

57605

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÖMÜR GAZ KOMBİNE
ÇEVİRİM SANTRALLARININ
TEKNİK VE EKONOMİK
ETÜDÜ

Makina Müh. Şahin DURSUN

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şükrü BEKDEMİR

İSTANBUL, 1996

57605

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ

TABLO LİSTESİ

TEŞEKKÜR

ÖZET

SUMMARY

1	GİRİŞ	1
2	KÖMÜR GAZLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ ve TEKNOLOJİLERİ	3
2.1	Sabit Yatakta Gazlaştırma	6
2.1.1	Lurgi Gazlaştırma Süreci	7
2.1.2	Lurgi Gazlaştırıcısının Avantajları ve Dezavantajları	9
2.2	Akışkan Yatakta Gazlaştırma	9
2.2.1	Akışkan Yatakta Gazlaştırmanın Avantajları ve Dezavantajları	12
2.3	Sürüklenmeli Yatakta Gazlaştırma	13
2.3.1	Sürüklenmeli Yatakta Gazlaştırmanın Avantajları ve Dezavantajları	15
2.4	Erimiş Yatakta Gazlaştırma	16
2.4.1	Erimiş Yatakta Gazlaştırmanın Avantajları ve Dezavantajları	17
2.5	Ticari Gazlaştırıcılar	18
2.5.1	Sabit Yatak Asıllı Ticari Gazlaştırıcılar	18
2.5.1.1	BBC Lurgi Slagger Gazlaştırıcısı	18
2.5.1.2	Lurgi RUHR100 Gazlaştırıcısı	19
2.5.2	Akışkan Yatak Asıllı Ticari Gazlaştırıcılar	19
2.5.2.1	Battle Carbide Gazlaştırıcısı	19
2.5.2.2	CO ₂ Alıcı Gazlaştırıcısı	20
2.5.2.3	COGAS Gazlaştırıcısı	20
2.5.2.4	HYGAS Gazlaştırıcısı	21
2.5.2.5	MINES SYNTHANE Gazlaştırıcısı	23
2.5.2.6	UGAS Gazlaştırıcısı	25
2.5.2.7	Winkler Gazlaştırıcısı	26

2.5.2.8	BI GAS Gazlaştırıcısı	28
2.5.2.9	Westinghouse Gazlaştırıcısı	29
2.5.3	Sürüklenmeli Yatak Asılı Ticari Gazlaştırıcılar	31
2.5.3.1	BABCOCK WILCOX Gazlaştırıcısı	31
2.5.3.2	Koppers Totzek Gazlaştırıcısı	31
2.5.3.3	Texaco Gazlaştırıcısı	33
2.5.3.4	Shell Gazlaştırıcısı	34
3	KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARININ	
	ANA ve YARDIMCI ÜNİTELERİ	35
3.1	Kömür Hazırlama Ünitesi	35
3.2	Hava Ayırıştırma Ünitesi	35
3.3	Gazlaştırma Ünitesi	37
3.4	Curuf Ayırma Ünitesi	39
3.5	Ara Gaz Soğutma Ünitesi	39
3.6	Gaz Soğutma Ünitesi	40
3.7	Siklon ve Filtre Ünitesi	40
3.8	Gaz Temizleme Ünitesi	40
3.8.1	Soğuk Gaz Temizleme Yöntemi	41
3.8.2	Sıcak Gaz Temizleme Yöntemi	46
3.8.3	Sıcak ve Soğuk Gaz Temizleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	53
3.9	Gaz Türbin Ünitesi	53
3.9.1	Brülör	53
3.9.2	Gaz Türbini	54
3.10	Atık Isı Kazanı	55
3.11	Buhar Türbini	55
3.12	Kondenser	56
4	KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARININ	
	ÇEVRE İLE İLİŐKİŐİ	57
4.1	Kükürt Bileşikleri (SO _x)	57
4.2	Azot Bileşikleri (NO _x)	58

4.3	Korbondioksit (CO ₂)	58
4.4	Organik Kalıntılar	59
4.5	Partiküller	59
4.6	Kalıntı Metaller	59
4.7	Atık Sular	60
4.8	Katı Atıkların Değerlendirilmesi	60
5	KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARININ EKONOMİSİ	61
6	DÜNYA ÜZERİNDE KURULU KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARI	66
6.1	KOBRA Kömür Gaz Kombine Çevrim Santrali	66
6.2	TAMPA Kömür Gaz Kombine Çevrim Santrali	67
6.3	DAGGET Kömür Gaz Kombine Çevrim Santrali	67
6.4	DEMOKLEC Kömür Gaz Kombine Çevrim Santrali	68
7	TÜRKİYE 'DEKİ KÖMÜRLERİN GAZLAŞTIRILABİLİRLİLİĞİ	69
7.1	Linyit Kömürünün Gazlaştırılması	69
7.2	Taşkömürünün Gazlaştırılması	70
8	SONUÇ	75

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : Kömür Gazlaştırma Süreçlerinde Ana Aşamalar.	3
Şekil 2.2 : LURGI Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü.	8
Şekil 2.3 : Akışkan Yatağın Ana Elemanları.	10
Şekil 2.4 : Akışkan Yataklı Gazlaştırıcı.	12
Şekil 2.5 : Sürüklenmeli Yatakta Gazlaştırma İşleminin Şematik Görünüşü	14
Şekil 2.6 : Erimiş Yatakta Gazlaştırma İşleminin Şematik Görünüşü.	17
Şekil 2.7 : BBC LURGI SLAGGER Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü.	18
Şekil 2.8 : HYGAS Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü.	22
Şekil 2.9 : MINES - SYNTHANE Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü.	24
Şekil 2.10 : U - GAS Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü	26
Şekil 2.11 : WINKLER Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü	27
Şekil 2.12 : BI - GAS BCR Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü.	28
Şekil 2.13 : WESTINGHOUSE Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü.	30
Şekil 2.14 : KOPPERS - TOTZEK Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü	32
Şekil 2.15 : TEXACO Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü.	33
Şekil 3.1 : Hava Ayrıştırma Ünitesi	36
Şekil 3.2 : KKCS 'nin Çalışma Şeması.	38
Şekil 3.3 : Soğuk Gaz Temizleme İşleminin Akış Şeması.	42
Şekil 3.4 : Asit Gaz Temizleme İşleminin Akış Şeması.	43
Şekil 3.5 : Soğuk Gaz Temizlemeli KKCS 'nin Şeması.	44
Şekil 3.6 : Sıcak Gaz Temizleme İşleminin Ana Aşamaları.	47
Şekil 3.7 : Sıcak Gaz Temizlemeli KKCS 'nin Çalışma Şeması.	49

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Gazlaştırma Biçimleri.	4
Tablo 2.2: Kömür Gazlaştırmasındaki Temel Tepkimeler.	5
Tablo 3.1 : Soğuk Gaz Temizleme İşlemi Öncesi ve Sonrası Kömür Gazı Karakteristiği	43
Tablo 3.2 : Asit Gaz Ünitesinde Kullanılan Solventler.	45
Tablo 3.3 : Bitümlü Kömürden Elde Edilen Kömür Gazının Sıcak Gaz Temizleme İşlemi Öncesi Değerleri.	50
Tablo 3.4 : Bitümlü Kömürün Gazlaştırılmasından Elde Edilen Kömür Gazının Sıcak Gaz Temizleme İşleminde Sonraki Karakteristik Değerleri.	51
Tablo 3.5 : Sıcak Gaz Temizleme İşleminin Sistem Koşulları ve Performans Özeti.	52
Tablo 3.6 : Yeni Nesil Siemens Gaz Türbinleri.	54
Tablo 5.1 : Sıcak Gaz Temizleme Yaklaşık Maliyeti.	62
Tablo 5.2 : 650 MW , Akışkan Yataklı Gazlaştırma ve Sıcak Gaz Temizleme Ünitesine Sahip KKCS 'nin Toplam Maliyet Değerleri.	62
Tablo 5.3 : 730 MW , Akışkan Yataklı Gazlaştırma ve Sıcak Gaz Temizleme Ünitesine Sahip KKCS 'nin Toplam Maliyet Değerleri.	63
Tablo 5.4 : 320 MW KKCS 'nin Toplam Yatırım Değerleri	64
Tablo 5.5 : 500 MW Konvansiyonel Kömür Santralinin Yatırım Maliyeti .	64
Tablo 7.1 : 600°C Gazlaştırma Sıcaklığındaki Linyit Kömürünün Karakteristik Değerleri.	70
Tablo 7.2 : Zonguldak Maden Kömürünün Değişik Reaktant Oranlarındaki Gazlaştırma Sonuçları.	71
Tablo 8.1 : Dünyadaki Toplam Fosil Yakıt Enerji Kaynakları.	76

TEŞEKKÜR

Ülkemizin enerji alanında ciddi sıkıntılar yaşadığı bir dönemde , Kömür Gaz Kombine Çevrim Santralleri konusunu araştırmam için bana veren ve çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Şükrü BEKDEMİR ' e ve Ar. Gör. Muammer AKGÜN 'e teşekkür ederim.



TÜRKÇE ABSTRAKT (en fazla 250 sözcük) :

(TÜBİTAK/TÜRKOK'un Abstrakt Hazırlama Kılavuzunu kullanınız.)

Kömür Gaz Kombine Çevrim kontrolleri de ona ünite ve yardımcı ünitelerden oluşmaktadır. Ana üniteler, gazlaştırma ünitesi, buhar türbin ünitesi, yardımcı üniteler, kömür hazırlama ünitesi, hava ayırma ünitesi, gaz soğutma ünitesi, siklon ve filtre ünitesi, gaz temizleme ünitesi, atık ısı kazanı ve kondanzerden oluşmaktadır.

Gazlaştırıcı basıncak bir tank görünümündedir. Gazlaştırıcıda kömür buhar-oksijen veya buhar-hava püskürtülerek, kömürün gazlaştırılması sağlanır. Üretilen kömür gazı, hidrojen ve karbonmonoksit ağırlıklıdır.

Gazlaştırıcıdan çıkan kömür gazı, iki yöntemle temizlenir. Bu yöntemler, soğuk gaz temizleme ve sıcak gaz temizlemedir. Soğuk gaz temizleme yönteminde kömür gazı soğutulur ve gaz yıkayıcı ile filtrelerden geçirilerek gazın içerisindeki partiküller temizlenir. Bunun ardından gaz bir kademe daha soğutulur ve gazın içerisindeki hidrojen sülfet ve karbon sülfet doğrudan elementel kükürde dönüştürülerek, satılmak üzere depolanır. Daha sonra gazın sıcaklığı yükseltilerek gaz türbinine gönderilir. Sıcak gaz temizleme sisteminin temel karakteristiği ise gazlaştırma yönteminde desulfürizasyon işlemidir. Bu işlem yatağı konulan kireç taşı yapılır. Bunun ardından gazı ankasızlı sorbentler enjekte edilerek bu sorbentler ile kükürde giderme işlemi tamamlanır. Bu sorbentler yüksek verimli siklonlardan ve filtrelerden sisteme geri döndürülür.

Temizlenen gaz verim ve NOx kontrollünden geçirildikten sonra gaz türbininde yakılarak elektrik enerjisi üretilir. Gaz türbininden çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı atık ısı kazanına gönderilerek yüksek sıcaklıkta ve basınçta buhar üretiminde kullanılır. Üretilen buhar buhar türbinine gönderilerek ek elektrik üretimi gerçekleştirilir.

Bu sistemin en önemli dezavantajı Desentralizasyon seviyesinin az olmasıdır.

Şunu da belirtmek gerek, Kömür Gaz Kombine Çevrim kontrolleri diğer konvansiyonel kontrollere karşılaştırıldığında yaklaşık %46 gibi bir verime en iyi çevresel performansla ulaştığı görülmüştür.

ÖZET

Enerji santrallarının verimliliği toplam yatırım maliyetine , işletme masrafına , ürettiği elektriğin birim fiyatına , santrallın çevre ile ilişkisine ve bunların birbirleri arasındaki ilişkiye bağlıdır. Bu unsurlar göz önüne alındığında , mevcut elektrik santral sistemleri içinde son yıllarda geliştirilmiş olan Kömür Gaz Kombine Çevrim santralları bu unsurlarda optimum dengeyi sağladığı görülmüştür.

Yapılan çalışmada ilk olarak , Kömür Gaz Kombine Çevrim Santrallarının en önemli ünitesi olan gazlaştırma aşamaları ve teknolojileri incelenmiştir. Sonra gaz temizleme sistemleri , gaz türbini ünitesi , buhar türbini ünitesi , yardımcı üniteler ve santral ekonomisi incelenmiştir. Son olarak Türkiye ' deki linyit ve taşkömürlerinin gazlaştırılabilirliği araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda Kömür Gaz Kombine Çevrim santrallarının diğer konvansiyonel santrallerle karşılaştırıldığı zaman yaklaşık % 46 gibi bir verime en iyi çevresel performans ile ulaştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Kömür, Kömür Gazlaştırma , Kömür Gaz Kombine Çevrim Santralları , Sıcak Gaz Temizleme , Soğuk Gaz Temizleme

SUMMARY

Efficiency of power plants depends on total invest cost , operating cost , cost of produced electricity , their harmful effects to environmental and balance between these factors. When all these factors and current power plant systems are considered it is observed that recently developed Integrated Coal Gasification Combined Cycle plants have kept all of the factors in optimum balance.

In this thesis , first gasification stages and technologies which are the most important part of Integrated Coal Gasification Combined Cycle plants , then gas clean - up systems , gas turbine unit , steam turbine unit , auxiliary units , economy of power plant and finally the possibility of gasification for lignite and anthracite in Turkey have been investigated.

Consequently , it has been observed that the efficiency of the Integrated Coal Gasification Combined Cycle power plants have reached about 46% with the best environmental performance when compared with other power plants.

Keywords : Coal ,Coal Gasification ,Coal Gas Combined Cycle Plant ,Hot Gas Clean-up,
Cold Gas Clean-up

1.GİRİŞ

İçinde yaşadığımız dünyamızın çevre sorunlarının hızla artması , mevcut bulunan elektrik üretim santrallerimizin yeniden düzenlenmesini ve yeni teknolojilerin üretilmesini zorunlu kılmıştır.

Üretilen teknolojiler arasında petrol ve doğal gazın daha verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar daha geniş yer tutmaktadır. Buna karşın mevcut rezervlerin hızla tüketilmesi ve gelecekteki petrol türevli yakıtların fiyat belirsizliğide gözden kaçırılmaması gereken bir konudur. Doğal gaz fiyatları 3-5\$/Gj arasında değişmektedir ve OECD ortalaması 3.7\$/Gj civarındadır.2030 yılına kadar ülkelere göre %20-200 arasında değişen bir fiyat eskalasyonu olacağı varsayılmaktadır. OECD ülkeleri ortalaması olarak yıllık fiyat eskalasyonu ise %2.1 civarındadır.(Aybers et al, 1995)

Bu fiyat belirsizliğinde alternatif enerji kaynakları olarak nükleer enerji ile kömür gösterilmektedir. Nükleer enerjinin ,ilk yatırım maliyeti ile yakıtının temininin güç ve pahalı olması , gelişmekte olan ülkelerin bu alandaki çalışmalarını uzun vadede kısıtlamaktadır. Kömürün ise hacimli bir yakıt olması ve kullanıldığı konvansiyonel kömür santrallerinde çevre kirliliğine neden olması dolayısıyla , dünya üzerindeki mevcut kömür rezervlerin çok azı tüketilmiştir. British Petrol 'ün 1990 verilerine göre dünya üzerinde toplam kömür rezervlerinin, toplam petrol rezervlerinin 2/3 oranına ve toplam doğal gaz rezervlerinin 1.25 katına eşit olduğu belirtilmektedir. (Özgürel et al, 1994)

Günümüzde kömürün kullanımı üzerine geliştirilen teknolojiler ile kömürün çevreye olan zararlı etkileri , özellikle asit yağmurlarına ve global ısınmaya neden olan gazların emisyon oranları en az düzeye indirgenmiştir. Bu teknolojiler arasında en önemli yeri kömür gazlaştırma ve gaz temizleme teknolojileri almaktadır. Kömürün gazlaştırılması sonucunda elde edilen kömür gazının , gaz temizleme yöntemi ile derin desülfirizasyona tabi tutulması sonucunda temiz ve ısı değeri yüksek bir gaz üretimi gerçekleştirilerek, elde edilen kömür gazının , gaz türbininde yakılması ile elektrik üretimi sağlanmıştır.

IGCC (Integrated Coal Gasification and Combined Cycle) , Kömür Gaz Kombine Çevrim (KKCS) Santralli olarak adlandırılan bu santraller , konvansiyonel kömür santrallerine karşı bir çok avantaja sahiptir.Bu avantajlar arasında, yüksek santral verimi,

yakıtın ucuz ve güvenilir olması ile santral yatırım maliyetinin düşük olması en önemli avantajlar arasındadır.

Bugün Kömür Gaz Kombine Çevrim Santralleri çevre açısından bilinçli ülkelerde daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca yakıt seçeneğinin esnek olması ve ürettiği elektriğin maliyetinin rekabet ortamı bulması bu tercih sebebini pozitif yönde etkilemektedir.

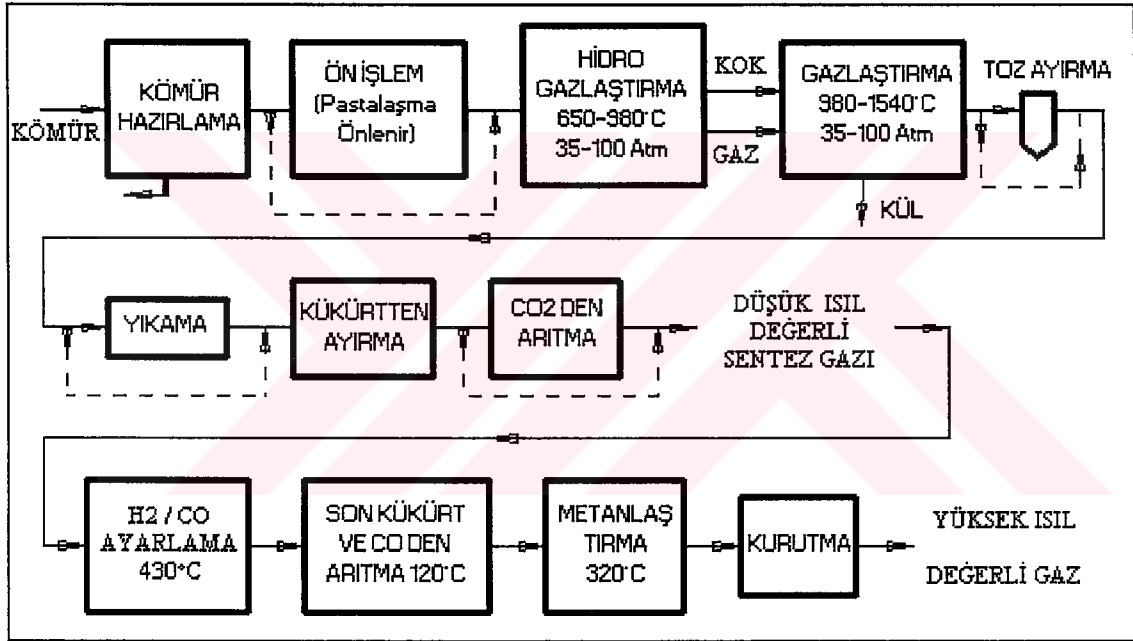
Kömür Gaz Kombine Çevrim Santralleri , üç ana ünite ve bunlara bağlı yardımcı ünitelerden oluşmaktadır. Ana üniteler; gazlaştırma ünitesi , gaz türbini ünitesi ve buhar türbini ünitesidir. Yardımcı üniteler ise kömür hazırlama ünitesi , hava ayrıştırma ünitesi, gaz soğutma ünitesi , siklon ve filtre ünitesi , gaz temizleme ünitesi , atık ısı kazanı ve kondenslerden oluşmaktadır.



2. KÖMÜR GAZLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

Petrol ve doğal gazın her geçen gün gittikçe azalması ve pahalı olması, bir çok ülkeyi kömürden daha çok yararlanma yollarına itmiştir. Linyit ve taşkömürünün gazlaştırılmasından elde edilen yakıtlar, gelecek yıllarda petrol ve doğal gazın yerini alacak en güçlü alternatif enerji kaynağıdır.

Kömürün gazlaştırılması konusuna ilişkin araştırmalar sürdürülmesine karşın yinede çok az kömür gazlaştırma yöntem ve teknolojileri geliştirilmiştir. Kömür gazlaştırma yöntemlerindeki ana aşamalar şekil 1.1 de görülmektedir.



Şekil 2.1 : Kömür Gazlaştırma Süreçlerinde Ana Aşamalar. (Kural, 1991)

Gazlaştırma, pek çok biçimde sınıflandırılmaktadır. En önemli sınıflandırma biçimleri gaz akımı ve kömür akımının birbirlerine göre durumları ile külün gazlaştırıcıdan uzaklaştırma yöntemlerine göre yapılmaktadır.

Bu sınıflandırmaya göre dört ana teknoloji bulunmaktadır.

- Sabit Yatak
- Akışkan Yatak
- Sürüklenmeli (Püskürtmeli) Yatak
- Erimiş Yatak

Tablo 2.1 de dört ayrı gazlaştırma yönteminin , işletme koşulları açısından bir karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 2.1: Gazlaştırma Biçimleri. (Kural ,1991)

Yatak Şekli	Sabit Yatak	Akışkan Yatak	Sürüklenmeli Yatak	Erimiş Yatak
Kapasite	Düşük	Orta	Yüksek	Orta
Gazlaştırma Sıcaklığı (°C)	540 - 1200 °C	1000 - 1100°C	1400 - 1500°C	1700°C
Ürün Cinsi	CO + H ₂ + Sıvı	CO + H ₂ + CH ₄	CO + H ₂	CO + H ₂ + N ₂
Kömür Boyutu	Parça (Tozsuz) 5 - 6 mm	Kırılmış 1.6 - 6.4 mm	Belirli Ölçüye Kadar Kırılmış 0.075 mm	Kırılmış 0.6 mm

Yukarıda belirtilen metodlara geçmeden önce kömürün gazlaştırılmasında etkili olan ana kimyasal reaksiyonları bilmekte yarar vardır (Tablo 2.2).

Bir nolu tepkimede karbon su buharı ile tepkimeye girerek karbon monoksit (CO) ve hidrojen (H₂) gazlarından oluşan sentez gazını oluşturmaktadır. İki nolu tepkime özellikle yüksek fırın teknolojisinde önemlidir. Her iki tepkimede endotermiktir. Gerekli tepkime ısısını dışarıdan almaktadır. Doğal gaz yerine kullanılan bir gaz üretilmek istendiğinde kömür hidrojenle gazlaştırılarak metana (CH₄) dönüştürülür. Bu tepkime ekzotermik olup önemli ölçüde dışarı ısı vermektedir.

Aşağıda verilen heterojen tepkimeler dışında gazlaştırıcı olarak kullanılan maddelerle gaz ürünleri arasında , yada gaz ürünlerinin kendi aralarında homojen tepkimelerde oluşmaktadır. Dönüşüm tepkimeside denilen 6 nolu tepkimede , su buharı ile CO den CO₂ ve H₂ oluşurken sentez gazından metanlaştırma tepkimesi ile metan elde edilmektedir.

Uygulamada hidrojenle gazlaştırma dışında katı - gaz tepkimeleri 800 ° C üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Yüksek basınç altında çalışan gazlaştırıcılarda basıncın yüksekliğine bağlı olarak , karbonmonoksit ile hidrojenin tepkimeye girmeleri sonucunda metan oluşmaktadır.

Tablo 2.2: Kömür Gazlaştırmasındaki Temel Tepkimeler. (Kural ,1991)

	ΔH (kj/mol)	Tepkime Sıcaklığı	Basıncın Etkisi
Heterojen (gaz-katı) Tepkimeler			
Su gazı tepkimesi (1) $C + H_2O \Rightarrow CO + H_2$	+3131.2	Yüksek	- (CO + H ₂)
Boudouard Tepkimesi			
$C + CO_2 \Rightarrow 2CO$ (2)	+172.2	Yüksek	- CO
Hidrojenle Gazlaştırma			
$C + 2H_2 \Rightarrow CH_4$ (3)	-74.90	Yüksek / Orta	+CO ₄
Kısmi Yanma			
$C + 1/2O_2 \Rightarrow CO$ (4)	-110.5	Yüksek	
Tam Yanma			
$C + O_2 \Rightarrow CO_2$ (5)	-393.5	Yüksek	
Homojen Tepkimeler			
Su gazı tepkimesi (6) $CO + H_2O \Rightarrow H_2 + CO_2$	-220.5	Yüksek/Orta	
Metanlaştırma			
$CO + 3H_2 \Rightarrow CH_4 + H_2O$ (7)	-52.69	Orta/Düşük	+ CH ₄

Basıncın etkisiyle artmayı (+) işareti , azalmayı (-) işareti gösterir.

2.1 SABİT YATAKTA GAZLAŞTIRMA

Katı yakıtların sabit yatak içinde gazlaştırılması , gaz üretiminin en eski biçimidir. Yaklaşık 130 yıl önce kömür ilk kez hava ve su buharı ile karışık halde tepkime maddesi olarak kullanılmıştır. Sabit yatakta gazlaştırma kömür , kül , reaktif gazlar ve ürünlerin akışının zıt akım ilkesine göre gerçekleşmekte , bunun sonucu olarakta çok iyi bir ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu ısı transferi ile çıkan küller , gelen gazları , çıkan ürünlerde gelen kömürü ısıtmaktadır.

Bir sabit yatakta gazlaştırma işlemi beş kademede gerçekleştirilmektedir.

a- Kurutma Bölgesi : Reaktöre beslenen ham kömür , sıcak gazlarla rutubeti giderilir. Sabit yatak gazlaştırılmasında en uygun tane boyu 50 -60 mm dir.

b- Gaz Çıkarma Bölgesi : Kömür daha ileri bir ısıtmaya tabi tutulduğunda 400°C den daha düşük sıcaklıklarda absorbe edilmiş CO ve CH₄ açığa çıkmaktadır.

c- Gazlaştırma Bölgesi : Bu bölgede sıcaklık yükseldikçe , uçucu maddesi giderilmiş kömür , su buharı ile tepkimeye girer.



d- Yanma Bölgesi : Bu bölge , gazlaştırma bölgesi için gerekli CO₂ ve ısıyı sağlar.



e - Kül Yatağı : Kül yatağı , oksijen ve buhar dağıtıcısı görevini yapmakla beraber reaktif gazların ısıtılmasını sağlamaktadır. Gazlaştırma bölgesi sınırında CO dönüşüm tepkimesi olmaktadır.



