İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BACA GAZINDAKİ DÜŞÜK SO_2' NİN KALSİNE DOLOMİT KULLANILARAK TUTULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan BAŞLAYICI

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Ercan AÇMA

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BACA GAZINDAKİ DÜŞÜK SO_2' NİN KALSİNE DOLOMİT KULLANILARAK TUTULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan BAŞLAYICI
(506121220)

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Ercan AÇMA

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121220 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Serkan BAŞLAYICI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"Baca Gazındaki Düşük SO_2' nin Kalsine Dolomit Kullanılarak Tutulması "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. M. Ercan AÇMA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç.. Dr. Fahir ATASOY
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2014**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin yönetimini üstlenen ve benden hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. M. Ercan Açma'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın kimyasal analizlerini büyük bir titizlikle yapan ve değerli bilgi birikimlerini benden esirgemeyen Kim. Müh. Z. İnci Kol'a çok teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanması, deneylerin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesinde yardımlarını benden esirgemeyen Y. Müh. Ahmet Turan'a, Y. Müh. Murat Alkan'a, , Dr. Müh. Mustafa Özer'e, Müh. Ozan Çoban'a, Müh. M. Levent Sipahi'ye teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Serkan BAŞLAYICI
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ ve AMAÇ **1**
2. TEORİK İNCELEMELER **3**
2.1 SO_2 ve Genel Özellikleri 3
2.1.2 SO_2' nin zararları 4
2.1.3 SO_2 emisyon değerleri 5
2.1.4 SO_2 giderme yöntemleri 8
2.1.5 SO_2 analiz yöntemleri 12
2.2 Dolomit ve Genel Özellikleri 14
2.2.1 Dolomit 14
2.2.2 Dolomitin kullanım alanları 15
2.2.3 Dolomit kalsinasyonu 16
2.3 Pirit ve Genel Özellikleri 17
2.3.1 Pirit 17
2.3.2 Piritin kullanım alanları 18
2.3.3 Piritin kavrulması 19
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **19**
3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Hammaddeler 19
3.2 Deneysel Çalışmalarda ve Karakterizasyonda Kullanılan Cihazlar 21
3.3 Deneylerin Yapılışı 23
3.3.1 Kavurma deneyleri 23
3.3.2 SO_2 tutma deneyleri 23
3.3.3 SO_2 analizi 24
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ **25**
4.1 Kavurma Deneyleri 25
4.2 SO_2 tutma Deneyleri 28
4.2.1 600 ^oC 1 lt/dk hava debisi ile yapılan deneyler 29
4.2.2 600 ^oC 0,8 lt/dk hava debisi ile yapılan deneyler 32
4.2.3 600 ^oC 0,6 lt/dk hava debisi ile yapılan deneyler 35
4.2.4 600 ^oC 0,4 lt/dk hava debisi ile yapılan deneyler 38
4.2.5 700 ^oC 0,4 lt/dk hava debisi ile yapılan deneyler 41
4.3 Sonuçların Değerlendirilmesi 44
5. GENEL SONUÇLAR **47**
KAYNAKLAR **49**
ÖZGEÇMİŞ **51**

KISALTMALAR

EPA : Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı

J. Amer. Chem. Soc. : Amerikan Kimya Birliği Bülteni

N : Bazın normalitesi

Ph : Power of hydrogen

S : Baz sarfiyatı (ml)

XRD : X-ray diffraction

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : SO_2'ye ait bazı özellikler 3
Çizelge 2.2 Yaygın olarak uygulanmakta olan baca gazı desülfürizasyon prosesleri 8
Çizelge 3.1 : Piritin kimyasal analizi 19
Çizelge 3.2 Dolomitin kimyasal analizi 21
Çizelge 4.1 Kavurma Deneyi 1 25
Çizelge 4.2 Kavurma Deneyi 2 25
Çizelge 4.3 Kavurma Deneyi 3 26
Çizelge 4.4 Kavurma Deneyi 4 26
Çizelge 4.5 Kavurma Deneyi 5 26
Çizelge 4.6 Kavurma Deneyi 6 26
Çizelge 4.7 Kavurma Deneyi 7 27
Çizelge 4.8 Kavurma Deneyi 8 27
Çizelge 4.9 Kavurma Deneyi 9 27
Çizelge 4.10 Kavurma Deneyi 10 27
Çizelge 4.11 Kavurma Deneyi 11 28
Çizelge 4.12 Kavurma Deneyi 12 28
Çizelge 4.13 SO_2 Tutma Deneyi 1 29
Çizelge 4.14 SO_2 Tutma Deneyi 2 30
Çizelge 4.15 SO_2 Tutma Deneyi 3 30
Çizelge 4.16 SO_2 Tutma Deneyi 4 31
Çizelge 4.17 SO_2 Tutma Deneyi 5 31
Çizelge 4.18 SO_2 Tutma Deneyi 6 32
Çizelge 4.19 SO_2 Tutma Deneyi 7 32
Çizelge 4.20 SO_2 Tutma Deneyi 8 33
Çizelge 4.21 SO_2 Tutma Deneyi 9 33
Çizelge 4.22 SO_2 Tutma Deneyi 10 34
Çizelge 4.23 SO_2 Tutma Deneyi 11 34
Çizelge 4.24 SO_2 Tutma Deneyi 12 35
Çizelge 4.25 SO_2 Tutma Deneyi 13 35
Çizelge 4.26 SO_2 Tutma Deneyi 14 36
Çizelge 4.27 SO_2 Tutma Deneyi 15 36
Çizelge 4.28 SO_2 Tutma Deneyi 16 37
Çizelge 4.29 SO_2 Tutma Deneyi 17 37
Çizelge 4.30 SO_2 Tutma Deneyi 18 38
Çizelge 4.31 SO_2 Tutma Deneyi 19 38
Çizelge 4.32 SO_2 Tutma Deneyi 20 39
Çizelge 4.33 SO_2 Tutma Deneyi 21 39
Çizelge 4.34 SO_2 Tutma Deneyi 22 40
Çizelge 4.35 SO_2 Tutma Deneyi 23 40
Çizelge 4.36 SO_2 Tutma Deneyi 24 41
Çizelge 4.37 SO_2 Tutma Deneyi 25 41
Çizelge 4.38 SO_2 Tutma Deneyi 26 42
Çizelge 4.39 SO_2 Tutma Deneyi 27 42
Çizelge 4.40 SO_2 Tutma Deneyi 28 43
Çizelge 4.41 SO_2 Tutma Deneyi 29 43
Çizelge 4.42 SO_2 Tutma Deneyi 30 44

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 A.B.D' deki SO_2 emisyon değerlerinin yıllara göre değişimi. 5
Şekil 2.2 : Bazı ülkelerdeki SO_2 emisyon değerleri 6
Şekil 2.3 : Bazı ülkelerdeki kişi başına düşen SO_2 emisyon değerleri 6
Şekil 2.4 : 1990-2010 yılları arası SO_2 emisyon değerleri değişimi. 7
Şekil 2.5 : Gaz-sıvı arakesiti 12
Şekil 2.6 : Piritin kübik yapısı 17
Şekil 2.7 : Piritin kavrulması akım şeması 18
Şekil 3.1 : Kullanılan pirit konsantresi 19
Şekil 3.2 : Küre pirit konsantre numunesinin XRD analizi sonuçları. 20
Şekil 3.3 : Kullanılan kalsine dolomit 20
Şekil.3.4 Thermo Fisher Scientific, Xseries 2 marka LA ve ICP-MS Sistemi 21
Şekil 3.5 deneylerde kullanılan tüp fırın 22
Şekil 3.6, Binder marka etüv cihazı 22
Şekil 3.7 Dwyer marka rotametre 23
Şekil 4.1 Dolomit-pirit sisteminin standart serbest enerji-sıcaklık durumu. 28
Şekil 4.2 Kavurma süresinin kavurma verimine etkisi 44
Şekil 4.3 Değişen hava debisi ile SO_2 tutma verimi arasındaki ilişki. 44
Şekil 4.4 Kavurma sıcaklığının SO_2 tutma verimine etkisi 46

BACA GAZINDAKİ DÜŞÜK SO_2' NİN KALSİNE DOLOMİT KULLANILARAK TUTULMASI

ÖZET

Gün geçtikçe sanayileşen ülkemizde Kükürt dioksit emisyonları ciddi sorunlar teşkil etmeye başlamıştır. Artan nüfusa bağlı olarak artan enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılan katı yakıtlar temel Kükürt dioksit emisyonunu arttırıcı kaynaklardır.

Kükürt dioksit emisyonlarını azaltmak için tüm dünyada ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle katı yakıt tüketerek enerji üreten sistemler ve orta-küçük ölçekli sanayi kuruluşları için kükürt dioksitin doğaya direk verilmesini önleyici sistemler geliştirilmektedir. Dünya genelinde kükürt dioksit emisyon değerleri düşüş eğilimi göstermekle birlikte ülkemizde bu eğilim görülememektedir.Bu yüzden Kükürt dioksit emisyon değerlerini düşürmek amacıyla çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Günümüzde Kükürt dioksit giderimi için pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. SO_2 gazı önemli bir sülfirik asit üretim hammaddesidir. Ancak ticari olarak SO_2 gazından sülfirik asit üretebilmek için baca gazların kükürt dioksit miktarının belirli bir limit değerin üzerinde olması gerekmektedir. Bu değer gaz bileşiminin yaklaşık yüzde altı ila sekizi arasında kükürt dioksit içermesini gerektirmektedir. Ticari olarak SO_2 üretimine uygun olmayan fakat ilgili kurumlarca belirlenen emisyon değerlerinin üzerinde SO_2 içeren çevreye ve insan sağlığına zararlı bu gazların filtrelenmesi gerekmektedir.

SO_2 giderimi bir başka değişle desülfürizasyon işlemi için kalsiyum oksit yada diğer bir adıyla sonmuş kireç en sık kullanılan sorbenttir. Bu çalışmada ise dolomitin nasıl sonuç vereceği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada ticari olarak sülfirik asit üretimi için kullanılamayacak ancak SO_2 emisyon değerleri yüksek baca gazlarındaki kükürt dioksidin yani düşük SO_2' nin giderilmesi için Kütahya Yaylababa dolomiti kalsine olarak kullanılmış ve SO_2' yi hangi verimle tuttuğu belirlenmiştir. Kükürt dioksit kaynağı olarak Küre Pirit konsantresi kullanılmıştır.

Kütahya Yaylababa dolomitinin ve Küre pirit konsantresinin minerolojik incelemeleri yapılmış tane boyutları belirlenmiş ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda dolomitin SO_2 tutma verimi belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda dolomitin son derece başarılı bir SO_2 tutucu olduğu gözlemlenmiştir. Hangi şartlarda çalışan sanayi tesislerinde kullanılabileceği öngörülmüştür. Literatürde yer alan ve öngörülen değerler göz önüne alındığında verimler açısından Kütahya Yaylababa dolomiti son derece başarılı bir sorbent olarak görülmektedir.

FLUE GAS DESULPHURISATION BY USING CALCINED DOLOMITE

SUMMARY

With each passing day, SO_2 emissions has began to pose serious problems in our industrialized country. Nowadays, there are many different methods have been used for the removal of SO_2.The SO_2 gas is an important raw material for production of sulfuric acid. However, to commercially produce sulfuric acid from SO_2 gas, the SO_2 amount of flue gas is required to be above a given limit value. The gases, that are not suitable for commercial production of SO_2 and their emission values are higher than the amount determined by related societies, are harmful to the environment and human health has to be filtered.

Experimental measurements of the reaction of sulfur dioxide and oxygen with dolomite have demonstrated substantial influence of the geologic origin of the stone, its porosity and particle size, gaseous concentration of sulfur dioxide, and temperature on the course of reaction and the conversion (that is, the degree of utilization of the limestone content of the particles as a sorbent for sulfur dioxide). A mathematical model including intraparticle transport and chemical reaction within the particles (grain theory) has been developed to simulate this sulfur dioxide sorption reaction.

There is a growing awareness of atmospheric pollution bu sulfir oxides in power plant stack gas and massive effortsare being made in many parts of the world to develope suitable process for controlling them. The removal of sulfur dioxide from flue gas by intecting pulverized dry limestone into the was first tried by Wickert about 1960' s in Germany in a plant scale test. Since then the numerous numbers of investigators tried that with different ways with different sorbents respectively. The results obnained with these studies ranged from ten percent to eighty percent sulfur dioxite removal with different ratio of stoichiometric amount of limeston – dolomite to sulfur dioxide.

As a first step in determining the applicability of this method, it was decided to asses the sulphure oxide sorption charesterictics of several local limestone and dolomite. There are many diffirent possible applications for this study. The sorbent injection process can be applied intermittenly with a minimum of capital investment for partial desulfurization of flue gas.

Kutahya Yaylababa dolomite is the best option for this process and it gives us way better result beyond our imaginations. For the Kure pyrite concntrate is choosen for using as sulfur dioxid source.

Sulfur dioxide is primarily produced for sulfuric acid manufacture. In the United States in 1979, 23.6 million tonnes of sulfur dioxide was used in this way, compared with 150 thousand tonnes used for other purposes. Most sulfur dioxide is produced by the combustion of elemental sulfur. Some sulfur dioxide is also produced by roasting pyrite and other sulfide ores in air.

Sulfur dioxide is an intermediate in the production of sulfuric acid, being converted to sulfur trioxide, and then to oleum, which is made into sulfuric acid. Sulfur dioxide

for this purpose is made when sulfur combines with oxygen. The method of converting sulfur dioxide to sulfuric acid is called the contact process. Several billion kilograms are produced annually for this purpose.

Sulfur dioxide is sometimes used as a preservative for dried apricots, dried figs, and other dried fruits owing to its antimicrobial properties, and it is sometimes called E220 when used in this way. As a preservative, it maintains the colorful appearance of the fruit and prevents rotting. It is also added to sulfured molasses.

The mineral pyrite, or iron pyrite, also known as fool's gold, is an iron sulfide with the formula FeS_2. This mineral's metallic luster and pale brass-yellow hue give it a superficial resemblance to gold, hence the well-known nickname of fool's gold. The color has also led to the nicknames brass, brazzle, and Brazil, primarily used to refer to pyrite found in coal.

Pyrite is the most common of the sulfide minerals. The name pyrite is derived from the Greek πυρίτης (pyritēs), "of fire" or "in fire" in turn from πύρ (pyr), "fire". In ancient Roman times, this name was applied to several types of stone that would create sparks when struck against steel; Pliny the Elder described one of them as being brassy, almost certainly a reference to what we now call pyrite.

Pyrite is usually found associated with other sulfides or oxides in quartz veins, sedimentary rock, and metamorphic rock, as well as incoal beds and as a replacement mineral in fossils. Despite being nicknamed fool's gold, pyrite is sometimes found in association with small quantities of gold. Gold and arsenic occur as a coupled substitution in the pyrite structure. In the Carlin–type gold deposits, arsenian pyrite contains up to 0.37 wt% gold.

Sulfur dioxide (SO_2) is one of a group of highly reactive gasses known as “oxides of sulfur.” The largest sources of SO_2 emissions are from fossil fuel combustion at power plants (73%) and other industrial facilities (20%). Smaller sources of SO_2emissions include industrial processes such as extracting metal from ore, and the burning of high sulfur containing fuels by locomotives, large ships, and non-road equipment. SO_2 is linked with a number of adverse effects on the respiratory system.

Since its inception in 1990, the cap and trade component of the Acid Rain Program (ARP) has reduced SO_2 emissions from power plants by 10 million tons (more than 60 percent). The program is currently at full implementation, with a permanent cap on SO_2 emissions at 8.95 million tons, or about a 50 percent reduction from 1980 levels.

Acid rain is a rain or any other form of precipitation that is unusually acidic, meaning that it possesses elevated levels of hydrogen ions (low pH). It can have harmful effects on plants, aquatic animals and infrastructure. Acid rain is caused by emissions of sulfur dioxide and nitrogen oxide, which react with the water molecules in the atmosphere to produce acids. Governments have made efforts since the 1970s to reduce the release of sulfur dioxide into the atmosphere with positive results. Nitrogen oxides can also be produced naturally by lightning strikes and sulfur dioxide is produced by volcanic eruptions. The chemicals in acid rain can cause paint to peel, corrosion of steel structures such as bridges, and erosion of stone statues.

The principal cause of acid rain is sulfur and nitrogen compounds from human sources, such as electricity generation, factories, and motor vehicles. Electrical power complexes utilising coal are among the greatest contributors to gaseous pollutions that are responsible for acidic rain. The gases can be carried hundreds of kilometers in the atmosphere before they are converted to acids and deposited. In the past, factories had

short funnels to let out smoke but this caused many problems locally; thus, factories now have taller smoke funnels. However, dispersal from these taller stacks causes pollutants to be carried farther, causing widespread ecological damage.

One of the greatest challenges faced in the energy conversion field is the problem of how extract energy from coal while causing a minimum damage to environment.

The major contaminant that must be removed from the coal is sulfur which in a conventional power plant is oxidized sulfur diokside SO_2 and removed from the flue gaz in a flue gas desulfurization process.

Calcium based sorbents for sulfur removal have been the subject of exteremely large number of publications in last 30 years.

In this study, calcinated Kütahya Yaylababa dolomite had used to remove SO_2 in flue gas which has a high SO_2 emission value, but gases can not be use for production of sulfuric acid means low SO_2. Then ratings of holding SO_2 are determined. Sphere Pyrite used as a source of SO_2 then SO_2 removal efficiency of dolomite were determined.

This studies obtained datas show us calcined Yaylababa dolomite can remove more than seventy percent of sulfurdioxide. Also obtained datas show us increacing temperature 600 ^{0}C to 700 ^{0}C not has significant affect of sulfur dioxide removal efficiency of calcined dolomite. On the other hand decreacing of air flow rate has vital affact on sulfur dioxide removal efficiency of calcined dolomite. With lower flow rate calcined dolomite can absorb nearly seven percent more sulfur dioxide.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Teknolojik gelişmeler ve sanayinin gelişmesi ile birlikte insanların enerji ihtiyaçları artmaktadır. Artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için genellikle kükürt içeriğine sahip yakıtlar kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarakta doğaya kirletici gaz salınımı artmaktadır.

Baca gazlarında bulunan SO_2, NO_X, CO, CO_2, HC gibi gazlar genel olarak hava kirletici gazlar olarak tanımlanmaktadır. Bu kirleticiler insan, bitki ve hayvan yaşamına, çevre kalitesine ve kişisel veya ticari eşyalara zarar vermektedir [1].

Gaz halindeki kirleticiler arasında yanıcı olmayan renksiz bir gaz olan kükürt oksitler en çok bilinen birincil hava kirleticilerdendir. Atmosferde kalıcılık süresi 40 günü bulmaktadır. Çoğunlukla fosil yakıtların yanması sonucunda meydana gelirler. Antropojenik kükürt oksitlerin %80'inden fazlasının endüstriyel kaynaklardan meydana geldiği tahmin edilmektedir [2].

Ticari olarak sülfürik asit üretimi için yeterli SO_2 içeriğine sahip olmayan, ancak doğaya direk salınması halinde geri dönüşü olmayan ciddi zararlara sebep olabilecek SO_2 içeren baca gazlarının filtrelenmesi gerekmektedir.

Baca gazındaki SO_2'yi gidermek için kullanılan geleneksel yöntemlerde CaO, $CaCO_3$, MgO ve $MgCO_3$ sıklıkla kullanılmaktadır.

Birleşiminde %50'den fazla $CaCO_3$ bulunduran, kimyasal, biyokimyasal veya detritik çökelimli sedimanter kayaçlara, kireçtaşı, magnezyum oranları yüksek olan kireçtaşlarına da dolomit denilmektedir. Ticari olarak iyi kalite bir dolomitin %20 oranında MgO ihtiva etmesi gerekir [3].

Çalışmamızın amacı baca gazındaki düşük SO_2' nin yani ticari olarak sülfürik asit üretimi için kullanılamayacak olan SO_2' nin kalsine dolomit (CaO.MgO) kullanılarak hangi oranlarda tutulabileceğini belirlemektir. Bu kapsamda farklı hava debileri ve sıcaklıklarda dolomitin SO_2 tutma verimleri belirlenmiştir.

2. TEORİK İNCELEMELER

2.1 SO_2 ve Genel Özellikleri

Kükürt dioksit renksiz, ekşi kokulu, yanmaz, boğucu bir gazdır. Atmosferdeki konsantrasyonu 785 µgr/m^3'e ulaştığında tadı, 1305 µgr/m^3'e ulaştığında kokusu algılanır. Kükürt dioksit volkan gazlarında ve fabrikaları fazla olan şehirlerin havasında bulunur. Bu gaz kükürt içeren kömürlerin yanmasından oluşur. Bu gaz-10 ^oC'ye soğutulduğu zaman renksiz bir sıvı olarak yoğunlaşır. -73 ^oC'ye soğutulduğu zaman beyaz billur halinde yoğunlaşır. Kükürt dioksit suda oldukça fazla çözünür ve bu özelliğinden dolayı en çok sülfürik asit üretiminde kullanılır [4].

Kükürt dioksit, diğer hava kirleticileri ve fotokimyasal veya katalitik olarak kükürt trioksit, sülfürik asit veya sülfatları oluşturabilmektedir. Kükürt trioksit de nemli havada sülfürik asite dönüşmektedir [5]. SO_2'ye ait bazı özellikler çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Kükürdün sülfürik asite dönüşüm reaksiyonları eşitlik 2.1 ve 2.2'de gösterilmiştir.

$$SO_2 + ½\ O_2 \rightarrow SO_3 \qquad \textbf{(2.1)}$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \qquad \textbf{(2.2)}$$

Çizelge 2.1 SO_2'ye ait bazı özellikler [6].

Renk	Renksiz	
Koku	Yakıcı	
Molekül Ağırlığı (g/gmol)	64,063	
Kaynama Noktası (^0C)	-10	
Erime Noktası (^0C)	-72,7	
Buhar Basıncı (kPa)	10 ^0C	230
	20 ^0C	330
	30 ^0C	462
	40 ^0C	630

2.1.2 SO_2'nin zararları

SO_2'nin zararları 3 ayrı başlık altında ele alına bilir. Öncelikle SO_2 insan sağlığına zararlıdır. SO2'nin yüksek konsantrasyonları ile ilişkili olarak meydana gelen insan sağlığı sorunları, daha çok solunum sistemi üzerinedir, ayrıca mevcut kardiyovasküler hastalıkların agregasyonuna neden olur. Sülfür dioksit ve nitrojen oksit emisyonu kuru öksürük, astım, başağrısı, göz-burun ve boğaz irritasyonu gibi problemler için risk yaratır. Kirli yağışlar, özellikle astımı veya solunum güçlüğü olanlara zararlıdır. Fakat sağlıklı insanlar da asit hava kirleticileri tarafından akciğer hasarına uğrayabilirler [7].

Havadaki SO_2 konsantrasyonunun artması asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Asit yağmurarının hem çevreye ve ekosisteme hemde insan üretimi malzeme ve yapılara zararları bulunmaktadır.

Asit yağışları genellikle ormanları hemen ve direk öldürmez. Onlar daha çok, yapraklarına zarar vererek, kendileri için gerekli besinleri sınırlayarak ya da topraktan yavaşça salınan toksik maddelerle zehirleyerek zarar verirler.

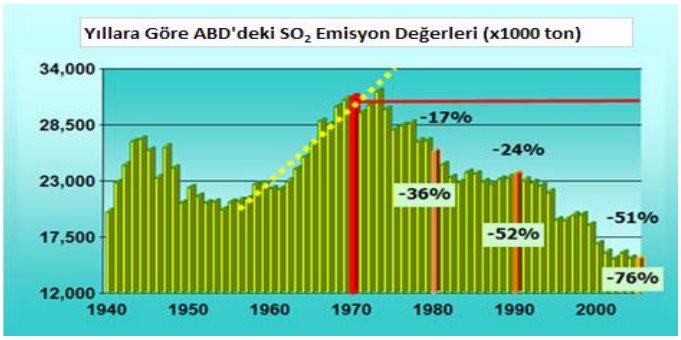
Yapraklar asitlerle sıkça yıkanırsa, koruyucu örtüler zarar görebilir, örtü kaybı ise yaprağın yapısının bozulmasına neden olarak, kahverengi noktalar ortaya çıkarır. Fotosentez yapan yapraklar hasarlandığında, yeterli yiyecek enerjisi üretemez. Ağaçlar bir kez zayıfladığında, muhtemelen kendilerini öldürecek olan hastalık veya böceklere ve soğuk havaya daha duyarlı hale gelirler. Asit yağışları olduğunda, asidik su toprakta mineralizasyona neden olmaktadır. Ca, K ve Mg gibi minaraller, ağaçlar ve diğer bitkiler tarafından büyümeleri için kullanılamadan uzaklara yıkanmaktadır. Bu minerallerin azalması da, bitki büyüme hızlarında azalmaya neden olur. Asidik su sadece besinleri bitkilerden uzaklaştırmaz, aynı zamanda kurşun, çinko, bakır, krom ve alüminyum gibi toksik maddelerin asidifiye olmuş toprakta daha mobil hale gelmesine yardım ederek bitki ve ağaç 6köklerine zarar verir ve Mg, K gibi diğer minerallerin bitkiler tarafından kullanılması ile de etkileşir. Asit yağışları, bu metalleri salar ve ağaçlarla diğer bitkilerin ve aynı zamanda ormanların büyümesi için gerekli olan yosunların, alglerin, nitrojen fixe bakterilerin ve mantarların büyümesini önler [7].

Asit yağışları nedeniyle; yer altındaki kurşun ve bakır boruları, kabloları ve asit su içindeki temellerde yapısal hasar oluşabilir, yüzeydeki bina, köprü ve arabalar hasarlanabilir, heykel ve taşlardaki oymalar, anıtlar özelliklerini kaybedebilir. [8].

Asit depozisyonu pek çok materyali değişik derecelerde etkiler. Kireçtaşı, mermer ve kumtaşı hassasken; granit bazlı taşlar, paslanmaz çelik ve alüminyum asidik bileşiklere daha dirençlidir. Duyarlı materyaller ise, karbon-çelik, nikel, çinko, bakır, boya, seramikler, bazı plastikler, kağıt, deri, kauçuk ve kumaşlardır. Asidik su, kireçtaşında kalsiyum fosfat oluşturmak üzere kalsiyumla reaksiyona girerken; demire ilave bir proton verip ona pozitif şarj yükleyerek etkileşir. Bu konuda yapılmış olan çeşitli araştırma sonuçlarına göre, nitrojen oksit sülfür dioksitle birlikte bulunduğunda, insan ürünlerinin bozulma hızı artmaktadır. Ayrıca, tarihi binalar yapıları nedeni ile modern binalara göre asit yağışlarına daha duyarlıdırlar [7].

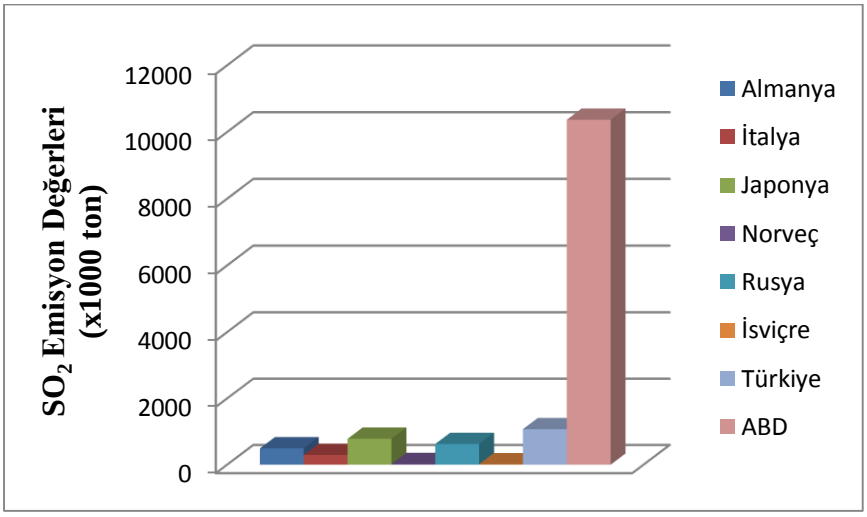
2.1.3 SO_2 emisyon değerleri

SO_2 emisyon değerleri ülkelere göre değişmektedir. Ancak her geçen yıl bu değerler çok daha düşük seviyelere çekilmeye çalışılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere pek çok ülke uluslararası anlaşmalara inza atarak SO_2 emisyon değerlerini her geçen yıl bir kademe daha aşağılara çekmeye çalışmaktadır. Özellikle 1900'lerin başlarından 1970'li yıllara kadar bu değerler üzerine eğilinmemiş ve her geçen yıl artmıştır ancak 1970'li yıllardan itibaren her geçen yıl bu değerler aşağılara çekilmeye başlanmıştır. Şekil 2.1'de Amerikadaki SO_2 emisyon değerlerinin yıllara göre değişimi görülmektedir. EPA 1970 yılından 2006 yılına kadar bu değerleri yıllık 31milyon tondan 15 milyon ton düzeyine indirmek için çalışmıştır [9].

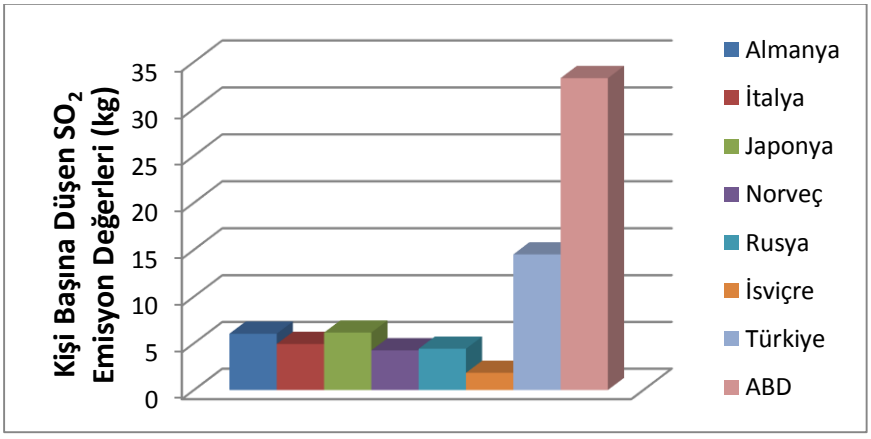


Şekil 2.1 A.B.D' deki SO_2 emisyon değerlerinin yıllara göre değişimi [9].

Şekil 2.2'de bazı ülkelerdeki 2010 yılına ait SO_2 emisyon değerleri verilmiştir. Bu değerlere göre ABD'de SO_2 emisyonları açısından EPA'nın çalışmalarının tam olarak yeterli olmadığı görülmektedir. Ancak sadece SO_2 emisyon değerlerine bakmak bir kriter değildir. Şekil 2.3'te kişi başına düşen SO_2 emisyon değerleri görülmektedir.



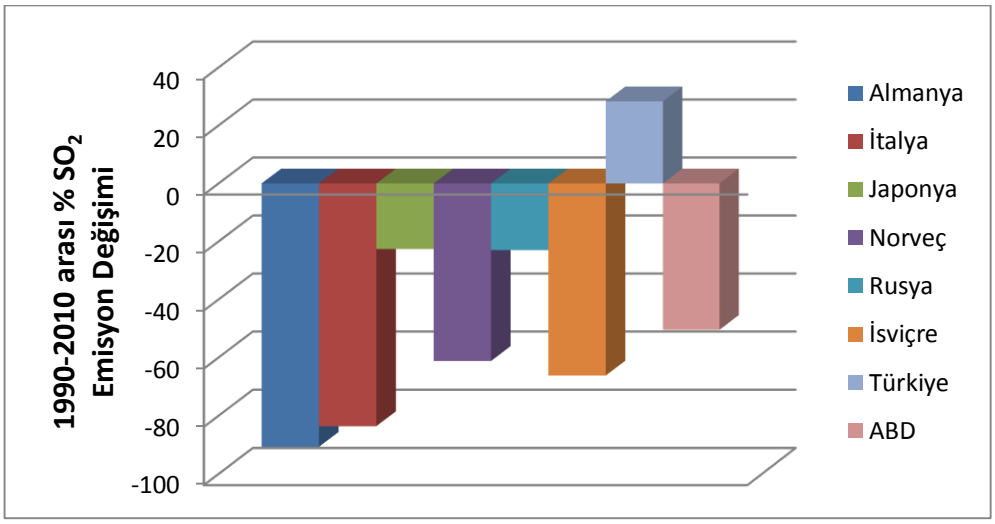
Şekil 2.2 Bazı ülkelerdeki SO_2 emisyon değerleri [10].



Şekil 2.3 Bazı ülkelerdeki kişi başına düşen SO_2 emisyon değerleri [10].

Şekil 2.3'tende görülebileceği üzere ABD kişi başına düşen SO_2 emisyonu açısından en yüksek değere sahiptir.Türkiye hem şekil 2.2'ye göre hemde şekil 2.3'e göre SO_2 emisyonları açısından çalışmalar yapmaya devam etmek zorundadır.

Şekil 2.4'te Bazı ülkelerin 1990-2010 yılları arası SO_2 emisyon değerlerindeki yüzdece artma ve azalma gösterilmiştir. Burada Türkiyede bu değerlerin arttığı görülmekte diğer ülkelerde ise azaldığı görülmektedir.



Şekil 2.4 1990-2010 yılları arası SO_2 emisyon değerleri değişimi [10].

Bunun sebeplerinden biride Türkiyede sınır değerlerin Avrupaya göre daha yüksek olması gösterilebilir.

Avrupa birliğindeki sınır değerler:

1 saatlik değer: 350µg/m3 (senelik aşılması müsaade edilen değer: 24 defa)

24 saatlik değer: 125 µg/m3 (senelik aşılması müsaade edilen değer: 3 defa)

Türkiye'deki sınır değerler:

1 saatlik değer: 900 µg/m3

24 saatlik -değer: 340 µg/m3

Yıllık ortalama: 150 µg/m3

İlerleyen süreçte Türkiye'nin de Avrupa Birliği stardartlarını yakalaması hedeflenmektedir.

2.1.4 SO_2 giderme yöntemleri

Baca gazındaki SO_2'nin giderilmesi amacıyla 200'ün üzerinde yöntem geliştirilmiştir. Bu proseslerin bir kısmı ekonomik ve teknik nedenlerle bırakılmış,bir kısmıda halen uygulamaya geçmemiş araştırma geliştirme aramasındadır[11]. Bu prosesler ıslak ve

kuru olmak üzere 2 grupta incelenebilir. Çizelge 2.2'de yaygın olarak kullanılan baca gazı desülfürizasyon prosesleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Yaygın olarak kullanılan baca gazı desülfürizasyon prosesleri [12].

Proses	**Aktif Madde**	**Ürün**
Islak Sistemler		
Kireçtaşı	$CaCO_3$	$CaSO_3$ / $CaSO_4$
Kireç	$Ca(OH)_2$	$CaSO_3$ / $CaSO_4$
Çift Alkali	Na_2SO_3	$CaSO_3$ / $CaSO_4$
Sodyum Karbonat	Na_2CO_3 /Na_2SO_3	$CaSO_3$ / $CaSO_4$
Mag-Ox	MgO	SO_2
Wellman-Lord	Na_2SO_3	H_2SO_4
Kuru Sistemle		
Kireçtaşı	$CaCO_3$	$CaSO_4$
Kireç	$Ca(OH)_2$	$CaSO_4$
Trona	(Na_2CO_3- $NaHCO_3$)	Na_2SO_4
Püskürtmeli Trona	Kireç, Kireçtaşı, soda (trona)	Kuru $CaSO_3$ veya $NaSO_3$

Tüm kuru giderme prensipleri küçük tanecik boyutunda gözenekli sorbentlerin ($CaCO_3$, $Ca(OH)_2$, $Mg(OH)_2$) eklenmesi esasına dayanır. Bu sorbentler yakıtla birlikte, ikincil hava ile veya alev bölgesinin üstünde yakma kamarasına verilmektedir.$CaCO_3$ veya $Ca(OH)_2$ 'in yanma kamarasına atılması durumunda ($T>750^oC$) CaO elde edilmekte, daha sonra 750-1150^{o}C aralığında CaO ile SO_2 reaksiyona girerek ürün olarak $CaSO_4$ oluşmaktradır. Bunun yanında klor ve flor da ayrılabilmektedir. Yanma kamarasının sıcaklığı 1200^{o}C'nin üzerine çıktığında sinterleşme etkisi gözlendiğinden kuru madde ilavesi ile kükürt giderimi genellikle düşük sıcaklıkta yakma sistemlerinde (akışkan yatak) uygulanmaktadır. Kirleticilerin yanma ortamında tutulma derecesi, tane biçimi, büyüklüğü, kül özelliği ve kömür katkı maddelerine, ızgara özelliği ve yakma biçimine, cüruf alma özelliğine, yanma odası sıcaklığı ve diğer tasarım ve işletme parametrelerine bağlıdır[13,14].

Linyit kömürünün yakıldığı buhar üreten tesislerde Ca/S=3 için % 75 oranında kükürt giderimi, taşkömürünün yakıldığı buhar üreten tesislerde ise kuru sorbentlerin sıcak alev bölgelerinin dışında eklenmesi ile Ca/S oranı 2,3 ve 4 iken sırasıyla % 40, % 60 ve % 80 kükürt giderimi sağlanabildiği belirtilmektedir[12]..

Giderme sonucu oluşan sülfat-sülfit ve yüksek miktarda CaO içeren ürün karışımı, kısmen çimento fabrikalarında hammadde olarak kullanılabilmekte, kısmen de inert kısımları giderilmedikçe ticari bir değer taşımadığından ikinci bir muameleye tabi tutulmak üzere depolanmaktadır.

Kireçtaşı ve dolomit enjeksiyon yönteminin en büyük avantajı, mevcut kazanlara uygulanabilirliği ve yatırım/işletme masraflarının düşük olmasıdır. (yatırım maliyeti 25-120 $/kW; (512-812 $/ton SO_2)). Ancak bu yöntemle, SO_2 tutma veriminin % 50 gibi düşük değerlerde olması bir dezavantajdır [12].

Akışkan yatak, SO_2'in yanma odasında kireçtaşı ile tutulabileceği uygun bir ortam oluşturduğu için, düşük kaliteli kömürlerin akışkan yataklı kazanlarda uygun biçimde yakılması enerji ekonomisi ve çevre kalitesinin korunması yönünden avantajlı görülmektedir. Isı kapasitesi 50 MW'a kadar olan kazanlarda sabit akışkan yatak, 50 MW'ın üzerinde olan tesislerde ise dolaşımlı akışkan yatak kullanılmasının uygun olacağı, ticari nitelikte bu yöntemin uygulanmasıyla % 90'ın üzerinde SO_2 giderimi sağlanabildiği belirtilmektedir [15].

Kireçtaşı ve kireç baca gazı desülfürizasyon prosesleri pek çok yönden benzerdir. Kireçtaşı prosesinde absorplayıcı (reaktif) madde olarak kireçtaşı bulamacı; kireç prosesinde ise kireç bulamacı kullanılır. Ancak, kireçtaşının kullanımı kireç çamurlarını hazırlamada kullanılan farklı besleme hazırlık teçhizatı ve diğer farklılıkları gerektirir. Örneğin; kireçtaşı prosesi, absorplayıcı maddesi kireçten daha az reaktif olduğundan daha yüksek bir sıvı/gaz (L/G) oranı gerektirir. Ayrıca, reaktördeki bekleme süresi kireç prosesinde daha kısadır ve reaktöre beslenen kireç dozunun stokiyometrik oranı daha düşüktür.

Kireçtaşı prosesinde toplam net reaksiyon eşitlik 2.3'te gösterilmiştir.

$$CaCO_3(k) + SO_2 + 1/2H_2O + O_2 \rightarrow CaSO_3.1/2H_2O(k) + CO_2(g) \qquad \textbf{(2.3)}$$

Absorber'in içinde kabuk teşekkülünü minimize etmek için $CaSO_3.1/2H_2O$ çökeleğinin çözünmesi gereklidir. Kısmi basıncı 0.12 atm kabul edilirse, yukarıdaki denge reaksiyonları için denge durumundaki pH 6.3 olarak bulunabilir [1]. Dolayısıyla, ıslak arıtıcıda $CaSO_3.1/2H_2O$ çökeleğinin mümkün olduğu kadar fazla çözünmesini sağlamak için pH'ın 6.3 altında tutulması gerekir. Absorber'dan reaktöre

beslenen bulamacın pH'sı yaklaşık 3.5'dir. Islak arıtıcıdan çıkan çamur bir reaktöre (bekleme tankına) alınır. Burada bekleme süresi yaklaşık 10 dakika olup, çökelme reaksiyonlarının oluşumu sağlanır. Kireçtaşının ilavesi reaktörün pH'ını 5.2-6.2 arasında tutar. Yaklaşık % 90 oranında su ve %10 oranında katı madde içeren bulamaç tekrar absorpsiyon kulesine geri pompalanır. Bir kısmı da çamur yoğunlaştırıcıya (çöktürücü) pompalanır. Tipik bir çamur işleme sistemi, yoğunlaştırma, susuzlaştırma, katılaştırma ve nihai uzaklaştırma için çamurun başka bir yere taşınması aşamalarını içerir. Yoğunlaştırıcılar genellikle çökeltme için kullanılır ve burada katı-sıvı ayırımı gerçekleşir. Süzüntü suları reaktöre geri gönderilir ve kısmen suyu alınmış çamur daha fazla susuzlaştırma için vakum filtrelere gönderilir. Vakum filtrelerde yaklaşık %60 katı içeren susuzlaştırılmış kek bir katılaştırma tankına gönderilir ve daha sonra içerisine uçucu kül ilave edililerek çamur fiziksel ve kimyasal olarak stabilize edilir. Burada stabilize edilen çamur nihai uzaklaştırma sahasına verilir [12].

Kireçle desülfirizasyon prosesi, kireçtaşı prosesi ile hemen hemen aynıdır. Sadece kireç'in çözünmesi kireçtaşına göre daha kolay ve hızlıdır.

Kireç desülfürizasyonunda reaktördeki pH 12.8'in altında tutulmalıdır. Kireç prosesinde Toplam Net Reaksiyon eşitlik 2.4'te gösterilmiştir.

$$Ca(OH)_2\,(k) + SO_2 + H_2O + 1/2\,O_2 \rightarrow CaSO_3.1/2H_2O\,(k) + 1/2H_2O\ [14] \quad \textbf{(2.4)}$$

Asidik bir gaz olan SO_2'nin alkali karakterde sıvılara absorplanması amacıyla Na bileşikleri içeren veya, NH_3 gazı verilmiş ve NH_4 iyonları içeren absorpsiyon sıvılarının kullanıldığı teknikler geliştirilmiştir. Bu yöntemle yapılan sistemler ekonomik nedenlerle rejenerasyona ihtiyaç gösteren ve dolayısıyla katı atık sorunu bulunmayan sistemlerdir. Her iki sistemde de yan ürünler (Na_2SO_4 ve $(NH_4)_2SO_4$) sözkonusudur. Na ile arıtmanın (genellikle NaOH veya Na_2SO_3 çözeltileri ile) NH_3'lı arıtmaya göre avantajı, sodyumun kolay gaz haline geçmeyen katyon olmasıdır. Tüm NH_3'lı ıslak arıtma sistemlerinde gaz oluşumu (çıkışı) bir problemdir. Ancak, NH_3'lı sistemlerde elde edilen $(NH_4)_2SO_4$, gübre olarak pazarlanabilen bir üründür. Böylece NH_3'lı sistemler Na'lı sistemlere karşı üstünlük sağlamış olurlar.

En gelişmiş Na bazlı tek alkali yıkayıcı sistem Davy/Welman-Lord prosesidir. Bu proseste, özellikle kükürt oranı yüksek yakıtlarla çalışan termik santrallarda baca

gazlarının arıtılmasında kullanılan, yan ürün olarak sıvı SO_2, H_2SO_4 veya saf kükürt veren bir prosestir. İlk uygulama alanları H_2SO_4 fabrikaları, rafineriler ve fuel-oil ile çalışan santrallerdir. Daha sonraları taş kömürü ve linyit yakan santrallara da uygulanmaya başlanmıştır. Proses teknolojik açıdan karmaşıktır.

Bu proseste SO_2 absorplamak için kapalı devreye NaOH veya soda (Na_2CO_3) eklenirse de, asıl aktif madde Na_2SO_3'tir. Desülfürizasyonda gaz buharındar SO_2 absorplandığı için $NaHSO_3$ oluşur.Reaksiyon eşitlik 2.5'te gösterilmiştir.

$$SO_2 + Na_2SO_3 + H_2O \rightarrow 2\ Na_2HSO_3 \qquad \textbf{(2.5)}$$

Daha sonra sodyum sülfit, bir evaporatör-kristallizör sisteminde, ısı verilmek suretiyle rejenere edilir. Bu işlem sonucunda ürün olarak konsantre (%90) SO_2 çıkar ve rejenere edilen Na_2SO_3 tekrar absorplama kulesine tekrar geri gönderilir. Bu reaksiyon eşitlik 2.6'da gösterilmiştir.

$$2\ NaHSO_3 \rightarrow Na_2SO_3(k) + H_2O + SO_2\ (g) \qquad \textbf{(2.6)}$$

% 90'lık konsantrasyondaki SO_2 buharı , başka bir tesiste Claus prosesi ile kükürt eldesi için kullanılabilir. Daha sonra kükürtden H_2SO_4 elde edilebilir [12].

2.1.5 SO_2 analiz yöntemleri

Havadaki SO_2'nin analiz edilmesi yerinde örnekleme yöntemiyle sensörler yardımıyla ölçülebildiği gibi ektraktif örneklemeylede ölçülebilmektedir [16]. SO_2 bir sıvı içinde tutularak ayrılır. Oluşan kompleks titrimetrik, kondüktometrik, spektrofometrik yöntemlerden biriyle analiz edilir.

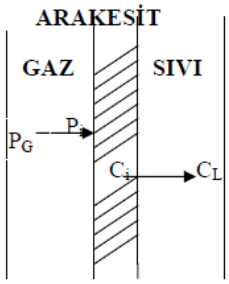
Absorpsiyon, gaz halindeki kirleticilerin bir çözücü sıvı içerisine transfer edilerek giderilmesi prosesi olup; hava kirliliği çalışmalarında, kirletici gaz miktarının tesbitinde ve bacagazı gideriminde en yaygın kullanılan metodlardan biridir. Bu prosesde kirli gaz akımı bir sıvı içerisinden geçirilerek gaz bileşeninin sıvı içerisinde tutulması sağlanır ve daha sonra temizlenen gaz ve kirlenmiş sıvı fazlar birbirinden ayrılır.

Absorpsiyon prosesi temelde adsorpsiyon prosesine benzemekle birlikte absorpsiyonda yakalayıcı faz sıvıdır. Bu sıvıya absorplama sıvısı, sıyırıcı sıvı veya

absorbent adı verilir. Bu nedenle absorpsiyon ve gaz yıkama terimleri birbirleriyle eş anlamlı kullanılır.

Absorpsiyon, diğer bir ifadeyle, çözülebilir bir gaz bileşeni ile çözücü sıvı arasındaki kütle transferi olayıdır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, absorpsiyon prosesinin ilk basamağında kirletici gaz bileşeni gaz kütlesi içinden ara kesite doğru difüzyonla yayılır. Sonra ara kesite gelen kirletici gaz sıvı faza doğru transfer olur ve son basamakta ise sıvı faza gelen kirletici gaz sıvı kütlesi içinde çözünerek dağılır.

Gaz moleküllerinin gaz fazından sıvı faza geçmesi sıvı/ gaz ara kesitindeki derişim gradyanına (konsantrasyon farkına) bağlıdır. Şekil 2.5'te Gaz-sıvı arakesiti gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Gaz-sıvı arakesiti [15].

Bir gaz konsantrasyonu onun kısmi basıncı ile de ifade edilebileceği için gazın transfer hızı eşitlik 2.7'de gösterilmiştir.

$$N = k_G (P_G - P_i) = k_L (C_i - C_L) \quad \textbf{(2.7)}$$

Bu ifadelerde parantez içleri yoğunlaşma farkından oluşan kütle transferi çekim kuvvetlerini, k değerleri ise kütle transfer katsayılarını göstermektedir. Arakesit konsantrasyonlarının tespitinin güçlüğü nedeniyle bunların yerine denge konsantrasyonları kullanılarak eşitlik 2.8 elde edilmektedir.

$$N = k_G (P_G - P^*) = k_L (C^* - C_L) \quad \textbf{(2.8)}$$

Kütle transfer olayı (P_G-P^*) ve (C^*-C_L) farklarına bağlı olup, bu farklar büyüdükçe absorpsiyon hızı (transfer hızı) o oranda büyüyecek ve $P_G = P^*$ ve $C^* = C_L$ olduğu zaman absorpsiyon duracaktır.

Yukarıda anlatılanlar çerçevesinde, bir gazın absorplanma hızını artırmak için, sıvı-gaz arakesit yüzeyini artırarak, gaz ve sıvının yeterli süre ve alanda temasını sağlamak, ayrımı istenen gazın, gaz ile sıvı fazlardaki konsantrasyon farkını artırmak, (veya yüksek tutmak) gaz basıncını artırarak ve sıcaklığı düşürerek gazın çözünürlüğünü yükseltmek ve gazın en iyi çözüneceği uygun çözücü sıvıyı tespit etmek gerekmektedir.

Absorpsiyon yöntemiyle örneklenen SO_2 farklı yöntemlerle analiz edilebilmektedir.

Bunlar;

West-Gaeke Yöntemi:

Atmosferdeki SO_2'nin yıkama şişesi içerisindeki tetrakloromerkürat çözeltisinde absorblanarak tutulması ve oluşan diklorosülfitomerkürat kompleksinin kalorimetrik olarak tayin edilmesi esasına dayanır.

Titrimetrik Yöntem:

Bu yöntem atmosferdeki SO_2'nin yıkama şişesi içerisindeki hidrojen peroksit çözeltisinde tutularak sülfürik asite dönüşmesi bununda normalitesi bilinen bir bazla titre edilerek SO_2 konsantrasyonunun belirlenmesi esasına dayanır.

Kondüktimetrik H_2O_2 Yöntemi:

Bu metod, SO_2'nin uygun ayıraçlarda (genellikle H_2O_2 ile muamele) sülfat iyonuna (H_2SO_4) oksitlenmesi sırasında çözeltinin elektriksel iletkenliğinin ortamda mevcut SO_2 miktarına bağlı değişiminin sürekli ölçümüne dayanır. Kondüktimetrik metod SO_2'ye spesifik olmayıp çözeltinin iletkenliğini etkileyen tüm kirleticiler girişime yol açar. Ayrıca, elektriksel iletkenlik sıcaklığın fonksiyonu olduğundan, metodun uygulanması sırasında sistemde etkin bir sıcaklık kontrolü yapılmalıdır. Bu nedenle titrimetrik yönteme göre daha az güvenilirdir.

2.2 Dolomit ve Genel Özellikleri

2.2.1 Dolomit

Dolomit, kireçtaşında ($CaCO_3$) Ca ile beraber Mg'un yer alması ile oluşan bir mineraldir. Bileşimi $CaMg(CO_3)_2$ olan ve bir çift karbon bileşiği olan dolomitin, kalsitten ayrı bir mineral olduğu ilk kez 1792 yılında Fransız jeolog Dolomie Syluoin tarafından belirlenmiştir. Dolomit basit bir mineral olmayıp, oluşumu hala tartışılmaktadır. Ancak teorik olarak % 45-65 $MgCO_3$ içerdiği kabul görürken, pratikte bu oranın %10-40 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Dolomitten MgO kazanımı ilk defa 1913 yılında Pensilvanya'da gerçekleştirilmiş ve ABD'nin bu yıllardaki magnezya ihtiyacı dolomitten karşılanmıştır [17].

Dolomit, kireçtaşlarından CaO'nun yerini kısmen veya tamamen MgO'nun alması ile oluşur. Bu yüzden bileşimi açısından kireçtaşları ile ilişkili olup yanalda ve düşeyde daima kireçtaşları ile geçişlidir. Dolomitin özgül ağırlığı MgO oranına bağlı olarak 2,71 ile 2,87 g/cm^3; sertliği ise Mohs skalasına göre 3,5-4 arasındadır. Ticari saflıktaki dolomitin ergime noktası 1924-2495 °C arasında değişmektedir. İhtiva ettiği organik malzeme miktarı arttıkça koyulaşmakla beraber genellikle pembe, kirli beyaz, beyaz-gri, siyah ve kahve renklidir. İnce kesitlerinde ise renksizdir, ender olarak gri ve kahverengimsi renk gösterir. Romboedrik sistemde kristallenen dolomit % 30,4 CaO, % 21,8 MgO ve % 47,8 CO_2 içerir. Safsızlık olarak silikat, feldspat ve opak mineraller içerebilir. Kimyasal bileşimindeki Mg^{+2} yerine Fe^{+2} geçerse Ferrodolomit, Mn^{+2} geçerse mangan dolomit adını alır. Ankerit de bu izomorf serinin bir üyesidir [18].

2.2.2 Dolomitin kullanım alanları

Fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak dolomitin 30'u aşkın kullanım alanı vardır. Dolomitin kullanım alanlarından en önemlisi refrakter malzeme imalatı ve kalsine edildikten sonra çelik üretiminde istenmeyen safsızlıkların cürufa geçmesini sağlamak amacıyla flux olarak kullanımıdır. Bu nedenle dolomitin en çok kullanıldığı endüstriler demir-çelik ve cam, refrakter sanayidir. Dolomit çimento üretiminde, dolomitik sönmemiş kireç, cam ve soda üretiminde hammadde; demir çelik sanayiinde sinter; yüksek fırınlarda refrakter malzeme ve cüruf artırıcı eleman olarak birçok sanayi dalında bileşenlerine bağlı olarak kullanılmaktadır [19].

Dolomit, fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak endüstride birçok alanda kullanılır. Isıl işlem görmüş dolomit refrakter sanayinde tuğla ve harç üretiminde kullanılırken, ham dolomit;

- Yol inşaatlarında mıcır ve beton yapımında dolgu maddesi olarak,

- Cam ve soda sanayinde üretimde MgO kaynağı olarak,

- Deniz suyundan MgO üretimi sırasında katkı maddesi olarak,

- Boya sanayinde dolgu maddesi olarak,

- Seramik sanayinde seramik bünye ve sırlarında,

- Ziraatte, gübre yapımında dolgu maddesi olarak ve toprak ıslahında,

- Kimya sanayinde beyazlatıcı ve ferrosilikon imalinde,

- Suyun filtrasyonunda,

- Demir-Çelik sanayinde demir cevherinin sinterleştirilmesinde, çelik üretiminde cüruf yapıcı ve refrakter tuğlaları koruyucu olarak kullanılmaktadır [19].

2.2.3 Dolomit kalsinasyonu

Kireçtaşı ve dolomit ısı etkisiyle hızla kalsine olmaktadır. Ayrışma sıcaklığı ortamdaki karbondioksitin derişimi ile kısmi basıncına bağlıdır. Kalsiyum karbonatın saf (%100) karbondioksit atmosferinde ve atmosferik basınçtaki ayrışma sıcaklığı 898 C° olarak saptanmıştır [20]. Akışkan yataklı yakıcıların çalışma koşullarında ise bu sıcaklık 800-900 C° aralığındadır [21].

Dolomitlerde, $MgCO_3/CaCO_3$ oranı değiştiği için, ayrışma sıcaklığı da buna bağlı olarak değişmektedir. Dolomitteki magnezyum karbonatın ayrışma sıcaklığı, saf magnezyum karbonatınkinden daha yüksektir, yapılan çalışmalarda dolomitin 513 C°'de bozunmaya başladığı; ancak 590 C° e kadar ayrışan madde miktarının ihmal edilebilecek kadar az olduğu ve bu sıcaklığın üzerinde ayrışmanın hızlandığı saptanmıştır[22]. Dolomitin magnezyum karbonat bileşeninin, saf karbon dioksit ortamında ve atmosferik basınçtaki ortalama ayrışma sıcaklığı 725 C° olarak saptanmıştır; kalsiyum karbonat bileşeninin ise, aynı koşullar altındaki ayrışma sıcaklığının daha yüksek olduğu bilinmektedir; yani, dolomitin termal bozunma süreci

iki aşamada gerçekleşmektedir[19]. Dolomitin termal bozunma tepkime denklemleri eşitlik 2.9-2.11 gösterilmiştir.

$$CaCO3(s) + ısı \leftrightarrow CaO(s) + CO2(g) \quad \textbf{(2.9)}$$

$$MgCO3.\ CaCO3(s) + ısı \leftrightarrow MgO.\ CaCO3(s) + CO2(g) \quad \textbf{(2.10)}$$

$$MgO\ CaCO3(s) + ısı \leftrightarrow MgO.\ CaO(s) + CO2(g) \quad \textbf{(2.11)}$$

Dolomitin farklı sıcaklıklarda gerçekleşen iki kademeli ayrışmasında kalsiyum oksitin oluştuğu yüksek sıcaklıklarda magnezyum oksit sinterleşebilmektedir [18].

Kireçtaşı ve dolomitin termal bozunması dış yüzeyden içeri doğru gerçekleşmektedir; ancak ayrışmanın tam olabilmesi için sıcaklığın sorbent taneciğinin merkezini de etkilemesi gerekmektedir; bu nedenle uygulamada ulaşılması gereken sıcaklık, teorik ayrışma sıcaklığından daha yüksektir. Diğer taraftan, ortamdaki karbon dioksit derişiminin, yani kısmi basıncının, düşük olması halinde tanecik yüzeyinde bulunan karbonat moleküllerinin bir kısmının, teorik ayrışma sıcaklığının altında ayrıştığı gözlenmiştir [19].

Kalsiyum içeriği yüksek kireç taşlarındaki karbonat moleküllerinin yüzeydeki ayrışmasının 742 C° de gerçekleştiği saptanmıştır [23].

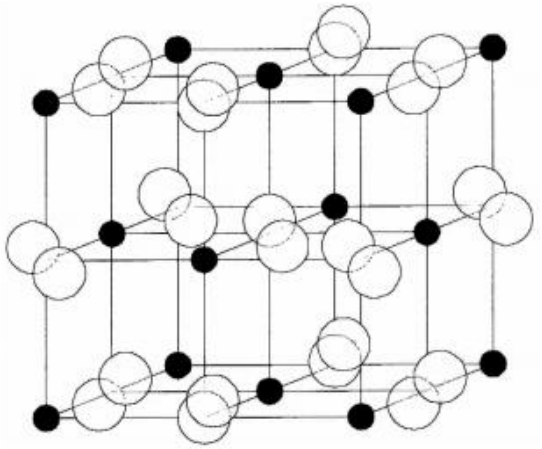
2.3 Pirit ve Genel Özellikleri

2.3.1 Pirit

Pirit antik dönemlerden beri bilinen bir mineraldir. Antik Yunan ve Romada süs ve ziynet yapımında kullanılmıştır. Kuzey Amerikadaki İnkalar Parlatılmış pirit levhaları ayna olarak kullanmışlardır [24].

Kimyasal formülü FeS_2 olup, molekül ağırlığı 87,845 g'dır. Kristal sistemi kübiktir, kristal biçimi ise genellikle kübik, oktahedral, piritohedral kristallidir. Mohs sertliği 6 - 6,5 olup yoğunluğu 5 - 5,02 g/cm^3'tür. Renk ve şeffaflık metalik pirinç sarısı ve opak olup parlaklığı metaliktir. Çizgi rengi yeşilimsi siyahtır. Elektriği iletir ve ısıtıldığında zayıf bir elektrik akımı üretir. Kavrulma sonunda kükürt dioksit verdiğinden, sülfürik asit üretiminde kullanılır. Tortul kayaçlarda ve başkalaşım kayaçlarında bulunur. En yaygın ve en bol sülfür mineralidir.

Sahip olduğu altın renginden dolayı, çoğu zaman altınla karıştırıldığından, aptal altını diye de anılır. [25]. Piritin Kübik yapısı şekil 2,6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Piritin kübik yapısı [24].

2.3.2 Piritin kullanım alanları

Pirit temelde 2 ana kullanım alanına sahiptir. Sülfürik asit üretimi için SO_2 kaynağı ve barut üretimi için elementel sülfür kaynağı olarak kullanılır.

Barut dinamitin keşfinden önce kullanılan yegane patlayıcıydı ve tarih boyunca çok önemli bir yere sahipti. Kaliteli barut üretebilmek için kaliteli kükürde ihtiyaç duyulmaktadır. Barutun yaklaşık %10'u kükürtten oluşmaktadır. Piritten kükürt üretimi Diderot'un ansiklopedisinde 1755 yılında bahsedilmiş bir yöntemdir. Pirit öbekleri odun kütüklerinin üstüne yerleştirilir ve ardından odunlar tutuşturulurdu. Kükürt buharı sistemin çatısında yoğunlaştırılır ve çömleklere alınırdı. Daha sonra ısıtılarak rafine edilir ve süblümleşen kristaller fırının tepesindeki özel konilerde toplanırdı [24].

Sülfürit asit üretimi için pirit kavrularak SO_2 üretilir ve üretilen bu SO_2 önce SO_3 oksitlenir ardında H_2SO_4 üretilir. Bu yöntemin adı kontakt yöntemidir. Önceleri bu yöntemde katalizatör olarak platin kullanılırken günümüzde sadece V_2O_3 kullanılır. SO_3'ün disosiyasyonu sıcaklık yükseldikçe, oksijen konsantrasyonu azaldıkça ve toplan basınç azaldıkça kolaylaşmaktadır. Sülfirik asit üretimi açısından mümkün en yüksek SO_3 oranının eldesi için düşük sıcaklık, yüksek oksijen konsantrasyonu ve yüksek basınç gerekmektedir. SO_2 oksidasyonu yaklaşık 300 ^{0}C de %100 verimle mümkündür. 450 ^{0}C'de dönüşüm yaklaşık %98 civarındadır. 600 ^{0}C sıcaklığa çıkıldığı

takdirde en çok %80'lik bir dönüşüm olduğu görülmektedir. Ancak SO_2/SO_3 dönüşüm reaksiyonunun reaksiyon hızı da sıcaklığa bağlıdır. 450 ^{0}C'ye kadar yükselerek 2 saat içinde %98'e bu sıcaklık için varmaktadır. 2 saat süre dahilinde 300 ^{0}C için dönüşüm %55 ve 600 ^{0}C sıcaklık için dönüşüm yaklaşık %80'dir [26].

2.3.3 Piritin kavrulması

Piritin kavrulmasındaki temel amaç konsantredeki sülfür içeriğini elimine ederek kalsine ürün ve SO_2 içeriğine sahip gaz elde etmektir.

600-1000 ^{0}C aralığı proses ve minerolojiye bağlı olarak genellikle en uygun sıcaklık aralığıdır. Oksijen basıncı ve sıcaklığın etkisine göre değişmekle beraber piritin genel kavrulma reaksiyonları ve entalpi değerleri eşitlik 2.12-2.14 gibidir.

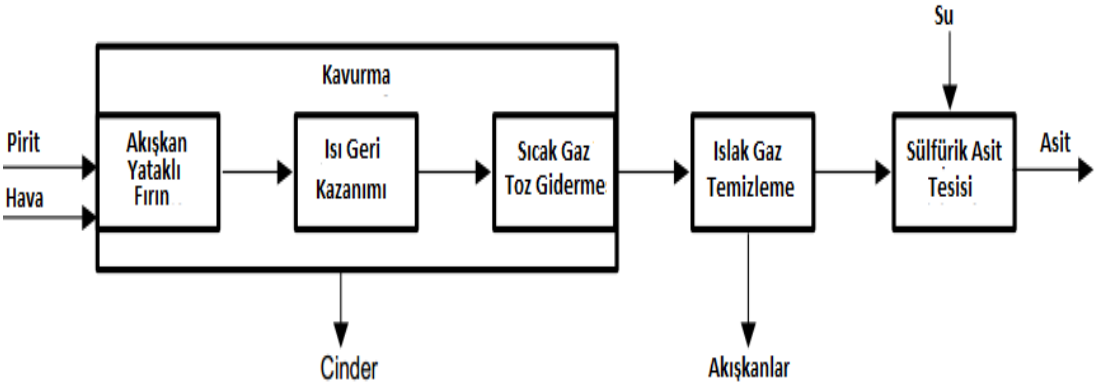
$$2\ FeS_2 + 11/2\ O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 4\ SO_2 \qquad \Delta H = -1666\ kJ/mol \qquad \textbf{(2.12)}$$

$$3\ FeS_2 + 8\ O_2 \rightarrow Fe_3O_4 + 6\ SO_2 \qquad \Delta H = -2381\ kJ/mol\ (2) \qquad \textbf{(2.13)}$$

$$FeS_2 + 3\ O_2 \rightarrow FeSO_4 + SO_2 \qquad \Delta H = -1054\ kJ/mol\ (3) \qquad \textbf{(2.14)}$$

Bu 3 eşitlikte ekzotermik reaksiyonlar olup çıkan ısı atık ısı kazanım sisteminde değerlendirilir. Gereken oksijen ihtiyacı atmosferden sağlanmaktadır.

Kavurma işleminden sonra elde edilen ürünler kasine ve kavurma gazıdır. Kalsine Fe_2O_3, Fe_3O_4, $FeSO_4$ ve gang mineralleri içerir. Baca gazında ise SO_2,SO_3, O_2,N_2 ve su buharıdır. Beslenen cevherin klor içeriğine göre düşük Miktarda HCl'de baca gazında bulunabilir [27]. Şekil 2.7'de genel bir pirit kavurma akım şeması görülmektedir.



Şekil 2.7 Piritin kavrulması akım şeması.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan hammaddeler

Deneylerimizde SO_2 kaynağı olarak Küre yöresine ait pirit kullanılmıştır.Kullanılan pirit şekil 3.1'de, kimyasal analizi çizelge 3.1'de görülmektedir.

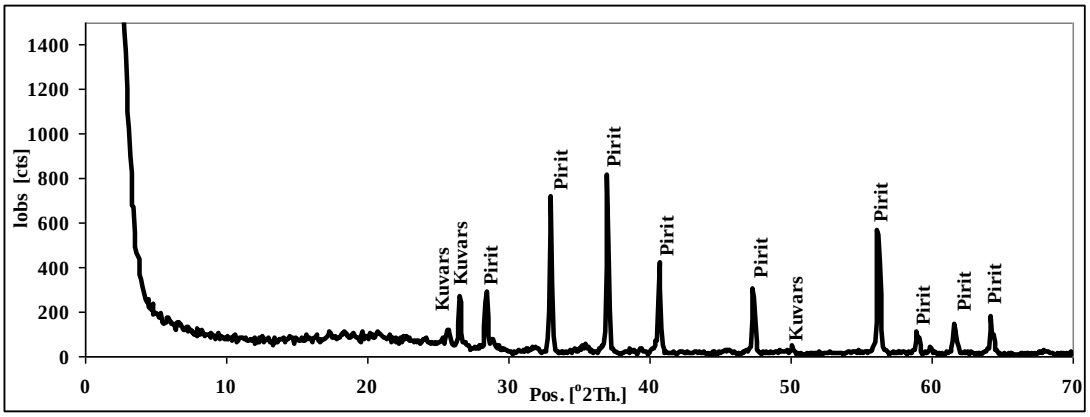
Çizelge 3.1 Piritin kimyasal analizi.

Numune	%Fe	%S	%Cu	%Mg	%Ca	%SiO_2	%K
Pirit	38,18	41,67	0,58	0,38	0,77	9,33	0,02



Şekil 3.1 Kullanılan pirit konsantresi.

Temin edilen pirit konsantresindeki mineral dağılımını tespit etmek amacıyla yapılan XRD analizi sonuçları şekil 3.2' de görülmektedir.



Şekil 3.2 : Küre pirit konsantre numunesinin XRD analizi sonuçları.

Yapılan minerolojik incelemeler sonucunda pirit konsantresinde, pirit-FeS_2, Kuvars-SiO_2 ve Hydrium Jarosite- $(H_3O)Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$ mineralleri tespit edilmiştir. Pirit konsantresinin, ana mineralini pirit oluşturmakta olup, numunede eser miktarlarda kalkopirit, kovelin, markasit, bornit, sfalerit, dijenit ve çeşitli silikatlardan oluşan gang mineralleri bulunmaktadır.

Partikül boyut ölçüm sonuçlarına göre kullanılan piritin ortalama tane boyutu 41 µm olarak belirlenmiştir.

Deneylerimizde kullanılan kalsine dolomit Kümaş Magnezit Sanayi A.Ş' den temin edilmiş olup Kütahya Yaylababa dolomitidir. Şekil 3.3'te kullanılan kalsine dolomit görülmektedir.Yaylababa dolomitinin kimyasal analizi Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Kalsine dolomitin ortalama tane boyutu 42µm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.3 Kullanılan kalsine dolomit.

Çizelge 3.2 Dolomitin kimyasal analizi

Numune	%Kızdırma kaybı	%CaO	%MgO	%FeO	%Al_2O_3	%SiO_2	%Na_2O
Dolomit	9,52	57,59	31,00	0,12	eser	1,07	0,0086

3.2 Deneysel Çalışmalarda ve Karakterizasyonda Kullanılan Cihazlar

Numunelerin kimyasal analizinde Thermo Fisher Scientific, Xseries 2 marka LA ve ICP-MS sistemi kullanılmıştır. Şekil 3.4'te görülen bu cihaz sayasinde çok hızlı ve güvenli biçimde kimyasal analizlere ulaşılmaktadır.



Şekil.3.4 Thermo Fisher Scientific, Xseries 2 marka LA ve ICP-MS Sistemi.

Bruker D8 Advance marka X ışını difraktometresi kullanılarak numunelerin XRD'leri çekilmiş ve mineralojik incelemeler yapılmıştır.

Kavurma işlemleri 220V elektrikle çalışan Şekil 3.5'ta görülen tüp fırında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan tüp fırın.

Numuneler halkalı öğütücü kullanılarak öğütülmüştür.Ardından şekil 3.6'da görülen Binder marka etüv cihazında etüvlenmişlerdir.



Şekil 3.6 Binder marka etüv cihazı.

Deneyler için gereken havanın debisini ayarlamak için şekil 3.7'de görülen Dwyer marka rotametre kullanılmıştır.



Şekil 3.7 Dwyer marka rotametre.

Numunelerin Partikül boyut ölçümü Malvern Mastersizer 2000 partikül boyut ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

3.3 Deneylerin Yapılışı

3.3.1 Kavurma deneyleri

Kavurma deneyleri için öncelikle kayıkçık tartılıp daha sonra kayıkçık doldurularak tartılıp fırına verilecek pirit miktarı belirlenmektedir. Fırına verilen pirit kavrulup kavurma sonrasında tartılarak ağırlık kaybı belirlenmektedir. Farklı sürelerde kavurma işlemleri yapılarak optimum kavurma süresi belirlenmektedir.

3.3.2 SO_2 tutma deneyleri

SO_2 tutma deneylerinde farklı hava debileri ile çalışılmış olup her hava debisi için öncelikle kavurma sonrasında ne kadar SO_2 açığa çıktığı belirlenmiş ardından dolomit kullanılarak SO_2 tutulmuş ve bu iki durum arasındaki SO_2 miktarları kıyaslanmıştır. Dolomit miktarını belirlemektede yine kavurmada olduğu gibi önce kayıkçık tartılmış ardından fırına koyulan dolomit miktarı belirlenmiştir. İşlem sonrasında çıkan ürünlerde tartılarak ilk duruma göre kıyaslama yapılmıştır.

3.3.3 SO_2 analizi

SO_2 analizinde titrimetrik yöntem kullanılmıştır. Bu yönteme göre bacadan çıkan gazlar yıkama şişesi içerisindeki hidrojen peroksit çözeltisinde tutularak sülfürik asite dönüşmüş ve bu normalitesi bilinen bir bazla titre edilerek SO_2 konsantrasyonunun belirlenmiştir.

Birbirine seri bağlanan iki gaz yıkama şişesinin her birine 100 ml %1'lik H_2O_2 çözeltisi konur ve bacadan çıkan gaz gaz yıkama şişesine aktarılır. Bu arada SO_x, H_2O_2 tarafından aside yükseltgenir. 1.gaz yıkama şişesinden kaçabilen SO_x'ler 2.gaz yıkama şişesinde tutulurlar işlem sonunda bu şişedeki çözeltiler alınıp birleştirilir ve ayarlı bir alkali ile (1 N Na_2CO_3) titre edilerek, baca gazındaki eşdeğer SO_2 miktarı bulunur. Ortamdaki reaksiyonlar eşitlik 3.1 ve 3.2'deki gibi şeklindedir.

$$SO_2 + H_2O_2 \rightarrow SO_3 + H_2O \quad \textbf{(3.1)}$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \quad \textbf{(3.2)}$$

Toplam reaksiyon eşitlik 3.3'te gösterilmiştir.

$$SO_2 + H_2O_2 \rightarrow H_2SO_4 \quad \textbf{(3.3)}$$

Bu asitin titrasyonunda ise eşitlik 3.4' teki reaksiyon gerçekleşmektedir.

$$H_2SO_4 + Na_2CO_3 \; Na_2SO_4 + H_2CO_3 \quad \textbf{(3.4)}$$

Yukarıdaki stokiyometrik denklemden faydalanılarak gaz kütlesi içerisindeki SO_2'nin derişimi için eşitlik 3.5' te gösterilen formül kullanılır;

$$SO_2(mg/lt) = (32.\ N_{Na2CO3}.\ S_{Na2CO3}) / \text{geçirilen hava hacmi(lt)} \quad \textbf{(3.5)}$$

N=Bazın normalitesi

S=Baz sarfiyatı (ml)

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Kavurma Deneyleri

Kavurma deneylerinde öncelikle piritin kavrulması için gereken teorik hava miktarı belirlenmiştir. ardından bu teorik hava miktarının yaklaşık 2, 4, 6, 8 katı hava miktarlarıyla çalışmalar yapılmıştır. Eşitlik 4.1'e göre;

$$S + O_2 \rightarrow SO_2 \qquad \textbf{(4.1)}$$

(5x 41.67/100)/32= 0.0651 mol S için 0,0651x100/21=0,31 mol hava gerekir buda 6.945 lt havaya ihtiyaç var demektir.

Yapılan deneylerin sonuçları çizelge 4.1- 4.12 arası gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Kavurma Deneyi 1.

Süre: 15dk	**Deney No**: 1
Hava: 1lt/dk	
Kayıkçık	9,3851
Dolu	15,1848
Numune	5,7997
Kavurma Sonrası	13,3199
K.S. Numune	3,9348
Fark:	1,8649
Yüzde:	**32,15**

Çizelge 4.2 Kavurma Deneyi 2.

Süre: 30dk	**Deney No:** 2
Hava:1lt/dk	
Kayıkçık	9,3658
Dolu	14,7082
Numune	5,3424
Kavurma Sonrası	12,8105
K.S. Numune	3,4447
Fark	1,8977
Yüzde	**35,52**

Çizelge 4.3 Kavurma Deneyi 3.

Süre: 45dk	**Deney**
Hava:1lt/dk	**No:** 3
Kayıkçık	8,5381
Dolu	13,7171
Numune	5,179
Kavurma Sonrası	11,8815
K.S. Numune	3,3434
Fark	1,8356
Yüzde	**35,44**

Çizelge 4.4 Kavurma Deneyi 4.

Süre: 60dk	**Deney**
Hava: 1lt/dk	**No:** 4
Kayıkçık	9,3652
Dolu	14,7075
Numune	5,3423
Kavurma Sonrası	12,8093
K.S. Numune	3,4441
Fark	1,8982
Yüzde	**35,53**

Çizelge 4.5 Kavurma Deneyi 5.

Süre: 15dk	**Deney**
Hava: 1lt/dk	**No:** 5
Kayıkçık	9,3847
Dolu	15,1648
Numune	5,7801
Kavurma Sonrası	13,3104
K.S. Numune	3,9348
Fark	1,8544
Yüzde	**32,08**

Çizelge 4.6 Kavurma Deneyi 6.

Süre: 30dk	**Deney**
Hava: 1lt/dk	**No:** 6
Kayıkçık	9,3654
Dolu	14,6248
Numune	5,2594
Kavurma Sonrası	12,759
K.S. Numune	3,3936
Fark	1,8658
Yüzde	**35,47**

Çizelge 4.7 Kavurma Deneyi 7.

Süre: 45dk	**Deney**
Hava: 1lt/dk	**No:** 7
Kayıkçık	9,3655
Dolu	14,6859
Numune	5,3204
Kavurma Sonrası	12,8041
K.S. Numune	3,4386
Fark	1,8818
Yüzde	**35,36**

Çizelge 4.8 Kavurma Deneyi 8.

Süre: 60dk	**Deney**
Hava: 1lt/dk	**No:** 8
Kayıkçık	8,5386
Dolu	13,8364
Numune	5,2978
Kavurma Sonrası	11,9579
K.S. Numune	3,4193
Fark	1,8785
Yüzde	**35,45**

Çizelge 4.9 Kavurma Deneyi 9.

Süre: 15dk	**Deney**
Hava: 1lt/dk	**No:** 9
Kayıkçık	9,3651
Dolu	14,6748
Numune	5,3097
Kavurma Sonrası	12,9701
K.S. Numune	3,605
Fark	1,7047
Yüzde	**32,1**

Çizelge 4.10 Kavurma Deneyi 10.

Süre: 30dk	**Deney**
Hava: 1lt/dk	**No:** 10
Kayıkçık	9,3653
Dolu	14,7007
Numune	5,3354
Kavurma Sonrası	12,7968
K.S. Numune	3,4315
Fark	1,9039
Yüzde	**35,68**

Çizelge 4.11 Kavurma Deneyi 11.

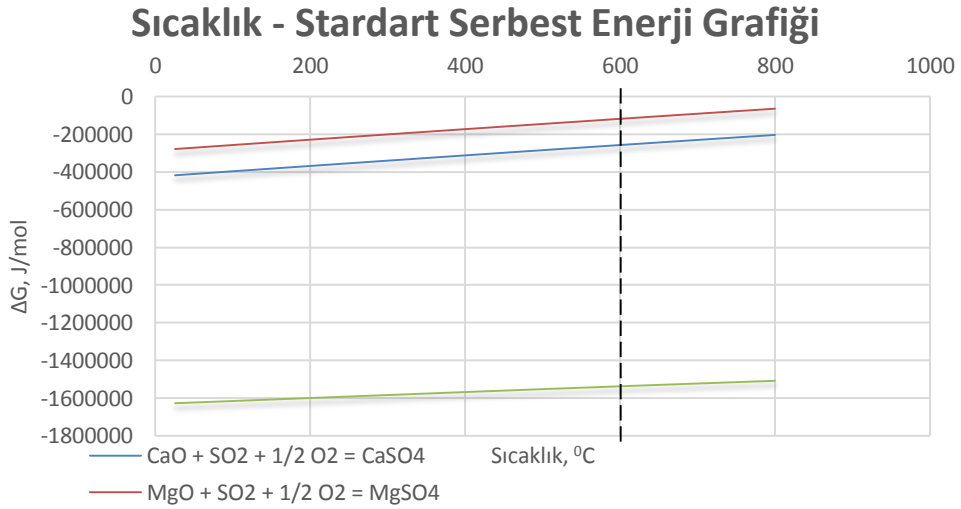
Süre: 45dk **Hava:** 1lt/dk	**Deney No:** 11
Kayıkçık	8,5384
Dolu	13,8485
Numune	5,3101
Kavurma Sonrası	11,9649
K.S. Numune	3,4265
Fark	1,8836
Yüzde	**35,47**

Çizelge 4.12 Kavurma Deneyi 12.

Süre: 60dk **Hava:** 1lt/dk	**Deney No:** 12
Kayıkçık	8,5386
Dolu	13,7175
Numune	5,1789
Kavurma Sonrası	11,8784
K.S. Numune	3,3398
Fark	1,839
Yüzde	**35,5**

4.2 SO_2 Tutma Deneyleri

Termodinamik olarak SO_2 tutmak için dolomit kullanımı öngörülmüş ve ilgili standart serbest enerji hesaplamaları yapılarak şekil4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Dolomit-pirit sisteminin standart serbest enerji-sıcaklık durumu.

600 ^{0}C'de piritin oksitlenmesi ve dolomitin sülfatlanması gerektiği teorik olarak görülmektedir.

Bu bölümde sabit süre ve farklı hava debilerinde dolomitin SO_2 tutma verimleri belirlenmiştir.

4.2.1. 600 ^{0}C 1lt/dk hava debisi ile yapılan deneyler

Sabit 600 ^{0}C 1lt/dk hava debisi ile 30 dakikada yapılan deney sonuçları çizelge 4.13-4.18 arasında gösterilmiştir. Öncelikle boş kayıkçık tartılmış ardından dolusu tartılmış kavurma işlemi yapılıp kavurma sonrasındaki piritteki ağırlı kaybı dolomitteki ağırlık artışı hesaplanmış ve SO_2 tutma verimleri titrasyon işlemi sonucunda kontrol grubuyla yapılan kıyaslamar sonucunda belirlenmiştir.

Çizelge 4.13 SO_2 Tutma Deneyi 1.

Süre: 30 dk **Hava:** 1 lt/dk	**Deney no:** 1
Kayıkçık	8,5465 gr
Dolu	9,6236 gr
Numune	1,0771 gr
Kavurma sonrası	9,2313 gr
K.s. Numune	0,685 gr
Fark	0,3921 gr
Yüzde	36,4 gr
SO_2 miktarı	25,6 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.14 SO_2 Tutma Deneyi 2.

Süre: 30 dk **hava:** 1lt/dk	**Deney no:** 2
Kayıkçık	9,9589 gr
Dolu	11,0366 gr
Numune	1,0777 gr
Kavurma sonrası	10,4689 gr
K.s. Numune	0,69 gr
Fark	0,3877 gr
Yüzde	35,97 gr
SO_2 miktarı	26,67 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.15 SO_2 Tutma Deneyi 3.

Süre: 30 dk **hava:** 1lt/dk	**Deney no**: 3
Kayıkçık	10,2535 gr
Dolu	11,345 gr
Numune	1,0915 gr
Kavurma sonrası	10,9547 gr
K.s. Numune	0,7012 gr
Fark	0,3903 gr
Yüzde	35,75 gr
SO_2 miktarı	25,6mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.16 SO_2 Tutma Deneyi 4.

Süre: 30 dk **hava:** 1lt/dk	**Deney no:** 4
Kayıkçık	10,2527 gr
Dolu	11,2538 gr
Numune	1,0011 gr
Kavurma sonrası	10,8981 gr
K.s. Numune	0,6454 gr
Fark	0,3557 gr
Yüzde	35,53 gr
SO_2 miktarı	7,46 mg/lt
Kayıkçık 2	8,5357 gr
Dolu	9,9632 gr
Numune	1,4275 gr
Kavurma sonrası	10,0748 gr
K.s. Numune	1,619 gr
Fark	0,1915 gr
Yüzde	% 13,42
SO_2 tutma	**% 71,25**

Çizelge 4.17 SO_2 Tutma Deneyi 5.

Süre:30 dk **Hava:** 1lt/dk	**Deney no:** 5
Kayıkçık	9,8313 gr
Dolu	11,0436 gr
Numune	1,2123 gr
Kavurma sonrası	10,6027 gr
K.s. Numune	0,7714 gr
Fark	0,4409 gr
Yüzde	36,36 gr
SO_2 miktarı	7,46 mg/lt
Kayıkçık 2	9,9595 gr
Dolu	11,556 gr
Numune	1,5965 gr
Kavurma sonrası	11,7039 gr
K.s. Numune	1,8142 gr
Fark	0,2177 gr
Yüzde	% 13,63
SO_2 tutma	**%71,25**

Çizelge 4.18 SO_2 Tutma Deneyi 6.

Süre: 30 dk **Hava:** 1lt/dk	**Deney no:** 6
Kayıkçık	10,2505 gr
Dolu	11,2474 gr
Numune	0,9969 gr
Kavurma sonrası	10,8997 gr
K.s. Numune	0,6492 gr
Fark	0,3477 gr
Yüzde	%34,87
SO_2 miktarı	6,93 mg/lt
Kayıkçık 2	8,5365 gr
Dolu	10,1222 gr
Numune	1,5857 gr
Kavurma sonrası	10,2420 gr
K.s. Numune	1,7981 gr
Fark	0,2124 gr
Yüzde	%13,4
SO_2 tutma verimi	**% 73,29**

4.2.2 600 ^{0}C 0,8lt/dk hava debisi ile yapılan deneyler

Sabit 600 ^{0}C 0,8lt/dk hava debisi ile 30 dakikada yapılan deney sonuçları çizelge 4.19-4.24 arasında gösterilmiştir.

Çizelge 4.19 SO_2 Tutma Deneyi 7.

Süre: 30dk **Hava:** 0,8lt/dk	**Deney no:** 1
Kayıkçık	8,5365 gr
Dolu	9,5972 gr
Numune	1,0607 gr
Kavurma sonrası	9,2173 gr
K.s. Numune	0,6808 gr
Fark	0,3799 gr
Yüzde	%35,81
SO_2 miktarı	33,33 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.20 SO_2 Tutma Deneyi 8.

Süre: 30dk	**Deney no:** 2
Hava: 0,8 lt /dk	
Kayıkçık	9,8369 gr
Dolu	10,99 gr
Numune	1,1531 gr
Kavurma sonrası	10,5636 gr
K.s. Numune	0,7367 gr
Fark	0,4164 gr
Yüzde	%36,11
SO_2 miktarı	33,33 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.21 SO_2 Tutma Deneyi 9.

Süre: 30dk	**Deney no:** 3
Hava: 0,8 lt /dk	
Kayıkçık	9,9604 gr
Dolu	11,0193 gr
Numune	1,0589 gr
Kavurma sonrası	10,6427 gr
K.s. Numune	0,6823 gr
Fark	0,3766 gr
Yüzde	%35,56
SO_2 miktarı	32,67 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.22 SO_2 Tutma Deneyi 10.

Süre: 30dk	**Deney no:** 4
Hava: 0,8 lt /dk	
Kayıkçık	8,5373 gr
Dolu	9,6146 gr
Numune	1,0773 gr
Kavurma sonrası	9,2320 gr
K.s. Numune	0,6947 gr
Fark	0,3826 gr
Yüzde	%35,51
SO_2 miktarı	8,67 mg/lt
Kayıkçık 2	10,2486 gr
Dolu	11,8154 gr
Numune	1,5668 gr
Kavurma sonrası	11,9913 gr
K.s. Numune	1,7427 gr
Fark	0,1759 gr
Yüzde	%11,22
SO_2 tutma	**%73,81**

Çizelge 4.23 SO_2 Tutma Deneyi 11.

Süre: 30dk	**Deney no:** 5
hava: 0,8 lt/dk	
Kayıkçık	9,9599 gr
Dolu	11,0590 gr
Numune	1,0991 gr
Kavurma sonrası	10,6686 gr
K.s. Numune	0,7087 gr
Fark	0,3904 gr
Yüzde	%35,51
SO_2 miktarı	8,67 mg/lt
Kayıkçık 2	10,2489 gr
Dolu	11,9065 gr
Numune	1,4175 gr
Kavurma sonrası	12,0800 gr
K.s. Numune	1,6311 gr
Fark	0,2136 gr
Yüzde	%15,06
SO_2 tutma	**%73,81**

Çizelge 4.24 SO_2 Tutma Deneyi 12.

Süre: 30dk	**Deney no:** 6
Hava: 0,8 lt /dk	
Kayıkçık	8,5363 gr
Dolu	9,5652 gr
Numune	1,0289 gr
Kavurma sonrası	9,2320 gr
K.s. Numune	0,6638 gr
Fark	0,3651 gr
Yüzde	%35,48
SO_2 miktarı	9,33 mg/lt
Kayıkçık 2	9,8365 gr
Dolu	11,4712 gr
Numune	1,6347 gr
Kavurma sonrası	11,6941 gr
K.s. Numune	1,8576 gr
Fark	0,2229 gr
Yüzde	%13,6
SO_2 tutma	**%71,82**

4.2.3 600 ^{0}C 0,6lt/dk hava debisi ile yapılan deneyler

Sabit 600 ^{0}C 0,6lt/dk hava debisi ile 30 dakikada yapılan deney sonuçları çizelge 4.25-4.30 arasında gösterilmiştir.

Çizelge 4.25 SO_2 Tutma Deneyi 13.

Süre 30 dk	**Deney no:** 1
Hava: 0,6 lt/dk	
Kayıkçık	9,8247 gr
Dolu	10,9880 gr
Numune	1,1633 gr
Kavurma sonrası	10,5761 gr
K.s. Numune	0,7514 gr
Fark	0,4119 gr
Yüzde	%35,4
SO_2 miktarı	44,44 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.26 SO_2 Tutma Deneyi 14.

Süre 30 dk	**Deney no:** 2
Hava: 0,6m^3 lt/dk	
Kayıkçık	10,2505 gr
Dolu	11,2944 gr
Numune	1,0439 gr
Kavurma sonrası	10,9185 gr
K.s. Numune	0,668 gr
Fark	0,3759 gr
Yüzde	%36
SO_2 miktarı	44,89 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.27 SO_2 Tutma Deneyi 15.

Süre 30 dk	**Deney no:** 3
Hava: 0,6m^3 lt/dk	
Kayıkçık	8,5364 gr
Dolu	9,6449 gr
Numune	1,1085 gr
Kavurma sonrası	9,2515 gr
K.s. Numune	0,7151 gr
Fark	0,3934 gr
Yüzde	%35,48
SO_2 miktarı	44,89 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.28 SO_2 Tutma Deneyi 16.

Süre: 30dk	**Deney no:** 4
Hava: 0,6 lt/dk	
Kayıkçık	9,9628 gr
Dolu	11,0640 gr
Numune	1,1012 gr
Kavurma sonrası	10,6774 gr
K.s. Numune	0,7146 gr
Fark	0,3866 gr
Yüzde	%35,1
SO_2 miktarı	10,67 mg/lt
Kayıkçık 2	10,2524 gr
Dolu	11,7273 gr
Numune	1,4749 gr
Kavurma sonrası	11,9214 gr
K.s. Numune	1,6690 gr
Fark	0,1941 gr
Yüzde	%13,16
SO_2 tutma	**%76,15**

Çizelge 4.29 SO_2 Tutma Deneyi 17.

Süre: 30dk	**Deney no:** 5
Hava: 0,6 lt/dk	
Kayıkçık	8,5404 gr
Dolu	9,5415 gr
Numune	1,0011 gr
Kavurma sonrası	9,1820 gr
K.s. Numune	0,6416 gr
Fark	0,3595 gr
Yüzde	%35,55
SO_2 miktarı	11,11 mg/lt
Kayıkçık 2	9,958 gr
Dolu	11,4802 gr
Numune	1,5222 gr
Kavurma sonrası	11,6945 gr
K.s. Numune	1,7365 gr
Fark	0,2143 gr
Yüzde	%14,08
SO_2 tutma	**%75,16**

Çizelge 4.30 SO_2 Tutma Deneyi 18.

Süre: 30dk	**Deney no:** 6
Hava: 0,6 lt/dk	
Kayıkçık	9,9580 gr
Dolu	10,9867 gr
Numune	1,0287 gr
Kavurma sonrası	10,6160 gr
K.s. Numune	0,658 gr
Fark	0,3707 gr
Yüzde	%36,03
SO_2 miktarı	10,22 mg/lt
Kayıkçık 2	9,9625 gr
Dolu	11,4578 gr
Numune	1,4953 gr
Kavurma sonrası	11,6666 gr
K.s. Numune	1,7041 gr
Fark	0,2088 gr
Yüzde	%13,96
SO_2 tutma	**%77,15**

4.2.4 600 ^{0}C 0,4lt/dk hava debisi ile yapılan deneyler

Sabit 600 ^{0}C 0,4lt/dk hava debisi ile 30 dakikada yapılan deney sonuçları çizelge 4.31-4.36 arasında gösterilmiştir.

Çizelge 4.31 SO_2 Tutma Deneyi 19.

Süre: 30dk	**Deney no:** 1
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	8,5390 gr
Dolu	9,5998 gr
Numune	1,0608 gr
Kavurma sonrası	9,2192 gr
K.s. Numune	0,6802 gr
Fark	0,3806 gr
Yüzde	%35,87
SO_2 miktarı	64 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.32 SO_2 Tutma Deneyi 20.

Süre: 30 dk	**Deney no:** 2
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	9,9624 gr
Dolu	11,0837 gr
Numune	1,1213 gr
Kavurma sonrası	10,6755 gr
K.s. Numune	0,7131 gr
Fark	0,4082 gr
Yüzde	%36,4
SO_2 miktarı	64 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.33 SO_2 Tutma Deneyi 21.

Süre: 30 dk	**Deney no:** 3
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	8,5404 gr
Dolu	9,5578 gr
Numune	1,0174 gr
Kavurma sonrası	9,1921 gr
K.s. Numune	0,6517 gr
Fark	0,3657 gr
Yüzde	%35,94
SO_2 miktarı	64 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.34 SO_2 Tutma Deneyi 22.

Süre 30dk	**Deney no:** 4
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	10,2552 gr
Dolu	11,2817 gr
Numune	1,0265 gr
Kavurma sonrası	10,9262 gr
K.s. Numune	0,671 gr
Fark	0,3555 gr
Yüzde	%34,63
SO_2 miktarı	14,67 mg/lt
Kayıkçık 2	9,9631 gr
Dolu	11,4885 gr
Numune	1,5254 gr
Kavurma sonrası	11,7141 gr
K.s. Numune	1,751 gr
Fark	0,2256 gr
Yüzde	%14,78
SO_2 tutma	**%77,07**

Çizelge 4.35 SO_2 Tutma Deneyi 23.

Süre: 30 dk	**Deney no:** 5
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	10,2587 gr
Dolu	11,3695 gr
Numune	1,1108 gr
Kavurma sonrası	10,9573 gr
K.s. Numune	0,7086 gr
Fark	0,4022 gr
Yüzde	%36,2
SO_2 miktarı	14,67 mg/lt
Kayıkçık 2	9,8349 gr
Dolu	11,4232 gr
Numune	1,5883 gr
Kavurma sonrası	11,6817 gr
K.s. Numune	1,8468 gr
Fark	0,2385 gr
Yüzde	%15,02
SO_2 tutma	**%77,07**

Çizelge 4.36 SO_2 Tutma Deneyi 24.

Süre: 30 dk	**Deney no:** 6
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	9,8352 gr
Dolu	10,833 gr
Numune	0,9978 gr
Kavurma sonrası	10,4709 gr
K.s. Numune	0,6357 gr
Fark	0,3621 gr
Yüzde	%36,28
SO_2 miktarı	13,34 mg/lt
Kayıkçık 2	10,2581 gr
Dolu	11,7458 gr
Numune	1,4877 gr
Kavurma sonrası	11,9677 gr
K.s. Numune	1,7096 gr
Fark	0,2219 gr
Yüzde	%14,92
SO_2 tutma	**%79,15**

4.2.5 700 ^{0}C 0,4lt/dk hava debisi ile yapılan deneyler

Sabit 700 ^{0}C 0,4lt/dk hava debisi ile 30 dakikada yapılan deney sonuçları çizelge 4.37-4.42 arasında gösterilmiştir.

Çizelge 4.37 SO_2 Tutma Deneyi 25.

Süre: 30dk	**Deney no:** 1
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	8,5388 gr
Dolu	9,5981 gr
Numune	1,0593 gr
Kavurma sonrası	9,2057 gr
K.s. Numune	0,6769 gr
Fark	0,3824 gr
Yüzde	%36,09
SO_2 miktarı	64 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.38 SO_2 Tutma Deneyi 26.

Süre: 30dk	**Deney no:** 2
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	9,8355 gr
Dolu	10,8898 gr
Numune	1,0543 gr
Kavurma sonrası	10,5172 gr
K.s. Numune	0,6817 gr
Fark	0,3726 gr
Yüzde	%35,34
SO_2 miktarı	61,34 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.39 SO_2 Tutma Deneyi 27.

Süre: 30dk	**Deney no:** 3
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	10,2553 gr
Dolu	11,3122 gr
Numune	1,0569 gr
Kavurma sonrası	10,9365 gr
K.s. Numune	0,6812 gr
Fark	0,3757 gr
Yüzde	%35,54
SO_2 miktarı	64 mg/lt
Kayıkçık 2	---
Dolu	---
Numune	---
Kavurma sonrası	---
K.s. Numune	---
Fark	---
Yüzde	---
SO_2 tutma	---

Çizelge 4.40 SO_2 Tutma Deneyi 28.

Süre: 30dk	**Deney no:** 4
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	10,2509 gr
Dolu	11,3421 gr
Numune	1,0912 gr
Kavurma sonrası	10,9379 gr
K.s. Numune	0,702 gr
Fark	0,3892 gr
Yüzde	%35,67
SO_2 miktarı	14,67 mg/lt
Kayıkçık 2	9,6452
Dolu	11,2074
Numune	1,5622
Kavurma sonrası	11,4327
K.s. Numune	1,7875
Fark	0,2253
Yüzde	%14,42
SO_2 tutma	**%76,75**

Çizelge 4.41 SO_2 Tutma Deneyi 29.

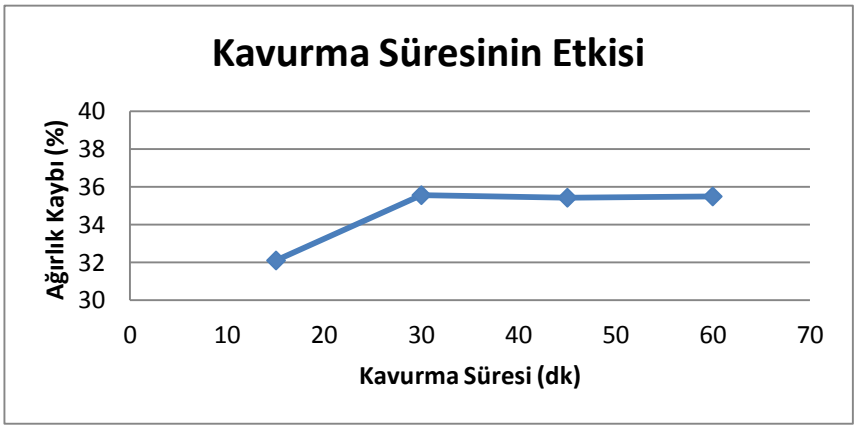
Süre: 30dk	**Deney no:** 5
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	10,2548 gr
Dolu	11,3677 gr
Numune	1,1129 gr
Kavurma sonrası	0,7142 gr
K.s. Numune	0,6802 gr
Fark	0,3987 gr
Yüzde	%35,82
SO_2 miktarı	13,67 mg/lt
Kayıkçık 2	8,5378
Dolu	10,1124
Numune	1,5746
Kavurma sonrası	10,3325
K.s. Numune	1,7947
Fark	0,2201
Yüzde	%13,98
SO_2 tutma	**%78,34**

Çizelge 4.42 SO_2 Tutma Deneyi 30.

