

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

RAFİNERİ KAYNAKLI EMİSYONLARIN VE GİDERİLME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Hasan GÜVEN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şeref SOYLU

Haziran 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**RAFİNERİ KAYNAKLI EMİSYONLARIN VE
GİDERİLME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Hasan GÜVEN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

**Bu tez 25/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul
dılmıştır.**


Doç. Dr. Şeref SOYLU
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Recep İLERİ
Üye


Doç. Dr. Aykan KARADEMİR
Üye

TEŞEKKÜR

Öncelikle “Rafineri Kaynaklı Emisyonların Giderilme Yöntemlerinin İncelenmesi” konulu yüksek lisans tezime ilgili yaptığım çalışmalarda yönlendirmeleri ve yardımlarından dolayı Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Şeref SOYLU’ ya, kaynak temininde yardımcı olan Kocaeli il Çevre ve Orman Müdürlüğünden mesai arkadaşım Çevre Mühendisi Sezen UYAR’a, hiçbir fedakarlıktan kaçınmadan her zaman bana destek olan değerli eşime son olarakta sevgiye ve oynamaya muhtaç olduğu bir zamanda bu çalışmamda sabır gösteren biricik oğlum Muhammed Bilal’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1.Petrolün Tarihçesi.....	3
1.2.Dünyada Petrol Üretimi.....	6
1.3. Türkiye’de Petrol Üretimi.....	8

BÖLÜM 2.

RAFİNERİ PROSESLERİ	13
2.1. Rafineri Ürünleri.....	13
2.1.1. Yakıtlar.....	13
2.1.1.1. Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG).....	14
2.1.1.2. Benzin.....	14
2.1.1.3. Jet yakıtları.....	14
2.1.1.4. Gazyağı	14
2.1.1.5. Dizel yakıtları ve fuel oiller	15
2.1.1.6. Rafineri Gazları.....	15
2.1.2. Yakıt olmayan ürünler.....	15
2.1.2.1. Yağlama yağları.....	15
2.1.2.2. Petrol koku.....	15

2.1.2.3. Bitüm (asfalt, yol yağı).....	16
2.1.2.4. Parafin vakslar.....	16
2.1.2.5. Solventler	16
2.1.3. Petrokimyasal hammaddeler.....	16
2.2. Rafineri Prosesleri	16
2.2.1. Damıtma	19
2.1.1.1. Atmosferik damıtma.....	19
2.1.1.2. Vakum damıtma	20
2.2.2. Parçalama prosesleri.....	20
2.2.2.1. Isıl Parçalama.....	21
2.2.2.2. Katalitik parçalama	21
2.2.2.3. Hidrokraking.....	22
2.2.3. Reforming ve diğler yükseltici süreçler.....	23
2.2.3.1. Reforming.....	23
2.2.3.2. Polimerleştirme.....	23
2.2.3.3. Alkilleme.....	24
2.2.3.4. İzomerleştirme.....	25
2.2.4. Yardımcı süreçler ve bitirme işlemleri.....	25

BÖLÜM 3.

RAFİNERİ EMİSYONLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	27
3.1. Hava Kirliliği İle İlgili Genel Bilgiler.....	27
3.2. Rafineri Emisyonları Hakkında Genel Bilgiler.....	28
3.2.1. Partiküler madde (Toz).....	29
3.2.2. Karbon monoksit (CO).....	30
3.2.3. Kükürt dioksit (SO ₂).....	31
3.2.4. Azot dioksit (NO ₂).....	31
3.2.5. Hidrokarbonlar.....	32
3.2.6. Uçucu Organik Bileşikler (VOC).....	33
3.2.7. Karbondioksit (CO ₂).....	33
3.2.8. Ağır Metaller	35
3.3. Emisyonların Proses Kaynakları.....	36
3.3.1. Atmosferik distilasyon ünitesi.....	38

3.3.2. Vakum distilasyon ünitesi.....	39
3.3.3. Parçalama prosesleri.....	40
3.3.4. Hidrotreating.....	40
3.3.5. Katalitik hidrokraking.....	41
3.3.6. Katalitik Kraking.....	42
3.3.7. Solvent Deasfaltering.....	43
3.3.8. Koklaştırma.....	44
3.3.9. Vibreaking.....	44
3.3.10. Solvent ekstraksiyon.....	45
3.3.11. Solvent devaksing.....	46
3.3.12. Katalitik izomerizasyon.....	46
3.3.13. Polimerizasyon.....	47
3.3.14. Alkilasyon.....	48
3.3.15. Katalitik reforming.....	48
3.3.15. Claus kükürt ünitesi.....	49
3.2.16. İnsineratör bacası.....	49
3.4. Küresel Ölçekteki Sorun Olarak Karbondioksit ve Emisyon Envanteri	51

BÖLÜM 4.

RAFİNERİ KAYNAKLI EMİSYONLARIN GİDERİM YÖNTEMLERİ.....	58
4.1. Partiküler Madde (Toz) Giderimi.....	58
4.1.1. Siklonlar.....	58
4.1.2. Elektrostatik filtreler.....	59
4.1.3. Torba filtreler.....	60
4.1.4. Islak çöktürücüler.....	63
4.2. SO _x Kontrol Sistemleri.....	64
4.2.1. Islak sistemler.....	65
4.2.1.1. Kireç/Kireçtaşı kullanan prosesler.....	65
4.2.2. Püskürtmeli kuru sistemler.....	67
4.2.3. Sorbent enjeksiyonu.....	68
4.2.3.1. Kazana sorbent enjeksiyonu.....	68
4.2.3.2. Kanala sorbent enjeksiyonu (Kuru BGD).....	70
4.2.4. Rejenere edilebilir prosesler.....	71

4.3. NOx Kontrol Sistemleri.....	72
4.3.1.Hava kademeleme.....	72
4.3.2. Baca gazı sirkülasyonu.....	73
4.3.3.Yakıt kademeleme	74
4.3.4. Düşük NOx oluşturan yakıcılar.....	76
4.3.5. Seçici katalitik indirgeme.....	76
4.3.6. Seçici katalitik olmayan indirgeme.....	77
4.4. SO ₂ ve NOx in Birlikte Kontrolü için Kullanılan Sistemler.....	78
4.4.1.Aktif karbon prosesi.....	78
4.4.2. DeSONOx prosesi.....	79
4.4.3. Elektronla ışıma prosesi.....	80
4.5.Uçucu Organik Bileşikler.....	80
4.6.Ağır Metaller.....	81

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	83
5.1. Partikül Madde (Toz) İndirgeme Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	83
5.2. SOx İndirgeme Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	86
5.3. NOx İndirgeme Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	89
5.4. SO ₂ ve NOx in Birlikte İndirgeme Karşılaştırılması.....	91
5.5. Ağır Metallerin İndirgeme Sistemleri.....	91
5.6. Uçucu Organik Bileşiklerin İndirgeme Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	92

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR.....	94
KAYNAKLAR.....	97
EKLER.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	105

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASS	: Amerikan Bilim Gelişimi Kuruluşu
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
API	: Amerikan Petrol Enstitüsü
BGD	: Baca Gazı Desülfürizasyon
C	: Karbon
CaO	: Kalsiyum oksit
CaCO ₃	: Kalsiyum sülfid
CaSO ₄	: Kalsiyum sülfat
CH ₄	: Metan
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DAY	: Dolaşımli akışkan yatak
DeSO _x	: Yanma odasında ve /veya bacagazında SO _x giderimi
DeNO _x	: Yanma odasında ve /veya bacagazında NO _x giderimi
FCC	: Fluid katalitik karaking
H	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
IEA	: Uuslararası Enerji Ajansı
KV	: Kilo Vat
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazları
MEA	: Monoetanolamin
Mg	: Miligram
M.Ö.	: Milattan Önce
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
N	: Azot

NO ₂	: Azot dioksit
NO _x	: Azot Oksit
NH ₃	: Amonyak
O	: Oksijen
OECD	: Ekonomi İşbirliği ve Organizasyonu
OFA	: Over Fire Air
OH	: Hidroksit
OPEC	: Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü
PAH	: Polisilik aromatik hidrokarbonlar
PCDD	: Poliklorodibenzo-dioksinler
PCDF	: Poliklorodibenzo-furanlar
PM	: Partiküler madde
S	: Kükürt
SCR	: Seçici katalitik indirgeme
SNCR	: Seçici katalitik olmayan indirgeme
SO ₂	: Kükürt dioksit
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Rafineri prosesleri akım şeması	18
Şekil 2.2.	Atmosferik distilasyon prosesi akım şeması.....	19
Şekil 2.3.	Vakum distilasyonu akım şeması.....	20
Şekil 2.4.	Vibreaking prosesi.....	21
Şekil 2.5.	Fluid katalitik kraking proses akım şeması.....	22
Şekil 2.6.	İki kademeli hidrokraking prosesi.....	22
Şekil 2.7.	Platforming prosesi.....	23
Şekil 2.8.	Polimerizasyon prosesi.....	23
Şekil 2.9.	Sülfürik asit alkilasyonu.....	24
Şekil 2.10.	Hidrojen florür alkilasyonu.....	24
Şekil 2.11.	İzomerizasyon prosesi.....	25
Şekil 3.1.	Rafineri proses akım şeması	37
Şekil 4.1.	Torba filtre üniteleri.....	61
Şekil 4.2.	Venturi sistemi akış şeması	63
Şekil 4.3.	Kireç/kireçtaşı kullanan BGD prosesinin akım şeması.....	66
Şekil 4.4.	Püskürtmeli kuru çöktürücü sistemi akım şeması.....	68
Şekil 4.5.	Kazana sorbent enjeksiyonu.....	69
Şekil 4.6.	Kanala sorbent enjeksiyonu.....	70
Şekil 4.7.	Bir seçici katalitik indirgeme prosesindeki OFA sistemi.....	73
Şekil 4.8.	Baca gazı sirkülasyonu.....	74
Şekil 4.9.	Yakıt kademeleme prosesindeki üç ayrı yakma bölgesi.....	75
Şekil 4.10.	Seçici katalitik olmayan indirgeme prosesi.....	77
Şekil 4.11.	Aktif karbon prosesi.....	79
Şekil 4.12.	DeSONOx prosesi.....	79
Şekil 4.13.	Elektronla ışıma prosesi akım şeması.....	80

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Dünya toplam ham petrol üretimi (milyon ton).....	7
Tablo 1.2.	Dünya toplam ham petrol tüketimi (milyon ton).....	7
Tablo 1.3.	Türkiye ham petrol rezervleri (2002 yılı-bin ton).....	10
Tablo 1.4.	Türkiye’de petrol üretim ve tüketimi (bin ton).....	12
Tablo 2.1.	Rafineri prosesleri tarihi	26
Tablo 3.1.	Rafineri emisyon kaynakları.....	29
Tablo 3.2.	Atmosferik damıtma prosesi ve emisyon göstergeleri.....	38
Tablo 3.3.	Vakum damıtma prosesi ve emisyon göstergeleri.....	39
Tablo 3.4.	Hidrodesülfürizasyon prosesi ve emisyon göstergeleri.....	41
Tablo 3.5.	Katalitik hidrokraking prosesi ve emisyon göstergeleri.....	42
Tablo 3.6	Katalitik kraking prosesi ve emisyon göstergeleri.....	43
Tablo 3.7.	Solvent deasfaltering prosesi ve emisyon göstergeleri.....	43
Tablo.3.8.	Koklaşırma prosesi ve emisyon göstergeleri.....	44
Tablo.3.9.	Vibreaking prosesi ve emisyon göstergeleri.....	45
Tablo.3.10	Solvent ekstraksiyon prosesi ve emisyon göstergeleri.....	45
Tablo 3.11	Solvent devaksing prosesi ve emisyon göstergeleri.....	46
Tablo.3.12	Katalitik İzomerizasyon Prosesi ve Emisyon Göstergeleri.....	47
Tablo 3.13	Polimerizasyon prosesi ve emisyon göstergeleri.....	47
Tablo 3.14	Alkilasyon prosesi ve emisyon göstergeleri.....	48
Tablo.3.15	Katalitik reforming prosesi ve emisyon göstergeleri.....	49
Tablo 3.16	Rafineri emisyon kaynakları.....	51
Tablo 3.17	Toplam seragazı emisyonları (milyon ton CO ₂ eşdeğeri).....	52
Tablo 3.18	Sektörlere göre toplam seragazı emisyonları	53
Tablo 3.19	Doğrudan seragazı emisyonlarının sektörel dağılımı.....	53
Tablo 3.20	CO ₂ kaynaklarının sayısı ve emisyon miktarları.....	54
Tablo 5.1.	Partikül kontrol teknolojilerinin özellikleri.....	85
Tablo 5.2.	SO _x Kontrol sistemlerinin karşılaştırılması.....	88

Tablo 5.3. NO _x emisyonlarını azaltmak için uygulanan birincil tedbirlerin genel özellikleri.....	90
Tablo 5.4. NO _x emisyonlarını azaltmak için uygulanan ikincil tedbirlerin genel performansı.....	91

ÖZET

Anahtar kelimeler: Rafineri Kaynaklı Emisyonlar, Rafineri Prosesi, Emisyon Giderimi,

Günümüzde enerji kaynağı talebi hızla artmaktadır. Kara, deniz ve hava ulaşımından başlayarak hayatın hemen hemen her alanında kullandığımız eşyalara kadar birçok ürünün hammaddesini petrol oluşturmaktadır. Petrolün avantajlarının yanında yer altından kullanıma gelme aşamasındaki süreçte rafineri proseslerinde işlenmesi sırasında dezavantaj olarak emisyonlar meydana gelmektedir. Bu çalışmada petrol rafineri tesislerinde proseslerin detaylı bir şekilde incelenmesi yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda prosesten buharlaşma ve kaçaklardan kaynaklanan hidrokarbonlar, yanma olayları sonucu oluşan CO₂, SO_x, CO, Toz, VOC, H₂S ve NO_x gibi emisyonları irdelenmesi yapılmıştır. Bu irdeleme sonucunda emisyon azaltma yöntemlerinin tespiti ve emisyon giderme yöntemleri arasında en yüksek verimin alınacağı en iyi alternatif emisyon giderme yöntemlerinin hangileri olacağına karar vermektedir.

EXAMINATION OF OIL RAFINERY SOURCED EMISSIONS AND THE REMOVAL METHODS

SUMMARY

Key Words: Refinery emissions, refinery process, emission removal,

Nowadays, demand for energy resources is increasing rapidly. Petroleum is the raw material of many products that is used in many places from land, sea and air transportation starting to the objects almost used in every places of our life. Besides the advantages of petroleum, emissions spread out from during refining process which stage of under the next stage in the process come to use as the disadvantage. In this study, processes in oil refinery plant were examined in detail. As a result of this review, emission were to be examined due to evaporation and leakage of hydrocarbon and CO₂, SO_x, CO, dust, VOC, H₂S ve NO_x that are occurred after combustion. In this study, removal methods of the emissions will be examined and the best alternative methods for emission removal that have the highest efficiency among the emission removal methods will be decided.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bir enerji kaynağı olan petrolü insanlığın kullanılması yazılı tarih kadar eski olduğu bilinmektedir. Otomobilleri, kamyonları, gemileri, trenleri ve uçakları çalıştıran evimiz ve aşımız için bir ısıdır. Buhar ve elektrik üretebilen bir güç kaynağıdır. Endüstrinin çarklarını sağlayan yine petrol ve grestir. Oto lastiği, balık ağı, ip, mucize kumaşlar, halılar, deterjanlar, yapıştırıcılar, boyalar ve plastiklerden oluşan yüzlerce ürünün temel yapım maddesi olan ve petrokimya maddeleri de denilen kimyasal maddeler de petrolden yapılır. Sokaklarımızı asfaltlamak, çiftliklerimizi gübrelemek için yine petrolü kullanırız [1].

Hemen hemen hayatımızın vazgeçilmesi olan petrol milyonlarca yıl önce, bugün bildiğimiz kara parçalarının çoğu denizlerle kaplıydı. Bu sularda sayısız bitki ve hayvan yaşıyordu. Bunlar ölünce kalıntıları dibe çöküp çürümüştü. Denizlere, ırmaklara çamur ve kum taşınyordu. Taşınan bu çamurlar ve kumlar, bitki ve hayvan kalıntılarının üstünü tabaka tabaka örttü, eski tabakalar daha derinlere gömüldükçe üstlerindeki ağırlığın giderek çoğalmasıyla oluşan basınç, ısı meydana getirdi ve yavaş yavaş, milyonlarca yıl sonra ölü bitkiler ve hayvanlar petrol, hampetrol ve doğal gaz haline geldi [1].

Petrol sözcüğü Latince “Petro” (Tas) ve “Oleum” (Yağ) birleşmesiyle oluşmuştur. Taşyağı anlamına gelir. Petrol, başlıca hidrojen ve karbondan oluşan ve içerisinde az miktarda nitrojen, oksijen ve kükürt bulunan çok karmaşık bir bileşimdir ve yalın bir formülü yoktur. Normal şartlarda gaz, sıvı ve kati halde bulunabilir. Rafine edilmiş petrolden ayırt etmek için ham petrol diye isimlendirilen sıvı petrol, ticari açıdan en önemli olanıdır. Gaz halindeki petrol, imal edilmiş gazdan ayırt etmek için genelde doğal gaz olarak adlandırılır. Yarı katı ve katı haldeki petrol ise ağır hidrokarbon ve katrandan oluşur. Bu türden petrole, özelliklerine ve yöresel kullanımına bağlı olarak asfalt, zift, katran ve diğer isimler verilir. Ham petrol ve doğal gazın ana

bileşenleri hidrojen ve karbon olduğu için ‐Hidrokarbon‐ olarak da isimlendirilirler.

Ham petrol başlıca sıvı hidrokarbonlarla, değişen oranlarda çözünmüş gazlardan, katranlardan ve katkı maddelerinden oluşur. Ham petrolün fiziksel özellikleri geniş sınırlar arasında değişir. Çoğunlukla hafif (yüksek graviteli) petroler açık kahverengi, sarı veya yeşil renkli, ağır (düşük graviteli) petroler ise koyu kahverengi veya siyah renklidirler. Yüksek graviteli petrolün rafinajından çoğunlukla benzin, gazyağı ve motorin gibi hafif ve beyaz ürünler, düşük graviteli petrolün rafinajından ise daha ziyade fuel oil ve asfalt gibi ağır ve siyah ürünler elde edilir.

Doğal gaz hafif hidrokarbonların bir karışımı olup, ana bileşeni metandır. Dünya gaz rezervlerinin yaklaşık 2/3 ü ham petrolden ayrı olarak bulunur. Kalan kısmı ise ham petrolle birlikte veya ham petrol içinde çözünmüş halde bulunur. Doğal gazın bileşenleri dünyada çok değişken olmakla birlikte, değişen oranlarda başlıca metan ve etan ile birlikte doğal gaz sıvıları olarak bilinen propan, bütan ve diğer daha ağır hidrokarbonlardır. Doğal gaz sıklıkla ısıl değerini ve buna bağlı olarak ticari değerini olumsuz etkileyen kükürt ve karbondioksit gibi diğer maddelerle birlikte bulunabilir. Doğal gazın rezervuar şartlarında gaz halinde olan hafif bir ham petrol ile birlikte bulunması ticari değerini artırır [2].

Petrol hidrokarbon bir karışımdır. Bileşiminde % 82-87 arası Carbon (C), % 12-18 arası Hidrojen (H), % 0,1-7,4 arası Oksijen (O), % 0,1-2,4 arası Azot (N), % 0,1-5,5 arası Kükürt (S) ve % 0,1- 1,2 çeşitli mineraller içermektedir.

Dünyada üretilen petrolün sınıflandırılmasında dikkate alınan en önemli faktörler petrolün özgül ağırlığı (spesifik gravite), akmaazlığı (viskozite) ve içediği kükürt miktarı gibi özellikleridir. Amerikan Petrol Enstitüsü (API) tarafından çıkarılan ve özgül ağırlığa bağlı API gravite tanımı, bütün dünyada petrolün sınıflandırılması için genel kabul görmüştür. Gravite, uluslar arası bir birim olup genelde 10 ile 48 arasında değişmektedir. Gravite petrolün yoğunluğu anlamına gelmez. Yoğunlukla ters orantılı olup formülü aşığıdaki gibidir: Petrolün graviteye göre sınıflandırılması aşığıdaki gibidir.

Hafif >31

Orta 20-31

Ağır 10-20

Tabii Bitümen <10

Kolay üretilebilir olması, taşınabilmesi ve işlenebilmesi sebebi ile günümüzde dünya petrol talebinin % 90'ı hafif ve orta petrol ile karşılanmaktadır. Dünya petrol kaynaklarının ancak %25'ini hafif ve orta petrol teşkil etmektedir. Dünyada ağır petrol rezervleri fazla miktarda Brezilya, Kanada, Amerika, Rusya ve Venezüella'da bulunmaktadır. Ancak, ağır petrolün taşınması ve mevcut rafinerilerde ham madde olarak kullanılması için iyileştirilmesi gerekmektedir. Ağır petrol kaynaklarının ortaya çıkarılması, iyileştirilmesi ve sahaların geliştirilmesi ek maliyet getirmektedir.

Ham petrolün üretilmesinde ve işlenmesinde önemli bir diğer faktör de akmaya karşı direnç olarak tanımlanan viskozitedir. Düşük viskoziteli petrolerin üretimi, taşınması, işlenmesi daha kolay ve ekonomik olduğundan dünya ticaretinde bu tür petroler tercih edilmektedir.

Petrol, içerdiği kükürt miktarı açısından da sınıflandırılır. Bu konuda belirlenmiş kesin sınırlar yoktur. Bununla birlikte, genelde kükürt yüzdesinin % 0,5'in altında olması durumunda, petrol kükürtsüz kabul edilir. Doğal gazda ise ürün standardı, gazın ısı değerine bağlı olarak belirlenmektedir [2].

Dünyada enerji talebinin hızla arttığı bir zamanda Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) nın 2030 yılı hesaplamalarına göre % 37 petrol, doğalgaz % 28, kömür % 24, nükleer enerji % 5, hidro enerji % 2 ve diğer yenilebilir enerjilerin ise % 4 civarında olacağı belirtilmektedir. Fosil yakıtlar talebin % 87 sini oluşturacağı ve 2010 yılında günlük 89 milyon varil olan talebin 2030 da 120 milyon varile çıkacağı öngörülmektedir [3].

1.1.Petrolün Tarihçesi

Eski kültürler petrolün yapıştırma ve su geçirmez özelliklerini keşfetmişler ve bundan yararlanmışlardır. Beş bin yıl önce Sümerler, duvar ve döşemelerde

kullandıkları mozaiklerin içine asfaltla kakmalar yapmışlardır. Mısırlılar; cenk ve yarış arabalarını ziftle yağlamışlar ve mumyaları asfaltla tahinleşmişler ve piramitlerin yapımında zift kullanmışlardır. Roman hatip Cicero bir ham petrol lambası yapmıştır. Güney Amerika yerlileri vücutlarını boyamada ve seremonilerinde yaktıkları ateşlerde petrol kullanmışlardır [3].

Petrolle ilk tanışma, M.Ö. 3000 yıllarında Mezopotamya'da gözlenen yarı katı ve çamurlu bir maddenin çatlaklar arasından sızması ile olmuştur. Sızıntı kaynaklarının en ünlüsü Babil Şehri civarındaki Hit Bölgesi, şimdiki adıyla Bağdat'tır. M.Ö. 3200 yıllarında Mezopotamya'da ve Babil kulesinde; asfalt ve harç olarak, M.Ö. 1700'de Çin'de ısıtma aracı, 1815'de Çekoslovakya-Prag'da cadde aydınlatması ve 1857'de ise Romanya- Petrol üreten tek ülkedir [1].

1859'da Edwin Drake, ABD'nin Pennsylvania eyaletinde ilk petrol üreten kuyuyu kurdu. 1870'de John. D. Rockefeller petrol arıtımı işine girdi. Kerosen ve daha saf ürünler üretecek Standard Oil'i kurdu. 1873'de Nobel ailesi (Dinamiti bulan ve Nobel Ödülü'nü kuran Alfred dışında) Rusya'da (Bugünkü Azerbaycan) Bakü bölgesinde petrol aramaya başladı. 1882'de Thomas edison elektrik ampülünü buldu, petrol piyasasının geleceği tehlikeye girdi. 1885'de Rotschild'ler Rusya'da petrol çıkarttı. Royal Dutch da Endonezya'nın Sumatra adasında petrol üretti. 1892'de Marcus Samuel, Shell şirketini kurdu, Süveyş Kanalı'ndan petrol taşıdı. 1896'de Daimler Benz Otomobili buldu. Petrole olan ihtiyaç yeniden hayata döndü. 1901'de İran'da petrol bulundu.

ABD'nin Teksas bölgesinde Sun, Texaco ve Gulf şirketleri sayesinde petrol üretimi patlaması oldu. 1903'de Unocal sayesinde Kaliforniya'da petrol üretimi patlaması. 1907'de Shell ile Royal Dutch birleşti. 1908'de British Petroleum'un işlettiği İran yataklarında üretim patlaması oldu. 1910'de Meksika'da petrol üretimi patlaması. 1911'de Rockefeller'in Standard Oil karteli tekel oluşturduğu gerekçesiyle Exxon, Mobil, Amoco, Sohio, Chevron gibi küçük şirketlere bölündü. 1922'de Venezüela'da petrol üretimi patlaması. 1927'de Irak'ta petrol üretimi patlaması. 1933'de Standard Oil of California (bugünün Chevron'u) Suudi Arabistan'da petrol arama faaliyetlerine hız verdi. 1938'de Kuveyt ve Suudi Arabistan'da petrol üretimi

patlaması. 1956'de Cezayir ve Nijerya'da petrol üretimi patlaması. 1959'de Libya'da petrol üretimi patlaması. 1960'de OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries-Petrol ihraç Eden Ülkeler Örgütü) kuruldu. 1968'de Alaska'da petrol bulundu (Prudhoe Körfezi) ancak 1977'ye kadar çıkarılmadı. 1969'da Kuzey Denizi'nde petrol bulundu, ancak 1975'ten sonra çıkarılmaya başlandı. 1973'de ABD'nin Yom Kippur savaşında İsrail'i desteklemesine misilleme olarak Arap ülkeleri petrol ambargosu uyguladı. 1979'da ikinci "enerji krizi." İran Devrimi, Basra Körfezi'nden petrol sevkiyatını büyük ölçüde engelledi. 1980'de OPEC sıkıntıda. İran- Irak savaşı başladı. 1982'de OPEC üretim kotaları uygulamasını başlattı. Ancak, üretici ülkeler çoğu zaman uymakta zorluk çekti. 1990'da Üçüncü enerji krizi. Irak, Kuveyt'i işgal etti. Basra Körfezi'nden yine sevkiyat aksadı. 1998'de Bakü bölgesi ve genel olarak Hazar Denizi, yeniden petrol şirketlerinin ilgi odağı oldu. 21. Yüzyıl'ın Basra Körfezi olarak nitelendirildi. Ancak, petrolün dünya pazarlarına ulaştırılma yolu tartışma konusu olmayı sürdürüyor. 1999'da Petrol yeniden pahalandı ancak 1970'lerdeki enerji krizi kadar değil.

Türkiye'de 1890'de ilk sondaj faaliyeti, İskenderun'un Çengen yöresinde gerçekleştirildi. 1926'da 792 sayılı ilk Petrol Kanunu yürürlüğe girdi. 1940'de Batman'da açılan Raman-1 kuyusunda Türkiye Cumhuriyeti'nin ilk petrol keşfi yapıldı. 1945'de Batman Rafinerisi faaliyete geçti. Amerikalı hukukçu ve jeolog Max Ball tarafından kaleme alınan 6326 sayılı Petrol Kanunu yürürlüğe girdi. Kanun, petrol arama –üretiminde yerli ve yabancı tüm yatırımcıları teşvik ediyordu. Hemen ardından çıkarılan 6327 sayılı kanunla da TPAO (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı) kuruldu. 1954 – 73'de Yeni Petrol Kanunu, uluslar arası alanda Türkiye'ye ilgiyi artırdı. Yerli ve yabancı şirketlerin yatırım dalgası sayesinde petrol üretimi günde 70.000 varili aştı. 1974–83'de 1702 sayılı Petrol Reformu Kanunu'nda getirilen kısıtlamalar yüzünden birçok şirket yatırımlarını başka ülkelere kaydırды. 1984–91'de Liberal düzenlemeler sayesinde yatırımlar yeniden hız kazandı; petrol üretimi kısa sürede 2,5 katına çıkarak zirve noktası olan yılda 4,4 milyon tona ulaştı.

1.2. Dünyada Petrol Üretimi

IEA'nın Dünya Enerji Bakışı 2001'de hazırladığı 2000-2020 dönemini kapsayan enerji projeksiyonuna göre; dünyada enerji kullanımının değiştirilemez biçimde artacağı, fosil yakıtların enerji kaynakları arasında baskın bir konumda olmaya devam edeceği öngörülmektedir. Dünyanın enerji kaynakları gelecek 20 yıllık dönemde artan talebi karşılamaya yeterli olduğu ifade edilmektedir.

Günümüzdeki rezerv, üretim ve tüketim miktarları dikkate alındığında, petrolün 40, doğalgazın 62, kömürün ise 204 sene daha kullanımının mümkün olduğu tahmin edilmektedir.

2000 yılında küresel enerji tüketiminin % 89'unu sağlayan fosil yakıtların payı artarak 2010'da % 91, 2020 yılında ise % 92'ye yükseleceği düşünülmektedir. Bu durum gelecek 20 yıl içerisinde, dünya ülkelerinin petrol, kömür ve doğalgazdan oluşan fosil yakıt tüketmeye devam edeceklerini göstermektedir.

Dünya petrol rezervi 2003 yılında toplam 156.7 milyar tondur. Coğrafi bölgelere göre bu rezervin, % 63.3'üne Orta Doğu, % 14.4'üne Amerika, % 9.2'sine Avrupa-Avrasya, % 8.9'una Afrika, kalan % 4.7'sine ise, Asya-Pasifik bölgesi sahiptir.

Dünyadaki ham petrol üretiminin bölgeler bazındaki 1997-2003 yılları arasındaki gelişimi Tablo 1.1'de yer almaktadır. Dünya toplam petrol üretimi rezervlerdeki gelişmelere bağlı olarak artış göstermiş ve 2003 yılında toplam üretim 3697.0 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

Bu dönemde en fazla üretim, Orta Doğu (% 29.6) bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölgeyi, Avrupa-Avrasya (% 22.1), Kuzey Amerika (% 18.2), Asya-Pasifik (% 10.2) ve Afrika (% 10.8) bölgeleri izlemektedir.

Tablo 1.1. Dünya toplam ham petrol üretimi (milyon ton)

Bölgenin Adı	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Kuzey Amerika	670.4	666.7	638.8	650.8	653.3	659.2	671.8
Güney-Orta Amerika	329.1	351.5	344.6	349.8	344.1	350.2	339.5
Avrupa-Avrasya	689.0	686.0	699.2	724.4	746.6	785.5	818.0
Orta Doğu	1044.5	1102.3	1059.2	1125.8	1090.0	1010.1	1093.7
Afrika	369.8	363.6	359.8	371.2	373.2	377.3	398.3
Asya-Pasifik	370.1	370.0	366.4	382.6	378.6	379.5	375.8
Toplam Dünya	3472.9	3540.0	3468.0	3604.4	3585.7	3561,7	3697.0

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2004, s. 7.

Petrolün tüketimi; ülkelerin nüfus ve toprak genişliğinden çok, ekonomileri ile yakından ilgilidir. Bu nedenle, dünya petrol tüketiminde OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development- Ekonomi işbirliği ve organizasyonu) grubu ülkelerin ve bunun içinde de, G-7 olarak bilinen sanayileşmiş yedi ülke (ABD, Kanada, Fransa, İtalya İngiltere, Almanya, Japonya) ve Rusya Federasyonunun önemli payı mevcuttur. Aşağıdaki Tablo 1.2’de bölgeler bazında, dünya ham petrol tüketimlerinin 1997-2003 yılları arasındaki gelişimi yer almaktadır.

Tablo 1.2. Dünya toplam ham petrol tüketimi (milyon ton)

Bölgenin Adı	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Kuzey Amerika	1012.3	1033.4	1058.5	1071.4	1071.5	1071.0	1093.2
Güney-Orta Amerika	212.7	219.6	219.0	218.2	221.5	219.2	216.6
Avrupa-Avrasya	936.2	942.7	937.4	929.4	934.9	933.1	942.3
Orta Doğu	201.3	202.1	206.8	208.1	209.7	213.1	214.9
Afrika	108.9	112.4	115.1	115.7	116.3	117.9	120.5
Asya-Pasifik	926.6	906.6	948.3	983.3	984.3	1008.3	1049.1
Toplam Dünya	3398.0	3416.9	3485.1	3526.1	3538.2	3562.6	3636.6

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2004, s. 10.

Petrol tüketimi açısından, 2003 yılı rakamlarına göre ABD 914.3 milyon ton ve % 25.1 pay ile birinci sırada yer almaktadır. Bu ülkeyi sırasıyla 275.2 milyon ton ve % 7.6 payla Çin, 248.7 milyon ton ve % 6.8 payla Japonya, 125.1 milyon ton ve % 3.4 payla Almanya, 124.7 milyon ton % 3.4 payla Rusya Federasyonu ve 105.7 milyon ton % 2.9 payla Güney Kore izlemektedir.

Enerji talebinin hızla arttığı dünyada petrol üretimi son yıllarda önemli değişiklikler göstermektedir. Ek A'de yıllara göre ham petrol üretimi ve Ek B'de ise dünya doğal gaz üretimi belirtilmektedir.

1.3. Türkiye'de Petrol Üretimi

Türkiye'de kamu adına hidrokarbon arama, sondaj, üretim, rafineri ve pazarlama faaliyetlerini 1954 yılında kurulan Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) yürütmektedir. TPAO tarafından 1954-2004 yılları arasında yapılan çalışmalar sonucunda Türkiye toplam ham petrol üretiminin %55'ini, doğal gaz üretiminin ise % 93'ünü gerçekleştirmiştir.

