

85114

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

## **GÜÇ SANTRALLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ**

**Mak. Müh. Gürkan ÜNLÜ**

**F. B. E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şükrü BEKDEMİR**

85114

Doç. Dr. Sükrü Bekdemir  
[Signature]

[Signature]  
Prof. Dr. Ahmet Bayraktar  
Prof. Dr. İsmail Kocak  
[Signature]

**İSTANBUL, 1999**

## İÇİNDEKİLER

Özet	i
Abstract	ii
Teşekkür	iii
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2.TÜRKİYE' DE ve DÜNYADAKİ ENERJİ DURUMUNA GENELBAKİŞ</b>	<b>3</b>
<b>3.GÜÇ SANTRALLARINI GENEL OLARAK SINIFLANDIRILMASI</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Termik Santralların Çalışma Prensipleri</b>	<b>7</b>
<b>3.1.1 Kömüre dayalı termik santrallar</b>	<b>7</b>
<b>3.1.2 Doğal gaz kombine çevrim santralları</b>	<b>10</b>
<b>3.1.3 Termik santralların kurulmasında dikkate alınması gereken kriterler</b>	<b>12</b>
<b>3.1.3.1 Elektriğin kullanılacağı bölge</b>	<b>12</b>
<b>3.1.3.2 Soğutma suyunun temini</b>	<b>12</b>
<b>3.1.3.3 Yakıtın sağlanması</b>	<b>12</b>
<b>3.1.3.4 Diğer kriterler</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Nükleer Santrallar ve Çalışma Prensipleri</b>	<b>13</b>
<b>3.2.1 Hafif su reaktörleri</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1.1 Basınçlı su reaktörleri</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1.2 Kaynar su reaktörü</b>	<b>16</b>
<b>3.3 Hidrolik Santralların Sınıflandırılması</b>	<b>18</b>
<b>3.3.1 Düşülerine göre</b>	<b>18</b>
<b>3.3.2 Kapasitelerine göre</b>	<b>18</b>
<b>3.3.3 Ürettikleri enerjinin karakterine göre</b>	<b>18</b>
<b>3.3.4 Biriktirme kapasitelerine göre</b>	<b>19</b>
<b>3.3.5 Yapılışlarına göre</b>	<b>19</b>
<b>4. YAKITLAR ve YANMA</b>	<b>20</b>

<b>4.1 Yakıtlar</b>	<b>20</b>
<b>4.1.1 Katı yakıtlar</b>	<b>20</b>
<b>4.1.2 Sıvı yakıtlar</b>	<b>23</b>
<b>4.1.3 Gaz yakıtlar</b>	<b>23</b>
<b>4.2 Yanma Olayı</b>	<b>26</b>
<b>4.2.1 Yanma reaksiyonları</b>	<b>26</b>
<b>5.GÜÇ SANTRALLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ</b>	<b>29</b>
<b>5.1 Termik Santralların Çevresel Etkileri</b>	<b>29</b>
<b>5.1.1 Asit yağmurları</b>	<b>29</b>
<b>5.1.1.1 SO<sub>2</sub> kontrolü</b>	<b>30</b>
<b>5.1.1.1.1 Baca yükseltilmesi</b>	<b>34</b>
<b>5.1.1.1.2 Alternatif yakıtların kullanılması</b>	<b>34</b>
<b>5.1.1.1.3 Yakıttaki kükürtün giderilmesi</b>	<b>35</b>
<b>5.1.1.1.4 Kükürt dioksitin yanma odasında tutulması</b>	<b>36</b>
<b>5.1.1.1.5 Baca gazındaki SO<sub>2</sub>' in arındırılması ( Baca gazı Desülfürizasyonu )</b>	<b>40</b>
<b>5.1.1.1.5.1 Kireç yaş SO<sub>2</sub> arıtma prosesi</b>	<b>44</b>
<b>5.1.1.1.5.2 Kireçtaşı yaş SO<sub>2</sub> arıtma prosesi</b>	<b>45</b>
<b>5.1.1.1.5.3 MgO ile yıkama prosesi</b>	<b>49</b>
<b>5.1.1.1.5.4 Wellman-Lord yöntemi</b>	<b>51</b>
<b>5.1.1.2 NO<sub>x</sub> kontrolü</b>	<b>55</b>
<b>5.1.1.2.1 Yanma öncesi ve yanma esnasında NO<sub>x</sub> kontrolü</b>	<b>56</b>
<b>5.1.1.2.2 Baca gazlarından NO<sub>x</sub> giderme teknikleri</b>	<b>57</b>
<b>5.1.1.2.2.1 Katalizörlü ve katalizörsüz seçmeli NO<sub>x</sub> arıtma yöntemleri</b>	<b>57</b>
<b>5.1.1.2.2.2 Birleşik SO<sub>2</sub>/ NO<sub>x</sub> arıtma yöntemleri</b>	<b>63</b>
<b>5.1.1.3 Partikül kontrolü</b>	<b>65</b>
<b>5.1.1.3.1 Elektrostatik filtreler</b>	<b>66</b>

<b>5.1.1.3.2 Torba toz filtreleri</b>	<b>69</b>
<b>5.1.1.3.3 Toz çökeltme odaları</b>	<b>72</b>
<b>5.1.1.3.4 Siklonlar</b>	<b>75</b>
<b>5.1.2 Şera etkisine neden olan gazlar ve dünya üzerindeki etkileri</b>	<b>78</b>
<b>5.1.2.1 Karbon dioksit ( CO<sub>2</sub> )</b>	<b>79</b>
<b>5.1.2.2 Metan ( CH<sub>4</sub> )</b>	<b>80</b>
<b>5.1.2.3 Ozan ( O<sub>3</sub> )</b>	<b>80</b>
<b>5.2 Nükleer Santralların Çevresel Etkileri</b>	<b>85</b>
<b>5.2.1 Radyoaktif atıklar</b>	<b>85</b>
<b>5.2.1.1 Düşük seviyeli atıklar ( DSA )</b>	<b>85</b>
<b>5.2.1.2 Orta seviyeli atıklar</b>	<b>86</b>
<b>5.2.1.3 Yüksek seviyeli atıklar</b>	<b>86</b>
<b>5.2.2 Radyoaktif kirlenme</b>	<b>88</b>
<b>5.3 Hidroelektrik Santralların Çevresel Etkileri</b>	<b>92</b>
<b>5.3.1 İklim etkileri</b>	<b>93</b>
<b>5.3.2 Ekolojik etkiler</b>	<b>93</b>
<b>5.3.3 Sosyo-ekonomik etkiler</b>	<b>93</b>
<b>6. TÜRKİYEDEKİ SANTRALLARDA YAPILAN ÇALIŞMALAR ve SANTRALLARIN EKONOMİK ANALİZİ</b>	<b>94</b>
<b>6.1 Türkiyedeki Termik Santralların Durumu</b>	<b>94</b>
<b>6.1.1 Baca gazları</b>	<b>94</b>
<b>6.1.2 Katı atıklar</b>	<b>97</b>
<b>6.1.3 Sıvı atıklar</b>	<b>98</b>
<b>6.2 Türkiyedeki Santralların Ekonomik Analizi</b>	<b>99</b>
<b>7. SONUÇ</b>	<b>101</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>106</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>109</b>

## ÖZET

İnsanoğlunun günlük yaşamını sürdürebilmesi için gerekli unsurlardan birisi de enerjidir. Dünya nüfusunun artışı ve hızlı endüstriyel gelişme ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Günümüzde kişi başına düşen enerji tüketimi ülkelerin gelişmişlik seviyesinin bir göstergesi olmaktadır. Ancak enerjinin günümüzde birçok yararının olmasının yanısıra, enerji üretimi ve nakli sırasında tabii çevre etkilenmekte ve kirlenmektedir. Dünya elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımına bakacak olursak en büyük payın termik santrallara ait olduğu görülür. Termik santrallarda enerji üretimi için her yıl yakılan tonlarca yakıttan milyonlarca ton kirlenici toz, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO atmosfere atılmaktadır. Bu kirleniciler insan sağlığını ve çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir.

Son yıllarda, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çevreye karşı olan duyarlılığın artmasıyla fosil yakıtlı santrallarda yeni arayışlara girilmiştir. Bu sebeple çevreyi az kirlitecek yeni teknolojiler uygulamaya konurken diğer taraftan yüksek verimle çalışan ve az yakıt tüketen teknolojiler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu doğrultuda yaygınlaşmada olan santrallar arasında kombine çevrim santralları ve nükleer santrallar yer almaktadır.

Bu çalışmada, enerji üretim tesislerinin sebep olduğu çevresel etkiler ve bu etkilerin azaltılması ile ilgili uygulanan yöntemler belirtilmiştir. Bu doğrultuda ülkemiz de gelişmekte olan ülkeler arasında olduğundan çevreye verilen önem artmakta ve buna paralel olarak önlemlerin alınması gerekmektedir. Ayrıca ülkemizdeki fosil yakıtlı santralların teknolojilerinin eski olması nedeniyle desülfürizasyon ve denitrifikasyon ünitelerinin kurulması lazımdır. Yapılan tahminlere göre 2010 yılından itibaren yerli enerji kaynaklarımızın enerji talebimizi karşılamayacağı belirtilmektedir. Bu sebeple ülkemizin planlarında uzun dönemde ithal kaynaklara olan talebin artacağı anlaşılmaktadır. Bu kaynaklar arasında kombine çevrim santralları ve nükleer santrallar yer almaktadır. Sonuç olarak enerji emniyeti, maliyet ve çevre bilincinin optimum noktada birleştirilerek önümüzdeki yıllarda nükleer santral ve kombine çevrim santralının kurulması gerektiği belirtilmiştir.

**Anahtar kelimeler : Enerji Santralları, Desülfürizasyon, Kirlenici Emisyonlar, Çevresel Etkiler, Partikül Kontrolü**

**ABSTRACT**

**Energy is one of the necessary elements for humans to carry on daily life. The need for energy is being increased in association with the population explosion and rapid industrial development. Today, energy consumption of each person is an indication of the development level of the countries in the world. Although energy provides several benefits, the environment is being affected and polluted during its generation and transportation period. When we examine the electrical energy generation according to sources of distribution, it's clear that the greatest fraction belongs to the thermal power plants. Every year, from the thermal power plants millions of tons of polluted dust particles, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and CO, as the remains of tons of burned fuel, have been thrown into the atmosphere. This unpleasant pollution affects the health of the people and the environment negatively.**

**New searches have been started recently in the fossil fuel-fired power plants due to the increase of sensitivity for the environment both in the developed and developing countries. For this reason, while applying new technologies having less pollution, techniques that consume less fuel with high production have been started to be developed. In this direction, combined heat and power plants and nuclear power plants take place among the plants that are being disseminated.**

**In this study, environmental effects caused by energy generation plants and methods dealing with the reduction of the related effects have been pointed out. In this respect, since our country is among the developing countries, more importance to the protection of environment has been given and parallel to this necessary precautions have been taken. In addition, establishment of desulphurization and denitrification units in our country is being required since the technologies of fossil fuel-fired power plants have been quite old. According to certain estimations, it is found out that our energy sources would not be able to meet our energy demands from 2010 on. Therefore, in the plans of our country it is understood that the need for long term import sources will be increased. Combined heat and power plants and nuclear power plants take place among these sources. As a conclusion, it has been determined that in the following years combined heat and power plants and nuclear power plants have to be set up by means of the union of energy security, cost and environment consciousness at an optimum point.**

**Key Words : Power Plants, Desulphurization, Polluting Emissions, Environmental Effects, Particle Control**

## TEŞEKKÜR

**Tez çalışmam boyunca faydalı önerileri ve yardımları için değerli hocam Doç.Dr Şükrü Bekdemir' e içten teşekkürlerimi bildiririm.**



## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artışı ile birlikte enerjiye olan talep de günden güne artmakta ve bu ihtiyaç çeşitli konvansiyonel kaynaklarla karşılanmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanması ile oluşan kirliliğin büyük bir kısmı karbon kökenli birincil enerji kaynaklarının yakılması sonucu oluşan gazların atmosfere atılmasından oluşmaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanılmasıyla birlikte ekolojik ve iklimsel denge bozulmakta ve bunun sonucunda yeni enerji kaynaklarının araştırılması gündeme gelmektedir.

Dünya elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre bakacak olursak % 58 ile termik santraller ilk sırada yer almaktadır. Bunu sırasıyla % 24 nükleer ve % 17 ile nükleer santraller izlemektedir. Elektrik üretiminde en büyük paya sahip termik santrallerde yakılan yakıtlar sonucunda oluşan yanma gazları, karbon dioksit (  $CO_2$  ), karbon monoksit (  $CO$  ), kükürt dioksit (  $SO_2$  ), azot oksitler (  $NO_x$  ), uçucu bileşikler (  $VOC$  ) ve taneler maddeler içermektedir.

Yanma gazlarında bulunan karbon dioksit dünyanın ekolojik dengesini bozmakta ve sera etkisini arttırmaktadır. Bunun sonucunda atmosfer ortalama sıcaklığının artacağı tahmin edilmektedir. Kükürt dioksit ve azot oksitler ise bitkisel örtüyü tahrip etmekte ve asit yağmurları şeklinde çevre kirliliğine sebep olmakta ve böylece insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemektedir.

Enerji talebinde sağlanacak düşüşlerin, çevre kirliliğini azaltacağı bilinmektedir. Fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan bu emisyonlarının doğrudan doğruya tüketilen enerji miktarına bağlı olması, iklim değişikliklerine karşı alınacak önlemler arasında, yakıtların verimli kullanımı için planların gerçekleştirilmesini birinci öncelikli önlem yapmaktadır.

Bu kirleticilerin bir kısmı uygun yakıt seçimi, uygun yakma sistemi seçimi ve yakma kontrolü ile yanma odasında tutulabilmektedir. Artan enerji talebiyle yakıt kullanımında artmakta, bunun sonucunda baca gazı içerisindeki kirletici emisyonlarında

artış gözlenecektir. Bu sebeple daha etkili bir kontrol içinde bu enerji üretim sistemlerine desülfürizasyon ve denitrifikasyon ünitelerinin eklenmesi ihtiyacı oluşmaktadır. Bu doğrultuda yapılan bu çalışmada enerji üretim sistemleri ve bunların sebep olduğu zararlı etkiler ve bunların önlenmesi için geliştirilen sistemler incelenecektir ve de ülkemizdeki uygulamalar hakkında bilgi verilecektir.



## 2. Türkiye' de ve Dünya' daki Enerji Durumuna Genel Bakış :

Çevresel sorunların en önemli kaynaklarından biri olan enerji üretim ve tüketiminin toplumsal, ekonomik ve endüstriyel gelişmenin temel unsurlarından birisini oluşturduğu ve kişi başına düşen enerji tüketiminin, toplumun etkin bir " gelişmişlik göstergesi " olarak kabul edildiği bilinmektedir. Bu sebeple, enerji üretim ve tüketiminin çevre üzerindeki etkileri değerlendirilerek gerekli önlemler alındığı takdirde çevre sorunları önemli ölçüde azaltılmış olacaktır.

Yüksek nüfus artışı ve kentleşme, hızlı ekonomik büyüme ve endüstriyel gelişme sonucunda kalkınmakta olan ülkelerin enerji ve elektrik tüketimleri de artmaktadır. Dünya nihai elektrik talebinin 2010 yılına kadar yıllık ortalama % 2.4- % 3.1 oranları arasında artması beklenmektedir. Bir başka ifade ile elektrik talebinin 1993' teki 1121 MTEP değerinden 2010 yılında 1700 - 1900 MTEP arasında bir değere ulaşması beklenmektedir. [ Fatih, B., 1997 ]

Dünya toplam birincil enerji talebinin, 2010 yılına kadar olan dönemde % 34 ile % 46 arasında bir artış göstermesi beklenmektedir. Bu artışı % 1.7 veya % 2.2 yıllık ortalama artış oranını ifade eder.

Petrol, 2010 yılında % 40 pay ile en önemli yakıt türü olmaya devam edecektir. Dünya toplam petrol ihtiyacı hacminin günde 92 - 97 milyon varil olacağı öngörülmektedir. Kalkınmakta olan ülkelerde hızlı ekonomik büyüme ve ulaştırma sektörü talebindeki artış nedeniyle gelecekteki artışın hızlı olması beklenmektedir.

İncelemeler sonucunda dünya gaz talebinin yıllık ortalama % 1.1 ile % 2.9 oranında artacağı düşünülmektedir. 1993 yılında yaklaşık 1700 MTEP olan dünya gaz talebinin 2010 yılında 2275 - 2795 MTEP olması beklenmektedir. Artan gaz talebi öncelikli olarak elektrik üretim sektöründen kaynaklanmaktadır. Kombine çevrimli gaz türbinlerinin dizayn, işletme ve verimliliği ile ilgili ilerlemeler elektrik üretiminin ekonomikliğini doğal gaz yönünde değiştirmiştir. Bu tesislerin ilk kurulum maliyetlerinin düşük olması, inşaat süresinin kısa olması ve diğer fosil yakıtlı elektrik santrallerine oranla

daha verimli ve daha az kirlilik yaratici özellikte olması elektrik üretiminde gaz kaynaklı santrallerin seçilmesinde önemli avantajlardır.

Dünya katı yakıt tüketiminin 1993 yılında 2300 MTEP olan değeri, yıllık ortalama % 1.7 - % 2.2 oranındaki artışla 2010 yılında 3000 MTEP 'in üzerinde olması beklenmektedir. Hızla büyüyen ülkeler, yüksek düzeyde kömüre bağlıdır. Bu da, kalkınmakta olan ülkelerin kömür talebinde hızlı bir artışa neden olmaktadır. 1993 'te OECD en yüksek katı yakıt tüketen bölge özelliği taşımakta iken, 2010 yılında OECD' nin tüketiminin sadece üçte birinden biraz fazla olacağı hesaplanmaktadır. Kalkınmakta olan ülkeler ise dünya katı yakıt tüketiminin yarısından fazlasını gerçekleştireceklerdir.

Dünya'daki kaynaklar itibariyle birincil enerji tüketim durumu Tablo 2.1'de verilmiştir.

**Tablo 2.1** Kıtaların Kaynaklar İtibariyle Birincil Enerji Tüketim Durumu

( Milyon TEP, 1995 Yılı )

Ülkeler	Katı Yakıtlar	Sıvı yakıtlar	Gaz Yakıtlar	Birincil Elektrik	Toplam
Afrika	87,8	102,7	37,9	9,4	237,8
Asya ve Avustralya	1001,0	845,2	193,6	151,3	2191,1
Orta Doğu	5,6	186,5	118,4	1,2	311,7
Avrupa	383,0	725,6	339,1	277,1	1724,8
Rusya ve BDT	191,7	214,7	470,1	66,6	943,1
Kuzey Amerika	523,7	958,4	654,2	266,6	2402,9
Orta ve Güney Amerika	17,9	193,8	70,3	42,7	324,7
Dünya	2210,7	3226,9	1883,6	814,9	8136,1
1992 Yılı Toplam					7876,6
1993 Yılı Toplam					7896,6
1994 Yılı Toplam					7990,4

ref. B. P. Statistical Review of World Energy, 1996

Tablo 2.1' den de görüleceği gibi enerji talebi gün geçtikçe artmaktadır. Dünya yakıt kompozisyonunda 2010 yılı itibariyle enerji türleri açısından ciddi bir değişim

beklenmemektedir. Doğal gazın payı katı yakıtlar, petrol ve nükleer enerjiye kıyasla nispi bir artış gösterecektir.

Türkiye' deki duruma bakacak olursak 1996 yılı itibariyle elektrik üretiminde % 57.3' lük paya sahip olan termik enerji birinci sırayı almaktadır. Bunu % 42.7 ile hidroelektrik enerji takip etmektedir. Bununla ilgili veriler Tablo 2.2' de verilmiştir.

**Tablo 2.2** Türkiye' deki Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı ve Payları  
( Elektrik Üretimi GWh )

	Termik	Hidrolik	Toplam	Artış
1994	47735,8	30585,9	78321,1	6,1
1995	50706,5	35540,9	86247,4	10,1
1996	54386,5	40475,2	94861,7	10
% Pay 1994	60,9	39,1		
% Pay 1995	58,8	41,2		
% Pay 1996	57,3	42,7		

ref. Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri, 1996 TEAŞ Gn.Md.

Türkiye 'deki elektrik enerjisinin 1990 - 1996 yılları arasındaki sektörel dağılımı Tablo 2.3' de verilmiştir.

**Tablo 2.3** (1990 - 1996) Yılları arasındaki elektrik enerjisi tüketiminin sektörel dağılımı  
(GWh)

Yıllar	Sanayi	Konut ve Hizmetler	Tarım	Ulaşım	Toplam
1990	29212	16688	575	345	46820
1991	28512	19664	712	395	49283
1992	31536	21152	859	438	53985
1993	34247	23523	989	478	59237
1994	34138	25579	1194	490	61401
1995	36302	29253	1349	490	67394
1996	39946	32188	1484	539	74157

ref. Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri, 1996 TEAŞ Gn.Md.

Tablo 2.3' ten de anlaşılacağı gibi elektrik enerjisi tüketiminde birinci sırayı sanayi sektörü almaktadır. Bunu sırasıyla konut ve hizmet sektörü, tarım, ulaşım sektörü takip etmektedir.

Türkiye' de ve dünya'da elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıtlı santraller büyük paya sahiptir. Bunun sonucunda bu tür yakıt yakan termik santraller çevre açısından birtakım problemleri beraberinde getirmektedirler. Bu santrallerde fosil yakıtların yakılması sonucu çevreye karbondioksit (  $CO_2$  ), kükürt dioksit (  $SO_2$  ), azot oksitler (  $NO_x$  ) ve katı partiküller bırakılmaktadır.

Atmosferdeki  $CO_2$  miktarının artmasıyla sera etkisi oluşmaktadır. Bunun sonucunda atmosferin ortalama sıcaklığı artacak ve iklim değişiklikleri meydana gelecektir.  $SO_2$  ve  $NO_x$  gazları ise asit yağmurlarına sebep olmakta ve böylece hem bitkisel örtüyü hem de insan sağlığını tehdit etmektedir.

Fosil kaynakların çevreye verdiği zararın yanısıra yakın bir gelecekte bu kaynakların tükenerek olması önemli bir problemdir. Ancak bütün bunlara rağmen bu kaynaklar günümüzdeki önemlerini koruyacaklardır.

Konvansiyonel enerji kaynaklarının sebep olduğu çevresel etkilerin azaltılması için birtakım önlemlerin alınması gerekmektedir. Çevreye verilen önemin artmasıyla, enerji maliyetinin artmasına neden olmasına rağmen bu önlemlerin alınması gerekmektedir. Yakma sistemlerinin geliştirilmesi, yakıttan ve baca gazlarından zararlı atıkların uzaklaştırılması bu önlemlerin başlıcalarıdır.

### 3. GÜÇ SANTRALLARININ GENEL OLARAK SINIFLANDIRILMASI

#### 3.1 Termik Santralların Yapısı ve Çalışma Prensipleri :

##### 3.1.1 Kömüre dayalı termik santrallar:

Bir yakıtın ekzotermik reaksiyon sonucunda oksijenle birleşmesine yanma denir. Bu santral tipinde de yakıt olarak kömür kullanılır. İstenilen ısı veriminin sağlanması, büyük ölçüde tam yanmanın sağlanmasına bağlıdır. Bu nedenle, termik santrallarda yanmayı kolaylaştırabilmek için kömür öğütülerek yüzey alanı artırılır.

Santrallar enerjinin dönüştürüldüğü tesislerdir. Yakıtın kimyasal enerjisi, birincil enerji olarak kullanılmakta ve kazanda yakılmasıyla ortaya çıkan bu enerji suya geçerek suyu buharlaştırmaktadır. Daha sonra bu buhar türbinlere gönderilerek mekanik enerji elde edilir ve mekanik enerji de jeneratörde elektrik enerjisi halini almaktadır.

Santralda kullanılacak olan kömür, bantlarla kömür kırıcılara gelir. Burada toz haline getirilerek brülörler yardımı ile kazana püskürtülür ve taze hava ile birlikte yakılır.

Kazanda yanma havasındaki oksijenle birleşerek yanan kömürün içindeki yanıcı maddeler gaz haline dönüşür, yanma özelliği olmayan kül ve curuf gibi maddeler geriye kalır. Bu maddeler kazandan alınarak atılır veya inşaat sektöründe ham madde olarak kullanılır. Nem miktarı % 20-60 arasında değişebilir ve buhar halinde baca gazlarıyla birlikte atmosfere atılır.

Yanma için gerekli olan taze hava atmosferden emilir ve ön ısı değiştiricisinden geçirilerek ısıtıldıktan sonra kazana basılır. Kazanda kömürün hava ile yanmasından oluşan baca gazları kazanın ısıtma yüzeyleri arasından geçerek ısınıp bu ısıtma yüzeylerine aktarır. Daha sonra hava ön ısıtıcısından, filtreden geçer ve bacaya verilir oradan da atmosfere atılır. Kazandaki kimyasal enerji besleme suyu ile taşınır.

Kazanda ısıtılan ve kazan duvarlarını oluşturan buharlaştırıcı borular içinde buharlaştırılan su, tekrar kızdırıcılardan belirli basınç ve kızgın buhar halinde türbine gelir. Buharın kinetik enerjisi türbin kanatlarında mekanik enerjiye dönüşür. Su haline gelen buhar kondenserin altındaki tankta toplanır. Buradan çıkan kondense yoğuşturma pompasında basıncı bir miktar yükseltilerek alçak basınç ön ısıtıcısından geçirilir ve besleme suyu tankından çıkan su, besleme suyu pompasıyla yüksek basınç ön ısıtıcılarına oradan da kazana gönderilir. Böylece çevrim tamamlanmış olur ve aynı işler tekrarlanır. Kömüre dayalı termik santral ilgili akım şeması Şekil 3.1' de verilmiştir. [ Termik Santraller Daire Başkanlığı ,TEAŞ 1996 ]

Ara kızdırmalı ünitelerde, kazandan gelen kızdırılmış taze buhar, türbinin yüksek basınç basamaklarından geçerek genişler, tekrar kazana döner, yeniden kızdırılır ( ara kızdırma ), kazandan çıkar, türbinin orta basınç ve alçak basınç basamaklarından geçerek genişler ve kondenserde yoğuşur.

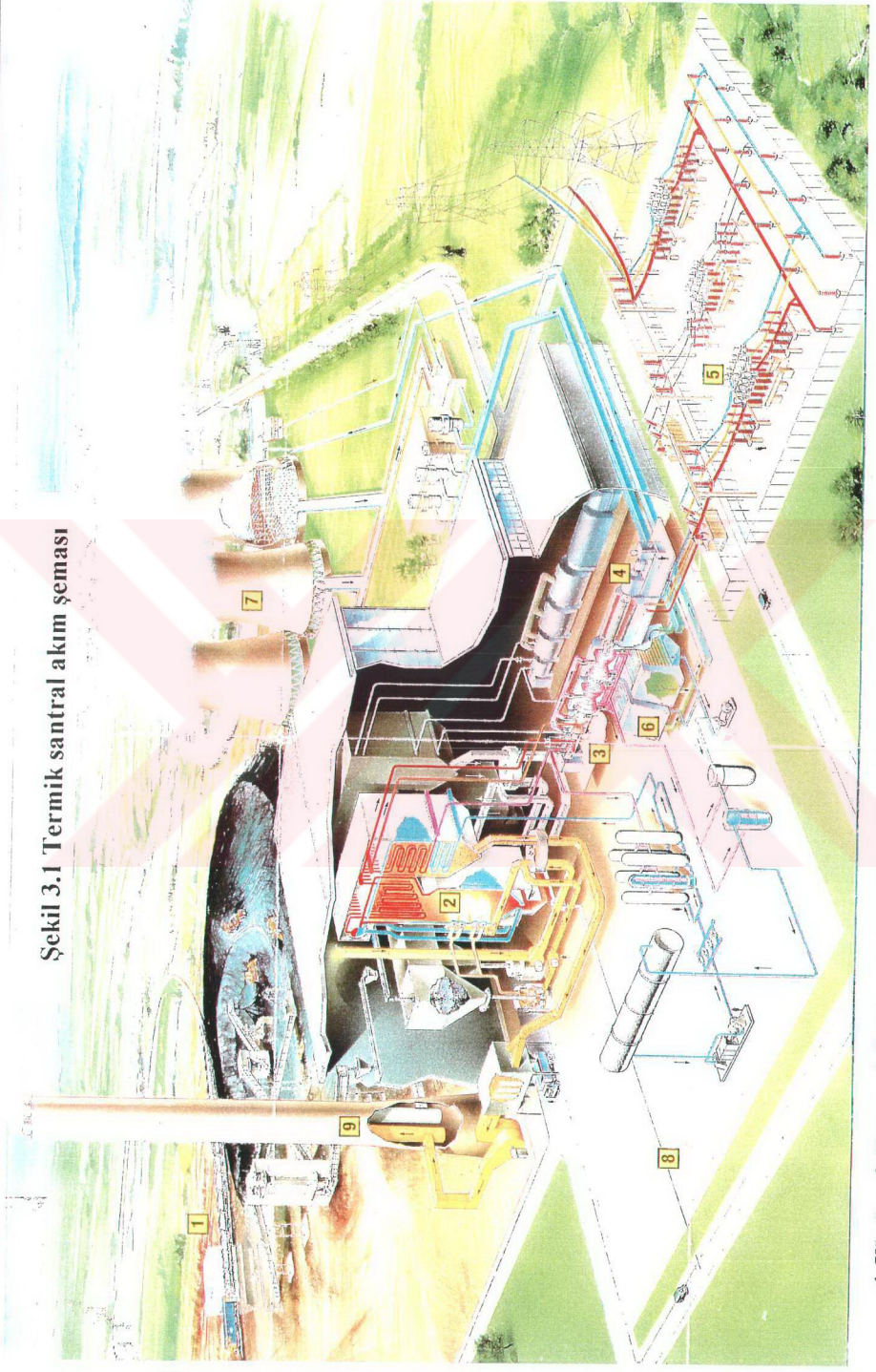
Su buhar çevriminde besleme suyundaki kayıplar ilave su ile karşılanır. Kazan ilave suyu korozyon vb. gibi işletme sorunlarının önlenmesi amacı ile su arıtma ünitesinde ( ön arıtma ve demineralizasyon üniteleri ) belirli fiziksel ve kimyasal özellikleri sağlayacak şekilde arıtılmaktadır.

Kondenserde buharın yoğuşturulması amacıyla büyük miktarda soğutma suyu kullanılmakta olup bu işlem iki yöntemle yapılmaktadır.

" Açık devre ile soğutmada ", su açılan bir kanala doldurulur ve iri pisliklerinden ayrılır. Daha sonra süzgeçlerde mekanik olarak temizlenir. Soğutma suyu sıcaklığı ideal şartlarda 10 - 15 B C olmalıdır. Su kondensere basılarak buharı yoğuşturur. Suyun sıcaklığı 8 - 10 B C arasında artar. Su tekrar alındığı ortama verilir.

" Kapalı devre ile soğutmada " ise kondenserden çıkan su soğutma kulesinde soğutulmuş olarak tekrar kondensere gönderilir. Bu tip sistemlerde, buharlaşma ve blöf kayıplarını karşılamak üzere sisteme su ilavesi yapılır.

Şekil 3.1 Termik santral akım şeması



1. Kömür , 2. Kazan , 3. Türbin , 4. Jeneratör , 5. Transformatör , 6. Kondenser , 7. Soğutma Kuleleri , 8. Kül Atma , 9. Baca

### 3.1.2 Doğal gaz kombine çevrim santralları :

Ülkemizde doğal gaza dayalı ilk santral Trakya Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralıdır. 1200 MW gücündeki bu santral 1985 yılında devreye girmiştir. Daha sonra 1991 yılında İstanbul'da kurulan ve 1350 MW gücünde olan Ambarlı Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralı devreye girmiştir.

Ülkemizin elektrik ihtiyacının % 17.7'si doğal gaz kombine çevrim santrallarından karşılanmaktadır. ✓ Enerji İstatistikleri; Türkiye 7. Enerji Kongresi, Ankara 1997 ✓

Düşük yatırım maliyeti, verim, üretim kapasitesi, güvenilirlik oranlarının yüksek olması; aşamalı büyüme olanağı, kısa montaj süresi, işletme kolaylığı gibi planlama ve işletme açısından bakıldığında diğer termik santrallara oranla birçok avantajı vardır. Çevreye olan olumsuz etkilerinin az olması da ayrı bir avantaj sağlamaktadır.

Kombine Çevrim terimi, gaz türbin çevrimi ve buhar çevriminin bir sistem içine alınarak birbirini tamamlayıcı şekilde çalıştırılmasını ifade etmekte olup, genel prensibi gaz türbin çevriminde çıkan eksoz gazlarının yüksek dereceli ısısının su / buhar çevriminde kullanılarak ek bir enerji üretiminin sağlanmasına dayanmaktadır. Kombine çevrimlerde birincil olarak elektrik üretimi sağlanmakla birlikte, istenirse çevrimden ara buhar alınarak santral, birleşik ısı - güç ( kojenerasyon ) sistemi olarak da çalıştırılabilir. Proses buharı bazı kojenerasyon sistemlerinde buhar türbininden, bazı sistemlerde ise atık ısı kazanından alınmaktadır. Bu özelliği ile kombine çevrimler, ısı - güç üretiminde günümüzde var olan en verimli yöntem konumundadır. [ Özgürel B., Egeli S., 1994 ]

Atmosferden alınan hava, bir filtre sisteminden geçirildikten sonra gaz türbininin kompresör kısmına girer ve burada sıkıştırılarak yanma odasına gönderilir. Yanma odasına püskürtülen yakıt bu sıkıştırılmış hava ile karışarak yanar. Burada yanma sonucu oluşan 1000 - 1150 BC sıcaklığın üzerindeki yüksek basınçlı gazlar gaz türbini kanatlarından geçerek türbini döndürür ve türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir. Gaz türbininden çıkan 500 – 550 BC sıcaklığındaki atık gazlar bir eksoz kanalıyla atık



### **3.1.3 Termik santralların kurulmasında dikkate alınması gereken kriterler :**

Santralların çevreye zarar vermeden işletilmesi amacıyla kurulmasında dikkate alınması gereken hususları kısaca şöyle açıklayabiliriz.

#### **3.1.3.1 Elektriğin Kullanılacağı Bölge :**

Enerji gereksinimlerimizi karşılayan santrallarımız mümkün olduğu kadar elektrik enerjisi taleplerinin yoğun olduğu bölgelerin yakınında kurulmalıdır. Aksi takdirde üretilen elektrik enerjisi, enerji nakil hatları ile çok uzaklara taşınacak ve bunun sonucunda iletimden kaynaklanan hat kayıpları artacaktır.

#### **3.1.3.2. Soğutma suyunun temini :**

Termik santrallarda türbinden çıkan ve kondensere gelen buhar burada soğutulmuş olarak yoğunlaştırılır. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için çok miktarda soğutma suyu ihtiyaç duyulmaktadır. İdeal şartlarda soğutma suyu kondenserden geçtikten sonra tekrar dışarı atılmalı ( alıcı ortamın sıcaklığından max. 3 °C fazla olabilir. ) ve yerine çevrimin devamlılığı için taze su alınmalıdır. Bu tür soğutmaya açık devre soğutma denir. (örnek : Ambarlı ve Kemerköy Termik Santralları ). Bunun sonucunda santrallar mümkünse nehir, deniz veya göl kenarına kurulmalıdır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda santralın yanına soğutma kuleleri kurulur. Bu tür soğutmada, soğutma suyu kondenser ile soğutma kulesi arasında bir kapalı devrede devamlı olarak dolaşır. Bu tip soğutmaya kapalı devre soğutma denir. ( örnek : Soma, Yeniköy ve Orhaneli Termik Santralları ).

#### **3.1.3.3. Yakıtın sağlanması :**

Santralların, kullanacakları yakıt kaynaklarına yakın yerlerde kurulması avantaj sağlamaktadır. Özellikle düşük kaliteli linyit kullanan santrallarda, gerekli enerjinin üretilmesi için kullanılacak olan linyit miktarının çok olması sebebiyle, santralın linyit

kaynağından uzakta olması yakıtın nakliye masraflarını ve de yakıtın taşınmasından kaynaklanan tozlaşma sonucunda yakıt maliyeti atmaktadır

#### **3.1.3.4. Diğer kriterler :**

Santralin kurulacağı arazinin özellikleri, kurulu gücü, içme ve kullanma suyu olanakları, montaj malzemesi, kül ve curufun taşınması, rüzgarın yönü, yerleşim yerlerine olan uzaklığı, ulaşım olanakları gibi birçok faktör santral kurulmasında dikkat edilen kriterlerden bazılarıdır.

Özellikle son yıllarda çevre değerlerine gereken özenin gösterilmesine dikkat edilmekte, yer seçiminde bu konular göz önünde bulundurulmaktadır.

### **3.2 Nükleer Santraller ve Çalışma Prensipleri :**

Nükleer güç santrallerinin çalışma prensipleri fosil yakıtlı termik santrallerin çalışılmasına benzemektedir. Aralarındaki tek fark ısının üretildiği kaynak kısmıdır. Termik santrallerde ısı kömürün yanmasıyla elde edilirken nükleer santrallerde ise uranyum atomlarının çekirdek bölünmesiyle açığa çıkan enerjiden elde edilir. Nükleer santraller soğutucu ve yavaşlatıcılarına göre sınıflandırılabilirler.

Nükleer reaktörlerde fisyon tepkimesinden açığa çıkan enerji buhar üretiminde kullanılır ve bu buhar üretimi doğrudan reaktörün korunda ya da buhar üreteçlerinde yapılır. Bu sebeple nükleer reaktörlerdeki bölünme reaksiyonu termik santrallerde fosil yakıt yakmakla aynı işleve sahiptir.

U-235 izotopunun nötronla etkileşmesi sonucu parçalanmasıyla nükleer reaksiyon enerjisi açığa çıkar. Nötronla etkileşen U-235 çekirdeği kararsız hale geçerek, kendisinden daha hafif iki çekirdeğe ayrılır. Bu sırada da ortama iki veya üç nötron açığa çıkar. Bu reaksiyon sonucu açığa çıkan bölünme enerjisi yaklaşık 200 MeV' dir. Oluşan bu enerji buhar üretilmek üzere soğutucuya aktarılır ve açığa çıkan nötronlardan biri bölünmeye yatkın başka izotopu parçalayarak zincirleme reaksiyona sebep olur. Diğer nötron ise

reaktör içindeki diğer malzemeler tarafından yutulur ya da sistemden kaçar. Nükleer reaktörler bu zincirleme bölünme reaksiyonunun kontrollü olarak yapıldığı sistemlerdir. [ Lamarsh , J. R, 1983 ]

### 3.2.1 Hafif su reaktörleri :

Bu reaktör tipinde soğutucu olarak hafif su (  $H_2O$  ) kullanıldığından , Hafif Su reaktörleri olarak adlandırılırlar.

Enerji üretiminde kullanılan U-235 izotopunun doğadaki miktarı % 0.7 kadardır. Geriye kalan % 99.3 'lük kısmı enerji üretiminde kullanılmayan U-238 ' dir. U-235' in doğal uranyumdaki miktarının arttırılması işlemine zenginleştirme adı verilir ve reaktörde kullanılacak yakıt % 2 - % 4 oranında zenginleştirilir.

Hafif su reaktörleri, basınçlı su ve kaynar su reaktörü şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

#### 3.2.1.1 Basınçlı su reaktörleri :

Dünyada, elektrik üretimi için en yaygın ( % 64 ) olarak kullanılan reaktör tipi basınçlı su reaktörleridir. Günümüzde halen işletimde olan 249 tane basınçlı su reaktöründe toplam 255,714 MWe güç üretilmektedir.

Bu reaktörde korda üretilen enerji birincil devre soğutucusuyla kordan çekilir. İkincil devrede buhar üreteçlerinden alınan buhar, türbinlerde jeneratörde elektrik üretilir.

Bu reaktörde zenginleştirilmiş uranyum, boyu 4 metre, çapı yaklaşık 1 cm olan silindir boru içerisinde yerleştirilir. Bu silindir borulara yakıt çubuğu adı verilir. Bu çubuklardan yaklaşık 280 tanesi bir yakıt denetimi oluşturur ve bu demetlerden de 200 kadarı reaktör kazanı içerisine yerleştirilir.

Nükleer reaksiyonun kolay olabilmesi ve üretilen ısının reaktörden alınarak kullanılabilmesi için reaktör kazanı soğutucu su ile doldurulur.

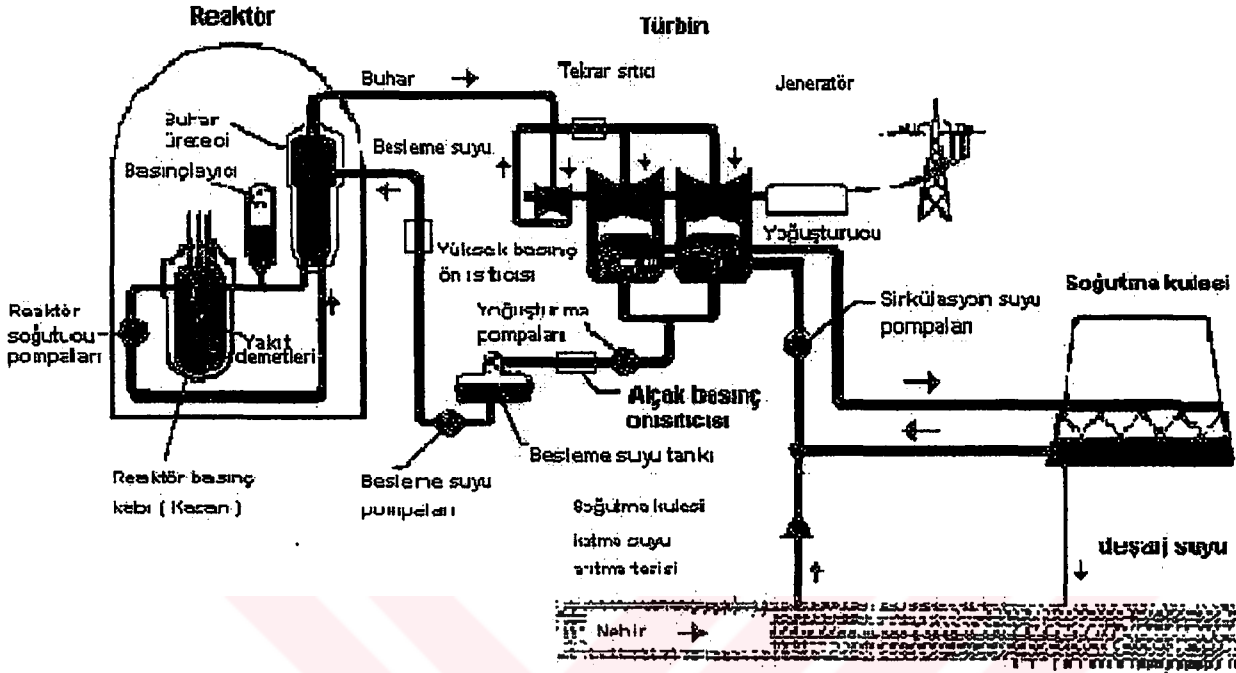
Nükleer reaktörlerde U-235 izotopunun parçalanmasıyla enerji ısı olarak açığa çıkar. Üretilen enerji reaktör kazanının üzerindeki kontrol çubukları vasıtasıyla ayarlanır. Daha sonra nükleer yakıt çubukları etrafında bulunan suyu ısıtır. Su, reaktörde kaynamadığından türbinlere gönderilecek buhar, korun dışında üretilir ve bunun için reaktörde buhar üreticileri bulunur. Basınçlı su reaktörlerinin birincil soğutucu devreleri iki, üç ya da dört benzer döngüden oluşur. Her bir döngüde bir buhar üretici, bir reaktör soğutucu pompası bulunur. Birincil devrede ısınan su pompalar vasıtasıyla buhar üreticisine getirilir. Burada başka bir suyu kaynatırken kendisinde soğur ve tekrar yakıt çubuklarının bulunduğu kazana reaktör soğutucu pompaları yardımıyla geri döner ve orada tekrar ısınır, bu işlem böyle devam eder.

Birincil devrede korda ısıtılan suyun çıkış sıcaklığı 320 - 330 °C civarındadır. Birincil devre basıncı, suyun kaynamasını engellemek amacıyla 15 - 16 MPa civarındadır.

Buhar üreticinde üretilen buhar buradan türbinlere gönderilir. Türbinde buhar enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülür ve mekanik enerjisi yardımıyla türbine bağlı jeneratörlerde elektrik üretilir.

Türbinden çıkan enerjisi azalmış buhar elektrik üretiminde daha fazla kullanılamayacağı için bir soğutma kulesi, nehir suyu veya deniz suyu vasıtasıyla soğutulup, tekrar suya dönüştürülüp besleme suyu olarak buhar üreticisine gönderilir. Nehirden veya denizden alınan su sadece buharı suya dönüştürmekte kullanıldığı için denize veya nehre geri gönderilir. Basınçlı sulu reaktörle ilgili akış şeması Şekil 3.3' te verilmiştir.

Şekil 3.3 Basınçlı sulu reaktör



### 3.2.1.2 Kaynar su reaktörü :

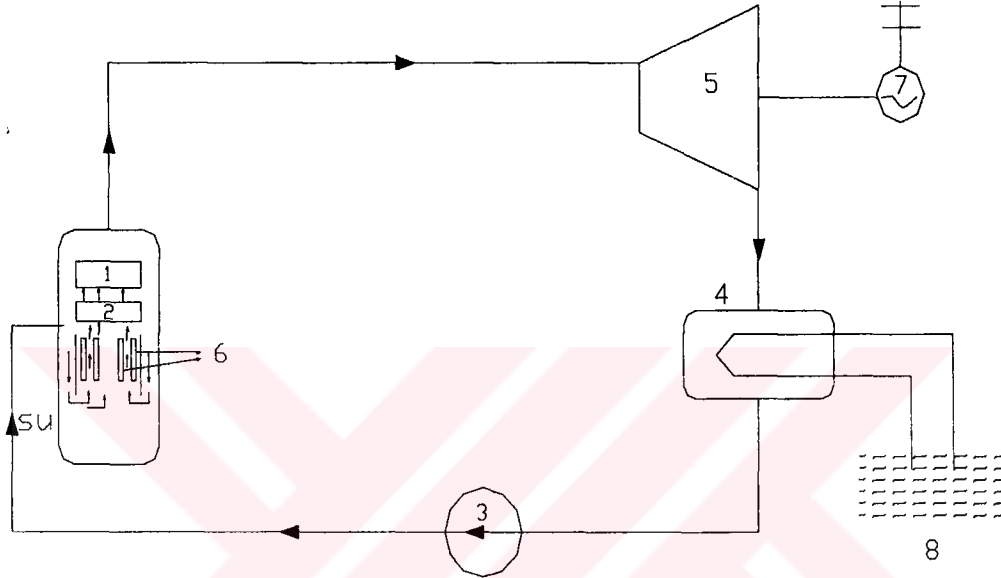
Günümüzde çalışmakta olan reaktörlerin % 23' ü kaynar su reaktörleridir. Dünyada toplam 94 tane bulunan bu reaktörlerde 82,165 Mwe güç üretilmektedir. [ Enerji İstatistikleri; Türkiye 7. Enerji Kongresi , Ankara 1997 ]

Bu reaktörde tek soğutucu devresi vardır. Korun içinde soğutucunun kaynamasına izin verilir. Soğutucu su kaynatılarak buhar elde edildiğinden bu tip reaktörde buhar üretici bulunmamaktadır. Buradan çıkan buhar santralin elektrik üretim kısmına gönderilir. Bu buhar, kordan çıkan buhar olduğundan, bu bölümde bulunan türbinler, kondenser, ısı değiştiriciler ve pompalar radyasyonun çevreye sızmasını önleyecek şekilde korunmalıdır.

Kaynar su reaktörlerinin çalışma basıncı yaklaşık 7 Mpa 'dır. Soğutucu kora giriş sıcaklığı 270 °C, çıkış sıcaklığı 290 °C civarındadır.

Kordan çıkan buhar su karışımı, buhar ayırıcıları ve kurutucularından geçer ve burada buhar ile su birbirinden ayrılır. Burada ayrılan buhar türbine gönderilir. Soğutucunun kor içinde akışı dolaşım pompalarıyla sağlanır. Kaynar su reaktörünün çalışma prensibi Şekil 3.4' te verilmiştir.

Şekil 3.4 Kaynar Su Reaktörü :



1 : Kurutucu, 2 : Buhar ayırıcı, 3 : Ana soğutucu pompası, 4 : Yoğuşturucu, 5 : Türbin, 6 : Yakıt demetleri, 7 : Jeneratör, 8 : Su kaynağı

Kaynar su reaktörlerinde yakıt demetleri, 8 x 8 tane kare şeklinde dizilmiş çubuklardan oluşur. Bu tür reaktörlerde yaklaşık 150 ton  $UO_2$  yakıt olarak kullanılır. Her yıl yakıtın dörtte biri değiştirilir. Kaynar su reaktörünün kontrolü kontrol plakaları ile sağlanır. Bu reaktörlerde basınçlı su reaktörlerinden farklı olarak kontrol plakaları kora alttan girerler.

### 3.3 Hidroelektrik Santrallarının Sınıflandırılması :

Hidroelektrik santrallar düşülerine, ürettikleri enerjinin karakter ve değerine, kapasitelerine, yapılarına ve üzerinde kuruldukları suyun özelliklerine göre sınıflandırılırlar.

#### 3.3.1 Düşülerine göre :

**Alçak düşülü santrallar (  $H < 15$  m ) :** Genellikle debisi büyük, düz arazilerde akan, yatak eğimi az nehirler üzerinde kurulan ve çoğunlukla Kaplan türbini kullanılan santrallardır.

**Orta düşülü santrallar (  $H = 15 - 50$  m ) :** Çeşitli debilerdeki nehirler üzerine kurulan, Kaplan veya Francis türbini kullanan santrallardır. Çoğu zaman alçak düşülü santrallarda bulunan uzunca cebri borular yoktur.

**Yüksek düşülü santrallar (  $H > 50$  ) :** Genellikle engebeli veya dağlık araziden akan nehirler üzerine kurulurlar. Bu santrallarda Francis veya Pelton türbinleri kullanılır.

#### 3.3.2 Kapasitelerine göre :

**Büyük hidroelektrik santrallar :** Kurulu güçleri 10 MW' tan büyük olanlar,

**Küçük hidroelektrik santrallar :** Kurulu güçleri 10 - 1 MW arasında olanlar,

**Mini hidroelektrik santrallar :** Kurulu güçleri 100 kW' tan küçük olanlar.

#### 3.3.3 Ürettikleri enerjinin karakterine göre :

**Baz santrallar :** Bu santrallar temel yük santrali konumundadırlar. Santralin kullanma faktörü devamlı olarak % 30' un üzerindedir. Ayrıca bu santralların çalışma süreleri büyüktür.

**Pik santrallar :** Enerjiye en çok ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılan santrallardır. Kullanma faktörleri % 30' un altındadır. Kullanılmadıkları sürece hidrolik enerjiyi yani elektrik enerjisini depolarlar.

### 3.3.4 Biriktirme kapasitelerine göre :

Yıllık ortalama debi ile biriktirme haznesinin dolma zamanı  $t_d$  olmak üzere ;

**Biriktirmesiz santrallar :**Bu santrallar biriktirme hazneleri iki saatten ( $t_d < 2$  saat) küçük olan santrallardır. Nehir ve kanal tipi olmak üzere iki türde yapılabilirler. Nehir tipi santrallar nehir tabanı yeteri kadar genişse bütün yapı bu genişliğe yerleştirilir. Kanal tipi santrallarda ise su, bir çevirme yapısı ile bir kanala çevrilerek santral bu kanalın üzerine yapılır.

**Günlük veya haftalık biriktirme :** Bu santral tipinde biriktirme haznesinin dolma zamanı 2 saat ile 400 saat arasındadır. (  $2 \text{ saat} < t_d < 400 \text{ saat}$  )

**Mevsimlik veya senelik biriktirmeli( Barajlı ) santrallar :** Şebekedeki enerji ihtiyacının az olduğu zamanlarda su barajlarda biriktirilir. Haznenin dolma süresi 400 saatten fazladır.(  $t_d > 400 \text{ saat}$  )

### 3.3.5 Yapılışlarına göre :

**Yer altı santralları :** Topografik, jeolojik ekonomik veya emniyet nedenleri ile santralin yer altına yapılması zorunlu olanlar,

**Yarı gömülü santrallar :** kayalık veya dar vadide yapılacak santrallar için açıkta yer yoksa bu santrallar açıkta, yarısı yer altına yapılabilir.

**Yer üstü santralları :** Santral yapılarının tamamı yer üzerinde olan santrallardır.

## 4. YAKITLAR ve YANMA

### 4.1. Yakıtlar

Genel anlamda yandığı zaman ısı açığa çıkartan maddelere yakıt denir. Bu araştırmada yakıtların incelenmesi için sınıflandırma yapılmıştır. Bunlar doğal haliyle yakıt olarak kullanılabilen yakıtlar ( kömür gibi ) olan birincil yakıtlar; birtakım işlemler sonucunda özellikleri değiştirilip kullanılan ( kok kömürü gibi ) ikincil yakıtlar şeklinde sınıflandırılabilirler.

Yakıtlar fosil yakıtlar, düşük ısı değerli ve yüksek ısı değerli yakıtlar şeklinde de ayrıca buldukları fazlara göre de katı, sıvı ve gaz yakıtlar olarak da sınıflandırılabilirler.

#### 4.1.1. Katı yakıtlar

Katı yakıt denilince akla ilk olarak kömür gelmektedir. Bundan başka saf selüloz, odun, turba veya şist, linyit, testere talaşı, zift gibi yakıtlar da katı yakıt sınıfına girmektedirler. Çeşitli katı yakıtların elementer analizi ve nem, ısı değer, uçucu madde ve kül ile ilgili analizleri Tablo 4.1 ve 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çeşitli Katı Yakıtların Elementer Analizleri (ağırlık yüzdesi olarak)

Yakıt Türü	C(%)	O(%)	H(%)	N(%)	S(%)
Saf Selüloz	44,5	49,3	6,1	-	-
Odun	50	43	5,7	1,3	-
Turba veya Şist	60	32,5	5,5	2	1,6
Linyit	66,5	26,5	5,5	1,5	0,6
Maden Kömürü	86,5	7	5	1,5	1,1
Antrasit	93,2	3	2,5	1,3	1

ref. : Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, A. Müezzinoğlu, D.E.Ü., İzmir 1987

**Tablo 4.2. Çeşitli Katı Yakıtların Yaklaşık Analizi ( ağırlık yüzdesi olarak )**

Yakıt Türü	Alt ısııl değeri ( kcal / kg )	Uçucu madde ( % )	Kül ( % )	Nem ( % )
Linyit ( zayıf )	1600 - 2000	54 - 55	2 -- 4	55 - 60
Türk Linyiti	2400 - 4200	40 - 50	10 -- 40	8 -- 40
Türk Taşkömürü	6200 - 7000	20 - 28	12 -- 15	4 -- 10
Kok ( gazhane )	6700 - 6900	1	8 -- 14	4 -- 9
Linyit Brikeri	5000 - 5200	49	9	15
Kent çöpleri	1000	33	33	33
Odun ( kuru )	3600 - 3800	70 - 80	0 - 0,5	10 -- 20
Testere Talaşı	3200 - 3600	30 - 40	45 - 50	1 -- 15
Kağıt Zımparası	3150 - 3200	64 - 68	12 -- 13	12 -- 13
Zift	8400 - 8600	55 - 65	0,2 - 0,5	0

ref. : Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, A. Müezzinoğlu, D.E.Ü., İzmir 1987

Türkiye'nin en önemli enerji kaynaklarından biri olan katı yakıtların rezervleri Tablo 4.3' de verilmiştir.

**Tablo 4.3. Türkiye' nin Enerji Rezervleri ( 1996 yılı sonu itibariyle ),**

Kaynaklar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Taş kömürü ( milyon ton )	428	449	249	1126
Linyit ( milyon ton )				
- Elbistan	3357			3357
- Diğer	3982	626	110	4718
- Toplam	7339	626	110	8075
Bitümler ( milyon ton )	555	1086		1641
Ham petrol ( milyon ton )	48,4			48,4

ref.: [ Enerji İstatistikleri ; M. Altaş,H. Fikret, E. Çelebi ; Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 7. Enerji kongresi , Ankara 1997 ]

Yanma ve hava kirliliği açısından önemli olan yakıtların özellikleridir. Tablo 4.3'ten de görüleceği gibi katı yakıtlar içinden linyitin önemi büyüktür. Bu sebeple ülkemizdeki linyitlerin özellikleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Türkiye'deki Bazı Linyit Rezervleri ve Özellikleri ( 1996 yılı sonu itibariyle )

Sahanın Yeri	İşletilebilen Rezerv (1000 ton)	Nem (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Isıl Değer kcal / kg	Isıl Değer kj / kg
Edirne - Demirhanlı	55000	40	11,65	-	2700	11290
Tekirdağ - Malkara						
- Hasköy	34000	29,78	25,70	1,53	2490	10410
- Saray	60000	38,02	17,52	2,02	2500	10450
Bursa - Çivili - Sağırlar	68500	31,73	21,03	1,7	2694	11290
Çanakkale - Çan	73700	23,34	23,18	3,18	3254	13600
Bolu - Gerede						
- Mengen Salıpaazarı	20500	17,35	10,85	7,6	4800	20065
Manisa - Soma						
Tarhala - Deniz	134446	18	20	1,03	4200	17555
Muğla - Yatağan						
- Eskhisar	131068	34,93	20,75	0,99	2782	11630
Kütahya - Seyitömer	198666	33,54	19,1	1,36	2750	11495
Tavşanlı - Tunçbilek	217263	15	10,1	1,5	4000	16720
Ankara - Beypazarı	236000	0,1	23,1	4,7	3144	13140
Samsun - Havza	40000	44	20	1,01	1600	6690
Çankırı - Orta	108329	51,5	23,5	0,57	800	3345
Sivas - Kangal - Hamal	126000	47,88	21,64	-	1342	5610
Bingöl - Kozkova	45000	44,04	24,81	0,6	2060	8610

ref.: [ Buhar Kazanlarının Isıl Hesaplamaları , K. Onat, O.F. Genceli, A. Arısoy Denklem Matbaası, İstanbul 1989]

Tablo 4.4' ten de görüleceği gibi katı enerji kaynaklarımızın önemli bir kısmını oluşturan linyitlerimiz genelde yüksek kükürt, yüksek kül, yüksek nem içermekte ve bununla birlikte düşük ısı değerlerine sahiptir. Linyitlerimizdeki yüksek kükürt içeriği ve düşük ısı değeri özellikleriyle yanma sonucunda SO<sub>2</sub> sorunu ortaya çıkmaktadır.

Ülkemizde bulunan linyitlerin büyük kısmında kül sinterleşme sıcaklıkları düşük olduğundan klasik yakma sistemlerinde gelişen aglomerasyon, yanmayı boğarak yanmamış HC ve CO oluşumunu arttırmaktadır. Linyitlerimizin çok kırılabilir olması nedeniyle ocaktan çıkarma, yükleme ve taşıma gibi işlemler sırasında % 60' lara varan oranlardaki kısmı ince tanecikler şeklinde kırılmakta ve tozlaşmaktadır. Bunun sonucunda atmosferi doğrudan kirletme ve yanma zorlukları nedeniyle hava kirliliğine neden olmaktadır. [ Kural O. ve Akgün H., 1989 ]

#### 4.1.2 Sıvı yakıtlar :

Sıvı haldeki yakıtlar kazan ve ocaklarda kolay ve yüksek verimle yanabilir. Sıvı yakıtların doğal olanları ham petrol; teknolojik olarak hazırlananları ise fuel-oil, mazot, motorin gaz yağı, sıvılaştırılmış bütan ve propan gazları ile zift, katran, ağır fuel-oil gibi petrol ve kömür ürünleridir. Fuel-oiller yoğunluklarına ve viskozitelerine göre 1 numaradan 6 numaraya kadar sınıflandırılmıştır. 1 ve 2 numaralı fuel-oil ( hafif ) ev yakıtı olarak, 5 ve 6 numaralı fuel-oiller ( ağır ) ise sanayi yakıtı olarak kullanılırlar. Tablo 4.5' te de petrol kaynaklı başlıca sıvı yakıtların bileşimi ve özellikleri verilmiştir.

#### 4.1.3 Gaz yakıtlar :

Gaz yakıtlar, doğal gaz, havagazı ile endüstride üretilip kullanılan su gazı, jeneratör gazı ve kok gazı vb. şeklinde sınıflandırılabilir.

Taşınma ve yakma kolaylığı, hiç katı atık bırakmayışı, kirletici bileşenlerinin az olması veya kolay arındırılabilmesi ve çok düşük hava fazlalığı ile yakılabilmesi açısından gaz yakıtlar hava kirliliğinin önlenmesinde ve enerji üretiminde ideal yakıtlardır. Tablo 4.6' da gaz halindeki yakıtların özgül ağırlığı, alt ısı değeri ve bileşimleri verilmiştir.

Tablo 4.5. Çeşitli Sıvı Yakıtların Özellikleri ve Bileşimleri

Yakıt Türü	Özgül Ağırlık (15 C'de) kg / lt	Üst Isıl Değeri kcal / kg	Alt Isıl Değeri kcal / kg	Ateşleme Nokt (C)	Bileşimi (%)					
					C	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	S	
Ham Petrol	0,75-1,0	9800-10700	9300-10400	-						
Motorin	0,82 - 0,86	10800	10120	230 - 242	85,1	12,60	1,4	-	0,9	
Marin - Dizel	0,85 - 0,90	10650	10050-10200	-	85,4	12,3	0,7		1,6	
Fuel-oil No.6	0,95 - 1,01	10000	9500-9750	212	85	11,7	1	0,2	2,10	
Gaz yağı	0,82	10350	10000	530 - 580						
Benzin	0,72 - 0,78	11200	10300	330 - 520	85	14,90	-	-	0,1	
Taşkömürü Zifti	1,08 - 1,12	9300	9000	315	90	6,2	3,3		0,5	
Linyit Zifti	0,93	10300	9650	260	86	11,4	1,2		1,4	
Sıvılaştırılmış Petrol gazı (LPG)	0,45	-	11000	-	-	-	-	-	-	

ref. : Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, A. Müezzinoğlu, D.E.Ü.İzmir 1987

Tablo 4.6. Bazı Gaz Yakıtların Özellikleri ve Bileşimleri

Yakıt Türü	Özgül Ağırlık (0 C de) kg/Nm <sup>3</sup>	Üst Isıl Değeri kcal / Nm <sup>3</sup>	Alt Isıl Değeri kcal / Nm <sup>3</sup>	Bileşimi (%)								
				CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CH	N <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>			
Doğal Gaz												
- Metanı yüksek	0,773	9030	8120	-	0,4	-	-	90,5	2,5	6,6		
- Etanı yüksek	0,875	11180	11120	-	-	-	75	24	1			
Hava gazı	0,591	4240	3790	21,5	4	51,5	17	2	4			
Su gazı	0,704	2780	2540	40	5	50	0,5	-	4,5			
Kök gazı	0,488	4510	4000	7	2	53	25	2	11			
Yüksek fırın gazı	1,287	1020	940	29	7,5	2,5	-	-	61			

ref. : Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, A. Müezzinoğlu, D.E.Ü.İzmir 1987

## 4.2 Yanma Olayı :

Yanma, yakıtların havadan sağlanan oksijen ile oksidasyonu sonucu ısı ve sıcak yanma ürünlerinin açığa çıktığı kimyasal reaksiyondur.

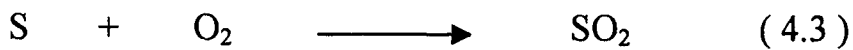
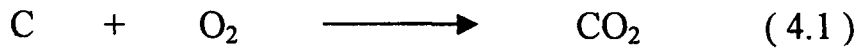
Yakıtlar karbon, hidrojen ve oksijenden oluşur. Bunlara ilave olarak yakıtın cinsine bağlı daha az miktarlarda kükürt, azot, klor ve diğer elementleri içerir.

Yanma olayı sonucunda normal şartlarda ve yeterli yakıcı oksijen ortamında yakıtlar çoğunlukla CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüşür. Ayrıca az miktarda bulunan kükürt, azot ve diğer elementlerin oksitleri oluşur. Burada yanma tam olarak gerçekleşmez ve yeterli oksijenin olmadığı ortamda yanma olursa oluşan CO<sub>2</sub> kızgın karbonla reaksiyona girer ve CO oluşturur. Bu reaksiyon endotermik bir reaksiyon olup, bu nedenle karbonun tümünün CO<sub>2</sub> haline geçebilmesi için yeterli miktarda hava sağlanmalıdır. Ayrıca yine yanma tam olarak gerçekleşmezse ürün gazları içerisinde metan, kurum ve katran da oluşur. Bu durum hava kirliliği yükünü artırır.

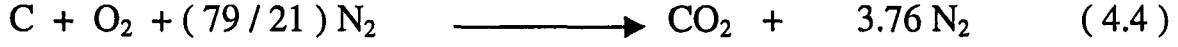
Yakıtların içerisindeki suyun yanma sırasında buharlaşması çevreye doğrudan bir zarar vermemektedir. Ancak, yoğun SO<sub>2</sub> içeren baca gazlarında yoğunlaşma sınırında asit oluşumunu hızlandırıcı etkisi söz konusudur.

### 4.2.1 Yanma reaksiyonları :

Karbon, hidrojen ve kükürdün yanma reaksiyonları yanma olayının esasını kapsar. Stokiyometrik şartlarda teorik olarak gelişen tam yanma reaksiyonları şunlardır.



Bu denklemlerde gerekli oksijen miktarı stokiyometrik şartlar için tanımlanır. Oksijen genellikle havadan sağlandığı için stokiyometrik hava miktarı :



Benzer şekilde hidrojen ve kükürt için stokiyometrik hava miktarları aynı oranla bulunur.

Bazı sıvı ve katı yakıtların yanma zorluklarını önlemek amacıyla yüksek verimle yakılabilmeleri için stokiyometrik hava miktarından fazla hava ihtiyacı olmaktadır. Bu fazlalık stokiyometrik miktara oranlanarak ifade edilmektedir. Eğer fazlalık oranı  $a$  ile ifade edilirse, stokiyometrik olmayan şartlarda yanma reaksiyonu



şeklinde gösterilir. Yanma ile ilgili reaksiyonlar ve reaksiyon ısıları Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Bazı Temel Yanma Reaksiyonları

Yakıt veya Bileşen	Mol Ağırlığı	Reaksiyon	Reaksiyon Isısı	
			Kj / kg	kJ / Nm
Karbon	12	$C + O_2 \longrightarrow CO_2$	32796	-
Hidrojen	2	$H + (1/2) O_2 \longrightarrow H O_2$	141886	12109
Kükürt	32	$S + O_2 \longrightarrow SO_2$	9300	-
Azot	14	$N + (1/2) O_2 \longrightarrow NO_2$	7650	-
Metan	16	$CH_4 + 2 O_2 \longrightarrow CO_2 + 2 H_2 O$	55590	37743
Etan	30	$C_2 H_6 + (7/2) O_2 \longrightarrow 2 CO_2 + 3 H_2 O$	51870	66788
Propan	44	$C_3 H_8 + 5 O_2 \longrightarrow 3 CO_2 + 4 H_2 O$	50000	96500
Bütan	53	$C_4 H_{10} + (13/2) O_2 \longrightarrow 4 CO_2 + 5 H_2 O$	49540	125562

Tablo 4.7' de yakıtın verilen mol oranlarında tam yanmasının sağlanacağı düşünülür. Ancak, yakıt oksijen temasının % 100 verimle gerçekleşmemesi ve gerekli yanma sıcaklığının sağlanamaması gibi nedenlerle tam yanma stokiyometrik orandaki oksijen ile gerçekleşmez. Bu nedenle stokiyometrik havadan daha yüksek oranlarda hava fazlalığı uygulanması gerekmektedir.



## 5. Güç Santrallerinin Çevresel Etkileri

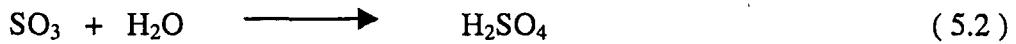
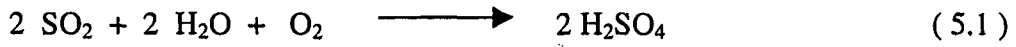
### 5.1 Termik Santrallerin Çevresel Etkileri

Termik santrallerde fosil yakıtların yakılması sonucu meydana gelen en önemli çevresel etkiler arasında asit yağmurları, sera etkisi ve termal kirlenme vardır. Bu bölümde çevresel etkilerin kaynakları ve önlenmesi amacıyla alınan tedbirler incelenecektir.

#### 5.1.1 Asit yağmurları :

Asit yağmuru oluşumunda en büyük pay fosil yakıt yakılması sonucu açığa çıkan kükürt dioksit (  $SO_2$  ) ve azot oksitlerin (  $NO_x$  )' dir. Gerek kömür ve gerekse sıvı yakıt içinde bazen % 4 ' ü bulan oranda kükürt olabilmektedir. Yakıt içerisindeki ana yanma elementleri karbon, hidrojen ve bunların bileşenleridir. Santral kazanlarında yakıt içindeki kükürdün yanması sonucu oluşan ve baca gazları ile dışarı atılan  $SO_2$  , uygun ortamda önce havanın oksijeni ile birleşerek kükürt trioksit'e (  $SO_3$  ) dönüşür. [ Bekdemir Ş., 1995 ]

Baca gazı çıkışındaki dumanda toplam  $SO_x$  'in % 98' den fazlası  $SO_2$  , geriye kalan % 2' den daha azı ise  $SO_3$ ' tür. Yüksek nemlilik olduğu zaman atmosferde şu reaksiyonlar olur;



Kükürt dioksit (  $SO_2$  ) ve kükürt trioksit (  $SO_3$  ), yanma gazlarındaki subuharı veya havadaki subuharı ile birleşerek sülfirik asit (  $H_2SO_4$  ) oluşturur. Hava içindeki  $H_2SO_4$  buharı doğrudan solunum yoluyla alınabildiği gibi, yağmur, kar, dolu ve çığ halinde yeryüzüne inerek insan ve hayvan sağlığı ile doğal bitki örtüsü, tarım alanları ve ormanlara telafisi mümkün olmayan tahribatlar yapabilmektedir. [ Bekdemir Ş., 1995 ]

Sistemdeki baca gazı sıcaklığı reaksiyonlar sonucunda oluşan  $H_2SO_4$ ' in yoğuşma sıcaklığının altına düştüğü zaman sistem yüzeyinde yoğuşan  $H_2SO_4$  korozyona neden olmaktadır. Baca gazı sıcaklığı  $H_2SO_4$ ' in yoğuşma sıcaklığından yüksek ise korozyona sebep olmaz ama atmosfer şartlarında yoğuşarak asit yağmurlarına sebep olmaktadır.

Azot oksitlerin (  $NO_x$  ) havadaki subuharı ile birleşerek oluşturduğu nitrik asit de ( $HNO_3$ ), sülfirik asit benzeri etkilere sahiptir. Ancak  $SO_2$  oluşumu  $NO_x$  oluşumundan daha baskındır. Aslında  $NO_x$  oluşumu sadece yakıt içindeki azottan değil, daha çok hava içindeki azotun yüksek sıcaklıklarda oksijenle birleşmesinden oluşur. Bir yılda fosil yakıt tüketiminden yaklaşık 113 milyon ton  $SO_2$ , 105 milyon ton  $NO_x$  oluşmaktadır.  $SO_2$  oluşumunda yılda 90 milyon ton ile kömür başrolü oynamaktadır.  $NO_x$  oluşumunda ise en büyük pay 45 milyon ton ile ulaşım sektöründe kullanılan benzin ve motorindir. Doğalgaz içinde hemen hemen hiç kükürt olmadığından  $SO_2$ ' deki payı yok denecek kadar azken, özellikle yüksek alev sıcaklığı nedeniyle önemli ölçüde  $NO_x$  oluşumuna neden olmaktadır. [ Bekdemir Ş., 1995 ]

Asit yağmurlarının diğer etkileri arasında toprağın pH derecesini bozarak ürün verimini düşürmesi, içme ve sulama sularına karışarak bunların kalitesini bozmasını sıralayabiliriz.

#### 5.1.1.1 $SO_2$ kontrolü :

Asit yağmuru oluşumunda en büyük paya sahip olan kükürt dioksitin (  $SO_2$  ) kömür ve petrol türevlerinin yanma reaksiyonuna bağlı olarak birçok kaynağı vardır. Fakat, en önemli  $SO_2$  emisyon kaynağı, elektrik üretmek amacıyla çok büyük miktarlarda kükürtlü katı ve sıvı yakıtlar yakan termik santrallardır.

Tablo 5.1' de  $SO_2$  ile ilgili sınır değerleri ve Tablo 5.2' de hava kalitesi sınır değerleri verilmiştir.

Tablo 5.1 Yakma tesisleri için emisyon değerleri

YAKMA TESİSLERİ	Toz Emisyonları mg / Nm <sup>3</sup>		NOx Emisyonları mg / Nm <sup>3</sup>	CO Emisyonları mg / Nm <sup>3</sup>	Cl Bileşik Emisyonları mg / Nm <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> Emisyonları mg / Nm <sup>3</sup>				
	Eski Santr.	Yeni Santr.				< 300 MW		> 300 MW		
						20,000 saat veya daha az ömrü kalmış santr.	20,000 saatten daha fazla ömrü kalmış santr.	Yeni Santr.	20,000 saat veya daha az ömrü kalmış santr.	Ömrü 20,000 ile 50,000 arasında olan santr.
Katı yakıtlı yakma tesisleri	(*) 250	(*) 150	1000	250	100	20,000 saat veya daha az ömrü kalmış santr.	(**) 3200	(**) 2000	(**) 3200	(**) 1000
Sıvı yakıtlı yakma tesisleri	110	110	1000	175	-	-	(**) 3200	(**) 1700	(**) 1700	(**) 800
Gaz yakıtlı yakma tesisleri	10	10	500	100	-	(***) 60	(***) 60	(***) 60	(***) 60	60

Tüm değerler kuru bazda verilmiştir.

(\*) Orjinal kömürdeki kül miktarı % 18' in üzerinde olan linyit santrallerinde bu sınır değerleri Çevre Bakanlığı tarafından % 200 oranında artırılabilir.

(\*\*) Eğer verilen sınır değerler aşıyorsa; yakıt ısı gücü 300 MW'a kadar olan tesislerde kükürt emisyon değerini % 10'a, 300 MW'ın üzerinde olan tesislerde ise % 5'e düşürecek bir kükürt arıtma tesisi kurulacaktır.

(\*\*\*) Isıl gücü 100 MW' ın altındaki tesisler için bu değerler 100 mg / Nm<sup>3</sup> ' tür.

Ref. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Resmi Gazete 2 Kasım 1986, No : 19269

Tablo 5.2 Hava kalitesi sınır değerleri

	Kükürt dioksit (SO <sub>2</sub> ) µg / m <sup>3</sup>		Partikül Madde ( < 10 µ ) µg / m <sup>3</sup>		Azot Oksitler µg / m <sup>3</sup>		CO µg / m <sup>3</sup>	HC µg / m <sup>3</sup>	Cl µg / m <sup>3</sup>
	Genel	Endüstriyel Bölgeler	Genel	Endüstriyel Bölgeler	NOx	NO			
Uzun Vadeli ( yıllık )	150	250	150	200	100	200	10,000	—	100
Kısa Vadeli ( günlük )	400	400	300	400	300	600	30,000	140	300
saatlik	900	900						280	

ref. :Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Resmi Gazete 2 Kasım 1986, No : 19269

2 Kasım 1986 tarihinde yürürlüğe girmiş olan " Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği " ne göre SO<sub>2</sub> ' e sebep olan kaynakların kullandıkları yakıt ve teknoloji türü, ısıl büyüklük ve kalan faydalı ömürlerine göre farklı emisyon standardı getirilmiştir. Bu yönetmeliğe göre kullandıkları yakıt ısıl gücü ( MW olarak, tablo 5.1 ) ve yakıt cinsi ile bağlantılı olarak çeşitli tesislerin SO<sub>2</sub> emisyon sınırları verilmiştir.

Tablo 5.1' den de görüleceği gibi yeni kurulacak yakıt ısıl gücü 300 MW' ın üzerinde olan termik santraller için % 5 hacimsel oksijen yüzdesiyle belirlenen SO<sub>2</sub> sınır değeri 1000 mg / Nm<sup>3</sup> ' tür. Bu sınır değerine göre kömürün içindeki kükürt miktarının yaklaşık % 0.4 civarında olması gerekmektedir. Yakıt ısıl gücü 300 MW 'a kadar olan tesislerde ise SO<sub>2</sub> sınırı 2000 mg / Nm<sup>3</sup> ' tür. Bu da en çok % 1 kükürt içeren kömür yakan tesisler için ilave bir yatırım gerektirmemektedir. Fakat Türk linyitlerinin yaklaşık % 2.5-4 arasında kükürt içerdiği göz önünde durulursa % 1' lik sınır değere indirilmesi için ilave yatırımların yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Kömürün içindeki kükürtün yanmasıyla oluşan SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> ' in su buharıyla reaksiyona girmesiyle H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>' i oluşturmakta, bu da asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Günümüzde çevreye verilen önemin artması sonucunda asit yağmurlarının oluşum etkilerini önlemeye yönelik teknolojik önlemlerin alınması zorunluluğu doğmuştur. Fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan SO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için kullanılan bu yöntemler genel olarak şöyle sınıflandırılabilir.

#### SO<sub>2</sub> kontrol teknikleri :

- 5.1.1.1.1 : Baca yükseltilmesi ,
- 5.1.1.1.2 : Alternatif yakıtların kullanılması,
- 5.1.1.1.3 : Yakıttaki kükürtün giderilmesi,
- 5.1.1.1.4 : Yanma odasında kükürt dioksitin tutulması,
- 5.1.1.1.5 : Baca gazındaki SO<sub>2</sub>' nin arındırılması ( baca gazı desülfirizasyonu )

#### 5.1.1.1.1 Baca yükseltilmesi :

Santral emisyonları, üretimde kullanılan maddelerin atmosfere atılmasından dolayı santral türüne bağlı özel bazı kirlilikler yaratmakla birlikte, çevresel kirliliğin en önemli kaynağı, tesislerde kullanılan yakıttan gelen kirleticilerdir. Bu sebeple santralların kirletici potansiyeli bazı özel haller dışında, kullanılan yakıt miktarına bağlıdır.

Santralların çevreye etkilerini azaltmak amacıyla kullanılan yüksek baca politikası her ne kadar santrallar ve geniş endüstriyel tesisler için en etkili olmasının yanısıra aynı zamanda küçük endüstriyel ve ticari tesisler için de kullanılır. Uygulanan bu politika düşük seviyedeki (evsel yanma), orta seviyedeki (endüstriyel ve ticari yanma), yüksek seviyedeki (elektrik santralları) kaynaklardan doğan lokal kükürt dioksit konsantrasyonlarının ve buna bağlı insan sağlığına olan zararlarını azaltmada etkilidir. [ Kırşna, M., 1995 ]

Bacaları alçak olan santrallardan atılan kirleticiler tesis yöresinde yoğun kirliliğe sebep olmakla birlikte, etkileri tesisten uzaklaştıkça hızla azalmaktadır. Buna karşılık son yıllarda lokal kirlilik problemlerine çözüm olarak yapılan yüksek bacalardan atılan kirleticiler ise, daha uzak mesafelerde kirliliğe sebep olmaktadır. Örneğin baca yüksekliği 150 m olan bir tesisten atılan kirleticiler, yüzeye, tesisten 5 - 15 km uzakta ulaşmaktadır. Bacaların yüksek yapılmasının kirlilik problemlerini çözmeyip sadece uzaklara taşıdığı kabul edilmektedir. Son yıllarda dünyada lokal kirlilik problemlerinin azalıp, asit yağmurları gibi bölgesel problemlerin artması, yüksek baca uygulamasının gelişmiş ülkelerde kullanılmasından kaynaklanmıştır.

#### 5.1.1.1.2 Alternatif yakıtların kullanılması :

Konvansiyonel yüksek kükürtlü olan kömür ve petrol gibi yakıt kullanımından oluşan kükürt dioksit emisyonlarını azaltmak için doğalgaz uygun bir alternatiftir. Aynı zamanda sıvılaştırılmış doğalgaz da etkili bir alternatiftir. Bununla beraber faydalı kullanım için diğer alternatiflerden maliyeti daha yüksek olacaktır. Düşük kükürtlü kömür kullanımı da bir diğer alternatiftir ancak, yeraltından düşük kükürtlü kömürün elde edilmesi hem pahalı hem de zordur.

### 5.1.1.1.3 Yakıttaki kükürtün giderilmesi :

Katı yakıtlardaki kükürt organik ve inorganik formlardan meydana gelmektedir. Fosil yakıtlar içerisindeki organik kükürt yakıtın cinsine bağlı olarak toplam kükürt içeriğinin ( organik ve inorganik ) % 40 ile % 80 arasında bir kısmını teşkil eder. Bu tür kükürdü gidermek için ilk yatırımı yüksek olan yakıt dönüştürme işlemleri veya kimyasal işlemler gerekir.

Fosil yakıtlarda bulunan inorganik kükürt ise piritik ve sülfat formlarında bulunmaktadır. Yakıt içindeki sülfat kükürtünün çok olması hava kirliliğini olumlu etkiler çünkü yanma sonucunda genellikle külde kalmasından dolayı önemli bir kirletici sayılmaz. Bunun aksine yakıtta piritik ve organik kükürtün yüksek olması hava kirliliğine olumsuz bir etki yaratmaktadır. [ Müezzinoğlu A.,1987 ]

Ekonomik açıdan yıkama ve flotasyon uygulaması kömürün kükürtünün giderilmesi için ilk düşünülecek yöntemlerdir. Bu çalışmalar, piritin çöktürülüp kömürün yüzdürülmesi veya kömürün bastırılıp piritin yüzdürülmesi esasına dayanmaktadır. Burada kömürdeki kükürtün organik ve inorganik kısımları arasındaki yoğunluk farkından yararlanılarak bu kısımlar birbirinden ayrılabilir. Yapılan çalışmalarda, yıkama yolu ile ; Taşkale, Beypazarı ve Çan linyitleri için sırası ile % 78.9, % 18 ve % 72' lik kükürt giderme verimleri elde edilmiştir. Bu araştırma sonucunda, kükürtün fiziksel uygulamalarla yakıttan uzaklaştırılması ülkemiz linyitleri için genellikle başarılı olmamaktadır. [ Tekin, A. ve Ekinci, E., 1989 ]

Kömürler oksijensiz ortamda ısıtıldıklarında uçucu maddelerini çıkartarak geriye kok bırakırlar. Uçucu madde içerisinde esas olarak  $H_2S$  halinde bulunan kükürtün gazdan temizlenmesi katı linyite göre daha kolay ve ucuzdur.

Isıl işlem sonucu organik yapıdan uzaklaştırılamayan kükürtün giderilmesi için kimyasal yollar kullanılır. Çan linyiti üzerinde yapılan bir çalışmada, % 8' lik NaOH ile 200 °C' da 0.032 - 0.074 mm tanecik boyutlarında reaksiyona sokulan örneklerde % 95 piritik, % 67 sülfat ve % 25 organik kükürt gidermesi sağlanabilmiştir. Ancak prosesin

ekonomisi olumsuz bulunmuştur. Son yıllarda pirit içerisindeki sülfürün kükürt bakterileri ( sülfür oksitleyici türler ) tarafından oksitlenerek suda çözünebilir sülfatlara dönüştürülmesine dayanan biyolojik desülfirizasyon yöntemleri geliştirilmektedir. Ancak bu yöntem piritik kükürt gidermekte etkin olabilmektedir. [ Özbayoğlu, G. vd., 1985 ]

Genellikle kömür içinde çeşitli boyutlarda aglomerler oluşturan piritik kükürt, aglomerlerin tane iriliklerine bağlı olarak kırılıp küçük parçalara ayrılmış kömürden, santrifüjleme, basit çökeltim yöntemleri kullanılarak ayrılabilir. (  $\rho_{\text{kömür}} : 1.3 \text{ g / cm}^3$  ,  $\rho_{\text{pirit}} : 4.89 \text{ g / cm}^3$  ). Uygulamada pirit ve kömürün manyetik alandaki davranışlarının farklı olmasından yararlanılarak ayırım yapılmaktadır. [ Müezzinoğlu, A., 1987 ]

#### 5.1.1.1.4 Kükürt dioksit yanma odasında tutulması :

Kömürün içerdiği kükürtün yanma odasında yanmasıyla ilk olarak  $\text{SO}_2$  oluşmakta ve daha sonra bunun bir kısmı yanmadaki hava fazlalığına bağlı olarak  $\text{SO}_3$ ' e dönüşmektedir. Burada oluşan kükürt dioksit (  $\text{SO}_2$  ) ve kükürt trioksit (  $\text{SO}_3$  ) yanma gazlarındaki nem ile birleşerek asit korozyonuna sebep olmaktadır.

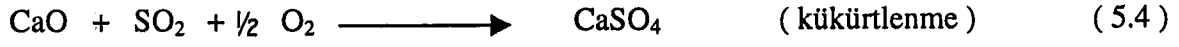
Kömürün kül özelliğine bağlı olarak kükürtün yanması ile oluşan  $\text{SO}_2$  ' nin bir kısmı  $\text{CaCO}_3$  ile reaksiyona girerek sülfatlı bileşikler biçiminde yanma odasında tutulmaktadır. [ Durmaz, A., 1987 ]

Ocağa kuru sorbent enjeksiyonu düşük- $\text{NO}_x$  brülörleri ile birlikte kullanıldığı zaman çok kademeli kireçtaşı enjeksiyonlu brülörler olarak anılmaktadırlar ve burada ocak içine kalsiyum esaslı bir reaktif ( tozlaştırılmış kireçtaşı gibi ) enjeksiyonu olmaktadır. Kireçtaşı,  $\text{SO}_2$  ile reaksiyon yapan kalsiyum oksit (  $\text{CaO}$  ) meydana getirmek için ve de oksijenle reaksiyon yapan kalsiyum sülfat (  $\text{CaSO}_4$  ) oluşturmak için kalsine olur.

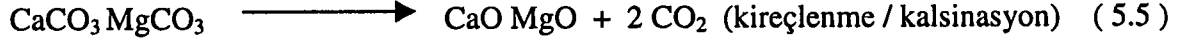
Kireçtaşı, dolomit, kireç ve sönmüş kireç bu prosesler için muhtemel reaktiflerdir. Bu reaktiflerin herhangi biri ile kireç (  $\text{CaO}$  = buna ayrıca sönmemiş kireç de denir ), kalsiyum sülfat (  $\text{CaSO}_4$  ) meydana getirmek için ocağın oksitlenme atmosferinde ortalama olarak  $850 \text{ }^\circ\text{C}$ ' tan  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ ' a kadar kükürtdioksit ile reaksiyon yapar. [ Black & Veatch, 1996 ]

Burada oluşan reaksiyonlar şöyledir;

Kireçtaşı :



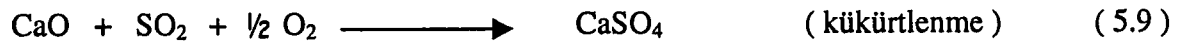
Dolomit kireçtaşı :



Sönmemiş kireç :



Sönmüş kireç ( kalsiyum hidroksit ) :



Sönmüş dolomit kireç (dolomit hidroksit) :

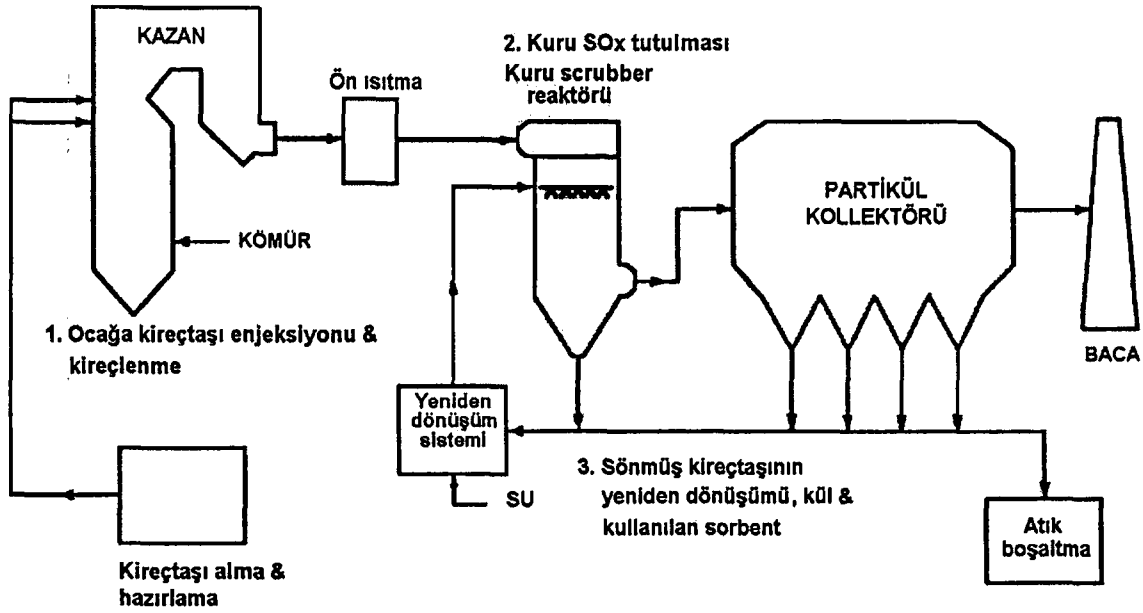


Ocağa sorbent enjeksiyonu ile SO<sub>2</sub>' in tutulması sıcaklık, destekleme süresi, ocak içindeki reaktifin dağılımı, Ca / S oranı, reaktif yüz ölçümü ve tipi tarafından güçlü bir şekilde etkilenir ayrıca bu koşulların oluşmasına özen gösterilmelidir. Burada reaktif ile baca gazının iyi karışımı önemlidir. En büyük ocakların içinde yakıcıların yukarısında reaktif enjekte edildiği zaman iyi karışım elde etmek zordur. En yüksek reaktif yüz ölçümleri en büyük kullanımı verir. Sorbent parçasının ölçüsünü 2 mikrona indirerek SO<sub>2</sub> tutulması arttırılmıştır, fakat daha ileri bir indirgemenin faydası olmamıştır. Bu reaksiyonlar sonucu oluşan sülfat bileşikleri uçucu küller ile birlikte toz filtrelerinde tutulmaktadır.

Burada daha pahalı olan sönmüş kirecin kullanılması , ocak içinde kireçtaşı kullanılarak SO<sub>2</sub>' in tutulmasından daha etkili olmuştur. Bu belkide, sönmüş kirecin ısıtıldığı zaman artan spesifik yüz ölçümlerinden dolayı olmaktadır.



Şekil 5.2 Ocağa kireçtaşı enjeksiyonu ve kuru yıkama sistemi



Bütün bu yöntemlerin yanı sıra geniş bir şekilde uygulaması olan bir diğer yöntem de Akışkan yataklı yakma sistemleridir.

Yüksek ısı iletimine sahip Akışkan yataklı kazanlarda, yatak sıcaklığının termodinamik açıdan  $\text{CaO}$  ve  $\text{SO}_2$  'in en uygun reaksiyona girdiği (  $700 - 950 \text{ }^\circ\text{C}$  ) arasındaki sıcaklıklarda kükürt dioksitin hemen hemen % 90 'ına yakın bir kısmı tutulmaktadır. Reaksiyon süresinin uzatılması nedeniyle bu yöntem  $\text{SO}_2$  'in yanma odasında kireçtaşı ilavesiyle tutulması yönünden uygun bir ortam oluşturmaktadır. Akışkan yatakta yakıt devamlı hareket halinde olduğundan, yanma ile açığa çıkan kül, kömür taneciğinden uzaklaştırılmakta yanma için gerekli oksijen kömüre ulaşabilmekte ve böylece verim artmaktadır. [ Durmaz, A., 1987 ]

Yüksek  $\text{SO}_2$  tutma verimine ek olarak akışkan yataklı yakma sistemleri ilk olarak kül ergimesini engeller. Bunun sonucunda ergimiş kül ile ilgili olarak kazan borularının korozyonu ve de tıkanması oldukça azalmıştır. Ayrıca düşük kaliteli kömürlerin Akışkan yataklı kazanlarda enerji ekonomisi ve çevre yönünden uygun biçimde yakılması önemli bir avantajdır. Aynı zamanda azot oksitlerin oluşumu azaltılmış olur. [ Durmaz, A.,1987 ]

Bunun yanı sıra bu sistem de bir takım dezavantajlara sahiptir. Kazanlar için dizayn değişiklikleri ve kireçtaşının hazırlanması için ek donanımlar gerektirmektedir. Eğer kireçtaşı kömür gibi aynı ölçüde ayarlanırsa o zaman neredeyse ayrılamayan bir kül ve kireç karışımı üretilmiş olur.

#### 5.1.1.1.5 Baca gazındaki SO<sub>2</sub>' in arındırılması ( Baca gazı desülfürizasyonu )

Baca gazları için desülfürizasyon proseslerinin memnun edici ilerlemesinde son derece yavaş olmasının sebebi problemin gücü ve büyüklüğüdür. Hemen hemen tüm desülfürizasyon proseslerinin teknik ve ekonomik fizibilitesi tesisin büyüklüğüne ve konumuna bağlıdır. Bu sistemlerde kullanılacak kontrol teknikleri kazan büyüklüğüne, konfigürasyon, yükleme şekline, coğrafik konumu ve benzerlerine bağlı olmaktadır. Yaklaşık olarak 100' ün üzerinde baca gazı desülfürizasyon prosesi geliştirilmiş olmasına rağmen bunlardan bir kısmı ekonomik ve teknik nedenlerden dolayı bırakılmış, bir kısmı ise araştırma ve geliştirme safhasında olan proseslerdir.

Yanma olayı sonucu bacadan atmosfere boşaltılan gazların içerisindeki kükürt oksitler ( SO<sub>x</sub> ) başlıca iki kritere göre geliştirilen yöntemlerle artırılır ;

- i. Reaksiyon sonucu ürünlerin atıldığı veya yeniden geri kazanıldığı sistemler,
- ii. Islak veya kuru prosesler.

Reaksiyon sonucu ürünlerin atıldığı veya yeniden kazanıldığı sistemlerde kükürtlü gazların temizlenmesi sonucu sülfürlü katı atıklar oluşur. Bu atıklar sistemden ayrıldıkça yerine taze kimyasal madde ilave edilir. Reaksiyon ürünlerinin yeniden kazanıldığı sistemlerde ise SO<sub>x</sub>' i tutan kimyasal madde kapalı sistemde etkinliğini kaybettiğçe yeniden aktif hale getirilir.

Bir diğer baca gazı desülfürizasyon yöntemi ise ıslak ve kuru proseslerdir. Islak sistemlerde baca gazı su buharı ile doymuş olarak sistemden çıkar. Kuru sistemlerde ise

SO<sub>2</sub> tutulması gaz - katı teması ile sağlanmaktadır. Islak ve kuru prosesler şu şekilde gruplandırılabilir. [ Yücel, E., ve Durmaz, A., Ankara 1991 ]

**A. Islak sistemler :**

- i. Kalsiyum ( Ca ) bileşiklerini kullanan sistemler. ( kireç, kireçtaşı )
- ii. Magnezyum ( Mg ) bileşiklerini kullanan sistemler. ( magnezyum oksit, magnezyum karbonat )
- iii. Sodyum ( Na ) bileşiklerini kullanan sistemler. ( sodyum hidroksit, karbonat )
- iv. Amonyak ( NH<sub>3</sub> ) bileşiklerini kullanan sistemler. ( amonyum hidroksit, amonyum sülfat )
- v. Potasyum bileşiklerini kullana sistemler. ( potasyum karbonat )
- vi. İkili alkali sistemler. ( sodyum karbonat- kireç, amonyak kireç )

**B. Kuru sistemler :**

- i. Püskürtmeli kurutma prosesi;
  - a) Kireç, kireçtaşı çözeltisi kullanan sistemler,
  - b) Soda çözeltisi kullanan sistemler.
- ii. Alkali enjeksiyon sistemleri;
  - a) Kireç, kireçtaşı enjeksiyonu,
  - b) Soda enjeksiyonu.

- iii. Aktif kömür, metal oksitleri ve diğer adsorbantları kullanıldığı adsorbsiyon sistemleri,
- iv. Katalitik oksidasyon sistemleri,
- v. Kükürt dioksit indirgeme sistemleri.

Günümüzde kullanılan desülfürüzyon sistemlerinin büyük bir bölümünde SO<sub>2</sub>' in sadece tutulması amaçlanmış, elde edilen atıkların değerlendirilmesi pek düşünülmemiştir. Bu proseslerde kullanılan artııcı maddelerin SO<sub>2</sub>' i tuttuktan sonra rejenerasyonları pahalı olduğundan, prosesin ekonomikliğı açısından ürün değerlendirmesi büyük önem taşımaktadır. Bu sebepten dolayı proses sonunda artııcı maddenin atıldığı sistemler yatırım açısından az masraflı görülmektedir.

Bu sistemlerde oluşan çamur halindeki ya da katı haldeki maddelerin çevreyi kirletmeden uzaklaştırılması önemli sorun teşkil etmektedir. Bu yüzden yan ürünlerin değerlendirildiğı ya da aktif SO<sub>2</sub> tutucu maddenin proses sonunda geri kazanıldığı sistemler üzerinde de yoğun araştırmalar başlamış ve bunların bazılarının endüstriyel düzeyde kullanımına geçilmiştir.

Halen santrallarda ve diğer endüstriyel tesislerde uygulama alanı bulmuş ve teknolojik gelişmesi tamamlanmış olan proseslerin genel bir özeti Tablo 5.3' te verilmiştir.

Tablo 5.3 Uygulamada olan desülfürizasyon proseslerinin teknik özellikleri

PROSES	SİSTEM	AKTİF MADDE	AKTİF MADDE DURUMU	SON DURUM
Kireçtaşı-kireç	ISLAK	Kireç - Kireçtaşı	Kazanılmıyor	CaSO <sub>3</sub> çamuru
Kireçtaşı-kireç	ISLAK	Kireç - Kireçtaşı	Kazanılmıyor	CaSO <sub>4</sub> ( jips )
Alkali kül	ISLAK	Uçucu kül	Kazanılmıyor	Çamur
İkili alkali	ISLAK	NaOH veya NaCO <sub>3</sub>	NaOH kazanılıyor	CaSO <sub>3</sub> + CaSO <sub>4</sub>
Mag-O <sub>x</sub>	ISLAK	MgO	Kazanılıyor	SO <sub>2</sub> ( S veya H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> üretiminde kullanılabilir )
Na Bileşikleri	ISLAK	NaCO <sub>3</sub>	Kazanılmıyor	NaSO <sub>3</sub>
Na Bileşikleri	ISLAK	NaOH veya NaCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> kazanılıyor	SO <sub>2</sub> ( S veya H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> üretiminde kullanılabilir )
Püskürtmeli Kurutma	KURU	Kireç, kireçtaşı, soda ( nahcolite veya trona )	Kazanılmıyor	Kuru CaSO <sub>3</sub> veya NaSO <sub>3</sub>
Amonyum Sülfat	ISLAK	NH <sub>3</sub>	Kazanılmıyor	( NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Kuru enjeksiyon ( yanma hücresinde )	KURU	Kireçtaşı	Kazanılmıyor	CaSO <sub>4</sub>
Kuru enjeksiyon ( yanma hücresinde )	KURU	Trona, nahcolite ( kireç )	Kazanılmıyor	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ( CaSO <sub>3</sub> + CaSO <sub>4</sub> )
NH <sub>3</sub> - ikili alkali	ISLAK	NH <sub>3</sub>	Kazanılmıyor	CaSO <sub>3</sub> veya CaSO <sub>4</sub>
NH <sub>3</sub> absorpsiyon	ISLAK	NH <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub> kazanılıyor	SO <sub>2</sub> ( S veya H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> üretiminde kullanılabilir )
Adsorpsiyon	KURU	Aktif kömür	Kazanılıyor	SO <sub>2</sub> ( S veya H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> üretiminde kullanılabilir )
Alüminyum Sülfat	ISLAK	Bazik alüminyum sülfat	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kazanılıyor	CaSO <sub>4</sub> ( jips )
Sodyum - ClO <sub>2</sub> ( SO <sub>2</sub> - NO <sub>x</sub> arıtımı )	ISLAK	NaOH ve ClO <sub>4</sub>	Kazanılmıyor	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaNO <sub>3</sub> , NaCl
Sitrat	ISLAK	Sitrik Asit NaCO <sub>3</sub>	Kazanılıyor	Kükürt
Katalitik Oksidasyon	KURU	Oksidasyon katalizörü	Kazanılıyor	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Süfidine	ISLAK	Xylidine, toluidine	Kazanılıyor	Konsantre SO <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Alüminyum Sülfat	ISLAK	Bazik alüminyum sülfat + kireç	Kazanılıyor	Konsantre SO <sub>2</sub> + CaSO <sub>4</sub>

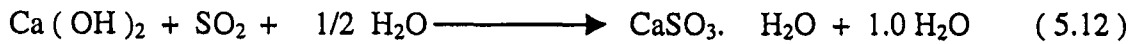
### 5.1.1.1.5.1 Kireç yaşı SO<sub>2</sub> arıtma prosesi :

Bu proses; oluşan ürünün atıldığı bir ıslak SO<sub>2</sub> absorplama prosesidir. Bu proseste kazanda yakıtın yanmasıyla oluşan baca gazı partiküllerinden arındırılması amacıyla filtrelerden geçirilir. Bu bölümden sonra baca gazı kireçten oluşmuş bir alkali çamur ile içindeki SO<sub>2</sub> ile reaksiyonun gerçekleştiği bir arıtma / absorplama kulesi ( püskürtmeli kolon ) içinde yıkanır.

Yıkama sırasında meydana gelen reaksiyonlar sonucunda baca gazındaki kükürt kalsiyum sülfid / sülfat ( CaSO<sub>3</sub> / CaSO<sub>4</sub> ) çamuruna dönüştürülür.

Kireç desülfürizasyon prosesi, bulamaç hazırlama ünitesi, yıkama ( absorpsiyon ) kolonu ve çamur koyulaştırma ünitesi olmak üzere üç ana bölümden oluşur. Yıkama kolonu çıkışında baca gazı damla gidericiden geçirilir ve tekrar ısıtılarak bacaya verilir. Püskürtmeli kolonda reaksiyon sonucu oluşan kalsiyum sülfid / sülfat çamurunun bir kısmı koyulaştırıldıktan sonra atık çamur havuzuna gönderilir. Bir kısmı ise kireç bulamacı hazırlama ünitesinde, su ilave edilmiş koyulaştırıcı çözeltisi ile karıştırılır ve sirkülasyon tankları beslenir.

Yıkama kolonundaki reaksiyon şu değerlerde gerçekleşir. % 10 - % 15 katı içeren sulu kireç kirli gazla temas edip reaksiyona girer. Kireç, 1.0 - 1.03 mol CaO / mol SO<sub>2</sub> oranında absorbere beslenir. Kireç ile reaksiyonun başlıca ürünü hidrate kalsiyum sülfittir. ( CaSO<sub>3</sub>. H<sub>2</sub>O )



Sülfata tam oksidasyonu sağlamak için reaksiyon tankının altına yerleştirilmiş karıştırıcı - hava karıştırma sistemi ile sülfid / sülfat' a basınçlı hava verilir. Kireç prosesi ile % 90' dan fazla SO<sub>2</sub> giderme elde edilmiştir. Kireç bulamacı ile baca gazı desülfürizasyon tesisinin şeması şekil 5.3' te verilmiştir. [ Kadioğlu, S., 1995 ]



**Kireçtaşı depolama, transfer ve çözelti hazırlama ünitesi :**

Baca gazı kükürt arıtma tesisinde kullanılacak kireçtaşı, en fazla 60 mm büyüklüğüne kadar kırılacak ve tesisin kireçtaşı hazırlama ünitesine getirilecektir. Kireçtaşı hazırlama ünitesi; kırma, öğütme ve çözelti hazırlama tesislerinden oluşmaktadır. Kireçtaşı burada öğütülerek % 25' lik kireçtaşı çözeltisi haline getirilecek ve buradan çözelti pompalarla yıkayıcı kuleye verilecektir. [ TEAŞ ; 1994 ]

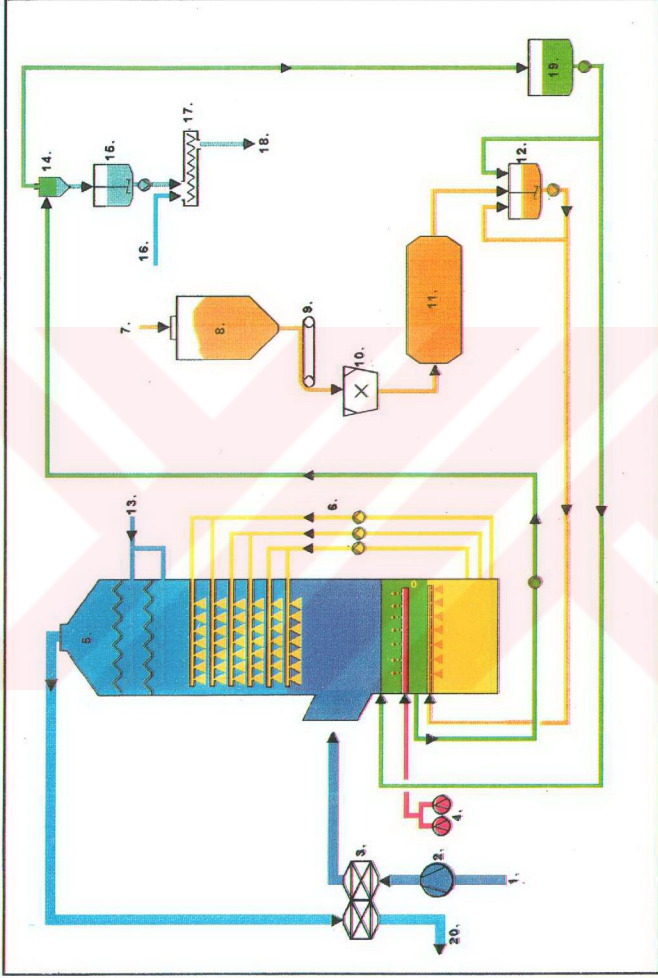
**Yıkayıcı kule ( scrubber ) :**

Yıkayıcı kule, reaksiyon solüsyonu ile baca gazının yıkandığı ve gazın kükürt oksitlerden arındırıldığı ortamdır. Santralin mevcut elektrofiltrelerinden geçen baca gazı, yardımcı fan ve gaz - gaz ısıtıcısından geçerek kireçtaşı / alçıtaşı solüsyonu ile karşılaştığı yıkayıcı kuleye girecektir. Yıkayıcı kuleye ilave edilen taze kireçtaşı çözeltisi, baca gazındaki SO<sub>2</sub> miktarına göre ayarlanır.

Yıkayıcı kulede baca gazı, aşağıdan yukarıya hareket ederken yukarıdan aşağıya dökülen reaksiyon solüsyonu ile karşılaşmaktadır. Burada baca gazındaki kükürt dioksit ( SO<sub>2</sub> ) ve kükürt trioksit ( SO<sub>3</sub> ), resirküle edilen kireçtaşı / alçıtaşı solüsyonu ile reaksiyona girerek Ca SO<sub>3</sub> ve CaSO<sub>4</sub> oluşturur. Yıkayıcı kuledeki oksitleme ünitesinde sülfidler % 99 oranında oksitlenerek sülfata çevrilecek ve son ürün alçıtaşı çözeltisi (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) oluşacaktır. Ayrıca, baca gazında az miktarda bulunan klor ve flor bileşikleri ile uçucu külde, belli bir oranda yıkayıcı kulede yıkanır ve artık maddeye karışır.

Yıkayıcı kulede, kükürt oksitlerden min. % 95 oranında temizlenen baca gazı yıkayıcı kuleyi terketmeden önce, üst kısımda yer alan damla tutucudan geçerek beraberinde sürüklediği suyu bırakacak ve doymuş halde gaz - gaz ısıtıcısına gelecektir. Burada min.95 ° C' ye kadar ısıtılarak mevcut bacadan atmosfere atılacaktır. Kireçtaşı bulamacı ile baca gazı desülfürizasyon tesisinin şeması şekil 5.4' de verilmiştir. [ TEAŞ, 1994 ]

Şekil 5.4 Kireçtaşı bulamacı ile baca gazı destüflürasyon tesisi şeması



- 1- KIRLI BACA GAZI GİRİŞİ
- 2- YARDIMCI FAN
- 3- GAZ İTİCİSİ
- 4- OKSİTLEMELİ HAVASI KOMPRESÖRÜ
- 5- KIRKAYICI KULE
- 6- RESİRKÜLASYON POMPALARI
- 7- KİREÇTAŞI GİRİŞİ
- 8- KİREÇTAŞI SİLOSU
- 9- KİREÇTAŞI BESLEYİCİSİ
- 10- KİREÇTAŞI KIRICI
- 11- BİLYALI İSLAK DEĞİRMEN
- 12- KİREÇTAŞI ÇÖZELTİSİ BESLEME TANKİ
- 13- PROSES SUYU
- 14- ALÇITAŞI HİDROSİKLONLARI
- 15- ALÇITAŞI DEPOLAMA TANKİ
- 16- KÜL GİRİŞİ
- 17- KARİSTRİCİ
- 18- KÜL - ALÇITAŞI KARIŞIMI
- 19- FİLTİRAT GERİ DÖNÜŞ TANKİ
- 20- TEMİZ BACA GAZI ÇIKIŞI

### Alçıtaşı su giderme ve kül karıştırma ünitesi :

Yıkayıcı kuleden alınan alçıtaşı çamuru, pompalar vasıtasıyla alçıtaşı su giderme ünitesindeki hidrosiklonlara gönderilecektir. Burada % 50 nisbetinde suyu giderilen alçıtaşı çözeltisi, alçıtaşı depolama tankına gönderilecektir. Alçıtaşı çamuru alçıtaşı depolama tankından stabilizasyon karıştırıcısına pompalanacak ve kül silosundan alınacak kül ile karıştırılarak son ürün elde edilecektir. Son ürün ise mevcut kül bantları ile kül barajına gönderilecektir. Yıkayıcı kulede ( scrubber ) meydana gelen basamaklı toplu tepkimeler şöyle oluşur.



Yan ürün olan alçının hidrosiklonlar kullanılarak kısmen suyu giderilir. Alçının suyunun daha ileri uzaklaştırılması vakum filtreler veya santrifüjlerle gerçekleştirilir. Alçı keki ya atılır veya endüstriyel, kimyasal veya duvar yapımı üretiminde kullanılmak üzere daha ileride işlem görür. [ TEAŞ, 1994 ]

Baca gazının çamurla teması için gerekli damlacık yüzey alanı  $L / G$  (sıvı/gaz) oranını belirtir. Aynı  $\text{SO}_2$  giderim ihtiyacı için, kireçtaşı prosesinin absorplayıcı maddesi kireçten daha az reaktif olduğundan daha yüksek bir sıvı / gaz (  $L / G$  ) oranı gerektirir ve proses tankındaki bekletme süresi kireç sisteminden daha uzundur. Kirecin yüksek reaktivitesi ve çözünürlüğü nedeni ile kireç sistemi için daha küçük transfer temas alanına gereksinim vardır. Bu nedenle sıvı / gaz (  $L / G$  ) oranı daha düşüktür. Doğru sıvı / gaz oranı, uzaklaştırılması gereken  $\text{SO}_2$ ' in, giriş  $\text{SO}_2$  gaz konsantrasyonunun, absorplayıcı maddenin pH' ının bir fonksiyonudur. Absorpsiyon reaksiyonunda kaybolan kalsiyumu tamamlamak ve absorber bulamacının pH' ını kontrol etmek için hazırlanan kireçtaşı veya kireç bulamacı reaksiyon tankına ilave edilir. Tüm baca gazı desülfürizasyon işlemleri için doğru, sürekli pH kontrolü çok önemlidir. [ Raymond, J.D., ve David C.H., 1995 ]

Kireç / kireçtaşı proseslerinde reaksiyonların olduğu bölümler kimyasal çökeltiler ile kaplanır, ayrıca bu proseslerde çamur bertaraf sorunu da bulunmaktadır. Bir diğer önemli olumsuz yanı ise prosesler sonucundaki gazların sıcaklıklarının oldukça düşmesi bu gazların bacadan atılabilmesi içinde yaklaşık olarak 110 C - 140 C ısıtılması gerektiğidir. Böylece basınç kayıpları artmakta, sonuçta bunu gidermek için ek masrafların yapılması ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda işletme masrafları artmaktadır.

Tüm bu dezavantajlara rağmen kireç / kireçtaşı prosesleri % 0.5 - 5 kükürt içeren kömür yakan baca gazı desülfürizasyon tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

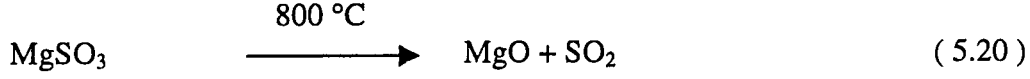
#### 5.1.1.1.5.3 MgO ile yıkama prosesi :

MgO ile yıkama prosenin kireç prosesinden farkı MgO ıslak arıtma yönteminin absorplayıcı maddesinin tekrar geri kazanılmasıdır. MgO' in çamur içindeki özellikleri diğer proseslerdeki ile aynıdır. Bu yöntemin ekonomik olabilmesi için MgO' in tamamen rejenere edilmesi gerekmektedir. MgO yıkayıcı kulede baca gazındaki SO<sub>2</sub>' i tutarak MgSO<sub>3</sub> veya MgSO<sub>4</sub>' a dönüştürmektedir.

Yıkayıcı kulede meydana gelen basamaklı toplu tepkimeler şöyle oluşur;

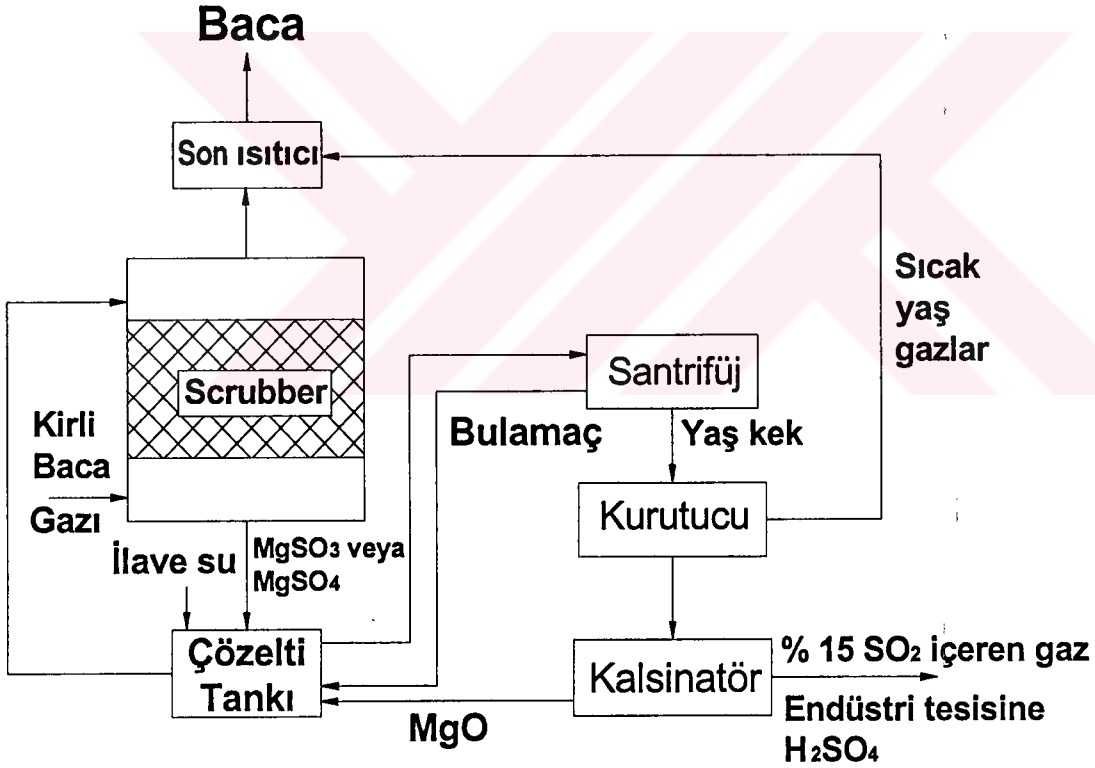


MgO ile reaksiyona girmemiş olan sülfür / sülfat karışım çamuru satrifüjle sıvı fazda ayrılır.



Bu proses ana elementinin rejenere edildiği bir prosestir. Baca gazından geliştirilen konsantre edilmiş  $\text{SO}_2$  ( % 10 - 15 ) elementel sülfür yapımında kullanılır veya  $\text{H}_2\text{SO}_4$  üretmek için yeniden işlenir. MgO yıkamalı baca gazı desülfürizasyon tesisinin şeması Şekil 5.5' te verilmiştir. [ Calvert, S., ve England, M.M., 1984 ]

Şekil 5.5 MgO yıkamalı baca gazı desülfürizasyon tesisi



Bu sistemde MgO' in rejenerasyonu için gerekli kalsinasyon için yüksek enerji harcanması ve baca gazlarının atılmadan önce ısıtılması gibi dezavantajları bulunsa da geri beslemeden dolayı atık üretilmediğinden dolayı tercih edilmektedir. [ Calvert, S., ve England, M.M., 1984 ]

### 5.1.1.1.5.3 Wellman - Lord yöntemi :

Wellman - Lord prosesi, yüksek kükürt oranlı yakıt yakan termik santrallarda baca gazından kükürtün arıtılmasında kullanılmaktadır. Bu proseste arıtıcı akışkan olarak NaOH kullanılmakla birlikte asıl aktif madde  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ' tir. Bu sistemde arıtıcı akışkan kapalı devre içinde dolaşmaktadır. Arıtıcı madde proseste rejenerasyon sonucu tekrar kullanılabilen ve sadece azaldığı miktarda ilave edilmektedir. [ Durmaz, A., vd 1991 ]

Bu baca gazı kükürt giderme uygulamasında başka bir hammadde ihtiyacı görülmez. Baca gazındaki  $\text{SO}_2$  ' i ürün haline dönüştürmektedir. Rejenerasyon süresince ayrılan ara  $\text{SO}_2$  gazından ürün olarak sıvı  $\text{SO}_2$  , sülfirik asit (  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ) ve saf kükürt ( elementel kükürt ) üretilmektedir.

Wellman - Lord prosesinin çalışması, baca gazındaki  $\text{SO}_2$  ' in sodyum sülfid ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) çözeltisi ile tutulması ve daha sonra bu çözeltinin rejenere edilerek geri döndürülmesi prensibine dayanır. Baca gazında seyreltik olarak bulunan  $\text{SO}_2$  gazı çözeltinin rejenerasyonu sonucu derişik  $\text{SO}_2$  gazı haline geçer. [ Kadioğlu, S., 1995 ]

Bu proses;  $\text{SO}_2$  absorpsiyon bölümü, rejenerasyon bölümü ve  $\text{SO}_2$  işleme bölümlerinden oluşmaktadır.

Baca gazı ön yıkama bölümüne girer ve bu bölüm de baca gazındaki  $\text{SO}_2$  arıtıcı akışkanla reaksiyona girerek sodyum sülfid (  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ) oluşur. Tepkime şu şekilde gerçekleşir;



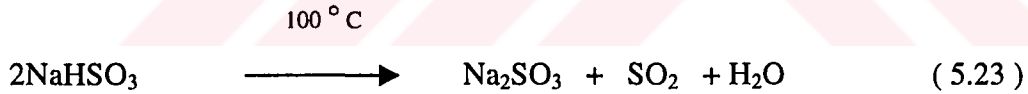
Ön yıkama bölümünden sonra baca gazı kulenin absorpsiyon bölümüne girer ve burada aşağıdan yukarıya doğru hareket eden baca gazı ters akımla aşağıya inen sodyum sülfite ile temas eder ve reaksiyon oluşur. Burada sodyum sülfite ile kükürt dioksit reaksiyona girerek sodyum bisülfiti oluşturur. Buradaki reaksiyon şöyle gerçekleşmektedir;



Burada kükürt dioksit arıtıcı akışkanla olan kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan kendi tuzları tarafından baca gazından alınmaktadır. Eğer solüsyona oksijen verilirse, arıtıcı akışkan oksitlenerek sodyum sülfat oluşur. [ Durmaz, A., 1987 ]



Rejenerasyon bölümünde  $\text{SO}_2$ , buharlaştırıcı ile kristalleştirici içerisinde ısı ayrılmaya uğramakta ve taşıyıcı çözeltilerden ayrılmaktadır. Sodyum bisülfite ısı rejenerasyon esnasında yaklaşık  $100^\circ\text{C}$  civarında, buharlaştırıcıda  $\text{SO}_2$ 'i bırakır ve sodyum sülfite ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) kristallerine dönüşür.



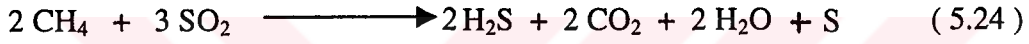
Rejenerasyon sonucunda ayrılan subuharı ve kükürt dioksit yukarıdan ve sodyum sülfite kristalleri de alttan alınır. Burada alınan subuharı kondenserde yoğunlaştırılır ve buradan absorpsiyon kolonuna besleme solüsyonu ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) yapmak için çözelti tankına gönderilir. Kondenserde yoğunlaşma sonucunda  $\text{SO}_2$  ce zengin gaz oluşmaktadır. Bu  $\text{SO}_2$  gazı sülfirik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), sıvı  $\text{SO}_2$  ve elementel kükürt oluşturmak amacıyla  $\text{SO}_2$  işleme bölümüne gelir. Buharlaştırıcıdan alınan çamur, absorplama kolonunu beslemek amacıyla santrifüjden geçirilerek sodyum sülfite kristallerinin bulunduğu çözelti tankına gönderilir.

$\text{SO}_2$  işleme bölümü olan ürün kazanım ünitesinde üç alternatif mevcuttur. Bunlar, derişik  $\text{SO}_2$  gazının sıvılaştırılması ile sıvı  $\text{SO}_2$  elde edilmesi, derişik ( zengin  $\text{SO}_2$  içerikli )  $\text{SO}_2$  gazının Claus prosesinden geçirilerek kükürt'e dönüştürülmesi ve de derişik  $\text{SO}_2$

gazının katalitik oksidasyon ile sülfirik asite (  $H_2SO_4$  ) dönüştürülmesidir. Bu bölümde maliyetin en yüksek olduğu ürün elementer kükürt, en düşük olanı ise sıvı  $SO_2$ ' dir. [Kadıoğlu S., 1995 ]

Sıvı  $SO_2$  elde edilmesi için,  $SO_2$ ' ce zengin olan gaz ilk önce bir absorpsiyon kolonundan geçirilerek kurutulur, daha sonra düşük basınç ve sıcaklıkta sıvılaştırılır ve saflaştırılır.

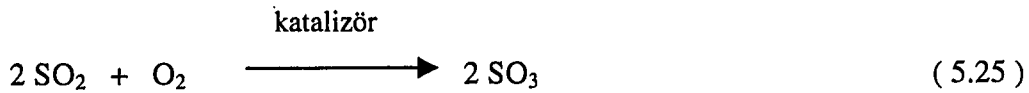
$SO_2$ ' ce zengin olan baca gazından % 99.5 saflıkta elementel kükürt elde etmek iki bölümden oluşur. Birinci bölümde derişik  $SO_2$ ' in ısı indirgenmesidir. Burada indirgeme gazı olarak doğal gaz kullanılabilir. Baca gazındaki  $SO_2$  ; metan (  $CH_4$  ) ile reaksiyona girerek elementer kükürt, hidrojen sülfid,  $CO_2$  ve su buharı karışımı üretilir. |



İkinci bölümde ise elde edilen hidrojen sülfid (  $H_2S$  ) reaksiyona girmemiş  $SO_2$  ile reaksiyona girerek elementer kükürt ve su buharı oluştururlar.

Sülfirik asit ise katalitik dönüştürme prosesi ile üretilmektedir. Bu ünite de derişik  $SO_2$  gazı ve oksidasyon için gerekli hava sülfirik asit (  $H_2SO_4$  ) ile kurutulduktan sonra katalitik reaktöre gönderilir. Reaktörden çıkan  $SO_2$  gazı absorban olarak derişik sülfirik asit kullanan bir absorpsiyon kolonunda sülfirik asite (  $H_2SO_4$  ) dönüşür. Bu proseste oluşan reaksiyonlar şöyledir ;

Katalitik oksidasyon tepkimesi;

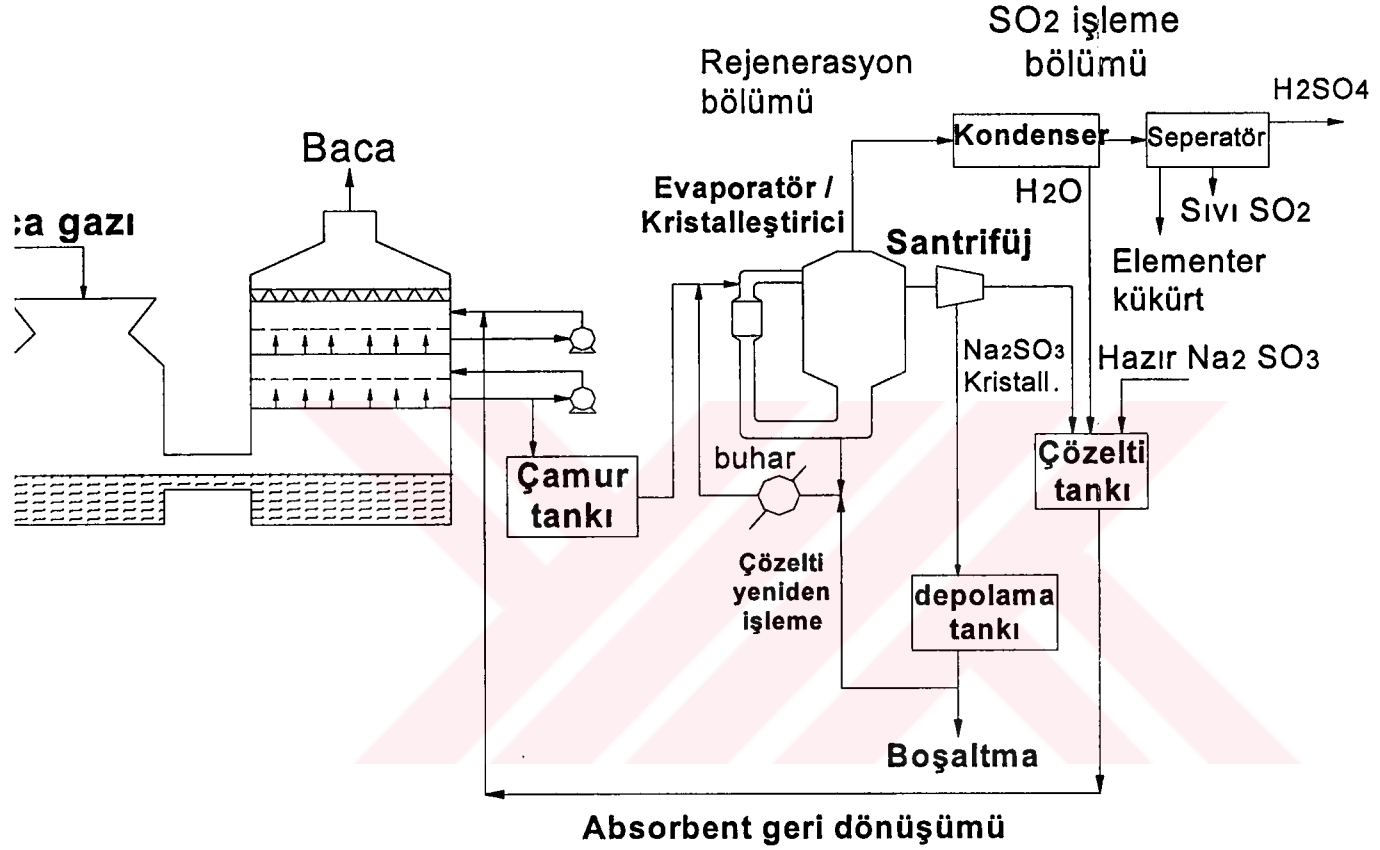


Absorpsiyon tepkimesi ;



Wellman - Lord prosesinde  $\text{SO}_2$  giderimi % 90' dan fazladır. Bu prosesin akım şeması Şekil 5.6' da gösterilmiştir.

Şekil 5.6 Wellman - Lord prosesi akım şeması



İç elektrik tüketim ve bakım - onarım giderleri yüksektir. Kabuklaşma sorunları bulunmamakla birlikte, korozyon önemli bir sorundur. Bu prosesin baca gazındaki  $\text{SO}_2$  miktarındaki değişikliklere kolaylıkla uyabildiği, bu nedenle kükürt oranında değişiklik gösteren yakıtlar ve ayrıca yük değişimleri için çok uygun olduğu bir baca gazı kükürt giderme prosesi olduğu ve linyit yakan güç tesislerini uygun bir proses olduğu belirtilmektedir.

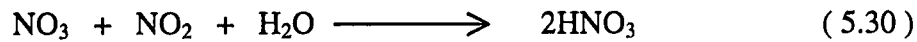
### 5.1.1.2 No<sub>x</sub> kontrolü :

Fosil yakıtların yakılması sonucunda azotun oksidasyonu ile NO<sub>x</sub> oluşmaktadır.

Bu yakıtların yanmasında NO<sub>x</sub> ( NO ve NO<sub>2</sub> ) oluşum mekanizması üç grupta toplanmaktadır;

- Yakma havasının içerdiği azotun oksitlenmesi ile NO<sub>x</sub> oluşumu ( Termal NO<sub>x</sub> )
- Yakıtın içerdiği azotun oksitlenmesi ile NO<sub>x</sub> oluşumu ( Yakıt NO<sub>x</sub> )
- Yakıt alev cephesinde bir anda oluşan NO<sub>x</sub> ( Ani NO<sub>x</sub> )

Baca gazındaki NO<sub>x</sub>, ya yakma havasındaki azot ( termal NO<sub>x</sub> ) ya da yakıttaki azotun ( yakıt NO<sub>x</sub> ) oksitlenmesi sonucunda oluşur. Genel olarak kömürün yanmasıyla, üretilen NO<sub>x</sub>' in % 25' ten daha az kısmı termal NO<sub>x</sub> ve geri kalan kısmında yakıt NO<sub>x</sub>' dir (Stultz ve Kitto, 1992). NO<sub>2</sub> ise bacadan sonra NO' in oksidasyonu ile oluşur. Burada meydana gelen NO<sub>2</sub> daha sonra ozon ( O<sub>3</sub> ) ile reaksiyona girer ve NO<sub>3</sub>' i oluşturur. Bu reaksiyonlardan sonra oluşan NO<sub>2</sub> ve NO<sub>3</sub>, havadaki veya baca gazındaki su buharı ile reaksiyona girer ve nitrik asiti ( HNO<sub>3</sub> ) oluşturur. Bu oluşum reaksiyonlarını şöyle sıralayabiliriz;



Bu reaksiyonlar sonucunda oluşan nitrik asit, yağmur, kar gibi atmosferik hareketler ile yeryüzüne iner. Bu da insan ve hayvan sağlığına, ormanlar ve bitki örtüsüne ağır tahribatlar yapar. Bu önemli zararları tespit edilen NO<sub>x</sub>' lerin hemen hemen hepsinin termik santrallardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu yüzden NO<sub>x</sub>' lerin kontrolü için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemleri yanma öncesi ve yanma esnasında NO<sub>x</sub> kontrolü, baca gazlarında NO<sub>x</sub> kontrolü şeklinde sınıflandırmamız mümkündür.

### 5.1.1.2.1 Yanma öncesi ve yanma esnasında NO<sub>x</sub> kontrolü :

Yanma kontrol metodları NO<sub>x</sub>, karbon monoksit ( CO ) ve yanmamış hidrokarbon ( genellikle metan olmayan hidro karbonlar veya uçucu organik bileşikler ( VOC ) şeklinde düzenlenirler ) emisyonları oluşumlarını azaltmak için uygulanan metodlardır. [ Black & Veatch, 1996 ]

Doğal gaz ve hafif ( distile ) sıvı yakıtlar, kimyasal bağlı azot içermediklerinden, bu yakıtların yanmasında termal NO<sub>x</sub> oluşum mekanizması etken olmaktadır. Ağır sıvı yakıtların ve kömürün yakılmasında ise yakıt NO<sub>x</sub> oluşum mekanizması daha etken olmaktadır. Genel olarak yanma esnasında NO<sub>x</sub> kontrolü büyük ölçüde; düşük azot ihtiva eden yakıtların kullanımına, yanma gazının yüksek sıcaklık bölgesindeki zamanının azaltılmasına ve yanma odası sıcaklığının düşürülmesine bağlı kalmaktadır. [ Durmaz, A., ve Ercan, Y., 1987 ]

Bununla beraber; bu durumlar küldeki yanmamış karbon, baca gazındaki uçucu organik bileşikler ve karbon monoksitin oluşumunda artış şeklinde sonuçlanmasına sebep olacaktır. Bu yüzden NO<sub>x</sub>' in yanma kontrolü için ilk dizayn kriteri, NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltıldığı zaman yanmamış karbon, uçucu organik bileşikler ve karbon monoksitin kabul edilebilir düşük seviyelerde muhafaza edilmesidir. [ Black & Veatch, 1996 ]

Kazanlarda NO<sub>x</sub> oluşumunun sınırlandırılması, yakma sistemlerinde NO<sub>x</sub> oluşum mekanizmalarının frenlenmesine yönelik teknolojik önlemlerin alınmasını ve yakma sistemlerinde değişikliklere gidilmesini gerekli kılmaktadır. NO<sub>x</sub> oluşumu özellikle 1000 °C' ın üzerinde aşırı artış gösterdiğinden, bu önlemler temelde yanma odası sıcaklığının düşürülmesi, yanmanın olabildiğince az ve kontrollü hava fazlalığında yapılarak NO<sub>x</sub> oluşumunun bastırılması prensibine dayanmaktadır. Bunun için, yakma sisteminin yapısının bu amaçlar doğrultusunda belirlenmesi ( curuf özelliği, brülör özelliği ve konumu ), hava fazlalığının en aza indirilmesi, hava ön ısıtma işleminin sınırlandırılması, baca gazı ve sirkülasyonu, düşük NO<sub>x</sub> oluşturan brülörlerin kullanılması gibi önlemlerin alınması gerekmektedir.

Akışkan yataklı kazanlarda yatak sıcaklığı düşük tutulduğundan (800 °C - 900 °C) NO<sub>x</sub> oluşumu frenlenmektedir. Bu nedenle akışkan yatak teknolojisi NO<sub>x</sub> emisyonu kontrolü yönünden de etken bir araçtır. [ Durmaz, A., ve Ercan, Y., 1987 ]

#### 5.1.1.2.2 Baca gazlarından NO<sub>x</sub> giderme teknikleri :

Yanma esnasında NO<sub>x</sub> oluşum mekanizmaları, uygun yakma sistemi tasarımı ve yanma kontrolü ile azot oksitlerin ( NO<sub>x</sub> ) yanma odasında tutulması ile emisyonlar belirli bir seviyeye kadar azaltılabilmektedir. Termik santrallarda sıkı emisyon sınırlamaları bulunduğu için, NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması ancak baca gazı arıtma yöntemleri ile olabilmektedir. ( Kadioğlu., S., 1995 ) Baca gazı NO<sub>x</sub> arıtma yöntemleri iki ana grupta toplanmaktadır. Bunlar Katalizörlü ve Katalizörsüz Seçmeli NO<sub>x</sub> arıtma yöntemleri ve birleşik SO<sub>2</sub> / NO<sub>x</sub> arıtma yöntemleridir.

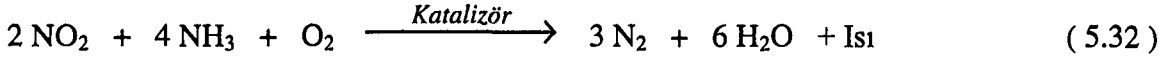
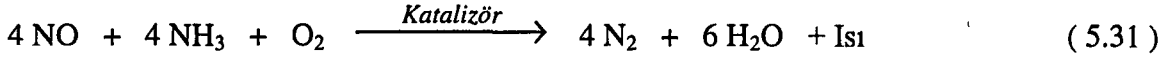
##### 5.1.1.2.2.1 Katalizörlü ve katalizörsüz seçmeli NO<sub>x</sub> arıtma yöntemleri :

Azot oksitlerin çoğunlukla çözülme özelliğinin düşük olmasından dolayı, günümüzde baca gazlarından NO<sub>x</sub>' in arıtılması için en çok kuru yüzeysel tutma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler i- katalizörlü ve ii- katalizörsüz olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

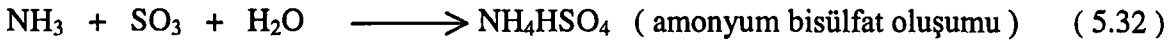
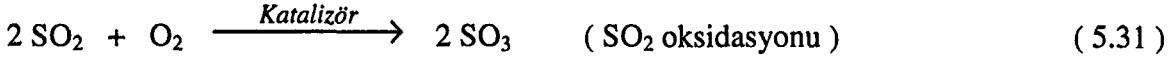
##### i- Katalizörlü NO<sub>x</sub> arıtma yöntemi :

Bu yöntemle NO<sub>x</sub>' in indirgenmesi için katalizör kullanılmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan yöntemlerden biri seçmeli katalizörlü NO<sub>x</sub> indirgeme yöntemidir.

Seçmeli katalizörlü indirgeme prosesinde indirgeme maddesi olarak amonyak kullanılmaktadır. Bu katalizör etkisi altında aşağıdaki reaksiyonlar sonucunda NO<sub>x</sub> seçmeli olarak azot ( N<sub>2</sub> ) ve suya ( H<sub>2</sub>O ) indirgenmektedir. Amonyak, kirli gazdaki NO' ya göre stokiometrik bir oranda baca gazına enjekte edilir.



Aynı zamanda aşağıdaki istenilmeyen reaksiyonlarda oluşabilir.



Kükürt dioksitin (  $\text{ SO}_2$  ) kükürt trioksite (  $\text{ SO}_3$  ) oksitlenmesi ve daha sonra  $\text{ SO}_3$ ' in reaksiyona girmemiş amonyak ile birlikte amonyum bisülfat ve sülfat oluşturması en sıkıntılı reaksiyonlardır.  $\text{ SO}_2$ ' nin  $\text{ SO}_3$ ' e dönüşümü sıcaklığın yaklaşık olarak 400 C' nin üzerindeki sıcaklıklarda çok artmaktadır. Bu yüzden kükürt ihtiva eden yakıtların kullanıldığı uygulamalar için amonyak enjeksiyonu 350 C ile 400 C sıcaklıkları arasında sınırlandırılmalıdır. Uygun katalizör kompozisyonuyla birlikte bu sıcaklık aralıklarında çalışma ile  $\text{ SO}_2$ ' nin  $\text{ SO}_3$ ' e oksidasyonu % 1 veya daha az oranlarda sınırlandırılmış olur. Sistemin arıtma verimi; reaksiyon sıcaklığına, katalizör özelliğine, kirli gazın katalizörden geçme hızına bağlıdır. [ Black & Veatch, 1996 ]

Baca gazının asitlik çığ noktası sıcaklığı  $\text{ SO}_3$  konsantrasyonu ile direkt olarak bağlantılıdır ve buda oksidasyonda minimum hava ön ısıtıcısı çıkış sıcaklığında bir değişikliği gerektirmektedir. Kullanılan katalizörler  $\text{ SO}_2$ ' in  $\text{ SO}_3$ ' e oksidasyonunu hızlandırarak baca gazı asitlik çığ noktasını yükseltmekte, amonyum sülfat ve bisülfat oluşumunu hızlandırmaktadır.

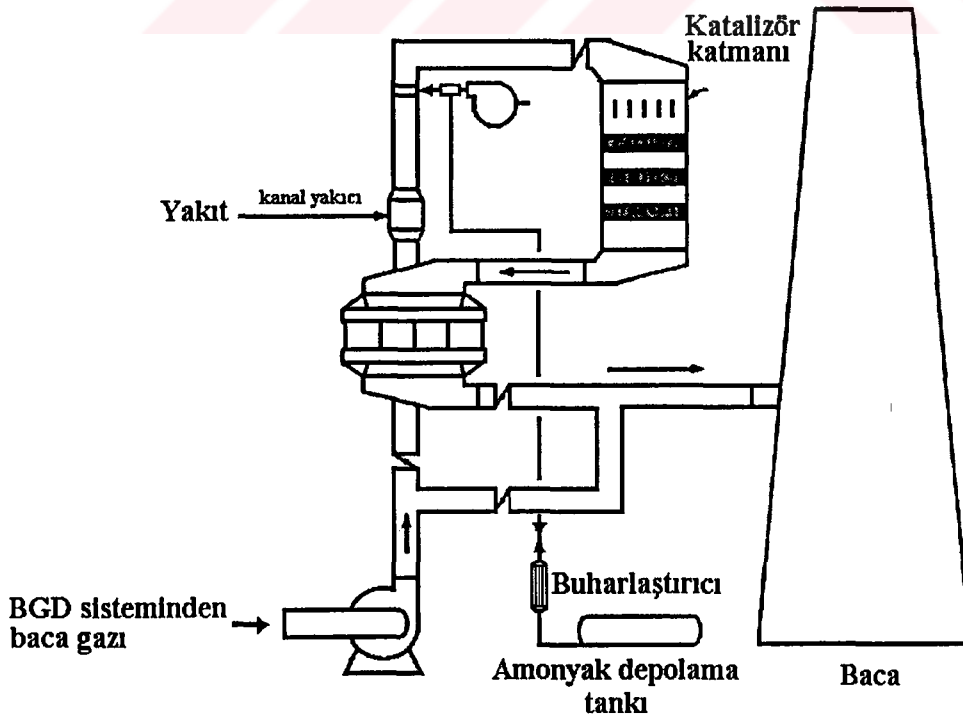
Günümüzde uygulanan sistemlerden en fazla kullanılan katalizör titan bazında vanadyum pentaoksittir (  $\text{ V}_2\text{O}_5$  ). Vanadyum çok iyi reaksiyona girmekte ve işletme ömrü uzun olmaktadır. Titan, alüminyumda olduğu gibi  $\text{ SO}_3$ ' ten olumsuz yönde etkilenmemektedir. Alüminyum bazındaki katalizörler,  $\text{ SO}_x$  oranının çok düşük olduğu

kirli gazlarda kullanılmaktadır. Diğer katalizör baz bileşikler olarak,  $FeO_3$ ,  $MoO_3$ ,  $WO_3$  ve  $CrO_3$  kullanılabilmektedir. Katalizör tasarımında tıkanmaya, ısınmaya, aşırı basınç düşmelerine karşı gerekli önlemler alınmalı ve katalizör kolayca temizlenebilir olmalıdır. [Durmaz A., ve Ercan Y., 1987]

Seçmeli katalitik indirgeme prosesinin kullanımında daha önce bahsedilen sıcaklık sınırlamaları için üç sistem düzenlemesi geliştirilmiştir. Bunlar yüksek toz sistemi, alçak toz sistemi ve son kısım sistemidir.

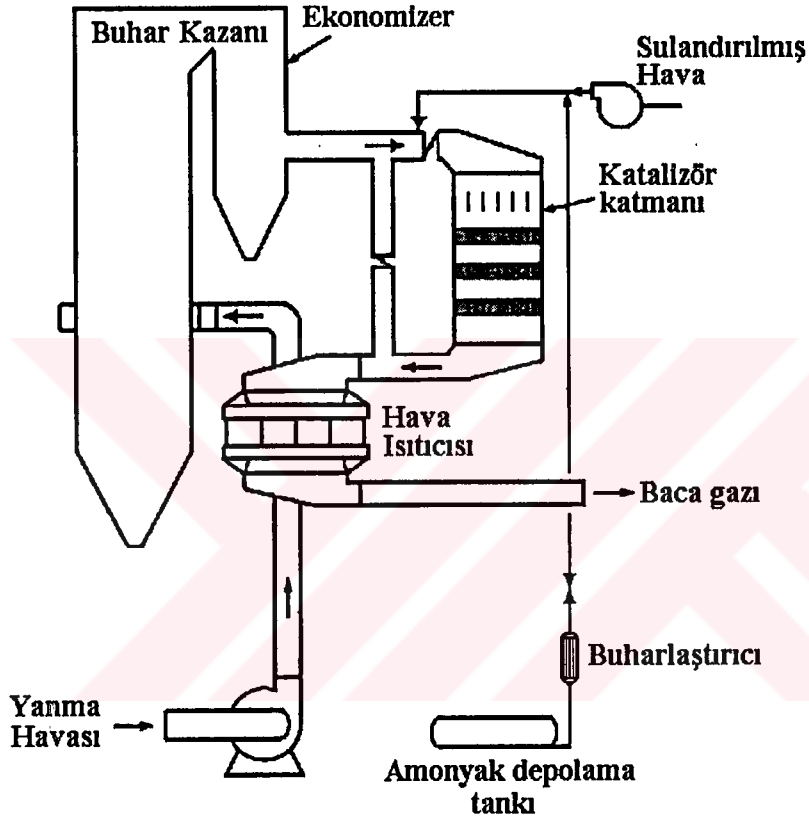
Son kısım sisteminde katalizör, partikül kontrol ve baca gazı desülfürizasyon sisteminin çıkışına ve bacanın yanına yerleştirilmiştir. Son kısım sistemi uygulamaları için katalizör ömrü azami ölçüde uzatılmış ve katalizör maliyeti daha reaktif katalizör formülasyonları yardımıyla zehirleyicilerin ( partiküller, kükürlü bileşikler ) gaz akımından uzaklaştırıldığından beri en aza indirilmiştir. Bununla beraber, kazandan gelen buhar veya doğal gaz gibi ek bir ısı kaynağının kullanıldığı gaz - gaz ısı değiştirgecini gerektiren baca gazının yeniden ısıtılması maliyeti oldukça arttırmaktadır. Şekil 5.7' de sistem ile ilgili resim verilmiştir. [ Black & Veatch, 1996 ]

Şekil 5.7 Son kısım- katalizörlü seçmeli indirgeme sistemi



Yüksek toz sisteminde katalizör, ekonomizer ( besleme suyu ön ısıtıcısı ) çıkışına ve hava ön ısıtıcısının yanına yerleştirilmiştir. Burada 300 C - 400 C sıcaklık bölgesinde bulunan yanma gazları tozdan arındırılmadan katalizöre verilmektedir. Bu sistem ile ilgili resim Şekil 5.8' de verilmiştir.

Şekil 5.8 Yüksek toz- katalizörlü seçmeli indirgeme sistemi

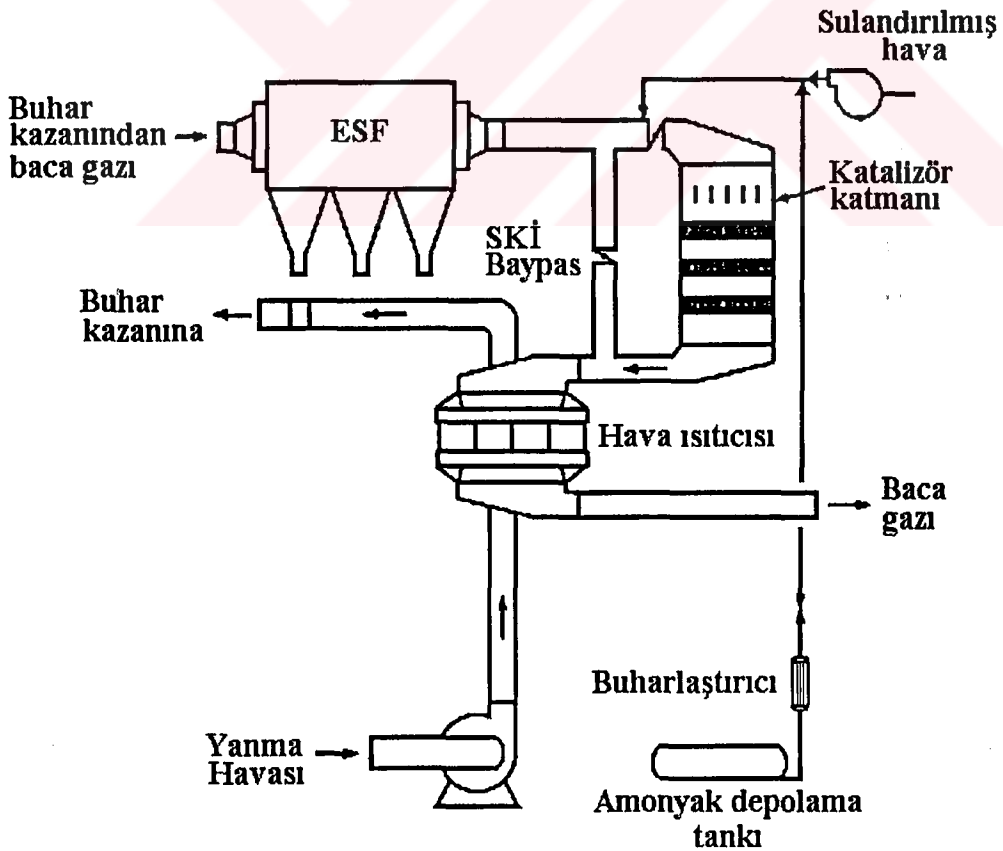


Burada kazandan çıkan duman gazı sıcaklığı genelde 300 C' in üzerinde olduğu için duman gazını tekrar ısıtmak gerekmemektedir. Fakat, duman gazı sıcaklığı 300 C' in altına düştüğü zaman amonyak püskürtülmesi durdurulmalıdır. Aksi takdirde oluşan amonyak tuzlarının (  $\text{NH}_4\text{SO}_4$  ) katalizörleri tıkamasına neden olur. Duman gazı sıcaklığının 400 C' in üzerine çıkmaması da önemlidir, çünkü sıcaklık yükselmesi ile birlikte kükürt dioksitlerin (  $\text{SO}_2$  ) kükürt trioksitlere (  $\text{SO}_3$  ) çevrilme oranı önemli ölçüde artmaktadır. Bu durum ise  $\text{SO}_3$ ' in duman gazındaki subuharı ile tepkimeye girerek sülfirik asit oluşmasına ve böylece reaktörün arkasında bulunan hava ısıtıcısı ve elektro filtrelerin kısa zamanda aşınmasına neden olmaktadır. [ Black & Veatch, 1996 ]

Burada oluşan bir diğer problem ise, duman gazının büyük miktarda kurum içermesidir. Bu da katalizör ömrünün kısalmasına neden olmaktadır. Bu prosesin en avantajı ise ilk yatırım maliyetinin düşük olmasıdır.

Alçak toz sistemde katalizör, elektrostatik filtrenin çıkışına ve hava ön ısıtıcısının yanına yerleştirilmiştir. Şekil 5.9' da olduğu gibi baca gazı, yüksek sıcaklıkta toz tutucuda tozdan arıtılmakta (  $0.05 - 0.1 \text{ g / m}^3$  gaz çıkışı ), daha sonra  $\text{NO}_x$  ve  $\text{SO}_2$  artırcılarına gönderilmektedir. Reaktörü terk eden duman gazı yaklaşık  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  civarında bir ısıya sahiptir. Daha sonra ısı eşanjöründen geçirilerek  $90 \text{ }^\circ\text{C} - 100 \text{ }^\circ\text{C}$  arasında bir sıcaklığa soğutulup bacaya verilmekte ve böylece duman gazı bacaya verilmeden önce ısısı geri kazanılmaktadır. Bu uygulama düşük kükürlü yakıtların yakıldığı sistemlerde ekonomik olmaktadır. Bu sistemde duman gazının elektro filtre ve yıkama prosesinden geçirilip zararlı kimyasallarından ve kurumlardan temizlenmesiyle katalizör ömrü uzatılmaktadır.

Şekil 5.9 Alçak toz - katalizörlü seçmeli indirgeme sistemi

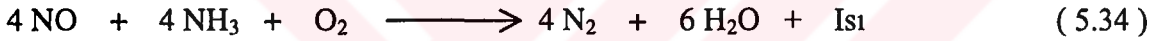


## ii - Katalizörsüz NO<sub>x</sub> arıtma yöntemi :

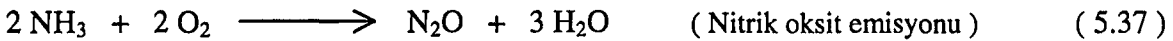
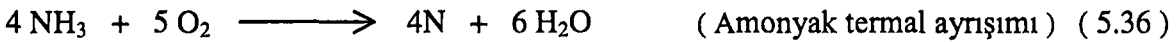
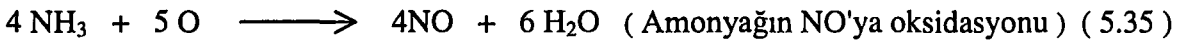
Fosil yakıt yakan kazanlardan NO<sub>x</sub> emisyonlarını kontrol etmek için kullanılan bir diğer yöntem de katalizörsüz seçmeli indirgeme yöntemidir. Bu sistemde NO<sub>x</sub> giderimi için baca gazına amonyak enjekte edilmektedir. İndirgeme prosesi 800 C- 1100 C sıcaklıkları arasında gerçekleşmektedir. Katalizörsüz seçmeli indirgeme prosesinde NO<sub>x</sub> indirgeme verimi optimum hallerde ( yeterli reaksiyon zamanı, sıcaklık ve reaktif-baca gazı karışması ) % 70 - % 80 oranlarında başarılabilir.

Katalitik olmayan bu sistemin avantajları, katalizör ve özel reaktörlere ihtiyaç duyulmaması, indirgemenin yüksek sıcaklıklarda olmasından ön ısıtmaya gerek duyulmaması, katalizör için yer gerekmemesidir.

Katalizörsüz bu sistemin proses reaksiyonları şu şekilde oluşmaktadır;



Ayrıca katalizörlü sistemde oluşan SO<sub>2</sub>' in SO<sub>3</sub>' e oksidasyonu gibi istenmeyen reaksiyonlar ( 5.31, 5.32, 5.33 ), katalizörsüz sistemde de oluşabilmektedir. Bunlara ek olarak, aşağıdaki reaksiyonlar katalizörsüz sistemin performansını önemli derecede etkilemektedir.



Birçok kazanda yapılan uygulamalar sonucunda NO<sub>x</sub> emisyonlarının yaklaşık olarak % 95 NO ve % 5 NO<sub>2</sub> oranlarında olduğu saptanmıştır. Katalizörsüz sistemler baca gazından sadece NO emisyonlarını temizlemekte ve bu da sistemin toplam NO<sub>x</sub> indirgeme oranını, NO emisyonlarının tutulmasının yüksek ve NO<sub>2</sub> tutulmasının olmamasından dolayı sınırlandırmaktadır. [ Black & Veatch, 1996 ]

Katalizörsüz seçmeli indirgeme sistemine yaklaşık 1100°C civarında yüksek sıcaklıklarda reaktifin enjekte edilmesi  $\text{NO}_x$  emisyonlarının yükselmesine neden olmaktadır ( 5.35 ). Bu sistemde amonyağın yaklaşık 800°C' tan daha yüksek sıcaklıklarda enjekte edilmesi,  $\text{NO}_x$  emisyonlarının indirgenmesiyle karşılaştırılmayacak bir reaktif ayrışımı ile sonuçlanmaktadır ( 5.36 ). Bu nedenle  $\text{NO}_x$  indirgenmesi ve toplam reaksiyon stokiometrisi, reaktif enjeksiyon noktasında baca gazının sıcaklığına karşı çok hassastır.

Nitrik oksit (  $\text{N}_2\text{O}$  ), katalizörsüz bu sistemin yan ürünü olabilmektedir. Amonyagın  $\text{N}_2\text{O}$ ' e oksidasyonu ( reaksiyon 5.37 ) arzu edilmemektedir, çünkü bu reaksiyon ile reaktif harcanmakta ve önemli bir sera etkili gazın (  $\text{N}_2\text{O}$  ) emisyonu şeklinde sonuçlanmaktadır. [ Black & Veatch, 1996 ]

#### 5.1.1.2.2.2 Birleşik $\text{SO}_2/\text{NO}_x$ arıtma yöntemleri :

Fosil yakıt yakan santrallardan kaynaklanan  $\text{SO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  emisyonlarının sebep olduğu hava kirliliği ve asit yağmurlarının artmasıyla birlikte bu emisyonların azaltılması ile ilgili önlemler önem kazanmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte  $\text{SO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  arıtma yöntemlerinin kombine bir şekilde kullanılma ihtiyacı doğmuştur. Az yatırım maliyeti, az işletme ve bakım masrafları, küçük tesis alanı bu sistemin avantajlarındandır. Bu proses ile ilgili ticari boyutta uygulamalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu sistemlerden en çok kullanılanı Snox prosesidir.

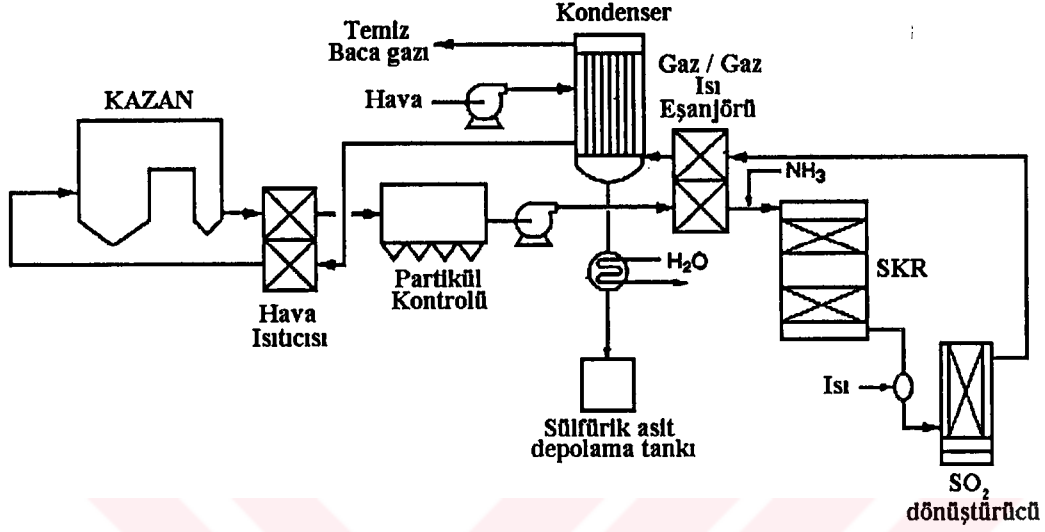
#### Snox prosesi :

Snox prosesi, baca gazından kükürt dioksit (  $\text{SO}_2$  ) ve azot oksitlerin (  $\text{NO}_x$  ) birlikte indirgendiği tamamen katalitik bir prosestir. Bu sistemde azot oksitler elementel azot (  $\text{N}_2$  ) ve sulu amonyağa ayrılmaktadır. Kükürt dioksit ise katalitik olarak kükürt trioksite dönüşmektedir. Kükürt trioksit ile baca gazından gelen su sülfürik asit (  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ) şeklinde kondenserde yoğunlaşır.

Snox teknolojisi beş anahtar proses alanından meydana gelmektedir. Partikül kontrolü,  $\text{NO}_x$  indirgeme,  $\text{SO}_2$  oksidasyonu, sülfürik asit (  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ) yoğunlaşımı ve ısının geri

kazanımı Snox prosesinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Şekil 5.10' da bu prosesin her adımı gösterilmiştir.

Şekil 5.10 SNOX birleşik SO<sub>2</sub> / NO<sub>x</sub> arıtma prosesi



Kazan hava ön ısıtıcısından gelen baca gazı partikül kontrol ünitesinden geçirilip tozlarından arındırılmaktadır. Buradan sonra gaz sıcaklığının yaklaşık 370 °C' in üzerine çıkartıldığı bir gaz / gaz ısı eşanjörünün ilk bölümünden geçer. Isı eşanjöründen çıkan havaya seçmeli katalitik indirgeme bölümüne girmeden önce amonyak ve hava karışımı püskürtülmektedir. Burada azot oksitler katalizörün yardımı ve amonyak ile tepkimeye girerek azot ( N<sub>2</sub> ) ve su buharına ( H<sub>2</sub>O ) ayrılmaktadır.

Duman gazı azot oksitlerden temizlendikten sonraki kademedede SO<sub>2</sub> dönüştürücüye girer. Burada katalizör yardımı ile duman gazı içerisindeki kükürt dioksitler, kükürt trioksitlere oksitlenmektedir. Sadece SO<sub>3</sub> içeren duman gazı SO<sub>2</sub> dönüştürücüsünü terk ettikten sonra kazana gönderilen havayı ısıtan ısı eşanjörünün ikinci kısmından geçmektedir. İki kısımdan oluşan bu eşanjörün birinci kısmında duman gazı, sülfürik asitin yoğuşma sıcaklığının üzerinde kalır iken, ikinci kısımda ise duman gazı yoğuşma sıcaklığı altında kalmaktadır. Eşanjör çıkışında kondenserden geçen ve daha sonra soğutulan duman gazındaki subuharı ve kükürt trioksit tepkimeye girerek sülfürik asit oluşturmaktadır. Oluşan bu asit depolama tankında toplanır. Sıcaklığı yaklaşık 80 °C olan temizlenmiş duman gazı daha sonra bacaya gönderilir.

### 5.1.1.3 Partikül kontrolü :

Yanma sonrasında birçok fosil yakıtlar, doğal gaz veya sıvılaştırılmış petrol gazı hariç artık partikül üretmektedirler. Ana partikül öğeleri kül ve yanmamış karbondur. Kül, silis, alüminyum oksidi ve diğer yanmaz bileşiklerden meydana gelmektedir. Genellikle kül miktarı değişmekte ve bazen ağırlıkça % 50' yi aşmaktadır. Bu partiküller kazanı taban külü, ekonomizer külü veya uçucu kül olarak terkederler. Taban külü kazanın tabanına dökülür ve periyodik olarak temizlenir. Ekonomizer külü genellikle büyük partikül ölçüsüne sahiptir ve baca gazından ayrılırlar. Bu kül ekonomizer bölgesinde tutulması için kül depolama tankına dökülür. Uçucu kül ise nispeten küçüktür ve baca gazı ile birlikte kazanı terk eder. Tablo 5.4' de değişik kazan tipleri için tipik kül dağılımları listelenmiştir. [ Black & Veatch, 1996 ]

**Tablo 5.4 Değişik Kazan Tipleri için Tipik Kül Dağılımları**

Kazan Tipi	Taban Külü ( % )	Uçucu Kül ( % )	Ekonomizer Külü ( % )
Toz Kömür	10 - 30	70 - 90	0 - 10
Mekanik Izgaralı	60 - 80	20 - 40	0 - 5
Siklon - Ateşleme	50 - 80	15 - 50	0 - 10
Dolaşımli Akışkan Yatak	5 - 90	10 - 95	0 - 15

Kül parçacıkları; yakıt tane büyüklüğünün; kazan sıcaklıklarının; kül ergime ve deformasyon sıcaklıklarının; kül tane boyutlarının, yoğunluklarının, şekillerinin; ve kazan baca gazı hızlarının bir fonksiyonudur. Mekanik ızgaralı üniteler büyük partikülleri üretmektedirler. Toz kömürlü kazanlar küçük, yuvarlak biçimli partiküller üretmektedirler. Siklon –Ateşlemeli ünitelerde de toz kömürü yakıtlı kazanlarda olduğu gibi daha küçük ve yuvarlak biçimli partiküller üretilmektedir. Akışkan yatak üniteleri asimetric, küresel olmayan ve daha çok kristaller şeklinde partikülleri üretmektedir. [ Stultz ve Kitto 1992 ]

Uygun bir partikül kontrol teknolojisinin dizaynı ve seçiminde kazan tipi, yakıt karakteristikleri, uçucu kül mineral analizleri sonuçları, partikül yüklemesi ve partikül ölçüsü bilgileri temeli oluşturmaktadır. Torba toz filtreler, Elektrostatik filtreler, Siklonlar

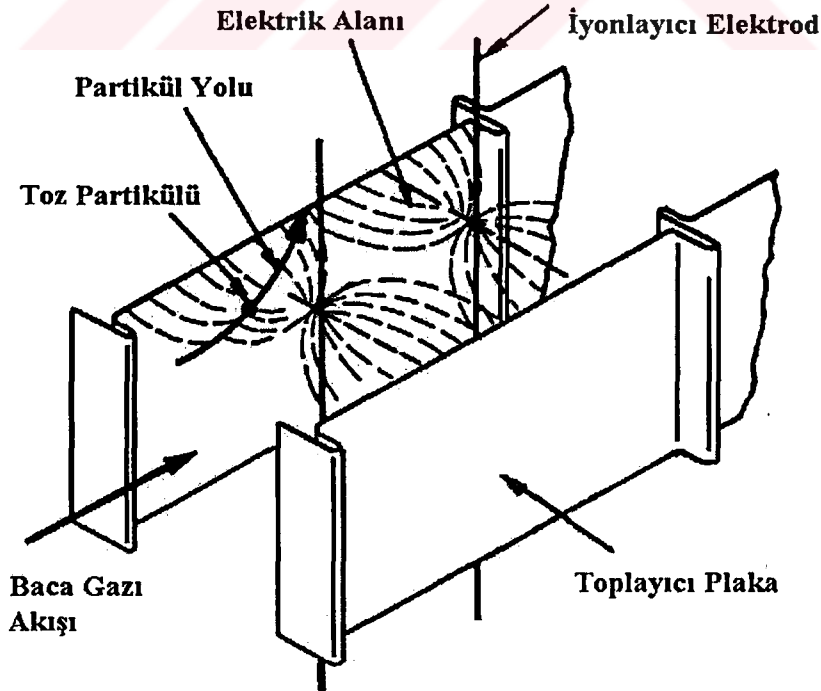
ve Toz çökeltme odaları en yaygın seçimlerdir. Son seçim genellikle ekonomiye, yakıt dizaynı uygunluğuna çalışma koşullarına dayanmaktadır.

#### 5.1.1.3.1 Elektrostatik Filtreler :

Toz kömür yakan kazandan taşınan külün yaklaşık olarak % 80' i uçucu küldür ve bu külün % 50 kadarı da 10 mikrondan daha küçük ölçektir. Bu da uçucu külün tutulması için elektrostatik filtrelerin kullanılmasını gerektirmektedir .

Şekil 5.11' den de görüldüğü gibi elektrostatik filtrede, tozlu baca gazı iyonlayıcı elektrod sıraları ve topraklanmış toplayıcı levhalar arasında düzgün dağıtılır. Elektrodlara yüksek voltaj dc doğru akım uygulanması sonucunda toz taneleri iyonlanır ve topraklanmış toplayıcı levhaya doğru çekilir. Bu toplanan partiküller, titreşimlerin olduğu ve toplanan tozun konik depolama tankına dökülmesine sağlandığı bir darbeli sistem, kül boşaltma sistemi vasıtasıyla levhalardan periyodik olarak temizlenir. [ Black & Veatch, 1996 ]

Şekil 5.11 Baca gazının iyonlayıcı elektrodlar ve toplayıcı levhalar arasındaki dağılımı

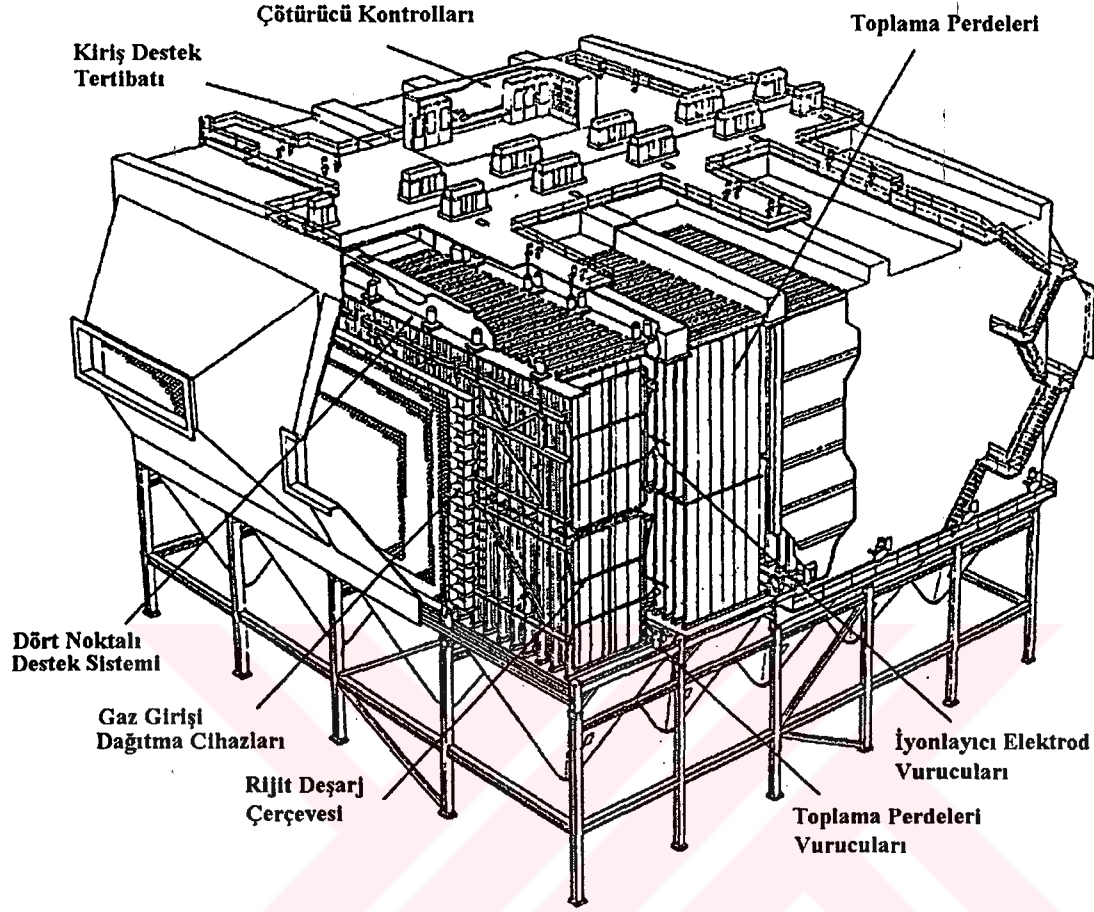


Yüksek voltajın otomatik kontrolü ile maksimum verim elde edilir. İyonlayıcı elektrodlar ile toplayıcı levhalar arasında haddinden fazla kıvılcım olmadan voltaj, maksimum değerde tutulur. Bu toplayıcı levhalar doğru olarak ölçülendirilip ve çalıştırıldığı zaman baca gazından % 99.9 oranında uçucu kül ayrılabilir. Bununla beraber, ESF' nin ölçüleri külün öz direnci adıyla bilinen bir karaktere dayanmaktadır. Öz direnç, külün veya partikülün elektrik yükünü ne kadar kolay elde etmesinin bir ölçüsüdür. Öz direnç için tipik değerler  $1 \times 10^8$  ohm-cm ile  $1 \times 10^{14}$  ohm-cm arasında değişmektedir. Yüksek öz dirençli partikülün elektrik yükünü kolaylıkla kabul edemediğinden dolayı onu ayırmak zordur. Yüksek öz dirençli partiküller düşük öz dirençliye göre daha büyük elektrosatetik filtreyi gerektirir. Etkili sürüklenme hızı  $V_p$  ; yüksek öz dirençler için düşüktür. Elektrostatik filtre için ideal öz direnç aralığı  $5 \times 10^9$  ile  $5 \times 10^{10}$  ohm-cm arasındadır. [ Black & Veatch, 1996 ]

Yüksek kükürt ihtiva eden kömürün yanmasıyla oluşan uçucu kül düşük öz dirence sahiptir ve de kolaylıkla toplanabilir. Bu yüzden filtrenin uygun ölçülendirilmesi, santralin ömrü boyunca kullanacağı değişik tipteki kömürlerin özelliklerinin bilinmesine dayanmaktadır. Aksi takdirde yüksek kükürtlü kömür için dizayn edilecek olursa elektrostatik filtre çok küçük gelebilir ve gelecekte düşük kükürtlü kömür kullanılmalıdır.

Elektrostatik filtrenin başlıca birtakım ana öğeleri bulunmaktadır. Bu öğeleri şöyle sıralayabiliriz; iyonlayıcı elektrodlar ve toplayıcı elektrodlar, gaz akış dağılımı cihazları, elektrik güç kaynağı ve kontrolleri, yüksek voltaj dc kaynağı, dağıtım ve yalıtkanlar, darbeli temizleme sistemleri ve kontrolleri, dış muhafaza ve yapısal iskelet, partiküllerin toplatılması ve boşaltılması için kullanılan konik depolama tankıdır. Elektrostatik filtrenin şeması Şekil 5.12' de verilmiştir. [ Black & Veatch, 1996 ]

Şekil 5.12 Elektrostatik filtre ( Babcock & Wilcox )



Elektrostatik filtrelerin avantaj ve dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz : Yüksek toplama verimi, 0.1 mikron ölçüsündeki partiküllerin tutulabilmesi, düşük bakım ve işletme maliyetleri, büyük miktarda yüksek sıcaklıktaki gazın yeterli işlenebilmesi, işleme zamanının ihmal edilecek kadar kısa olması ( 0.1 ile 10 saniye ), temizlenmesinin kolay olması, katı; sıvı ve korosif kimyasal kullanım için bir sınırlamanın olmaması elektrostatik filtrenin avantajlarıdır.

Başlangıç maliyetinin yüksek olması, büyük boyutlardaki ekipmandan dolayı geniş yer gerektirmesi, yanıcı gazların veya partiküllerin toplanması sırasında patlama tehlikesinin bulunması ve çalıştırılması için iyi eğitilmiş personel gerektirmesi, operasyon sırasında güvenliğin sağlanması için tedbir alınması ( ör : düzgün gaz akışının dağılımı,

gaz özdirenci, partikül iletkenliği vs. ), gazların elektrostastik filtreler tarafından ayrılmaması gibi sebepler de elektrostastik filtrelerin dezavantajlarındandır.

Yapılan çalışmalar sonucunda elektrostastik filtrenin verimini şöyle belirtebiliriz ;

$$\eta = 1 - \exp \frac{(-V_p A c)}{Q}$$

Burada, Q : gaz akış miktarı ( m<sup>3</sup> / s ) = ( π D<sup>2</sup> / 4 ) x Vg ( silindirik elektrostastik filtreler için ); HS x Vg ( paralel levhalı elektrostastik filtreler için ), Vg : gaz giriş hızı ( 1 ile 3 m / s arası ), D : silindir çapı ( 0.1 ile 0.5 m arası ), S : toplayıcı elektrodun yüksekliği ( 2 ile 6 m arası ), Ac : toplayıcı elektrodun alanı ( m<sup>2</sup> ) [ 2HL ( paralel levhalı elektrostastik filtreler için ), πDL ( silindirik elektrostastik filtreler için ) ], L : toplayıcı elktrodun boyu (m), Vp : partikül sürüklenme hızı ( 0.05 ile 0.2 m / s arası ) [ Nevers,N., 1995 ]

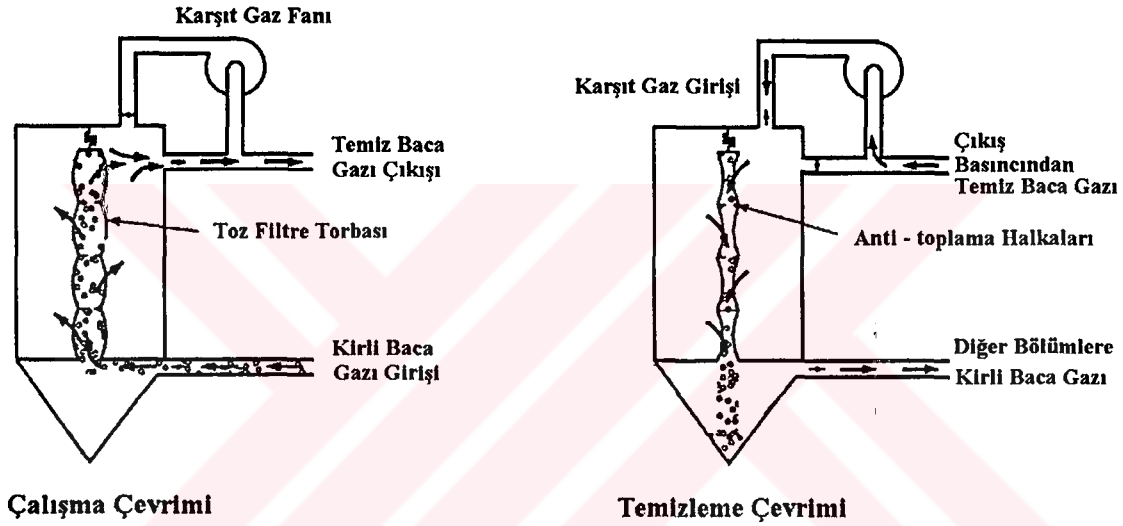
#### 5.1.1.3.2 Torba Toz Filtreleri :

Torba toz filtreleri temizleme metodlarına göre sınıflandırılırlar. Torba toz filtreler a- Karşıt-gazlı, b- Puls- jetli olarak iki çeşittir. Torba toz filtreleri baca gazından yaklaşık % 99.9 oranında uçucu külü uzaklaştırmaktadır ve bu tür filtreler düşük kükürtlü kömürlerden kaynaklanan küllerin sahip olduğu yüksek dirençten dolayı çoğu hallerde elektrostastik filtrelere göre tercih edilirler. Tabi ki uygulama için uygun malzemenin belirlenmesinde herbir toplayıcı cihazın dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmeler bakım maliyetleri, çekim kaybı, güç harcamaları, torba değiştirme vb. gibi alanları içermektedir. [ Black & Veatch, 1996 ]

Bu filtrelerin elektrostastik filtrelere göre olan başlıca avantajı, kömürün içerdiği kükürt miktarı ( özdirenç ) toplama verimini etkilememesidir.

Karşıt - gaz torba toz filtrede, kazandan gelen kirli baca gazı sisteme yatay olarak torba bölümünün altından kül depolama konisinin üzerinden girer. Partikül ile yüklü olan baca gazı alttan yukarı doğru hareket eder ve torbadan geçer. Bu geçiş esnasında partiküller torbanın iç yüzeyinde tortulanır ve filtre çamuru oluşur. Karşıt - gaz torba toz filtreler tipik olarak sırasıyla yaklaşık olarak 20 - 25 cm çapında ve de 7 - 11 m boyundadırlar. Karşıt - gaz torba toz filtrenin çalışma şeması Şekil 5.13' de verilmiştir. [ Black & Veatch, 1996 ]

Şekil 5.13 Karşıt - Gaz Torba Toz Filtrenin Çalışma Şeması



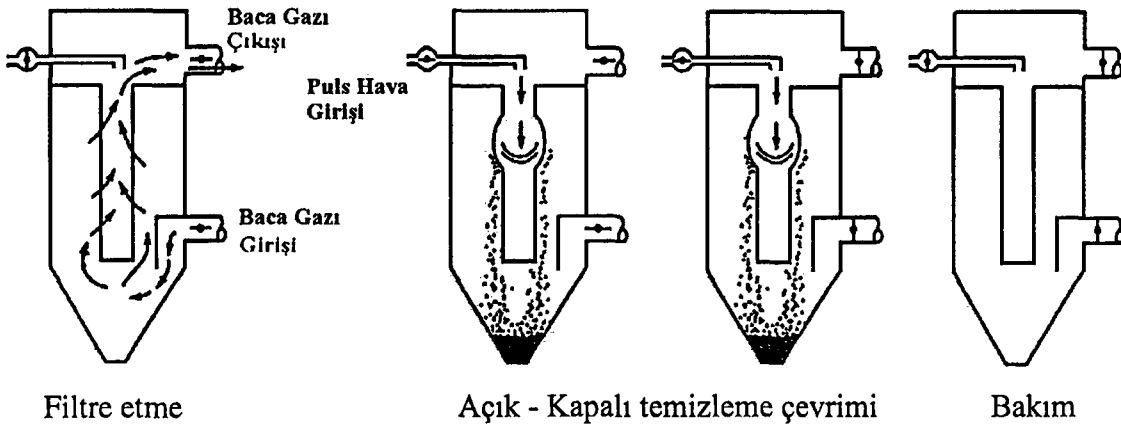
Temizleme çevrimi sırasında karşıt gaz fanları ve kanalları, temiz baca gazının bir kısmını çıkış manifoldundan filtre bölmesine geri döndürür. Baca gazının doğrultusunun geçici olarak tersine döndürülmesiyle, filtre çamurunun çözülmesi için torba esnetilir ve filtre malzemesinden toz çamuru hafifçe üflenir. Toz çamurunun ayrılması için daha sonra konik depolama tankına dökülür. Karşıt - gaz temizlenmiş olarak filtre bölümünden çıkar ve kirli gaz giriş borusuna ( emme manifoldu ) doğru akar. Anti - kıvrılma halkaları, karşıt gazdan torbanın katlanmasını ve partiküllerin geri kaçmasını engellemek amacıyla torbanın içine dikilir. [ Black & Veatch, 1996 ]

Temizleme, temizleme bölümünün çevrim dışı olduğu zaman olur. Karşıt gaz temizleme sistemi her defasında bir filtre bölümünü temizlemesine göre tipik olarak

sınıflandırılır. Temizleme prosesinin temizleme oranını arttırmak için torbaların doğru gerilmesi gerekmektedir. Bu da yaylar ve eksantrik ağırlıklar vasıtasıyla başarılır. Burada çok fazla torba gerilimi, torbanın temizlenmesini ve ömrünü etkilemektedir. Çok küçük gerilmelerde ise, temizleme sırasında kıvrılmanın sebep olduğu, ömrünün kısalması ve temizleme etkisizliği oluşur.

Puls - jet torba toz filtrede ise, baca gazı filtrenin konik depolama bölümünden girer ve torbanın dış kısmından içine doğru partiküllerin dış kısmında biriktirilecek şekilde geçer. Bu proses Şekil 5.14' de gösterilmiştir. Burada torbanın iç kısmına bir metal kafes monte edilmiştir. Baca gazı daha sonra torbanın ortasından yukarı doğru geçer ve çıkış bölümüne girer. Puls - jet torba toz filtre için yatay boru şeklindeki plaka, filtre bölümünün üzerine yerleştirilmiştir. Torbalar ve kafesler boru şeklindeki bu plakadan asılırlar. Burada temizleme işlemi, torbanın tepesinden içine doğru havanın aşağıya üflenerek torbanın şişirilmesiyle yerine getirilmektedir. Bu şişirme, torbanın boyu doğrultusunda bir dalga etkisi oluşturur. Bu dalga hareketi, toz çamurunun ( kek ) gevşemesine ve yüzeyinden konik depolama bölümüne serbest bırakılmasına sebep olur. Bu temizleme işlemi temizleme bölümünün işlemde veya işlem dışı olduğu zamanlarda yapılabilir. Bu sistemin iki ana avantajını şöyle sıralayabiliriz. Bunlar ; hareket eden parçalarının bulunmaması ve sürekli temizliğin olabilmesidir. [ Black & Veatch, 1996 ]

**Şekil 5.14 Puls - Jet Torba Toz Filtrenin Çalışma Şeması**



Torba filtrelerin avantaj ve dezavantajlarını sırasıyla şu şekilde sıralayabiliriz. Bütün partikül ölçüleri için özellikle 10 mikrondan daha küçük partiküller için yüksek

toplama verimine sahip olması, basit konstrüksiyon ( montaj ) ve işletimi, nominal güç sarfiyatı, toplanan atıkların kuru olarak boşaltımı torba filtrelerin avantajlarındandır. İşletme limitlerinin yüksek nemliliğe ve yüksek taşıyıcı gaz sıcaklığına göre düzenlenmesi, büyük boyutlardaki malzemeler, yüksek bakım ve torba değiştirme masrafları ( sızıntı yapan torbaların değiştirilmesi ), tozların tutulmasında karşılaşılan torbanın tıkanması, aşınması veya sürtünmeden aşınma problemleri de torba filtrelerin dezavantajlarındandır. [ Black & Veatch, 1996 ]

#### 5.1.1.3.3 Toz Çökeltme Odaları :

Yerçekimsel toz çökeltme odaları belki de bütün hava kirliliği kontrol cihazları arasındaki en basit ve doğal olanıdır. Çoğu çalışmada çökeltme odalarına yönelmesinin sebebi de bu sistemin basitliğinden doğmaktadır.

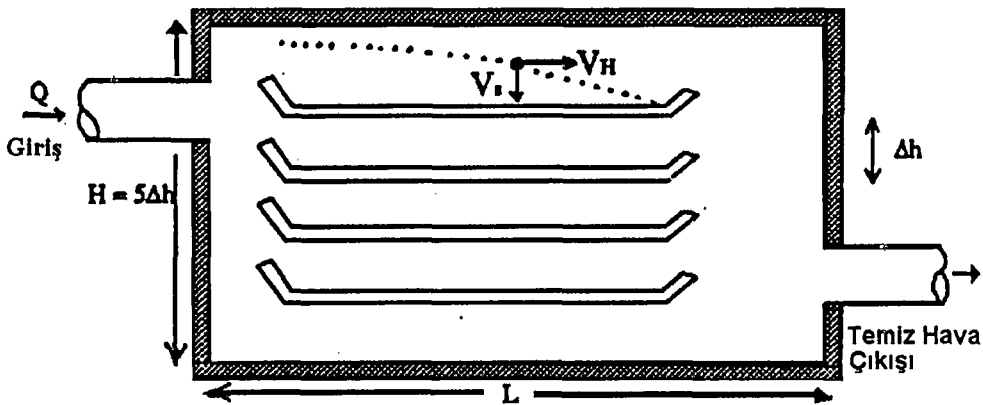
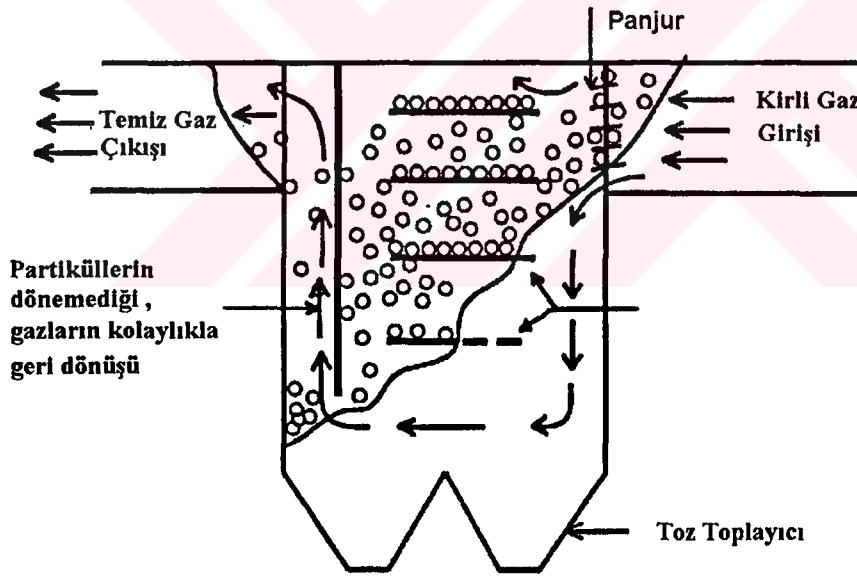
Toz çökeltme odaları basitçe kirli gazın yavaşça geçtiği ve partiküllerin tabanda yerçekimiyle çöktilmesi için gerekli zamanın sağlandığı uzun odalardır. Bu sistem hemen hemen inşa edilen, çalıştırılması ve bakımı en ucuz olan bir eleme cihazıdır. Toz çökeltme odaları ağırlıkça büyük partiküllerin çok olduğu ve bununda diğer kontrol cihazlarında tıkanma, çalışmanın zayıflaması veya sık temizlemenin gerektirdiği bu ağır partiküller pek çoğu dağıtılarak tutulur.

Çökeltme odalarında partiküllerin tutulmasında çökeltme hızının  $0.12 \text{ m / s'}$  den büyük olduğunda yerçekimi kuvveti kullanılabilir. Gaz akımının  $0.3 \text{ m / s'}$  den daha küçük seviyede üniform şekilde tutulduğu zaman en iyi çalışma sonuçları elde edilmesine rağmen yerçekimsel toz çökeltme odaları genellikle  $0.5$  ve  $2.5 \text{ m / s}$  hızları arasında çalıştırılırlar. Bazı çökeltme odaları genişletilmiş kanallara ve bazıları ise  $2.5 \text{ cm}$  aralıklarla konulan raflar ve bölmelere sahiptirler. Yatay raflar, partiküllerin çökeltme yolunu kısaltmakta ve bu suretle gaz hızının oda içinde sabit kalmasından itibaren cihazın tutma verimide gelişmektedir ve hatta her partikülün tablalar arasında koridorun tabanına ulaşmadan düşmesi için daha kısa mesafeye sahiptirler. Ayrıca odanın toplama verimi akımın tipine de bağlıdır. Dizayn faktörleri arasında akımın laminar veya türbülanslı olacağı göz önünde durulmalıdır. [ Krishna M.,1995 ]

Buradaki dizayn kriterlerini şu şekilde açılabiliriz mümkün olur. Genel olarak çökeltme odalarının tasarımı laminar akışa dayandırıldığında ya büyük boya ya da aşırı sayıda tablarla komplike şekilli odaya gerek duyulur. Laminar akışlı oda, belirtilen ölçülerdeki partiküller için mükemmel toplama verimini teorik olarak verme avantajına sahiptir. Fakat, küçük partiküllerle birlikte verimin hızla azalmasıyla bu sistem küçük pratik değere sahiptir. Bu şekilde bir toz çökeltme odası kullanılarak oldukça iyi verimle çok küçük partiküllerin tutulması hemen hemen imkansızdır.

Toz çökeltme odalarında en pratik akış şekli muhtemelen laminar akışa göre türbülanslı akış olacaktır. Türbülans akışlı odaların ne kadar büyük olması belki önemli olmamasına rağmen, bu odalar daha fazla pratik dizayn kavramını sunmaktadırlar. Teorik olarak bu oda, belirtilen ölçüdeki bütün partikülleri kesinlikle toplayamaz. Toz çökeltme odası ile ilgili resimler Şekil 5.15’ de verilmiştir. [ Krishna M.,1995 ]

Şekil 5.15 Toz Çökeltme Odaları



Çökeltme odasındaki akışın türünün belirlenmesi için araştırmalar yapılmış ve buradan laminar akış için şartlar  $Re < 2300$  şeklinde bulunmuştur. Burada  $Re$ ; Reynolds sayısıdır.  $Re = \frac{\rho V D_h}{\mu}$  ;  $V$  = oda içi akış hızı;  $D_h$  = Hidrolik çap;  $\rho$  = yoğunluk;

$\mu$  = Mutlak viskozitedir. [ McGraw-Hill, 1995 ]

$$\text{Bu çalışma sonucunda laminar akış için verim ; } \eta = 1 - \exp - \left( \frac{LgD^2 \rho_{\text{part}}}{HV_{\text{avg}} 18\mu} \right)$$

bulunmuştur. Burada  $L$  ve  $H$  değerleri çökeltme odasının kenar ölçüleri,  $V_{\text{avg}}$  ise oda içindeki gazın yatay hızına eşittir.

Türbülanslı akışın verimi ise  $\eta = 1 - \exp ( - \eta_{\text{lam}} )$  olarak belirlenmiştir. Bu yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler Tablo 5.5' te verilmiştir. [ Nevers, N., 1995 ]

**Tablo 5.5 Partikül Çaplarına Göre Verim Değerleri**

Partikül Çapı ( $\mu$ )	$\eta_{\text{lam}}$	$\eta_{\text{türb}}$
1	0,000303	0,000303
10	0,0303	0,0298
30	0,273	0,239
50	0,76	0,53
57,45	1,00	0,63
80	-	0,86
100	-	0,95
120	-	0,99

Küçük partiküller için hesaplanan toplama verimleri küçüktür, türbülanslı ve laminar akışlı modeller aynı cevabı verirler. Daha büyük parçalar için toplama verimleri büyür ve de iki model de farklı sonuçlar verir. Laminar akışlı model 57.45  $\mu$  çapındaki partiküller için % 100 verime ulaşır. Bu değere ise türbülanslı akışta 100  $\mu$  çapındaki partiküllerde ulaşmaktadır. [ Nevers, N., 1995 ]

#### 5.1.1.3.4 Siklonlar :

Bu tip ayırıcılar santrifüj veya atalet ayırıcılar olarak sınıflandırılırlar. Bu sistemde gaz akımından partikülleri ayırmak için yer çekimi yerine santrifüj kuvveti kullanılmaktadır. Çünkü üretilen santrifüj kuvveti çoğu kez yer çekimi kuvvetinden daha büyüktür ve santrifüj ayırıcılardan ayrılan partiküller yerçekimsel toz çökeltme odalarında tutulan partiküllerden çok daha küçüktür. Karşıt akışlı siklon Şekil 5.16' da gösterilmektedir. Bu ayırıcı, dikey silindirik gövde, konik bir taban da toz çıkışı, bir toz deposu ve tozlu gazın teğetsel olarak girdiği bir girişten oluşmaktadır. Santrifüjleme gazı vasıtasıyla üretilen santrifüj kuvvetinin etkisi altında katı partiküller gaz spirallerinin koninin içinden yukarı gittiği gibi siklonun duvarlarına fırlatılırlar. Partiküller birleşirler ve daha büyük aglomerleri oluşturur, koninin duvarlarından kayar ve toz depolama bölümüne gelirler. Siklonun çalışma veya ayırma verimi, partiküllere uygulanan santrifüj kuvvetinin büyüklüğüne dayanmaktadır. Daha büyük santrifüj kuvveti, daha fazla ayırma verimini sağlar. Üretilen santrifüj kuvvetinin büyüklüğü partikülün ağırlığına, siklondaki gaz hızına ve siklon çapına dayanmaktadır. [ Krishna M.,1995 ]

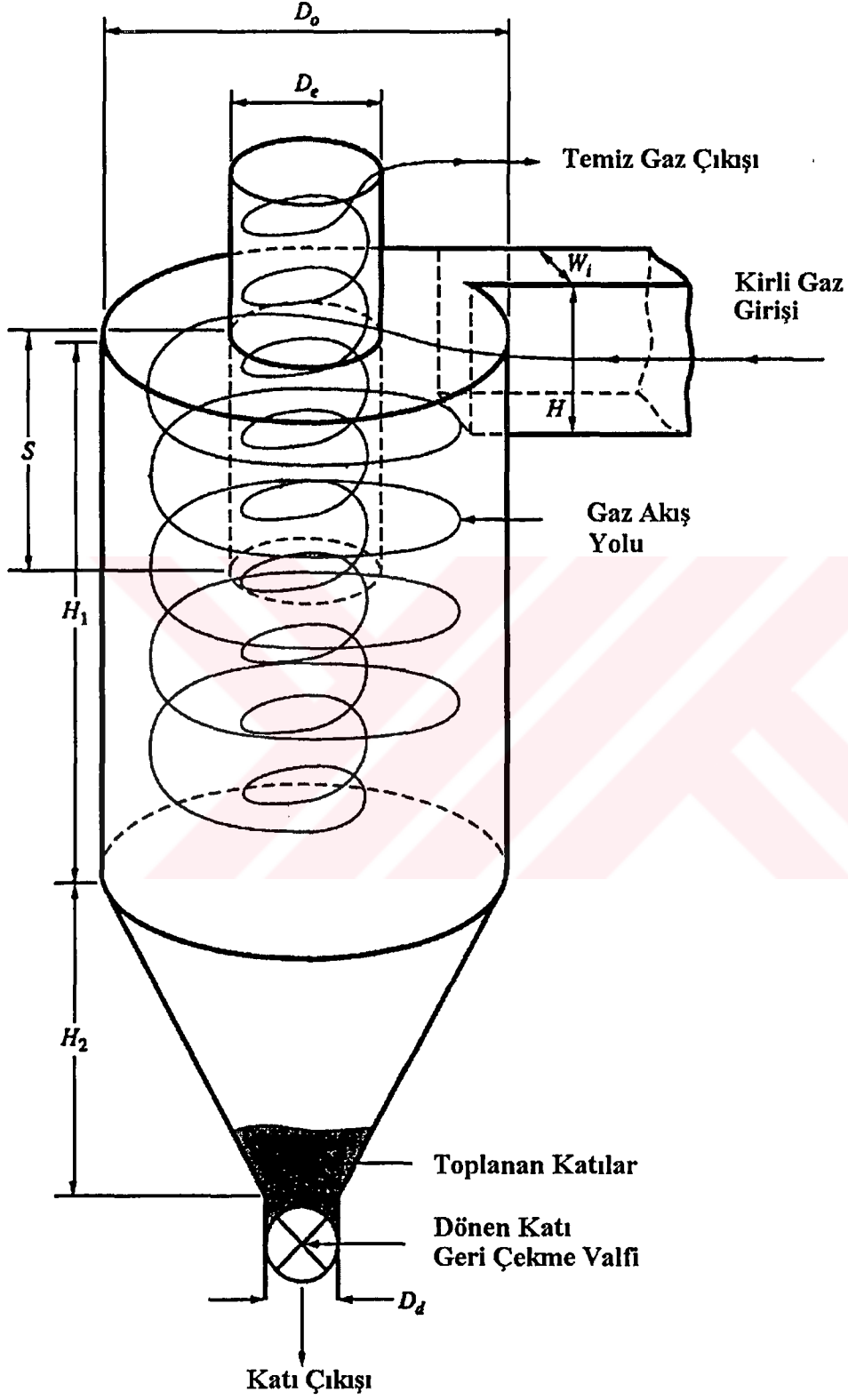
Dizayn kriterlerinden biride kesme boyudur. Kesme boyu  $D_{cut}$ , partiküllerin % 50 verimle tutulduğu boydur. Kesme boyundan daha büyük partiküller % 50 tutma veriminden daha büyük verime sahip olacaklardır.

Burada yapılan çalışmalar sonucunda şu sonuca ulaşılmıştır.

$$D_{cut} = \left( \frac{9 W_i \mu}{2 \pi N V_c \rho_{part}} \right)^{1/2} ; \text{ burada } \mu = \text{gaz viskozitesi ( kg / m.s )}, W_i = \text{siklon giriş eni}$$

( m ),  $N = \text{gazın siklon içerisinde toplam alanını terk etmeden önce yapmış olduğu tur sayısı ( çoğunlukla 5 civarı )}$  [ Krishna M.,1995 ]

Şekil 5.16 Karşıt Akışlı Siklon



Birçok tipte ticari siklonlar geliştirilmektedir. Siklonlar konvansiyonel ve yüksek verimli olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Yüksek verimli siklonlar sadece daha büyük ayırma kuvveti üretmek için küçük gövde çapına sahiptir. Siklonların verim aralıkları tablo 5.6' da verilmiştir.

**Tablo 5.6** Siklonların Verim Aralıkları

Partikül büyüklükleri ( $\mu$ )	Verim aralığı %	
	konvansiyonel	yüksek verim.
5' ten küçük	50<	50 - 80
5 - 20	50 - 80	80 - 95
15 - 40	80 - 95	95 - 99
40 ve yukarısı	95 - 99	95 - 99

Siklonlarda yapılan araştırmalar sonucunda verim ifadesi şöyle elde edilmiştir.

$$\eta = 1 - \exp - \left( \frac{\pi N V_c D^2 \rho_{part}}{9 W_i \mu} \right)$$

Genel olarak toz partiküllerinin büyüklüğü veya yoğunluğu, gaz giriş hızı, siklon gövdesi veya koni uzunluğu ve gövde çapının gaz çıkış çapına oranı arttığı zaman verim artmaktadır. Ayrıca gazın viskozitesi, siklon çapı, gaz çıkış çapı ve çıkış hızıyla da azalmaktadır. Bununla beraber, türbülansın toplama verimini düşürdüğü ve basınç düşüşüne sebep olduğu giriş basıncının üzerindeki değerlerde bir limit bulunmaktadır. [ Nevers, N., 1995 ]

### 5.1.2 Sera etkisine neden olan gazlar ve dünya üzerindeki etkileri :

Enerji, sanayi, konut, tarım ve ulaşım gibi birçok sektörden özellikle enerji üretim ve tüketimde fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanan sera gazı emisyonları küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Son 30 - 40 yıldaki gözlemler sonucunda bu sera gazlarının konsantrasyonları artmakta olduğu anlaşılmıştır.

Dünya iklimi, doğal olarak ve çeşitli faktörlerin etkisi altında yıldan yıla değişim göstermektedir. Ancak, hiçbir faktör tek başına ve diğerlerinden daha üstün bir etkiye sahip değildir. İklim değişikliğine etki eden faktörler genel anlamda iki grupta toplanabilir. Bunlar ; i - Doğal Faktörler : Volkanik tozlar, toz fırtınaları, orman yangınları, ii - İnsan Kaynaklı Faktörler : Endüstriyel aktiviteler, fosil yakıtların kullanımı, katı atıkların yakılması, toprak kullanımının değişmesidir. Doğal faktörler insan kaynaklı faktörlere oranla çok daha fazla miktarlarda atmosfere verilmelerine rağmen, atmosferin yağış, absorpsiyon ve oksidasyon gibi doğal arıtma mekanizmaları sonucunda atmosferdeki ortalama konsantrasyonları düşer. İnsan kaynaklı kirlетici faktörler ise lokal kirliliğe neden olurlar. [ Turalhoğlu S., Tokgöz S., 1994 ]

Güneşin görülebilir dalga boyundaki ışınları dünyaya ulaştıklarında, bu ışınlardan bazısı atmosfer, bulutlar ve karalar tarafından, geriye kalanı da yüzey tarafından absorbe edilir. Sonuçta atmosfer ısınır. Kızılötesi ışınlar, atmosferdeki bazı gazlar tarafından absorbe edilir. Bu gazlar atmosferde engelleyici bir görev yaparak, kızılötesi ışınların uzaya kaçışlarını önlerler. Dolayısıyla bu gazlar, dünya yüzeyinin ısınmasına neden olur. Bu gazlara " Sera Gazları " adı verilir. Atmosferdeki en önemli sera gazı subuharıdır. İnsan aktivitesi sonucu ortaya çıkan en önemli sera gazları ise CO<sub>2</sub> , CH<sub>4</sub> , N<sub>2</sub>O, Kloroflorokarbonlar ( CFCs ) ve O<sub>3</sub> ' dur. CFCs ' ların dışındaki gazlar aynı zamanda doğal olarak da meydana gelebilir.

Dünyadaki sera gazlarının yaklaşık olarak % 57' si enerji kaynaklıdır. Enerji üretimi ile ilgili olarak insan aktivitelerinde fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanan sera gazlarının içinde en önemlisi karbon dioksit ( CO<sub>2</sub> ) gazıdır ve küresel ısınmada yaklaşık % 75' lik bir sorumluluk payına sahiptir. [ Kökçam Z., Türkeş M., 1994 ]

## İnsan kaynaklı sera gazları :

### 5.1.2.1 Karbon dioksit ( CO<sub>2</sub> ) :

Karbon dioksit kısa dalga boyundaki güneş radyasyonunu geçirici, buna karşılık yeryüzünden gelen uzun dalga boyundaki kızılötesi ışınları absorbe ederek atmosfere geçişini engelleyici özelliğinden dolayı dünya iklimi üzerinde önemli bir etki gösterir. CO<sub>2</sub> doğal olarak atmosfer, okyanuslar ve dünyadaki diğer büyük karbon rezervleri arasında dönüşüm gösterir. Karbon dioksit sürekli olarak karbon moleküllerinin transferi ile havadan; fotosentez ile biyolojik maddelere ve direkt absorpsiyon ile suya hareket etmektedir. Havaya geçiş ise bitki ve canlı solunumları, yanma ve volkanik emisyonlar ile gerçekleşir.

Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların yakılması ile büyük miktarda atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyon miktarı kullanılan yakıtın karbon içeriğine bağlıdır. Doğal gaz kimyasal kompozisyonundan dolayı daha az CO<sub>2</sub> emisyonu verirken, kömür yaklaşık iki katı kadar daha fazla emisyonu neden olmaktadır. Tablo 5.7' de bazı yakıtların birim enerji başına karbon içerikleri ( emisyon faktörü ) verilmiştir. [ Kökçam Z., Türkeş M., 1994 ]

**Tablo 5.7 Bazı yakıtların birim enerji başına karbon içerikleri**

Yakıtın Cinsi	Karbon içeriği / birim enerji ( kgC / Gj )
Kömür	25,3 ( - / + ) % 2
Petrol	20,3 ( - / + ) % 1
Doğal gaz	13,7 ( - / + ) % 2

CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artışın dünya iklimi üzerindeki başlıca etkisinin ortalama sıcaklıkta 1 °C ile 5 °C arasında bir artışa neden olacağı tahmin edilmektedir. Sıcaklık artışı ise CO<sub>2</sub>' in sudan ayrılmasına ve sonuçta yeryüzünün daha fazla ısınmasına neden olacaktır. Sıcaklık artışının bir diğer etkisi ise, yeryüzüne yakın yerlerde ısınma, atmosferin üst tabakalarında soğuma sonucunda alçak ve yüksek basınç sistemlerini etkileyeceği ve bunun neticesinde de yeryüzünün bazı bölgelerinde kuraklık, bazı bölgelerinde aşırı yağış gibi olağan üstü hava olaylarını artıracığı tahmin edilmektedir. Yapılan tahminlere göre küresel ısınmaya paralel olarak deniz seviyesinde de 1 ile 4 m

arasında bir yükselme olacaktır. Bunun sonucunda, denizlere kıyısı olan yerlerde yerleşim ve tarım alanları sular altında kalacak, bu da büyük ekonomik ve sosyal sorunlar doğuracaktır. [ Bekdemir Ş., 1995 ]

#### 5.1.2.2 Metan ( CH<sub>4</sub> ) :

Karbon dioksitten sonra ikinci derecede sorumlu olan sera gazı metan ( CH<sub>4</sub> ) gazıdır. Ancak, sorumluluk payı CO<sub>2</sub>' e göre çok düşük seviyededir. Metan seviyeleri son zamanlarda artış göstermeye başlamıştır. Bu özellikle tarımsal uygulamalardaki değişimin, atık bertarafının ve maden üretiminin bir sonucudur. Metan ayrıca oksijensiz ortamda organik maddenin çürümesi ile doğal olarak üretilir.

Metan gazı bataklıklardan, hayvan ve bitki artıklarından oluşmasının yanısıra fosil yakıtlardan da kaynaklanır. Kömür çıkarma yöntemlerine, kömürün ne kadar derinde bulunduğuna, damarın kalitesine bağlı olarak kömür madenlerinden; petrol ve doğal gazın araştırılmasından, üretiminden, taşınmasından ve kaçaklardan metan gazı atmosfere salınmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda % 1' lik bir artış olduğu gözlenmiştir. İnsan kaynaklı emisyonların bu artışı önümüzdeki yüzyılda metan konsantrasyonunda artışa neden olacağı ileri sürülmektedir. [ Turalıoğlu S., Tokgöz S., 1994 ]

#### 5.1.2.3 Ozon ( O<sub>3</sub> ) :

Ozon tabakası görünebilir bölgede kısa dalga boyundaki ışınları geçirici ve yine kısa dalga boyunda ve çok yüksek enerjiye sahip morötesi ışınları absorblayıcı özelliğe sahiptir.

Aslında sera gazı olmayan CO, NO<sub>x</sub> ve bazı uçucu bileşikler atmosferdeki sera etkisi yapan ozon ( O<sub>3</sub> ) gazı konsantrasyonlarının artmasına neden olabildikleri için küresel ısınmaya dolaylı olarak katkıda bulunmaktadır.

Bir başka sera gazı olan N<sub>2</sub>O ise azotlu gübrelerin kullanılmasından, kimya sanayisinden ve diğer azot oksitler ile birlikte fosil yakıtların yanmasından kaynaklanmakta olup küresel ısınmaya katkısı çok daha azdır. Ayrıca kloroflorokarbonlar

yılda yaklaşık % 4-5 oranında artmakta ve kızılötesi ışınları absorbladıkları için güçlü bir sera gazı olarak etki göstermektedirler. Tablo 5.8' de enerji aktivitelerinden kaynaklanan sera gazlarının payları verilmiştir. [ Turalıoğlu S., Tokgöz S., 1994 ]

**Tablo 5.8 Enerji aktivitelerinden kaynaklanan sera gazlarının payları**

Sera Gazları	Enerji Aktivitelerindeki Pay ( % )
CO <sub>2</sub>	76
CH <sub>4</sub>	7
N <sub>2</sub> O	3
Diğer ( ozon oluşturan gazlar )	14

### **Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı ( UNCED ) ve İklim Değişikliği Çevre Anlaşması :**

Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorununa çözüm bulmak için, 3 - 14 Haziran 1992 tarihinde 'Rio de Janeiro' da " Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı " (UNCED) düzenlenmiş ve konferans sırasında " İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi " imzaya açılmıştır. Birçok ülke tarafından imzalanan anlaşma 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Sözleşmenin yükümlülükler maddesi gereğince taraflar ortak fakat farklı sorumluluklarını, ulusal ve bölgesel kalkınma önceliklerini, amaçlarını gözönünde bulundurarak iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmeye yönelik ulusal programlarını hazırlayacaklardır. İlgili sektörlerde sera gazı emisyonlarını azaltan ya da önleyen teknolojileri transfer edecekler ve uygulayacaklardır. Ayrıca teknolojik, bilimsel alanlarda araştırmaların, data arşivlerinin geliştirilmesinde ve eğitim konularında işbirliği yapacaklardır.

Sözleşme, sanayileşmelerini tamamlamış ve gelişmiş ülkelere daha fazla yükümlülük getirmektedir. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin ekonomik kalkınmalarını tamamlamak, gelişmişlik düzeylerini yükseltmek amacı ile bir süre daha yerli kaynaklarını

özellikle fosil yakıtları kullanmaya devam etmeleri gereği dikkate alınmaktadır. [ Kökçam Z., Türkeş M., 1994 ]

Bu gerçekler gözönünde tutularak gelişmiş ülkeler, genel yükümlülüklerle ilave olarak sera gazları emisyonlarını 1990 yılı seviyelerine indirecekler; yükümlülüklerini yerine getirmek için yeni ve ilave mali kaynaklar sağlayacaklar; gelişmekte olan ülkelere teknoloji transferinde yardımcı olacaklar ve mali yardım yapacaklardır

İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine yönelik yapılan çalışmalara ve hazırlıklara paralel olarak Türkiye ' de de ulusal çalışmaların yürütülmesi amacı ile " İklim Değişikliği Çalışma Grubu " kurulmuştur. Bu grubun çalışma konuları arasında iklim değişikliği ile ilgili senaryoların geliştirilmesi, CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazları envanterinin oluşturulması vardır.

Bu çalışmalar sonucunda, birçok sektörde fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanan ve sera gazları içinde en büyük katkıya sahip olan CO<sub>2</sub> emisyonları envanteri çıkarılmıştır. Karbon dioksit emisyonlarının hesaplanmasında, yakıt olarak kullanılan linyit, taşkömürü, doğal gaz, petrol vb. birincil enerji kaynaklarının ton eşdeğer petrol (TEP) bazında yıllık tüketimleri esas alınmıştır. Ayrıca, enerji kaynaklarının alt ısı değerleri, karbon içerikleri dikkate alınarak ve yakıt içindeki karbonun tamamen yandığı varsayımı ile her yakıt için CO<sub>2</sub> emisyon faktörleri hesaplanmıştır. Tablo 5.9' da hesaplanan CO<sub>2</sub> emisyon faktörleri verilmiştir.

**Tablo 5.9 Bazı yakıtların CO<sub>2</sub> emisyon faktörleri**

Yakıt	CO <sub>2</sub> Emisyon Faktörü Ton CO <sub>2</sub> / TEP
Linyit	4.617
Taşkömürü	4.106
Petrol	3.077
Doğal gaz	2.051

Kaynak bazında yıllık CO<sub>2</sub> emisyonunun hesaplanması şu şekilde formüle edilebilir;

$$\text{CO}_2 \text{ emisyonu ( Ton CO}_2 \text{ / yıl )} = \text{Enerji ( TEP )} \times \text{CO}_2 \text{ Emisyon Fak. ( Ton CO}_2 \text{ / TEP )}$$

1993 - 2010 arası kaynak bazında yıllık CO<sub>2</sub> emisyonu projeksiyonları şekil 5.17' de verilmiştir. Şekilde yer alan değerlere bakıldığında enerji talebimizin sürekli artış göstermesine bağlı olarak , CO<sub>2</sub> emisyonlarının da artacağı görülmektedir. 1992 yılında 153 milyon ton civarında olan CO<sub>2</sub> emisyonu 2010 yılına kadar üç kat artarak 450 milyon ton seviyesine ulaşacaktır. [ Kökçam Z., Türkeş M., 1994 ]

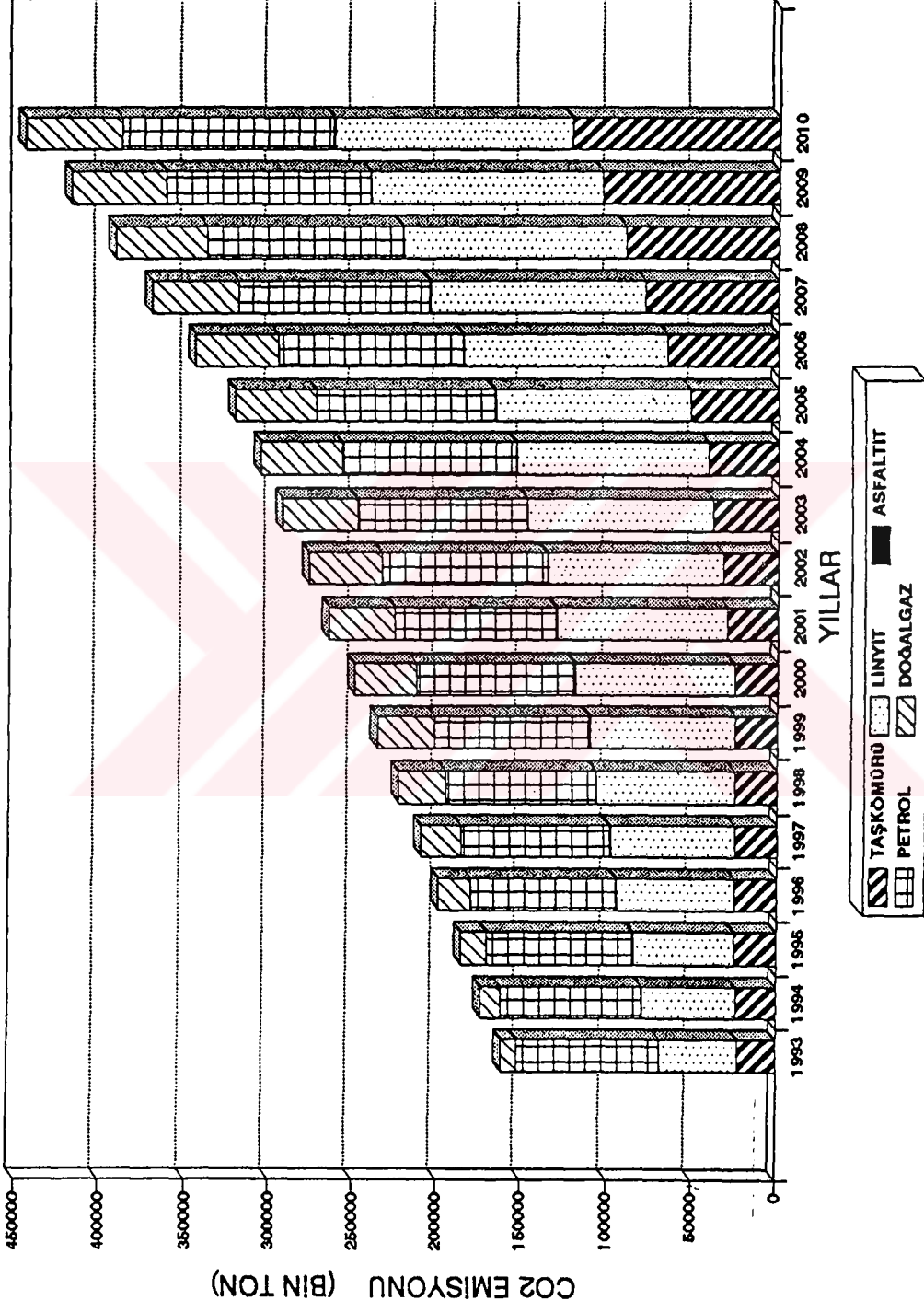
Ancak, Türkiye' nin yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonları gelişmiş ülkelerin değerleri ile karşılaştırıldığında henüz düşük seviyelerde kaldığı, 2010 yılına kadar artış eğilim gösterse bile çoğu ülkeye göre düşük değerlerde kalacağı anlaşılmaktadır.

Gelişmekte olan ülkelere bu sözleşme gereği daha az ve yumuşak yükümlülükler getirilmiş ve gelişmiş ülkeleri, söz konusu ülkelere mali ve teknolojik yardım yapmakla yükümlü kılmıştır.

Bu durum Türkiye açısından tamamen farklıdır. Sözleşmenin eklerinde Türkiye'nin gelişmiş ülke tarafları listesine alınması nedeni ile yükümlülüklerin yerine getirilemeyeceğinden kaygı duyulmuş ve sözleşme imzalanmamıştır.

Enerji politikamızda temiz, ekonomik, sürekli ve güvenilir enerji sağlanması ve mümkün olduğu kadar yerli kaynaklarımızın kullanılması ilke olarak benimsenmiştir. Bu prensipler doğrultusunda, ülkemizde linyit, taşkömürü vb. fosil yakıtların kullanılmasına ağırlık verilmektedir. Hızlı gelişme içinde olan ülkemizde enerji ihtiyacının artacağı ve buna bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinde artış görüleceği tahmin edilmektedir. Bununla birlikte ülkemizde daha az CO<sub>2</sub> emisyonu veren kaynaklara, yenilenebilir enerji kaynaklarına, daha verimli yakma teknolojilerine yönelmesi, araştırma ve geliştirme çalışmalarına yer verilmesi, enerji verimliliğinin ve tasarrufun artırılması için adımlar atılması uygun olacaktır.

ŞEKİL 5.17 KAYNAK BAZINDA YILLIK CO<sub>2</sub> EMİSYON MİKTARLARI



## 5.2 Nükleer santrallerin çevresel etkileri :

Nükleer santrallerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri sadece radyasyonlar ile olur ve normal çalışma koşullarında, çevre fon radyasyonuna oranla bu etkileri yok sayılacak kadar azdır.

Çevre üzerindeki etkiler uranyum çıkarma, yakıt hazırlama ve zenginleştirme, üretim, soğutma, kullanılan yakıtın yeniden işlenmesi, depolanması ve bertaraf edilmesi ile ekonomik ömrü biten santralin sökülmesi sırasında ortaya çıkar. [ Yılmaz Ö.,1989 ]

Nükleer santrallarda çevresel problemleri önlemenin temel prensibi, radyoaktif fisyon ürünlerinin sızmasını önlemektir. Kademeli bariyer sistemi ile risk azaltılmaya çalışılmıştır. Yakıt,  $UO_2$  geçirgenliği az ve erime noktası yüksek seramik formuna getirilip, korozyona dayanıklı malzeme ile kaplanır. Ayrıca, fisyon ürünlerinin tutulması için yakıt arası inert gazla doldurulmaktadır. Reaktörde kapalı soğutma ve filtreleme sistemi mevcuttur. Reaktör kalbi basınç zırhı ile kaplı olup sızıntı riski önlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca tüm ekipman ve kalp özel beton örtü ile kaplanmıştır. [ Gülay Y. ve Ark., 1990 ]

Nükleer santrallerin sebep olduğu en büyük sıkıntılardan biriside radyoaktif atık sorunudur. Bu atıkların saklanması ve yeniden işlenmesi için yeni çalışmalar yapılmaktadır.

### 5.2.1 Radyoaktif atıklar :

Nükleer çevriminin hemen hemen her aşamasında bir miktar radyoaktif atık üretilir. Bu atıkları üç ana başlık altında toplayabiliriz.

#### 5.2.1.1 Düşük seviyeli atıklar ( DSA ):

Düşük seviyeli atıklar sadece nükleer santrallarda değil, hastane ve sanayi kuruluşlarının bazı faaliyetlerinde de üretilir. Nükleer santrallarda ya da hastane ve sanayi kuruluşlarında kullanılan elbise, kağıt, araç-gereç, filtre vb. gibi düşük seviyeli ve kısa ömürlü radyoaktivite içeren malzemeler bu gruba girerler. Bu grup atıkların taşınması ve

depolanması sırasında özel önlemler almaya gerek yoktur ve yer kabuğunun yüzeyine yakın yerlerine gömülürler. [ Sarıkaya B., ve Kayrancı S., 1997 ]

#### **5.2.1.2 Orta seviyeli atıklar :**

Düşük seviyeli atıklardan daha fazla radyoaktivite içerirler. Depolanmaları ve taşınmaları sırasında özel önlemler alınması gerekir. Nükleer uygulamalarda kullanılan reçineler, kimyasal çözeltiler, metal yakıt zarfları, nükleer reaktörlerin kapanmasından sonra saklanması gereken kontamine parçalar vb. bu gruba girerler. Kısa ömürlü radyoaktif olan atıklar genellikle yakılır. Uzun ömürlüler ise jeolojik olarak uygun yerlere gömülürler.

#### **5.2.1.3. Yüksek seviyeli atıklar :**

Kullanılmış yakıtın kendisi ve yeniden işlenmesi sırasında açığa çıkan ve radyoaktif fisyon ürünlerini ve uzun ömürlü radyoaktivitesi olan ağır elementleri içeren sıvı atıklar bu gruba girerler. Bu atıklar ısı üretirler ve soğutulmaları gerekmektedir.

Kullanılmış nükleer yakıtlar, reaktörden çıkarıldıktan sonra reaktörün içinde özel olarak yapılmış atık depolama havuzlarına alınırlar. Radyoaktivite zamanla azalan bir kavram olduğu için reaktörden çıkarılan radyoaktif atıklar bu depolarda bekletilirler. Burada yaklaşık 20 - 30 yıl bekleyen atıklar, taşıma ve saklama için özel olarak yapılmış varillere konarak ara depolama tesislerine ya da yeniden işleme tesislerine götürülür. Bu güne kadar yapılan uygulamalar bunlardır. Planlanan ama henüz gerçekleştirilmemiş bir aşama daha vardır; ara depolama ve yeniden işleme tesislerinde toplanan atıkların, bu iş için özel olarak seçilmiş, jeolojik yapısı uygun bir bölgede yaklaşık 500 m derinlikte açılan nihai depolama tesislerine gömülmesi. Bu tesisi kurmak için uygun yerler ve yeterli teknoloji olduğu halde henüz uygulanmamasının en önemli nedeni şimdiye kadar nükleer reaktörlerde atık depolama için yapılan havuzların ve ara depolama tesislerinin kapasitelerinin yeterli olmasıdır. [ Sarıkaya B., ve Kayrancı S., 1997 ]

Kanada'daki 21 nükleer santralin, işletmeye başladıkları ilk günden bugüne kadar ürettikleri atıklar biraya konursa kaplayacağı hacim 3 m x 25 m x 50 m 'lik bir havuz kadardır. Bu nedenle henüz daha nihai depolama tesisi yapılması kararı alınmamıştır.

Yüksek aktiviteli nükleer atıkların yeryüzünün 500 m ile 1000 m altında özel olarak seçilmiş jeolojik oluşumlarda inşa edilecek büyük bir maden işletmesini andıran depolara gömülmesi planlanmakta ve bu konudaki çalışmalar sürmektedir. Yer seçiminde jeolojik ve çevresel faktörler ( yer altı suyu hareketleri, kaya yapısı, erezyon, sel, deprem, volkanik hareketler, vb ) dikkate alınır. Yer altına gömülü nükleer atıkların biyosfere ulaşmasını sağlayabilecek tek mekanizma yer altı suyu olduğundan, jeolojik oluşumun yer altı suyundan özellikle uzak olması istenir. Tablo 5.10' da nükleer santral bulunan bazı ülkelerin atık saklama uygulamaları belirtilmiştir.

**Tablo 5.10 Bazı ülkelerin atık depolama uygulamaları**

Ülke	Uygulama	Son Depolama
ABD	Direk gömme	Üç tane LLW alanı halen çalışmakta Yucca Dağında son depolama tesisi yapılması sürmekte
Almanya	Yeniden işleme	LLW alanları 1975' ten beri kullanımda, HLW depolama tesisleri 2008' de işleme girecek
İngiltere	Yeniden işleme	LLW alanları çalışmakta ve yeni bir yer altı tesisinin yapımı planlanmış durumdadır. HLW camlaştırılıp depolanıyor.
Fransa	Yeniden işleme	2015 yılında yer altı depolama tesislerini işleme alınması bekleniyor. LLW & ILW depolama tesisleri işletimde
İspanya	Direk gömme	Nihai depolama tesisi için yer seçim programı başlatılmış 2000 yılında yer seçilecek ve 2020'de tesis işletmeye alınacak
İsviçre	Yeniden işleme	HLW için yer altı araştırma laboratuvarı var. Nihai depolama tesisi 2020 yılında işletmeye alınacak

ref. [ Çevre ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı, 5 – 7 Haziran 1997, Ankara ]

LLW : Düşük seviyeli radyoaktivite içeren atık,

ILW : Orta seviyeli radyoaktivite içeren atık

HLW : Yüksek seviyeli radyoaktivite içeren atık

Kullanılmış yakıtlar, içerdikleri uranyum, plutonyum ve gerekli diğer radyoizotopları geri kazanmak üzere işleme tabi tutulursa, fisyon ürünleri ve uranyum ötesi elementlerden oluşan bir sulu atık çözeltisi elde edilir. Bu çözelti kuruyana kadar buharlaştırıldıktan sonra yüksek sıcaklıkta cam eriği ile karıştırılıp metal silindirler içine boşaltılır ve soğuduğunda katılaşp camsı bir yapı oluşturur. Cam, suda kolay çözünmeyen, uygun mekanik özelliklere sahip, binlerce yıl kararlı olarak kalabilen, nispeten ucuz ve işlenmesi kolay bir malzeme olduğu için günümüzde nükleer atık formu olarak tercih edilmektedir. Camlaştırılmış nükleer atık ile dolu silindirler bir metal muhafaza içine konup yer altı deposundaki deliklere yerleştirilir. Bu plan yeni bir teknoloji gerektirmektedir ve bunun uygulanmasında teknik ve ekonomik zorluklardan ziyade, politik kararlar ve bu kararların hayata geçirilmesinde karşılaşılan güçlükler etkili olmaktadır.

### 5.2.2 Radyoaktif kirlenme :

Nükleer santrallardan normal çalışma koşullarında çevreye yayılabilecek radyoaktivite değeri, alınan güvenlik önlemleri sayesinde son derece düşüktür. Tablo 5.11' de çeşitli dozlar, kaynakları, etkileri ve sınır değerleri ile yüksek ve alçak dozlar olarak iki sınıf halinde gösterilmiştir. Alçak dozlar mSv ( mili Siver ), yüksek dozlar ise bunun bin katı olan Sv ( Siver ) birimleri ile ifade edilmiştir. [ Aybers N., Bayülken A., 1997 ]

Nükleer santralleri diğer santrallardan ayıran en önemli özellik, nükleer santrallarda radyoaktif madde bulunmasıdır. Fisyon enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi sürecinde, normal işletme ve kaza koşullarında, doğal fon radyasyonunun altında radyoaktivite salımı söz konusudur. Ancak tasarıma esas olan kazaların dışında meydana gelme olasılığı çok düşük olan ciddi kazalarda insan ve çevreye zararlı düzeyde radyoaktivite salımı olabilir. Bu yönüyle de nükleer santraller diğer termik santrallardan farklılık göstermektedir. Termik santrallarda enerji üretimi sırasında çevreye yaptığı etkilerden bahsederken, nükleer santrallarda normal işletme sırasında çevreye olumsuz bir etki sözkonusu değildir, ancak kaza durumundaki radyasyon salınımlarından bahsedebiliriz. [ Bayraktar N., 1997 ]

Tablo 5.11 Çeşitli radyoaktif dozlar ve etkileri

Kısa Süreli Yüksek Dozlar		Uzun Süreli Alçak Dozlar	
Sv	Çeşitli Etkiler	mSv	Sınır Dozlar
10	Birkaç haftada ölüm	50	Çalışanlara yıllık sınır doz ( MMD )
4 -- 5	% 50 ölüm	15	İşyerinde soruşturma
> 2	Radyasyon hastalığı hayat kısalması		
1	Sınır doz, gecikmiş etki	5	Halk için MMD
0,5	Klinik olarak gözlenebilir bir etki yok	1	Uzun süreli, halk için MMD Bir mide röntgeni
0,25	Kaza koşullarında sınır doz ( MMD )	0,01-0,05	Yıllık televizyon dozu
0,12	Chernobyl kazasında yakın çevrede alınan tahliye dozu	0,002-0,01	Nükleer santral yıllık genel etkisi

Nükleer santral çevresinde oturan bir kişi değişik yollarla yılda ortalama 2.5 mSv' lik bir doz almakta olup, bunun içinde nükleer santralin payı 0.002 - 0.01 mSv arasında olup yaklaşık % 0.4' tür. ABD' de Nükleer Güvenlik Örgütü ( NRC ) kurallarına göre bacadan atılan gazlardan alınan yıllık dozun tüm vücut için 0.05 mSv' i geçmemesi gerekir. Santral içinde çalışan işçiler için müsaade edilen yıllık doz ise 50 mSv' dir. Pratikte ise bu değerlerin çok altında çalışıldığı gözlenmiştir. [ Bekdemir Ş., 1995 ]

Burada radyoaktif dozun biyolojik etkilerine bakacak olursak, kısa sürede alınan dozlarda 0.5 Sv' den itibaren klinik etkiler görülmeye başlar. 1 Sv' lik dozda mide bulantısı, kusma gibi belirtiler görülür. 3 - 4 Sv üzerinde ise ölümler başlar. Ayrıca halk için müsaade edilen maksimum doz ( MMD ), bir defaya mahsus olmak üzere 5 mSv / yıl' dır

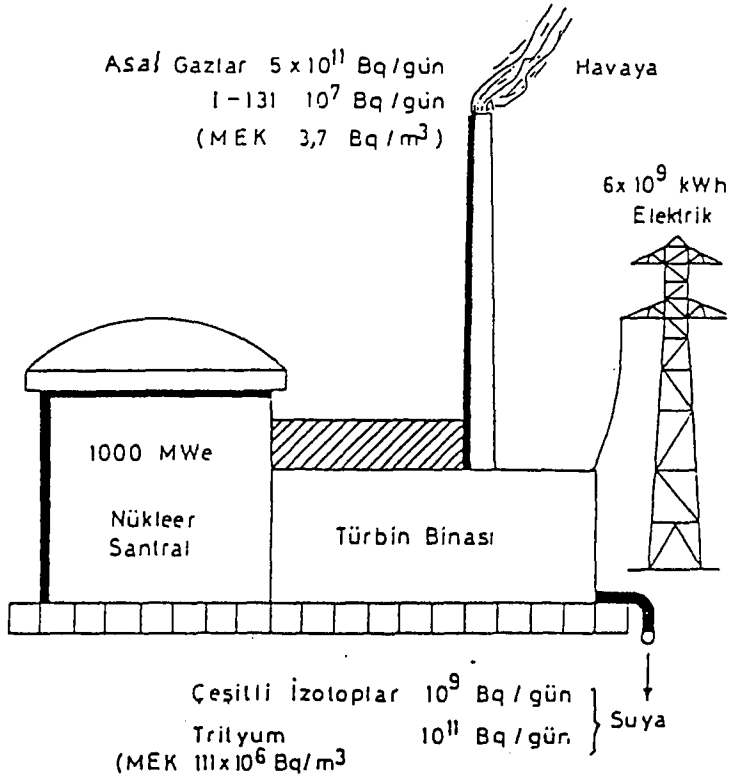
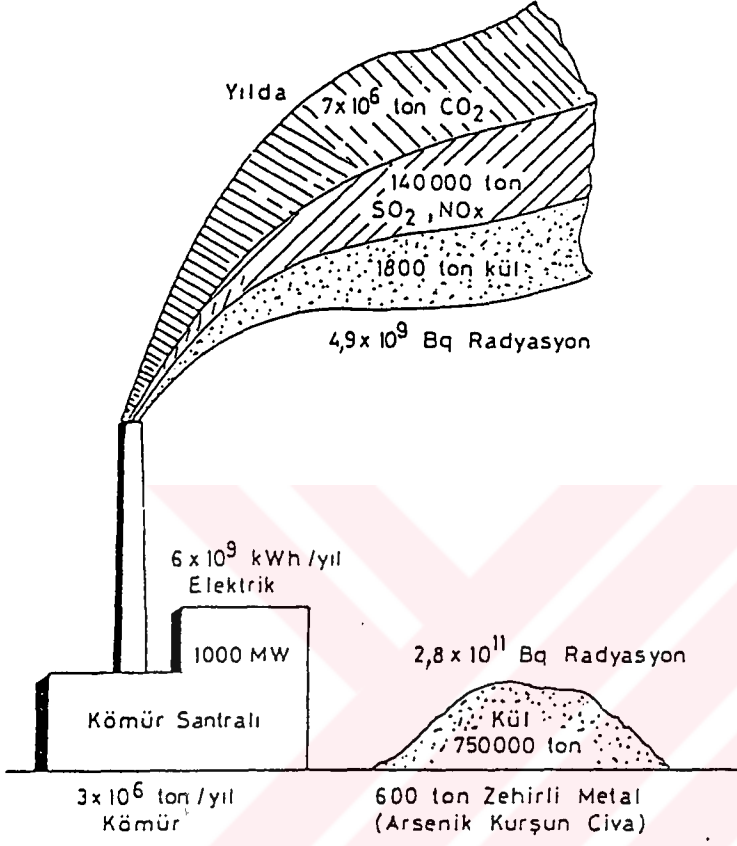
Nükleer santrallarda kaza riskini azaltmak için yapılan güvenlik harcamaları, toplam kuruluş maliyetinin % 15' ine çıkabilir. Bir nükleer santral kendi kendini frenleyen tasarım özelliğinden ötürü bir bomba gibi patlamaz.. Nükleer santrallarda patlama buhar basıncı veya kaza sırasında oluşan hidrojenin yanması ile olabilir. Reaktörde oluşacak en büyük kaza kalbin susuz kalıp erimesidir. Bunun meydana gelme olasılığı  $10^{-6}$  ' dir. Bu durumda aynı zamanda dış güvenlik kabuğu da kırılmışsa çevreye radyasyon bulaşır. Santralin diğer parçalarının kaza olasılığı daha yüksek tutulabilir. Örneğin ufak çapta bir borunun kopma olasılığı  $10^{-4}$  ' e kadar çıkabilir. [ Bekdemir Ş., 1995 ]

Nükleer santrallarda günümüze kadar iki büyük kaza olmuştur. ABD' de 1979 senesinde meydana gelmiş Three Miles Island reaktörü kazası ile 1986 yılında Sovyetler Birliğinde meydana gelen Chernobyl reaktörü kazası .Bunların birincisinin etkileri çok büyük olmazken Chernobyl kazası ile çevreye önemli ölçüde radyasyon yayılmış ve bundan ülkemiz ve Avrupanın büyük bir bölümü az veya çok etkilenmiştir. Kaza anında yangın ve patlama sonucu 31 kişi derhal ölmüş, 100 kişi 1 Sv, 30 km yarıçaplı alanda bulunan 135000 kişi ise tahliye edilene kadar 120 mSv doz almışlardır. Buna göre 1 Sv doz alan 100 kişiden birinin ileride kanserden ölme olasılığı vardır. Tahliye edilen 135000 kişinin kansere yakalanma riskinin ise % 1 artacağı tahmin edilmektedir. [ Bekdemir Ş., 1995 ]

1000 MWe gücündeki PWR tipi bir nükleer santral bacasından çevreye 500 milyar Bq / gün asal gazlar, 10 milyon Bq / gün İyot-131 bırakır. Asal gazların yarı ömürleri az olduğu için önemsizdir. Yarı ömrü 8 gün olan İyot-131 önemli ise de bunun havadaki müsaade edilen konsantrasyonu  $3.7 \text{ Bq} / \text{m}^3$  olduğuna göre, bu reaktör çevresinde müsaade edilen konsantrasyona inecektir. Aynı reaktör kondenser soğutma suları ile nehir veya denize 10 milyar Bq / gün çeşitli izotoplar ile 100 milyar Bq / gün Tritiyum bırakır. Burada önemli olan yarı ömrü 12.3 yıl olan Tritiyumdur. Bunun halk için sudaki müsaade edilen konsantrasyonu 111 milyon Bq /  $\text{m}^3$  olduğuna göre bunun  $42 \text{ m}^3 / \text{saat}$  debisi olan bir nehre bırakılmasında hiçbir sakınca yoktur. [ Aybers N., Bayülken A., 1997 ]

1000 MWe gücündeki bir kömür santrali çevreye bacasından günde 21000 ton  $\text{CO}_2$ , 300 ton asit gazları ve 5 ton uçucu kül atar; bu gazlar 12.5 milyon Bq / gün radyasyon da içerirler. Ayrıca, aynı santral çevrede 650 ton / gün kül depolar, bu küller arsenik, kurşun, civa gibi kanser yapıcı zehirli metaller ihtiva ederler. Bu küller ayrıca 2,80 milyar Bq / yıl radyasyon içerirler. Şekil 5.18' de nükleer ve kömür santrali çevre etkileri ile ilgili resim verilmiştir. [Aybers N., Bayülken A., 1997 ]

Şekil 5.18 Nükleer ve kömür santrallerinden çevreye bırakılan atıklar



### 5.3 Hidroelektrik santrallerin çevresel etkileri :

Fosil yakıtlı enerji sistemlerinin çevresel etkileri inşaat safhasında pek gözönünde durdurulmaz. Fakat bu sistemlerin işletme aşamasında baca gazları, katı ve sıvı atıklar, küllerin depolanması ve soğutma suyu problemleri gibi çevre üzerinde olumsuz etkileri önem kazanmaktadır.

Nükleer enerji üretiminde yetkili kurum ve kuruluşlar tarafından yeteri kadar aydınlatılmayan halk, tesisin yer seçimi ve işletilmesine karşı çıkmaktadırlar. Bu sosyal tepkiye ek olarak nükleer santrallerin soğutma suyu, yakıt çıkarma, yakıt ön işleme ve depolama gibi çevre üzerinde etki yaratabilecek problemleri bulunmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrolik enerjinin de doğal ve sosyo-ekonomik çevre üzerinde etkileri bulunmaktadır. Hidroelektrik enerji bilinen enerji üretim teknolojileri içinde işletme aşamasında en az çevresel etkiye ve riske sahip olan sistem olarak bilinmektedir.

Hidroelektrik enerji sistemleri, rezervuarları, tesis yapıları, malzeme sahaları ve ilave yapıları yüzünden çevre üzerindeki etki meydana getirirler.

Genel anlamda hidroelektrik santrallerin yöresel ve bölgesel çevre etkileri iklim etkisi, hidrolik, biyolojik ve sosyo-ekonomik olarak ortaya çıkar. Bunun yanısıra tesisin yapımı sırasında ortaya çıkan en büyük etki arazi kullanımı ve bitki örtüsüyle ilgilidir. Buna ek olarak da rezervuar ve malzeme sahalarında kamulaştırma gibi sosyal etkilerde önem kazanır. Ayrıca inşaat alanının yarattığı toz yayılması da doğal hayatı olumsuz olarak etkiler. [ Yılmaz Ö.,1994 ]

Tesislerin işletme aşamasında ise su, hava ve toprak üzerinde yavaş yavaş veya birden ortaya çıkan değişimler gözlenir.

Hidroelektrik enerji üretiminin bazı etkilerini şöyle sıralayabiliriz:

### 5.3.1 İklim etkileri:

İklim etkileri, baraj gölünün yüzey alanı itibariyle geniş olması sebebiyle buharlaşmanın artmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden havadaki nem oranı artmakta, hava kütleli hareketleri değişmekte, sıcaklık-yağış-rüzgar olayları farklılaşmaktadır. Bu durum çevre üzerinde zincirleme etkiler oluşturmaktadır. Bölgedeki doğal bitki örtüsü, tarım bitkileri ile su ve karasal hayvan varlığı üzerinde değişim etkisi görülmekte ve uyum sağlayabilen türler yaşamlarını sürdürmektedir.

### 5.3.2 Ekolojik etkiler :

Ekolojik etkiler, yaşama alanlarının su altında kalması ve bazı önemli türlerin yok olması neticesinde ortaya çıkmaktadır. İlk bakışta birkaç balık türünün, yöreye ait bitkinin ve diğer türlerin yok olması enerji üretiminin yanında önem teşkil etmeyeceği ekonomi açısından doğru kabul edilsede bunun sonucunda uzun vadede doğal yaşam potansiyelinin azalması anlamına gelmektedir.

### 5.3.3. Sosyo-ekonomik etkiler :

Barajın yapım aşamasında su altında kalan arazinin büyüklüğüne bağlı olarak yapılan kamulaştırma sonucunda iç ve dış göç olayları yaşanmakta, arazinin bedeli değişmektedir.

Yapım aşamasındaki iş gücü akımı sonucunda yöresel ekonomi geçici olarak canlanmakta, alt yapı hizmetleri ( yol, su, elektrik şebekesi vb. ) ile sosyal hizmetler ( okul, sağlık tesisleri vb. ) entegre projelerde pozitif etki yapmaktadır.

Sonuç olarak her yatırım faaliyetlerinin bir çevresel riski vardır. Hidroelektrik enerji üretiminin çevresel etkileri, proje aşamasında ele alındığı takdirde önlenabilir. Çevresel etkilerin proje aşamasında belirlenmesini kolaylaştıran Çevresel Etki Değerlendirmesi ( ÇED ) mekanizmasının iyileştirilmesi ve işlerliğinin artırılmasıyla ülkemizde çevre ve diğer sektörlerin uyumu sağlanabilecektir. [ Yılmaz Ö.,1994 ]

## 6. TÜRKİYE'DEKİ SANTRALLARDA YAPILAN ÇALIŞMALAR VE SANTRALLARIN EKONOMİK ANALİZİ

### 6.1 Türkiye' deki Termik Santralların Durumu :

Türkiye' de enerji üretiminde önemli bir yeri olan termik santrallarda kullanılan yakıtların cinsine bağlı olarak, gerekli önlemler alınmadığı takdirde baca gazları, katı ve sıvı atıklar çevreyi olumsuz yönde etkileyen sonuçlardır. Ülkemizde enerji üretiminde çevresel etkilere gereken önem verilerek, eski santrallarda iyileştirme ve ilave tesis kurulması çalışması ile yeni kurulacak santrallarda ise gelişen teknolojiye uygun olarak gerekli tesislerin kurulma çalışmaları yapılmaktadır.

#### 6.1.1 Baca gazları :

Ülkemizde bulunan linyite dayalı termik santralların çoğunun 1970' li yıllarda tasarlanmış olması nedeniyle ve o dönemde yayınlanmış bir hava kalitesi yönetmeliğinin olmaması sonucu santralin tasarımında, santral teknik verileri ve santral sahasının bulunduğu yörenin meteorolojik koşulları dikkate alınarak, baca gazlarının yayılmasını sağlayacak baca yüksekliği, baca gazı çıkış hızı ve baca gazı sıcaklığı seçilerek, yer seviyesinde Dünya Sağlık Örgütünün belirlediği kükürt dioksit konsantrasyonuna ulaşmak hedeflenmişti.

Ülkemizin artan enerji ihtiyacını karşılamak için, Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. ( TEAŞ ) tarafından işletilmekte olan katı yakıtlı termik santrallarımızda özellikle endüstrinin diğer kesimlerinde değerlendirme imkanı bulunmayan düşük kalorili, kükürt ve kül oranı yüksek linyit yakmaları beraberinde çevre sorunları getirmektedir. Bu sorunları önlemek üzere bir taraftan yerli kaynaklarımızı kullanarak ucuza enerji üretirken, diğer taraftan çevreyi temiz tutmak amacıyla 2 Kasım 1986 tarihinde " Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği " çıkarılmıştır.

Linyit yakan santrallarımızın hemen hemen hepsinin SO<sub>2</sub> emisyon değerleri yönetmelikte belirtilen sınır değerleri aşmaktadır. Bu durumda kurulmuş olan santralların SO<sub>2</sub> emisyonlarının yönetmelikte yer alan 1000 mg / Nm<sup>3</sup> sınır değerinin altına

düşürebilmek için yüksek verimlilikte ( % 95 ) Baca Gazı Desülfürizasyon ( BGD ) tesislerinin ilavesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Örnek olarak Çayırhan Termik Santrali BGD tesisi ( 2 x 150 MW ) 1991 yılından beri işletmede olup tesisin SO<sub>2</sub> tutma verimi %95' tir. Ülkemizdeki bazı termik santrallerin emisyon değerleri Tablo 6.1' de verilmiştir.

**Tablo 6.1 Bazı santrallerin emisyon değerleri**

Santralin Adı	1995			1996		
	SO <sub>2</sub> (mg / Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg / Nm <sup>3</sup> )	Toz (mg / Nm <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg / Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg / Nm <sup>3</sup> )	Toz (mg / Nm <sup>3</sup> )
	1000*	1000*	250*	1000*	1000*	250*
Ambarlı** D.G.K.Ç.S	-	188	-	Devre	Dışı	-
Çatalağzı T.S.	880	451	579	847	515	752
Kangal T.S	19929	437	1769	11829	284	1862
Seyitömer T.S.	2172	202	896	2032	228	778
Soma T.S.	2004	541	83	1673	380	107
Trakya** D.G.K.Ç.S	-	703	-	-	680	-
Yatağan T.S.	4938	478	205	5979	495	261

Ref : TEK Santraller Daire Başkanlığı

\* Termik Santrallerde % 5 Oksijen bazında emisyon değerleridir

\*\* Doğal gaz kombine çevrim santrallerinde; % 15 oksijen bazında NO<sub>x</sub> emisyon sınır değeri 500 mg / Nm<sup>3</sup> olarak alınmıştır.

Mevcut santrallerin çevreye olan olumsuz etkilerini sınır değerlerin altına düşürebilmek amacıyla yapılması gereken BGD, elektrofiltre ve atıksu arıtma rehabilitasyon yatırımlarıyla ilgili ihaleler ve yatırım programlarına ait gerekli ödeneklerin listesi Tablo 6.2' de verilmiştir.

Linyit yakan termik santrallerimizde NO<sub>x</sub> emisyonları açısından pek sorun görülmemektedir. Linyitlerimizin kül ergime sıcaklıklarının düşük olması nedeniyle, kazandaki yanma odası sıcaklıkları düşük tutulmaktadır. Bununla birlikte linyit yakan

hemen hemen bütün santrallerimizde teğetsel yakma tekniğinin kullanılmasıyla tam yanma oluşmaktadır. Yanma esnasındaki düşük sıcaklık ve ortamdaki fazla oksijen miktarının düşük olması NO<sub>x</sub> oluşumunu engellemektedir. Çoğunlukla santrallerimizin NO<sub>x</sub> emisyon değerleri sınır değerlerin altındadır.

**Tablo 6.2 Rehabilitasyon yatırımlarıyla ilgili ihaleler ve ödeneklerin listesi**

Projenin Adı	Kurulu Gücü (MW)	Maliyeti (10 <sup>6</sup> \$)	Son Durumu
Orhaneli T.S. BGD	210	43.0	Tamamlandı. Deneme çalışmaları sürüyor.
Yatağan T.S.BGD	3 x 210	77.7	Temeli atıldı. Montajı sürüyor.
Çayırhan T.S. 3,4 üniteler BGD ile	2 x 160	75.6	İnşaat ve montaj çalışmaları devam ediyor
Kangal T.S. 3. ünite BGD ile	150	39.75	İnşaat ve montaj çalışmaları devam ediyor
Afşin-Elbistan B 1-4 BGD ile	4 x 350	406	ihale aşamasında
Aliğa Fuel-oil BGD ile	2 x 300	105	ihale aşamasında
Seyitömer - B BGD ile	150	50	ihale aşamasında
Tunçbilek BGD ile	300	80	ihale aşamasında
Kangal BGD ile	150	50	ihale aşamasında
Soma - C BGD ile	2 x 300	150	ihale aşamasında
Çayırhan 5,6 BGD ile	2 x 300	150	ihale aşamasında
Çan T.S (akışkan yatak)	2 x 150	521.1	ihale aşamasında
Kemerköy T.S. BGD tes.	3 x 210	84	Temel atma töreni yapıldı. Ön proje çalışmaları sürmekte
Yeniköy T.S. BGD tesisi	2 x 210	70	Yapım için sözleşme imzalandı. Kredi çalışmaları tamamlandı.
Soma -B ( 1-2 ) ünitelerinin elektrofiltre rehabilitasyonu	2 x 165	182.2	

Ref : Çevre ve Enerji Kongresi 1997

Doğal gaz yakıtlı santrallerimizde ise, yakıt/hava oranını özel yakma teknolojilerinin kullanılması ile NO<sub>x</sub> oluşumu azaltılabilmektedir. Ambarlı Kombine Çevrim Santralında ( 1350 MW ) bu sistem uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Termik santrallerimizde kullanılan linyitlerin kül oranları çok yüksek olduğundan ( % 17 - % 46 ) toz emisyon kontrolünün önemi artmaktadır. Baca gazları içindeki uçucu küllerin yayılmalarını engellemek için son yıllarda kurulan santrallerimizde yüksek verimle çalışan ( % 98 - % 99.5 ) elektrofiltreler kullanılmaktadır. Bununla birlikte mevcut eski santrallerimiz kuruldukları zamanın teknolojisine sahip olmaları nedeniyle,

yönetmeliklere uygun şekilde işletilmek amacıyla bu santrallarda rehabilitasyon ile günümüz koşullarına getirme çalışmaları devam etmektedir.

### 6.1.2 Katı atıklar :

Linyit yakan termik santrallarımızda oluşan bir diğer sorunda katı atık yani kül ve curuf sorunudur. Linyitlerimizin yüksek kül ihtiva etmesi ve düşük ısı değere sahip olması nedeniyle elektrik enerjisi üretiminde çok fazla miktarda kül ve curuf oluşmaktadır.

Rüzgar ve benzeri etkiler sonucunda bu atıkların atmosfere yayılmasıyla hava ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu kirlenmeyi önlemek amacıyla santrallarımızdan kül ve curuf ; i - ıslatıldıktan sonra taşıyıcı bant konveyörleriyle, ii - hidrolik olarak kül barajlarına atılmaktadır.

Birinci yöntem daha çok eski santrallarda kullanılmakta olup bu sistemin rehabilite edilmesi gerekmektedir. Bu yöntemde kül ve curuf bant konveyörlerle nemli olarak kül depolama alanlarına taşınmakta, burada kül 1/1 veya 1/3 oranlarında sulanarak üzerinde bir su filmi oluşturularak külün rüzgarla atmosfere yayılması engellenmektedir. (Ör: Çayırhan termik Santralı 2 x 150 MW )

İkinci sistem ise daha çok suyun bol bulunduğu yerde kurulan santrallarda kullanılmaktadır. Kül ve curufun atılması için hidrolik sistem ilk olarak Soma Termik Santralında uygulanmıştır. Bu sistemde kül ve su 1 / 8 veya 1 / 9 oranlarında karıştırılarak kül barajına pompalanmaktadır. Burada su sarfiyatını azaltmak amacıyla kül barajında toplanan temiz su tekrar külün hidrolik olarak taşınmasında kullanılmak üzere santral sahasına pompalanır. Orhaneli Termik Santralı içinde bu şekilde bir kül arıtma sistemi inşa edilmiştir.

Hidrolik olarak kül atma sistemlerinde önemli faktörlerden biride kül barajının inşa edileceği yerdir. Küllerin sulu olarak depolandığı kül barajlarında biriken suların yer altı sularını etkilememesi için barajın seçilen yerinin jeolojik olarak incelenerek geçirimsiz veya az geçirimli olmasına dikkat edilmelidir.

Kül ve curufun kuru olarak depolandığı santrallerimizde ise kül döküm sahaları tarım toprağı ile birlikte ögütölerek tarıma elverişli alanlar açılmaya çalışılmaktadır.

Afşin - Elbistan termik santralımızda ( 4 x 340 MW ) katı atıklar kömür üretimi bittikten sonra kömür maden sahalarına atılarak doldurulmaktadır. Doldurma işlemleri bittikten sonra üzeri toprakla örtölerek yeşillendirilmektedir. Bu yolla bölgenin doğal topografik yapısının korunması sağlanmış olur. Ayrıca, Yatağan Termik Santralında da kuru haldeki külün çevreye zarar vermemesi için kül sahası toprakla örtölerek ağaç dikilme çalışmaları yapılmış ve daha sonra bu tesiste katı atıkların depolanması için yeni bir kül barajı inşa edilmiştir.

Ayrıca kömürden kükürdü uzaklaştırarak çevre kirliliğinin ve korozyonun önlenmesi, içindeki kül ve rutubetinden arındırılarak ısıl değerini yükselterek kaliteli kömür üretmek için ayıklama, yıkama, birikitleme gibi saflaştırma işlemleri uygulanmaktadır. Kömürdeki kül ve kükürt kadar önemli olan bir diğer hususta nemdir. Ülkemizde bulunan kömürlerin çoğunluğunda nem oranı yüksektir. Bu kömürlerde nemin uzaklaştırılmasıyla da ısıl değeri artmakta ve yanması kolaylaşmaktadır. Bu nedenle Türkiye Kömür İşletmeleri tarafından kömürün kurutulup zenginleştirilmesi amacıyla kömür yıkama ve zenginleştirme tesisleri kurulmakta ve işletilmektedir.

### 6.1.3 Sıvı atıklar :

Su Kirliliğı Kontrol Yönetmeliğı 1988 yılında yayınlanmıştır. Bu tarihten önce planlanmış ve tesis edilmiş santraller için dizayn aşamasında atıksu arıtma tesislerinin yapılması ve su kirliliğini önlemek üzere diğer tedbirlerin alınması düşünülmüştür. Bu nedenle birkaç eski santral dışında yönetmelik değerlerine uyulmaktadır.

Bazı santrallerde atıksu arıtma tesislerinin ilavesi, santral işletmeye alındıktan sonra rehabilitasyon çalışmaları çerçevesinde yapılmıştır. Örnek olarak Seyitömer Termik Santralının (4x150 MW) ilk iki ünitesi 1973 yılında, 3. ünitesi 1977 yılında, 4. ünitesi ise 1989 yılında işletmeye alınmıştır.

## 6.2 Türkiye' deki Santralların Ekonomik Analizi :

Güç üretim tesislerinin ekonomik olarak değerlendirilmesinde kullanılan en önemli kıstaslardan birisi birim enerji üretim maliyetidir. Doğru bir değerlendirme için teknik ve ekonomik parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir. Birim enerji üretim maliyetini etkileyen faktörleri; verim, yakıt cinsi ve fiyatı, tesis gücü, yıllık işletme saati veya yük faktörü, tesis ömrü, inşaat süresi ve inşaat süresi boyunca harcama dağılımı, yatırım bedeli, faiz, eskalasyon ve iskonto oranları ile geri ödeme süresi olarak sıralayabiliriz.

Tablo 6.3' de bu parametreler göz önüne alınarak, hidroelektrik, kömür ve linyit yakıtlı santralin, doğal gaz ve nükleer santralin enerji üretim maliyetleri verilmiştir.

Tablo 6.3 Santralların enerji üretim maliyetleri

Veriler	Birim	Hidro	Kömür	Linyit	D.Gaz	Nükleer
Tesis birim maliyet	\$ / kW	1000 - 1500	1173	1236	700	2000
1000MW' lık 1 ünite	10 <sup>9</sup> \$	1.0 - 1.5	1.173	1.236	0.7	2.0
Tesis dış yatırım oranı	%	40	81	81	75	80
Yapım süresi	yıl	3.0 - 8.0	3.5	3.5	3	6
Yatırım süresince faizin yatırım bedeline oranı	%	14.5 - 31.5	14.5	14.5	10.7	22.8
Santral ömrü	yıl	50	30	30	25	30
Yıllık çalışma süresi	saat	3500	6500	6500	7000	7000
Birim yakıt maliyeti	cent / kWh	0	2.0	1.6	2.0	0.44
İşletme bakım maliyeti	cent / kWh	0.11	0.59	0.46	0.4	0.78
Üretim maliyeti Arıtmasız Arıtmalı	cent / kWh	2.69	4.36	3.9	3.63	4.32
	cent / kWh	-	4.84	4.41	-	-

Ref : 7. BYKP ELENAK (Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Alt Komisyonu ) Özet rapor, EK.I, TEK 1993

Ülkemiz açısından hidroelektrik santralların kaynağının yerli ve birim üretim maliyetinin en düşük olması ( 2.69 cent / kWh ) nedeni ile öncelikli olarak kurulmasında tercih edilir. Hidroelektrik santralların dış yatırım oranının % 40 civarı olmasından, maliyetin dövizden kaynaklanan yükselme halinde, diğer santrallardan daha az

etkilenecektir. Ancak kapasite kullanımı arttıkça birim tesisi maliyeti ve ona bağılı olarak da birim üretim maliyetleri artacaktır. Doğalgazlı santrallerin birim tesis maliyeti, tesis yapım süreleri diğerlerinden küçüktür. Ayrıca birim üretim maliyetide ( 3.63 cent / kWh ) diğerlerine göre düşüktür. Doğal gazın çevresel etkisinin az olmasından dolayı tercih sebebi olabilir. Ancak, dünya doğal gaz rezervlerinin yaklaşık 60 yıl kadar yeterli olacağı tahmin edildiğinden, dünya doğal gaz fiyatlarının diğer kaynaklarından hızlı artması beklenmektedir. Bu durum karşısında yüksek enerji tüketen gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler kaynaklarını çeşitlendirme ve enerji emniyetini maliyet ve çevre olgusuyla uyuşturma gereğini duymuşlardır. Bu durumda tek görülebilir enerji alternatifi olan kömür üzerinde yeni stratejilerin geliştirilmesi sonucunu doğurmuştur. Batı Avrupa politik, ekonomik ve çevresel nedenlerle kömürden uzaklaşırken, ABD ve uzakdoğu ülkeleri (Japonya / Kore) kömürü uzun dönemli enerji stratejisinde vazgeçilmez bir kaynak olarak görmektedir.

Taşkömürlü ve linyitli santrallerin baca gazı arıtma maliyetleri gözönüne alındığında birim üretim maliyetleri sırası ile 4.84 ve 4.41 cent / kWh olup doğal gazlı santraller ve ülkemizde kurulması düşünülen nükleer santrallerinkinden yüksektir. Tesis dış yatırım oranları da doğal gaz santralından yüksek, nükleer santrallerle aynı düzeydedir.

Ülkemizdeki mevcut santrallerin teknolojilerinin eski olması ve kullanılan kömürün düşük kalorili, kül oranı, kükürt oranı ve nem oranının yüksek olması nedeniyle çevreye olan atıkların azaltılması amacıyla baca gazı arıtma sistemlerinin kurulması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu da konvansiyonel kömür santrallerine ek yatırım ve işletme maliyetleri getirmektedir. Tablo 6.3' den de görüleceği gibi baca gazı arıtma sisteminin birim üretim maliyetine olan etkisi % 11 - 20 arasında bir değerdedir. Ülkemiz santrallerinin teknolojilerini geliştirmek ve de hava kalitesi standartlarına göre çalışmasını sağlamak amacıyla bu oranlar birim üretim maliyetine önemli oranda yük getirirlerse yerli kaynaklarımızın kullanımıyla dışa bağımlılığımız belirli bir süre azalmış olacaktır. Ancak bu santrallerin baca gazı arıtma tesislerine rağmen çok büyük miktarlarda giderilmeyen ve sera etkisine neden CO<sub>2</sub> ve çevre sorunlarına neden olan kül - curuf ve alçıtaşı atıkları vardır. Bu etkiler sonucunda enerji üretiminde yenilebilir enerji üretim sistemlerine doğru bir eğilim vardır.

## 7. SONUÇ

Dünya elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık % 65' inin karşılandığı kömür, doğal gaz ve petrolden oluşan fosil yakıt kaynaklarının hızlı tüketimi karşısında kısa sürede tükenebileceği gerçeği ve fosil yakıtlardan elektrik enerjisi üretiminde oluşan yanma ürünleri SO<sub>2</sub> , NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi atıkların yol açtığı çevre kirliliği ve global ısınma gibi olumsuzluklar enerji üretiminde yeni arayışları gündeme getirmiştir. Bu arayışlar içinde nükleer enerji santralleri tekrar önem kazanmakta, hidroelektrik, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bütün bu arayışlara rağmen fosil yakıtlı enerji üretim sistemlerinin yerini yakın gelecekte alabilecek enerji üretim sistemleri henüz geliştirilmemiş olup, fosil yakıtlı elektrik enerjisi üretimi günden güne artış göstermektedir. Bununla ilgili olarak fosil yakıt kullanımında en yüksek verimle çalışarak birim elektrik enerjisi için harcanacak yakıtı azaltıp çevreye daha az zarar veren ve yakıt rezervlerinin daha hesaplı kullanılmasına olanak sağlayacak yeni teknoloji ve sistemlerin geliştirilmesine çalışılmaktadır.

Türkiye' nin yüksek gelişme hızı ( ortalama % 5 ) ve nüfus artışı ( ortalama % 2 ) ile birlikte elektrik enerji talebi artmaktadır. OECD ülkeleri ile gelişmekte olan ülkelerdeki artış hızının gelişmiş ülkelerdeki artış hızından 2 - 3 katı büyük olduğu ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde de bu enerji talebini karşılamak için öncelikli olarak yerli kaynaklar düşünülmektedir. Türkiye' nin toplam hidroelektrik kapasitesi 35000 MW kadardır ve 1996 yılı sonu itibariyle kurulu gücümüz 9900 MW olup 2010 yılına kadar yapılacak projelerle bu kapasitenin % 65' inin kullanılacağı tahmin edilmektedir. Yerli kömür santrallerimizde ise kapasite 18000 MW olup 2010 yılında bu kapasitenin % 90' ından fazlasının kullanılacağı tahmin edilmektedir (1996 yılı sonu ile termik santral kurulu gücü 11300 MW' tır ). Ülkemizin yerli kaynakları sınırlı olduğundan ve bu kaynakların çevre korunması yönünden değerlendirildiğinde oldukça problemleri görülmektedir.

Artan elektrik ihtiyacımızı yirmibirinci yüzyıl başlarında fosil kaynaklı yakıtlar ve sınırlı olan yenilenebilir enerji kaynakları karşılayamayacaktır. Yerli kaynaklarımızın yetmemesi ile birlikte ithat kaynakların kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu alternatif kaynaklar doğal gaz, nükleer enerji ve ithal kömürdür.

Bu kaynakların enerji talebimizi karşılaması ve çevresel etkileri bakımından sırasıyla şu şekilde inceleyebiliriz;

Doğal gaz kombine çevrim santrallarının en önemli avantajlarından birisi konuya çevresel açıdan bakıldığında ortaya çıkmaktadır. Günümüzde çevreye verilen önemin büyük ölçüde artmış olması ve bu nedenle zararlı madde emisyonları ile ilgili limit değerlerin oldukça düşük seviyelere çekilmesi sonucunda kombine çevrim teknolojileri büyük rağbet görmeye başlamıştır. Buna en önemli etken ise kombine çevrim santrallarında yüksek verimle üretilen birim elektrik enerjisine karşılık atılan CO<sub>2</sub> miktarının diğer termik santrallara göre % 40 - 45 oranında daha az olması, katı madde emisyonunun sıfır, NO<sub>x</sub> emisyonunun ise kabul edilebilir limit değerlerin altına indirilebilir olmasıdır.

Bu santralların tercih edilme sebeplerinden biriside ekonomik olmasıdır. Örneğin 1000 MW'lık bir kombine çevrim santralının yaklaşık birim yatırım maliyeti 1995 yılı fiyatları ile 650 - 700 \$ / kW iken, aynı şekilde bir termik santralın baca gazı arıtma sistemi dahil birim yatırım maliyeti 1500 \$ / kW civarındadır.

Konvansiyonel termik santrallara göre tesis süresi daha kısa ve modüler yapısı daha basit olan kombine çevrim santrallarının işletmesi daha kolaydır. Bundan dolayı işletme personeli ihtiyacı daha az olmaktadır. Santralın küçük yerleşim alanı ihtiyacı nedeniyle istenirse şehir yük merkezlerinin çok yakınında kurulabilme olanağı vardır. (Örneğin : 4 x 340 MW'lık Afşin-Elbistan santrali kül stok sahası hariç yaklaşık 120 hektar, 3 x 450 MW'lık Ambarlı Kombine Çevrim santrali ise 23 hektardır. )

Bu santralların olumsuz yönlerinden bazıları ise şöyledir : Çevresel etki bakımından bakacak olursak sera etkisine neden olan ( CO<sub>2</sub> ) dışında zararlı etkisi bulunmamaktadır. Yakıt açısından bakacak olursak birtakım negatif yönleri bulunmaktadır. Bunlar yakıt temini için çeşitli ülkelerle uzun süreli satınalma sözleşmelerinin yapılması, çok büyük çaplı ve uzun boru şebekelerinin tesis edilmesi, sıvılaştırılmadığı takdirde stoklanması gün seviyesinde olmasıdır. Ayrıca dünya rezervlerinin yaklaşık 60 yıl kadar yeterli olacağından, doğal gaz fiyatlarının diğer kaynaklarından hızlı artması beklenmektedir.

Bu olumlu ve olumsuz etkiler göz önünde bulunduracak olursak, ülkemiz açısından artan enerji talebini karşılamak amacıyla, oranı çok yüksek olmamak koşulu ile bu santrallerin kurulması olumludur.

Nükleer santraller elektrik üreten santraller arasında çevre ile uyumlu santrallerden birisidir. Normal çalışma sürelerinde nükleer reaktörlerin bacalarından çok az miktarda gaz salındığından ekolojik dengeyi bozmazlar. Nükleer santrallerin yakıtı olan uranyum hacim ve ağırlık olarak yoğun bir madde olduğundan stoklanması kolay ( 5-10 yıllık stok yapılabilir ) ve taşınacak yakıt miktarı ve taşıma masrafları azdır. Ekonomi açısından bakacak olursak dünyadaki nükleer yakıt rezervlerinin 110 yıl kadar yeterli olacağı tahmin edildiğinden yakıt fiyatlarının fazla yükselmesi beklenmemektedir.

Nükleer santrallerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri uranyum çıkarma, yakıt hazırlama ve kullanılan yakıtın yeniden işlenmesi, depolanması, bertaraf edilmesi ile ekonomik ömrü biten santralin sökülmesi sırasında ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu santrallerin yatırım maliyeti yüksek, tesis süresi uzundur. O nedenle finansman bulmak güçtür, nükleer tesis için özel imalatçı-ihracatçı finansmanı sağlanması gerekmektedir. Özel malzeme ve deneyimli işletme personeli gerektiren tesisin yüksek işçilik maliyetini geri kazanmak için teknolojisini transfer etmek akılcı bir yoldur. Ancak teknoloji transferi ve imalat tesisleri için de bir ön yatırım yapmak gerekir.

Bugüne kadar birincil yerli termik ve hidrolik potansiyelimizin tamamı elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılsa bile 2010 yılına gelmeden talebin karşılanması mümkün olmayacaktır. Bu nedenle enerji talebini karşılayabilmek için nükleer enerji kullanılması gerekecektir.

Bugünkü verilere göre üretim sisteminde 2010 yılına kadar % 4 ve 2020 yılına kadar % 11 oranında paya sahip olacak olan nükleer santrallerin ilkinin 2005 yılında işletmeye girmesi öngörülmekte olup, inşa süresi gözönünde tutularak 1993 yılı yatırım programına alınmış ve 17 Aralık 1996 tarihinde ihaleye çıkmıştır. Daha sonra 1997 yılında tekliflere açılan proje 1998 yılında değerlendirmeye alınmıştır.

Fosil yakıtla çalışan elektrik santrallerinde gerekli tedbirler alınmadığı takdirde, insan hayatını ve doğal dengeyi tehdit eden bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıt kullanan termik santrallerin çevreye olan olumsuz etkilerini sera etkisi, asit yağmurları ve ozon delikleri oluşması gibi sıralayabiliriz .

Termik santrallerden kaynaklanan SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi atıkların sebep olduğu çevre kirliliği ve global ısınma dünyanın ekolojik dengesini bozmaktadır. Burada SO<sub>2</sub> emisyonlarının oluşumunda en büyük pay kömüre, NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumunda ise petrole aittir. Ülkemizdeki birçok santralin hava kontrol yönetmeliği çıkmadan önce yapılmış olması ve teknolojisinin eski olması neticesinde çoğuna baca gazı arıtma tesisinin yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu da termik santrallerin birim tesis maliyetini %11- % 20 oranında artırdığı belirtilmektedir. Ayrıca enerji planlamamızda esas alınan yerli kaynakların öncelik hakkından dolayı rehabilitasyon çalışmaları başlamıştır.

Bu santrallerde düşük kalorili, kül oranı, kükürt oranı ve nem oranı yüksek linyit rezervlerinin kullanılması sonucunda baca gazı arıtma tesisi harcamaları ( yatırım ve işletme ) yüksek olacaktır. Santrallerin bütün bu arıtma tesislerine rağmen çok büyük miktarlarda giderilemeyen ve sera etkisine neden olacak CO<sub>2</sub> ve çevre sorunlarına neden olacak kül-curuf ve alçıtaşı atıkları vardır.

Termik santrallerimizde yüksek kalorili, kül oranı, kükürt ve nem oranı düşük ithal kömür kullanılmasıyla istenilen emisyon değerlerine ulaşılabacaktır. Santralin yakacağı kalitede kömür rezervimiz olmadığından kömür ithal edilmediğinde ithal kömürlü santraller çalışmayacaktır. Bu nedenle; santralin ömrü boyunca, uzun süreli yakıt ithali ve taşıma anlaşmaları yapmak gerekmektedir.

Hızlı bir şekilde gelişmekte olan ülkemizde termik santrallerin planlanmasında ve işletilmesinde enerji-ekonomi-çevre ilişkilerinin optimum noktasının bulunmasıyla daha verimli ve ucuz enerji elde ederken çevreyide korumuş oluruz.

Ülkemizin enerji üretiminde önemli bir payı bulunan bir diğer yerli enerji kaynağımızda hidroelektrik enerjidir. Hidroelektrik santrallerin birim üretim maliyetinin

düşük olması ve dış yatırım oranının az olmasından dolayı öncelikli olarak kurulması tercih edilmektedir.

Hidroelektrik enerji bilinen enerji teknolojileri içinde çevresel riski en az olan sistem olarak kabul edilmektedir. Her ne kadar toplumsal risk açısından meydana gelen hidroelektrik santral kazası neticesinde nükleer enerjiden daha tehlikeli gibi bir sonuç çıkarılsada hidroelektrik enerji kazalarının etkilerinin sınırlı bir bölgede gerçekleştiği ve etkilerinin nesilden nesile geçmediği unutulmamalıdır. Ancak, yenilenebilir kaynaklardan sayılan hidroelektrik enerjinin de doğal ve sosyo-ekonomik çevre etkileri mevcuttur..

Hidroelektrik santrallarda kapasite kullanımı arttıkça birim tesis maliyeti ve ona bağlı olarak birim üretim maliyetleri artacaktır. Genellikle elektrik enerjisi tüketim merkezlerinden uzakta ( doğu ve güney-doğuda ) olan hidroelektrik santrallarının, iletim maliyetleri ve baraj gölü alanı nedeni ile de istismak basrafları yüksektir. Santral yapım aşamasında su altında kalan arazinin niteliğine, büyüklüğüne bağlı olarak yapılan kamulaştırma neticesinde göç olayları yaşanmaktadır.

Hidroelektrik santralların çevresel etkilerinden bazıları baraj yapımı nedeni ile çok büyük miktarda alanın sular altında kalacağından ormanların kesilmesi, tarım alanlarının kullanılamaz olması, bazı canlı türlerinin yok olması ve yağış rejiminin değişmesiyle ekolojik dengenin etkilenmesidir.

Bütün çevre önlemleri alındığı varsayılarak kömüre dayalı termik, nükleer ve hidroelektrik enerji üretim tesisleri karşılaştırıldığında hidrolik tesislerin yine en temiz teknoloji olduğu, bunu sırası ile nükleer ve termik santralların izlediği görülür. Ancak, kaynak planlaması yapılırken bu tesislerin talebi karşılamadaki payı, yapım süreleri ve ömürleri etkili olmaktadır. Ülkemizin enerji politikasında mümkün olduğu kadar yerli kaynakların kullanılmasına ağırlık verilmeli, çevre bilinci- doğal kaynak- ekonomi ilişkisinde optimum noktanın bulunması, dışa bağımlılığın azaltılabilmesi için gerekli teknoloji transferinin yapılması gerekmektedir.

**KAYNAKLAR**

Aybers, N., Bayülken, A., " Sağlık ve Güvenlik Bakımından Enerji Sistemleri İçinde Nükleer Enerjinin Yeri ", Türkiye 7. Enerji Kongresi, Enerji ve Çevre Cilt V, 3-8 Kasım 1997

Black & Veatch , Power Plant Engineering , Chapman edition, New York, 1996

Bayraktar, N., " Dünyada Nükleer Enerji ", Çevre ve Enerji Kongresi, 5-7 Haziran 1997, Ankara

Bekdemir, Ş., " Elektrik Üretimi ve Çevre ", 10.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 6-8 Eylül 1995, Gazi Üniversitesi M.M.F., Ankara

Biröl, F., " Küresel Enerji Talebi ", Türkiye 7. Enerji Kongresi Enerji Politikaları ve Planlama ; Cilt I , 1997, Ankara

Calvert, S., England, M.M., " Handbook of Air Pollution Technology ", Wiley Interscience Publication, John Wiley Sons, New York, 1984

Doğan, M.Z., Özbayoğlu, G., Hiçyılmaz, C., ( 1985 ) " Bacterial Leaching Versus Bacterial Conditioning and Floattation in Desulphurisation of three Caols ", International Symposium on Bio Hydrometallurgy, 165-170, 1985.

Durmaz, A., "Uluslararası Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Sempozyumu " , 23 - 25 Eylül 1987, Gazi Üniversitesi, Ankara

Durmaz, A., Ercan, Y., Doğu, G., Çulfaz, M., " Baca Gazı Desülfürizasyon Proseslerinin Genel Değerlendirmesi ", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, 10-12 Haziran 1991, Ankara

Gülay, Y., Ark, " Enerji Üretiminde Çevre Sorunları ve Nükleer Enerji " Türkiye 5. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği No:4, 1990

Kadıoğlu, S., " Termik Santraller İçin Kontrol Sistemleri " T.C. Çevre Bakanlığı, 1995

Kökçam Z., Türkeş M., Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği 2, Elektrik Santralleri, Enerji ve Çevre, 306-320, İzmir, 1994

Krishna, M., " Air Pollution and Control " Kakinada, A. P.,Kaushal & CO., India 1995

Kural, O., Akgün, H., Ekinci, E., " Briquetting of Konya Ermenek Lignite of Turkey ", Fuel Processing Technology V-22, 87-95, 1989

Lamarsh, J.R., " Introduction to Nuclear Engineering " Addison-Wesley publishing, California, 1983

Müezzinoğlu, A., " Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları ", D.E.Ü., İzmir ,1987

Nevers, N., Air Pollution Control Engineering, McGraw-Hill edition, 1995

Özgürel, B., Egeli, S., " Kombine Çevrim, Yüksek Verim ", Türkiye 6. Enerji Kongresi Tebliği, İzmir, 1994

Raymond, J.D., Pennsylvania USA, David, C.H., Texas USA, " Comparison of Lime and Limestone Processes in Flue Gas Desulphurisation Systems "

Sarıkaya, B., Kayrancı, S., Bekar, K., " Nükleer Yakıt Çevrimi, Nükleer Enerji ve Çevre", Çevre ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı, 5-7 Haziran 1997, Ankara

Stultz, S.C., Kitto J.B., EDS. " Steam : Its Generation and Use " Babcock and Wilcox Company, New York, 1992

Tekin, A., Ekinci, E., " Sulphur in Turkish Lignites and Possible Remedies ",  
International J. of Env. Studies, V: 34, 105 - 114,1989

Turaliođlu, S., Tokgöz S., " İklim Değişikliğine Sebep Olan Gazlar ve Dünya Üzerindeki  
Etkileri ", Türkiye 6. Enerji Kongresi, İzmir, 1994

Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi ( TEAŞ ) " 3 x 210 MW Yatağan Termik  
Santralı Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi , 1994 "

Yalçın, E.," Enerji Tasarrufunun Çevre Üzerindeki Etkileri " Çevre ve Enerji Kongresi  
Bildirileri Kitabı, 5 - 7 haziran 1997, Ankara

Yılmaz, Ö., " Radioactivity in Atmosphere " ,1989 ODTÜ Araştırma Çalışması

Yılmaz, Ö., " Hidroelektrik Enerjinin Çevresel Açından Diğer Enerji Sistemleri ile  
Karşılaştırılması ", Türkiye 6. Enerji Kongresi Tebliđleri, 1994, İzmir

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi	31.05.1974	
Doğum Yeri	Ankara	
Orta Okul - Lise	1985-1992	Türkiye Eğitim Derneği Ankara Koleji
Lisans	1992-1996	Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, Enerji Programı