



# Termik Santral Kaynaklı Çevre Kirliliğini Önlemek İçin Baca Gazı Arıtma Teknolojisi: Örnek Çalışma Seyitömer Termik Santrali Uygulaması

Şeyma, Kaçmaz<sup>1</sup>, Havva Demirpolat<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Çelikler Holding, Ankara, Türkiye,(ORCID: 0000-0000-0000-0000), [seyma.kacmaz88@gmail.com](mailto:seyma.kacmaz88@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2981-9867), [hdemirpolat@selcuk.edu.tr](mailto:hdemirpolat@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, ICAENS 2022,) March 10-13, 2022)

(DOI:10.31590/ejosat.1084072)

**ATIF/REFERENCE:** Kaçmaz, Ş. & Demirpolat, H. (2022). Termik Santral Kaynaklı Çevre Kirliliğini Önlemek İçin Baca Gazı Arıtma Teknolojisi: Örnek Çalışma Seyitömer Termik Santrali Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 645-651.

## Öz

Bu çalışmada termik santrallerde yanma sonucu oluşan hava ve su kirliliğini önlemek üzere geliştirilen baca arıtma teknolojileri incelenmiştir. Bir örnek çalışma olarak hâlihazırda baca gazı desülfürizasyon sistemi devreye alınan ve yakıt olarak yerli linyitin kullanıldığı Seyitömer Termik Santrali incelenmiştir. Ekonomik ve uygulanabilir olması bakımından ıslak kireçtaşı yöntemi uygulanan santral desülfürizasyon ünitesinin verimlilik bakımından bir ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) tesisinin mevcut üretime oranı 0.02 olarak hesaplanmış ve her bir ünite için yönetmelikte belirtilen yaklaşık %95 verim yakalanabilmektedir. Böylelikle kullanılan linyit özellikleri ve yüksek kükürt oranlarına bağlı olarak devreye alınan ıslak desülfürizasyon sistemi sayesinde santralde alınabilecek ek önlemler ve yardımcı ünitelerden kaynaklanan tüketimler azaltılarak santralde her bir ünite başına üretim oranı düşebilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** desülfürizasyon, Seyitömer, termik santral

## Flue Gas Treatment Technology to Prevent Environmental Pollution From Thermal Power Plant: A Case Study Seyitömer Thermal Power Plant Application

### Abstract

In this study, desulfurization methods were examined to prevent air and water pollution caused by combustion from thermal power plants. Seyitömer Thermal Power Plant was investigated as a case study, which have a flue gas desulphurization system and uses native lignite as fuel. The wet-limestone method was carried out to reduce the adverse effects of sulfur dioxide. Energy consumption was evaluated by efficiency and operating cost each unit. The ratio of the Flue Gas Desulphurization (FGD) facility to the current generation is calculated as 0.02, approximately 95% efficiency can be achieved above the desulphurization efficiency specified in the regulation. Thus, when the additional measures that can be taken in thermal power plants operating at low capacity and the consumption caused by auxiliary units are reduced, the production rate per unit in the power plant will be decreased.