Türkiye enerji hammaddesi açısından zengin bir ülke olmasına karşın, günümüze kadar yapılan araştırmalar petrol açısından yeterli rezerv kaynağına sahip olmadığını ortaya çıkarmıştır. Anadolu'nun tektonik evrimine bağlı olarak çok kıvrımlı ve kırıklı, engebeli, karmaşık bir jeolojik yapıya sahip olması, Türkiye'deki petrol arama çalışmalarını oldukça zorlaştırmakta ve arama yatırımları maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Türkiye'de petrol arama amacıyla açılan ilk derin kuyu 20 Mayıs 1933'de, 2189 sayılı yasa ile kurulan "Petrol Arama ve İşletme İdaresi" tarafından delinen ve 1351 metre derinlikte kuru olarak bitirilen Baspirin-1 arama kuyusudur. İlk ticari petrol keşfi 20 Nisan 1940'da Raman sahasındaki Raman-1 kuyusunda 1048 metre'de yapılmıştır.

Türkiye'de petrol arama çalışmaları 1942-1958 yılları arasında MTA (Maden Tetkik ve Arama) ve TPAO'nun kurulmasıyla birlikte giderek hızlanmış ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Raman ve Garzan sahaları keşfedilmiştir. Bu keşiflerden sonra 7 Mart 1954 tarihinde, 6326 sayılı Petrol Yasası çıkarılarak yerli ve yabancı firmaları da petrol arama ve üretim çalışmalarına olanak sağlanmıştır [4].

Petrol Yasasının yürürlüğe girmesiyle, Türkiye'de petrol aramaları 18 bölgeye ayrılmıştır. Arama faaliyetleri başlangıçta X. Bölge Siirt, XI. Bölge Diyarbakır, XII.

Bölge Gaziantep üzerinde yoğunlaştırılmış daha sonra I. Bölge Marmara, XIII. Bölge Hatay, XIV. Bölge Konya, XVI. Bölge Antalya yörelerinde sürdürülmüştür. II. Bölge Bolu, III. Bölge Ankara ve XVII. Bölge İzmir'de de sınırlı aramalar gerçekleştirilmiştir. Ancak yukarıda sayılan bu on sekiz bölgenin yeterince detaylı arandığını belirtmek mümkün değildir. Öncelikle Güneydoğu Anadolu, Batı Toroslar, Batı Karadeniz, İç Anadolu ve denizlerde yapılacak yeni aramalarla bilinen petrol rezervlerinin artması olasıdır [5].

Türkiye'de aramacılık çalışmalarının % 70'den fazlasını TPAO yürütmektedir. TPAO yurtiçinde deniz alanları ve karadaki petrol ve doğalgaz aramalarını yabancı ortaklarla birlikte gerçekleştirmektedir.

Türkiye'de petrol aramacılığının yapılmaya başladığından günümüze kadar geçen sürede 1118 arama kuyusu, 467 tespit kuyusu, 1284 üretim kuyusu, 30 enjeksiyon kuyusu ve 81 jeolojik inkişaf kuyusu olmak üzere 2980 kuyu açılmıştır.

Türkiye'de petrol giderek daha derin kuyularda bulunabilmektedir. Geçmişte MTA tarafından bulgularanan Raman ve Garzan'da ortalama derinlik 1450 metre'yi geçmezken, TPAO'nun bulguladığı alanlarda 1000-3250 metre arasında N.V.Turkse Shell tarafından bulunan sahalar da 1439-2531 metre, diğer firmalarca saptanan alanlarda 1040-3030 metre arasında değişmektedir.

Tablo 1.3'den izlenebileceği gibi teorik hesaplamalara göre, rezervardaki petrol rezervi 954 milyon ton olup, bunun 156 milyon tonu üretilebilir durumdadır. 2002 yılı sonuna kadar 117 milyon ton petrol üretilmiş olup, geri kalan üretilebilir 39 milyon ton ile bugünkü üretim seviyesine göre yaklaşık 16 yıllık rezerv miktarı bulunmaktadır [6].

Son yıllarda Türkiye'de petrol aramaları giderek azaldığından, rezerv rakamları küçülmekte ve yapılan üretime karşılık yeterli yeni rezerv artışı sağlanamamaktadır. Bu olumsuz gelişimi ortaya çıkaran nedenleri arasında; TPAO'ya tanınan aşırı ruhsat hakkı ile olası petrol sahalarının kapatılarak bekletilmesi, TPAO'nun ise, arama

çalışmalarını yurtdışına kaydırması ve yurtiçinde aramaların zayıflatılması, yabancı petrol şirketlerine gerekli kolaylığın sağlanmaması olarak belirlemek mümkündür.

Tablo 1.3. Türkiye ham petrol rezervleri (2002 yılı-bin ton)

Firma Adı	Rezerv* Toplam Petrol	Üretilebilir Toplam Petrol	Kümülatif Petrol Üretimi	Kalan Üretilebilir Petrol
TPAO	682812	88686	62725	25961
N.V. Turkse Perenco	175736	48512	39026	9486
Petrom E.M.I.+Dorchester	73087	12746	10808	1938
Madison Oil Turkey Inc.+TPAO	6967	2411	2084	327
N.V.Turkse Perenco+TPAO	4624	1796	1297	499
Ersan+Alaaddin+Trans Med.	6157	924	755	169
Ersan+Alaaddin M.E.	2420	426	359	67
Alaaddin Madison (Turkey) Inc.	2094	628	210	418
Alaaddin+Transmed	362	74	3	71
Amity Oil+TPAO	81	57	1	56
Toplam	954340	156260	117268	38992

Kaynak: Atlas Macide, Hanife Özkan, Emel Çelebi (2003), DEKTMK Türkiye 9. Enerji Kongresi, Enerji İstatistikleri, İstanbul, s. 59.

*İspatlanmış, Muhtemel ve Mümkün Rezervler Toplamı.

1980'li yılların öncesinde akaryakıt ithalatçısı olan Türkiye, artık ithal ettiği ham petrolü kendi rafinerilerinde işlemektedir. Türkiye'de ham petrol üretiminin yaklaşık % 75'i TPAO tarafından gerçekleştirilmekte ve ikinci sırada Shell gelmektedir.

Üretim yapılan petrol sahalarının ortalama rezerv derinliği 2000-2500 metre dolaylarındadır. Keşfedilen rezervlerin derinlikleri en fazla 3500 metredir. Buna göre, Türkiye'de petrol aramaları çok derin seviyelerde yapılmamaktadır. Ayrıca bu sahalardan üretilen petrolerin API graviteleri incelendiğinde; API gravitesi 30 ve daha yüksek hafif petrolerin üretildiği petrol sahalarının sayısı 53'dür ve bu sahalarda mevcut olan yerinde petrol miktarı da çok azdır. 10-25 API graviteli ağır ve orta petrolerin üretildiği saha sayısı 47'dir ve bu sahalarda mevcut üretilebilir petrol miktarı çok fazladır [7].

Sahalar ekonomik ömürlerini tamamlamaya başladıkları halde, % 70'lere varan miktarlarda petrol rezervlerde üretilemeden kalmaktadır. Bu kalan petrolün ikinci ve üçüncül üretim yöntemleriyle üretilmesi gereklidir.

Toplam enerji tüketiminin önemli bir bölümünü kapsayan petrolün öncelikle, kendi öz kaynaklarımızdan sağlanması petrol arama stratejimizin ana hedefi olmalıdır. Bu hedefe ulaşmak için; petrol arama ve üretim yatırımlarının artırılması, risk paylaşımı, know-how teknolojileri, yabancı sermaye transferi amaçlanmalı daha geniş ve derin alanlarda arama yapılmalı keşfi yapılmamış sahaların yanı sıra etrafımızı çevreleyen denizlerde de arama faaliyetlerinin devam ettirilmesi gereklidir.

Daha önceki yıllara keşfedilmiş petrol sahalarındaki üretimi arttırmak için, yeni üretim kuyularının açılması ve bunların üretim performanslarının artırılması için çalışmalar yapılmalıdır.

Türkiye’de halen üretim yapılan petrol sahalarının % 80’i orta ve ağır petrol içermekte ve bu petrolerin çoğu üretilmeden rezervde kalmaktadır. Üretimi artırıcı yöntemlerin uygulanması ve varili 10-15 dolara mal olabilecek olan bu petrolerin üretimiyle ekonomimize büyük katkı sağlanmış olacaktır [8].

Tablo 1.4’de görüldüğü gibi, Türkiye’de petrol üretimi 1993 döneminde 3.9 milyon ton iken, üretim değerleri 2003 yılına kadar geçen sürede azalma eğilimi göstererek 2.3 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye’de ham petrolün büyük bir bölümü Güneydoğu Anadolu bölgesinde üretilmekte olup, bir miktar üretim de Trakya bölgesinden elde edilmektedir. Halen üretimde kullanılan rezervlerin tükenmesi nedeniyle, yeni rezerv sahalarının bulunmaması durumunda önümüzdeki yıllarda üretimin giderek düşmesi beklenmektedir.

Üretimin yaklaşık % 70 TPAO, geri kalanının büyük bir kısmı N.V.Turkse Perenco, Alaaddin Middle East ve Petroleum Exp. Med Şirketi olmak üzere, diğer Türk ve yabancı firmalar tarafından gerçekleştirilmektedir [12].

Petrol tüketiminde ise, ekonomik gelişmeye bağlı olarak sürekli bir yükselme eğilimi görülmektedir. Türkiye’de yılda yaklaşık 30 milyon ton ham petrol tüketilmekte ve bu rakamın önümüzdeki beş yıl içinde 41 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 1.4. Türkiye’de petrol üretim ve tüketimi (bin ton)

Yıllar	Üretim (Bin Ton)	Tüketim (Bin Ton)
1993	3892	27037
1994	3687	25859
1995	3516	27918
1996	3500	29604
1997	3457	29176
1998	3224	29022
1999	2940	28862
2000	2749	31072
2001	2551	29661
2002	2420	29776
2003	2375	30669

Kaynak: <http://www.enerji.gov.tr/petrolarz talep.htm>, Erişim Tarihi: 15.07.2005

Türkiye’nin petrol tüketimi, % 44 ile toplam enerji tüketiminde en büyük paya sahiptir ve gelecekte de petrol ürünleri tüketiminin, hızlı büyümesini sürdüreceği beklenmektedir. Türkiye’de petrol üretiminin tüketimi karşılama oranı, yıldan yıla düşme sürekli göstererek 1993 yılında % 14.4 seviyesinden 2003 yılında % 7.74’e düşmüştür. Bu durum petrolde dışa olan bağımlılığı ortaya koymaktadır.

Türkiye’de ham petrolün işlenmesi ile petrol ürünleri üretimi ağırlıklı olarak, Tüpraş’ın sahip olduğu rafinerilerde yapılmaktadır. Bunlar, yılda 11.5 milyon ton kapasiteli İzmit, yılda 10 milyon ton kapasiteli İzmir Aliağa, yılda 5 milyon ton kapasiteli Kırıkkale Orta Doğu ve yılda 1.1 milyon ton kapasiteli Batman rafinerileridir. Türkiye’de Petrol Kanunu’na göre yabancı sermaye ile kurulan tek rafineri yılda 4.4 milyon ton kapasite ile çalışan Mersin’deki Ataş rafinerisidir.

Tüpraş’a ait İzmit ve İzmir rafinerilerinin, toplam rafinaj kapasitesinin yaklaşık % 70’ini elinde bulundurduğu görülmektedir. Buna karşın Batman rafinerisi, % 3’lük düşük bir paya sahiptir.

BÖLÜM 2. RAFİNERİ PROSESLERİ

Petrol endüstrisi, ticari ilk sondajın 1859'da açılması ve petrolden gaz yağı elde edilmesi ile başlar. İlk uygulama basit distilasyon işleminden, pek çok sürecin ve işlemin standartlaştırıldığı bu sanayi dalında en son önemli yenilikler 1970'li yıllarda hidrokraking yöntemi ile önemli bir basamak kazanması ve bu günün karmaşık proseslerine kadar uzanmıştır.

İlk rafinasyon, balina yağından daha hafif ve daha ucuz olan gazyağı elde edilmesine yönelik olmuş, iç yanmalı motorların keşfedilmesiyle de benzin ve dizel yakıtı üretimi başlamıştır. Uçak yakıtı ihtiyacı yüksek-oktanlı benzin ve jet yakıtı üretiminin başlamasına yol açmıştır [3].

2.1. Rafineri Ürünleri

Ham petrolün atmosferik distilasyonu ile başlayan ve çok çeşitli proseslerden geçirilen akımlar son olarak harmanlama işlemleriyle özel şartnamelerine uygun ürünlere dönüştürülür. II. Dünya savaşını takiben çeşitli reforming prosesleriyle benzinin kalitesi düzelterek verimi artırıldı ve yüksek kaliteli ürünler elde edildi. Rafineri ürünleri çeşitlidir ve değişik şekillerde gruplandırılabilir; aşağıda yakıtlar, yakıt-olmayanlar ve petrokimyasal hammaddeler olarak üç kısımda gruplandırılmıştır [3].

2.1.1. Yakıtlar

2.1.1.1. Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG)

Rafineri ve doğal gaz prosesleri sırasında asıl propan ve bütandan oluşan parafinik hafif hidrokarbonlar basınç altında kolaylıkla sıvılaştırılarak yakıt amaçlı üretilir ve petrokimyasalların üretiminde bir ara madde olarak kullanılır.

2.1.1.2. Benzin

Benzin motor benzini ve uçak benzini olarak sınıflandırılır. Organik bileşenlerin parçalanması, katalitik veya ısı ile bozunmasıyla elde edilen motor benzini iç yanmalı motorlarda (uçak motorları dışında) kullanılan ve kaynama aralığı 35-215 °C dolayında olan bir hidrokarbon karışımdır. Uçak motorlarında ise kurşun bileşik katkı maddeleriyle harmanlanan değişik oktan sayılı kurşun bileşikleri içeren 80, 100, 100 LL ile kurşunsuz 82 oktanlı uçak benzinleri üretilmektedir.

2.1.1.3. Jet yakıtları

Pistonlu uçak motorlarının yerine daha geliştirilmiş olan jet motorlarının kullanılması, benzinin yerine, jet yakıtının kullanılmasını gerekli kılmıştır. Jet yakıtı, gazyağı türü sınıfından olup ismi "Kerosene" olarak tanımlanır. Jet motoru devamlı bir yanma ile çalıştığından alevlenme noktasının yüksek olması gerekir. Bu da jet yakıtlarında 44 °C civarındadır. Uçaklarımız hava olaylarından kurtulmak, yakıt tasarrufu ve sürtünme gibi bazı etkenlerden dolayı yüksek irtifalara çıkmak zorundadır. Bu yüzden jet yakıtımızın donma noktasının yüksek olması gerekmektedir. Bu donma noktası -50 °C civarındadır. Yakıtın kararlı olması ve iyi yanabilme özelliklerinin artırılması için gerekli katkı maddeleri ilave edilerek hazırlanır.

2.1.1.4. Gazyağı

Gaz yağı ya da taş yağı, rafinerilerde benzinden sonra alınan bir üründür. Önceleri sadece aydınlatma amacıyla kullanılırken sonradan ısıtma, soğutma, traktör yakıtı ve jet yakıtı olarak kullanılmaya da başlanmıştır

2.1.1.5. Dizel yakıtları ve fuel oiller

Dizel yakıtları dizel motorları yakıtı ve ısıtma yağı olarak kullanılır. Kaynama aralığı 180-380 °C dir. Dizel yakıtının setan sayısı önemlidir. Distilat fuel oiller ise endüstriyel yakıt olarak ve bazı ürünlerin elde edilmesinde hammadde olarak kullanılır. Ağır fuel oiller ise distilasyon kalıntılarıdır.

2.1.1.6. Rafineri gazları

Ham petrolün distilasyonu ve rafineri ürünlerindeki işlemler sırasında çıkan yoğunlaşmayan gazlar olup çoğunlukla hidrojen, metan, etan ve olefinler içerir.

2.1.2. Yakıt olmayan ürünler

2.1.2.1. Yağlama yağları

Yağlar kutupsuz bir kimyasal yapıya sahip olmaları nedeniyle kolayca katı maddelere yapışma özelliğine sahiptirler. O yüzden makine elemanlarında sürtünme ve aşınmayı azaltma amacıyla kullanılırlar. Otomobillerde kullanılan motor yağlarının işlevi budur. Yağlama yağları baz stokları, özel proseslerde elde edilir. Baz stoklara, üretilecek yağın özelliğine göre emülsiyon önleyici, antioksidanlar ve vizkozite düzenleyiciler gibi katkı maddeleri ilave edilerek yapılır. [3]

2.1.2.2. Petrol koku

Petrol koku siyah ve katı kalıttır, koklaştırma gibi ünitelerde kalıntı akımlar, katran ve ziftin kreaking ve karbonlaştırılmasıyla elde edilir; %90-95 karbondur kül miktarı düşüktür. Petrol koku çelik endüstrisinde kok fırınları hammaddesi olarak kullanılır, ayrıca ısıtmada, elektrot üretiminde ve kimyasal madde üretiminde kullanılır [3].

2.1.2.3. Bitüm (asfalt, yol yağı)

Bitüm ham petrolün rafinasyonunda vakum distilasyon kalıntısı olarak elde edilir; katı, yarı-katı veya koloidal yapılı vizkoz hidrokarbonlardır, rengi kahverenginden siyaha kadar değişir

2.1.2.4. Parafin vakslar

2.1.2.5. Solventler

Kaynana aralığı 135-200 °C olan rafine distilat ara ürünler; ancak endüstriyel amaçlı üretimlerde genellikle 30-200 °C arasındaki fraksiyonlar tercih edilir.

2.1.3. Petrokimyasal hammaddeler

Nafta, gaz oil, etan, etilen, propan, propilen, benzen, toluen, ksilenler gibi ham petrolün rafinasyonu ile elde edilen pek çok ürün temel petrokimyasalların ham maddeleridir; bunlardan plastikler, sentetik fiberler, sentetik lastikler ve diğer petrokimyasal hammaddeler üretilir. Nafta bazı ürünlerin (benzin, jet yakıtı v.s. gibi) harmanına katılırsa da daha çok petrokimya endüstrisi hammaddesi olacak şekilde dizayn edilir; kaynama aralığı 30-210 °C dolayındadır.

2.2. Rafineri Prosesleri

İleri arıtımın uygulandığı petrol rafinerileri kimya mühendisliğinin tüm öğelerini kapsayan karmaşık yapıları proseslerdir. Burada uygulanan arıtım işleminin iyi bir şekilde sınıflandırılması rafinerinin çalışmasını iyi anlayabilmek için önemli olup aşağıda sınıflandırma işlemi şöyle belirtilmiştir [9].

Birincil işlemler: Tümünüyle fiziksel ve mekanik işlemlerdir. Damıtma, ısıtma, soğutma, pompalama, çöktürme, basınç yada vakum uygulaması gibi. Her türlü arıtım petrolün çeşitli kesimlere ayrıldığı bir damıtma ile başlar; çeşitli fiziksel ayırma işlemleri bunu izler.

İkincil işlemler: Atmosferik damıtmadan elde edilen ürünlerin değerini yükseltmek için uygulanan kimyasal değişim süreçleri bu sınıfı oluşturur. Bunlar heterojen katalitik tepkimelerdir; başlıcaları parçalama, reforming, izomerleştirme, polimerleştirme, alkilleme ve hidrojenlemedir.

Yardımcı işlemler: Rafinerinin ürettiği çeşitli ara ve son ürünler hemen her zaman istenmeyen kimi maddeleri içerirler. Ürünün niteliğini bozan bu maddeler çeşitli yöntemlerle ayrılır, yok edilir yada zararsız hale getirilirler. Bu arıtım yöntemleri; Gaz ve buharların temizlenmesi, sıvıların temizlenmesi vs. işlemler olarak yapılır.

Rafineri prosesleri çok karmaşık proseslerdir. Bu proseslerin proses akım şemaları ham petrolün özelliğine ve elde edilecek ürüne göre değişim göstermektedir. Şekil 2.1. de petrol rafineri prosesi gösterilmektedir. Şema üzerinde gösterilen ham petrolden üretilen ürüne kadar olan proses işlemlerini belirleyelim.

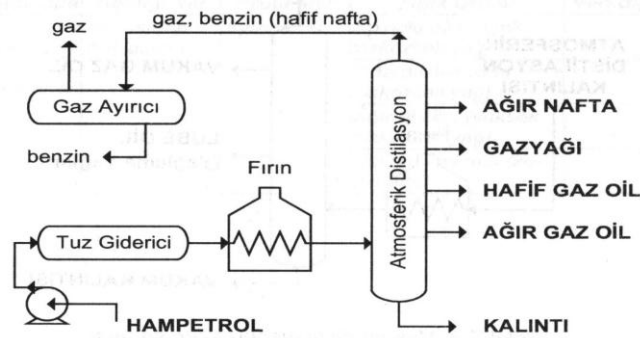
2.2.1. Damıtma

Atmosferik distilasyon ve vakum distilasyonu olarak belirlenen damıtma işlemi; saf bir sıvıyı veya sıvılar karışımını saflaştırmak veya ayırmak için uygulanan ve kaynama noktaları farklılığına dayanan bir prosestir.

2.1.1.1. Atmosferik damıtma

Petrol kuyuları civarında büyük toplama tanklarında dinlendirilen ham petrolün içindeki çamur ve su çökeltilerek üzerindeki ham petrol borular vasıtası ile rafineri tesisine gönderilir. Rafineriye gelen petrolün içinde mineral tuzları, su ve eser miktarda çeşitli metaller vardır. Bu katılar rafinerideki süreçleri fiziksel ve kimyasal olarak etkilemektedir. Bu yüzden tuz ayırma işlemi yapılır. Bu tuz ayırma işleminde ham petrol ısıtılarak kimyasal madde ve yıkama suyu karıştırılarak bir tankta dinlendirilir. Tuzlu su dibе çöker ve tuzu giderilmiş ham petrol üstten alınır.

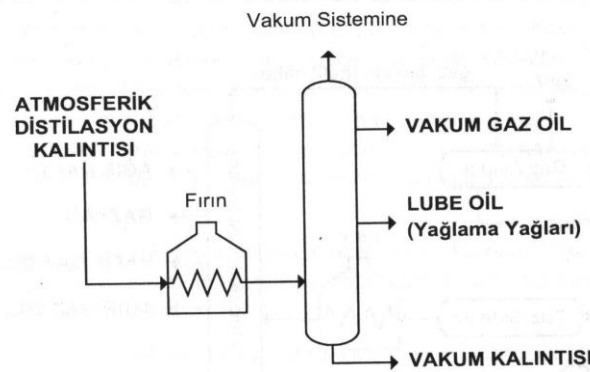
Tuzu giderilmiş ham petrol damıtma ünitesine gitmeden 350 °C civarında ısıtılır. Isıtılan ham petrol dikey damıtma kulesine verilir ve kulede yükseldikçe ısısı düşer. Eğer bu sıcaklıktan fazla ısıtılırsa ham petrol istenmeyen parçalanmalar olabilir. En ağırlar dışındaki tüm fraksiyonlar buharlaşır, buharlaşamayan ağır fuel oil asfalt kalıntısı ise kulenin dibinden alınır. Şekil 2.2.'de de görüldüğü gibi kuleden aşağıdan yukarıya doğru gittikçe yağlama yağı, ısıtma yağı, gazyağı, benzin ve yoğunlaşmayan gazlar çekilir.



Şekil 2.2. Atmosferik distilasyon prosesi akım şeması [3]

2.1.1.1. Vakum damıtma

Ham petrolün atmosferik distilasyonu sonucu ortaya çıkan kalıntı alınarak vakum distilasyonu yapılır. Petrolün damıtılmasında sıcaklık sınırlayıcı bir faktör olduğundan dolayı yüksek sıcaklıklarda bazı maddeler bozulabilir. Bu yüzden çok yüksek sıcaklıklarda kaynayan ve ısı ile bozulabilen maddeleri ayırmak için vakum damıtması uygulanır. Burada basınç azaldıkça kaynama noktası düşer. Vakum damıtması madeni yağ, asfalt ve katalitik parçalama bölümüne beslenecek ağır gaz yağı yapmakta kullanılır. Şekil 2.3.'de vakum distilasyon prosesi akım şeması verilmiştir.



Şekil 2.3. Vakum distilasyonu akım şeması [3]

2.2.2. Parçalama prosesleri

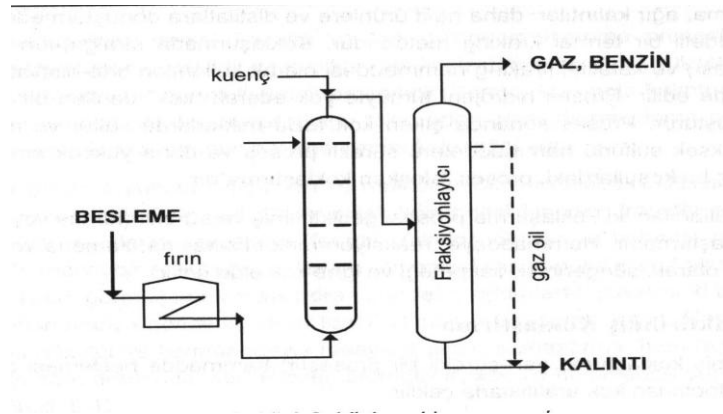
Ham petrolün basit distilasyonu ile çıkan ürünler gerek miktar ve gerekse tür olarak Pazar gereksinimlerini karşılayamaz; bu nedenle, ilave rafineri prosesleriyle hidrokarbonların moleküler yapıları değiştirilerek istenilen ürün karışımları elde edilir. Bu proseslerden kraking ağır ve yüksek kaynama noktalı petrol fraksiyonlarını, daha değerli ürünlere (benzin, fuel oiller ve gaz oiller gibi) dönüştürmek için uygulanan parçalama veya kırma prosesidir. Parçalama proseslerinde temel amaç ağır hidrokarbonlardan piyasa talebi daha yüksek olan hafif kesimlerin üretilmesidir [3].

Parçalama teknolojisi başlıca üç bölümde incelenir; Isıl parçalama, katalitik parçalama ve hidrokrakingdir.

2.2.2.1. Isıl parçalama

Isıl parçalama ağır yağ moleküllerini herhangi bir katalizör yardımı olmadan hidrokarbonların molekül ağırlıklarını, yüksek sıcaklıklarda küçültmek yada büyütme amacıyla yapılan işlemlere ısıl parçalama denir. Genellikle amaçlanan büyük molekül zincirlerini parçalayarak hafif ürünlerin elde edilmesidir; böylece ham petrolden daha çok benzin ve orta ürün (gazyağı, motorin) elde edilir.

Damıtma dip ürünlerinin viskozitesini azaltmak (akıcılığını artırmak) ve akma noktalarını düşürmek için yapılan ılımlı ısıl parçalamaya vibreaking denir. Böylece dip ürünler satılabilir yağyakıtlara dönüştürülür, ayrıca benzin, gazyağı ve az miktarda gaz üretilir. Vibreaking proses akım şeması Şekil 2.4.de belirtilmektedir.



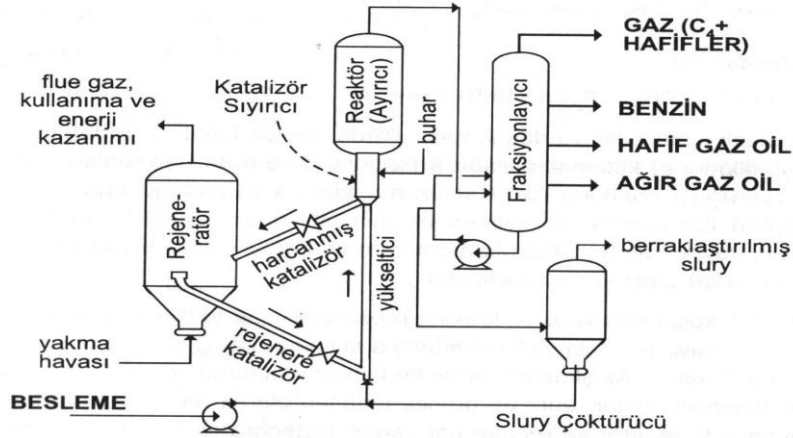
Şekil.2.4. Vibreaking prosesi [3]

Koklaştırma, ağır kalıntıları daha hafif ürünlere ve distillatlara dönüştürmede uygulanan şiddetli bir ısıl parçalama metodudur. Proses hidrojeni tümüyle yok ederek kok denilen bir karbon formu oluşturur.

2.2.2.2. Katalitik parçalama

Katalitik parçalamanın ısıl olana göre en önemli üstünlüğü parçalama tepkimelerinin seçimli yapılabilmesi ve ürünlerin niteliklerinin piyasa isteklerine daha uygun olmasıdır. Burada kompleks hidrokarbonlar basit moleküllere parçalanarak daha hafif ve daha çok istenen ürünlerin kalite ve miktarlarını artırmak ve kalıntıları

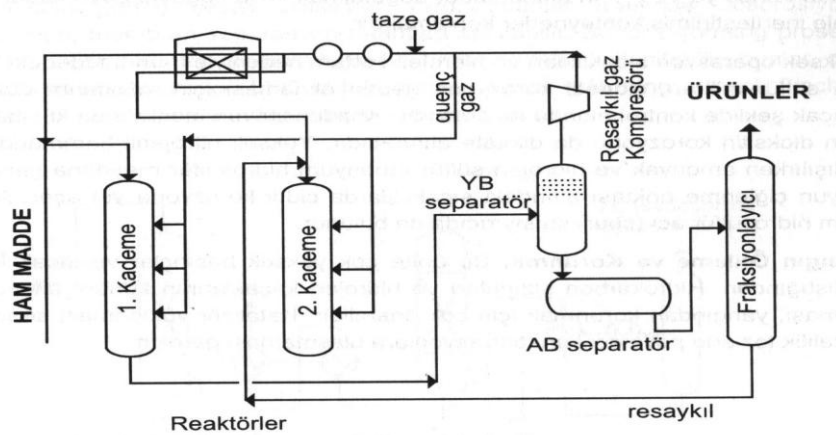
azaltmak amacıyla uygulanır. Bu proseste hidrokarbon bileşiklerin moleküler yapıları yeniden düzenlenerek ağır hidrokarbon maddeler gazyağı, benzin, LPG, ısıtma yağı ve petrokimyasal hammaddeler gibi daha hafif fraksiyonlara dönüştürülür. Şekil 2.5.'de Fluid katalitik kraking (FCC) proses akım şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Fluid katalitik kraking proses akım şeması [3]

2.2.2.3. Hidrokraking

Hidrojen varlığında yapılan katalitik parçalanma sürecine hidrokraking denir. Reaksiyon koşulları daha ağırdır ve moleküller büyüklüklerde önemli küçülmeler olur. İki kademeli hidrokraking prosesi Şekil 2.6. da gösterilmiştir.

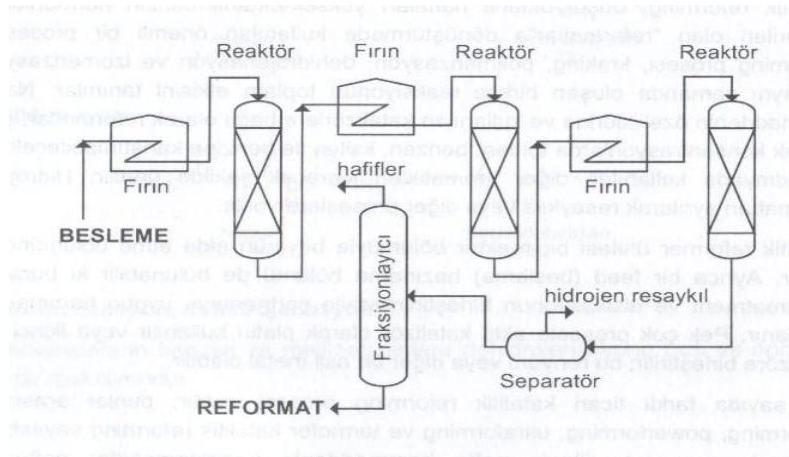


Şekil 2.6. İki kademeli hidrokraking prosesi [3]

2.2.3. Reforming ve diğer yükseltici süreçler

2.2.3.1. Reforming

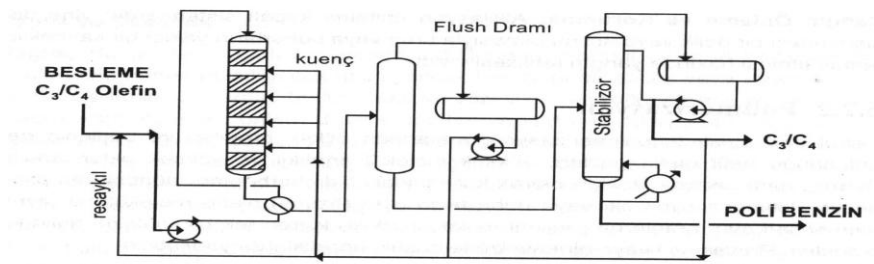
Reforming parafinlerin molekül yapılarını karbon sayılarını değiştirmeksizin yeniden düzenleyip içindeki çok dallı izomerlerin sayısını artırarak veya aromatlara dönüştürerek yüksek oktanlı benzin elde etme tekniğidir. Şekil 2.7.de katalitik reforming prosesi verilmektedir.



Şekil 2.7. Platforming prosesi [3]

2.2.3.2. Polimerleştirme

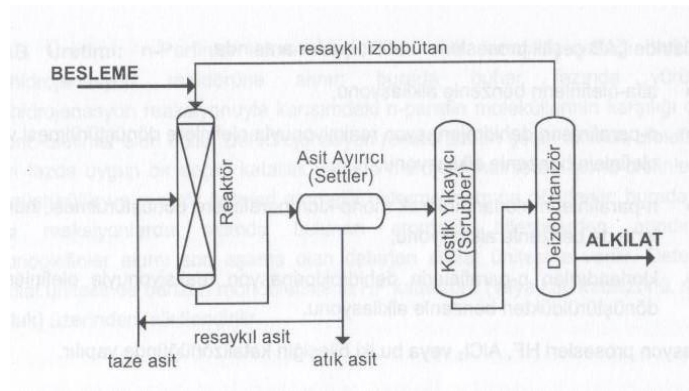
Önce ısıt, daha sonrada katalitik olarak yapılan polimerleştirme sonunda oktan sayısı yüksek bir benzin elde edilir ve "polibenzin" olarak adlandırılır. Polibenzin rafinerilerin parçalanma tanklarında diğer benzine katılarak oktan sayısını yükseltmekte kullanılır. Şekil 2.8'de polimerizasyon prosesi verilmektedir.



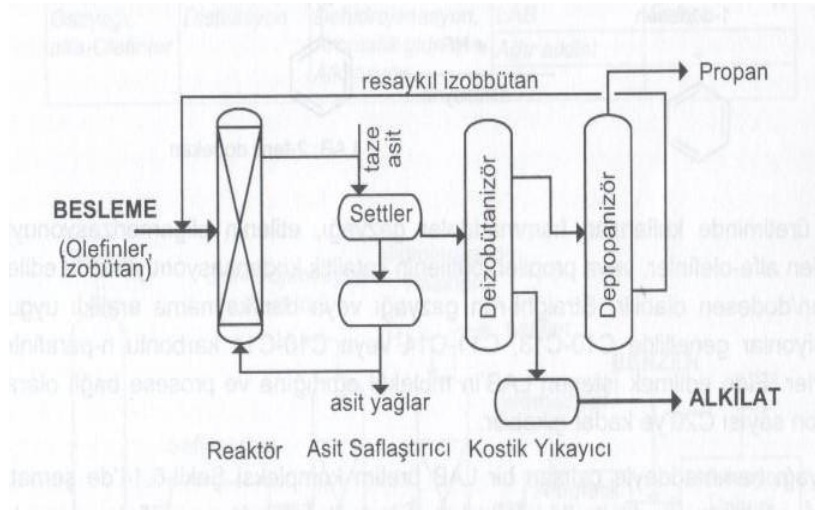
Şekil: 2.8. Polimerizasyon prosesi [3]

2.2.3.3. Alkilleme

Alkilleme temelde polimerleştirmenin özel bir türüdür. Genel anlamda alkilleme bir bileşiğe alkil grubunun eklenmesidir. Rafineri teknolojisinde ise bir olefin ile bir izoparafinin birleşerek kendilerinden daha büyük ve dallı yapıya sahip bir izoparafın oluşturmasıdır. Bu süreç sonunda yapılan benzine “alkilleme” denir. Şekil 2.9. sülfürik asitle yapılan alkilleme ve Şekil 2.10. da Hidrojen florür alkilasyonu işlemi verilmektedir.



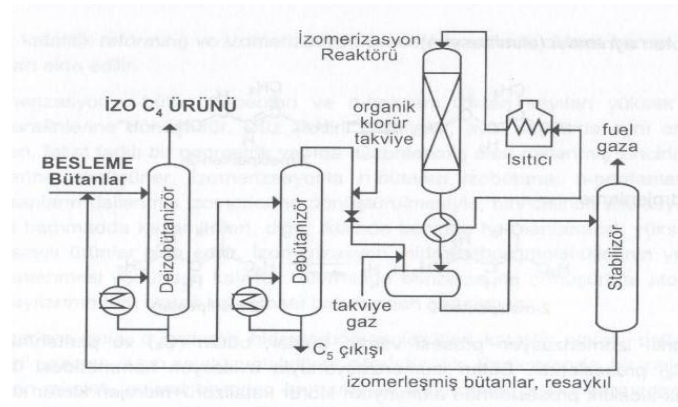
Şekil 2.9. Sülfürik asit alkilasyonu [3]



Şekil 2.10. Hidrojen florür alkilasyonu [3]

2.2.3.4. İzomerleştirme

İzomerleştirme, küçük moleküllerin birleştirilmesiyle daha küçük hidrokarbon moleküllerinin elde edildiği bir birleşme prosesidir. Ham petrolün distilasyonundan ve kraking ünitelerinden alınan benzinler yeterli oktan sayısına sahip olmadığından, katalitik reforming ve izomerizasyon prosesiyle yüksek oktanlı benzin fraksiyonları elde edilir. Şekil 2.11’de izomerizasyon prosesi verilmektedir.



Şekil 2.11. İzomerizasyon prosesi [3]

2.2.4. Yardımcı süreçler ve bitirme işlemleri

Damıtma ve parçalama süreçlerinden elde edilen kesimlerin satışa çıkarılabilmeleri için bitirme işlemlerinden geçirilmeleri zorunludur. Bu ürünlerin içinde bulunan reçine, asfalt vb. maddelerle kimi bozunabilen maddelerin ve özellikle kükürtlü bileşiklerin petrol ürünlerinden ayrılması ana amaçtır. Bu maddeler ürünlere verdikleri renk, koku gibi özelliklerle, depolama ve yakma sırasında yol açtıkları sorunlarla istenmeyen sonuçlara yol açarlar. Bu nedenle ürünler bu yardımcı süreçlerden geçirilerek arıtılırlar.

Bu süreçler genel hatlarıyla hidrojenleme, asitle arıtım, kil ile arıtım, tatlılaştırma, kükürt üretimi, çözücü üretimi ve diğer bitirme işlemleri olarak çeşitli işlemlere tabi tutularak arıtmaları yapılarak nihai ürün haline getirilerek satışa sunulmaktadır.

Ham petrolün yer altında çıkışından boru hatlarına getirilmesi işleminden sonra nihai ürünleri dönüşümü esnasındaki prosesleri ana hatlarıyla yukarıda irdelemeye çalıştık. Gelişen teknoloji ham petrolün özelliği ve talep edilen ürüne göre bu proses şemaları değişiklik göstermektedir. Rafineri prosesleri tarihi aşağıdaki Tablo 2.1. de belirtilmiştir.

Tablo 2.1. Rafineri prosesleri tarihi [3]

Yıl	Prosesin Adı	Amacı	Yan-Ürün, v.s.,
1862	Atmosferik distilasyon	Gazyağı üretimi	Nafta, katran, v.s.,
1870	Vakum distilasyonu	Hampetrolleri fraksiyonlama	Asfalt, kalıntı
1913	Termal kraking	Benzin verimini artırma	Kalıntı, bunker yakıtı
1916	Sweetening	Kükürt ve kokuyu azaltma	Kükürt
1930	Termal reforming	Oktan sayısını yükseltme	Kalıntı
1932	Hidrojenasyon	Kükürt uzaklaştırma	Kükürt
1932	Koklaştırma	Benzin baz stokları artırma	Kok
1933	Solvent ekstraksiyon	Yağların VI artırma	Aromatikler
1935	Solvent devaksing	Akma noktasını düzenleme	Vakslar
1935	Kat polimerizasyon	Benzin verimi ve oktan artırma	Petrokimya hammaddeleri
1937	Katalitik kraking	Daha yüksek oktanlı benzin	Petrokimya hammaddeleri
1939	Visbreaking	Viskoziteyi düşürme	Distilat ve katran
1940	Alkilasyon	Benzin verimi ve oktan artırma	Yük. Oktanlı uçak benzini
1940	İzomerizasyon	Alkilasyon ham maddeleri	Nafta
1942	Fluid katalitik kraking	Benzin verimi ve oktan artırma	Petrokimya hammaddeleri
1950	Deasfaltering	Kraking ham maddesini artırma	Asfalt
1952	Katalitik reforming	Nafta dönüştürme	Aromatikler
1954	Hidrodesülfürizasyon	Kükürt uzaklaştırma	Sülfür
1956	İnhibitör sweetening	Merkaptanları uzaklaştırma	Disülfürler
1957	Kat. izomerizasyon	Yüksek oktanlı moleküller	Alkilasyon ham maddeleri
1960	Hidrokraking	Kaliteyi iyileştirme, S azaltma	Alkilasyon ham maddeleri
1974	Katalitik devaksing	Akma noktasını düzenleme	Vakslar
1975	Kalıntı hidrokraking	Benzin verimini artırma	Ağır kalıntılar

Ham petrolün rafinerilerde arıtılması ve işlenmesi sonucunda, ortalama olarak %43 benzin, %18 fuel oil ve motorin, %11 LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı, propan veya propan-bütan karışımı), %9 jet yakıtı, % 5 asfalt ve %14 diğer ürünler elde edilmektedir.

BÖLÜM 3. RAFİNERİ EMİSYONLARI VE ETKİLERİ

3.1. Hava Kirliliği İle İlgili Genel Bilgiler

Kirli havayı “Havanın doğal yapısında bulunan esas maddelerin oranlarının değişmesi veya bu doğal yapıya yabancı maddelerin girmesi sonucu insan sağlığını ve huzurunu bozacak ve hayvan, bitki ve eşyaya zarar verecek derecede kirlenmiş hava” olarak tanımlayabiliriz [10]. Başka bir tanıma göre ise; “Havada katı, sıvı ve gaz şeklindeki maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zararlı olabilecek derişim ve sürede bulunmasıdır [8].

Hava kirliliği temel olarak; volkanik patlamalar, orman yangınları gibi doğal kaynaklardan ve insan aktivitelerine bağlı olarak oluşabilen yapay kaynaklardan meydana gelmektedir. İnsan faaliyetleri sonucunda oluşan yapay kirlilik kaynakları iki şekilde sınıflandırılır.

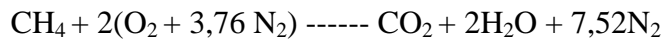
- I. Sabit Kaynaklar, bunlar ısınma ve üretim amaçlı faaliyetlerin yapıldığı yerlerdir.
- II. Hareketli Kaynaklar ise taşımacılık amacı ile kullanılan araçlardır.

Diğer bir sınıflandırma şekli ise;

- I. Noktasal Kaynaklar,
- II. Alansal Kaynaklar,
- III. Çizgisel Kaynaklar şeklinde yapılabilir.

Bu sınıflandırma şekline göre büyük endüstriyel tesisler noktasal kaynakları, evsel ısınma amaçlı yakıt tüketimi sonucu oluşan emisyonun yoğunlukta olduğu kentsel alanlardaki bacalar alansal kaynakları meydana getirir. Taşıt egzozları ise çizgisel kaynak olarak sınıflandırılmaktadır.

Yanma işleminde yakıldığı zaman enerji veren herhangi bir maddeye yakıt denir. Yanma ise: yakıtın oksijenle birleştiği ve büyük miktarda enerjinin açığa çıktığı bir kimyasal reaksiyondur. Yanma işlemi sırasında eğer yakıt içindeki karbonun tümü CO₂ (karbondioksit)'ye, hidrojenin tümü H₂O (Su)'ya ve varsa kükürdün tümü SO₂ (Kükürdioksit)'ye dönüşüyorsa yanma işlemi tamdır. Başka bir deyişle, yakıt içinde bulunan yanabilecek tüm bileşenler tam olarak yanarlar. Örneğin metanın yanması aşağıda gösterilmiştir. Yanma sonu ürünleri arasında yanmamış yakıt veya C, H₂, CO ve OH gibi bileşenler varsa yanma işlemi tam değildir [13].



Yakıt ve benzerlerinin yanmasıyla; sentez, ayrışma, buharlaşma vb. işlemlerle maddelerin yığılması, ayrılması, taşınması ve bu gibi diğer mekanik işlemler sonucu bir tesisten atmosfere yayılan hava kirleticilerine emisyon (salınım) denilmektedir [14].

3.2. Rafineri Emisyonları Hakkında Genel Bilgiler

Rafineri tesislerinin havaya saldığı emisyonlar önemli bir yer tutmaktadır. Rafineri emisyonlarının kaynakları başlıca dört şekilde meydana gelir [9]. Bunlar;

- 1- Yanma işlemi, kazan ve ısıtıcılar,
- 2- Üretim birimleri, FCC-katalizör rejenasyonu, kok vb.
- 3- Gaz atık deneti sistemleri, Claus birimi,
- 4- Depolar, benzin, nafta gibi

Rafinerilerde proseslerde fuel oil ve rafineri gazı gibi yakıtların yakılması sonucunda genel olarak hidrokarbonlar, kükürt oksit, karbondioksit, CO, toz, H₂S, VOC, ağır metaller ve azot oksit gibi emisyonlar meydana gelmektedir. Bu emisyonların rafineri prosesinden nerelerden kaynaklandığını Tablo 3.1. de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Rafineri emisyon kaynakları [9]

No	Kaynak	Toz	SOx	CO	HC	NOx	Aldehitler
1	Kazan ve ısıtıcılar	X	X	-	X	X	X
2	FCC-Parçalama	X	X	X	X	X	X
3	TCC-Parçalama	X	X	X	X	X	X
4	Kok	X	i.e.	i.e.	i.e.	i.e.	*
5	İçten yanmalı kompresör motorları	i.e.	X	i.e.	X	X	X
6	Buhar geri kazanma ve meşale	i.e.	i.e.	i.e.	X	i.e.	i.e.
7	Vakum jetleri	i.e.	i.e.	i.e.	X	i.e.	i.e.
8	Soğutma kulesi	i.e.	i.e.	i.e.	X	i.e.	i.e.
9	Vana ve flanşlar	i.e.	i.e.	i.e.	X	i.e.	i.e.
10	Pompa keçeleri	i.e.	i.e.	i.e.	X	i.e.	i.e.
11	Atma	i.e.	i.e.	i.e.	X	i.e.	i.e.
12	Diğer	i.e.	i.e.	i.e.	X	i.e.	i.e.

i.e.: İhmal Edilebilir

3.2.1. Partiküler madde (Toz)

Partiküler madde (PM) terimi, havada bulunan katı partiküller ve sıvı damlacıkları ifade eder. İnsan faaliyetleri sonucu ve doğal kaynaklardan, doğrudan atmosfere karışır. Atmosferde diğer kirleticiler ile reaksiyona girerek PM'i oluşturur ve atmosfere verilirler. Katı ve sıvı partiküllerin boyutları geniş bir aralığa yayılır. Sağlığa konu olan partiküller, aerodinamik çapı 10 µm. nin altındaki partiküllerdir. Bu boyut aralığındaki partiküller, solunum sistemi içine girerek birikim yapabilir. 2.5 µm den daha küçük partiküller "ince partiküller" olarak adlandırılır. İnce partikül kaynakları, tüm yanma prosesleri ve bazı endüstriyel prosesleri içerir. 2.5-10 µm. aralığındaki partiküller, "kaba" partiküller olarak adlandırılır. Kaba partikül kaynakları ise kırma, öğütme işlemleri, yollardan kalkan tozlardır.

İnce ve kaba partiküllerin her ikisi de solunum sisteminde birikebilir ve çeşitli sağlık etkilerine neden olabilir. Kaba partiküller, astım gibi solunum rahatsızlıklarını kötüleştirebilir. İnce partiküllere maruziyet, erken ölümü de içeren çeşitli ciddi sağlık etkilerine neden olur. Ters sağlık etkileri, PM'e hem kısa periyotlar (bir gün gibi) ve

hem de daha uzun periyotlar (bir yıl veya daha uzun) da maruziyet ile birleştirilir. Astım, kronik tıkalı akciğer hastalığı ve kalp hastalığı gibi kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler PM'e maruz kaldığında, erken ölüm riski veya acil servislere başvuruda artış olur. Yaşlılar PM maruziyetine karşı hassastır. Bu grup, hastanelere veya acil servislere başvuru ve kalp ve akciğer hastalığından erken ölüm gibi risklere açıktır. PM'e maruz kalındığında, mevcut akciğer hastalığı olan kişiler ve çocuklar normal koşullarda yapabildikleri halde, derin veya kuvvetli olarak soluk alamayabilirler ve öksürük ve kesik kesik nefes alma gibi belirtiler görülebilir. PM, solunum enfeksiyonlarına hassasiyeti artırabilir, astım, kronik bronşit gibi mevcut solunum hastalıklarını kötüleştirir [15].

3.2.2. Karbon monoksit (CO)

Karbonmonoksit, bir karbon ve bir oksijen atomundan oluşan molekülün adı olup renksiz, kokusuz bir gazdır. Bazen görüldüğü gibi, sobalarda mavi bir alevle yanar. Çok kuvvetli bir zehirdir. Solunan havada konsantrasyonu artarsa, kana geçer ve oksijenin taşındığı hemoglobine O₂'den daha kolay bağlanır. Yani bütün CO'lar bitmeden O₂ bağlanamaz. Bu bakımdan oksihemoglobin meydana gelemez ve kanda karboksihemoglobin artar, dokulara oksijen taşınmaz ve hücre ölümü meydana gelir. CO, kanın hemoglobininin merkez atomu demire bağlanarak ölüme sebep olur. Zehirlenme tablosunda başağrısı, görme bozuklukları, uyku hali, zihni bulanıklık ve koma vardır. Yargı kabiliyeti bozulur ve sezgi kaybolur. Sonuçta kalıcı beyin hasarı meydana gelebilir. Ayrıca nevrasteni, depresyon görülebilir. Belirgin iyileşme durumunu oksijensizliğe ikincil gelişen ansefalopati takip edebilir. Organik psikozlar aylarca sürebilir, fakat sonu nispeten iyi biter. Tedavisi mekanik bir solunum aracı ile %70 azot ve %30 oksijen verilmesi veya acil durumlarda ağızdan solunum yoluyla yapılır. Endüstride jeneratör gazı, su gazı, kuvvet gazı ve hava gazı içinde kullanılır. Yakıt olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca sigaranın içinde de bulunur [16].

Karbon monoksit (CO) özellikle stokiyometrik yakma koşulları altında her zaman yakma prosesinin ara ürünü olarak ortaya çıkar. CO korozyon riski ve yanmamış yakıtın bir göstergesi olduğundan ve bu nedenle verimlilik düşüşünü ifade ettiğinden tesis işletmenleri her zaman CO oluşumunu en aza indirmeye çaba gösterirler. CO,

termal NO ve VOC oluşum mekanizmalarının hepsi yakma koşullarından benzer şekilde etkilenirler [17].

3.2.3. Kükürt dioksit (SO₂)

Kükürt dioksit formülünde bir kükürt iki oksijen yer alır. Aralarında kovalent-polar bağ yaparlar şeker endüstrisinde kullanılır. Hava kirliliğine ve asit yağmurlarına sebep olur (SO₂), renksiz, keskin kokulu reaktif bir gaz olup kömür, fuel-oil gibi kükürt içeren yakıtların yanması sırasında, metal eritme işlemleri ve diğer endüstriyel prosesler sonucu oluşur. Ana kaynakları, termik santraller ve endüstriyel kazanlardır. Genel olarak, en yüksek SO₂ konsantrasyonları, büyük endüstriyel kaynakların yakınında bulunur.

SO₂ gazı hava kirleticilerinin basında gelmektedir. Kükürt dioksit, yakıtta bağlı kirletici olup boyutu yakıtın içerdiği kükürt (S) oranı ile belirlenir. Kükürdün yanması ile önce SO₂ ve daha sonra hava fazlalığına bağlı olarak SO₂ oluşur. Zararlı etkisi insanlar, hayvanlar, bitkiler ve hatta madeni eşya üzerinde bile görülür. SO₂ gazı, 10 ppm'ine sekiz saat süresince maruz kalınması sonucu zehirleyici olabilmektedir [12]. SO₂ nin insanlar ve hayvanlar üzerindeki en önemli etkisi öksürtücü ve boğazı tahriş edici bir gaz olmasından dolayı solunum sisteminedir. Bitkiler üzerindeki etkisi hem SO₂ gazı olarak, hem de yağmur sularında erimesiyle oluşan asitli suyun toprağa geçmesiyle olur. SO₂ nin rutubetli ve yağmurlu havalarda fabrika bacası gibi madeni eşyalar üzerinde aşındırıcı ve paslandırıcı tahribatı büyüktür.

3.2.4. Azot dioksit (NO₂)

Azot oksit ya da azot monoksit, kimyasal formülü NO olan bir bileşiktir. Bu gaz, insanlar da dahil olmak üzere- memelilerin vücutlarında önemli bir sinyal molekülü olmasının yanı sıra kimyasal endüstride de önemli bir ara üründür. Ayrıca NO, araba motorları ve elektrik santralleri tarafından üretilerek hava kirliliğine neden olur.

NO, memeli vücudundaki yararlı veya zararlı bir çok fizyolojik ve patolojik süreçte rol oynayan önemli bir sinyal molekülüdür. Uygun dozlarda NO üretimi, bir çok organın zarar görmesinin engellenmesinde (karaciğerin iskemik hasardan korunması gibi) önemlidir. Ancak yüksek dozlarda NO, doğrudan doku zehirlenmesine yol açtığı gibi, septik şokla tetiklenen dolaşım sistemi çöküşüne de katkıda bulunur. Ayrıca kronik NO salınımı, Tip I juvenil diyabet, multiple skleroz, artrit, ülseratif kolit gibi bir çok iltihabi hastalık ve kanser türüyle ilişkilendirilmiştir [18].

Azot oksit, kimyasal formülü N_2O olan bir genel anestetik madde olan Nitröz Oksit ile ya da bir başka hava kirletici madde olan Azot Dioksit (NO_2) ile karıştırılmamalıdır. Azot oksidin kimyasal etkinliğinin oldukça yüksek olması, bir serbest radikal olduğunun anlaşılmasına uygundur. Havadaki Ozon ile tepkimeye girerek NO_2 oluşmasını sağlar. Bu reaksiyon, ortaya çıkan kırmızı-kahverengi renk ile kolaylıkla tanınabilir.

Ürkütücü derece basit bir molekül olmasına rağmen, NO, sinir sistemi, fizyoloji, immunoloji gibi alanlarda yapılan bir çok araştırmanın temel molekülüdür. Ayrıca NO, 1992 yılında AASS (American Association for the Advancement of Science, Amerikan Bilim Gelişimi Kuruluşu) tarafından Yılın Molekülü seçilmiştir.

3.2.5. Hidrojen sülfür (H_2S)

Renksiz, çürük yumurta kokusunda zehirleyici bir gaz. Formülü H_2S şeklinde olup 1796'da C.Louis Berthallet tarafından bileşiği meydana getiren elementler tayin edildi. Çok şiddetli zehir olan hidrojen sülfürün 10-5'lik bir konsantrasyonda da kokusu hissedilebilir. Sıvılaştırılmış hidrojen sülfür elektriği iletmez. Kaynama noktası $-60,75^\circ C$, erime noktası ise $-83,70^\circ C$ dir. Havadan 1.19 defa daha ağırdır. Kaynama noktasında yoğunluğu 0,993'tür. Suda ve alkolde oldukça çözünür. Yanıcıdır. % 4,5-45,5 oranında hidrojen sülfür ihtiva eden hava patlayıcıdır. Hidrojen sülfür az miktarda petrolde, kaplıcalarda ve tabii gaz kuyularında bulunur. Elementlerinden de elde edilen hidrojen sülfür laboratuvarlarda demir sülfür üzerine hidrojen klorür etki ettirmekle elde edilir. Saf hidrojen sülfür elde etmek için kalsiyum veya baryum sülfür kullanılmaktadır [19].

3.2.6. Uçucu organik bileşikler (VOC)

Uçucu Organik Bileşikler (UOB) çok uçucu organik bileşikler (kaynama noktası <0 °C-100 °C)'den katı organik bileşiklere (kaynama noktası >380 °C) kadar çok geniş bir bileşik grubunu kapsamaktadır. İç ortam ve dış ortam havasında sıklıkla gözlenen ve hava kalitesi açısından UOB olarak adlandırılan grup ise genellikle bazı parafinler ve benzenden başlayarak naftaline kadar olan bileşikleri (kaynama noktası <260 °C) kapsamaktadır [20]. En yaygın gözlenenleri TEX olarak adlandırılan benzen, toluen, etilbenzen ve ksilenler'dir. Bu bileşiklerin içinde iç ortamda en yüksek seviyelerde rastlanılanı ise toluendir. İç ortam havasında sıklıkla rastlanan ve seviyesi yüksek olduğunda insan üzerinde kanserojen olarak kabul edildiği için önem arz eden bileşik benzendir [21]. UOBlerin iç ortamdaki seviyeleri olası insan aktiviteleri kadar kaynaklarının bulunma yoğunluğuna bağlı olarak değişkendir. Kolonya, parfüm, deodorant, sabun, deterjan, şampuan, hava kokusu giderici spreylere gibi tüketim malzemeleri ile ahşap ve cilası, boya gibi bina malzemeleri UOB kaynaklarıdır. UOBlerin hasta bina sendromu tipi semptomların yanı sıra sinerjetik etkiye neden olmaları da önemlidir [22]. UOB yönünden iç ortam hava kirliliğinin en önemli kaynakları: insan aktiviteleri, bina malzemelerinden kaynaklanan emisyonlar ve dış ortam havasından iç ortam havasına havalandırma vs. ile giriş olarak sıralanabilir. Ülkemizde iç ortamlarda içimi resmi olarak yasaklanmasına rağmen, halen tüketildiği gözlenen çevresel sigara dumanını, UOB'ler de dahil olmak üzere birçok hava kirleticisinin kaynağı olarak gösterilmektedir [23].

Endüstriyel faaliyetler nedeniyle uçucu organik bileşiklerin emisyon kaynakları çok çeşitli olmakla beraber bunlardan en önemlileri fosil yakıtların yakılmasıdır. Fosil yakıt yakma işlemi sırasında yayılması muhtemel persistan organik bileşikler arasında polisilik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), poliklorodibenzo-dioksinler (PCDD'ler) ile poliklorodibenzo-furanlar (PCDF'ler)'lerden söz edilmelidir [17].

3.2.7. Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit: Renksiz, kokusuz, yoğunluğu 152,0 °C de ve 36 Atmosfer basıncında kolayca sıvılaştıran ekşimsi tatta bir gazdır. Atmosferdeki oranı yaklaşık % 0,03 den

daha azdır. Kalabalık ve havalandırması iyi olmayan odalarda bu oran daha tehlikeli boyutlara ulaşır ve % 25'e varırsa öldürücü olur. Ancak, yükselen Karbondioksit seviyesi, baş ağrısı ve uyuklama halı gibi belirtilerle erken evrede kişileri uyarır.

Motorlu taşıtlar, ısınma araçları ve endüstride, karbon bileşiklerinin yakılması sonucu, kentlerde karbondioksit oranı gittikçe artmaktadır. Fakat Atmosfer, rüzgârlar tarafından devamlı olarak toz ve Karbondioksitten temizlendiği için kolay kolay öldürücü düzeye ulaşmaz.

Bitkilerin çoğu, güneş ışını altında karbondioksit alıp oksijen verirler. Bu nedenle yeşil alanların bol olduğu yerlerde karbondioksit oranında azalma, oksijen oranında ise artma görülür. Böylece yeşilliğin çevre sağlığı açısından ne kadar önemli olduğu ve çoğaltılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Solunumdaki yeri açısından hayati önem arz eder. Oksijen akciğerlere üst Hava yollarını geçerek gelir ve Alveolde hemoglobin ile taşınarak Alveole getirilmiş olan karbondioksit ile yer değiştirir. Daha sonra karbondioksit oksijenin takip ettiği yolla dışarıya verilir. Karbondioksit gazının bütün dünyanın kaderini değiştirecek kadar da kötü bir yanı vardır. Küresel ısınmanın daha da fazlalaşmasına katkı sağlamıştır. Karbondioksit Gazı birçok madde aracılığı ile meydana gelir. Mumun yanması sonucu çıkan dumandaki karbondioksit, evlerin bacalarından çıkan karbondioksit ve fabrika dumanlarının karbondioksiti bu gazın küresel ısınmayı fazlalaştırmasını sağlayacak durumlardır. İnsanlar her zaman oksijen alır karbondioksit verir.

CO₂ kanda belli seviyelerde bulunur ve vücudumuzun tampon sistemlerinden birini meydana getirir. Kanda artması halinde asidoz, azalması halinde ise alkaloz meydana gelir. Bu durumlar dolaylı olarak Hidrojen iyonu konsantrasyonunu etkilemesi ile meydana getirir. Atardamar kanında, CO₂ asıncı 120 mm Hg'ye varırsa; baş ağrısı, adale seğirmeleri, oryantasyon bozukluğu, (olmayan şeyleri gören) bir şuur bulanıklığı, konfüzyon, hatta koma görülebilir. Solunum ile alınan Oksijen, akciğerlerden kılcal kan damarlarına geçer ve kırmızı kan hücrelerindeki hemoglobine bağlanır. Sonra kalbe taşınarak atardamar sistemi ile tüm vücut hücrelerine dağıtılır. Bu hücrelerde yaşam için gerekli temel kimyasal reaksiyonlara

katılır. Sonuçta açığa çıkan karbondioksit, diğer metabolizma artıkları ile birlikte toplardamar sistemindeki alyuvarlar içine girer ve kalbe geri döner. Oradan tekrar akciğerlere geçerek solunum yolu ile dışarı atılır. Normal vücut fonksiyonları için bir miktar karbondioksitin kanda bulunması gereklidir. Ancak belirli bir düzeye ulaştığında ölüm nedeni olabilir [40].

3.2.8. Ağır metaller

İz metaller olarak da bilinen ağır metallerin emisyonları fosil yakıtlarında doğal bir bileşen olarak bulunmalarından kaynaklanır. Ele alınan ağır metallerin çoğu (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V, Zn) partiküller ile ilişkili olarak normalde bileşik olarak (örneğin; oksit, klorid) serbest kalırlar. Sadece Hg ve Se en azından kısmen buhar evresinde bulunur. Özellikle Hg emisyon kaynağından çok uzak alanlarda kirlilik sorunları yaratabilecek uzun menzilli sınır ötesi kirletici madde olarak bilinir Daha az uçucu olan elementler baca gazı akımındaki küçük partiküllerin yüzeyi üzerinde yoğunlaşmaya eğilimlidirler. Bu nedenle en ince partikül bölünmesindeki zenginleştirmeler gözlenir. Kömür yakma prosesinde ağır metallerin bölünmesi aşağıda örnek olarak gösterilmiştir [17].

Havada bulunan partiküllerin % 0.01-3'ünü sağlık yönünden çok toksik etkiler gösteren eser elementler meydana getirir. Bunların sağlık yönünden önemi insan dokularında birikime uğramalarından ve muhtemel sinerjik etkilerinden kaynaklanmaktadır. Havadan solunum yolu ile alınan partiküllere ek olarak, yenilen yiyecekler, içilen su aracılığı ile de önemli miktarda metalik partiküler maddeler vücuda alınmaktadır.

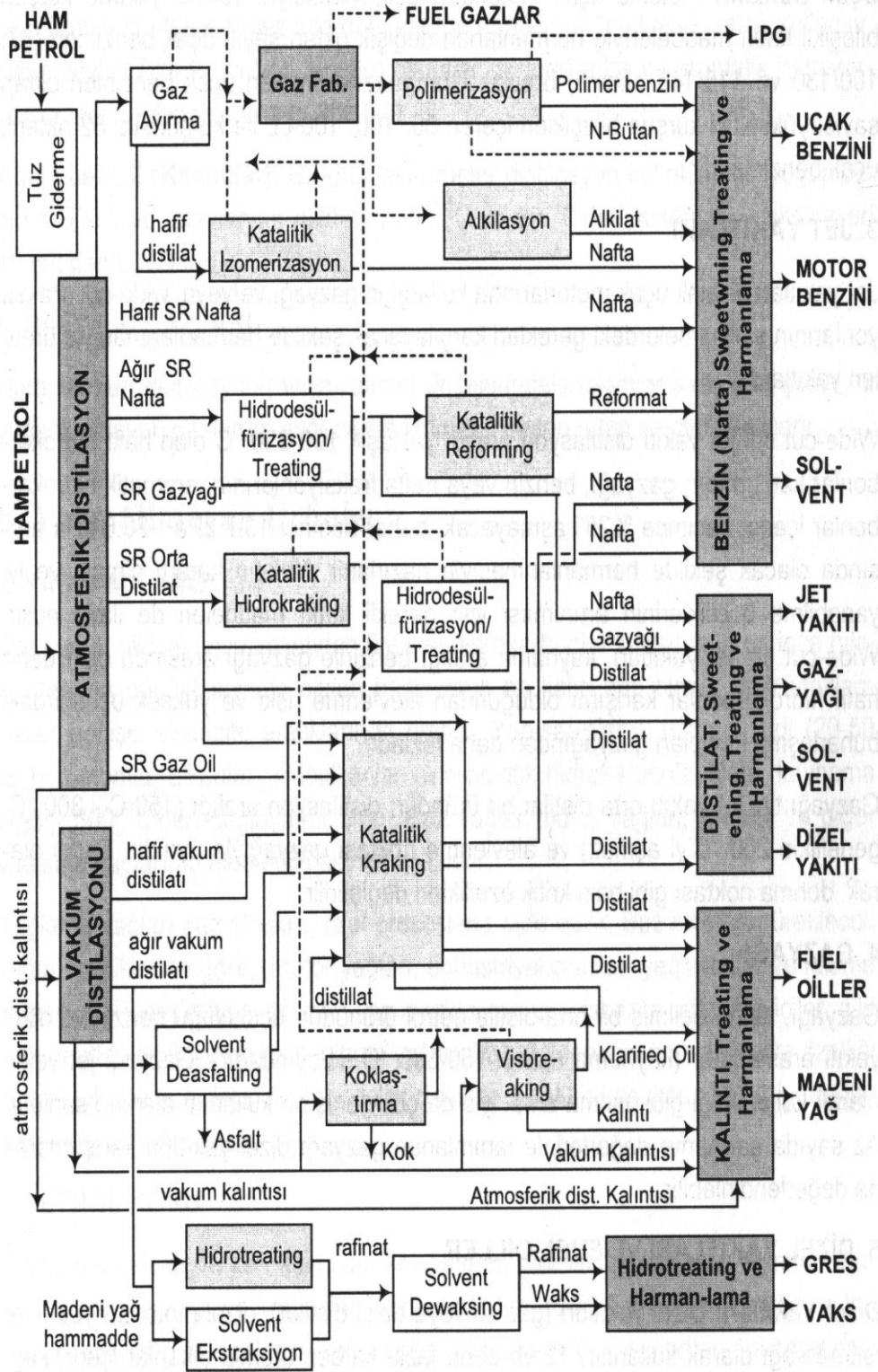
Atmosfer kirliliğinin bir bölümünü oluşturan metaller; fosil yakıtların yanması, endüstriyel işlemler, metal içerikli ürünlerin insineratörlerde yakılması sonucunda ortama yayılırlar.

İnsan sağlığını geniş çapta olumsuz yönde etkileyen metaller arasında atmosferde yaygın olarak bulunan; Kurşun, Kadmiyum, Nikel, Civa metalleri ve asbest önem taşımaktadır. Diğer metallerin bir kısmı insan yaşamında temel yönden önem taşır,

diğer bir kısmının konsantrasyonu ise insan sağlığını tehdit edecek boyutta olmadığından önem göstermez. Belirli limitlerin dışında bulunabilecek her türlü metal, insan sağlığı üzerinde toksik etki gösterir [24].

3.3. Emisyonların Proses Kaynakları

Rafineri prosesi ile ilgili hangi prosesin hangi işlemleri yaptığı ve bu işlem sonucunda hangi emisyonların ortaya çıktığı Şekil 3.1. gösterilen şekil üzerinden detaylandırılacaktır.



Şekil 3.1. Rafineri proses akım şeması [3]

3.3.1. Atmosferik distilasyon ünitesi

Distilasyon; bir sıvı karışımın ısıtılarak içindeki bileşenlerin kaynama noktaları farkına göre ayrılması işlemidir. Ham petrol çok çeşitli molekül ağırlığı ve kaynama noktasına sahip hidrokarbonların bir araya gelmesinden meydana gelmiş bir karışımdır. Bu şekilde karışımdaki hidrokarbonların farklı kaynama noktalarına sahip olması distilasyonla ayrılmasındaki fark çok küçük olduğundan hidrokarbonları saf olarak ayırmak mümkün değildir. Bunun için belirli bir kaynama sıcaklığına sahip olan kısımlar ayrılmaktadır. Bu işleme *fraksiyonlama* denir [25].

Boru hatları ile gelen ham petrol tuzu giderilerek ham petrol tanklarına alınır ve farklı fraksiyonlara sahip olan hidrokarbonlar atmosferik distilasyona gönderilmeden önce fuel oil ve rafineri gazı kullanılan fırınlarda 330 ile 360 °C ye kadar ısıtılır. Şayet bu sıcaklık 360 °C nin üzerine çıkarsa istenmeyen parçalanmalar olabilir. Isıtılan ham petrol dikey şekilde olan atmosferik damıtma ünitesine verilir ve kulede yükseldikçe ısısı düşer. Daha sonra soğuması gerçekleşir. Kuleden aşağıdan yukarıya doğru gidildikçe yağlama yağı, ısıtma yağı, gazyağı, benzin ve yoğunlaşmayan gazlar çekilir. Dip kalıntısı da vakum damıtma ünitesine verilir. Burada fırında yanma sonucu CO, NO_x, SO₂, toz, VOC ve ağır metaller gibi emisyonlar oluşmaktadır. Tablo.3.1. Atmosferik damıtma prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo.3.2. Atmosferik damıtma prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Hammadde	Tuz giderme ünitesi	Damıtma (Atmosferik distilasyon)	Gazlar	Gaz Prosesine	CO
			Naftalar (Hafif Benzin)	Reforming, Treading	NO _x
			Gazyağı, distilatlar	Treading	SO ₂
			Gaz oil	Katalitik kraking	Toz
			Dip Kalıntısı	Vakum distilasyonu Vibreaker	VOC Ağır metaller

3.2.2.Vakum distilasyon ünitesi

Ham petrolün 360°C'nin üzerinde kaynayan kısımların atmosferik basınç altında distilasyona tabii tutulması yüksek sıcaklıktan dolayı ürünlerin bozulmasına neden olmaktadır. Bunun için bu basıncı vakum altında distilasyona tabii tutulur. Üzerindeki basınç vakum yapılarak düşürülmüş bir sıvının kaynama noktası da düşeceğinden sıvı daha düşük bir sıcaklıkta kaynamaktadır. Bu şekilde atmosferik distilasyonla ayrıştırılamayan (yüksek sıcaklıktan dolayı kraking ve koklaşmaya neden uğruyor) kısımlar vakum distilasyon ile ayrıştırılıyor [25].

Ham petrolün atmosferik distilasyonu ve karbon siyah ünitesi sonucu dip ürün olarak ortaya çıkan kalıntı alınarak vakum distilasyonu yapılır. Petrolün damıtılmasında sıcaklık sınırlayıcı bir faktör olduğundan dolayı yüksek sıcaklıklarda bazı maddeler bozulabilir. Bu yüzden çok yüksek sıcaklıklarda kaynayan ve ısı ile bozulabilen maddeleri ayırmak için vakum damıtması uygulanır. Burada basınça bağlı olarak işlem yapılır. Basınç azaldıkça kaynama noktası düşer. Vakum şartlarında destilasyona tabii tutmak, hafifi ve ağır gaz oil veya asfalt üretmektir. Burada borulu fırın kullanılmaktadır. Fırında fuel oil ve rafineri gazının yanması sonucu CO, NO_x, SO₂, toz, VOC ve ağır metaller gibi emisyonlar oluşmaktadır. Tablo 3.3. Vakum damıtma prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo 3.3. Vakum damıtma prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Kalıntılar (Dip ürün)	Atmosferik distilasyon, karbon siyah ünitesi	Ayrırma	Gaz oiller	Katalitik kraker	CO
			Yağlar	Hidrotreating, Solvent ekstraksiyon	NO _x SO ₂
			Kalıntı	Deasfalter, Vibreaker, Koklaştırıcı	Toz VOC

3.3.3. Parçalama prosesleri

Ham petrolün basit distilasyonu ile çıkan ürünler gerek miktar ve gerekse tür olarak pazar gereksinimlerini karşılayamaz; bu nedenle, ilave rafineri prosesleriyle hidrokarbonların moleküler yapıları değiştirilerek istenilen ürün karışımları elde edilir. Bu proseslerden kriting ağır ve yüksek kaynama noktalı petrol fraksiyonlarını, daha değerli ürünlere (benzin, fuel oiller ve gaz oiller gibi) dönüştürmek için uygulanan parçalama veya kırma prosesidir. Parçalama proseslerinde temel amaç ağır hidrokarbonlardan piyasa talebi daha yüksek olan hafif kesimlerin üretilmesidir [3].

Parçalama teknolojisi başlıca üç bölümde incelenir; Isıl parçalama, katalitik parçalama ve hidrokratingdir. Ancak burada Şekil 3.1.de belirtilen proses akım şeması üzerinde bulunan proseslerle ilgili açıklamalar yapılacaktır.

3.3.4.Hidrotreating /Hidrodesülfürizasyon

Hidrojen gazı ile yapılan katalitik süreçtir. Reaksiyon koşulları daha ağırdır ve moleküller büyüklüklerde önemli küçülmeler olur. Akışkan katalizörlü kritinge bezir, fakat farklı katalizörler, daha düşük sıcaklıklar, daha yüksek basınç ve hidrojen gazı kullanılır. Bu proste ağır yağlar, benzin ve gazyağı (jet yakıtı) bileşenlerine parçalanır [3]. Bu ünite atmosferik distilasyon ünitesinden gelen ağır nafta, kataliz yardımı ve hidrojen gazı ile birlikte yüksek basınç ve sıcaklıkta reaksiyona tabi tutularak, kükürt, oksijen ve azot gibi istenmeyen yabancı maddelerden arındırılır. Ünite içinde reaksiyona çıkan yakıt gazı, hidrojen sülfür ve LPG, LPG-MEA ünitesine, kükürdü giderilmiş olan temiz nafta ise oktani yükseltmek üzere katalitik reforming ünitesine verilir. Bu proste CO, NO_x, SO₂, Toz, VOC ve H₂S gibi emisyonlar ortaya çıkmaktadır. Tablo 3.4. Hidrotreating/Hidrodesülfürizasyon prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo 3.4. Hidrotreating/Hidrodesülfürizasyon prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Naftalar, distilatlar, acı gaz oil, kalıntılar	Atmosferik ve vakum kulesi, katalitik ve termal kraker	Treating, hidrojenasyon	Nafta	Harmanlama	CO
			Hidrojen	Resaykıl	NO _x
			Distilatlar	Harmanlama	SO ₂
			H ₂ S, amonyak	Sülfür fabrikası, treater	Toz
			Gaz	Gaz fabrikası	VOC
					H ₂ S

3.3.5.Katalitik hidrokraking

Hidrokraking, katalitik kraking ile hidrojenasyonun birleştirdiği iki kademeli bir prosestir; oldukça daha ağır hammadeler, daha çok istenilen ürünlerin elde edilmesi amacıyla hidrojenli ortamda parçalanır. Proseste yüksek basınç ve yüksek sıcaklıklar, bir katalizör ve hidrojen kullanılır. Ağır aromatik hammadde, çok yüksek basınçlarda ve yüksek sıcaklıklarda (750- 1500 °F), özel katalizörlerle hidrojenli bir ortamda daha hafif ürünlere dönüştürülür [3]. Bu proses ağır petrol fraksiyonlarının Hydrocracking (Hidrojenli ortamda parçalama) işlemi ile parçalanarak daha hafif ama ekonomik olarak daha değerli ürünler haline dönüştürüldüğü bir rafineri prosesidir. Hydrocracking reaksiyonları hidrojen atmosferinde yüksek sıcaklık ve basınç altında katalizör etkisi ile oluşmaktadır. Şarj ve hidrojen katalist üzerinden geçerken azotlu bileşikler amonyağa, kükürtlü bileşikler H₂S'e dönüşmekte, hidrokarbonlar ise daha düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonlara parçalanmaktadır. Burada emisyon olarak katalizörün rejenasyonu sırasında karbon monoksit çıkabilir. Ayrıca CO, H₂S, NO_x, SO₂, Toz ve VOC dur. Tablo 3.5. Katalitik Hidrokraking prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo 3.5. Katalitik hidrokraking prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Yüksek akma noktalı hammaddeler, gaz oil, hidrojen	Katalitik kraker, atm, ve vakum distilasyonu, koklaştırıcı, ferormer	Dekompozisyon, hidrojenasyon	Gazyağı, jet yakıtı	Harmanlama	CO
					NO _x
			Gazyağı, Distilatlar	Harmanlama	SO ₂
					Toz
			Resaykıl, reforming gaz	Gaz Fabrikası	VOC
					H ₂ S

3.3.6. Katalitik kraking

Uzun zincirli düşük değerli büyük hidrokarbon moleküllerinin gerekli işlemlere uğratarak bağlarının kırılıp kısa boyutlu ve yüksek değerli küçük hidrokarbonlara dönüşmesi olayına kraking denir. İşlemden önce bağ kırılımı başlıca katalizör yardımı ile sağlandığından ,proses katalitik kraking olarak bilinir[26]. Katalitik kraking, kompleks hidrokarbonları basit moleküllere parçalayarak daha hafif ve daha çok istenen ürünlerin kalite ve miktarlarını artırmak ve kalıntılarını azaltmak amacıyla uygulanır. Bu prosesle hidrokarbon bileşiklerin moleküler yapıları yeniden düzenleyerek ağır hidrokarbon hammaddeler gazyağı, benzin, LPG, ısıtma yağı ve petrokimyasal hammaddeler gibi daha hafif fraksiyonlara dönüşür [3]. Katalitik kraking prosesleri Fluid Katalitik Kraking (FCC), Hareketli Yatak katalitik Kraking ve Termofor Katalitik Kraking olarak üç kısımda incelenebilir. Buradan kaynaklanan emisyonlar CO, H₂S, NO_x, SO₂, Toz ve VOC olarak değerlendirilebiliriz. Tablo 3.6. Katalitik Kraking prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo 3.6. Katalitik kraking prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Gaz oiller, asfalt giderilmiş yağlar	Distilasyon kuleleri, koklaştırıcı, visbreaker, deasfalter	Bozunma, değiştirme	Benzin	Treater harmanlama	CO
			Gazlar	Gaz fabrikası	NOx
			Orta distilatlar	Hydtreater, harmanlama, resaykıl	SO2
			Petrokimyasallar	Petrokimya veya diğerleri	Toz
			Kalıntı	Kalıntı yakıt harmanı	VOC
					H ₂ S

3.3.7. Solvent deasfaltering

Asfaltik maddeler, koklaştırma eğilimleri nedeniyle rafineri proseslerinde istenmeyen maddelerdir. Burada hammadde olarak vakum damıtma ünitesinin dibinden çıkan kalıntı kullanılır. Bu kalıntılar doğrudan propan deasfaltere verilerek asfaltı çöktürülür. Elde edilen asfaltı giderilmiş ürün, ya yağlama yağları baz stokları üretimi için devaksing ünitesine verilir veya distile yakıtlar elde etmek için FCC veya hidrokraker ünitelerine gönderilir [3]. Buradan kaynaklanan emisyonlar CO, NOx, SO₂, Toz ve VOC olarak değerlendirilebiliriz. Tablo 3.7. Solvent Deasfaltering prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo 3.7. Solvent deasfaltering prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Hampetrol kalıntısı, diğer kalıntılar	Atmosferik ve vakum distilasyonu	Treatment	Ağır yağlama yağı	Treating, yağlama yağı harmanlama	CO
			Asfalt	Depolama, satış	NOx
			Asfaltı giderilmiş yağ	Hydrotreating, Katalitik kraker	SO2
					Toz
					VOC

3.3.8. Koklaştırma

Koklaştırma işlemi ağır kalıntıları daha hafif ürünlere ve distillatlara dönüştürme işlemidir. Bu işlem bir termal kraking metoduna dayanır. Koklaşımada kok naftası ve katalitik kraking ham maddesi olan orta ditilat fraksiyonlar elde edilir. Gaz, benzin, gazyağı ve kok oluşur. Burada atmosferik distilasyon kulesinden çıkan kalıntı büyük büyük kok dramlarına transfer edilir. Başlangıçta 900-950 oF kadar ısıtılarak dramlara gönderilir. Dramlardaki kok 24 saat gibi süre belirli basınçta bekletilerek daha ahfif ürünlere dönüşümü sağlanır. Buradan kaynaklanan emisyonlar CO, NO_x, SO₂, Toz ve VOC olarak değerlendirilebiliriz. Tablo 3.8. Koklaştırma prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo.3.8. Koklaştırma prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Kalıntı	Atmosferik distilasyon, Katalitik kraker, çeşitli ürünler, Treatment, gaz fabrikası	Bozunma (Dekompozisyon)	Nafta, Benzin	Distilasyon, harmanlama	CO
					NO _x
			Kok	Yükleme, resaykıl	SO ₂
					Toz
Gaz oil	Katalitik kraker	VOC			

3.3.9. Vibreaking

Damıtma dip ürünün vizkozitesini azaltmak (akıcılığını artırmak) ve akma noktalarını düşürmek için yapılan ılımlı ısı parçalamaya denir. [9] Termal parçalanma prosesidir. Burada atmosferik veya vakum distilasyon kalıntıları, katalizörsüz ortamda ısı olarak parçalanarak gaz, nafta, distillatlar ve düşük vizkoziteli fuel oile dönüştürülür [3]. Buradan kaynaklanan emisyonlar CO, NO_x, SO₂, Toz ve VOC olarak değerlendirilebiliriz. Tablo 3.9'da Vibreaking prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo 3.9. Vibreaking prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Kalıntı	Atmosferik ve vakum distilasyon	Dekompozisyon	Benzin, Distilat	Hidrotreating	CO NO _x
			Buhar	Hidrotreating	SO ₂ Toz
			Gazlar	Gaz fabrikası	VOC

3.3.10. Solvent ekstraksiyon

Birbiri içinde çözünmeyen (ya da kısmen çözünen) iki fazın teması sonucu bir ya da daha fazla bileşkenin bir fazdan diğerine geçişi olayıdır. Bu olay; çoğunlukla bir iyon çiftinin bir fazdan diğer faza geçişi ve kimyasal olarak solvent faza bağlanması şeklindedir. Petrol rafineri proseslerinde karıştırıldıklarında iki faz oluşturan sıvılardan, bu fazlardan birini daha fazla tercih eden maddelerin saflaştırılmasında yararlanılır.

Solvent ekstraksiyonun amacı, korozyonu önleme, birbirini izleyen proseslerde katalizörü koruma ve yağlama yağları ve gres stoklarından doymamışlar, aromatik hidrokarbonları ayırarak son ürünlerin kalitesini yükseltmektir [3]. Buradan kaynaklanan emisyonlar CO, NO_x, SO₂, Toz ve VOC olarak değerlendirilebiliriz. Tablo 3.10’da Solvent Ekstraksiyon prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo.3.10. Solvent ekstraksiyon prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Naftalar, Distilatlar, gazyağı	Atmosferik distilasyon	Treating, harmanlama	Yüksek oktanlı benzin	Depolama	CO NO _x
			Rafineri yakıtlar	Treatment, Harmanlama	SO ₂ Toz
			Harcanmış Kimyasallar		VOC

3.3.11. Solvent devaksing

Genellikle asfaltı giderilmiş kalıntı baz stoklarına uygulanan ve çözünürlük özelliğine dayanan bir fiziksel ayırma yöntemine dayanan bir fiziksel ayırma yöntemidir, bu işlem rafinasyonun her hangi bir aşamasında yapılabilir. Bu sıztemde kullanılan birkaç proses vardır. Bunlar; Hammaddenin bir solventle karıştırılması, Karışımdan vaksın soğutarak (dondurarak) çöktürülmesi, Distilasyon ve buharla sıyırma yöntemi olarak üç proses altında incelenebilir [3]. Buradan kaynaklanan emisyonlar CO, NO_x, SO₂, Toz ve VOC olarak değerlendirilebiliriz. Tablo 3.11'de Solvent Devaksing prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo 3.11. Solvent devaksing prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Yağlama yağı baz stokları	Vakum distilasyonu	Treatment	Vaksız yağlama yağı	Hidrotreating	CO
					NO _x
			Vaks	Hidrotreating	SO ₂
					Toz
			Ağır kimyasallar	Treatment, Resaykıl	VOC

3.3.12. Katalitik izomerizasyon

Küçük moleküllerin birleştirilmesiyle daha büyük hidrokarbon moleküllerinin elde edildiği bir birleşme prosesidir. Hampetrolün distilasyonundan ve kreaking ünitelerinden alınan benzinler yeterli oktan sayısına sahip olmadığından, katalitik reforming ve izomerizasyon prosesiyle yüksek oktanlı benzin fraksiyonları elde edilir [3]. Tablo 3.12. Katalitik İzomerizasyon prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo.3.12. Katalitik izomerizasyon prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
n-Bütan n-Pentan, n-heksan	Çeşitli prosesler	Yeniden düzenleme	İzobütan	Alkilasyon	CO
					NOx
			İzopentan	Harmanlama	SO2
					Toz
			İzoheksan	Harmanlama	VOC
		Gazlar	Gaz fabrikası	H ₂ S	

3.3.13. Polimerizasyon

Petrol endüstrisinde polimerizasyon, aralarında etilen, propilen ve bütülenin de bulunduğu hafif olefin gazlarını yüksek molekül ağırlıklı ve yüksek oktan sayılı hidrokarbonlara dönüştüren süreçtir. Bu reaksiyonda, 200-1200 psi arasındaki basınçlarda, sıcaklıkların 300o ve 450 °F aralığında kontrol edilmesi için , soğutma suyuna ve reaktöre soğuk hammadde enjeksiyonuna gerek vardır.[3] Polimerizasyon da önce ısıtma işlemi daha sonrasında katalitik olarak yapılan polimerleştirme sonunda oktan sayısı yüksek bir benzin elde edilir ve “Polibenzin” olarak adlandırılır [9]. Tablo 3.13’de Polimerizasyon prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo 3.13. Polimerizasyon prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Olefinler	Karakting prosesleri	Unifikasyon (birleştirme)	Yüksek oktan nafta	Benzin harmanlama	CO
					NOx
			Petrokimya hammaddeleri	Petrokimya	SO2
					Toz
		Sıvı petrol gazları	Depolama	VOC	

3.3.14. Alkilasyon

Alkilasyon, düşük molekül ağırlıklı olefinleri bir katalizörün varlığında izobütan ile birleştirme prosesidir. Elde edilen ürüne “alkilat” denir; alkilat tüm motor yakıtları için en iyi harmanlama fraksiyonudur [3]. Tablo 3.14’de Alkilasyon prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo 3.14. Alkilasyon prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Petrol gazı, olefinler, izobütan	Distilasyon veya kraking, katalitik hidrokraking, izomerizasyon	Unifikasyon (Birleştirme)	Yüksek oktanlı benzin	Harmanlama	CO
			n-bütan ve propan	Striper, harmanlama	NO _x
					SO ₂
					Toz
VOC					

3.3.15. Katalitik reforming

Reforming parafinlerin molekül yapılarını karbon sayılarını değiştirmeksizin yeniden düzenleyip içindeki çok dallı izomerlerin sayısını artırarak veya aromatlara dönüştürerek yüksek oktanlı benzin elde etme tekniğidir. Bazen küçük moleküllerin birleştirilmesiyle daha büyük hidrokarbon molekülleri elde edilmesi istenir; bu prosese birleştirme prosesi denir. Katalitik reforming ve izomerizasyon temel birleşme prosesidir. Tablo 3.15’de Katalitik Reforming prosesi ve emisyon göstergeleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

Tablo 3.15. Katalitik reforming prosesi ve emisyon göstergeleri

Hammadde	Geldiği Yer	Prosesler	Meydana Gelen Ürünler	Gönderildiği Yer	Emisyonlar
Desülfürize nafta, Naftince zengin fraksiyon, Straight run nafta	Koklaştırıcı, Hidrokraker, Hidrodesülfürizasyon, atmosferik fraksiyon	Rearrangement, dehidrojenasyon	Yüksek oktanlı benzin	Harmanlama	CO
			Aromatikler	Petrokimyasallar	NO _x
			Hidrojen	Resaykıl, hidroterater	SO ₂
			Gaz	Gaz fabrikası	Toz
					VOC

3.3.15. Claus kükürt ünitesi

Hydrocracker, Desulfurizer, Unifiner, Ünitelerinden reaksiyonlar sonucu oluşan H₂S li (Hidrojen sülfür) gazlar öncelikle GAZ-MEA Ünitesine gönderilmekte, burada MEA (Monoetanolamin) tarafından absorplanan H₂S Claus kükürt ünitesine şarj olarak verilmektedir. Şarj içindeki kükürt claus tipi prosesle önce 3 kademeli reaktörler vasıtasıyla elementel kükürde dönüştürülmektedir. Dönüştürülemeyen kısım ise son yanma (İnsineratör) kısmına gönderilerek atık gaz çıkış sıcaklığı en az 800 °C olacak şekilde yakılmakta ve çıkışta kükürlü hidrojen (H₂S) emisyonu 10 mg/Nm³ değerinin çok altına kadar düşürülebilmektedir. SO₂, VOC, H₂S gibi emisyonlar çıkmaktadır.

3.2.16. İnsineratör bacası

İnsinerator, yakarak yok etme anlamında kullanılan İngilizce kelimedir. Atıkların kontrollü bir biçimde yakılarak imha edilmesinde kullanılan bu yöntem Amerika ve Avrupa'da oldukça yaygındır. Kapasiteleri düşük olduğu gibi şehir çöplüğü yakacak kadar büyük olanları da vardır, yakılan atıklardan elektrik, sıcak su veya buhar elde edilebilir böylece hem atıklar bertaraf edilmiş olup hem de enerji geri kazanılmış olur. Farklı atıklar için farklı tiplerde sistemler mevcuttur. Incinerator aşağıda belirtilen atıkların imhasında kullanılır [37].

Katı atıkları rafine ederek 1200-1400 °C'de zararlı gazları bırakmayan bir sistemdir. Bu sistemde kullanılan enerjinin bir kısmı, ısı geri kazanım donanımı sayesinde geri kazanılır. Sistemde ön ve son yanma hücresi bulunur. Ön yanma hücresinde katı atıklar yakılır, son yanma hücresinde ise ortaya çıkan gazlar yüksek sıcaklıkta yakılırlar. İnsineratörün doğru çalışması bu sistemle olur.

Yanma sonucunda ortaya çıkan zararlı gazlar 800 °C'nin altında yanma yapılması halinde oluşur. İnsineratör otomatik kontrol sayesinde düşük yanma sıcaklıklarına müsaade etmez. Sistemde manuel çalışma olmadığından atık menüsüne uyulduğu takdirde ilk çalışmadaki uygun baca gazı emisyon değerlerini sürekli sabit tutar. İnsineratörde yakılan atıkların %95 imha edilir. % 5 oranındaki atık kül enfekte özelliğini kaybetmiş riski olmayan maddeler içerir. İnsineratör, çevrede ve endüstride oluşan ; Eysel atıklar, tıbbi atıklar, enfekte atıklar, ölü hayvan atıkları, kimyasal atıklar, biyolojik atıklar, diesel, fuel ve diğer petrol atıkları, ambalaj atıkları (Selülozik ve PVC), yanması tehlike oluşturmayan tüm atıkların, çevreyi kirlenmeden yakılarak imhası için tasarlanmıştır. Teknik özellikleri ileriki sayfalarda verilen bu cihaz Türkiye'de ilk kez paket tip (mobil) olarak da tasarlanmış ve imal edilmiştir [38].

Tüpras ve Petkim buhar kazanlarında SO₂ ve partikül madde ile diğer ünitelerde uçucu organik bileşiklerin (VOC) emisyonları önemlidir. Normal işletme sırasında veya arıza durumlarında atılan gazların içinde bulunan VOC emisyonlarının zararının azaltılması için Tüpras'ta 4 adet (hampetrol destilasyon, H₂S, akaryakıt ve makina yağları), Petkim'de 7 adet son yakıcı fleyrlar (insineratör) ve bacaları bulunmaktadır. VOC emisyonları yörede kokudan anlaşılacaktır [39].

Rafineri proseslerindeki emisyonları yukarıda prosese göre inceledikten sonra Tablo 3.16.'de toplu halde görmemiz sağlanmaktadır.

Tablo 3.16. Rafineri emisyon kaynakları

No	Proses Adı	CO	NO _x	SO ₂	Toz	VOC	H ₂ S	Ağır Metaller
1	Atmosferik Distilasyon Ünitesi	X	X	X	X	X		X
2	Vakum Distilasyon Ünitesi	X	X	X	X	X		
3	Hidrotreating /Hidrodesülfürizasyon	X	X	X	X	X	X	
4	Katalitik Hidrokraking	X	X	X	X	X	X	
5	Katalitik Kraking	X	X	X	X	X	X	
6	Solvent Deasfaltering	X	X	X	X	X		
7	Koklaştırma	X	X	X	X	X		
8	Vibreaking	X	X	X	X	X		
9	Solvent Ekstraksiyon	X	X	X	X	X		
10	Solvent Dewaxing	X	X	X	X	X		
11	Katalitik İzomerizasyon	X	X	X	X	X	X	
12	Polimerizasyon	X	X	X	X	X		
13	Alkilasyon	X	X	X	X	X		
14	Katalitik reforming	X	X	X	X	X		
15	Claus Kükürt Ünitesi			X		X	X	

3.4. Küresel Ölçekteki Sorun Olarak Karbondioksit ve Emisyon Envanteri

Hava kirliliği ile ilgili sorunlar başlıca üç kısımda incelenebilir. Birincisi küresel (global) boyuttaki sorunlar, ikincisi bölgesel ölçekteki sorunlar, üçüncü olarakta lokal ölçekteki sorunlar [43].

Birincisi küresel (global) boyuttaki sorunlar; 19. yüzyılın sonlarında kömür, petrol gibi fosil yakıtların enerji üretimi için kullanımının önemli ölçüde artması sonucunda, CO₂, SO₂ ve partikül gibi kirleticilerin atmosferdeki konsantrasyonları da giderek artış göstermiş, bu artış bilhassa 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra, küresel ölçekte CO₂ ve diğer sera gazlarının (metan, kloroflorokarbonlar, vb.) meydana getirdiği sera etkisi ve kloroflorokarbonların ve diğer halokarbonların yol açtığı ozon tabakasının incilmesi, bölgesel ölçekte asit yağmurları, yerel ölçekte ise büyük yerleşim alanları ve sanayi bölgelerinde oluşan hava kirliliği olarak görülmüştür. Fosil yakıtları tüketilmesi sonunda iki asırdan daha az bir zamanda yaklaşık 220 milyar ton karbon atmosfere verilmiştir. İnsan faaliyetleri sonucunda (antropojenik

kaynaklar) meydana gelen hava kirliliğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilecek karbon dioksit'in (CO₂), 19. yüzyılın sonları ile 20. yüzyılın başlarında 280-290 ppm arasında olan konsantrasyonu, eksponansiyel bir artış göstererek yaklaşık 370 ppm'e kadar ulaşmıştır. 21. yüzyılın sonunda yaklaşık 600 trilyon olan fosil yakıt rezervlerinin tümünün kullanılması durumunda, 160 trilyon karbonun ilave olarak atmosfere verileceği tahmin edilmektedir. Yapılan modelleme çalışmalarının (radyasyon-konveksiyon modelleri, global sıcaklık trendleri, polar buzullardaki değişme, vb.) sonuçları, önümüzdeki 50 yıl içinde CO₂ konsantrasyonunun 400 – 600 ppm arasında olacağını göstermektedir ki bu 19. yüzyıl seviyesinin yaklaşık 3 katıdır [41].

IPCC' ye göre, enerji sektöründen kaynaklanan emisyon büyük ölçüde yakıt yanmasını içermektedir. Hemen hemen bütün ülkelerde görülebildiği gibi, enerji sektörü Türkiye' de sera gazları emisyonunda anahtar konumdadır. Toplam CO₂ emisyonunun yaklaşık %90' ı enerji tüketiminden salınmaktadır [42]. Türkiye Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu 2007 Sera Gazı Emisyon Envanterine göre Envanter sonuçlarına göre, 2007 yılında toplam seragazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 372,6 milyon ton (Mt) olarak tahmin edilmiştir. 2007 yılı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı %77 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, ikinci sırayı %9 ile atık bertarafı almaktadır. Tarımsal faaliyetler ve endüstriyel işlemler %7'şer paya sahiptir. CO₂ eşdeğeri olarak 2007 yılı toplam seragazı emisyonu 1990 yılına göre %119 artış göstermiştir. Tablo 3.17'de Toplam seragazı emisyonları (milyon ton CO₂ eşdeğeri), Tablo 3.18'de Sektörlere göre toplam seragazı emisyonları (milyon ton CO₂ eşdeğeri), Tablo 3.19'da Doğrudan seragazı emisyonlarının sektörel dağılımı (%) verilmektedir [44].

Tablo 3.17. Toplam seragazı emisyonları (milyon ton CO₂ eşdeğeri) [44]

	1990	1995	2000	2005	2007
CO ₂	139,59	171,85	223,81	256,43	304,47
CH ₄	29,21	42,54	49,27	49,32	54,38
N ₂ O	1,26	6,33	5,74	3,43	9,65
F Gazları	0	0	1,14	3,24	4,13
Toplam	170,06	220,72	279,96	312,42	372,64

Tablo 3.18. Sektörlere göre toplam seragazi emisyonları (mil/ton CO₂ eşdeğeri) [44]

	1990	1995	2000	2005	2007
Enerji	132,13	160,79	212,55	241,45	288,33
Endüstriyel İşlemler	13,07	21,64	22,23	25,39	26,18
Tarımsal Faaliyetler	18,47	17,97	16,13	15,82	26,28
Atık	6,39	20,31	29,04	29,75	31,85
Toplam	170,06	220,72	279,96	312,42	372,64
1990 yılına göre artış yüzdesi	-	29,8	64,6	83,7	119,1

Tablo 3.19. Doğrudan seragazi emisyonlarının sektörel dağılımı (%) [44]

	1990	1995	2000	2005	2007
CO₂					
Enerji	90,76	90,40	92,52	92,05	92,77
1. Çevrim ve Enerji Sektörü	24,37	27,53	34,31	34,53	35,01
2. Sanayi	26,89	24,43	26,75	26,17	26,28
3. Ulaştırma	18,59	19,10	15,62	15,80	16,75
4. Diğer Sektörler	20,92	19,33	15,83	15,55	14,73
Endüstriyel İşlemler	9,24	9,60	7,48	7,95	7,23
1. Mineral Üretimi	7,96	8,61	7,08	7,54	7,23
2. Kimya Endüstrisi	0,59	0,56	0,07	0,23	0,00
3. Maden Üretimi	0,69	0,44	0,34	0,18	0,00
CH₄					
Enerji	15,18	10,17	8,50	7,88	7,85
A. Yakıt Yanması	10,28	6,78	5,22	4,87	4,47
1. Çevrim ve Enerji Sektörü	0,04	0,04	0,06	0,06	0,07
2. Sanayi	0,22	0,16	0,23	0,26	0,30
3. Ulaştırma	0,24	0,28	0,28	0,25	0,23
4. Diğer Sektörler	9,78	6,30	4,66	4,30	3,87
B. Kaçak Emisyonlar	4,90	3,40	3,28	3,01	3,38
Endüstriyel İşlemler	0,17	0,12	0,10	0,03	0,10
Tarımsal Faaliyetler	62,78	41,96	32,46	31,76	33,48
Atık	21,87	47,75	58,95	60,33	58,56
N₂O					
Enerji	79,02	17,58	22,71	44,11	16,43
1. Çevrim ve Enerji Sektörü	9,19	2,56	4,05	7,13	3,03
2. Sanayi	11,21	2,29	4,07	6,88	2,94
3. Ulaştırma	20,77	5,29	7,16	19,18	6,75
4. Diğer Sektörler	37,85	7,43	7,43	10,92	3,71
Endüstriyel İşlemler	10,19	80,43	74,78	51,28	(*)
Tarımsal Faaliyetler	10,80	1,99	2,51	4,61	83,57⁽¹⁾

(*) 5429 sayılı Kanun gereği gizlilik ilkesine göre istatistiki birim sayısı üçten az olduğu için birimlere ilişkin bilgiler verilememiştir.

(1) Tarımsal faaliyet emisyonlarına, diğer yıllardan farklı olarak tarımsal toprak ve gübre yönetiminden kaynaklanan emisyonlar da dahildir.

Küresel ısınmanın nedeni de dünyamızda sera etkisi yaratan ve sera gazları diye adlandırılan karbon dioksit (CO₂), su buharı (H₂O), azotoksitler (NO_x), metan (CH₄), kükürt hekzaflorit (SF₆), hidroflorokarbon, perflorokarbon ve kloroflorokarbon (CFC) gazları olduğu artık genel kabul görmüş bir gerçektir. Su buharı dışındaki sera gazlarında CO₂'nin payı %50'nin üzerindedir. Fosil kaynakların yanması sonucu ortaya çıkan CO₂'in 2000- 2004 arasındaki katkı payları; Katı yakıtlar (örneğin kömür) %35, Sıvı yakıtlar (örneğin motorin) %36, gaz yakıtlar (örneğin doğal gaz) %20 ve endüstriyel olarak ve kuyularda gaz alevi <%1 dir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu kuruluşunun organize ettiği Devletler Arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) Özel Raporuna göre yılda 0,1 milyon tonun üzerinde emisyon yapan CO₂ kaynaklarının sayısı ve emisyon miktarları Tablo 3.20'de gösterilmiştir [45].

Tablo 3.20. CO₂ kaynaklarının sayısı ve emisyon miktarları [45]

Proses	Emisyon kaynak sayısı	Emisyon (M t CO ₂ /yıl)
Enerji	4.942	10.539
Çimento üretimi	1.175	932
Rafineri	638	798
Demir ve çelik sanayi	269	646
Petrokimyasal	470	379
Petrol ve gaz prosesi	Mevcut değil	50
Biyomass, biyoetanol, biyoenerji	303	91
Diğer kaynaklar	90	33
Toplam	7.887	13.468

Emisyon envanteri havadaki emisyon verilerinin toplanması olarak tanımlanabilir. Bu veriler, kirleticilerin kimyasal yapılarının, ele alınan bölgenin nüfus yoğunluğunu, kirleticilerin dökümünü ve boyutlarını içerebilir. Emisyon envanteri çalışmalarında bilgi toplama ve değerlendirme en önemli adımı teşkil etmektedir. Ölçüm yapmanın çok uzun ve zahmetli olduğu göz önüne alınırsa hava kirliliği çalışmalarında tahmin önemli bir yer tutmaktadır. Bunun için oluşturulacak envantere kullanılmak üzere emisyon faktörleri geliştirilmiştir. Kaynaklara ait kirletici madde emisyonlarını hesaplayabilmek için kaynaklara ait toplanan veriler ve emisyon faktörü beraber kullanılır.

Emisyon faktörü bir sanayinin yıl içindeki üretim faaliyetleri ve kullandığı yakıt türleri göz önüne alınarak tespit edilmiş ortalama emisyonlarını hesaplamaya yarayan; birim ürün, birim hammadde veya birim yakıt başına oluşan kirletici kütlelerini ifade eden katsayılardır. Yakıt tüketimlerinin belirlenmesinde sanayi tesislerinde yapılan anketlerle elde edilen bilgiler ve yapılmış olan emisyon ölçüm sonuçları ile il çevre müdürlükleri, il sağlık müdürlükleri, belediye ve organize sanayi bölge müdürlüklerinden alınan bilgiler kullanılarak yapılmaktadır. Emisyon hesaplamalarında genel eşitlik şöyledir:

$$E = A \times EF \times (1-ER/100) \quad (3.1)$$

Burada:

E =emisyon,

A =aktivite hızı

EF =emisyon faktörü, ve

ER=Emisyon kontrol faktörünü ifade eder.

Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) birçok kirleticiye ve farklı teknolojilere göre emisyon faktörlerini vermektedir. Ayrıca Avrupa'da yaygın olarak kullanılan CORNAIR veri tabanı da mevcuttur. Bir petrol rafinerisinden yukarıda sera gazlarından sadece yakma sistemlerinden ve bazı proseslerden kaynaklanan karbondioksit oluşumu söz konusu olup aşağıda tahmini kullanılan yakıtta göre hesaplamalar yapılmıştır.

Tesiste Doğalgaz kullanımı sonucu oluşan yıllık CO₂ miktarı aşağıdaki gibidir;

Tesisin yıllık yakıt tüketim miktarı	:32.087.880m ³ doğalgaz/yıl
Doğalgaz için emisyon faktörü	: tC/TJ=17,2
Karbon Oksidasyonu	:0.995
Doğalgazın Alt Isıl Değeri	:8.250kcal/m ³ =34.535kj/m ³ =34,53*10 ⁻⁶ TJ/m ³
Toplam Yakıt İçin	:32.087.880 Nm ³ /yıl*(34,53*10 ⁻⁶ TJ/m ³)=1.108 TJ/yıl
CO ₂ Miktarı	:1.108*17.2*0.995*44(CO ₂)/12(C)=69.528 t CO ₂

*1 kcal=4.186 kj 1 kj=10⁻⁹TJ

Tesiste Fuel Oil kullanımı sonucu oluşan yıllık CO₂ miktarı aşağıdaki gibidir;

Tesisin yıllık yakıt tüketim miktarı :290.139.960 kg Fuel Oil /yıl
 Fuel Oil için emisyon faktörü :tC/tj = 21.1
 Karbon Oksidasyonu :0.99
 Fuel Oil Alt Isıl Değeri :9.403 kcal/kg =39.360.958 kJ/kg =39.360.96*10⁶ TJ/kg
 Toplam Yakıt İçin: 290.139.960 kg/yıl*(39.360.96*10⁶ TJ/kg)=11.420 TJ/yıl
 CO₂ Miktarı :11.420*21.1*0.99*44(CO₂)/12(C)=874.692 t CO₂

* 1 kcal=4.186 kJ 1 kJ=10⁻⁹TJ

Tesiste Rafineri Gazı kullanımı sonucu oluşan yıllık CO₂ miktarı aşağıdaki gibidir;

Tesisin yıllık yakıt tüketim miktarı :695.000.880 m³ Rafineri Gazı/yıl
 Rafineri Gazı için emisyon faktörü : tC/tj=17.2
 Karbon Oksidasyonu :0,550
 Rafineri Gazının Alt Isıl Değeri :7349 kcal/m³=30.762.914 kJ/m³=30.762,91*10⁻⁶ TJ/m³
 Toplam Yakıt İçin : 695.000.880 m³/yıl*(30.762,91*10⁻⁶ TJ/m³)=21.380 TJ/yıl
 CO₂ Miktarı :21.380*17,2*0.550*44(CO₂)/12(C)=741.601 t CO₂

* 1 kcal=4.186 kJ 1 kJ=10⁻⁹TJ (Rafineri gazındaki yanabilir karbon oranı % 55 civarındadır.Bu nedenle karbon oksidasyonu 0,550 olarak alınmıştır.)

Tesiste Tail Gazı kullanımı sonucu oluşan yıllık CO₂ miktarı aşağıdaki gibidir;

Tesisin yıllık yakıt tüketim miktarı:195.348.000 m³ Tailgaz/yıl
 Tail gaz için emisyon faktörü: tC/tj = 17.2
 Karbon oksidasyonu :0,212
 Tailgazın Alt Isıl Değeri :1.877kcal/m³=7.857.122 kJ/m³ =7.857,12*10⁻⁶ TJ/m³
 Toplam Yakıt İçin : 195.348.000 Nm³/yıl*(7.857,12*10⁻⁶ TJ/m³)=1.535 TJ/yıl
 CO₂ Miktarı : 1.535*17.2*0,212*44(CO₂)/12(C) =20.523 t CO₂

* 1 kcal=4.186 kJ 1 kJ=10⁻⁹TJ (Tail gazdaki yanabilir karbon oranı %21 civarındadır.Bu nedenle karbon oksidasyonu 0,212 olarak alınmıştır.)

Tesiste Kok kullanımını sonucu oluşan yıllık CO₂ miktarı aşağıdaki gibidir;

Tesisin yıllık yakıt tüketim miktarı:18.247.080 kg Kok/yıl
Kok için emisyon faktörü : tC/tj = 25,8
Karbon oksidasyonu : 0,98
Kokun Alt Isıl Değeri : 7.200 kcal/kg =30.139.200 kJ/kg =30.139,2*10 ⁻⁶ TJ/kg
Toplam Yakıt İçin : 18.247.080 kg/yıl*(30.139,2*10 ⁻⁶ TJ/kg)=550 TJ/yıl
CO ₂ Miktarı :550*25,8*0,98*44(CO ₂)/12(C)=34.513 t CO ₂

* 1 kcal=4.186 kJ 1 kJ=10⁻⁹TJ

Toplam CO₂ miktarı aşağıdaki tabloda verildiği şekildedir ;

Doğalgaz	69.528
Fuel Oil	874.692
Rafineri Gazı	741.601
Tail Gaz	20.553
Kok	34.513
Toplam	1.740.852 Ton CO ₂ /yıl

Rafineri proseslerinden yanmada kullanılan doğalgaz, fuel oil, rafineri gazı, tail gaz ve kok kullanımını sonucu sera gazı emisyonuna katkısı olan CO₂'nin yıllık katkısı 1.740.852 ton CO₂'dir.

BÖLÜM 4. RAFİNERİ KAYNAKLI EMİSYONLARIN GİDERİM YÖNTEMLERİ

Petrol rafinerilerinden kaynaklanan Toz, CO, SO₂, NO_x, HC ve VOC gibi emisyonların giderimi için zaman bağılı olarak çeşitli giderim yöntemleri kullanılmaktadır. Hem emisyon giderimi için, hem de güç üretimi için bir çok teknoloji geliştirilmiştir. Önemli olan alternatif teknolojiler aşağıda sunulmuştur.

4.1. Partiküler Madde (Toz) Giderimi

Toz giderme amacına uygun cihazların geliştirilmesi önemli oranda 1890-1930 yılları arasında, özellikle demir çelik endüstrisinde, gaz temizleme sorunlarının çözümü için gerçekleştirilmiştir. Bu gün çok çeşitli tipleri bilinen ve kullanılan toz gidericiler yukarıda belirtilen zaman aralığına gelişimine göre 4 gruba ayrılmıştır. Bunlar; Kütle etkili toz gidericiler, filtre eden toz gidericiler, elektriksel toz gidericiler ve ıslak çalışan toz gidericiler olarak sınıflandırılabilir [27]. Emisyon kaynaklarından partiküler madde (toz) giderimi için kullanılan yöntemler; siklonlar, elektrostatik filtreler, torba filtreler ve ıslak çöktürücüler olarak 4 grupta incelenebilir.

4.1.1. Siklonlar

Bu tip toz kontrol sistemleri yerçekimi ve merkezkaç kuvvetlerinden faydalanır ve kuru koşullarda her çeşit baca gazına uygulanabilirler. Kütle etkili toz gidericilerde; ağırlık, atalet ve santrifuj kuvvetleri, tek tek yada birlikte gaz içinde dağılmış bulunan tanecikleri etkileyip ayrılmasına neden olur [28]. Ancak performans özellikleri siklonların küçük ve orta ölçekli tesisler için kullanımını kısıtlamaktadır. Diğer toz kontrol metotlarıyla bir arada kullanıldığı zaman sadece bir ön toplama tekniğidir. Siklonlar tek kullanıldığı gibi, birçok siklonun bir arada kullanıldığı sistemler de mevcuttur. Bunlara “Mekanik Ayırıcı” da denir. Mekanik ayırıcı bir dizi

siklondan oluşur. Arıtılacak gaz uygun bir şekilde dizayn edilmiş bölmeler yoluyla siklonlar arasında paylaştırılır. Partikül madde veya toz içeren gaz, siklona tanjant pozisyonundaki giriş borusundan girer. Gaz ve toz tanecikleri bu girişten dolayı santrifüj kuvveti etkisinde kalırlar. Santrifüje uğramış toz, siklonların duvarlarına çarparak hız kaybeder ve duvar çevresinde toplanır. Toplanan toz duvar boyunca yerçekimi etkisi altında siklonun alt kısmına, yani toz haznesine doğru düşer. Her siklonun merkezinde dip kısmı açık bir boru vardır. Tozundan arınmış gazlar, merkezdeki bu boru vasıtası ile temiz hava bölmesinde toplanır ve daha sonra taşıma kanallarının içine akar veya atmosfere verilir [29].

Siklonlar ince tozu tutamaz, bu sebeple verimleri % 85-90 ile sınırlıdır. 5-10 mikrondan büyük partikül tutma verimi % 100'e yakındır. 1 mikrona yaklaşan boyutlarda da tutma gerçekleşir ancak verim oldukça düşer. Mekanik ayırıcılar, partikül kontrol sistemleri arasında en düşük yatırım maliyetine sahiptir. Siklonlar uçucu kül kontrolünde tek başına kullanılamayacağından yatırım maliyeti hesaplanırken siklonların diğer kontrol teknikleri ile beraber düşünülmesi gereklidir. İşletme maliyetleri, toplanan külün pnömatisik veya hidrolik taşınması için gerekli olan enerjiyi ve baca gazı basınç kaybını karşılamak için gerekli olan elektrik gücünü de içermelidir. Siklonların bakım maliyeti düşüktür. Kullanım ömrü, yüksek aşınma riski yüzünden azalabilir.[29] Kısaca bu tip toz gidericilerde gaz içinde dağılmış toz kütleli kuvvetler (ağırlık, atalet ve santrifüj) yardımıyla gazdan kuru olarak ayrılması işlemidir [27].

4.1.2. Elektrostatik filtreler

Elektrostatik filtreler büyük yakma tesislerinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır ve geniş sıcaklık, basınç ve toz yükü aralıklarında çalıştırılmaya uygundur. Özellikle partikül boyutuna duyarlı değildir ve tozu hem kuru, hem ıslak koşullarda toplayabilir [29].

İşlevleri fiziksel ve kimyasal etkilere çok bağlıdır. Çok genel olarak elektriksel toz gidericilerde çok ince tozların da tutunabildiği ve çok yüksek ayırma verimi elde edilebileceği söylenebilir [30].

Elektrostatik filtre, metalden yapılmış bir dizi levhanın belli aralıkla (yaklaşık 10 cm) dikey olarak dizildiği ve levhalar arasında oluşan geçitlerden de tozlu gazın aktığı bir kutudan meydana gelir. Levhalar arasındaki geçidin ortasına yüksek voltaj taşıyan elektrotlar yerleştirilmiştir. Yüksek voltajdan (40-50 KV) dolayı elektrod etrafında ve elektrotlar boyunca bir elektrik alanı oluşur. Yüksek voltaj taşıyan elektrotlar katot, topraklanmış olan levhalar da anot görevini görür. Uygulanan voltaj, gaz moleküllerini iyonize edecek kadar yüksektir. Gazın levhalar arasında geçişi esnasında yüklü iyonlar çarpışır ve uçuşan kül parçacıklarına, yani toz taneciklerine yapışırlar. Kül tanecikleri de negatif olarak yüklenir ve anoda, yani levhalara doğru hareket ederler. Levhaların yüzeyinde toplanan partiküller periyodik olarak bir silme sistemiyle alt tarafa düşürülür ve kül haznesine gönderilir.

Partiküller gaz akımından dört basamakta ayrılırlar:

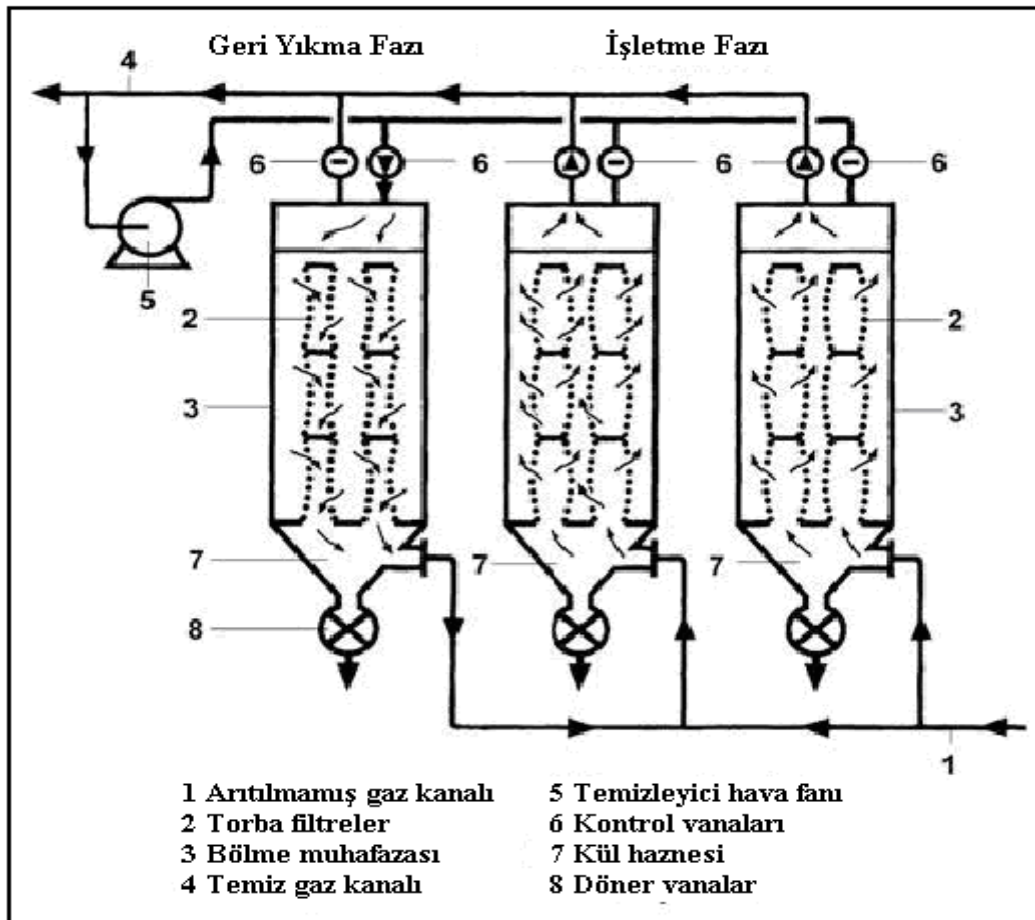
- Partiküllerin negatif elektrikle yüklenmesi,
- Elektrik yüklü partiküllerin pozitif anoda doğru hareket etmesi,
- Tozun anot (levhalar) üzerinde tutulması (toplanması),
- Tozun alt taraftaki toz haznesine dökülmesi.

Elektrostatik filtrelerin ilk yatırım maliyeti, kullanılan yakıtı göre torba filtreler veya diğer kontrol tekniklerinden daha düşük veya daha yüksek olabilir. Fakat işletim maliyetleri diğer tekniklere göre daha düşüktür ve uçucu küllerin farklı özelliklerine göre değişebilir. Elektrostatik filtrenin toz toplama verimi çok yüksektir (%99,9'un üzeri). Ayrıca basınç kaybı oldukça düşük, yapımı da basittir [29].

4.1.3. Torba filtreler

Gaz içinde dağılmış toz tanecikleri gaz-toz karışımı yeterli geçirgenliği olan bir tabakadan emilerek yada basılarak geçirilirse, güvenilir bir şekilde ve ileri derecede tutulur. Bu tip toz giderme çok farklı cihazlarda gerçekleştirilebilir. Pratik olarak da daha çok filtre bezli ve dolgu tabakalı toz gidericilerin önemi vardır [31].

Torba filtreler, endüstriyel tesislerden ve daha küçük yakma tesislerinden çıkan baca gazlarında bulunan partiküllerin giderimin de dünya çapında yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Ancak günümüzdeki eğilim, bu teknolojinin daha büyük çaplı tesislerde de kullanılmasına yöneliktir. Bir torba filtre ünitesi, kumaştan torba şeklinde yapılmış, alt tarafı açık, üst tarafı kapalı olan filtrelerin bir metal kabin içinde sıralanmasından meydana gelir. Torba filtrelerin genel şekli şematik olarak Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Torba filtre üniteleri[29]

Şekilde en sağdaki iki ünite partiküllerin toplanmasını, en soldaki tek ünite de toplanan partiküllerin torba yüzeylerinden temizlenmesini göstermektedir. Partikül yüklü gaz, öncelikle ünitenin alt kısmından girer, torbaların içine doğru akar ve torbanın yapıldığı kumaş malzemenin gözeneklerinden geçer. Taşıdığı partikül

maddeler kumaş torbanın iç kısmında kalır. Dış kısmına ise temiz gaz geçer. Temiz gaz akımı ünitenin üst kısmında toplanır ve daha sonra atmosfere atılır.

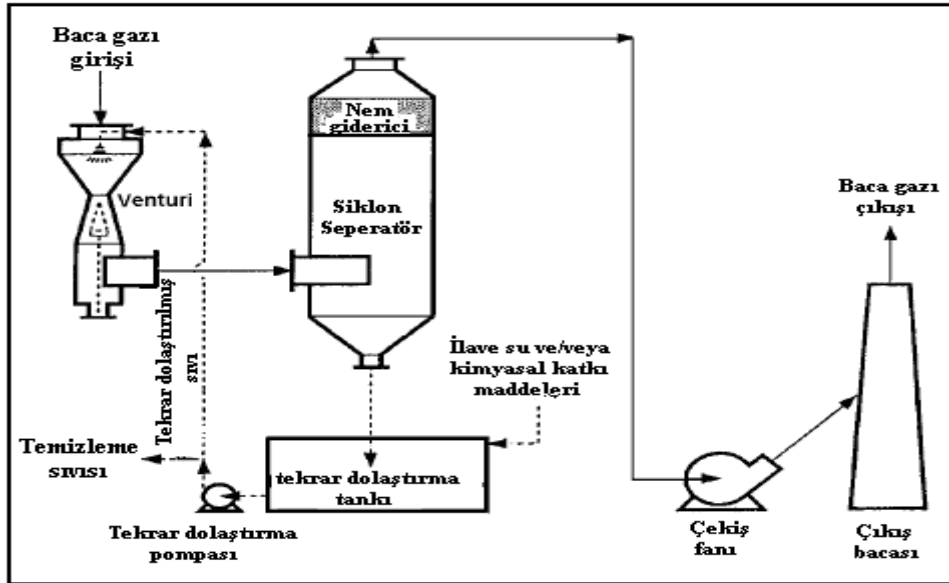
Torbalar temizleneceği zaman temiz gazdan alınan bir miktar basınçlı gaz, bu kez ters yönde torbaların dışından içine doğru verilir. Torbaların içinden dökülen partiküller, ünitenin alt tarafından toplanarak alınır.

Torba malzemesi seçiminde temizlenecek gazın içeriği, gazın sıcaklığı, partiküllerin boyutu ve nitelikleri, uygulanacak temizleme metodu, hedeflenen verim, ekonomi ve eğer varsa gaz soğutma metodu göz önünde bulundurulur. Sentetik filtre kumaşları, geniş uygulama alanlarında filtre malzemesi olarak kullanılabilen ve filtrenin ömrünü uzatmaktadır. Günümüzde yüksek basınç ve aşındırıcı koşullara dayanabilecek modern filtre materyalleri de geliştirilmiştir.

Torba filtrelerde bazı yakıtların yanmasından oluşan baca gazının temizlenmesi sırasında prosesi güçleştiren tıkanma problemleri görülebilir. Genellikle tıkanma problemleri yağ yakıldığında meydana gelir. Filtre materyali genellikle kül ve gaz sıcaklığına duyarlı olduğu için, kirli gaz içindeki yanmamış karbon ve sıcak uçucu kül tanecikleri filtre materyaline zarar verebilir. Ayrıca, zaman içinde filtre kumaşında yarıklar olabilir. Bunların işletim esnasında tespit edilmesi zordur. Bu yarıklardan partiküller geçebildiği için toz emisyonlarını artırır. Böyle durumlarda, eğer sistem birimlere ayrılmış ve her birim izole edilmiş ise, tüm sistemi kapatmadan bakım mümkün olabilir ve yırtık olan ve yarık açılmış torbalar değiştirilebilir. Torbaların her 2-5 yıl arasında bir sürede değiştirilme zorunluluğundan dolayı torba filtrelerin bakım maliyetleri pahalıdır. Torbaları değiştirmenin minimum bedeli, yatırım maliyetinin yaklaşık olarak % 10'u kadardır. Torba filtreler % 100'e yaklaşan partikül toplama verimlerine ulaşabilirler. Yüksek küllü ya da kükürt içerikli kömürler için filtrenin ömrü, artan temizleme sıklığından ve SO₃ korozyonundan dolayı kısalmıştır. Ayrıca elektrostatik çöktürücü ile kıyaslandığında basınç düşmesi ve işletim maliyeti daha yüksektir [29].

4.1.4. Islak çöktürücüler

Gazlardan tozların ıslatılarak uzaklaştırılması en yaygın toz giderme yöntemidir ve yüz yıldan fazla süredir çok çeşitli tipleri kullanılmaktadır [27]. Partikül emisyonlarının kontrolünde ıslak çöktürücüler yıllardır kullanılmaktadır. Islak çöktürücüler yüksek basınç düşüşlerine ve işletme maliyetine rağmen, elektrostatik çöktürücülere ve torba filtrelere göre yatırım maliyetleri daha düşük olduğundan endüstriyel ölçekli kullanım için çekici olmaktadır. Islak çöktürme sırasında baca gazı soğutulur ve atmosfere bırakılmadan önce baca gazının tekrar ısıtılması gerekir. Bu da daha fazla enerji sarfiyatına neden olur. Bu işletim maliyetlerinin kısmen yüksek olması yüzünden ıslak çöktürücülerin kullanımı son zamanlarda azalmıştır. Buna rağmen ıslak çöktürücüler, entegre gazlaştırma kombine çevrimi ve basınçlı akışkan yatakta yakma gibi bazı yüksek sıcaklık ve basınçlı yakma uygulamalarında kullanılmaktadır. Venturi yıkayıcıları en yaygın olarak kullanılan ıslak çöktürücüdür. Yıkayıcı sıvı Şekil 4.2’de görüldüğü gibi eşit bir şekilde venturinin üst bölümünden dağıtılır. Baca gazının bu şekilde ıslatılması, küçük partiküllerin daha büyük ve ağır damlaların içinde toplanmasına yol açmaktadır. Böylelikle bu damlalar seperatörün içinde kolayca tutulabilmektedir. EK-C’de partikül kontrol sistemlerinin avantaj ve dezavantajlarını gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Venturi sistemi akış şeması [29]

4.2. SO_x Kontrol Sistemleri

Kükürt oksitleri, fosil yakıtların yanması sonucunda yakıt içinde bulunan kükürtün oksitlenmesiyle oluşmaktadır. Baca gazından kükürt oksitlerini (başlıca SO₂ gazını) giderme yöntemleri 1970'lerden itibaren kullanılmaya başlanmış, ilk olarak ABD ve Japonya'da, daha sonra 1980'lerin başında Avrupa'da kullanılmıştır. Günümüzde fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan SO₂ emisyonlarını kontrol etmek için kullanılan birçok yöntem vardır.[29] Yaklaşık olarak SO₂ emisyonlarının %80'i fosil yakıt yanmasından kaynaklanmaktadır [32]. Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır

1) Kükürt oksit emisyonlarını azaltmak için alınacak öncelikli tedbirler

1.1) Düşük kükürtlü yakıt kullanımı

1.2) Akışkan yataklı yakma sistemlerinde adsorban kullanımı

2) Kükürt oksit emisyonlarını azaltmak için alınacak ikincil tedbirler

2.1) Islak sistemler

2.1.1) Kireç/kireçtaşı kullanılan prosesler

2.1.2) Deniz suyu kullanılan prosesler

2.1.3) Magnezum kullanılan prosesler

2.1.4) Amonyak kullanılan prosesler

2.2) Püskürtmeli kuru sistemler

2.3) Sorbent enjeksiyonu

2.3.1) Kazana sorbent enjekte edilmesi

2.3.2) Kanala sorbent enjekte edilmesi (kuru BGD)

2.3.3) Hibrid sorbent enjeksiyonu

2.3.4) Dolaşımli akışkan yatak (DAY) kullanılması

2.4) Rejenere edilebilir prosesler

2.4.1) Sodyum sülfid bisülfid prosesi

2.4.2) Magnezyum oksit prosesi

Kükürt oksit emisyonlarını azaltmak için alınacak öncelikli tedbirlerolarak yakıtların kükürt içeriğinin azaltılması, gaz temizlemeye göre daha pratik ve ekonomik görünmektedir. Özellikle gaz arıtma sistemlerinin uygulanmasının teknolojik ve

ekonomik yönden mümkün olmadığı küçük ve orta kapasiteli yakma tesislerinde yakıtın kalitesini iyileştirmek suretiyle yapılacak kirlenme kontrolü oldukça pratiktir.

SO₂ emisyonunun kontrolünün en kolay yolu, düşük kükürtlü veya kükürtsüz yakıtların kullanılmasıdır. Kükürtlü yakıt yakan sistemlerin kükürtsüz yakıt yakan sistemlere dönüştürülmesi, yakma sistemlerinin ve kazanlarının yeniden düzenlenmesini gerektirir.

Kükürt oksit emisyonlarını azaltmak için alınacak ikincil tedbirlerden en önemli olanlar ve piyasada yaygın olarak kullanılanlar aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4.2.1. Islak sistemler

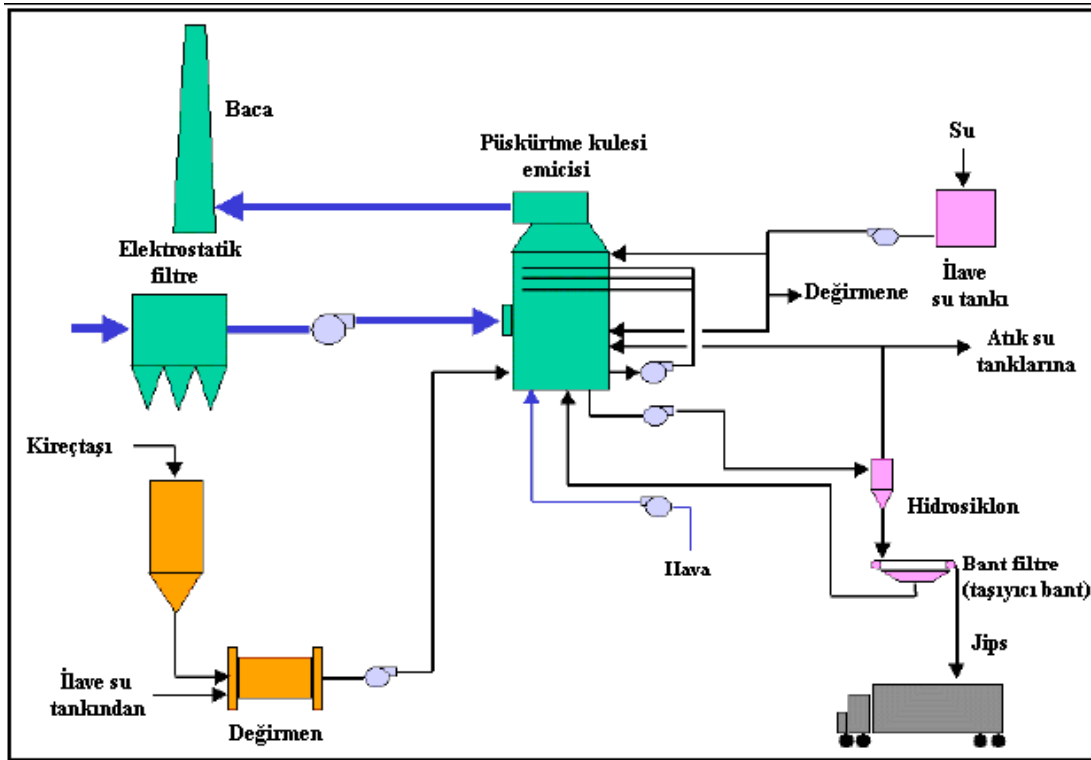
Günümüzde birazda geçmişten kalma alışkanlık ve mevcut yatırımları koruma isteği dolayısıyla hala en çok kullanılan yöntemdir. En çok kullanılan şekilde kireç veya kireçtaşı ile SO₂ bir su ile yıkama reaktöründe karşılaştırılır. Bu yöntem öğütülerek suya karıştırılan kireçtaşının aslında çok az olan çözünürlüğe dayanır [33].

Islak çöktürücüler, özellikle kireçtaşı-jips(alçıtaşı) prosesini en çok kullanan Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) teknolojileridir. Yüksek SO₂ giderim verimi ve güvenilir olmalarından dolayı piyasada kullanılan teknolojilerin %80'ini oluştururlar ve termik santrallerde kullanılırlar. Birçok ülkede çok ucuz ve bolca mevcut olduğundan sorbent olarak çoğunlukla kireçtaşı kullanılır. Yan ürünler oksitleme şekline göre jips ya da kalsiyum sülfat/sülfid karışımı olabilir. Eğer jips (alçıtaşı) satılabilirse toplam işletme maliyeti düşürülebilir [29].

4.2.1.1. Kireç/Kireçtaşı kullanan prosesler

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan BGD sistemleri, kireç/kireçtaşı kullanan sistemlerdir. Bu sistemler, piyasada % 80'lik bir paya sahiptir. Kireç/kireçtaşı kullanan ıslak sistemin akım şeması Şekil 4.3'te verilmiştir. Daha eski tesislerde kireçtaşı yerine SO₂ ile daha iyi reaksiyona girmesinden dolayı kireç kullanılmaktaydı. Ancak, kirecin elde edilmesi için gerekli kalsinasyon işlemi, enerji

gerektiren, pahalı ve zaman alan bir işlem olduğundan halen proste kireç yerine kireçtaşı kullanılmaktadır. Buna rağmen bazı durumlarda jips kullanıcılarının beyaz jips elde etme isteği üzerine BGD tesisinde kireç kullanılmaktadır. Her koşulda kireçtaşı, hemen hemen kireçle aynı SO_2 giderimini sağlamaktadır. Kireçtaşı reaktivitesinin BGD sisteminin verimliliği üzerinde de önemli bir etkisi vardır. Buna rağmen günümüzde reaktiviteleri test etmek için standart bir metod yoktur. Magnezyumla zenginleştirilmiş kireç de ayrıca sorbent olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.3. Kireç/kireçtaşı kullanan BGD prosesinin akım şeması

Elektrostatik filtreden partiküllerinden temizlenmiş olarak çıkan baca gazı, genellikle ısı değiştiriciden geçer ve SO_2 'nin kireçtaşı süspansiyonu (% 95'den fazlası $CaCO_3$) ile doğrudan teması yoluyla giderildiği BGD absorpsiyon kulesine girer. Absorpsiyon kulesine sürekli olarak taze kireçtaşı/su çözeltisi (çamuru) takviye edilir. Yıkılmış ve SO_2 'den temizlenmiş gaz mist gidericiden geçer ve bir bacadan ya da soğutma kulesinden atmosfere bırakılır. Reaksiyon ürünleri absorpsiyon kulesinin dibinden alınır, süzme, filtreleme ve presleme gibi diğer süreçlerden

geçirilerek depolama alanına gönderilir . Eğer jips elde edildiyse bu jips pazarda inşaat malzemesi olarak satılabilir [29].

Islan DeSOx sistemlerinden atık su çıkar, kullanılan su kısmen geri çevrilse bile içeriği sakıncalı iyonların giderek birikmesi yüzünden bir süre sonra atılması gerekecektir. Suyun tam olarak geri çevrilmesi sistem dengesinin marjinalliği v pH aralıklarının darlığı yüzünden mümkün değildir. Yapısı nedeniyle bu atıksuyun arıtılmaya ihtiyacı vardır. Ayrıca yakıttan ileri gelen ağır metal ve klorürler de suyun kalitesini sürekli bozmakla, bu da kireçtaşının çözünürlüğünü etkileyerek pH ayarını bozmaktadır [33].

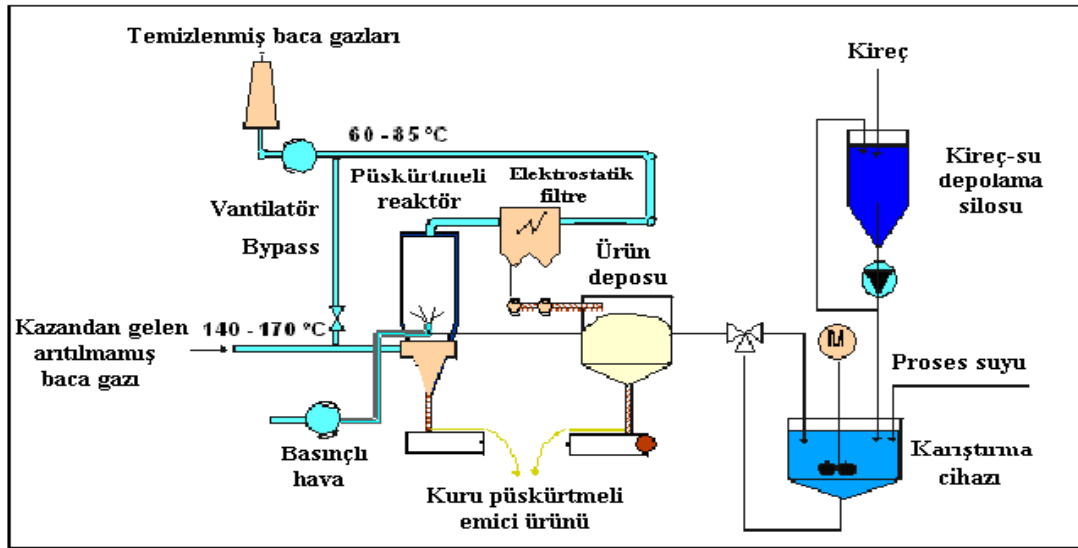
4.2.2. Püskürtmeli kuru sistemler

Dünya çapında uygulanan BGD sistemleri içinde “püskürtmeli kuru sistemler” ıslak sistemlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Bu tür BGD’lerde SO₂’yi baca gazından ayırmak için kireç çamuru kullanılır. Bu teknoloji olgunlaştıkça SO₂ giderme verimliliği ve işletme güvenilirliği tamamıyla geliştirilmiştir. Püskürtmeli kuru sistemler genellikle daha düşük yatırım maliyetleriyle nitelendirilir ancak temel olarak daha pahalı bir sorbent olan kireç kullanımı nedeniyle, “püskürtmeli kuru sistemler” in işletme maliyetleri ıslak sistemlerden daha yüksektir. Püskürtmeli kuru sistemler çoğunlukla düşük ve orta kükürtlü (% 1.5) kömür kullanan, nispeten küçük ve orta kapasiteli kazanlar için kullanılır. Proses sonunda ticari olarak pek kullanılmayan kalsiyum sülfat, kalsiyum sülfat ve uçucu kül karışımı kalır. Bazı sistemler uçucu külü ayrı toplamak için püskürtmeli kuru sistemden önce bir partikül kontrol cihazı kullanmaktadırlar [29].

Kuru absorbentlerle yeteri kadar verim elde edilememesi ve karşılaşılan çeşitli problemleri nedeniyle püskürtmeli kurutma prosesleri geliştirilmiştir. Burada absorbent bir nozuldan püskürtülür ve damlacık gazın sıcaklığı ile evapore olup kuruyuncaya kadar çözelti halindedir. Bu nedenle kuru enjeksiyon proseslerine nazaran absorbentin temas süresi daha fazladır ve bu prosesle daha yüksek verim elde edilmektedir [34]. Ticari kullanımda yarı-kuru sistemlerin başarıları genelde % 90

olarak alınmaktadır. Bazı firmalar özel olarak geliştirdikleri proseslerin % 95'ten yukarı DeSOx verimiyle çalıştığını savunmaktadırlar [33].

Şekil 4.4. gösterildiği gibi sistem temel olarak püskürtmeli kuru emici; elektrostatik çöktürücü ya da torba filtre gibi bir partikül kontrol ve reaksiyon ürünleri için geri dönüşüm bertaraf aygıtları içerir. Çeşitli püskürtmeli kuru çöktürücü sistemleri halen ticari olarak işletilmektedir. Bu sistemler; kurulum, birleşenler ve kullanılan sorbent açısından birbirlerine benzerler ancak tek fark püskürtmeli kuru emicinin içinde kullanılan kireç çamuru dağıtma sistemidir.



Şekil 4.4. Püskürtmeli kuru çöktürücü sistemi akım şeması

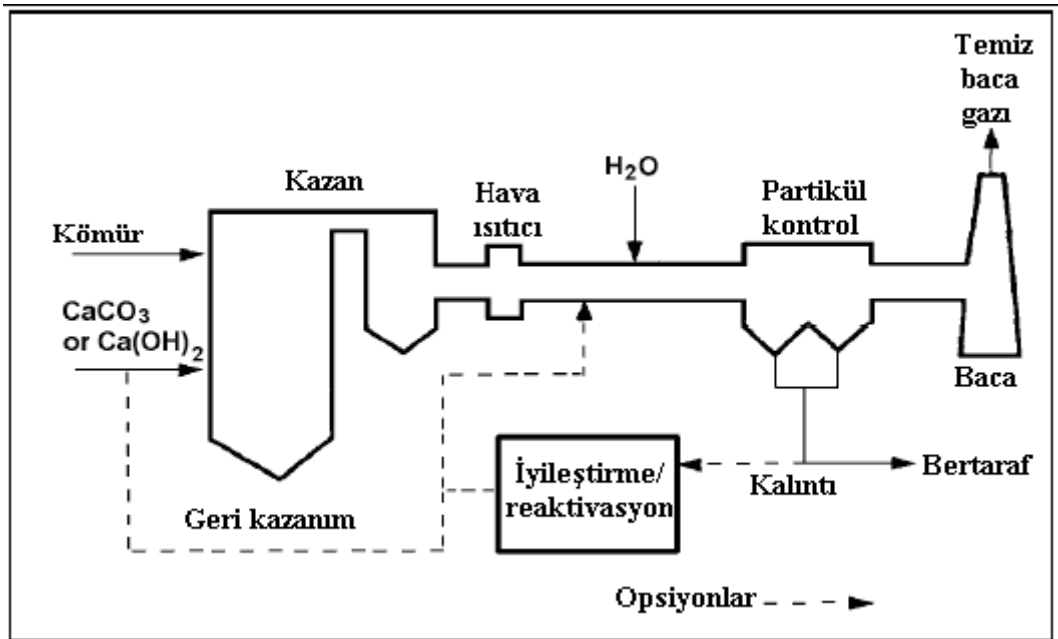
4.2.3. Sorbent enjeksiyonu

4.2.3.1. Kazana sorbent enjeksiyonu

Yakıtta yapılacak eklemelerden sonra düşünülebilecek en basit DeSOx yöntemi fırında enjeksiyondur. Bunda fırının üst kısmına, yani SO₂ gazının en çok bulunduğu yere, kuru sorbent enjekte edilir. Çok ince öğütülen sorbent hızla asidik gaz molekülleri ile reaksiyona girerek 750-1250 °C sıcaklıktaki bu bölgede kalsiyum sülfid ve sülfat oluşturur. Ortam sıcaklığı CaCO₃ kullanımına elverişli olup, kireçtaşının bu

sıcaklıkta hızla CO_2 vermesi, yani kalsine olması ile meydana gelen aktif CaO tanecikleri yüksek verimli DeSOx reaksiyonu verir [33].

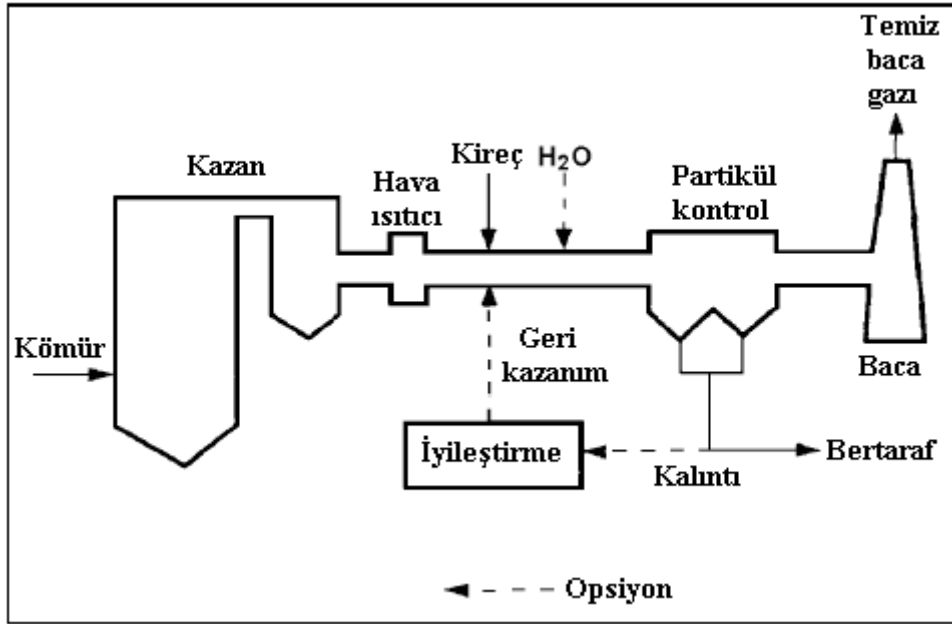
Kazana sorbent enjeksiyonu, kuru bir sorbentin kazandaki gaz akımına sorbentin doğrudan enjeksiyonunu içerir. Şekil 4.5’de tipik sorbentler pulverize kireçtaşı (CaCO_3) ve dolomittir. Kazandaki ısı, sorbentin kalsinasyonu sonunda reaktif CaO partiküllerinin oluşmasına yol açmaktadır. Bu partiküllerin yüzeyleri, baca gazında kalsiyum sülfid (CaSO_3) ve kalsiyum sülfat (CaSO_4) oluşturmak için SO_2 ile tepkimeye girmektedir. Bu reaksiyon ürünleri elektrostatik ya da torba filtre gibi bir partikül kontrol cihazındaki kül ile birlikte tutulur. SO_2 tutma prosesi, çöktürücü ve torba filtrenin filtre keki içinde devam eder. Kalan artıklar dikkatli bir şekilde bertaraf edilmelidir. Çünkü bu artıklar aktif kireç ve kalsiyum sülfid içerir. Bu atıklardan muhtemel faydalanabilme yolları araştırılmaktadır [29].



Şekil 4.5. Kazana sorbent enjeksiyonu

4.2.3.2. Kanala sorbent enjeksiyonu (Kuru BGD)

Kanala sorbent enjeksiyonu, kalsiyum ya da sodyum bazlı sorbentin, Şekil 4.6.'da gösterilen hava ısıtıcı ve bir elektrostatik çöktürücü ya da torba filtre arasından baca gazına enjekte edilmesi anlamına gelir .



Şekil 4.6. Kanala sorbent enjeksiyonu

Kanala sorbent enjeksiyonunun en yaygın tipleri: Nemlendirme gerektiren kuru kireç, nemlendirme gerektirmeyen kuru sodyum enjeksiyonu ve kireç çamuru enjeksiyonu ya da ayrı bir nemlendirme basamağı gerektirmeyen kanalda yıkama işlemleridir.

Nemlendirme suyu iki amaca hizmet eder. Birinci amaç, SO₂ giderimini arttırmak için sorbenti etkinleştirmek, ikincisi ise verimli bir elektrostatik filtre performansı sağlamak için partikülleri forma sokmaktır. ,

Kanala sorbent enjeksiyonunda gaz sıcaklığının 150 °C civarında olduğu baca kanalına sorbent eklenmesi yapılmaktadır. Aynı zamanda ihtiyaç varsa gazlar bir miktar su püskürtülerek nemlendirilir. SO₂ bağlama reaksiyonu hemen kanalda oluşur, daha sonra da katı maddeler bir filtrede tutulurlar. SO₂ giderim verimi fırına ekleme yönteminden daha yüksektir. Bir çok ticari boyuttaki kullanımda % 80'ler civarında verimler rapor edilmiştir [33].

Düşük yatırım maliyeti, prosesin basitliği, değişik koşullara ve yeniliklere uyum sağlayabilmesi, kanala sorbent enjeksiyonun belirgin özellikleridir. Buna rağmen SO₂ giderim verimi nispeten düşüktür. Bu dezavantaj ve düşük sorbent verimi ticarileşmeyi zorlaştırmaktadır. Ancak kanala sorbent enjeksiyonu nispeten eski ve küçük kazanlar için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu Termik Santrallerde AB Büyük Yakma Direktifi'ne Uyum 45 nedenle halen çeşitli kanala sorbent enjeksiyon prosesleri, SO₂ giderimini ve güvenilirliği arttırmak için geliştirilmektedir. Ek yatırım maliyeti ve işletme zorlukları olmaksızın, SO₂ giderim veriminin %50'lerden %75-80'lere çıkarılması amaçlanmaktadır [29].

Kuru desülfürizasyonun ekonomikliği, reaktörün küçük oluşu, isteğe göre farklı sıcaklıkta gazlarla çalışma imkanı, korozyon kontrolü, atıkların hacminin küçük oluşu gibi pek çok önemli avantajı vardır. Bunlar arasında diğer DeSO_x yöntemleri olan yarı kuru ve ıslak desülfürizasyona göre farklardan en önemlisi belki de oluşan katı atıkların emniyetle bertaraf edilebilmesidir [33].

4.2.4. Rejenere edilebilir prosesler

Genellikle daha sonradan saf kükürde dönüştürebilmek amacıyla, yoğunlaştırılmış SO₂ elde etmek için “rejenere edilebilir” sistemlerde harcanan sorbent, termal ve kimyasal arıtmalardan sonra tekrar kullanılmaktadır. Bu tarz prosesler kompleks olduğundan, yüksek yatırım maliyeti ve enerji işletimi gerektirdiğinden yakma tesislerinde fazla kullanılmazlar. Sodyum sülfid bisülfid prosesi en yaygın şekilde kullanılan “rejenere edilebilir” procestir. Bu prosesi kullanan ticari tesisler, genellikle endüstriyel kazanlar ve taş kömürü, linyit, petrol ve petrol koku yakan güç istasyonlarıdır. Proses sodyum sülfid/bisülfid dengesine dayanır. Bir diğer “rejenere edilebilir” proses de magnezyum oksit prosesidir. Magnezyum oksit prosesi, sorbent olarak magnezyum hidroksit çözeltisi kullanan bir yenilenebilir ıslak çöktürücü prosesidir. Esasında harcanan sorbentin yenilenmesi için kullanılan basamak hariç, ıslak kireçtaşı prosesi ile aynıdır.

4.3. NOx Kontrol Sistemleri

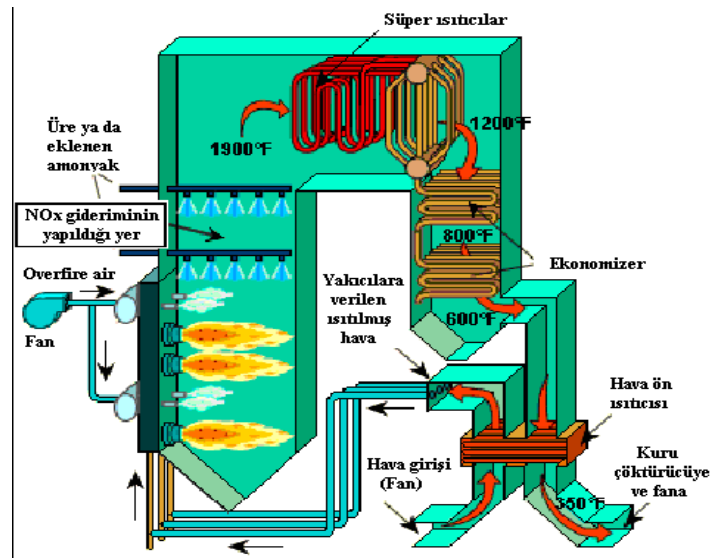
NOx kontrolü; Düşük NOx bekleri, seçici katalitik indirgeme (SCR), seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR), NOx temizleyiciler, egzoz gazı devir daimi, katalitik dönüştürücüler (aynı zamanda VOC kontrolü için) gibi kullanılan yöntemler vardır [36].

Kazanlarda yanma işlemi ile oluşan NOx'ler % 95'i NO formundadır ve atmosferde oksidasyonla NO₂'ye okside olur. Fosil yakıtların yanması ile oluşan NOx genellikle iki mekanizma ile oluşur. Bunlardan birincisi yanma havası içindeki atmosferik azotun yüksek sıcaklıklardaki yanma olayında azot oksitlere dönüşmesidir. Buna termal NOx de denir. İkincisi ise yakıtta bulunan bağlı azotun bir kısmının oksidasyonla yanmasıdır. Buna da yakıt NOx'i denir. Bu ikinci oluşum sıcaklıktan daha çok yakıtın azot oranına, yakıtın özelliklerine ve yakmanın stokiyometrik koşullarına bağlıdır. Genelde yüksek azot içerikli fuel-oil ve kömürlerin yakılmasında NOx'in kaynağının çoğunluğu yakıt azotu oluştururken, düşük azotlu yakıtlar veya gaz yakılmasında termal NOx asıl mekanizmayı oluşturur [34].

4.3.1.Hava kademeleme

Hava kademeleme ile NOx giderimi, kazan içinde iki ayrı yakma bölgesinin oluşturulmasına dayanır: Az oksijenli birincil yakma bölgesi ve tam yanmanın sağlanması için fazla oksijenli ikincil yakma bölgesi. Hava kademeleme birincil yakma bölgesindeki oksijen miktarını düşürür (birincil havanın %70-90'ı bu bölgede verilir). Birincil bölgede stokiyometrik olarak gerekli havadan daha az hava verilmesi yakıttaki azotun NOx'a dönüşümünü engeller. Ayrıca termal NOx oluşumu da sıcaklığın daha düşük olması nedeniyle belli bir noktaya kadar düşürülür. İkincil bölgede ise birincil yakma havasının %10-30'u yakma bölgesinin üst kısmına enjekte edilir. Yakma bu artırılan alev hacminde tamamlanır. Sonuç olarak nispeten düşük sıcaklıklı ikincil basamak termal NOx oluşumunu engeller. Hava kademeleme kazanlarda ve yakıcılarda çeşitli şekillerde yapılabilir. Ama bunlardan en önemlisi *Over Fire Air (OFA)*'dır [29].

Bu yöntem; yanma için kullanılan havanın yaklaşık %15-30' unun ayrılarak kazanın daha üst kısmına yerleştirilmiş hava enjeksiyon portallarından kazana verilmesine dayanmaktadır. Böylece ana yakma sistemindeki brülörlerde, yanma çok düşük fazla hava oranı ile gerçekleştirildiğinden NO_x oluşumu azalmaktadır. Yanma için kullanılan toplam havanın %15-30 u daha sonra tekrar kazanın üst kısmında bulunan portallardan tekrar kazana gönderilir ve yanma tamamlanır. OFA sisteminin, düşük NO_x sağlayan yakma sistemlerine uygulanmasıyla performans artmaktadır. Bir seçici katalitik indirgeme prosesindeki “over fire air” sistemi Şekil 4.7.'de gösterilmektedir.



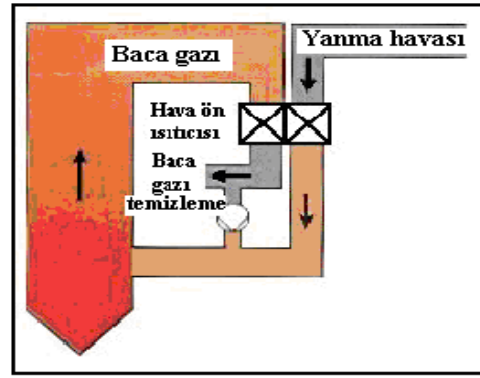
Şekil 4.7. Bir seçici katalitik indirgeme prosesindeki OFA sistemi

Hava kademeleme sisteminin iki önemli dezavantajı vardır. Birincisi eğer hava nozullarının yerleri doğru değilse önemli miktarda CO oluşmaktadır. İkincisi ise OFA sisteminin sonradan uygulanması durumunda yanma bölgesi sonu ile ilk ısı değiştirici arasındaki mesafe azaldığından yanmamış karbon miktarı artmaktadır.

4.3.2. Baca gazı sirkülasyonu

Bacadan çıkan ve daha düşük sıcaklıkta olan gazın, yanma havasıyla karıştırılması ile alev sıcaklığı düşmekte ve gazdaki oksijen miktarı azalmış olmaktadır. Böylece yakıttaki azottan kaynaklanan NO_x ve termal NO_x oluşumu azaltılmaktadır. Alevin kararlılığı ve net ısı verimindeki düşüş, baca gazı sirkülasyon oranını

sınırlamaktadır. Sirkülasyon oranının yaklaşık olarak % 20 -30 olması uygun sonuçlar vermektedir. Bu yöntem gaz ve sıvı yakıtlar için daha etkili sonuçlar vermektedir. Baca gazı sirkülasyonunun nasıl yapıldığı Şekil 4.8.'de gösterilmektedir.



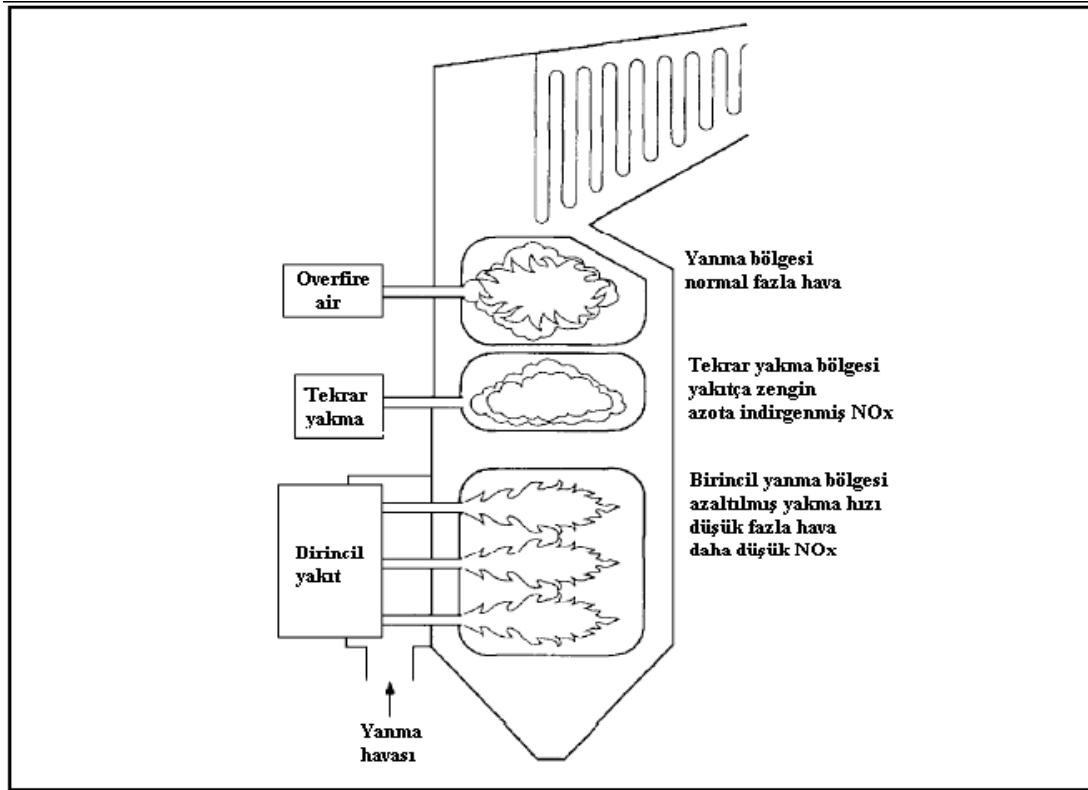
Şekil 4.8. Baca gazı sirkülasyonu

Sirküle edilen baca gazı yaklaşık 350-400°C civarındadır. Hava ön ısıtıcısından sonra toplam gazın yaklaşık %20-30 u ayrılır ve yanma havası ile karıştırılarak tekrar yakıcıya verilir. Bu gazı yakıcıya vermek için özel olarak tasarlanmış brülörler gerekir. Havaya karıştırılacak baca gazı miktarını iyi ayarlamak gerekmektedir. Eğer aşırı miktarda baca gazı karıştırılırsa bu durumda bazı işletme sorunları ile karşılaşılabilir. Örnek: Kükürt içeren yakıt yakıldığında korozyon problemleri, baca gazında sıcaklığın artmasından dolayı verim kaybı, vantilatörlerde artan enerji kullanımı. Bu nedenlerle işletmeciler genel olarak %30 dan fazla baca gazı sirkülasyonu yapmazlar ve hala azaltılamayan NOx miktarını geliştirilmiş “düşük NOx oluşturan yakıcılar” kullanarak gidermeye çalışırlar.

4.3.3. Yakıt kademeleme

NOx miktarının azaltılmasında, genel olarak havanın ve yakıtın kademeli olarak kullanılması etkin rol oynamaktadır. Bundan önce havanın kademelendirilmesi açıklanmıştı. Aşağıda da yakıtın kademelendirilmesi açıklanacaktır. Amaç, oluşan azot oksitlerini tekrar azot gazına indirgemektir.

Bu sistemde yanma üç ayrı bölgede yapılmaktadır: İlk yanma bölgesi (yakıtın %70-90 kısmı bu bölgeye beslenmektedir); tekrar yanma bölgesi (yakıtın %10-30 kısmı bu bölgeye beslenmektedir); tam yanma bölgesi (yakıtın yanması, verilen ek hava ile bu bölgede tamamlanmaktadır). Şekil 4.9.'de üç ayrı yanma bölgesi gösterilmiştir. İlk yanma bölgesinde yanma normal hava/ yakıt oranlarıyla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.9. Yakıt kademeleme prosesindeki üç ayrı yakma bölgesi

Tekrar yanma bölgesinde, sisteme eklenen yakıt “yakıtça zengin” koşulların oluşmasını sağlayarak indirgen bir bölge oluşturmakta ve daha önce oluşan NOx burada azot gazına indirgenmektedir. Son bölgede ise OFA sistemiyle hava eklenerek yanmanın tamamlanması sağlanmaktadır. Bu yöntem, özellikle doğal gaz kullanan tesislerde NOx emisyonlarının azaltılmasında ideal sonuçlar vermektedir [29].

4.3.4. Düşük NOx oluşturan yakıcılar

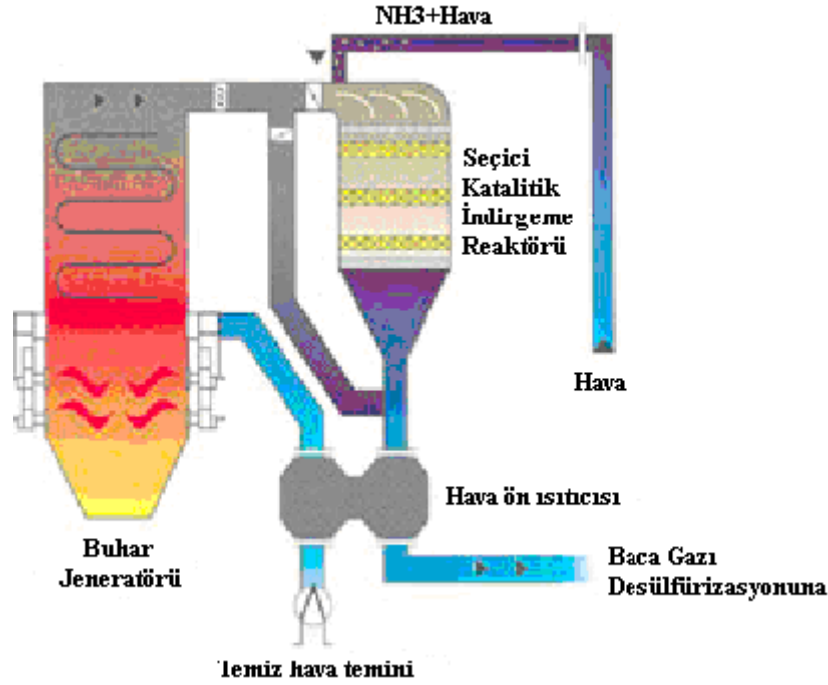
Düşük NOx oluşturan yakıcı sistemleri NOx kontrolünde önemli bir teknolojik seviyeye ulaşmıştır. Ancak bu konudaki önemli araştırmalar ve çalışmalar halen devam etmektedir. Bu sistemlerin dizayn ayrıntıları üreticiden üreticiye değiştiği için burada sadece genel prensipler verilecektir.

Düşük NOx oluşturan yakıcı sistemleri, yakıt ve havayı yanma odasına üflerken yakıt/hava oranını kontrol ederek kademeli yanmanın sağlanması prensibine dayanmaktadır. Düşük alev sıcaklığı ve alevin belli bölümlerinde oksijen konsantrasyonunun azaltılması, NOx oluşumunu azaltmaktadır. Yakıcıda kademeli yanma gerçekleştirilmektedir. Yakıt/hava oranının kontrol edilebilmesi için yakıcıda kanallar bulunmaktadır. Yakıt/hava oranının ayarlanması ile öncelikli olarak yakıt kaynaklı NOx oluşumunun minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Yakıcı sistemi dizaynı ile “yakıtça zengin bölgeler” oluşturulmaktadır. Bu bölgelerde yakıtta bulunan azot oksijenle oksitlenerek NOx oluşturmak yerine yakıtça zengin indirgen bölgelerde indirgenerek doğrudan azot gazına dönüşmektedir [29].

4.3.5. Seçici katalitik indirgeme

Seçici katalitik indirgeme günümüzde en etkili NOx indirgeme yöntemi olarak kabul edilmektedir. NOx emisyonlarını % 80-95 oranında azaltmaktadır. Avrupa, ABD ve Japonya’da büyük yakma tesislerinde NOx emisyonlarının kontrolü için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ve bundan sonra açıklanacak prosesler ikincil, yani “end of pipe treatment” olarak adlandırılan proseslerdir. “Seçici katalitik indirgeme” prosesinin çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir: Seçici katalitik indirgeme işletme sıcaklığı 300-450°C olan bir katalizör yatağında yapılır. Gaz veya sıvı amonyak baca gazı akımına enjekte edilir. Amonyak, katalizör yüzeyinde absorbe edilir. Katalizör olarak bazik metal oksitler (Ti_2O_5 , V_2O_5 gibi), zeolitler, demir oksitler veya aktif karbon kullanılır. Aktif karbon kullanıldığında işletme sıcaklığı 100-220°C arasında olmalıdır [29].

Tipik bir “seçici katalitik indirgeme prosesi” şeması Şekil 4.10’da verilmiştir. Amonyak yerine indirgen olarak üre de kullanılabilir. Ancak, ürenin sıvı amonyaktan pahalı olması nedeni ile kullanımı yaygın değildir. Sıvı amonyak önce ısıtılarak gaz haline getirilir ve hava ile birlikte sisteme nozullar yardımı ile verilir. Katalizör sisteminde NOx ile amonyak karışımının çok iyi olması gereklidir. Ayrıca, NOx gideriminin yüksek ve baca gazında reaksiyona girmeden çıkan amonyak miktarının çok düşük olması için gaz içindeki NH_3/NO_x oranının iyi ayarlanması gereklidir. Katalizörlerin ömrü de bu proseste önemlidir. Katalizör ömrü kömür yakan tesislerde 6-10 yıl, fuel oil ve doğal gaz yakan tesislerde 8-12 yıl arasındadır [29].



Şekil 4.10. Seçici katalitik olmayan indirgeme prosesi

4.3.6. Seçici katalitik olmayan indirgeme

Seçici katalitik olmayan indirgeme teknolojisi, yanma sırasında oluşan NO_x'ın giderilmesi için kullanılan ikincil bir prodestir. Yatırım ve işletme maliyeti “seçici katalitik indirgeme” prosesinden daha düşük, uygulaması daha basit bir prodestir. Katalizör kullanılmadan, 850-1100 °C arasında çalışır. Ancak bu sıcaklık aralığı,

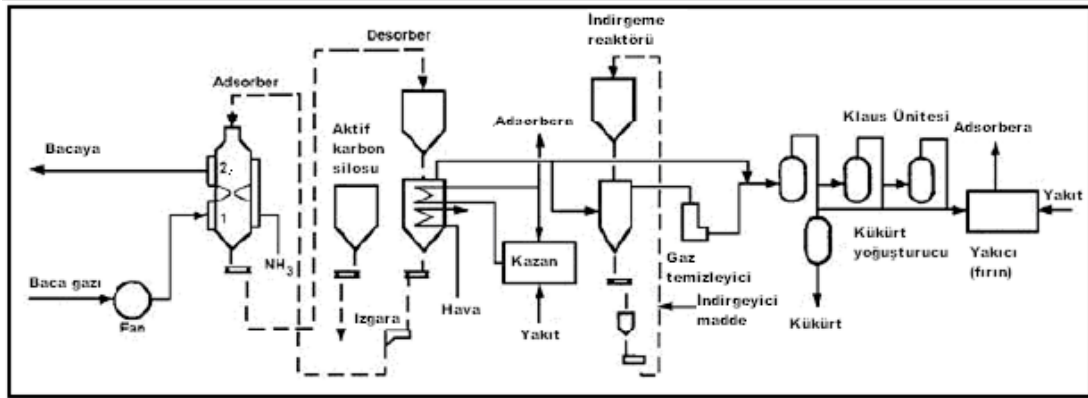
indirgen olarak kullanılan kimyasala (amonyak, üre veya kostik amonyak) göre değişir. Tüm yakıtlar için kullanılabilir ve % 30-50 NO_x giderimi sağlar [29].

Düşük sıcaklıklarda her iki reaksiyon da yavaştır. Yüksek sıcaklıklarda da istenmeyen oksidasyon reaksiyonu baskın gelir ve fazladan azot oksitleri oluşur. Gerekli olan sıcaklık aralığını ayarlamak için amonyağı değişik noktalardan enjekte etmek gereklidir. Yüksek indirgeme verimi elde etmek için enjekte edilen amonyak ve baca gazı içindeki NO_x in çok iyi karışması gereklidir. Bu konuda karışımı da etkileyen en önemli parametrelerden biri enjekte edilen amonyak damlalarının büyüklüğüdür. Damllar küçük olduğunda hemen buharlaşır ve yüksek sıcaklıkta reaksiyona girer. Dolayısı ile indirgeme verimi daha iyi olur. Damlların büyük olması buharlaşmayı ve dolayısı ile reaksiyonu yavaşlatır. Seçici katalitik olmayan indirgemedede iki proses vardır.

4.4. SO₂ ve NO_x in Birlikte Kontrolü için Kullanılan Sistemler

4.4.1. Aktif Karbon Prosesi

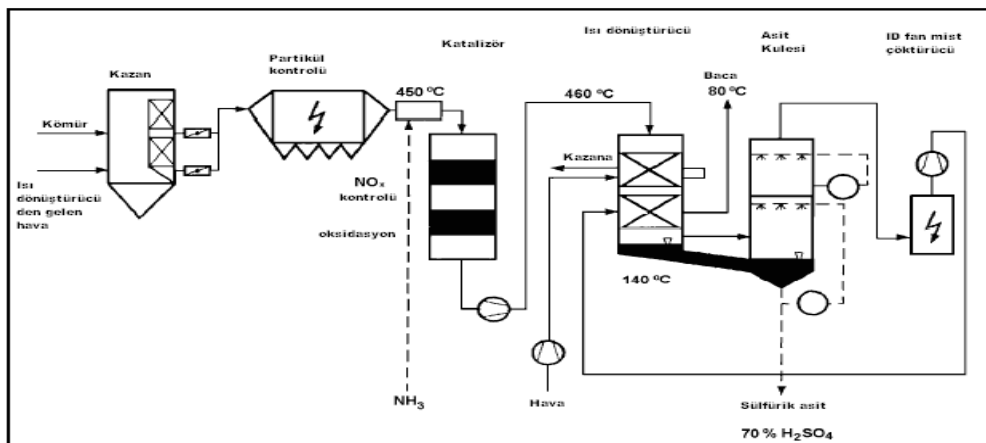
Aktif karbon adsorbsiyonu NO_x gazlarına özgü seçimli bir işlem değildir. Bu nedenle aktif karbon filtreleri atık gaz akımında bol bulunan SO_x ve NO_x gazlarını birlikte ayırmada etkili bir yöntem sayılır [33]. Kuru ve yenilenebilen sorbentlerden aktif karbon, oda sıcaklığında SO₂ adsorplama kapasitesi yüksek olduğundan dikkat çekmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda aktif kömürün kükürt dioksit adsorplama kapasitesi azaldığından bu teknik 100°C'g daha düşük sıcaklıklarda daha iyi sonuç verir. 300°C'den yüksek sıcaklıklarda SO₂'nin uzaklaştırılması için CuO, Fe₂O₃ gibi bileşikler içeren alümina ve silika destekli sorbentler üzerinde çalışılmıştır. Buna karşılık SO₂'nin 120 ile 250°C aralığında uzaklaştırılmasının ekonomik olduğu saptanmıştır. Buna ek olarak adsorpsiyonun yapıldığı kolona amonyak da (NH₃) da ilave edilirse SO₂ ve NO_x'in kontrolü birlikte yapılmış olur. Aktif karbon prosesinin SO₂ için giderim verimliliği %98, NO_x için ise Termik Santrallerde AB Büyük Yakma Direktifi'ne Uyum 53 %60-80 arasında değişmektedir. Şekil 4.11'de aktif karbon prosesinin şematik diyagramı gösterilmiştir [29].



Şekil 4.11 Aktif karbon prosesi

4.4.2. DeSONOx prosesi

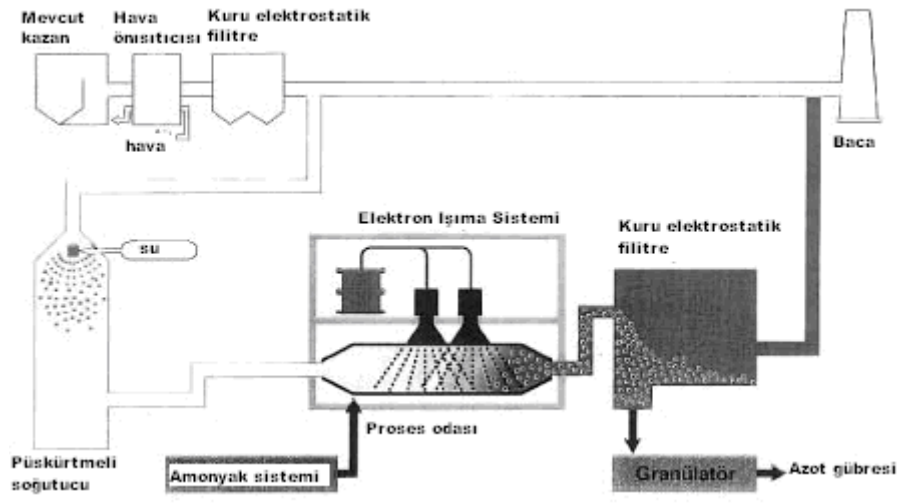
DeSONOx prosesinde (Şekil 4.12), partiküllerin giderilmesi için baca gazı ilk olarak bir elektrostatik filtreden geçirilmektedir. Bunu amonyak enjeksiyonu ve seçici katalitik indirgeme izlemektedir. Daha sonra gazlar, atmosfere bırakılmadan önce, yakma havasının ön ısıtılmasıyla ve tamamen arıtılmış baca gazının tekrar ısıtılmasıyla soğutulmaktadır. Böylece baca gazının sıcaklığı yaklaşık olarak 140°C 'ye düşürülmekte, bu da SO_2 'nin SO_3 'e katalitik oksidasyonunu sağlamaktadır. Daha sonra asit kulesinde SO_3 'ün suyla yıkanması sonunda sülfürik asit (%70) elde edilir. Son olarak baca gazları ıslak elektrostatik mist çöktürücüye yönlendirilir ve atmosfere bırakılmadan önce tekrar yaklaşık 80°C 'ye ısıtılır. DeSONOx prosesinin SO_2 ve NO_x 'in her ikisi için de giderim verimi %95'tir.



Şekil 4.12. DeSONOx prosesi

4.4.3. Elektronla ışıma prosesi

Kükürt dioksit ve azot oksitlerinin birlikte giderilmesinin amaçlandığı bu proses, elektronla ışıma ve kuru yıkayıcı olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemde atık gaz, filtre edildikten sonra bir ısı değiştiricide 343-393°K sıcaklık aralığına soğutulmakta, gaz karışımına içerdiği kükürt dioksit ve azot oksitlerin miktarıyla orantılı olarak amonyak eklenmekte ve karışım reaktörde elektron ışımaya tabi tutulmaktadır. Baca gazının içerdiği azot oksitlerinin amonyak kullanılarak giderilme verimi, kükürt dioksit'in varlığında artmakta; oldukça etkin bir NO_x + SO₂ giderimine ulaşılabilmektedir. Örneğin; baca gazının 2500 ppm kükürt dioksit içerdiği durumda azot oksit'in %90'ı, kükürt dioksit'in ise %80'i giderilebilmektedir. Elektronla ışıma prosesinin akım şeması Şekil 4.13'de gösterilmektedir [17].



Şekil 4.13 Elektronla ışıma prosesi akım şeması

4.5. Uçucu Organik Bileşikler

VOC'lerin giderim yöntemleri; Aktif karbon gibi adsorbsiyon sistemleri, fitlek sistemleri, ısıl oksitleyiciler, katalitik oksitleyiciler, biyolojik filtreler, adsorbsiyon (ovalama), kriyojenik yoğunlaştırıcılar ve buhar geri kazanım sistemleri olarak sınıflandırılabilirler [36].

Uçucu organik bileşiklerin en önemli giderim yöntemi aktif karbon adsorbsiyonudur.

Aktif karbon, organik toksik gaz v buhar bileşenleri başta olmak üzere çeşitli gaz temizleme işlemlerinde en çok kullanılan adsorblayıcıdır. Tutulan maddeler, özellikle VOC'ler kullanılmış aktif karbondan yeniden ısıtılarak uçurulduğunda yüzey yeniden aktifleştirildiği için aktif karbon tercih edilir.

Adsorbsiyon ısı veren (ekzotermik) özelliği yüzünden ortamın (gazın) sıcaklığı arttıkça daha az tutulma meydana gelir. Böylece izoterm eğrileri yükseldikçe aynı giriş konsantrasyonu için birim kütledeki aktif karbonun tutabildiği madde miktarıdır [33]. Aktif karbonla ilgili detaylı bilgi için 4.4.1. e bakınız. Ayrıca VOC emisyonunu düşürmek için;

- Solvent bazlı sistemden su bazlı sisteme geçmek,
- Solvent bazlı sistemde high solid (yüksek katlı) sisteme geçmek
- Farklı uygulama yöntemlerine geçerek örneğin; HVLP (High Volume Low Pressure)—Yüksek Yoğunluk Düşük Basıncılı sprey tabancası ve elektrostatik uygulamalar ile transfer etkisini en üst seviyeye çıkarmak
- Geleneksel olarak kullanılan solvent bazlı boyaların gereksiz olarak kullanımını yasaklamak ve kullanım alanlarını kısıtlamak.
- Müsaade edilen geleneksel solvent bazlı boyaların VOC içeriğini dolayısıyla emisyonu belli limitlere çekmek
- Etkili bir şekilde boya kullanımını azaltmak yani tasarrufu ve solvent geri dönüşümünü sağlamak
- Solvent ambalaj ya da depolarının kapaklarını çok iyi bir şekilde izole ederek solvent buharlaşmasını engellemek.
- VOC'lerin kontrol teknikleri ile örneğin termal veya katalitik yakma ya da biyolojik işlem ile bozunmalarını sağlamak gibi önlemler alınabilir [35].

4.6. Ağır Metaller

Değişken metal elementlerinin, yakma odasının aşağı akımını taşıyan ince zerrelili partikül materyalinde zenginleştirilmesi nedeniyle, bu elementlerin emisyonu yakıt dönüşümü yönteminden ziyade gaz temizleme sisteminin verimliliğine dayanır.

Teorik olarak baca gazından belirli materyallerin büyük bir porsiyonu ihraç

kapasitesine sahip olan bazı teknolojiler geliştirildi. Bu sistemler genellikle 2 kategoriye ayrılabilir:

- Genelde partikülat ihracı için kullanılan teknikler, SO_x ya da NO_x emisyonları
- Baca gazından açıkça element kalıntılarını çıkarmak için geliştirilmiş olan teknikler.

Ağır metal emisyonları azaltılması işlemler; Partikül kontrol sisteminde metal emisyonlarının azaltılması, FGD sistemlerinde metal emisyonlarının azaltımı, NO_x kontrol sistemlerinde metal emisyonunun azaltımı, Metal ihracı için tasarlanmış sistemler yoluyla metal emisyonu azaltımı gibi işlemler uygulanmaktadır.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Rafineri proseslerinin hemen hemen tüm ünitelerinden ortaya çıkan partikül madde (toz) ,CO₂ CO, NO_x, VOC (H₂S, HC vb.) , SO₂ ve ağır metaller gibi emisyonlar yanma işlemi, kazan ve ısıtıcılarda fuel oil, rafineri gazı, kömür, koklaştırma yakılması, üretim birimleri, FCC-katalizör rejenasyonu, kok vb., gaz atık denetim sistemleri (Claus birimi) ve depolar, benzin, nafta gibi yerlerden kaynaklanmaktadır. Bu emisyonların giderimi için çeşitli yöntemler olmakla beraber verimlilik düzeylerine göre bir karşılaştırma yapılacaktır.

5.1. Partikül Madde (Toz) İndirgeme Sistemlerinin Karşılaştırılması

Partiküler madde (toz) giderimi için kullanılan yöntemler genelde siklonlar, elektrostatik filtreler, torba filtreler ve ıslak çöktürücüler olarak 4 grupta incelenebilir.

Siklon toz giderme yönteminde; Siklonlar ince tozu tutamaz, bu sebeple verimleri % 85-90 ile sınırlıdır. 5-10 mikrondan büyük partikül tutma verimi % 100'e yakındır. 1 mikrona yaklaşan boyutlarda da tutma gerçekleşir ancak verim oldukça düşer [17]. Siklon toz tutucuların; düşük yatırım maliyeti, daha basit ve az işletme problemleri, düşük işletme basıncında çalışma (515 cm su kolonu), kuru toplama ve depolama, daha küçük alan ihtiyacı avantajı olmasına karşın 1 mm den düşük çaptaki partiküllerin tutulmasında düşük verimle çalıştığı, yapışkan partiküllerin giderilmesinde yetersizliği gibi dezavantajları vardır.

Elektrostatik filtreler büyük yakma tesislerinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Özellikle partikül boyutuna duyarlı değildir ve tozu hem kuru, hem ıslak koşullarda toplayabilir [29]. İşlevleri fiziksel ve kimyasal etkilere çok bağlıdır. Çok genel olarak elektriksel toz gidericilerde çok ince tozların da tutunabildiği ve çok yüksek ayırma verimi elde edilebileceği söylenebilir [30]. Elektrostatik filtrelerin ilk yatırım

maliyeti, kullanılan yakıta göre torba filtreler veya diğer kontrol tekniklerinden daha düşük veya daha yüksek olabilir. Fakat işletim maliyetleri diğer tekniklere göre daha düşüktür ve uçucu küllerin farklı özelliklerine göre değişebilir. Elektrostatik filtrenin toz toplama verimi çok yüksektir (%99,9'un üzeri). Ayrıca basınç kaybı oldukça düşük, yapımı da basittir [29]. Elektrostatik filtrelerin; Orta ve büyük çaplı partiküller için %99.9'dan fazla tutma verimi ve düşük enerji maliyeti, tozların kuru olarak toplanması ve bertarafı, minimum bakımda sürekli işletim, düşük işletim maliyeti, yüksek sıcaklık (700°C den fazla) ve yüksek basınçta (10 atm'den fazla) ve vakum altında çalışabilme ve geniş aralıktaki akış debisi için uygunluk gibi avantajlarının yanında yüksek yatırım maliyeti, gaz akımındaki değişimlere hassaslık, yüksek veya düşük dayanımlı tozların tutulmasında güçlük, inşa için fazla alan gereksinimi, yanma gazlarından dolayı patlama riski, negatif yüklü elektrotlardan dolayı gaz iyonizasyonu neticesinde ozon oluşumu, eğitimli personel ihtiyacı gibi dezavantajları vardır.

Torba filtreler, endüstriyel tesislerden ve daha küçük yakma tesislerinden çıkan baca gazlarında bulunan partiküllerin giderimin de dünya çapında yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Ancak günümüzdeki eğilim, bu teknolojinin daha büyük çaplı tesislerde de kullanılmasına yöneliktir. Torba filtreler % 100'e yaklaşan partikül toplama verimlerine ulaşabilirler. Ayrıca elektrostatik çöktürücü ile kıyaslandığında basınç düşmesi ve işletim maliyeti daha yüksektir [17]. Torba filtrelerin iri ve ince partikülleri yüksek verimde tutma özelliği (%99.9), gaz akımındaki değişiklikler için uygunluk, filtre çıkış havasının sirkülasyonu, toplanan materyallerin kuru olarak toplanıp depolanması, filtreler için değişik özellikler ve konfigürasyonların olması, basit işletim gerektirmesi gibi avantajlarının yanında; maliyeti yüksek olan mineral veya metalik filtre ihtiyacı (290°C den yüksek sıcaklıklar için), toplanan tozun giderilmesi için filtre değişimi, yüksek bakım maliyetleri, asitli ortamda bulunan tozların patlama ve yangın riski gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Islak filtreler ise; Gazlardan tozların ıslatılarak uzaklaştırılması en yaygın toz giderme yöntemidir ve yüz yıldan fazla süredir çok çeşitli tipleri kullanılmaktadır.[27] Islak çöktürücüler yüksek basınç düşüşlerine ve işletme maliyetine rağmen, elektrostatik çöktürücülere ve torba filtrelere göre yatırım

maliyetleri daha düşük olduğundan endüstriyel ölçekli kullanım için çekici olmaktadır. Baca gazının bu şekilde ıslatılması, küçük partiküllerin daha büyük ve ağır damlaların içinde toplanmasına yol açmaktadır. Böylelikle bu damlalar seperatörün içinde kolayca tutulabilmektedir [17]. Islak filtrelerin; Daha az alan gereksinimi, gaz ve partikül maddelerin özellikle yapışkan olanları tutabilmesi, yüksek sıcaklıkta ve yüksek nemlilikte gaz akımlarına uygunluk, düşük yatırım maliyeti (eğer arıtma tesisleri gerekli değilse), küçük partikülleri yüksek verimle tutma avantajlarının yanında potansiyel atıksu arıtımı problemi, korozyon problemi, yüksek basınçta damlama (25 cm su kolonu), ıslak-kuru fazında potansiyel katı birikmesi ve yüksek bakım maliyetleri gibi dezavantajları vardır. Tablo 5.1.'da partikül kontrol teknolojilerinin özellikleri özet olarak verilmiştir.

Tablo 5.1. Partikül kontrol teknolojilerinin özellikleri [29]

	Özellik
Siklon	Siklonlar için hem ıslak hem kuru dizaynlar mümkündür. Basit kurulumu ile güvenilirdir. Ancak partikül toplama verimi diğer teknolojilere göre çok daha düşüktür.
Elektrostatik Filtre	Bu teknolojinin verimi yüksek ve basınç düşüşü azdır. Elektrostatik çöktürücü yaygın ve en ucuz partikül kontrol teknolojisidir (özellikle düşük-dirençli küller için).
Torba Filtre	Bu teknoloji en yüksek verime sahiptir. Ancak temizleme sıklığı ve SO ₃ korozyonunun işletim maliyetini arttırmasından dolayı, yüksek kül ve kükürt içerikli kömürler için pahalı bir yöntemdir. Ayrıca elektrostatik çöktürücü ile karşılaştırıldığında basınç düşüşü daha yüksektir.
Islak Çöktürücüler	Yüksek sıcaklık, basınç ve nemlilikteki gaz akımları için uygundur. Yatırım maliyeti düşüktür. Ancak bakım maliyeti yüksektir. Ayrıca korozyon ve atık su arıtım problemi vardır.

Partikül madde giderilmesinde rafineri tesisi prosesinde, kullanılacak olan yakıtta ve işlenecek olan ham maddeye göre öncelikli olarak torba filtrelerin % 100'e varan veriminin ile elektrostatik filtrelerin % 99'un üzerinde toz toplama verimlerinin yanında yatırım ve bakım maliyetleri karşılaştırılarak karar verilebilir.

5.2. SO_x İndirgeme Sistemlerinin Karşılaştırılması

SO_x kontrol sistemleri ile ilgili günümüzde en yaygın olarak kullanılan BGD sistemleri, kireç/kireçtaşı kullanan sistemlerdir. Bu sistemler, piyasada % 80'lik bir paya sahiptir. Yaklaşık olarak SO₂ emisyonlarının %80'i fosil yakıt yanmasından kaynaklanmaktadır [32]. SO₂ emisyonlarını azaltmak için kullanılan yöntemler genel olarak; Kükürt oksit emisyonlarını azaltmak için alınacak öncelikli tedbirler ve kükürt oksit emisyonlarını azaltmak için alınacak ikincil tedbirlerdir.

Kükürt oksit emisyonlarını azaltmak için alınacak öncelikli tedbirler olarak yakıtların kükürt içeriğinin azaltılması, gaz temizlemeye göre daha pratik ve ekonomik görünmektedir. SO₂ emisyonunun kontrolünün en kolay yolu, düşük kükürtlü veya kükürtsüz yakıtların kullanılmasıdır.

Kükürt oksit emisyonlarını azaltmak için alınacak ikincil tedbirlerden en önemli olanlar ve piyasada yaygın olarak kullanılanlar aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Islak sistemler günümüzde birazda geçmişten kalma alışkanlık ve mevcut yatırımları koruma isteği dolayısıyla hala en çok kullanılan yöntemdir. En çok kullanılan şekilde kireç veya kireçtaşı ile SO₂ bir su ile yıkama reaktöründe karşılaştırılır. [33] Islak çöktürücüler, özellikle kireçtaşı-jips(alçıtaşı) prosesini en çok kullanan Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) teknolojileridir. Yüksek SO₂ giderim verimi ve güvenilir olmalarından dolayı piyasada kullanılan teknolojilerin %80'ini oluştururlar ve termik santrallerde kullanılırlar [29]. Kireç/Kireçtaşı Kullanan Prosesleri günümüzde en yaygın olarak kullanılan BGD sistemleri, kireç/kireçtaşı kullanan sistemlerdir. Bu sistemler, piyasada % 80'lik bir paya sahiptir. Her koşulda kireçtaşı, hemen hemen kireçle aynı SO₂ giderimini sağlamaktadır.

Püskürtmeli Kuru Sistemler: Dünya çapında uygulanan BGD sistemleri içinde "püskürtmeli kuru sistemler" ıslak sistemlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Bu tür BGD'lerde SO₂'yi baca gazından ayırmak için kireç çamuru kullanılır. Püskürtmeli kuru sistemler genellikle daha düşük yatırım maliyetleriyle nitelendirilir ancak temel olarak daha pahalı bir sorbent olan kireç kullanımını nedeniyle,

“püskürtmeli kuru sistemler” in işletme maliyetleri ıslak sistemlerden daha yüksektir. Püskürtmeli kuru sistemler çoğunlukla düşük ve orta kükürlü (% 1.5) kömür kullanan, nispeten küçük ve orta kapasiteli kazanlar için kullanılır [29].

Kuru absorbentlerle yeteri kadar verim elde edilememesi ve karşılaşılan çeşitli problemleri nedeniyle püskürtmeli kurutma prosesleri geliştirilmiştir.[34] Ticari kullanımda yarı-kuru sistemlerin başarısı genelde % 90 olarak alınmaktadır. Bazı firmalar özel olarak geliştirdikleri proseslerin % 95’ten yukarı DeSOx verimiyle çalıştığını savunmaktadırlar [33].

Sorbent enjeksiyonu kazana sorbent enjeksiyonu ve kanala sorbent enjeksiyonu (Kuru BGD) olarak ayrılmaktadır. Kazana sorbent enjeksiyonunda; Yakıta yapılacak eklemenden sonra düşünülebilecek en basit DeSOx yöntemi fırında enjeksiyondur. Bunda fırının üst kısmına, yani SO₂ gazının en çok bulunduğu yere, kuru sorbent enjekte edilir [33]. Kazana sorbent enjeksiyonu, kuru bir sorbentin kazandaki gaz akımına sorbentin doğrudan enjeksiyonunu içerir.

Kanala sorbent enjeksiyonu (kuru BGD): kalsiyum ya da sodyum bazlı sorbentin hava ısıtıcı ve bir elektrostatik çöktürücü ya da torba filtre arasından baca gazına enjekte edilmesi anlamına gelir. SO₂ giderim verimi fırına ekleme yönteminden daha yüksektir. Bir çok ticari boyuttaki kullanımda % 80’ler civarında verimler rapor edilmiştir [33]. Düşük yatırım maliyeti, prosesin basitliği, değişik koşullara ve yeniliklere uyum sağlayabilmesi, kanala sorbent enjeksiyonun belirgin özellikleridir. Buna rağmen SO₂ giderim verimi nispeten düşüktür. Bu dezavantaj ve düşük sorbent verimi ticarileşmeyi zorlaştırmaktadır. Ek yatırım maliyeti ve işletme zorlukları olmaksızın, SO₂ giderim veriminin %50’lerden %75-80’lere çıkarılması amaçlanmaktadır [29].

Rejenere edilebilir prosesler ise genellikle daha sonradan saf kükürde dönüştürebilmek amacıyla, yoğunlaştırılmış SO₂ elde etmek için “rejenere edilebilir” sistemlerde harcanan sorbent, termal ve kimyasal arıtmalardan sonra tekrar kullanılmaktadır. Bu tarz prosesler kompleks olduğundan, yüksek yatırım maliyeti ve

enerji işletimi gerektirdiğinden yakma tesislerinde fazla kullanılmazlar. Tablo 5.2’de SOx kontrol sistemlerinin karşılaştırılmaktadır.

Tablo 5.2. SOx Kontrol sistemlerinin karşılaştırılması

Kullanılan Teknik	Genel SO2 Giderim Oranı	Çalıştırma sıcaklığı	Sorbent	Güvenilirlik
Islak kireç/ kireçtaşı filtresi	% 92 - 98 (sorbent tipine bağlı)	45-60°C	Kireçtaşı, kireç	% 95-99 (çalıştırma süresinin)
Deniz suyu filtresi	% 85-98	145oC (baca gazı girişi) 30-40oC (deniz suyu çıkış sıcaklığı)	Deniz suyu/hava	% 98-99
Püskürtmeli kuru filtre	% 85-92	120-200 oC (Baca gazı girişi) 65-80 oC (Baca gazı çıkışı)	Kireç, kalsiyum oksit	% 95-99
Kazana sorbent enjeksiyonu	% 30-50 Reaksiyon ürününün geri kazanımıyla % 70-80	950-1150oC (üst baca) 540oC (ekonomizer)	Kireçtaşı, sulu kireç, dolomit	% 99.9
Kanala sorbent enjeksiyonu (kuru BGD)	% 50-80		Kireçtaşı, sulu kireç, dolomit	% 99.9
Hibrid sorbent enjeksiyonu	% 50-80 (tepkimeye girmemiş CaO’in nemlendirilerek reaktivasyonu sonucu %90)			
Dolaşımli akışkan yatak kuru filtre	% 90-99		Ca(OH)2	% 98-99.5
Sodyum sülfid bisülfid prosesi	% 95-98	45-70oC		% 95’den daha fazla
Magnezyum oksit prosesi	Mevcut değil			Mevcut değil

SOx kontrol sistemlerinde ıslak sistemlerden olan kireç kireçtaşı yöntemi genel itibari ile giderim oranı % 92-98 olduğunda geçmişten günümüze doğru kullanılan bir yöntemdir.

5.3. NOx İndirgeme Sistemlerinin Karşılaştırılması

NOx kontrol sistemleri; Kazanlarda yanma işlemi ile oluşan NOx'ler % 95'i NO formundadır ve atmosferde oksidasyonla NO₂'ye okside olur. Fosil yakıtların yanması ile oluşan NOx genellikle iki mekanizma ile oluşur. Bunlardan birincisi yanma havası içindeki atmosferik azotun yüksek sıcaklıklardaki yanma olayında azot oksitlere dönüşmesidir. Buna termal NOx de denir. İkincisi ise yakıtta bulunan bağlı azotun bir kısmının oksidasyonla yanmasıdır. Buna da yakıt NOx'i denir [34].

Hava kademeleme ile NOx giderimi, kazan içinde iki ayrı yakma bölgesinin oluşturulmasına dayanır. Az oksijenli birincil yakma bölgesi ve tam yanmanın sağlanması için fazla oksijenli ikincil yakma bölgesi. Hava kademeleme sisteminin iki önemli dezavantajı vardır. Birincisi eğer hava nozullarının yerleri doğru değilse önemli miktarda CO oluşmaktadır. İkincisi ise OFA sisteminin sonradan uygulanması durumunda yanma bölgesi sonu ile ilk ısı değiştirici arasındaki mesafe azaldığından yanmamış karbon miktarı artmaktadır.

Baca gazı sirkülasyonu: Bacadan çıkan ve daha düşük sıcaklıkta olan gazın, yanma havasıyla karıştırılması ile alev sıcaklığı düşmekte ve gazdaki oksijen miktarı azalmış olmaktadır.

Yakıt kademeleme: Bu sistemde yanma üç ayrı bölgede yapılmaktadır: İlk yanma bölgesi (yakıtın %70-90 kısmı bu bölgeye beslenmektedir); tekrar yanma bölgesi (yakıtın %10-30 kısmı bu bölgeye beslenmektedir); tam yanma bölgesi (yakıtın yanması, verilen ek hava ile bu bölgede tamamlanmaktadır).

Tablo 5.3. NOx emisyonlarını azaltmak için uygulanan birincil tedbirlerin genel özellikleri

Birincil Tedbir		Genel NOx Giderim Oranı	Genel Uygulanabilirlik	Uygulanabilirlik Kısıtlamaları
Düşük ek hava		% 10-44	Tüm yakıtlar	Eksik yanma
Kazanda hava kademeleme	Servis dışı yakıcı (BOOS)	%10-70	Genel olarak sadece retrofit için gaz ve petrol yakan tesisleriyle kısıtlı	Eksik yanma (ve sonuç olarak yüksek CO ve yanmamış karbon seviyeleri) 'BOOS', 'BBS' ve 'OFA' için geçerlidir
	Eğimli yakıcıda yakma (BBF)		Sadece retrofit için tüm yakıtlar	
	Overfire air (OFA)		Tüm yakıtlar	
Baca Gazı Sirkülasyonu	% 20-50 Kömür yakan kazanlar için % 20'den daha az ve OFA ile kombine edilmiş gaz yakan tesisler için % 30-50		Tüm yakıtlar	Alev dengesizliği
Düşürülmüş ön hava ısıtma		% 20-30	Kömür yakan ıslak tabanlı kazanlar için uygun değil	
Yakıt kademeleme (yeniden yakma)		% 50-60 (birincil yakma bölgesinde oluşan NOx'un % 70-80'i düşürülebilir)	Tüm yakıtlar	
Düşük NOx Yakıcı (LNB)	Hava kademeleme	% 25-35	Tüm yakıtlar	Alev dengesizliği Eksik yanma
	Kirli Gaz Sirkülasyonu	% 20'ye kadar	Tüm yakıtlar	Alev dengesizliği
	Yakıt kademeleme	% 50-60	Tüm yakıtlar	Alev dengesizliği Eksik yanma

İkincil tedbirlerden seçici katalitik indirgeme günümüzde en etkili NOx indirgeme yöntemi olarak kabul edilmektedir. NOx emisyonlarını % 80-95 oranında azaltmaktadır. Avrupa, ABD ve Japonya'da büyük yakma tesislerinde NOx emisyonlarının kontrolü için yaygın olarak kullanılmaktadır [29].

Seçici katalitik olmayan indirgeme teknolojisi, yanma sırasında oluşan NOx'ın giderilmesi için kullanılan ikincil bir prodestir. Yatırım ve işletme maliyeti "seçici katalitik indirgeme" prosesinden daha düşük, uygulaması daha basit bir prodestir. Tüm yakıtlar için kullanılabilir ve % 30-50 NOx giderimi sağlar [29]. Tablo:4 NOx

emisyonlarını azaltmak için uygulanan ikincil tedbirlerin genel performansını göstermektedir.

Tablo 5.4. NO_x emisyonlarını azaltmak için uygulanan ikincil tedbirlerin genel performansı

İkincil tedbir	Genel NO _x Giderim Oranı	Çalıştırma sıcaklığı	İndirgeme maddesi	Elverişlilik
Seçici katalitik indirgeme	% 80-95	350-450oC (yüksek toz) 170-300oC (arka uç) 280-510oC (gaz türbinleri) 200-510oC (dizel motorlar)	Amonyak, üre	> %98
Seçici katalitik olmayan indirgeme	% 30-50	850-1050oC	Amonyak, üre	> %97

5.4. SO₂ ve NO_x in Birlikte İndirgeme Karşılaştırılması

SO₂ ve NO_x in birlikte kontrolü için kullanılan sistemlerden aktif karbon adsorpsiyonu NO_x gazlarına özgü seçimli bir işlem değildir. Bu nedenle aktif karbon filtreleri atık gaz akımında bol bulunan SO_x ve NO_x gazlarını birlikte ayırmada etkili bir yöntem sayılır [33]. Aktif karbon prosesinin SO₂ için giderim verimliliği %98, NO_x için ise termik santrallerde AB büyük yakma direktifi'ne uyum 53 %60-80 arasında değişmektedir.[29] DeSONox prosesinin SO₂ ve NO_x'ın her ikisi için de giderim verimi %95'tir .

Elektronla ışıma prosesi: Kükürt dioksit ve azot oksitlerinin birlikte giderilmesinin amaçlandığı bu proses, elektronla ışıma ve kuru yıkayıcı olarak da adlandırılmaktadır. Örneğin; baca gazının 2500 ppm kükürt dioksit içerdiği durumda azot oksit'in %90'ı, kükürt dioksit'in ise %80'i giderilebilmektedir.

5.5. Ağır Metallerin İndirgeme Sistemleri

Ağır metaller: Teorik olarak baca gazından belirli materyallerin büyük bir porsiyonu ihraç kapasitesine sahip olan bazı teknolojiler geliştirildi. Bu sistemler genellikle 2

kategoriye ayrılabilir: Genelde partikülât ihracı için kullanılan teknikler , SO_x ya da NO_x emisyonları, Baca gazından açıkça element kalıntılarını çıkarmak için geliştirilmiş olan teknikler.

Ağır metal emisyonları azaltılması işlemler; Partikül kontrol sisteminde metal emisyonlarının azaltılması, FGD sistemlerinde metal emisyonlarının azaltımı, NO_x kontrol sistemlerinde metal emisyonunun azaltımı, Metal ihracı için tasarlanmış sistemler yoluyla metal emisyonu azaltımı gibi işlemler uygulanmaktadır.

5.6. Uçucu Organik Bileşiklerin İndirgeme Sistemlerinin Karşılaştırılması

VOC'lerin azaltılması; Aktif karbon gibi adsorbsiyon sistemleri, fiflek sistemleri, ısı oksitleyiciler, katalitik oksitleyiciler, biyolojik filtreler, adsorbsiyon (ovalama), kriyojenik yoğunlaştırıcılar ve buhar geri kazanım sistemleri olarak sınıflandırılabilir [36].

Uçucu organik bileşiklerin en önemli giderim yöntemi aktif karbon adsorbsiyonudur. Aktif karbon, organik toksik gaz ve buhar bileşenleri başta olmak üzere çeşitli gaz temizleme işlemlerinde en çok kullanılan adsorblyıcıdır. Tutulan maddeler, özellikle VOC'ler kullanılmış aktif karbondan yeniden ısıtılarak uçurulduğunda yüzey yeniden aktifleştirildiği için aktif karbon tercih edilir.

Adsorbsiyon ısı veren (ekzotermik) özelliği yüzünden ortamın (gazın) sıcaklığı arttıkça daha az tutulma meydana gelir. Böylece izoterm eğrileri yükseldikçe aynı giriş konsantrasyonu için birim kütledeki aktif karbonun tutabildiği madde miktarıdır [33]. Ayrıca VOC emisyonunu düşürmek için; Solvent bazlı sistemden su bazlı sisteme geçmek, solvent bazlı sistemde high solid (yüksek katılı) sisteme geçmek, farklı uygulama yöntemlerine geçerek örneğin; HVLP (High Volume Low Pressure)—Yüksek Yoğunluk Düşük Basıncılı sprey tabancası ve elektrostatik uygulamalar ile transfer etkisini en üst seviyeye çıkarmak, geleneksel olarak kullanılan solvent bazlı boyaların gereksiz kullanımını yasaklamak ve kullanım alanlarını kısıtlamak, müsaade edilen geleneksel solvent bazlı boyaların VOC içeriğini dolayısıyla emisyonu belli limitlere çekmek, etkili bir şekilde boya

kullanımını azaltmak yani tasarrufu ve solvent geri dönüşümünü sağlamak, solvent ambalaj ya da depolarının kapaklarını çok iyi bir şekilde izole ederek solvent buharlaşmasını engellemek, VOC'lerin kontrol teknikleri ile örneğin termal veya katalitik yakma ya da biyolojik işlem ile bozunmalarını sağlamak gibi önlemler alınabilir [35].

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Bir enerji kaynağı olan petrolün kullanılması yazılı tarih kadar eski olduğu binmektedir. Petrol ve petrol ürünleri hemen hemen hayatımızın her alanında kullanılmaktadır. Petrol hidrokarbon bir karışımdır. olup, bileşiminde % 82-75 C, % 12-18 arası H, % 0,1-2,4 arası N, % 1-1,5 arası S ve % 0,1-1,2 arası çeşitli mineraller içermektedir. 2030 yılı hesaplamalarına göre dünya enerjisinin % 37'si petrol, % 28'i doğalgaz, % 24 kömür, % 5'i nükleer enerji, % 2'si hidro enerji ve % 4'ü ise diğer yenilebilir enerji oluşturması beklenmektedir. Fosil yakıtlar talebin % 87'sini oluşturduğu ve 2010 yılında 89 milyon varil olan talep 2030'da 120 milyon varile çıkacağı öngörülmektedir.

Rafineri prosesleri ile ilgili ilk sondaj 1859'da açılmış ve ilk petrolden gaz yağı elde edilmiştir. Bu başlangıçla beraber yakıtlar, yakıt olmayan ve petrokimyasal hammaddelerin elde edilmesinde çeşitli teknolojiler geliştirilmekle beraber son zamanlarda ham petrolün çeşidine göre karmaşık prosesler günümüzde kullanılmaktadır. Rafineri proseslerinde damıtma, ısıtma, soğutma, pompalama, çöktürme, basınç yada vakum işlemleri birincil işlemler olup bunlar fiziksel ve mekanik işlemlerdir. Atmosferik damıtmadan elde edilen ürünlerin değerini yükseltmek için uygulanan kimyasal değişim süreçleri ise ikincil işlemler, rafineride üretilen ürün içindeki istenmeyen maddelerin temizlenmesi ve yok edilmesi ise yardımcı işlemleri oluşturmaktadır.

Ham petrolün yer altından sondaj sonucu çıkarılması ve boru hatları ile getirilerek proseslerde işlenmesi esnasında çevreye zararlı olabilecek çeşitli durumlar ortaya çıkmaktadır. Rafineri proseslerinden çıkan emisyonlar hava kirliliğine sınıflandırmasında noktasal kaynak olup, bu emisyonlar, yanma işlemleri (yanma esnasında fuel oil ve rafineri gazı kullanılmaktadır), üretim birimleri, gaz atık denetim sistemleri ve depolardan kaynaklanmaktadır. Bu emisyonlar ise genel olarak

hidrokarbonlar, kükürt oksit, karbon monoksit, hidrojen sülfür, uçucu organik bileşikler ağır metaller ve azot oksitler olarak sınıflandırılabilir.

Bu emisyonlardan partikül maddelerin (toz) indirgeme yöntemleri siklonlar, elektrostatik filtreler, tora filtreler , ıslak çöktürücüler olup, rafineride kullanılacak olan yakıta ve işlenecek olan hammaddeye göre fayda- maliyet analizi yapılarak torba filtrelerin % 100'e varan verimi ile elektrostatik filtrelerin % 99 verimi dikkate alınarak seçim yapılabilir.

SO_x indirgemesinde ise ıslak sistemler, püskürtmeli sistemler, püskürtmeli kuru sistemler, sorbent enjeksiyonu ve rejene edilebilir prosesler kullanılabilir. SO₂ emisyonunun kontrolunun en kolay yolu, düşük kükürlü veya kükürtsüz yakıtların kullanılmasıdır. BGD teknolojisinde SO_x kontrolünde ıslak sistemlerden olan kireç kireçtaşı yöntemi % 92-98 giderim verimine sahip olduğundan halende kullanılan ir yöntemdir.

NO_x indirgemesinde sistemlerinden birincil olarak hava kademele, baca gazı sirkülasyonu ve yakıt kademele, ikincil olarakra seçici katalitik indirgeme ve seçici olmayan katalitik indirgemedir. İkincil tedbirlerden seçici katalitik indirgeme % 80-95 oranında verime sahip olduğundan düşünülmesi gereken bir yöntemdir.

SO₂ ve NO_x in birlikte kontrolü için kullanılan sistemlerden aktif karbon adsorbsiyonu kullanılmakta olup, SO₂ için giderim verimliliği %98, NO_x için ise termik santrallerde AB büyük yakma direktifi'ne uyum 53 % 60-80 arasında değişmektedir. DeSONO_x prosesinin SO₂ ve NO_x'ın her ikisi için de giderim verimi %95'tir .

Ağır metal emisyonları indirgemesi için ayrı bir yöntem olmamakla beraber; Partikül kontrol sisteminde metal emisyonlarının azaltılması, FGD sistemlerinde metal emisyonlarının azaltımı, NO_x kontrol sistemlerinde metal emisyonunun azaltımı, metal ihracı için tasarlanmış sistemler yoluyla metal emisyonu azaltımı gibi işlemler genelde uygulanmaktadır.

Yıllık 11,0 Mn ton ham petrol işlenmesi esnasında proseslerde yanmada kullanılan doğalgaz, fuel oil, rafineri gazı, tail gaz ve kok kullanımı sonucu sera gazı emisyonuna katkısı olan CO₂'nin yıllık katkısı 1.740.852 ton CO₂'dir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.tpa.gov.tr>
- [2] <http://www.pigm.gov.tr>
- [3] BEŞERGİL,B., “Rafineri Prosesleri”, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 2008
- [4] (DPT (2001), VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Petrol-Doğalgaz Çalışma Grubu, Ankara: DPT Ya. No: 2606-ÖİK: 620.)
- [5] KAYA,E.,“Türkiye’de Uygulanan Enerji Politikaları ve Sonuçları”, Kara Harp Okulu Bilim Dergisi, Ankara, 2004-1, Cilt: 14.)
- [6] ATLAŞ,M.,ÖZKAN,H., ÇELEBİ, E., DEKTMK Türkiye 9. Enerji Kongresi, Enerji İstatistikleri, İstanbul, 2003
- [7] <http://mail.aso.org.tr/asomedyahaziran2003/inceleme/haziran2003.html>
Erişim Tarihi: 18.01.2005).
- [8] OKUTAN,H., “Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü”, MAM, Kocaeli, 1993
- [9] KULELİ,Ö., “Petrol Arıtım Teknolojisi”, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 1981
- [10] Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü, “Hava Kirliliğine Genel Bakış” Ankara: 5-13
- [11] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Karbonmonoksit>
- [12] ÜŞÜMEZSOY, Ş., “Petrol Şoku ve Yeni Ortadoğu Haritası” İleri Yayınları, İstanbul, 2003, 198
- [13] ÇENGEL,Y.A.,BOLES,M.A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayıncılık,1996
- [14] http://halk-sagligi.uludag.edu.tr/Seminerler/hava_kirliligi.pdf
- [15] <http://www.rshm.saglik.gov.tr/hki/hkindex/index5.htm>
- [16] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Karbonmonoksit>

- [17] Büyük Yakma Tesisleri için Mevcut En İyi Teknikler'e yönelik Başvuru Belgesi, Avrupa Komisyonu, Temmuz 2006
- [18] http://tr.wikipedia.org/wiki/Azot_oksit#cite_note-0#cite_note-0
- [19] [http://www.bilgi.com/ansiklopedi/Hidrojen Sulfur](http://www.bilgi.com/ansiklopedi/Hidrojen_Sulfur)
- [20] WHO, "Indoor air quality: organic pollutants," EURO Reports and Studies NO. 111, World Health Organization, Copenhagen, 1989]
- [21] EPA, "Benzene", <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/benzene.html>, erişim tarihi: 12.11.2008
- [22] GODISH, T., "Indoor Environmental Quality", Lewis Publishers, Boca Raton New York Washington D.C., 2001.4
- [23] BI, X., SHENG, G., FENG, Y., FU, J., XIE, J., "Gas-and particulate—phase specific tracer and toxic organic compounds in environmental tobacco smoke", Chemosphere, 61, 1512-1522, 2005]
- [24] <http://www.ankaracevrelab.com.tr/index.php?Sayfa=faydalibilgiler>
- [25] <http://www.derspc.com/Forum.asp?forum=oku&msgid=6989&yanilik>
- [26] <http://www.kimyaturk.net/index.php?topic=21425.0>
- [27] TIRIS,M., KALAFATOĞU,E.İ., OKUTAN,H., "Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü", TÜBİTAK,Kocaeli,1993
- [28] VDI-Richiline 3676, Massenkraftabscheider, VDI Verlag, Düsseldorf, 1977
- [29] GÜVEN,S., KALKAN,S., AFYONOĞU,B., KUŞ,S., VURAL,B.,"AB Müktesebatına Uyum Sürecinde Etki Analizi Kapasitesini Güçlendirerek, Çevre Başlığında Uygulama ve Farkındalık Yaratma Projesi", TEPAV, 2008
- [30] EİSHOLD, H.G., Arch. Eisenhüttenwesen, 1961
- [31] Ammerman,K., Haase-Wessel, W., Verfahrenstechnik, VDI-Richiline 3676, Massenkraftabscheider, VDI Verlag, Düsseldorf, 1977 No.9,1975
- [32] Air Pollution-Its Origin and Control. K.Wark, C.F. Warner, W.T. Davis.Addison-Wesley, 3rd edition, 1998.
- [33] MÜEZZİNOĞLU, A., "Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları", Dokuz Eylül Yayınları, İzmir, 2000
- [34] GÖZMEN,T.,"Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü", TÜBİTAK, Kocaeli,1993

- [35] <http://www.skyred.net/voc-volatile-organic-components-ucucu-organik-bilesikler-t1328.0.html>
- [36] Dergi, “ST Sektörel Tanıtım Proses Otomasyonu”, İstanbul, Temmuz 2009
- [37] <http://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0ncinerator>
- [38] <http://www.naimkaragoz.dr.tr/Makalegrup.aspx?hbr=8&kat=2>
- [39] T.C. İzmir Valiliği, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü “İzmir İl Çevre Durum Raporu”İzmir,2008,<http://www.cedgm.gov.tr/CED/AnaSayfa/IlCevreDurumRaporuIlleri/Izmir.aspx?sflang=tr>
- [40] <http://www.diyadinnet.com/YararliBilgiler-1220&Bilgi=karbondioksit>
- [41] MANABE, S., and Wetherald, R.T., *J.Atmos. Sci.* 32(1),3-15 (1975).
- [42] T.C.BAŞBAKANLIK Türkiye İstatistik Kurumu Tarım ve Çevre İstatistikleri Dairesi Başkanlığı Çevre İstatistikleri Grubu-Hava İstatistikleri Takımı
- [43] ERTÜRK, F., “Hava Kirliliği-Vizyon Ve Misyon” Yıldız Teknik Üniversitesi İnş. Fak. Çevre Müh. Böl. Beşiktaş, İstanbul
- [44] <http://www.tuik.gov.tr>
- [45] AŞARAN, M., “Karbondiyoksit (CO₂) Tutma Ve Depolama Küresel Enerji Politikaları Ve Türkiye Gerçeği”, TMMOB Türkiye VI. Enerji Sempozyumu
- [46] SİVASLIGİL, A.,“Gebze-DİLovası’nda Partikül Madde Kirliliği; Kirletici Kaynakların Dökümü ve Partikül Madde Kansorejenik PAH Analizi”,Gebze, 2007

EKLER

EK A. Dünya Ham Petrol Üretimi (10⁶ Ton)

Dünya Ham Petrol Üretimi (10⁶ Ton)
World Oil Production (10⁶ Tons)

Üretim*	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2008 2007'y e Göre Değişim	2008 %
ABD	352,6	349,2	346,8	338,4	329,2	313,3	310,2	309,8	305,1	-1,8%	7,8%
Kanada	126,9	126,1	135,0	142,6	147,6	144,9	153,4	159,5	156,7	-2,0%	4,0%
Meksika	171,2	176,6	178,4	188,8	190,7	187,1	183,1	172,7	157,4	-9,1%	4,0%
Toplam Kuzey Amerika	650,8	651,8	660,2	669,8	667,4	645,3	646,7	642,0	619,2	-3,8%	15,8%
Arjantin	40,4	41,5	40,9	40,2	37,8	36,2	35,8	34,9	34,1	-2,6%	0,9%
Brezilya	63,2	66,3	74,4	77,0	76,5	84,6	89,2	90,4	93,9	3,6%	2,4%
Kolombiya	35,3	31,0	29,7	27,9	27,3	27,3	27,5	27,6	30,5	10,3%	0,8%
Ekvator	20,9	21,2	20,4	21,7	27,3	27,6	27,7	26,5	26,2	-1,2%	0,7%
Peru	4,9	4,8	4,8	4,5	4,4	5,0	5,1	5,1	5,3	4,0%	0,1%
Trinidad & Tobago	6,8	6,5	7,5	7,9	7,3	8,3	8,3	7,2	6,9	-5,0%	0,2%
Venezuela	167,3	161,6	148,8	131,4	150,0	151,0	144,2	133,9	131,6	-1,9%	3,4%
Diğer	6,6	6,9	7,8	7,8	7,3	7,2	7,1	7,2	7,0	-2,7%	0,2%
Toplam Orta ve Güney Amerika	345,3	339,9	334,2	318,3	337,9	347,1	345,0	332,7	335,6	0,6%	8,5%
Azerbeycan	14,1	15,0	15,4	15,5	15,6	22,4	32,5	42,8	44,7	4,2%	1,1%
Danimarka	17,7	17,0	18,1	17,9	19,1	18,4	16,7	15,2	14,0	-7,7%	0,4%
İtalya	4,6	4,1	5,5	5,6	5,5	6,1	5,8	5,9	5,2	-10,9%	0,1%
Kazakistan	35,3	40,1	48,2	52,4	60,6	62,6	66,1	68,4	72,0	5,1%	1,8%
Norveç	160,2	162,0	157,3	153,0	149,9	138,2	128,7	118,8	114,2	-4,1%	2,9%
Romanya	6,3	6,2	6,1	5,9	5,7	5,4	5,0	4,7	4,7	-0,4%	0,1%
Rusya	323,3	348,1	379,6	421,4	458,8	470,0	480,5	491,3	488,5	-0,8%	12,4%
Türkmenistan	7,2	8,0	9,0	10,0	9,6	9,5	9,2	9,8	10,2	3,8%	0,3%
İngiltere	126,2	116,7	115,9	106,1	95,4	84,7	76,6	76,8	72,2	-6,3%	1,8%
Özbekistan	7,5	7,2	7,2	7,1	6,6	5,4	5,4	4,9	4,8	-2,7%	0,1%
Diğer	22,4	22,2	23,6	24,0	23,4	22,0	21,7	21,4	20,3	-5,3%	0,5%
Toplam Avrupa ve AvrupaAsya	724,7	746,6	786,0	818,9	850,1	844,8	848,1	860,0	851,0	-1,3%	21,7%
İran	189,4	186,5	172,7	203,7	209,7	210,1	211,3	209,7	209,8	-0,2%	5,3%
İrak	128,8	123,9	104,0	66,1	100,0	90,0	98,1	105,3	119,3	13,0%	3,0%
Kuveyt	109,1	105,8	98,2	114,8	122,3	129,3	132,4	129,9	137,3	5,3%	3,5%
Oman	47,6	47,5	44,5	40,7	37,5	38,9	37,2	34,6	36,0	3,7%	0,9%
katar	36,1	35,7	35,2	40,8	46,0	47,3	50,9	53,6	60,8	13,2%	1,5%
Sudi Arabistan	456,3	440,6	425,3	485,1	506,0	526,8	514,3	494,2	515,3	4,0%	13,1%
Suriye	27,3	28,9	27,2	26,2	24,7	22,4	20,9	20,6	19,8	-4,1%	0,5%
BAE	123,1	118,2	108,4	122,2	124,7	129,0	139,0	136,4	139,5	2,0%	3,6%
Yemen	21,3	21,5	21,5	21,1	19,9	19,6	17,9	16,3	14,4	-11,6%	0,4%
Diğer	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,6	1,4	1,6	1,5	-5,7%	w
Toplam Ortadoğu	1141, 2	1110, 8	1039, 4	1123,0	1193, 1	1215, 0	1223, 5	1202, 2	1253, 7	4,0%	31,9%

EK A. Devamı

Cezayir	66,8	65,8	70,9	79,0	83,6	86,4	86,2	86,5	85,6	-1,3%	2,2%
Angola	36,9	36,6	44,6	42,5	48,2	61,2	69,7	84,3	92,2	9,1%	2,3%
Cameroon	4,5	4,1	3,6	3,4	4,5	4,2	4,4	4,2	4,3	2,3%	0,1%
Chad	-	-	-	1,2	8,8	9,1	8,0	7,5	6,7	-11,5%	0,2%
Republic of Congo (Brazzaville)	13,1	12,1	11,9	11,1	11,2	12,7	13,5	11,5	12,9	12,3%	0,3%
Mısır	38,8	37,3	37,0	36,8	35,4	33,9	33,7	34,1	34,6	1,3%	0,9%
Equatorial Guinea	4,5	8,8	10,1	12,0	17,1	18,5	17,7	18,2	17,9	-2,1%	0,5%
Gabon	16,4	15,0	14,7	12,0	11,8	11,7	11,7	11,5	11,8	2,2%	0,3%
Libya	69,5	67,1	64,6	69,8	76,6	82,1	85,6	86,0	86,2	-0,1%	2,2%
Nijerya	105,4	110,8	102,3	110,3	121,9	125,4	120,0	114,2	105,3	-8,0%	2,7%
Sudan	8,6	10,7	11,9	13,1	14,9	15,0	16,3	23,1	23,7	2,6%	0,6%
Tunus	3,7	3,4	3,5	3,2	3,4	3,4	3,3	4,6	4,2	-8,9%	0,1%
Diğer	2,7	2,5	3,0	3,5	3,6	3,5	3,4	2,9	2,7	-8,5%	0,1%
Toplam Afrika	370,9	374,1	378,1	397,8	440,9	467,1	473,4	488,5	488,1	-0,4%	12,4%
Avustralya	35,3	31,8	31,5	26,6	24,8	24,5	23,4	24,1	23,8	-1,5%	0,6%
Brunei	9,4	9,9	10,2	10,5	10,3	10,1	10,8	9,5	8,5	-10,1%	0,2%
Çin	162,6	164,8	166,9	169,6	174,1	180,8	183,7	186,7	189,7	1,4%	4,8%
Hindistan	36,1	36,0	37,0	36,9	37,8	36,0	37,0	36,2	36,1	-0,5%	0,9%
Endonezya	71,5	68,0	63,0	57,7	55,2	53,0	49,9	47,4	49,1	3,2%	1,2%
Malezya	33,7	32,9	34,5	35,6	36,5	33,9	33,8	33,6	34,3	1,8%	0,9%
Tayland	7,0	7,5	8,2	9,6	9,1	10,8	11,8	12,7	13,4	5,5%	0,3%
Vietnam	16,2	17,1	17,3	17,7	20,8	19,4	17,8	16,4	15,4	-6,0%	0,4%
Diğer	9,4	9,1	9,0	9,1	8,7	9,2	9,5	10,5	10,9	3,1%	0,3%
Toplam Asya Pasifik	381,2	377,1	377,5	373,3	377,2	377,7	377,6	377,0	381,2	0,9%	9,7%
TOPLAM DÜNYA	3614,1	3600,3	3575,3	3701,1	3866,7	3897,0	3914,3	3902,3	3928,8	0,4%	100,0%
Avrupa Birliği	166,3	155,6	158,2	148,2	137,7	125,7	114,6	113,1	105,9	-6,6%	2,7%
OECD	1011,1	999,5	1005,3	995,6	977,9	931,8	912,0	898,0	864,1	-4,0%	22,0%
OPEC	1560,1	1520,4	1438,0	1523,3	1644,3	1691,7	1701,5	1707,8	1758,3	2,7%	44,8%
OPEC	1660,6	1655,3	1671,1	1664,1	1663,9	1628,2	1612,0	1570,3	1543,6	-2,0%	39,3%
Harici £ Eski	393,4	424,6	466,2	513,6	558,5	577,1	600,8	624,2	627,0	0,2%	16,0%
SSCB	393,4	424,6	466,2	513,6	558,5	577,1	600,8	624,2	627,0	0,2%	16,0%

* Ham petrol, petrol yağı, petrolü kum ve ham petrolle birlikte üretilen doğal gaz dahil Biyomas ve Kömörden kaynaklanan sıvılar dahil değil
w 0.05%'den az - £ Eski
SSBC hariç

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy JUNE 2009

EK B. Dünya Doğal Gaz Üretimi (10⁶ Ton Petrol Eşdeğeri)

Dünya Doğal Gaz Üretimi (10⁶ Ton Petrol Eşdeğeri)
World natural Gas Production (10⁶ Tons Oil Equivalent)

Üretim*										2008	2008
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2007'ye göre Değişim	%
ABD	495,5	508,2	489,9	496,2	481,1	468,1	479,3	494,5	533,0	7,5%	19,3%
Kanada	164,0	167,8	169,1	166,2	165,3	168,7	169,6	165,7	157,7	-5,1%	5,7%
Meksika	32,5	31,4	31,8	32,6	33,9	35,0	46,4	48,6	49,4	1,3%	1,8%
Toplam Kuzey Amerika	692,0	707,4	690,8	695,0	680,4	671,7	695,3	708,8	740,0	4,1%	26,7%
Arjantin	33,7	33,4	32,5	36,9	40,4	41,1	41,5	40,3	39,7	-1,9%	1,4%
Bolivya	2,9	4,2	4,4	5,7	8,8	10,7	11,6	12,4	12,5	0,5%	0,5%
Brezilya	6,5	6,8	8,3	9,0	9,9	9,9	10,2	10,2	12,5	22,4%	0,5%
Kolombiya	5,3	5,5	5,5	5,5	5,7	6,1	6,3	6,8	8,2	19,8%	0,3%
Trinidad & Tobago	12,6	13,7	15,6	22,3	24,6	27,3	32,8	35,1	35,4	0,5%	1,3%
Venezuela	25,1	26,6	25,6	22,7	25,6	25,3	28,3	28,9	28,3	-2,2%	1,0%
Diğer	3,2	3,4	3,3	3,1	3,5	4,3	5,2	5,8	6,5	11,6%	0,2%
Toplam Orta ve Güney Amerika	89,3	93,6	95,3	105,2	118,5	124,7	136,0	139,5	143,0	2,2%	5,2%
Azerbaycan	4,7	4,7	4,3	4,3	4,2	4,8	5,5	8,8	13,3	50,0%	0,5%
Danimarka	7,3	7,5	7,5	7,2	8,5	9,4	9,4	8,3	9,1	9,1%	0,3%
Almanya	15,2	15,3	15,3	15,9	14,7	14,2	14,1	12,9	11,7	-9,2%	0,4%
İtalya	13,7	12,6	12,1	11,5	10,7	10,0	9,1	8,0	7,5	-6,1%	0,3%
Kazakistan	9,7	9,7	9,5	11,7	18,6	21,0	21,5	23,8	27,2	13,9%	1,0%
Hollanda	51,6	55,7	53,9	52,5	61,9	56,6	55,4	54,5	60,8	11,2%	2,2%
Norveç	44,8	48,5	59,0	65,8	70,6	76,5	78,9	80,7	89,3	10,4%	3,2%
Polonya	3,3	3,5	3,6	3,6	3,9	3,9	3,9	3,9	3,7	-6,6%	0,1%
Romanya	12,4	12,2	11,9	11,7	11,5	11,2	10,7	10,4	10,4	-0,3%	0,4%
Rusya	490,5	488,2	499,9	520,8	531,9	538,2	534,4	532,8	541,5	1,4%	19,6%
Türkmenistan	39,5	43,1	44,9	49,6	48,9	52,9	54,3	58,9	59,5	0,7%	2,1%
Ukrayna	15,0	15,4	15,7	16,2	17,2	17,4	17,2	17,2	16,9	-2,3%	0,6%
İngiltere	97,5	95,2	93,2	92,6	86,7	79,4	72,0	64,9	62,6	-3,7%	2,3%
Özbekistan	47,4	48,2	48,2	48,3	50,3	49,5	49,0	53,2	56,0	4,9%	2,0%
Diğer	10,1	9,9	10,1	9,6	10,1	9,7	10,4	9,7	9,2	-5,4%	0,3%
Toplam Avrupa-Asya	862,6	869,8	889,1	921,3	949,7	954,5	945,7	947,9	978,6	2,9%	35,4%
Bahreyn	7,9	8,2	8,5	8,7	8,8	9,6	10,2	10,6	12,1	13,8%	0,4%
İran	54,2	59,4	67,5	73,4	82,6	90,8	97,7	100,7	104,7	3,6%	3,8%
Kuveyt	8,6	7,7	7,2	8,2	9,9	11,1	11,3	10,9	11,5	5,5%	0,4%
Oman	7,8	12,6	13,5	14,9	16,7	17,8	21,3	21,6	21,6	-0,3%	0,8%
Katar	21,3	24,3	26,6	28,3	35,3	41,2	45,6	56,9	69,0	20,9%	2,5%
Suudi Arabistan	44,8	48,3	51,0	54,1	59,1	64,1	66,2	67,0	70,3	4,7%	2,5%
Suriye	3,8	3,7	4,5	4,6	4,7	4,8	5,1	5,1	4,9	-2,8%	0,2%
BEA	34,5	35,4	39,1	40,3	41,7	42,3	44,1	45,4	45,2	-0,7%	1,6%
Diğer	3,1	2,7	2,4	1,6	3,0	4,0	3,7	3,7	3,7	-1,7%	0,1%
Toplam Ortadoğu	186,1	202,3	220,2	233,9	261,7	285,8	305,2	321,9	343,0	6,3%	12,4%
Cezayir	76,0	70,4	72,3	74,5	73,8	79,4	76,0	76,3	77,9	1,7%	2,8%
Mısır	16,5	19,3	20,4	22,5	24,2	31,2	49,2	50,1	53,0	5,4%	1,9%
Libya	4,8	5,0	5,1	5,2	5,6	10,2	11,9	13,8	14,3	3,6%	0,5%
Nijerya	11,3	13,4	12,8	17,3	20,5	20,2	25,6	31,5	31,5	-0,2%	1,1%
Diğer	5,6	6,0	6,7	6,4	7,1	8,1	10,6	12,2	16,7	35,7%	0,6%
Toplam Afrika	114,1	114,2	117,3	125,9	131,2	149,0	173,4	184,0	193,3	4,8%	7,0%

EK B. Devamı

Avusturalya	28,0	29,2	29,3	29,9	31,7	33,4	35,0	36,0	34,4	-4,5%	1,2%
Bangladeş	9,0	9,7	10,3	11,1	11,9	13,1	13,8	14,6	15,6	6,0%	0,6%
Brunei	10,2	10,3	10,3	11,1	11,0	10,8	11,3	11,0	10,9	-1,2%	0,4%
Çin	24,5	27,3	29,4	31,5	37,3	44,4	52,7	62,3	68,5	9,6%	2,5%
Hindistan	23,7	23,8	24,8	26,6	26,3	26,7	26,4	27,1	27,5	1,4%	1,0%
Endonezya	59,1	58,1	63,6	65,5	65,5	61,8	63,2	60,9	62,7	2,7%	2,3%
Malezya	40,7	42,2	43,5	46,6	48,5	54,0	53,7	54,7	56,3	2,5%	2,0%
Myanmar	3,1	6,5	7,6	8,6	9,2	11,7	11,3	12,2	11,2	-8,5%	0,4%
Yeni Zelandada	5,1	5,3	5,1	3,9	3,5	3,2	3,3	3,7	3,4	-6,3%	0,1%
Pakistan	20,5	21,1	20,6	22,7	24,7	27,2	32,5	32,8	33,8	2,6%	1,2%
Tayland	18,2	17,7	18,5	19,6	20,1	21,3	21,9	23,4	26,0	10,7%	0,9%
Vietnam	1,4	1,8	2,2	2,1	3,7	6,2	6,1	6,4	7,1	11,9%	0,3%
Diğer	3,2	3,4	4,9	6,0	5,8	6,5	9,4	11,7	12,7	8,5%	0,5%
Toplam Asya Pasifik	246,7	256,3	270,0	285,1	299,2	320,2	340,7	356,7	370,1	3,5%	13,4%
TOPLAM DÜNYA	2190,9	2243,6	2282,6	2366,4	2440,7	2506,0	2596,3	2658,8	2768,0	4%	100%
Avrupa Birliği #	208,0	209,2	204,6	201,5	205,0	191,0	181,2	168,7	171,3	1,2%	6,2%
OECD	968,3	989,9	979,4	987,3	982,5	967,8	985,7	990,9	1031,9	3,9%	37,3%
Eski SSCB	607,1	609,6	622,7	651,1	671,2	684,0	682,2	694,9	714,3	2,5%	25,8%
Diğer EMEs	615,5	644,2	680,5	727,9	787,0	854,2	928,4	973,0	1021,8	4,7%	36,9%

* Fleyr gazı ve risaykıl gazı dahil değil

1985'den önceki Estonya, Litvanya and Letonya ile 1991 öncesi Slovenya dahil değil

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy JUNE 2009

EK C. Partikül kontrol sistemlerinin avantaj ve dezavantajları

Partiküler Madde (Toz) Kontrol Sistemlerinin Karşılaştırılması							
Siklonlar		Elektrostatik filtreler		Torba filtreler		Islak filtreler	
Avantajları	Dezavantajları	Avantajları	Dezavantajları	Avantajları	Dezavantajları	Avantajları	Dezavantajları
Düşük yatırım maliyeti	1 mm den düşük çaptaki partiküllerin tutulmasında düşük verimle çalışır	Orta ve büyük çaplı partiküller için %99.9'dan fazla tutma verimi ve düşük enerji maliyeti	Yüksek yatırım maliyeti	İri ve ince partikülleri yüksek verimde tutma özelliği (%99.9)	Maliyeti yüksek olan mineral veya metalik filtre ihtiyacı (290oC den yüksek sıcaklıklar için)	Daha az alan gereksinimi	Potansiyel atıksu arıtımı problemi
Daha basit ve az işletme problemleri	Yapışkan partiküllerin giderilmesinde yetersizdir	Tozların kuru olarak toplanması ve bertarafı	Gaz akımındaki değişimlere hassaslık	Gaz akımındaki değişiklikler için uygunluk	Toplanan tozun giderilmesi için filtre değişimi	Gaz ve partikül maddelerin özellikle yapışkan olanları tutabilmesi	Korozyon problemi
Düşük işletme basıncında çalışma (515 cm su kolonu)		Minimum bakımda sürekli işletim	Yüksek veya düşük dayanımlı tozların tutulmasında güçlük	Filtre çıkış havasının sirkülasyonu	Yüksek bakım maliyetleri	Yüksek sıcaklıkta ve yüksek nemlilikte gaz akımlarına uygunluk	Yüksek basınçta damlama (25 cm su kolonu)
Kuru toplama ve depolama		Düşük işletim maliyeti	İnşa için fazla alan gereksinimi	Toplanan materyallerin kuru olarak toplanıp depolanması	Asitli ortamda bulunan tozların patlama ve yangın riski	Düşük yatırım maliyeti (eğer arıtma tesisleri gerekli değilse)	Islak-kuru fazında potansiyel katı birikmesi
Daha küçük alan ihtiyacı		Yüksek sıcaklık (700oC den fazla) ve yüksek basınçta (10 atm'den fazla) ve vakum altında çalışabilme	Yanma gazlarından dolayı patlama riski	Filtreler için değişik özellikler ve konfigürasyonların olması	Filtre değişimlerinde koruyucu ekipman ihtiyacı	Küçük partikülleri yüksek verimle tutma	Yüksek bakım maliyetleri
		Geniş aralıktaki akış debisi için uygunluk	Negatif yüklü elektrotlardan dolayı gaz iyonizasyonu neticesinde ozon oluşumu	Basit işletim gerektirmesi	Filtre ömrünün asidik veya alkali özellik taşıyan partiküllerin varlığında kısa olması		
			Eğitimli personel ihtiyacı				

ÖZGEÇMİŞ

Hasan GÜVEN, 03.09.1079'da Giresun'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Giresun'da lise eğitimini Kocaeli / Gebze'de tamamladı. 1997 yılında Gebze Sağlık Meslek Lisesi, Çevre Sağlığı Bölümünden mezun oldu. 1999'da başladığı Kocaeli Üniversitesi, İhsaniye Meslek Yüksek Okulu, Çevre Koruma bölümünü 2001'de bitirdi. 2002 yılında Dikey Geçiş Sınavı ile yerleşmiş olduğu Erzurum Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında mezun oldu. 1999 yılında girmiş olduğu Devlet 2001 yılı Şubat ayında 1999 yılında gi1992 Memurları Sınavı ile 2001 yılında Kocaeli İl Sağlık Müdürlüğü, Gebze 1. nolu Sağlık ocağında Çevre Sağlığı Teknisyeni olarak göreve başladı. Erzurum İl Sağlık Müdürlüğü ve Erzurum İl Tarım Müdürlüğünde Çevre Sağlığı Teknisyeni olarak görev yaptı. 2005 yılından itibaren halen Kocaeli İl Çevre ve Orman Müdürlüğünde Çevre Mühendisi olarak görev yapmaktadır.