Burada karbon gazlaştırılmaktadır. Tepkime ekzotermik bir tepkimedir. Bu teknoloji en çok LURGI sistemi olarak bilinmekte ve uzun yıllardan beri kullanılmaktadır.

2.1.1 LURGI GAZLAŞTIRMA SÜRECİ

Lurgi gazlaştırıcısı dikey silindirik konumda sabit yataklı ve basıncı 24 - 30 bar arasında değişmektedir. Ana gazlaştırıcı kabuk biçiminde bir su ceketini ile sarılmıştır. Buhar kazanını besleyen su , ceketin içinden geçerek gazlaştırıcı kabuğundan kaçan ısıyı geriye kazandırmaktadır. Şeki 2.2 ' de LURGI gazlaştırıcısının şematik görünüşü gösterilmiştir.

Kömür besleme deposu gazlaştırıcının tepesine yerleştirilmiştir. Depolandığı yerden alınan kömür , 5 - 50 mm , tane boylarında kırıldıktan sonra gazlaştırıcıya gönderilmekte , burada bir dağıtıcı ile gelen kömür , kömür yatağına gönderilmektedir. Gazlaştırıcının altındaki mekanik ızgara , oluşan külün sistemden alınmasını sağlamaktadır. Kül ise kül toplama haznesine girer. Burası gazlaştırıcının en önemli kısmıdır. Bazı gazlaştırıcı tasarımlardan belirli bir biçimde kömür kullanımı için mekanik karıştırıcılardan yararlanılmaktadır. Gazlaştırma işleminin daha verimli olması için , gazlaştırıcının alt bölümünden sisteme buhar ve oksijen gönderilmektedir. Buhar ve oksijen , kömür yatağı içinde dönen bir ızgara ile dağıtılmaktadır. Izgara kömür yatağını desteklemekte ve sabit kül çıkışı sağlamak üzere sürekli dönmektedir.

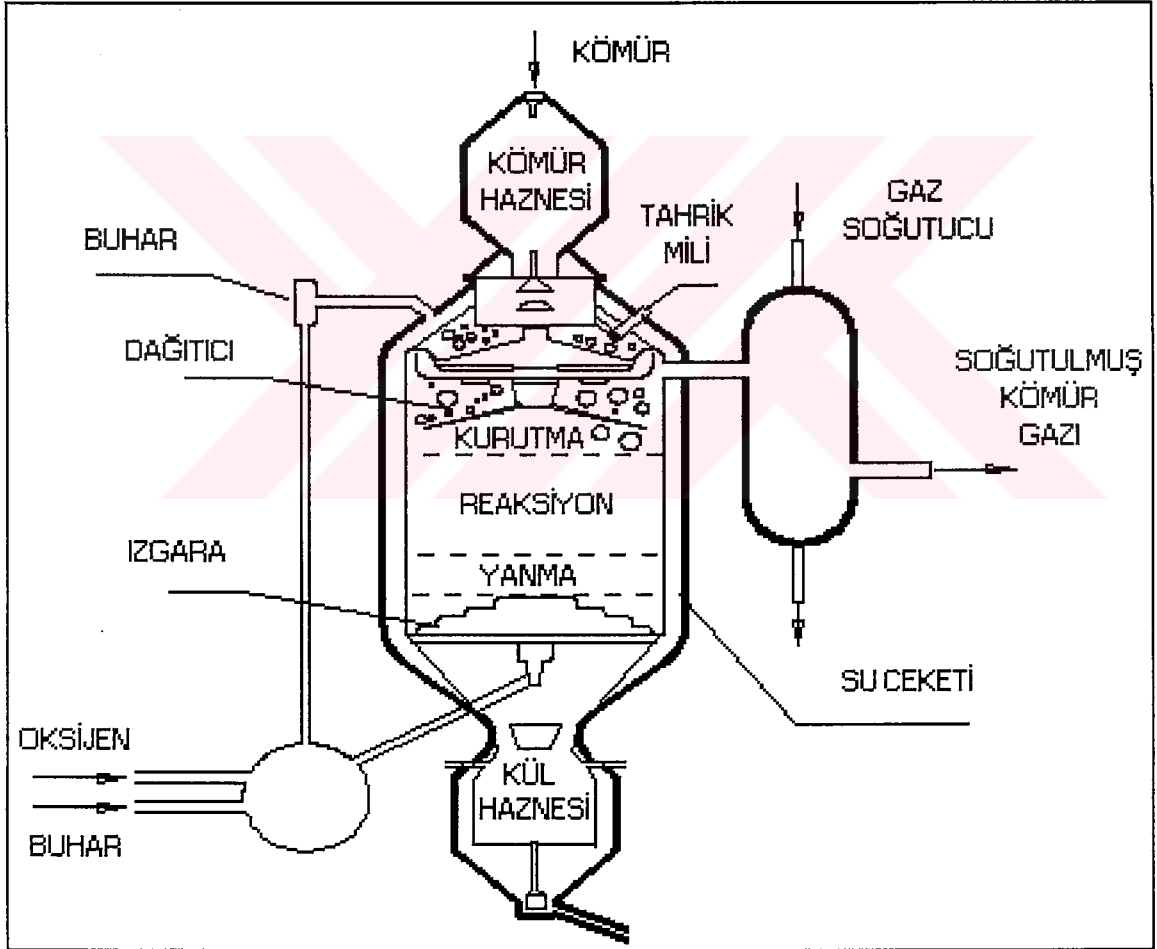
Buhar ve oksijen yukarı doğru çıktıkça , kömür yatağında sıcaklığın etkisi ile oluşan tepkimeler dört farklı bölgeyi karakterize eder. Bunlar alt bölgeden üst bölgeye doğru sırasıyla ;

- Karbon yanma (gazlaştırma için ısı sağlanır)
- Gazlaştırma
- Uçuculuğun giderilmesi
- Kurutma bölgeleridir.

Kömür yatağına doğru indikçe ilk olarak kömürün içindeki bazı uçucu maddeler açığa çıkmaktadır. Geriye kalan sabit karbon , daha sonra gazlaştırılmakta ve yakılmaktadır. Oluşan kül , kül toplama haznesinde birikir ve gazlaştırıcının altından sistemi terkeder. Külün curuflaşmasını önlemek için ızgaranın üstündeki kül tabakasına, aşırı buhar gönderilmektedir.

Üretilen kömür gazı ise gazlaştırıcının üstünden sistemi terk etmektedir.

GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL
CO	18
CO ₂	30
H ₂	40
CH ₄	10
N ₂	2



Şekil 2.2 : LURGI Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü. (Simeons, 1987)

2.1.2 LURGI GAZLAŞTIRICISININ AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

AVANTAJLARI :

- Kontrolünün kolay olması.
- Kömürün kolay aktarılması.
- Yüksek sıcaklıklarda , ısı değiştiricisinden en yüksek verimin alınması.
- Yüksek basınçta , yüksek miktarda kömür gazı üretimi. (Harold,1987)

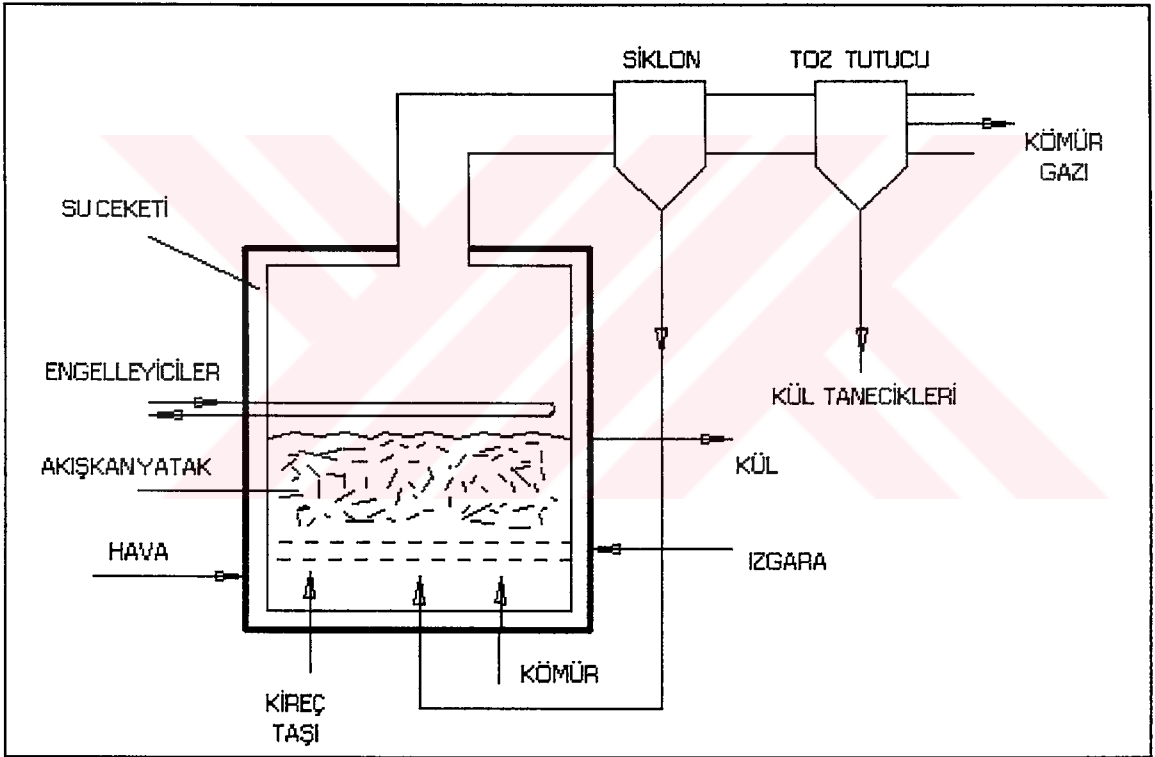
DEZAVANTAJLARI :

- Ünitenin üretim kapasitesi sınırlıdır.
- Kömür besleme sistemi sınırlıdır.
- Büyük miktarda buhara ihtiyaç duyulması. (Archer,1979)

2.2 AKIŞKAN YATAKTA GAZLAŞTIRMA

Kömür gazlaştırma teknolojisindeki en büyük aşama akışkan yatakta gazlaştırmadır. Ufak kömür parçacıkları (0.2 -0.3 mm) kömür yatağına , aşağıdan yukarıya doğru düşük hızda hava yada herhangi bir gaz akımı verildiğinde , bu hava , kömür parçacıklarının arasından geçerek yukarı çıkmaktadır. Hava veya gaz hızı sürekli olarak arttırılacak olursa , öyle bir an gelirki , parçacıkların bir kısmı yukarıya doğru harekete zorlanır ve akım içinde asılı duruma geçerler. Yatak içinde basınç düşüşünün , yatağın birim yüzeye düşen ağırlığına eşit olduğu ana “ Yatağın Akışkan Hale Gelme Anı ” denir. Bu andaki hava hızında minimum akışkanlaşma hızı denir. Hızın bu kritik değerin üzerine çıkacak biçimde arttırılırsa , yatak daha fazla akışa olanak verecek ölçüde kabarmaktadır. Verilen fazla havanın büyük bir bölümü , yatak arasından kabarcıklar halinde geçmektedir. Akış hızı , kritik hızın 3 - 5 katı arasında bir değere ulaştığında , sistem parçacıklarının hızla birbirine karıştığı yüksek bir türbülans özelliği kazanmaktadır. Bu durumda yatak şiddetli kaynayan bir sıvı görünümündedir. Akışkan yatak denilen böyle bir sistemdir. Akışkan yatağın ana elemanları şekil 2.3 de gösterilmektedir.

Yatak her hangi bir yöne eğilirse , yatak yüzeyi yatay konumunu korumaktadır. Değişik derinliklerde iki yatak birleştirilirse , iki yatak boyu eşit oluncaya kadar yüksek yataktan düşük yatağa , tanecik akımı sürer. Akışkan yatağa herhangi bir noktadan açılacak deliklerden katı parçacıklar , gaz veya sıvı ortam gibi dışarıya akıtılarak boşaltılmaktadır. Sonuç olarak katı parçacıklara , böyle bir yatak içerisinde akışkan özelliği kazandırılmasına “ Akışkanlaştırma” denir. Akışkan yatak , gaz fazı ve katı faz olmak üzere iki fazlı bir ortama sahiptir. Böyle bir sistem , hem hava - su buharı ile kömür parçacıkları hemde kömür parçaları arasında çok iyi bir ilişki olanağı sağlar.



Şekil 2.3 : Akışkan Yatağın Ana Elemanları. (Kural, 1991)

İyi akışkanlaştırılmış bir yatak bir çok bakımdan , sürekli karıştırılmalı bir tank reaktörünü andırmaktadır. Hızlı karıştırmanın bir sonucu olarak bu özellik , akışkan yatak tipi reaktörü mühendislik açısından vazgeçilmez kılmaktadır. Çünkü , güçlü karışımla yatak içerisinde tek düzeye yakın sıcaklık dağılımı , yüksek ısı transfer hızları

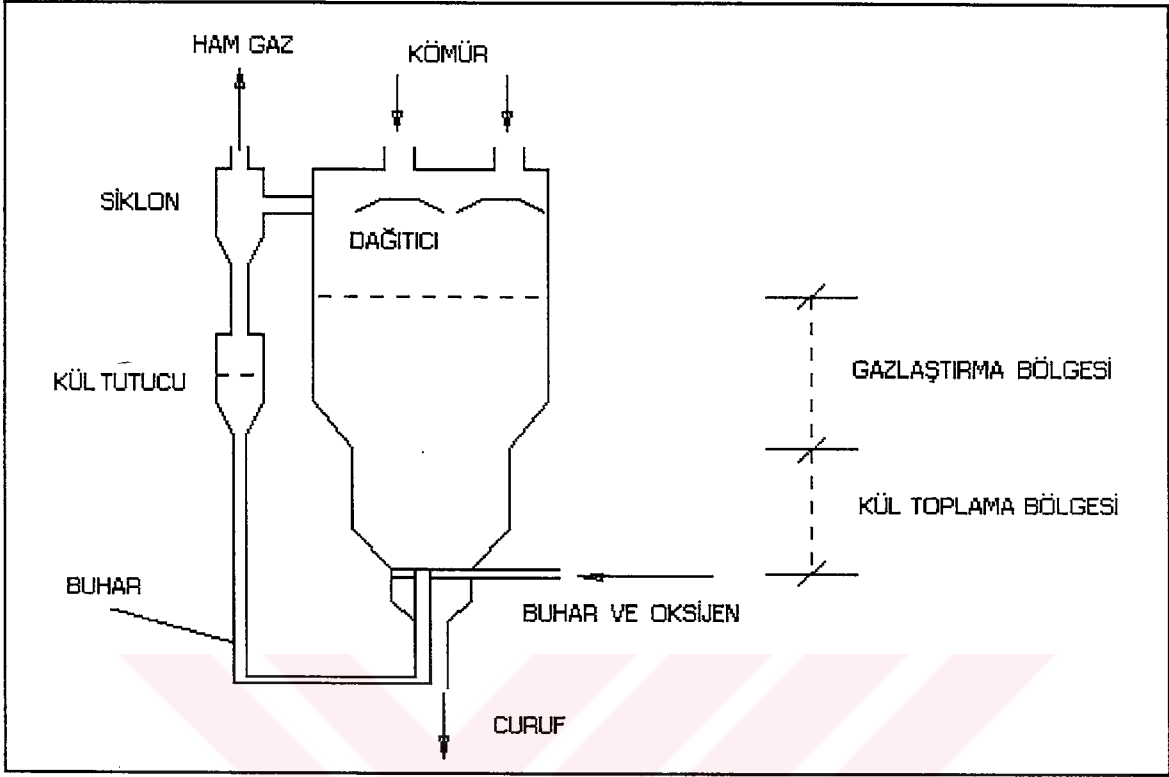
kolay ve çabuk kontrol olanakları sağlanmaktadır. Ayrıca , kömür ile hava yada reaktif gazlar arasında ısı transferinin kolaylaştırılması , katı parçacıkların ısılarını her an yeni gaz moleküllerine aktarabilmelerine olanak vermektedir.

Üstün özellikli olan akışkan yataklı gazlaştırıcılar düşük kaliteli kömürlerin gazlaştırılmasında da kullanılmaktadır. Akışkan yatakta gazlaştırma , aslında kum yada kül gibi , yanıcı olmayan bir ortamda meydana geldiğinden , yatağa verilen kömürün çok küllü olması gazlaştırmayı olumsuz etkilemez. Böylece yüksek kül ve rutubet içeren , ısı değeri 5024 kJ/kg kadar düşük kaliteli kömürlerde bu sistem ile gazlaştırılabilmektedir. Kömür gazlaştırılmasında kullanılan yatağın inert parçacıkları kum , ateş tuğlası , kireç taşı yada özellikle kömürün kendi külü olabilir. Yatakta inert madde kullanmanın nedeni , kömür parçalarının yüksek sıcaklıklarda şişme ve kekleşme özelliklerinden dolayı birbirine yapışmasını önlemektir. Akışkan yatak 0.5 - 1 m derinliğindedir. Kömür yatağa beslenmeden önce 1.6 - 6.4 mm lik tane boyutuna indirilir. Nem giderme , boyut küçültme işlemi sırasında yataktan çıkan gazlar aracılığı ile yapılmaktadır. Gazlaştırma sıcaklığı kül ergime sıcaklığı altında olup kül katı halde gazlaştırma hücresi altından alınır. Gazlaştırma hücresi tabanından verilen oksijen ve buhar biraz daha üst katlardan verilen kömürü iyi bir reaksiyon için kaynatır. Gazlaşma reaksiyonu daha yukarıdan verilen ikinci kol buhar - oksijen ile devam ettirilir Gazlaştırma basıncı 10 - 25 bar basınç altında gerçekleşir. Bu bölgeler şekil 2.4 de gösterilmektedir.

Akışkan yataklarda ısı transferinin yüksek olmasının nedeni yataktaki güçlü karışım sayesinde oluşan ısıların homojen olarak dağılmasıdır. Yatağın çalışma sıcaklığı, yerleştirilen su soğutucuları ve sıcak gazlar yoluyla denetlenerek 750 °C - 950 °C arasında olmasını sağlamaktadır.

En yüksek sıcaklık , kömür külünün özelliği ile değişebilir. Akışkan yatakta çalışma sıcaklığı kömür külünün ergime sıcaklığının 2000 °C kadar altında olmalıdır.

Akışkan yatakta gazlaştırma yüksek gaz sıcaklığına gereksinim olmadığından ortaya çıkan ısıların %60 yatak içinde yerleştirilmiş olan ısı değiştiricisi tüplerine transfer edilir.



Şekil 2.4 : Akışkan Yataklı Gazlaştırıcı. (Kural, 1991)

2.2.1 AKIŞKAN YATAKTA GAZLAŞTIRMANIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Akışkan yataklı gazlaştırıcılarda kömür külünün yumuşama sıcaklığının altında çalışıldığı için fırın içini kaplayan curuf ve bağlanmış artıklar oluşmaktadır. Böylece ısı transferi daha etkin bir biçimde gerçekleşmektedir.

Yanma sıcaklığı $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ olup konvansiyonel sistemlerden daha düşük olduğundan buhar boruları üzerinde korozyon azalmıştır. Ayrıca düşük yanma sıcaklığı, kömürün içerdiği alkali tuzların, baca gazları ile taşınmasını azaltmaktadır. Sonuçta, baca gazlarının ısınım aldığı konveksiyon boruları üzerinde tuzların birikmesi nedeniyle olan korozyon önlenmektedir. Bu tuzların atmosfere karışma oranları da azalmaktadır.

Akışkan yatakta gazlaştırılan kömürün tane büyüklüğü , toz kömür sistemleri ile karşılaştırıldığında , çok büyük olduğundan kömürün öğütme masrafı azalmaktadır.

Baca gazları ile yayılan SO_2 'in neden olduğu hava kirliliği , yatağa kireç taşı veya dolomit katılarak kolayca ve çok etkili bir biçimde denetlenebilir. Kireç taşı veya dolomit yatakta kalsine olmakta ve oluşan CaO , SO_2 ile oksitleyici koşullarda $Ca SO_4$ 'a (Kalsiyum Süfat) dönüşerek yatak içinde kalmaktadır.

Ayrıca , düşük gazlaştırma sıcaklığı , azot oksitlerin oluşmasında önlemekte ve çevreye uygulanan NO_x ($NO + NO_2$) emisyonu diğer sistemlerden daha düşük olmaktadır.

Her türlü kömürün yatakta kullanılabilmesi , reaktör yapısının standartlaşmasını doğurmaktadır.

DEZAVANTAJLARI

İşlem sırasında ısı homojenliği yalnız tek bir yatak içinde sağlanabilmektedir. Buna karşın , bu çok komplike sistemde çoklu yatak kullanılmakta ve bu denge katı ısı transferine göre sağlanmaktadır.

Külün sistemden uzaklaştırılması problem yaratmakta ve bu problem kömürün kekleşmesini arttırmaktadır.

2.3 SÜRÜKLENMELİ YATAKTA GAZLAŞTIRMA

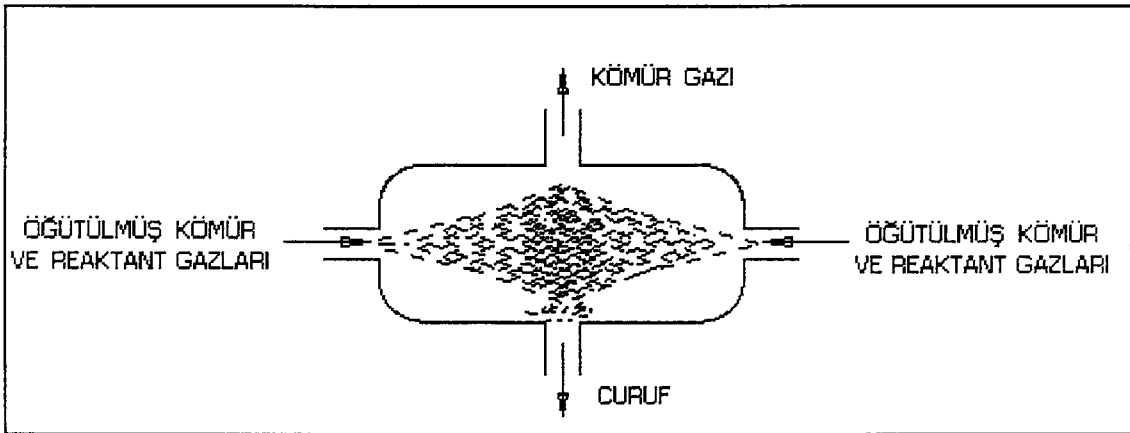
Bu sistemde , sabit yataklı gazlaştırıcıların aksine , kömür parçacıkları ile reaktif ve ürün gazları doğru akım ilkesine göre hareket ederler. Ayrıca , kömür parçacıklarının büyük çoğunluğu , gaz fazında asılı durumdadırlar. Sürüklenmeli gazlaştırıcılarda partiküller , tepkimeye giren gazlar aracılığı ile taşınırlar. Bu nedenle bu tip gazlaştırıcılarda kullanılan kömürün tane boyutu, diğer sistemlerde kullanılanlardan çok

daha küçüktür (0.075 mm). Büyük parçacıkların sürüklenmesi için yüksek gaz hızı gerekir. Kömür sisteme genellikle püskürtülerek beslenir.

Tepkime maddeleri , kömür , oksijen veya hava , buhar , bir yada birden fazla girişten gazlaştırıcıya yüksek hızda girerler. Girişte alev önlemek için yüksek hız gereklidir. Yakıcılar genellikle ortak merkezli borulardan oluşur. Her borudan bir veya daha fazla reaktan geçer ve bunlar borunun yakıcı ucunda birleşirler.

İki başlı gazlaştırıcı ,başların her ikisinde yerleştirilmiş iki bitişik yakıcıya sahiptir. Kömür , buhar ve oksijen , bu dört yakıcıya enjekte edilir. Gazlaştırıcı , kabuk şeklinde olan bir koruma ceketii ile kaplıdır ; gazlaştırma sırasında oluşan yüksek sıcaklıktan böylelikle korunmaktadır. Refrakterden kaçan ısı , ceket içinde gerçekleştirilen su sirkülasyonu ile geri kazanılmaktadır. Ceket bir buhar kazanına bağlıdır. Bu kazandan çıkan düşük basınçlı buhar , gazlaştırma işlemi için gereken süreç buharını oluşturmaktadır. Dört başlı yakıcılar toplam olarak sekiz tane yakıcıya sahiptir.

Buhar ve oksijen püskürtülen kömürü sürüklemektedir. Buhar oksijen karışımı , geriye dönüşü önlemek için , alev çoğalma hızının üstünde bir enjeksiyon hızında, gazlaştırıcı yakıcılarına enjekte edilmektedir. Her baştaki mevcut iki bitişik yakıcı , tek yakıcı olanlara göre daha iyi bir türbülans sağlamaktadır. Yakıcılardan biri , gerekirse geçici olarak durdurulabilir. Şekil 2.5 de sürüklenmeli yatakta gazlaştırma işleminin şematik görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Sürüklenmeli Yatakta Gazlaştırma İşleminin Şematik Görünüşü.(David ,1984)

Yakıcı çıkışındaki alev sıcaklığı yaklaşık 1900°C dir. Bu kömür parçacıklarının hızla gazlaşmasına ve hemen hemen tüm yüksek hidrokarbonların parçalanmasına neden olmakta ve tepkime bir saniye kadar sürmektedir. Mevcut alev bölgeleri dışında sıcaklık düşmektedir. Daha sonra buhar ile tepkimeye giren gaz fazı sıcaklığını 1650 °C den daha aşağı düşüren endotermik tepkimeler gerçekleşmektedir. Sıcaklık yaklaşık 1500 °C kadar düşmektedir. Gazlaştırma sıcaklığını , kömür eritme sıcaklığından daha yüksek tutmak için kömürdeki kül sıvılaştırılır.

Kömürdeki külün yaklaşık %50 si eritilmiş curuf olarak gazlaştırıcının çeperinden aşağıya doğru akar ve curuf toplama tankında depolanır. Curuf sirküle edilen su ile soğutulur , granül biçimine sokulur. Geriye kalan kül , çıkış gazından sürüklenmiş curuf parçacıkları olarak gazlaştırıcıyı terkeder. Sürüklenen kül soğutulur , su püskürtülerek gazlaştırıcı çıkışında katılaştırılır. Bu katılma atık ısı kazan tüplerinde yapışmayı önlemektedir. Gazdaki duyulur ısı , atık ısı kazanlarından alınmakta ve yüksek basınçlı buhar üretilmektedir.