**Keywords:** desulphurization, Seyitömer, thermal power plant

\*Sorumlu Yazar: [hdemirpolat@selcuk.edu.tr](mailto:hdemirpolat@selcuk.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünyada artan nüfus ve sanayileşme enerjiye olan ihtiyacı arttırmaktadır. Enerji, üretim için önemli bir parametre olup bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini ortaya koyan temel göstergelerden biridir. Harcanan enerjiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, ekonomik gelişme ve refah artışıyla enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir [1, 2]. Günlük yaşamda her aşamada kullanım alanı bulan enerji; kimyasal, nükleer, mekanik, termal (ısı), jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgar, elektrik enerjisi gibi değişik şekillerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Petrol, kömür, doğalgaz, nükleer, hidrolik, biyokütle, dalga-gelgit, güneş ve rüzgar birincil enerji kaynakları iken ikincil (Seconder) enerji kaynakları elektrik, benzin, mazot, motorin, kokkömürü, ikincil kömür, petrokok, havagazı, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) olarak tanımlanabilir.[3]. Önümüzdeki 20 yıl içinde enerji taleplerinin %40 oranında artması öngörülmektedir. Kömür ve petrol tüketimi 2019 ve 2020 yılında %7 oranında bir azalış göstermiş olsa da enerji ihtiyacının yaklaşık %70 oranına cevap vermektedir. [4] 20 yıllık enerji projeksiyonunda kömürün payında %3.2 oranında bir azalma beklenmektedir ancak mevcut jeopolitik ve ekonomik kriterler birincil enerji kaynaklarının içerisinde kömürün ağırlıklı olarak mevcudiyetini koruyacağını göstermektedir. Uzun süreli kömüre dayalı elektrik enerjisi üretiminde en önemli konu sera gazları emisyonlarının kabul edilebilir bir seviyede tutulabilmesidir. Bu amaçla alınacak önlemler ile mevcut enerji santrallerin iyileştirilmesi, yeni yönetmelik ve yasalarla bu durumu kontrol altında tutarak enerji arz çeşitliliğini korumak enerji politikası olarak pek çok ülkede kabul görmektedir. [5] Türkiye'de lisanslı 367 adet termik santralin 51 tanesinde yakıtlı olarak kömür ile üretim yapılmakta ve yıllık 107.597GWh olarak kayıtlara geçmektedir. [4] 29 Tane yerli kömür yakıtlı termik santralinin yanı sıra ithal kömür yakan santrallerimiz de mevcuttur. Ülkemizin sahip olduğu yaklaşık 19 milyar ton yerli linyit rezervi enerji üretimi bakımından kıymetlidir ve önümüzdeki dönemde de santral yatırımlarının devam edeceği öngörülebilmektedir. Ancak ülkemizde çıkarılan linyitin ısı değeri yaklaşık olarak 2000Kcal/kg ve yüksek kükürt içeriği (%1,38-4,65) hava ve su kaynaklarının temizliği ve insan sağlığı için ekstra önlemler alınmasını zorunlu kılmaktadır. Yerli linyit kaynaklarındaki yüksek kükürt içeriği; kömür santrallerinde yanma sonucunda kükürtlü bileşik oluşumuna sebep olmaktadır.[5] Oluşan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>)en önemli gaz kirliliği nedenidir. İnsan sağlığı üzerinde solunum yolu hastalıkları ve solunum güçlüğüünün yanı sıra kalp-damar hastalıklarında da olumsuz etkileri vardır.Çevre etkileri ise asit birikimi ve asit yağmurları ile birlikte su ekosisteminin asidifikasyonudur. Asidifikasyon uzun vadede canlı tüm organizmaları olumsuz etkilemektedir. İnsan aktivitelerinin sonucu her yıl SO<sub>2</sub> emisyonları artmaktadır. Bu sebeple özellikle termik santrallerde çevre ve insan sağlığını korumak amaçlı düzenlemeler ve önlemler elzem olmaktadır. Bu kapsamda büyük yakma tesisleri Yönetmeliği 2010 yılı 27605 sayılı Resmi gazetede yayımlanmış ve 2019 yılında 400mg/Nm<sup>3</sup> olarak uygulamaya almıştır. Ayrıca Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 25 Kasım 2014 tarih ve 29186 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Toplam ısı gücü bakımından 300MWt ve daha fazla olan santraller için ek bir yönetmelik hazırlanmıştır.[6] Termik santrallerde SO<sub>2</sub>

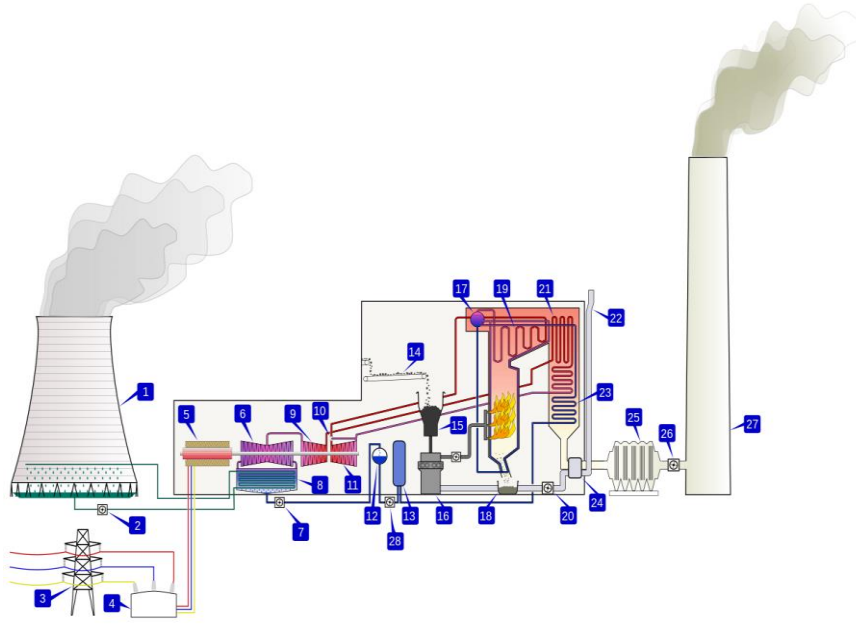
emisyonlarının kontrolü maden aşamasında veya baca gazı olarak atılımı sırasında kontrol edilebilir. Genellikle bacadan atmosfere atılmadan önce giderilmesi daha uygun ve ekonomik olmaktadır. Islak ve kuru olarak tanımlanan baca gazı desülfürizasyon (BGD-BGD) prosesi günümüzde uygulanmaktadır.[7] BGD sistemini ve enerji tüketimini tahmin etmek üzere matematiksel model oluşturulmuştur. Tahmini tüketim miktarları ve dağılımının santraller için enerji tasarrufu araştırmalarına bir temel oluşturmaktadır. [8,9] Bu çalışmada işletmesi Çelikler Holding A.Ş ye ait 600MW üretim kapasiteli Seyitömer Termik Santraline uygulanan desülfürizasyon prosesi incelenmiştir. Tahmini tüketim dağılımları ve iyileştirilebilir özellikler araştırılmıştır.

