayıplar,
- Kül ve cürufunda bulunan yanmamış karbon kayıpları ile kül ve cürufun bünyesinde taşıdığı kayıplar,
- İzolasyon kayıplar termik verimi etkileyen buhar kazanı kaynaklı kayıpların en önemlileridir.

Isı kayıpları yanma verimini düşürürken çevreye olan zararlı etkileride arttırmaktadır. Toz emisyonları, sera gazı salımları, küresel ısınmaya olan etkileri yanma teknolojisine dayalı

olarak gerçekleştirilen elektrik üretiminin olumsuz yönleridir. Ülkemizdeki linyit kullanımı ve kullanımındaki sorunlarını daha iyi analiz edebilmek için örnek bir santral üzerinden değerlendirme yapmak daha doğru olacaktır.

Seyitömer ve civar bölgesi 1500 - 2000 kcal/kg düşük kalorifik değere sahip, içerisinde % 30 - 40 kül ve % 25 - 40 neme sahip düşük kaliteli linyit rezervleri mevcuttur. Bu bölgede düşük kaliteli linyitlerin değerlendirilmesi amacı ile 4X150 MW Kurulu gücünde Seyitömer termik santrali faaliyet göstermektedir. Santralin 1. ve 2. üniteleri sırası ile 1973 ve 1974 yıllarında 3. Ünitesi 1978 yılında 4. Ünitesi ise 1989 yılında üretime başlamıştır. Termik santralde kullanılan kazanlar pülverize kömür yakan, tabi sirkülasyonlu, domlu tipte imal edilmiştir. Toz tutma sistemleri mevcuttur ancak baca gazı arıtma sistemleri mevcut değildir. Santralin termik verimi % 33'ler civarındadır. 1970'lerin teknolojisi ile kurulmuş bir santral olup yanma kaynaklı verim düşüklüğünün sebepleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.1. Seyitömer Termik Santrali dizayn değerleri.

KÖMÜR (Kütlese %)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Karbon (C)	Hidrojen (H)	Oksijen (O)	Nitrojen (N)	Kükürt (S)	Kül	Su İçeriği
252	1750	20,8	1,7	9,1	0,4	1	32	35
HAVA (Kütlese % , TAZE HAVA FANI)								
Debi (m ³ /h)	Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Azot (N)	Oksijen (O ₂)	Karbon dioksit (CO ₂)	Argon (Ar)	-
600.000		1	15	75,52	23,14	0,05	1,29	
ELEKTRİK ÜRETİM VE TÜKETİM DEĞERLERİ (MW)								
Gaz Türbini (MW)			Buhar Türbini (MW)		Tüketilen Güç		Termik Verim %	
—			150		13		33	
BACA GAZI DEĞERLERİ (Kütlese % , Türbin Girişi)								
Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Oksijen (O ₂)	NO _x	CO	Toz	SO ₂	
	1,013	130	9,41	8,83	8,23	54,71	18,82	

Seyitömer havzası kömürü düşük kalori değeri, yüksek nem ve kül oranı ile düşük kaliteli oluşumunu tamamlamamış genç kömürler kategorisindedir. Kalori, nem ve kül miktarı kömürün çıkartıldığı ocağın ocağa farklılık göstermektedir. Bu durum yakıt olarak kömürün

kullanıldığı, tasarım değerleri belli olan mevcut elektrik üretim santralinin için büyük sorun teşkil etmektedir. Sorunlar kömürün taşınması, elenmesi ve öğütülmesi sırasında tıkanma ve sarmalar meydana getirerek başlamakta olup kazanda yakılması sırasında devam etmektedir. Yüksek nem ve kül içeriğine sahip kömür direk olarak santrale verilmesi ve orada yakılması halinde yanma odasının kararlılığını bozulmaktadır. Buda birçok işletme problemine sebep olmaktadır. Bunu durum bilindiğinden kömür ilk olarak linyit işletmelerinin işletme sahasında daha sonra ise termik santralin park sahalarında olmak üzere iki kez paçallama yapılarak pülverize yakma sisteminin kararlılığı sağlanmaya çalışılmaktadır. Modellemiş olduğumuz sistem içinde pülverize yakma sistemlerinde olduğu gibi kömürün beslenmesinde kimyasal ve fiziksel özelliklerinin kararlılığının korunması önemlidir.

Seyitömer termik santrali bulunduğu bölgenin düşük kaliteli linyitleri ile işletilmekte olup işletilmesi sırasında karşılaşılan problemler şunlardır;

Neme Bağlı Problemler:

- Kömürün konveyör bantlarla taşınması sırasında konveyör bant sistemi dökülüş boğazlarında kesit daralmaları oluşmaktadır. Bu durum iş gücü kayıplarına ve park sahalarında kapasitenin altında kömür depolanmasına sebep olmaktadır.
- Değirmenler pülverize sistemlerde kömürün toz haline getirilerek kurutulduğu ve kazana belirli basınçta ve sıcaklıkta püskürtüldüğü yerlerdir. Yüksek nem değirmenlerin öğütme kapasitelerini düşürmekte, kömürün kazana belirli basınç ve sıcaklıkta gönderilmesinde kararsızlıklara sebep olmaktadır.
- Neme bağlı olarak, kazanın kömürle beslenmesindeki kararsızlıklar yanma odasında sıcaklık dalgalanmalarına sebep olmakta buda termal şokları ve boru patlaklarını tetiklemekte dolayısı ile üretim kayıplarına sebep olmaktadır.
- Nemli kömür içerisinde nem oranınca su barındıran kömürdür. Bu nemin yanma öncesinde ve yanma sırasında ortamdaki uzaklaştırılması gerekmekte olup buda buhar fazı ile gerçekleşmektedir. Bir ünite de saatte 250 ton/h kömür beslemesi yapıldığında, bu kömürün %37 nem ihtiva etmesi halinde kömür ile birlikte yaklaşık 90 ton/h suyun kazana verilmesi söz konusu olacaktır. Bu suyun kazandan uzaklaştırılması buhar fazında gerçekleşmekte ve bununla birlikte üretilen enerjinin bir kısmının atık ısı olarak ortama verilmesi söz konusudur.

Bunun için nemin düşürülmesi verim artışına sebep olacaktır.

Yanma Odası Problemleri:

Yanma odasında pülverize kömürün kalma süresi çok uzun sürelere ulaşmadığı için verimli bir yanmanın sağlanması amacıyla yanma odası sıcaklığı yüksek tutulmakta buda bir takım sorunları beraberinde getirmektedir.

- Yanma odası sıcaklığına ve kömürün tane iriliğine bağlı olarak kömürün yanma odasında fazla kalamaması kazanda yanmamış karbon miktarını artırmaktadır.
- Yanma odası sıcaklığının yüksek olması sera gazı salım oranlarını arttırmaktadır.
- Yanma odası sıcaklığının yüksek olması kazanda ve değirmen gaz kanallarında cürufanmalara sebep olmakta buda kazanda boru patlaklarına ve değirmen gaz kanallarının tıkanmasına sebep olmakta dolayısı ile üretim kayıpları meydana gelmektedir.
- Ayrıca cürufun kazan boru demetlerinin üzerinde birikmesi sonucu yalıtım görevi görmektedir ve kazanda oluşan ısı yeteri derecede buhara aktarılamamaktadır. Bu da termal verim kayıplarına sebep olmaktadır.

Soğutma Suyu Problemleri:

- Seyitömer Termik santralinde ıslak tip fanlı soğutma kuleleri kullanılmakta olup atmosfere ortalama 1000 ton/h su soğutma kulelerinden salınmaktadır. Buda özellikle kuraklığın yaşandığı yaz aylarında santralin önünde aşılması gereken problemlerin en başında gelmektedir.
- Sistemde kullanılan su direk olarak kullanılmayıp belirli şartlandırma aşamalarından geçirilerek sisteme verilmiş olması işletme maliyetlerini artırmaktadır.

6.2. EBSILON Programı Tanıtımı

“EBSILON Professional” termodinamik çevrim süreçlerinin tasarlanıp, planlanması ve sistem optimizasyonun yapılması için geliştirilmiş bir mühendislik programıdır. Büyük yatırım gerektiren sistem tasarımlarında doğru planlama projenin uygulanabilirliği ve başarıya ulaşması için önemli bir faktördür. Proje başlangıç aşamasında sistem gereksinimleri doğru şekilde belirlenmeli ve projenin uygulanabilirliği görülmelidir. “EBSILON Professional” programı ile fizibilite çalışmalarının yapılmaya başlandığı tarihten proje detaylarının oluşturulduğu tarihe kadar geçen süreçte mühendislik hizmetleri desteklenmektedir. Program termodinamik çevrim

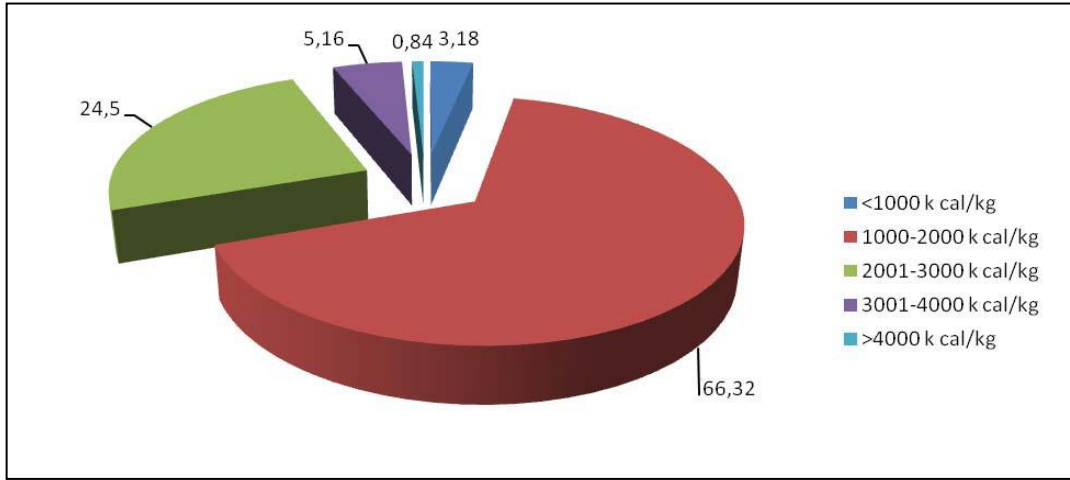
tasarımında esnek çözümler sunmakla birlikte farklı tipte üretilen çözümlere kıyaslama imkânı sağlamaktadır.

EBSILON programı ile

- Sistemin model simülasyonunu yapılarak gereksinimler önceden belirlenerek maksimum faydalanıla bilirlilik sağlanmış olur.
- Modele özgü parametreler tanımlayarak uygulama projesinin optimizasyonu yapılabilir. Performans değerleri görülebilir.
- Sisteme yeni ilave edilen bir ekipmanın işleyişinin simülasyonu yapılarak ekipmanın performansı hakkında önceden bilgi sahibi olunabilir.
- Sistemin farklı yüklerdeki işletme şartları, sistemin sebep olduğu çevre koşullarındaki değişiklik ve farklı ekipmanların atık miktarları hesaplanabilir.

6.3. Gazlaştırma Ünitesinde Kullanılacak Yakıt Özellikleri

Tasarlamış olduğumuz entegre gazlaştırma kombine çevrim santralinden doğru sonuçlar alınması ülkemiz kömürlerinin iyi analiz edilerek modelimize doğru veri girişine bağlıdır. Türkiye’de linyitlerin ısı değerleri düşüktür. Jeolojik yaş ile ilgili olan bu hususun tüketimde doğurduğu önemli teknik sorunlar bulunmaktadır. Türkiye’de mevcut linyitlerin ısı değerinin düşüklüğünün yanında yüksek nem ve kül içermeleri de tüketimde sorunlar doğurmaktadır. Ülkemiz linyit rezervlerinin kalorifik değeri standartta verilen değer altındadır. Mevcut linyit rezervlerimizin kalorifik değeri 1000 kcal/kg ile 4200 kcal/kg arasında değişiklik göstermektedir (TKİ, 2010). Linyitlerimizin % 66,32’ lik kısmı ise 1000-2000 kcal/kg arasındadır. 1000-3000 kcal/kg aralığında tasarlanacak bir model tasarımı Türkiye linyitlerinin % 90,82’lik bir kısmına hitap edecektir.

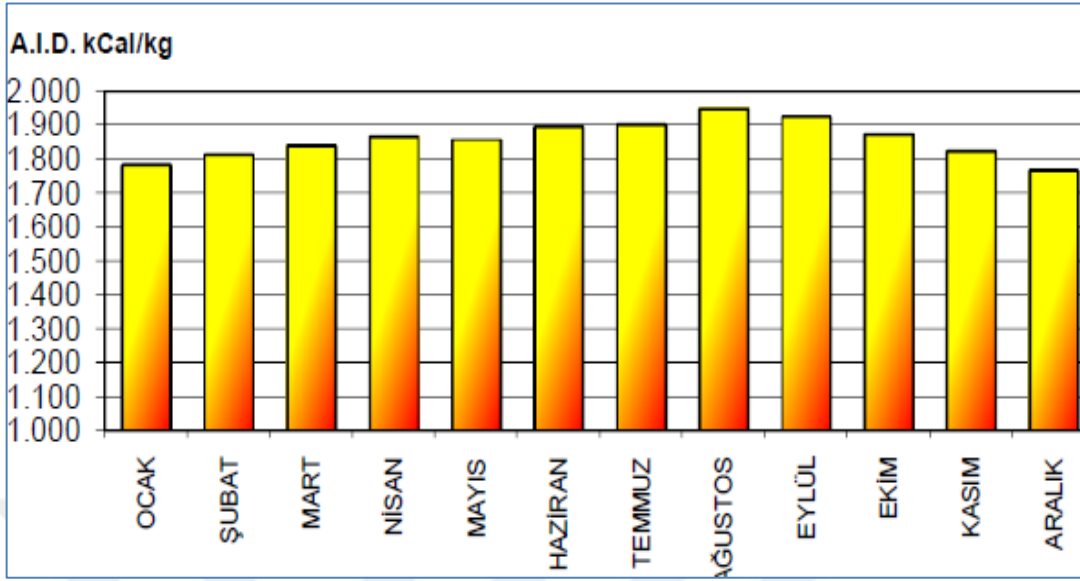


Şekil 6.1. Türkiye linyitleri kalorifik dağılımı (TKİ, 2010).

Numune kömür seçiminde ülkemiz linyitlerinin genel özelliklerine en yakın özellikteki linyit havzası kömürü seçilmiştir. Yapılan incelemede bu tanıma en yakın kömürün Seyitömer havzasında olduğu tespit edilmiş olup numune olarak Seyitömer kömürü alınmıştır. Daha sonra bu kömür üzerinden Türkiye genelmesi yapılmıştır.

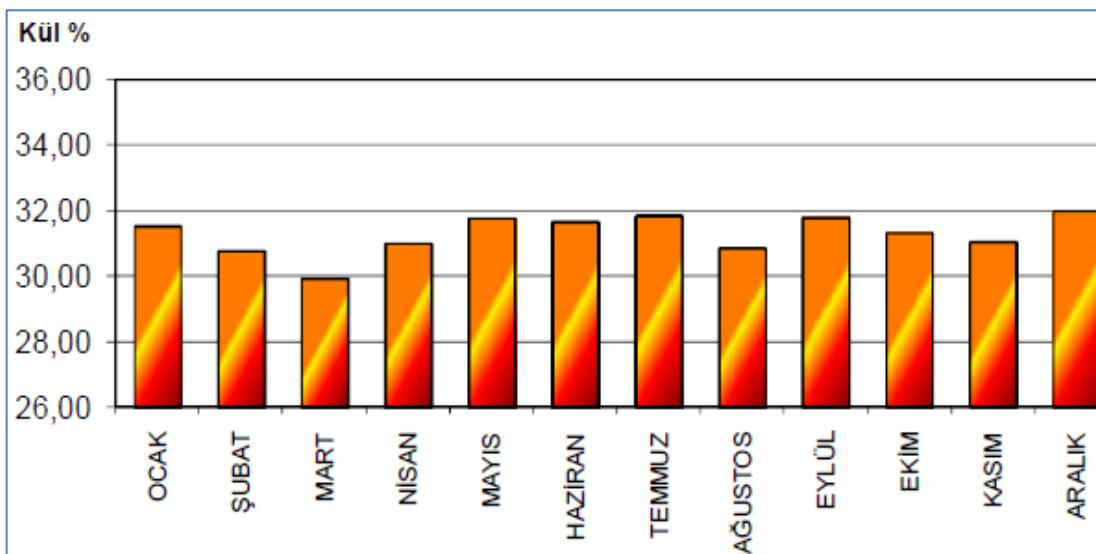
Gazlaştırma ünitesinde yakıt olarak kullanılacak Seyitömer havzasından çıkartılan kömürün ocaktaki yakıt yelpazesi aşağıdaki sınır şartlarla karakterizedir ve veriler 2012 yılı öncesinde santralin kamu tarafından işletildiği döneme aittir. Santralin 2012 yılı özelleştirme öncesi işletilmesi sırasında kömür işletmeleri ile yapılan protokol gereği kömür numuneleri vardiya bazında alınmakta ve analizleri yapılarak ödemeler bu değerlere istinaden yapılmaktaydı. Kömür değerleri ödemeye esas ön koşul olduğundan analizden iki tarafın nezaretinde ve titizlikle yapılmıştır.

- Alt kalori değeri	:	1400-2400 kcal/k
- Kül içeriği	:	% 30-50
- Su içeriği	:	% 30-40
- Yanmayan bileşenler (maksimum)	:	% 60-80
- Silex (maks.) (Silikat, çakmak taşı)	:	% 7



Şekil 6.2. 2012 yılı Seyitömer Termik Santralinde yakılan kömür alt ısıl değeri.

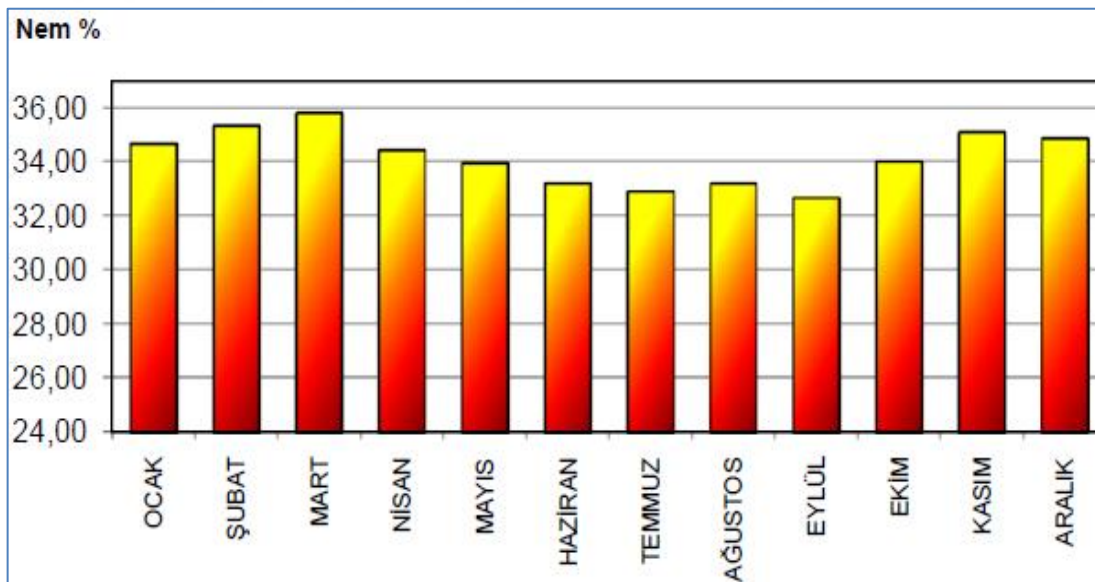
Şekil 6.2’de 2012 yılı içerisinde Seyitömer Termik Santralinde yakılan kömürün 1 yıllık alt ısıl değeri grafik halinde verilmiştir. Grafik incelendiğinde Seyitömer Termik Santralinde yakılan kömür farklı zaman dilimleri arasında işletme şartları ve çıkarıldığı ocak değişimi neticesi olarak farklılık göstermekle birlikte ortalama olarak 1800 ± 50 kcal/kg’lık kömür ile beslenmiş ve kömürün kalorilik olarak kararlılığı sağlanmıştır. Bu durum gazlaştırma ünitesinin kömür besleme sisteminde de kararlı bir besleme yapılabileceğini göstermektedir.



