

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

f

ISPARTA'DA JENERATÖR GAZI ÜRETİMİ
VE
DAĞITIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh.Halis YAVUZ

Akdeniz Üniversitesi
Rektörlüğü Kütüphanesi
Demirbaş No. 3429

T151/1-1

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22.1.1987

Tezin Savunulduğu Tarih : 13.2.1987

Tez Danışmanı

: Prof.Dr.Ing.Z.Kâzım TELLİ

Diğer Jüri Üyeleri

: Yard.Doç.Dr.Mustafa ACAR

Yard.Doç.Dr.Mustafa BAYHAN

OCAK 1987

Ö N S Ö Z

Hızla büyüyen ve mutfak enerjisi artan Türkiye, genellikle bu enerjiyi LPG ile karşılamaktadır.

Ülkemizin içinde bulunduğu ekonomik şartlar nedeniyle LPG alımında zaman zaman aksamalar olmuş ve yine olacaktır. Dışa bağımlılığı azaltmak ve hatırı sayılır bir döviz kaybını önlemek amacıyla bu enerjiyi; kendi öz kaynaklarımıza dayalı hammaddelerin kullanılmasıyla elde etmek daha uygun ve ekonomiktir.

Türkiye'nin enerji kaynaklarına bakıldığı zaman, en zengin enerji kaynağımızın düşük kalorili Linyit kömürleri olacağı görülecektir.

Linyit kömürleri ve diğer kömürler, konu içerisinde ayrıntılarıyla açıklandığı gibi, çeşitli jeneratörlerde usulüne uygun olarak yakılmasıyla jeneratör gazı (hava gazı) elde edilebilmektedir. Elde edilen gaz yakıtların diğer yakıtlara oranla bir çok üstünlükleri vardır. Bunlar;

- Taşırmalarının kolay ve ucuz oluşu,
- Yakılmalarının kolay ve cihazlarının basit oluşu
- Yakılmalarının kolay ve cihazlarının basit oluşu
- Yarma hızlarının yüksek oluşu nedeniyle ocakların az yer tutması
- Kül, curuf gibi artık bırakmamalarıdır.

Gaz yakıtların bu özellikleri göz önünde bulundurularak, Isparta'daki mevcut konutların mutfak ve banyo için gerekli enerjileri üretilecek jeneratör gazıyla karşılanacaktır.

Bu çalışmanın konusunu, Eğridir yakınlarında çıkarılan kovataş kömürlerini kullanarak ve aynı yerde kurulması düşünülen jeneratör fabrikasında üretilen jeneratör gazının yüksek basınç kompresörleriyle Isparta'daki tüketim yerlerine kadar gönderilmesini teşkil etmektedir.

Çalışmamda yardımlarını esirgemeyen başta Sayın Hocam Prof.Dr.Ing.Z.
Kâzım TELLİ'ye ve Ankara Havagazı Fabrikası İşletme Müdürlüğündeki bütün ilgi-
lilere teşekkürlerimi sunarım.

I S P A R T A
OCAK 1987

Halis YAVUZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

İÇİNDEKİLER

SEMBOLLER

ŞEKİL LİSTESİ

TABLO LİSTESİ

ÖZET

SUMMARY

Sayfa No

1.	GİRİŞ.....	1
2.	HAVAGAZININ ÜRETİM PRENSİBİ.....	3
2.1	Jeneratör Tipleri.....	8
3.	ANKARA'DA HAVAGAZI ÜRETİMİ.....	10
3.1	Şehir Gazı Üretimi.....	10
3.2	Jeneratör Gazı Üretimi.....	15
3.2.1	Devvar Izgaralı Jeneratörlerin Özellikleri.....	16
3.2.2	Jeneratör Gazı Özellikleri.....	17
3.2.3	Jeneratörde kullanılan kokun özellikleri.....	17
4.	KİMYASAL DENGİ VE REAKSİYON KİNİTİĞİ.....	20
4.1	Kimyasal Denge.....	20
4.1.1	Gibbs Denklemi.....	20
4.1.2	Denge Sabiti.....	22
4.1.3	Denge Bileşiminin Hesabı.....	23
4.2	Reaksiyon Kinetiği.....	30
5.	İSPARTA İÇİN STİKOMETRİK HESAPLAR.....	37
5.1	Jeneratör Gazı Miktarı.....	37
5.2	Jeneratörde Yakılması Gereken Kömür Miktarı.....	38

5.3	Jeneratöre Verilecek Hava Miktarı.....	38
6.	JENERATÖR ADEDİ VE BOYUTLARI.....	41
7.	DAĞITIM ŞEBEKESİNİN BELİRLENMESİ.....	42
7.1	Şebeke İçin Genel Bilgiler.....	42
7.2	Şebekede Kullanılan Borular ve Korozyona Karşı Önlemler.....	46
7.3	Dağıtım Şebekesi.....	50
7.3.1	Şebeke Üzerindeki Reglaj Cihazları.....	51
7.3.1.1	Yüksek Basınç Reglaj Cihazları.....	51
7.3.1.2	Orta Basınç Reglaj Cihazları.....	51
7.3.1.3	Bina Girişinde Kullanılan Ev Regülatör Cihazları.....	52
7.4	Reglaj İstasyon Binaları.....	52
8.	BASINÇ KAYBI VE KOMPRESÖRLER.....	55
8.1	Gaz İletim Formülleri.....	55
8.1.1	Boru Sürtünme Katsayısı.....	58
8.1.2	Kalıp, Gövde, Armatür ve Diğer Boru Bağlantılarının Direnç Katsayıları.....	63
8.2	Pratik Olarak Gaz Boru Şebekesi Hesaplamaları.....	67
8.2.1	Alçak Basınç Borularında Hesaplar.....	67
8.2.2	Yüksek Basınç Borularında Hesaplar.....	68
8.2.2.1	Yüksek Basınç Hattında Basınç Kaybı.....	69
8.3	Kompresörler.....	71
9.	ÖNERİLER.....	77
	KAYNAKLAR.....	79
	ÖZGEÇMİŞ.....	80

SEMBOLLER

C_p	Sabit basınç için molar özgül ısı
C_v	Sabit hacim için molar özgül ısı
C_{AF}	A gaz bileşeninin gaz filmi başlangıcında molar konsantrasyonu
C_i	i bileşenine ait molar konsantrasyon
C	Sutherland sabitesi
D	Difüzyon katsayısı
D	Boru çapı
G	Molar serbest entalpi
H_a	Katı yakıtın alt ısı değeri
H_u	Katı yakıtın üst ısı değeri
H	Basınç kaybı
k_p, k_a	Kimyasal denge sabitleri
k	Reaksiyon hız sabiti
k	Boru yüzey pürüzlülük katsayısı
m	Kütle miktarı
M_y	Kg cinsinden yakıt miktarı
n	Mol sayısı
n	Jeneratör adedi
U	Gaz akış hızı
P	Basınç
P_i	Kısmi basınç
Re	Reynolds sayısı
$\bar{R}$	Genel gaz sabiti
Q_R	Reaksiyon ısısı
Q	Birim zamanda borudan geçen gaz miktarı (debi)
S	Entropi

S	Havagazı yoğunluğunun hava yoğunluğuna oranı
T	K cinsinden sıcaklık
t	$^{\circ}\text{C}$ cinsinden sıcaklık
V_G	Nm^3 cinsinden üretilen gaz hacmi
X_i	i bileşenine ait molar konsantrasyon
Y_i	Ağırlık yüzdesi veya kütle yüzdesi
α	Kimyasal dönüşüm
γ_G	Gazlaştırma verimi
ν_i	Stikometrik katsayı
ν	Kinematik viskozite
μ_i	Kimyasal potansiyel
μ	Dinamik viskozite
λ	Boru sürtünme katsayısı
ρ	Havagazı yoğunluğu
ρ_h	Havanın yoğunluğu

Alt İndisler

1,2,3	1,2 veya 3 bileşenine ait
i,j	i veya j bileşenine ait
ij	i ve j bileşenine ait
P	Sabit basınçta
v	Sabit hacimde

Üst İndisler

o	$P=1 \text{ atm.}$ basınçta
p	p basıncında

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 1 : Jeneratörde kömürün yanması
- Şekil 2 : Jeneratör gazı üretiminde CO oluşumu
- Şekil 3 : Jeneratör konstrüksiyon tipleri
- Şekil 4 : Devvar ızgaralı Winkler Jeneratörü
- Şekil 5 : Katı yakıtların "Küçülen katı tanecik modeline" göre küresel taneciklerin konsantrasyon profilinin şematik gösterilişi.
- Şekil 6 : Küre şeklinde tek bir katı madde parçasının reaksiyon hareketi, çevresindeki sıvı reaksiyon ortağı ile birlikte katı maddenin α_B dönüşüm miktarı ile t/t_{fin} arasındaki bağıntı.
- Şekil 7 : Havagazı borusunun kanal yerleştirilmesi
- Şekil 8 : İki havagazı borusunun birleştirilmesi
- Şekil 9 : Kaynak işlemi için kanal altının oyulmuş şekli
- Şekil 10 : Su toplama kazanı
- Şekil 11 : Dış akım kaynağı ile katodik koruma
- Şekil 12 : Galvanik anot sistemi katodik koruma
- Şekil 13 : Akım gereksiniminin zemin öz direncine bağlılığı
- Şekil 14 : Boru basıncı p ile akış hızı U 'nun değişimi
- Şekil 15-A: Yüksek basınçlı düz şebeke borularında basınç kayıpları
- Şekil 15-B: Yüksek basınçlı düz şebeke borularında basınç kayıpları
- Şekil 16-A: Alçak basınçlı şebeke borularında basınç kayıpları
- Şekil 16-B: Alçak basınçlı şebeke borularında basınç kayıpları

TABLO LİSTESİ

- Tablo 1 : Akım gereksiniminin kaplama direncine göre değişimi
- Tablo 2 : Havagazı borularının karakteristik özellikleri
- Tablo 3 : Değişik sıcaklıklarda bazı gaz ve buharlar için dinamik viskozite değerleri
- Tablo 4 : Teknik gaz karışımlarının dinamik viskozite değerleri
- Tablo 5 : Çeşitli pürüzlülükteki boruların pürüzlülük katsayısı k' 'nin değerleri
- Tablo 6 : Bazı gövde ve armatürlerin direnç katsayıları
- Tablo 7 : Bazı boru bağlantı elemanları ve armatürlerinin boru uzunluğu cinsinden direnç katsayıları

Ö Z E T

Bu çalışmada, Kovataş kömürlerini kullanarak, Devvar Izgaralı Winkler Jeneratörlerinde gaz üretilmesi ve dağıtılması esas alınmış ve incelenmiştir.

İlk bölümlerde jeneratör gazı (havagazı) üretim prensibi üzerinde durulmuş, çeşitli jeneratörler hakkında bilgi verilmiştir. Ankara'da faaliyet gösteren Maltepe Havagazı Fabrikasında elde edilen şehir gazı ve jeneratör gazının üretilimi incelenip, burada kullanılan jeneratörlerin özellikleri araştırılmıştır.

Isparta'nın mutfak ve banyo enerjisini karşılamak için jeneratörlerde yakılması gereken kömür miktarı tespit edilmiş ve buna bağlı olarak elde edilen gaz miktarı hesap edilmiştir.

Kimyasal denge ve reaksiyon kinetiği üzerinde durulmuştur, ayrıca denge bileşimi belirlenmiştir.

Dağıtım şebekesi belirlendikten sonra, kullanılacak boru özellikleri, reglaj cihazları ve reglaj istasyon birimleri hakkında bilgi verilmiştir. İletim hattında kullanılacak kompresörler belirlenerek, basınç kaybı hesap edilmiştir.

SUMMARY

In this study, gas production and distribution in Devvar grated Winkler generators have been studied by using Kovataş coals.

In this first part, the principles of producing generator gas has been taken in to account and information about various kinds of generators has been given.

The production of city gas and generator gas that had been produced in Ankara Maltepe generator factory has been determined and the properties of generators that had been used there have been investigated.

The supply of coal used in generators in Isparta to answer for the required necessities has been determined and together with the amount of gas obtained has been calculated.

It has also been studied on chemical equilibrium and kinetic of reaktion, furthermore, composition of equilibrium has been explained. After this distributing network had been spotted, information has been given about properties of pipes, Implements of regulator and regulating station buildings to use.

Compressors to use in transmission lines is defined and loss of pressure has been estimated.

GİRİŞ

Günümüzün en büyük problemlerinden biri de yeterli miktarda enerji üretebilmektir. Bu enerjiyi temin için yakıtlara, hidrolik tesislere, nükleer tesislere, güneş enerjisine, rüzgarlara, jeotermal tesislere, tabii gaza ve gelgit hareketine başvurulmaktadır. Bunların içinde en önemli yeri yakıtlar almaktadır.

Yakıtlar, kimyasal reaksiyonlar yoluyla ısı üretimine elverişli olan maddelerdir. Yakıtları kökeni itibariyle tabii ve yapay, faz durumları bakımından da katı, sıvı ve gaz yakıtlar olarak sınıflandırmak mümkündür.

Katı Yakıtlar: Tabii olanları taş kömürü, esmer kömür, turb ve odundur.

Yapay olarak üretilenleri kok ve odun kömürüdür.

Gazyakıtlar : Tabii olanı yer gazıdır. Baca gazları, hava, su ve kuvvet gazları, kok fabrikası, metan, asetilen, hidrojen, bütan gibi gazlar da yapay gaz yakıtlardır.

Yakıtlar içinde yanma ve taşıma bakımından en fazla güçlük çıkaranları katı yakıtlardır. Yanma sırasında kül bırakırlar ve çoğu zaman tam yanma gerçekleşemez. Akaryakıtlar kolay alevlenirler, taşırmaları kolaydır. Gaz yakıtlarda kolay taşınırlar. Büyük miktarlar uzak yerlere pipe-line denilen boru hattıyla, küçük miktarlar ise sıvılaştırılmış durumda tüpler içinde nakledilir. Katı yakıtlardan, özellikle taşkömürü ve linyit kömüründen gaz yakıtlar elde edilebilmektedir. Kömürün yüksek sıcaklık koklaştırılmasıyla bileşimi % 55 H_2 , % 27 - H_4 , % 6 CO, % N_2 ve % 2 CO_2 olan kok fırını gazı elde edilebilmektedir. Bu gaza koktan elde edilmiş su gazının karıştırılmasıyla şehir gazı oluşturulmaktadır.

Jeneratör adı verilen büyük ocaklarda kızgın kömür üzerine hava ve az miktarda su buharının verilmesiyle bileşimi % 12 H_2 , % 28 CO, % 0,5 CH_4 , % 5 CO_2 ve % 54,5 N_2 olan jeneratör gazı (havagazı) meydana gelmektedir. Su gazı

ise kızgın kömür üzerine su buharının verilmesiyle elde edilmektedir. Jeneratör gazı ve su gazının belli bir oranda birleştirilmesiyle de kuvvet gazı meydana gelmektedir.

Bir jeneratörün boyutlarının tespiti genellikle, yarma esnasında meydana gelen reaksiyon hızına bağlıdır. Reaksiyon hızı, reaksiyona giren bir bileşene ait konsantrasyonun zamana göre diferansiyel değişimi şeklinde anlaşıl-makta olup; umumiyetle reaksiyon hız sabiti ve gazların konsantrasyonları cinsinden ifade edilmektedir.

Ankara kentinin % 20'lik bir kısmının mutfak enerjisini karşılayan Maltepe Havagazı Fabrikasına benzer bir tesisin Isparta için genel tasarımı ve hesapları yapılmıştır.

Bu çalışma içerisinde daha etraflı bir biçimde anlatıldığı gibi, Isparta için gerekli mutfak ve banyo enerjilerini karşılayabilecek bir tesis hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Jeneratör yakılması gereken kömür, yarma bölgesine verilmesi gereken hava miktarı ve bunlara bağlı olarak oluşacak gaz miktarı tespit edilmiştir.

Eğridir ilçesi yakınlarında üretildiği kabul edilen gaz, yüksek basınç kompresörleriyle oluşturulan hat boyunca Isparta'ya kadar iletilmiştir. Bu hat-ta oluşacak basınç kayıpları ile boru çapı tespit edilmiş olup, Şebekenin Isparta içindeki donanımı belirlemiştir.

2- HAVA GAZININ ÜRETİM PRENSİBİ

Kızgın kömür üzerine yalnız havanın üflerilmesiyle elde edilen gaz karışımına jeneratör veya havagazı denilir. Saf karbomonoksitten oluşan ideal bir jeneratör gazında;

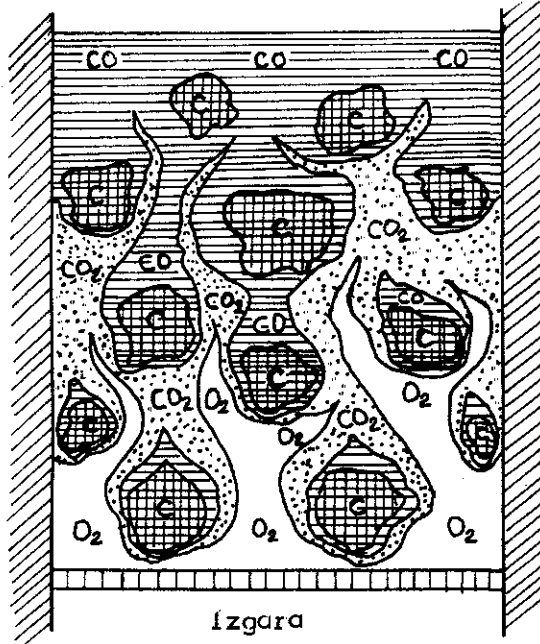
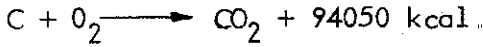
% 35 CO

% 65 N₂ bulunur.

Bu ideal durumda teorik gazlaştırma verimi % 70'dir. Bu demektir ki, kömürün ısı değerinin % 70'i bağlı ısı şeklinde jeneratör gazında bulurmakta, % 30'u hissedilir ısı şeklinde gaz karışımıyla dışarı çıkmaktadır. Gaz üretim esnasında en yüksek sıcaklık 1420°C olmaktadır.

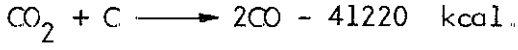
Jeneratörde kömürün CO'e yarması için, kömür tabakasının yeterli derecede kalın ve sıcak olması lazımdır. Şekil 1'de jeneratörde sırasıyla meydana gelen reaksiyonlar gösterilmiştir. Bunlar;

a) Havanın giriş yerinde, kömüre tesir ederek CO₂ oluşur. Bu bölge yükseltgenme bölgesidir.

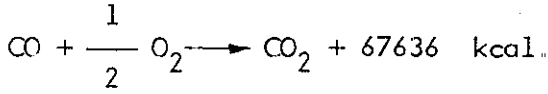


Şekil 1. Jeneratörde kömürün yanması

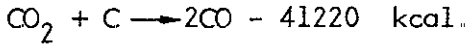
CO₂, alt tabakalarında da kömürün etrafındaki kısımlarda kısmen indirgenir:



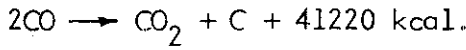
b) CO'nun hava ile CO₂'e yanması kömür parçalarının ara boşluklarında meydana gelir.



c) CO₂'in sıcak kömür tabakalarında CO'ye indirgenir. (İndirgenme bölgesi)



d) Jeneratörün üst kısmında, daha soğuk olan bölgede, CO, CO₂ ve C'a dönüşür:



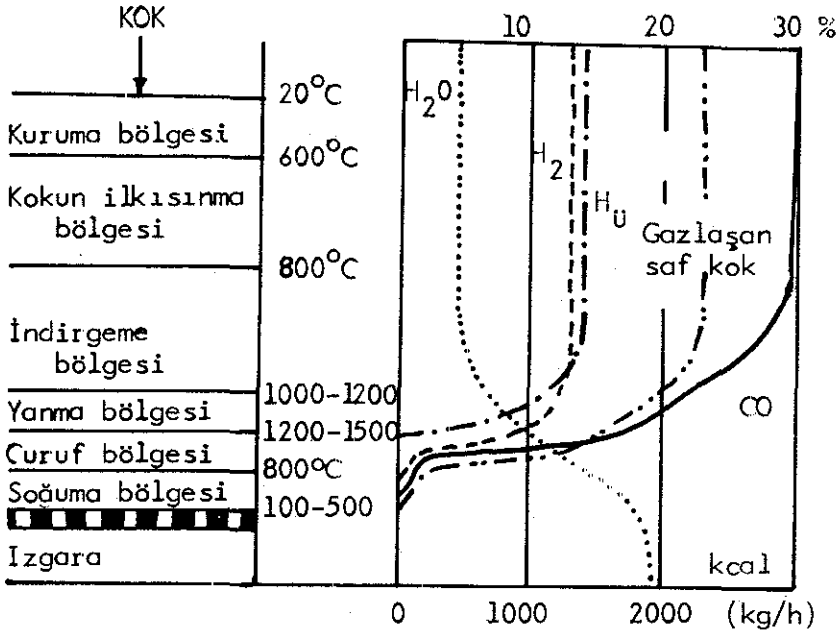
Bu son reaksiyonun sıcaklığı 1000°C de sabit tutulur ve bu suretle CO₂'siz jeneratör gazı üretilir. Kömür tabakası yeterli derecede sıcak fakat ince ve gevşek ise, oksijen bağlanmadan kömür taneciklerinin arasından geçer ve üst tabakalarda CO'yi CO₂ haline getirir.

Sanayide istihsal edilen jeneratör gazında, hemen hemen daima CO₂ vardır. Fakat % 5'ten fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Bu taktirde azot miktarı da artar.

Kömürdeki hidrojen ve üflenilen hava ile kömürün rutubeti, jeneratör gazındaki az miktarda hidrojen ve CH₄'ün bulunmasına sebebiyet verir.

Jeneratör gazı üretimi için nadiren kok kullanılır. Daha ucuz olan taş ve linyit kömürleri tercih edilir.

Jeneratöre verilen yakıt sırası ile bir takım olaylara maruz kalır, bunlar; Kuruma, ön ısınma, gazlaştırma ve yarma olaylarıdır. Bir jeneratör içerisindeki kimyasal olaylar Şekil 2'de gösterilmiştir.

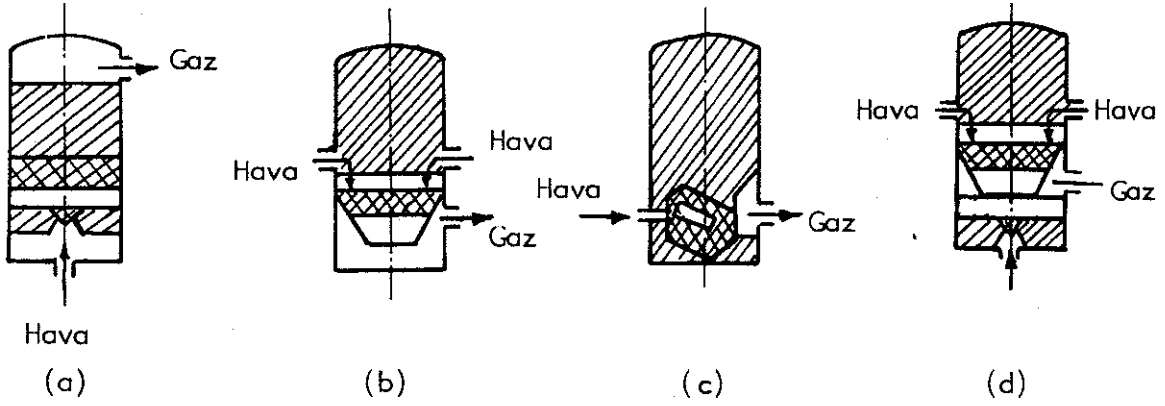


Şekil 2. Jeneratör gazı üretiminde CO oluşumu.

Curuf bölgesinden uzaklaşıldıkça gazın CO₂ miktarı artar, buna mukabil CO ve su buharı miktarı azalır. Kömürün gazlaşma seyri de aynı istikamette artar ve üst kısımlarda % 100'e eşittir, aynı bölgede su buharının bozunması da % 75'i bulur. Şekilde H₂ reaksiyon ısı gücü, yani üst ısı değeridir. Normal çalışan bir jeneratörde amonyak teşekkül etmez, ancak kömürdeki azotu amonyak şeklinde değerlendirmek istenirse, bunun için fazla miktarda aşırı ısıtılmış su buharı göndermek gerekir.

Jeneratörde kok kömürü kullanıldığında paralel akım ve karşı akım pren-

sibine riayet edilerek gaz üretilir. Şekil 3'de yakıt ve gaz akımı bakımından çeşitli jeneratör konstrüksiyon tipleri gösterilmektedir.



-  Koklaşma bölgesi
-  İndirgeme bölgesi
-  Ateş bölgesi

Şekil 3. Jeneratör konstrüksiyon tipleri

- (a) Aşağıdan yukarıya doğru gazlaşma, ters akımlı gaz üretimi.
- (b) Yukarıdan aşağı doğru gazlaşma, paralel akımlı gaz üretimi.
- (c) Yatay istikamette gazlaşma, çapraz veya karşı akımlı gaz üretimi.
- (d) Çifte istikamette gazlaşma, iki veya çifte ateşli gaz üretimi.

Gazlaşma esnasında bilhassa külün durumu mühimdir. Eğer oksijen kuru olarak doğrudan doğruya sülöp kömürün yüzeyine tesir edip CO_2 teşkil ederse, bu $2000^{\circ}C$ lik bir sıcaklık meydana gelmesi gerekir ve bu sıcaklıkta ise külün bileşenlerinin eriyip havanın girmesine mani olacaktır. Ancak burada kömürün yanması için iki kademeli bir reaksiyonla meydana geldiğinden sıcaklık ancak $1200^{\circ}C$ 'ye yükselebilmektedir. Fakat bazı yakıt külleri bu sıcaklıkta, hatta $900^{\circ}C$ de bile erimektedir, bunun için verilen havaya bir miktar su buharı karıştırmak gerekir.

Jeneratör gazı üretimi bahsedildiği gibi, jeneratörlerde yapılmaktadır, bunlar dikey fırınlardır. Yakıtın cins ve şekline göre kullanılan jeneratörlerin, bilhassa ızgara kısmı değişiktir.

Jeneratörlerde kullanılan kömür tane büyüklüğü büyük önem kazanmaktadır. Gazlaştırılacak madde ne kadar kaba ve tanelerin birbiri ile olan mesafesi ne kadar büyük olursa, yığın yüksekliği o kadar fazla olur ve yakıt yatağının işlenmesi o derece zorlaşır. En uygun çalışma şekli elekten geçmiş, muayyen tane büyüklüğünde kömürün kullanılmasıdır. Kömürdeki toz gazlaşma yatağında tıkanıklıklar yapar ve istenmeyen kanallar açarak cüruflaşma neticesinde yanma esnasında kömürün sık sık şişlenmesini gerektirir. Aynı zamanda da verimde düşme meydana gelir.

Bir jeneratörde gazlaştırma verimi:

$$\gamma_G = \frac{V_G \cdot H_{aG}}{M_y \cdot H_{ay}} \quad \text{bağıntısıyla hesaplanır.}$$

Burada; V_G = elde edilen gazın Nm^3 cinsinden hacmi

M_y = kullanılan yakıtın kg cinsinden miktarı

H_{aG} = elde edilen gazın alt ısı değeri

H_{ay} = kullanılan yakıtın alt ısı değeridir.

Üretilecek gazın cinsine, kullanılacağı yere, kömürün cinsine ve tane büyüklüğüne göre çeşitli tip jeneratörler imal edilmektedir. Aşağıda en iyi özelliklere sahip jeneratörlerin bir sınıflandırılması yapılmıştır.

2.1 Jeneratör Tipleri

a- Sabit Izgaralı Jeneratörler:

Bu jeneratörlerde ızgara sabit olmakla beraber yatay, eğimli ve basamak şeklini alabilir. Yakıt kapasitesi $60-900 \text{ kg/m}^2\text{h}$ ve gazlaştırma verimi $\eta_G = \% 75$ 'dir. Sabit yatay ızgaralı tiplerde orta büyüklükte kömürlerin gazlaştırılması uygundur. Basamaklı ızgaralı tiplerinde ise ince taneli kömürler gazlaştırılmaktadır.

b- Dönen Izgaralı Jeneratörler:

Mevcut jeneratörler arasında önemli yeri vardır. Yakıt kapasitesi $85-210 \text{ kg/m}^2\text{h}$ ve gazlaştırma verimi $\eta_G = \% 75-80$ 'dir. Bu jeneratörlerde kg kömür için $0,45 \text{ kg}$ ve kg kok içinde $0,5-0,6 \text{ kg}$ buhar kullanılır. Bu tip jeneratörlerle taş ve linyit kömürü koku, antrasit, linyit kömürü briketi ve turb gazlaştırılır.

c- Izgarasız Jeneratörler:

Dönen ızgaralı tiplere göre verimleri düşüktür. Külü fazla olan yakıtlar kolayca gazlaştırılabilir. Bu jeneratörlerin önemli mahzurlarından biri gazların çıkış sıcaklığının yüksek olmasıdır, bu sıcaklık 900°C 'dir. Bu jeneratörlerin yüksekliği $5-6,5 \text{ m}$ ve çapı 5 m kadardır. Yakıt kapasitesi $800-1000 \text{ kg/m}^2\text{h}$ 'dir. Ayrıca bu jeneratörlerin konstrüksiyonu çok basit olup, kapasiteleri diğerlerine oranla daha büyüktür.

d- Winkler Jeneratörleri:

Izgaralı olan bu jeneratörlere ince öğütülmüş kömür, bir helezon vasıtasıyla tabana yakın bir seviyeden jeneratöre sevk edilir. Winkler jeneratörlerinin diğer jeneratörlerden farkı yakıt ve havanın paralel akımda bulunmasıdır. Gazlar jeneratörü 900°C gibi yüksek bir sıcaklık-

ta terkettiği için gaz çıkış borusu reküperatif buhar kazanına bağlıdır. Winkler jeneratörlerinin önemli üstünlükleri; iyi bir verimle yüksek üretim kapasiteleri, külün erime sıcaklığına yakın bir mertebede çalışmakla beraber, cüruflaşmanın mevcut olmamasıdır.

e- Winkler-Flesch ve BASF - Demag Usulleri:

Bu sistemde iki jeneratör ünitesi birleştirilmiş ve jeneratörler alttan ızgaralı olup, yakıt üstten verilmekte ve kül alttan alınmaktadır. Birinci çalışma safhasında her iki jeneratör paralel çalışır ve 10 dakika müddetle hava ve su buharı karışımı üstten verilir. Sabit yakıt yatağından geçen hava ve su buharı karışımı her iki jeneratörün altından ham gaz şeklinde çekilir. Böylece ızgara üzerinde oluşan cürufu gevşetmek için müteakip bir dakika içinde, bu defa jeneratörün birincisinin altından hava ve su buharı karışımı verilip üstten çıkan gazlar ikincisinin üzerine sevk edilir. Burada oluşan gazlar ikinci jeneratörün altından çekilir.

f- Süspansiyonda Gazlaştırma:

Bu sistemde toz halindeki kömür süspansiyonda gazlaştırılmaktadır. Girdaplı kamarada gazlaştırma adı verilen bu usulde yanmanın meydana geldiği kulenin çapı 2-3 m ve yüksekliği 24,5 metredir. Çıkan gazlar tarafından ısıtılan hava, toz halindeki yakıtla beraber alt kısımda bulunan 6 adet memelerden girdaplı kamaraya püskürtülür ve burada gazlaştırma sağlanır.

3. ANKARA'DA HAVAGAZI ÜRETİMİ

Genel Bilgiler:

Ankara havagazı fabrikası ilk defa 1929 yılında, bir Alman Firması olan Didier tarafından işletmeye açılmıştır. İlk kuruluşta 5000 m³/gün kapasite ile gaz üreten fabrika, şehrin artan ihtiyacını karşılamak üzere zaman zaman yeni tesis ve depoların yapılmasıyla bu gün 220.000 Nm³/gün kapasiteye erişmiştir. Tesislere ait 4 adet depo (gazometre) mevcut olup, toplam kapasiteleri 114000 m³'dür.

Fabrika genel olarak 5 ana kısma ayrılabilir.

- a) Taş kömürü ve üretim ocakları,
- b) Gaz temizleme tesisleri,
- c) Depolama tesisleri
- d) Jeneratör gazının elde edildiği merkezi gaz jeneratörleri,
- e) Yüksek basınç kompresörleri.

3.1 Şehir Gazı Üretimi

Havagazı fabrikasında üretilen şehir gazı, taş kömürünün koklaştırılması sonucu elde edilen kok gazı ile merkezi gaz jeneratörlerinde elde edilen jeneratör gazının belli bir oranda birleştirilmesiyle elde edilir.

Şehir gazı üretmek için dikey kameralarda koklaştırılan kömür Zonguldak'tan getirilen taşkömürü olup aşağıdaki özelliklere sahiptir.

Nem	: % 8
Kül	: % 11
Uçucu madde	: % 26
Sabit karbon	: % 55
Üst ısı değeri	: 6800 kcal/kg

Alt ısı değeri	: 6600 kcal/kg
Kül erime noktası	: 1350 °C

Şehir gazı Üretimi için 300-360 ton arası taşkömürü kullanılır. 5 tonluk kepçesi ile 30 m yüksekliğe kaldıracabilen vinçle, taş kömürü üretim ocaklarının üzerindeki silolara verilir. Bu siloların doldurulması ile fabrikanın 24 saat kullanacağı taş kömürü temin edilmiş olur. Stok edilen taş kömürü, üretim ocaklarına özel bantlarla taşınır ve ocaklardaki kamara ağızlarına kadar nakledilir.

Fabrikada üretim ocakları 5 gruptan ibarettir. Her grupta çeşitli sayıda kamara bulunur. Kamaralarda taş kömürü, havasız ortamda ısıtılarak destile edilir. Destilasyon ürünü olarak üstten gaz, alttan ise kok kömürü alınır. 5 grupta toplam 75 kamara bulunmaktadır. Her biri 1700 °C'ye dayanıklı özel silika tuğlalarından yapılmıştır. Reküparatör kısmı ise 1400 °C sıcaklığa dayanıklı şamat tuğlalardan meydana gelmiştir. Kamaralar dikey tipte olup, üst kısmı alt kısma göre biraz dardır. En yüksek grubun kamara ölçüleri: yükseklik 6 m., genişlik 2,7 metredir. Kamara ölçüleri ocak grubuna göre değişiklik gösterdiğinden, en küçüğü 1700 kg; en büyüğü 4300 kg taş kömürü alır. Kamaralara konan taş kömürü 16 saatte pişer ve kok kömürü oluşur. Bu arada uçucu maddelerde gaz haline dönüşür. Yukarıda belirtilmeye çalışılan kamaralar yanyana olup, araları boştur. Bu aralara özel şekilde kanallar yapılmıştır. Taş kömürünü koklaştırmak için bu kanallarda jeneratör gazı ile hava uygun şekilde karıştırılarak yakılır, bu sayede 1200 °C'ye varan sıcaklık elde edilir. Sıcak kamaralarda taş kömürü kuru kuruya damıtılarak ham gaz elde edilir. Bu ham gazı ocak gazı adı verilir. Kömürün pişme müddetinin sonlarına doğru kamara altlarından buhar verilerek bir miktar da su gazı elde edilir. Hem ocak gazı hem de su gazı, kamaranın üstünde ve altında bulunan çıkış borularından paletli emiciler vasıtasıyla çekilirler. Gaz kamaradan çıkarken üzerine ince sis halinde, düzelerden amonyaklı su püskürtülür. 800-850°C de çıkan gazı 85°C ye kadar

soğuttuğu gibi toz zerrecelerini ve mevcut katranın büyük kısmını da gazdan ayırır.

Taş kömürü 950-1200°C'da gazını verirken kendisi yumuşar ve plastikleşir. Bu olaya taş kömürünün karbonizasyonu denir. Ham ocak gazı eldesinde karbonizasyon reaksiyonları aşağıdadır.

- a) Sıcaklık yükseldikçe karbona bağlı olan alifatik karbonlar ayrılma-ya başlar.
- b) 600 °C da C-H bağları bozulur.
- c) Sıcaklık daha da yükseldikçe uçucu maddelerin yapıları bozulur ve molekül ağırlıkları azalır. Su, CO, H₂, CH₄, C_nH_m'lerin ortaya çıkması ile bu durum belirlenir.
- d) Son bozunmalar 600-800°C arasında maksimum değere ulaşır.

Butün bunlardan sonra usulüne uygun olarak kamara alt kapakları açılır ve koklaşmış kömür kızgın olarak vagonlara dökülür. Vagonlar üzerine bol su püskürtülerek soğutulur ve kok kömürü elde edilmiş olur. Kok kömürünün kimyevi özellikleri:

nem	: % 14-15
kül	: % 17-19
uçucu madde:	% 1-1,5
karbon	: % 61-63

Gaz toplama borularında birleşen 80°C civarındaki ocak gazı 4 adet soğutucudan geçer. Ocak gazı iki kol halinde soğutuculara üstten girerek, alttan sistemi terkeder. Bu arada gaz sıcaklığı 19-21 °C'ye kadar düşer. Soğutma suyu sisteme 16-17 °C da girerek 30-35 °C ta üstten çıkar. Bu arada gazdan ayrılan katranın boru dış yüzeylerine yapışmaması için üstten püskürtme ile NH₃ verilir. Sistemde gaz soğuduğu gibi gaz içinde bulunan safsızlıkların büyük kısmını da burada terkeder.

Soğuyan gaz iki adet rotatif-paletli tip emici tarafından emilerek aşağıda kısaca anlatılmaya çalışılan temizleme ünitelerine basılmaktadır.

a) Elektrikli Katran Ayırıcılar:

Emicilerden emilip basılan gaz iki adet katran ayırıcıya gelir. Kapasiteleri $60000 \text{ Nm}^3/\text{gün}$ ve $90000 \text{ Nm}^3/\text{gün}$ 'dur. Katran ayırıcılar gaz içindeki katran miktarını $2 \text{ gr}/100 \text{ Nm}^3$ 'e kadar düşürürler. Burada gaz, ayırıcı içinde paralel ve düşey şekilde konulmuş bölmelerden geçirilir. Bu bölmeler arasında gerilmiş elektrotlar bulunmaktadır. Bu elektrotlara 41000 Volt doğru akımın (-) ucu bağlanmıştır. Bölmeleri oluşturan madeni plakalar ise toprağa (şase) bağlıdır. Sisteme gerilim verildiğinde elektrotlardan madeni plakalara bir deşarj olur. Gaz içinde bulunan katran tanecikleri az miktarda yağ bulutları ve toz parçaları (-) yük taşıdığından, deşarj olayı ile birlikte madeni plakalara doğru itilerek plaka üzerinde yığılıp, aşağı doğru akarlar. Bir boru sayesinde toplanıp katran deposuna gönderilirler.

b) Naftalin Ayırıcılar:

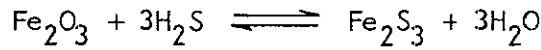
Taş kömürünün kraking ürünlerinden biri de naftalindir. Gaz içinde bulunan naftalin $60000 \text{ Nm}^3/\text{gün}$ ve $90000 \text{ Nm}^3/\text{gün}$ kapasitelerine sahip iki adet ayırıcıda tutulmaktadır. Ayırıcı girişinde, gazda $140 \text{ gr}/100 \text{ Nm}^3$ olan naftalin miktarı ayırıcı çıkışında hava şartlarına göre $60-10 \text{ gr}/100 \text{ Nm}^3$ 'e kadar düşer. Naftalin ayırıcılar kademe-kamaralı yatak şeklindedir. Her kamara alt kısmındaki ızgaralar üzerine $1,1 \text{ metre}$ rasching halkalar yığılmıştır. Her bölmenin üzerinden antresen yağı püskürtülür. Rasching halkaları sayesinde gazla karşılaşma yüzeyi artan yağ, gaz içindeki naftalini absorblar. Yağ naftalinle iyice doymaya başlayınca, yağ rejenere tesislerinde naftalinden arınarak temiz yağ olarak tekrar ayırıcıya verilir.

c) Amonyak Ayırıcılar:

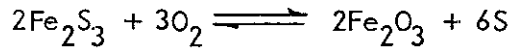
Taş kömürünün karbonizasyonu sonucu, kömürün içerdiği, azotun bir kısmı NH_3 oluşturarak gaza karışır. İki adet olan bu ayırıcıların da kapasiteleri $60000 \text{ Nm}^3/\text{gün}$ ve $90000 \text{ Nm}^3/\text{gün}$ 'dür. Ayırıcı girişinde gazda $300 \text{ gr}/100 \text{ Nm}^3$ var olan NH_3 , çıkışta $2 \text{ gr}/100 \text{ Nm}^3$ 'e kadar düşer. Çalışma prensibi naftalin ayırıcıda olduğu gibidir. Burada bölmelere yağ yerine zeolit suyu püskürtülür.

d) Kükürt Ayırıcılar:

Gaz içinde korozyona sebep olan ve istenmeyen safsızlıklardan H_2S , limonit kasalarında tutulur. Limonit kasaları üst üste dizilmiş raflar ve bu raflara konulmuş (Limonit + talaş) karışımından ibarettir. Limonit tabiiatta demir cevheri olarak bulunur. Raflardaki bu karışım arasından süzülerek geçen gaz, içindeki H_2S 'i bırakır. Limonitin bileşiminde çok miktarda Fe_2O_3 , az miktarda MnO_2 ve $\text{Fe}(\text{OH})_2$ bulunur. Fabrikada, birinde 6, diğerinde 8 raf bulunan iki adet ayırma kulesi bulunmaktadır. Bu kulelerde gazın akışı sırasında aşağıdaki denklemler oluşmaktadır:



Fakat, Fe_2O_3 devamlı limoniti kirlettiğinden, limoniti rejenere etmek gerekmektedir. Bu işlem kasalara kompresörlerle belli bir miktarda hava verilerek yapılır. Havadaki O_2 , aşağıdaki reaksiyonu meydana getirir.



Bu şekilde limonitteki Fe_2O_3 tekrar geri kazanılır. Yukarıdaki reaksiyonlar sonucu H_2S ayrılarak temiz bir gaz elde edilir. Gaz çıkışındaki maksimum kükürt $2 \text{ gr}/100 \text{ Nm}^3$ 'dür. Burada elde edilen gaz şehir gazı olup, bileşimi aşağıdadır.

CO_2 : % 4,2

C_nH_m : % 2,1

O_2	: % 1,9
H_2	: % 33,5
CO	: % 13,1
CH_4	: % 14,9
N_2	: % 30,3

Üst ısı değeri 3500 kcal/Nm^3 olan bu gaz gazometrelerden kompresörler yardımıyla alınarak şehire basılır.

3.2 Jeneratör (Havagazı) Gazı Üretimi:

Ankara--Maltepe Havagazı fabrikasında jeneratör gazı 4 adet devvar ızgaralı Winkler gazlaştırıcıları vasıtasıyla elde edilmektedir. Birbirlerine paralel olarak çalışan bu gazlaştırıcılara Merkezi Jeneratörler adı verilmektedir. Bunların kuruluş gayesi üretim ocaklarında taşkömürünün karbonizasyonu için gerekli olan yakıtı sağlamaktır. Jeneratör gazı, üretim ocaklarında bulunan kamralar arasındaki kanallarda hava ile yakılarak 1250°C 'ta varan sıcaklık elde edilir. Bu sayede kömür koklaştırılır ve ocak gazı (kok gazı) elde edilmiş olur. Üretilen jeneratör gazının bir kısmında kükürt ayırıcılarından önce şehir gazına karıştırılarak şebekeye gönderilir.

Hava gazı üretim prensibinde belirtildiği gibi, bu gaz jeneratörlerde kızgın kömürün üzerine hava ve su buharının püskürtülmesiyle elde edilir. Jeneratörler şekilde görüldüğü gibi, silindirik bir yarma ve gazlaşma haznesi, içinde su bulunan bir ceket, hazne içinde döner ızgara ve bu ızgaraya bağlı alttaki curuf çanağından ibarettir. Yarma sonucu oluşan ısıdan faydalanmak için yapılmış su ceketinde buhar elde edilir. Fabrikada bu jeneratörlerde ortalama 70 ton/gün kok kömürü kullanılmaktadır. $300000 \text{ m}^3/\text{gün}$ jeneratör gazı elde edilmektedir.

Şekilde görüldüğü gibi jeneratörlerin boyutları:

yükseklik = 6,5 m
iç çap = 2,75 m
ceket kalınlığı = 0,325 m
ızgara yüksekliği = 0,7 m
su çanağı yüks. = 0,85 m şeklindedir.

3.2.1 Devvar Izgaralı Jeneratörlerin Teknik Özellikleri:

Dolgu miktarı	: 550 (kg)
Kok sarfiyatı	: 33 (ton/gün)
Gaz verimi	: 4300-5400 (Nm ³ /h)
Birim Üretim sarfiyatı	: 0,290 (kg kok/Nm ³)
Günlük gaz Üretimi	: 104000 (Nm ³)
Gazın ısı değeri	: 1150 (kcal/Nm ³)
Ham temiz su ihtiyacı	: 5 (lt/Nm ³ gaz)
Devri-daim suyu ihtiyacı	: 15 (lt/Nm ³ gaz)
Buhar sarfiyatı	: 0,7 (kg.buhar/kg.kok)
Buhar basıncı	: 0,5 kg/cm ²
Hava + Buhar karışım sıcaklığı	: 50°C
Beher hava vantilatör kapasitesi	: 10000 (m ³ /h)
Jeneratöre verilen hava miktarı	: 1900 (m ³ /h)
Beher gaz emicinin kapasitesi	: 15000 (Nm ³ /h)
Kok kırıcı kapasitesi	: 13 (ton/h)
Kok asansörü kapasitesi	: 13 (ton/h)
Kok siloları kapasitesi	: 4x30 = 120 ton
Hava basıncı	: 180 mmss
Curuf seviyesinin ızgara merkezine uzak.	: 20-25 cm.
Curuf seviyesinin ızgara kenarına uzak.	: 60 cm.

Curufta kok miktarı	: % 12-20
Soğutucudan gaz çıkış sıcaklığı	: 26-34°C
Beher jeneratörden çıkan curuf miktarı	: 8 m ³
Jeneratörlerin revizyon süresi	: 423 gün (14 ay)
Jeneratörde üretilen buhar miktarı	: 0,811 kg/kg kok.
Jeneratörde sarfedilen buhar miktarı	: 0,385 kg/kg kok.

3.2.2 Üretilen Jeneratör Gazı Özellikleri:

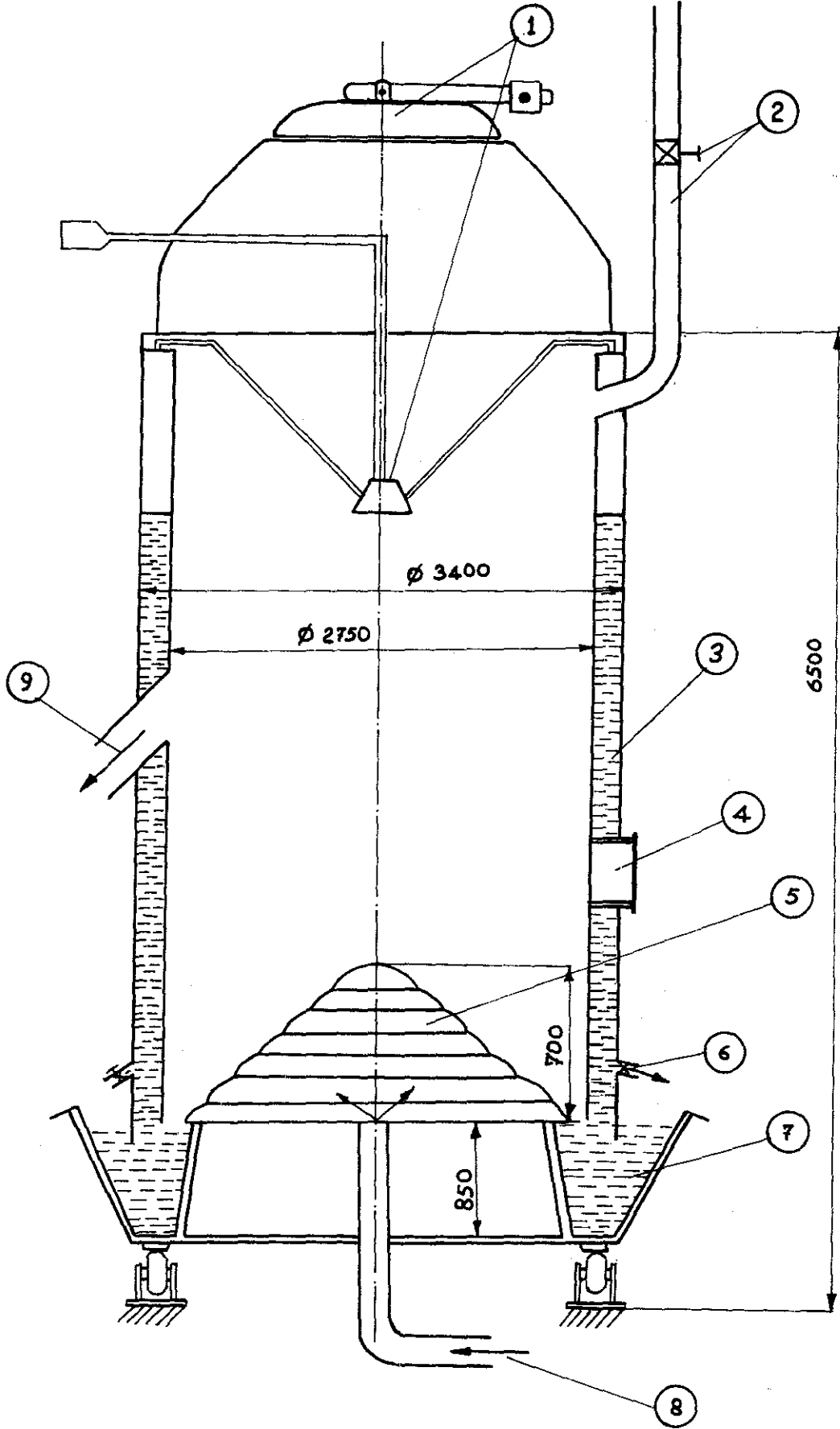
Gazın yoğunluğu	: 0,9153 kg/m ³
Gaz sıcaklığı	: 32 °C
Alt ısı değeri	: 1150 kcal/Nm ³
CO ₂	: % 5
O ₂	: % 0,0
CO	: % 25
H ₂	: % 12
N ₂	: % 58

3.2.3 Jeneratörde Kullanılan Kokun Özellikleri:

Saf kok miktarı	: % 72-80
Uçucu madde miktarı	: % 1-2
Kül miktarı	: % 18-22
Rutubet miktarı	: % 10
Kükürt miktarı	: % 0,38-0,48
Ham kok ısı değeri	: 5800-6000 kcal/kg
Kok ebadı	: 10-50 mm.

10 mm altında toz miktarı % 2 den aşağı olacak. 0-10 mm altındaki toz

miktarı % 10 civarında olursa verim % 10 düşer. Ham kok rutubeti % 17-20 civarında olursa verim % 2-5 düşer.



Şekil 4. Devvar ızgaralı wingler jeneratörü

- ① Üst kapak ve klepesi
- ② Tahliye vanası ve tahliye borusu
- ③ Su ceket i
- ④ İlk ateşleme yeri
- ⑤ Döner Izgara
- ⑥ Blöf vanası
- ⑦ Su çanağı
- ⑧ Hava + Buhar girişı
- ⑨ Gaz çıkışı

4. KİMYASAL DENGİ VE REAKSİYON KİNİTİĞİ

4.1 Kimyasal Denge

Kimyasal denge, bir tek reaksiyonun veya birden fazla reaksiyonun yer aldığı bir sistemde reaksiyonların durduğu, yani madde ve enerji dönüşümlerinin sınırladığı bir durumdur. Bu durum sıcaklık, basınç ve reaksiyonların tipine bağımlıdır. Dış şartların sisteme etkisi önlenirse denge durumu kalıcıdır. Şayet reaksiyonlar aynı fazda oluşursa homojen dengeden, ayrı fazlar arasında oluşuyorsa heterojen dengeden söz edilir. Denge durumu için hesaplanmış kimyasal dönüşüm, belirli reaksiyon şartları için erişebilecek en yüksek dönüşümdür. Bu nedenle reaktörün dizaynında denge dönüşümünün bilinmesi çok önemlidir.

Kimyasal denge, denge sabitiyle belirlidir. Proses basıncı ne olursa olsun, bu büyüklük sadece sıcaklığın fonksiyonudur. Alçak basınçlarda denge sabiti, reaktördeki bileşenlerin kısmi basınçlarıyla veya molar konsantrasyonlarla belirlenebilmektedir. Yüksek basınçlarda kimyasal denge fugasite ve aktivite denilen büyüklüklerle tanımlanmaktadır. Ancak bileşenlerin fugasitelerini belli sıcaklık ve basınç için diyagramlardan tesbit etmek mümkün olmakta, dolayısıyla denge durumu kısmi basınçlar cinsinden belirlenebilmektedir. Denge sabiti, molar serbest entalpi üzerinden sistemdeki enerji kavramıyla direkt ilişkili olduğundan sistemdeki enerji bilançosu ele alınmalıdır.

4.1.1 Gibbs Denklemi

Molar serbest entalpi

$$G=H - TS \quad (4.1)$$

şeklinde belirlenmiştir.

Enerji ifadesi öncelikle saf bir madde için türetilcektir.

$$dQ = du + PdV \quad (4.2)$$

$$= dH - Vdp$$

ve 2.kanunu

$$dQ = T.dS \quad (4.3)$$

yazılır ve (4.1)'in türevi alınırsa,

$$dG = dH - T dS - SdT \quad (4.4)$$

elde edilir. Bu ifade (4.2) ve (4.3) ile

$$dG = V dP - SdT \quad (4.5)$$

şeklini alır. Bu denklem, saf madde veya kimyasal reaksiyonların yer almadığı bir sistem için serbest entalpi diferansiyelinin P ve T değişkenlerine bağımlılığını göstermektedir. Kimyasal reaksiyonların da yer aldığı bir sistem için serbest entalpi basınç ve sıcaklığın yanısıra bileşenlerin mol cinsinden miktarlarının da bir fonksiyonudur.

$$G = f(T, P, n_1, n_2, n_3, \dots) \quad (4.6)$$

(4.6) ifadesinin diferansiyeli alınırsa,

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_{P, n_i} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial P} \right)_{T, n_i} dP + \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{P, T, n_{k \neq i}} . dn_i \quad (4.7)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade (4.5) ile karşılaştırılırsa,

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_{P, n_i} = -S, \quad \left(\frac{\partial G}{\partial P} \right)_{T, n_i} = V$$

olur. (4.7) ifadesinde 3. terim bileşenlerin kısmi molar serbest entalpilerinin toplamıdır. Burada kısmi molar serbest entalpiye kısaca kimyasal potansiyel denilmekte ve μ_i ile gösterilmektedir.

$$\left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{P, T, n_{k \neq i}} = \mu_i$$

Böylece (4.7)

$$dG = VdP - SdT + \sum_{i=1}^N \mu_i dn_i \quad (4.8)$$

şeklini alır.

Kimyasal denge durumunda,

$$dP = 0, \quad dT = 0, \quad dG = 0$$

olduğundan, (4.8)'den

$$\sum_{i=1}^N \mu_i dn_i = 0 \quad (4.9)$$

elde edilir. Ve burada stikometri

$$\frac{dn_1}{v_1} = \frac{dn_2}{v_2} = \dots = \frac{dn_N}{v_N} \quad \text{veya} \quad \frac{dn_i}{v_i} = \frac{dn_1}{v_1}$$

$$dn_i = \frac{dn_1}{v_1} v_i$$

yardımıyla,

$$\sum_{i=1}^N \mu_i v_i = 0 \quad (4.10)$$

şeklini alır. Burada v_i 'ler, reaktanlar için negatif, reaksiyon ürünleri için pozitiftir.

4.1.2 Denge Sabiti

Kimyasal potansiyel μ_i ideal şartlar için

$$\mu_i = \mu_{i,T,1 \text{ atm}}^{\text{saf}} + \bar{R}T \ln \frac{P_i}{1 \text{ atm}} \quad (4.11)$$

denklemleriyle belirlidir. (4.11) ifadesi, (4.10) ifadesine yerleştirilirse, (4.9) ifadesi,

$$\sum_{i=1}^N \mu_{i,T,1 \text{ atm}}^{\text{saf}} \nu_i + \bar{R}T \sum_{i=1}^N \ln P_i^{\nu_i} = 0 \quad (4.12)$$

şeklini alır. Buradaki 1. terim tablolar halinde verilmiş olup, çeşitli reaksiyonlar için, belirtilen serbest reaksiyon entalpisidir.

$$\Delta G_R^0 = \sum \mu_{i,T,1 \text{ atm}}^{\text{saf}} \nu_i$$

Kısmi basınçlar cinsinden denge sabiti,

$$K_p = \prod P_i^{\nu_i} \quad (4.13)$$

şeklinde tanımlandığından denklem (4.12) den

$$\bar{R}T \ln K_p = - \Delta G_R^0$$

buradan da,

$$K_p = e^{-\Delta G_R^0 / \bar{R}T} \quad (4.14)$$

elde edilir. ΔG_R^0 dolayısıyla sadece sıcaklığa bağlıdır.

3.1.3 Denge Bileşiminin Hesabı

Bir reaksiyon ortamında kimyasal denge durumundaki konsantrasyonlar, genel olarak, reaksiyonun tipine ve başlangıçtaki gaz karışımının bileşimine bağlıdır. Denge bileşimi hacim yüzdeleri cinsinden,

$$X_{id} = \frac{n_{id}}{n_{id}} \quad (4.15)$$

ifadesiyle belirlidir. i bileşeninin denge durumundaki mol sayısı n_{id} için,

$$n_{id} = n_{io} - n_{10} \alpha_1 (v_i/v_1) \quad (4.16)$$

bağıntısı geçerlidir. Bu ifade,

$$\frac{n_{10} - n_{1d}}{v_1} = \frac{n_{20} - n_{2d}}{v_2} = \frac{n_{30} - n_{3d}}{v_3} = \dots \quad (4.17)$$

şeklinde stikometrik eşitliklerden türetilmiştir. [9]

Denklem (4.16)'da görülen α_1 , 1 üzerinden tanımlanmış kimyasal dönüşümdür:

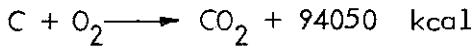
$$\alpha_1 = \frac{n_{10} - n_{1d}}{n_{10}} \quad (4.18)$$

(4.16) no'lu denkleme göre n_{id} her bileşen için ayrıca yazılır ve toplanırsa, denge durumundaki toplam mol sayısı için

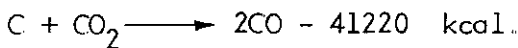
$$\sum n_{id} = \sum n_{io} - n_{10} \alpha_1 (\sum v_i/v_1) \quad (4.19)$$

ifadesi elde edilir. Bu bağıntılarda "O" indisi başlangıç "d" indisi ise denge durumunu belirlemektedir.

Jeneratör gazı üretiminde yanma bölgesinde



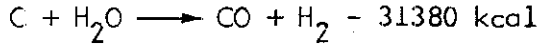
reaksiyonu meydana gelerek CO_2 oluşmakta; CO_2 'in CO'e dönüşümü ise indirgenme bölgesinde olup,



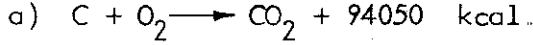
reaksiyonuyla meydana gelmektedir.

Yukarıda oluşan reaksiyonlarla birlikte, jeneratörde kullanacağımız

kömür içerisinde hatırı sayılır derecede rutubet bulunduğundan



reaksiyonunda oluşacaktır. Belirtilen bu reaksiyonların dönüşüm miktarları ve denge konsantrasyonları sıra ile aşağıda hesaplanacaktır.



reaksiyonun $T = 1300^\circ K$ de ve $P = 1 \text{ atm.}$ de olduğu göz önünde bulundurularak, bu sıcaklık için $K_p = 8,252 \times 10^{15}$ olarak tablodan okunur. [9] Stikometrik katsayılar:

$$\nu_1 = -1, \quad \nu_2 = 1 \quad \text{ve} \quad \Delta \nu_1 = 0 \text{ 'dır.}$$

$$n_{1d} = n_{10} - n_{10} \alpha_1 \left(\frac{1}{1} \right) = n_{10} (1 - \alpha_1)$$

$$n_{2d} = -n_{10} \alpha_1 \left(- \frac{1}{1} \right) = n_{10} \alpha_1$$

$$\sum n_{id} = n_{10} - n_{10} \alpha_1 \left(\frac{0}{-1} \right) = n_{10} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Denge durumundaki kısmi basınçlar:

$$P_{O_2} = \frac{n_{10} (1 - \alpha_1)}{n_{10}} P_d = (1 - \alpha_1) P_d; \quad P_{CO_2} = \frac{n_{10} \alpha_1}{n_{10}} P_d = \alpha_1 P_d$$

Denge sabiti için:

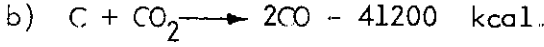
$$K_p = 8,252 \times 10^{15} = \left(\frac{P_{CO_2}}{P_{O_2}} \right)_d$$

$$8,252 \times 10^{15} = \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1} \quad \text{buradan}$$

$$\alpha_1 \cong 1 \quad \text{olarak bulunur.}$$

Bu durumda denge konsantrasyonları:

$$X_{O_2} = 1 - \alpha_1 = 0 \quad , \quad X_{CO_2} = \alpha_1 = 1 \quad \text{olarak belirlenir.}$$



reaksiyonu $T = 1200^\circ K$ de oluşmaktadır. $P = 1 \text{ atm.}$ dir. Tablodan $T = 1200^\circ K$ için denge sabiti, $K_p = 57,09$ okunur. [9]

Stikometrik katsayılar $\nu_1 = -1$, $\nu_2 = 2$ ve $\Delta \nu_i = 1$ dir.

$$n_{1d} = n_{10} - n_{10} \alpha_1 \left(\frac{-1}{-1} \right) = n_{10} (1 - \alpha_1)$$

$$n_{2d} = -n_{10} \alpha_1 \left(\frac{2}{-1} \right) = 2n_{10} \alpha_1$$

$$\sum n_{id} = n_{10} - n_{10} \alpha_1 \left(\frac{1}{-1} \right) = n_{10} (1 + \alpha_1) \quad \text{olur.}$$

Denge durumundaki kısmi basınçlar:

$$P_{CO_2} = \frac{1 - \alpha_1}{1 + \alpha_1} P_d, \quad P_{CO} = \frac{2\alpha_1}{1 + \alpha_1} P_d \quad \text{şeklinde belirlenir.}$$

Denge sabiti için,

$$K_p = \left(\frac{P_{CO}^2}{P_{CO_2}} \right) d$$

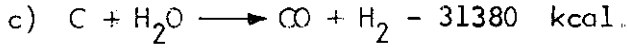
$$57,09 = \frac{4\alpha_1^2}{1 - \alpha_1^2} \quad \text{buradan } \alpha_1 = 0,960 \text{ olarak bulunur. Denge konsan-}$$

trasyonları

$$X_{CO_2} = \frac{1 - \alpha_1}{1 + \alpha_1} = \frac{1 - 0,96}{1,96} = 0,020$$

$$X_{CO} = \frac{2\alpha_1}{1+\alpha_1} = \frac{2 \times 0,96}{1,96} = 0,979$$

olarak tespit edilir.



reaksiyon $T = 1300^\circ K$ olduğu ve $P = 1 \text{ atm.}$ olduğuna göre, tablodaki denge sabiti

$K_p = 1,135 \times 10^2$ olarak okunur. [9]

Stikometrik katsayılar:

$$\nu_1 = -1, \nu_2 = 1, \nu_3 = 1 \text{ ve } \Delta \nu_i = 1$$

$$n_{1d} = n_{10} - n_{10} \alpha_1 \left(\frac{-1}{-1} \right) = n_{10} (1 - \alpha_1)$$

$$n_{2d} = -n_{10} \alpha_1 \left(\frac{1}{-1} \right) = n_{10} \alpha_1$$

$$n_{3d} = -n_{10} \alpha_1 \left(\frac{1}{-1} \right) = n_{10} \alpha_1$$

$$\sum n_{id} = n_{10} - n_{10} \alpha_1 \left(\frac{1}{-1} \right) = n_{10} (1 + \alpha_1)$$

denge durumundaki kısmi basınçlar

$$P_{H_2O} = \left(\frac{1 - \alpha_1}{1 + \alpha_1} \right) P_d$$

$$P_{CO} = \left(\frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1} \right) P_d$$

$$P_{H_2} = \left(\frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1} \right) P_d$$

Denge sabiti için,

$$K_p = \left(\frac{P_{CO} P_{H_2}}{P_{H_2O}} \right) d$$

$$K_p = 1,135 \times 10^2 = \frac{\alpha_1^2}{1 - \alpha_1^2}$$

$$113,5 - 113,5 \alpha_1^2 = \alpha_1^2 \quad \text{buradan}$$

$$\alpha_1 = 0,99 \text{ olarak bulunur.}$$

Denge konsantrasyonları:

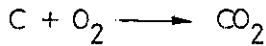
$$X_{H_2O} = \frac{1 - \alpha_1}{1 + \alpha_1} = \frac{1 - 0,99}{1 + 0,99} = 5,025 \times 10^{-3}$$

$$X_{CO} = \frac{1}{1 + \alpha_1} = \frac{0,99}{1 + 0,99} = 0,497$$

$$X_{H_2} = \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1} = \frac{0,99}{1 + 0,99} = 0,497 \text{ şeklinde tespit edilir.}$$

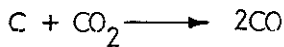
Hava ile Jeneratör gazı üretiminde kimyasal dönüşüm

Hava ile jeneratör gazı üretiminde kimyasal dönüşümü denge sabiti K_p ve proses basıncı P_d cinsinden hesaplanabilir. Yanma bölgesinde hava üfleme-
te ve burada,



reaksiyonu oluşmaktadır. Bu demektir ki, 1 kmol oksijenden 1 kmol CO_2 ortaya çıkmaktadır. Bünyesinde 1 kmol O_2 bulunduran minimum miktarındaki hava içinde 0,89/0,21 kmol azot bulunmaktadır.

İndirgeme bölgesine sadece $(CO_2 + N_2)$ karışımı girmekte,



denkleminde göre CO oluşmaktadır. $CO_2 = 1$, $CO = 2$ ile,

$$n_{1d} = n_{10} (1 - \alpha_1), \quad n_{2d} = 2n_{10} \alpha_1$$

$$n_{N_2,d} = \frac{0,79}{0,21} \text{ kmol}, \quad n_{10} = 1 \text{ kmol} \quad \text{ve} \quad \sum n_{id} = \frac{1 + 0,21 \alpha_1}{0,21}$$

hesaplanır. Bu ifadelerle denge sabiti

$$K_p = \frac{P_{CO}^2}{P_{CO_2}}$$
$$= \frac{4 \cdot 0,21 P_d \alpha_1^2}{1 - 0,79 \alpha_1 - 0,21 \alpha_1^2}$$

buradan da,

$$0,21(4 P_d + K_p) \alpha_1^2 + 0,79 K_p \alpha_1 - K_p = 0$$

denklemini bulunur. Bu denklemden denge dönüşümü için,

$$\alpha_1 = \frac{K_p}{4P_d + K_p} \left[\sqrt{\left(\frac{0,79}{2 \cdot 0,21}\right)^2 + \frac{4P_d + K_p}{0,21 K_p}} - \frac{0,79}{2 \cdot 0,21} \right]$$

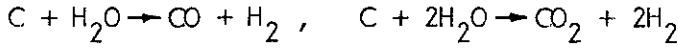
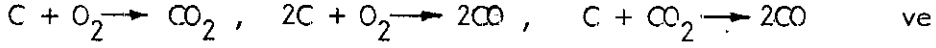
ifadesi elde edilir.

Yukarıdaki denklemde $P_d = 1$ atm. alınıp, değişik sıcaklıklara karşı gelen K_p değerleri tablodan okunur. [9] Okunan bu değerler yukarıdaki eşitlikte yerine konulursa aşağıda tablo halinde verilen α_1 değerleri tespit edilmiş olur.

Sıcaklık T [K]	Denge Sabiti K_p	Kimyasal Dönüşüm α_1
1000	1,9	0,772
1100	12,20	0,948
1200	57,09	0,987
1300	$2,083 \times 10^2$	0,996
1400	$6,286 \times 10^2$	0,998
1500	$1,623 \times 10^3$	0,999
1750	$1,038 \times 10^4$	0,999
2000	$3,971 \times 10^4$	0,999

4.2 Reaksiyon Kinetiği

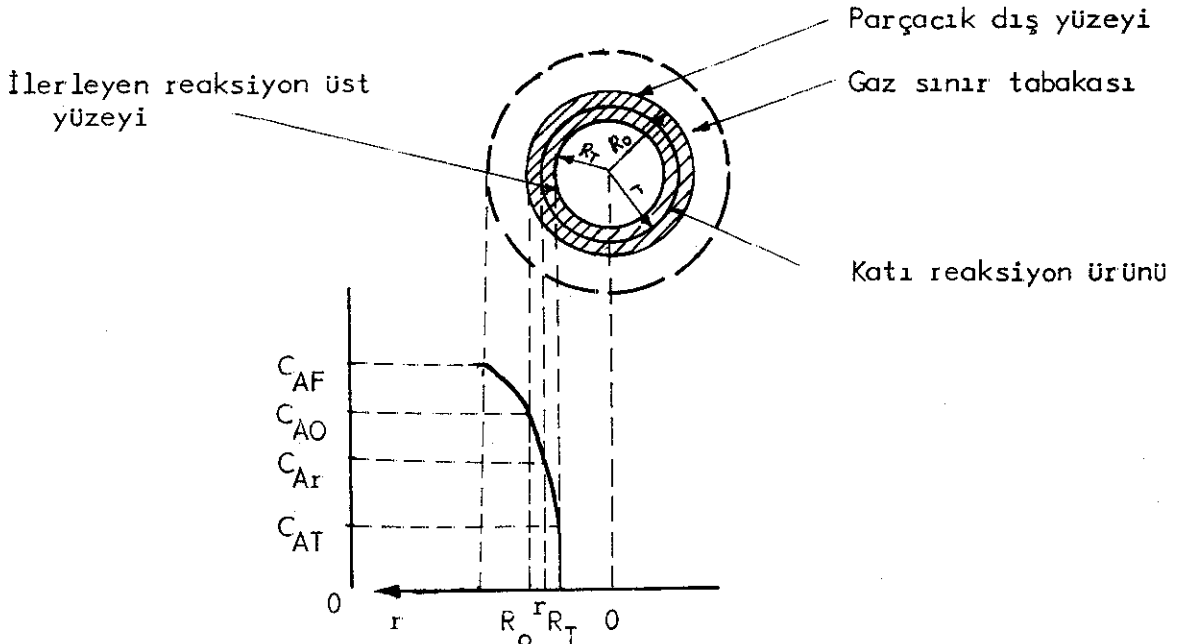
Yanmanın bir kimyasal proses olduğu bilinmektedir. Yanma, şayet gaz-katı arasında oluyorsa heterojen, eğer gaz-gaz arasında oluyorsa homojen reaksiyondan söz edilir. Burada katalitik olmayan heterojen reaksiyonların reaksiyon kinetikleri incelenecektir. Daha öncede belirtildiği gibi kömürden gaz yakıt üretimine esas olan reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.



reaksiyonlarıdır.

Reaksiyon kinetiği, reaksiyona giren bir bileşene ait konsantrasyonun zamana göre diferansiyel değişimi şeklinde anlaşılmakta, genellikle reaksiyon hız sabiti ve reaksiyona giren gazların konsantrasyonları cinsinden ifade edilir. Reaksiyon hızı reaktanlar için negatif, reaksiyon ürünlere için pozitiftir.

Jeneratörlerde reaksiyon kinetiğini teorik ve mükemmel biçimde incelemek mümkün değildir. Bu konu elementer olarak ele alınmış ve "Küçülen küresel tanecik modeli" ile incelenmiştir. [3]



Şekil 5. Katı yakıtların "Küçülen küresel tanecik modeline" göre küresel taneciklerin konsantrasyon profilinin şematik gösterilişi.

C_{AF} : A gaz bileşeninin gaz filmi başlangıcında molar konsantrasyonu.

C_{AO} : C_A 'nın $t=0$ anındaki konsantrasyonu

C_{Ar} : C_A 'nın herhangi bir t anındaki molar konsantrasyonu

C_{AT} : Artık katı taneciği yüzeyinde molar konsantrasyonu.

Genel reaksiyon:



Küçülen küresel tanecik modeli üzerinde hesaplamalara esas olan kademeler:

- a) A'nın gaz filmi içinde difüzyonu ve B katısının yüzeyine erişmesi,
- b) A'nın B ile katı yüzeyinde reaksiyona girmesi,
- c) D reaksiyon ürününün katı yüzeyini terkederek gaz filmin içinde difüzyonlanması.

Matematiksel Tanım:

Kütle transferi:

$$-\frac{dn_A}{dt} = 4\pi R_o^2 \beta (C_{AF} - C_{AO}) \quad (4.20)$$

Küçülen tanecik yüzeyinde reaksiyon kinetiği

$r = R_T$ de

$$-\frac{dn_A}{dt} = 4\pi R_T^2 D \left(\frac{dC_A}{dr} \right)_{r=R_T} \quad (4.21)$$

Burada β : kütle transfer katsayısı

$\frac{dC_A}{dr}$: konsantrasyon gradyanı

D: difüzyon katsayısı

Katı yüzeyinde 1. mertebeden reaksiyon

$$-\frac{dn_A}{dt} = 4 R_T^2 k C_{AT} \quad (4.22)$$

k: reaksiyon hız sabiti.

Küresel koordinatlarda tanecik etrafında konsantrasyon dağılımı,

$$\frac{d^2 C_A}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dC_A}{dr} = 0 \quad (4.23)$$

denklemleriyle bilirlidir.

Sınır şartları:

$$C_A = C_{AO} \quad r = R_O$$

$$C_A = C_{AT} \quad r = R_T$$

(4.23) diferansiyel denklemi bu sınır şartları dikkate alınarak iki defa entegre edilirse,

$$C_A = C_{AT} + (C_{AO} - C_{AT}) \frac{(1 - R_T/r)}{(1 - R_T/R_O)} \quad (4.24)$$

elde edilir. Buradan

$$\left(\frac{dC_A}{dr} \right)_{r=R_T} = \frac{C_{AO} - C_{AT}}{R_T \left(1 - \frac{R_T}{R_O} \right)}$$

bu eşitliği (4.21)'e yerleştirirsek,

$$-\frac{dn_A}{dt} = 4\pi R_T D \frac{C_{AO} - C_{AT}}{1 - \frac{R_T}{R_O}}$$

bulunur. Bu ifadeler (4.20), (4.21) ve (4.22)'ye yerleştirilirse,

$$C_{AT} = \frac{C_{AF}}{1 + \frac{k}{\beta} \left(\frac{R_T}{R_O} \right)^2 + \frac{k R_T}{D} \left(1 - \frac{R_T}{R_O} \right)} \quad (4.25)$$

Bu ifadeyle ve (4.22) ile birim zamanda dönüşen A miktarı,

$$\frac{dn_A}{dt} = - \frac{4\pi R_T^2 k C_{AF}}{1 + \frac{k}{\beta} \left(\frac{R_T}{R_o}\right)^2 + \frac{kR_T}{D} \left(1 - \frac{R_T}{R_o}\right)} \quad (4.26)$$

olur.

Bu bağıntı birim hacimdeki tanecik sayısı Z ile çarpılırsa birim hacimdeki dönüşüm elde edilir.

Katı tanecik çapının zamana göre değişimi:

$$R_T = f(t)$$

R_T ile B katı madde çekirdeği arasında aşağıdaki münasebet vardır.

$$\begin{aligned} \frac{dn_B}{dt} &= \frac{\rho_B}{M_B} \frac{dV_B}{dt} = \frac{\rho_B}{M_B} \frac{dV_B}{dR_T} \frac{dR_T}{dt} \\ &= \frac{\rho_B}{M_B} \frac{dR_T}{dt} \frac{d}{dR_T} \left(\frac{4\pi}{3} R_T^3 \right) \\ &= \frac{4\pi R_T^2 \rho_B}{M_B} \frac{dR_T}{dt} \end{aligned} \quad (4.27)$$

Stokiyometri:

$$\frac{dn_A}{dt} = \frac{1}{|\nu_B|} \frac{dn_B}{dt} = \frac{4\pi R_T^2 \rho_B}{|\nu_B| M_B} \frac{dR_T}{dt}$$

eşitlik(4.22) de yerine konulursa,

$$\frac{dR_T}{dt} = \frac{|\nu_B| M_B k C_{AT}}{\rho_B} \quad (4.28)$$

elde edilir. Bu ifade (4.25) denklemi ile,

$$\frac{dR_T}{dt} = - \frac{|\gamma_B| M_B k}{\rho_B} \frac{C_{AF}}{1 + \frac{k}{\beta} \left(\frac{R_T}{R_o}\right)^2 + \frac{k R_T}{D} \left(1 - \frac{R_T}{R_o}\right)} \quad (4.29)$$

denklemi elde edilir.

Burada,

ρ_B, M_B, V_B : B katı madde çekirdeğinin yoğunluğu, mol kütlesi, ve hacmi-
dir.

C_{AF} zamana ve yere göre sabitse (4.29) eşitliğinden entegrasyonla, t ve R_T arasındaki bağıntı bulunur, Bu durumda,

$$t = \frac{\rho_B R_o}{|\gamma_B| M_B k C_{AF}} \left[\left(1 - \frac{R_T}{R_o}\right) + \frac{k}{3\beta} \left(1 - \frac{R_T^3}{R_o^3}\right) + \frac{k R_o}{D} \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{2} \frac{R_T^2}{R_o^2} + \frac{1}{3} \frac{R_T^3}{R_o^3} \right) \right] \quad (4.30)$$

B katı maddenin kimyasal dönüşümü α_B ile R_T arasındaki bağıntı,

$$\alpha_B = 1 - \frac{m_B}{m_{Bo}} = 1 - \frac{\frac{4}{3} \pi R_T^3 \rho_B}{\frac{4}{3} \pi R_o^3 \rho_B} = 1 - \left(\frac{R_T}{R_o}\right)^3 \quad (4.31)$$

şeklindedir.

Eşitlik(4.30)'de $k \gg \beta$ ve $k R_o \ll D$ ise, bu eşitliğin köşeli parantezin-
deki ikinci kısmı diğer iki kısımdan daha büyüktür. Onun için bunlar dikkate
alınmayabilir. Bu durumda dönüşüm hızı kütle transferiyle tayin ediliyorsa
(4.30) ve (4.31) bağıntılarından

$$t = \frac{\rho_B R_o}{3 |\gamma_B| M_B \beta C_{AF}} \alpha_B \quad (4.32)$$

elde edilir.

t_{fin} zamanı için ($\alpha_B = 1$)

$$t_{fin} = \frac{\rho_B R_o}{3 \nu_B M_B \beta C_{AF}} \quad (4.33)$$

Bağıntı (4.32) ve (4.33)'den

$\frac{t}{t_{fin}} = \alpha_B$ elde edilir. Bu durumda α_B ile $\frac{t}{t_{fin}}$ arasında lineer bağıntı ortaya çıkar. (Şekil 6-"a" eğrisi)

Eğer $\beta \gg k$ ve $D \gg kR_o$ ise, bu durumda reaktörde katmanlar arasında difüzyon direnci dikkate alınmayabilir ve kimyasal hız dönüşüm hızı için çok önemlidir. (4.30) ve (4.31) bağıntılarından:

$$t = \frac{\rho_B R_o}{|\nu_B| M_B k C_{AF}} \left[1 - (1 - \alpha_B)^{1/3} \right] \quad (4.34)$$

B'nin tam yer değiştirmesinden sonraki t_{fin} zamanı ($\alpha_B = 1$)

$$t_{fin} = \frac{\rho_B R_o}{|\nu_B| M_B k C_{AF}} \quad (4.35)$$

Eşitlik (4) ve (5) den

$$\frac{t}{t_{fin}} = 1 - (1 - \alpha_B)^{1/3} \quad (4.36)$$

olur. α_B ve t/t_{fin} arasında bağıntı bu formüle göre (Şekil. 6-"b" eğrisi) ifadelendirildi.

Gözenekli tabakada, A'nın difüzyonu $k R_o \gg D$ ve $\beta \gg k$ ise, A'nın difüzyonu dönüşüm hızını tayin eder. (4.30) eşitliğinin ilk iki bölümü dikkate alınmaz ve (4.31) eşitliğinin dikkate alınmasıyla;

$$t = \frac{\rho_B R_o^2}{6 |\nu_B| M_B D C_{AF}} \left[3-3(1-\alpha_B)^{2/3}-2\alpha_B \right] \quad (4.37)$$

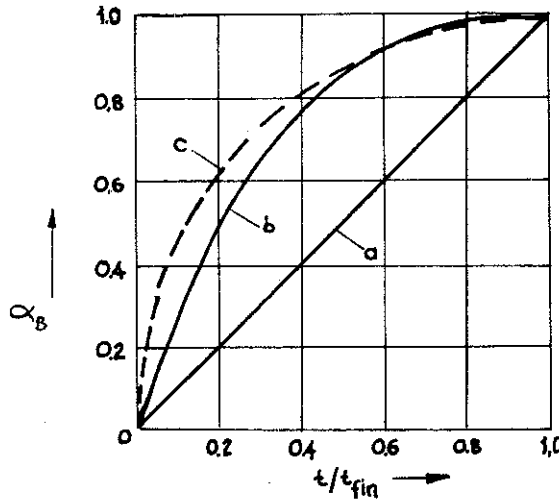
elde edilir. t_{fin} zamanı için ($\alpha_B=1$)

$$t_{fin} = \frac{\rho_B R_o^2}{6 |\nu_B| M_B D C_{AF}} \quad (4.38)$$

ve ikisini oranlarsak,

$$\frac{t}{t_{fin}} = 3-3(1-\alpha_B)^{2/3}-2\alpha_B \quad (4.39)$$

α_B ile t/t_{fin} arasındaki ilişki (4.39) eşitliğine uygun olarak Şekil "C" eğrisi gösterilmiştir.



- a- kütle transferinde
- b- kimyasal reaksiyonda
- c- Gaz şeklindeki reaksiyon ortamının gözenekli curuf tabakada difüzyonu.

Şekil 6- Küre şeklindeki tek bir katı madde parçasının reaksiyon hareketi, çevresindeki sıvı reaksiyon ortamı ile birlikte katı maddenin α_B dönüşüm miktarı ile t/t_{fin} fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. t_{fin} =tüm miktar için lüzumlu zaman.

5. İSPARTA İÇİN STOKİOMETRİK HESAPLAR

5.1 Gaz Miktarı

Üretilecek gazın ısı değerinin $H_a = 2000 \text{ kcal/Nm}^3$ olacağını düşünerek, Ankara havagazı Fabrikasında üretilen ve alt ısı değeri $H_a = 2900 \text{ kcal/Nm}^3$ olan şehir gazından her bir konutta günde 3 Nm^3 gaz verildiğine göre, ürettiğimiz gazdan Isparta'da her bir eve vereceğimiz gaz miktarı:

$$V_G = \frac{2900(\text{kcal/Nm}^3) \times 3 \text{ Nm}^3/\text{gün}}{2000 \text{ kcal/Nm}^3} = 4,35 (\text{Nm}^3/\text{gün konut})$$

$$V_G = 4,5 (\text{Nm}^3/\text{gün konut})$$

Isparta ilinin nüfusu 100000 civarında olduğuna göre ve her ailede yaklaşık 4 kişinin oturduğunu da göz önünde bulundurulursa günlük üretilecek gaz miktarı:

$$V_G = \frac{100000}{4} \times 4,5 (\text{Nm}^3/\text{gün})$$

$$V_G = 122500 (\text{Nm}^3/\text{gün})$$

olarak tespit edilmiş olur.

Şehirde mevcut konutlardan ayrı olarak, yatılı okulların, öğrenci yurtlarının, otellerin, kamu ve özel sektöre ait dairelerin de göz önüne alınmasıyla günlük üretilmesi düşünülen gaz miktarı da artmış olacaktır. Bu birimlerin gaz ihtiyacıyla birlikte günlük gaz ihtiyacı yaklaşık,

$$V_G = 140000 (\text{Nm}^3/\text{gün})$$

dolaylarında tahmin edilmektedir. Ortalama olarak gece saat 24^{00} den, sabah 6^{00} a kadar gaz tüketim miktarı çok düşük bir seviyeye düşecektir.

Bu zaman aralıkları içerisinde kullanılan gaz miktarını sıfır kabul ede-

rek, bir konutun ihtiyacı olan gazın 18 saat içerisinde kullanılacağını varsayarak direkt evlerde kullanılmak üzere yüksek basınç hattına saatte gönderilmesi gereken gaz miktarı:

$$V_G = \frac{140000 \text{ (Nm}^3\text{)}}{18 \text{ saat}} = 7800 \text{ (Nm}^3\text{/h)} \text{ miktarındadır.}$$

Yani burada bir günün sanki 18 saat olduğu kabul edilmiştir.

5.2 Jeneratörde Yakılması Gereken Kömür Miktarı

Winkler Jeneratörlerinde birim üretim sarfıyatı

$$M_y = 0,290 \text{ (kg kömür/Nm}^3 \text{ gaz)}$$

olduğuna göre, 140000 Nm³ gaz üretebilmek için gerekli kömür miktarı,

$$M_y = 0,290 \text{ (kg kömür/Nm}^3\text{)} \times 140000 \text{ (Nm}^3\text{/gün)}$$

$$M_y = 30600 \text{ kg/gün}$$

$$M_y = 30,6 = 31 \text{ (ton/gün)} \text{ şeklinde bulunmuş olur.}$$

Kömürün Özellikleri

Kuru kömürde üst ısı değeri $H_u = 3546 \text{ kcal/kg}$

Kuru kömürde alt ısı değeri $H_a = 3344 \text{ kcal/kg}$

Toplam rutubet = % 22

Kuru kömürde kül = % 32,03

Kuru kömürde kükürt = % 4,93

Kükürt yüzdesi dikkate alınarak, kömür jeneratöre verilmeden kükürt giderici bir işleme tabi tutulmaktadır.

5.3 Jeneratöre Verilecek Hava Miktarı

Üretilecek gazın hacim yüzdeleri cinsinden bileşenleri:

H₂ : % 19,3

CO : % 22,2

CH ₄	: % 8,4
C _n H _m	: % 0,6
CO ₂	: % 6
N ₂	: % 43,7

şeklinde olacağı kabul edilmektedir.



Temel: 100 kmol gaz.

Kullanacağımız kömür içerisindeki karbon miktarı % 58 kabul edilerek,

$$\text{C- denkliği} \quad 0,58 K = (6 + 22,2 + 8,4 + 0,6) \times 12 = 446,4 \text{ kg}$$

$$K = 769,6 \text{ kg.}$$

$$\text{N-denklği} \quad 43,7 = 0,79 H \Rightarrow H = 55,3 \text{ kmol.}$$

Bu değerlere göre 1 kg kömür için jeneratöre verilecek hava miktarı;

$$V_H = \frac{55,3 \text{ kmol Hava}}{769,6 \text{ kg kömür}} \times \frac{22,4 \text{ Nm}^3}{\text{kmol gaz}}$$

$$V_H = 1,61 \left(\frac{\text{Nm}^3 \text{ Hava}}{\text{kg Kömür}} \right) \text{ olarak hava miktarı tespit edilmiş olur.}$$

Jeneratörlerde 1 günde yaklaşık $M_y = 31$ ton kömür kullanıldığına göre, bu değer için gerekli hava miktarı

$$V_{\text{Hava}} = 1,61 (\text{Nm}^3 \text{ Hava}) \times 31000 (\text{kg kömür/gün})$$

$$V_{\text{Hava}} = 49910 \text{ (Nm}^3 \text{ Hava/gün)} \text{ olarak bulunur.}$$

Kömür içerisindeki su miktarı istenen değerlerin üzerinde olduğu için, jeneratöre ayrıca su-buharı gönderilmeyecektir.

Sonuç Olarak,

$$\text{Günlük üretilecek gaz miktarı : } V_{\text{Gaz}} = 140000 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Günlük tüketilecek kömür mik. : } M_y = 31 \text{ ton}$$

$$\text{Jeneratöre verilecek hava mik.: } V_{\text{Hava}} = 49910 \text{ (Nm}^3 \text{ Hava/gün)}$$

değerleri proje için esas kabul edilmiştir.

6. JENERATÖR ADEDİ VE BOYUTLARI

Daha öncede belirtildiği gibi bu projede Winkler gazlaştırmaları kullanılacaktır. Bu jeneratörlerin ana özellikleri ve boyutları;

$$\text{Günlük gaz üretimi} \quad V_G = 104000 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Jeneratör yüksekliği} \quad h = 650 \text{ cm } (=6,5 \text{ m})$$

$$\text{Jeneratör iç çapı} \quad d = 275 \text{ cm } (=2,75 \text{ m})$$

$$\text{Izgara yüksekliği} \quad h_{iz} = 70 \text{ cm}$$

$$\text{Su çanağı yüksekliği} \quad h_{sç} = 85 \text{ cm}$$

şeklindedir.

Isparta ilinin günlük gaz ihtiyacı $V_G = 140000 \text{ Nm}^3$ olduğuna göre, kullanılacak jeneratörlerin ürettiği gaz miktarı $V_G = 104000 \text{ (Nm}^3/\text{gün)}$ olduğuna göre, gerekli jeneratör adedi,

$$n = \frac{140000 \text{ (Nm}^3/\text{gün})}{104000 \text{ (Nm}^3/\text{gün})}$$

$$n = 1,35 \text{ bulunur. Buradan,}$$

Jeneratör adedini $n = 2$ olarak alabiliriz.

Bütün bunlarla birlikte, teorik olarak verilen jeneratör kapasitelerinin pratikte gerçekleşmeyeceğini hesaba katarak, muhtemel arızaları ve yıllık bakımları da gözönünde bulundurarak emniyet açısından jeneratör sayısını 3 adet olarak tespit etmemiz daha uygun olacaktır. Neticede yukarıda boyutları ve özellikleri verilen jeneratörlerden Isparta için

$$n = 3 \text{ adet olarak alınabilir.}$$

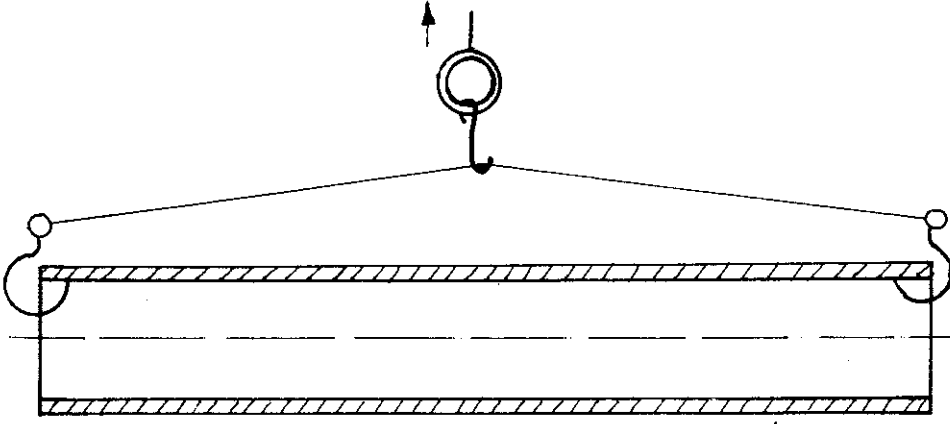
7. DAĞITIM ŞEBEKESİNİN BELİRLENMESİ

Günde 140.000 Nm³ gaz üretecek olan Isparta jeneratör gazı fabrikası, tesislerde kullanılacak Kovataş kömürlerinin çıkarıldığı yer olan Eğridir-Akbenli köyü yakınlarında kurulması düşünülmektedir. Bu yerin Eğridir'e uzaklığı 33 km olup, Isparta'ya olan toplam uzaklık 66 km civarındadır. Üretilen gaz yüksek basınç kompresörleriyle Isparta'ya kadar iletilecektir. Isparta'daki dağıtım ise şehri çevreleyen ana yollarda bir yüksek basınç şebeke ringi oluşturularak, en uzak konutlara dahi bu hattan gaz verilebilecektir. Dağıtım şebekesi belirlenirken, uyulması gereken ve dikkat edilmesi zaruri olan bazı özellikleri vurgulamakta fayda vardır.

7.1 Şebeke İçin Genel Bilgiler

Trafiğin olduğu yollar, sokaklar ve caddelerde yapılacak kazıların trafiği aksatmaması için, öncelikle abonelere dağıtım yapan tesisler yaya kaldırımının altına, ana besleme hatları da ana yolların altına yerleştirilir. Yaya kaldırımı, döşeli ve ileride döşemesi beklenen abone dağıtım tesislerini içine alabildikten sonra istenen genişlikte olması durumunda, ana besleme hatları da buralara döşenebilir. (TS 1097).

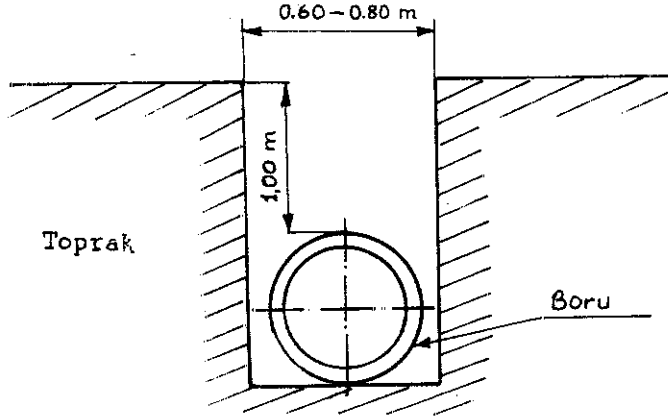
Şehir içi ve şehir dışı boruların döşemesi için seçilen güzergah belirlenir. Bu güzergah üzerindeki ağaç, kaya, tümsek gibi engeller kaldırılır. Hesaplamalar sonucu hattın döşemesinde gerekli olan boru, dirsekler, kaynak malzemeleri, su toplama ve gaz kesme kazanları, flanşlar, vanalar ve diğer malzemeler hazırlanır. Borular yerleştirilecekleri hat boyunca uzatıldıktan sonra kanal açma işine geçilir, bu durum borunun daha kolay yerleştirilmesine sebep olur. Döşenecek borular Ø 200 mm ve daha büyük çaplı ise yükleme vinçle yapılır.



Şekil 6. borunun kanala taşınması

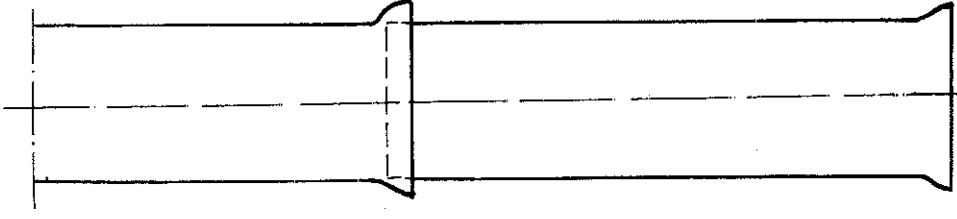
Kanal kazımı için, kanalın geçeceği yerin alt yapısı bilinmediğinden kanal hattına dik olarak 0,80 x 1,50 m. boyutlarında, derinliği duruma göre değişen ve makas adı verilen çukurlar açılır. Bu çukurlarda şebekeye engel olabilecek su boruları, elektrik ve PTT kabloları ve kanalizasyon hatları çıkarsa kanal hattı değiştirilir.

Kanal hattının üstü beton veya asfalt ise kırıcı kompresörlerle kırılır. Kazım işi genellikle ekokavatör kullanılır. Kanal genişliği 0,5-0,8 m arasında boru çapına uygun olarak değişir. Derinliği ise, boru üzerinde 1,0 m dolgu kalacak şekilde ayarlanır.



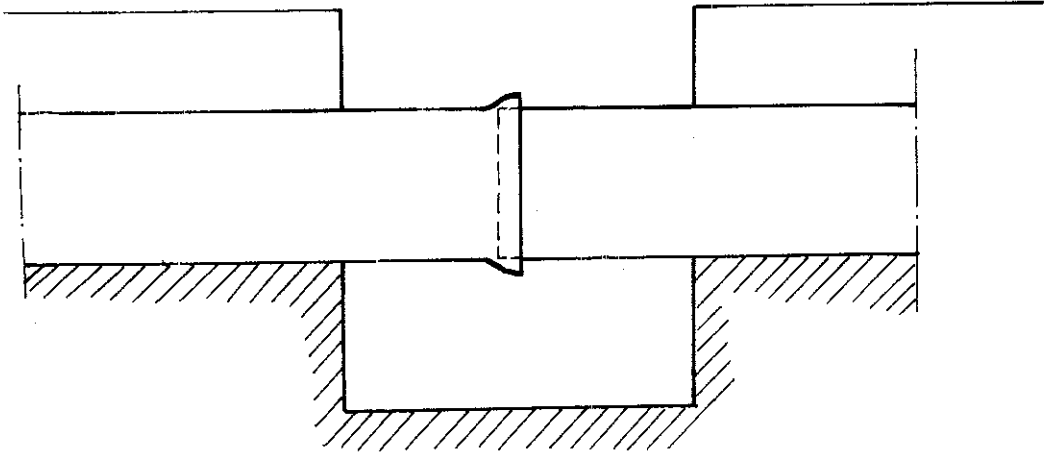
Şekil 7- Borunun kanala yerleştirilmesi.

Gaz borularının birleştirilmesinde oksijen dolgu kaynağı uygulanır. Bunun temel amacı kaynağın kalın ve kaliteli olmasıdır. Kanal dışında borular, mufları aynı yönde olmak üzere dizilmişlerdir, bir mufa bir uç gelmek üzere iki boru birleştirilir.



Şekil 8- İki borunun birleştirilmesi.

Kanala indirilmiş boruların alt kısmının kaynağını gerçekleştirebilmek için kaynakçının boru altına girebileceği kadar bir oyuk açılır.

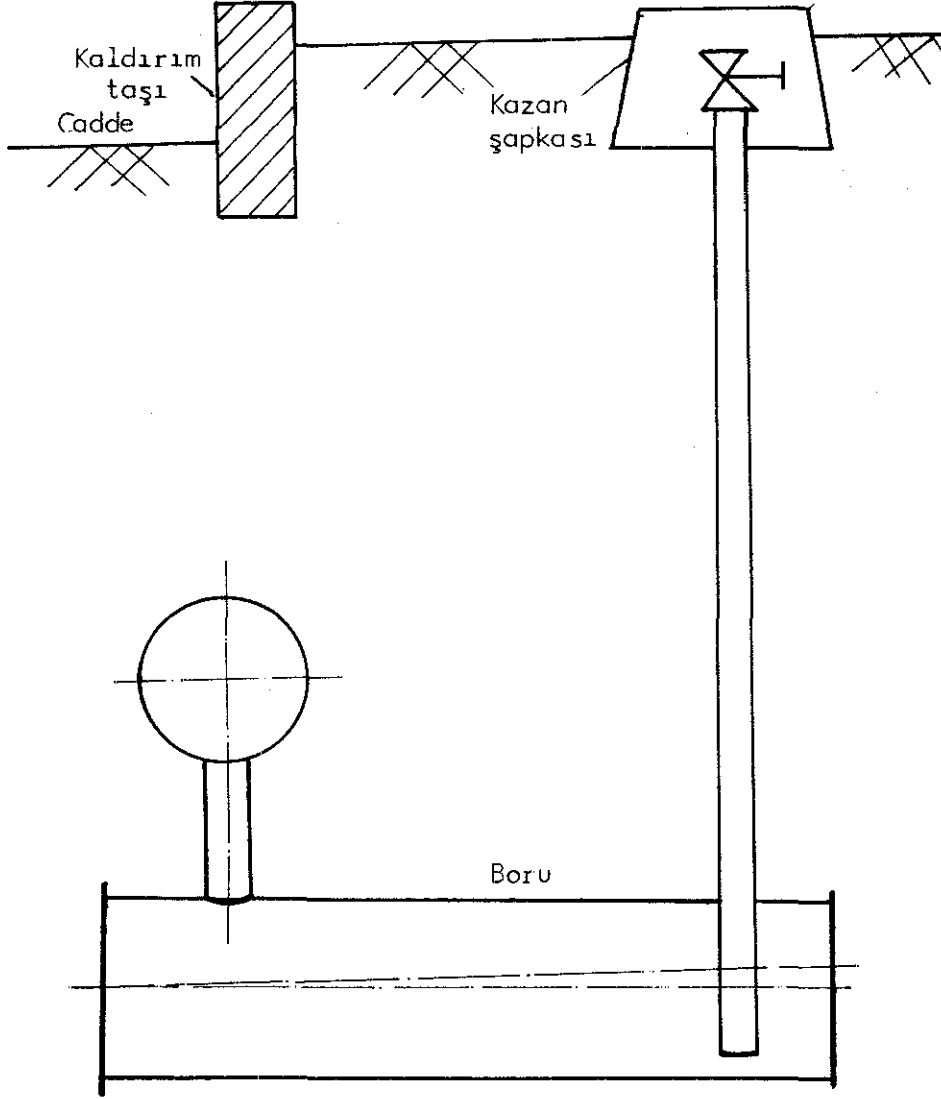


Şekil 9- Kaynak işlemi için kanal altının oyulmuş şekli.

Bu işlem bittikten sonra kaynak işlemine geçilir.

Üretilen gaz, temizleme ünîterinden geçirilir. Ancak buralarda verim tam olmadığından ve gazın tam soğutulamaması nedeniyle şebeke içine su buharı, katran, naftalin, kükürt, benzol ve diğer bazı maddeler geçerler. Gaz toprak altı ısısı nedeni ile soğuyunca bu maddeler sıvılaşır. Şebeke döşenirken bu sıvıların belli yerlerde toplanabilmeleri için yer yapısına uygun olarak eğimli olmaları sağlanmalıdır. Sıvılar, boru eğimine göre akarak en alt noktada toplanırlar. Sıvıların toplanacağı yerlere su toplama kazanları konur. Bunlar yine borudan yapılmış olup, bir uçları boru alt yüzeyine bağlı, bir ucu toprak üzerindedir.

Birleştirme boruları genellikle $\% 40$ mm dir.



Şekil 10. Su toplama kazanı

Toprak yüzeyine bir vana konarak zaman zaman sıvıların alınması sağlanır. Bu vana açıldığında yüksek basıncın etkisiyle sıvı kendiliğinden dışarı fışkırır. Toprak üstündeki vanaların üzerine kazan şapkası adı verilen kapaklar konarak, hem vananın hasar görmemesi, hem de yerlerinin belli olması sağlanır.

7.2 Şebekede Kullanılan Borular ve Korozyona Karşı Önlemler

Gaz şebekelerinde kullanılan bütün boruların içi bitüm, dışı bitüm ve çift kat cam elyafı ile izoleli olup, bir ucu mufludur. Bu boruların boyları 8 ÷ 10 m. arasında değişmektedir. Borular üretildikleri fabrikalarda izole edilmektedirler, ekte borulara ait özellikler verilmiştir.

Korozyona karşı : koruyucu kaplamalarla, katodik koruma ve koruyucu kaplama ve katodik koruma gibi önlemler alınır.

1. Koruyucu Kaplama: Korozyonu önlemek için boru dış yüzeyleri, çevredeki toprağın korozif etkisi göz önüne alınarak seçilerek bir malzeme ile kaplanır. Boru kaplamasında kullanılacak malzeme cinsi ve kaplama tipinin seçiminde, boru hattının ömrü, işletme ve bakım şartları gözönüne alınır.

a) Asfalt Kaplama: Astarlanmış boru üzerine mineral dolgu maddesi içeren asfalt veya maden kömürü zifti sıcak olarak uygulanır. Kaplama kalınlığı Ø100-200 mm arası 3 mm. Ø 200 mm.den büyük borularda 4 mm olmalıdır.

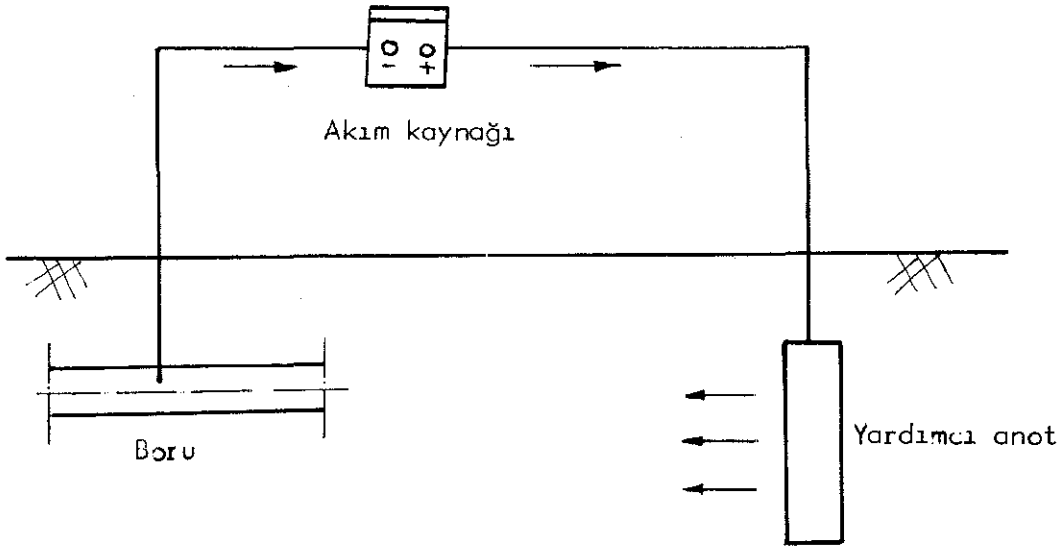
b) Tek Sargılı Kaplamalar: Asfalt kaplanmış boruların da yüzeylerine ek olarak, asfalt emdirilmiş cam tülü veya asfalt emdirilmiş asbest sargı sarılır. Burada toplam kalınlık 6 mm.den az olmamalıdır.

c) Çift Sargılı Kaplamalar: Boru dış yüzeyleri 0,8 mm asfaltla kaplanır. Bu asfalt kurumadan yine asfalt emdirilmiş cam tülü veya asbest sargı sarılır. Üçüncü tabaka olarak yeniden, en az 0,8 mm kalınlıkta sıcak asfalt kaplama yapılır. Bu tabaka üzerinede asfalt emdirilmiş cam tülü veya asbest sargı sarılır. Kaplamanın toplam kalınlığı 6 mm den az olmamalıdır.

d) Epoksi tipi boyalar ile kaplama: Boru iç ve dış yüzeyleri epoksi tipi bir boya veya epoksi-kömür katran boyası ile kaplanır. Boru dış yüzeylerinin kaplama kalınlığı en az 250 mikron olmalıdır. Bu kaplama epoksi tipi boyaların hazırlanması ve katılaşma sürelerinin sıcaklığa bağlılığı nedeniyle kullarma yerinde yapılmalıdır.

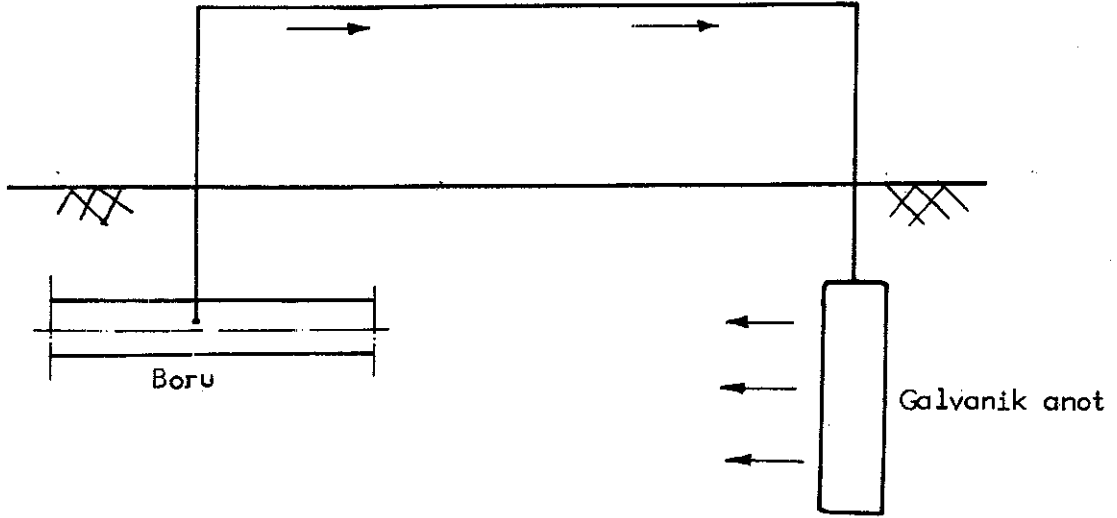
2. Katodik Koruma : Bu korumanın temel ilkesi aynı olan iki uygulama sistemi vardır. Bunlardan hangisinin seçileceği, korunacak yüzeyin büyüklüğüne, enerji kaynağının yakınlığına, zemin cinsi ve yapısına, özellikle ekonomik şartlara bağlıdır.

a) Dış Akım Kaynağı İle Katodik Koruma Sistemi: Bu sistemde gerekli akım bir doğru akım kaynağından sağlanır. Bu akımın (-) negatif ucu koruması istenen boruya ve (+) pozitif ucu yeraltına gömülmüş bir yardımcı anota veya anot gurubuna bağlanır. Katodik koruma devresine verilen akım, elektrolit olarak rol oynayan zemin içinden geçtikten sonra boru metaline (katoda) ulaşır.



Şekil 11. Dış akım kaynağı ile katodik koruma.

b) Galvanik Anotlarla Katodik Koruma Sistemi: Bu sistemin genel ilkeleri dış akım kaynağı ile katodik koruma sisteminin aynıdır. Burada katodik koruma için gerekli akım, boru veya galvanik anotlar arasında oluşan potansiyel farkından elde edilir. Katodik koruma için gerekli akım, borunun içinde bulunduğu zeminin öz direnci ile borunun kaplama niteliğine bağlıdır ve arazide tespit edilir.

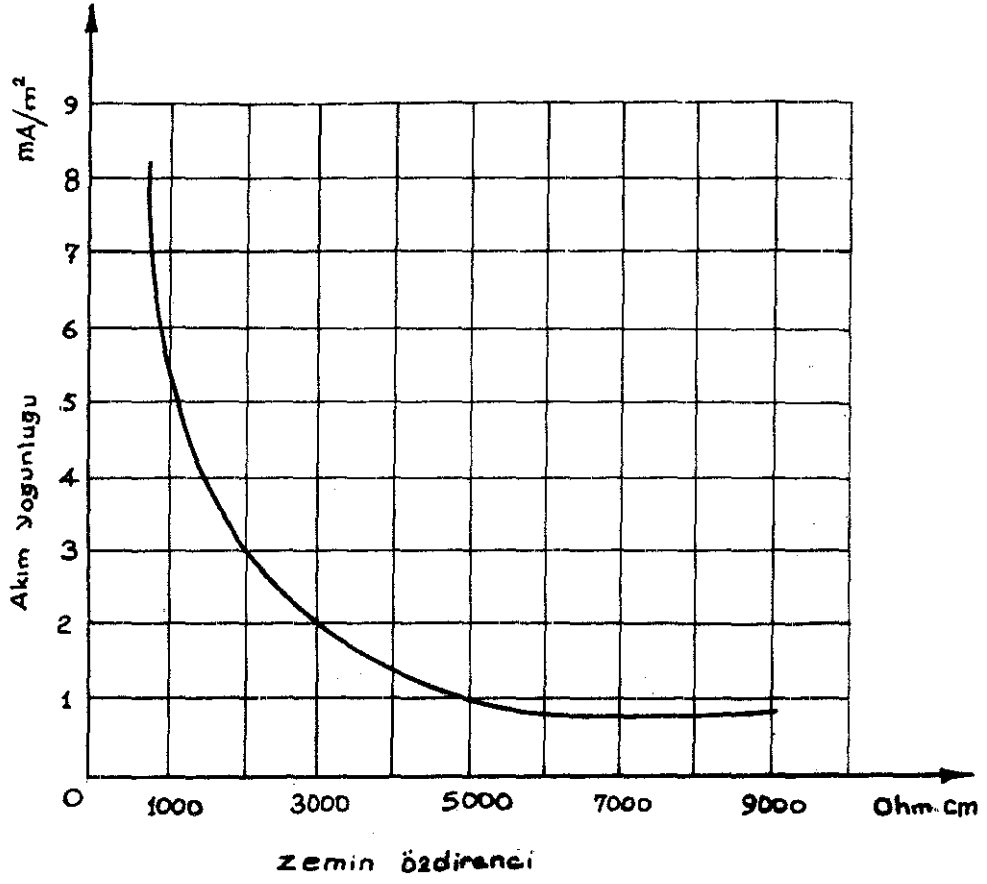


Şekil 12. Galvanik anot sistemi ile katodik koruma.

Akım gereksiniminin zemin cinsine ve kaplama direncine bağımlılığı aşağıda gösterilmiştir.

Kaplama direnci $\Omega\text{m/m}^2$	Akım yoğunluğu mA/m^2
Çıplak boru	10
10^5	0,30
$2,5 \times 10^5$	0,12
$5,0 \times 10^5$	0,06
10^6	0,03
5×10^6	6×10^{-3}
10^7	3×10^{-3}
5×10^7	6×10^{-3}

Tablo 1. Akım gereksiniminin kaplama direncine göre değişimi.



Şekil 13. Akım gereksiniminin zemin özdirencine bağlılığı

7.3 Dağıtım Şebekesi

Kovataş kömürlerinin çıkarılıp işletildiği, Eğridir'in Akbenli köyü yakınlarında kurulacak Havagazı fabrikasında üretilcek jeneratör gazı yüksek basınç kompresörleriyle Isparta'ya basılacaktır. Bu kompresörlerle gaz Kovataş-Eğridir ve Eğridir-Isparta karayolunu takip ederek 104 ve 106: caddeleri ayıran kavşağa kadar gelmektedir. Yüksek basınç hattı olan bu şebeké eski Antalya yolu olan 105. caddeyi takip ederek 112. cadde olan Karaağaç mahalle yolundan Aksu caddesine gelmektedir. Yüksek basınç şebekesi Aksu caddesinden geçerek Mühendislik Fakültesinin arka kısmında bulunan 144. caddeyi (çayboyu) izleyerek şehrin batısına doğru gitmektedir. Çay boyundan 2213 no'lu cadde olan yeni yol caddesine, oradan da 128. caddeye (Askeri Hastahane Cad.) geçmektedir. Askeri hastane caddesinden 111. caddeye (İsmet Paşa Caddesi) geçen yüksek basınç hattı 127. caddeyi takip etmektedir. Bu caddeden 109. caddeye geçen ve daha sonra 154. caddeyi izleyen hat 153. caddede son bulmaktadır.

Yüksek basınç hattı üzerinde 4 adet reglaj istasyonu kurulacaktır. Bu reglaj istasyonlarında basınç düşürülerek alçak basınç hattına gaz verilecektir.

112. cadde'de kurulacak 1 no'lu reglaj istasyonu, Karaağaç, Sermet Kepeci mahalleleri, Orduevi civarı, Davraz mahallesi, bu çevrede kalan işyeri ve bütün yerleşim merkezlerine gaz verilecektir.

2 no'lu reglaj istasyonu 128. caddede olacaktır. Bu reglajdan ise, Turan Kurtuluş, Emre, İskender, Gazi Kemal, Doğancı, Yenice mahalleleri, Dere, Hızır-bey, Halife Sultan, Hisar mahalleleri ile Şehir merkezi, Gülevler ve bu mevkide bulunan bütün meskenlere gaz verilecektir.

3 no'lu reglaj istasyonundan Gülistan, Bağlar, Yayla, Pirimehmet mahallelerine, Yedişehitler mahallesi ve Bahçelievler semtine gaz verilecektir. Bu reglaj istasyonu 127. cadde üzerinde olacaktır.

153. caddede kurulacak olan 4 no'lu reglaj istasyonu Kır  lar, istikl  l, mahallelerine, Yeni Sanayi, Emniyet M  d  rl     civarı ve Şehir merkezindeki diğer yerleşim merkezlerine gaz verilecektir.

Şehir içerisinde b  t  n Şebeke hattı birbiriyle bağlantılı olduğundan, herhangi bir b  lgede ihtiyaçtan daha az gaz olsa bile diğer hatlardan ihtiyaç olunan gaz karŐılanabilecektir.

7.3.1 Şebeke  zerindeki Reglaj Cihazları

Daha önce de belirtildiği gibi, boru hatlarındaki gaz basıncını daha düşük basınca düŐüren ve gazın s  rekli bu basınçta akmasını sağlayan reglaj cihazları çalışma basınçlarına uygun olarak sınıflandırılırlar. Konutlarda kullanılan gaz sayacı öncesi gaz basıncının 80 mm SS civarında olması arzu edildiğinden Şehir Şebekelerinde kullanılan reglaj cihazları çalışma basınç aralıklarına göre aşağıdaki gibi gruplandırılırlar:

7.3.1.1 Yüksek basınç reglaj cihazları

a)  n basıncı 0,5 at  ve daha yüksek (60 at 'ye kadar) olup, çıkış basıncı 500 mm SS olan reglajlardır. Bu tip reglajlar yüksek basınçtan orta basınca geçiŐi sağlayan cihazlardır.

b)  n basıncı 0,5 at 'den yüksek, çıkış basıncı ise 150-200 mmSS olan reglajlardır. Bu tip reglajlar yüksek basınçtan alçak basınca geçiŐi sağlayan reglajlardır.

7.3.1.2 Orta basınç reglaj cihazları

 n basıncı 200 mmSS'dan 5000 mmSS'na kadar, çıkış basıncı da 150-200 mmSS olan reglajlardır. Bu tip reglajlar gazın orta basınçtan alçak basınca geçiŐini sağlarlar.

7.3.1.3 Bina girişinde kullanılan ev regülatör cihazları

Bu reglaj cihazları genellikle bina girişinde 5000-100 mm SS olan orta ve alçak basınç şebekelerinde kullanılır. Bu cihazlar orta ve alçak basınç reglaj cihazları olarak ta isimlendirilir.

Yüksek basınç ve orta basınç reglaj cihazlarının çalışma şekli aynı olup, aşağıdaki gibidir:

Sistem bir ventil ve körük sisteminden oluşmuştur. Ventilin oturduğu delikten geçen gazın körük üstüne yaptığı basınç değerine göre çalışır. Basıncın fazlalığında körük şişerek ventilin deliğe oturmasını ve gaz debisinin azalmasını sağlar. Böylece cihaz çıkışındaki basınç değeri sabit tutulur. Körük üstüne konan ağırlıklarla ayarlanır.

7.4 Reglaj İstasyon Binaları

Reglaj istasyon binaları ve odaları patlamaya müsait yerler olarak görülmeli ve bu durum göz önünde tutularak gerekli emniyet önlemleri alınmalıdır. "Reglaj istasyonlarının yer altında çukur yerlere kurulması kesinlikle yasak olmalıdır" kuralına mutlaka uyulmalıdır.

Reglaj istasyonu bina tavanları beton veya kapalı tipte olmamalı, çatı hafif tipte olmalıdır ve kat ihtiva etmemelidir. Bu binalar çevre binalarla kesinlikle herhangi bir irtibatı olmayan müstakil bina olmalıdır. Bina içinde beton, çimento, taş vb. gibi zemin bulunmamalıdır. (Kıvılcım çıkmasına karşı önlem olarak). Havalandırma günün her saatinde sürekli ve yeterli derecede mümkün olmalıdır. Reglaj odasına hava girişi zeminin en düşük noktasından, hava çıkışı ise tavan ya da tavan yüksekliğinde bir yerden olmalıdır. Havalandırma (hava girişi ve çıkışı) kesinlikle kapanabilir olmalıdır. Havalandırma giriş ve çıkış deliklerinin toplam kesit alanı reglaj cihazının bulunduğu zemin alanın

% 0,3'ünden daha az olmamalıdır.

Reglaj istasyonlarında döşenecek elektrik tesisatları ve aksamaları gazlı ortamlarda patlamalara karşı korumuş malzeme ve sistemlerden oluşmalıdır. Bu konuda tesisatın ve alınacak önlemlerin neler olduğu "Alman Elektrik Mühendisleri Birliği (VDE)'nin 0165 ve 0171 numaralı yönergelerinde belirtilmiştir.

Reglaj istasyonları özellikle sıcak su veya su buharı ile ısıtılmalıdır. Isıtma kazanı reglaj cihazlarının bulunduğu odadan gaz sızdırmayan bir duvarla ayrılmış bir odaya konulduğu gibi, reglaj binası yanında müstakil olarak yapılmış bir odaya da yerleştirilebilir. Isıtma odasının müstakil bir kulube şeklinde yapılması halinde sıcak su veya buhar borularının çok iyi izole edilmiş olması gereklidir.

Bu istasyonlarda bulunan tüm tesisat ve kısımları (şiberler, bağlantı elemanları, borular ve diğer aksamlar) imalatçı firma tarafından 1 kp/cm^2 lik bir basınç altında DIN 2470'e göre sızdırmazlık testine tabi tutulmalıdır.

Basınç ayarlayıcılar yani reglaj cihazları ile emniyet sistem cihazları ise DIN 3380 Blatt 2 ve Blatt 3'e göre imalatçı firma tarafından sızdırmazlık testi uygulanmalıdır. Bütün tesisat ve cihazların montajı yapıldıktan sonra ortaya çıkan reglaj istasyonu cihazları bütünüyle öngörülen ön(giriş) işletme basıncının en az 1,1 katı basınçta sızdırmazlık testine tabi tutulur. Uygulanan test basıncı öngörülen en yüksek işletme basıncından en az 2 kp/cm^2 daha fazla olmalıdır. Reglaj çıkış kısmının ve çıkış basıncının kontrolü ise imalatçı ile birlikte cihaz üzerinde belirtilen maksimum yük basıncında yapılmalıdır.

Bütün bunlardan başka, reglaj istasyonunun bütünüyle işletmeye alınmasından önce istasyondaki her bir cihazın fonksiyonunu yerine getirip getirmediği tek tek kontrol edilmeli ve her bir kontrol sonunda elde edilen sonuçlar bir tutanağa yazılı olarak geçirilir ve kontrollerde hazır bulunanlara imzalanır.

İÇ ÇAP (mm)	DIŞ ÇAP (mm)	ET KALINLIĞI (mm)	BOYU (m)	KALİTESİ	BASINCI (kp/cm ²)	NORMU (DIN)	AĞIRLIK (m/kg)
40	48,3	3,25	8-10	St.33	1	2461	5,0
50	60,3	3,65	8-10	St.33	1	2461	6,9
70	76,1	3,65	8-10	St.33	1	2461	8,7
80	88,9	4,05	8-10	St.33	1	2461	10,6
100	114,3	4,50	8-10	St.37-2	32-40	2461	12,0
125	139,7	4,85	8-10	St.37-40	32-40	2461	15,4
150	165,1	4,50-5,0	8-10	St.37-2	32-40	2461	19,9
200	219,1	5,6 -6,3	8-10	St.37-2	32-40	2461	21,1
300	323,9	6,3	8-10	St.37-2	32-40	2461	43,8-49,5
400	419	6,3	8-10	St.37-2	25	2461	62,4-64,3
500	521	6,3	8-10	St.37-2	20	2461	78,2-80
600	609,6	6,3	8-10	St.37-2	20	2461	91,1
700	711,2	7,1	8-10	St.37-2	20	2461	124
800	812,6	8	8-10	St.37-2	20	2461	158
900	914,4	10	8-10	St.37-2	20	2461	223

Tablo 2- Havagazı Borularının Karakteristik Özellikleri

8. BASINÇ KAYBI VE KOMPRESÖRLER

8.1 Gaz İletim Formülleri

Gaz boru şebekesi mesleki literatüründe bu gün bile hala belirli akış şartlarında geçerli olan ampirik sabit katsayıların kullanılması tavsiye edilmektedir. Ancak bu sabit katsayıların genel bir geçerliliği yoktur.

Gazcılık mesleğinde de boru şebeke hesaplarındaki temel bilgileri bir esasa bağlama zorunluluğu vardır. Bu nedenle özellikle tüm hidrolik ve kısmen gaz iletimi konusundaki problemler aşağıda belirtilen iki temel formülle çözülebilir hale getirilmiştir.

i) Sabit hacimde gaz iletiminde

$$P_1 - P_2 = \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g} + h (\rho - \rho_h) \quad (8.1)$$

ii) Genleşen hacimde gaz iletiminde,

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{2P_1} = \lambda \frac{L}{D} \frac{U \rho_h}{2g} \quad (8.2)$$

formülleri kullanılır.

Burada,

P_1, P_2 = mutlak basınçlar (kp/cm^2)

L = boru uzunluğu (m)

D = boru çapı (m)

U = akış hızı (m/s)

ρ = gaz yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_h = hava yoğunluğu (kg/m^3)

g = yerçekimi ivmesi (m/s^2)

h = borunun yerden derinliği (m)

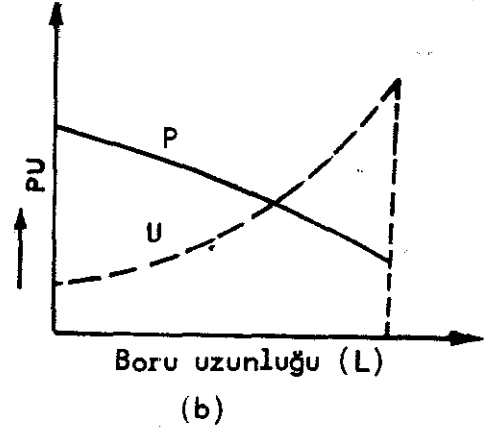
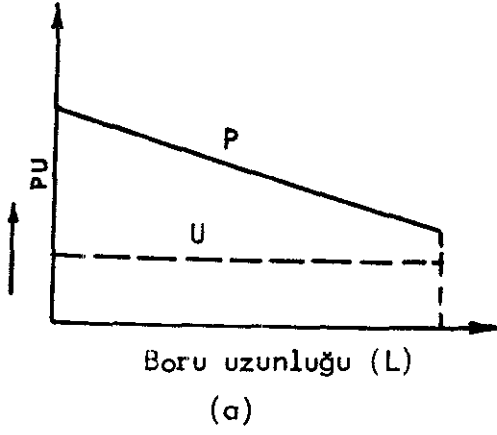
λ = boru sürtünme katsayısı

(8.1) no'lu formülün sağ tarafındaki ikinci formül halkası boru yükseklik değişiminin basınç düşmesine etkisini içermektedir. Burada çevre havasının (p_h) kaldırma kuvveti itibara alınmaktadır. (+) işareti yükselen, (-) işareti ise alçalan borular için kullanılır. Yüksek basınçlarda p_h , p' 'ya karşı itibara alınmaktadır. Yatay borular için $h=0$, yani (8.1) denkleminin 2. kısmı sıfır olarak kabul edilir.

Değişmeyen hacimli gaz nakli için temel formül sadece damlalaşan sıvılar (örneğin su) için geçerlidir. Fakat bu formül, basınç düşüşü P_i e göre % birkaç oranda olan gaz borularında da kullanılır. Yani çok az genleşmesinin olduğu hallerde kullanılır. Örneğin, bu yüzde oran % 5 ise, değişmeyen hacim formülünü kullanmak hatalı olur. Hiç bir şekilde her iki formülü alçak basınç ve yüksek basınç diye ikiye ayırmaya kalkmak uygun olmaz. Çünkü yüksek basınçta gazın naklide çok az bir basınç kaybıyla gerçekleşebilip, değişmeyen hacimli olarak kabul edilebileceğinden basitleşen formül vasıtasıyla hesaplanabilir.

Genleşen gaz nakli için temel formül gazın genleşmesi ile meydana gelen basınç düşüşünü ihtiva etmektedir. Bu durumda yoğunluğun hal değişimi izotermik olduğu kabul edilmektedir. Adyabatik genleşme sadece çok yüksek hızlarda meydana gelir ve iyi izole edilmiş kızgın su buharı borularında ortaya çıkar. Yer altında yerleştirilmiş gaz nakli borularında ise gaz sıcaklığının dengelenme imkanı vardır.

Yüksek basınçlı gazlarda genel olarak borunun yerden yüksekliği h itibara alınmaz.



Şekil 14. Boru basıncı P ile akış hızı U'nun değişimi

- a) Sabit hacimde gaz nakli
- b) Değişen hacimde gaz nakli

Şekil 14'de görüldüğü gibi sabit hacimde gaz naklinde basınç, sabit hızda boru uzunluğu ile lineer olarak düşmektedir. Genleşen gaz naklinde ise basınç bir parabol eğrisi halinde düşerken, akış hızı yükselmektedir.

Uzun olan yüksek basınç boru hatlarında gaz nakli problemlerinde (8.2) no'lu temel formülün aşağıdaki halde kullanılması tavsiye edilmektedir.

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{L} = 13,8 \lambda P \frac{Q}{(100D)^5} \quad (8.3)$$

Bu formül ortalama sıcaklık olan 12°C için geçerlidir. (1,2 m. derinlikteki toprağın yıllık ortalama sıcaklığı $t = 12^\circ\text{C}$)

Burada

- P= mutlak basınç (ata)
- L= boru uzunluğu (km)
- D= boru çapı (m)
- Q= gaz debisi (m^3/h)
- P= gazın yoğunluğu (kg/m^3)

8.1.1 Boru Sürtünme Katsayısı

Her iki temel formülün kullanılması için yani (8.1) ve (8.2) bağıntılarının kullanılması için boru sürtünme katsayısı λ 'nın belirlenmesi gerekmektedir. Laminer ve türbülanslı akışlar arasındaki farklar ortaya kormalıdır. Bilindiği üzere akış Reynolds sayısı ile belirlenir. Reynolds sayısı atalet kuvvetinin viskozite kuvvetlerine oranını ifade eder.

$$Re = \frac{U.D.\rho}{\mu g} \quad (8.4)$$

Burada μ = dinamik viskozitedir. (kgs/m^2). Gazlarda sıcaklık arttıkça dinamik viskozite artar.

Kinematik viskozite ise,

$$\nu = \frac{\mu \cdot g}{\rho} \quad (8.5)$$

şeklindedir. Bu durumda Re sayısı aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$Re = \frac{U.D}{\nu} = \frac{U.D.\rho}{\mu} \quad (8.6)$$

Kinematik viskozite sıcaklığın dışında basınçla da değiştiğinden, dinamik viskozitenin kullanılması tavsiye edilmektedir. Bunlarla birlikte Q debide (7.4) no'lu formülde yerine konulursa,

$$Re = 36 \frac{Q \rho}{10^6 \mu . D} \quad (8.7)$$

şeklinde olur.

Aşağıda (3) no'lu tabloda çeşitli gazların değişik sıcaklıklardaki $10^6 \mu$ -değerleri verilmiştir. Sıcaklığa bağlılık SUTHERLAND bağıntısı ile verilmiştir.

$$\mu_t = \mu_o \sqrt{\frac{T}{273}} \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \quad (8.8)$$

Bu bağıntıda "o" indisi 0°C deki sıcaklıktaki, "t" indisi ise t (T=273 +t) sıcaklığındaki durumu ifade etmektedir. SUTHERLAND sabitesi C tabloda verilmiştir.

(4) no'lu tablo ise teknik gaz karışımlarının viskozite değerlerini içermektedir. Burada C sabiti için ortalama değer 120 olarak alınabilir. Özellikle dikkat edilmesi gereken husus, gaz karışımlarının viskozitesinin, karışımı meydana getiren her bir bileşenin viskozitelerinden hesaplanmayacağıdır. Gaz karışımlarının viskozite hesabı için ampirik yaklaşım formülleri geliştirilmiştir.

G A Z		Dinamik Viskozite 10 ⁶ kgs/m ²							Sutherland Sabiti C
		0°C	10°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C	
Hava	-	1.70	1.75	1.85	1.95	2.04	2.13	2.22	112
Oksijen	O ₂	1.89	1.95	2.07	2.18	2.29	2.39	2.49	126
Azot	N ₂	1.65	1.70	1.80	1.89	1.97	2.06	2.14	102
Karbonmonoksit	CO	1.65	1.70	1.80	1.89	1.97	2.06	2.14	102
Karbondioksit	CO ₂	1.37	1.42	1.52	1.62	1.72	1.82	1.92	270
Hidrojen	H ₂	0,83	0,85	0,89	0,94	0,98	1,02	1,05	73
Metan	CH ₄	1.02	1.05	1.12	1.18	1.25	1.31	1.37	164
Etilen	C ₂ H ₄	0,93	0,96	1,03	1,09	1,15	1,22	1,28	225
Propilen	C ₃ H ₆	0,76	0,79	0,85	0,91	0,97	1,03	1,08	322
Ağır hidrokarbonlar (*)	C _n H _m	0,09	0,93	1,00	1,06	1,12	1,19	1,25	322

Tablo 3. Değişik sıcaklıklarda bazı gaz ve buharlar için dinamik viskozite değerleri

(*) bir gaz analizinde ağır hidrokarbon (C_nH_m) olarak bulunan bileşenlerin yerine % 80 etilen, % 20 propilen konulmuştur.

GAZ	Dinamik Viskozite [10^6 kg.s/m^2]								Sutherland sabitesi
Kok fabrikası gazı	0,60	1,23	1,27	1,24	1,41	1,48	1,55	1,61	Ortalama değer 120
Jeneratör gazı	1,15	1,61	1,85	1,75	1,84	1,93	2,02	2,10	
Su gazı	0,69	1,49	1,53	1,62	1,71	1,79	1,87	1,95	

Tablo 4- Teknik gaz karışımlarının dinamik viskozite değerleri

Laminer akışta gaz zerrecikleri boru merkez çizgisine paralel tabakalar halinde, türbülanslı akışta ise boru merkez çizgisine dik tabakalar halinde hareket ederler. Türbülanslı akışta bu şekildeki hareket boru içinde, ufak girdaplar meydana getirir. Bu nedenle de akışkan hız profili laminer akıma göre, daha düz ve dengelenmiş bir durum gösterir. Laminer akış hızı dağılımı ise daima parabol şeklinde bir diyagram oluşturur.

Laminer akış sadece Reynold sayısı küçük olan akışlarda (8.4) no'lu denkleme uygun olarak koyu akışkanlarda (örneğin, sıvı yağ) ve dar borulardaki küçük akışkan hızlarında meydana gelir.

Akışkanlarda kritik Reynolds sayısı $Re_k = 2300$ 'e ulaşıldığında laminer akış türbülanslı akışa dönüşür. Bu kritik değere ulaşıncaya kadar boru sürtünme katsayısı aşağıdaki basit formülle hesaplanır.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (8.9)$$

Yani laminer akışlarda sürtünme katsayısı sadece Re-sayısına bağlı olup, en düşük sürtünme katsayısı $Re_k = 2300$ 'de $\lambda = 0,02782$ olarak bulunur. Re sayısının 2300'den büyük olması halinde türbülanslı akış başlar. Bu durumda ise prandtl-Karman bağıntısı geçerli olur.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \frac{Re\sqrt{\lambda}}{2,51} \quad (8.10)$$

Bu ifade de görüldüğü gibi değeri sadece Re sayısına bağlıdır. (8.10) no'lu denklem sadece cam ve çekme piring borular gibi iç cidarı düzgün borular için geçerlidir.

Boruların iç yüzeylerinin yapısı zamanla işletme şartlarında cidardaki birikintiler nedeniyle artan bir pürüzlülüğe sahip olmaktadır. Bu pürüz ve kabarıklıklarının boru sürtünme katsayısı üzerine etkisini doğru olarak muhakeme edebilmek için "Prandtl sınır tabaka teorisi"ne göre türbülanslı akışta boru cidarında ince bir laminar tabakanın meydana geldiğini ve bu tabakanın boru kesitinin cidar kısımları dışında türbülanslı akıştan etkilenmediğini düşürmek gereklidir. Bu sınır tabaka kalınlığına göre boru cidarındaki pürüzleri tamamen veya kısmen doldurur. Re-sayısına bağlı olan bu tabaka, Re-sayısının büyümesi ile incelenmesi ve pürüz kabarıklıklarının tamamen doldurulması nedenleriyle düşük Re-sayılı bir boru sanki hidrolik olarak düzgün (pürüzsüz) davranış gösterebilir. Ve bu tabaka girdaplı akıma geçmez. Buna karşılık yeterli derecede yüksek Re-sayılarında, yani kaybolan ince sınır tabakasında pürüzler akım içinde korunmasız olarak bulunurlar ve direnci artırırılar. Bu son durumda boru yüzeyinin hidrolikçe pürüzlü oluşundan söz edilerek, "Nikuradse" formülü ile boru direnç katsayısı hesaplanması gerektiği ortaya çıkar.

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \frac{d}{k} + 1,14\right)^2} \quad (8.11)$$

burada

k= yüzey pürüzlülük katsayısı

$\frac{k}{d}$ = relatif pürüzlülüktür.

(8.11) no'lu bağıntıda görüldüğü gibi Re-sayısına bağıllık yoktur. Bu ise bize boru sürtünme katsayısının Re-sayısı üzerinden yatay olarak gittiğini gösterir. Bütün bu durumlar bize sürtünme katsayısı λ 'nın sadece relatif pürüzlülüğe ve

dolayısıyla ters değer olan $\frac{d}{k}$ 'ya bağımlı olduğunu gösterir. Bütün bunlarla birlikte boru cidarındaki pürüzlerin küçülen Re-sayısı ile hemen değil, bilakis yavaş yavaş laminer sınır tabakaları tarafından doldurulmasıyla ilişkilidir. COLEBROOK bu geçiş bölgesi ile ilgili olarak çok sayıda ölçümler yaparak pratikte mümkün pürüzlülük çeşitleri için geçerli ortalama değerlere dayanan bir ilişki geliştirilmiştir. Bu ilişki,

$$\lambda^{-0,5} = -4 \log \left[\frac{k}{3,71 D} + \frac{1,26}{\lambda^{0,5} \cdot Re} \right] \quad (8.12)$$

Pürüzlülüklerin Re-sayısının büyüklüğüne göre az veya çok şiddetli bu alanda etki gösterdiklerinden (8.12) no'lu denkleme göre aynı anda boru sürtürme katsayısı, Re-sayısı ve $\frac{d}{k}$ veya $\frac{k}{d}$ arasında birbirlerine bağlı bir ilişki bulunmaktadır. Geçiş bölgesini yukarı doğru sınırlayan eğri, aşağıdaki formül ile gösterilir.

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{Re}{200} - \frac{k}{d} \quad (8.13)$$

Bütün bu kurallar ve kavramları boru sürtürme katsayısı ile ilgili olarak üç ayrı bölgenin bulunduğunu gösterir.

1. Laminer Akış:

(8.9) no'lu denkleme göre $Re_k = 2300$ 'e kadar düz doğru şeklinde hareket eder. Sadece Re-sayısına bağlı olup, boru iç yüzey durumunun etkisi yoktur.

2. Türbülanslı Akış

a) Hidrolikçe pürüzlü ve pürüzsüz yüzeylerin davranışları arasındaki geçiş bölgesi (8.12) no'lu formül ile verilmiş olup, (8.10) numaralı formülle aşağıya doğru, (7.12) no'lu bağıntı ile de yukarı doğru sınırlanmıştır. Aynı anda Re-sayısı ve $\frac{k}{d}$ ye bağımlıdır.

b) Pürüzlü yüzey davranışı (8.11) no'lu formülle verilmiştir. Sadece k/d' ye bağlıdır.

Hangi bölgede boru sürtünme katsayısının düştüğünü belirlemek için önce (8.7) no'lu bağıntıya göre Re -sayısının hesaplanması gereklidir. Bundan sonra k/d tespit edilir.

8.1.2 Kalıp, Gövde, Armatür ve Diğer Boru Bağlantılarının Direnç Katsayıları

Şimdiye kadar gösterilen denklemlerde bulunan boru sürtünme katsayısı doğrudan doğruya sadece gaz iletim borularının özellikleri ile ilgilidir. Gaz akımının akış yönünün dirsekler, kollara ayırma parçaları vb. gibi boru bağlantıları elemanlarıyla değiştirilmesi veya akışın inceltilmesi veya genişletilmesi hallerinde kısmen 2.akım (sekunder akım) ve kısmen de boru cidarından akım çözülmesi nedenleriyle ilave dirençler meydana gelir. Bu akım dirençleri, aşağıdaki formülle ifade edilmiş olan direnç katsayısının ilave edilmesiyle mutlaka hesaba katılmalıdır.

$$\Delta p = \bar{\zeta} \frac{U^2}{2g} \quad (8.14)$$

burada;

p = dikkate alınan boru parçasındaki basınç kaybı (mmSS)

U = gazın bu noktadaki ortalama akış hızı (m/s)

ρ = gazın yoğunluğu (kg/m^3)

(8.14) no'lu formülün (8.1) no'lu bağıntıyla karşılaştırılması halinde boru sürtünme katsayısı ile direnç katsayısı arasında

$$\bar{\zeta} = \lambda \frac{1}{d} \quad (8.15)$$

şeklinde bir ilişkinin olduğu görülür. Hesap yapılan boru üzerinde ilave olarak dirsek, şiber, ventil vb. gibi boru bağlantı elemanlarının bulunması halinde, bu elemanlardan dolayı meydana gelen dirençler hesaba katılmak zorundadır. Bu durumda herbir elemanın ayrı ayrı dirençleri toplanarak bulunacak toplam direnç $(\lambda \frac{L}{d})$ 'ye ilave edilir. Ayrıca (8.15) no'lu bağıntı vasıtasıyla boru bağlantı elemanlarının toplam direncine tekabül eden boru uzunluğu da hesaplanabilir.

$$L = \frac{d \sum \xi}{\lambda} \quad (8.16)$$

Bu ilave uzunluk kadar düz boru uzunluğu hesabı yapılan boru uzunluğuna ilave edilerek toplam uzunluk ve basınç kaybı hesaplanır.

Boru malzemesi	İç yüzey özelliği	Pürüzlülük katsayısı k (mm)
Çelik Çekme Boru	Yeni	0,03
Kaynaklı Çelik Boru	1) Yeni bitümlü	0,05
	2) Kullanılmış, bitümü kısmen çözülmüş, pas tutmuş yerleri var	0,01
	3) Kullanılmış, düzgün pas yaraları var	0,15
	4) Uzun yıllar kullanılmış	0,5
	5) Hafif kabuklaşmış	1-1,5
	6) Çelik kabuklanmış	
Dikişli Çelik Boru	Çeşitli	1-8
Döküm boru	Yeni, asfaltlanmış	0,1-0,15
	Yeni, asfaltsız	0,25-0,5
	Kullanılmış, pas yerleri var	1-1,5
	Kabuklanmış	2-4
Tahta boru	Çeşitli	0,2-1
Beton boru	düzgün yüzeyli	0,3-0,8
Beton boru	ham	1-3
Asbest-Çimento boru	Yeni	0,1

Tablo 5. Çeşitli pürüzlülükteki boruların pürüzlülük katsayısı
k'nın değerleri.

Elemanlar	Direnç katsayısı
Norm-Parçalar vs.	0,2 - 0,3
Normal Şiber Vana	0,2 - 0,5
Dirsek 90°	0,2 - 0,5
T-Parçası	1 - 1,5
Çift Dirsek	2,5
Normal döküm dirsek 90°	1,5 - 2,2
Sipiral boru değiştiricisi	2,2
Normal ventil	5,0 - 7,5
Boşaltma ventili	0,6 - 1

Tablo 6. Bazı gövde ve armatürlerin direnç katsayıları

Elemanlar	Boru uzunluğu cinsinden (m)
Boru, $\phi = 300$, $k = 0,5$	1
Açma-kapama şiberi	4
Dirsek 90°	6
T-parçası	20
Çift dirsek	25
Sipiral boru değiştiricisi	30
Kısa venturi borusu (0,2 m)	45
Geçit valfi $\phi = 300$	100
Ölçü blendesi (0,2 m)	700

Tablo 7. Bazı boru bağlantı elemanları ve armatürlerinin boru uzunluğu cinsinden direnç katsayıları.

8.2 Pratik Olarak Gaz Boru Şebekesi Hesaplamaları

Gaz iletim formülleri, gazın borularla iletiminde, akışkanlar mekaniği ile temel fizik kurallarına uygun olarak borulardaki hesaplaşmalar için kullanılabilir durumdadır. Ancak gazcılık mesleği ile ilgilenenlerin değişik konu ve seviyelerde (Kimya, Makina, Elektrik Mühendisliği, Teknikerlik, Sanat Okulu vs.) eğitim görmüş olmaları nedeniyle temel fizik kurallarına uygun olarak çıkartılmış olan bu formüllerin kullanımlarında zorluk çekilmesi kuvvetle muhtemeldir. Bu gerçek göz önünde tutularak verilen bağıntılardan daha değişik ve daha basit şekilde ifade edilmiş durumda verilmelerinde fayda vardır.

Buradaki hesaplamalarda aşağıdaki durumların varlığı kabul edilmiştir.

1- Boru hattı düz ve yatay durumda olup, gaz kaçağı yoktur.

2- Gaz iletim sıcaklığı 15°C dir.

3- Boru içinde gaz iletimi ya değişmeyen hacimde veya izotermik genişleyen hacimde oluyor.

4- Türbülanslı akımda Reynold sayısı $Re \geq 2300$, gazın kinematik viskozitesi $\nu = 21 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ dir.

8.2.1 Alçak Basınç Borularında Hesaplar

Eğer basınç düşüşü, mutlak basıncın % 5'inden fazla değilse, değişmeyen hacimde gaz iletiminin olduğu kabul edilir. Bu durumda her 1 m. boru uzunluğu için boru uzunluğu daha öncede belirtilmişti.

Bu bağıntı,

$$\frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{U^2}{2g D} = \frac{64 Q^2}{(100D)^5} \quad (8.1)$$

Burada $P_1 - P_2 = H$, $\rho = 1,225 \text{ S}$ koyulursa, iletilen gazın debisi;

$$Q = \sqrt{\frac{D^5 \cdot H}{78.4 \times \lambda \cdot S \cdot L}} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (8.17)$$

Boru direnç katsayısı;

Alman Gaz ve Su İşletmecileri Birliğince boru direnç katsayısı;

$$\lambda = 0,061 \sqrt{\frac{10^4 \cdot v}{Q}} \quad \text{veya,}$$

$$\lambda = \frac{0,05}{8 \sqrt{Q}} \quad \text{bağıntısıyla belirlenir.}$$

Bütün bu bağıntılarda $U > 7,4$ (m/s) kabul edilmiştir. Bu formüller en az 3,2 (m/s)'lik hıza kadar da yaklaşık sonuç vermektedir. Çok yüksek hızlarda veya çok geniş çaplı borularda ve dökme demir borularda λ değeri % 10-40 artırılarak kullanılır.

$$\lambda = \frac{0,05}{8 \sqrt{Q}} \quad \text{ve } S = 1,225 \cdot S \quad \text{değerleri yerine konursa,}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{3,92 \times S \times Q^{1.875}}{(100 D)^5} \quad (8.18)$$

eşitliği elde edilir.

8.2.2 Yüksek Basınç Borularında Hesaplar

İzotermik genleşen gaz iletiminde,

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{2 P_o L} = \frac{\lambda U^2 \rho}{2g D} \quad (8.2)$$

denkleminin geçerli olduğu daha önce belirtilmişti.

Bu denklemde,

$$L = 1000 \text{ m}$$

$$\rho = 1,225 \text{ S}$$

$$P_o = 1,033 \text{ kp/cm}^2$$

$$\lambda = \frac{0,05}{8\sqrt{Q}}$$

değerleri yerine yazılırsa,

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{L} = \frac{0,81 \times S \times Q^{1,875}}{(100 D)^5} \quad (8.19)$$

denklemini elde edilir. Bu yüksek basınç hattında basınç kaybını belirlemek için kullanılır.

8.2.2.1 Yüksek Basınç Hattında Basınç Kaybı

Yüksek basınç hattı, Fabrika-Eğridir ve Eğridir-Isparta şehir çevresinde oluşturulan şebekeyle birlikte yaklaşık 73,5 km civarındadır. Basınç kayıpları ile debi arasındaki bağıntı,

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{L} = \frac{0,81.S.Q^{1,875}}{(100D)^5}$$

eşitliğiyle verilmektedir.

Burada;

$$P_1 = \text{giriş basıncı (kp/cm}^2\text{)}$$

$$P_2 = \text{çıkış basıncı (kp/cm}^2\text{)}$$

$$L = \text{boru hattı uzunluğu (km)}$$

$$S = \text{üretilecek gazın havaya göre yoğunluğu}$$

$$Q = \text{iletilen gaz debisi (m}^3\text{/h)}$$

$$D = \text{boru çapı (m)}$$

Yukarıdaki bağıntı, gaz iletim hızının 7,4 m/s den büyük değerler için geçerlidir. ($U > 7,4$ m/s). Gaz iletim hızı $U = 10$ (m/s) olarak kabul edildi.

Boru hattından 7800 m³/h miktarında bir gaz debisi geçmesi gerektiğinden, bu durumda boru çapı;

$Q = A \cdot U$ bağıntısından,

$$A = \frac{7800 \text{ (m}^3/\text{h)}}{3600 \cdot 10 \text{ (m/s)}}$$

$A = 0,216 \text{ m}^2$ olarak bulunur.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad D^2 = \frac{4A}{\pi} = \frac{4 \times 0,216}{\pi} = 0,275$$

$D = 0,525 \text{ m} \cong 530 \text{ mm}$ alınabilir.

$$P_1 = 2,5 \text{ kp/cm}^2$$

$$L = 73,5 \text{ km}$$

$$Q = 7800 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D = 0,53 \text{ (m)}$$

$$\rho_g = 0,915 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_h = 1,293 \text{ (kg/m}^3)$$

$$S = \frac{0,915 \text{ (kg/m}^3)}{1,293 \text{ (kg/m}^3)} = 0,707$$

değerleri basınç kaybı eşitliğinde yerlerine konursa,

$$\frac{(2,5)^2 - P_2^2}{73,5} = \frac{0,81 \times 0,707 \times 7800^{1,875}}{(100 \times 0,53)^5}$$

$$6,25 - P_2^2 = 1,997 \quad \text{buradan}$$

$$P_2 = 2,062 \text{ (kp/cm}^2) \text{ olarak bulunur.}$$

$$H = P_1 - P_2 = 2,5 - 2,06 = 0,438 \text{ (kp/cm}^2\text{)}$$

Basınç kaybı $H = 0,438 \text{ (kp/cm}^2\text{)}$ olarak bulunur.

8.4 Kompresörler

Fabrikadan dağıtım şebekesine gaz basacak olan yüksek basınç kompresörleri, Batı Almanya KSB Firmasının imal ettiği kompresörlerdir. RH 30 Rotatif tip, su soğutmalı, paletli yüksek basınç kompresörlerinin maksimum basıncı $2,5 \text{ kp/cm}^2$ dir.

Bu kompresörlerin özellikleri aşağıdadır :

Kapasite	4000 m ³ /h
Gaz emme sıcaklığı	20 °C
Emme basıncı	1,02 kg/cm ²
Gaz basma basıncı	2,5 kg/cm ²
Şanzıman Gücü	340 PS
Devir	510 d/dak
Soğutma suyu sıcaklığı	15 °C
Soğutma suyu ihtiyacı	14500 lt/h
Motor yağı tüketimi	375 gr/h

İsparta'nın ihtiyacı olan 7800 m³/h miktarındaki gaz yukarıda özellikleri verilen 2 adet kompresör tarafından iletilebilecektir. 1 adet de yedek kompresör bulunacaktır.

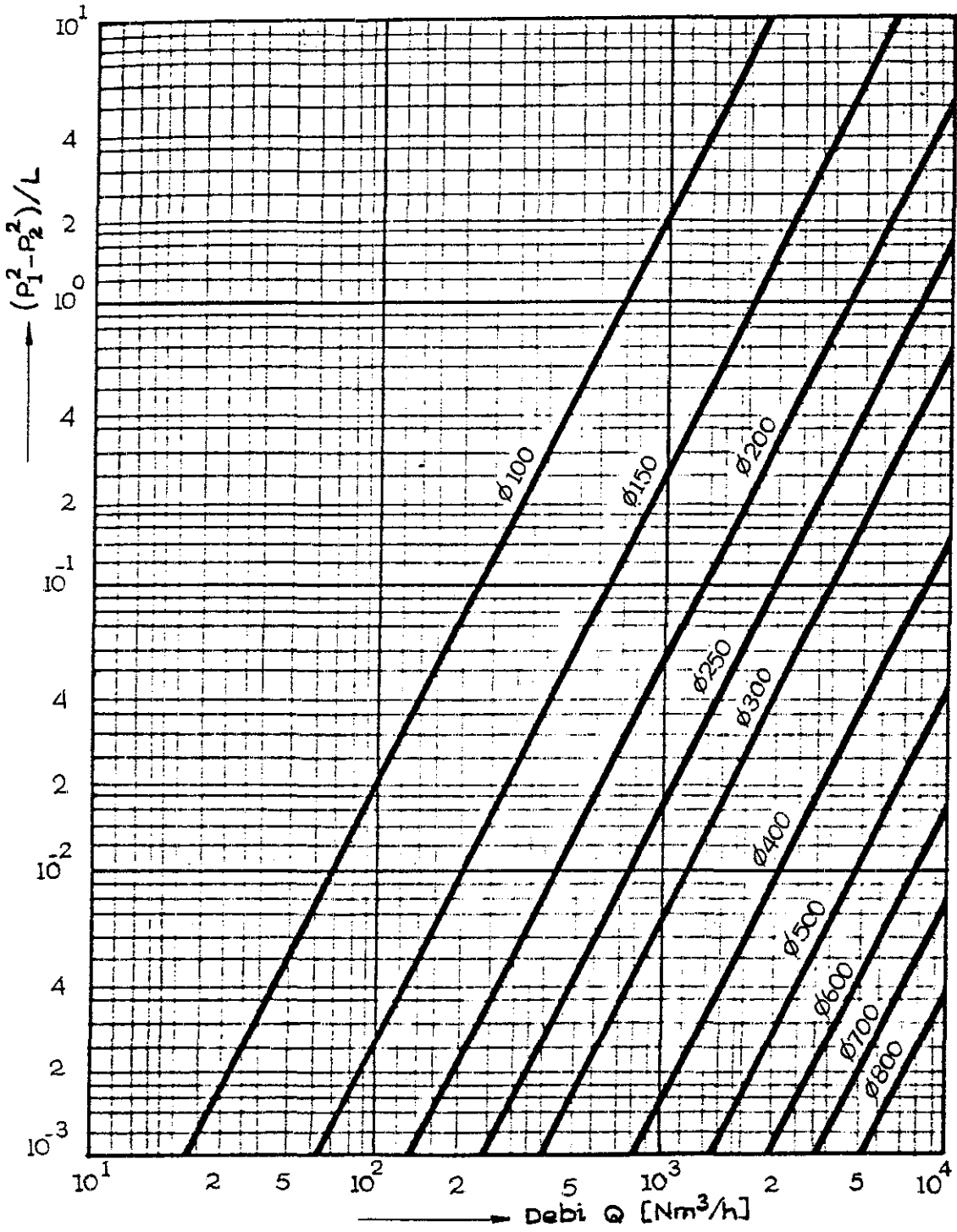
Bu kompresörlerin alçak basınç ve yüksek basınç kademeleri vardır. Hem alçak basınç kademesi hem de yüksek basınç kademesi birlikte farklı çıkış basınçlarında gaz basarlar. Bu kompresörlerin iki şekilde çalışma şekli vardır :

- 1) Paralel Çalışma: Yüksek basınç ve alçak basınç kademelerinin aynı anda emiş ve basma halidir. Çıkışta iki kademenin bastığı gaz yüksek basınç hattına verilir. Bu durumda debi yüksek ve basınç düşük olup, $2,5 \text{ kp/cm}^2$ dir. Genellikle paralel çalışma tercih edilir, çünkü debi yüksektir. Paralel çalışma, kaçakların olmaması ve şebeke ömrünün uzun olması gibi avantajları vardır.
- 2) Seri Çalışma: Yüksek basınç ve alçak basınç kademelerinin seri çalışması durumudur. Kompresörün alt kısmında bulunan 3 yollu bir vana ile alçak basınç kademesinin bastığı gaz, yüksek basınç kademesine verilerek basınç tekrar yükseltilir. Bu çalışma sistemiyle basınç 4 kp/cm^2 ye kadar yükseltilir. Şebekenin ve tüketim durumuna bağlı olmakla beraber çok az kullanılan bir sistemdir. Basıncın yüksek oluşu avantaj ise de, paralel sisteme göre hatta verilen gaz miktarının az oluşu dezavantajdır.

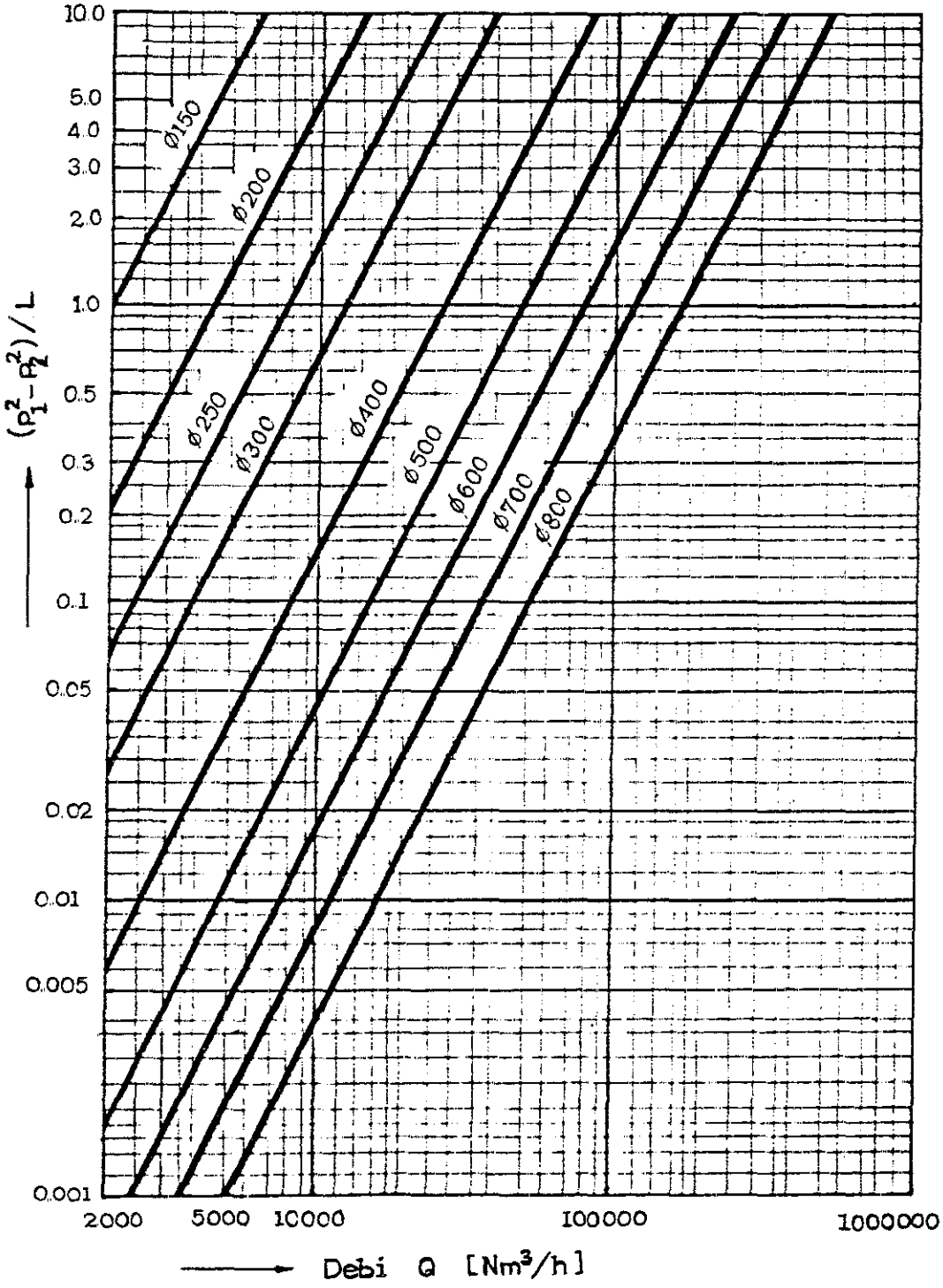
RH 30 Rotatif tip kompresörlerin kısaca çalışma şekli: Rotor üzerindeki paletler vasıtasıyla gaz gövde içerisine bir taraftan alınıp, sıkıştırılır ve diğer tarafa basınçlı bir şekilde verilir. Sıkışan gaz ısındığından gövde içerisindeki ceketi tarafından soğutulur. Kompresörden çıkan gaz çıkışta bir saygla ölçülür. Gaz içerisinde bir miktar pislikler pislik tutucusundan geçirilerek kısmen temizlenmiş olur.

Sistemin emniyet unsurları aşağıdaki gibidir.

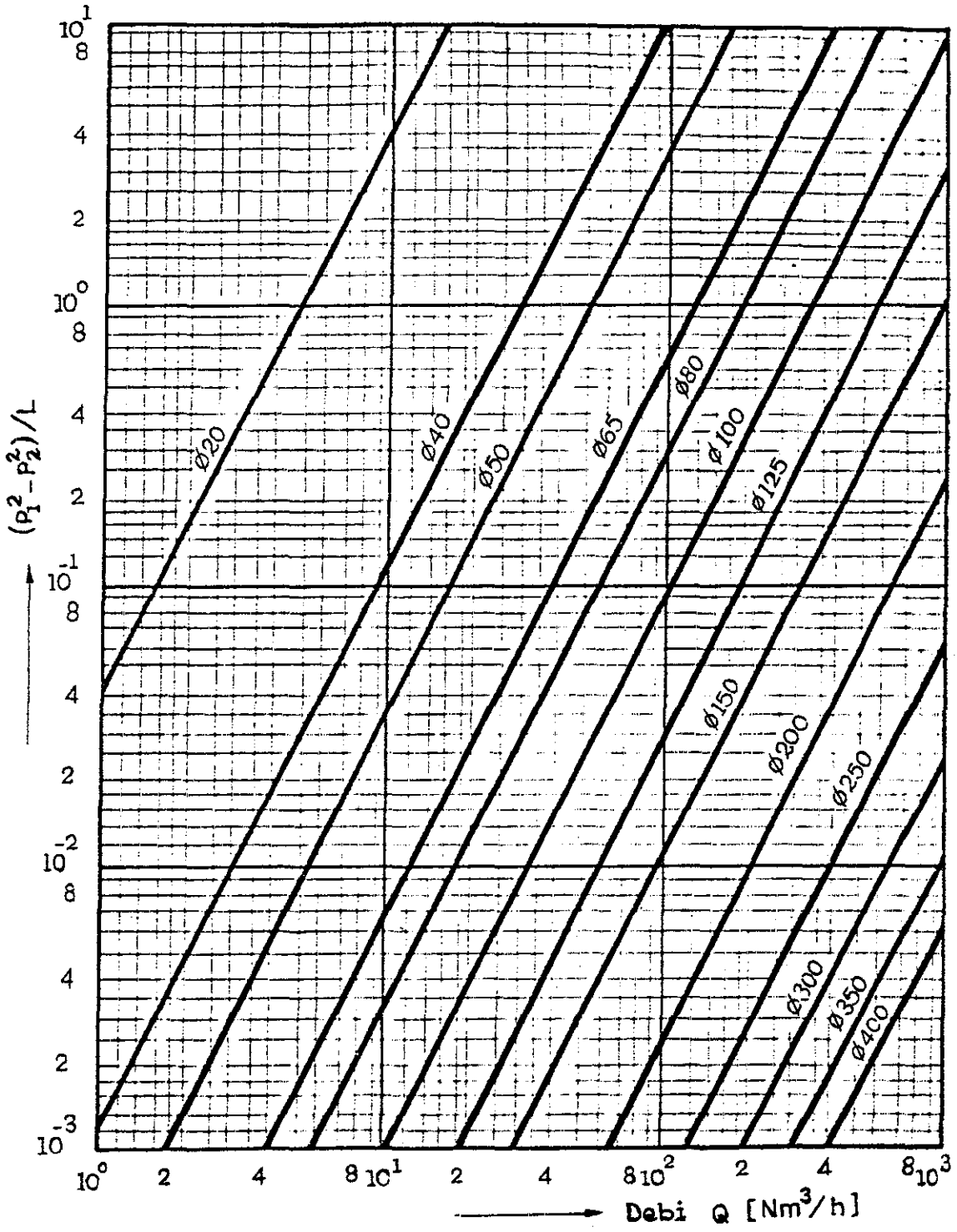
- i) Yukarıda belirtildiği gibi sıkıştırılan gaz ısındığı için, ısınan gazın soğutulması gerekmektedir. Bu durumda soğutma suyunun düşük debide gelmesi halinde motor otomatik olarak devreden çıkar.
- ii) Bir pompa vasıtasıyla depodan alınan yağ, kompresördeki parçaları (bilezik, rulman, rotor vs.) yağlamaktadır. Depo yağ seviyesi düşük olduğu zaman depo içerisindeki mevcut şamandıra vasıtasıyla motor otomatik olarak devreden çıkarılarak sistem durdurulmuş olur.



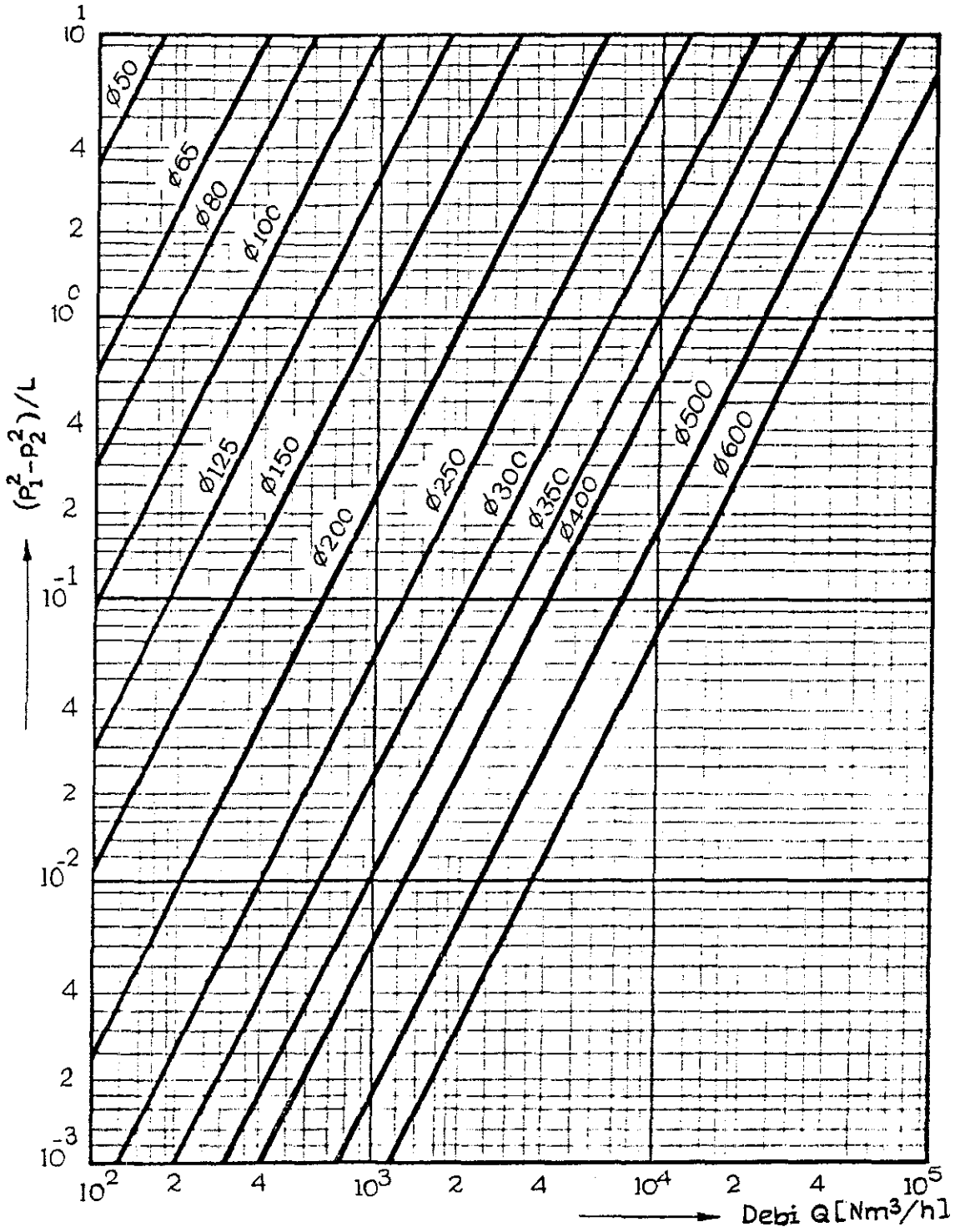
Şekil 15-a. Yüksek basınçlı düz şebeke borularında basınç kayıpları



Şekil 15-b. Yüksek basınçlı düz şebeke borularında basınç kayıpları



Şekil 16-a. Alçak basınçlı şebeke borularında basınç kayıpları



Şekil 16-b. Alçak basınçlı şebeke borularında basınç kayıpları

8. ÖNERİLER

Daha önceden de belirtildiği gibi, Eğridir-Akbenli köyü yakınlarında çıkartılıp işletilen Kovataş kömürlerinden faydalanılarak yine aynı yerde kurulması planlanan Jeneratör gazı fabrikasında üretilen gaz ile Isparta'daki bütün yerleşim merkezlerinin mutfak ve banyoları için gerekli enerjileri karşılanacaktır.

Bu kömürlerin rezervi henüz tespit edilememekle beraber pek zengin bir rezerve sahip olacağı sanılmamaktadır. Bundan dolayı kurulması düşünülen tesis sadece mutfak ve banyolarda kullanılan enerjiyi karşılayabilecek niteliktedir. Ancak Kovataş kömürlerinden daha zengin rezerve sahip Yalvaç-Yarıkkaya kömürleri kullanılarak Isparta'nın mutfak ve banyo enerjisinin yanında bütün konutların ısıtma enerjisi de karşılanabilir.

Kurulması tasarlanan fabrikanın Eğridir'e yakın olması ve yüksek basınç hattının bu ilçenin içinden geçmesi nedeniyle, bazı düzenlemeler yapılarak istenildiğinde ilçeye de gaz verilebilir.

Isparta henüz alt yapı problemlerini çözümleyemediğinden, özellikle kenar mahallelerdeki konutlara gaz vermek konutlara gaz verme yönetmeliğince tehlikeli ve sakıncalı görülmektedir. İleride böyle bir tesis düşünüldüğünde bu özellik gözönüne alınmalıdır.

Bütün hesaplar ve kabuller nüfusun 100.000 olduğu göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Belli bir süre sonra bu nüfusta değişmeler olacağından ek bir jeneratör ve buna bağlı diğer düzenlemelere gidilmelidir.

Özellikle Rusya'da zengin rezerve sahip olan tabii gaz, Batı Avrupa'ya ve Türkiye'ye verilmesi kesinlik kazanmıştır. 1987 yılı içerisinde bu gazla Ankara'nın ısıtılması için çalışmalar devam etmektedir. Bu enerji ile ilerde yıllarda Isparta'nın ısıtılması düşünüldüğünde, jeneratör gazı için oluşturulan şebeke tabii gaz için de kullanılabilir.

Diğer ÷lkelerde çıkarılan kömürlere oranla, Türkiye'de mevcut kömürlerin kalitesi daha kötü olmasına rağmen, hali hazırda tüketebilir enerji kaynaklarında en önemli potansiyeli kömürlerimiz oluşturmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurularak kömüre dayalı tesislere önem verilmeli ve öncelik tanınmalıdır.

Isparta Belediyesi olarak, böyle bir jeneratör fabrikası düşünüldüğünde aşağıdaki finansman kaynaklarından yararlanabilir.

1. Dünya Bankası
2. İller Bankası
3. Devlet Yatırım ve Sınai Bankası
4. Maliye Bakanlığı
5. Satıcı firma ülkesinin kredisi
6. Satıcı firma kredisi
7. Türk Bankalarına borçlanma
8. İslam Ülkeleri Bankaları

KAYNAKLAR

- [1] Alpar, S.R ve Civelekoğlu, H.; Yakıtlar ve Tali Ürünleri, İstanbul, 1962.
- [2] Ankara Havagazı Fabrikası Kütüphanesi
- [3] Fitzer-Fritz; Technische Chemie, Springer Verlag, 1975.
- [4] Herning; Borularda Madde Akımı, 1957.
- [5] HÜTTE der Ingenieure Tachenbuch IV.
- [6] Kuleli, Ö.; Kütle ve Enerji Denklikleri, 1982, Ankara.
- [7] Şalvarlı, H; Akışkanlar Mekaniği, A.Ü.İsparta Mühendislik Fakültesi yayınları, Isparta, 1984.
- [8] Telli, Z.K.; Termodinamik, A.Ü.İsparta Mühendislik Fakültesi Yayınları, Isparta, 1984.
- [9] Telli, Z.K.; Yakıtlar ve Yanma, A.Ü.İsparta Mühendislik Fakültesi yayınları, Isparta, 1984.

ÖZGEÇMİŞ

- 27.10.1961 Eleşkirt - Ağrı'da doğum
Baba : Rasim YAVUZ
Anne : Kadriye YAVUZ
- 1966 - 1971 Eleşkirt-Süzgeçli köyünde ilkokul öğrenimi
- 1972 - 1975 Ağrı Atatürk ortaokulunda orta öğrenime başlama
- 1975 - 1978 Erzurum Yavuz Selim Öğretmen Lisesinde orta öğrenimin bitirilmesi.
- 1978 - 1980 Değişik işyerlerinde çalışma
- 1980 - 1985 Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü Lisans öğrenimi
- 5.3.1985 Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde master öğrenimine başlama.

Akdeniz Üniversitesi
Rektörlüğü Kütüphanesi
Demirbaş No. 3429