## 2. Termik Santraller

Termik santraller enerji dönüşümünün gerçekleştiği sistemlerdir. Bir termik santralde kullanılan yakıtın sahip olduğu kimyasal enerji ısı enerjisine, bu ısı enerjisi mekanik enerjiye, mekanik enerji de elektrik enerjisine çevrilir. Bu dönüşümde linyit, taş kömürü, petrol, doğalgaz ve türetilmiş gazlar yakıt olarak kullanılmaktadır. Termik santraller buhar çevrimli güç santralleridir genel bir akım şeması Şekil 1 de görülmektedir. Kömür yakıtlı termik santraller iki ayrı çevrimde incelenebilir. Birincisi santralin ana çevrimini oluşturan, üzerinde santral verimini artırmaya yönelik iyileştirmeler yapılmış Rankine çevrimidir. Bu çevrimde akışkan olarak demineralize edilmiş su kullanılır. Santralde elektrik üretimini sağlayan bu çevrim, en az 5 ana eleman olan pompa, kazan, jeneratör, türbin ve yoğuşturucudan oluşmalıdır. İkinci çevrim buhar türbininden çıkan suyun yoğuşturulması için kullanılır. Bu çevrimde akışkan soğutma suyu, soğutma suyu pompası ile basılır ve kondenserden geçen ana çevrim suyunun yoğuşması sağlanır. Isınan soğutma suyunun ise soğutma kulesi aracılığıyla ısı alınır. Deniz veya nehir gibi doğal su kaynakları, termik santrallerde soğutma suyu olarak kullanılabilir. Bu durumda soğutma kulesi kullanımına gerek kalmaz. Isınan su doğal dengeyi sağlamak üzere tekrar deniz veya nehre aktarılmalıdır.

### 2.1.1. Termik Santrallerde Klasik Fosil Kaynaklı Yakıtlar ve Çevresel Etkileri(Classical Fossil Fuels in Thermal Power Plants and Their Environmental Effects)

Enerji üretiminde en önemli çevre sorunları termik santrallerden özellikle de linyite dayalı elektrik üretim santrallerden kaynaklanmaktadır [2]. Termik santraller yakılan çeşitli fosil yakıtlardan (kömür, fueloil, doğalgaz v.b.) elde edilen ısı ile suyun ısıtılarak yüksek basınçlı buhar haline dönüştürülmesi ve buhar vasıtasıyla elektrik jeneratörlerinin çok hızlı şekilde döndürülerek, jeneratörlerdeki magnetlerden oluşan elektrik impulslarının yoğunlaştırılması sonucu elektrik enerjisi üretimi esasına dayanır [3]. Genelde kömür yataklarına yakın inşa edilirler [4].Termik santraller linyit kömürünün çıkarılmasından, yakılan kömürün oluşturduğu külün depolanmasına kadar geçen birbirine bağımlı birçok işlemle önemli çevre kirliliği oluşturdıkları gibi bu kirlilikten insan, hayvan ve bitkiler de etkilenmektedir. Kömürün yakılması ile bölgesel ölçekte asit yağmurlarına, yerel ölçekte insan sağlığı, bitki ve malzemelere zararlı etkilere sebep olan SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>, küresel ölçekte ısınmaya yol açan CO<sub>2</sub> gazlarının açığa çıkması gibi çevresel etkileri vardır [3, 4].