Sürüklenmeli yatakta gazlaştırma işlemi , yüksek tepkime sıcaklıkları nedeniyle diğer gazlaştırma sistemlerine göre , oksijen tüketimi genellikle daha yüksektir. Buhar tüketimi ise daha düşüktür. Yüksek tepkime sıcaklıkları , kömür külünün bir miktarının erimesine yol açmaktadır. Böylece bunlar tepkime bölgesinden sıvı curuf halinde alınmaktadır. Reaktant gazı olarak oksijen kullanıldığında 9630 - 10467 kj / m³ gibi yüksek bir ısıl değere sahip bir kömür gazı üretilir. Bu değer reaktant gazı olarak hava kullanıldığında ise 3350 - 4103 kj / m³ dür. Kömürdeki kükürdün büyük çoğunluğu , H₂S olarak gaza geçmektedir. (Kural, 1991)

2.3.1 SÜRÜKLENMELİ YATAKTA GAZLAŞTIRMA İŞLEMİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

AVANTAJLARI :

- Her türlü kömür türü için kullanılabilen bir gazlaştırma işlemidir.
- Gazlaştırma artığı olarak katran ve yağ oluşmaz.(Schobert, 1987)

DEZAVANTAJLARI :

- Yüksek oksijen ihtiyacı..
 - Düşük metan fermasyonu.
 - Çıkışta yüksek ısı ve düşük tepkime ürünleri konsantrasyonu dolayısıyla pahalı bir ısı değiştiricisine ihtiyaç duyulması.
 - Düşük ısıl kapasitede , küllerin üretilen gazın içinden çekilmesinin problem yaratması.
- (Schobert, 1987)

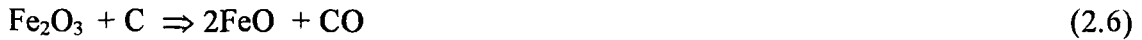
2.4 ERİMİŞ YATAKTA GAZLAŞTIRMA

Kömür gazlaştırılmasında , sabit , akışkan ve sürüklenmeli yatak dışında erimiş yatak gazlaőtırıcılarında kullanılmaktadır. Bu yatak , katı ile gaz reaktantlar arasında ısı ve kütle transferini arttırmak için tuz eriği gibi bir faza sahiptir.

Bu tip gazlaştırıcıda kömür , buhar , hava veya oksijen ile erimiş yatağa enjekte edilerek tepkimeye girer. Gazlaştırma sırasında kömür hızla ısınır , yağ oluőturmaz , uçucular ayrışır ve yapısında parçalanır.

Sabit akışkan ve sürüklenmeli süreçlerin tersine , kömür boyutu gereğinden fazla kısıtlanmaz ; koklaşmış , yüksek kül ve kükürt içeren kömürlerde gazlaştırılır. Ayrıca kükürdün eriyik tarafından tutulması , kükürtsüz gaz üretilmesini sağlamaktadır. eriğik içinde bulunan maddeler , curuf , erimiş tuzlar ve demir sürecinin özelliğini belirler.

Curuf ısı iletici olarak görev yapar , fakat bazı durumlarda katalitik etkileride görülmektedir. Örneğin curuftaki Fe_2O_3 kömür karbonunu okside edebilmektedir.

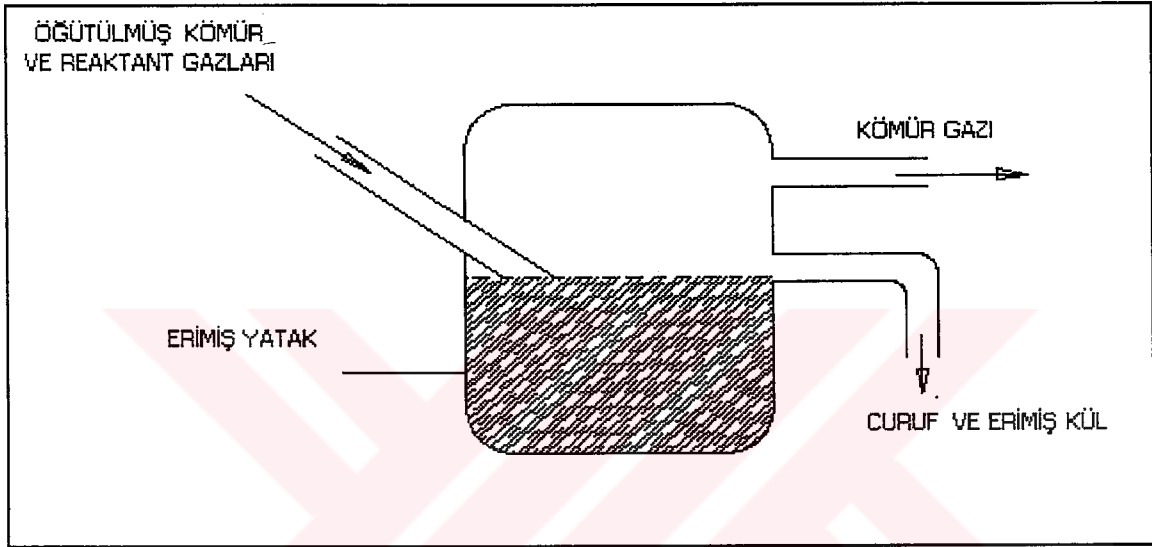


Oluşan demiroksit ile oksijen tekrar Fe_2O_3 ' e dönüşür.



Demir , kükürtle birleşme eğilimi olduğu ve eriğin içindeki demiroksitle oksijen verdiği için kullanılmaktadır.

Erimiş metallere daha düşük ergime sıcaklıklarına sahip olan erimiş tuzların (Na_2CO_3), düşük sıcaklıklardaki kömür tepkimelerine katalitik etkileri vardır. Şekil 2.6 da erimiş yatakta gazlaştırma işleminin şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 2.6 : Erimiş Yatakta Gazlaştırma İşleminin Şematik Görünüşü.(David, 1984)

2.4.1 ERİMİŞ YATAKTA GAZLAŞTIRMA İŞLEMİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

AVANTAJLARI :

- Kömür boyutlarında bir sınırlama yoktur.
- Kükürdün eriyik tarafından tutulması , kükürtsüz kömür gazı üretimini sağlar.

DEZAVANTAJLARI

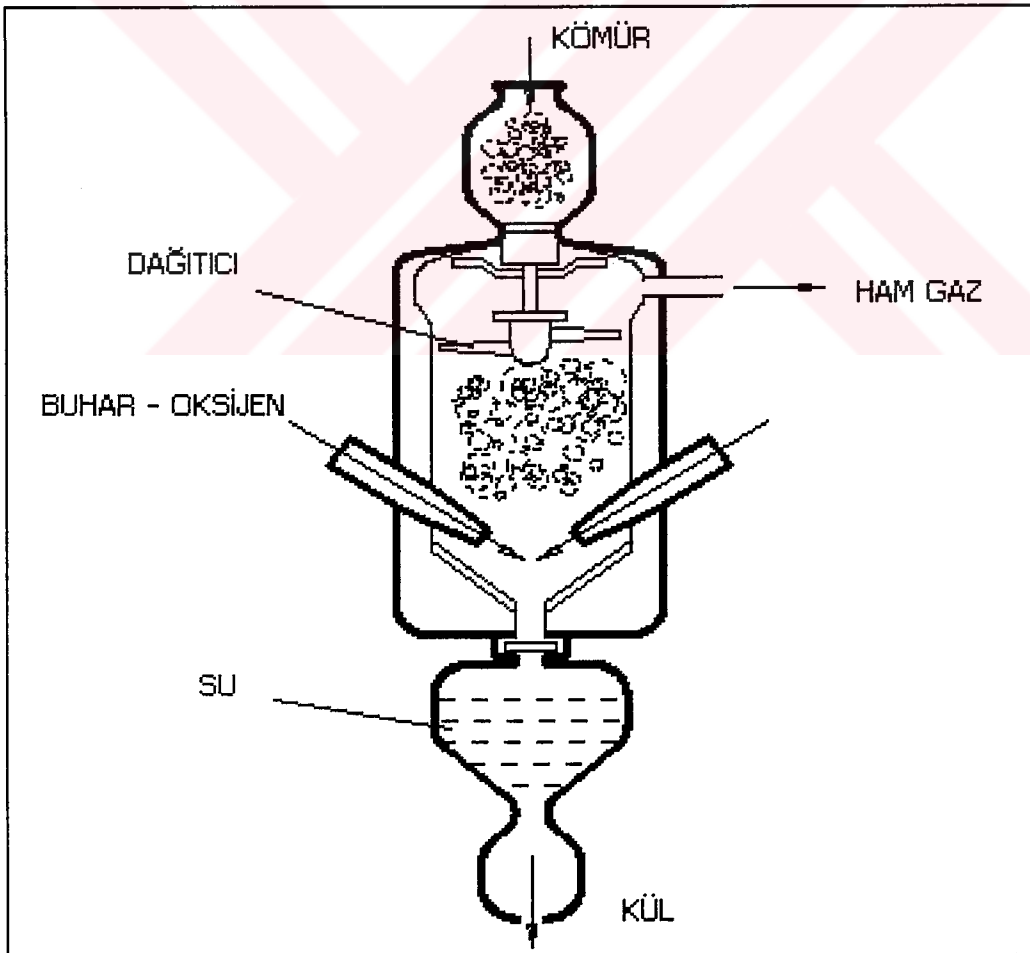
- Isı kaybı yüksektir.
- Yüksek sıcaklıklarda banyoda korozyon problemi oluşmaktadır.
- Külün ve curufun uzaklaştırılması problem yaratmaktadır. (Archer , 1979)

2.5 TİCARİ GAZLAŞTIRICILAR

2.5.1 SABİT YATAK ASILLI TİCARİ GAZLAŞTIRICILAR

2.5.1.1 BBC LURGI SLAGGER GAZLAŞTIRICISI

Sabit yataklı LURGI gazlaştırıcısının geliştirilmiş versiyonudur. Bu sistemde daha az buhar ihtiyacı ile yüksek reaksiyon sıcaklığında üretilen kömür gazındaki H_2 ve CO oranının daha yüksek olması sağlanmıştır. Bu gazlaştırıcının dezavantajı ise curufun sistemden uzaklaştırılmasında zorluk çekilmesidir. Şekil 2.7 de BBC LURGI SLAGGER gazlaştırıcısının şematik görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 2.7: BBC LURGI SLAGGER Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü.(Archer, 1979)

GAZLAŖTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

GazlaŖtırıcı Boyutu : 2.8 * 5.8 m

Kömür Büyüklüğü : 3 - 50 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 1700°C

Basınç : 2.6 MPa (Bernard et al, 1984)

2.5.1.2 LURGI RUHR100 GAZLAŖTIRICISI

Yine sabit yatak asıllı LURGI gazlaŖtırıcısının bir başka modelidir. İki temel farklı özelliğı vardır. Birincisi , yüksek basınçlı işlem olanağı , ikincisi ise , gazlaŖtırıcıdan ziftin çekilmesidir. (Bernard et al, 1984)

GAZLAŖTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Kömür Büyüklüğü : 3 - 30 mm

Basınç : 5 -7 MPa

2.5.2 AKIŖKAN YATAK ASILLI TİCARİ GAZLAŖTIRICILAR**2.5.2.1 BATTLE - CARBIDE GAZLAŖTIRICISI**

AkıŖkan yatak asıllı bir gazlaŖtırıcıdır. Oksidant olarak hava kullanılmakta ve dolayısıyla oksijen üretim ünitesi ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. (Bernard et al, 1984)

GAZLAŖTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Kömür Büyüklüğü : 015 - 2.4 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 927 - 982°C

Basınç : 0.7 MPa (Bernard et al, 1984)

2.5.2.2 CO₂ ALICI GAZLAŞTIRICISI

Akışkan yatak asıllı gazlaştıdırıcıdır. Belirgin fark olarak , yatakta kireç taşı kullanılarak CO₂ çekilmektedir. Consolidation Coal Company tarafından geliştirilmiştir. Bir ton kömürün gazlaştırılması için , gazlaştıdırıcıya 1.1 ton su buharı , reaktöre 0.25 ton dolomit , yakıcıya ise 2.3 ton hava gönderilmektedir. Bir ton kömürden 1280 m³ gaz üretilmektedir. (Kural,1991)

GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Gazlaştıdırıcı Boyutu : .1 * 21 m

Kömür Büyüklüğü : 0.15 - 2.4 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 815°C

Basınç : 1.1 MPa (Bernard et al, 1984)

GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL
CO	15.5
CO ₂	9.1
H ₂	58.8
CH ₄	13.7
Isıl değeri (kJ / m ³)	14235 (Kural,1991)

2.5.2.3 COGAS GAZLAŞTIRICISI

Food Machinery Corporation ile başka kuruluşlarla geliştirilen akışkan yatak asıllı gazlaştıdırıcıdır. Öğütölmüş kömür dört ayrı akışkan yatakta sıcaklığı gittikçe arttırılarak gazlaştırılır. Bir ton kömürün gazlaştırılması için , 4.5 ton hava ve 1.25 ton su buharı gerekmektedir. Bir ton kömürden üretilen gaz miktarı ise 906 m³ dür. (Kural,1991)

GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Gazlaştırıcı Boyutu : 2.1 * 9 m

Kömür Büyüklüğü : < 3 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 190 - 315 - 450 - 870 °C

Basınç : 0.2 -0.4 Mpa (Bernard et al, 1984)

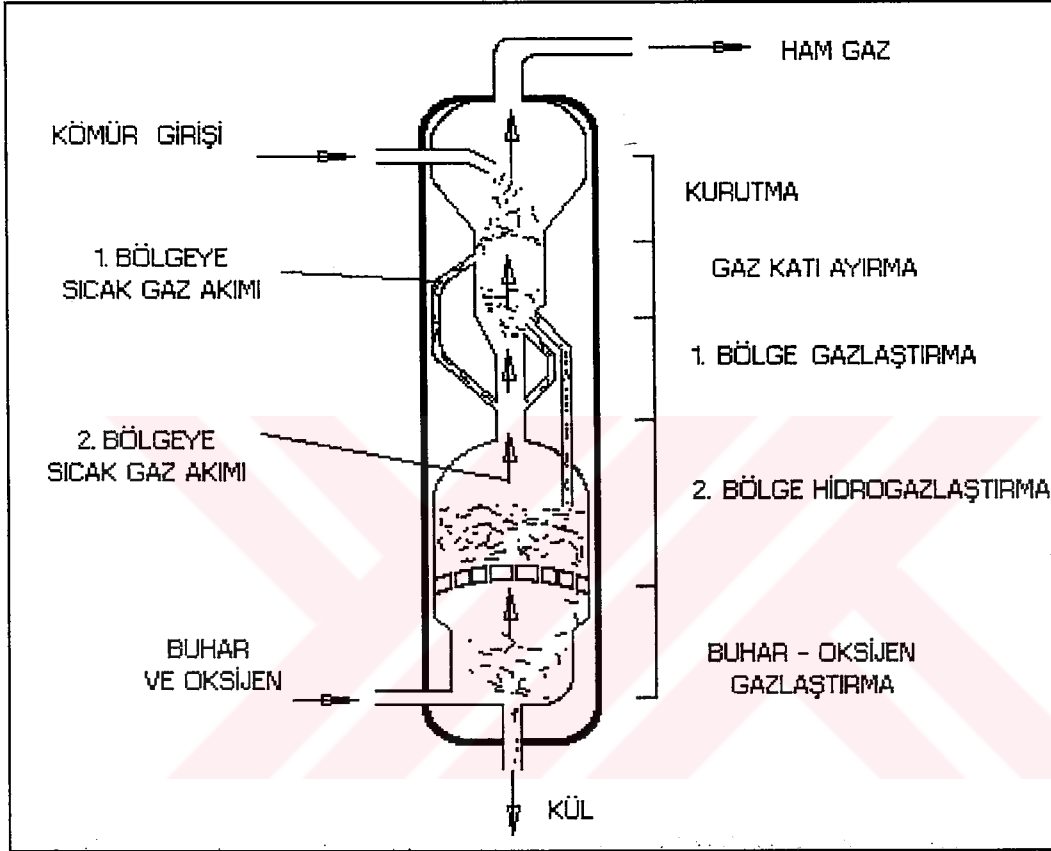
GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL
CO	31.2
CO ₂	6.6
H ₂	57.9
N ₂	0.3
CH ₄	4
Isıl değeri (kJ / m ³)	13230 (Kural ,1991)

2.5.2.4 HYGAS GAZLAŞTIRICISI

ABD Gaz Teknolojisi Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Kömür öğütülüp kurutulduktan sonra yağ ile karıştırılarak (kömürün gazlaştırılması sırasında elde edilen yağ ile) bulamaç haline getirilir. Dört aşamada gazlaştırma gerçekleştirilir. Oksidant olarak oksijen kullanılmaktadır.

Birinci aşamada alttan gelen sıcak gaz sentez gazlarının ısısı ile yağ buharlaşır. Kurutulan kömür ikinci bölgede , üçüncü bölgeden gelen gazların içindeki H₂ ile tepkimeye girerek , sistemde üretilen toplam metanın %30 nu üretir. Kısmen gazlaşan kömür üçüncü bölgede , dördüncü bölgeden gelen H₂ 'ce zengin sentez gazları ile tepkime sonucu metan gazı üretilir. Artık karbonlu madde dördüncü bölgede buhar ve O₂ ile tepkimeye sokularak üçüncü bölge için gerekli H₂ 'ce zengin karışım elde edilir. Şekil 2.8 'de HYGAS gazlaştırıcısının şematik görünüşü gösterilmiştir. Bir ton

albitümlü kömürün gazlaştırılması için 0.22 - 0.26 ton oksijen , 1 - 1.2 ton su buharı gereklidir. Bir ton kömürün gazlaştırılmasından 886 m³ gaz elde edilmektedir. (Kural, 1991)



Şekil 2.8 : HYGAS Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü. (Kural,1991)

GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Gazlaştırıcı Boyutu : 1.7 * 40 m

Kömür Büyüklüğü : < 1.7 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 1010°C

Basınç : 7 - 10 MPa (Bernard et al, 1984)

GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL (Albitümlü Kömür için)
CO	26.7
CO ₂	24.1
H ₂	30.7
N ₂ - Ar	0.2
C ₂ H ₆	1.3
CH ₄	16.6
Isıl değeri (kJ / m ³)	13984 (Kural,1991)

2.5.2.5 MINES - SYNTHANE GAZLAŞTIRICISI

Sürekli olarak kömür beslemeli ,akışkan yatak asıllı bir gazlaştırıcıdır. Gazlaştırma üç aşamada gerçekleşmektedir. Giriş yerindeki ilk bölmede , buhar ve oksijenle tepkimeye sokulan kömürün , uçuculuğu alınmakta ve pastalaşma özelliği giderilmektedir. Kısmen koklaşmış kömür akışkan yatağa beslenmektedir. 400°C ve 6.9 MPa 'lık basınçtaki akışkan yatakta üretilen ham gaz dışarı alınmaktadır.

Akışkan yatağın üst kısmını besleyen kömür , aşağı inerken tamamen koklaşır; gazlaştırıcının alt kısmında 950 - 1000 °C de oksijen ve buharla son bir buharla gazlaştırmaya uğratılır.

Gazlaştırma işleminde bir ton kömür için 0.35 ton oksijen ve 1.5 ton su buharı gerekmektedir (Kural,1991). Şekil 2.9 da şematik görünüşü gösterilmiştir.

GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

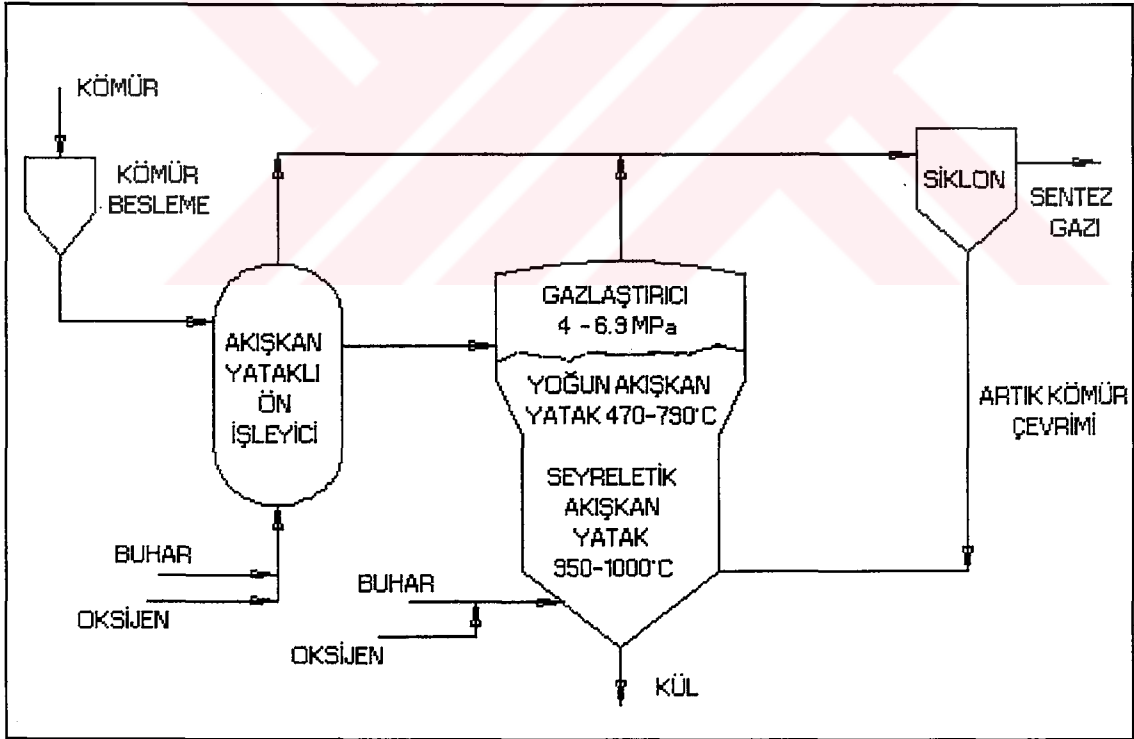
Gazlaştırıcı Boyutu : 1.5 * 31 m

Kömür Büyüklüğü : < 0.84 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 980°C

Basınç : 7 MPa (Bernard et al, 1984)

GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL	
	HAVA	OKSİJEN
CO	13.2	10.1
CO ₂	36.2	17.9
H ₂	32.3	21.5
N ₂ - Ar	0.1	43.5
C ₂ H ₆	1.6	0.7
H ₂ S + COS	1.6	0.7
CH ₄	15	5.6
Isıl değeri (kJ / m ³)	12477	6155 (Kural,1991)



Şekil 2.9 : MINES - SYNTHANE Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü. (Kural,1991)

2.5.2.6 U - GAS GAZLAŞTIRICISI

ABD Gaz Teknolojisi Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Akışkan yatak asıllı bu gazlaştırıcı ile büyük miktarda gaz üretimi , yüksek karbon dönüşümü ve zift - yağ artıkları içermiyen son derece temiz bir gaz üretimi sağlanmıştır.