Şekil 6.3. 2012 yılı Seyitömer Termik Santralinde yakılan kömür kül içeriği değeri.

Şekil 6.3’de 2012 yılı içerisinde Seyitömer Termik Santralinde yakılan kömürün 1 yıllık kül içeriği yüzdelik olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde Seyitömer havzasındaki kömürün kül içeriği farklı zaman dilimleri arasında %2’lik bir değişim göstermiştir. Bu değişimin sebebi kömürün farklı ocaklardan beslenmesidir. Kömürün kül miktarındaki değişim gazlaştırma ünitesinin verimini etkileyecek önemli etkenlerden biridir. Gazlaştırma sonrası gazın temizlenmesi aşamasında gaz içerisindeki kül miktarının bakım ve işletme maliyetlerini üzerindeki etkisi büyüktür. Özellikle Seyitömer kömürünün aşındırıcı özelliği de düşünüldüğünde burum mevcut santralde olduğu gibi gazlaştırma sonrası gaz temizleme aşamasında çözülmesi gereken en önemli sorunlar arasında olacaktır.

Şekil 6.4’de 2012 Yılı Seyitömer Termik Santralinde yakılan kömür nem içeriği yüzdelik olarak verilmiştir. Kömürün nem içeriği ortam şartlarına bağlı olarak değişmektedir. 2012 yılı içerisinde seyitömer havzası kömürü nem oranı mevsimsel ortam şartlarına bağlı olarak %3 lük bir değişim göstermiştir. Nem oranı mevsimsel olarak değişiklik gösterse de her mevsim %32’lik değerin üzerinde kalmıştır. Yaz aylarında bile kömürün nem miktarının yüksek değerlerde olması seyitömer havza kömürünün yüksek nem miktarı içerdiğini göstermektedir.



Şekil 6.4. 2012 yılı Seyitömer Termik Santralinde yakılan kömür nem içeriği değeri.

Şekil 6.2-4 arasında verilen kömürün kullanıldığı pülverize yakma sistemi dizayn değerleri çizelge 6.1 de verilmiştir. Modellemiş olduğumuz gazlaştırma ünitesinde yakıt olarak kullanılması planlanan linyit kömürü yüksek kül ve su içeriği ile dikkat çekmektedir. Yüksek

kül içeriği maksimum yakıt verimini sınırlandırmakta ve yüksek aşınmaya neden olmaktadır. Düşük karbon, yüksek nem oranı Seyitömer kömürünün gazlaştırılabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum gazlaştırma verimin artırılması ve dünya standartlarına getirilmesi için mevcut kömürün bir takım ön işlemden geçirilerek gazlaştırma ünitesine verilmesini gerektirecektir. Kömürün kurutulması ve yıkanması işlemleri kömürün kimyasal ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde birçok ülke tarafından uygulanan yöntemlerdir. Bu yöntemler kullanılarak kömür özellikleri iyileştirilebilir.

Çizelge 6-2' de modelimizde kullanılacak Seyitömer kömürü için hazırlanan elementer analiz değerleri verilmiştir. Bu değerler ocaktan çıkartılan ve içerisinde birçok farklı maddeyi içerisinde barındıran ve hiçbir işlem görmemiş kömür özellikleridir. Bu kömür özellikleri eleme ve ayıklama gibi bir dizi ön işleme iyileştirilebilir. EBSILON programı kullanılarak modellenen Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Santralinde de bu yakıt değerleri kullanılacaktır.

Çizelge 6.2. Seyitömer kömürü için hazırlanan sınıflandırma (Peter ve Gerlach 2010).

Yakıt Numarası		Tip 1	Tip 2	Tip 3
Yakıt adı	Birim	SK En kötü yakıt	GK Garanti yakıt	BK En iyi yakıt
C	%-Ma	20	23	26
H	%-Ma	2	2,3	2,6
O	%-Ma	8	9,5	11
N	%-Ma	0,6	0,8	1
S	%-Ma	0,9	1,3	1,7
Kül	%-Ma	32	32	32
Nem miktarı	%-Ma	36,5	31,1	25,7
Hu (Alt kalorifik değer)	kcal/kg	1718	2035	2355

Çizelge 6.3. Kullanılan yakıt elementer analiz değerleri.

YAKIT DEĞERLERİ								
	Kalori (kcal/kg)	Karbon (C)	Hidrojen (H)	Oksijen (O)	Nitrojen (N)	Kükürt (S)	Kül	Su İçeriği
Seyitömer Tip-1	1717,4	20	2	8	0,6	0,9	32	36,5
Seyitömer Tip-2	2035,9	23	2,3	9,5	0,8	1,3	32	31,1
Seyitömer Tip-3	2354,3	26	2,6	11	1	1,7	32	25,7
Türkiye Geneli Tip-1	1367	17	2	9	0,8	1,3	19,9	50
Türkiye Geneli Tip-2	2905,6	33,7	2,4	11,3	1	1,7	24,3	25,7

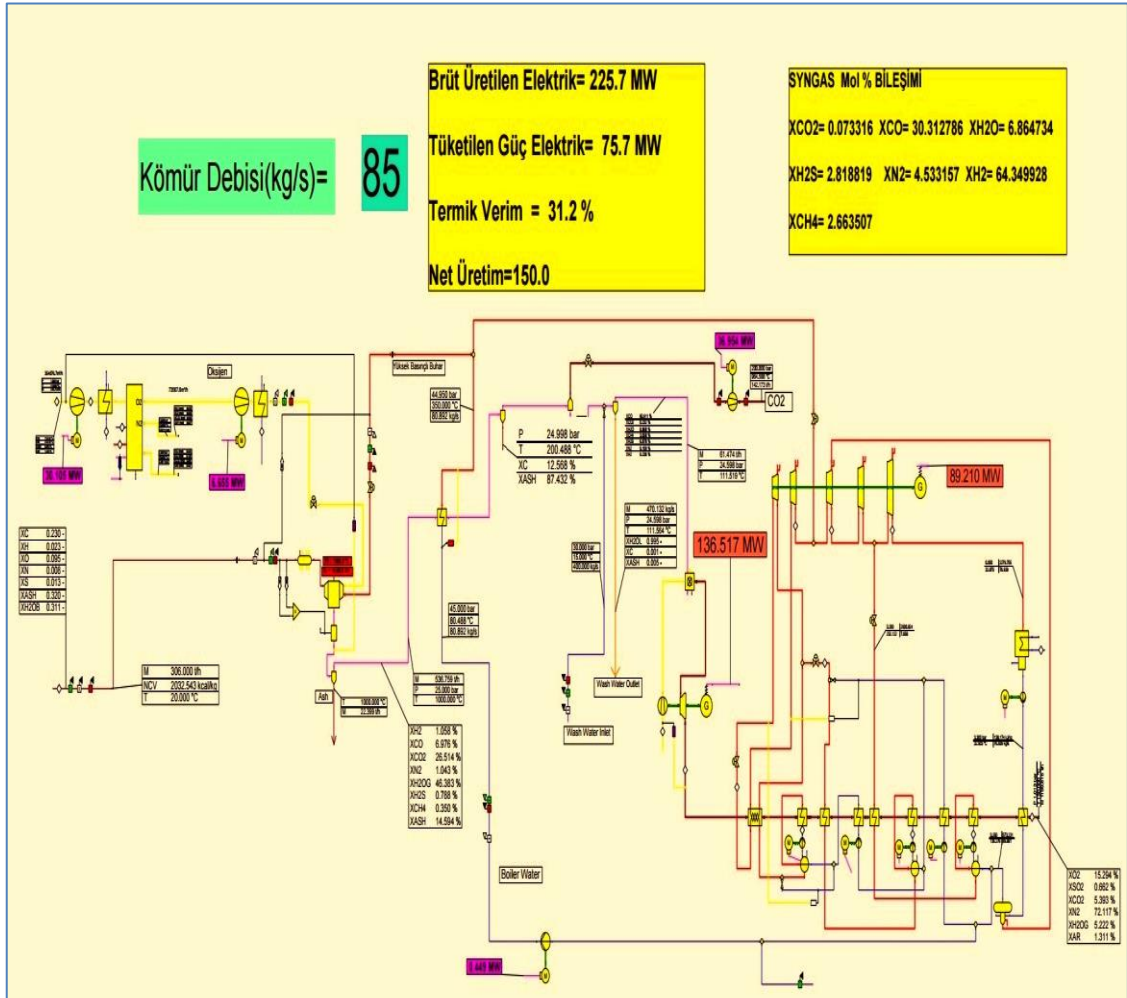
40 yılı aşkın bir süredir santrali besleyen Seyitömer havzasının en kötü, en iyi ve garanti olarak besleye bileceği durumlar için farklı senaryolar hazırlanmıştır. Tasarladığımız modelde kullanılacak olan havzanın en kötü kömürü bundan sonraki tip-1 olarak, garanti kömürü tip-2 olarak ve en iyi kömürü tip-3 olarak anılacaktır. Daha sonra çalışmalarımıza Türkiye geneli düşük kaliteli linyitleri %90'lık kısmını kapsayacak şekilde daha geniş bir karşılaştırma imkânı sunması için (1000 kcal/kg ve 3000 kcal/ kg aralığına sahip linyitler) iki tip kömür değeri daha eklenerek tasarımımızda kullanılacak numune seçim işlemi tamamlanmıştır (Çizelge 6.3).

6.4. Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Santrali'nin Modellenmesi

Yapılan çalışma ile farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerdeki düşük kaliteli linyitlerin yakıt olarak kullanıldığı entegre kombine çevrim santrali modelinin oluşturulması, oluşturulan model ile ege bölgesindeki düşük kaliteli linyitlerin gazlaştırabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

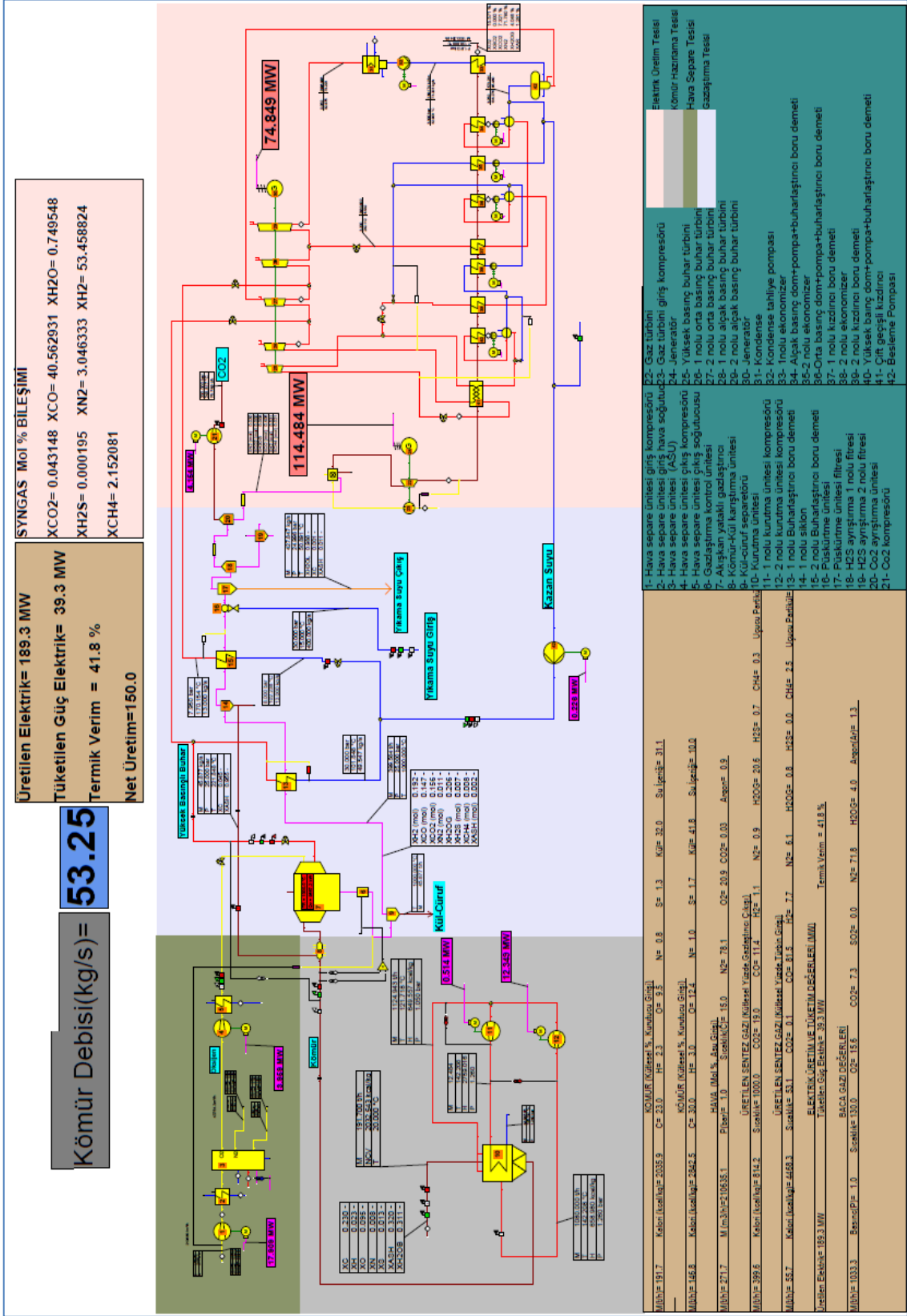
6.4.1. Model oluşturulması

Entegre kombine çevrim sanralleri olarak tasarlanmış olduğumuz ilk modelde kömür ocaktan çıkartılıp uygun paçallaması yapılarak ön hazırlama işlemine tutulmadan gazlaştırma ünitesine verilmiştir. Kömür hava separe (ASU tesisi) üretilen oksijen ve kapalı çevrimin belirli noktasından çekilen buhar ile birlikte gazlaştırma ünitesine verilir. Burada bir takım kimyasal ve fiziksel resaksiyonlar geçirerek sentez gazına dönüştürülür. Gazlaştırma sonucu oluşan cüruf farklı endüstriyel tesislerde hammadde olarak kullanılabilir. Üretilen gaz, gaz türbininde yakılabilecek kompozisyona gelinceye kadar toz tutma, gaz soğutma, sülfür ayrıştırma gibi bir dizi işlemden geçirilir. Daha sonra hava ile birlikte gaz türbininde yakılarak elektrik üretilir. Gaz türbininde meydana gelen yanma sonucu oluşan gazın sıcaklığı ısının kullanılarak elektrik üretimine yeteceği düzeydedir. Doğalgaz çevrim santrallerinde olduğu gibi gaz türbini çıkışına ısı geri kazanım jeneratörü tesis edilmiştir. Gaz türbininde iş gören gaz bu ısı geri kazanım jeneratöründen geçirilerek boru demetlerinin içerisinde dolaştırılan suyu belirli basınç ve sıcaklıkta kızgın buharara dönüştürmektedir. Daha sonra üretilen kızgın buhar buhar türbininden geçirilerek ikinci bir elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 6.5. Entegre gazlaştırma kombine çevrim santali model-1.

Modellemiş olduğumuz ilk sistem Şekil 6.5’de verilmiştir. Bu sistemde özellikleri daha önceden belirlenen 306 t/h debide (kalorifik değeri 2036 kcal/kg olan) seyitömer tip-2 kömürü kullanılarak 225,7 MW’lık kurulu güç değerine ulaşılmıştır. Tasarlanan sistemin termik verimi %31,2, üretilen net güç 150 MW ve iç ihtiyaç için kullanılan güç değeri 75.7 MW olarak gerçekleştirilmiştir. Günümüz teknolojileri ile üretim gerçekleştirilen entegre kombine çevrim santralleri ile karşılaştırıldığında termik verim oldukça düşük ve iç ihtiyaç miktarının yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sonucu olarak bu modelin gözden geçirilmesi gerektiği anlaşılmış ve model üzerinde revizyona gidilmiştir. İlk modelimiz detaylı olarak incelendiğinde gazlaştırma ünitesi çıkışında gaz temizleme işlemi sırasında külün içerisinde %12,568 lik bir karbonun yanmadan atıldığı tespit edilmiş ve bu model üzerinde gerekli değişiklik yapılarak Şekil 6.6 de görüldüğü gibi atık külün kömür ile birlikte karıştırılarak yanma odasına verildiği karıştırma hücresi ilave edilmiştir.



SYNGAS Mol % BİLEŞİMİ
 XCO2= 0.043148 XCO= 40.562931 XH2O= 0.749548
 XH2S= 0.000195 XN2= 3.046333 XH2= 53.458824
 XCH4= 2.152081

Üretilen Elektrik= 189.3 MW
Tüketilen Güç Elektrik= 39.3 MW
Termik Verim = 41.8 %
Net Üretim=150.0

Kömür Debisi(kg/s)= 53.25

- 1- Hava Separe Ünitisi Giriş Kompresörü
- 2- Hava Separe Ünitisi (ASU)
- 3- Gaz türbini giriş kompresörü
- 4- Jeneratör
- 5- Hava Separe Ünitisi Çıkış Kompresörü
- 6- Yüksek basınç buhar türbini
- 7- Orta basınç buhar türbini
- 8- Alçak basınç buhar türbini
- 9- Gazlaştırma kontrol ünitesi
- 10- Ayrılcık yataklı gazlaştırıcı
- 11- Kömür-Kül karıştırma ünitesi
- 12- Kül-cüruf separetorü
- 13- Kül-cüruf ünitesi
- 14- Kül-cüruf ünitesi
- 15- 11-1 nolu kurutma ünitesi kompresörü
- 16- 12-2 nolu kurutma ünitesi kompresörü
- 17- 13-1 nolu buharlaştırıcı boru demeti
- 18- 14-1 nolu silikon
- 19- 15-2 nolu buharlaştırıcı boru demeti
- 20- Paslanma ünitesi
- 21- Paslanma ünitesi filtresi
- 22- HCS sıyırıtma 1 nolu ünitesi
- 23- HCS sıyırıtma 2 nolu ünitesi
- 24- CO2 sıyırıtma ünitesi
- 25- Çift geçişli kazdını
- 26- Besleme Pompası

MUH=1917	Kösten İstehale= 2035.9	C= 23.0	H= 7.3	O= 9.3	N= 0.8	S= 1.3	Kg= 30.0	Su İçeriği= 311.1		
MUH=146.8	Kösten İstehale= 2342.5	C= 30.0	H= 3.0	O= 14.4	N= 1.0	S= 1.7	Kg= 41.8	Sulajı= 19.0		
MUH=2717	M=319=10635.1	P=99=1.0	Sıralı=10	Sıralı=10	Q= 20.9	CO2= 0.03	Ang= 0.9			
MUH=399.6	Kösten İstehale= 614.2	Sıralı=1000.0	CO2= 19.0	CO= 11.4	H2= 1.1	N2= 0.9	H2O= 20.6	H2S= 0.7	CH4= 0.3	Uçucu Parçık
MUH=537	Kösten İstehale= 4468.3	Sıralı= 53.1	CO2= 0.1	CO= 81.5	H2= 7.7	N2= 6.1	H2O= 0.8	H2S= 0.0	CH4= 3.3	Uçucu Zehirli
Üretilen Elektrik= 189.3 MW	Tüketilen Güç Elektrik= 39.3 MW	Termik Verim = 41.8 %								
MUH=1033.3	Ferrosi= 1.0	Sıralı= 130.0	O2= 15.6	CO2= 7.3	SO2= 0.0	N2= 71.8	H2O= 4.0	Ang= 0.1		

- Elektrik Üretim Tesisi
- Kömür Hazırlama Tesisi
- Hava Separe Tesisi
- Gazlaştırma Tesisi

Şekil 6.7. Entegre gazlaştırma kombine çevrim santali model 3.