Şekil 1. Termik santralin genel yapısı(General structure of the thermal power plant)

1	Soğutma Kulesi	14	Kömür Taşıyıcı
2	Soğutma suyu pompası	15	Kömür Besleme
3	3-Faz Enerji nakil hattı	16	Kömür Öğütücü
4	3-Faz Yükseltici Trafo	17	Buhar Fıçısı
5	3-Faz Elektrik Üretici	18	Kül Hunisi
6	Düşük basınç buhar Türbini	19	Süperfırın
7	Yoğuşma Pompası	20	Enerji akım Fanı
8	Yüzey Yoğunlaştırıcı	21	Reheater
9	Orta Basınç Türbini	22	Yanma Hava Girişi
10	Buhar kontrol Valfi	23	Ekonomizer
11	Yüksek basınç buhar Türbini	24	Hava önısıtıcı
12	Gaz arındırıcı	25	Elektrostatik Filtre
13	Besleme Suyu Isıtıcı	26	Endüklemiş akım Fanı
		27	Baca

### 2.1.1 Hava Kirliliği Açısından Değerlendirme (Assessment In Terms Of Air Pollution)

Termik santrallerde kullanılan kömürün kükürt içer iğinin yüksek ve ısıl değerinin düşük olması halinde SO<sub>2</sub> ve partikül madde emisyonları yüksek olmakta ve önlem olarak santrallere elektrofiltreler ve Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) tesislerinin kurulmasını gerekli kılmaktadır. Ancak tesiste filtre yoksa veya iyi çalıştırılmıyorsa kirleticilerin ve uçucu küllerin atmosfere verilmesi sonucu önemli bir hava kirliliği oluşur. Uçucu küller huzme ile birlikte havaya yayılarak ağırlıklarına ve meteorolojik koşullara göre bacadan itibaren belirli mesafelerde yere çökerler. Bu esnada içerdikleri Co, Cd, Zn, Pb, Cu gibi metal bileşikler de hem yerel ölçekte alıcı ortamda (ormanlar, meralar, tarlalar vb.) tarla bitkileri veya meyve ağaçları üzerinde zehirli etki yapabilirler, hem de bölgesel ölçekte huzmede bulunan SO<sub>2</sub> ve

NOX gazlarının asit yağmurlarına dönüşmesinde katalizör etkisinde bulunurlar [3, 4].

Fosil yakıt kullanımının dayandığı yanma teknolojisinin kaçınılmaz ürünü olan CO<sub>2</sub> yayılımı sonucunda, atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarı, son yüzyıl içinde yaklaşık 1,3 kat artmıştır. Önümüzdeki 50 yıl içinde bu miktarın, bugüne oranla 1,4 kat daha artma ihtimali vardır. Atmosferdeki CO<sub>2</sub>'in neden olduğu sera etkisi, son yüzyıl içinde dünya ortalaması sıcaklığını 0,7 °C yükseltmiştir. Bu sıcaklığın 1°C yükselmesi, dünya iklim kuşaklarında görünür değişimlere, 3°C düzeyine varacak artışlar ise, kutuplardaki buzulların erimesine, denizlerin yükselmesine, göllerde kurumalara ve tarımsal kuraklığa neden olabilecektir [5, 6].

### 2.1.2 Su Kirliliği Açısından Değerlendirme (Evaluation in Terms of Water Pollution)

Termik santrallerin soğutma sularını deşarj ettikleri su ortamındaki normal sıcaklık derecesi zamanla yükselerek, termik santral kurulmadan önceki doğal halinden farklı yeni bir sıcaklık dengesi oluşur. Sıcaklık sularındaki canlılar ve canlı metabolizması üzerinde hızlandırıcı, katalizleyici, kısıtlayıcı ve öldürücü gibi çeşitli etkilerde bulunur. Sıcaklık aynı zamanda sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır [4]. Isı-su kütlelerinde biyolojik süreçleri hızlandırır, çözülmüş oksijen azalır. Su bitkilerinin büyümesini arttırarak suda tat ve koku problemine yol açar. Termik santrallerde kullanılmakta olan soğutma suyu pompalarla çekilerek arıtmadan geçirilmekte ve bu sırada geçici sertlik giderimi, çöktürme ve mikroorganizmaların yok edilmesi aşamalarında kimyasal maddeler ilave edilmektedir. Kullanılan bu kimyasallar soğutma suyunun bir alıcı ortama verilmesi durumunda alıcı ortamda kirliliğe sebebiyet vermektedir. Ayrıca santral bacasından çıkacak olan kirletici gazların oluşturacağı asit yağmurları da suların pH' nı değiştirebilmektedir. Uçucu küllerde bulunan Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Pb, U gibi ağır metaller de zamanla taban suları vasıtasıyla alıcı ortama varabilmektedir.

### 2.1.3 Katı Atık Ve Toprak Kirliliği Açısından Değerlendirme (Evaluation in Terms of Solid Waste and Soil Pollution )

Katı atıklar, kömüre dayalı termik santrallerden atılan kül ve cüruf ile Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) tesisi atığı olan alçıtaşıdır. Çıkan atık miktarının çok olması ve atığın betarafı sorun olarak durmaktadır [2].Termik santrallerin bacasından çıkan duman bileşenlerinin zamanla yere çökmesi, çevresindeki alanlarda toprak kirliliğine neden olabildiği gibi, yanma sonucu linyit kömüründe %35–55 oranında bulunan küller de kül barajında toprak üzerinde depolanarak toprak kirliliği oluştururlar. Ayrıca, kömürün çıkarılması sırasında büyük alanlardan toprağın alınarak kömür olmayan alanlara yığılması da yanlış arazi kullanımına neden olduğu için bir nevi toprak kirliliği sayılmaktadır.

### 2.2 Termik Santrallerin Baca Gazından Çıkan Gazların Önlenmesi İçin Kullanılacak Yöntemler(Methods to be Used for the Prevention of Gases Coming from the Flue Gas of Thermal Power Plants)

Kükürt dioksit, SO<sub>2</sub> yakıttaki kükürdün oksijenle yanması sonucu ortaya çıkan bir asit gazdır. Kömür yakan santrallerden kaynaklanan SO<sub>2</sub> emisyonları, yanma öncesi teknikler, yanma modifikasyonları ve yanma sonrası metodlar olmak üzere üç başlık altında incelenebilir;

a) Yanma Öncesi Kontrol: Yakıtın/kaynağın daha az kükürt içeren bir başka yakıt/kaynak ile değiştirilmesi veya yanma prosesi veriminin artırılarak daha az yakıt ihtiyacı oluşturulması, yanma öncesi kontrol seçenekleri arasında bulunmaktadır. Bunun yanısıra, yakıtın içerdiği kükürdün uzaklaştırılması için bazı fiziksel ve kimyasal yöntemler de kullanılabilir. Ancak yerli linyit kaynaklarımızın düşük kalori ve yüksek kükürt oranı ayrıca organik bağlı olması yanma öncesi SO<sub>2</sub> emisyon kontrolünü güçleştirmektedir ve ekonomik olmamaktadır.

b) Yanma Esnasında Kontrol: Akışkan yataklı kazan kullanımı, düşük yanma odası sıcaklığının sağlanması ve kireçtaşı, dolomit, kireç gibi kalsiyum esaslı katı maddenin kazana enjeksiyonu yanma esnasındaki başlıca kontrol yöntemlerindedir. Kireçtaşı, yanma prosesi sırasında açığa çıkanSO<sub>2</sub>'in %90'ını absorbe edebilir. Sodyum bazlı bileşikler de kazana absorbent enjeksiyon teknolojisinde kullanılabilir. Enjekte edilen absorbentin SO<sub>2</sub> ile reaksiyon mekanizması ve prosesin verimi, enjeksiyon sıcaklığına, absorbent tipine, absorbent yüzey alanına ve absorbentin kükürte olan molar oranına bağlıdır. Akışkan yataklı santral kazanları doğal olarak yanma işlemi sırasında SO<sub>2</sub> giderme teknolojisine haizdir. Akışkan yataklı kazanlarda kireçtaşı, yatak malzemesinde bulunduğu için bu tip kazanlarda SO<sub>2</sub> emisyonu düşük seviyededir. Bu yöntemler, günümüzde uygulanmakla beraber, tek başlarına kullanılmaları durumunda yönetmeliklerdeki emisyon limitlerini tam olarak sağlayamadıklarında yanma sonrası kontrol sistemleri ile beraber kullanılmaları tercih edilmektedir.

c) Yanma Sonrasında Kontrol: Termik santral kazanların da yanma sonrası oluşan baca gazlarının içerdiği SO<sub>2</sub>'nin tutulması

için en etkin ve en çok tercih edilen yöntem yanma sonrasında baca gazı kükürt arıtma teknolojilerinin uygulanmasıdır.SO<sub>2</sub> kontrol yöntemlerini kısaca aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür



### 3. Baca Gazı Arıtma Sistemi (Flue Gas Desulfurization System)

Baca gazını kükürt dioksitten arındırmak üzere pek çok yöntem geliştirilmiştir. Ancak ekonomik ve uygulanabilirlik bakımından ıslak ve kuru sistemler olarak sınıflandırılabilir.İslak sistemlerde baca gazı doymuş su buharı olarak sistemden atılırken kuru sistemlerde SO<sub>2</sub> arıtılması gaz-katı ara yüzünde gerçekleşmektedir.[8-10] SO<sub>2</sub> atmosfere bacadan atılmadan tutulması hedeflenen tüm sistemlerde ekonomik yaklaşımlar işletmelerin önceliğini oluşturmaktadır. Artıcı absorberlerin kükürt dioksiti tuttuktan sonra jenerasyon işlemleri veya sistemden uzaklaştırılmaları ikincil prosesleri zorunlu kılmaktadır. Genellikle çamur veya katı atıklardan yan ürün eldesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

#### 3.1 Örnek Çalışma Seyitömer BGD Uygulaması

Kireçtaşı ve kirecin aktif madde olarak kullanıldığı Seyitömer Santrali BGD sistemi Şekil 2 de görüldüğü gibi dört ana kısımdan oluşan Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) sistemi; Kireçtaşı Taşıma ve Absorbent Hazırlama Sistemi, Baca Gazı SO<sub>2</sub>Yıkama Sistemi, Alçıtaşı Su alma ve Kül/Alçıtaşı Karıştırma Sistemi ve Gaz Yolu Sistemi olarak tanımlanabilir. Yıkayıcı kule, ve içinde bir karşı akış kulesi, bir bileşik oksidasyon ve nötralizasyon çukuru olan Çift Temas Akışlı bir yıkayıcı kuledir (DCFS). Yıkayıcı kulenin üst tarafında bulunan iki sıra sprej boruları, baca gazı üzerine absorbent bulamacı püskürtür. Yıkayıcı kule toplama çukuru karıştırıcıların önünde bulunan hava borularından oksidasyon havası üflenir. Bu oksidasyon sistemi yıkayıcı kule toplama çukurunda HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> ün SO<sub>4</sub> ye oksidasyonunu artırır. Oksitlenen HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> daha sonra kireçtaşı bulamacı ile alçıtaşı kristalleri oluşturarak nötralize olur. Sülfürü tutulan baca gazı, yıkayıcı kuleden çıktıktan sonra sürüklenen damlacıklarının toplandığı damla tutucudan geçer. Yatay tip damla tutucu, soğutma kulesinin çıkışına yatay olarak kurulmuştur. Katı yakıtlı yakma tesislerinde mg/Nm<sup>3</sup> olarak baca gazında % 6 hacimsel oksijen (O<sub>2</sub>) esas alınarak Tablo1. deki emisyon sınır değerleri aşılamaz. Örnek çalışmada ele alınan santrale ait hava kalitesi değerleri Tablo2. de verilmiştir. Tesis etki alanındaki hava kalitesi ve emisyon ölçümleri, akredite edilmiş veya Bakanlıkça uygun bulunan laboratuarlara sahip olan özel veya kamu kurum/kuruluşları tarafından yapılmıştır. SO<sub>2</sub> parametresi için, Tablo 2 de belirtilen emisyon sınır değerlerinin yakıtın karakteristik özellikleri sebebi ile sağlanmadığı durumlarda 50MW ≤ Yakıt ısıl gücü

**Tablo 1** Farklı üretim gücündeki termik santrallere ait emisyon sınır değerleri

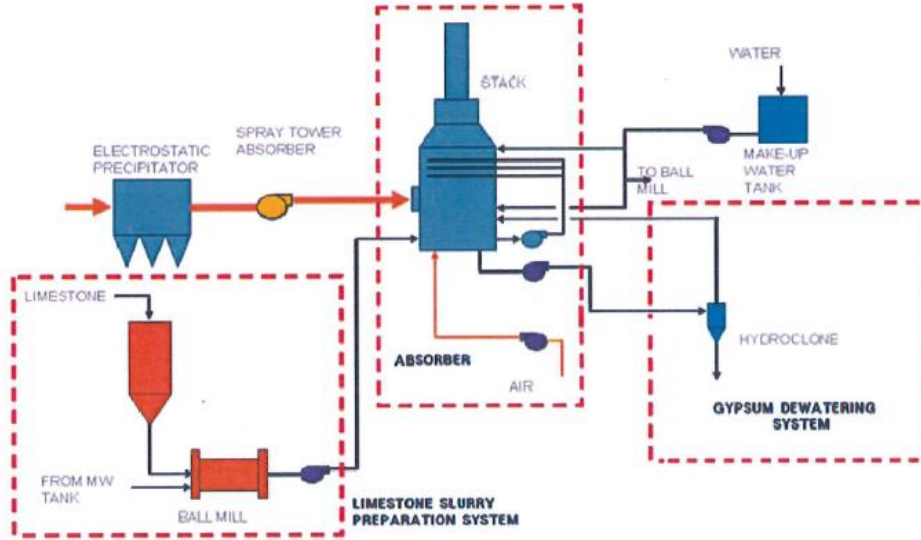
Yakıt türü	Yakıt ısı gücü	Emisyon Sınır Değerleri (mg/Nm <sup>3</sup> )			
		Toz	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> (NO ve NO <sub>2</sub> )	CO
Katıyakıt	50 MW ≤ Yakıt ısı gücü < 100 MW	100	2000	600	200
	100 MW ≤ Yakıt ısı gücü < 500 MW		2000-400 (lineer azalma)		
	Yakıt ısı gücü ≥ 500 MW	50	400	200	
Petrol koku	50 MW ≤ Yakıt ısı gücü < 100 MW	20	400	600	200
	Yakıt ısı gücü ≥ 100 MW			200	

**Tablo 2** Tesis Etki Alanında Hava Kalitesi Sınır Değerleri

Parametre	Süre	Birimi	YIL						2024 ve sonrası
			2014	2015	2016	2017	2018	2019-2023	
SO <sub>2</sub>	Saatlik (bir yılda 24 defadan fazla aşılmaz)	µg/m <sup>3</sup>	500	470	440	410	380	350	350
	24 saatlik		250	225	200	175	150	125	125
	UVS		60	60	60	60	60	60	60
	**Yıllık keçi dönemi (1 Ekim-31 Mart)		20	20	20	20	20	20	20
NO <sub>2</sub>	Saatlik (bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	µg/m <sup>3</sup>	300	290	280	270	260	250	200*
	yıllık		60	56	52	48	44	40*	40
Havada Asılı Partikül Madde (PM 10)	24 saatlik (bir yılda 35 defadan fazla aşılmaz)	µg/m <sup>3</sup>	100	90	80	70	60	50	50
	Yıllık		60	56	52	48	44	40	40
Pb	Yıllık	µg/m <sup>3</sup>	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
CO	Maksimum günlük 8 saatlik ortalama	mg/m <sup>3</sup>	16	14	12	10	10	10	10
Cd	UVS	µg/m <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
HCl	KVS	µg/m <sup>3</sup>	150	150	150	150	150	150	150
	UVS		60	60	60	60	60	60	60



HF	Saatlik	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	30	30	30	30	30	30	30
	KVS		5	5	5	5	5	5	5
H <sub>2</sub> S	Saatlik	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	100	100	100	100	100	100
	KVS		20	20	20	20	20	20	20
ToplamOrganikBileşikler (karboncinsinden)	Saatlik	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	280	280	280	280	280	280	280
	KVS		70	70	70	70	70	70	70
Çökentöz	KVS	$\text{mg}/\text{m}^2\text{gün}$	390	390	390	390	390	390	390
	UVS		210	210	210	210	210	210	210
Çökentöz da	Pb vebileşikleri	$\text{mg}/\text{m}^2\text{gün}$	250	250	250	250	250	250	250
	Cd vebileşikleri		3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75
	Tl vebileşikleri		5	5	5	5	5	5	5

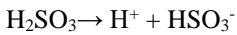
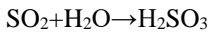


Şekil 2. BGD Sisteminin Ana Hatları (Flue Gas Desulfurization System's outline)

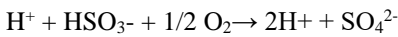
### 3.2 Sistem Kimyası

Baca gazından SO<sub>2</sub> 'nin emilimi ve alçıtaşına dönüşümü ile ilgili kimyasal reaksiyon aşağıda verilmiştir:

İlk olarak, yıkayıcı kulede SO<sub>2</sub> su tarafından emilir, daha sonra HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> formuna dönüşür.

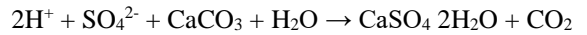


HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> iyonu, baca gazı içindeki oksijenle kısmen, yıkayıcı kule içindeki oksijenle de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>'e tamamen okside olur:



Yıkayıcı kule toplama çukurunda içinde H<sup>+</sup>+SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iyonları bulunan asidik absorber bulamacı, baz kireçtaşı bulamacında asılı bulunan kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) ile tepkimeye girer.

Sülfat iyonları karbonat iyonları ile nötrale olur ve hidratlı alçıtaşı bulamacı (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) oluşur.



Alçıtaşı bulamacının bir kısmı, katı alçıtaşı (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) olarak tutulmak üzere Alçıtaşı Su alma kısmına beslenir. Harcanan kalsiyum karbonatın telafi edilmesi için, Absorbent Besleme Tankından Yıkayıcı Kule toplama çukuruna taze kireçtaşı bulamacı pompalanır. Tazelenen absorber bulamacı, Yıkayıcı Kule toplama çukurundan Yıkayıcı Kule'nin üst kısmına devri daim eder ve püskürtme borularından baca gazı içine püskürtülür.

### 4. Sonuç ve Bulgular

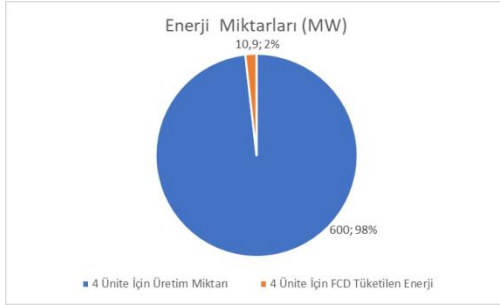
Örnek işletme olarak analizi yapılan Seyitömer Termik Santraline ait BGD giriş koşulları Tablo3 belirtilmiştir. %95'lik SO<sub>2</sub> Desülfirizasyon verimi, her durumda zorunlu kriter olarak kabul edilmiştir. Normal Durumlarda, BGD çıkışındaki baca gazındaki maksimum SO<sub>2</sub> miktarı 400 mg/Nm<sup>3</sup>'tür. Ham baca

gazındaki maksimum toz içeriği ise 75mg/Nm<sup>3</sup> olmaktadır. 4 üniteden oluşan santralde BGD sistemi enerji tüketimi susuzlaştırma ünitesi, ıslak kireçtaşı sistemi olmak üzere toplam 10.92MW olarak hesaplanmıştır.

[10] Xu G , Yuan X , Yang Y P , et al. Optimization operation of flue gas desulfurization systems in power plants for energy conservation, Proceedings of the CSEE, 2012, 32 (32): 22-29

Gaz Çıkışı (m <sup>3</sup> /h s.t.p)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Toz
	%- Vol(met)	%- Vol(met)	mg/Nm <sup>3</sup> (%6 O <sub>2</sub> ve Kuru Bazda)	%- Vol(met)	mg/Nm <sup>3</sup>
<b>1,100,000</b>	11,32	14	7,000	9,91	75

Hesaplamalarda mevcut santraldeki uçucu kül be baca gazı miktarı baz alınmıştır.BGD sisteminin tüketimin toplam üretime oranı 0.02 olmaktadır. her bir ünite BGD tüketimi yaklaşık 2.725MW olmaktadır. Yedek ekipmanların ve toz filtrelerinin çalışma koşulları da hesaba katıldığında BGD sistemi için öngörülen tüketim oranı 10,4MW değerine düşebilmektedir Bu durumda BGD tüketiminin toplam üretime oranı 0,0173 değerine düşmektedir Şekil 3.



Şekil 3 BGD Tüketimin Toplam Üretime oranı

## Kaynakça

- [1] Altın V., “Enerji Sorunu ve Türkiye”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan- Mayıs-Haziran, 2004.
- [2] Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, DPT: 2569 – ÖİK: 585, Ankara, 2001.
- [3] Goncaloğlu B. İ., Ertürk F., Erdal A., “Termik Santrallerle Nükleer Santrallerin Çevresel Etki Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması”, Ekoloji Çevre Dergisi, Sayı: 34, Ocak-Şubat-Mart, 2000.
- [4] EÜAŞ 2020yıllık raporu
- [5] Statical Review of Worl Energy, 2021
- [6] Çift B., Okutan H.,Baca gazı desülfürizasyon proseslerinin ekonomik ve teknik analizi, İtü Dergisi,Cilt 9,Sayı 4, 2011
- [7] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Sektörel Atık Klavuzu,Termik Santraller
- [8] Leng Y., Hu R., Cui L., Dong Y., Study on Energy Efficiency Characteristics of Wet Flue Gas Desulfurization Tower, Power Generation Technology Vol. 41 Issue (5): 543-551, DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.20076, 2020
- [9] Yang Y.P., Yuan X.,Huang S.W.,Xu G.,Regressive analysis of energy consumption of the wet desulfurization system in thermal power plant, Journal of Engineering Thermophysics, 33(11),pp.1854-1859, 2012