Kırılmış ve öğütülmüş kömür, oksijen ve buhar yardımı ile hem akışkanlaştırılmakta hem tepkimeye girmektedir. Düşük ısıl değerli gaz üretimi için oksijen yerine hava kullanılmaktadır. Üretilen ham gaz iki siklondan geçirilir. İlk siklonda gaz içinden curuf artıkları temizlenmekte akışkan yatağa , ikinci siklonda temizlenen curuflar ise kül toplama kısmına gönderilmektedir. (Penner,1987)

Curuf öğütülerek ikinci bir buhar - oksijen reaksiyonuna tabi tutulur ve en son su ile soğutularak granür tanecik haline getirilir. Şekil 2.10 'da U - GAS gazlaştırıcısının şematik görünüşü gösterilmektedir. Bir ton kömürün gazlaştırılması için 2.8 ton hava ve 0.2 - 0.6 ton buhar gereklidir.(Kural,1991)

GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

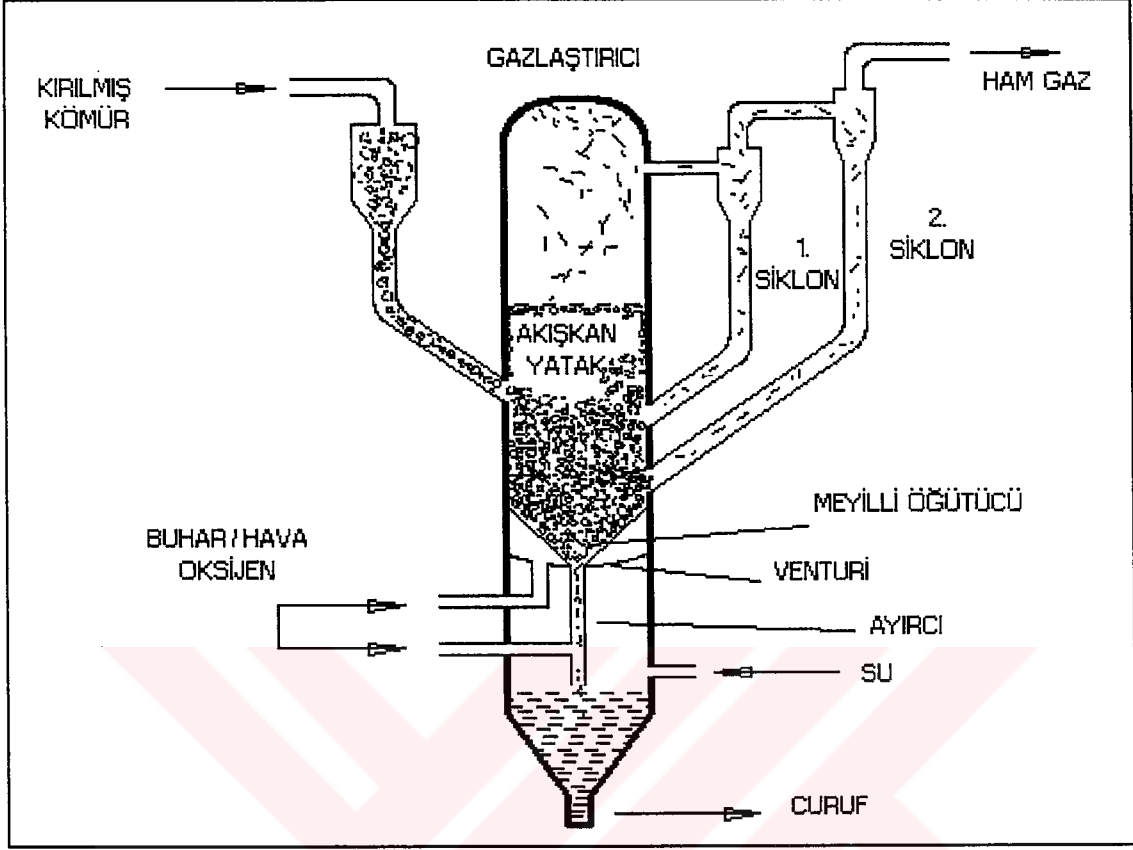
Gazlaştırıcı Boyutu : 1.2 m (Çapı)

Kömür Büyüklüğü : < 6.4 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 980 - 1040°C

Basınç : 0.1 - 0.6 MPa (Bernard et al, 1984)

GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL
CO	37.1
CO ₂	9.0
H ₂	50.3
CH ₄	3.6
Isıl değeri (kj / m ³)	5780 - 11200 (Kural ,1991)



Şekil 2.10 : U - GAS Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü (Penner ,1987)

2.5.2.7 WINKLER GAZLAŞTIRICISI

Akışkan yatak asıllı , kuru kül sistemli bir gazlaştırıcıdır. Yüksek sıcaklık ve basınçta gazlaştırma yapmaktadır. Bir ton kömürün gazlaştırılması için 0.35 - 0.6 ton oksijen ve 1.7 - 3 ton su buharı gereklidir. Şekil 2.11 'de WINKLER gazlaştırıcısının şematik görünüşü gösterilmektedir. (Kural,1991)

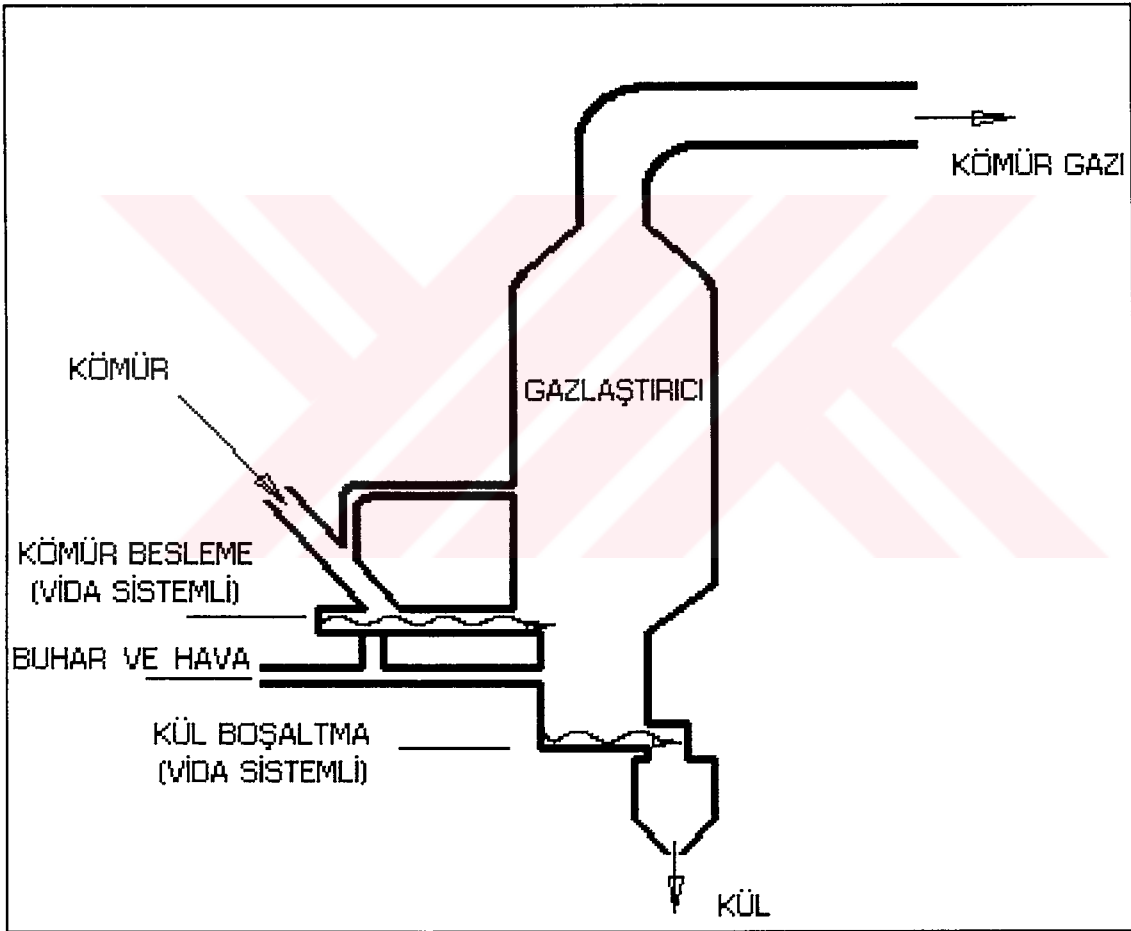
GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Gazlaştırıcı Boyutu : 22 m (Yüksekliği) , 4.5 - 5.5m (Çapı)

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 1010°C

Basınç : 1.1 MPa (Bernard et al, 1984)

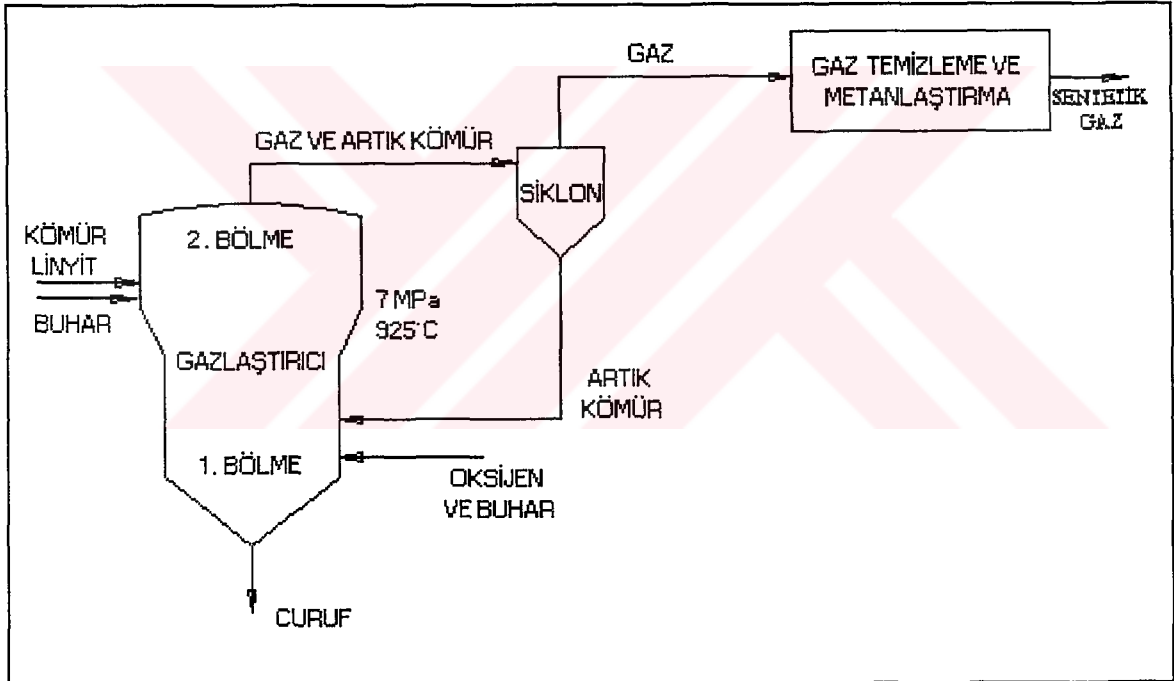
GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL
CO	48.2
CO ₂	13.9
H ₂	35.2
N ₂	0.9
CH ₄	1.8
Isıl değeri (kJ / m ³)	10470 (Kural,1991)



Şekil 2.11 : WINKLER Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü (Schobert,1987)

2.5.2.8 BI - GAS BCR GAZLAŞTIRICISI

İki bölmeli , basınc altında çalışan akışkan yataklı bir gazlaştırıcıdır. İkinci bölmeye verilen öğütülmüş kömür , burada buhar , oksijen ve birinci bölmeden gelen sentez gazları ile tepkimeye girmektedir. Gaz ürünleri ile birlikte gazlaştırıcıyı terk eden artık kömür, siklon içinden gazdan ayrılarak birinci bölmeye verilmektedir. Kömür burada oksijen ve buhar ile tepkimeye girerek ikinci bölme için gerekli olan ısıyı ve sentez gazını oluşturmaktadır. Bir ton kömürün gazlaştırılması için gazlaştırıcıya 3.6 ton hava ve 0.11 ton buhar verilmektedir (Kural ,1991). Şekil 2.12 'de BI - GAS BCR gazlaştırıcısının şematik görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 2.12 : BI - GAS BCR Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü. (Kural,1991)

GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Gazlaştırıcı Boyutu : 1.5 * 16 m

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 925°C

Basınc : 7 MPa (Bernard et al, 1984)

GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL
CO	31.23
CO ₂	0.48
H ₂	15.80
H ₂ S + COS	0.24
N ₂ + Ar	52.25
Isıl değeri (kJ / m ³)	13270 (Kural,1991)

2.5.2.9 WESTINGHOUSE GAZLAŞTIRICISI

Şematik görünüşü şekil 2.13 'de şematik görünüşü verilen westinghouse gazlaştırıcısı , birbirini izleyen iki akışkanlı yataktan oluşmaktadır.Kömür 0.3 -6 mm lik tane boyutuna indirilir. 700 - 925°C sıcaklıktaki ilk yatakta , kuru kömürün uçucularının kükürdü almarak , ikinci yataktan gelen gazlarla kömür hidrogazlaştırmaya uğratılır. Bu yatakta kireç taşı kullanılmaktadır. Artık kömür , kireç taşından ayrıldıktan sonra 1000 - 1100°C sıcaklıktaki ikinci yatakta hava ve buharla tepkimeye girmektedir. Elde edilen gazlar birinci yatağa gönderilmektedir. Bir ton kömürün gazlaştırılması için 2.2 - 2.8 ton oksijen ve 0.2 - 0.4 ton buhar gerekmekte ve 4800 m³ gaz üretilmektedir. (Kural,1991)

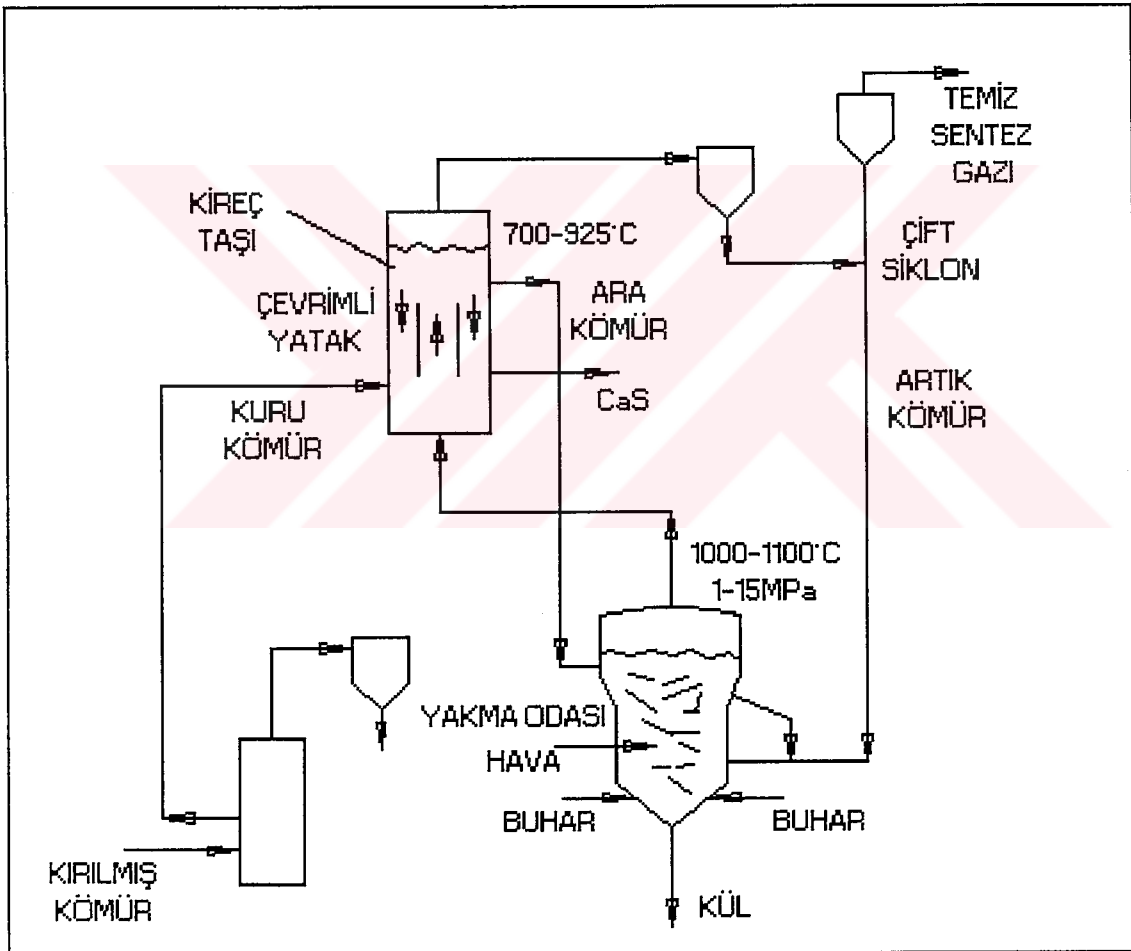
GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Kömür Büyüklüğü : 0.3 - 6 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 965 - 1100°C

Basınç : 1 - 1.5 MPa (Bernard et al, 1984)

GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL
CO	23.0
CO ₂	9.3
H ₂	19.2
H ₂ S	55.0
CH ₄	3.4
Isıl değeri (kJ / m ³)	6110 (Kural,1991)



Şekil 2.13 : WESTINGHOUSE Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü. (Kural,1991)

2.5.3 SÜRÜKLENMELİ YATAK ASILLI GAZLAŞTIRICILAR

2.5.3.1 BABCOCK - WILCOX GAZLAŞTIRICISI

Sürüklenmeli yatak asıllı gazlaştıdırıcıdır. Oksidant olarak oksijen veya hava kullanılmaktadır. Su soğutmalıdır.

GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Gazlaştıdırıcı Boyutu : 4.6 * 27 m

Kömür Büyüklüğü : < 0.074 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 1870°C

Basmç : .01 - 2.2 MPa (Bernard et al, 1984)

2.5.3.2 KOPPERS - TOTZEK GAZLAŞTIRICISI

1948 yılında Koppers Company Inc. , Heinrich Koppers GmbH Batı Alman firmasıyla ortaklaşa geliştirilmiştir. Sürüklenmeli yatak asıllı gazlaştıdırıcıların en başarılı modelidir. Dünya üzerinde elliden fazla kurulmuş tesisi vardır. Ayrıca , Fransa, Japonya İspanya , Hindistan , Türkiye ;Güney Afrika ve Yunanistan ' da bu konudaki çalışmalar sürdürölmektedir (Kural,1991). Şekil 2.14 'de şematik bir görünüşü verilmiştir.

GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Gazlaştıdırıcı Boyutu : Çapı :3 m

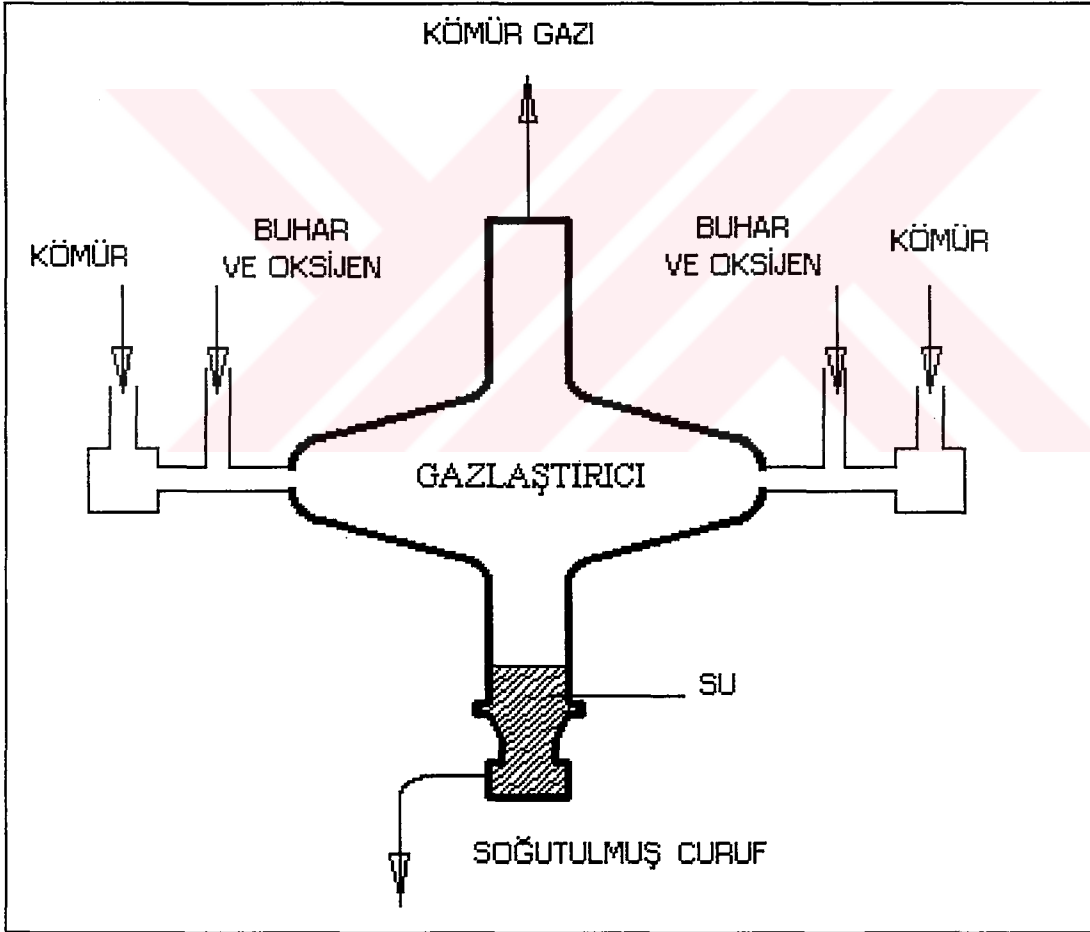
Yükseklik : 3 m

Hacmi : 28 m³

Kömür Büyüklüğü : < 0.074 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 1900°C (Bernard et al, 1984)

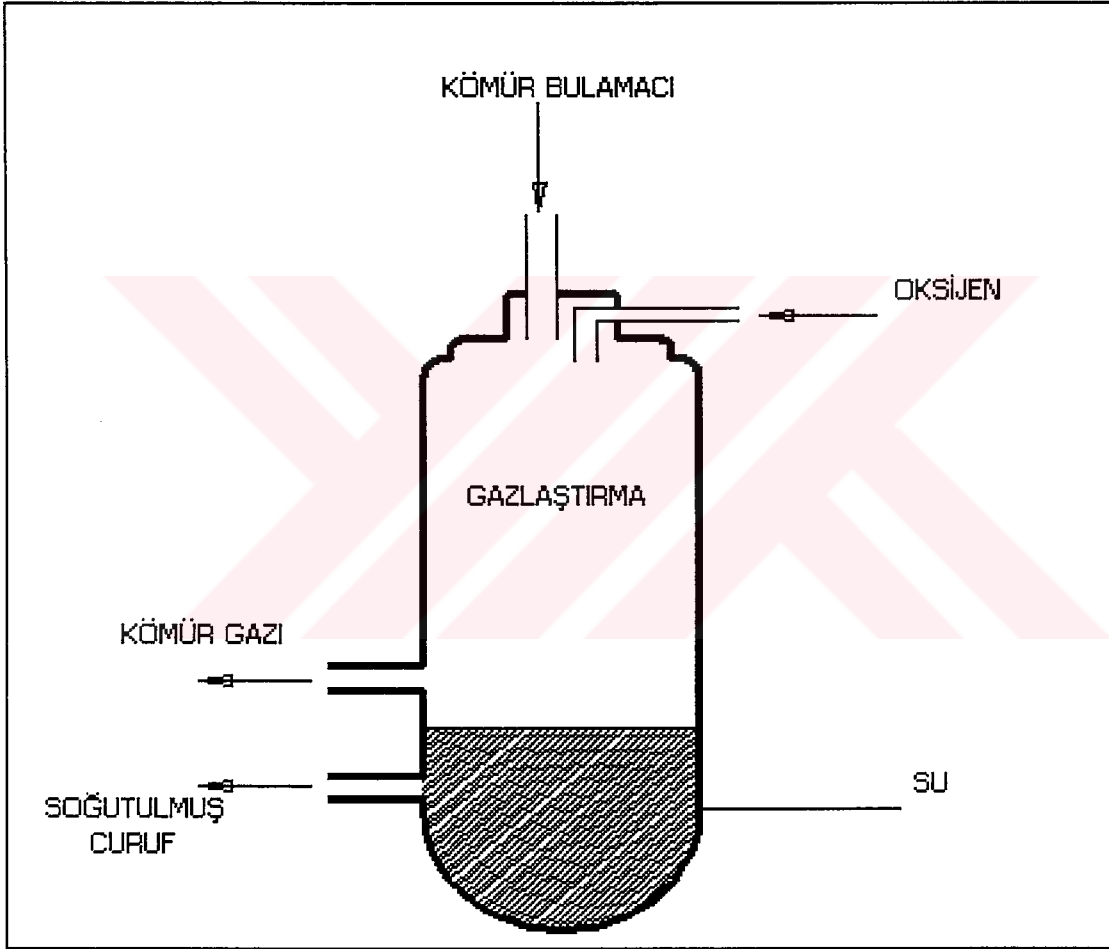
GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL
CO	52.5
CO ₂	10
H ₂	36
H ₂ S + COS	0.4
N ₂ + Ar	1.1
Isıl değeri (kJ / m ³)	10650 (Kural,1991)



Şekil 2.14: KOPPERS-TOTZEK Gazlaştırıcısının Şematik Görünüşü (Schobert, 1987)

2.5.3.3 TEXACO GAZLAŖTIRICISI

Sürüklenmeli yatak asıllı gazlaŖtırıcıdır. Kömür öğütölerek toz haline getirildikten sonra su ile karıŖtırılarak bulamaç haline getirilir ve gazlaŖtırıcıya gönderilir. Oksidant olarak buhar - oksijen kullanılmaktadır. Ŗekil 2.15 ' de TEXACO gazlaŖtırıcının Ŗematik görünüşü gösterilmiŖtir.



Ŗekil 2.15 : TEXACO GazlaŖtırıcısının Ŗematik Görünüşü. (Bernard et al, 1984)

GAZLAŖTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Kömür Büyüklüğü : < 0.01 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 1200 - 1500°C

Basınç : 2.2 - 8.4 MPa (Bernard et al, 1984)

GAZIN BİLEŞİMİ	%MOL
CO	45 - 50
CO ₂	15
H ₂	35
CH ₄	Az miktarda (Kural,1991)

2.5.3.4 SHELL GAZLAŞTIRICISI

Sürüklenmeli yatak asıllı gazlaştıdırıcıdır. Kömür toz halinde öğütüldükten sonra basınçlı bir biçimde gazlaştıdırıcıya püskürtülür. Koppers - Totzek gazlaştıdırıcısının basınçlı modelidir.

GAZLAŞTIRICININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

Kömür Büyüklüğü : < 0.09 mm

Maksimum Reaksiyon Sıcaklığı : 1800 - 2000°C

Basınç : 3 - 4 MPa (Bernard et al, 1984)

3 . KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARININ ANA VE YARDIMCI ÜNİTELERİ

3.1 KÖMÜR HAZIRLAMA ÜNİTESİ

Silolarda depolanan kömür , silolardan alınarak kurutma işlemine tabi tutulur. Kurutma işleminde , hava ayırıştırma ünitesinde üretilen düşük basınçlı nitrojen , doğal gaz , buhar veya baca gazları seçeneklerinden biri ile ısıtılarak , öğütülen kömürün neminin giderilmesinde kullanılır.

Bu işlem güç santrallarının toplam enerjisinin %1' lik bir kısmını içermektedir (Velswinkel ,1992) . Kömür kurutma işleminde seçilecek yöntemler (doğal gaz , buhar , baca gazı) ,santrallın ticari performansını , yatırım maliyetini ve işletme maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir.

Burada en ekonomik seçim sistemin kendi ürettiği buharı kullanmasıdır. Her ne kadar baca gazını doğrudan kömür kurutma işleminde kullanılması çekici geliyorsa da, baca gazının içindeki ufak miktardaki oksijenden dolayı , bu akıma nitrojen gazı karıştırma zorunluluğu vardır.

3.2 HAVA AYRIŞTIRMA ÜNİTESİ

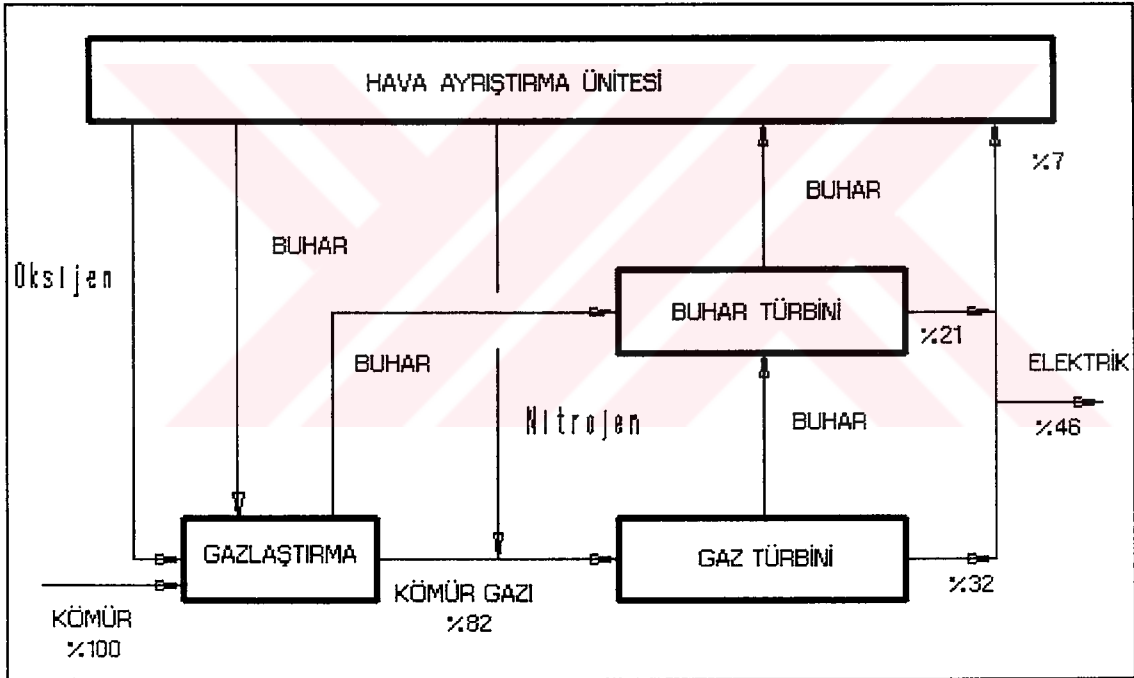
Hava ayırıştırma işleminin özelliği yükseltilmiş basınç teknolojisidir. Bu sistemde havanın ayırıştırma işlemi için gerekli olan yüksek basınçlı hava , değişik konfigrasyonlar ile elde edilmektedir. Bunlardan biri doğrudan elektrikli motor tahrikli ara soğutmalı kompresör kullanılmasıdır. Diğerleri ise gaz türbini şaftına bağlı çalışan ve gaz türbinine yanma havası sağlayan kompresörün çıkışından yüksek basınçlı hava temin edilmesidir.