Bu yapılan değişiklikler neticesinde sistem modeli Şekil 6.7 de gösterildiği gibi üçüncü kez oluşturuldu. Kalorifik değeri ilk iki modelimizle aynı olan kömürden bu kez 191,7 t/h debide kömür kullanılarak 189,3 MW kurulu güç değerine ulaşılmıştır. Tasarlanan sistemin termik verimi % 41,8, net üretilen güç değeri 150 MW ve iç ihtiyaç için tüketilen güç değeri bir önceki modele göre yaklaşık % 50’lik azalışla 39,3 MW olarak gerçekleştirilmiştir. Diğer kömür tipleri için elde edilen sonuçlar Ek-1 ile Ek-5 arasında program görüntüsü olarak verilmiştir.

En son tasarlanan ve optimisasyonu yapılan modelin günümüz teknolojileri ile uyumlu olup olmadığının kontrolü için literatür ve imalatçı dizayn ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Oksijenle Gazlaştırma		
Gazlaştırıcı Tipi	Akışkan Yatak	
Kömürü Tipi	Linyit	Bitümlü Kömür
Basınç (atm)	1,0 - 30,0	30
Gaz Kompozisyonu (Kuru)		
CO	31 - 53,0	52
CO ₂	6,7 - 19,5	5,3
H ₂	32,8	37,3
N ₂	0,3 - 1,7	0,3
CH ₄	0,3 - 3,1	3,5
H ₂ S	0,44	

Şekil 6.8. Akışkan yataklı gazlaştırıcıda üretilen gaz kompozisyonu (Breault, 2010).

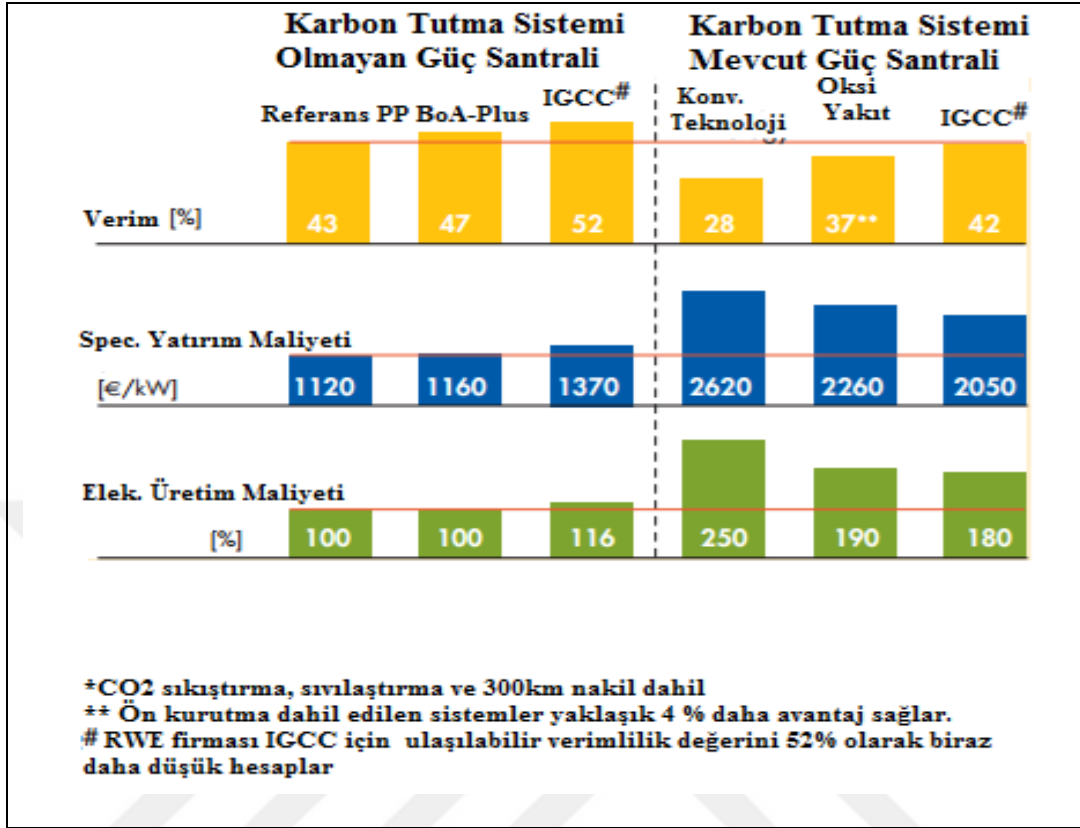
En son oluşturulan model ile üretilen gaz değerleri Şekil 6.8 ve Şekil 6.9 de verilen Shell ve General Elektrik’in gazlaştırma reaktörlerinin çıkış değerleri ile karşılaştırıldığında üretilen gazın değerlendirilebilir nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Üretilen gazın gaz türbinlerinde yakılabilirliğinin görülmesi açısından ise General Electric (Brdar ve Jones, 2015) ve Siemens Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Santralleri (IGCC) için üretilmiş gaz türbinlerinin dizayn değerleri karşılaştırılmıştır (Poloczek ve Hermsmeyer, 2008). H₂/CO oranı ve kalorifik değer olarak bu türbinlerde yakılabileceği görülmüştür

Gazlaştırıcı	Shell	Shell	GE
Yıkama Sıcaklığı	128 C	160 C	243 C
CO	56.40	49.60	15.60
H ₂	29.70	26.30	15.10
CO ₂	1.40	1.30	7.30
H ₂ O	7.00	18.10	61.00
Ar	0.70	0.60	0.80
N ₂	4.53	3.86	
H ₂ S	0.24	0.21	0.12
COS	0.02	0.02	
Diğerleri	0.01	0.01	0.08
Toplam	100.00	100.00	100.00

Şekil 6.9. Yıkama sonrası gaz kompozisyonu mol yüzdeleri (<http://lfee.mit.edu>).

Günümüz teknolojisi kullanılarak üretim yapan güç santrallerinde karbondioksit tutma sisteminin mevcut olduğu santraller ile karbondioksit tutma sisteminin kullanılmadığı santraller arasında verimlilik değerlerinde yaklaşık olarak %10'luk bir fark söz konusudur. Günümüzde karbondioksit tutma sistemine sahip santraller gerek maliyetleri artırması gerekse de verim düşüklüğü nedeni ile çok fazla uygulama alanı bulmamaktadır. RWE firması tarafından geliştirilen ve sıfır karbondioksit salımı hedefi ile 450 MW Kurulu gücünde 350 t/h linyit beslemeli IGCC termik santralinde % 40 verimlilik değerlerine ulaşılmıştır. Mevcut modelimiz ile ulaşılan verimlilik değeri % 41 civarında olup kabul edilebilir bir değerdir. Tasarlanan modelle üretim yapılması halinde Ülkemizde mevcut ve kömüre dayalı yakma teknolojisi kullanarak üretim yapan santrallere nazaran verimde %5-10 arasında kazanç sağlanacaktır. Bunun sonucu olarak sınırlı miktarda rezerve sahip olduğumuz linyitlerle elektrik üretiminden maksimum verim elde ederek diğer fosil kaynaklara göre daha ekonomik olan kömürden daha az tüketim sağlanacaktır. Dolayısı ile gaz salımları azalacak ve dünyamız daha az kirlenecektir.

Güç santrallerinin içerisinde IGCC güç santralleri toz ve gaz emisyonları ile birlikte değerlendirildiğinde yatırım ve işletme maliyetleri açısından en düşük değere, verimlilik açısından en yüksek değerlere sahiptir. IGCC santrallerinde verimlilik değerlerinin %55 kadar çıkabileceği de öngörülmektedir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Linyit yakıtlı güç santrallerinin karşılaştırması (<http://www.bine.info>).

6.4.2. Model akış diyagramı

*Sistem tarifi yapılırken Çizelge 6-2 tip-2 yakıt değerleri ve Şekil 6.10 model diyagramı kullanılarak bu değer üzerinden açıklama yapılmıştır. Yakıt özelliklerinin değişmesi halinde model üzerindeki bazı değerlerde değişim söz konusu olabilecektir.

Modellemiş olduğumuz sistem:

- Hava separatör ünitesi,
- Kömür hazırlama tesisi,
- Gazlaştırma ve gaz temizleme tesisi
- Elektrik üretim tesisinden meydana gelmektedir.

Gazlaştırma reaktöründe gerekli kömürün sağlanması için modellemiş olduğumuz yardımcı tesislerden ilki kömür hazırlama tesisidir. Ocaktan çıkarmış olduğumuz kömürün kimyasal ve fiziksel özelliklerindeki sürekliliği ve kararlılığı sağlamak için maksimum kurutma

kapasitesi 250 t/h olan kömür hazırlama ve depolama tesisi öngörülmüştür. Bu tesis ile kömürün nemi ve tane iriliği, kalorilik değeri gazlaştırma ünitesinin dizayn değerine getirilmesi ve sistemin kesintisiz beslenmesi planlanmıştır. Modellemiş olduğumuz tesiste kömürün kurutulmasında 140 °C sıcaklıkta ve 1 atmosfer basınçta buhar kullanılarak yapılmıştır. Buhar sıcaklığındaki 20 °C sıcaklık farkı ile kömürün kurutulması gerçekleşmekte kurutulan kömürün karbon yüzdesi artmaktadır. Modellen kurutma tesisin EBSILON programı aracılığı ile hesaplanan güç ihtiyacı ortalama 12-14 MW'tır. Modellen tesis için gerekli buharın tesisin atık ısılarından sağlanabileceği planlanmıştır.

Gazlaştırma için gerekli oksijenin sağlanması için modellemiş olduğumuz yardımcı tesislerden ikincisi hava separe ünitesidir. Modelimizde gerekli oksijenin sağlanması için hava atmosferden 300.000 m³/h debide emilerek 5 bar basınca kadar sıkıştırılmış daha sonra hava separe ünitesine sevk edilmiştir. Hava separe ünitesinde -195 °C sıcaklığa kadar soğutulmuş soğukluk ve basınç etkisi ile kaynama noktası farklılığından dolayı gazları ayrıştırılması sağlanmıştır. Sistemin çalıştırılması için gerekli olan iç ihtiyaç miktarı, hesap programı tarafından yaklaşık 25 ila 30 MW arasında olacağı hesaplanmıştır. Hava separe ünitesinden oksijenin yanında Azot, Argon gibi sanayide değerli olan gazlarında üretimi gerçekleştirilmiş olması modellemiş olduğumuz sistemin ilave artı yönlerindedir.

Gazlaştırma ünitesi, hava separe ünitesinden gelen oksijen, kurutma ünitesinden çıkan kömür ve gazlaştırma ünitesinden çıkan gazla ısıtılmış olan yüksek basınçlı buharın sırası ile birçok kimyasal ve fiziksel reaksiyonu sonucu sentez gazı üretilen şekilde tasarımı yapılmıştır. Gazlaştırma ünitesinin çıktıları ham sentez gazı ve katranlaşmış cürüftür. Gazlaştırma ünitesi çıkışındaki ham sentez gazı 25 bar basınçta 1000 °C maksimum 550 t/h debide ve içeriği % 20,236 karbondioksit (CO₂), % 11,3 karbon monoksit (CO), % 0,977 hidrojen, % 0,708 azot (NO), % 20 su (H₂O), %43,359 kül ihtiva etmektedir. Katranlaşmış cüruf ise 1000 °C sıcaklıkta ve 60,426 t/h saat kapasitede gazlaştırma ünitesini terk etmektedir. Atık olarak üretilen cüruf asfalt malzemesi olarak kullanılırken 1000 °C sıcaklıkta üretilen sentez gazı türbinde kullanılacak temizliğe ve sıcaklığa getirilene kadar sırası ile yüksek basınç ısıtıcısı, filtre, alçak basınç ısıtıcıdan geçirilerek sıcaklık ve içerisindeki tozdan arındırılmaktadır. Daha sonra karbon dioksit(CO₂) temizleme ünitesinden geçirilerek sentez gazı türbinde yakılacak hale getirilir. Üretilen sentez gazı (75 t/h debide, içeriği % 79 Karbon Monoksit (CO), % 7 hidrojen, % 5 Azot (NO), % 0,5 karbon dioksit (CO₂), % 1 Su (H₂O), % 4,5 hidrojen sülfür (H₂S), % 2,5 metan (CH₄)olan) türbinin yanma odasında yakılır ve türbin kademelerinden geçirilerek elektrik üretimi gerçekleştirilir. Tek başına sentez gazından elektrik üretimi verimsiz olacağı modellenen sistemden görülmüştür. Modelimizin verimini artırmak

için gaz türbini egzozundan yaklaşık 500 °C sıcaklıkta çıkan çürük gaz, ısı geri kazanım jeneratöründen (Kazanından) geçirilmektedir. Gaz türbininden çıkan atık gaz ile 90 bar basınçta ve 490 °C sıcaklıktaki yüksek basınçlı buhar, 28 bar basınçta ve 490 °C sıcaklıkta orta basınçlı buhar ile 3,2 bar basınçta, 232 °C sıcaklıkta alçak basınçlı buhar üretilmektedir. Üretilen buhar, türbinin yüksek basınç, orta basınç ve alçak basınç kademelerinden geçirilerek elektrik üretim gerçekleştirilerek sistem verimini arttırılmıştır. Modellenen sistemden Seyitömer tip-1 (en kötü yakıt), Seyitömer tip-2 (garanti yakıt), Seyitömer tip-3 (en iyi yakıt), Türkiye geneli tip-1 ve Türkiye geneli tip-2 durumları için aşağıdaki veriler alınmıştır.

6.4.3. Model çıktıları

Bu çalışmada ilk Seyitömer linyitlerini yakıt olarak kullanılacak gazlaştırma ünitesinin farklı işletme şartlarında performansını belirlemek için 2012 yılı kömür değerleri temel alınarak üç tip kömür değeri belirlenmiştir. Daha sonra çalışmalarımıza daha geniş bir karşılaştırma imkânı sunacak olan Türkiye geneli düşük kaliteli linyitleri %90'lık kısmını kapsaması için (1000 kcal/kg ve 3000 kcal/ kg aralığına sahip linyitler) iki tip kömür değeri daha eklenerek Çizelge 6.3 oluşturulmuştur. Çizelge 6.3'deki yakıt değerleri termodinamik ısı denge modelimize girilerek hesaplamalar yaptırılmıştır.

Net üretimin 150 MWe oluncaya kadar basit bir enterpolasyonla yakıt debisi modelimize el ile girilmiştir bunun sonucu olarak program tüm ekipmanların giriş ve çıkış değerlerini hesaplamıştır. Gaz ve buhar türbininden elde edilen elektrik üretim değerleri ve iç ihtiyaç miktarları ve termik verim program hesaplama sonuçları kullanılarak görsel hale getirilmiştir. Gazlaştırıcı çıkışı ham gaz değerleri, türbinde yakılmaya hazır olan sentez gazı değerleri, elektrik üretim ve tüketim değerleri ile baca gazı değerleri her bir kömür tipi için ayrı ayrı tablo haline getirilmiştir. Tasarım çıktısı olarak elde edilen tüm veriler Çizelge 6.4 ile Çizelge 6.8 arasındaki tablolarda verilmiştir. Tasarlamış olduğumuz modelde net üretim miktarı sabit tutularak, gazlaştırma ünitesinin farklı kömür tipleri için ne kadar yakıt tüketeceği, iç tüketimin ne olacağı ve termik veriminin nasıl değişeceği tablo haline getirilerek Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.4. Seyitömer tip-1 kömür çıktıları.

GAZLAŞTIRMA								
Tip -1 (KÖTÜ YAKIT)								
GİRDİLER								
KÖMÜR (Kütlesel % ,Kurutucu Girişi)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Karbon (C)	Hidrojen (H)	Oksijen (O)	Nitrojen (N)	Kükürt (S)	Kül	Su İçeriği
225	1717,4	20	2	8	0,6	0,9	32	36,5
HAVA (Kütlesel % , Taze Hava)								
Debi (m ³ /h)	Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Azot (N)	Oksijen (O ₂)	Karbondioksit (CO ₂)	Argon (Ar)	-
224309,6	289,4	1	15	75,52	23,14	0,05	1,29	15
ÜRETİLEN SENTEZ GAZI (Kütlesel % ,Gazlaştırıcı Çıkışı)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Karbondioksit (CO ₂)	Karbon monoksit (CO)	Hidrojen (H ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)
441,3	731,3	25	1000	18,3	10	1	0,8	20,5
Hid.Sülfür (H ₂ S)	Metan (CH ₄)	Kül						
0,5	0,3	46,6						
ÜRETİLEN SENTEZ GAZI (Kütlesel % ,Türbin Girişi)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Karbondioksit (CO ₂)	Karbon monoksit (CO)	Hidrojen (H ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)
54,6	4520,5	25	52,3	0,1	81	7,9	6,1	0,8
H ₂ S	CH ₄	Kül						
0	2,6	Yok						
ELEKTRİK ÜRETİM VE TÜKETİM DEĞERLERİ (MW)								
Gaz Türbini (MW)			Buhar Türbini (MW)		Tüketilen Güç		Termik Verim %	
113,53			77,712		41,3		41,3	
Toplam			191,2		Net Üretim		150	
BACA GAZI DEĞERLERİ (Kütlesel %)								
Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık(°C)	Oksijen (O ₂)	Karbondioksit (CO ₂)	Kükürt dioksit (SO ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)	Argon(Ar)
1023,733	1,013	130	15,5	7	0,4	71,8	4,1	1,29
Not: - 200 bar basınçta ve 250 °C sıcaklıkta 80,671 t/h CO ₂ tutulmaktadır.								
- 1000 °C 53,531 t/h Kül cüruf atılmaktadır.								

Çizelge 6.5. Seyitömer Tip-2 kömür çıktıları.

GAZLAŞTIRMA								
Tip-2 (GARANTİ YAKIT)								
GİRDİLER								
KÖMÜR (Kütlese % ,Kurutucu Girişi)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Karbon (C)	Hidrojen (H)	Oksijen (O)	Nitrojen (N)	Kükürt (S)	Kül	Su İçeriği
191,7	2035,9	23	2,3	9,5	0,8	1,3	32	31,1
HAVA (Kütlese % , Taze Hava)								
Debi (m³/h)	Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Azot (N)	Oksijen (O ₂)	Karbondioksit (CO ₂)	Argon (Ar)	-
210,635	271,7	1	15	75,52	23,14	0,05	1,29	
ÜRETİLEN SENTEZ GAZI (Kütlese % ,Gazlaştırıcı Çıkışı)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Karbondioksit (CO ₂)	Karbon monoksit (CO)	Hidrojen (H ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)
399,6	814,2	25	1000	19	11,4	1,1	0,9	20,6
H ₂ S	CH ₄	Kül						
0,7	0,3	43,8						
ÜRETİLEN SENTEZ GAZI (Kütlese % ,Türbin Girişi)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Karbondioksit (CO ₂)	Karbon monoksit (CO)	Hidrojen (H ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)
55,7	4468,3	25	53,1	0,1	81,5	7,7	6,1	0,8
Hid.Sülfür (H ₂ S)	Metan (CH ₄)	Kül						
0	2,5	Yok						
ELEKTRİK ÜRETİM VE TÜKETİM DEĞERLERİ (MW)								
Gaz Türbini (MW)			Buhar Türbini (MW)		Tüketilen Güç		Termik Verim %	
114,484			74,849		39,3		41,8	
Toplam			189,3		Net Üretim		150	
BACA GAZI DEĞERLERİ (Kütlese %)								
Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık(°C)	Oksijen (O ₂)	Karbondioksit (CO ₂)	Kükürt dioksit (SO ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)	Argon(Ar)
1130,3	1,013	130	15,4	7,1	0,5	71,7	4	1,3
Not: - 200 bar basınçta ve 248,817 °C sıcaklıkta 75,789 t/h CO ₂ tutulmaktadır.								
-1000 °C 45,877 t/h Kül cüruf atılmaktadır.								

Çizelge 6.6. Seyitömer Tip-3 kömür çıktıları.

GAZLAŞTIRMA								
TİP-3 (İYİ YAKIT)								
GİRDİLER								
KÖMÜR (Kütlese % ,Kurutucu Girişi)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Karbon (C)	Hidrojen (H)	Oksijen (O)	Nitrojen (N)	Kükürt (S)	Kül	Su İçeriği
167	2354,3	26	2,6	11	1	1,7	32	25,7
HAVA (Kütlese % , Taze Hava)								
Debi (m³/h)	Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Azot (N)	Oksijen (O ₂)	Karbondioksit (CO ₂)	Argon (Ar)	-
200480,1	258,6	1	15	75,52	23,14	0,05	1,29	
ÜRETİLEN SENTEZ GAZI (Kütlese % ,Gazlaştırıcı Çıkışı)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Karbondioksit (CO ₂)	Karbon monoksit (CO)	Hidrojen (H ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)
368,5	887,9	25	1000	19,6	12,6	1,2	0,9	20,8
H ₂ S	CH ₄	Kül						
0,8	0,4	41,4						
ÜRETİLEN SENTEZ GAZI (Kütlese % ,Türbin Girişi)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Karbondioksit (CO ₂)	Karbon monoksit (CO)	Hidrojen (H ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)
56,6	4427,2	25	52,2	0,1	81,9	7,5	6,1	0,7
Hid.Sülfür (H ₂ S)	Metan (CH ₄)	Kül						
0	2,4	Yok						
ELEKTRİK ÜRETİM VE TÜKETİM DEĞERLERİ (MW)								
Gaz Türbini (MW)			Buhar Türbini (MW)		Tüketilen Güç		Termik Verim %	
115,8			72,724		37,9		41,2	
Toplam			187,9		Net Üretim		150	
BACA GAZI DEĞERLERİ (Kütlese %)								
Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık(°C)	Oksijen (O ₂)	Karbondioksit (CO ₂)	Kükürt dioksit (SO ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)	Argon(Ar)
1040,4	1,013	130	15,6	7,4	0,0	71,75	4	1,28
Not: - 200 bar basınçta ve 247,788 °C sıcaklıkta 72,0790 t/h CO ₂ tutulmaktadır.								
-1000 °C 40,193 t/h Kül cüruf atılmaktadır.								

Çizelge 6.7. Türkiye Tip- 1 kömür çıktıları.

GAZLAŞTIRMA								
TİP-1 (TÜRKİYE GENELİ)								
GİRDİLER								
KÖMÜR (Kütlesel % ,Kurutucu Girişi)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Karbon (C)	Hidrojen (H)	Oksijen (O)	Nitrojen (N)	Kükürt (S)	Kül	Su İçeriği
253	1367	17	2	9	0,8	1,3	19,9	50
HAVA (Kütlesel % , Taze Hava)								
Debi (m ³ /h)	Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Azot (N)	Oksijen (O ₂)	Karbondioksit (CO ₂)	Argon (Ar)	-
200233	258,3	1	15	75,52	23,14	0,05	1,29	
ÜRETİLEN SENTEZ GAZI (Kütlesel % ,Gazlaştırıcı Çıkışı)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Karbondioksit (CO ₂)	Karbon monoksit (CO)	Hidrojen (H ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)
366,7	895	25	1000	20	12,2	1,2	1	22,7
Hid.Sülfür (H ₂ S)	Metan (CH ₄)	Kül						
1	0,4	39,2						
ÜRETİLEN SENTEZ GAZI (Kütlesel % ,Türbin Girişi)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Karbondioksit (CO ₂)	Karbon monoksit (CO)	Hidrojen (H ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)
55,5	4512,6	25	53,1	0,1	80,6	6,9	3,3	0,8
H ₂ S	CH ₄	Kül						
0	2,4	Yok						
ELEKTRİK ÜRETİM VE TÜKETİM DEĞERLERİ (MW)								
Gaz Türbini (MW)			Buhar Türbini (MW)		Tüketilen Güç		Termik Verim %	
115,299			73,604		38,9		47	
Toplam			188,9		Net Üretim		150	
BACA GAZI DEĞERLERİ (Kütlesel %)								
Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık(°C)	Oksijen (O ₂)	Karbondioksit (CO ₂)	Kükürt dioksit (SO ₂)	Azot (N ₂)	Su (H ₂ O)	Argon(Ar)
1038,8	1,013	130	15,6	7,2	0	71,9	4,1	1,3
Not: - 200 bar basınçta ve 248,905 °C sıcaklıkta 73,209 t/h CO ₂ tutulmaktadır.								
-1000 °C 37,973 t/h Kül cüruf atılmaktadır.								

Çizelge 6.8. Türkiye Tip- 2 kömür çıktıları.

GAZLAŞTIRMA								
TİP-2 (TÜRKİYE GENELİ)								
GİRDİLER								
KÖMÜR (Kütlesel % ,Kurutucu Girişi)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Karbon (C)	Hidrojen (H)	Oksijen (O)	Nitrojen (N)	Kükürt (S)	Kül	Su İçeriği
126,2	2905,6	33,7	2,4	11,3	1	1,7	24,3	25,7
HAVA (Kütlesel % ,TAZE HAVA)								
Debi (m³/h)	Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Azot (N)	Oksijen (O₂)	Karbondioksit (CO₂)	Argon (Ar)	-
168576,5	217,5	1	15	75,52	23,14	0,05	1,29	
ÜRETİLEN SENTEZ GAZI (Kütlesel % ,Gazlaştırıcı Çıkışı)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Karbondioksit (CO₂)	Karbon monoksit (CO)	Hidrojen (H₂)	Azot (N₂)	Su (H₂O)
266,8	1231	25	1000	21,9	19,9	1,5	1	18,3
H₂S	CH₄	Kül						
0,9	0,5	32,8						
ÜRETİLEN SENTEZ GAZI (Kütlesel % ,Türbin Girişi)								
Debi (t/h)	Kalori (kcal/kg)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Karbondioksit (CO₂)	Karbon monoksit (CO)	Hidrojen (H₂)	Azot (N₂)	Su (H₂O)
62,1	4117,8	25	42	0,1	85,7	6,2	4,5	0,4
Hid.Sülfür (H₂S)	Metan (CH₄)	Kül						
0	2,1	Yok						
ELEKTRİK ÜRETİM VE TÜKETİM DEĞERLERİ (MW)								
Gaz Türbini (MW)			Buhar Türbini (MW)		Tüketilen Güç		Termik Verim %	
117,131			66,56		33,7		43,2	
Toplam			183,7		Net Üretim		150	
BACA GAZI DEĞERLERİ (Kütlesel %)								
Debi (t/h)	Basınç (bar)	Sıcaklık(°C)	Oksijen (O₂)	Karbondioksit (CO₂)	Kükürt dioksit (SO₂)	Azot (N₂)	Su (H₂O)	Argon(Ar)
1067,103	1,013	130	15,6	8,23	0,4	71,39	3,55	1,26
Not: - 200 bar basınçta ve 235,212 0C sıcaklıkta 58,269 t/h CO₂ tutulmaktadır.								
-1000 0C 23,870 t/h Kül cüruf atılmaktadır.								

Çizelge 6.9. Farklı yakıt tiplerindeki model çıktısı üretim değerleri.

Kömür Tipi Üretim Değeri	Türkiye Geneli Tip-2	Seyitömer Tip-3	Seyitömer Tip-2	Seyitömer Tip-1	Türkiye Geneli Tip-1	Seyitömer Termik Santrali *
Termik Verim (%)	43,2	41,2	41,8	42,6	47	33
Isıl Oran/100 (kcal/kWh)	19,96	20,92	20,62	20,21	43,9	27,91
Brüt Güç (MWe)	183,7	187,9	189,3	191,2	189,9	163
İç İhtiyaç Miktarı (MWe)	33,7	37,9	39,3	41,3	38,9	14
Yakıt Miktarı (t/h)	126,2	167	191,7	225	253	260
Net Güç (MWe)	150	150	150	150	150	150

*İlgili santralin özelleştirme öncesi verileri baz alınmıştır.

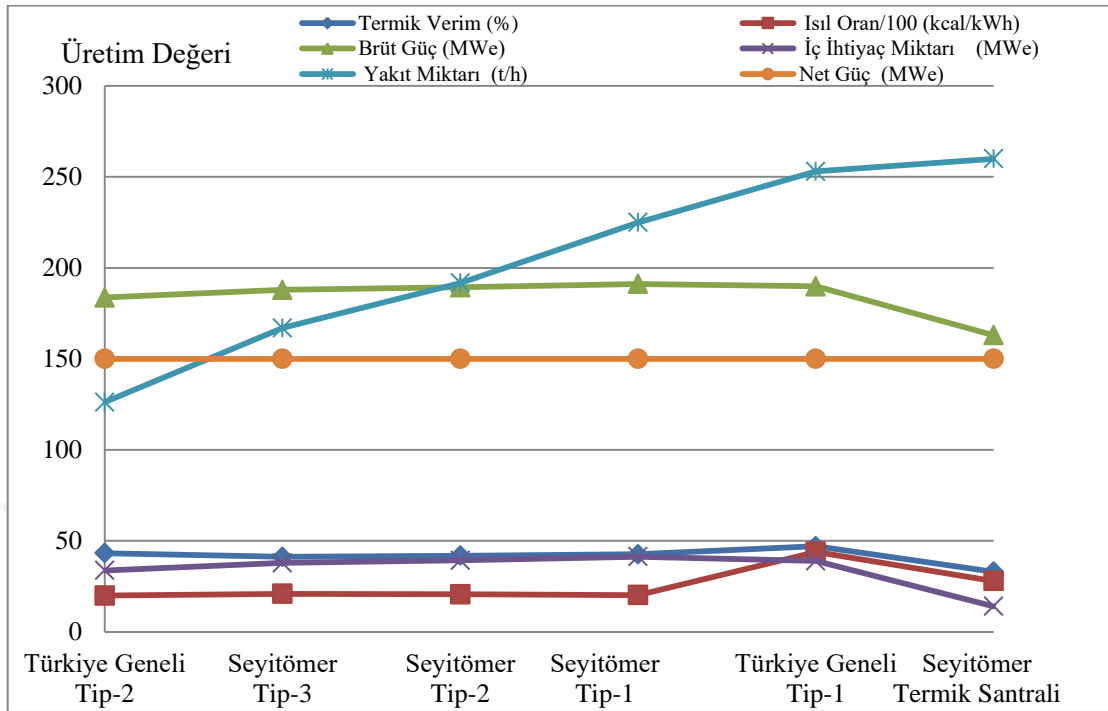
Çizelge 6.4 ile 6.9 arasındaki tablolar incelendiğinde; gazlaştırma ile elektrik üretiminde kömür kalitesi arttıkça kullanılan yakıt miktarı, iç ihtiyaç ve üretilen brüt güç miktarının azaldığı görülmüştür. Buna karşın termik verim ve ısıl oranda, kömürün nem içeriğinden kaynaklı bir takım sapmalar oluşmuştur. Bu durumun sebebi seçilen numune tiplerinin nem içeriğinin değişken olmasıdır. Kömürün nem içeriğine bağlı olarak kurutma tesisinden elde edilen verim değişkenlik göstermiştir. Kömürün kurutulması için tasarlanan sistemde belirli bir miktar güç harcanırken gazlaştırıcıya daha düşük debide oksijenin ve kömürün girmesine sebep olmuştur. Bu durum sonucu olarak ise hava separe tesisinde, gazlaştırma ünitesinde ve diğer güç harcayan tesislerde daha az tüketim sağlanmıştır. Kurutma tesisi kurulması işletme ve bakım maliyetlerini artırsa da gerçekleşen proseslerdeki faydaları düşünüldüğünde düşük kaliteli linyitlerin gazlaştırılmasında kesinlikle uygulanması gereken bir süreçtir.

Ülkemiz açısından entegre gazlaştırma tesisi kurulmasının ne kadar önemli olduğunun anlaşılması için yakıt olarak linyitin kullanıldığı ve yüksek emre amadeliğe sahip bir termik santral örnek olarak Çizelge 6.9'a eklenmiştir. Numune kömür olarak belirlemiş olduğumuz tüm kömür tipleri için entegre gazlaştırma kombine çevrim santrali verimlilik değerleri ve kömür tüketim miktarı örnek santralden yüksek çıkmıştır. Ayrıca kömür debisinin değişken olarak alınması, farklı tip kömürler için modellenmiş olduğumuz sistemde kullanılan makine ve ekipman boyutlarının da değişimine sebep olacağı da unutulmamalıdır.

7. SONUÇLAR

Ülkemizde petrol ve doğalgaz rezervlerinin sınırlı miktarda olması Türkiye'nin tek zengin fosil kaynağı olan linyitleri etkin bir şekilde enerji üretiminde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu yüzden ülkemizin mevcut linyit kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılabilmesi için enerji dönüşüm sistemleri üzerine tasarım ve Ar-Ge çalışmaları yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Kütahya ilinde bulunan düşük kaliteli linyit rezervlerinin gazlaştırılması ile sentetik gaz eldesi ve gazın elektrik üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, ülkemiz linyitlerinin büyük bir kısmı için referans olacak Seyitömer kömür havzasının düşük kaliteli linyitlerinin yakıt olarak kullanıldığı "Entegre Kombine Çevrim Santrali (IGCC)", EBSILON programı kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarım verimliliğinin artırılması için sistem üzerinde üç kez optimizasyona gidilmiştir. Kütahya'daki kömür havzaları için belirlenen kömür tiplerine ilaveten, Türkiye genelini yansıtacak tip-1 ve tip-2 kömür değerleri de modele eklenerek farklı kömür tipleri için üretim çıktıları elde edilmiştir. Çalışmalarda farklı yakıt tipleri için net üretim değeri 150 MWe değerine sabitlenerek ilgili modelde brüt elektrik üretimi ortalama 190 MWe, iç tüketim ise ortalama 39 MWe olarak gerçekleşmiştir. Ortalamada % 42 termik verim ve 2100 kcal/kWh'lik ısı oran değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; termik verim, ısı oran, iç ihtiyaç miktarı ve kullanılacak yakıt miktarları tüm kömür tipleri için Şekil 7.1' de gösterilmiştir. Şekil 7.1 incelendiğinde; Net 150 MWe için, kömürün karbon yüzdesindeki artışa bağlı olarak tüketilen yakıt miktarı, iç ihtiyaç ve brüt elektrik üretiminde azalma olmuştur. Termik verim ve ısı oranında, kömürün nem içeriğinden kaynaklı sapmalar mevcuttur. Özellikle bu sapmanın Türkiye geneli tip-1 numune sonuçlarına göre yüksek oranda gerçekleşmesi, ilgili kömürün nem miktarına bağlı olarak kurutma tesisinden maksimum verim elde edilmesinin sonucu olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre; çevre ve enerji verimliliği açısından ülkemiz linyitlerinin entegre kombine gazlaştırma çevrim santrallerinde değerlendirilmesi mümkündür.

Tasarım ve optimizasyonu yapılmış model ile üretim yapılması halinde ülkemiz için doğal gaza alternatif bir elektrik üretim prosesi de gerçekleştirilmiş olacaktır. Ayrıca model sistem çıktılarına bakıldığında, farklı sanayi kollarında değerlendirilebilecek yan ürün olarak kül, cüruf, argon ve karbondioksit gazlarının üretildiği görülmektedir. Bu ürünler farklı sanayi kollarının ham maddesini oluşturmaktadır. Atık ürünlerin değerlendirilmesi işletmelere ilave değer saylayacaktır.



Şekil 7.1. Farklı kömür tipleri için model çıktısı grafiği.

Son dönemde küresel iklim değişikliğinin sonucu olarak gelişen çevre duyarlılığı sayesinde toz emisyonlarına, sera gazı ile diğer zararlı gaz salımlarına uluslararası anlaşmalarla (Avrupa Birliği Müktesebatı ve Kyoto Protokolü) sınırlamalar getirmektedir. Bunun sonucu olarak da güç santralleri bu şartlara uymaya zorlanmaktadır. Çevreye olan etkileri dikkate alındığında, modellenen güç santralinin sera gazı salınım değeri ve toz emisyon değerleri uluslararası değerlerin altındadır (Çizelge 6.4 ile Çizelge 6.8 arası).

Ülkemizde düşük kaliteli linyitlerden elektrik üretimi genellikle pülverize yakma sistemine sahip termik santraller kullanılarak yapılmaktadır. Mevcuttaki santral teknolojileri eski olup kritik altı işletme parametrelerine sahip santrallerdir. İlgili santrallerin termik verimlilikleri düşüktür. Tasarımı yapılan özelliklerdeki bir “Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Santrali (IGCC)” kurulması halinde, tesisin dizayn değerleri dünyada kurulu ve işletilmekte olan santrallerin dizayn değerlerinde olacaktır. Bu sayede sınırlı miktarda rezerve sahip olduğumuz linyitlerle elektrik üretiminden maksimum verim elde ederek diğer fosil kaynaklara göre daha ekonomik olan kömürden daha az tüketim sağlanacaktır. Dolayısı ile gaz salımları azalacak ve dünyamız daha az kirlenecektir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Álvaro Á.J. ve arkadaşları, (2015), “Simulation of an integrated gasification combined cycle with chemical-looping combustion and carbon dioxide sequestration”, Department of Energy Engineering, Universidad Politécnica de Madrid, José Gutiérrez Abascal, Spain

Ateşok G., Özer, M., Burat, F., Karakaş, F., (2006), Teknolojiden yararlanarak bir gelecek kurmak-temiz kömür teknolojilerinde yeni boyutlar, Türkiye 10. Enerji Kongresi

Basu, P., (2006), Combustion and Gasification in Fluidized beds, Taylor & Francis Group, LLC

Brdar, R.D. ve Jones M.R., (2015), “GE IGCC Technology and Experience with Advanced Gas Turbines”, Ger-4207

Breault, R.W., (2010), Gasification Processes Old and New: A Basic Review of the Major Technologies, Energies 2010, ISSN 1996-1073

Canel, M., (1986), Kömürlerin Gazlaştırılması Coal Gasification, Ankara, Madencilik Cilt XXV Sayı no:2.

Cooper, S., Frazier N., Urane P., (2012), Clean Coal Feasibility Study Integrated Gasification Combined Cycle, Calvin Colledge Department of Engineering 340

Cormos, C.C., (2013), “Assessment of flexible energy vectors polygeneration based on coal and biomass/solid wastes co-gasification with carbon capture”, Babes-Bolyai University, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, Romania

Çürüksulu, M., (2006), “150 MWe kurulu güçteki düşük kaliteli linyitle çalışan bir termik santral için buhar kazanı tasarımı” Yüksek Lisans Tezi Makina Mühendisliği, Ankara

Durgut, R. A., (2010), Kömür gazlaştırma prosesi ve yerli linyit kömürlerinin gazlama özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Haziran Ankara

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi,(2007), Kömür çalışma grubu raporu, Ankara

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi,(2010), Temiz kömür teknolojileri, Ankara

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, (2014), Enerji raporu 2013, Ankara

Elektrik Üretim Anonim Şirketi, (2014), Elektrik üretim sektör raporu 2013, Ankara

Elektrik Üretim Anonim Şirketi, (2015), Elektrik üretim sektör raporu 2014, Ankara

Higman,C., (2014), State of the Gasification Industry:Worldwide Gasification Database Update, vGasification Technologies Conference, Washington

<http://www.worldenergy.org/data/trilemma/index/country/turkey/2015>

http://lfee.mit.edu/public/LFEE_2005-002_WP5.pdf

http://www.bine.info/...Infos/projekt_0906_engl_internetx.pdf

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<http://www.chemsep.org/downloads/>

Kaya, E., (2009), Kömür gazlaştırma ürünlerinin kimyasal denge kuramı ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara

Koç, S., (2006), Linyitlerin gazlaştırılmasına Mineral madde içeriğinin etkisi, Yüksek lisans tezi, ankar

Maurstad O., (2005), An overview of coal based Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC), Cambridge, Technology, MA 02139-4307

Matsuoka K., ve arkadaşları, (2013), Promoting gas production by controlling the interaction of volatiles with char during coal gasification in a circulating fluidized bed gasification reactor, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan

Peter, Dipl.-Ing. R. ve Gerlach Dipl.-Ing. R., (2010), Buhar Kazanı 3'teki DGS-65 Kömür Değirmenlerinin Verimini Artırmaya Yönelik Çalışma SIK 06 / 4162, Berlin

Poloczek, V. ve Hermsmeyer, H., (2008), Modern Gas Turbine with high fuel flexibility, Malezia, Ocak 21-23

Rezaiyan, J., Nicholas P. Cheremisinoff, (2005), Gasification Technologies A Primer for Engineers and Scientists, Taylor & Francis Group, LLC

T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, (2015), “Dünya ve Ülkemiz Tabii Kaynaklar Görünümü sayı: 09 ” Ankara

Tola V., Pettinau A., (2013), A techno-economic comparison between coal combustion and gasification Technologies, Chemical and Materials Engineering, Italy

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, (2010), Kömür linyit sektör raporu 2009, Ankara

Wang, F. ve arkadaşları, (2014), Characterization of coal char gasification with steam in a micro-fluidized bed reaction analyzer, China University of Mining & Technology, Beijing, China

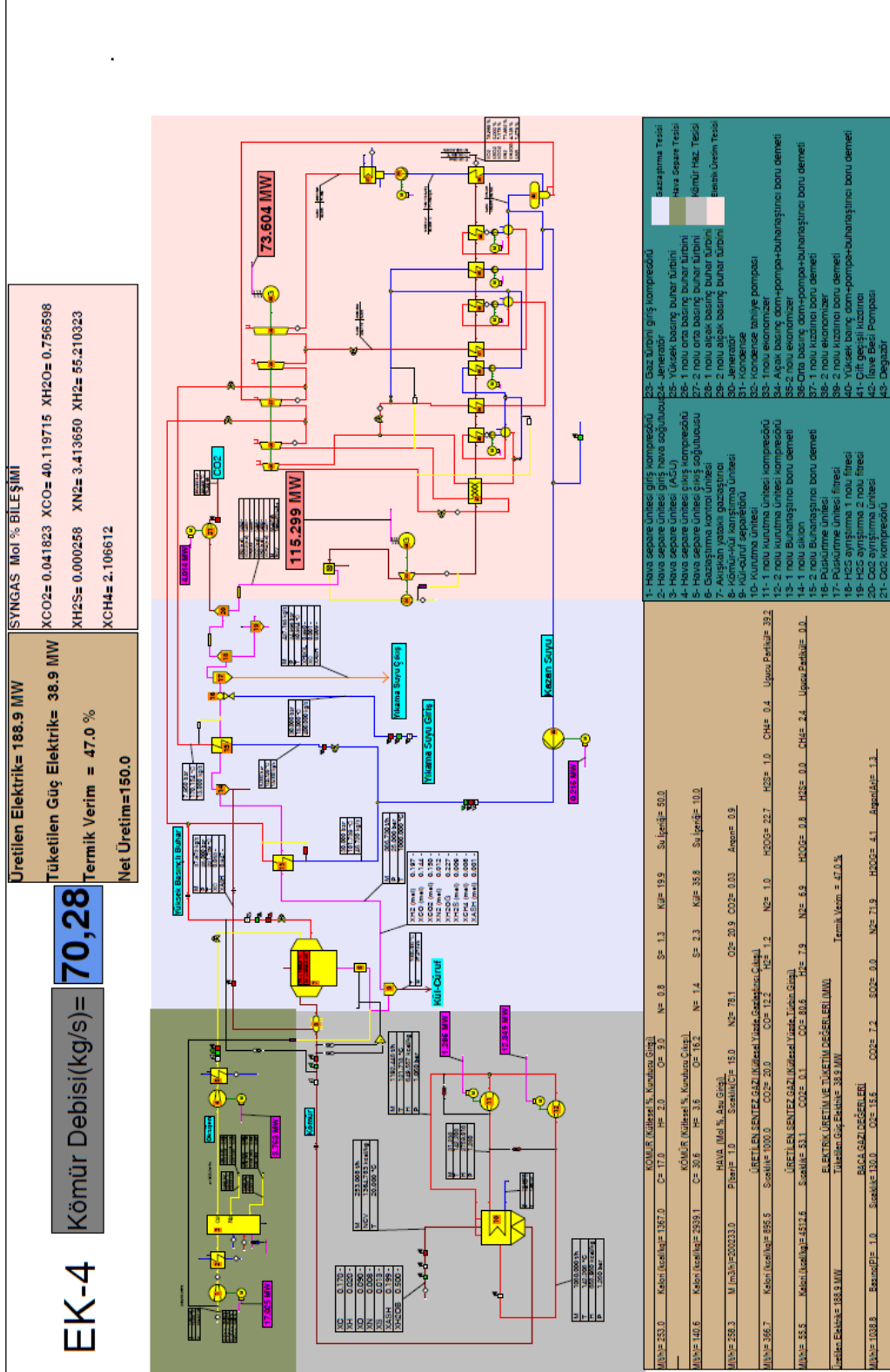
World Energy Council, (2013), World Energy Resources, London, ISBN 978 0 946 121 29 8

Yılmazoğlu, M.Z., (2009), “Gazlaştırıcı kombine çevrim santrallerinde yanma öncesi karbondioksit tutma”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Ankara

Zeng, X. ve arkadaşları, (2013), Pilot verification of a low-tar two-stage coal gasification process with a fluidized bed pyrolyzer and fixed bed gasifier, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

Zhang J. ve arkadaşları, (2012), Efficiency of wet feed IGCC (integrated gasification combined cycle) systems with coalewater slurry preheating vaporization technology, Department of Thermal Engineering, Tsinghua-BP Clean Energy Center, Tsinghua University, China

Ek 4. Türkiye Geneli Tip-1. Program Çıktıları

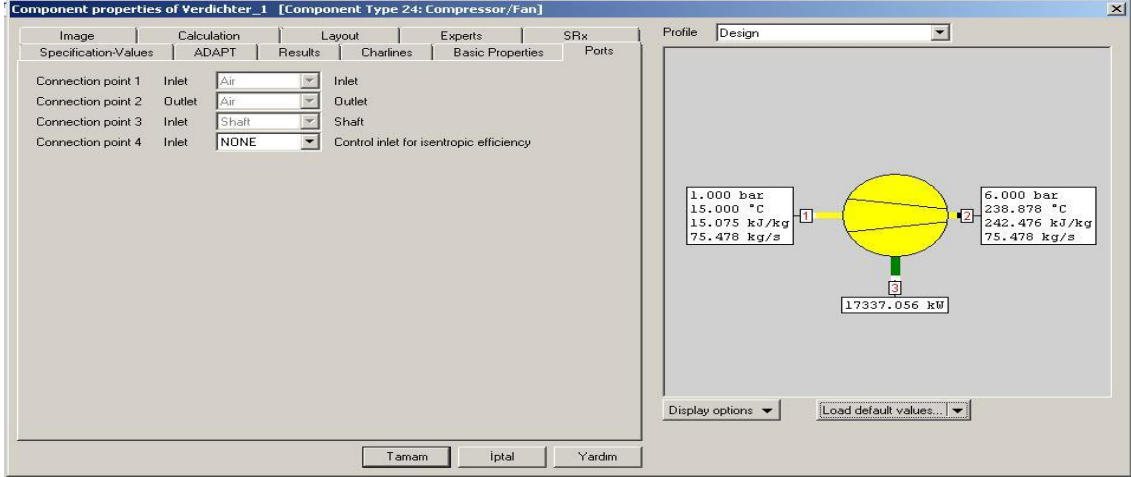


1- Hava separe ünitesi giriş kompresörü
 2- Hava separe ünitesi giriş hava soğutucu
 3- Hava separe ünitesi (ASU)
 4- Hava separe ünitesi giriş kompresörü
 5- Hava separe ünitesi giriş kompresörü
 6- Basıncı kontrol ünitesi
 7- Ayrılmış yakıtı gazlaştırma ünitesi
 8- Kömür-Kül karıştırma ünitesi
 9- Kömür-özellik ayarlaması
 10- Kömür ünitesi
 11- Yürütme ünitesi
 12- 2. no.lu yürütme ünitesi kompresörü
 13- 1. no.lu silon
 14- 1. no.lu silon
 15- 2. no.lu buharlaştırıcı boru demeti
 16- 1. no.lu buharlaştırıcı boru demeti
 17- 1. no.lu buharlaştırıcı boru demeti
 18- 1. no.lu buharlaştırıcı boru demeti
 19- 1. no.lu buharlaştırıcı boru demeti
 20- CO2 ayırma ünitesi
 21- CO2 kompresörü

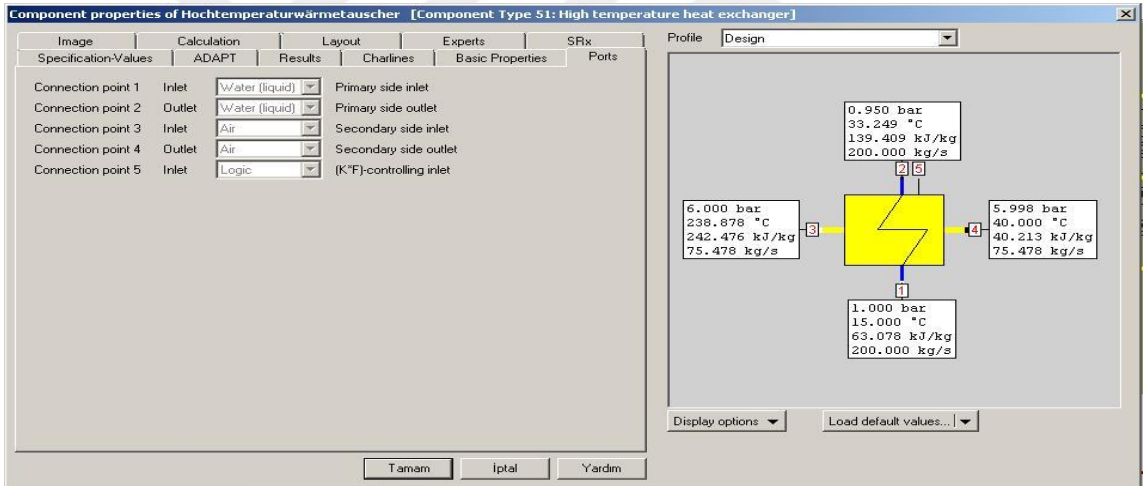
22- Gaz türbini giriş kompresörü
 23- Gaz türbini giriş kompresörü
 24- Jeneratör
 25- Yüksek basınç buhar türbini
 26- Orta basınç buhar türbini
 27- 2. no.lu düşük basınç buhar türbini
 28- 1. no.lu düşük basınç buhar türbini
 29- 2. no.lu düşük basınç buhar türbini
 30- Jeneratör
 31- Kondensatör
 32- Kondensatör pompası
 33- Yüksek basınç buhar türbini
 34- Akış basıncı dam-pompa-buharlaştırıcı boru demeti
 35- 2. no.lu ekonomizer
 36- Orta basınç dam-pompa-buharlaştırıcı boru demeti
 37- 1. no.lu kondensatör
 38- 2. no.lu ekonomizer
 39- Kondensatör pompası
 40- Yüksek basınç dam-pompa-buharlaştırıcı boru demeti
 41- Çift geçişli kızılörme
 42- İlave Baki Pompası
 43- Değeri

Ek 6. Garanti Yakıt İçin Ekipman Giriş ve Çıkış Verileri

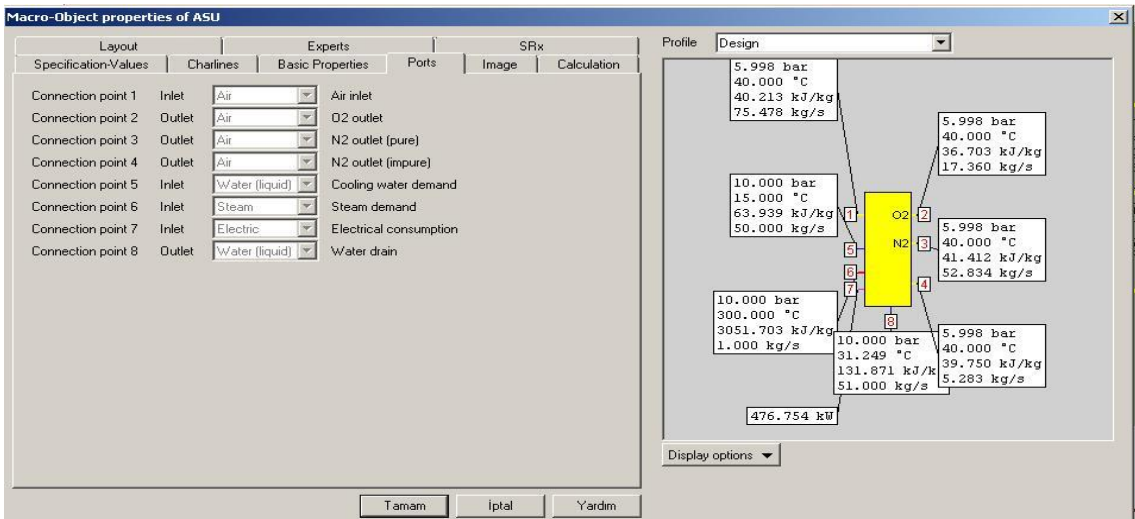
1- Hava Sepere Ünitesi Giriş Kompresörü:



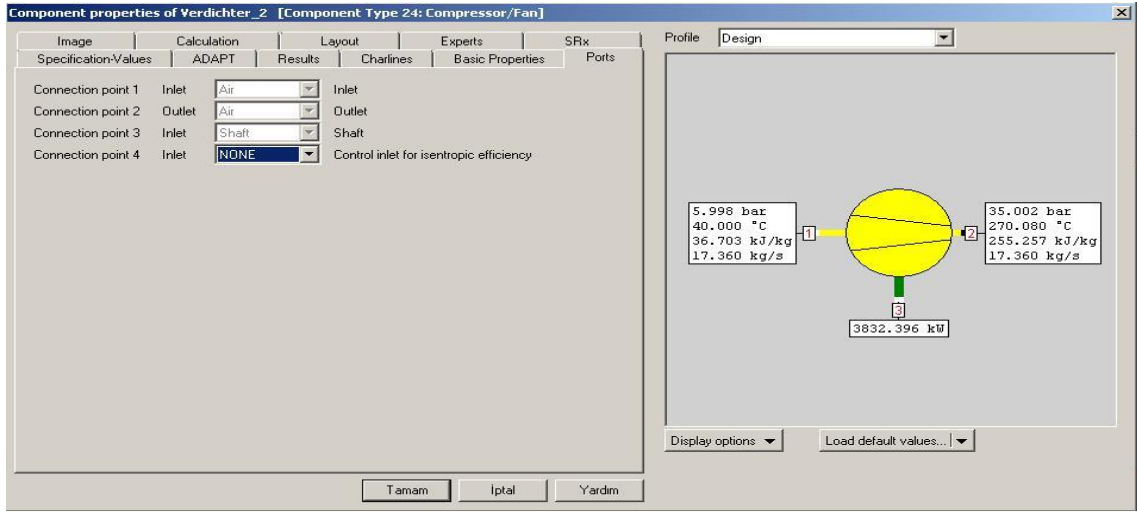
2- Hava Separe Ünitesi Giriş Hava Soğutucusu:



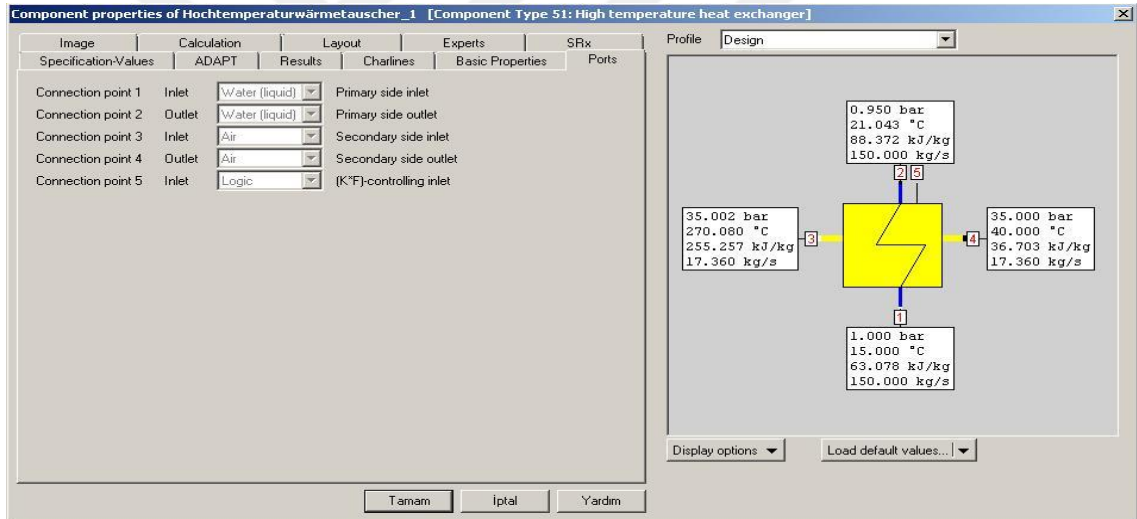
3- Hava Separe Ünitesi (ASU)



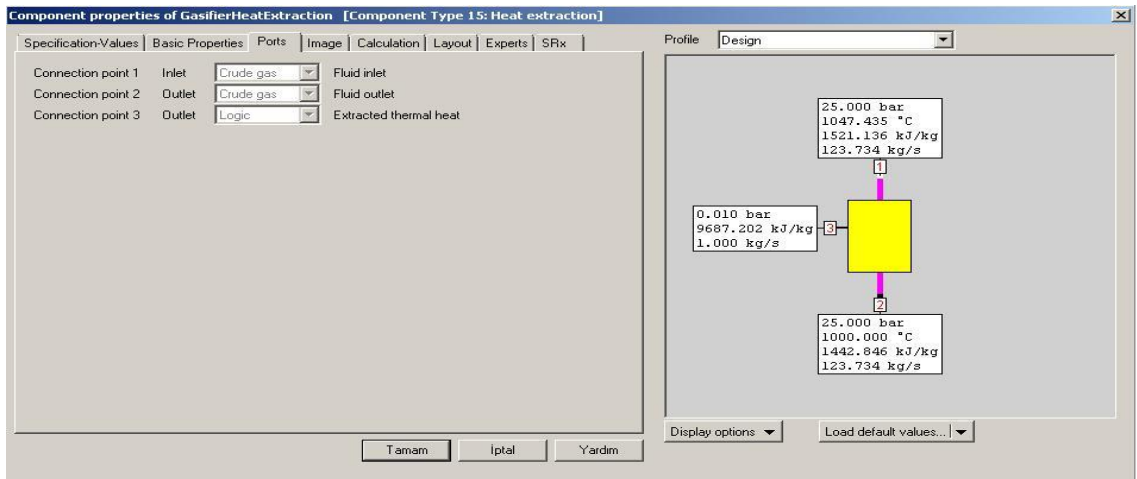
4- Hava Separe Ünitesi Çıkış Kompresörü



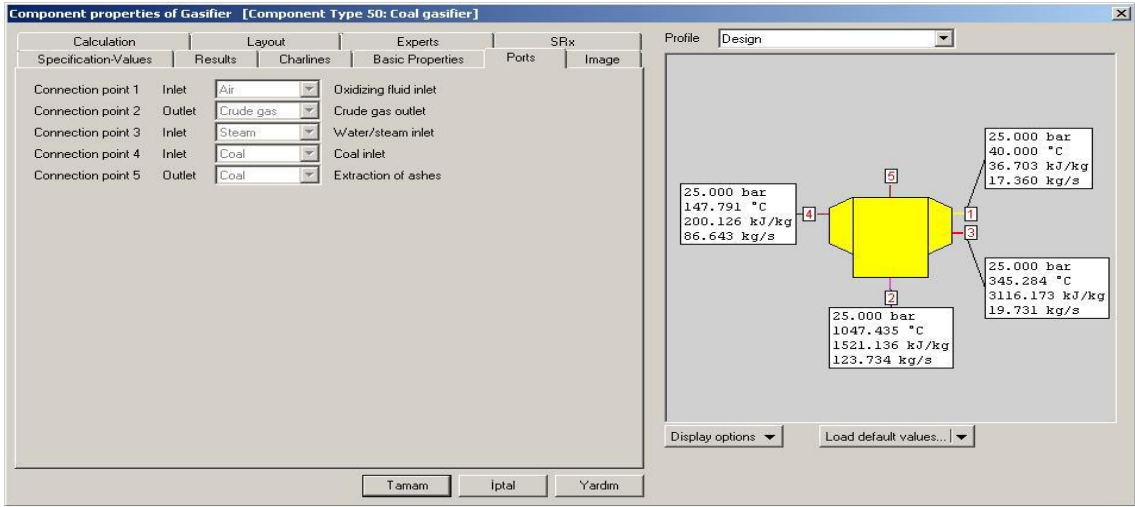
5- Hava Separe Ünitesi Çıkış Soğutucusu:



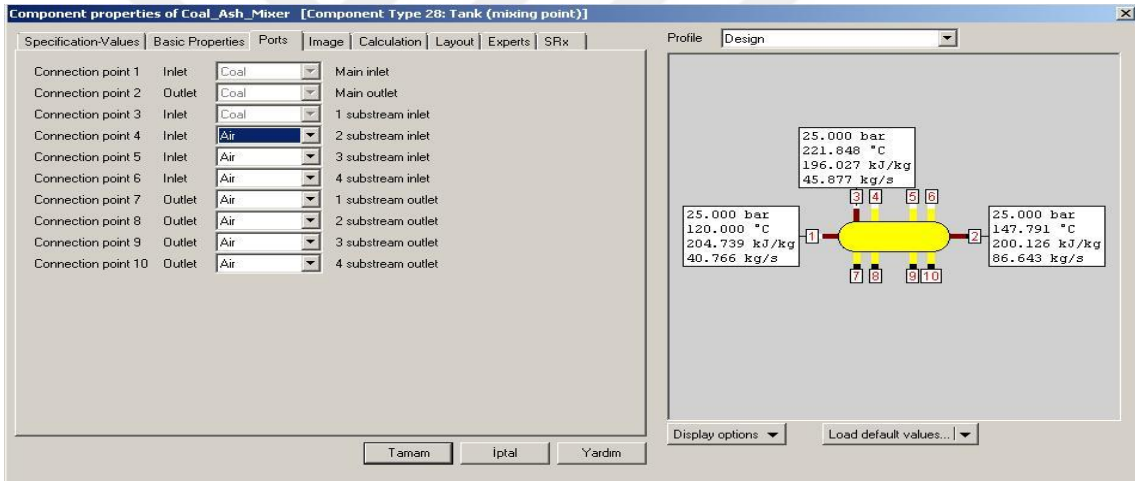
6- Gazlaştırma Kontrol Ünitesi:



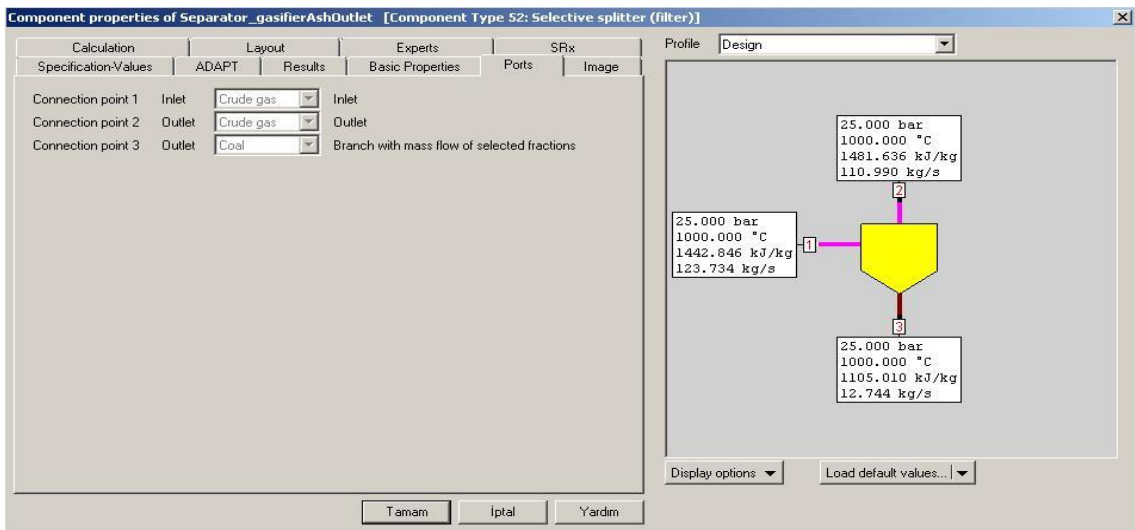
7- Akışkan Yataklı Gazlaştırıcı:



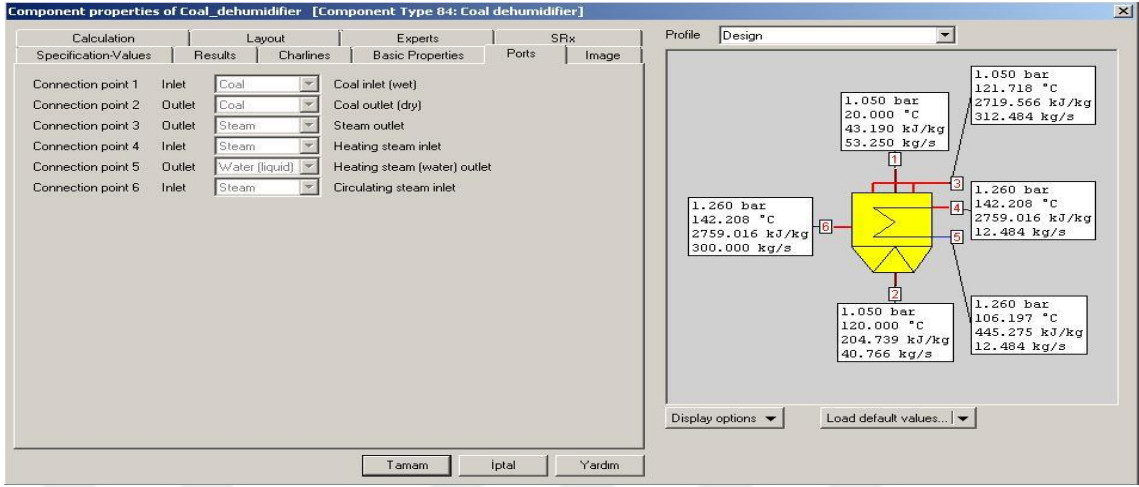
8- Kömür Kül Karıştırma Ünitesi:



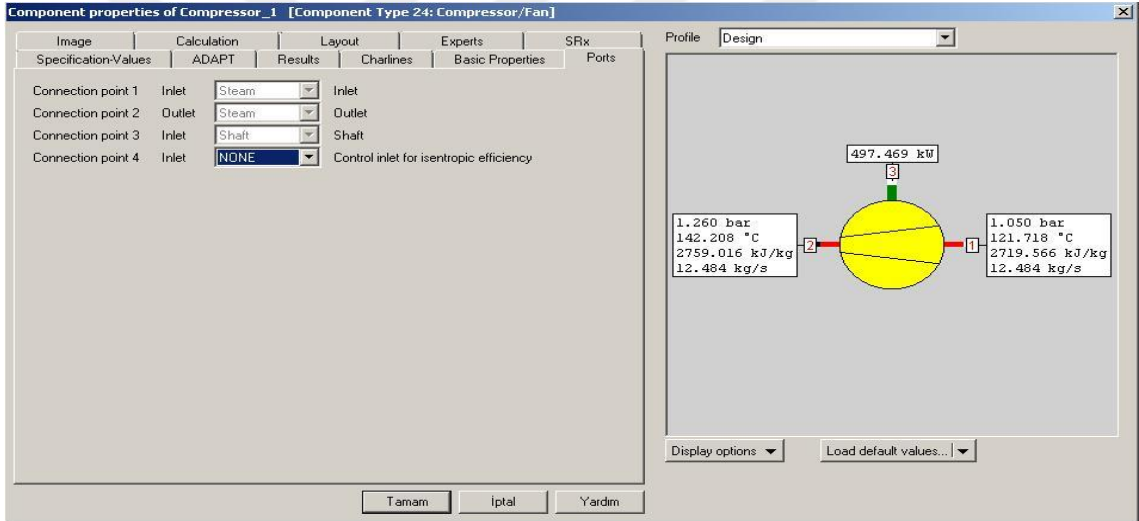
9- Kül Cüruf Separetörü:



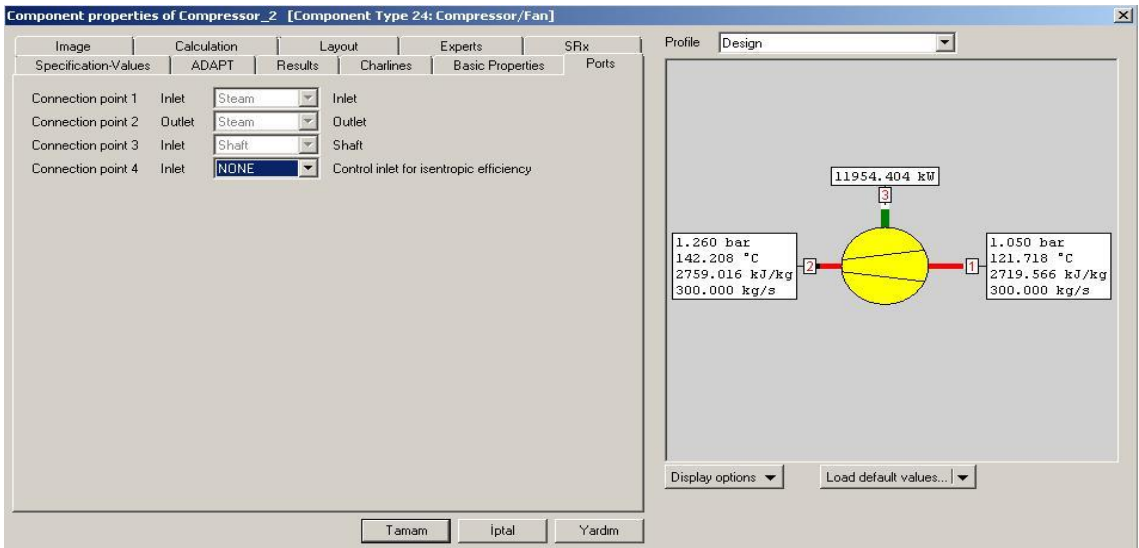
10- Kurutma Ünitesi:



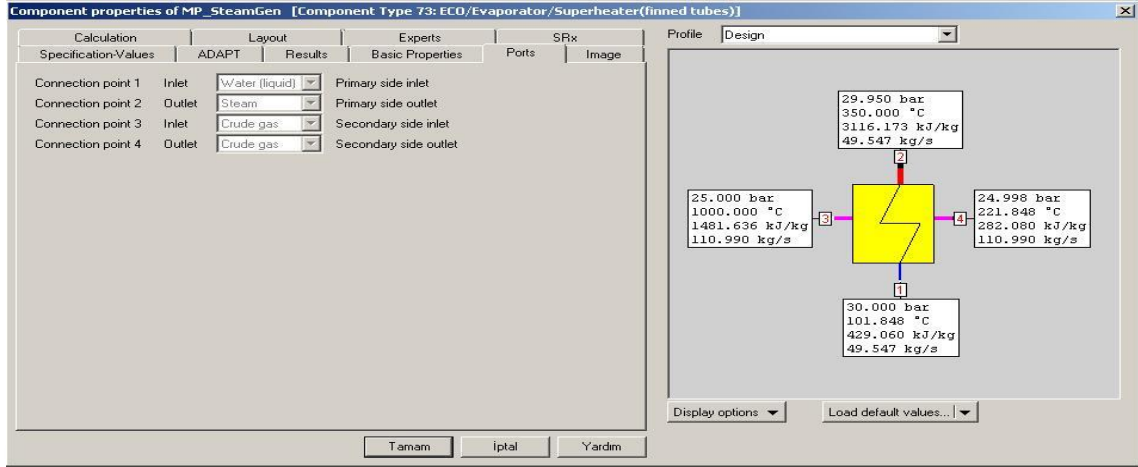
11- Bir Numaralı Kurutma Ünitesi Kompresörü:



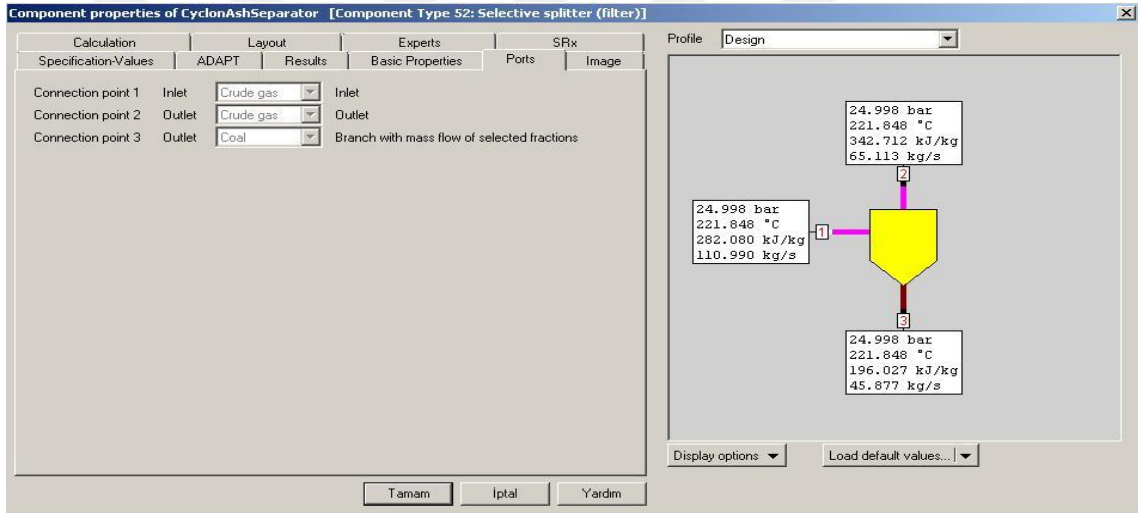
12- İki Numaralı Kurutma Ünitesi Kompresörü:



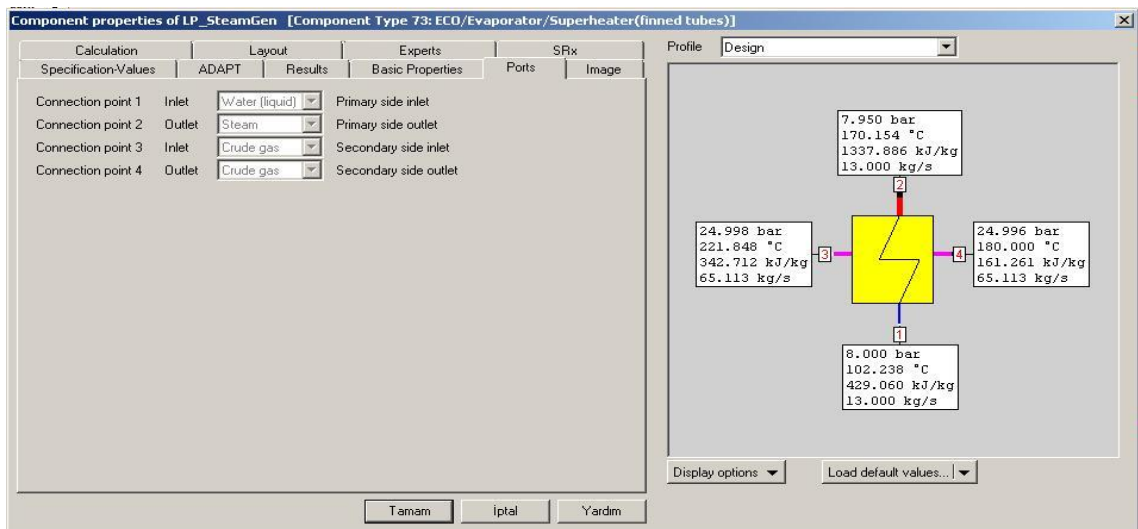
13- Bir Numaralı Buharlaştırıcı Boru Demeti:



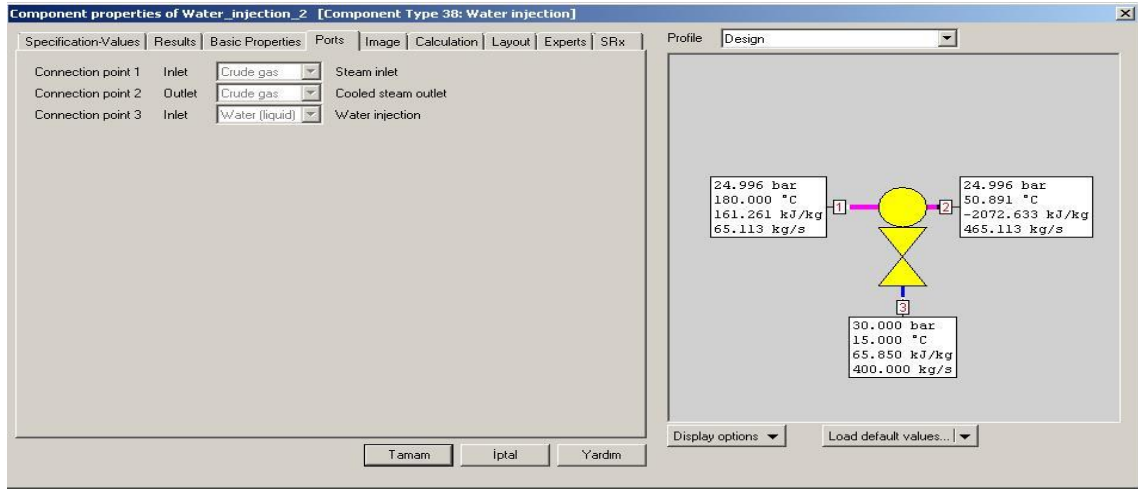
14- Bir Numaralı Siklon:



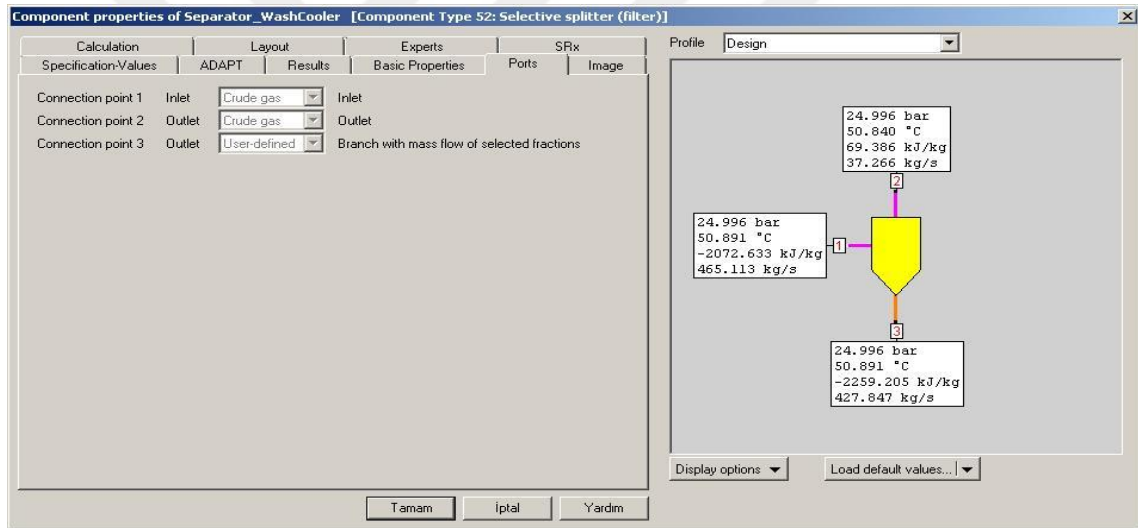
15- İki Numaralı Buharlaştırıcı Boru Demeti:



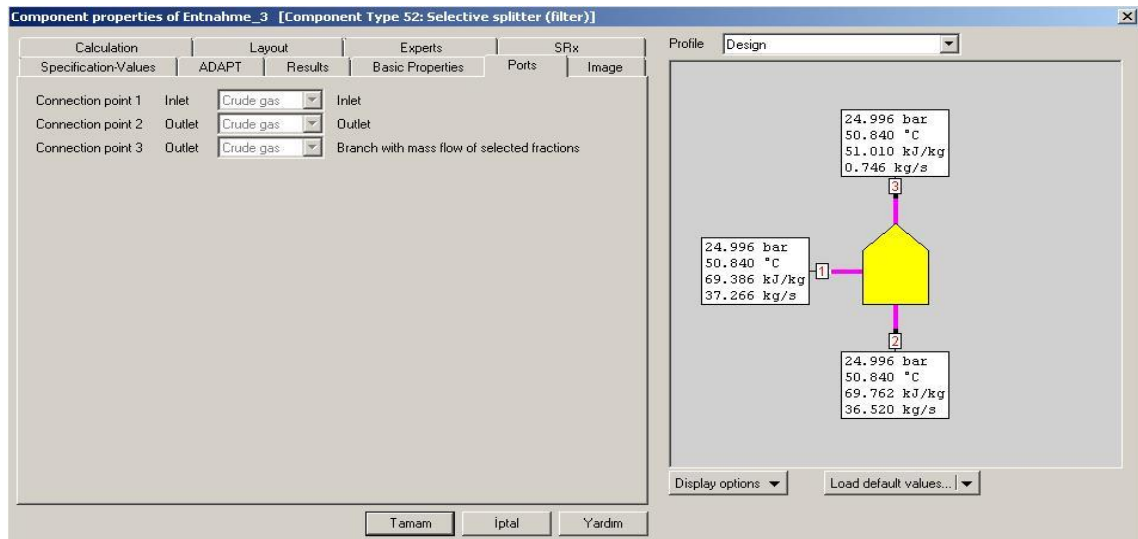
16- Püskürtme Ünitesi:



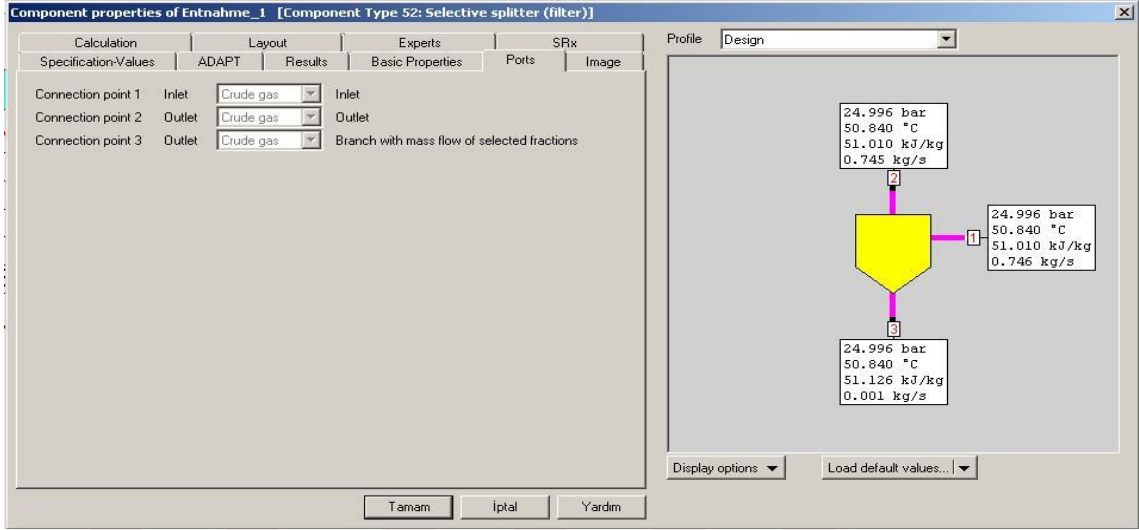
17- Püskürtme Ünitesi Filtresi:



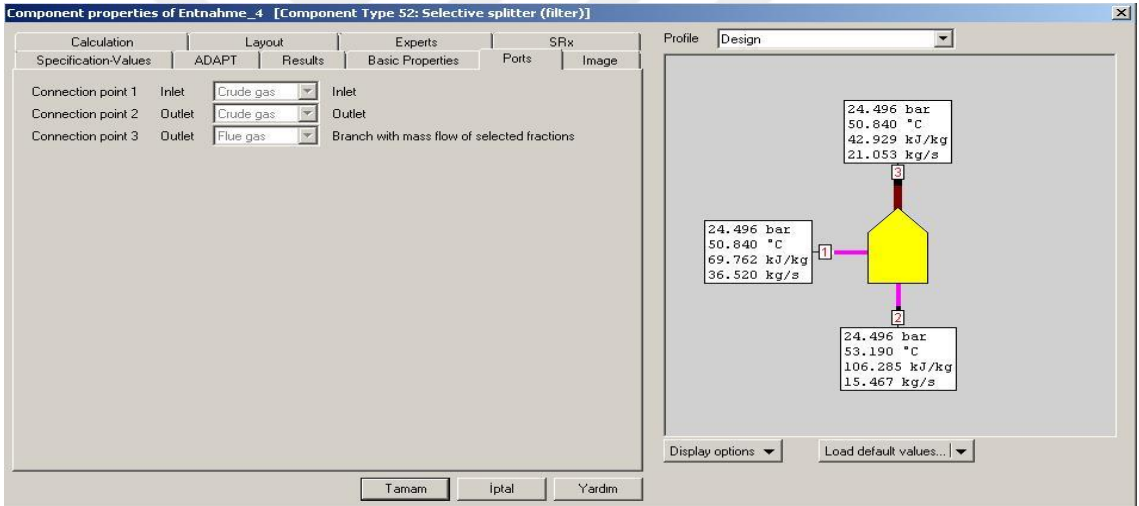
18- Bir Numaralı H₂S Ayrıştırma Ünitesi:



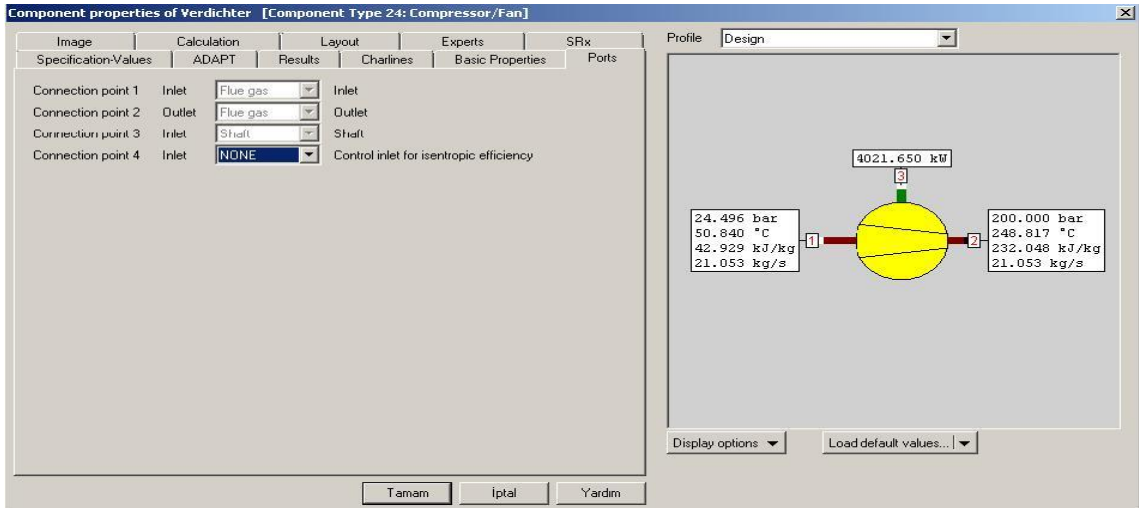
19- İki Numaralı H₂S Ayrıştırma Ünitesi:



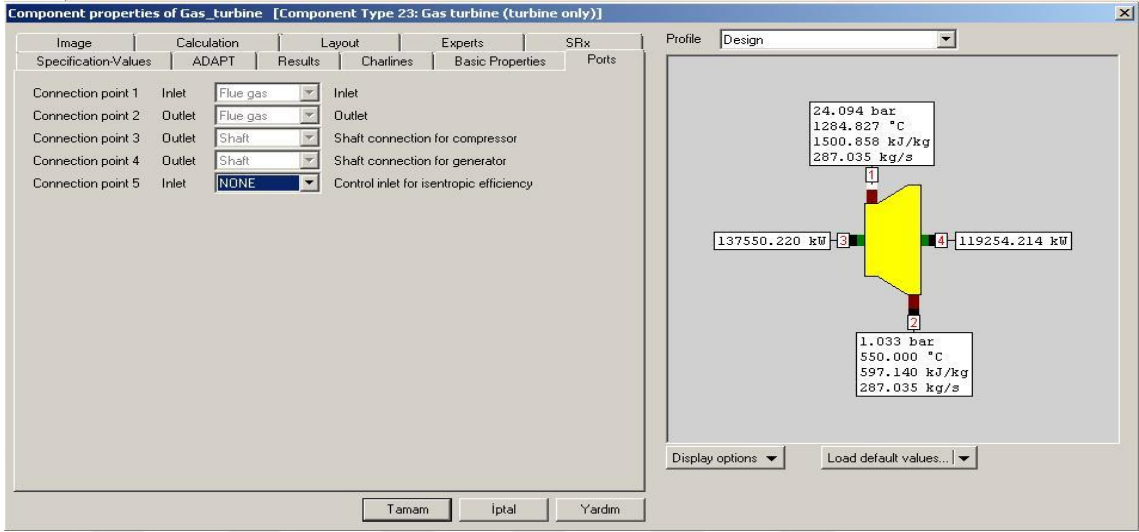
20- CO₂ Ayrıştırma Ünitesi:



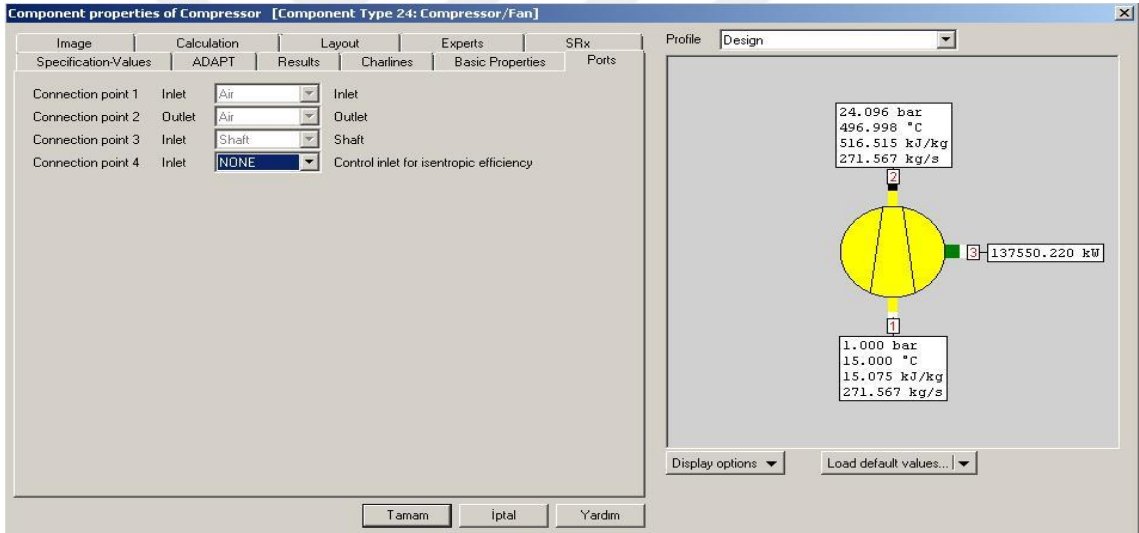
21- Karbondioksit (CO₂) Kompresörü:



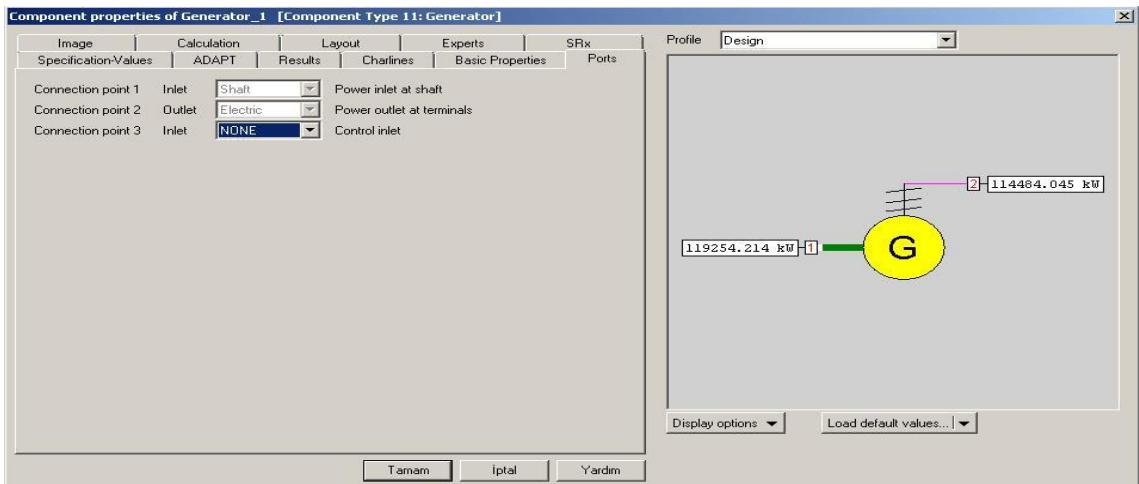
22- Gaz Türbini:



23- Gaz Türbini Giriş Kompresörü:



24- Jeneratör:



25- Yüksek Basıncılı Buhar Türbini:

Component properties of Turbine_1 [Component Type 6: Steam turbine / General expander]

Image	Calculation	Layout	Experts	SRx
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties
Ports				

Connection point	Inlet	Calculation	Layout	Experts	SRx
1	Inlet	Steam	Steam inlet		
2	Outlet	Steam	Steam outlet		
3	Outlet	Steam	Extraction 1		
4	Outlet	Steam	Extraction 2		
5	Inlet	Shaft	Shaft inlet		
6	Outlet	Shaft	Shaft outlet		
7	Inlet	NONE	Control inlet for efficiency		

Profile: Design

Parameter	Value 1	Value 2
Pressure	90.000 bar	28.310 bar
Temperature	499.500 °C	336.773 °C
Enthalpy	3386.046 kJ/kg	3088.749 kJ/kg
Mass flow	30.999 kg/s	30.999 kg/s

Display options | Load default values...

Tamam | İptal | Yardım

26- Bir Numaralı Orta Basıncılı Buhar Türbini:

Component properties of Turbine_1 [Component Type 6: Steam turbine / General expander]

Image	Calculation	Layout	Experts	SRx
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties
Ports				

Connection point	Inlet	Calculation	Layout	Experts	SRx
1	Inlet	Steam	Steam inlet		
2	Outlet	Steam	Steam outlet		
3	Outlet	Steam	Extraction 1		
4	Outlet	Steam	Extraction 2		
5	Inlet	Shaft	Shaft inlet		
6	Outlet	Shaft	Shaft outlet		
7	Inlet	NONE	Control inlet for efficiency		

Profile: Design

Parameter	Value 1	Value 2
Pressure	28.300 bar	21.500 bar
Temperature	502.500 °C	461.903 °C
Enthalpy	3464.531 kJ/kg	3382.304 kJ/kg
Mass flow	36.112 kg/s	36.112 kg/s

Display options | Load default values...

Tamam | İptal | Yardım

27- İki Numaralı Orta Basıncılı Buhar Türbini:

Component properties of Turbine_4 [Component Type 6: Steam turbine / General expander]

Image	Calculation	Layout	Experts	SRx
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties
Ports				

Connection point	Inlet	Calculation	Layout	Experts	SRx
1	Inlet	Steam	Steam inlet		
2	Outlet	Steam	Steam outlet		
3	Outlet	Steam	Extraction 1		
4	Outlet	Steam	Extraction 2		
5	Inlet	Shaft	Shaft inlet		
6	Outlet	Shaft	Shaft outlet		
7	Inlet	NONE	Control inlet for efficiency		

Profile: Design

Parameter	Value 1	Value 2
Pressure	21.500 bar	3.250 bar
Temperature	407.323 °C	192.514 °C
Enthalpy	3261.944 kJ/kg	2849.229 kJ/kg
Mass flow	65.928 kg/s	53.691 kg/s

Display options | Load default values...

Tamam | İptal | Yardım

28- Bir Numaralı Alçak Basınç Türbini:

Component properties of Turbine_5 [Component Type 6: Steam turbine / General expander]

Image	Calculation	Layout	Experts	SRx	
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties	Ports
Connection point 1	Inlet	Steam	Steam inlet		
Connection point 2	Outlet	Steam	Steam outlet		
Connection point 3	Outlet	Steam	Extraction 1		
Connection point 4	Outlet	Steam	Extraction 2		
Connection point 5	Inlet	Shaft	Shaft inlet		
Connection point 6	Outlet	Shaft	Shaft outlet		
Connection point 7	Inlet	NONE	Control inlet for efficiency		

Profile: Design

Property	Value
Pressure	3.250 bar
Temperature	136.276 °C
Enthalpy	2554.625 kJ/kg
Mass flow	66.691 kg/s

Property	Value
Pressure	3.200 bar
Temperature	135.740 °C
Enthalpy	2552.336 kJ/kg
Mass flow	66.691 kg/s

Display options Load default values...

Tamam İptal Yardım

29- İki Numaralı Alçak Basınç Türbini:

Component properties of Turbine_2 [Component Type 6: Steam turbine / General expander]

Image	Calculation	Layout	Experts	SRx	
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties	Ports
Connection point 1	Inlet	Steam	Steam inlet		
Connection point 2	Outlet	Steam	Steam outlet		
Connection point 3	Outlet	Steam	Extraction 1		
Connection point 4	Outlet	Steam	Extraction 2		
Connection point 5	Inlet	Shaft	Shaft inlet		
Connection point 6	Outlet	Shaft	Shaft outlet		
Connection point 7	Inlet	NONE	Control inlet for efficiency		

Profile: Design

Property	Value
Pressure	3.200 bar
Temperature	135.740 °C
Enthalpy	2586.099 kJ/kg
Mass flow	73.223 kg/s

Property	Value
Pressure	0.050 bar
Temperature	32.875 °C
Enthalpy	2086.983 kJ/kg
Mass flow	73.223 kg/s

Display options Load default values...

Tamam İptal Yardım

30- Jeneratör:

Component properties of Generator [Component Type 11: Generator]

Image	Calculation	Layout	Experts	SRx	
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties	Ports
Connection point 1	Inlet	Shaft	Power inlet at shaft		
Connection point 2	Outlet	Electric	Power outlet at terminals		
Connection point 3	Inlet	NONE	Control inlet		

Profile: Design

Property	Value
Power	75942.159 kW

Property	Value
Power	74848.592 kW

Display options Load default values...

Tamam İptal Yardım

31- Kondense:

Component properties of Condenser [Component Type 7: Steam turbine condenser]

Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Spec-Matrices	Basic Properties
Ports	Image	Calculation	Layout	Experts	SRx
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Cooling medium inlet		
Connection point 2	Outlet	Water (liquid)	Cooling medium outlet		
Connection point 3	Inlet	Steam	Exhaust steam inlet		
Connection point 4	Outlet	Water (liquid)	Condensate outlet		
Connection point 5	Inlet	Water (liquid)	Secondary condensate inlet		
Connection point 6	Inlet	NONE	Control inlet for KAN (or CLTUBE)		

Profile: Design

0.050 bar
32.875 °C
2086.983 kJ/kg
73.223 kg/s

1.950 bar
22.875 °C
96.131 kJ/kg
4330.673 kg/s

2.000 bar
15.000 °C
63.173 kJ/kg
4330.673 kg/s

0.050 bar
32.875 °C
137.765 kJ/kg
73.223 kg/s

Display options Load default values...

Tamam İptal Yardım

32- Kondense Tahliye Pompası:

Component properties of Pump_2 [Component Type 8: Pump (fixed speed)]

Image	Calculation	Layout	Experts	SRx
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties
Ports				
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Feed water inlet	
Connection point 2	Outlet	Water (liquid)	Feed water outlet	
Connection point 3	Inlet	Shaft	Necessary shaft power	
Connection point 4	Inlet	NONE	Control inlet for efficiency	

Profile: Design

0.050 bar
32.875 °C
137.765 kJ/kg
73.223 kg/s

29.963 kW

3.300 bar
32.903 °C
138.174 kJ/kg
73.223 kg/s

Display options Load default values...

Tamam İptal Yardım

33- Bir Numaralı Ekonomizer:

Component properties of Heat_exchanger_15 [Component Type 61: ECO/Evaporator/Superheater (with exponents)]

Calculation	Layout	Experts	SRx
Specification-Values	ADAPT	Results	Basic Properties
Ports			
Image			
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Primary side inlet
Connection point 2	Outlet	Water (liquid)	Primary side outlet
Connection point 3	Inlet	Flue gas	Secondary side inlet
Connection point 4	Outlet	Flue gas	Secondary side outlet
Connection point 5	Inlet	NONE	Control inlet for KAN

Profile: Design

3.300 bar
32.903 °C
138.174 kJ/kg
73.223 kg/s

1.016 bar
143.277 °C
149.070 kJ/kg
287.035 kg/s

1.013 bar
130.000 °C
135.118 kJ/kg
287.035 kg/s

3.250 bar
45.994 °C
192.865 kJ/kg
73.223 kg/s

Display options Load default values...

Tamam İptal Yardım

34- Alçak Basınç Dom +Pompa+ Buharlaştırıcı Boru Demeti:

Component properties of Drum_2 [Component Type 20: Drum]

Specification-Values	Results	Basic Properties	Ports	Image	Calculation	Layout	Experts	SRx
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Boiler feed water inlet					
Connection point 2	Outlet	Steam	Saturated steam outlet					
Connection point 3	Outlet	Water (liquid)	Circulating water outlet					
Connection point 4	Inlet	Steam	Circulating water return					
Connection point 5	Outlet	Water (liquid)	Blowdown					

Tamam İptal Yardım

Component properties of Pump_5 [Component Type 8: Pump (fixed speed)]

Image	Calculation	Layout	Experts	SRx	
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties	Ports
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Feed water inlet		
Connection point 2	Outlet	Water (liquid)	Feed water outlet		
Connection point 3	Inlet	Shaft	Necessary shaft power		
Connection point 4	Inlet	NONE	Control inlet for efficiency		

Tamam İptal Yardım

Component properties of Heat_exchanger_14 [Component Type 61: ECO/Evaporator/Superheater (with exponents)]

Calculation	Layout	Experts	SRx		
Specification-Values	ADAPT	Results	Basic Properties	Ports	Image
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Primary side inlet		
Connection point 2	Outlet	Steam	Primary side outlet		
Connection point 3	Inlet	Flue gas	Secondary side inlet		
Connection point 4	Outlet	Flue gas	Secondary side outlet		
Connection point 5	Inlet	NONE	Control inlet for KAN		

Tamam İptal Yardım

35- İki Numaralı Ekonomizer:

Component properties of Heat_exchanger_13 [Component Type 61: ECO/Evaporator/Superheater (with exponents)]

Calculation	Layout	Experts	SRx
Specification-Values	ADAPT	Results	Basic Properties
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Primary side inlet
Connection point 2	Outlet	Water (liquid)	Primary side outlet
Connection point 3	Inlet	Flue gas	Secondary side inlet
Connection point 4	Outlet	Flue gas	Secondary side outlet
Connection point 5	Inlet	NONE	Control inlet for KAN

Profile: Design

Display options: [v] Load default values...: [v]

Tamam iptal Yardım

Component properties of Pump_1 [Component Type 8: Pump (fixed speed)]

Image	Calculation	Layout	Experts	SRx
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Feed water inlet	
Connection point 2	Outlet	Water (liquid)	Feed water outlet	
Connection point 3	Inlet	Shaft	Necessary shaft power	
Connection point 4	Inlet	NONE	Control inlet for efficiency	

Profile: Design

Display options: [v] Load default values...: [v]

Tamam iptal Yardım

36- Orta Basınç Dom+Pompa +Buharlaştırıcı Boru Demeti:

Component properties of Drum_1 [Component Type 20: Drum]

Specification-Values	Results	Basic Properties	Ports	Image	Calculation	Layout	Experts	SRx
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Boiler feed water inlet					
Connection point 2	Outlet	Steam	Saturated steam outlet					
Connection point 3	Outlet	Water (liquid)	Circulating water outlet					
Connection point 4	Inlet	Steam	Circulating water return					
Connection point 5	Outlet	Water (liquid)	Blowdown					

Tamam İptal Yardım

Component properties of Heat_exchanger_12 [Component Type 61: ECO/Evaporator/Superheater (with exponents)]

Calculation	Layout	Experts	SRx		
Specification-Values	ADAPT	Results	Basic Properties	Ports	Image
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Primary side inlet		
Connection point 2	Outlet	Steam	Primary side outlet		
Connection point 3	Inlet	Flue gas	Secondary side inlet		
Connection point 4	Outlet	Flue gas	Secondary side outlet		
Connection point 5	Inlet	NONE	Control inlet for KAN		

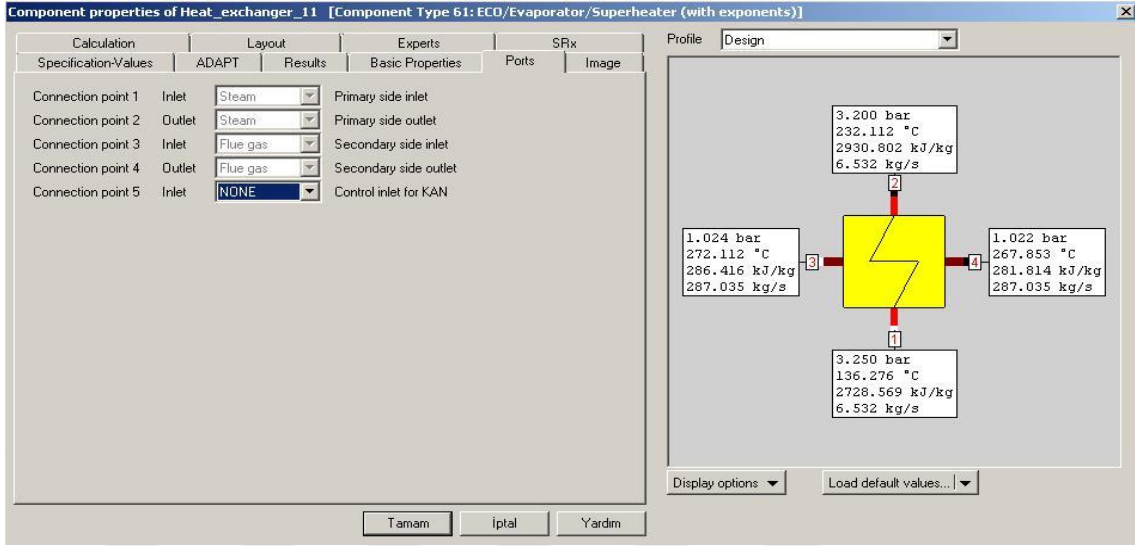
Tamam İptal Yardım

Component properties of Pump_4 [Component Type 8: Pump (fixed speed)]

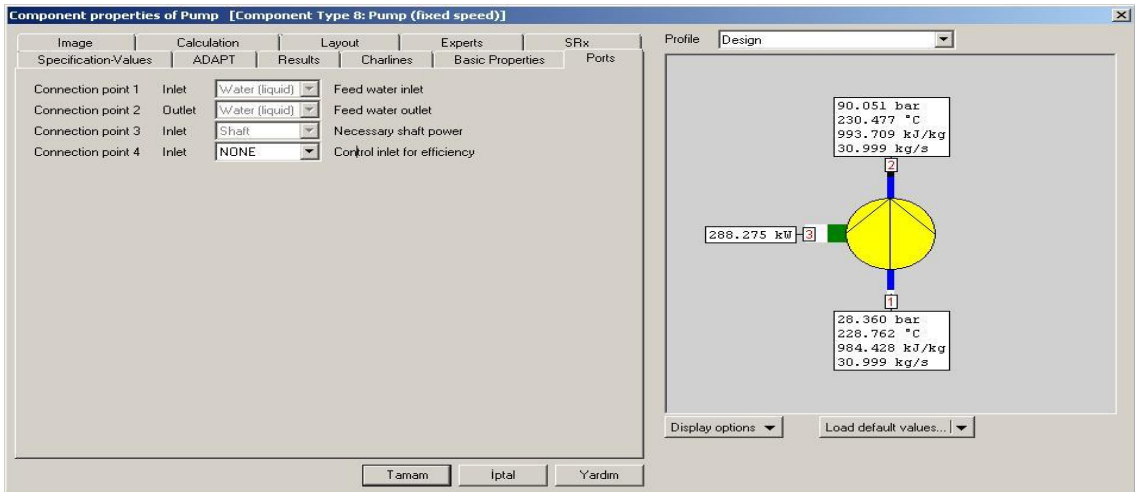
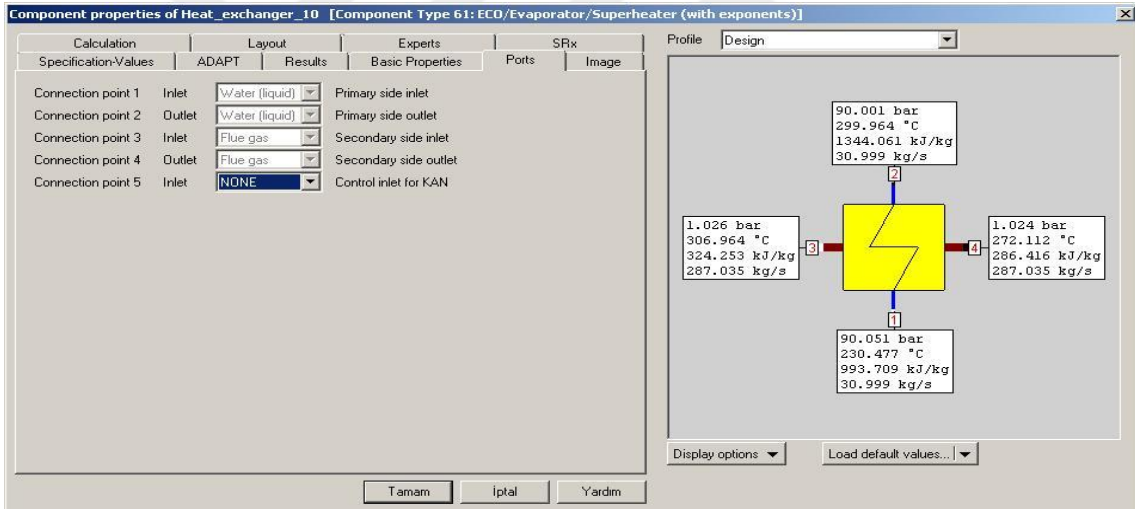
Image	Calculation	Layout	Experts	SRx	
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties	Ports
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Feed water inlet		
Connection point 2	Outlet	Water (liquid)	Feed water outlet		
Connection point 3	Inlet	Shaft	Necessary shaft power		
Connection point 4	Inlet	NONE	Control inlet for efficiency		

Tamam İptal Yardım

37- Bir Numaralı Kızdırıcı Boru Demeti:



38- İki Numaralı Ekonomizer:



39- İki Numaralı kızdırıcı Boru Demeti:

Component properties of Heat_exchanger_9 [Component Type 61: ECO/Evaporator/Superheater (with exponents)]

Calculation	Layout	Experts	SFx
Specification-Values	ADAPT	Results	Basic Properties
Ports	Image		

Profile: Design

Connection point	Inlet/Outlet	Medium	Side
Connection point 1	Inlet	Steam	Primary side inlet
Connection point 2	Outlet	Steam	Primary side outlet
Connection point 3	Inlet	Flue gas	Secondary side inlet
Connection point 4	Outlet	Flue gas	Secondary side outlet
Connection point 5	Inlet	NONE	Control inlet for KAN

Display options: [v] Load default values...: [v]

Tamam iptal Yardım

40- Yüksek Basınç Dom Pompa Buharlaştırıcı Boru Demeti:

Component properties of Drum [Component Type 20: Drum]

Specification-Values	Results	Basic Properties	Ports	Image	Calculation	Layout	Experts	SRx
Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Boiler feed water inlet					
Connection point 2	Outlet	Steam	Saturated steam outlet					
Connection point 3	Outlet	Water (liquid)	Circulating water outlet					
Connection point 4	Inlet	Steam	Circulating water return					
Connection point 5	Outlet	Water (liquid)	Blowdown					

Profile: Design

Flow parameters for Drum:

- Connection point 1: 90.001 bar, 303.348 °C, 1363.655 kJ/kg, 200.000 kg/s
- Connection point 2: 90.001 bar, 303.348 °C, 2742.880 kJ/kg, 30.999 kg/s
- Connection point 3: 90.001 bar, 303.348 °C, 1580.463 kJ/kg, 200.000 kg/s
- Connection point 4: 90.001 bar, 303.348 °C, 1580.463 kJ/kg, 200.000 kg/s
- Connection point 5: 90.001 bar, 299.964 °C, 1344.061 kJ/kg, 30.999 kg/s

Tamam İptal Yardım

Component properties of Heat_exchanger_8 [Component Type 61: ECO/Evaporator/Superheater (with exponents)]

Calculation	Layout	Experts	SRx
Specification-Values	ADAPT	Results	Basic Properties
Ports	Image		

Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Primary side inlet
Connection point 2	Outlet	Steam	Primary side outlet
Connection point 3	Inlet	Flue gas	Secondary side inlet
Connection point 4	Outlet	Flue gas	Secondary side outlet
Connection point 5	Inlet	NONE	Control inlet for KAN

Profile: Design

Flow parameters for Heat Exchanger:

- Connection point 1: 90.051 bar, 303.350 °C, 1363.664 kJ/kg, 200.000 kg/s
- Connection point 2: 90.001 bar, 303.348 °C, 1580.463 kJ/kg, 200.000 kg/s
- Connection point 3: 1.030 bar, 446.536 °C, 479.008 kJ/kg, 287.035 kg/s
- Connection point 4: 1.028 bar, 310.350 °C, 327.946 kJ/kg, 287.035 kg/s

Tamam İptal Yardım

Component properties of Pump_3 [Component Type 8: Pump (fixed speed)]

Image	Calculation	Layout	Experts	SRx
Specification-Values	ADAPT	Results	Charlines	Basic Properties
Ports				

Connection point 1	Inlet	Water (liquid)	Feed water inlet
Connection point 2	Outlet	Water (liquid)	Feed water outlet
Connection point 3	Inlet	Shaft	Necessary shaft power
Connection point 4	Inlet	NONE	Control inlet for efficiency

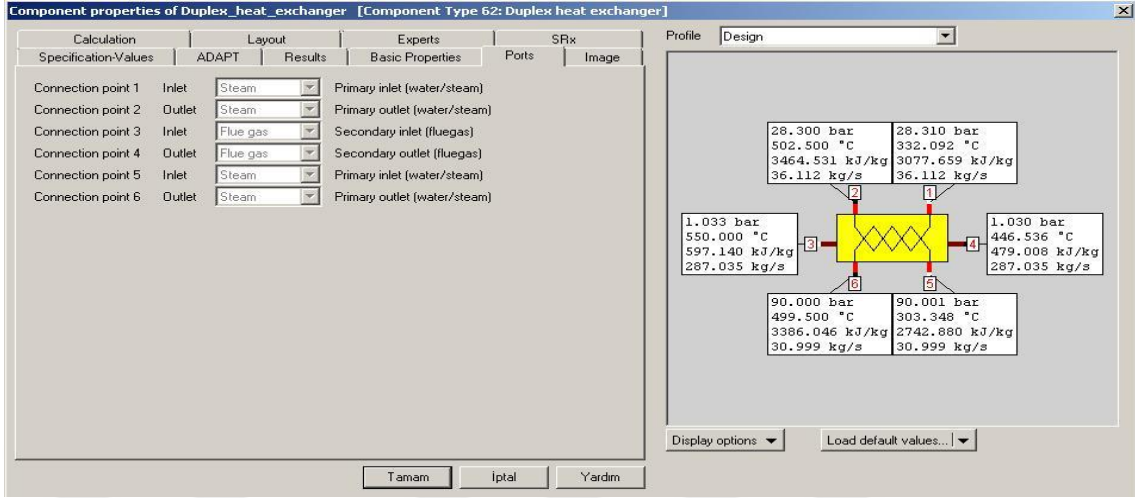
Profile: Design

Flow parameters for Pump:

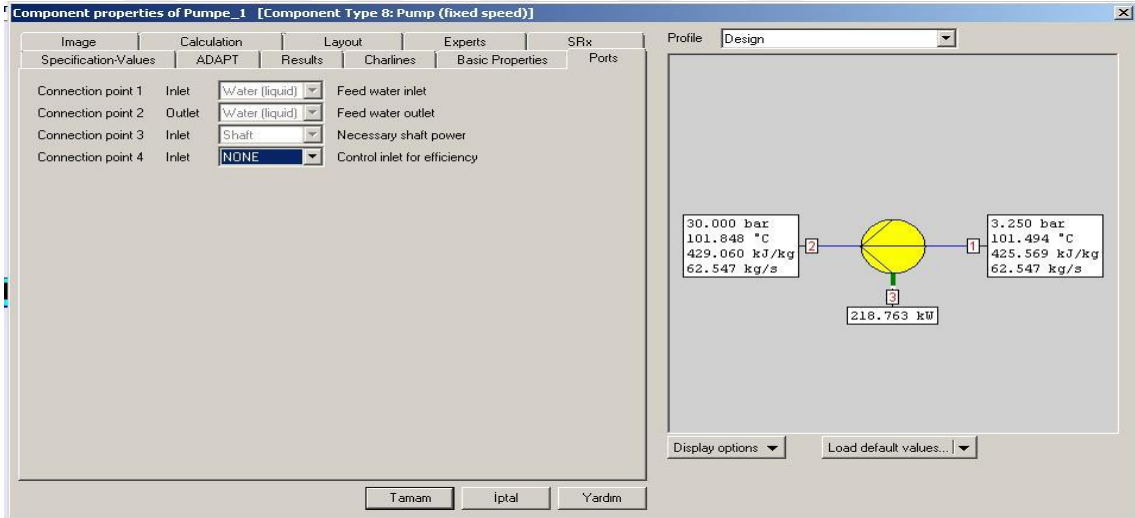
- Connection point 1: 90.001 bar, 303.348 °C, 1363.655 kJ/kg, 200.000 kg/s
- Connection point 2: 90.051 bar, 303.350 °C, 1363.664 kJ/kg, 200.000 kg/s
- Connection point 3: 1.776 kW

Tamam İptal Yardım

41- Çift Geçişli Kızdırıcı:



42- İlave Besi Pompası:



43- Değazör:

