

JEOTERMAL ENERJİDEN KURU BUZ ÜRETİMİ

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

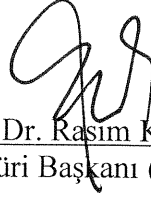
Fehim MÜCASİROĞLU

Danışman: Prof. Dr. Rasim KARABACAK

**Haziran, 2008
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

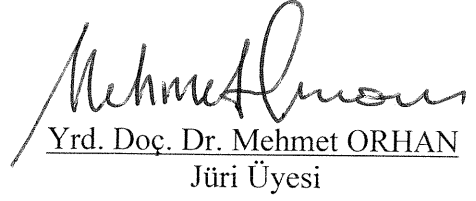
Fehim MÜCASİROĞLU tarafından Prof. Dr. Rasim KARABACAK yönetiminde hazırlanan “**Jeotermal Enerjiden Kuru Buz Üretimi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Rasim KARABACAK
Jüri Başkanı (Danışman)



Prof. Dr. Ali GÜNGÖR
Jüri Üyesi




Yrd. Doç. Dr. Mehmet ORHAN
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun / /
tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL
Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Fehim MÜCASİROĞLU

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ortaya konulan ve açıklanan bilgilerin okuyuculara ve kullanıcılara yararlı olması en büyük temennimdir.

Bu konunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanmasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Rasim KARABACAK' a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Özellikle bana hep moral ve güç veren, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme minnettarım.

Ayrıca bu tezin hazırlanması sırasında benimle bilgilerini paylaşan Karbogaz, Efe Gazoz ve Kormaksan firmaları ile çalışmalarım sırasında bana sabır ve anlayış gösteren Erdem Mühendislik ve Gener Doğalgaz' a da teşekkür ederim.

ÖZET

JEOTERMAL ENERJİDEN KURU BUZ ÜRETİMİ

Mücasiroğlu, Fehim
Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Rasim KARABACAK

Haziran 2008, 83 Sayfa

Son 10 yıla kadar soğutma sistemlerinde genellikle kloroflorokarbon (CFC) ve hidrokloroflorokarbon (HCFC) içeren soğutucu akışkanlar kullanılırken, küresel ısınma ve ozon tabakasındaki delinme sebebiyle alternatif soğutucu akışkan arayışına girilmiştir. Bundan dolayı sera etkisi düşük olan ve ozon tabakasına zarar vermeyen CO₂ akışkanı son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Gelecekte soğutucu akışkanlar hakkındaki yasal düzenlemelerin birçok R (hidroflorokarbon) soğutucu akışkanların kullanımına yasaklama getirmesi beklenmektedir. Bu durumda yerli kaynaklarla üretilebilen CO₂ gibi akışkanlar büyük önem kazanacaktır.

Yapılan bu çalışmada; Kızıldere jeotermal sahasında mevcut termik santralden elde edilen CO₂ gazı karakteristikleri kullanılarak, bu gazdan CO₂ üretim teknolojisi ve maliyeti üzerinde durulmuştur. Ayrıca CO₂' nin farklı üretim sektörlerindeki kullanımı ile bu sektörlerde bir birim üretim başına CO₂' nin payı ve maliyeti belirlenmiştir. Diğer taraftan CO₂' nin jeotermal enerjiden üretimi ile diğer üretim teknolojilerinden üretim maliyetleri belirlenmiş, sonuçta CO₂' nin jeotermal enerjiden üretiminin %13-20 oranda daha ucuz olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre yenilenebilir enerji olan jeotermal enerjiden CO₂ üretiminde yararlanılmasının ekolojik açıdan gerekli olduğu ve ekonomik olduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Kuru buz, CO₂, jeotermal

Prof. Dr. Rasim KARABACAK

Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ORHAN

ABSTRACT**DRY ICE PRODUCTION FROM GEOTHERMAL ENERGY**

Mucasiroglu, Fehim
M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Rasim KARABACAK

June 2008, 83 Pages

Last 10 years, refrigerants which are contained chlorofluorocarbon (CFC) and hydrochlorofluorocarbon (HCFC) systems has been used in common. Because of global warming and environmental problems (hole in ozone layer etc.), new types of refrigerants are needed to be searched. So that lower effect to greenhouse and ozone friendly CO₂ fluids have started to be preferred. In the near future, new legal arrangements are expected to use many R type (hydrofluorocarbon) of refrigerants. With this arrangements, domestic production for refrigerants like CO₂, will become more important.

In this study; CO₂ which has been produced from CO₂ gas characteristics, production technologies and costs has been determined from Kizildere geothermal power plant. Also, production of CO₂ in different areas with cost and percentage of one unit CO₂ will be explained. On the other hand, production of CO₂ from geothermal energy has been confronted to other production methods, and concluded that CO₂ production costs from geothermal energy 13-20% less than the other methods.

With this conclusion, renewable geothermal energy is more economical and environmental in the CO₂ production.

Keywords: Dry ice, CO₂, geothermal

Prof. Dr. Rasim KARABACAK
Prof. Dr. Ali GUNGOR
Asst. Prof. Dr. Mehmet ORHAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU.....	i
BİLİMSEL ETİK SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Bilgisi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	4
2. KURU BUZ VE KULLANIM ALANLARI.....	5
2.1. Kuru Buz ve Sıvı Karbondioksitin Kullanım Alanları.....	6
2.2. Kuru Buz Üretimi ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar.....	7
2.3. Kuru Buz İle Temizlik Uygulaması.....	9
2.3.1. Kuru buzla temizlik uygulama alanları.....	11
2.3.2. Kuru buzla yapılan temizlik uygulamalarının faydaları.....	13
3. KARBONDİOKSİTLİ SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	15
3.1. Karbondioksitin Fiziksel Özellikleri.....	16
3.2. Karbondioksit Soğutkanlı Soğutma Sistemleri.....	18
3.2.1. Karbondioksit ile paketlerde soğutma.....	18
3.2.2. Karbondioksit ile sızıntılı soğutma.....	19
3.2.3. Karbondioksitli dolaylı soğutma sistemleri.....	19
3.2.4. Karbondioksitli doğrudan soğutmalı kademeli (kaskad) sistemler.....	20
3.2.5. Karbondioksit doğrudan soğutmalı tek kademeli sistemler.....	20
3.2.6. Karbondioksit doğrudan soğutmalı iki kademeli sistemler.....	21
3.2.7. Karbondioksit basamaklı sistemler.....	21
3.3. Soğutma Kompresörleri.....	22
3.3.1. Rotorlu kompresörler.....	23
3.3.2. Pistonlu kompresörler.....	24
3.3.3. Türbokompresörler.....	26
3.3.4. Vidalı kompresörler.....	26
4. KARBONDİOKSİDİN KLASİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	28
4.1. Petrol, Doğal Gaz ve Kömürün Yanmasından Oluşan CO ₂ ' yi Geri Kazanım Prosesi.....	28
4.2. Fermantasyon İşleminde Açığa Çıkan CO ₂ ' nin Geri Kazanımı.....	29
4.3. Kireç Fırını İşletmelerinde Yan Ürün Olarak CO ₂ Üretimi.....	31
5. TÜRKİYE' DEKİ JEOTERMAL SAHALAR VE KIZILDERE JEOTERMAL BÖLGESİNİN ÖZELLİKLERİ.....	33
5.1. Jeotermal Enerji Kaynakları.....	33
5.2. Türkiye ve Dünyada Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları.....	36
5.3. Jeotermal Enerji Kullanımının Avantajları.....	39

6. KIZILDERE JEOTERMAL AKIŞKANININ KULLANIMIYLA KURU BUZ ÜRETİMİ.....	42
6.1. Sıvı Karbondioksit Üretim Prosesinin İncelenmesi.....	43
7. KARBONDİOKSİT ÜRETİM TESİSİNDE ISIL HESAPLAR VE TERMODİNAMİK ÇEVİRİM.....	55
7.1. Su Tüketiminin Hesaplanması.....	57
7.2. Enerji Sarfıyatı.....	57
8. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	
8.1. Karbondioksit Üretim Maliyetinin Hesaplanması.....	64
8.2. Gaz Altı Kaynağıyla Yapılan Hadde Ayağı Üretim Maliyeti İle Bu Üretimdeki CO2 Gazı Giderinin Hesaplanması.....	67
8.3. Gazoz Üretim Maliyeti İle Bu Üretimdeki CO2 Gazı Giderinin Hesaplanması.....	68
9. SONUÇLAR.....	70
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Donduğunda genişleyen maddeler için P-v diyagramı.....	5
Şekil 2.2 Kuru buz makinasının şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.3 Değişik ebatlarda kesilmiş kuru buz.....	8
Şekil 2.4 Kuru buzun yüzeye uygulanması.....	10
Şekil 2.5 Kuru buzla temizlik uygulamalarına bir örnek.....	12
Şekil 3.1 Saf maddenin P-T diyagramı.....	16
Şekil 3.2 Tek kademeli CO ₂ soğutma çevrimi elemanlarının şematik gösterimi.....	21
Şekil 4.1 Fuel oil veya doğal gaz yanma ürünlerinden CO ₂ üretimine ilişkin akım diyagramı.....	29
Şekil 4.2 Fermantasyondan elde edilen CO ₂ ' nin saflaştırılmasına ilişkin akım diyagramı.....	30
Şekil 5.1 İdeal jeotermal sistemin şematik gösterimi.....	34
Şekil 5.2 Değişik alanlarda jeotermal enerji kullanımı.....	37
Şekil 5.3 Türkiye' nin batısındaki sıcak su dağılımları.....	39
Şekil 6.1 Kızıldere jeotermal sahası yüzey donanımlarıyla jeotermal santral....	43
Şekil 6.2 Sıvı CO ₂ üretim tesisi iş akış şeması.....	44
Şekil 6.3 D-10 duşlama kulesi ve D-17 sulfatreat kulesi.....	46
Şekil 6.4 Potasyum permanganat (KMnO ₄) ve sodyum karbonat (Na ₂ CO ₃) kuleleri.....	47
Şekil 6.5 D-06A ve D-06B aktif alümina kuleleri.....	49
Şekil 6.6 D-04A ve D-04B aktif karbon kuleleri.....	50
Şekil 6.7 Amonyak soğutuculu E-07 eşanjörü.....	51
Şekil 6.8 CO ₂ depolama tankı soğutma ve ısıtma ünitesi.....	52
Şekil 6.9 Üretimde kullanılan cihazlara ait karakteristik noktalarda sıcaklık ve basınç değerleri.....	53
Şekil 6.10 Kuru buz üretim makinası genel görünüşü.....	54
Şekil 7.1 E-00 su soğutmalı eşanjörünün şematik gösterimi.....	57
Şekil 7.2 R717 soğutucu akışkanlı kapalı soğutma çevrimi.....	58
Şekil 7.3 E-01 amonyak soğutuculu eşanjörün şematik gösterimi.....	58
Şekil 7.4 Soğutma çevriminin logP-h diyagramı.....	59
Şekil 7.5 Amonyak soğutkanlı çevrimin T-s diyagramı.....	59
Şekil 7.6 Amonyak soğutkanlı soğutma çevriminin logP-h diyagramı.....	60

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Kuru buz ve diğEr temizlik yöntemlerinin karşılaştırılması.....	14
Tablo 3.1 Karbondioksit için basınç – sıcaklık ilişkileri.....	23
Tablo 5.1 Jeotermal akışkanın sıcaklığa bağılı olarak kullanım alanları.....	38
Tablo 6.1 Üretimde kullanılan cihazlara ait karakteristik noktalarda sıcaklık ve basınç değerleri.....	53
Tablo 7.1 Üretim noktasındaki değışik sıcaklıklarda CO ₂ için hesaplanmış Cp ve h değerleri.....	56
Tablo 8.1 Kızıldere elektrik santralinin özellikleri.....	63
Tablo 9.1 CO ₂ üretimi içerisindeki gider dağılımları.....	70
Tablo 9.2 Gazoz üretimi içerisindeki gider dağılımları.....	71
Tablo 9.3 Hadde ayağı imalatı içerisindeki gider dağılımları.....	72

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

\$	Amerikan Doları
°C	Celcius
µm	Mikrometre
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Ar	Argon
C	Kompresör
Ca(OH) ₂	Kireç Sütü
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
CFC	Chlorofluorocarbon
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
E	Eşanjör
F	Filtre
g	Gram
H ₂ CO ₃	Karbonik Asit
H ₂ O	Su
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
HCl	Hidrojen Klorür
K	Kelvin
K ₂ Cr ₂ O ₇	Potasyum Kromat
kg	Kilogram
kJ	Kilojoule
km	Kilometre
KMnO ₄	Potasyum Permanganat
kPa	Kilo Paskal
kW	Kilowatt
kWh	Kilo Watt Saat
lt	Litre
m	Metre
M.Ö.	Milattan Önce
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
MW	Mega Watt
N ₂	Azot
Na ₂ CO ₃	Sodyum Karbonat
NaHCO ₃	Sodyum Bikarbonat
NH ₂	Aminler
NH ₃	Amonyak
NH ₄ Cl	Amonyum Klorür
NH ₄ HCO ₃	Amonyum Bikarbonat
(NH ₄) ₂ CO ₃	Amonyum Karbonat
O ₂	Oksijen
P	Basınç
ppb	Milyarda Bir Kısım
ppm	Milyonda Bir Kısım

s	Saniye
S	Separatör
SO ₂	Kükürt Dioksit
t	Ton
T	Sıcaklık
W	Watt
YTL	Yeni Türk Lirası
v	Özgül Hacim

1. GİRİŞ

Bir maddeyi veya ortamı soğutmak için uzun yıllardır farklı soğutma teknikleri kullanılmaktadır. En basit ve eski soğutma şekli, tabiatta oluşan kar ve buzları kullanarak yapılan soğutmadır. Günümüzde ise teknolojinin ilerlemesi sonucu soğutucu akışkanlar ve soğutma çevrimlerinde sağlanan gelişme, yer ve zaman gözetmeksizin soğutma yapmayı mümkün kılmaktadır. Geliştirilen soğutma teknikleri içinde ise kuru buz kullanımının ayrı bir yeri bulunmaktadır. Kuru buz, sadece soğutucu olarak bozulabilir gıda maddelerini taşımakta değil, organ nakli, hassas makinelerin kirlilik bırakmadan temizliği, tesisatçılık, özel efekt oluşturulması gibi daha birçok alanda kolaylıkla kullanılabilir. Sahip olduğu avantajlardan dolayı kuru buzun kullanım alanları sürekli araştırılmakta ve her geçen gün artmaktadır. Özellikle kuru buzun endüstriyel temizlik alanında kullanımıyla ilgili çalışmalar da önem kazanmaktadır.

Kullanıldığı alanlarda mükemmel sonuçlar veren kuru buzun ülkemizde üretiliyor olmasına rağmen üretim teknolojisinin yeterince yaygınlaşmamış olması büyük eksikliklerdir. Sahip olduğu özellikleri, ekonomikliği, üretim ve kullanım kolaylıkları sebebiyle birçok alanda yaygın kullanımı mümkün iken, Türkiye’de kuru buzun halen çok az biliniyor ve kullanılıyor olması bu alandaki bilgi eksikliğini göstermektedir.

1.1. Literatür Bilgisi

Çengel ve Boles (2000) tarafından hazırlanan “ Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik ” adındaki kitapta bir maddenin katı fazından buhar fazına iki yolla geçebileceği belirtilmiştir. Üçlü nokta basıncı atmosfer basıncının üzerinde olan maddeler için, örneğin kuru buz, süblimasyonun atmosfer basıncında katı fazından buhar fazına geçişin tek yol olduğu verilmiştir.

Karbogaz (2000) tarafından hazırlanan “ Sıvı CO₂ Üretim Faaliyetleri Prosedürü ” raporunda, karbondioksit için ideal depolama şartları -23 ile -28°C sıcaklık ve 16-19 bar olarak verilmiştir. Kuru buz makinasına beslenen karbondioksit makinanın kolonunu üst tarafından aşağı doğru bırakılmakta ve aniden atmosfer şartlarındaki hacme giren sıvı karbondioksit, basınç ve sıcaklık dönüşümü ile kar haline dönüşmektedir. Oluşan bu kar sıkıştırılarak istenilen ebatlarda kesilmektedir. Ayrıca bu raporda, termik santralinin yoğunlaştırıcısından alınan ham CO₂ gazının soğutma, ayırıştırma, sıkıştırma,

yoğuşturma, kimyasallardan arındırılması vb. işlemlerden sıra ile geçerek sıvı karbondioksit elde edilmesi ve depolanması da ayrıntılı biçimde açıklanmaktadır.

Ekren (2006) tarafından hazırlanan “ Kuru Buz İle Temizlik Uygulaması ” adlı çalışmasında kuru buz ile yapılan temizliğin, diğer temizlik yöntemlerine göre büyük avantajlar sağladığı ifade edilmektedir. Çalışmada karbondioksitin fiziksel özellikleri ayrıntılı bir şekilde verilmektedir. Kuru buz partiküllerinin basınçlı hava yardımıyla ivmelendirilerek yüksek hızlarda (300-900 m/s) yüzeye çarptırılmasıyla yüzeyden kirleticilerin koparıldığı belirtilmiştir. Kuru buz yüzeye çarptıktan sonra süblimleşmekte ve karbondioksit gazı olarak atmosfere karışmaktadır. Ayrıca elektrik motorları, konveyörler, fırınlar, matbaalar, borular, pres makinaları, tekstil makinaları, jeneratörler, trafolar, ekmek fırınları, kumanda panoları gibi birçok alanda temizlik amacıyla kullanılabilceği verilmiştir. Çalışmada kuru buzla yapılan temizliğin avantajları belirtilmiş ve kuru buzun diğer temizlik yöntemleriyle karşılaştırılması tablo halinde açıklanmıştır.

Duruk ve Sarıbatı (2006) tarafından hazırlanan “ Soğutma Tesisatı ” adlı kaynakta, soğutmanın ve soğutucu akışkanın tanımı yapılmaktadır. Soğutmada sistemin kapasitesine, soğutma sıcaklığına ve uygulama yerine göre, fiziksel ve kimyasal esaslara dayanan farklı soğutma teknikleri bulunduğu belirtilmektedir. Mekanik soğutma çevrimin sağlanabilmesi için bir kompresöre, basınç düşürmek için bir basınç düşürücü genişleme valfine, buharlaşma işlemi için bir buharlaştırıcıya ve buharın tekrar sıvı fazına getirilebilmesi için yoğuşturucuya ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır. Soğutmada kullanılan türbokompresör, vidalı, pistonlu ve rotorlu kompresörler yapıları, çalışma şekilleri, avantaj ve dezavantajları ile ayrıntılı biçimde belirtilmektedir.

Özkol (2007) tarafından hazırlanan “ Uygulamalı Soğutma Tekniği ” çalışmasında soğutma uygulamalarına örnekler verilmektedir. Kar ve buzları muhafaza edip bunları sıcak veya ısısı alınmak istenen yerlere koyarak soğutma maksadıyla kullanma usulünün M.Ö. 1100 yıllarından beri uygulanmakta olduğu belirtilmektedir. Ayrıca uygulama alanında ilk defa 1860 yılında Dr. James Harrison tarafından soğutucu akışkan madde olarak sülfürik eter kullanılarak mekanik soğutmanın başarıyla kullanıldığı yazmaktadır. Soğutma çevriminin elemanı olan soğutma kompresörlerinden istenen özellikler ve kompresör çeşitleri de bu kaynakta ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

WEB_11 (2008) sayfasında yayınlanan ve Yrd. Doç. Dr. Berrin BOZAN tarafından hazırlanan “ Endüstriyel Gazlar ” adlı çalışmada, karbondioksitin petrol, doğal gaz ve kömürün yakılması sonucu elde edilen baca gazından üretilmesi açıklanmaktadır. Petrol, doğal gaz veya kok 13,6 atü basınçta yakıldığında 345°C derecedeki yanma ürünü olan baca gazından % 10 -15 CO₂ sağlanabildiği belirtilmiştir. Üretime ilişkin akım diyagramı da verilmektedir. Aynı çalışmada fermantasyon işlemi sırasında açığa çıkan CO₂' nin geri kazanımı bir diyagram yardımıyla anlatılmaktadır. Örneğin, mısır gibi nişastalı bir maddenin her litresinden 0,270 lt % 95'lik alkol ve 0,220 kg CO₂ elde edilebileceği belirtilmektedir.

Çağlar ve Taymaz (2006) tarafından hazırlanan “ Aktif Tektoniğin İkramı Sıfır Zararlı Jeotermal Enerji ” adlı çalışmada jeotermal alan, saha ve rezervuar gibi tanımları ayrıntılı şekilde açıklamaktadır. Çalışmada Türkiye’ deki jeotermal sahalardan 5 tanesinin elektrik üretimine elverişli olduğunu ve jeotermal potansiyelimizin 31500 MW (5.000.000 konut ısıtma değeri) olup toplam konut miktarının %30 olarak tahmin edildiği de verilmektedir. Oysa Türkiye jeotermal enerji potansiyelinin yalnızca %3.5 miktarını kullanılabildiği aynı çalışmada belirtmektedir.

Şimşek (1998) tarafından hazırlanan “ Enerji Sorununun Çözümünde Jeotermal Enerji Alternatifi ” adlı çalışmada jeotermal enerjinin, ülkemizin enerji sorununa çözüm olacağı belirtilmektedir. Ayrıca çalışmada jeotermal enerjinin sıcaklığa bağlı kullanım alanlarının belirtildiği bir tabloya da yer vermektedir.

Cansever ve Gülden (1996) atmosferde CO₂ gazının artmasının en büyük nedeni olarak fosil yakıtlardan enerji elde etmek olduğunu belirtmişlerdir. Jeotermal enerji nedeniyle açığa çıkan CO₂ miktarı oran olarak fosil yakıtlara göre daha az olduğu da verilmektedir. Türkiye’de jeotermal bir alan olan Kızıldere sahasında çıkan CO₂'in miktarı 750 g/kWh oranıyla oldukça yüksek olduğundan tamamı atmosfere verilmemekte ve önemli bir kısmından sıvı karbondioksit ve kuru buz elde edilmesinde kullanıldığı açıklanmaktadır.

Serpen ve Türkmen (2007) tarafından hazırlanan “ Kızıldere Jeotermal Santralının 23 Yıllık Performansının Değerlendirilmesi ” adlı çalışmada Denizli Kızıldere’ de elektrik üretimi yapan termik santral, kurulduğu ve çalışmaya başladığı günden bugüne kadar elektrik üretim miktarı, yapılan yatırımlar, kuyu verimleri ve daha birçok bakımdan incelenmektedir. Elektrik üretim santrali şematik olarak çizilmiş ve

açıklanmıştır. Kızıldere jeotermal sahası, 300-800 metre arasında 196-212°C sıcaklıklara sahip, yaklaşık 4500 ppm katı madde içeren ve jeotermal akışkanın ağırlıkça yaklaşık % 1,5 CO₂ içerdiği bir jeotermal rezervuar olarak tanımlanmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

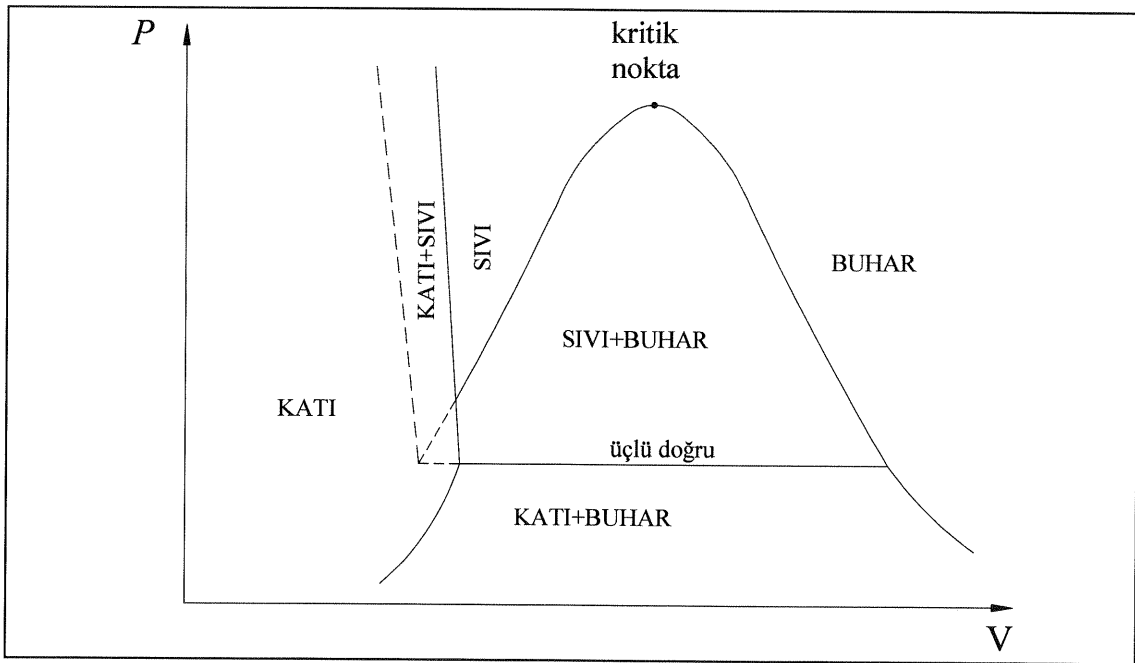
Bu çalışmada; kuru buzun elde edilmesi için gerekli karbondioksidin, jeotermal enerjiden üretilmesinin teknolojik ve ekonomik yönü incelenmeye çalışılmıştır.

Potansiyel açıdan zengin olduğumuz, çevre kirliliğine yol açmayan, ucuz ve yenilenebilir enerji olması, jeotermal enerjiden kuru buz üretimini önemli kılmaktadır. Literatür taramasında görüldüğü gibi jeotermal enerji ile ilgili çalışmaların hepsi elektrik üretimi, jeotermal sahanın yapısının incelenmesi ve bu sahaların kaplıca olarak kullanılması şeklindedir. Literatürde, termik santralin yoğunlaştırıcısından alınan gazdan kuru buz üretildiği belirtilmekte ancak bunun nasıl bir tesis yapısıyla elde edildiği üzerinde durulmamaktadır. Bu çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada; kuru buzun farklı uygulama alanları üzerinde de durulmuş ve CO₂ üretim maliyetleri detaylı olarak incelenmiştir.

2. KURU BUZ VE KULLANIM ALANLARI

Kuru buz, basınç altındaki sıvı karbondioksitin (CO_2) atmosferik basınçta genişleme sonucu fiziksel dönüşüme uğrayarak oluşturduğu kar görünümlü maddedir. Oluşan bu kar pratikte bir sıkıştırma plakası içinde uygun çapta ve şekilde palet veya tablet şeklinde buza dönüştürülerek kullanıma sunulur.

Bir maddenin katı fazından buhar fazına geçmesi iki yolla olabilmektedir. Birincisi madde önce sıvılaşır daha sonra buharlaşır. İkincisinde ise katı madde doğrudan buhar fazına geçmektedir. Doğrudan geçiş ancak üçlü nokta altındaki basınçlarda olabilmektedir. Çünkü bu basınçlarda maddenin sıvı fazında bulunabilmesi söz konusu değildir. Katı fazından doğrudan buhar fazına geçiş süblimasyon diye adlandırılır. Şekil 2.1' de gösterildiği gibi üçlü nokta basıncı atmosfer basıncının üzerinde olan maddeler için, örneğin kuru buz diye adlandırılan katı CO_2 için, süblimasyon, atmosfer basıncında katı fazından buhar fazına geçişin tek yoludur (Çengel ve Boles 2000).



Şekil 2.1. Donduğunda genişleyen maddeler için P-v diyagramı (Çengel ve Boles 2000)

2.1. Kuru Buz ve Sıvı Karbondioksitin Kullanım Alanları

Atmosfer koşullarında kuru buzun sıcaklığı $-78,5^{\circ}\text{C}$ ' dir. Kuru buz buharlaşmaya başladığında gözle görülür bir gaz çıkışı olur ve bu süreç kuru buz tükeninceye kadar devam eder. Kuru buz atmosfer koşullarında sıvı hale gelmek yerine karbondioksit gazı haline gelerek yani süblimleşerek, normal su buzunu gibi çözünerek geride bir su birikintisi veya ıslaklık bırakmaz. Bu durum kuru buzun pek çok endüstriyel alanda kullanımını için tercih nedenini oluşturmaktadır.

Kuru buz (karbondioksit) sağlığa zararlı değildir. Günlük hayatta zevkle içtiğimiz gazlı meşrubatların içindeki gaz karbondioksit gazıdır. Bunun yanında, mekanik kompresyonlu soğutuculara göre 6 ile 8 kat çabuk soğutma, renk kaybına mani olma, uzun stok ömrü ve geride iz bırakmama gibi çok üstün özelliklere sahiptir. Kuru buz, besinin kalitesini muhafaza ederken ortamın nemini çekmediği ve yiyeceklerin görünüşlerini değiştirmedeği içinde frigorifik taşımacılıkta çok tercih edilen bir soğutucudur(WEB_1 2004).

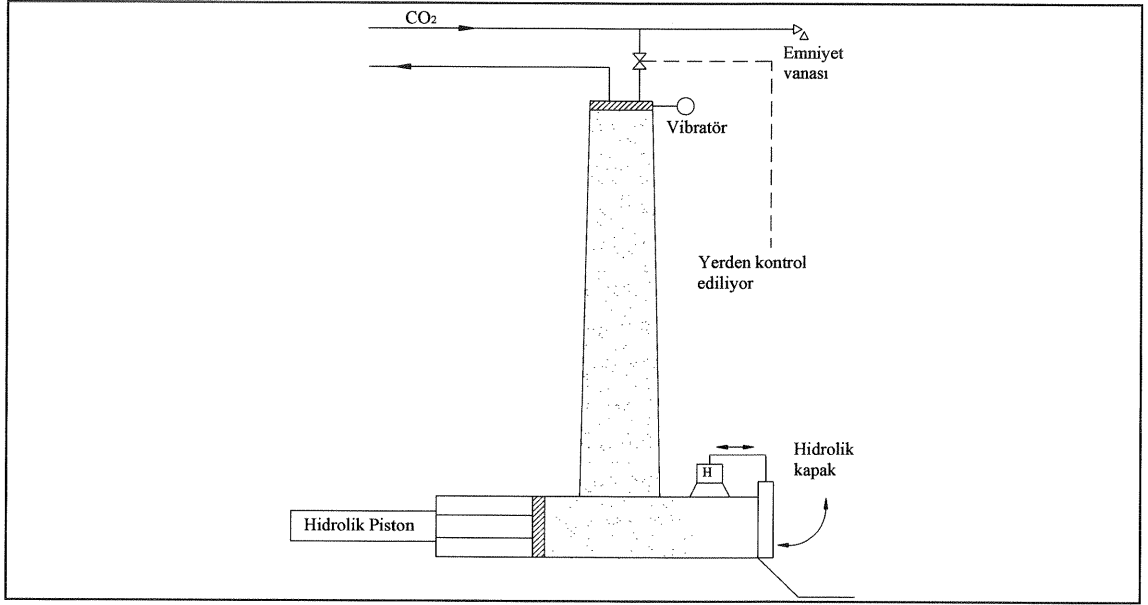
Birçok kullanım alanı olan sıvı karbondioksit ve kuru buzun en yaygın kullanım alanlarından bazıları aşağıda sıralanmıştır(WEB_1 2004).

- Et, meyve, sebze v.b. bozulabilir maddelerin üretim noktasından tüketim noktasına taşınması sırasında soğutulmasında,
- Uçaklarda servis hizmetinde hazır yemeklerin ve içeceklerin soğutulmasında,
- Her türlü makina ve yüzeyde etkin, kirlilik üretmeyen temizlik yapılarında,
- Hastane ve laboratuvarlarda patolojik numuneler, ciltteki tümör v.s.'nin temizlenmesi ve organ naklinde,
- Makina imalatında ve metal parçaların soğutularak büzülmeyle montajında,
- Hayvanların dondurarak markalanmasında,
- Kauçuk endüstrisinde kauçuk ürünlerin çapağının alınmasında,
- Pasta ve bisküvi üretiminde karışımın sıcaklığını kontrol etmek için,
- Tiyatro ve diskolarda özel efektler oluşturmak için,
- Restoranlarda özgül yemek ve içki sunumunda,
- Dondurmanın fabrikadan satış yerlerine dağıtılmasında,
- Hayvan derilerinin kazınmasında,
- Balık, yiyecek, içki v.s. evde kullanılmadan önce soğutulmasında,

- Tesizatçılıkta borunun dondurularak yerinde kesilmesi ve bağlanması için,
- Sperm dondurmak için,
- Ürünlerin korunmasında,
- Pota metalurjisinde çeliğin rafinerizasyon işleminde,
- Suların arıtmada pH oranını ayarlayıcı asit olarak, sert kimyasal mineral asitleri (H_2SO_4 , HCl) yerine daha güvenli, ekonomik ve kontrollü yapılmasında,
- Seracılıkta.
- Plastik enjeksiyon kalıplarının soğutulmasında,
- Hurda plastiklerin öğütülmesinde,
- Beton priz süresinin kısaltılmasında,
- Tünel konstrüksiyonunda toprağın dondurulmasında,
- Kimyasal proseslerde reaktör soğutmada,
- Hububat depolamada haşereye karşı koruma işleminde zararları kanıtlanmış kimyasal ilaçlar yerine insan sağlığına ve çevreye zararsız çözüm olarak,
- Kömür, petrokimya ürünleri v.b. yanıcı malzeme stokluyor ve/veya kullanıyorsanız, yangına karşı,
- Gazlı meşrubat, maden suyu v.b. gazlı içecekler ile alkolsüz içki yapımında,
- Gazaltı kaynağında koruyucu gaz olarak, kullanılır.

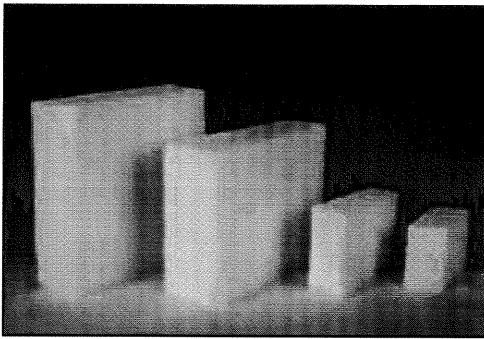
2.2. Kuru Buz Üretimi ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Kuru buz üretimi için ideal depolama şartları -23 ile $-28^{\circ}C$ sıcaklık ve 16-19 bar olan özel tank içindeki sıvı karbondioksit, şekil 2.2' deki gibi kuru buz makinasına beslenir. Sıvı karbondioksit makinanın kolonunun üst tarafından aşağıya doğru bırakılır. Aniden atmosfer şartlarındaki hacme giren sıvı karbondioksit, basınç ve sıcaklık dönüşümü ile kar haline dönüşür. Bu işlem sırasında gaz haline geçen bir miktar karbondioksit, makinanın kolonunun üst tarafından alınarak tekrar yoğunlaştırılmak için soğutuculara gönderilir. Kolonun üst kısmında titreşim sağlamak amacıyla yerleştirilmiş bir vibratör mevcuttur. Vibratör yardımıyla aşağı indirilen kar halindeki madde sıkıştırma ve şekillendirme yapan aparat üzerine birikir. Hidrolik bir piston ve yine hidrolik basınç ile açılıp kapanan bir kapak vasıtasıyla birikmiş karlar sıkıştırılarak şekillendirilir. Üretilen kuru buz krom testerelerle şekil 2.3' deki gibi istenilen ebatlarda kesilir. Daha sonra özel straforlardan yapılmış kutularda saklanır veya taşınır(Karbogaz 2000).



Şekil 2.2. Kuru buz makinasının şematik gösterimi

Kuru buz atmosfer şartlarında katı halden doğrudan gaz haline geçtiğinden gözle temasını önlemek için mutlaka koruyucu gözlük kullanılmalıdır. Ayrıca çok düşük sıcaklıkta bulunduğu için çıplak elle de tutulmamalı, eldiven giyilmeli yada özel maşa kullanılmalıdır. Aksi halde doku donması ve soğuk yanığı oluşacağından elle teması halinde bol su ile yıkanmalıdır. İmalat sırasında, özel çalışma elbisesi ve ayakkabısı giyilmelidir. Kuru buzun düşük konsantrasyonlarındaki hava teneffüs edildiğinde (%3-5 molar havada), kan dolaşımında artış, sık nefes alma ve baş ağrısı ortaya çıkarmaktadır. Orta konsantrasyonları (%8-15 molar havada), baş ağrısı, uyuşukluk, baş dönmesi, burun ve boğazda acı, kalp çarpıntısı, kusma ve bilinç kaybına sebep olabilmektedir. Yüksek konsantrasyonları ise boğulmaya neden olabilir. Bu yüzden kuru buz insanların olduğu kapalı ortamlara konulmamalıdır(WEB_2 2004).



Şekil 2.3. Değişik ebatlarda kesilmiş kuru buz

2.3. Kuru Buz İle Temizlik Uygulaması

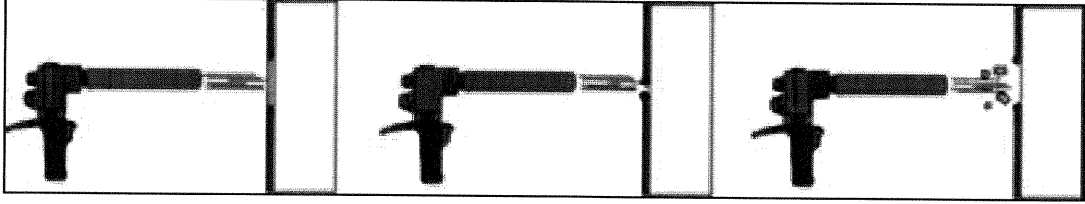
Birçok endüstri tesisinde zorunlu olarak boya, yapışkan, mürekkep, yağ, gıda artıkları, lastik, gres, is, kurum ve benzeri birçok kirletici ortaya çıkmaktadır. Bu kirlilik kaynakları minimum seviyede tutulsa da zamanla birikim oluşturmaktadır. Üretim aşamasında kullanılan cihazlar, üretilen ürün ve üretim birimlerinin, üretim sonrasında ise ürünlerin kullanımından kaynaklanan atık ve kirlenmenin üretimin durumuna göre belirli aralıklarda temizlenmesi gereklidir. Çünkü bu kirlenme üretimde kalitenin ve üretim miktarının azalmasına, kötü görünüme, güvenlikle ilgili sorunlara, sistemden istenen verimin elde edilememesine neden olduğu gibi insan sağlığını da tehdit edebilmektedir.

Endüstriyel tesislerde çeşitli temizlik yöntemleri kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemin avantajlı olması için işçilik ve zamanın minimum olması gerekir. Genel olarak endüstride kullanılan temizlik yöntemlerini incelersek:

Endüstriyel temizlik yöntemlerinden *kum püskürtme*, temizlik için yüzeye toz yada iri taneli kum püskürtülerek uygulanan yaygın yöntemlerden birisidir. Ancak bu yöntemde temizliğin yanı sıra yüzey malzemesinde aşınma da meydana gelmektedir. *Su buhar püskürtme* ise bilinen en basit yöntemdir ama bu yöntem, hassas ve karmaşık makinelerde ayrıca ekipman sistemlerinde problemlere neden olabilmekte, elektrik-elektronik parçalar hasar görebilmektedir. *CFC (chlorofluorocarbon)* çözücülerde diğer bir endüstriyel temizlik yöntemidir. Bu yöntemle yapılan temizlik yüksek maliyetli, insana ve ekipmanlara zararlı olma ihtimali yüksek ve çoğunlukla tatmin edici sonuçlar vermeyen yöntemlerdendir. Görüldüğü gibi bu yöntemlerle yapılan temizlikte yüzeyden koparılan kirleticinin yanında ikinci bir atık yani temizleme maddesinin kalıntıları da ortaya çıkmaktadır(Ekren 2006).

Kuru buz ile temizlik, şekil 2.4' de görüldüğü gibi kuru buz partiküllerinin basınçlı hava yardımıyla ivmelendirilerek yüksek hızlarda (300-900 m/s) yüzeye çarpıtılmasıyla sağlanmaktadır. Kuru buz ile temizlikte üç etki söz konusudur; birincisi yüksek hızda yüzeye çarpan tanelerin kinetik enerjisi (hızla çarpma), ikincisi yüzey ile kuru buz arasındaki sıcaklık farkından oluşan termal enerji (termal gerilme) ve son olarak katı fazdan gaz faza geçen yani süblimleşen kuru buzun hem sıcaklık farkı hem de süblimleşme sırasındaki hacim genişlemesiyle (hacminin 800 katına kadar) meydana gelen termal-kinetik etkidir. Bu üç etki, yüzeyden kirleticilerin koparılmasını sağlar.

Kuru buz yüzeye çarptıktan sonra süblimleşir ve karbondioksit gazı olarak atmosfere karışır. Temizlik sonrası yüzeyden sökülen kirin bütün temizleme işlemlerinde olduğu gibi ek bir işlem ile toplanması gerekmektedir(Ekren 2006).



Şekil 2.4. Kuru buzun yüzeye uygulanması (WEB_3 2004)

Temizlikte kullanılan kuru buz taneleri 3 mm çaplı 5-8 mm uzunlukta pirinç tanesini andıran yada yaklaşık 2 mm çaplı yüzeyi pürüzlü küre şeklinde kullanılmaktadır. Temizleme işleminin oluşmasını sağlayan kinetik enerji yüzeye gönderilen tanelerin hızına bağlıdır, hız arttıkça kinetik enerji artar. Termal enerji ise birim zamanda yüzeye ulaşan tanelerin sayısı ve boyutlarına bağlıdır(Ekren 2006).

Kuru buzla temizleme işi için önce bir kuru buzla temizleme makinasına ihtiyaç vardır. Bu konuda farklı amaçlar için geliştirilmiş ithal ve yerli kuru buzla temizleme makinaları bulunmaktadır. Kullanım yerlerine göre kuru buzla temizleme makinaları değişik basınçlarda ve farklı çalışma aralıklarında üretilmektedir. Kuru buzla temizlik işlemi zor ve dar alanlarda yapılacak ise uzaktan kumandalı cihazlarda tercih edilebilmektedir(WEB_3 2004).

Kuru buz paletlerine gerekli hız ve temizleme gücünü sağlamak için basınçlı havaya gerek duyulmaktadır. Bunun için uygulamada basınçlı hava kompresörleri kullanılmaktadır. Yapılan temizlik uygulamasına bağlı olarak 4-12 bar basınçlı ve 3-10 m³/dakika debili bir basınçlı hava gerekebilir. Eğer kuru buzla temizlik yapılacak tesiste mevcut bir basınçlı hava kompresörü varsa bu kompresörden yararlanılabileceği gibi, seyyar bir kompresörde kullanılabilir. Belli bir temizleme performansına ulaşabilmek için uygun bir hava basıncına ve hacmine gerek vardır. Genellikle kullanılan hava miktarı arttıkça temizleme makinalarının gücü artmaktadır. Kuru buzla temizleme makinaların gücü arttıkça üretim duruşları da en aza indirilmiş olur(WEB_3 2004).

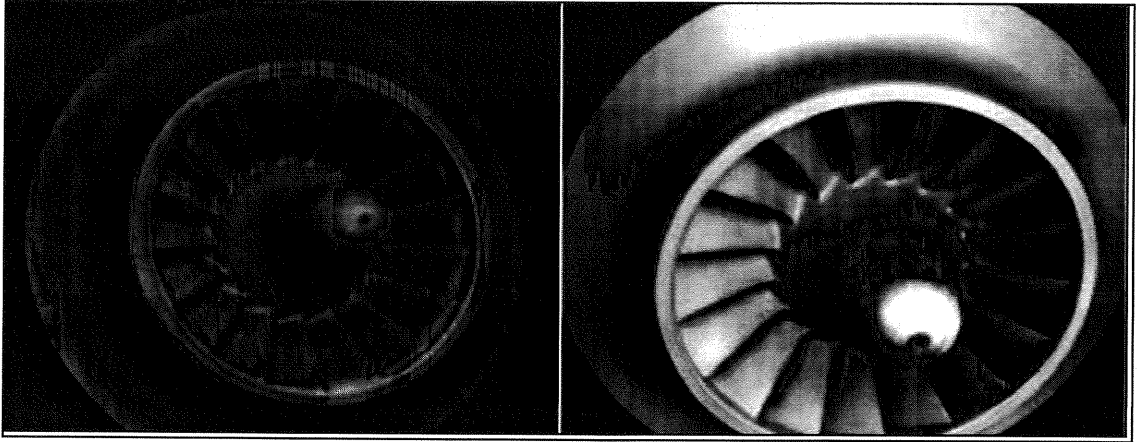
Kuru buz partiküllerinin basınçlı hava yardımıyla ivmelendirilerek yüksek hızlarda (300-900 m/s) yüzeye çarptırılması için tabanca ve nozullar kullanılmaktadır. Kuru buzla temizlik yapılacak farklı uygulamalarda maksimum esneklik sağlamak için çeşitli tabanca ve nozullar geliştirilmiştir. Ayrıca yerinden sökülemeyen sistemler ve kalıpların bulunduğu durumlar için özel tabanca ve nozullarda imal edilebilmektedir(WEB_3 2004).

Kuru buz paletlerinin hazır olarak temin edilmesi mümkünse de kullanımı süreklilik arz eden durumlarda kuru buzla temizlik için kuru buz üretim makinalarını kullanmak zaman tasarrufu sağlamaktadır. Bu durumda uygun boyutta bir karbondioksit tankı bulundurarak kesintisiz bir temizleme işlemi gerçekleşmiş olur. Etkin kuru buz üretimi için gıda kalitesinde saflığında (%99,95) olan ve içerisinde herhangi bir kirlilik bulunmayan sıvı CO₂ kullanılmalıdır(WEB_3 2004).

Ürettiği kuru buzunu birkaç gün saklamak zorunda olan yada kesintili temizlik yapan kullanıcılar bu amaçla geliştirilmiş yüksek termal yalıtım özelliğine sahip kuru buz saklama depolarını kullanmasında fayda vardır. Böylece ilk kullanım sırasında oluşan zaman ve malzeme kaybı önlenmiş olmaktadır. Ayrıca kuru buzun depolandığı veya sürekli olarak karbondioksit kullanılan ortamlarda, herhangi bir kaçak olması durumunda güvenlik yönünden gaz dedektörlerinin bulunması da çevre ve insan sağlığı açısından faydalı olmaktadır(WEB_3 2004).

2.3.1 Kuru buzla temizlik uygulama alanları

Kuru buzla temizliğin kullanılabilme alanları oldukça geniştir, esas olarak sıcaklık değişimlerine hızlı tepki veren bütün kirliliklerin temizlenmesinde uygulanabilir. Boya, cila, tutkal, yağ, mum, sentetik atıklar ve köpükler yüzeye herhangi bir zarar vermeden kolayca temizlenir. Genel olarak kuru buzla temizlik elektrik motorları, konveyörler, fırınlar, matbaalar, borular, pres makinaları, tekstil makinaları, jeneratörler, trafolar, ekmek fırınları, kumanda panoları gibi birçok hassas parça güvenli şekilde temizlenir(Ekren 2006). Şekil 2.5' te kuru buzla yapılan temizleme işlemine örnek olarak bir fanın temizlenmeden önceki ve kuru buz ile temizlendikten sonraki görünümü verilmektedir.



Şekil 2.5. Kuru buzla temizlik uygulamalarına bir örnek (WEB_4 2007)

Ekren (2006) kuru buzla yapılan pek çok temizlik uygulamalarından bazılarını şu şekilde açıklamıştır;

- Solunum ile ilgili hastalıklara neden olan 40' dan fazla bakteri çeşidinin olduğu (örneğin lejyoner hastalığına sebep olan lejyonella gibi) klima santralleri ve hava kanallarının belirli aralıklarla temizlenmesinde,
- Otomotiv bakım veya tamiri için sökülmüş parçaların temizlenmesinde,
- Gıda endüstrisinde su ve kimyasal kullanmadan, paketlenme makinalarında kalan ürün artığı, kağıt tozu ve yapıştırıcıların temizlenmesinde,
- Yangın tehlikesi olan yağlanmış mutfak bacalarının erişilmesi güç olan kısımlarının temizlenmesinde,
- Matbaa ekipmanlarında kalan ıslak ve kuru mürekkebi, kağıt tozlarını ve yapıştırıcılardan kalan artıkların temizlenmesinde,
- Kereste sanayinde üretimden kaynaklanan yapışkanların, asit geçirmez cilaların ve ürünlerden gelen reçinenin temizlenmesinde,
- Konveyör sistemlerinin, zincirler ve kayışların çalışır haldeyken nazik bir şekilde temizlenmesinde,
- Dökümhanelerde sıcak kalıpların sökmeden temizlenmesinde,

ve buna benzer hassas, hızlı, ekonomik ve geride kalıntı bırakılmaması gereken birçok yerde kuru buzla temizlik yapılabilmektedir.

2.3.2. Kuru buzla yapılan temizlik uygulamalarının faydaları

Ekren (2006), tablo 2.1' de kuru buz ve diğer temizlik yöntemlerini beş ayrı şekilde karşılaştırmıştır. Tablodan da anlaşılacağı gibi kuru buz diğer temizlik yöntemlerine göre mükemmel sonuçlar vermektedir. Bunun yanında kuru buzla temizlik uygulamalarının diğer üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır:

- Kuru buzla temizlenen yüzelerde erozyon meydana gelmemektedir.
- Kuru buzla temizliğin uygulama süresi diğer temizlik yöntemlerine göre daha kısadır.
- Kuru buz ile yapılan temizleme işleminde, kuru buz süblimleştiği için geride herhangi bir kalıntı oluşmamaktadır. Böylece püskürtülen maddenin temizlenmesi için fazladan maliyet ve zaman kaybı yoktur.
- Kuru buz ile yapılan temizlik herhangi bir sağlık sorununa neden olmamaktadır. Oysaki kum püskürtme ile yapılan temizlik akciğer hastalıklarına neden olabilmektedir.
- Kuru buzla temizlik işleminde, temizlenecek yüzeyin özelliğine göre temizleme işlemini yapan operatör püskürtme debisini kolaylıkla ayarlayabilmektedir.
- Kuru buz aynı zamanda bir dezenfektandır. Yani temizlik sonrası yüzeyde bakteri kalmaz ve bakteri büyümesi de gecikir.
- Kuru buz elektriksel iletken değildir. Bu özellik kuru buzun çalışır durumdaki makinalara ve elektrik kablolarına kolayca uygulanmasına olanak sağlar.
- Kuru buzla temizlik yüzeyde herhangi bir aşınma meydana getirmemektedir. Diğer yüzey temizlik yöntemlerinde, tel fırça ve kazıyıcılarda ise yüzeyde yıpranma ve bozulmalar meydana gelebilmektedir.
- Kuru buzla temizlik çoğunlukla üretim ekipmanları çalışırken yapılabildiği için sökme-takma gerektirmez. Böylece temizliği yapılan işletmeye ciddi maliyet ve zaman kazancı sağlar.
- Kuru buzla temizlikte zehirli ve zararlı kimyasal maddeler kullanılmaz.

Tablo 2.1. Kuru buz ve diğer temizlik yöntemlerinin karşılaştırılması(Ekren 2006).

Temizleme Tekniği	Temizlenecek Artık	Aşındırıcı	Sağlık Riski	Elektriksel İletkenlik	Performans Karşılaştırması
Sıcak su	Var	Hayır	Yok	Var	Zayıf
Buhar	Yok	Hayır	Yok	Var	Zayıf
Su/Surfaktan	Var	Hayır	Yok	Var	Sınırlı
Su/Çözücü	Var	Hayır	Var	Var	Sınırlı
Alüminyum Oksit	Var	Evet	Var	Yok	Aşırı Agresif
Metal Püskürtme	Var	Evet	Yok	Yok	Aşırı Agresif
Cam Taneciği	Var	Evet	Var	Yok	Aşırı Agresif
Sodyum Bikarbonat	Var	Evet	Var	Yok	Görünümde bozulma
Sünger Taşı	Var	Evet	Var	Yok	İyi
Kuru Buz	YOK	HAYIR	YOK	YOK	MÜKEMMEL
Elastik Püskürtme	Var	Evet	Var	Yok	Görünümde bozulma
Plastik Tanecik	Var	Evet	Var	Yok	İyi

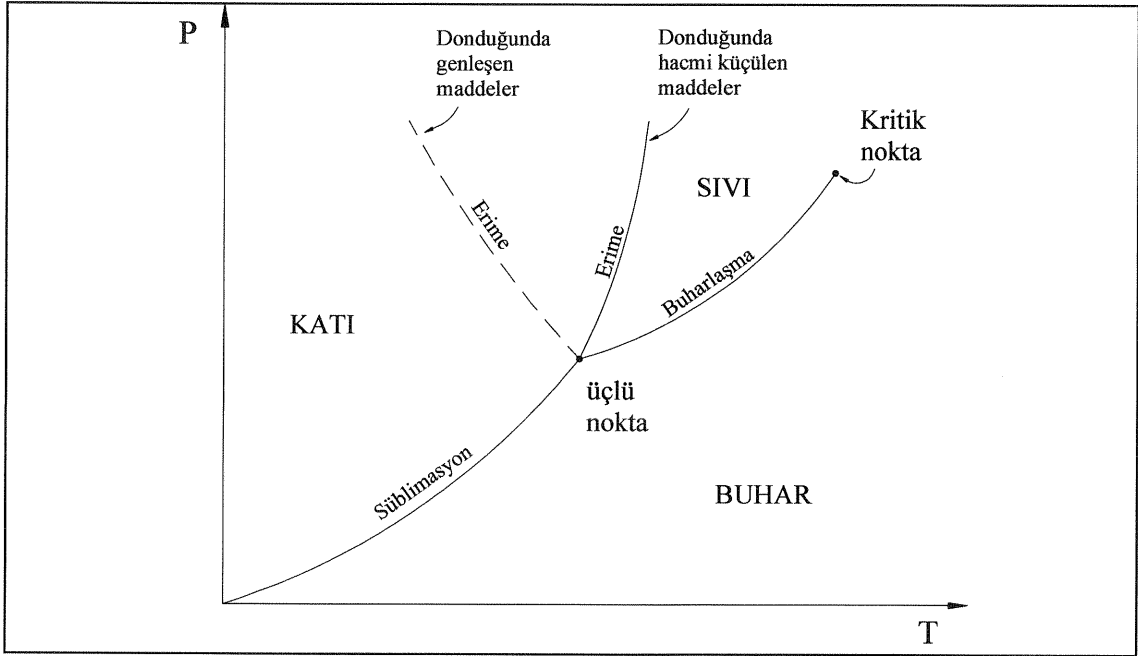
3. KARBONDİOKSİTLİ SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Karbondiyoksit en yaygın ve önemli kullanım alanı soğutmadır. *Soğutma*, bir maddenin sıcaklığını, ortam sıcaklığının altına indirerek ve bu düşük sıcaklıkta tutabilmek için maddeden ısı alınması olarak tanımlanabilir. Bir maddeyi soğutabilmek için, bu maddeden daha soğuk olan bir soğutucu madde ile ısı çekilmesi gerekir. Soğutucu madde de genel olarak bir akışkan olduğundan, çoğu zaman *soğutucu akışkan* olarak adlandırılmaktadır(Duruk ve Sarıbatı 2006). Şekil 3.1’ de saf maddelerin basınç ve sıcaklığa bağlı faz değişimi P-T diyagramında gösterilmiştir.

Bilinen en basit ve eski soğutma şekli, soğuk yörelerde tabiatın meydana getirdiği kar ve buzları muhafaza edip bunları sıcak veya ısısı alınmak istenen yerlere koyarak soğutma sağlanmasıdır. Kışın meydana gelen kar ve buz muhafaza ederek sıcak mevsimlerde bunları soğutma maksadıyla kullanma usulünün M.Ö. 1100 yıllarından bu yana uygulanmakta olduğu bilinmektedir. Bu uygulamanın bugün dahi yurdumuzun bazı yörelerinde bir soğutma şekli olarak kullanıldığı görülmektedir. Diğer yandan, eski Mısırlılardan beri geceleri açık gökyüzünü görecektek şekilde yerleştirilen seramik testilerde suyun soğutulabildiği bilinmektedir. Bu soğutma şekli, gece karanlığındaki gökyüzünün sıcaklığının mutlak sıfır (-273°C) seviyesinde olmasından ve ışıma yolu ile ısının gökyüzüne aktarılmasından yararlanılarak sağlanmaktadır(Özko1 2007).

Soğutmada sistemin kapasitesine, soğutma sıcaklığına ve uygulama yerine göre, değişik soğutma yöntemleri kullanılabilir. Pratik açıdan fiziksel ve kimyasal esaslara dayanan farklı soğutma teknikleri bulunmaktadır. Mekanik soğutma tekniğinde düşük basınç ve sıcaklıktaki soğutucu akışkan buharlaşırken, gizli buharlaşma ısısını, temasta olduğu madde veya ortamdan alarak, soğutma işlemini gerçekleştirir. Bu çevrimin sağlanabilmesi için bir kompresöre, basınç düşürmek için bir basınç düşürücü genişleme valfine, buharlaşma işlemi için bir buharlaştırıcıya ve buharın tekrar sıvı fazına getirilebilmesi için yoğunlaştırıcıya ihtiyaç vardır(Duruk ve Sarıbatı 2006).

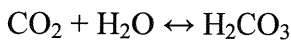
Uygulama alanında ilk defa 1860 yılında Dr. James Harrison üretim işlemi sırasında birayı soğutmak maksadıyla mekanik soğutmayı başarıyla kullanmıştır. Sistemde de soğutucu akışkan madde olarak sülfürik eter kullanmıştır(Özko1 2007).



Şekil 3.1. Saf maddenin P-T diyagramı (Çengel ve Boles 2000)

3.1. Karbondioksidin Fiziksel Özellikleri

Karbondioksit, kovalent bağlı bir karbon ve iki oksijen atomundan oluşan moleküle sahip, normal koşullarda gaz halinde bulunan bileşiğin adıdır. Rengi ve kokusu yoktur. Karbondioksit havanın 1,5 katı ağırlığındadır. Reaksiyona girmez ve yanmaz, aksine alev söndürücüdür. Atmosfer havasında ortalama %0,03-0,04 oranında bulunur. Ayrıca suda kolayca çözünebilme özelliğinden dolayı meşrubat sektöründe kullanılır (Ekren 2006). Karbondioksidin su ile reaksiyonu sonucu:



zayıf bir asit olan karbonik asit (H_2CO_3) meydana gelmektedir. Karbonik asitin pH' ı sıcaklık ve basınca bağlı olarak 3.7 ile 3.3 arasında değişmektedir. Bu asitik özelliği, su arıtma ve alkali sıvıların nötralizasyonunda, karbondioksit uygun bir pH kontrol aracı özelliği kazandırmaktadır (WEB_5 2004).

Karbondioksidin diğer fiziksel özellikleri ise aşağıda verilmiştir (Ekren 2006);

Kimyasal formülü: CO_2

Moleküler yapısı: $\text{O}=\text{C}=\text{O}$

Moleküler ağırlık: 44,01 kg/kmol

Yoğunluk-katı: 1562 kg/m³ (-78,5°C' de)

Yoğunluk-sıvı: 1020 kg/m³ (-17,7°C' de)

Yoğunluk-gaz: 1,9768 kg/m³ (0°C' de)

Erime noktası: -56,6°C

Kaynama noktası: -78,5°C (süblimleşme)

Kritik sıcaklık: 31°C

Kritik basınç: 75,2 bar

Kritik yoğunluk: 43,77 kg/m³

Özgül ısı-gaz: 0,1989 kcal/kg°C (16°C' de)

Özgül ısı-sıvı: 0,53 kcal/kg°C (-17,7°C' de)

Erime gizli ısısı (üçlü nokta): 197,7 kJ/kg (-56,6°C' de)

Buharlaşma gizli ısısı (sıvı): 283,72 kJ/kg (-17,7°C' de)

Süblimleşme gizli ısısı (kuru buz): 572 kJ/kg (-78,5°C' de)

Vizkozite-gaz: 0,015 santipoise (0°C' de)

Vizkozite-sıvı: 0,14 santipoise (-17,7°C' de)

Isıl iletkenlik-gaz: 0,0147 W/m°C (0°C' de)

Isıl iletkenlik-sıvı: 0,1903 W/m°C (-17,7°C' de) olup, karbondioksit için basınç - sıcaklık ilişkisi tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Karbondioksit için basınç – sıcaklık ilişkileri (Karipçin 1995).

SICAKLIK (°C)	BASINÇ (bar)	SICAKLIK (°C)	BASINÇ (bar)	SICAKLIK (°C)	BASINÇ (bar)
-78,5	0,02	-40	9,038	5	38,64
-75	0,332	-35	11,02	10	43,98
-70	0,968	-30	13,27	15	49,84
-65	1,857	-25	15,81	20	56,28
-60	3,084	-20	18,68	25	63,34
-56,6	4,166	-15	21,88	30	71,10
-55	4,535	-10	25,45	31	72,82
-50	5,818	-5	29,42		
-45	7,312	0	33,80		

3.2. Karbondioksit Soğutkanlı Soğutma Sistemleri

3.2.1. Karbondioksit ile paketlerde soğutma

Genellikle et ve et ürünlerinin tazeliğini korumak için karbondioksitten yararlanılarak yapılan uluslar arası standartlara uygun bir soğutma uygulaması sistemidir. Soğutulacak ürünler özel kutulara yerleştirilir ve üzerine sıvı karbondioksit püskürtülür. Karlaşan karbondioksitin kutu içinde çok kısa zamanda oluşturduğu -79°C lik soğukluk, ürünlerin yüzeyinde ince donmuş bir zırh meydana getirir. Soğukluk gövde içine nüfus ederek ürün sıcaklığını -2°C ' ye indirir, ürünü dondurmaz. Soğutma işlemi sonunda ürünü soğutan karbondioksit karı (kuru buz) gazlaşarak yok olmakta ve geriye artık bırakılmamaktadır(Karipçin 1995).

Soğutma kutuları alt tarafında 20 mm çapında 4-5 delik bulunan, üstü kapanabilir durumdadır. Kutu içerisine düzenli bir şekilde yerleştirilen ürünler arasına giren gazlaşmış karbondioksit, kutunun alt kısmından çıkmak isteyecek ve böylece homojen bir soğutma sağlanmış olacaktır. Karlama işlemi tamamlanmış kutular nakliye için termos kasalı araçlara yüklenir. Muhafaza etmek içinse izolasyonlu odalara konulur. Karipçin (1995) bu tür uygulamanın faydalarını;

- i. Gıda maddelerinde gövdeden buharlaşma yolu ile olan nem kaybını önler.
- ii. Gıda ürünlerinde ani soğutma ile damarların ağzını büzüp sızıntıyı keser.
- iii. Nakliye kolaylığı sağlar, uzaklıklar sorun olmaktan çıkar.
- iv. Uygulanması basittir. Büyük yatırımlar gerektirmez.
- v. Kar halinde olan karbondioksit gazlaşarak uçar, artık bırakmaz.
- vi. Oksijeni ortamdan uzaklaştırıp bakterilerin yaşamasını önler.
- vii. İşlem yapılan mamüllerin normal şartlardaki ömrü 3 ile 5 gün daha uzar,

şeklinde maddeler halinde özetlemiştir.

3.2.2. Karbondioksit ile sızıntılı soğutma

Paketlerde soğutma sistemine benzer bir soğutma sistemidir. Farklı olarak sızıntı soğutma sisteminde mamüllere ön işlem olarak soğutulmamış bir su banyosuna daldırma işlemi uygulanır. -79°C soğuklukta yüzeyler üzerinde donmuş ince bir su buzu zırhı elde edilir. Bu işlemlerden sonra mamüller paketlenerek sevkiyata hazır hale getirilir. Bu uygulamanın faydaları da(Karipçin 1995);

- i. %7-8 oranında ürüne nem ilavesi sağlar.
- ii. Gıda maddeleri öz sularını muhafaza ederek ve lezzetlerini korurlar.
- iii. Kütlede meydana gelebilecek fire kaybını önler. Satışta kesim ağırlığı korunur.
- iv. Malın raf ömrünü önemli derecede arttırır.
- v. Rengini ve görünümünü güzelleştirir, şeklinde ifade edilmiştir.

3.2.3. Karbondioksitli dolaylı soğutma sistemleri

Bu sistemin özelliği, düşük sıcaklıklarda daha düşük pompalama gücü ihtiyacı ve daha iyi ısı transfer karakteristikleri sağlayan, faz değiştiren maddeli bir ikincil soğutucu akışkan kullanılmasıdır. Bu, soğutucu akışkanların kendilerinin de ikincil düşük sıcaklık soğutucusu olarak kullanılabilmesi anlamına gelen, bahsedilen sıcaklık bölgesinde sıvıdan gazıya faz değiştiren akışkanlarla mümkün olabilir. Sentetik soğutucular iyi bilinen çevresel sakıncalar gösterdiğinden ve CO_2 dışındaki diğer doğal soğutucu akışkanlarda lokal güvenlik problemleri oluşturduğundan, böyle bir ikincil soğutucu akışkan adayını yalnızca CO_2 ' dir. CO_2 konvansiyonel tek fazlı akışkanlardan çok daha iyi ısı transferi davranışı gösterir ve piyasadaki konvansiyonel soğutuculardan daha düşük viskoziteye sahiptir. CO_2 ' in soğutucu olarak kullanılması 1993'de birbirinden bağımsız olarak Pearson ve FKW tarafından patent başvurularında ve yayımlarında teklif edilmiştir. 1996'da İsveç' li bir şirket, Lund' daki ticari bir süpermarkette, düşük sıcaklık devresinde, dolaylı CO_2 soğutmalı ilk amonyaklı sistemini kurmuştur. Bunun dışında, özellikle İskandinav ülkelerinde, buna benzer, düşük sıcaklık devresinde dolaylı CO_2 soğutmalı, R-404a akışkanlı soğutma sistemli süpermarketler kurulmuştur(Sert 2007).

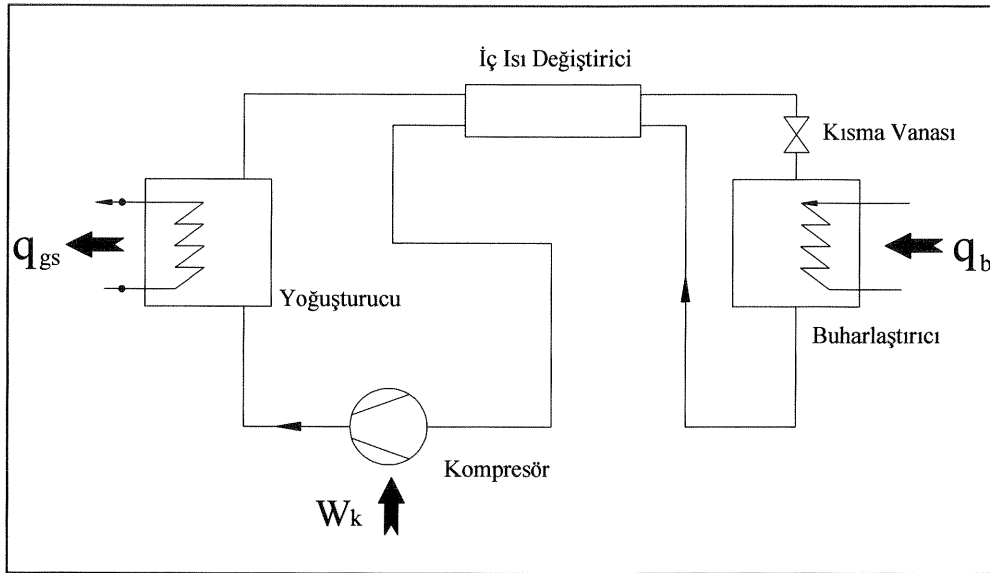
3.2.4. Karbondioksitli doğrudan soğutmalı kademeli (kaskad) sistemler

Böyle bir sistemde dikkat edilmesi gereken, düşük sıcaklık bölgesinde direkt buharlaşmalı bir CO₂ sisteminin, maliyet ve enerji açısından, bir önceki konuda belirtilen CO₂'nin ikincil soğutucu akışkan olarak uygulandığı sisteme rakip olup olamayacağıdır. İki sistemin de teorik karşılaştırmalı araştırması yapıldığında bu iki sistemin de, enerji tüketimleri ve yıllık işletme masraflarının hemen hemen eşit olduğu ancak basamaklı (kaskad) sistemlerin küçüğe olsa bir miktar daha avantaja sahip olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Kademeli sistemlerin önemli bir dezavantajı; kaskad soğutucunun, düşük sıcaklık çevriminde, 26 bar'lık konvansiyonel kompresör basınçlarını aşmaması için oldukça düşük sıcaklık seviyesinde olması gerekliliğidir. Bu, yüksek sıcaklık çevrimi için buharlaşma sıcaklığının, soğutmada çok düşük olması anlamına gelir ve bu da yüksek sıcaklık çevriminde daha yüksek ısı transfer kayıplarına yol açar. Örneğin R-410a için tasarlanmış, giriş basıncı 40 bar olan kompresörler, bu gün bu uygulama içinde kullanılabilir. Düşük sıcaklık çevriminde doğrudan genişmeli, kademeli, CO₂ sistemli süpermarketler ilk olarak Danimarka'da kurulmuştur. Yüksek sıcaklık devresindeki doğal akışkanların (örnek olarak amonyak veya propan) düşük sıcaklık seviyesindeki kadar olmasada nispeten yüksek olan enerji tüketimi, dolaylı tuzlu su (brine) sistemlerini gerekli kılmaktadır. Direkt buharlaşmalı R-134a veya R-404a soğutucu akışkanları, yüksek-sıcaklık devresinde, potansiyel kaçak problemleri oluşturabilmektedir(Sert 2007).

3.2.5. Karbondioksit doğrudan soğutmalı tek kademeli sistemler

CO₂ soğutucu akışkanlı bir başka olası çözüm ise, süpermarketlerde hem düşük hem de yüksek sıcaklık uygulamalarında CO₂ çevriminden yararlanılmasını mümkün kılan, özel tasarlanmış CO₂ kompresörleri kullanılması olabilir. Özel CO₂ kompresörleri ilk kez, bu amaç için, bir İtalyan kompresör üreticisi tarafından tasarlanmıştır. Dağıtımli soğutma sistemleri için, böyle bir yöntem, teorik ve deneysel olarak araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Sonuçlar; bu gibi soğutma sistemlerinde konvansiyonel doğrudan CO₂ genişmeli soğutma sistemlerinin, küresel ısınma açısından doğrudan salınım (emisyon) problemleri oluşturmamasına rağmen, çevrim nedeniyle R-22 sisteminin üçte biri kadar daha fazla enerji tüketimine sahip olduğunu göstermektedir. 2003 yılında Giretto S. , tarafından yayınlanan bir makalede, saha testleri sonucunda bir mevsime ait, R-404A kullanan konvansiyonel doğrudan genişmeli sistemle karşılaştırıldı ve sonuçlar, kurulan CO₂ sisteminin toplam enerji tüketiminin, denk R-404a sisteminden,

yaklaşık olarak %8 kadar yüksek olduğunu gösterdi. CO₂ uygulamasının maliyeti, çeşitli ticari sistemler içerisinde en ekonomik uygulama olan R-404a uygulaması ile karşılaştırıldı ve CO₂ sisteminin yaklaşık olarak %10 daha yüksek bir maliyeti olduğu görüldü. Sonuç olarak; daha büyük ticari CO₂ akışkanlı sistemlerinin enerji ve ekonomi açısından, R-404a akışkanlı sistemler ile karşılaştırıldığında hala ikinci derecede olduğu görülmektedir(Sert 2007). Şekil 3.2' de tek kademeli CO₂ soğutma çevrimi elemanları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Tek kademeli CO₂ soğutma çevrimi elemanlarının şematik gösterimi (Özgür ve Bayrakçı 2008)

3.2.6. Karbondioksit doğrudan soğutmalı iki kademeli sistemler

Yüksek sıcaklık kademesinde, transkritik ve düşük sıcaklık kademesinin alt kritik değerinde, iki kademeli CO₂ sistemi kullanıldığında bazı avantajların oluşması beklenebilir. Bunun gibi bir sistem FKW firması tarafından, bir italyan süpermarket üreticisi için düşünülp tasarlandı. Yüksek sıcaklık pompalama sistemi ve düşük sıcaklık direkt enjeksiyon sistemi için sıvı CO₂ sağlayan bir ara tank bulunan CO₂ sistemini içeriyordu. Karşılaştırma için bir R-22 akışkanlı sisteminin enerji tüketimi gözlemlendiğinde, ara soğutuculu iki kademeli bir yüksek sıcaklık kompresörüne ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Ani ara soğutmalı iki kademeli CO₂ çevrimi, deneysel olarak incelendiğinde karşılaştırılabilir R-22 akışkanlı sistem ile aynı sonuçları vermemiştir. %50 olan düşük kompresör verimi ve genişleme odasındaki yüksek yağ içeriği ile

birlikte yağ dönüş cihazlarındaki yüksek basınç kayıplarının, verimi düşürdüğü görülmüştür(Sert 2007).

3.2.7. Karbondioksit basamaklı sistemler

CO₂ ile transkritik yüksek sıcaklık çevrimi yapan sistemde olduğu gibi, düşük sıcaklık çevriminde kademeli çalışan bir sistemi karşılaştırdığımızda, tek kademeli tipte daha iyi yağ akış kontrolü sağlandığı görülmüştür. Sistem, çoğu zaman, 26°C civarı ortam sıcaklıklarında, alt kritik koşullar altında, R-404a sistemi ile yaklaşık aynı enerji veriminde, hava tarafında çalışmaktadır. Sistem yalnızca 28°C üzerindeki ortam sıcaklıklarında transkritik sistem olarak çalışmaktadır. Ancak; hava soğutmalı gaz soğutucusunun dış yüzeyine su püskürten özel bir su uygulaması, sıcak yaz koşulları altında, tüketilen enerjide bir düşüş sağlamaktadır. Şu ana kadar yapılan ölçümlere göre, normal sıcaklıklar için CO₂ doğrudan genleşmeli sistemlerin, bir R-404a soğutkanlı sistem ile karşılaştırıldığında, eşit enerji tüketimi gösterebileceğini düşünmenin daha gerçekçi olduğu görülmektedir. Yatırım maliyetleri göz önüne alındığında ise yatırım maliyetleri hala R-404a akışkanlı doğrudan genleşmeli sistemlerden yüksek, yani dolaylı R-404a akışkanlı sistemlerinin yatırım maliyetleri civarındadır. Yüksek üretim miktarlarına bağlı olarak bileşenlerin maliyetindeki azalma ve süpermarkette belirgin şekilde daha küçük çaplı soğutkan boru ağı, yatırım maliyetlerinin düşmesine yardımcı olabilir. Özetle, CO₂ doğrudan buharlaşmalı sistemlerinin yatırım maliyetlerinin gelişme potansiyeli vardır. Dolaylı sistemler ise sistem yükünü azaltmayı mümkün kılmasına rağmen, yatırım ve işletme maliyetleri direkt buharlaşmalı sistemlerden oldukça fazladır(Sert 2007).

3.3. Soğutma Kompresörleri

Soğutma kompresörlerinin soğutma sisteminde başlıca iki görevi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, buharlaştırıcı ve soğutucudaki ısı ile yüklü soğutucu akışkanı buralardan uzaklaştırmak ve böylece arkadan gelen ısı yüklenmemiş akışkana yer temin ederek akışın sürekliliğini sağlamaktır. İkincisi ise, buharlaştırıcıdan çıkan buharı yoğuşma basıncına kadar sıkıştırmaktır(Özkoç 2007). İdeal bir kompresörde şu genel karakteristikler aranmaktadır:

- a. Sürekli bir kapasite kontrolü ve geniş bir çalışma rejimine uyabilme,
- b. İlk kalkışta dönme momentinin mümkün olduğunca az olması,

- c. Verimlerin kısmi yüklerde de düşmemesi,
- d. Değişik çalışma şartlarında emniyet ve güvenilirliği muhafaza etmesi,
- e. Çıkardığı titreşim ve gürültünün belirli seviyelerin üzerine çıkmaması,
- f. Ömrünün uzun olması ve arızasız çalışması,
- g. Daha az güç harcayarak birim soğutma değerini sağlayabilmesi,
- h. Maliyetinin mümkün olduğunca düşük olması, bir kompresörden istenen başlıca özelliklerdir.

Fakat bunların hepsine birden sahip olan bir soğutma kompresörü yoktur denebilir. Soğutma uygulaması yapılacak yerdeki şartlara göre yukarıdaki karakteristiklerin en fazlasını sağlayan aşağıdaki kompresörlerden biri seçilebilir. Kompresörler genellikle:

1. Rotorlu kompresör
2. Pistonlu kompresör
3. Türbokompresör
4. Vidalı kompresör

olmak üzere dört tipte imal edilebilmektedir(Duruk ve Sarıbatı 2006).

3.3.1. Rotorlu kompresörler

Küçük soğutma tesislerinde kullanılan bu kompresör, bir silindir içerisinde kaçık eksenli olarak dönen bir pistondan meydana gelmektedir. Bıçaklı ve kanatlı olmak üzere iki tipte imal edilebilmektedir.

Bu kompresörlerin içinde dönen bir piston olduğundan içlerinde ayrıca emme ve basma supapları bulunmamakta ve devir sayıları oldukça yüksektir. Arada bir kavrama olmaksızın doğrudan elektrik motoru ile tahrik edilebilirler. Soğutucu akışkanın daima bir yönde hareket etmesi yani kompresörün doğru akışlı olması nedeniyle de cidar kayıpları azdır ve kompresör içindeki ölü hacim küçüktür. Bu nedenle bu tip kompresörlerde doluluk derecesi %70-80 gibi oldukça yüksek değerlerde olmaktadır. Buna karşılık bıçaklar veya kanatlar ile dönen piston veya silindir arasındaki sürtünmeler nedeniyle bu kompresörlerin mekanik verimleri düşük olmaktadır. Rotorlu kompresörlerin sıkıştırma oranı en fazla 1/7 değerinde olmaktadır. Ayrıca rotor ile silindir arasındaki toleranslar, $\pm 1,25-2,5 \mu\text{m}$ arasında olmalıdır. Bu nedenle imalatlarına özel itina gösterilmektedir. Kompresörün çalışmadığı zamanlarda

ise yüksek basınçlı gazın emme hattına geri dönmemesi için emme ve basma hattına bir çek valf konulması gerekmektedir(Duruk ve Sarıbatı 2006).

Rotorlu kompresörler özellikle ev tipi buzdolaplarında, ev tipi derin dondurucularda ve küçük kapasitelerdeki iklimlendirme cihazlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlarda ekovat adı verilen sızdırmaz bir kap içerisinde elektrik motoru ile birlikte kullanılmaktadır. Bu kompresörlerin en büyük avantajı yağ değiştirme ve benzeri bakım işlerine ihtiyaç göstermemeleridir.

Bıçaklı tipten olanlar 4 kW gücüne kadar imal edilebilmektedir. Daha büyük güç istendiğinde kanatlı tip rotorlu kompresör tercih edilmelidir. Kanatlı tip rotorlu kompresörler çoğunlukla çok kademeli kompresör sistemlerinde, derin dondurma uygulamaları için düşük basınç kompresörü veya yardımcı kompresör olarak görev yapmaktadırlar. Kanatlı tip rotorlu kompresörler -20 ile -90°C sıcaklıklarda sorunsuz çalışabilmektedir. Bu tip kompresörlerin gücünde 5 ile 450 kW arasında değişmektedir. Bu kompresörler, aynı kapasitedeki diğer tip kompresörlere göre daha küçük boyutlu ve hafiftirler. Özellikle soğuk depoculuk ve gıda maddelerinin dondurulmasında önemli uygulama alanı bulmaktadırlar. Kanat sayıları 4 ile 16 arasında değişebilmektedir. Bu kompresörlerin soğutması ise silindir kanalları içerisinde su veya yağ geçirilerek olmaktadır(Duruk ve Sarıbatı 2006).

3.3.2. Pistonlu kompresörler

Pistonlu kompresörler, özellikle buhar yoğunluğu ve yoğuşma basıncı yüksek olan soğutucu akışkanlar için kullanılmaktadır. Bu akışkanlara örnek olarak amonyak, R-22, R-407c ve R-134a sayılabilir. Bu tip kompresörler temel yapıları ve çalışma özellikleri bakımından büyük değişiklikler göstermektedir. Bu farklar:

- Silindir ve piston düzeni,
- Tahrik tipi,
- Valf yapısı ve çalışma şekli
- Soğutma ve yağlama sistemlerinin karakterlerine göre ayrılabilir.

Pistonlu kompresörler silindir ve piston düzenine göre dikey veya yatay olmak üzere iki tipte tercih edilebilirler. Dikey kompresörler ise emme ve basma valflerinin yerleştirilişine göre doğru veya alternatif akışlı olmaktadır.

Dođru akışlı dūřey tip kompresörlerde, gaz kompresör içerisinde aynı yönde akmaktadır. Böylece silindirdeki sıcaklık sabit kalabilmekte ve i verimi iyileşmektedir. Dođru akışlı kompresörlerin sakıncalı tarafı ise piston içerisinden geçen soğuk gazın pistonu soğutması ve piston üst ölü noktaya geldiğinde sıkışmış ve dolayısıyla ısınmış olan soğutucu akışkan buharının piston yüzeyinde yoğuşmaya uğrayabilmesidir. Ayrıca piston üzerindeki valften gaza yađ geçebileceğinden kompresör ile yoğuşturucu arasına bir yađ ayırıcı konulmalıdır.

Alternatif akışlı dūřey tip kompresörde ise silindire giren gaz yön değiştirmekte ve bu suretle emme periyodunda emilen soğuk gaz, daha önceki sıkıştırma periyodunda ısınmış olan sıcak cidarlarda ısınmaktadır. Bunun sonucu olarak da hacim genişlemesi nedeniyle kompresörün hacimsel verimi düşmektedir. Bu tip kompresörlerde piston üzerinde supap bulunmadığından, soğutucu akışkana yađ karışma tehlikesi doğru akışlı dūřey tip kompresörlere göre daha az olmaktadır.

Yatay kompresörler ise ilk imal edilen kompresör tiplerindedir. Bu kompresörler küçük güçlerin dışında kullanılmamaktadır. Küçük soğutma yüklerinde pistonlu yatay kompresörler, elektrik motoru ile birlikte sızdırmaz bir kap içerisine yerleştirilmekte ve yoğuşturucu, kılcal boru, buharlaştırıcı ve ayar sistemi ile birlikte bir grup halinde imal edilmektedir. Bu soğutma grubu daha çok ev tipi buzdolapları ve derin dondurucular için kullanılmaktadır. Yatay kompresörler yerine daha az yer kaplamaları ve karterden dışarıya yađ sızdırmamaları nedeniyle dūřey tip kompresörler tercih edilmektedir.

Pistonlu kompresörlerin tahrik tiplerine bakıldığında, büyük çoğunluğu elektrik motoru ile çalışmaktadır. Fakat ulaştırma araçlarının (otomobil, tren, uçak v.b.) havalandırma sistemlerinde tahrik gücü içten yanmalı bir motordan sağlanmaktadır. Elektrik motoru kompresöre bir kavrama veya kayış sistemi ile bağlanmaktadır. Yeni tip kompresörlerde ise motor kompresöre bir gövde içinde flanşla bağlı bulunabilmektedir.

Pistonlu kompresörlerde emiş valfleri ve basma valfleri olmak üzere iki tip valf bulunmaktadır. Kompresör valfleri, silindirin içi ile emiş hattı ya da basma hattı arasındaki basınç farkından faydalanarak çalışmaktadırlar. Gerçekleştirdikleri mekanik işe göre kompresör valfleri düz subab tipi, halka-plaka tipi ya da şerit tiplerinde imal edilmektedirler. Düz supaplar 400 d/d değerinin üzerinde çalışan kompresörler için

uygun olmamaktadır. Bunun için yüksek hızlı kompresörlerde halka-plaka veya şerit tipi supaplar tercih edilmektedir(Duruk ve Sarıbatı 2006).

Pistonlu kompresörlerin silindir ve kapakları su soğutmalı ya da hava soğutmalı olabilirler. Genellikle büyük kompresörlerde su soğutmalı sistem kullanılmaktadır. Soğutma işlemi için su, silindirlerin etrafındaki gömleklerin içinde ve sıkıştırma kapağında dolaşmaktadır. Klima sistemi için gereken kapasite aralığındaki kompresörlerin çoğu hava ile soğutulmaktadır. Hava soğutmalı kompresörlerde silindir duvarları ve sıkıştırma kapakları, ısı geçiş yüzeyini arttırmak için kanatlı biçimde üretilmiştir.

Yağlama, ya basit çarpma yöntemi ile ya da pompalı bir tahrik yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Küçük kompresörlerde tamamıyla çarpmalı yağlama sistemi kullanılmaktadır. Büyük kompresörlerde ise yağ pompaları ile yağlama sistemleri bulunmaktadır.

3.3.3. Türbokompresörler

Türbokompresörlerde sıkıştırma dönen çark çevresindeki kanatlar ile sağlanmaktadır. Bir çarkta yaklaşık olarak 1,2 oranında sıkıştırma sağlanabildiğinden, büyük sıkıştırma oranlarında art arda çok sayıda çark kullanılmalıdır. Buda bu kompresörün konstrüksiyonunu karmaşık hale getirmektedir. Normal olarak bir mil üzerine 10-12 çarktan fazla takılamamaktadır(Duruk ve Sarıbatı 2006).

Çark boyutlarını küçük tutmak için yüksek devir sayıları seçilebilir. Çark çevre hızları soğutucu akışkan cinsine göre 120 ile 250 m/s hızlarında alınabilir. Düşük debilerde ise konstrüksiyon yönünde elverişsiz dar kanatlar gerektirmektedir. Bu durumda türbokompresörlerin ancak yüksek akışkan debilerinde kullanılması uygun olmaktadır. Ayrıca sıkıştırma oranının da büyük olmaması nedeniyle bu tip kompresörler genel olarak düşük basınçlarda kullanılmalıdır(Duruk ve Sarıbatı 2006).

Türbokompresörlerin devirleri, kullanıldıkları sistemin kapasitesine göre 4000 d/d ile 8000 d/d değerleri arasında değişebilmektedir. Daha çok 900-11000 kW güç aralığındaki yüksek kapasiteli sistemler için uygundur. 10 ile 50 °C arasında geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilmektedirler. Mekanik yer değiştirmeli makinalar olmadıkları

için değişen yüklerle karşıda esnektirler ve tasarım kapasitesinin %40 altında bile çalıştıklarında yüksek verim sağlamaktadırlar(Doruk ve Sarıbatı 2006).

Küçük olmaları, az yer kaplamaları, fiyatlarının ucuz olması, supap ve dolayısıyla ölü hacim bulunmaması, yüksek devirde çalışabildiği için elektrik motoru ve türbinlere doğrudan bağlanabilmesi, sadece yataklarda yağlama yapıldığı için yağın soğutucu akışkana karışmaması gibi nedenler türbokompresörlere geniş kullanım alanı sağlamaktadır.

3.3.4. Vidalı kompresörler

Vidalı kompresörlerde, dişleri birbirini saran iki sonsuz vidadan birinin diğerini hareket ettirmesiyle gaz sıkıştırılmaktadır. Emme deliği açıkken rotorların dönmesi ile gaz emilmektedir. Emilen gaz vidalar arasındaki gittikçe daralan boşluğu rotor boyunca doldurduktan sonra emme deliği kapanmaktadır. Rotorlar dönmeye devam ederek aradaki gazı sıkıştırırlar. Bunu takiben basma deliği açılmakta ve sıkıştırılmış gaz, dişler arasındaki boşluk sıfıra inmek suretiyle basılmaktadır. Böylece emme, sıkıştırma ve basma periyotları tamamlanmış olur.

Çalışma prensibi çok basit olduğundan vidalı kompresörlerin bakımları da kolay olmaktadır ve ömürleri uzundur. Diğer kompresör tiplerine nazaran daha az yer kaplamakta, daha az titreşim yapmakta ve dişli, kayış, kasnak gibi elemanlara ihtiyaç olmadan doğrudan tahrik sistemine bağlanılmaktadırlar. Hareket eden parçalarının az olması nedeniyle verimleri de yüksektir.

Vidalı kompresörler 10000 ile 20000 d/d gibi yüksek devir sayılarında çalışabilmektedir. Bu nedenle boyutları da küçüktür. Örnek olarak -15°C ile 30°C sıcaklıkları arasında çalışan 35 kW gücündeki bir soğutma sisteminde 400 kg ağırlığında bir pistonlu kompresöre ihtiyaç duyulurken, 20000 d/d devir sayılı vidalı kompresör kullanılması durumunda 25 kg ağırlığında bir vidalı kompresör yeterli olabilmektedir. Bu avantajından dolayı vidalı kompresörler özellikle uçak kabinlerinin iklimlendirmesi için çok uygun olmaktadır(Doruk ve Sarıbatı 2006).

4. KARBONDİOKSİDİN KLASİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Yararları ve kullanım alanları önceki bölümlerde anlatılan karbondioksitin endüstriyel ölçekte elde edilebildiği önemli kaynaklar;

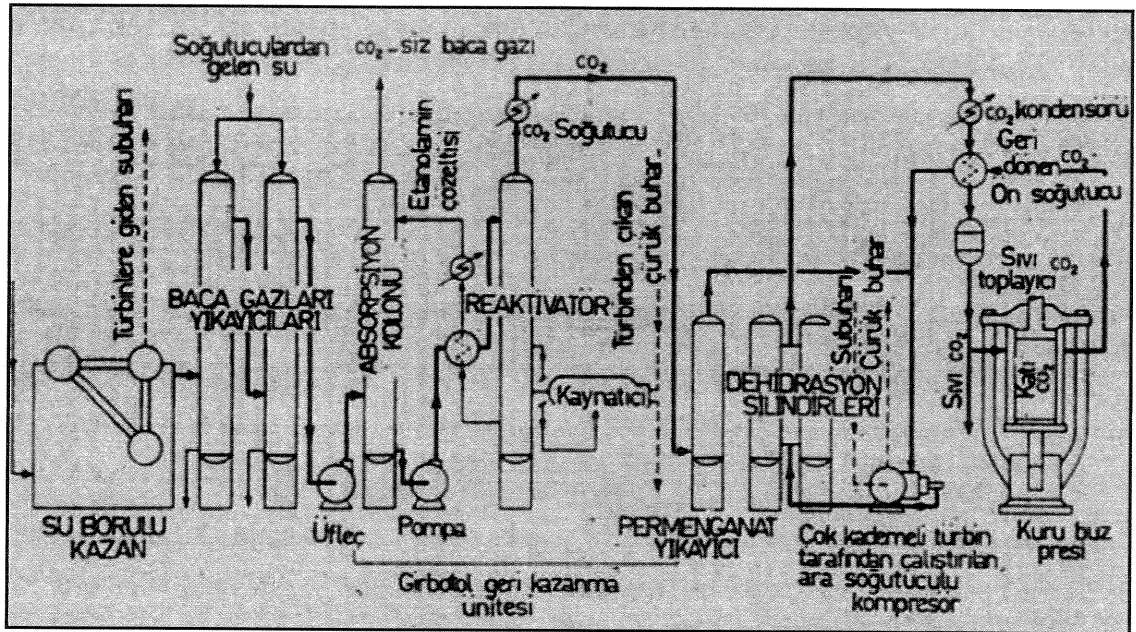
- a. Karbon bulunduran katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılmasından oluşan baca gazları (%10-18 CO₂).
- b. Karbonhidratların alkol ve karbondioksit parçalanması şeklinde yürüyen fermantasyon endüstrilerinde yan ürün gazları (%99 CO₂).
- c. Kireç fırını işletmelerinde yan ürün gazları (%10-40 CO₂).
- d. Jeotermal sahada elektrik üretimi yapan santralin yoğunlaştırıcısından attığı gaz (%96 CO₂).

olarak verilmektedir(WEB_11 2008).

4.1. Petrol, Doğal Gaz ve Kömürün Yanmasından Oluşan CO₂' yi Geri Kazanım Prosesi

Petrol, doğal gaz veya kok 13,6 atü basınçta (su buharı üretmek için) yakıldığında 345°C derecedeki yanma ürünü olan baca gazından % 10 -15 CO₂ sağlanabilmektedir. Yanma gazı soğutulur, saflaştırılır ve iki yıkama kulesinden geçirilerek su ile yıkanır. CO₂, sulu bir etanolamin çözeltisi içerisinde, ters akım ve seçimli absorpsiyon uygulanarak yanma gazından uzaklaştırılmaktadır. Reaktörde etanolamin ve CO₂ karışımından ayrılan karbondioksit reaktörün üst kısmından alınmaktadır(WEB_11 2008). Şekil 4.1' de bu sistem şematik olarak verilmektedir.

İşlemden ayrılan etanolamin, absorpsiyon kulesine geri gönderilmektedir. Su buharını ise yoğunlaştırmak için bir CO₂ soğutucusundan geçer. Yoğuşan su kuleye reflaks olarak geri dönmektedir. CO₂ içindeki çok az miktardaki H₂S ve aminlerden (NH₂) arındırılmak için, yaklaşık olarak 2 bar basınçta bir permanganat yıkayıcısından geçirilerek sırasıyla saflaştırılır, kurutulur, sıkıştırılır, soğutulur ve sıvılaştırılır. İşlem sonunda kuru buz üretmek için toplayıcıdan sıvı CO₂ çekilir. Kuru buz üretimi sırasında buharlaşan gaz ön soğutucudan geçirilerek geri döndürülmektedir. CO₂' nin tekrar sıkıştırılması ve soğutulması ile dolaşım devam etmektedir(WEB_11 2008).



Şekil 4.1. Fuel oil veya doğal gaz yanma ürünlerinden CO₂ üretimine ilişkin akım diyagramı (WEB_11 2008)

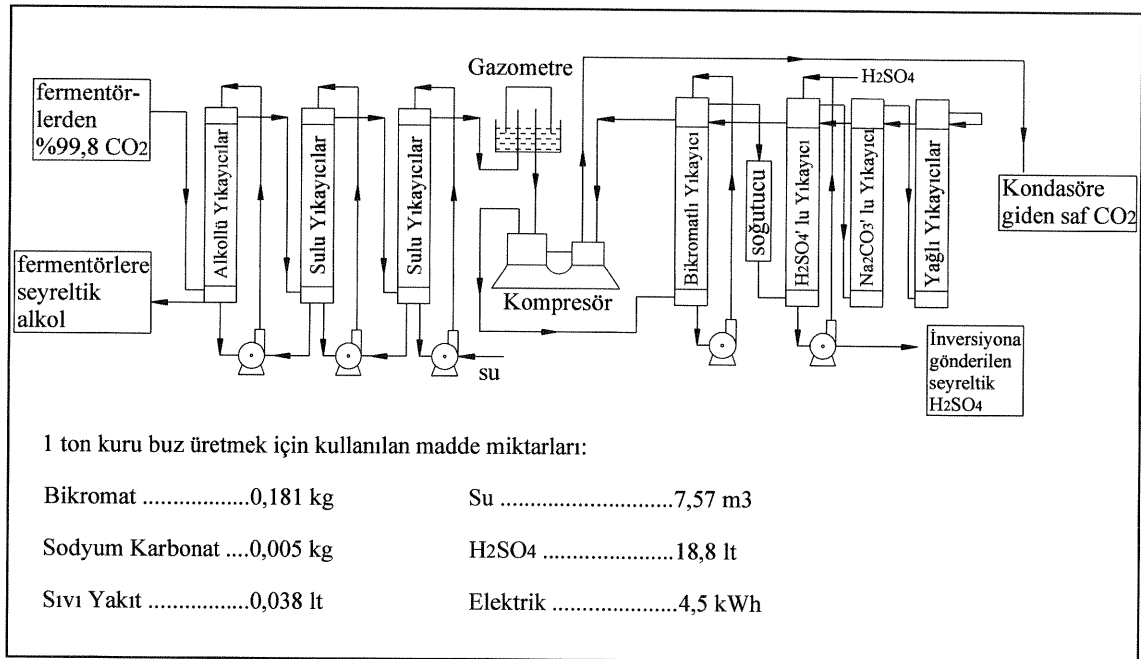
4.2. Fermantasyon İşleminde Açığa Çıkan CO₂' nin Geri Kazanımı

Karbonhidrat içeren hammaddelerin mikroorganizmaların (mayaların vb.) kullanılmasıyla farklı maddelere dönüşümü sırasında oluşan ürünlerin yanında CO₂ gazı da açığa çıkmaktadır. Maya kullanılması halinde ise alkol ve CO₂ üretilmektedir. Diğer mikroorganizmalar (bakteriler vb.) ise çeşitli çözücülerle H₂ ve CO₂ açığa çıkartırlar. Yani fermantasyonun türüne göre CO₂ verimi değişmektedir. Örneğin, mısır gibi nişastalı bir maddenin her litresinden 0,270 lt % 95'lik alkol ve 0,220 kg CO₂ elde edilebilmektedir(WEB_11 2008).

Fermantasyondan CO₂ in kazanılması ve saflaştırılması, yanma gazı prosesiyle CO₂ üretiminden farklıdır. Fermantasyonda sıcaklık, çok nadir hallerde 40°C' i aşar ve bu nedenle, özel soğutmayı gerektirmez. Bu durumda gazın CO₂ miktarı çoğunlukla % 99,5' ün üzerindedir. Yani CO₂ oranı yanma gazına oranla çok fazla olduğu için (%99) burada CO₂' nin üretiminde kademeli(seçimli) absorpsiyon uygulanmaz. Gazda bulunan yabancı maddelerin oksitlenmesi ve sıvı haldeki kimyasal maddeler tarafından suyun giderilmesi (dehidrasyon) üretim sürecinde temel procestir. CO₂ üretim işlemi şekil 4.2' de gösterilmektedir(WEB_11 2008).

Fermantörlerden çıkan gaz, spiral şekilli seramik dolgu malzemesi ile dolu üç adet yıkayıcıdan geçirilip, gazölçere (gazometreye) gönderilmektedir. İlk yıkayıcı, ilk

saflaştırıcı olarak görev yapar ve seyreltik bir alkol çözeltisi ile çalışır. Burada gaz tarafından taşınan alkolün büyük bir kısmını uzaklaştırılmaktadır. İçlerinde yıkama maddesi olarak, havası giderilmiş su kullanan diğer iki yıkayıcı, suda çözünebilir yabancı maddelerin hemen tümünü uzaklaştırır. Yıkama sıvısı, alkolün geri kazanılması için, ya distilasyon kolonuna veya fermantörlere pompalanır. Gaz, gazometreden $K_2Cr_2O_7$ (Potasyum kromat) çözeltisi kullanan yıkayıcılara gönderilir ve burada, gazda bulunan aldehitler ve alkoller okside edilerek, daha sonra gaz soğutulur. Sülfürik asit kullanan ikinci yıkayıcıda oksidasyon tamamlanır ve gaz sudan ayrıştırılır. Asit yıkayıcısından çıkan CO_2 asit damlacıkları taşır ve bu asit, kok ile dolgulanmış olan ve Na_2CO_3 çözeltisi kullanan bir yıkama kulesi tarafından uzaklaştırılır. Asit nötrleştirildiği zaman, CO_2 serbest kalır. Gaz kompresöre gitmeden önce, az miktarda gliserin bulunduran bir yıkayıcıdan geçirilir. Böylece burada, oksitlenmiş ürünler absorplanır ve gaz kompresöre kokusuz bir şekilde girer. Koku giderme ve kurutma işlemlerinde kullanılan sülfürik asit, distilasyona gönderilir ve orada pH kontrolü için kullanılır (WEB_11 2008).



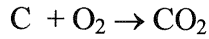
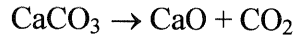
Şekil 4.2. Fermantasyondan elde edilen CO_2 ' nin saflaştırılmasına ilişkin akım diyagramı (WEB_11 2008)

4.3. Kireç Fırını İşletmelerinde Yan Ürün Olarak CO₂ Üretimi

Soda (sodyum karbonat) bugün en ekonomik olarak solvey yöntemi ile elde edilmektedir. Hammadde olarak doymuş tuz kireç taşı ve amonyak kullanılmaktadır. İmalat sırasında kireç taşı fırınlarında CO₂ açığa çıkmaktadır(WEB_12 2008).

Tuz yataklarından gelen tuzlu su, kalsiyum sülfat, magnezyum sülfat gibi istenmeyen maddeler ihtiva ettiğinden, bunlar arıtma işlemine tabi tutularak uzaklaştırılmaktadır. Arıtılmış tuzlu su amonyak ile reaksiyona sokulur. Bundan amaç, tuzlu suyun CO₂ ile reaksiyonunu kolaylaştırmaktır. Absorpsiyon sırasında çözelti sıcaklığı yükseldiğinden ısı değiştiricilerle çözelti soğutulmaktadır(WEB_12 2008).

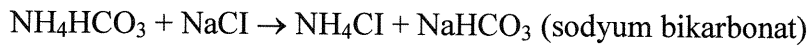
Kireç fırınları, kireçtaşının (CaCO₃) kok kömürü ile yakılması işleminin yapıldığı ünitedir. CO₂ gazı açığa çıkmaktadır. Yanma işleminde oluşan CO₂ gazı, soda üretiminde CO₃ kökünü teşkil eder(WEB_12 2008). İlgili reaksiyonlar;



şeklindedir.

CO₂ karbonasyon kolonlarına giderken, yanmış kireç (CaO) ise söndürme bölümüne gider. Burada yanmış kireç su ile söndürülerek kireç sütüne (Ca(OH)₂) dönüştürülmekte ve amonyağın geri kazanılmasında kullanılmaktadır.

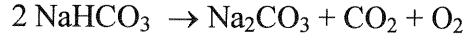
Fırınlar ünitesinden elde edilen ve yıkanan % 40 konsantrasyonundaki CO₂ gazı kompresörlerle karbonasyon kolonlarına basılır. Burada absorpsiyon ünitesinden gelen amonyaklı tuzlu su ile reaksiyona sokularak 3 kademede sodyum bikarbonat (NaHCO₃) kristalleri elde edilir(WEB_12 2008). Bu reaksiyonlarda;



şeklindedir.

Kristalli çözelti içindeki sodyum bikarbonat kristalleri, vakum filtrelerinde filtre edilerek çözülden alınmaktadır. Amonyum klorür (NH₄Cl) çözeltisi ise amonyağın geri kazanılmasında kullanılmaktadır.

Kalsinasyon ünitesi filtrasyon ünitesinden elde edilen sodyum bikarbonatın kalsine edildiği ünedir. Sıcaklığın etkisiyle ayrışarak soda, CO₂ ve suyu meydana getirmektedir. Oluşan reaksiyon;



şeklindedir.

Açığa çıkan gaz karışımı (su, CO₂ ve az miktarda NH₄) soğutucuda ayrılarak NH₃ ve CO₂ elde edilmektedir(WEB_12 2008).

5. TÜRKİYE' DEKİ JEOTERMAL SAHALAR VE KIZILDERE JEOTERMAL BÖLGESİNİN ÖZELLİKLERİ

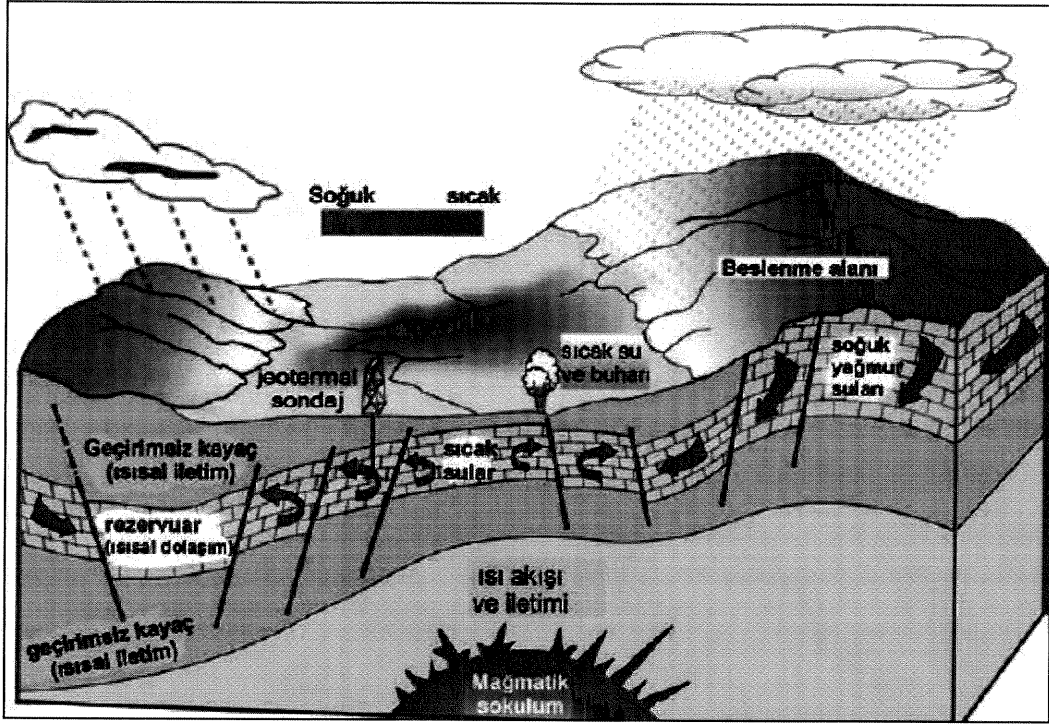
Jeotermal sözcüğü “yer” ve “ısı” anlamındaki Yunanca iki kelimedenden üretilmiştir. *Jeotermal kaynak*, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan birikmiş ısının oluşturduğu kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır. *Jeotermal enerji* ise jeotermal kaynaklardan doğrudan veya dolaylı her türlü faydalanmayı kapsamaktadır.

Isı yeryüzüne yakın derinliklere, termal kondüksiyon yolu ile taşınır. Bu olay eriyik haldeki magmanın yukarı bölgelere sokulumu ile veya sıcak katmanlar olan astenosferin, kıtasal kabuk kalınlıklarının az olduğu kıta parçalarında yukarıya daha çok ısı iletilmesi ile gerçekleşir. Yeraltına sızan sular burada gözenekli ve geçirimli özellikleri bulunan hazne kayalarda toplanır. Hazne kayalar üzerinde geçirimsiz örtü kayalar bulunmaktadır. Isı, yerkabuğundaki kırık veya çatlaklarda dolaşan sular vasıtasıyla yeryüzüne aktarılır. Eğer yerkabuğunda doğal su dolaşımını sağlayacak kırık yoksa ve ısı birikimi tespit edilirse, oluşturulacak yapay kırıklardan akışkan dolaştırılarak enerji elde edilmesi mümkündür. Bu olaylar sonucu, anormal ısınmış bölgelerdeki yeraltı suları, hidrotermal kaynaklar olarak sıcak su veya buhar çıkışları şeklinde yüzeyde görülmektedir.

5.1. Jeotermal Enerji Kaynakları

Jeotermal kaynakların üç önemli bileşeni vardır. Bunlar; ısı kaynağı olan magma, ısıyı yeraltından yüzeye taşıyan akışkan olan yer altı suları ve suyun dolaşımını sağlamaya yeterli kayaç geçirgenliğidir.

Yerkürenin içine doğru ilerledikçe sıcaklığın arttığı bilinmektedir. Jeotermal alanlarda sıcak kayaç ve yüksek sıcaklıktaki yer altı suyu diğer yerlere göre daha sığ kesimlerde bulunursa buralara *jeotermal alan* denir. Jeotermal alanlar, etkin depremlerin olduğu tektonik bakımdan aktif olan genç volkanların bulunduğu kuşaklarda olabileceği gibi binlerce yıl önce sönmüş volkanların bulunduğu bölgelerde de oluşabilmektedir(Çağlar ve Taymaz 2006). Şekil 4.1' de yağmur sularının ve yer altı sularının ısınarak yeryüzüne çıktığı veya çıkarıldığı jeotermal sistem gösterilmiştir.



Şekil 5.1. İdeal jeotermal sistemin şematik gösterimi (Çağlar ve Taymaz 2006)

Meteorik kökenli yer altı suyunun birkaç kilometre derine inip ısındıktan sonra yüze doğru yükselmesi ile oluşan alanda jeotermal saha olarak nitelendirilmektedir. Eğer yeryüzünde doğal bir jeotermal çıkış yoksa, yeraltındaki jeotermal rezervuarın üzerindeki alanda jeotermal saha olarak adlandırılmaktadır.

Jeotermal saha, aslında jeotermal özellikleri taşıyan coğrafik yerin tanımıdır. Bu sahadaki hidrolik sistemin bütün parçaları ile birlikte yağmur sularının ve soğuk suların ısınarak yeryüzüne çıkış yaptığı yerler ve yer altı kısımları ise jeotermal sistem olarak adlandırılmaktadır (Çağlar ve Taymaz 2006).

Genellikle tektonik levha sınırları diye bilinen ve depremlerin sık ve şiddetli olmasıyla veya volkanik faaliyetlerle de tanımlanan bölgelerde, yer kabuğunda kırıklar olduğundan bu bölgeler genellikle jeotermal enerji açısından zengin bölgelerdir.

Jeotermal enerji kaynakları şu şekilde sınıflandırılabilir (WEB_8 2008).

a.) Normal ısı gradyanlı sahalar: Jeotermal olarak yüksek ısı akışı gösteren alanların dışındaki alanlardır. Bu alanlarda yaklaşık her 100 metrede sıcaklık $2,5^{\circ}\text{C}$ artar. Eğer 150°C ' lik bir sıcaklık elde etmek istiyorsak yaklaşık 5000m derinliğinde kuyu kazılması gerekir. Bu yöntem uygulamada ekonomik olmamaktadır.

b.) Radyojenik sahalar: Bu tür bölgeler kayaların içerisindeki radyoaktif elementlerin bozulmasıyla ortaya çıkan ısıyla, sıcaklıkları normal ısı gradyanının üzerine çıkmış bölgelerdir. Genellikle granit gibi kaya tabakalarında toplanan bu enerji, granit tabakalarının su geçirgenliği az olduğundan doğal olarak suya aktarılma olasılığı pek yüksek olmamaktadır.

c.) Yüksek ısı akışlı bölgeler: Yeraltından yeryüzüne ısı transferi iletim mekanizmasıyla olur. Dünyanın bazı bölgelerinde yer kabuğunun ısıl geçirgenlik katsayısı çok düşük olabilir. Eğer bu yüksek ısı akışı ile bir arada bulunuyorsa sıcaklıklar normal gradyanın üzerine çıkabilir. Örneğin Macaristan'da sıcaklık değişimi 40-75 °C/km civarındadır. Bu değer normal gradyanın yaklaşık üç misli civarındadır. Bu tür yüksek ısı akışlarının oluşmasının sebebi bu bölgelerde yer kabuğunun göreceli olarak ince olması veya kabuğun içine sıkışmış yüzeye yakın bir magma tabakasının olması olabilmektedir.

d.) Basınç altındaki jeotermal sahalar: Bazı sedimenter kaya oluşumlarının arasında sıkışmış fosil su kaynakları bulunabilmektedir. Bu tür su kaynakları basınç olarak normal basınç gradyanının üzerinde değerlere sahip olabilir. Eğer basınç gradyanı metre başına 10,5 kPa değerinin üzerindeyse bu tür alanlara basınç altında jeotermal alanlar adı verilmektedir. Bu tür alanların çekici tarafı genelde basınç, sıcaklık ve metan kaynakları olarak üç enerji kaynağının kullanılmasını sağlayacak bir ortam oluşturmasıdır.

e.) Nokta ısı kaynakları: Bu tür ısı kaynakları en kolay kullanılabilen jeotermal enerji kaynaklarıdır. Termal kaynak, ya yerin içinde oldukça yüksekte bulunan bir magma bölgesi veya çatlaklar boyunca yükselmiş bir magma tabakasıdır. Genelde yerin 7-15 km altında bulunur. Bu magmadan direk olarak enerji sağlanması için çalışmalar varsa da eğer çatlaklardan kaynaklanan su sızıntıları magmaya yakın bir bölgede gözenekli kayalar içerisinde bir su rezervuarı oluşturabiliyorsa, su buharı enerji elde edilebilmesi için daha elverişli bir kaynak oluşturmaktadır(WEB_8 2008).

İşletilmekte olan jeotermal sistemin sıcak ve geçirgen kısmı *jeotermal rezervuar* olarak tanımlanır. Jeotermal sistemler ve rezervuarlar; rezervuar sıcaklığı, akışkan entalpisi, fiziksel durumu, doğası ve jeolojik yerleşimi gibi özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Jeotermal rezervuarda 1 km derinlikteki sıcaklığa bağlı olarak sistemleri iki gruba ayırmak mümkündür(WEB_6 2008).

a.) Rezervuar sıcaklığının 150°C ' den düşük olduğu, düşük sıcaklıklı sistemler: Bu tür sistemler genelde yeryüzüne ulaşmış doğal sıcak su veya kaynar çıkışlar göstermektedir.

b.) Rezervuar sıcaklığının 200°C ' den yüksek olduğu yüksek sıcaklıklı sistemler: Bu tür sistemler ise doğal buhar çıkışları kaynayan çamur göletleri şeklinde kendini göstermektedir.

Jeotermal sistemlerin fiziksel durumlarına bağlı olarak sınıflandırılmaları durumunda ise üç farklı rezervuar durumu tanımlanabilmektedir(WEB_6 2008).

1.) Sıvının etken olduğu jeotermal rezervuarlar: Rezervuardaki basınç koşullarında su sıcaklığının buharlaşma sıcaklığından daha düşük olduğu rezervuarları tanımlamakta kullanılmaktadır. Rezervuar basıncını sıvı su fazı kontrol etmektedir.

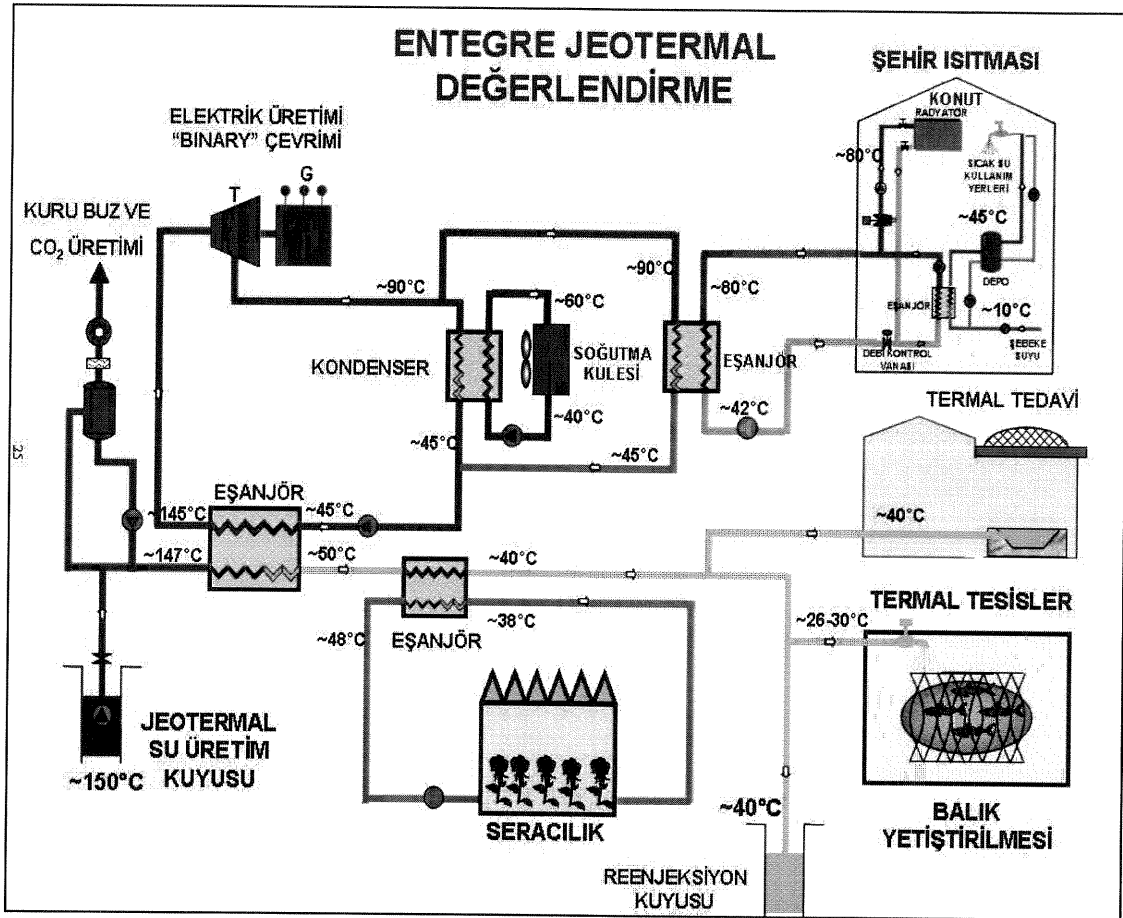
2.) İki fazlı jeotermal rezervuarlar: Rezervuarda sıvı su ve su buharı birlikte bulunmaktadır ve rezervuar basıncı ve sıcaklığı suyun buhar basıncı eğrisini izlemektedir.

3.) Buharın etken olduğu jeotermal rezervuarlar: Rezervuar basıncındaki akışkan sıcaklığının suyun buhar basıncı eğrisi sıcaklığından daha yüksek olması durumunda bu tür rezervuarlar oluşmaktadır. Rezervuardaki basıncı su buharı fazı kontrol etmektedir.

Bir jeotermal rezervuarın fiziksel durumu ve kimyasal özellikleri zamana bağlı olarak değişiklik gösterebileceği gibi aynı rezervuar içerisinde de bir noktadan diğerine farklılıklar gösterebilir. Örnek olarak sıvının etken olduğu bir rezervuar, üretim sonucu oluşan basınç düşümünden dolayı, zamanla iki fazlı bir jeotermal akışkan durumuna dönüşebilir(WEB_6 2008).

5.2. Türkiye ve Dünyada Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Jeotermal akışkanın sıcaklığına bağlı olarak kullanım alanları da değişmektedir. Şekil 4.2' de jeotermal enerjinin değişik alanlarda entegre olarak kullanılması gösterilmektedir. Tablo 4.1.' de ise değişik sıcaklıklar ve buna uygun kullanım alanları verilmektedir.



Şekil 5.2. Değişik alanlarda jeotermal enerji kullanımı (WEB_9 2008).

Jeotermal akışkanın bilinen ilk kullanımı M.Ö. 10000 yıllarında Akdeniz bölgesinde çanak, çömlek, cam, tekstil ve krem imalatında yararlanılmasıdır. M.Ö. 1500 yıllarında ise Romalılar ve Çinlilerin doğal jeotermal kaynakları banyo, ısınma ve pişirme amaçlı kullandıkları bilinmektedir (WEB_7 2008).

Jeotermal enerjinin en önemli kullanım alanı olan elektrik üretiminde kullanılması ise 1900' lü yılların başlarıdır. Jeotermal buhardan ilk elektrik üretimi 1904 yılında İtalya'nın Larderello' da sağlanmıştır. Türkiye' de ise Denizli Kızıldere jeotermal alanının keşfedilmesiyle birlikte 1968 yılında elektrik üretimi amaçlı ilk jeotermal kuyunun inşaatı burada başlatılmıştır. Bu tesis 1984 yılında Türkiye' de ilk, Avrupada da İtalya' dan sonra ikinci jeotermal santral olarak hizmete girmiştir (WEB_7 2008).

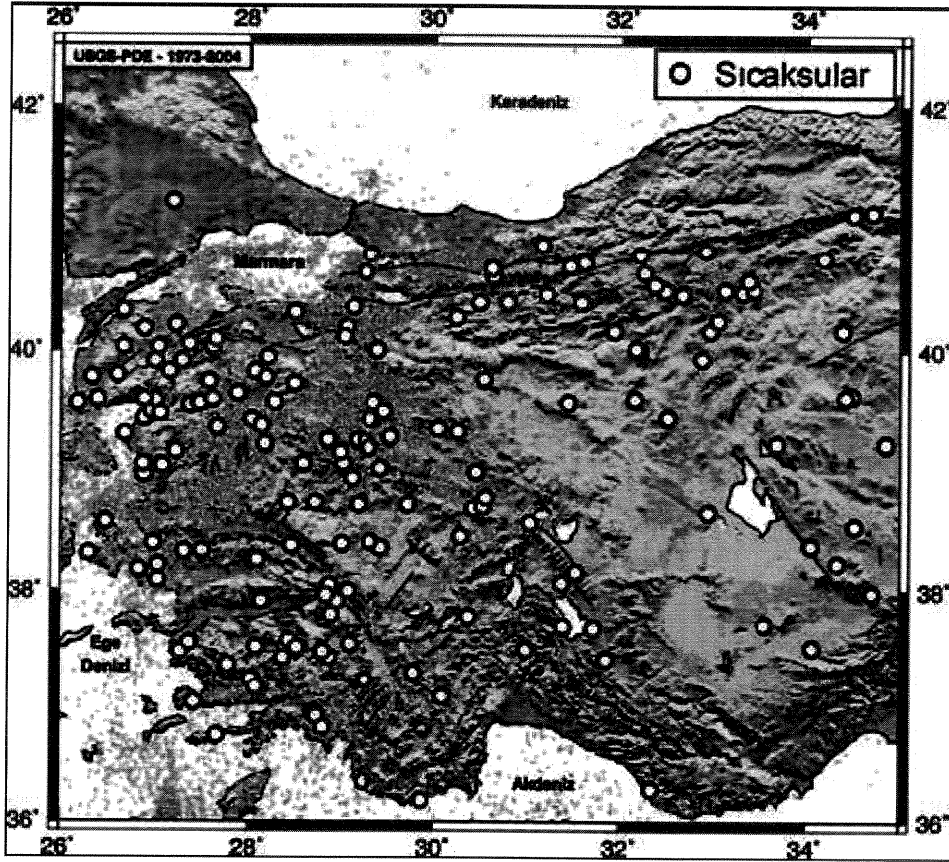
Tablo 5.1. Jeotermal akışkanın sıcaklığa bağlı olarak kullanım alanları (Şimşek 1998)

SICAKLIK	UYGULAMA ALANLARI	ELEKTRİK ÜRETİMİ	ISITMA
180°C	Amonyak absorpsiyonu ile soğutma, kağıt sanayi, yüksek konsantrasyon solüsyonunun buharlaşması	+	
170°C	Hidrojen sülfid yoluyla ağır su eldesi, elektrik üretimi, diyotomitlerin kurutulması	+	
160°C	Kereste ve balık vb. yiyeceklerin kurutulması, konvensiyel güç üretimi	+	
150°C	Bayer's yöntemiyle alüminyum elde edilmesi.	+	+
140°C	Tarım ürünlerinin hızlı kurutulması, konservecilik		+
130°C	Şeker endüstrisinde rafineride buharlaştırma		+
120°C	Temiz tuz eldesi, tuzluluk oranının arttırılması		+
110°C	Çimento kurutma, yün yıkama ve kurutma		+
100°C	Meyve, sebze, küspe gibi organik maddeleri kurutma		+
90°C	Ev ve sera gibi hacimlerin ısıtılması		+
80°C	Lityum bromür yöntemi ile soğutma		+
70°C	Endüstride proses suyu olarak kullanma		+
60°C	Sera, ahır ve kümes ısıtması		+
50°C	Mantar yetiştirilmesi		+
40°C	Toprak ısıtma, turizm ve sağlık tesislerinde		+
30°C	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma		+
20°C	Balık çiftlikleri		+

Jeotermal enerjinin yaygın kullanım alanlarından mekan ve su ısıtması ilk olarak 1200' lü yıllarda Avrupalılar tarafından keşfedilmiştir. 1300'lü yıllarda Fransa' da köylüler doğal sıcak su ile evlerini ısıtmaya başladılar. 1900'lü yılların başlarında ABD, İzlanda, Japonya ve Rusya jeotermal akışkanın kullanımını yaygınlaştırmış ve büyük ölçekli merkezi ısıtma projeleri başlatmışlardır. Türkiye' de ise ilk jeotermal sondaj kuyusu 1963 yılında İzmir Balçova' da açılmıştır. 1983 yılında yine Balçova'da kuyu içi eşanjörlü ilk ısıtma sistemi kurulmuştur. Bu tesis 1996 yılında 15000 konut kapasiteli merkezi ısıtma sistemi olarak devreye girmiştir(WEB_7 2008).

Jeotermal enerjinin diğer bir kullanım alanı olan kaplıca geleneği ise 600'lü yıllardan bu yana devam etmektedir. Özellikle dünyada 1800'lü yıllarda sağlık amaçlı kaplıcaların kurulmaya başlaması ile jeotermal enerji turizm yönünden de önemli hale gelmeye başlamıştır. Pamukkale ve Karahayit ülkemizde ve dünyadaki önemli kaplıca ve turizm merkezlerindedir(WEB_7 2008).

Tüm dünyada bu çevre dostu enerjiden faydalanma çalışmaları giderek artmaktadır. Ülkemizde ise özellikle Ege bölgesinin belli noktalarında enerji tespitine ve bu enerjinin kullanımına dönük çalışmalar oldukça ilerlemiştir. Şekil 4.3' te Türkiye' nin batısındaki sıcak su noktaları gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Türkiye' nin batısındaki sıcak su dağılımları (Çağlar ve Taymaz 2006)

Jeotermal akışkan kullanım sonrası çevreye atılmamalı ve mutlaka işlevi tamamlandıktan sonra yeraltına geri gönderilmelidir. Birçok ülkede jeotermal rezervuardan yapılan sondajlı üretimden sonra akışkanın yeraltına geri gönderilmesini yasalarla zorunlu hale getirmiştir.

5.3. Jeotermal Enerji Kullanımının Avantajları

Dünyada enerji portföyleri kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların ileride tükenecek olması alternatif enerji kaynakları içerisinde maliyeti düşük, kirlilik oluşturmayan, yenilenebilir ve potansiyel zengini olduğumuz jeotermal enerjiyi önemli kılmaktadır.

Türkiye, dünyanın önemli kuşaklarından olan Alp-Himalaya jeotermal kuşağında bulunması nedeniyle jeotermal açıdan zengin ülkelerdendir. Türkiye, jeotermal potansiyeli açısından Avrupa'da birinci, dünyada ise yedinci sıradadır. Türkiye'deki jeotermal sahaların büyük çoğunluğunun orta ve düşük sıcaklık sahaları olduğu bilinmekte ve bu sahaların %95'i hacim ısıtmasına uygun görülmektedir. Yüksek sıcaklıklı jeotermal alanların ise en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir. Jeotermal sahalarından 5 tanesinin elektrik üretimine elverişli olduğu ülkemizin jeotermal potansiyeli 31500 MW (5.000.000 konut ısıtma değeri) olup toplam konut miktarının %30 olarak tahmin ediliyor. Oysaki Türkiye jeotermal enerji potansiyelinin yalnızca %3,5 miktarını kullanılabilmektedir(Çağlar ve Taymaz 2006).

CO₂, jeotermal gazların en önemli bileşeni olup, toplam içinde %95 oranında bulunur. Fakat atmosferde bu gazın artmasının en büyük nedeni fosil yakıtlardan enerji elde edilmesidir. Jeotermal enerji nedeniyle açığa çıkan CO₂ miktarı oran olarak fosil yakıtlara göre daha azdır. Türkiye'de jeotermal bir alan olan Kızıldere sahasında çıkan CO₂'in miktarı 750 g/kWh oranıyla oldukça yüksek olduğundan tamamı atmosfere verilmemekte ve önemli bir kısmından sıvı karbondioksit ve kuru buz elde edilmesinde yararlanılmaktadır(Cansever ve Gülten 1996).

Jeotermal enerji kaynaklarının kullanımında maliyetin büyük bir kısmını kurulum giderleri oluşturmaktadır. Bunun nedeni de özellikle sondaj için yapılan harcamalardır. Bir jeotermal kuyunun maliyeti açıldığı sahada karşılaşılan güçlüklerle göre değişebilmektedir. Buna karşın jeotermal sistemlerin işletme ve bakım maliyetleri genelde toplam maliyetin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Çünkü jeotermal santrallerin diğer santraller gibi kazan sistemi bulunmamaktadır. Dolayısıyla yakıt masrafı da yoktur.

Yağmur, kar, deniz ve yer altı sularının gözenekli ve çatlak kayalık kütellerini besleyerek oluşturdukları jeotermal rezervuarlar, yer altı ve reenjeksiyon koşulları devam ettiği sürece yenilenebilir, sürdürülebilir ve tükenmeyen enerji özelliklerini korumaktadırlar. Kısa süreli atmosferik koşullardan da etkilenmemektedir.

Jeotermal enerjinin üstünlükleri ve ülkemize getirileri maddeler halinde yazılırsa:

- Öz varlığımız olan doğal bir kaynaktır.

- Fosil yakıtların tüketimiyle ortaya çıkan sera etkisi ve asit yağmuru gazlarının atmosfere atılmasıyla oluşan çevre sorunlarını önlemiş olmaktayız.
- Değişik sıcaklıklarda çok amaçlı ısıtma uygulamaları için kullanabilmekteyiz.
- Değişen teknolojiye ve ihtiyaca göre atık su içindeki bazı kimyasal maddeler üretilerek akışkan zararsız hale getirilebilmektedir.
- Kullanımında yangın, patlama ve zehirlenme gibi hiçbir risk faktörü taşımamaktadır.
- Ulusal bir enerji olduğu, ithalatı ve ihracatı olmadığı için uluslar arası bir probleme neden olmaz ve etkilenmez.
- Diğer fosil yakıtlarda olduğu gibi taşınmadığı için araç trafiğini etkilememektedir.
- Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha küçük alanlara kurulabilir ve meteorolojik şartlardan bağımsızdır.
- En önemlisi diğer fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha ucuzdur, şeklinde sıralayabiliriz.

Jeotermal enerji alanında atılan adımlar doğalgaz dağıtım çalışmalarına kıyasla daha yavaş yürümekte, resmi enerji politikalarının doğalgaza zorlayıcı etki yaratan düzenlemeleri de devreye girdiğinde, jeotermal enerji altyapı çalışmalarını caydırıcı unsurlar giderek belirginleşmektedir. Dış etkenlere bağımlılıkla eşdeğer doğalgaz kullanımını asgariye indirerek, teknolojisi ve insan kaynakları mevcut yerli jeotermal enerjinin ön plana çıkarılmasına yönelik çabalar pek çok ilgili çevre tarafından ısrarla sürdürülmektedir.

Sonuç olarak potansiyel zengini olduğumuz, çevreci ve doğalgaza oranla daha ucuz olan jeotermal enerji kullanılarak fosil yakıtların çevreye olan zararlarını minimuma indirilebilir ve ülke ekonomimize büyük katkılar sağlayabiliriz.

6. KIZILDERE JEOTERMAL AKIŞKANININ KULLANIMIYLA KURU BUZ ÜRETİMİ

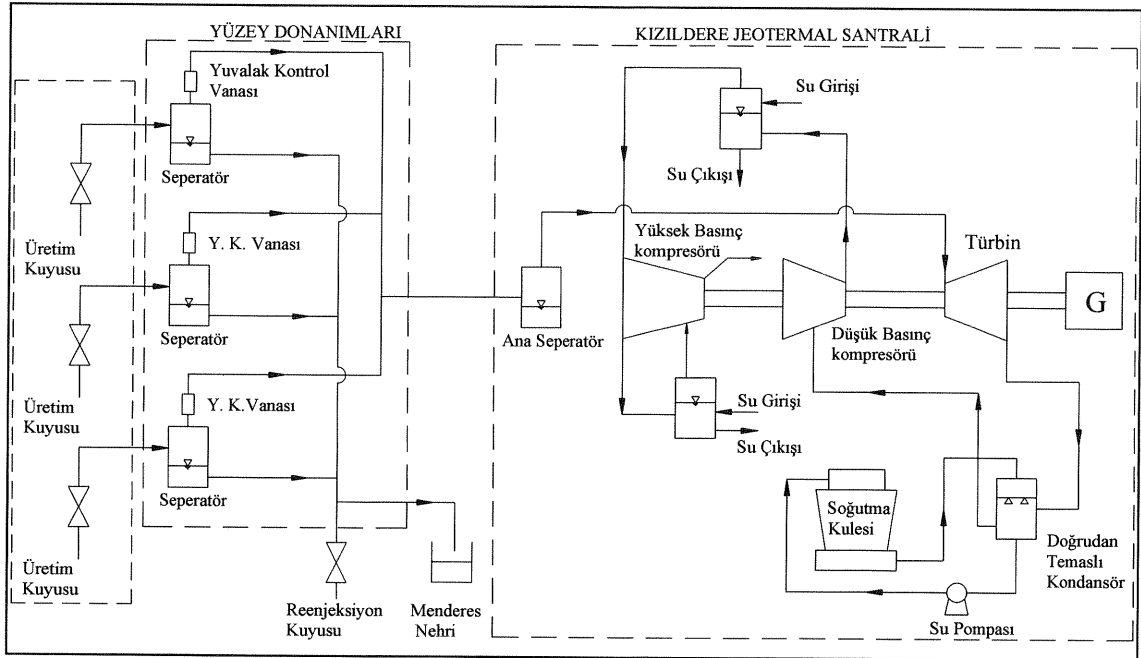
Kızıldere jeotermal sahasında elektrik üretimi yapan jeotermal santralinin türbininden geçen yoğuşmamış karbondioksit gazı yoğuşturucu içerisinde vakum oluşmasını engellediği için iki kademeli ve çift soğutmalı vidalı kompresör yardımıyla yoğuşturucudan alınarak karbondioksit üretme tesisine sevk edilmektedir. Bu bölümde yoğuşturucudan alınan karbondioksit ham gazının sıvılaştırılması incelenecektir.

Kızıldere jeotermal sahası ilk bulunduğu durumu itibariyle incelenirse; sıvının hakim olduğu, 300-800 metre arasında 196-212°C sıcaklıklara sahip, yaklaşık 4500 ppm katı madde içeren ve jeotermal akışkanın ağırlıkça yaklaşık % 1.5 CO₂ içerdiği bir jeotermal rezervuardır. Daha sonra 1997 yılında sıcaklığı 240°C olan bir derin termal rezervuar keşfedilmiştir. Bu rezervuardaki akışkanın CO₂ içeriği ağırlıkça %2,5 civarında olduğu tespit edilmiştir(Serpen ve Türkmen 2007).

Kızıldere jeotermal santrali 1982 yılında kurulmaya başlanmış olup, 1984 yılında devreye alınmıştır. Bu santral tek faz dönüşümlü klasik bir buhar türbini elektrik üretim tesisidir. Kızıldere jeotermal santrali konvansiyonel tek flaş ünitesi olup, kapasitesi 17,8 MWe, net üretim gücü ise 15 MWe' tir. Kızıldere jeotermal santrali ve Kızıldere jeotermal sahasıyla birlikte termik santralin işletme seması Şekil 6.1' de verilmektedir. Santral yüzey donanımları, elektrik santrali olmak üzere 2 önemli ana eleman üzerinden değerlendirilmektedir. Şekil 6.1' de de görüldüğü gibi yüzey donanımları; ana vanalar ve servis kontrol vanaları, separatörler, bu separatörlere bağlı kontrol vanaları, buhar iletim hatları ve reenjeksiyon iletim hatlarını içermektedirler. Burada her kuyu başında 2 adet separatör bulunmaktadır. Bunun amacı, kalsit çökmesiyle dolan separatörün vakit kaybetmeden yedeklenmesidir. Elektrik santrali de; ana nem separatörü, türbin, yoğuşturucu, kompresör, soğutma kulesi, yanında bir dizi vana ve pompalardan oluşmaktadır(Serpen ve Türkmen 2007).

Termik santralin yoğuşturucusundan alınan ham gazın içerisindeki karbondioksit oranı %96 seviyelerindedir. Jeotermal santrali çalışmadığı zamanlarda kuyulardan doğrudan akışkan alınarak gaz üretilmesi mümkün olmakla birlikte üretim giderleri arttığı için santral çalıştığı sürece ham gaz bacadan alınmaktadır. Eğer kuyudan alınan akışkanla üretim yapılacaksa, gerekli akışkan buharı yoğuşturucudan geçirilmekte ve

bünyesindeki su buharı yoğunlaştırılarak duşlama ünitesine gönderilmektedir. Duşlama ünitesinin alt kısmından içeriye gaz verilirken üstende pülverize halde su verilmek suretiyle karbondioksit içerisindeki toz ve bazı partiküller su tarafından alınarak uzaklaştırılmaktadır(Karbogaz 2000).



Şekil 6.1. Kızıldere jeotermal sahası yüzey donanımlarıyla jeotermal santral (Serpen ve Türkmen 2007)

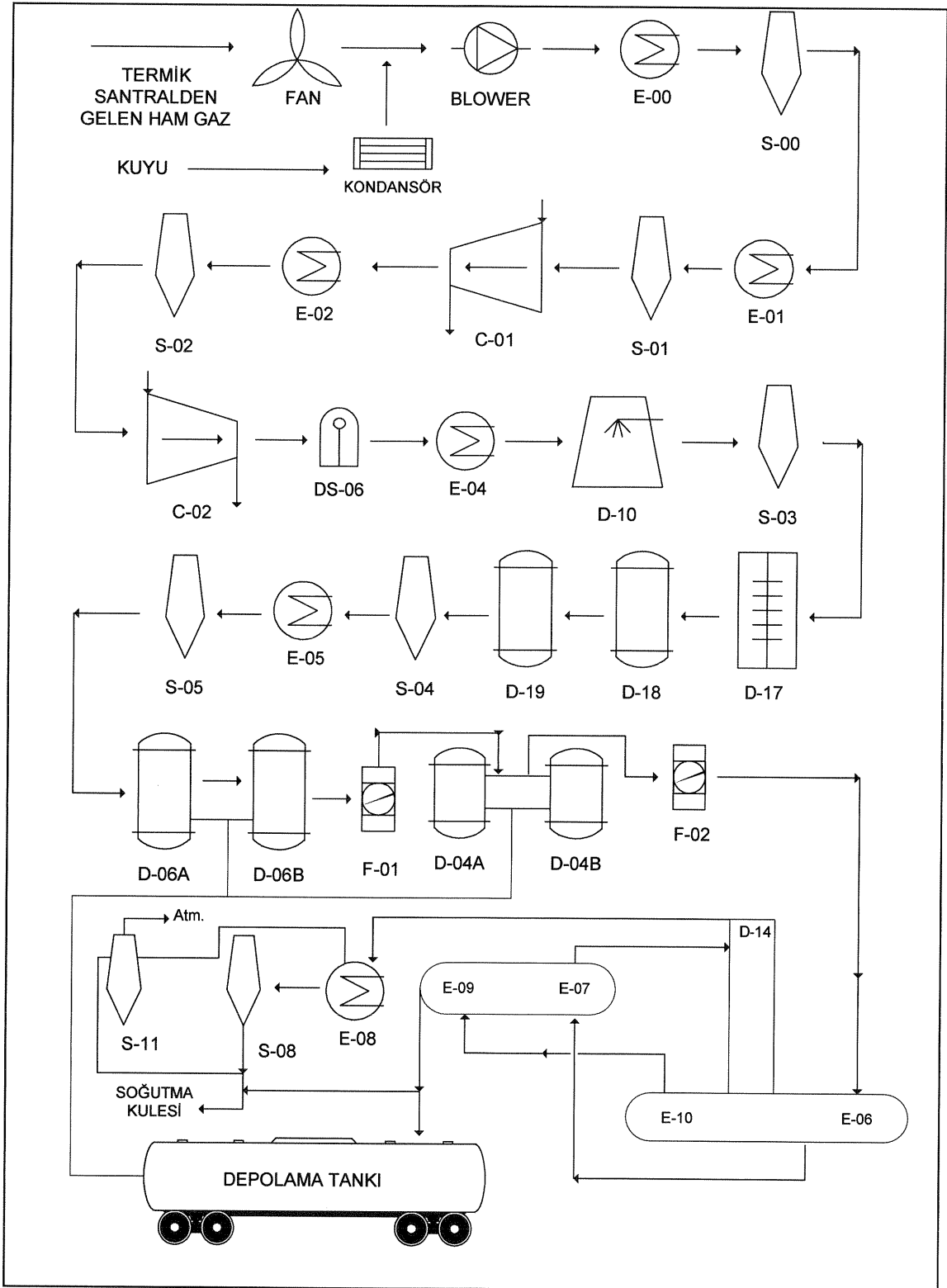
6.1. Sıvı Karbondioksit Üretim Prosesinin İncelenmesi

Şekil 6.2' de sıvı karbondioksit üretim tesisinin iş akış şeması görülmektedir. Termik santralin yoğunlaştırucusundan alınan ham gaz bir üfleyici fan yardımıyla 5 ton/saat ve 0,1 bar basınçta sıvı CO₂ üretim tesisine alınmaktadır.

Orsat cihazı ile giriş kalite kontrolü yapılan ham gaza CO₂ kompresörlerinin uygun bir verimle çalışması için ön sıkıştırma işlemi uygulanır. Blowerda yapılan ön sıkıştırma işlemi sonunda gazın basıncı 0,2 ile 0,6 bar aralığına yükseltilmektedir(Karbogaz 2000).

Ön sıkıştırma işleminde hedeflenen basınç değerlerine ulaşan gaz, ön soğutma işlemi için yatay su soğutmalı E-00 eşanjörüne gelmektedir. E-00 eşanjöründe ham gazın sıcaklığı yaklaşık 80°C' den 40°C' ye kadar düşürülmektedir. Yapılan bu soğutma işlemi sonunda çıkan gazın sıcaklığı yaz ve kış aylarına göre ±10°C değişebilmektedir.

E-00 eşanjöründe gazın sıcaklığının düşmesi ile gazın içindeki yoğuşan nem S-00 separatöründen bir operatör ile vanadan dışarıya atılmaktadır(Karbogaz 2000).



Şekil 6.2. Sıvı CO₂ üretim tesisi iş akış şeması

S-00 separatöründen çıkan 40°C sıcaklığındaki gaz kompresörler öncesi ikinci bir ön soğutma işlemi görmekte ve E-01 eşanjöründe gazın sıcaklığı yaklaşık 35°C' düşürülmektedir. Hava şartlarından dolayı E-01 eşanjörü sonrası gazın sıcaklığı değişkenlik gösterebilir. Kışın bu sıcaklık değeri 25°C olabilmektedir. E-00 eşanjöründe olduğu gibi E-01 eşanjörü sonrasında da soğutulan gazın sıcaklığının düşmesi ile yoğunlaşan nem S-01 separatöründen otomatik olarak dışarıya atılmaktadır(Karbogaz 2000).

Yapılan bu ön işlemlerden sonra gaz, basıncı belli oranda yükseltmek için C-01 pistonlu tip alçak basınç kompresörüne gelmektedir. Bu kompresöre gelen yaklaşık 35°C' sıcaklık ve 0,2 ile 0,35 bar basınçtaki gaz, üretim sürecine uygun olarak 70-95°C sıcaklık aralığına ve 3,8-5 bar basınca kadar sıkıştırılır ve kompresörü terk etmektedir(Karbogaz 2000).

Sıcaklık ve basıncı istenilen değerlerde olan alçak basınç kompresöründen çıkmış olan gaz sıcaklığı düşürülmek üzere E-02 eşanjörüne gönderilir. Amonyak soğutmalı olan E-02 eşanjöründe gazın sıcaklığı 32 ile 50°C arasına düşürülmektedir. E-02 eşanjöründe sıcaklığı düşürülerek yoğunlaştırılan gazdaki nem S-02 separatöründeki otomatik vana ile sistemden dışarı atılır(Karbogaz 2000).

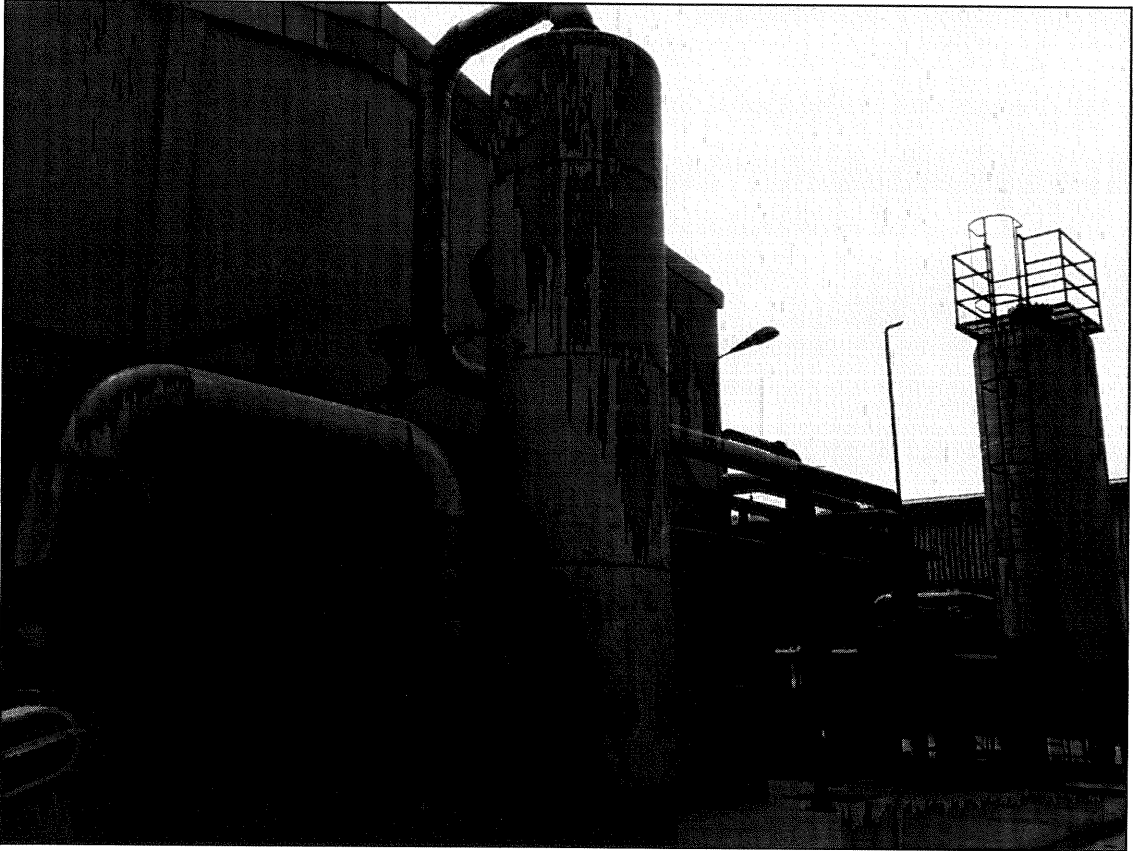
S-02 separatöründen içerisindeki nemi alınmış 32-50°C sıcaklık ve 3,8-5 bar basınçtaki gaz, C-02 vidalı tip yüksek basınç kompresörüne gelmektedir. C-02 kompresörüne gelen gaz 75-110°C sıcaklık ve 19-22 bar basınç aralığında bu kompresörü terk etmektedir. Yüksek basınç kompresöründen çıkan gazın sıcaklığının ve basıncının bu değerler arasında oynaması mevsim değişikliğinden kaynaklanmaktadır(Karbogaz 2000).

C-02 yüksek basınç kompresöründen çıkan gazda bir miktar yağ bulunabilmektedir. Bu nedenle gaz, içerisindeki yağ tutulmak için DS-06 separatörüne gönderilir. DS-06 separatöründe tutulan yağ bir selenoid vana ile tekrar C-02 kompresörünün emişine verilir. Bu işlem sırasında yağ tekrar kompresöre gönderilirken basınç geliş-dönüş farkının 1 bardan küçük olması istenmektedir.

Sıcaklık ve basıncı sürece göre istenilen değerde olan C-02 yüksek basınç kompresöründen çıkmış gaz, soğutulmak üzere, amonyak soğutmalı E-04 eşanjörüne

gelmektedir. 100-120°C sıcaklık aralığında kompresörden gelen gaz E-04 eşanjöründe 25 ile 45°C arasına kadar soğutularak yoğuşturulur(Karbogaz 2000).

Bundan sonra gaz temizlenmek üzere D-10 duşlama kulesine gelmektedir. Gaz, D-10 duşlama kulesine mevsim değişikliklerine göre 25 ile 45°C sıcaklık aralığında gelmektedir. Kulenin alt tarafından giren gaz, üst tarafından yağmurlanan suyun içerisinden geçerek çıkmaktadır. Bu süreçte karbondioksit içerisindeki toz ve benzeri partiküller, alkol ve eter gibi maddeler ile bir kısım H₂S su tarafından tutularak dışarıya atılmaktadır. Su, sisteme debisi 1 m³/h olan P-01 pompası ile verilmektedir(Karbogaz 2000). Şekil 6.3'te D-10 duşlama kulesi ve D-17 sulfatreat kulesinin resimleri verilmektedir.

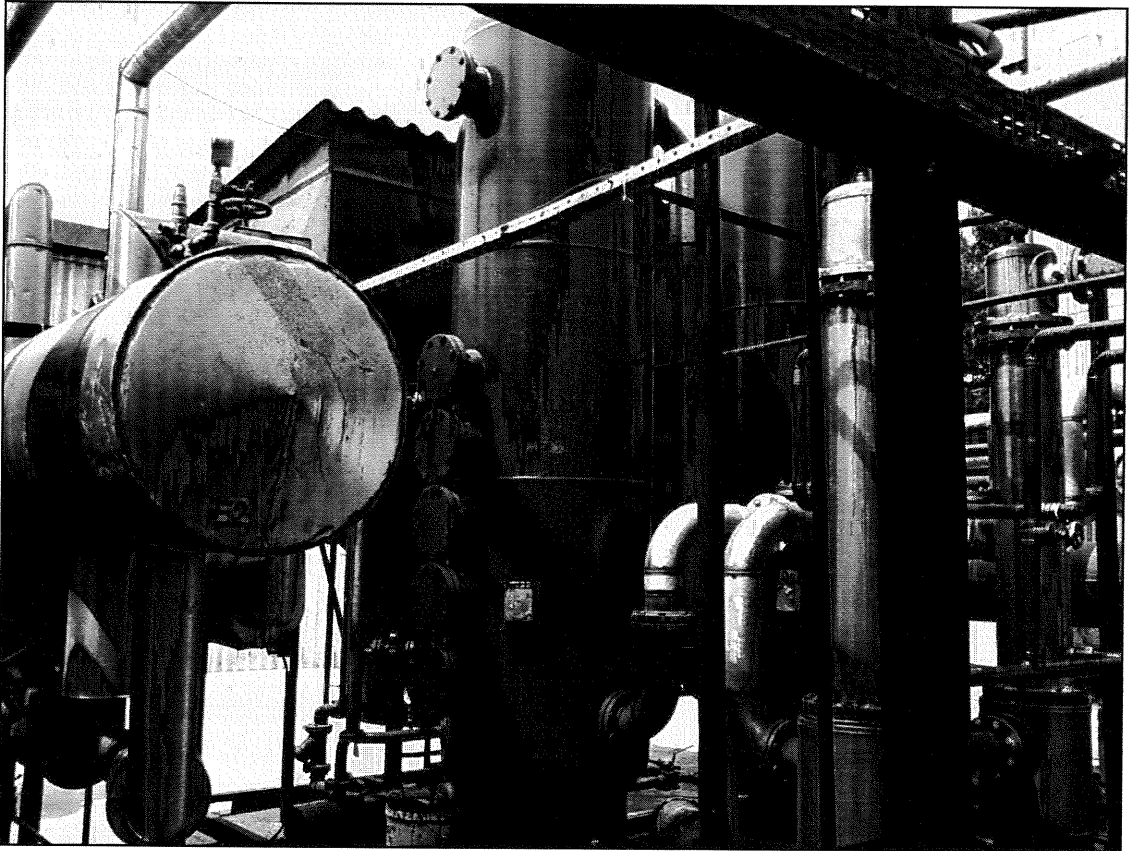


Şekil 6.3. D-10 duşlama kulesi ve D-17 sulfatreat kulesi

Sulfatreat kulesi öncesi, kule içerisinde yoğuşabilecek suyun sistemde taşınmaması için atılması gerekmektedir. Bu işlem bir separatörle yapılmaktadır. Burada S-03 separatöründe yoğuşan su bir operatör ile vanadan dışarıya atılmaktadır.

D-10 duşlama kulesini 28 ile 35°C sıcaklık aralığında terk eden gaz, içerisindeki sülfür bileşiklerinin giderilmesi için D-17 sulfatreat kulesine gelmektedir. Bu kule içerisindeki sulfatreat maddesi ham gaz içerisindeki H₂S derişimini büyük oranda tutmaktadır. Sulfatreat kulesinden çıkan gaz, toplam sülfür analizörü tarafından ölçülmektedir. İşlem sonunda elde edilen gazdaki H₂S değerinin 25ppm' den az olması istenmektedir(Karbogaz 2000).

Birbirine seri olarak bağlanmış ve içlerinde potasyum permanganat (KMnO₄) ve sodyum karbonat (Na₂CO₃) çözücü solüsyonları bulunan D-18 ve D-19 kulelerinin içerisinde karbondioksit gazı geçirilir. Kulelerde gaz içindeki H₂S ve SO₂ çözücü solüsyona geçmektedir. Bu işlem sonunda gazda ölçüm yapılarak sülfür değerinin 100ppb' den az olması hedeflenmektedir. Ayrıca işlem sırasında kulelerde kullanılmış KMnO₄ ve Na₂CO₃ sistemden çekilerek yerine kullanılmamış solüsyon ilave edilmektedir(Karbogaz 2000). Şekil 6.4' te D-18 ve D19 kulelerinin resimleri verilmiştir.



Şekil 6.4. Potasyum permanganat (KMnO₄) ve sodyum karbonat (Na₂CO₃) kuleleri

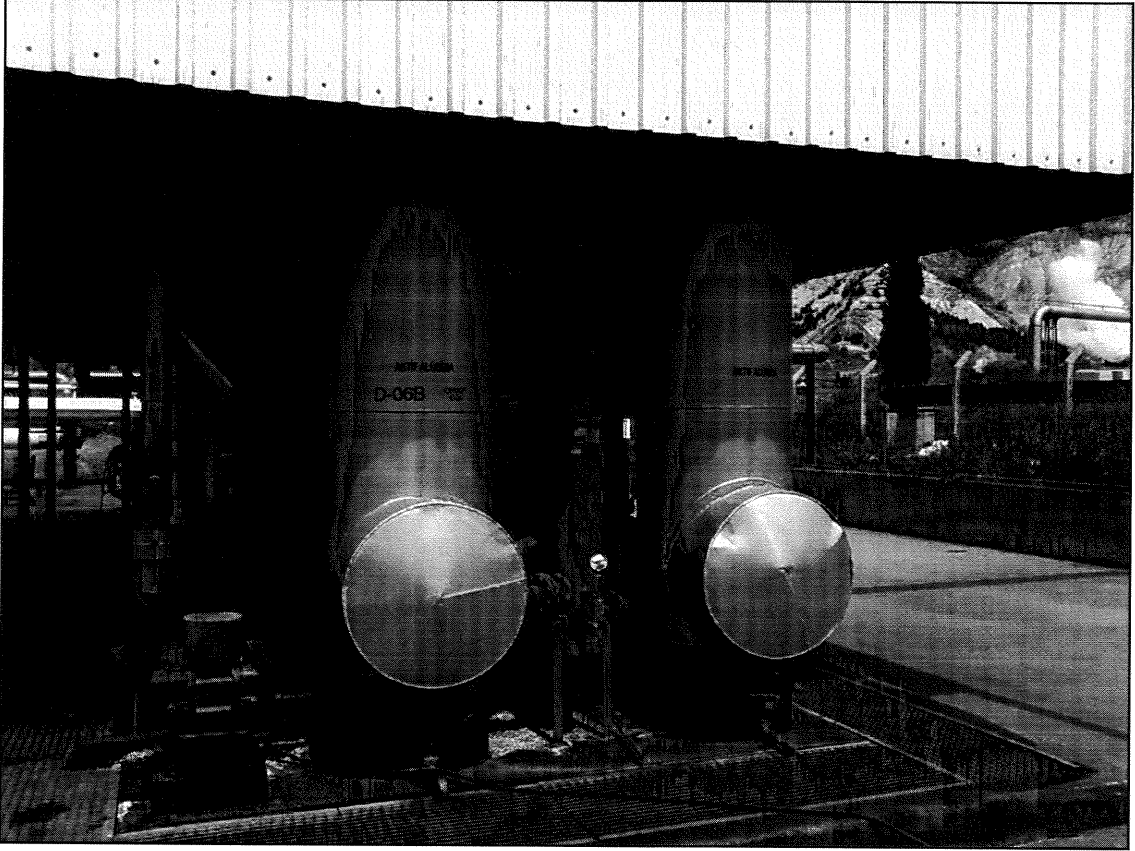
Gaz içerisindeki, D-18 ve D-19 kulelerinden geçirildikten sonra hızlı gaz akışı sırasında sürüklenen sıvı solüsyonun sisteme karışması önlenmelidir. Bunun için S-04 separatörü ile sürüklenmiş olan $KMnO_4$ kimyasalı tutulmaktadır. Yakalanan kimyasallar belirli aralıklarla separatördeki vanadan atılmaktadır.

$KMnO_4$ kulesinden çıkan gaz E-05 eşanjöründe soğutulmaktadır. Bu işlemde gazın sıcaklığı birden istenilen değerlere düşürülerek yüksek miktarda suyun yoğunlaşması sağlanmaktadır. Amonyak soğutmalı E-05 eşanjörüne girmeden önce yaklaşık $30^\circ C$ sıcaklığında olan gaz eşanjör sonrası süreçte istenilen 7 ile $12^\circ C$ sıcaklık aralığında çıkmaktadır. Amonyak ise 12 bar basınçta girdiği eşanjörden 4 ile 4,5 bar basınç aralığında çıkmaktadır. Gaz sıcaklığının düşmesi ile yoğunlaşan nem S-05 separatörü yardımıyla sistemden otomatik olarak atılmaktadır(Karbogaz 2000).

S-05 separatöründen gelen gaz D-06A ve D-06B aktif alümina ünitesine girmektedir. Aktif alümina, alüminyum hidroksitlerin kontrollü olarak ısıtılıp bünyesindeki suyun büyük bölümü alınarak elde edilen bir kimyasaldır. Büyük yüzey alanı ve özel yüzey kimyası sayesinde aktif alüminalar adsorpsiyon ve katoliz işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bundan dolayı D-06A ve D-06B kulelerindeki aktif alümina ile daha önceden sistemde kalmış olan son nem de adsorpsiyon işlemiyle tutulur. Kule çıkışındaki gaz, nem analizörü ile ölçülmekte ve nem oranının 20ppm' den düşük olması gerekmektedir. Biri yedek olmak üzere iki adet aktif alümina kulesi bulunmaktadır. Kulelerden biri çalışırken diğeri rejenerasyona alınmaktadır. Böylece üretim aralıksız devam edebilmektedir. Her bir aktif alümina kulesi yaklaşık 16 saat çalışabilmektedir. İşlem sırasında, nem analizörü ile gaz içerisindeki ölçülen nem oranı sınır değeri (20ppm) aşarsa kule rejenerasyona girmektedir. Aktif alümina kulesinin rejenerasyon işlemi, rejenerasyona tabi tutulacak kulenin blowerden emilen hava ile $160^\circ C$ ' ye kadar 7 saat ısıtıldıktan sonra $20^\circ C$ ' ye kadar 8 saat süresince CO_2 gazı ile soğutulmasıyla gerçekleşmektedir(Karbogaz 2000). Şekil 6.5' te D-06A ve D-06B aktif alümina kulelerinin resimleri verilmektedir.

Gaz geçişi sırasında birbirine sürtünerek aşınmaya uğrayan aktif alümina parçacık ve tozlarının da tutulması gerekmektedir. Bunun için aktif alümina kulelerinden sonra gaz bir filtreden geçirilmektedir. İşlem sırasında F-01 filtresi üzerindeki basınç farkının 0,5 bardan düşük olması istenmektedir. Bir manometre vasıtasıyla filtreden önce ve sonra

basınç farkı takip edilmektedir. Amaç toz ve nem içermeyen gaz elde edilmesidir(Karbogaz 2000).



Şekil 6.5. D-06A ve D-06B aktif alümina kuleleri

Aktif alümina kulelerinden sonra gaz, içindeki son yağ, benzen ve kokuların giderilmesi için D-04A ve D-04B kulelerine gelmektedir. Bu kulelerdeki aktif karbon ile gaz içerisindeki istenmeyen maddeler uzaklaştırılır. İşlem sonunda gaz içindeki hidrokarbon oranının 20ppm' den düşük olması gerekmektedir. Aktif karbon kuleleri de iki adet olup biri çalışırken diğeri rejenerasyona alınmaktadır. Aktif karbon kulesinin rejenerasyon işlemi, rejenerasyona tabi tutulan kulenin CO₂ gazı kullanılarak 230°C' ye kadar 10 saat ısıtıldıktan sonra 30°C' ye kadar 6 saat süresince soğutulması ile yapılmaktadır. Her bir aktif karbon kulesi yaklaşık 16 saat çalışabilmektedir(Karbogaz 2000). Şekil 6.6' te D-04A ve D-04B aktif karbon kulelerinin resimleri verilmektedir.

Gaz geçişi sırasında birbirine sürtünerek aşınmaya uğrayan aktif karbon parçacık ve tozlarının tutulması gerekmektedir. Bunun için aktif karbon kulelerinden sonra gaz bir filtreden geçirilmektedir. İşlem sırasında F-02 filtresi üzerindeki basınç farkının 0,5

bardan düşük olması istenmektedir. Bir manometre vasıtasıyla filtreden önce ve sonra basınç farkı takip edilmektedir(Karbogaz 2000).

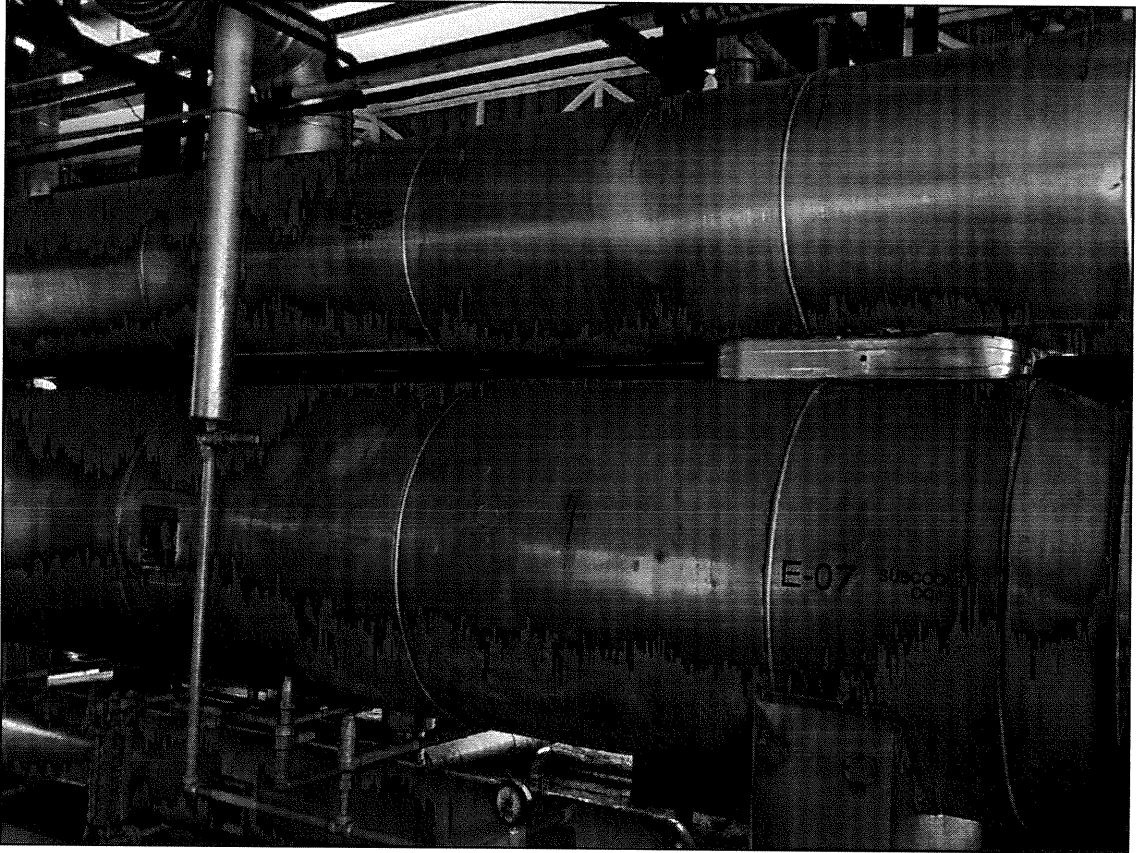


Şekil 6.6. D-04A ve D-04B aktif karbon kuleleri

Sıcaklığın istenilen değerlere düşürülmesi ve kaybedilen ısı ile kaynama işlemini gerçekleştirmek için karbondioksit E-06 ısı değişim eşanjörüne gelir. E-06 eşanjörü (reboiler) tabanındaki yaklaşık sıcaklığı -8 ile -18°C arasında olan sıvı CO_2 tekrar sıcak gaz ile ısıtılıp kaynatılarak içerdiği hidrokarbon safsızlıklardan arınması sağlanmaktadır. Üretim sürecinde eşanjörden çıkan gazın basıncı $17,5$ bar olmaktadır(Karbogaz 2000).

Sıvılaştırmanın olması ve çıkış sıcaklığının istenilen değerlere düşmesi için CO_2 gazı E-07 eşanjörüne girmektedir. E-07 eşanjöründe CO_2 gazı, -31°C sıcaklığındaki sıvı amonyak vasıtasıyla -20°C ile -30°C sıcaklık aralığına kadar soğutulmuş önemli ölçüde sıvılaştırma sağlanmaktadır(Karbogaz 2000). Şekil 6.7' te E-07 eşanjörünün resmi verilmektedir.

CO₂, E-07 eşanjöründen çıktıktan sonra reboilerin D-14 sıyırıcı-destilasyon kulesine gelmektedir. D-14 kulesinde damlacıklara bölünen CO₂ reboilerin tabanına inmektedir. Burada D-14 kulesinden sıvılaşarak dökülen CO₂' nin kontrollü olarak birikmesi sağlanır. CH₄, O₂, N₂, H₂, He vb. hidrokarbonlardan ayrılan CO₂ E-08 eşanjöründen geçerek S-08 separatörüne inmektedir. İşlem sonunda gazdaki toplam hidrokarbon oranının 20ppm' den düşük olması istenmektedir(Karbogaz 2000).

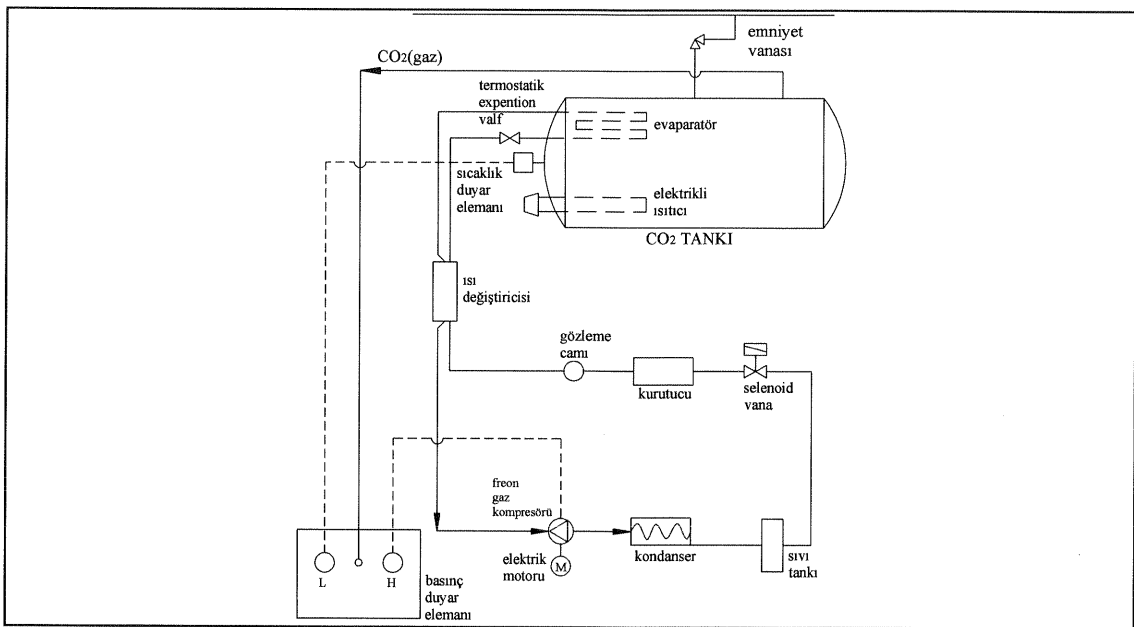


Şekil 6.7. Amonyak soğutuculu E-07 eşanjörü

Sıvı CO₂ depolama tankına gitmeden önce son sıcaklık dengelemesi yapılmak için E-09 eşanjörüne gelmektedir. Amonyak soğutmalı E-09 eşanjöründe sıvı CO₂, -23 ile -28°C aralığına kadar soğutularak depolama tankına gönderilmektedir(Karbogaz 2000).

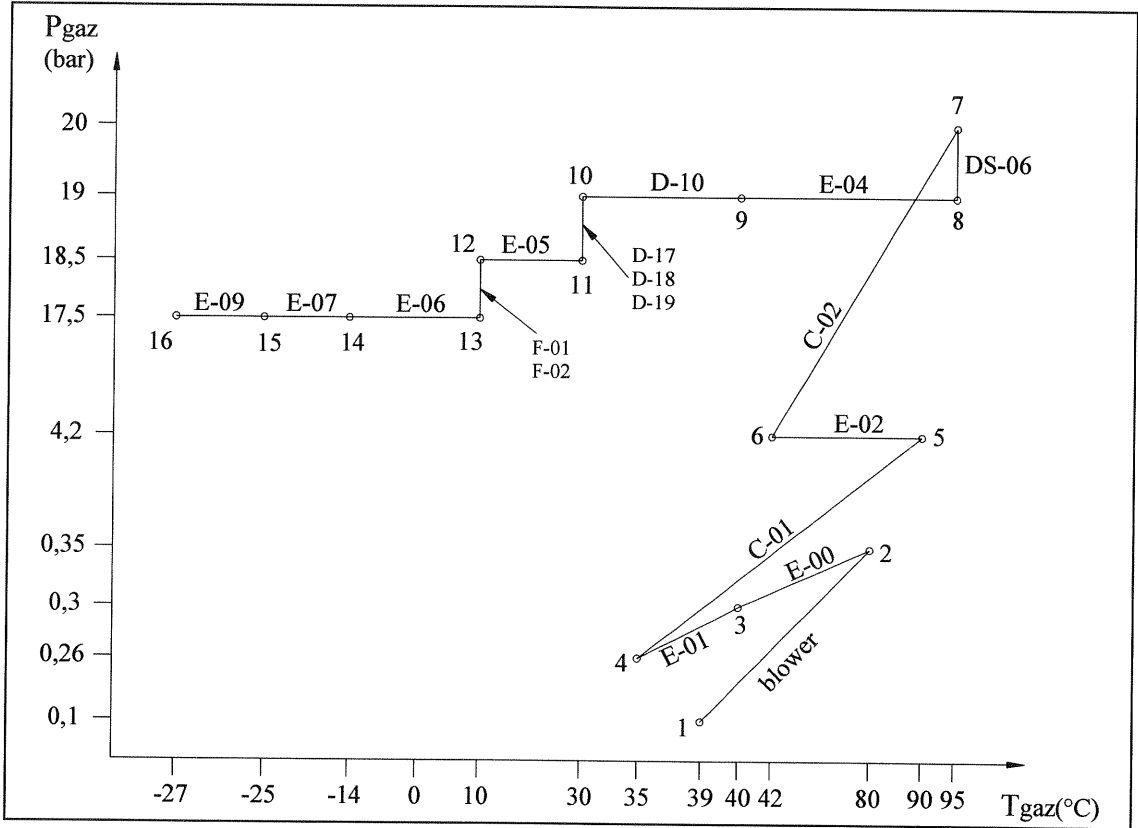
Depolama tankına gidecek ürüne analizlerde toplam sülfür, hidrokarbon, NO_x ve nem analizleri yapılmaktadır. Yapılan analizlerde; toplam hidrokarbon değerinin 15ppm' den, toplam sülfür değerinin 80ppb' den, toplam nemin 15ppm' den, NO_x değerinin de 0,8ppm değerinden düşük olması gerekmektedir(Karbogaz 2000).

CO₂ içinden ayrılan hidrokarbonlar S-08 separatöründen dışarı atılmaktadır. S-08 alt tarafından alınan çok az sıvı CO₂, E-08 eşanjörü dışına verilerek ısı alışverişi yapılır. E-08' den geçen CO₂ yaklaşık -28°C sıcaklığa kadar soğutulur. Bu işlemde amaç sıvı CO₂' den faydalanılması ve hidrokarbonların atılmasıdır. D-14 reboiler kulesinde sıvı CO₂' den ayrılan CO₂ gazı ve gaz fazdaki diğer madde karışımları (CH₄, O₂, N₂, Ar vb.) E-08 eşanjörüne gelmekte ve burada tekrar işlenmektedir. Sıvı CO₂, sözü geçen diğer maddelerden ayrılmakta ve bu istenmeyen maddeler S-11 ve S-08 separatörlerinden geçerek atmosfere atılmaktadır. Toplanan CO₂ ise Şekil 6.8' de gösterilen depolama tankına gönderilmektedir(Karbogaz 2000).



Şekil 6.8. CO₂ depolama tankı soğutma ve ısıtma ünitesi (Karbogaz 2000)

Depolama tankı içerisinde karbondioksit gaz ve sıvı olarak bulunmaktadır. Tank içerisinden sürekli olarak sıvı karbondioksit çekildiğinden gaz basıncı artmaktadır. Soğutma ünitesi 16-22 bar arasına ayarlı olduğu için basınç yükseldiğinde devreye girerek gazı yoğuşturmakta ve sistemin emniyetini sağlamaktadır. Tersine, gaz kullanımı fazla olursa basınç düşeceği için karlama tehlikesi ortaya çıkmakta ve elektrikli ısıtıcılar devreye girerek basıncı istenen seviyeye çıkarmaktadır. Ayrıca her stok tankının üst kısmında emniyet vanası mevcuttur. Bu vana basınç 26 bar' a gelince açar ve basınç düşünce kapanır. Böylece sistemdeki elemanların zarar görmesi önlenmiş olmaktadır(Karbogaz 2000).



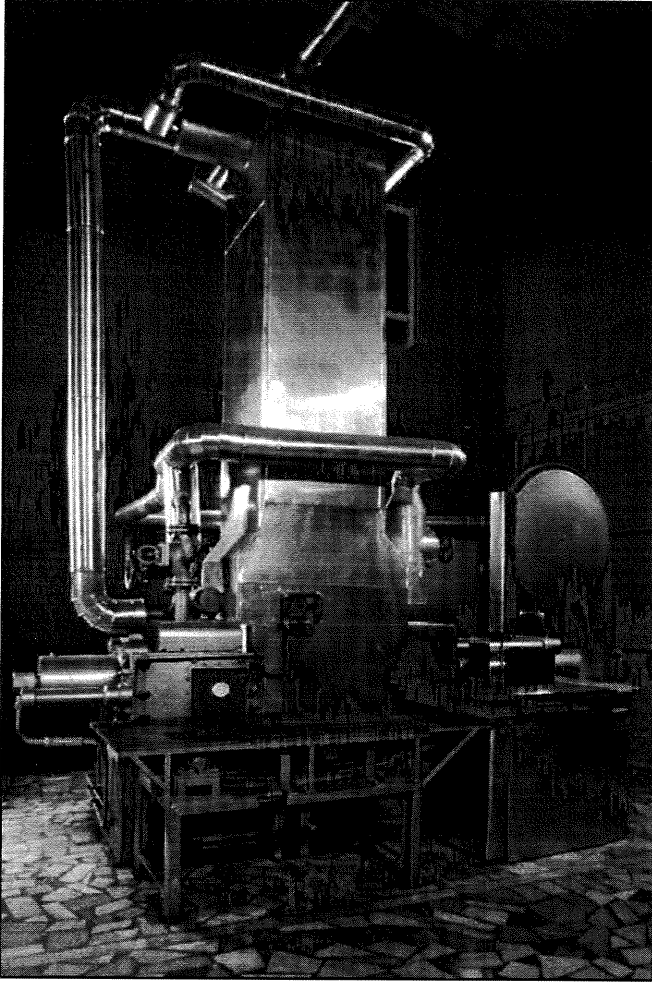
Şekil 6.9. Üretimde kullanılan cihazlara ait karakteristik noktalarda sıcaklık ve basınç değerleri

Şekil 6.9' da CO₂ üretim tesisinde ham gazın blowerda sıkıştırılmasından depolama tankına gidinceye kadar oluşan sıcaklık ve basınç değişimleri gösterilmiştir. Tablo 6.1' de de üretim prosesinde cihazların giriş ve çıkış noktalarındaki basınç ve sıcaklıklar verilmiştir.

Tablo 6.1. Üretimde kullanılan cihazlara ait karakteristik noktalarda sıcaklık ve basınç değerleri

Nokta	1	2	3	4	5	6	7	8
P (bar)	0,1	0,35	0,30	0,26	4,2	4,2	20	19
T (°C)	39	80	40	35	90	42	95	95
Nokta	9	10	11	12	13	14	15	16
P (bar)	19	19	18,5	18,5	17,5	17,5	17,5	17,5
T (°C)	40	30	30	10	10	-14	-25	-27

Depolanmış olan sıvı CO₂ talep olması durumunda Şekil 6.10' de gösterilen kuru buz makinasının üst kısmına beslenerek istenilen miktarda kuru buz elde edilmektedir. Ayrıca kuru buz makinası üzerindeki testere yardımıyla elde edilen kuru buz istenilen ebatlarda kesilebilmektedir.



Şekil 6.10. Kuru buz üretim makinası genel görünüşü (WEB_10 2008)

7. KARBONDİOKSİT ÜRETİM TESİSİNDE ISIL HESAPLAR VE TERMODİNAMİK ÇEVİRİMLER

Bir maddenin kritik sıcaklığı, o maddenin gaz fazından sıvı fazına geçtiği ilk noktadır. Yani kritik nokta üzerinde ise o madde daima gaz fazındadır. Altında ise sıvı ve katı fazlarında da bulunabilir. Kritik basınç da maddenin kritik noktasındaki basınç değeridir. Kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri maddeler arasında farklılık göstermektedir ve diğerleri literatürde özel olarak verilmektedir.

Karbondioksitin kritik sıcaklığı 31°C ve kritik basıncı 75,2 bar' dır. Su soğutmalı E-00 eşanjöründe karbondioksitin giriş sıcaklığı 80°C ve eşanjörden çıkış sıcaklığı 40°C' dir. Bu sıcaklık değerleri kritik nokta sıcaklığından büyük olduğu için karbondioksit bu koşullarda gaz fazındadır. Ayrıca ideal gaz koşullarından uzak olup gerçek gaz koşullarında bulunmaktadır. Dolayısıyla karbondioksit için ideal gaz denklemi kullanılarak bulunamaz. Karbondioksit için reel gaz denklemi kullanılmalıdır. Örneğin gazların entalpisi genel olarak,

$$h = C_p \times t \quad (7.1)$$

denkleminde bulunmaktadır. Burada;

h: Entalpi (kJ/kg)

C_p: Özgül ısınma ısısı (kJ/kg.K)

t: Sıcaklık (K)

olduğu verilmektedir. Bir cismin, birim kütesinin sıcaklığını 1°C arttırmak için verilen ısı miktarına özgül ısı denir. Reel gaz durumunda CO₂' ye ait molar özgül ısınma ısısı literatürde;

$$(C_p)_{CO_2} = -3,7357 + 30,529 \theta^{0,5} - 4,1034 \theta + 0,024188 \theta^2 \quad (7.2)$$

olarak verilmektedir(Öztürk ve Kılıç 1993). Burada,

$\theta = T/100$ (K)' dür.

Karbondioksitin molar kütlesi ise 44 kg/kmol olduğundan CO₂' nin özgül ısınma ısısı:

$t = 80^\circ\text{C}$ için $\theta = (273+80) / 100 = 3,53$ K olup denklem 7.2' de yerine konursa,

$$(C_{pCO_2})_{80^\circ\text{C}} = -3,7357 + 30,529 \times 3,53^{0,5} - 4,1034 \times 3,53 + 0,024188 \times 3,53^2$$

$$(C_{pCO_2})_{80^\circ C} = 39,4388 \text{ kJ/kmol.K}$$

$M_{CO_2} = 44 \text{ kg/kmol}$ olduğundan,

$$(C_{pCO_2})_{80^\circ C} = 39,4388 / 44 = 0,8963 \text{ kJ/kg.K, bulunur ve buradan } 80^\circ C \text{ için}$$

$$h = 0,8963 \times (80+273) = 316,394 \text{ kJ/kg olarak bulunur.}$$

Diğer sıcaklıklar içinde benzer işlemler 7.2 denklemine uygulanırsa, tablo 7.1' deki değerler elde edilir. Üretim tesisinde yer alan bütün elemanların her biri açık sistemler olduğundan enerji dengesi yazılırken akışkanın entalpi cinsinden enerji büyüklükleri dikkate alınmalıdır.

Tablo 7.1. Üretim noktasındaki değişik sıcaklıklarda CO_2 için hesaplanmış C_p ve h değerleri

T ($^\circ C$)	C_{pCO_2} (kJ/kg.K)	h (kJ/kg)
95 $^\circ C$	0,9104	335,027
90 $^\circ C$	0,90	326,7
80 $^\circ C$	0,8963	316,394
42 $^\circ C$	0,858	270,27
40 $^\circ C$	0,856	267,928
35 $^\circ C$	0,8517	262,11
30 $^\circ C$	0,8447	255,944
10 $^\circ C$	0,823	232,91
-14 $^\circ C$	0,7938	205,59
-25 $^\circ C$	0,7798	193,4
-27 $^\circ C$	0,7772	191,19

Açık sistemler için termodinamiğin 1. kanunu ifadesi yazılırsa,

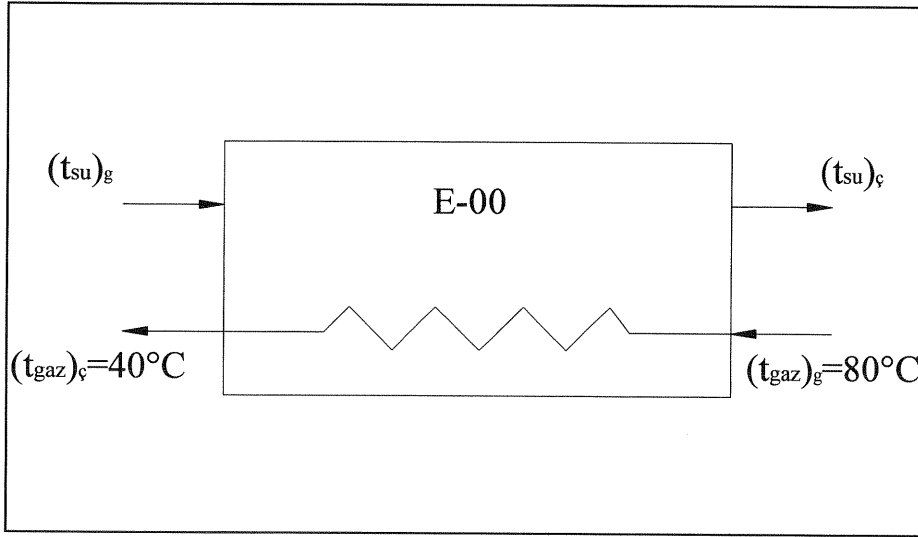
$$Q_{kh} + m_g [h_g + (C_g^2/2) + \rho z_g] = W_{kh} + m_\varphi [h_\varphi + (C_\varphi^2/2) + \rho z_\varphi] + \int dE_{kh} / d\tau \quad (7.3)$$

Şekil 7.1' de şematik olarak çizimi ve giriş-çıkış sıcaklıkları verilen su soğutmalı E-00 eşanjörü gibi açık sistemli ısı değiştiricileri için kararlı rejim koşullarında 7.3 denkleminde,

$$W_{kh} = 0, \int dE_{kh} / d\tau = 0, C_g \approx C_\varphi, z_g = z_\varphi \text{ ve } m_g = m_\varphi = m \text{ olarak alınabilir. Buna göre,}$$

$$Q_{kh} = m_{CO_2} [h_g - h_ç] = m_{su} \times C_{su} \times \Delta T_{su} \quad (7.4)$$

ilişkisi elde edilir.



Şekil 7.1. E-00 su soğutmalı eşanjörünün şematik gösterimi

7.1. Su Tüketiminin Hesaplanması

Su soğutmalı eşanjörlerde suyun eşanjöre giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark $\Delta T=4\sim 6^\circ\text{C}$ arasında alınabilmektedir (Öztürk ve Kılıç 1993). Özel olarak $M_{CO_2} = 1 \text{ kg}$ için 7.4 denkleminde tablo 7.1' deki CO_2 ' ye ait entalpi değerleri yazılırsa, $1 \text{ kg } CO_2$ ' yi 80°C ' den 40°C ' ye soğutabilmek için gerekli m_{su} miktarı,

$$1 \times (h_g - h_ç) = m_{su} \times C_{su} \times \Delta T_{su}$$

Denkleminde $C_{su} = 4,186 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ve $\Delta T_{su} = 5^\circ\text{C}$ için

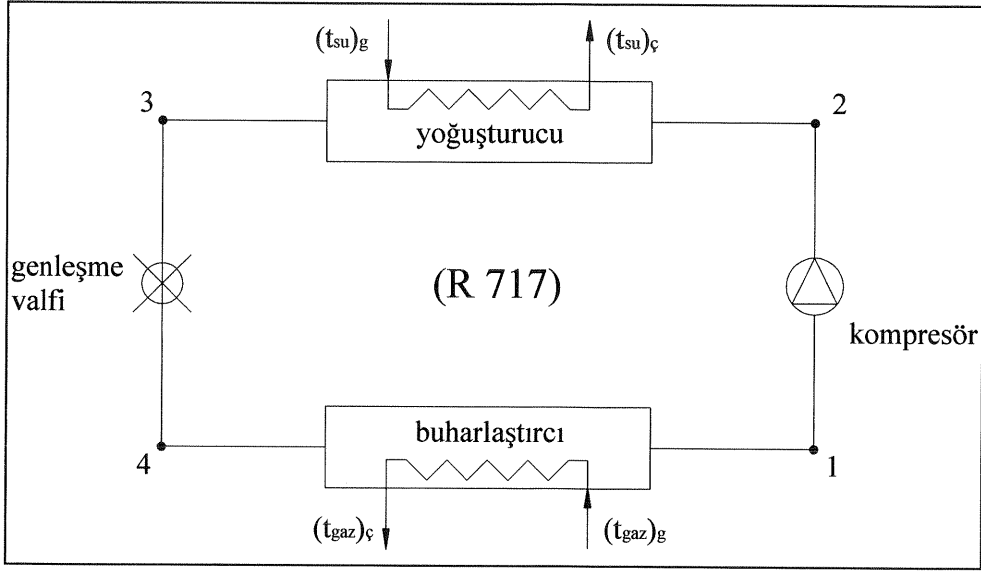
$$1 \times (316,394 - 267,928) = m_{su} \times 4,186 \times 5$$

eşitliğinden,

$$m_{su} = 2.31875 \text{ kg/kgCO}_2 \text{ bulunur.}$$

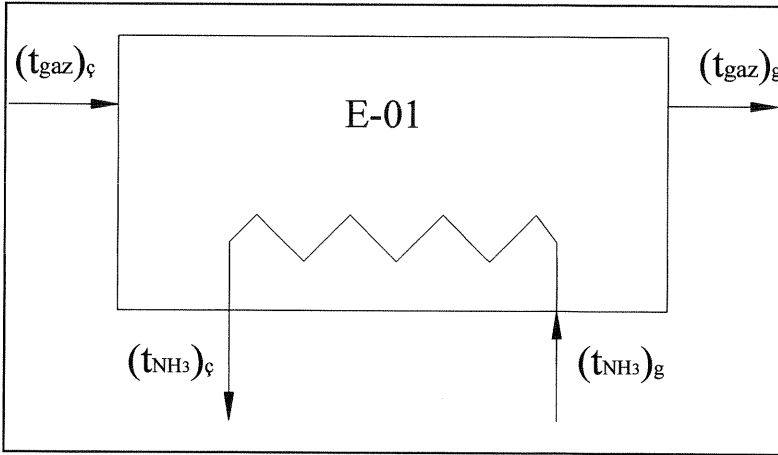
7.2. Enerji Sarfiyatı

E-01, E-02, E-04, E-05, E-07 ve E-09 eşanjörleri ise amonyak soğutuculudur. Şekil 7.2' de amonyak soğutkanlı mekanik kompresyonlu kapalı soğutma çevrimi temel elemanları gösterilmiştir.



Şekil 7.2. R717 soğutucu akışkanlı kapalı soğutma çevrimi

Amonyak soğutkanlı soğutma çevriminde, amonyak yoğuşturucuda su tarafından soğutulmaktadır. Soğutma çevriminde buharlaştırıcıda ise CO₂ gazı amonyak tarafından soğutulmaktadır. Şekil 7.3' de E-01 eşanjörünün şematik olarak çizimi gösterilmektedir.



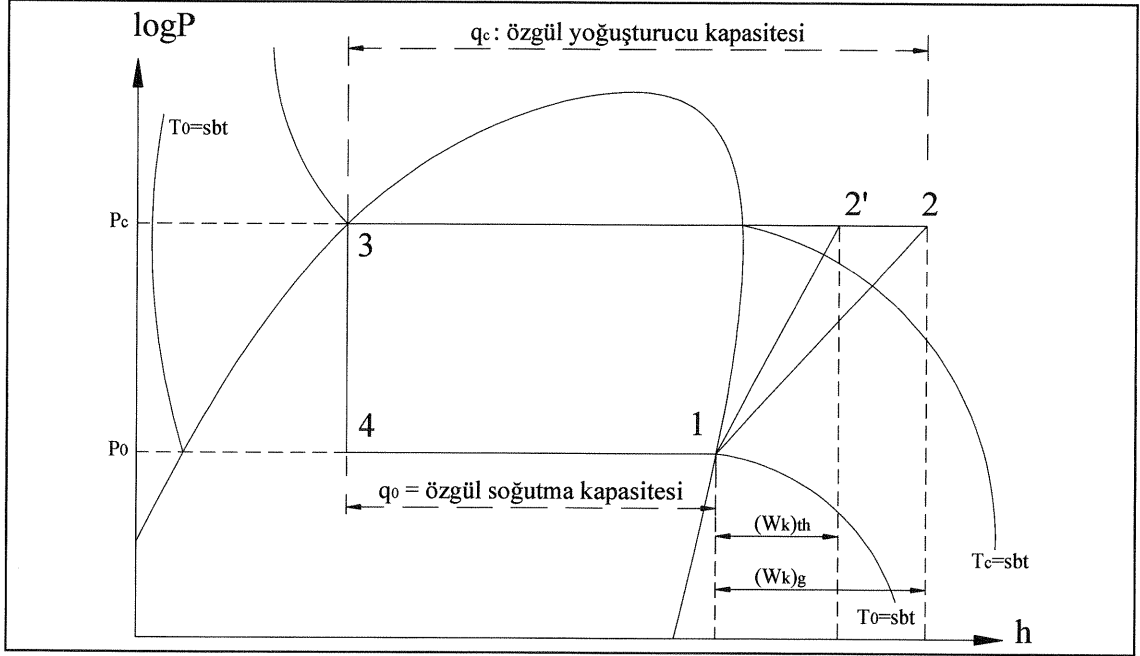
Şekil 7.3. E-01 amonyak soğutuculu eşanjörün şematik gösterimi

Bu soğutma çevriminin logP-h ve T-s diyagramları şekil 7.4 ve 7.5' de gösterilmektedir. Örnek olarak E-01 amonyak soğutkanlı eşanjöre ait hesaplamalar göz önüne alınırsa önce T₀ ve basınca bağlı P₀ buharlaştırıcı değerleri belirlenir. Burada soğutulan CO₂ olduğundan sıcaklık değeri

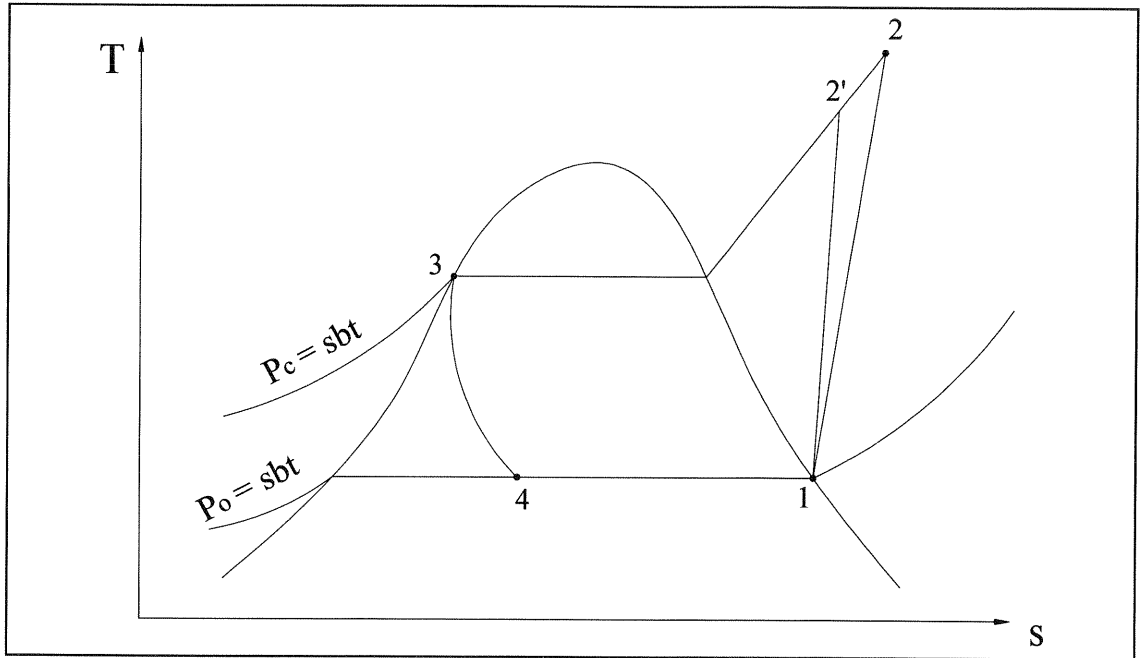
$$T_f = [(t_{gaz})_g + (t_{gaz})_ç] / 2 = (40 + 35) / 2 = 37,5^\circ\text{C}$$

den bulunabilir.

Faz değişimi yapan soğutkan buharı ile soğutulan gaz sıcaklığı farkının literatürde yaklaşık 15°C olduğu bilinmektedir(Öztürk ve Kılıç 1993).



Şekil 7.4. Soğutma çevriminin logP-h diyagramı



Şekil 7.5. Amonyak soğutkanlı çevrimin T-s diyagramı

Bu verilere göre,

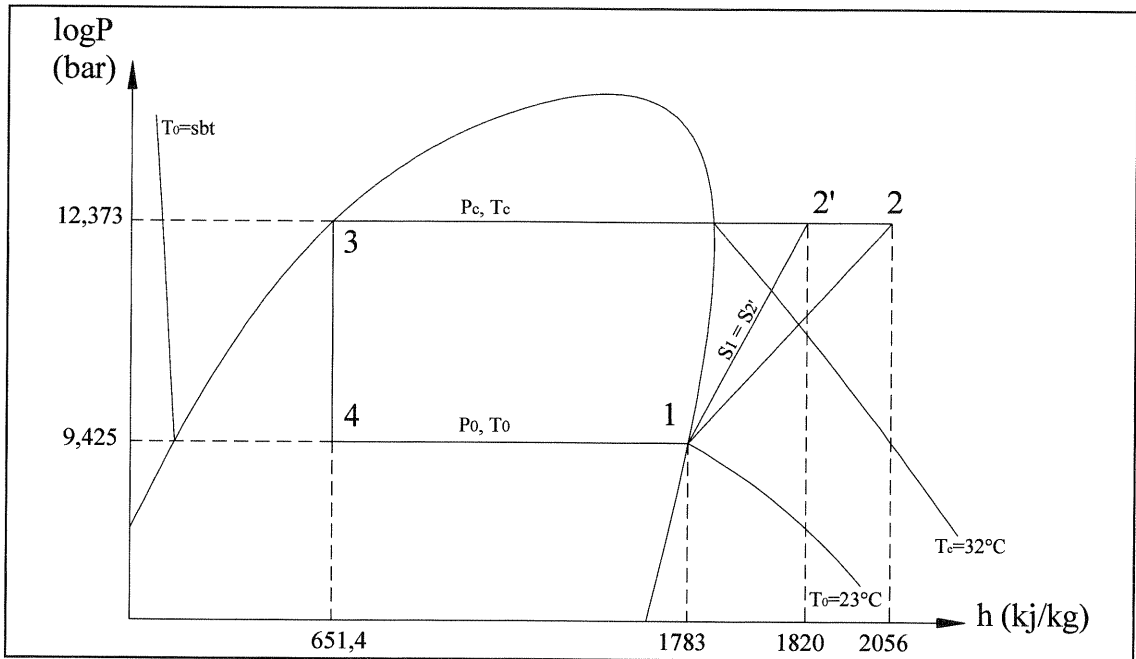
$$T_0 = T_f - 15 \text{ (}^\circ\text{C) ise}$$

$T_0 = 37,5 - 15 \approx 23^\circ\text{C}$ alınmalıdır. Amonyak için Ek-4B' de verilen buhar tablosundan 23°C buharlaşma sıcaklığı için P_0 buharlaşma basıncı 9,425 bar bulunur.

Diğer taraftan kompresör çıkışındaki 2 noktasında CO_2 , gaz fazında olup yeniden soğutma devresinde kullanılması için yoğuşturucuda sıvılaştırılmaktadır. Bu ise ancak belirli bir faz değişim koşullarında gerçekleştirilebilir. Yoğuşturucu su soğutmalı olduğundan yine T_c , yoğuşma sıcaklığı için,

$$T_c = [(T_{su})_g + (T_{su})_ç] / 2 + \Delta T_{\text{gaz}} = (18+23) / 2 + 11 = 32^\circ\text{C}$$

olarak bulunur. Buna göre Ek-4B buhar tablosundan $T_c=32^\circ\text{C}$ için $P_c=12,373$ bar bulunur. Bu değerler şekil 7.4' de yerine konursa şekil 7.6' daki çevrime ait logP-h diyagramı elde edilir.



Şekil 7.6. Amonyak soğutkanlı soğutma çevriminin logP-h diyagramı

Bu karakteristik döngünün 1 noktası kompresöre giriş yani buharlaştırıcıdan çıkış noktasıdır. Bu noktaya ait entalpi değeri $T_0 = 23^\circ\text{C}$ ' de Ek-4B buhar tablosundan $h_1=1783$ kJ/kg bulunur.

2' noktası kompresör çıkışı ile 1 noktasının entropi değerleri birbirine eşittir. Buna göre $s_1 = s_2$ olduğundan h_2' değeri EK-4C kızgın buhar bölgesi entalpi-basınç diyagramından $h_2'=1820$ kJ/kg bulunur.

3 ve 4 noktalarının entalpi değerleri birbirine eşittir. Burada 3 noktası için Ek-4B buhar tablosundan $T_c=32^\circ\text{C}$ için sıvı durumda entalpi değeri bulunur. Bu değer aynı zamanda 4 noktasının da entalpi değeridir. Buna göre $h_3 = h_4 = 651,4$ kJ/kg bulunur.

İndike verim kompresörün giriş ve çıkışındaki entalpi değerleri farkının ideal çalışma koşullarının gerçek çalışma koşullarına oranıdır. İndike verim, Ek-4A pistonlu soğutma kompresörlerinde sevk verimi ve indike verim grafiğinden ilgili değerler okunarak bulunur. Burada $P_c/P_o = 12,373/9,425 = 1,3'$ den yukarıya doğru sırasıyla $1-\eta_w=0,08$, $\eta_v=0,88$ ve $\eta_i/\lambda=1,04$ bulunur. Yani indike verim,

$$\lambda = \eta_v - (1 - \eta_w) = 0,88 - 0,08 = 0,8 \text{ ve}$$

$\eta_i = 0,832$ bulunur. Buna göre indike verim 7.5 denkleminde yerine yazılırsa,

$$\eta_i = (h_2' - h_1) / (h_2 - h_1) \quad (7.5)$$

$$0,832 = (1820 - 651,4) / (h_2 - 651,4) \text{ ise buradan } h_2 = 2056 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

Diğer taraftan 1 kg amonyak ile sağlanan soğutma miktarı, $q_o = h_1 - h_3$ olduğundan $q_o = 1131,6$ kJ/kg bulunur.

Eşanjörün soğutma kapasitesi ise,

$$Q_{01} = m_{\text{CO}_2} (h_g - h_c) \text{ olduğundan, } m_{\text{CO}_2} = 1 \text{ kg için}$$

$$Q_{01} = 1 \times (267,93 - 262,11) = 5,82 \text{ kJ/kg olarak belirlenir. Diğer taraftan,}$$

$$Q_{01} = (h_g - h_c) = m_{\text{NH}_3} \times q_o \text{ olduğundan 1 kg CO}_2 \text{ gazını soğutmak için gerekli amonyak miktarı,}$$

$$m_{\text{NH}_3} = 0,0052 \text{ kg/kg.CO}_2 \text{ olarak bulunur. Amonyak kompresöründe 1 kg CO}_2 \text{ gazını soğutmak için yapılan iş,}$$

$$N_i = m_{\text{NH}_3} (h_2 - h_1) \text{ olur. Buradan } N_i = 1,42 \text{ kJ hesaplanır. Kompresörde harcanan gerekli toplam iş,}$$

$$N_e = N_i + (1 - \eta_m) \times N_i \text{ olduğundan Ek-4A' dan bulunan mekanik verim } \eta_m = 0,84 \text{ denklemde yerine konursa 1 kg CO}_2 \text{ gazını soğutmak için E-01 eşanjörünün amonyak kompresöründe harcanması gerekli elektriksel enerji,}$$

$$N_e = 1,6472 \text{ kJ/kg.CO}_2$$

olarak bulunur. Benzer işlemler diğer eşanjörler içinde yapılır. Ayrıca üretim aşamasında kullanılan CO₂ kompresörleri ve sirkülasyon pompaları için gerekli elektriksel enerji değerleri hesaplanıp toplandığında, 1 kg CO₂ üretimi için gerekli elektrik enerjisi sarfıyatı $N_e = 340 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

Toplam 1000 kg CO₂ için gerekli elektrik enerjisi tüketimi göz önüne alındığında bunun için gerekli üretim süresi öncelikle bulunmalıdır. Tesiste 360 günde 30000 ton CO₂ üretildiğine göre bir günde 83,33 ton CO₂ üretilmektedir. 1 ton CO₂ üretimi ise $1/83,33 = 0,012$ günde gerçekleşmektedir. 1 gün 24 saat olduğuna göre gerekli süre 0,288 saat yada 17,28 dakika olarak bulunur. Bu tespitlere göre 1 ton CO₂ üretimi için harcanan elektriksel güç,

$$\Sigma N_e = (340 \times 1000) / (0,288 \times 3600) = 328 \text{ kW hesaplanır.}$$

Ek-3' de fabrika 1 ton CO₂ üretimi için gerekli elektrik enerjisi tüketimini 400 kW olarak vermiştir. Aradaki fark tesiste kullanılan aydınlatmalar, ofiste kullanılan cihazlar, ısıtıcı ve klimalardan kaynaklanmaktadır.

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kızıldere jeotermal sahasındaki elektrik santralinde türbin çift akışlı olup, çok kademeli türbin, yüklere karşı stabilite sağlaması için tek bir şaft üzerine monte edilmiştir. Santraldeki jeneratör de aynı şaft üzerine bağlanmıştır. Türbin buhar giriş sıcaklığı 147°C, basıncı 0,378 MPa ve buhar debisi 33 kg/s olup, genleşen buhar basıncı 0,01019 MPa' a düşerek yoğuşturucuya geçer. Yoğuşturucu doğrudan temaslı tip olup, ısı transfer katsayısı yüksektir. Soğutma için kullanılan su miktarı 2375 kg/s olup, buhar üzerine püskürtülmektedir. Yoğuşturucu korozyona dayanıklı olması için, paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Elektrik santralinin karakteristikleri Tablo 8.1' de gösterilmektedir(Serpen ve Türkmen 2007).

Tablo 8.1. Kızıldere elektrik santralinin özellikleri (Serpen ve Türkmen 2007)

TANIM	ÖZELLİKLER
Türbin giriş basıncı	3,5 bar
Türbin giriş sıcaklığı	147°C
Türbin çıkış basıncı	0,09 bar
Türbin çıkış sıcaklığı	51°C
Türbin çıkışında buhar nemliliği	%85
Santralin kurulu gücü	17,38 MW _e
Santralin net üretim gücü	15 MW _e
Kompresör gücü	2,38 MW _e
Kompresör kapasitesi(1000 m ³ /h için)	293,5 m ³ /h
Parazitik güç	0,472 MW _e
Yoğuşturucu giriş sıcaklığı	28°C
Yoğuşturucu çıkış sıcaklığı	39°C

Türbinden geçen yoğuşmayan gazlar (karbondioksit), yoğuşturucu içinde vakum oluşmasını engelledikleri için, 2,38 MWe gücündeki iki kademeli (düşük ve yüksek basınç) ve çift soğutmalı vida tipli bir kompresörle yoğuşturucudan alınmakta ve karbondioksit üretme ünitesine sevk edilmektedir. Soğutma kulesi ıslak tip olup, 4 adet her biri 110 kW' lık fan ile soğutma yapılmaktadır(Serpen ve Türkmen 2007).

Kızıldere jeotermal buhar türbininin de, 465 kJ/kg' lık izantropik ısı düşümü için özgül buhar tüketimi 10,7 ve 11,03 kg/kWh aralığındadır. Rezervuar sıcaklığı 200°C ve deşarj sıcaklığı da 48°C olduğunda, faydalı ısı 120 kJ/kg ve deşarj ısısı 540 kJ/kg olarak

hesaplanmaktadır. Santralın ısı deşarj oranı ise 4,65 olarak hesaplanmaktadır. Bu değer kaynak sıcaklığının düşük olması nedeniyle yüksektir. Eğer 240°C sıcaklıktaki derin termal rezervuar tam olarak geliştirilirse, bu oranın 3,65' e düşmesi beklenmektedir. Fosil yakıtlı santrallerde ise ısı deşarj oranı 1,1 civarındadır(Serpen ve Türkmen 2007).

Kızıldere gibi yüksek gaz içeriği olan jeotermal akışkanlarla çalışan santrallerde yoğunlaştırıcıdan gazın çıkarılmaması güç üretimini etkileyen önemli bir sorundur. Türbinin performansı türbin egzozunda korunan geri basınca bağlıdır. Geri basınç buhar ve CO₂'in kısmi basınçlarının toplamıdır. Buharın kısmi basıncı çıkış sıcaklığına karşılık gelen doymuşluk basıncıdır. CO₂' in kısmi basıncı ise onun kütle oranına bağlıdır. Kızıldere santrali için CO₂'in kısmi basıncı 0,3 bar olarak hesaplanmıştır. CO₂' in varolan enerjisi buhardan az olduğu için, buhardaki CO₂'in oranının artmasıyla türbinin özgül üretimi azalacaktır. Bununla birlikte, türbinin toplam enerji üretiminde CO₂ dolayısıyla artış olacaktır. Kızıldere jeotermal santralinde CO₂' in türbinde genişmesi dolayısıyla oluşan artış %5 civarındadır. Diğer taraftan güç üretiminde CO₂'ten dolayı %13 azalma olmaktadır. Bunun yanında, 773 kW' lık enerji kompresör için kullanılacak olup, *CO₂' den oluşan güç üretimindeki genel kayıp %12 civarında olmaktadır*(Serpen ve Türkmen 2007).

8.1. Karbondioksit Üretim Maliyetinin Hesaplanması

Termik santralin yoğunlaştırıcısından alınan ham gazın karbondioksit üretim tesisine gönderildiğini daha önce belirtmiştik. Ek-3' te verilen bilgiler doğrultusunda termik santralden alınan ham gaz ile 1 kg CO₂ üretilmesinin maliyeti hesaplanmıştır. Kimyasal maddeler, yağ kullanımı ve personel giderleri yıllık verildiği için hesaplar 2007 yılı üretim miktarı üzerinden yapılmıştır.

A. 30.000 ton CO₂ üretimi için alınması gereken ham gaz miktarı:

$30.000 \times 100/85 = 35.294.117$ kg ham gaz gerekmektedir.

1 m³ ham gaz = 1,6 kg olduğundan, 35.294.117 kg ham gazda 22.058.823 m³ ham gaz olmaktadır. 1 m³ ham gaz 0,008 YTL olduğuna göre(Ek-3):

$22.058.823 \text{ (m}^3/\text{yıl)} \times 0,008 \text{ (YTL/m}^3) = \underline{176.470 \text{ YTL/yıl}}$ bulunur.

B. 30.000 ton CO₂ üretimi için harcanan elektrik miktarı:

1 ton CO₂ üretimi için harcanan elektrik tüketimi 400 kW ise 30.000 ton CO₂ üretmek için 12.000.000 kW elektrik enerjisi kullanmak gerekmektedir(Ek-3). Buna göre 30.000 ton CO₂ üretmek için ödenen elektrik bedeli;

$$30.000 \text{ (ton/yıl)} \times 400 \text{ (kW/ton)} \times 0,18 \text{ (YTL/kW)} = \underline{2.160.000 \text{ YTL/yıl}}$$
 bulunmaktadır.

C. 30.000 ton CO₂ üretimi için kullanılan kimyasal madde miktarları:

Kimyasal maddeler ithal olduğu için fiyatları dolar olarak verilmektedir. 1 ABD dolarını YTL' ye çevirmek için 09.05.2008 tarihindeki Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası kurları kaynak alınmıştır. Buna göre hesaplarımızda 1 ABD doları = 1,27 YTL alınmaktadır. Ek-3' te verilen bilgilere göre:

a. 1 kg KMnO₄ fiyatı 1,5\$ ve 1 ton CO₂ üretiminde 3 kg KMnO₄ kullanıldığında;

$$30.000 \text{ (ton/yıl)} \times 3 \text{ (kg/ton)} \times 1,5 \text{ (\$/kg)} \times 1,27 \text{ (YTL/\$)} = \underline{171.450 \text{ YTL/yıl}}$$
 bulunur.

b. 1 kg Na₂CO₃ fiyatı 0,4\$ ve 1 ton CO₂ üretiminde 2,4 kg Na₂CO₃ kullanıldığında;

$$30.000 \text{ (ton/yıl)} \times 2,4 \text{ (kg/ton)} \times 0,4 \text{ (\$/kg)} \times 1,27 \text{ (YTL/\$)} = \underline{36.576 \text{ YTL/yıl}}$$
 bulunur.

c. 1 kg sulfatreat fiyatı 0,4\$ ve 1 ton CO₂ üretiminde 2,4 kg sulfatreat kullanıldığında;

$$30.000 \text{ (ton/yıl)} \times 2 \text{ (kg/ton)} \times 1,5 \text{ (\$/kg)} \times 1,27 \text{ (YTL/\$)} = \underline{114.300 \text{ YTL/yıl}}$$
 bulunur.

d. CO₂ üretim tesisinde aktif alümina 2 yılda bir değiştirilmekte ve her değişimde 1,5 ton kullanılmaktadır. Öyleyse bir yılda kullanılan miktar 750 kg olmaktadır. Buna göre yıllık aktif alümina kullanım bedeli;

$$750 \text{ (kg/yıl)} \times 2,75 \text{ (\$/kg)} \times 1,27 \text{ (YTL/\$)} = \underline{2620 \text{ YTL/yıl}}$$
 olarak tespit edilir.

e. CO₂ üretim tesisinde aktif karbon ise 6 ayda bir değiştirilmekte ve her değişimde 1,5 ton kullanılmaktadır. Öyleyse bir yılda kullanılan miktar 3 ton olmaktadır. Buna göre yıllık aktif karbon kullanım bedeli;

$$3000 \text{ (kg/yıl)} \times 30 \text{ (YTL/kg)} = \underline{90.000 \text{ YTL/yıl}}$$
 bulunur.

f. Karbondioksit üretim tesisindeki eşanjörlerde soğutma için kullanılan amonyak, içinde bulunduğu çevrimden kaçmaktadır. Bu kaçaklardan dolayı yıllık 10 ton amonyak sisteme takviye edilmektedir(Ek-3). İşletme bu kaçakların giderilmesi için iyileştirme çalışmaları yaptığında amonyak maliyetinin düşeceği görülmektedir. Yıllık amonyak maliyeti ise;

$$10.000 \text{ (kg/yıl)} \times 1,6 \text{ (YTL/kg)} = \underline{16.000 \text{ YTL/yıl}}$$
 olur.

D. Sistemde kompresörler çıkışında gaza karışan yağ, DS-06 yağ separatörü yardımıyla tekrar kompresörlere geri gönderilse de bölüm 3' te anlatılan kompresör özelliklerinden dolayı kompresörlerde yağ eksilmesi olmaktadır. Bu nedenle yıllık 8.000 lt yağ kullanılmaktadır(Ek-3). Buna göre yıllık yağ kullanım miktarı;
 $8.000 \text{ (YTL/yıl)} \times 1,2 \text{ (\$/lt)} \times 1,27 \text{ (YTL/\$)} = \underline{12.192 \text{ YTL/yıl}}$ bulunur.

E. 30.000 ton CO₂ üretimi için kullanılan su miktarı:
 Eşanjörde, soğutma ve yıkama kulelerinde kullanılan su miktarı, 1 ton CO₂ üretimi için 2,5 m³ olarak verilmektedir. Buna göre yıllık su kullanım miktarı;
 $30.000 \text{ (ton)} \times 2,5 \text{ (m}^3\text{/ton)} \times 1,4 \text{ (YTL/m}^3\text{)} = \underline{105.000 \text{ YTL}}$ dir.

F. Bakım, satın alma, şoförler, muhasebe, teknik ofis ve diğer personelin yıllık maaş, sigorta, yemek ve servis giderleri 2.400.000 YTL olarak Ek-3' te verilmektedir.

G. İşletmedeki diğer giderler ise maliyete %20 oranında ilave edilmektedir(Ek-3). Yukarıda yaptığımız hesaplar toplanıp, yıllık üretim miktarı olan 30.000 tona bölünerek 1 ton CO₂ üretiminin maliyeti:

$176.470 + 2.160.000 + 171.450 + 36.576 + 114.300 + 2.620 + 90.000 + 16.000 + 12.192 + 105.000 + 2.400.000 = 5.284.608 \text{ YTL}$ bulunur. Bu toplam 1,2 ile çarpılarak diğer giderler eklenirse;

$5.284.608 \times 1,2 \approx 6.341.530 \text{ YTL}$ olarak hesaplanır. Bu değer 30.000' e bölünürse;

$6.341.530 / 30.000 \approx \underline{212 \text{ YTL}}$ olarak, 1 ton CO₂' nin üretim maliyeti hesaplanmış olur.

Yukarıda yapmış olduğumuz hesaplara vergi ve nakliye giderleri katılmamıştır. Bu giderlerinde maliyete katılması gerekmektedir. Vergi, kardan %40 oranında verilmektedir. Nakliye ise gidiş ve dönüş mesafelerinin kilometre toplamının 0,5 ile çarpılmasıyla bulunmaktadır. Öyleyse bu iki değişkeni içeren bir formülle (8.1) satış fiyatı hesaplamak mümkün olmaktadır.

$$P = (212 + [(P - 212) \times 0,4] + (D \times 0,5)) \times K \quad (8.1)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada;

P: Satış fiyatını,

D: Gidiş ve dönüş mesafesi toplamını,

K: Kar oranını,

ifade etmektedir. Formül tekrar düzenlenirse satış fiyatı;

$$P = [2544 + (10 \times D)] / [(20 / K) - 8] \quad (8.2)$$

bulunur. 8.2' deki formülümüzü, %25 kar oranının istendiği ve nakliye mesafesinin toplam 100 km olduğu bir örnekle açıklayalım. Bu verilere göre 1 ton CO₂' nin satış fiyatı;

$$P = [2544 + (10 \times 100)] / [(20 / 1,25) - 8]$$

P = 443 YTL olarak hesaplanır.

8.2. Gaz Altı Kaynağıyla Yapılan Hadde Ayağı Üretim Maliyeti İle Bu Üretimdeki CO₂ Gazı Giderinin Hesaplanması

Gaz altı kaynağı kullanılarak yapılan işin maliyeti için, hadde ayağı imalatı incelenmiştir. Hadde tesislerinde merdanelerin yataklanması için konsol olarak kullanılan hadde ayağı, teknik resmi Ek-2A' da verilen dört parçanın gaz altı kaynağıyla birleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Gaz altı kaynağında kullanılan gazın, tamamı CO₂ olabileceği gibi, %80 CO₂ ve %20 diğer gazlar karışımı da olabilmektedir.

Hadde ayağı imalatında 200x200 mm ebatlarında 4,34 m St37 malzemeden kütük kullanılmaktadır(Ek-2B). St37 çeliğinin yoğunluğu 7,8 g/cm³, tür. Ayrıca St37 çeliğinin 1 tonu 1416 \$' a satılmaktadır. 1 ABD dolarını YTL' ye çevirmek için 09.05.2008 tarihindeki Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası kurları kaynak alınmıştır. Buna göre hesaplarımızda 1 ABD doları = 1,27 YTL alınmaktadır. Buna göre imalatta kullanılacak çeliğin fiyatı;

$$20 \text{ (cm)} \times 20 \text{ (cm)} \times 434 \text{ (cm)} \times 7,8 \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1354 \text{ kg}$$

$$1354 \text{ (kg/adet)} \times 1,416 \text{ (\$/kg)} \times 1,27 \text{ (YTL/\$)} = \underline{2435 \text{ YTL/adet}}$$
 bulunur.

İşlem sırasında kullanılan elektrik enerjisini hesaplamak için, tornanın hadde ayakları ve üst baskıya deliklerin delinmesi için 10 saat, frezenin kütük ebatları 195x195 mm oluncaya kadar 16 saat, planyanın tabana ve üst baskıya kanalların açılması için 14 saat ve kaynak makinasının da parçaların birbirine kaynatılması için 16 saat çalıştığı bilinmektedir. Bu verilere göre elektrik için ödenen bedel;

$$\text{Tornada, } 10 \text{ (saat)} \times 14 \text{ (kW)} \times 0,18 \text{ (YTL/kWh)} = 25,2 \text{ YTL}$$

$$\text{Frezede, } 16 \text{ (saat)} \times 20 \text{ (kW)} \times 0,18 \text{ (YTL/kWh)} = 57,6 \text{ YTL}$$

$$\text{Planyada, } 14 \text{ (saat)} \times 12 \text{ (kW)} \times 0,18 \text{ (YTL/kWh)} = 30,24 \text{ YTL}$$

Kaynak makinasında, $16 \text{ (saat)} \times 22 \text{ (kW)} \times 0,18 \text{ (YTL/kWh)} = 63,36 \text{ YTL}$, olarak hesaplanır. Cihazların işlem boyunca kullandığı toplam elektrik tüketimi;

$$25,2 + 57,6 + 30,24 + 63,36 = \underline{176,4 \text{ YTL/adet}} \text{ tir.}$$

Torna, freze, planya ve kaynak makinasında geçen süre kadar işçilik bedeli ödenmektedir. Bir işçinin aylık giderleri 1200 YTL olarak verilmektedir. İşçiler ayda 26 gün ve günde 8 saat çalışmaktadır. Öyleyse işçilik için ödenen ücret;

$$[1200 \text{ (YTL/ay)} / 26 \text{ (ay/gün)} / 8 \text{ (gün/saat)}] \times 56 \text{ (saat/adet)} = \underline{323 \text{ YTL/adet}} \text{ hesaplanır.}$$

25 kg CO₂ tüpü ile iki adet hadde ayağı kaynatılabilmektedir. Bir adet hadde ayağı imalatında 12 kg CO₂ kullanılmaktadır. 25 kg'lık CO₂ tüpünün fiyatı 35 YTL olarak verilmektedir. Buna göre kullanılan CO₂ miktarı ve fiyatı;

$$[35 \text{ (YTL)} / 25 \text{ (kg)}] \times 12 \text{ (kg/adet)} = \underline{16,8 \text{ YTL/adet}} \text{ bulunur.}$$

Kaynak işlemi sırasında 1 top kaynak teli kullanıldığı ve diğer giderlerin maliyete %14 ilave edileceği bilindiğine göre, hadde ayağı imalatı için toplam maliyet;

$$(2435 + 176,4 + 323 + 16,8 + 50) \times 1,14 = \underline{3421 \text{ YTL/adet}} \text{ olarak bulunur.}$$

8.3. Gazoz Üretim Maliyeti İle Bu Üretimdeki CO₂ Gazı Giderinin Hesaplanması

Meşrubat üretimi için karbondioksitin büyük önemi bulunmaktadır. Bugün zevkle içtiğimiz gazlı içeceklerin içindeki gaz CO₂'dir. Diğer bir deyişle, CO₂ olmasaydı beklide gazlı içecekler yapılamayacaktı. İncelediğimiz gazoz üretim tesisinde, Ek-1' de de görüldüğü gibi, veriler 1 saatlik gazoz üretim miktarı üzerinden verilmiştir.

2,5 litrelik gazozu 0,027 kg CO₂ katılmaktadır. İşletme, CO₂'nin 1 kilogramını 0,444 YTL'ye almaktadır(Ek-1). Buna göre 2,5 litrelik gazozu katılan CO₂'nin fiyatı;

$$0,027 \text{ (kg)} \times 0,444 \text{ (YTL/kg)} = 0,012 \text{ YTL} \text{ olarak bulunur.}$$

Karton tava ve paket naylonu, 8 adet gazozun koli yapılması için kullanılmaktadır. Diğer verilen şişe, kapak, etiket ve aroma fiyatları ise 1 adet 2,5 litrelik gazoz için verilmiştir. Öyleyse CO₂, karton, naylon, şişe, kapak, etiket, aroma ve yapıştırıcı toplanırsa 1 şişe için içerik fiyatı;

$0,012 + (1,6 / 8) + (1,2 / 8) + 0,2 + 0,02 + 0,02 + 0,35 + 0,01 = 0,962$ YTL hesaplanır.

1 saatte 300 adet 2,5 litrelik gazoz üretildiği bilinmektedir(Ek-1). Bu durumda;

$0,962$ (YTL/adet) x 300 (adet) = 288,6 YTL bulunur.

Karıştırma, dolum, kapaklama, etiketleme ve paketleme makinalarının toplam elektrik tüketimi 1 saat için 95 kW olarak verilmektedir. 1 saatlik elektrik ücreti;

95 (kWh) x $0,18$ (YTL/kWh) = 17,1 YTL olarak hesaplanır.

İşletmenin personel gideri aylık 14.000 YTL olarak verilmektedir. Günde 8 saat ve ayda 26 gün çalışıldığı bilindiğine göre 1 saatlik işçilik ücreti;

$[14.000$ (YTL/ay) / 26 (ay/gün) / 8 (gün/saat)] x 1 (saat) = 67,3 YTL bulunur.

Hesapladığımız maliyetleri toplayıp, diğer işletme giderleri %5 ilave edilerek 300 adet 2,5 litrelik gazoz için toplam maliyet;

$(288,6 + 17,1 + 67,3)$ x $1,05$ = 391,65 YTL hesaplanır.

1 adet 2,5 litrelik gazoz için üretim maliyeti;

$391,65 / 300$ = 1,3 YTL/adet olarak bulunur.

9. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kuru buz üretmek için gerekli karbondioksidin, jeotermal enerjiden üretiminin teknik ve maliyet esasları incelenmiştir. Ayrıca CO₂ kullanan iki sektörde, gazoz üretimi ve gaz altı kaynağında, 1 kg CO₂ ile ne kadar iş yapılabileceği hesaplanmıştır. CO₂ üretim maliyetleri içindeki giderlere baktığımız zaman, işin yapılması için istihdam edilen personel giderlerinin ve ödenen elektrik bedelinin maliyetin büyük kısmını oluşturduğu görülmektedir. Tablo 9.1' de CO₂ üretim maliyeti içerisinde gider dağılımları gösterilmektedir.

Tablo 9.1. CO₂ üretimi içerisindeki gider dağılımları

CO ₂ ÜRETİMİ İÇERİSİNDEKİ GİDERLER	DAĞILIM (%)
Ham Gaz	2,7
Elektrik	34
KMnO ₄ (Potasyum Permanganat)	2,7
Na ₂ CO ₃ (Soda)	0,57
Sulfatreat	1,8
Aktif Alümina	0,04
Aktif Karbon	1,4
NH ₃ (Amonyak)	0,25
Yağ	0,19
Su	1,65
Personel Giderleri	37,7
İşletme Giderleri	17

Tablo 9.1' deki gider dağılımı, üretimin termik santralin yoğunlaştırıcısından alınan ham gaz ile yapılmasına göre hazırlanmıştır. Eğer santralden gelen gaz yeterli değilse veya santral çalışmıyorsa kuyudan alınan akışkanla üretim yapılacaktır. Bu durumda maliyet bir miktar daha artacaktır.

Nakliye giderleri, taşınacak mesafeye göre değiştiği için sabit giderler içinde verilmemiştir. Fakat mazotta gider olduğu için daha önce 8. bölümde verdiğimiz 8.1 ve 8.2 formülleri içerisinde satış fiyatına dahil edilmiştir.

Gazoz üretim maliyetine baktığımız zaman CO₂ giderinin, toplam maliyet içerisinde çok az bir gider olduğu görülmektedir. Oysaki CO₂ olmasaydı gazlı içecek üretimi olmayacaktı. Gazoz içerisinde CO₂ çok az bir gider teşkil etse de, gerekliliği açısından meşrubat üretimi için büyük önem arz etmektedir. Tablo 9.2' de gazoz üretimi içerisinde CO₂ ve diğer giderlerin dağılımı verilmektedir.

Tablo 9.2. Gazoz üretimi içerisindeki gider dağılımları

GAZUZ ÜRETİMİ İÇERİSİNDEKİ GİDERLER	DAĞILIM (%)
CO ₂	0,92
Plastik Şişe	15,32
Plastik Kapak	1,53
Etiket	1,53
Su ve Aromalar	26,8
Yapıştırıcı	0,76
Karton Tava	15,32
Paket Naylonu	11,5
Elektrik	4,36
Personel Giderleri	17,2
İşletme Giderleri	4,76

Tablo 9.2' de görüldüğü gibi CO₂, gazoz üretiminin toplam giderinin yaklaşık %1' ini meydana getirmektedir. Maliyetin büyük kısmını sırasıyla aromalar, şişe, karton tava ve paket naylonu meydana getirmektedir.

1 adet 2,5 litrelik gazoz üretmenin maliyetinin 1,3 YTL olduğu hesaplanmıştı. Ayrıca 2,5 litrelik gazozu 0,027 kg CO₂ katıldığı da verilmişti. Bu bilgiler doğrultusunda gazoz üretiminde 1 kg CO₂ ile yapılacak işin parasal değeri hesaplanırsa; $1,3 / 0,027 \approx 48$ YTL olarak bulunur.

Gaz altı kaynağı kullanılarak yapılan işin maliyetinde en büyük gideri çelik malzeme oluşturmaktadır. Tablo 9.3' de hadde ayağı imalatındaki giderlerin toplam maliyet içerisindeki dağılımları verilmektedir.

Tablo 9.3. Hadde ayağı imalatı içerisindeki gider dağılımları

HADDE AYAĞI İMALATI İÇERİSİNDEKİ GİDERLER	DAĞILIM (%)
Çelik Malzeme (St37)	71,17
Elektrik	5,15
İşçilik	9,44
CO ₂	0,5
Kaynak Teli	1,46
İşletme giderleri	12,28

Gaz altı kaynağı ile yapılan hadde ayağı imalatında CO₂' nin toplam maliyette diğer giderlere oranla çok az bir kısmını oluşturduğu tablo 9.3' de görülmektedir. 3421 YTL maliyeti hesaplanan hadde ayağının imalatında 12 kg CO₂ kullanılmıştır. Gaz olarak tamamen CO₂' nin kullanıldığı bu kaynaklı imalat işleminde, 1 kg CO₂ ile yapılan işin parasal değeri hesaplanırsa;

$3421 / 12 \approx 285$ YTL' lik iş yapıldığı bulunur.

Özet olarak, karbondioksidin jeotermal enerjiden üretim teknolojisi incelenmiş, üretim maliyeti hesaplanmış ve toplam maliyet içerisindeki giderlerin dağılımları bulunmuştur. Ayrıca 1 kg CO₂ kullanarak, gazoz üretimi ve makine imalatında yapılan işin parasal değeri hesaplanmış ve bu işlemlerde toplam maliyet içerisinde CO₂' nin ne kadar gider teşkil ettiği bulunmuştur. Jeotermal enerjiden CO₂ üretiminin, diğer üretim teknolojilerinden yapılan CO₂ üretimine göre %13-20 oranda daha ucuz olduğu da tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgularda, CO₂' nin önemli bir endüstriyel uygulama gazı olduğu sonucuna varılmıştır. Öyle ki, yakın zamanda ısı pompası ve soğutma sistemleri için kullanılan soğutucu akışkanlar hakkındaki yasal düzenlemelerin, küresel ısınma ve ozon tabakasındaki delinme sebebiyle, birçok soğutucu akışkan kullanımına yasaklama getirmesi beklenmektedir. Örneğin 1 kg R-134a emisyon 1200 kg CO₂' ye eşdeğer sera etkisine neden olmaktadır(Özkoç 2007). Bu durumda alternatif soğutucu akışkanlardan en çok ümit vaat eden akışkanın CO₂ olması beklenmektedir. Özellikle araç klimalarında 2011 yılından sonra CO₂ kullanılması ve R-134a' nın kullanımının yasaklanması Avrupa Birliği tarafından kabul görmüştür. Bu sebeple yerli kaynaklarla CO₂ ve CO₂ akışkanlı sistemler üretiminin ne kadar önemli olduğu görülmektedir

KAYNAKLAR

- Cansever, İ. ve Gülden, S. (2001) Jeotermal Enerji, *SDÜ Çevre Müh. Bölümü*, 15s.
- Çağlar, İ. ve Taymaz, T. (2006) Aktif Tektoniğin İkramı Sıfır Zararlı Jeotermal Enerji. *Bilim ve Teknik*, 464: 50-52.
- Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. (2000) Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Derbentli, T., *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 867s.
- Duruk, A. M. ve Sarıbatı, Ş. (2006) Soğutma Tesisatı, Genceli, O. F., *MMO İstanbul Şubesi*, İstanbul, 192s.
- Ekren, O. (2006) Kuru Buz İle Temizlik Uygulaması. *Soğutma Dünyası*, 34: 35-42.
- Karboğaz (2000) “Sıvı CO₂ Üretim Faaliyetleri Prosedürü” , *Karboğaz*, s.1-10.
- Karıpçin, C. (1995) Kuru Buz ve Kuru Buz Üretimi, Bitirme Projesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Denizli, 29s.
- Özgür, A. E. ve Bayrakçı, H. C. (2008) CO₂ Soğutkanlı Soğutma Sistemlerinde Optimum Yoğuşturucu Basıncının Atmosfer Sıcaklığı İle Değişiminin İncelenmesi”, *IV. Ege Enerji Sempozyumu*, İzmir, s.665-671.
- Özkol, N. (2007) Uygulamalı Soğutma Tekniği, *MMO Ankara Şubesi*, Ankara, 738s.
- Öztürk, A. ve Kılıç, A. (1993) Çözümlü Problemlerle Termodinamik, *Çağlayan Kitabevi*, İstanbul, 653s.
- Serpen, U. ve Türkmen, N. (2007) Kızıldere Jeotermal Santralının 23 Yıllık Performansının Değerlendirilmesi”, TESKON, *Jeotermal Enerji Semineri*, İstanbul, s. 219-228.
- Sert, M. (2007) Ticari Soğutma ve Sürdürülebilirlik-2. *Doğa Sektörel Yayın Grubu Termodinamik Dergisi*”, http://www.dogayayin.com/dergi_detay.asp?dergiID=202&yaziID=1512 (10.04.2008).
- Şimşek, N. (1998) Enerji Sorununun Çözümünde Jeotermal Enerji Alternatifi, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 8:(29) 15-20.
- Yıldız, K., Kormaksan Makine San. Tic. Ltd. Şti., Denizli, kameryildiz@gmail.com (09.05.2008).
- WEB_1. (2004). Barit Maden Türk A.Ş. http://www.baritmaden.com/karbondioksit_kullanimalanlari.php (17.02.2008).
- WEB_2. (2004). Barit Maden Türk A.Ş. http://www.baritmaden.com/karbondioksit_mgbf.php (17.02.2008).

- WEB_3. (2004). Barit Maden Türk A.Ş. http://www.baritmaden.com/karbondioksit_kurubuz.php (17.02.2008).
- WEB_4. (2007). Beyaztek Ltd. Şti. <http://www.beyaztekkurubuz.com/hakkimizda.htm> (17.02.2008).
- WEB_5. (2004). Barit Maden Türk A.Ş. http://www.baritmaden.com/index_tr.php (17.02.2008).
- WEB_6. (2008). İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü <http://www.iyte.edu.tr/~geocen/turkish/whatGeothermalEnergyIsTurkish.htm> (14.03.2008).
- WEB_7. (2008). Vikipedi özgür ansiklopedi http://tr.wikipedia.org/wiki/Jeotermal_enerji (15.03.2008).
- WEB_8. (2008). Kimya mühendisi web sitesi http://www.kimyamuhendisi.com/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=15&Itemid=28 (15.03.2008).
- WEB_9. (2008). Türkiye Jeotermal Derneği <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/nedir/%20i.htm> (15.03.2008).
- WEB_10. (2008). Çukurova Sanayi ve Tıbbi Gazlar <http://www.ctg.com.tr> (22.04.2008)
- WEB_11. (2008). Berrin Bozan web sitesi <http://home.anadolu.edu.tr/~bbozan/KIMTEK.htm> (22.04.2008).
- WEB_12. (2008). Kütahya Sanayi ve Ticaret Odası <http://www.kutso.org.tr/dosyalar/yatirim/sodauretimtesisi.doc> (08.05.2008).

EKLER

Ek-1. Gazoz Üretimi İçin Maliyet Hesabı Verileri

T.C.

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Fehim MÜCASİROĞLU' nun gazoz üretimiyle ilgili istemiş olduğu bilgiler aşağıda verilmiştir.

1 ton sıvı CO₂ alış fiyatı: 444 YTL (KDV dahil)

2,5 lt plastik şişe fiyatı: 0,2 YTL (KDV dahil)

Plastik kapak fiyatı: 0,02 YTL (KDV dahil)

Etiket fiyatı: 0,02 YTL (KDV dahil)

Aromalar: 0,35 YTL (KDV dahil)

Yapıştırıcı(etiket için): 0,01 YTL (KDV dahil)

Karton tava: 1,6 YTL (KDV dahil)

Paket naylonu: 1,2 YTL (KDV dahil)

Aylık personel gideri: 14000 YTL (KDV dahil)

Makinalar için 1 saatlik elektrik tüketimi: 95 kW

1 kWh elektrik fiyatı: 0,18 YTL (KDV dahil)

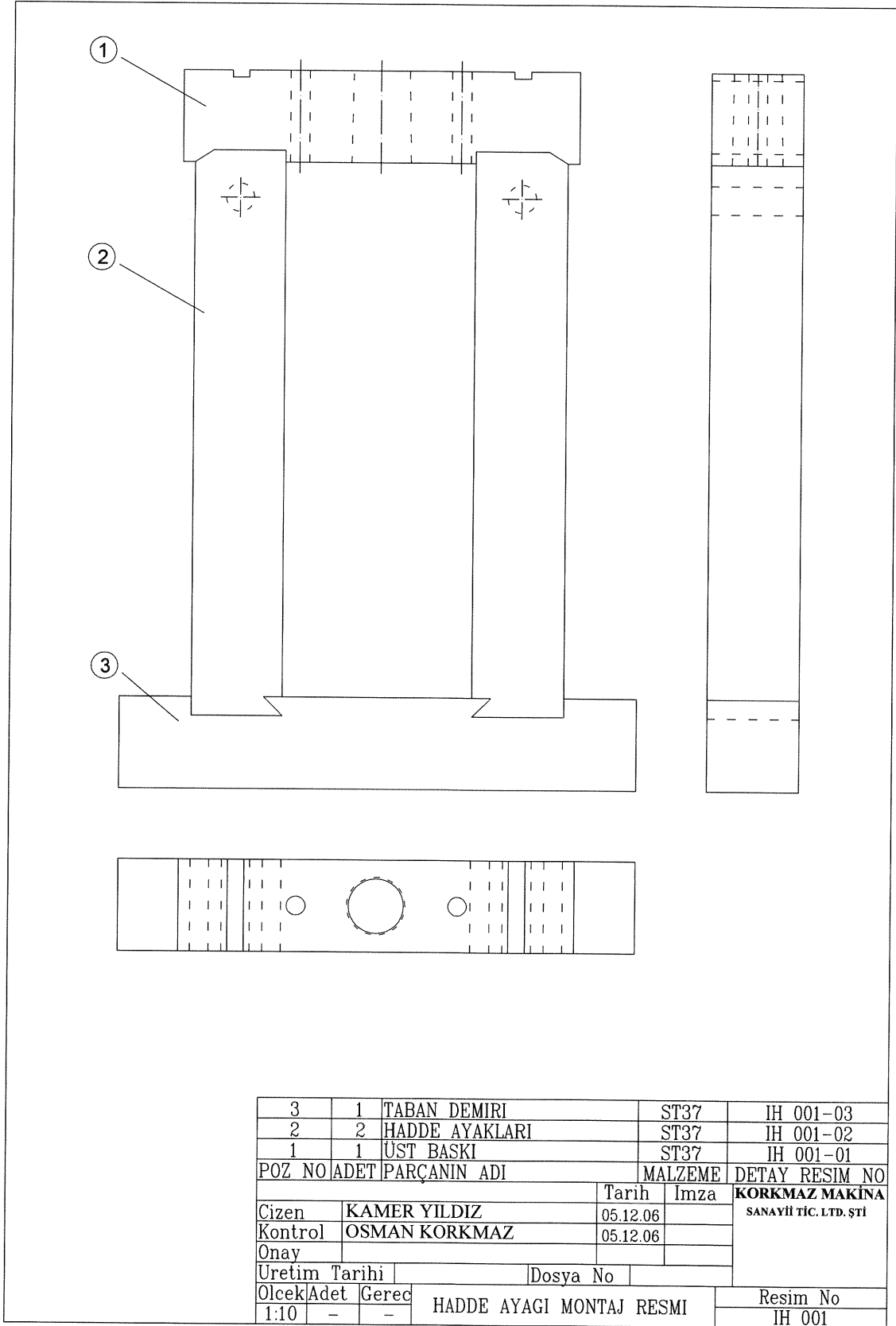
2,5 lt gazoz katılan CO₂ miktarı: 0,027 kg

1 saatte üretilen 2,5 lt gazoz miktarı: 300 adet

Üretimdeki diğer işletme giderleri toplam maliyete %5 ilave edilecektir.

Yukarıda bilgilerin tarafımızdan verildiğini onaylar, saygılarımızı sunarız.

Ek-2A. Gaz Altı Kaynağı Yapılan Hadde Ayağı Montaj Resmi
(Not: Teknik resmin kenar çizgisi A4 boyutu olarak kabul edilmiştir.)



Ek-2B. Gaz Altı Kaynağı İçin Maliyet Hesabı Verileri(Yıldız 2008).

T.C.

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Fehim MÜCASİROĞLU' nun gaz altı kaynağı kullanımıyla ilgili istemiş olduğu bilgiler aşağıda verilmiştir.

Hadde ayağının imalatında kullanılan St37 malzemedden 200x200 mm ebatlarında toplam kütük boyu: 4,34 m

1 ton 200x200 mm kütük fiyatı: 1200\$ + KDV

Frezenin 1 saatlik elektrik tüketimi: 20 kW

Tornanın 1 saatlik elektrik tüketimi: 14 kW

Gaz altı kaynak makinası 1 saatlik elektrik tüketimi: 22 kW

Planyanın 1 saatlik elektrik tüketimi: 12 kW

1 kWh elektrik fiyatı: 0,18 YTL (KDV dahil)

Hadde ayağı için toplam freze kullanımı: 16 saat

Hadde ayağı için toplam torna kullanımı: 10 saat

Hadde ayağı için toplam planya kullanımı: 14 saat

Hadde ayağı için toplam gaz altı kaynak makinası kullanımı: 16 saat

İşlem için kullanılan CO₂ miktarı: 12 kg

25 kg' lık CO₂ tüpü fiyatı: 35 YTL (KDV dahil)

İşlem için kullanılan tel miktarı: 1 top

Gaz altı kaynağı için kullanılan telin 1 top fiyatı: 50 YTL (KDV dahil)

Bir personel için aylık gider: 1200 YTL

Diğer işletme giderleri toplam maliyete %14 ilave edilmektedir.

Yukarıda bilgilerin tarafımızdan verildiğini onaylar, saygılarımızı sunarız.

Ek-3. Karbondioksit Üretimi İçin Maliyet Hesabı Verileri

T.C.

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Fehim MÜCASİROĞLU' nun karbondioksit üretimiyle ilgili istemiş olduğu bilgiler aşağıda verilmiştir.

2007 yılı toplam CO₂ üretim miktarı: 30.000 ton

85 ton CO₂ üretimi için alınan ham gaz miktarı: 100 ton

1 m³ ham gaz fiyatı: 0,008 YTL

1 ton CO₂ üretimi için harcanan elektrik: 400 kW

1 kWh elektrik fiyatı: 0,18 YTL (KDV dahil)

1 ton CO₂ üretimi için kullanılan KMnO₄ miktarı: 3 kg

1 ton CO₂ üretimi için kullanılan Na₂CO₃ miktarı: 2,4 kg

1 ton CO₂ üretimi için kullanılan sulfatreat miktarı: 2 kg

1 ton CO₂ üretimi için kullanılan su miktarı: 2,5 m³

1 m³ su fiyatı: 1,4 YTL (KDV dahil)

1 kg KMnO₄ fiyatı: 1,5\$ (KDV dahil)

1 kg Na₂CO₃ fiyatı: 0,4\$ (KDV dahil)

1 kg sulfatreat fiyatı: 1,5\$ (KDV dahil)

Yıllık aktif alümina kullanımı: 750 kg

Yıllık aktif karbon kullanımı: 3 ton

Yıllık amonyak kullanımı: 10 ton

Yıllık yağ kullanımı: 8.000 lt

1 lt yağ fiyatı: 1,2\$ (KDV dahil)

1 kg aktif alümina fiyatı: 2,75\$ (KDV dahil)

1 kg aktif karbon fiyatı: 30 YTL (KDV dahil)

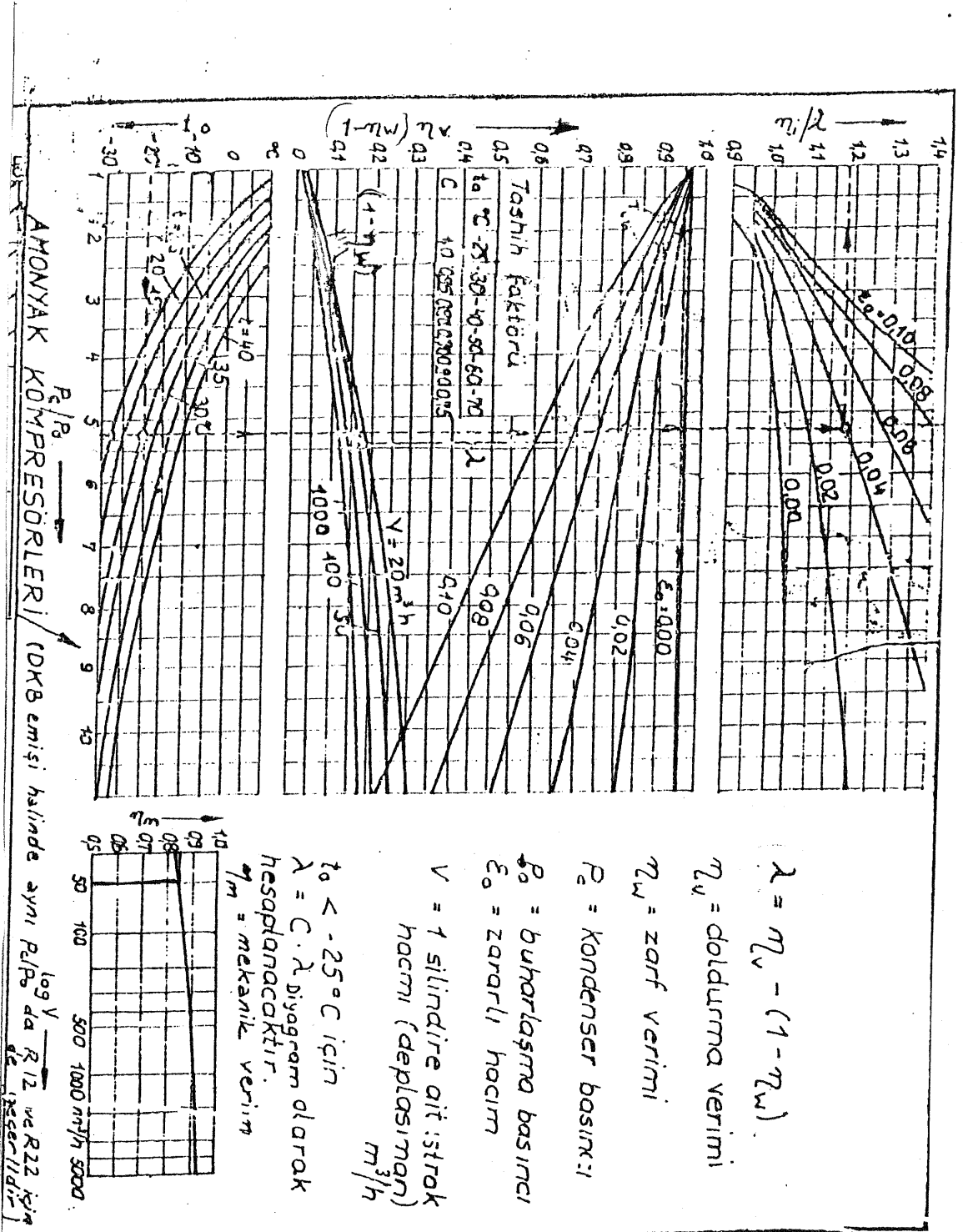
1 kg amonyak fiyatı: 1,6 YTL (KDV dahil)

2007 yılı personel giderleri: 2.400.000 YTL

Diğer işletme giderleri toplam maliyete %20 ilave edilmektedir.

Yukarıda bilgilerin tarafımızdan verildiğini onaylar, saygılarımızı sunarız.

Ek-4A. Pistonlu Soğutma Kompresörlerinde Sevk ve İndike Verim Eğrileri

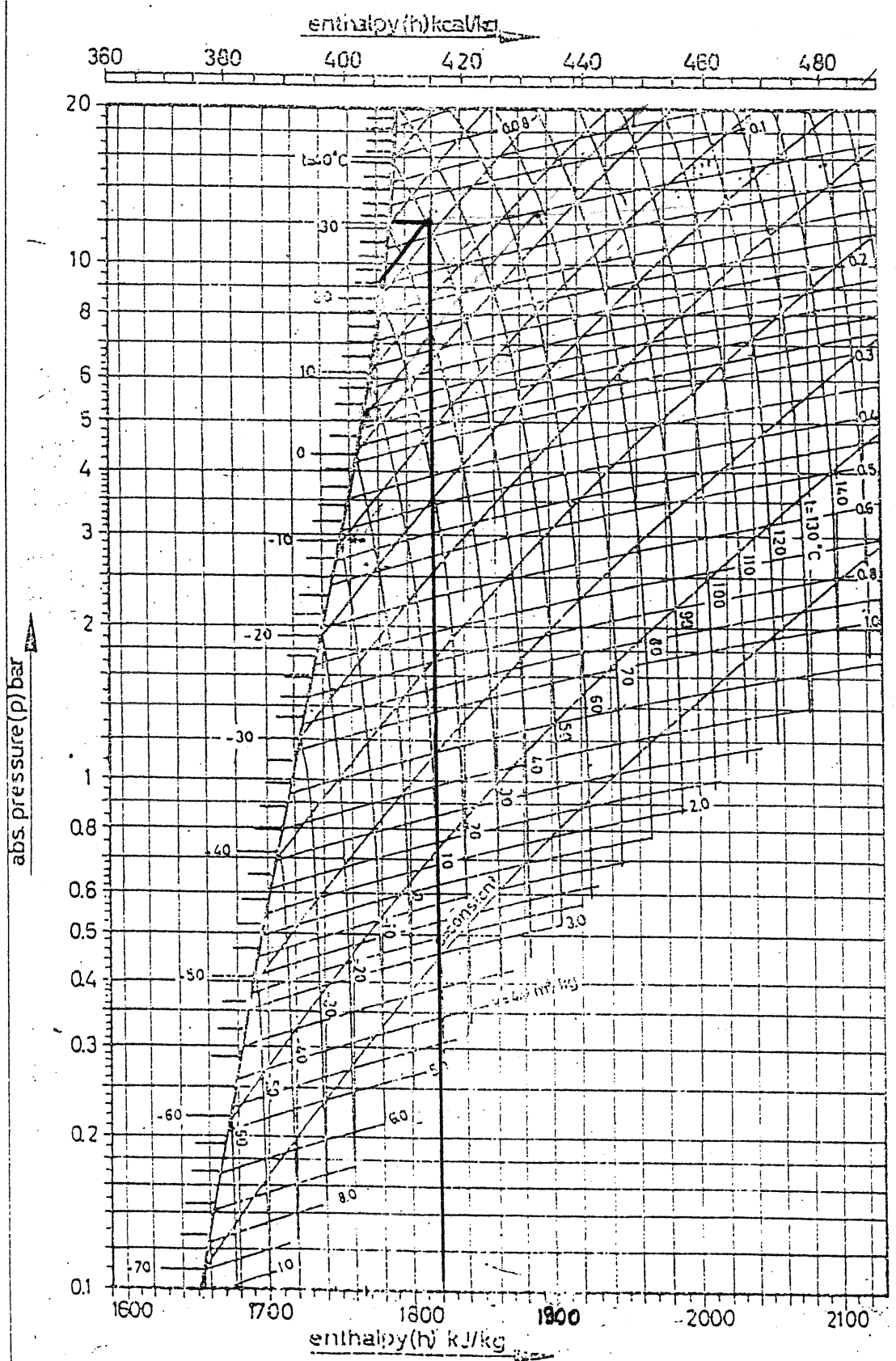


Ek-4B. R717 Amonyak (NH₃) İçin Buhar Tablosu

Temp. t °C	Abs. press. p bar	Spec. volume		Enthalpy	
		Liquid v'	Vapour v''	Liquid h'	Vapour h''
		10 ⁻³ m ³ /kg	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg
-60	0.219	1.401	4.599	232.0	1572.3
-59	0.233	1.403	4.430	236.2	1674.0
-58	0.249	1.406	4.161	240.8	1675.7
-57	0.266	1.408	3.927	245.0	1677.3
-56	0.283	1.410	3.593	249.6	1679.4
-55	0.302	1.413	3.491	253.8	1681.1
-54	0.321	1.415	3.288	258.0	1682.8
-53	0.341	1.417	3.111	262.2	1684.4
-52	0.363	1.420	2.933	266.4	1686.1
-51	0.385	1.422	2.778	270.6	1687.8
-50	0.409	1.424	2.623	275.2	1689.5
-49	0.433	1.427	2.487	279.4	1691.1
-48	0.450	1.429	2.351	284.0	1692.8
-47	0.485	1.432	2.232	288.2	1694.5
-46	0.515	1.434	2.112	292.3	1696.2
-45	0.544	1.437	2.007	296.5	1697.8
-44	0.577	1.439	1.901	301.1	1699.5
-43	0.611	1.442	1.803	305.3	1701.2
-42	0.644	1.444	1.715	309.9	1702.9
-41	0.681	1.448	1.633	314.5	1704.5
-40	0.718	1.449	1.550	319.1	1706.2
-39	0.757	1.452	1.475	323.4	1707.9
-38	0.798	1.454	1.404	327.8	1709.5
-37	0.841	1.457	1.338	332.3	1711.1
-36	0.885	1.460	1.275	336.8	1712.7
-35	0.932	1.462	1.215	341.2	1714.3
-34	0.981	1.465	1.159	345.7	1715.9
-33	1.031	1.468	1.106	350.2	1717.5
-32	1.084	1.470	1.055	354.6	1719.1
-31	1.139	1.473	1.008	359.1	1720.6
-30	1.195	1.476	0.963	363.6	1722.2
-29	1.254	1.478	0.920	368.1	1723.7
-28	1.316	1.481	0.880	372.6	1725.2
-27	1.380	1.484	0.842	377.0	1726.7
-26	1.446	1.487	0.806	381.6	1728.2
-25	1.516	1.489	0.771	386.0	1729.8
-24	1.588	1.492	0.739	390.6	1731.2
-23	1.662	1.495	0.708	395.0	1732.7
-22	1.740	1.498	0.678	399.5	1734.1
-21	1.820	1.501	0.650	404.1	1735.6
-20	1.902	1.504	0.624	408.6	1737.0
-19	1.988	1.507	0.598	413.1	1738.5
-18	2.076	1.510	0.574	417.6	1739.8
-17	2.168	1.512	0.551	422.2	1741.2
-16	2.264	1.515	0.529	426.7	1742.6
-15	2.363	1.518	0.509	431.3	1744.0
-14	2.465	1.521	0.489	435.9	1745.3
-13	2.570	1.524	0.470	440.4	1746.6
-12	2.679	1.527	0.451	445.0	1747.8
-11	2.792	1.531	0.433	449.5	1749.2
-10	2.909	1.534	0.418	454.1	1750.4
-9	3.029	1.537	0.403	458.6	1751.7
-8	3.154	1.540	0.388	463.2	1753.0
-7	3.282	1.543	0.373	467.8	1754.2
-6	3.414	1.546	0.359	472.4	1755.5
-5	3.549	1.549	0.347	477.0	1756.6

Temp. t °C	Abs. press. p bar	Spec. volume		Enthalpy	
		Liquid v'	Vapour v''	Liquid h'	Vapour h''
		10 ⁻³ m ³ /kg	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg
-5	3.549	1.550	0.347	477.0	1756.6
-4	3.688	1.553	0.334	481.5	1757.8
-3	3.832	1.556	0.322	486.1	1759.0
-2	3.982	1.559	0.311	490.7	1760.1
-1	4.135	1.563	0.300	495.4	1761.3
0	4.294	1.566	0.290	500.0	1762.4
+1	4.457	1.569	0.280	504.6	1763.5
+2	4.625	1.573	0.270	509.3	1764.6
+3	4.797	1.576	0.261	513.9	1765.7
+4	4.975	1.580	0.252	518.5	1766.7
+5	5.157	1.583	0.243	523.2	1767.8
+6	5.345	1.587	0.235	527.8	1768.8
+7	5.538	1.590	0.227	532.5	1769.7
+8	5.736	1.594	0.220	537.1	1770.7
+9	5.940	1.596	0.213	541.8	1771.7
+10	6.150	1.601	0.206	546.5	1772.6
+11	6.365	1.604	0.199	551.2	1773.5
+12	6.585	1.608	0.193	555.9	1774.5
+13	6.812	1.612	0.187	560.6	1775.1
+14	7.044	1.616	0.181	565.3	1776.1
+15	7.283	1.619	0.175	570.0	1776.9
+16	7.529	1.623	0.169	574.7	1777.8
+17	7.780	1.627	0.164	579.5	1778.6
+18	8.038	1.631	0.159	584.2	1779.4
+19	8.301	1.635	0.154	588.9	1780.1
+20	8.572	1.639	0.149	593.7	1780.9
+21	8.850	1.643	0.145	598.5	1781.6
+22	9.134	1.647	0.140	603.3	1782.3
+23	9.425	1.651	0.136	608.0	1783.0
+24	9.723	1.655	0.132	612.8	1783.6
+25	10.027	1.659	0.128	617.6	1784.3
+26	10.341	1.663	0.124	622.4	1784.9
+27	10.660	1.667	0.121	627.2	1785.5
+28	10.987	1.671	0.117	632.1	1786.1
+29	11.323	1.676	0.114	636.9	1786.6
+30	11.665	1.680	0.111	641.7	1787.2
+31	12.015	1.684	0.107	646.5	1787.7
+32	12.373	1.689	0.104	651.4	1788.2
+33	12.740	1.693	0.101	656.3	1788.6
+34	13.115	1.698	0.099	661.1	1789.0
+35	13.499	1.702	0.096	666.0	1789.4
+36	13.891	1.707	0.093	670.9	1789.8
+37	14.291	1.711	0.091	675.8	1790.2
+38	14.700	1.716	0.088	680.7	1790.5
+39	15.117	1.721	0.086	685.6	1790.8
+40	15.544	1.726	0.083	690.5	1791.1
+41	15.979	1.730	0.081	695.5	1791.3
+42	16.423	1.735	0.079	700.5	1791.6
+43	16.877	1.740	0.077	705.4	1791.8
+44	17.340	1.745	0.075	710.4	1792.0
+45	17.814	1.750	0.073	715.3	1792.1
+46	18.297	1.755	0.071	720.3	1792.2
+47	18.791	1.761	0.069	725.3	1792.3
+48	19.293	1.766	0.067	730.3	1792.4
+49	19.805	1.771	0.065	735.3	1792.5
+50	20.326	1.777	0.063	740.3	1792.5

Ek-4C. R717 Amonyak (NH₃) İçin Kızgın Buhar Bölgesi Entalpi-Basınç Değerleri



ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : Fehim MÜCASİROĞLU
Doğum Tarihi : 23. 07. 1982
Doğum Yeri : Fethiye / MUĞLA
Bitirdiği Lise, Yılı : Nazilli Özel Fatih Sultan Lisesi, 2000
Bitirdiği Üniversite, Yılı : Pamukkale Üniversitesi Makine
Mühendisliği Bölümü, 2005