Birinci konfigrasyonda kompresör için yüksek miktarda elektrik ihtiyacına gereksinim vardır. Bu elektrik sarfyatı hava ayırıştırma ünitesi için istenmeyen bir durumdur. Bunun nedeni ise , sonuçta bu santral bir elektrik üretim santrallıdır. İç

elektrik ihtiyacı , istenilen santral verimini sağlamak için , santral genelinde dengeli bir oranda olmak zorundadır.

KKCS 'de her ne kadar gazlaştırma işleminde doğrudan reaktant olarak hava kullanılmasına yönelik bir çok çalışmalar yapılmasına karşın , reaktant olarak oksijen kullanılması ile elde edilen verime ulaşamamıştır. (Velswinkel,1992)

Hava ayrıştırma ünitesinde kompresörden sağlanan basınçlı havanın 2 / 3 kullanılmaktadır. Geriye kalan 1 / 3 ise gaz türbinine yanma havası olarak gönderilir. Eğer gaz türbinin hava ihtiyacını karşılayan başka bir kompresör varsa , havanın tamamı ayrıştırılır. Şekil 3.1 ' de hava ayrıştırma ünitesinin şematik görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Hava Ayrıştırma Ünitesi (Rejak,1990)

Hava ayrıştırma işleminde hava ilk olarak hava soğutucusu ile temas ettirilir. Burada havanın sıcaklığı ,suyun donma sıcaklığının biraz üstünde olacak şekilde yavaşça düşürülür soğutulan hava , hava yıkama cihazından geçirilerek hava temizlenir. Bu cihaz iki çift switching absorbent ' ten oluşmaktadır. Temizlenen havanın içinden su buharı ve karbondioksit ve diğer yabancı maddeler emilerek giderilir. Burada havanın bir kısmı

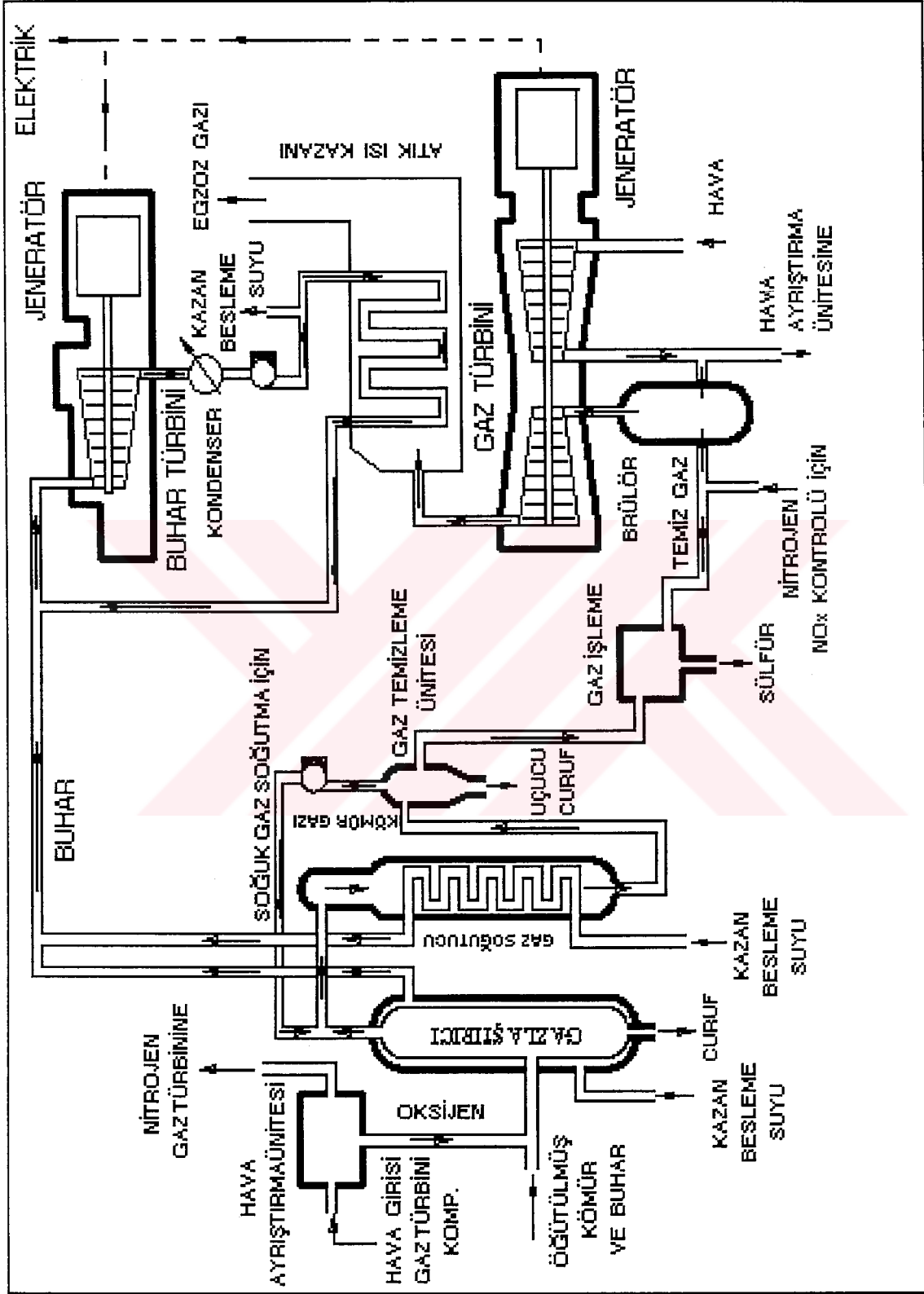
yakma havası olmak üzere gaz türbini ünitesine gönderilir. Geriye kalan hava , damıtma kısmında önce -160°C kadar soğutulur. Burada hava yüksek saflıkta (%95) oksijene,yüksek ve düşük saflıkta nitrojen gazına ayrıştırılır.(Rejak,1990)

Üretilen oksijenin tamamı kömür gazlaştırma ünitesine gönderilir. Elde edilen nitrojen gazının (N_2) büyük bir kısmı kömür hazırlama ünitesine , kömürün neminin giderilmesinde ve toz halinde öğütülmüş kömürün gazlaştırıcıya girmeden önce tutuşmasını engellemek amacıyla koruyucu atmosfer oluşturmak amacıyla gönderilir. Diğer kısmı ise , kömür gazının gaz türbinine girmeden önce seyreltilmesi amacıyla kömür gazı ile karıştırılır. (Özgürel ,1994)

3.3 GAZLAŞTIRMA ÜNİTESİ

İkinci bölümde anlatılan yöntemlerden biri seçilerek kömür gazı üretimi gerçekleştirilir. Gazlaştırıcıda enerji üretimi %15 dir. Gazlaştırma reaksiyonu tersinmez bir reaksiyondur. Bu reaksiyon sonucunda , yüksek kaliteli kömür kullanıldığında $1400 - 1700^{\circ}\text{C}$ arasında yüksek sıcaklıkta bir ısı açığa çıkmaktadır. Düşük kaliteli kömür kullanıldığında bu ısı 1200°C düşmektedir. Bu yüksek sıcaklığın gazlaştırıcı çeperlerine zarar vermemesi için kontrol altında tutulması gereklidir. Kontrol işlemi ise , gazlaştırıcı duvarlarına açılan su kanallarından su dolaştırılarak 110 bar gibi yüksek basınçta doymuş buhar üretimi sağlanarak gerçekleştirilmektedir.

Gazlaştırma sonucunda kömürün yaklaşık %83 gazlaşmaktadır. Üretilen kömür gazı büyük oranda hidrojen ve karbonmonooksitten oluşmaktadır. Şekil 3.2'de bir KKCS 'nin çalışma şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : KKCS ' nin Çalışma Şeması. (Richard,1994)

3.4 CURUF AYIRMA ÜNİTESİ

Gazlaştırma işlemi sonucunda curuf toplama haznesinde biriktirilen curuflar , gazlaştırıcının altından alınarak su banyosuna tabi tutulur. Su banyosunda curuf katılaştırılarak camsı tanecik haline getirilir. Bu işlem sırasında kazanılan ısı gazlaştırıcı çeperlerinde dolaştırılan suyun ön ısıtılmasında kullanılır.

Elde edilen camsı tanecikli curuf asfalt ve çimento sanayisinde kullanılmak üzere depolanır. (Richard,1994)

3.5 ARA GAZ SOĞUTMA ÜNİTESİ

Gazlaştırıcıdan çıkan ham gazın içerisindeki curuf partiküllerinin , gaz soğutma ünitesinin çeperlerine yapışmasını önlemek amacıyla , gazlaştırıcıdan çıkan ham gazın sıcaklığını , gaz soğutma ünitesine girmeden önce düşürülmesi gerekir. Bunu için ara bir soğutma işlemi yapılmaktadır. Bu ara soğutma işlemi için gerekli olan soğutucu gaz akımı , gaz soğutucu ünitesinden çıkan 230°C kadar soğutulmuş olan kömür gazının bir kısmının ara gaz soğutma ünitesine gönderilmesi ile sağlanır. Ara gaz soğutma ünitesinden çıkan kömür gazının sıcaklığı yaklaşık 1075°C düşürülür.

Soğutucu gaz ünitesinden çıkan soğutulmuş kömür gazı , ara gaz soğutma ünitesine gönderilmeden önce , filtrelerden geçirilip gaz içerisindeki uçucu küller giderilir. Böylece , bu gazın bir kısmının kompresörle ara gaz soğutma ünitesine gönderilmesi sırasında , kompresörde uçucu küllerden dolayı oluşacak problemlerde giderilmiş olur.

Ara gaz soğutma işleminde kömür gazı yerine su - buhar enjeksiyon sistemi veya radyasyonlu soğutma sistemide kullanılabilir. Su - buhar püskürtme ile soğutma işlemi, kimyasal enerji dengesi açısından çekici değildir. Radyasyonlu soğutma ise evaporatörde üretilen buharın konvektif soğutucuda kızdırılması zorunluluğu vardır. Buna karşın yüksek basınçlı buharın (90 bar ' ın üstünde , bu basınç KKCS ' de aha yüksektir) kızdırılmasında konvektif soğutucu yetersiz kalmaktadır. Ayrıca sıcaklık değişimleri ve

yüksek ısı yüklerinde malzeme ve konstrüksiyon problemleri meydana gelmektedir.

Ara gaz soğutma ünitesi sıcak gaz temizleme işlemine sahip santrallarda kömür gazını işlem sıcaklığına düşürülmesinde kullanılır.

3.6 GAZ SOĞUTMA ÜNİTESİ

Kömür gazı , gaz soğutma ünitesine 1075°C de girmekte ve 230°C de çıkmaktadır. Aradaki ısı buhar üretiminde kullanılmaktadır. Üretilen buhar 110 bar ve 550°C sıcaklığa sahiptir. Bu buhar karakteristiği , atık ısı kazanında üretilen buharla aynı değere sahip olmasından dolayı bu iki buhar üreticisi entegrasyon halindedir.

Bu ünite sıcak gaz temizlemeli santrallarda bulunmaz.

3.7 SIKLON VE FİLTRE ÜNİTESİ

Partiküller ve uçucu küller bu üniteye tamamen kömür gazının içinden temizlenir. Bu oran yaklaşık %98 dir.

Siklon ünitesinde, kömür gazı akımı , dönel gaz akımına çevrilerek partiküller üzerinde santrifüj güç yaratılır ve partiküller ile diğer uçucu küller gaz içerisinden temizlenir.

Filtreler ise geriye kalan az miktardaki uçucu kül ve partikülleri temizler.

3.8 GAZ TEMİZLEME ÜNİTESİ

Gaz temizleme ünitesine yerleştirilecek cihazlardan , kömür gazının çevre şartlarına uyumlu hale getirilmesi ve gaz türbinini koruma standartlarında olması beklenir. Diğer önemli bir faktör ise bu ünitenin diğer üniteler ile uyumlu çalışması istenir. Tüm bunlar göz önüne alınarak yapılan çalışmalarda , ilk olarak soğuk gaz temizleme sistemi

geliştirildi. Ardından devam edilen çalışmalarla , soğuk gaz temizleme sisteminden daha etkili olan sıcak gaz temizleme sistemi uygulanmaya başlandı.

Günümüzde her iki sistemide uygulayan santraller mevcuttur. Bu iki sistemi sırasıyla inceleyeceğiz.

3.8.1 SOĞUK GAZ TEMİZLEME YÖNTEMİ

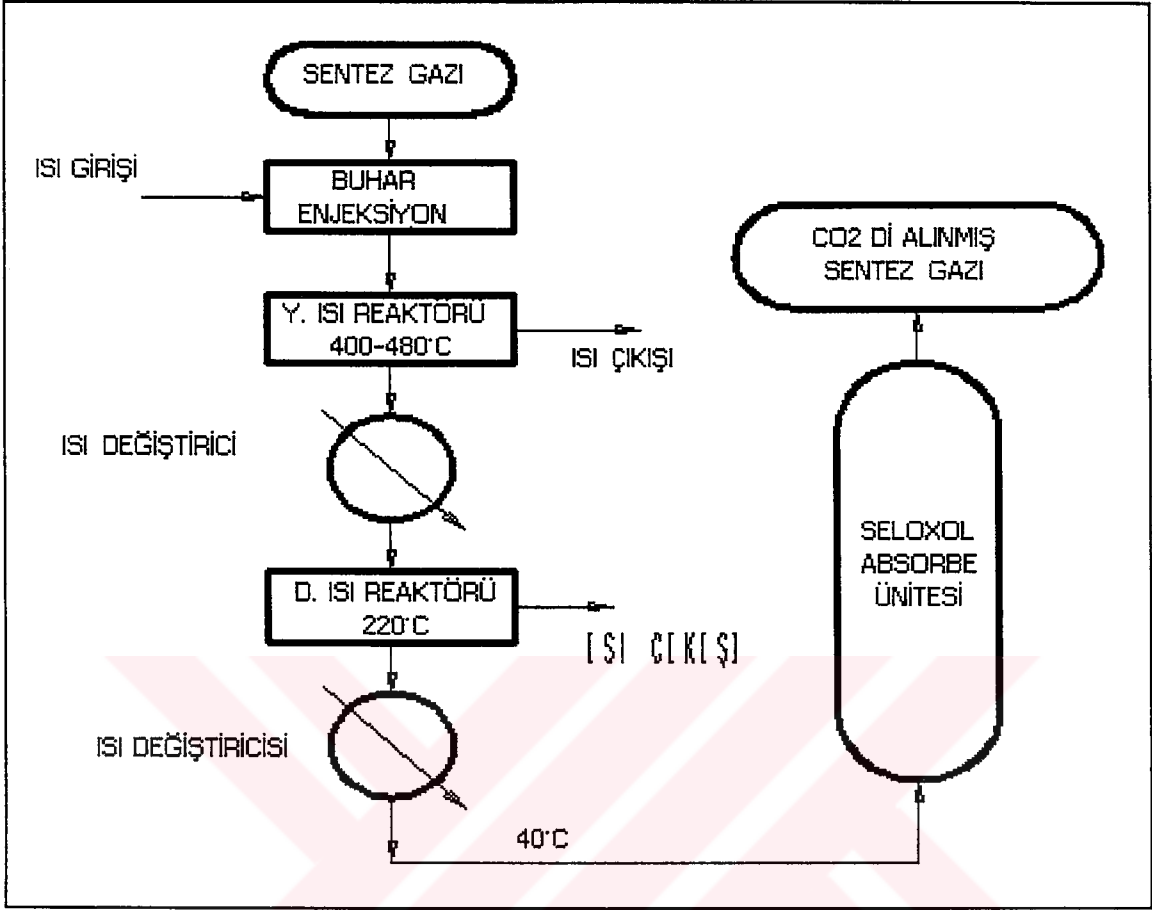
Siklon ve filitrelerden geçerek curuf gibi katı partiküllerden kısmen arındırılan kömür gazı , gaz yıkıycısına gelir. Burada kalıntı katı parçacıklar ve suda eriyen tuzlar (NH_3 , HCN , HCL ve HF gibi) suda eritilerek gaz içerisinde temizlenir. Fakat bu işlem ile COS (karbon sülfat) gazı giderilemez . Bunun için kömür gazı asit gaz ünitesine gönderilir. Şekil 3.3 ' de soğuk gaz temizleme işleminin akış şeması verilmiştir.

Asit gaz temizleme ünitesinde , COS gazı H_2S gazına dönüştürüldükten sonra gaz sıcaklığı son bir soğutma ile 40°C altına düşürülür. Kömür gazı içindeki H_2S gazı ve CO_2 gazı , desülfirizasyon ünitesinde amine asıllı solventler ile (sülfinoil , selexol gibi) kömür gazı içerisinde temizlenir. Bu işlem ile kömür gazındaki kükürt yaklaşık % 95 oranında temizlenir. Şekil 3.4 ' de bu işlemin akış şeması verilmiştir.

Gaz içerisinde alınan CO_2 ve H_2S gazları , sülfür geri kazanım ünitesine gönderilir. Burada H_2 gazı, H_2S gazından çekilerek , H_2S gazı ayrıştırılır ve elementel sülfür elde edilir. Elde edilen elementel sülfür satılmak üzere depolanır.

Asit gaz ünitesinde kullanılan solventlerin listesi Tablo 3.2 ' de gösterilmiştir.

Temizlenen kömür gazı buharla sıcaklığı 270°C kadar ısıtılarak gaz türbini ünitesine gönderilir. Şekil 3.5 'de soğuk gaz temizleme sistemine sahip KKCS 'nin bir şeması gösterilmiştir. Soğuk gaz temizleme işlemi öncesi ve sonrası kömür gazı karakterişiği Tablo 3.1 'de verilmiştir.



Şekil 3.4 : Asit Gaz Temizleme İşleminin Akış Şeması. (Penner,1987)

Tablo 3.1 : Soğuk Gaz Temizleme İşlemi Öncesi ve Sonrası Kömür Gazı Karakteristiği.
(Plumley,1985)

	İşlemden Önce (%mol)	İşlemden Sonra (%mol)
CO	41.34	43.53
H ₂	36.38	38.33
CO ₂	21.42	17.39
CH ₄	0.10	0.11
Ar	0.16	0.17
N ₂	0.44	0.47
H ₂ S	0.15	15 PPM
COS	0.01	55 PPM

Soğuk gaz temizleme yöntemi ile temizlenen bir gazdaki kükürtdioksit , azotoksit ve partikül değerleri :

Kükürtoksit (SO₂) : 0.33 lb SO₂ / MM Btu ; 0.14 kg SO₂ / MM kj

Azotoksit (NO₂) : 0.14 lb NO₂ / MM Btu ; 0.06 kg (NO₂) / MM kj

Partiküller : 0.01 lb PM / MM Btu ; 0.0043 kg PM / MM kj

Tablo 3.2 : Asit Gaz Ünitesinde Kullanılan Solventler. (Penner , 1987)

Solvent Posesinin Adı	Tipi	Solvent Tipi	Modu	Giderdiği Bileşikler
Aktif Karbon	AD	C	NS	H ₂ S, yağ
ADIP	AB	C	NS	H ₂ S,CO ₂
Alkazid	AB	C	NS,S	H ₂ S,CO ₂
Amisol	AB	C/P	NS,S	H ₂ S,CO ₂
Benefield	AB	C	NS	H ₂ S,CO ₂
Catacarb	AB	C	NS	H ₂ S,CO ₂
Chemsweet	AD	C	S	H ₂ S
CNG	AB	P	S	H ₂ S,CO ₂
Estasolvan	AB	P	NS,S	H ₂ S,CO ₂ , yağ
Flexorb SE	AB	C	S	H ₂ S,CO ₂
Flour Econamine	AB	C	NS	H ₂ S,CO ₂
Flour Solvent	AB	P	NS	H ₂ S,CO ₂ , yağ
Giammarco - Vetrocoke	AB	C	S	H ₂ S,CO ₂
MEA	AB	C	NS	H ₂ S,CO ₂
MDEA	AB	C	NS,S	H ₂ S,CO ₂
Molecuar sieves	AD	P	S	H ₂ S
Purisol	AB	P	NS,S	H ₂ S,CO ₂
Rectisol	AB	P	NS,S	H ₂ S,CO ₂
Ryan Holmes	CD	CD	S	H ₂ S,CO ₂ , C ₂
Seaboard	AB	C	S	H ₂ S
Selexol	AB	P	NS,S	H ₂ S,CO ₂ , yağ
Sepasolv MPE	AB	P	NS,S	H ₂ S,CO ₂ , yağ
SNPA - DEA	AB	C	NS	H ₂ S,CO ₂
Stretford	AB	C	S	H ₂ S
Sulfiban	AB	C	NS	H ₂ S,CO ₂
Sulfinol	AB	C/P	NS	H ₂ S,CO ₂
Tripotasyum fosfat	AB	C	S	H ₂ S
Cacuum carbonate	AB	C	S	H ₂ S
Çinko oksit	AD	C	S	H ₂ S

AD : Adsorbe , AB : Absorbe , CD : Soğuk Damıtma , C : Kimyasal Solvent

P : Fiziksel Solvent , S : Seçilebilen , NS : Seçilemeyen

3.8.2 SICAK GAZ TEMİZLEME YÖNTEMİ

Sıcak gaz temizleme alternatif çevre koruma sistemidir. Bu sistemin dizaynı santral performansını , emisyon oranını ve maliyeti etkilemektedir.

Sıcak gaz temizleme yönteminde işlem sıcaklığı , seçilen gazlaştırıcı yöntemine ve buna bağlı olarak seçilen filitrelere göre değişmektedir. Sıcak gaz temizleme sistemi aktif olarak yüksek sıcaklıkta partikül , kükürt ve karbondioksitin giderilmesini sağlar.

Gazlaştırıcıdan çıkan ham gaz , doğrudan veya dolaylı işlemler ile sıcak gaz temizleme işlem sıcaklığına düşürülür. Yalnız sabit yataklı gazlaştırıcıya sahip santrallarda gaz soğutulduğunda , gazın sıcaklığı 204°C ye düşmektedir. Buda sıcak gaz temizleme işlemi için çok düşük bir sıcaklık olduğundan gaz soğutma işlemi uygulanmaz. Çünkü gaz içindeki katran seramik filitreleri tıkyabilir.

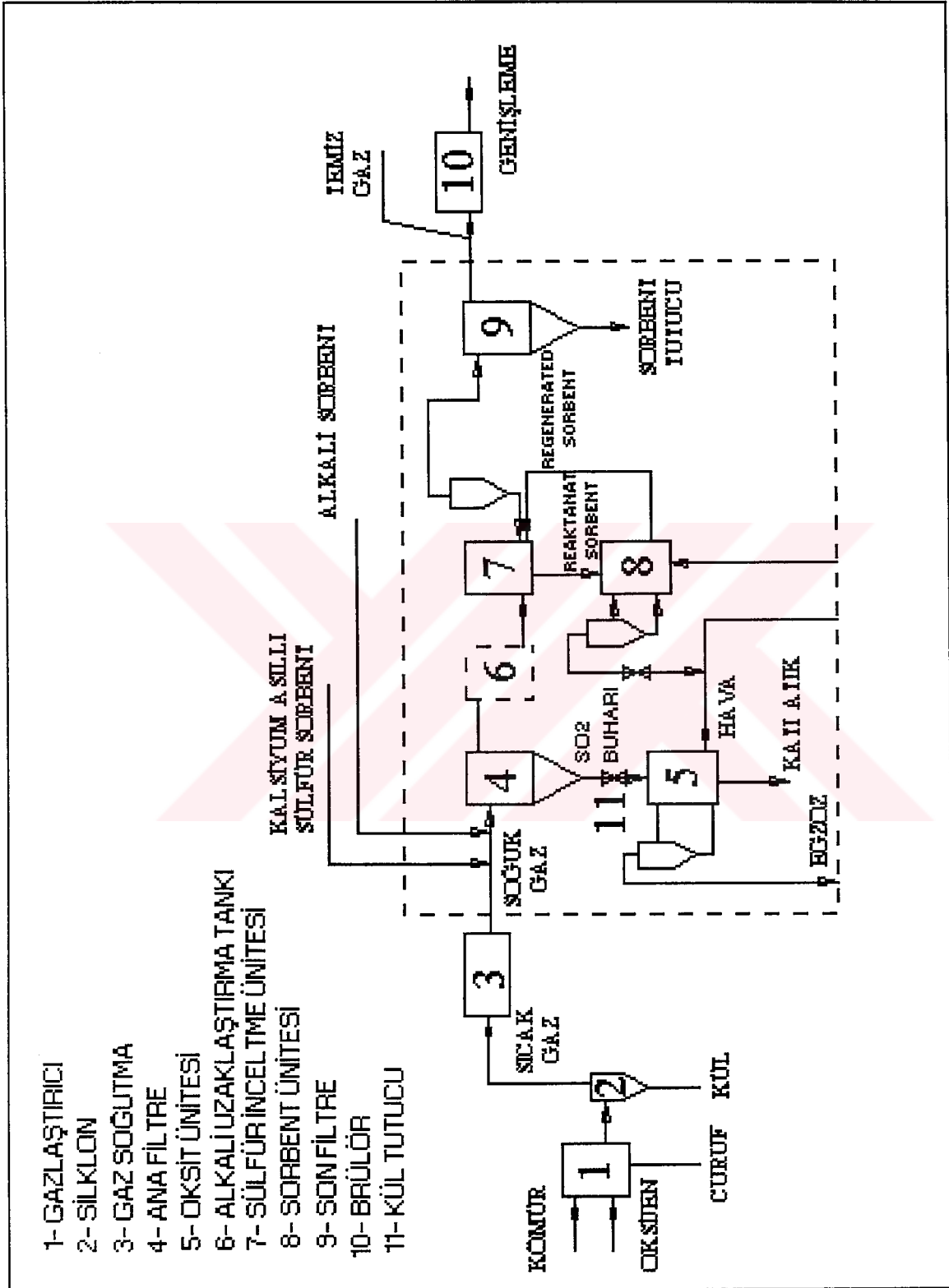
Sıcak gaz temizleme işleminde , kömür gazı üç aşamadan geçirilerek temizlenir. Bunlar ;

- Partiküllerin temizlenmesi,
- Alkali buharın gaz içerisinden alınması,
- Sülfür ve CO₂ ' din gaz içerisinden temizlenmesi.

Şekil 3.6 ' da sıcak gaz temizleme işleminin ana aşamaları gösterilmiştir.

İlk aşamada kömür gazı içindeki partikül ve uçucu küller , yüksek verimli siklon ve seramik filitrelerden geçirilerek temizlenir. Partiküllerin temizlenmesinde ikinci bir yöntem ise , öğütülmüş kalsiyum asıllı sorbentlerin (kalkitik , dolomitik kireç taşı ve sönmüş kireç) gaz içerisine enjekte edilerek , sorbentlerin partiküller ile uçucu külleri tutması sağlanır. Sorbentler tarafından tutulan partikül ve uçucu küller (H₂S ve COS ağırlıklı) kömür gazının seramik filitrelerden geçirilmesi ile gazın içerisinden temizlenirler. Kimyasal işlemlerden geçirilen partikül ve uçucu küller , sorbentlerden ayrıştırılması sağlanır. Elde edilen sorbentler tekrar kullanılmak üzere geri döndürülür. Bu işlem ile H₂S ve COS bileşiklerinin , yakıcı gaz borularında birikmesi önlenir.

Alkali buharıda (Na + K) yine benzer şekilde , alkali asıllı sorbentlerin kömür gazına enjekte edilmesi ve bunların filitrelerde tutulması ile gaz içerisinden temizlenir. İkinci bir yöntem ise , alkali sorbent taneciklerinin primer filtreye yerleştirilmesi ile



Şekil 3.6 : Sıcak Gaz Temizleme İşleminin Ana Aşamaları. (Newby et al,1994)

kömür gazı içinden alkali buharı temizlenir. Alkali buharı özellikle gaz türbini kanatlarına zarar vermekte ve özellikle korozyona sebep olmaktadır. Bu nedenle alkali emisyonu türbin koruma standartlarına göre 50 ppb altında olmalıdır.

Kükürt giderme işlemi , gazlaştırıcı yatağına konulan kireçtaşı ve dolimitik kireç taşı ile daha gazlaştırma aşamasında desülfirizasyon işlemine başlanır. Bu işleme sülfür inceltme prosesi denir. Bunu takiben elde edilen kömür gazına istenilen sülfür oranına göre öğütülerek toz haline getirilmiş , kalsiyum , çinko , bakır sorbentlerinden biri enjekte edilerek sülfür bileşiklerini tutması sağlanır. Bunun ardından kömür gazı seramik filitrelerden geçirilerek , sülfür kömür gazından temizlenir. Elde edilen sülfür bileşikleri kimyasal yolla sorbentlerden ayrıştırılır. Geri kazanılan sorbentler prosese geri döndürülür. Bu işlem sonucunda kükürt %98 oranında kömür gazından temizlenir. Şekil 3.7 'de sıcak gaz temizlemeli KKCS 'nin çalışma şeması verilmiştir.

Kalsiyum asıllı sorbent kullanıldığında ;

İşlem Sıcaklığı : 870 - 981 °C

Emisyonu : 0.25 kg SO₂ / MM kj.

Kalsiyum asıllı sorbentler iyi bir kinetik performans sağlamaktadır.

Çinko asıllı sorbent kullanıldığında ;

İşlem Sıcaklığı : 704 °C

Bu sıcaklığın yukarısında bir işlem sıcaklığı seçildiğinde , sorbentler buharlaşmaktadır.

Bakır asıllı sorbentler ise alternatif bir seçenektir;

İşlem sıcaklığı 870 - 926 °C ,

Emisyonu ise 0.18 - 0.2 kg SO₂ / MM kj .

Diğer sorbentler ise daha düşük işlem sıcaklığına ihtiyaç duymaktadır. Bunlardan en ekonomik olanı demir asıllı sorbentlerdir. İşlem sıcaklığı 649 °C dir.

Tablo 3.3 ' de bitumlu kömürün , üç ayrı gazlaştırma metodu ile gazlaştırılması ile elde edile kömür gazının karakteristik değerleri , Tablo 3.4 ' de ise sıcak gaz temizleme sonrası karakteristik değerleri vermiştir verilmiştir.

Sıcak gaz temizleme işleminin sistem koşulları ve performansı özet olarak Tablo 3.5 ' de verilmiştir.

Tablo 3.3 : Bitumlu Kömürden Elde Edilen Kömür Gazının Sıcak Gaz Temizleme İşlemi Öncesi Değerleri. (Newby et al ,1994)

Gazlaştırma Yöntemi	Sabit Yatak	Akışkan Yatak	Akışkan Yatak	Sürüklenmeli Yatak
Oksidant	Hava	Hava	Oksijen	Oksijen
Kömür	Kuru	Kuru	Kuru	Bulamaç
Ham Gaz Karakteristiği				
Gaz Basıncı (bar)	21	27	27	35
Gaz Sıcaklığı (°C) ^a	538	926	926	926
Gaz Akımı (acmf) ^b	13	12.65	8	5.8
Uçucu Kül (ppm) ^c	2300	8500	10	9900
Gaz İçindeki H ₂ S , COS (ppm)	5700	6400	10.1	10.8
Gaz içindeki Alkali (ppm) ^d	ihmal	1 - 2	1 - 2	1 - 2

a: max. gaz temizleme sıcaklığı, tavsiye edilen

b: volumetrik akış , özgül ısı ve basınca göre

c: Sorbent enjekte edilmemiş gaz içindeki

d: Alkali (Na + K) asıllı yaklaşık olarak

Tablo 3.4 : Bitimli Kömürün Gazlaştırmasından Elde Edilen Kömür Gazının Sıcak Gaz Temizleme İşleminde Sonraki Karakteristik Değerleri. (Newby et al ,1994)

Gazlaştırma Yöntemi	Akışkan Yatak	Akışkan Yatak	Sürüklenmeli Yatak
Oksidant	Hava	Oksijen	Oksijen
Kömür	Kuru	Kuru	Bulamaç
Partikül Giderme Oranları			
T. Gaz İçindeki Partikül Mik. (ppm)	49	90	95
Partikül Giderme (%)	99.4	99.1	99.0
Santral Emisyonu (kg/ MM kj)	0.0078	0.0073	0.0078
Kükürt Giderme Oranları			
Kükürt Giderme (%)	97	97	97
SO ₂ Emisyonu (kg / MM kj)	0.078	0.078	0.078
Temiz Gaz İçindeki H ₂ S Mik.(ppm)	192	303	297
Alkali Giderme Oranları			
T.Gaz içindeki Alkali Mik.(ppb)	410	750	790
Alkali Giderme (%)	80	60	60

Tablo 3.5 : Sıcak Gaz Temizleme İşleminin Sistem Koşulları ve Performans Özeti.
(Newby et al ,1994)

Gazlaştırıcı Tipi	Akışkan Yatak	Akışkan Yatak	Sürüklenmeli Yatak
Oksidant	Hava	Oksijen	Oksijen
Primer Filtre			
Giriş Sıcaklığı (°C)	900	900	900
Giriş Yüğü (ppm)	48	86	90
Çıkış Yüğü (ppm)	< 10	< 10	< 10
Primer Sülfür Giderme			
Sorbent	Kireç Taşı	Kireç Taşı	Kireç Taşı
Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	926	926	926
Sülfür Giderimi (%)	90	90	60
Alkali Giderme			
Sorbent	Emathlite	Emathlite	Emathlite
Alkali Girişi (ppm)	2	2	2
Alkali Çıkışı (ppb)	< 400	< 750	< 300
Sülfür İnceltme			
Sıcaklık (°C)	882	826	854
Sorbent	Bakır As.	Bakır As.	Bakır. As
Sülfür Giderme (%)	71	71	94
Oxidizer			
Sıcaklık	871	871	871
Sülfür Giderme (%)	98	98	98
Son Filtre			
Sıcaklık (°C)	887	832	860
Giriş Yüğü (ppm)	300	180	180
Çıkış Yüğü (ppm)	< 20	< 20	< 20
Genel Sistem Performansı			
Sülfür Giderme (%)	97	97	97
Sülfür Emisyonu (kg SO ₂ /MM kj)	0.077	0.077	0.077
Partikül Emisyonu (kg / MM kj)	< 0.00043	< 0.00043	< 0.00043
Toplam Basınç Düşüşü (bar)	1.7	1.7	1.7
Toplam Sıcaklık Düşüşü (°C)	21	21	21

3.8.3 SICAK VE SOĞUK GAZ TEMİZLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

- Soğuk gaz temizleme sistemi oldukça ayrıntılı bir sisteme sahip olmasından dolayı verimi %45 de kalmaktadır.
- Sıcak gaz temizleme sisteminin verimi ise yaklaşık %50 dir.
- Sıcak gaz temizleme sisteminde , gazın soğutulup tekrar ısıtılması için gerekli olan ısı kazanları ve eşanjörlere ihtiyacı olmadığından , işlem basitleşmekte ve maliyet düşmektedir.
- Sıcak gaz temizleme sisteminde , gaz yıkama işlemi olmadığından , yanıcı nitrojen ve korosif eser maddelerin arındırılması için maliyeti arttırıcı ek proseslere ihtiyaç duyulmaktadır. (Özgürel et al,1994)

3.9 GAZ TÜRBİNİ ÜNİTESİ

3.9.1 BRÜLÖR

Kömür gazı brülöre girmeden önce nitrojen veya buharla karıştırılarak seyreltilir. Böylece yanma sırasında meydana gelen asit yağmurlarına neden olan NO_x oluşumu engellenmiş olur. Kömür gazı içinde bulunan CO ve H_2 gazları nedeni ile doğal gaza oranla daha yüksek alev sıcaklığına sahiptir. Bu yüzden doğal gaza oranla iki veya üç misli daha fazla NO_x formasyonuna neden olmaktadır. Müsade edilen NO_x emisyonu limitlerine düşürülmesi (25 ppm) için oksidant olarak hava yerine oksijen kullanılması, kömür gazının belli oranda seyreltilmesi ve gaz türbininden geçen gaz kütlesinin arttırılması gerekmektedir. Oksidant olarak oksijen kullanıldığında elde edilen gazın kalorik değeri doğal gazın 1 / 3 , hava kullanıldığında ise 1 / 8 olmaktadır. Oksidant olarak oksijen seçildiğinde , kömür gazının kalorik değeri 11000 kj / kg olup , gazın brülöre girmeden önce seyreltilmesi ile gazın kalorik değeri 4300 kj / kg düşmektedir. (Özgürel et al,1994)

Brülörün gaz türbini verimi üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Her türbin gücüne göre farklı yanma odalarına sahip brülörler kullanılmaktadır.

V64,3 (Siemens) gaz türbininde 3 yanma odalı brülör.

V84,3 (Siemens) gaz türbininde 6 yanma odalı brülör.

V94,3 (Siemens) gaz türbininde 8 yanma odalı brülörler kullanılmaktadır.

Yanma odalarının seramikle kaplanması ile gaz türbinine egzoz gazı giriş sıcaklığının artırılması sağlanmaktadır. (Isles, 1992)

3.9.2 GAZ TÜRBİNİ

Gaz türbinli güç santrallerinin en önemli ünitesidir. Gaz türbinin verimli çalışması santral verimini çok yakından etkilemektedir.

Bugün KKCS 'de yeni nesil Siemens gaz türbinleri, tipleri ve değerleri Tablo 3.6'da gösterilmekte, ile Brown Boveri (ASEA) ABB 13 E gaz türbini kullanılmaktadır.

Tablo 3.6 : Yeni Nesil Siemens Gaz Türbinleri. (Becker et al, 1992)

Türbin Modeli		V64.3	V84.2	V84.3	V94.2	V94.3
Frekansı	s ⁻¹	50/60	60	60	50	50
Egzozun Türbine Giriş Sıcaklığı	°C	1020	1040	1120	1050	1120
Gaz Türbinin Gücü	MW	60	103	139	150	200
Basmç Oranı		15.6	10.9	15.6	10.9	15.6
Egzoz Debisi	kg/s	187	355	420	509	605
Egzoz Çıkış Sıcaklığı	°C	534	532	534	538	534
Genel Verim	%	35.2	33.8	35.7	33.8	35.7

Siemens tarafından üretilen gaz türbinlerinden V94.2 ve V94.3 arasındaki fark; her ikisinde de yataklar arası mesafenin farklı oluşudur. Ayrıca V94.3 de kanat çapının

getirmiş olduğu avantaj ile % 10 luk daha fazla çıkış gücü almmakta ve kompresör sıkıştırma oranı 10.9 dan 15.6 ya çıkmaktadır. Dört sıra değişken aralıklı kanata sahip olması ile daha geniş oranda kütle akışı sağlanmaktadır.

13E gaz türbini ise doğrudan 50 hz lik bir jeneratöre bağlıdır. Çıkış gücü 140 MWe ve verimi % 33 dür. Bu modelde hava giriş kayıpları azaltılmıştır.

Gaz türbinlerinde hava soğutma uygulanmaktadır. Hava soğutma başlıca konveksiyon ve film soğutma olmak üzere iki tiptir. Konveksiyon soğutmada hava kanatlara gönderilir , giriş bölgesinden sonra birkaç kez sirküle olan hava diğer taraftan gaz akımına karışır. Film soğutma, daima konveksiyon ile birleşik olarak uygulanır , asla yalnız başına uygulanmaz. Burada kanat yüzeyi boyunca koruyucu bir tabaka oluşturur. Bu aynı zamanda kanattaki korozyonu önleyen bir etkidir. Bu iş için kullanılan hava temiz olmak zorundadır.

Türbin veriminin , hava soğutmalı kanatlardaki metal sıcaklığı ile orantılı bir bağlantısı vardır. Türbin kanatları için yüksek sıcaklığa dayanımlı malzeme kullanılması kombine çevrim performansını önemli şekilde artırır.

Güç santrallerinde genelde iki adet gaz türbini kullanılmaktadır.

3.10 ATIK ISI KAZANI

Gaz türbininden çıkan egzoz gazları yaklaşık 500 - 600 °C de atık ısı kazanma gelir. Burada egzoz gazlarının ısısından yararlanılarak , 540°C ve 110 bar değerinde buhar üretimi gerçekleştirilir. Üretilen buhar , buhar türbinine gönderilir. Egzoz gazları ise bacadan atmosfere 129°C de bırakılır.

3.11 BUHAR TÜRİNİ

Atık ısı kazanında üretilen yüksek sıcaklıkta ve basınçtaki (540°C ,110 bar) buhar ilk önce, yüksek basınçlı buhar türbine gönderilir. Buradan 350 °C ve 38 bar basınç ile buhar türbinini terk eder. Çürük buhar, diğer ısı kaynaklarından alınan ısı ile kızdırılarak orta basınçlı buhar türbinine gönderilir ve buhar türbinini 146° C , 6 bar basınç ile terk eder.

Yine çürük buhar , diğer ısı kaynaklarından alınan ısı ile sıcaklığı yükseltilerek alçak basınçlı buhar türbinine gönderilir ve buradanda 21 °C , 0.025 bar basınç ile sistemi terk eder. Sistemi terk eden buhar kondensere gönderilir.

3.12 KONDENSER

Buhar türbininden çıkan çürük buhar , kondenser ünitesine gönderilir. Burada yoğuşturulan buhar , su olarak sisteme geri döndürülür.

4. KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARININ ÇEVRE İLE İLİŞKİSİ

Kömür gaz kombine çevrim santralleri , çevreye uyumluluğu açısından çok iyi bir performans göstermektedir. Bu performansın yakalanmasındaki en önemli faktörler , santrallerin tüm ünitelerinin dizaynı, geliştirilmesi , inşası ve işletilmesinde doğa şartlarına uyumluluk şartının göz önünde bulundurulmuş olmasıdır.

KKCS 'de çevreye bırakılan gazlar ve atıklar kabul edilen standartlar içindedir.

4.1 KÜKÜRT BİLEŞİKLERİ (SO_x)

Havadaki kükürt oksitler içerisinde en önemli payı, kükürtdioksit (SO₂) gazına aittir. Bu gaz yanmayan, renksiz bir gaz olup 0.3-0.1 ppm derişiminde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta , 3 ppm üstünde boğucu bir his vermektedir.

Atmosferde oldukça hızlı bir oksitlenmeyle kükürtdioksit , kükürttrioksite (SO₃) yani sülfata dönüşmektedir. Sülfat ise sülfirik asitin anhidriti olup , yağmur veya yoğunlaşmış nem damalcıklar (sis) ile birleşerek havada sülfirik asitin oluşmasına yolaçar. Buda asit yağmurlarına neden olur.

Kömür gaz kombine çevrim santralleri , kükürt bileşikleri açısından olaya hasasiyet ile yaklaşmakta , kömür gazı daha gazlaştırıcıda iken desülfirizasyon işlemi başlatılmakta ve soğuk gaz veya sıcak gaz temizleme işlemi ile kömür gazındaki kükürt oranı en aza indirilmektedir. Soğuk gaz temizleme yöntemi ile kükürt % 95, sıcak gaz temizleme işlemi ile de % 98 oranında, gazın içerisinde giderilmektedir.(Richard,1994)

Bu işlemler sonucunda ;

Soğuk Gaz Temizlemede SO₂ Emisyonu: 0.33 lb SO₂ / MM Btu ; 0.14 kg SO₂ / MM kj

Sıcak Gaz Temizlemede SO₂ Emisyonu: 0.18 lb SO₂ / MM Btu ; 0.078 kg SO₂ / MM kj

4.2. AZOT BİLEŞİKLERİ (NO_x)

Azot , yedi çeşit azot oksit meydana getirmekte ve bunlardan hava kirleticisi olarak en önemlileri , azot monooksit (NO) ile azot dioksit (NO₂) dir. Bu bileşikler ozon tabakasını tehdit etmektedir. Azot oksitler , atmosferin stratosfer tabakasında , ozon ile reaksiyona girerek ozon tabakasının incelmesine yol açmaktadır.

Kömür gaz kombine çevrim santrallerinde kullanılan kömürlerdeki azot bileşikleri büyük oranda elementel azota (N₂) dönüştürülmekte , geriye kalan amonyak (NH₃) gibi tuzlar gaz yıkama ünitesinde temizlenmektedir. Ayrıca kömür gazının gaz türbini ünitesine girmeden önce buhar ve nitrojen ile seyreltilmesi ile (NO_x) oluşumu büyük ölçüde önlenir.

Soğuk Gaz Temizlemede NO_x Emisyonu :<0.14lb No_x/MM Btu ;< 0.06 kgSO₂/MM kj

Sıcak Gaz Temizlemede NO_x Emisyonu :<0.49lb No_x/MM Btu ;< 0.21 kgSO₂/MM kj

4.3 KARBONDİOKSİT (CO₂)

Brow - Alaska ve Movna - Loa Hawai istasyonlarında yapılan ölçümler , 1973 - 1981 yılları arasında CO₂ konsantrasyonundaki artışın yaklaşık 1 ppm / yıl olduğunu göstermektedir. Fosil yakıtların kullanımında önemli bir azalama olmadığı sürece CO₂ konsantrasyonunun 2050 ile 2070 yılları arasında 1970 lerin iki katı olacağı tahmin edilmektedir. (Tırs et al ,1993)

Karbondioksit , elektormanyetik spektrumda gösterdiği özelliklerden dolayı , dünya iklimi üzerinde önemli bir etki gösterir. CO₂ 'in bu özelliği kısa dalga boyundaki güneş radyasyonunu geçirgen , buna karşın yeryüzünden gelen uzun dalga boyundaki kızıl ötesi (infrared) radyasyonu absorbe edişidir. CO₂ konsantrasyonundaki bu artışın dünya iklimindeki başlıca etkeninin ortalama sıcaklıktaki artış olduğu bir çok bilim adamı tarafından kabul edilmektedir. Çeşitli araştırmacılara göre bu artışın 0.3 -0.9 °C olacağı tahmin edilmektedir. Ortalama sıcaklığın artması ile sera etkisi oluşacak , buda

yeryüzüne yakın yerlerde ısınma ve atmosferin yukarı tabakalarındaki soğuma sonucunda alçak ve yüksek basınç sistemlerini etkileyeceği , bunun sonucunda yeryüzünün bazı bölgelerinde kuraklık , bazı bölgelerde de aşırı yağış ve sellerin olacağı tahmin edilmektedir.

KKCS 'de üretilen kömür gazında belli oranda CO₂ gazı açığa çıkmakta bu gaz , asit gaz ünitesinde selexsol ve benzeri prosesler ile büyük oranda giderilmektedir.

4.4 ORGANİK KALINTILAR

Gazlaştırma işlemindeki yüksek işlem sıcaklığından faydalanılarak , kömür içerisindeki potansiyel zift ve diğer hidrokarbonlar elimine edilir. Yapılan çevresel analizlerde curuf , uçucu küller ile proses suyunda az bir ppm de formaldehit olduğu tesbit edilmiştir. (Richard,1994)

4.5 PARTİKÜLLER

Kömür gazının siklon ve filitrelerden geçirilmesi sonucunda , gazın içindeki curuf ve uçucu küller % 99 oranında temizlenerek katı atık olarak depolanır. Gaz içerisinde müsadde edilen partikül miktarı 1-5 ppm dir. (Richard,1994)

4.6 KALINTI METALLER

Kömür içindeki metal bileşiklerin büyük bir kısmı , gazlaştırıcıdaki yüksek reaksiyon sıcaklığında erimekte ve curufa karışmaktadır. Kömür gazı içinde yinede çok az bir miktarda metal bileşenleri kalır. Bunlarda gaz temizleme ünitesinde tamamen gazın içinden temizlenir.

Holojenürler , gaz yıkama kısmında kolayca natürlize edilir ve tuz olarak sistemden atılır. Kömür gazı içinde mücade edilen nikel ve vanadyum konsantrasyonu 2 - 7 ppb olmalıdır. (Richard,1994)

4.7 ATIK SULAR

Atık suların büyük çoğunluğunu curuf soğutmada kullanılan sular oluşturmaktadır. Çevresel analizde kömür gaz kombine çevrim santrallerinde proses suyunda az bir oranda giderilemeyen uçucu ve yarı uçucu organik maddeler tesbit edilmiştir. Proses suyu biyolojik işleme ve oksidasyon ile destekli temizleme işlemi sonucunda inorganik azot ve kükürt bileşikleri en aza indirilir.

Temizlenen işlem suyu prosese geri döndürülerek bazı gazlaştırıcılarda bulamaç suyu olarak kullanılır.

Kömür gaz kombine çevrim santrallerinde su ihtiyacı diğer santrallerin su ihtiyacının yarısıdır. Çünkü üretilen elektriğin 1/3 buhar türbininden , 2/3 gaz türbininden sağlanmaktadır. (Richard,1994)

4.8 KATI ATIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Gazlaştırma ünitesi ile gaz temizleme ünitesinden elde edilen curuflar , soğuk su banyosuna tabi tutularak katılaştırılır ve öğütülerek camsı tanecik haline getirilir. Kömür külünün % 95 curuf halinde geri kazanılmaktadır. Elde edilen bu camsı taneciklerin yüzey direnç performansı çok iyi olduğundan çimento ve asfalt sanayinde kullanılmak üzere satılır.

Temizleme ünitelerinden elde edilen kükürt de elementel kükürde dönüştürülerek satılmak üzere depolanır.

5. KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARININ EKONOMİSİ

Kömür gaz santrallarının önemli bir bölümünü teşkil eden gaz türbini ve buhar türbin üniteleri ticari ve teknik olgunluğa erişmiş ünitelerdir. Teknoloji ve fiyatların olgunlaşmadığı gazlaştırma ve gaz temizleme üniteleridir.

General Elektrik araştırma grubunca yapılan çalışmalarda değişik proseslere göre kW kurulu güç maliyetleri 200 - 1600 \$ / kW olarak tahmin edilmektedir. Diğer taraftan tesis aşamasındaki projelerin maliyeti 1800 - 2000 \$ / kW civarında olmaktadır. Bu maliyet analizleri incelendiğinde 90' lı yılların ilk yarısının teknolojisi olarak kabul edilen soğuk gaz temizleme ve reaktant olarak oksijen kullanan sistemlerde , kömür hazırlama ve gaz temizleme üniteleri toplam santral yatırım bedelinin % 60 nı oluşturmakta , verim %46 ulaşmaktadır. 1990 yılların teknolojisi olarak görülen sıcak gaz temizleme teknolojisi içeren kömür gaz santrallarında , aynı tesislerin maliyeti bir çok ara tesisin ortadan kalkması ile toplam tesis içindeki maliyet % 50 - 55 lere düşmekte , verim ise % 50 ulaşmaktadır. Toplam yatırım maliyetlerinde ise % 15 - 20 oranında bir düşme beklenmektedir. (Özgürel et al ,1994)

Sıcak gaz temizleme ünitesinde % 90 oranında bir sülfür giderme istendiği zaman toplam maliyete 100 \$ /kW ve elektrik üretim maliyetinde 7 mills / kW-h bir düşüş olur. Sıcak gaz temizleme ünitesinde , soğuk gaz temizleme ünitesine nazaran bir çok ara ünitenin ortadan kalkması ile maliyet 400 \$ / kW - h azalmaktadır.(Newby,1994)

Tablo 5.1 'de sıcak gaz temizleme maliyetleri gösterilmiştir. Tablo 5.2'de 650 MW ve Tablo 5.3 de 730 MW 'lık akışkan yataklı gazlaştırma ünitesi ve sıcak gaz temizleme ünitesine sahip KKCS 'nin toplam maliyet değerleri verilmiştir.

KKCS ' de CO₂ gazının daha da azaltılması istenirse , kömür gazı CO₂ ve H₂ ağırlıklı üretilmekte ve CO gazı , CO₂ gazına dönüştürülmekte , bunun ardından CO₂ gazı asit gaz ünitesinde geri çekilmektedir. Bu işlem ile santral verimi %43 den %33 'e düşmektedir. Ayrıca elektrik üretim maliyeti % 40 artmaktadır. (Richard,1994)

Tablo 5.1 : Sıcak Gaz Temizleme Yaklaşık Maliyeti. (Newby,1994)

Gazlaştırıcı	Akışkan Yatak	Akışkan Yatak	Sürüklenmeli Y.
Oksidant	Hava	Oksijen	Oksijen
Toplam Yatırım (\$ /kw) ^a	297	255	233
Elektrik Maliyeti (mills / kWh) ^b	19	17.4	17.6

a : 1992 yılı dolar fiyatı baz alınmıştır.

b: kireçtaşı 15\$ / ton ; emathlite 55 \$ / ton ; bakır sorbent 3000 \$ / ton ; katı atık 9 \$ / ton

Tablo 5.2 : 650 MW , Akışkan Yataklı Gazlaştırma ve Sıcak Gaz Temizleme Ünitesine Sahip KKCS 'nin Toplam Maliyet Değerleri. (Frey et al,1992)

Santral Performansı	
Termal Verim (%)	38.5
Kömür Tüketimi (kg / kW-h)	0.36
Proses Suyu Tüketimi (kg / kW -h)	0.72
Çinko Sorbent (10 ⁶ kg)	3
Sülfirik Asit Üretimi (kg / kW -h)	0.038
Santral Emisyonu	
SO ₂ (kg / MM kj)	0.018
NO _x (kg / MM kj)	1.178
CO (kg / kW - h)	0.0013
CO ₂ (kg / kW -h)	0.78
Katı Atık (kg / kW -h)	0.037
Santral Maliyeti	
Toplam Yatırım Maliyeti (\$ / kW)	1409
Sabit İşletme Maliyeti (\$ / kW -yıl)	44.8
Değişken İşletme Maliyeti (mills / kW -h)	18.2
Kömür (mills / kW -h)	16.2
Diğerleri (mills / kW -h)	5
Elektriğin Maliyeti (mills / kW -h)	51.7

Tablo 5.3 : 730 MW , Akışkan Yataklı Gazlaştırma ve Sıcak Gaz Temizleme Ünitesine Sahip KKCS 'min Toplam Maliyet Değerleri. (Frey et al, 1993)

Santral Performansı	
Termal Verim (%)	4.9
Kömür Tüketimi (kg / kW-h)	0.33
Proses Suyu Tüketimi (kg / kW -h)	0.35
Santral Emisyonu	
SO ₂ (kg / MM kj)	0.0056
NO _x (kg / MM kj)	0.064
CO (kg / kW - h)	0.0023
CO ₂ (kg / kW -h)	0.78
Katı Atık (kg / kW -h)	0.1
Santral Maliyeti	
Toplam Yatırım Maliyeti (\$ / kW)	1535
Sabit İşletme Maliyeti (\$ / kW -yıl)	51.4
Değişken İşletme Maliyeti (mills / kW -h)	19.9
Kömür (mills / kW -h)	15.3
Diğerleri (mills / kW -h)	4.7
Elektriğin Maliyeti (mills / kW -h)	56.8

1989 yılı dolar fiyatları baz alınmıştır.

Diğer taraftan yatırım maliyetleri , işletme masrafları , amortismanı dikkate alan İngiliz Enerji Bakanlığının kurduğu bir grubun 320MW bazında bir kömür gaz üretimi maliyetleri için yaptığı araştırma 4.85 cent / kW-h sonucunu vermiştir. İlgili değerler Tablo 5.4 de gösterilmiştir.

Tablo 5.4 : 320 MW KKCS 'nin Toplam Yatırım Değerleri (Özgürel et al,1994)

Santral Gücü (MW)	320
Gaz Temizleme Yöntemi	Soğuk Gaz Temizleme
Oksidant	Oksijen
Toplam Yatırım Maliyeti (\$ / kw)	1360
Kömür Fiyatı (\$ / Gj LHV)	3
Verim (%)	45
Elektrik Maliyeti (cent / kW - h)	4.85

Desülfürizasyon ünitesi olan konvansiyonel kömür santrallı için aynı bazdaki heaplama 4.5 cent / kW - h olmaktadır. Tablo 5.5 de 500 MW konvansiyonel kömür santrallının yatırım maliyeti verilmiştir. Ayrıca baca gazı arıtma tesisleri yatırım maliyetlerini 1 / 3 oranında , elektrik üretim maliyetini ise 1.5 - 2.5 cent / kWh civarında artmaktadır. Elektrik üretim maliyeti yaklaşık 5 - 7 cent / kW-h dir.

Tablo 5.5 : 500 MW Konvansiyonel Kömür Santrallının Yatırım Maliyeti .

(Özgürel et al,1994)

Santral Gücü (MW)	500
Toplam Yatırım Maliyeti (\$ / kw)	1000
Kömür Fiyatı (\$ / Gj LHV)	3
Verim (%)	35.5
Elektrik Maliyeti (cent / kW - h)	4.5

Yatırım maliyetleri açısından doğal gaz santralleri 700 \$ / kW civarında iken , konvansiyonel kömür santralleri baca gazı arıtma tesisi dahil 1300 - 1500 \$ / kW bulmaktadır.

Bu sonuçlara göre kömür gaz kombine çevrim santralleri yatırım maliyetlerindeki %20 bir artış , elektrik üretim maliyetlerini 0.5 - 0.7 cent / kW daha arttırmaktadır.

İngiliz Enerji Bakanlığı ve John Brown şirketi tarafından ortaklaşa yapılan çalışmalar sonucunda , yüksek verimleri nedeni ile kömür gaz santralleri üretim maliyetlerinin çok kısa bir sürede konvansiyonel kömür santrallerinin altında kalacağı ve 1990 yılların sonunda teknolojik olgunluğa erişecek olan sıcak gaz temizleme sistemli kömür gaz santrallerinin yüksek verimi , düşük yatırım maliyetleri nedeni ile konvansiyonel kömür santrallerinin kesin alternatifi olacağı görülmektedir.



6. DÜNYA ÜZERİNDE KURULU KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARI

6.1 KOBRA KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALI

Kurulduğu Ülke : Almanya

Kullanılan Kömür : Alman Ren Linyiti

Kömür Karakteristiği ;

Su Oranı : % 48.5

Kül Oranı : %8.5

Net Kalorik Değeri : 8400 - 11760 kj /kg

Kurutma İşleminde Sonra :

Su Oranı : % 12

Kül Oranı : % 14.5

Net Kalorik Değeri : 18590 kj /kg

Gazlaştırıcı : Akışkan Yataklı HTW

Oksidant : Hava - Buhar

Gazlaştırma Basıncı : 30 bar

Gazlaştırma Sıcaklığı : 920 °C

Gaz Temizleme Yöntemi : Soğuk Gaz Temizleme

Gaz Türbin Gücü : 212 MW

Buhar Türbin Gücü : 155 MW

Toplam Güç : 367 MW

Verim : % 45

Servise Alınma Yılı : 1996

6.2 TAMPA KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALI

Kurulduğu Ülke : Amerika

Kullanılan Kömür : Bitümlü kömür , illinois No:6

Gazlaştırıcı : Sürüklenmeli Yataklı , Texaco

Oksidant : Hava - Oksijen / Buhar

Gazlaştırma Basıncı : 25 - 40 bar

Gazlaştırma Sıcaklığı : 1200 °C

Gaz Temizleme Yöntemi : Sıcak Gaz Temizleme

Gaz Türbin Gücü : 170 MW

Buhar Türbin Gücü : 80 MW

Toplam Güç : 250 MW

Verim : ~ % 50

Servise Alınma Yılı : 1996

6.3 DAGGET KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALI

Kurulduğu Ülke : Amerika

Kullanılan Kömür : Bitümlü kömür , illinois No:6 , Pistburg No .8

Net Kalorik Değeri : 16900 kJ /kg

Gazlaştırıcı : Sürüklenmeli Yataklı , Texaco

Oksidant : Oksijen / Buhar

Gazlaştırma Basıncı : 25 - 40 bar

Gazlaştırma Sıcaklığı : 1200 - 1500 °C

Gaz Temizleme Yöntemi : Soğuk Gaz Temizleme

Gaz Türbin Gücü : 65 MW

Buhar Türbin Gücü : 55 MW

Toplam Güç : 120 MW

Verim : % 40

Yatırım Maliyeti : 263 milyon \$

Servise Alınma Yılı : 1984

6.4 DEMOKLEC KÖMÜR GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALI

Kurulduğu Ülke : Hollanda

Gazlaştırıcı : Sürüklenmeli Yataklı , Shell

Oksidant : Oksijen / Buhar

Gazlaştırma Basıncı : 25 - 40 bar

Gazlaştırma Sıcaklığı : 1200 - 1500 °C

Gaz Temizleme Yöntemi : Soğuk Gaz Temizleme

Gaz Türbin Gücü : 156 MW (Simens V94.2)

Buhar Türbin Gücü : 128 MW

Buhar Türbini Basınç Kademeleri : 125 , 40 , 8 bar

Toplam Güç : 284 MW

İç Elektrik Tüketimi : 31 MW

Net Elektrik Üretimi : 253 MW

Verim : % 46

Yatırım Maliyeti : 2130 - 2330 CAD / kW- h

Servise Alınma Yılı : 1993

SO₂ Emisyonu : 220 mg / kW - h

Sülfür Giderme : % 97.85

NO_x Emisyonu Gaz Türbininde : < 95 g / Gj

NO_x Emisyonu Santral Genelinde : < 75 g / Gj

7. TÜRKİYE ‘ DEKİ KÖMÜRLERİN GAZLAŞTIRILABİLİRLİLİĞİ

7.1 LİNYİT KÖMÜRÜNÜN GAZLAŞTIRILMASI

Linyit kömürü yatakları , hemen hemen tüm Anadolu ‘ ya yayılmış durumdadır. Üretim bir kamu kuruluşu olan Türkiye Kömür İşletmeleri ve özel kesim tarafından yapılmaktadır.

Linyitler çok değişken ve fiziksel ve kimyasal özellikler gösterirler. Linyitlerin ısı değerleri 4600 - 21000 kJ / kg arasında , nem oranları ise % 10 - 55 arasında değişmektedir. Türkiyedeki linyitlerin nem oranı genelde yüksektir. Dünyadaki nem oranı % 15 ve daha düşük olan linyitler , değerli linyit olarak işlem görmektedir. Linyitlerin kül içerikleri maksimum %30 - 40 kadar ulaşır. Çoğunlukta ise kül oranı % 10 - 20 arasındadır. Linyitlerdeki kül oranları kömür hazırlama ve yıkama işlemleri ile düşürülmektedir. Linyitlerin içerisinde bulunan kükürt hava kirliliğine neden olmaktadır. Linyitlerde kükürt miktarı ise % 10 dur.

Gazlaştırma veriminin maksimuma ulaşması için linyitlerin tüm özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Linyit kömürlerinin gazlaştırılmadan önce elenmesi ve tane boylarına göre ayrılması lazımdır.

Süratli ısıtma altında linyitin mukavemet kaybı yüksek olmaktadır. Çeşitli ocaklardan elde edilen linyit kömürü cinslerinin karıştırılarak gazlaştırılmasında pek iyi sonuç alınmamıştır. Dağılma özelliği gösteren linyitlerin , yapışma özelliği gösteren linyitlerle karıştırılarak gazlaştırılması iyi sonuçlar vermektedir.

Çok yüksek nem içeren linyit tipleri , yakıt yatağının yüksekliği düşürülerek (1-1.3 m) gazlaştırılabilir. Ülkemizin Kütahya ilinin %42 kül içerikli linyit kömürleri sürüklenmeli gazlaştırma yöntemi ile gazlaştırılmaktadır. Fakat normalde , bu kadar yüksek kül içerikli kömürlerin gazlaştırılması ekonomik değildir.

Linyit kömürünün gazlaştırılmasında çok yüksek yataklara ihtiyaç yoktur. Kömür tabakasının aşırı derece yüksek olması , gazlaştırıcının çalışmasını ve kullanılmasını zorlaştırır. Alçak yatak kullanılmasında kömür ön hazırlama eksiklikleri gazlaştırma verimini düşürür. Tablo 7.1 ‘ de ülkemizin Seyitömer , Kangal , Elbistan , Beypazarı linyitlerin gazlaştırma karakteristiği verilmiştir.

Tablo 7.1 : 600°C Gazlaştırma Sıcaklığındaki Linyit Kömürünün Karakteristik Değerleri. (Koyun,1995)

Bileşenler	Seyitömer	Kangal	Elbistan	Beypazarı
Kok	0.5603	0.713	0.578	0.69
CH ₄	0.016	0.005	0.012	0.0054
C ₂ H ₆	0.006	0.007	0.005	0.0059
C ₄ H ₁₀	0.0307	0.021	0.0234	0.027
CO ₂	0.1447	0.0069	0.13	0.11
Katran	0.215	0.1131	0.2	0.11
H ₂	0.0088	0.003	0.019	0.013
H ₂ O	0.005	0.04	0.058	0.018
CO	0.009	0.0029	0.0215	0.005
H ₂ S	0.0038	0.0004	0.012	0.014
NO	0.0073	0.0029	0.01	0.009

7.2 TAŞKÖMÜRÜNÜN GAZLAŞTIRILMASI

Yağsız kömürlerin gazlaştırılabilmesi için , kömürün ısıtma sürecinde parçalanması gerekir. Taşkömürünün yüksek yakıt yatağında gazlaştırılması gaz kütlesini yükseltmez. Aksine tesisin çalışmasını zorlaştırır. En iyi gazlaştırma sonuçları 0.6 -1 m lik yakıt yüksekliği ile gerçekleştirilmektedir.

En iyi gazlaştırma verimi yapışma özelliği az olan kömürlerin kullanılması ile sağlanır. Gazlaştırma verimi ; iyi sınıflandırılmamış , dayanıklılığı düşük , külü düşük sıcaklıklarda eriyen ve çok yapışkan kömürlerin kullanılması ile önemli miktarda düşmektedir. Çok yapışkan kömürler , yapışmayan kömürlerle karıştırılarak gazlaştırılır.

Tane boyutu , tabaka içinde oluşabilecek aşırı yüksek sıcaklıkları önlemek için , çok büyük tutulmamalıdır. Mekanik dayanıklılığı yüksek kömürler gazlaştırmada daha iyi sonuçlar vermektedir. Tablo 7.2 ' de Zonguldak maden kömürünün değişik karışım oranlarına sahip olan reaktanların (oksijen - kömür ve buhar - kömür) reaktanların kullanılması ile elde edilen gazlaştırma sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 7.2 : Zonguldak Maden Kömürünün Değişik Reaktant Oranlarındaki

Gazlaştırma Sonuçları. (Koyun,1995)

O2/KÖM	BUHAKÖM	MKÖMÜR	Tr	CO	CO2	CH4	H2	H2O	H2S	Cp	MOL AĞ.	Hu gaz	GAZ YÜĞ.	Toplam Verim	Gaz Verimi	DX/DT	Tzaman	Ogaz
	kg	kg	C	K						kg/mol C	g/mol	kg/kg	gr/cm3			1/sn	sn	kg/10
0.01	0.75	7.28601	773	0.464	0.1389	0.3703	0.0231	0.002	0.0024	45.272	25.1745	17273.51	1.123861	0.7496946		3.06E-08	424.2775	584.004
0.01	0.75	5.001344	973	0.573	0.0095	0.1955	0.2182	0.002	0.0019	39.899	20.1183	18504.5	0.89814	0.78383		8.98E-07	703.093	823.785
0.01	0.75	5.001344	1073	0.58	0.0006	0.1806	0.237	2E-04	0.0019	40.249	19.6872	18633.91	0.8768936	0.783769		3.42E-06	932.114	1029.13
0.01	0.75	5.101371	1173	0.58	5E-05	0.1795	0.2384	2E-05	0.0019	41.25	19.6549	18643.68	0.8774509	0.7793128		1.05E-05	1197.37	1321.99
0.01	0.75	5.203398	1273	0.58	2E-07	0.1794	0.2386	4E-06	0.0019	42.194	19.6523	18644.37	0.8773345	0.7742364		2.69E-05	1484.628	1639.15
0.01	0.75	5.307466	1373	0.58	1E-06	0.1794	0.2386	1E-06	0.0019	43.004	19.6524	18644.44	0.8773387	0.768835		6.01E-05	1793.658	1980.34
0.01	0.75	5.413615	1473	0.58	3E-07	0.1794	0.2386	3E-07	0.0019	43.656	19.6523	18644.46	0.8773357	0.7631322		0.00012	2124.39	2345.5
0.01	0.75	5.521888	1573	0.58	7E-08	0.1794	0.2386	8E-08	0.0019	44.127	19.6523	18644.46	0.877335	0.7571459		0.000219	2476.882	2681.06
0.01	0.75	5.744972	1773	0.58	0	0.1794	0.2386	2E-08	0.0019	44.444	19.6523	18644.47	0.8773348	0.7443743		0.000591	3247.872	801.712
0.01	1.5	5.977068	873	0.196	0.1905	0.1162	0.3557	0.141	0.0012	40.297	19.0039	12339.58	0.7860572	0.7905774	0.8483888	2.05E-07	2506.403	1065.65
0.01	1.5	5.85987	973	0.301	0.1024	0.0232	0.4691	0.103	0.0011	35.512	16.136	13446.9	0.8350695	0.855462	0.7203557	1.05E-06	478436.3	1412.77
0.01	1.5	5.521888	1073	0.333	0.0745	0.0022	0.4866	0.103	0.001	34.656	15.4878	13776.7	0.8470579	0.8711952	0.6914209	3.78E-06	125552	1814.81
0.01	1.5	5.632325	1173	0.345	0.0625	0.0002	0.4789	0.112	0.001	34.977	15.4283	13834.97	0.8443915	0.8674716	0.688763	1.16E-05	41719.66	2665.28
0.01	1.5	5.744972	1273	0.354	0.0538	3E-05	0.4706	0.121	0.001	35.418	15.4223	13862.13	0.8398465	0.8612764	0.6884952	2.98E-05	16593.73	3094.83
0.01	1.5	5.859871	1373	0.361	0.0469	4E-06	0.4637	0.128	0.001	35.864	15.4214	13882.06	0.8345917	0.854165	0.6884537	6.63E-05	7592.049	3608.35
0.01	1.5	5.977068	1473	0.366	0.0414	2E-06	0.4582	0.133	0.001	36.291	15.4213	13897.81	0.8287934	0.846365	0.6884506	0.000132	3881.782	582.442
0.01	1.5	5.977068	1573	0.371	0.0369	4E-07	0.4537	0.138	0.001	36.683	15.4213	13910.6	0.823467	0.8392354	0.688449	0.000237	2170.802	902.857
0.01	2.5	8.20523	873	0.102	0.1815	0.0401	0.392	0.284	0.0008	38.498	17.3981	8936.849	0.778467	0.7803558	0.7767022	2.81E-07	2506.403	1722.16
0.01	2.5	7.580365	973	0.156	0.142	0.004	0.4386	0.259	0.0008	36.941	16.233	9428.069	0.806923	0.8173471	0.7246851	1.36E-06	478436.3	2168.87
0.01	2.5	7.580366	1073	0.178	0.1209	0.0003	0.4266	0.273	0.0007	37.229	16.1148	9528.225	0.8077437	0.8183148	0.7194104	5.19E-06	125552	2689.2
0.01	2.5	7.731973	1173	0.194	0.1052	3E-05	0.4114	0.288	0.0007	37.754	16.1064	9573.955	0.8040674	0.8134429	0.7190338	1.59E-05	41719.66	3185.26
0.01	2.5	7.731973	1273	0.207	0.0926	5E-08	0.3988	0.301	0.0007	38.304	16.1053	9608.663	0.7999091	0.8079762	0.7189978	4E-05	16593.73	3772.58
0.01	2.5	7.886613	1373	0.217	0.0823	9E-07	0.3886	0.311	0.0007	38.851	16.1054	9636.589	0.794287	0.800639	0.7189991	8.93E-05	7592.049	450.247
0.01	2.5	7.886613	1473	0.226	0.0738	3E-07	0.3801	0.32	0.0007	39.376	16.1053	9659.547	0.7889193	0.7936727	0.7189885	0.000175	3881.782	619.749
0.01	2.5	8.044345	1573	0.233	0.0668	1E-07	0.373	0.327	0.0007	39.863	16.1053	9678.585	0.7820895	0.7848616	0.7189881	0.000318	2170.802	703.093
0.01	4.5	10.00213	773	0.016	0.1542	0.0425	0.2439	0.543	0.0005	39.054	18.186	5346.271	0.6947584	0.674017	0.8118753	4.2E-08	20455710	895.919
0.01	4.5	9.240419	873	0.043	0.1489	0.0063	0.3327	0.469	0.0005	38.172	16.9721	5731.407	0.7286008	0.7170104	0.7576847	3.17E-07	2506.403	1150.88
0.01	4.5	9.24042	1073	0.075	0.1203	3E-05	0.3203	0.483	0.0005	39.312	16.7631	5875.571	0.731477	0.7208598	0.7483526	6.32E-06	125552	1724.01
0.01	4.5	9.24042	1173	0.087	0.1084	4E-06	0.3084	0.495	0.0005	40.047	16.7622	5907.041	0.7284592	0.7171744	0.7483135	1.9E-05	41719.66	1724.01
0.01	4.5	9.42523	1273	0.098	0.0981	5E-07	0.2982	0.506	0.0005	40.771	16.7621	5933.817	0.7240621	0.7117323	0.7483094	4.88E-05	16593.73	2082.74
0.01	4.5	9.42523	1373	0.106	0.0893	4E-08	0.2894	0.514	0.0005	41.472	16.7621	5956.657	0.7196821	0.7084602	0.7483084	0.000107	7592.049	1426.98
0.01	4.5	9.613734	1473	0.114	0.0819	6E-08	0.282	0.522	0.0005	42.136	16.7621	5978.118	0.713909	0.6994143	0.7483084	0.000213	3881.782	582.442
0.05	0.75	7.731972	773	0.429	0.1729	0.3653	0.0276	0.003	0.0024	45.781	25.6486	16460.43	0.7362404	0.7237439	1.145025	3.25E-08	20455710	561.326
0.05	0.75	6.342912	873	0.505	0.0847	0.261	0.1377	0.009	0.0021	42.583	22.5575	17131.8	0.755168	0.7492758	1.007031	2.17E-07	2506.403	755.471
0.05	0.75	5.001344	973	0.564	0.0145	0.1645	0.251	0.004	0.0018	38.764	19.6969	17915.28	0.7791291	0.7815078	0.6793262	8.98E-07	478436.3	857.066

0.05	4.5	10.00213	773	0.016	0.1554	0.0406	0.2415	0.546	0.0005	39.049	18.2691	5210.573	0.6650752	0.6617432	0.6151366	4.2E-08	20455710	703.093
0.05	4.5	9.240419	873	0.042	0.1501	0.0056	0.3273	0.474	0.0005	38.234	17.0819	5580.626	0.7177559	0.7032856	0.7625628	3.17E-07	2506403	861.129
0.05	4.5	9.24042	973	0.06	0.1354	0.0002	0.3271	0.477	0.0005	38.683	16.8995	5679.808	0.7222021	0.7090382	0.7542413	1.66E-06	478436.3	1106.19
0.05	4.5	9.24042	1073	0.074	0.1218	3E-05	0.314	0.49	0.0005	39.417	16.8878	5717.443	0.7201822	0.7086233	0.75392	6.32E-05	125552	1371.57
0.05	4.5	9.425229	1173	0.086	0.1099	3E-06	0.3022	0.502	0.0005	40.158	16.887	5748.479	0.7166822	0.7023513	0.7538838	1.94E-05	41719.66	1657.06
0.05	4.5	9.42523	1273	0.096	0.0997	2E-07	0.292	0.512	0.0005	40.888	16.8869	5774.984	0.7129411	0.6978395	0.7538792	4.88E-05	16593.73	2001.86
0.05	4.5	9.613734	1373	0.105	0.091	3E-07	0.2833	0.521	0.0005	41.594	16.8869	5797.614	0.707848	0.6916577	0.7538792	0.000109	7592.049	594.091
0.05	4.5	9.613734	1473	0.112	0.0835	1E-07	0.2756	0.528	0.0005	42.261	16.8869	5816.946	0.7030035	0.6857997	0.7538794	0.000213	3881.782	770.58
0.1	0.75	8.205229	773	0.388	0.2137	0.3585	0.0337	0.004	0.0024	46.367	26.2098	15502.58	0.7196971	0.701474	1.170082	3.45E-08	20455710	874.208
0.1	0.75	6.599165	873	0.482	0.106	0.2412	0.1553	0.014	0.0021	42.342	22.6312	16264.9	0.7424199	0.7321337	1.010321	2.26E-07	2506403	1113.96
0.1	0.75	5.001344	973	0.553	0.022	0.1329	0.2833	0.007	0.0018	37.668	19.3241	17185.22	0.7721733	0.7721554	0.8626842	8.98E-07	478436.3	1430.97
0.1	0.75	4.620469	1073	0.569	0.0021	0.1017	0.3245	0.001	0.0017	36.773	18.3707	17501.89	0.779901	0.7825322	0.8201206	3.16E-06	125552	2101.56
0.1	0.75	4.712879	1173	0.57	0.0002	0.0983	0.3293	1E-04	0.0017	37.365	18.2672	17537.56	0.7766957	0.7782167	0.8154985	9.71E-06	41719.66	2489.06
0.1	0.75	4.807136	1273	0.571	2E-05	0.098	0.3298	2E-05	0.0017	38.065	18.2669	17541.06	0.7721093	0.7720702	0.8150403	2.49E-05	16593.73	2902.06
0.1	0.75	4.903279	1373	0.571	4E-06	0.0979	0.3298	5E-06	0.0017	38.695	18.2655	17541.53	0.7671288	0.7654239	0.8149785	5.55E-05	7592.049	594.091
0.1	1.5	10.20217	773	0.062	0.305	0.2186	0.1957	0.217	0.0015	45.098	23.0049	10451.58	0.7137749	0.7575278	0.8149674	0.000113	3881.782	920.915
0.1	1.5	7.886611	873	0.188	0.2009	0.1011	0.3547	0.154	0.0012	40.101	19.2439	11434.66	0.7600445	0.6946844	1.027006	4.29E-08	20455710	1299.03
0.1	1.5	6.218541	973	0.288	0.1165	0.0177	0.4571	0.12	0.001	35.767	16.573	12431.38	0.8079312	0.8194975	0.7399662	1.12E-06	478436.3	2212.25
0.1	1.5	5.977068	1073	0.318	0.0894	0.0015	0.4663	0.124	0.001	35.193	16.0545	12692.63	0.8166086	0.8308855	0.7167168	4.09E-06	125552	2742.98
0.1	1.5	6.09661	1173	0.332	0.076	0.0002	0.4559	0.135	0.001	35.557	16.0112	12745.44	0.8135498	0.8267214	0.7147855	1.26E-05	41719.66	3248.96
0.1	1.5	6.218542	1373	0.35	0.0578	5E-06	0.4381	0.153	0.001	36.465	16.0063	12796.93	0.8042873	0.814326	0.7145672	7.04E-05	7592.049	548.648
0.1	1.5	6.342913	1473	0.356	0.0513	1E-06	0.4316	0.16	0.001	36.9	16.0062	12814.86	0.7985027	0.8056304	0.7145622	0.00014	3881.782	594.091
0.1	1.5	6.46977	1573	0.362	0.0459	4E-07	0.4262	0.165	0.001	37.3	16.0062	12829.5	0.7922187	0.7983322	0.7145612	0.000256	2170.802	740.658
0.1	4.5	10.20217	773	0.015	0.1569	0.0384	0.2383	0.55	0.0005	39.046	18.352	5043.166	0.6727643	0.6857852	0.7687497	3.23E-07	2506403	878.352
0.1	4.5	9.425228	873	0.041	0.1515	0.0052	0.3204	0.481	0.0005	38.312	17.22	5394.863	0.7039211	0.6910425	0.7613006	1.66E-06	478436.3	1084.5
0.1	4.5	9.24042	973	0.058	0.1371	0.0003	0.3189	0.485	0.0005	38.808	17.0531	5485.563	0.707954	0.682746	0.7608793	6.45E-06	125552	1344.67
0.1	4.5	9.425228	1073	0.072	0.1237	2E-05	0.3062	0.498	0.0005	39.548	17.0437	5523.063	0.7056133	0.6882746	0.7608793	6.45E-06	125552	1344.67
0.1	4.5	9.425229	1173	0.084	0.1119	3E-06	0.2945	0.509	0.0005	40.298	17.043	5553.517	0.7026468	0.6847281	0.760847	1.94E-05	41719.66	1624.57
0.1	4.5	9.613734	1273	0.094	0.1017	3E-07	0.2843	0.52	0.0005	41.035	17.0429	5579.631	0.6983452	0.679551	0.7608436	4.98E-05	16593.73	1624.57
0.1	4.5	9.613734	1373	0.103	0.093	1E-07	0.2756	0.528	0.0005	41.747	17.0429	5602.018	0.6940797	0.674429	0.7608429	0.000109	7592.049	1962.61
0.1	4.5	9.425228	773	0.276	0.3175	0.2941	0.0665	0.023	0.0022	46.497	27.0762	12400.52	2.453824	2.904338	1.208759	3.96E-08	20455710	618.092
0.3	0.75	10.20217	773	0.249	0.3471	0.3185	0.0628	0.02	0.0023	47.817	27.9096	12267.82	0.6568441	0.6169881	1.245962	4.29E-08	20455710	817.746
0.3	0.75	7.580365	873	0.402	0.1782	0.1754	0.2059	0.037	0.0019	41.644	23.0281	13232.03	0.6909388	0.682996	1.028042	2.6E-07	2506403	1004.19
0.3	0.75	5.413615	973	0.503	0.0628	0.0578	0.3468	0.028	0.0015	35.697	19.0193	14952.39	0.7323644	0.7186657	0.6490747	9.72E-07	478436.3	1305.18
0.3	0.75	4.712879	1073	0.536	0.0245	0.012	0.4085	0.018	0.0014	33.456	17.4566	14911.54	0.7511643	0.7439528	0.7793141	3.23E-06	125552	1676.61
0.3	0.75	4.620469	1173	0.544	0.0157	0.0018	0.4219	0.016	0.0014	33.274	17.1082	15051.06	0.7527712	0.7461521	0.7637579	9.52E-06	41719.66	2038.08
0.3	0.75	4.712879	1273	0.546	0.0129	0.0003	0.4224	0.017	0.0014	33.621	17.0575	15075.52	0.749202	0.7414307	0.7614934	2.44E-05	16593.73	2462.31
0.3	0.75	4.807136	1373	0.548	0.0113	5E-05	0.4212	0.018	0.0014	34.024	17.05	15082.37	0.7446985	0.7354857	0.761162	5.44E-05	7592.049	2916.33
0.3	0.75	4.807136	1473	0.548	0.0113	5E-05	0.4212	0.018	0.0014	34.024	17.05	15082.37	0.7446985	0.7354857	0.761162	5.44E-05	7592.049	605.973
0.3	0.75	5.001344	1473	0.549	0.01	1E-05	0.42	0.02	0.0014	34.402	17.0487	15086.2	0.7391737	0.7282239	0.7611012	0.000111	3881.782	958.119

0.3	1.5	7.003088	1073	0.285	0.1226	0.0007	0.4199	0.171	0.001	36.425	17.3307	10536.02	0.7488973	0.741433	0.7727004	1.47E-05	41719.66
0.3	1.5	7.143149	1173	0.301	0.1066	7E-05	0.4055	0.186	0.001	36.856	17.3085	10585.57	0.7453687	0.7388734	0.7727004	1.47E-05	41719.66
0.3	1.5	7.143149	1273	0.314	0.0939	1E-05	0.3929	0.198	0.001	37.336	17.3063	10618.3	0.7412782	0.7315892	0.7726042	3.7E-05	16593.73
0.3	1.5	7.286012	1373	0.324	0.0836	2E-06	0.3826	0.209	0.001	37.813	17.306	10644.5	0.7369231	0.7246923	0.7726908	8.25E-05	7592.049
0.3	1.5	7.431732	1473	0.333	0.0751	5E-07	0.3741	0.217	0.001	38.27	17.306	10685.99	0.7299612	0.7170499	0.7725883	0.000165	3881.782
0.3	4.5	10.40621	773	0.015	0.1628	0.0299	0.2252	0.567	0.0005	39.047	18.7248	4400.873	0.6237785	0.5840791	0.6359289	4.37E-08	20455710
0.3	4.5	9.806006	873	0.036	0.1572	0.0033	0.2918	0.511	0.0005	38.645	17.7832	4680.837	0.6487353	0.6159911	0.7938943	3.36E-07	2506403
0.3	4.5	9.806007	973	0.052	0.1439	0.0002	0.2869	0.517	0.0005	39.285	17.6733	4746.773	0.6504127	0.6184355	0.7889854	1.76E-06	478436.3
0.3	4.5	9.806007	1073	0.065	0.1313	0.0002	0.2755	0.528	0.0005	40.091	17.666	4802.286	0.6502726	0.6185963	0.7886618	6.71E-06	125552
0.3	4.5	10.00213	1173	0.076	0.12	1E-06	0.2635	0.54	0.0005	40.856	17.6669	4807.89	0.6449699	0.6123149	0.7886998	2.06E-05	41719.66
0.3	4.5	10.00213	1273	0.086	0.1101	1E-08	0.2536	0.55	0.0005	41.622	17.6668	4832.336	0.6414537	0.608286	0.7886983	5.18E-05	16593.73
0.3	4.5	10.20217	1373	0.094	0.1015	7E-08	0.2451	0.559	0.0005	42.358	17.6668	4853.548	0.6366659	0.602746	0.7886981	0.000115	7592.049
0.3	4.5	10.20217	1473	0.102	0.0941	1E-07	0.2376	0.566	0.0005	43.051	17.6668	4871.89	0.6321322	0.5975129	0.7886983	0.000226	3881.782
0.3	4.5	10.40621	1573	0.108	0.0877	6E-08	0.2312	0.573	0.0005	43.684	17.6668	4887.778	0.6262425	0.5906953	0.7886983	0.000412	2170.802
0.6	0.3	7.43173	773	0.662	0.1385	0.1851	0.0114	5E-04	0.0024	39.803	27.7013	12274.25	0.557651	0.4805076	1.236664	3.12E-08	20455710
0.6	0.3	7.731972	873	0.657	0.1467	0.1934	2E-06	3E-08	0.0025	41.824	28.0362	12220.32	0.5518407	0.4734307	1.251616	2.65E-07	2506403
0.6	0.3	5.744971	973	0.723	0.0271	0.0697	0.1742	0.004	0.002	36.649	23.0338	13181.66	0.5785949	0.5098191	1.028294	1.03E-06	478436.3
0.6	0.3	5.744971	973	0.723	0.0271	0.0697	0.1742	0.004	0.002	36.649	23.0337	13181.68	0.5785952	0.5098196	1.028292	1.03E-06	478436.3
0.6	0.3	5.307466	1073	0.734	0.0038	0.0413	0.2183	0.001	0.0019	34.613	21.887	13455.72	0.5839047	0.5174026	0.9770987	3.63E-06	125552
0.6	0.3	5.307466	1173	0.735	0.0004	0.0367	0.2259	2E-04	0.0019	34.934	21.8996	13502.46	0.5817115	0.5149815	0.9687329	1.09E-05	41719.66
0.6	0.3	5.413615	1273	0.735	2E-05	0.0361	0.2268	1E-05	0.0019	35.46	21.8771	13508.06	0.5778198	0.5103649	0.9677269	2.8E-05	16593.73
0.6	0.3	5.521888	1373	0.735	9E-06	0.0361	0.2268	6E-06	0.0019	35.958	21.8764	13508.24	0.5735303	0.5052757	0.9676958	6.25E-05	7592.049
0.6	0.3	11.71908	773	0.142	0.4439	0.231	0.106	0.075	0.002	47.384	28.8351	8735.333	0.3578768	0.2101098	1.287281	4.92E-08	20455710
0.6	0.75	11.71908	773	0.142	0.4439	0.231	0.106	0.075	0.002	47.384	28.8351	8735.333	0.3578768	0.2101098	1.287281	4.92E-08	20455710
0.6	0.75	8.707456	873	0.313	0.2581	0.1026	0.2432	0.081	0.0017	41.056	23.7681	9681.806	0.6133654	0.5589712	1.061076	2.99E-07	2506403
0.6	0.75	7.003087	973	0.417	0.1438	0.0171	0.3438	0.077	0.0014	36.28	20.395	10552.67	0.6488189	0.6067383	0.9104896	1.26E-06	478436.3
0.6	0.75	6.731149	1073	0.446	0.1135	0.0013	0.3531	0.085	0.0014	35.703	19.7748	10765.53	0.6538867	0.6138673	0.8828011	4.61E-06	125552
0.6	0.75	6.731149	1173	0.459	0.1001	0.0001	0.3427	0.097	0.0014	36.076	19.7271	10807.01	0.650816	0.6101627	0.8806728	1.39E-05	41719.66
0.6	0.75	6.865772	1273	0.469	0.0896	2E-05	0.3325	0.107	0.0014	36.518	19.7227	10831.34	0.6462896	0.6046599	0.8804766	3.56E-05	16593.73
0.6	0.75	2.403702	1373	0.478	0.0808	3E-06	0.3238	0.116	0.0014	36.947	19.7221	10850.89	0.664235	0.6272147	0.890451	2.72E-05	7592.049
0.6	0.75	5.101371	1473	0.486	0.0735	8E-07	0.3164	0.123	0.0014	37.347	19.722	10867.25	0.6471709	0.6058252	0.8804465	0.000113	3881.782
0.6	1.5	11.26402	773	0.049	0.3362	0.1209	0.1934	0.299	0.0013	43.366	23.9126	6599.915	0.5866334	0.5262126	1.087527	4.73E-08	20455710
0.6	1.5	9.24042	873	0.145	0.255	0.0401	0.326	0.233	0.0011	39.788	20.8017	7311.535	0.6260039	0.578744	0.928647	3.17E-07	2506403
0.6	1.5	8.369334	973	0.209	0.1976	0.0035	0.3654	0.223	0.001	38.022	19.3917	7755.87	0.6486635	0.6090442	0.8657	1.5E-06	478436.3
0.6	1.5	8.369335	1073	0.235	0.1725	0.0002	0.349	0.242	0.001	38.313	19.2649	7844.131	0.6484568	0.6092072	0.8600397	5.73E-06	125552
0.6	1.5	8.369335	1073	0.235	0.1725	0.0002	0.349	0.242	0.001	38.313	19.2649	7844.131	0.6484568	0.6092072	0.8600397	5.73E-06	125552
0.6	1.5	5.36722	1173	0.254	0.154	2E-05	0.3311	0.26	0.001	38.825	19.2666	7886.221	0.6448262	0.6049333	0.8596694	1.76E-05	41719.66
0.6	1.5	8.707457	1373	0.281	0.1262	7E-07	0.3034	0.288	0.001	39.873	19.2557	7951.461	0.6358518	0.5939931	0.8596293	9.86E-05	7592.049
0.6	4.5	10.82662	773	0.013	0.171	0.0188	0.2027	0.594	0.0005	39.103	19.3039	3608.553	0.5492599	0.4897123	0.6617824	4.55E-08	20455710
0.6	4.5	10.40621	873	0.03	0.1652	0.0015	0.246	0.557	0.0005	39.194	18.6575	3690.52	0.5651446	0.5103504	0.8329226	3.57E-07	2506403

0.6	4.5	10,82662	1273	0,073	0,1231	1E-07	0,2082	0,596	0,0005	42,509	18,6028	3804,121	0,5557806	0,5012137	0,8304811	5,61E-05	16593,73	1037,1
0.6	4.5	10,82662	1373	0,081	0,1115	7E-08	0,2001	0,604	0,0005	43,283	18,6028	3623,083	0,5520501	0,4972543	0,8304812	0,000123	7592,049	1462,91
0.6	4.5	11,04316	1473	0,088	0,1079	3E-07	0,193	0,611	0,0005	44,008	18,6028	3639,736	0,5471343	0,4919827	0,8304815	0,000244	3881,782	1939,43
1	0.5	13,19759	773	0,152	0,5294	0,1567	0,0894	0,071	0,0021	46,85	31,5678	6053,113	0,4620597	0,3536216	1,409275	5,54E-08	20455,710	2491,35
1	0.5	10,20217	873	0,314	0,3393	0,0542	0,2022	0,089	0,0018	41,234	26,6384	6822,729	0,4927389	0,3957288	1,189214	3,5E-07	2506,403	3028,47
1	0.5	8,882113	973	0,395	0,2443	0,0049	0,253	0,101	0,0016	38,4	24,2679	7310,547	0,5109497	0,4206972	1,083387	1,6E-06	478436,3	655,924
1	0.5	8,881605	1073	0,419	0,2189	0,0003	0,2411	0,119	0,0016	38,584	24,0476	7390,928	0,5093899	0,4200045	1,073553	6,08E-06	125552	1100,58
1	0.5	8,881605	1173	0,436	0,2022	2E-05	0,2252	0,135	0,0016	39,065	24,035	7423,247	0,5057781	0,4163449	1,072993	1,83E-05	41719,66	1615,18
1	0.5	9,059237	1373	0,462	0,1763	5E-07	0,1993	0,161	0,0016	39,997	24,0339	7470,501	0,4967373	0,4089319	1,072941	0,000103	7592,049	2141,29
1	1.5	12,19253	773	0,04	0,3558	0,0645	0,1788	0,36	0,0011	42,515	24,676	4314,867	0,4832984	0,389491	1,101605	5,12E-08	20455,710	2696,72
1	1.5	10,61434	873	0,107	0,2977	0,0132	0,2731	0,307	0,001	40,424	22,4333	4774,999	0,5109497	0,4289267	1,001486	3,64E-07	2506,403	3343,68
1	1.5	10,4062	973	0,15	0,26	7E-04	0,274	0,32	0,001	40,26	21,89	4945,76	0,51765	0,4367869	0,97711	2E-06	478436	974,7
1	1.5	10,4062	1073	0,17	0,24	4E-05	0,253	0,34	0,001	40,85	21,86	4996,75	0,51571	0,4353324	0,97577	7E-06	125552	1668
1	1.5	10,6143	1173	0,19	0,22	5E-06	0,235	0,36	0,001	41,48	21,86	5034,21	0,5121	0,4318441	0,97569	2E-05	41719,7	2400
1	1.5	10,6143	1273	0,2	0,2	6E-07	0,219	0,37	0,001	42,1	21,86	5065,44	0,50833	0,4281089	0,97568	5E-05	16593,7	
1	4.5	11,264	773	0,01	0,18	0,007	0,168	0,63	5E-04	39,28	20,12	2432,3	0,44815	0,3617296	0,8982	5E-08	2E+07	
1	4.5	11,264	873	0,02	0,17	4E-04	0,181	0,62	5E-04	39,99	19,87	2504,91	0,45284	0,3685774	0,88683	4E-07	2506403	
1	4.5	11,4893	973	0,03	0,17	2E-05	0,173	0,63	5E-04	40,96	19,85	2527,3	0,45107	0,3673616	0,88622	2E-06	478436	
1	4.5	11,4893	1073	0,04	0,16	1E-08	0,164	0,64	5E-04	41,91	19,85	2546,72	0,44889	0,365652	0,88619	8E-06	125552	
1	4.5	11,4893	1173	0,05	0,15	4E-07	0,156	0,65	5E-04	42,82	19,85	2564,95	0,44638	0,3635694	0,88619	2E-05	41719,7	
1	4.5	11,7191	1273	0,05	0,14	2E-07	0,149	0,66	5E-04	43,7	19,85	2581,66	0,44302	0,3605783	0,88619	6E-05	16593,7	
2	0.5	16,7377	773	0,01	0,63	1E-05	0,018	0,34	0,002	46,15	34,21	209,219	0,21145	0,01724182	1,52706	7E-08	2E+07	
2	0.5	17,0725	873	0,01	0,63	2E-07	0,015	0,35	0,002	47,63	34,21	213,502	0,20835	0,01722095	1,52703	6E-07	2506403	
2	0.5	17,0725	973	0,01	0,62	2E-06	0,012	0,35	0,002	48,93	34,21	217,121	0,20513	0,01712867	1,52703	3E-06	478436	
PIROLİZ SICAKLIĞI 600 C ve PIROLİZ SIRASINDA KOMÜRE VERİLEN ISI 3500 kJ																		

8. SONUÇ

Kömür gaz kombine çevrim santrallerinde , teknolojik açıdan gazlaştırma üniteleri belli bir noktaya gelmiş olmasına rağmen , üretilen kömür gazının elektrik üretiminde kullanılması son 15 yıllık bir tecrübeye sahip olduğu görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında kömür gaz kombine çevrim santrallerinin , teknolojik açıdan belirli bir olgunluğa erişmesi için zamana ihtiyaç vardır.

Kömürün gazlaştırılması ile elde edilen kömür gazı , doğal gaza oranla daha yüksek kalorik değere sahip olduğu gözlenmiştir. Bunun için kömür gazın buhar veya azot ile seyreltilerek düşük NO_x ve SO_x emisyonu sağlanmıştır. Ayrıca gaz temizleme üniteleinde halojen , ağır metaller, amanyok ve organik bileşikler elimine edilerek , baca gazlarının çevreye olumsuz etkileri , doğaya zarar vermiyecek düzeye indirgenmiştir. Gazlaştırma ve gaz temizleme ünitelerinde elde edilen curuf ve kükürt satılarak ek gelir temin edilmektedir.

Kömür gaz kombine çevrim santralleri , mükemmel integrasyon ile santrallerin giderleri ve verimliliği arasında optimim denge sağlanmıştır. Her ne kadar bugün üretilen elektriğin maliyeti , konvansiyonel kömür santrallerine göre 0.35 cent /kWh daha fazla olmasına karşın , konvansiyonel kömür santrallerinde baca gazı arıtma tesisinin kurulamsı durumunda , elektrik üretimi konvansiyonel santrallerde 1.5 cent / kW-h daha artmaktadır. Bu durumda kömür gaz kombine çevrim santralleri yaklaşık elektrik üretiminde 1.15 cent / kWh bir avantaja sahip olmaktadır. Tüm bu faktörler dikkate alındığında şu sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yüksek santral verimi (%46)
- Çevreyi tehdit eden zararlı baca gazlarının büyük ölçüde elimine edilmesi
- Düşük finansal risk
- Birçok kömür çeşitlerinin değerlendirilmesi

Kömür çeşitleri içerisinde düşük ısıl değerli kömürlerin doğrudan veya yüksek kaliteli kömürler ile karıştırılarak gazlaştırma işlemi başarıyla uygulanmaktadır. Enerji

kaynaklarına bakacak olursak dünyadaki yenilenemez enerji kaynaklarının % 75 (Türkiyede % 85)'den fazlası kömür, % 12'si petrol ve % 10 doğal gaz formundadır.

Tablo 8.1 : Dünyadaki Toplam Fosil Yakıt Enerji Kaynakları. (Koyun, 1995)

Kaynak Türü	Rezerv Olarak Bilinen		Bulunmuş Kullanılabilir	
	10 ⁶ t.e.k	%	10 ⁶ t.e.k	%
Doğal Gaz	94000	9	320000	5
Ham Petrol	125000	12	392000	6
Oil şeyl,Asfaltit	77000	8	592000	9
Kömür	717000	70	5141000	79
Doğal Gaz Sıvıları	10000	1	34000	1
Toplam	1023000		6191000	

Not: 1 ton eşdeğer kömür : 29307600 kJ

Bu durumda dünyadaki her tür kömürü kullanabilen enerji tesislerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu açıdan bu özelliği yakalayan günümüzdeki tek enerji santrali Kömür Gaz Kombine Çevrim Santralleridir.

Hiç bir ilave yakıt gerektirmeden gaz türbini çıkış gücü %20 arttıran, konvansiyonel santrallara göre %25 daha az yakıt yakan , katı ve sıvı atıklar açısından konvansiyonel santrallerin yaklaşık yarısına eşdeğer atık bırakan bu santraller teknolojik evrim sürecinde bazı teknolojik sorunları bulunsada 2000 ' li yıllara doğru doğal gaz fiyatlarında beklenen artışla santral teknolojisinin olgunlaşması çakışacağından 1990 yılların sonunda kömür santralleri yatırımlarında önemli bir paya sahip olacakları görülmektedir.

KAYNAKLAR

- 1- Archer, G. , 1979 . Power from coal , I Mech E Conference Publications , London
- 2- Aybers, N. , Şahin, B., 1995 , Enerji Maliyeti , Y.T.Ü , İstanbul
- 3- Becker, B. , Schetter, B. ,1992 . Gas turbines above 150 Mw for integrated coal gasification combined cycle . Journal of Engineering for Gas Turbines and Power , ASME V:144 : 660-664
- 4- Bernard, C..R. , William, E. A. , 1984 . The science and technology of coal and coal utilization , Plenum Press , Newyork
- 5- David, M. , 1984 . Coal combustion and conversion technology , Macmillan , London
- 6- Frey, H.C. , Rubin, E.S. , 1992 . Integration of coal utilization and environmental control in integrated gasification combined cycle systems , Environmental Science &Technology , ACS V:26 , N:10 1982-1990
- 7- Frey, H.C. , Rubin, E.S. , 1992 . Evaluation of advanced coal gasification combined cycle under uncertainty , Industrial & Engineering Chemistry Research , ACS V:31 , N:5 1299-1307
- 8- Frey, H.C. , Rubin, E.S. , Diwekar, U.M. , 1993 , Modelling uncertainties in advanced Technologies : Application to a coal gasification system with hot gas clean up , Energy , V:19 ,N:4, Pergamon Press , London

- 9- Hendriks, C.A. ,Blok, K. , Turkenburg, W.C. , 1991 , Tecnology and cost of recovering and storing corbon dioxide from an integrated gasifier combined cycle plant , Energy ,V:16,N:11/12, Pregmon Press , London
- 10- Isles, J. ,1990 , High temperature turbine favours IGCC , Modern Power Systems , August , P: 19-23
- 11- Koyun, A., 1995 , Düşük Değerli Linyitlerin Piroliz ve Gazlaştırılması, Y.T.Ü, İstanbul
- 12- Kural , O. , 1991 , Kömür , Kurtiş Matbaası ,İstanbul
- 13- Meyer, K. ,1979 , Development status of combined gas steam turbine power stations with coal pressure gasification plant , I Mech E, Conference Publications , London
- 14- Nejat ,V.T. , 1985 , Desing optimization integrated coal gasification combined cycle power plant , Alternative Energy Source ,V:7,77-80 , Hemisphere Puplishing Corp. , Washington D.C
- 15- Newby, R.A. , Bonnister, R.L , 1994 , Advanced hot gas cleanning system for coal gasification processes , Journal of Engineering for Gas Turbines and Power , ASME V:116 : 338-344
- 16- Özgürel, B. , Şahin, N. , 1994 . Kömür gaz kombine çevrim santralleri. Enerji Sempozyumu ,İstanbul.

- 17- Penner, S.S. , 1987 , Coal gasification: Direct applications and syntheses of chemical and fuels , Energy Special Issue , V:12 ,N:8/9 , Pergamon Press , London
- 18- Plumly, D.R. ,1985 , Cool water coal gasification a progress report , Journal of Engineering for Gas Turbines and Power , ASME V:107 : 856-860
- 19- Rejak, S. ,1990 , IGCC for 46 per-cent efficiency before 2000 ,Modern Power System , November , P:69-77
- 20- Richard, P.C. , 1994 , The route to clean and efficient power generation with coal , CIM Bulletin , V:87,N:978
- 21- Schobert, H.H. , 1987 , Coal , The energy source of the past and future , ACS,Washington D.C
- 22- Simeons, C. , 1987 , Coal its role in tomorrow's technology , Pergamon Press, Oxford
- 23- Tiris, M. , Kalafatoğlu, E. , Canokutan, H. , 1993 , Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü , TÜBİTAK , Gebze
- 24- Velswinkel, E.E ,1992, Energetic analysis and optimisation of an integrated coal gasification combined cycle , Fuel Processing Technology , Elsevier Science Publishers B.V , V:32 P:47-67 , Amsterdam
- 25- Zon , G. D. , 1990 , IGCC future under test at Buggenum , Modern Power System , August , P: 39-45

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 10 Ekim 1971

Doğum Yeri Malatya

Eğitim 1985 - 1988 Fatih Vatan Lisesi

Öğrenim 1989 - 1993 Yıldız Teknik Üniversitesi
Kocaeli Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümünden Mezun oldu ve
Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Makinaları Bilim Dalında Yüksek Lisansa
Başladı.