Süre: 30dk	**Deney no:** 6
Hava: 0,4 lt/dk	
Kayıkçık	10,2524 gr
Dolu	11,2849 gr
Numune	1,0325 gr
Kavurma sonrası	9,2192 gr
K.s. Numune	0,6678 gr
Fark	0,3647 gr
Yüzde	%35,32
SO_2 miktarı	13,67 mg/lt
Kayıkçık 2	9,8352
Dolu	11,4533
Numune	1,6181
Kavurma sonrası	11,6848
K.s. Numune	1,8496
Fark	0,2315
Yüzde	%14,3
SO_2 tutma	**%78,34**

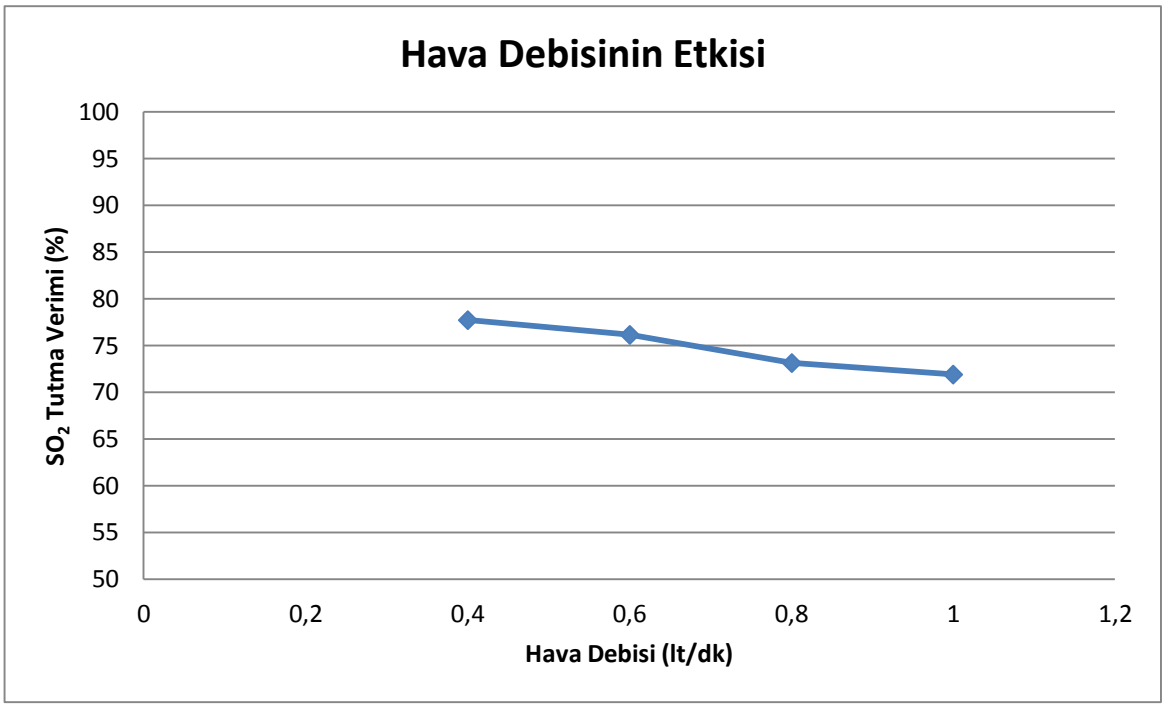
4.3 Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapılan deneyler sonucunda 1lt/dk hava debisi ile çalışırken piritin kavrulması için teorik olarak gereken havanın 2 katı hava kavurma işleminin tamamlanması için yeterli olmamaktadır. Teorik havanın 4 katı hava kullanıldığında %100 verimle kavurma işlemi gerçekleştirilebilmiştir ve daha fazla havayla çalışmaya gerek olmadığı görülmüştür.Şekil 4.2'de Kavurma süresinin kavurma verimine etkisi görülmektedir.



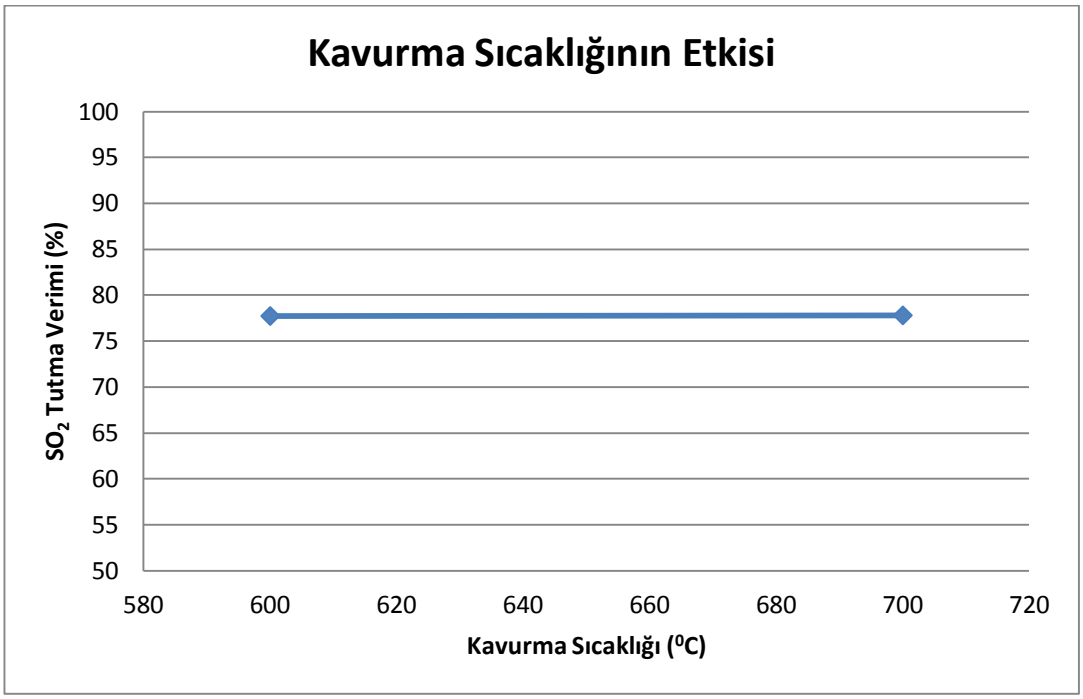
Şekil 4.2 Kavurma süresinin kavurma verimine etkisi.

SO_2 tutma deneylerinde düşük hava debilerinde daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir. Bunun temel sebebi Katı ile gaz arasındaki temas süresinin artmasıdır. Reaksiyonların gerçekleşebilmesi için gereken temas yüzeyi aynı kalmakta ancak temas süresi artmaktadır. Bu yüzden düşük hava debilerinde Baca gazı desülfürizasyon verimleri artmaktadır. Şekil 4.3'de sabit sıcaklıkta hava debisinin SO_2 tutma verimine etkisi görülmektedir.



Şekil 4.3 Değişen hava debisi ile SO_2 tutma verimi arasındaki ilişki.

Farklı sıcaklıklarda sabit hava debisi ile çalışılarak sıcaklığın SO_2 tutma verimlerine etkisi incelenmiş ancak çıkan sonuçlar sıcaklığın çok fazla etkisi olmadığını göstermiştir. Şüphesiz ki denenen sıcaklıkların yüksek sıcaklıklar olması düşük sıcaklıklar için –örneğin oda sıcaklığı- bir veri vermemektedir. Şekil 4.4'te 0.4lt/dk hava debisinde sıcaklığın SO_2 tutma verimine etkisi göserilmiştir.



Şekil 4.4 Kavurma sıcaklığının SO_2 tutma verimine etkisi.

Genel olarak kükürtlü yakıt kullanan tesislerin baca gazı sıcaklıklarının çalışılan aralıklarda olmasından ötürü ufak sıcaklık farklılıklarının desülfürizasyona ciddi etkisi olmadığı sonucuna ulaşılabilmektedir.

5.GENEL SONUÇLAR

Sanayileşmenin artmasıyla birlikte artan enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılan kükürt ihtiva eden yakıtlar sebebiyle artan SO_2 emisyonlarının azaltılması gerekmektedir.

Türkiye SO_2 emisyonları açısından yüksek değerlere sahiptir. Bu değerlerin hem kısa vadede hem de uzun vadede düşürülmesi gerekmektedir. SO_2 emisyonları 1990 yılından günümüze gelişmiş ülkelerde düşüş eğilimi gösterirken Türkiyede artış göstermektedir. Kişi başına düşen SO_2 değerleri oldukça fazladır.

Tüm bu sebeplerden dolayı ticari olarak sülfürik asit üretilemeyen ancak sınır değerlerin üstünde kalan baca gazındaki SO_2'ler mutlak suretle filtrelenmelidir.

Yapılan çalışmalarda kullanılan Yaylababa dolomitinin minerolojik analizi yapılmıştır. Ardından bu dolomitin termodinamik olarak SO_2'yi tutabileceği hesaplanmış ve gösterilmiştir. Teorik olarak gerçekleşen bu reaksiyonların pratikte nasıl sonuç vereceği yapılan deneylerde ortaya konmuştur.

Küre pirit konsantresinin kavurma şartları yapılan deneylerle belirlenmiştir. Gereken optimum hava miktarı teorik olarak hesaplanmış ve pratikte belirlenmiştir. Kavurma için gereken teorik havanın yaklaşık 4 katı kadar havadan fazlasına ihtiyaç yoktur. Optimum şartlar konsantrenin içeriğini göre değişmekle beraber teorik havanın 2 katından fazla 4 katından az olarak nitelendirilebilir.

Ülkemiz dolomitleri kullanılarak yapılan deneylerde dolomitin SO_2 tutma verimleri belirlenmiş,%70'in üzerinde değerler bulunmuştur. Ancak yüksek hava debilerinde bu değerlerin az miktar da olsa düşebileceği öngörülmektedir.

Artan sıcaklık dolomitin SO_2 tutma verimlerine yüksek sıcaklıklarda ciddi bir etki yapmamıştır ancak düşük sıcaklıklarda verimlerin daha düşük olacağı öngörülmektedir.

Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında ülkemiz dolomitleri kullanılarak ortalama saatlik 1285µg, günlük 485 µg, yıllık ortalama 214 µg'ın altında emisyon değerlerine sahip tesisler için Yaylababa dolomiti kullanılarak yapılacak filtreleme uygun görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Muezzinoglu A. (**1987). Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yayınları , Yayın No: 0908.87.DK.006.042, İzmir.

[2] **Agren C**. (1991). Emep Report, MCS-W 1/91 Norveç.

[3] **TS 10449**. (2009). Mermer, kalsiyum karbonat bileşimli yapı ve kaplamataşı olarak kullanılan.

[4] **Url-1** < http://www.kimyaegitimi.org/sites/default/files/kukurt_oksitler.pdf >, alındığı tarih: 01.02.2014.

[5] **Demir M. ,** (1995). Sorpsiyon Yöntemi ile Baca Gazından Kükürt Dioksitin Giderilmesi. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, sf. 34.

[6] **Var F**. (1990). Bazı Hava Kirleticiler için Örnek Toplama Deneysel Analiz ve Veri Değerlendirme Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara.

[7] **Özdemir O**. (2005). Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Uz. Dr. Sağlık ve Toplum Dergisi, Yıl: (15), Sayı:1

[8] **Keleş R.** , **Hamamcı C. (**2002). Çevrebilim, 4. Baskı, İmge Kitabevi.

[9] **Url-2** <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/education-and-outreach/additional/science-focus/locus/amateur_guide_for_air_quality_000.shtml#so> , alındığı tarih: 02.02.2014.

[10] **Url-3** <http://unstats.un.org/unsd/environment/air_so2_emissions.htm> ,alındığı tarih: 25.02.2014.

[11]. **Wark K. , Warner C.F. , Davis W.T.** (1998). Air Pollution-Its Origin and Control. Addison-Wesley, 3rd edition,

[12] **Url-4** < www.yildiz.edu.tr/~erturk/course_notes/air_pol_control/air70.doc >, alındığı tarih:02.02.2014.

[13] **Durmaz A.** (1987). Türkiye'nin Enerji Altyapısı ve Hava Kirliliği, , Uluslararası Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Sempozyumu, sf. 197-235.

[14] **Kaytakoğlu S. , Döğeroğlu T. , Kara S**. (1991). Yakma Kökenli Kükürt Oksit ve Azot Oksit Gazlarının Birincil ve İkincil Kontrol Yöntemleri ve Bireysel/Birlikte Giderme Teknolojilerinin Karşılaştırılması, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü Sempozyumu.

[15] **Miller M. J.** (1986). Retrofit SO_2 and NO_X Control Technologies for Coal Fired Power Plants, , Environmental Progress. 5, sf. 171-177.

[16] **Çevre Analiz Laboratuvarı-2** (2007). T.C. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü sf. 10-18.

[17] **Temur, S.** (2001). Endüstriyel Hammaddeler, Çizgi Kitabevi, 3. Baskı, Konya.

[18] **Erkan, Y.** (1978). Kayaç Oluşturan Önemli Minerallerin Mikroskopta İncelenmeleri, Cihan Matbaası, Ankara, sf. 150.

[19] **Kurt C. H.** (2007). Dolomit Cevherinin Kalsinasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi.

[20] **Johnston J**. (1910). J. Amer . Chem. Soc., Vol 32, sf. 938.

[21] **Boynton R.S**. (1980). Chemistry and Technology of Lime and Limestone, John Wiley and Sons., Inc., Second Edition, New York, sf. 7-190.

[22] **Azbe V. J.** (1944). Rock Prod., sf. 68.

[23] **Azbe V. J. (**1939). ASTM Symposium on Lime, sf. 15.

[24] **Habashi F.** (2006). Pyrıte: The Strategıc Mıneral That Became An Industrıal Nuısance sf. 43-49.

[25] **Url-5** < http://tr.wikipedia.org/wiki/Pirit >, alındığı tarih: 24.03.2014.

[26] **Bor Y. F.** (1980). Ekstraktif metalürji prensipleri kısım 2 İstanbul sf. 283-284.

[27] **Runkel M. , Sturm P. (**2009). Pyrıte Roastıng, An Alternatıve To Sulphur Burnıng Outotec Gmbh, Oberursel sf. 101-107.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Serkan Başlayıcı

Doğum Yeri ve Tarihi: Beyoğlu, 1988

Adres: Göztepe Mah. Rıdvanpaşa Sok. No:21/16 Kadıköy/İstanbul

E-Posta: sbaslayici@gmail.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi