

Seçilmiş Bir Termik Santralde ESF Uygulamaları ve Verim Artırıcı Yöntemlerin Araştırılması

ESF Applications and Investigation of Efficiency Increasing Methods in a Selected Thermal Power Plant

Baran Kurt¹ , Hüseyin Özdemir^{1*} , Halil N. Oruç² , Göksel Demir³ 

¹Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34353, İstanbul, Türkiye

²Gebze Teknik Üniversitesi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 41400, Kocaeli, Türkiye

³Hamidiye Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, 34668, İstanbul, Türkiye

Öz

Günümüzde hava kirliliği, insanlığın en büyük sağlık tehdidi haline gelmiştir. Endüstri kaynaklı ve özellikle fosil yakıtla çalışan enerji santralleri atmosfere önemli miktarda emisyon salımı yapmaktadır. Birey başına düşen enerji tüketim miktarının artması da ortaya çıkan hava kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır. Yakıt olarak kömür kullanan enerji santrallerinin atmosfere yaydığı kirlilikte en büyük paya sahip kirleticilerden biri partikül maddelerdir. Termik santrallerde işlem sırasında oluşan partikül kirleticiler, emisyon kontrol teknolojilerinden biri olan Elektrostatik Filtreler (ESF) vasıtasıyla atmosfere yayılımı en aza indirilmektedir. Bu çalışmada, ESF verimliliğini arttırmak için işletme parametrelerinde değişiklikler yapılarak filtrelerin partikül tutma verimleri incelenmiştir. Farklı kül değerlerine ve elementel analiz sonuçlarına sahip 3 kömür çeşidinin ESF verimliliğine etkisi gözlemlenmiştir. ESF performansını etkileyebilecek ESF gaz giriş sıcaklığı değerleri kullanılarak senaryolar oluşturulmuş ve bunların etkisine bakılmıştır. ESF'ye giriş yapan atık gaz konsantrasyonuna direkt olarak etki eden farklı hava ön ısıtıcı kaçak oranları için toz emisyon değerleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte, ESF sistemi içerisindeki süreçlerde oluşabilecek problemleri gözlemlemek ve elektrik tasarrufu sağlamak amacı ile elektriksel alanların bazı bölümleri devre dışı bırakılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, farklı senaryolarda ortaya çıkan partikül emisyon değerleri analiz edilmiş ve senaryolardaki değişkenlerin ESF verimine etkisi değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kirliliği, Elektrostatik Filtre, Partikül Madde, Termik Santral.

Abstract

Today, air pollution has become the biggest health threat of humanity. Industrial sources, especially fossil fuel-fired power plants, emit a significant amount of emissions into the atmosphere. The increase in the amount of energy consumption per individual causes the resulting air pollution to increase. Particulate pollutants are one of the pollutants that have the largest share in the pollution emitted by the power plants that are using coal as fuel. Particulate pollutants generated during the production in thermal power plants are minimized by the Electrostatic Filters (ESF), which are one of the emission control technologies. In this study, the particle collection efficiency of filters was investigated by making changes in operational parameters to improve ESF efficiency. The effect on ESF efficiency was observed by using three different coals having different ash values and elemental analysis. Scenarios were created by using volatile gas temperature values that could affect ESF performance and their impact was examined. Dust emission values were calculated for different air preheater leakage rates, which directly affect volatile gas concentration. However, in order to observe the problems that may occur in the processes within the ESF system and to save electricity, some parts of the electrical fields have been turned off. As a result of this study, particle emission values in different scenarios were analyzed and the effect of the variables in the scenarios on ESF efficiency was evaluated.

Keywords: Air Pollution, Electrostatic Filter, Particulate Matter, Thermal Power Plant.

I. GİRİŞ

Dünyada nüfusun hızla arttığı son yüz yılda, çevre kirliliği büyüyen toplumsal sorunlardan biri haline gelmiştir. Birey başına düşen enerji tüketim miktarının artması hem hava kirliliğine hem de iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Sanayide ise özellikle fosil yakıtların kullanıldığı endüstriyel tesislerin sağlaması gereken kirletici sınır değerleri aşağı çekilmektedir. Bu tesisler arasında en önemli kirletici yüküne sahip olanlardan biri, fosil yakıt kullanan enerji santralleridir. Hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkileri üzerine yapılan birçok çalışma sonucunda, akciğer kanseri, romatizma, nefes darlığı, bronşit, kalp hastalıkları ve kan zehirlenmesi gibi birçok negatif etki gözlemlenmiştir [1]. 2018 yılında yayınlanmış olan “Key World Energy Agency” sonuçlarına göre, birincil enerji kaynağı olarak kömür %29, doğalgaz %21, nükleer %5, petrol %31 oranında pay alırken hidroelektrik %2, biyoyakıt ve atıklar %10, rüzgâr, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları %1’ini oluşturmaktadır [2]. 2005 yılında dünyadaki enerji tesisleri kaynaklarının %41’ini oluşturan kömürün oranı 2030 yılında %46

seviyesine çıkması tahmin edilmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden biri, birçok ülkenin kömür kaynağı bakımından zengin olması ve petrol ile doğalgaz gibi alternatif kaynakların yüksek fiyata sahip olmasıdır [3].

Partikül maddenin (PM) toplanması için kullanılan kontrol teknolojilerinden biri olan Elektrostatik Filtreler (ESF) farklı sıcaklık, basınç ve toz kütlesi gibi parametreler için etkili bir yöntemdir. ESF'ler, farklı boyutlardaki partikülleri yüksek oranda tutma kapasitesine sahip kontrol sistemlerinden biridir. Prosesten çıkan emisyonun akış yönü içerisindeki toz elektriksel alan üretilerek toplanır. Filtreye ulaşan partikül kirleticiler, elektrik ile yüklenerek gaz iyonlarının akış içerisinde olduğu koronadan geçer. Korona tarafından yüklenen serbest elektronlar, negatif yüklü elektrik alanına doğru hızlanarak yönelir. Deşarj elektrotundan uzaklaştıkça hızlanmaya devam eder ve böylece gaz moleküllerine çarpmalarına sebep olur. Gaz molekülleri bu çarpma ile birlikte elektronlarını kaybeder ve pozitif yüklü iyonlara dönüşür. Deşarj elektrotu çevresinde sürekli tekrarlanan bu durum bir döngü şeklinde daha fazla serbest elektron ve pozitif yüklü iyon oluşmasına neden olur. Deşarj elektrotları çevresindeki kuvvetli elektriksel alandan ayrılan elektronlar yavaşlar. Ara elektrot alanı olarak bilinen bu kısımda, deşarj elektrotları aracılığıyla itilen elektronların yanında gaz molekülleri de bulunur. Elektronlar ile baştaki alanda olan çarpışmanın benzeri yerine, onları yakalayarak negatif yüklenmesine ve sonrasında negatif yüklü iyonlar oluşmasına neden olur. Oluşan negatif yüklü iyonlarda kuvvetli elektriksel alandan ayrılmaya yönelir. Partikül kirleticilerin toplanmasından önce negatif yük ile yüklenmeleri gerekir, bu nedenle negatif iyonlar partiküllerin toplanmasında önemli bir role sahiptir. Toplama elektrotu üstünde belirli kalınlığa gelen toz birikiminin çeşitli uygulamalarla plakalardan giderimi sağlanır [4].

Varonos [5] tarafından yapılan araştırmada elektrostatik filtre verimliliğini hesaplamak için tam boyuttaki santral modeli ele alınmış ve hesaplamalar Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) türbülans modeli kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, gaz girişinin toplama verimliliği üzerindeki etkisinin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Adamiak [6] yaptığı çalışmada, ESF içindeki elektriksel alan Poisson denklemleri ile her tür geometri için yüksek doğrulukta çözülmüştür. Kullanılan bu modellerde; Wangn v.d. [7], Khare v.d. [8] ve Yamamoto v.d. [9] çalışmalarına paralel şekilde diferansiyel denklemleri çözmekte ve elektriksel alanlarla ilgili benzer kabuller yapılmıştır. Nikas v.d. [10] tarafından yapılan çalışmada toplama mekanizması ve elektrostatik filtre içindeki süreçler üzerinde durulmuştur. Elektrostatik güç etkisi ve gaz fazları incelenerek toplama plakaları arasındaki homojen akışın toplama verimliliğinin artmasına sebep olduğu görülmüştür. Shah v.d. [11] elektrostatik filtre

deneyini çalışan bir santraldan alınan verilerle karşılaştırmış ve üç boyutlu ESF modellemesi yapmıştır. Jedrusik v.d. [12] yapmış olduğu çalışmada bunlara benzerdir, ancak burada küçük boyutlu filtreler ile endüstriyel alanda yer alan ESF'ler arasındaki farklardan dolayı zayıf noktaları bulunmaktadır.

Bu çalışmada, ithal kömür ile çalışan iki adet yakma kazanı ile elektrik üretilen 615 MW güç kapasitesine sahip 2 üniteden meydana gelen bir termik santral seçilmiştir. Bu santralde, farklı kömür özellikleri, giriş sıcaklığı ve hava ön ısıtıcı sızıntı oranlarının partikül emisyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bulgular kısmında yapılan senaryo çıktıları verilerle değerlendirilmiştir. Ayrıca, partikül emisyon değerleri ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde belirlenen sınır değerlere uygunluğu incelenmiştir.

II. MATERYAL ve METOT

2.1. Operasyonel Sabitler

Bu çalışma kapsamında incelenmiş olan kömür santrali, toplamda 615 MW üretim kapasitesine sahip olan 2 simetrik üniteden oluşmaktadır. Bu makale kapsamında, tüketilen yakıt miktarını doğrudan, oluşan toz seviyelerini de dolaylı olarak etkileyen faktörlerin en önemlisi olan santral verimliliği hesaplanmıştır. Benzer özelliklere sahip bir başka santral için verimlilik hesabı türbinden elde edilen mekanik güçten besleme suyu pompalarının güçlerinin çıkarılması ve elde edilen değerinin santrale giren yakıt girişinin ortama kazandırdığı enerjiye bölünmesi ile bulunmuştur [13]. Bu makalede kullanılan farklı tür kömürlerin özellikleri (Tablo 3), Çınar ve Çakır [13] çalışmasındaki santral de kullanılan kömür özelliklerine (Tablo 1) benzediğinden dolayı hesaplanan santral verimlilik değeri %40 olarak tüm senaryolar da sabit olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1. Seçilen Referans kömür elementel analiz sonuçları [13].

Elementel Analiz	Birim	Referans Kömür
C	%	66,06
H		3,66
O		4,16
N		1,5
S		0,9
Toplam Nem		10
Kül		13,72
Alt Isıl Değer		MJ/kg

Bağıl nem oranı için 2015 yılı incelenerek, ortalama değer olarak %75 kullanılmıştır. Sıcaklık için 1950 ile 2015 yılları arasında aylık ortalama hesaplanarak, santral içi ortam sıcaklığı 13,6 °C olarak kabul edilmiştir. Oluşturulan senaryo analizleri için sabit

olarak kullanılan teknik veriler Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Santralin her senaryo için sabit tutulan teknik verileri

Santral verimliliği	%40
Elektriksel güç	615MW
Yanmamış karbon oranı	%0,5
Havanın bağıl (izafi) nemi	%75
Ortam sıcaklığı	13,6 °C

2.2. Operasyonel Değişkenler

Oluşturulan senaryolar da ilk olarak, kömür santrallerinde kullanılan ithal kömürler için 3 farklı alternatif seçilerek, kül analiz sonuçları incelenmiştir. İthal kömür santrallerinde yakıt tedariki problemi sebep olabileceği sorunlar göz önüne alındığında ve ithal kömür fiyatlarının artış göstermesi durumunda alternatif yakıtların santral verimliliğinde oluşturabileceği etkiler incelenmiştir. (Tablo 3).

Tablo 3. Kullanılan 3 farklı kömürün elementel analiz bilgileri (%) ve yanma alt ısıl değerleri (MJ/kg)

Elementel Analiz	Birim	Kömür-1	Kömür-2	Kömür-3
Karbon (C)		64,07	66,32	71,97
Hidrojen (H)		4,5	3,58	4,5
Kükürt (S)		0,64	0,49	0,9
Azot (N)	%	1,1	1,56	1,52
Oksijen (O)		8,1	5,53	5,47
Tungsten (W)		11	8,2	8,93
Alt Isıl Değeri		24,987	24,911	28,625

Tercih edilen her kömür çeşidine göre değişiklik gösteren kül elementel sonuçları özellikle toz özgül direnci üzerinde yüksek oranda etkiye sahiptir. Diğer operasyonel koşullardan biri olan ESF'ye giriş yapan atık gaz sıcaklık değerinin de toz özgül direnci, alkali metal konsantrasyonu ve ESF toplama verimliliği üzerinde yüksek oranda etkisi vardır [14]. Seçilen alternatif kömürler için X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) cihazı ile yapılan uçucu kül analiz sonuçları yüzdeler olarak Tablo 4'de gösterilmiştir.

Operasyonel değişiklik olarak incelenen diğer bir senaryo hava ön ısıtıcı kaçak değeri hem ESF performansı hem de santral performans verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, %10 hava kaçağı oranı iyimser, %15 hava kaçağı oranı baz senaryo ve santrallerde nadir olarak karşılaşılan %25 hava ön ısıtıcı kaçak oranı kötümser senaryo için kullanılmıştır.

Ek olarak, ESF mekanizmasında meydana gelebilecek herhangi bir arıza durumunda elektriksel alanın devre dışı kalması göz önüne alınarak ek senaryolar eklenmiş ve ulusal ve uluslararası yönetmeliklerdeki sınır değerler göz önüne alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Termik santralde yakılan farklı kömür tiplerine ait kül analizi sonuçları (%)

Kül Analizi	Kömür-1	Kömür-2	Kömür-3
Li ₂ O	0	0	0
Na ₂ O	0,56	0,13	1,3
K ₂ O	2,07	0,5	2,9
MgO	2,01	1,86	2,1
CaO	2,17	8,64	3,7
Fe ₂ O ₃	8,56	3,57	9,8
Al ₂ O ₃	21,22	30,97	27,9
SiO ₂	59,9	48,77	47,2
TiO ₂	1,01	1,62	1,2
P ₂ O ₅	0,2	1,76	1,4
SO ₃	2,07	2,64	2,3
CaSO ₄	0	0	0
CaO	0	0	0

2.3. Metodoloji ve Hesaplamalar

Seçilen santral için sabit tutulan teknik bilgiler ve kömür özellikleri ışığında yakıt girdi miktarı [1];

$$m = \frac{(P/LHV)}{1 - \frac{UC}{100}} * 100/n \quad (1)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada m; Yakıt kullanım miktarını (kg/saniye), P; Santralin gücünü (MW), LHV; kullanılan yakıtın alt ısıl değerini (MJ/kg), UC; Yanmamış karbon oranını (0-100 arasında değişmektedir.) ve n; santralin verimliliğini ifade etmektedir. ESF verimliliğini etkileyen maddeler hesaplanarak baca gazı toz konsantrasyonu; hacimsel akış miktarı, gaz analizi, toz içeriği, ham gaz içeriği ve gerekli baca gazı toz içeriği, özgül toz direnci, ESF boyutlandırılması kullanılarak hesaplanabilir.

Toz direnci, ESF'lerin etkin bir şekilde çalışması ve boyutlandırılması için en önemli etkendir. Yüksek bir dirence sahip bir toz, toplama elektrotları çevresinde yüksek bir elektriksel alan oluşturur. Bu nedenden dolayı, ortamdaki negatif yükler pozitif yükler tarafından nötralize edilerek ters kutuplarda aşırı yüklenmeye sebep olur ve ESF performansını olumsuz etkiler. Bu nötralize olmuş toz parçacıkları elektrostatik toplama alanı içerisinde tutulamazlar.

ESF'ye giriş yapan atık gaz direnci, tercih edilen kömür ve külün yapısından etkilendiği gibi santraldeki kazan işleminden sonra ortamın özelliklerinde de etkilenebilir. Bu durum, gazın sıcaklık ve nem değerini de ön plana çıkarmaktadır. Bu durumu da gözlemlemek

amacı ile farklı gaz sıcaklıklarının da ESF performansı üzerinde etkileri incelenmiştir. Önceki çalışmalar da ESF'ye giriş yapan atık gaz direnci hesaplamak için hacimsel, yüzeyel ve absorbe asit direnci için korelasyonlar önerilmiştir.

Temiz gaz konsantrasyonunu bulabilme amacıyla takip edilen mevcut ESF uygulamaları ile karşılaştırma metodu kapsamında referans filtrenin gaz sıcaklığı, nem, gaz akış hacmi, giriş toz konsantrasyonu, geometrisi, ayırma verimliliği, özgül toz direnci verileri elde edilmektedir. Bu bilgiler ışığında, özgül toplama alanı, plakaya hareket hızı (wD), ortalama gaz hızı ve zaman bilgileri elde edilmektedir (Adım-0). Mevcut ESF için bilinen hacimsel gaz akışı ve toplama alanı verilerinin yanında ham gaz ve baca gazı toz konsantrasyonu verileri kullanılarak plakaya hareket hız değeri bulunmaktadır [15]. Bu hesaplamalar, plaka alanının "A", atık gaz debisinin de "Q" olarak yer aldığı aşağıda verilen [2], [3] ve [4] numaralı denklemler ile yapılmaktadır (Adım-1).

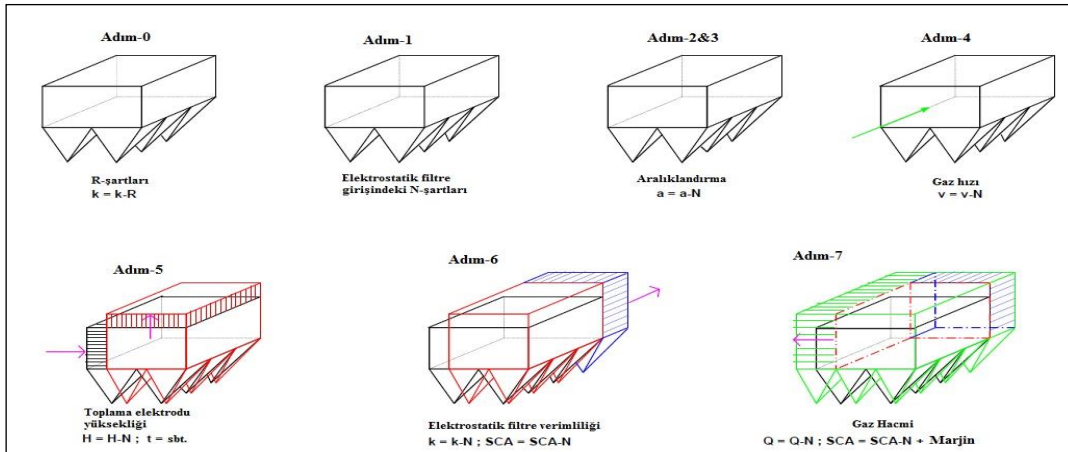
$$c_{rein} = c_{roh} \cdot e^{-w_{th} \frac{A}{Q}} \quad (2)$$

$$\eta(d_p) = 1 - e^{-w_{th} \frac{A}{Q}} \quad (3)$$

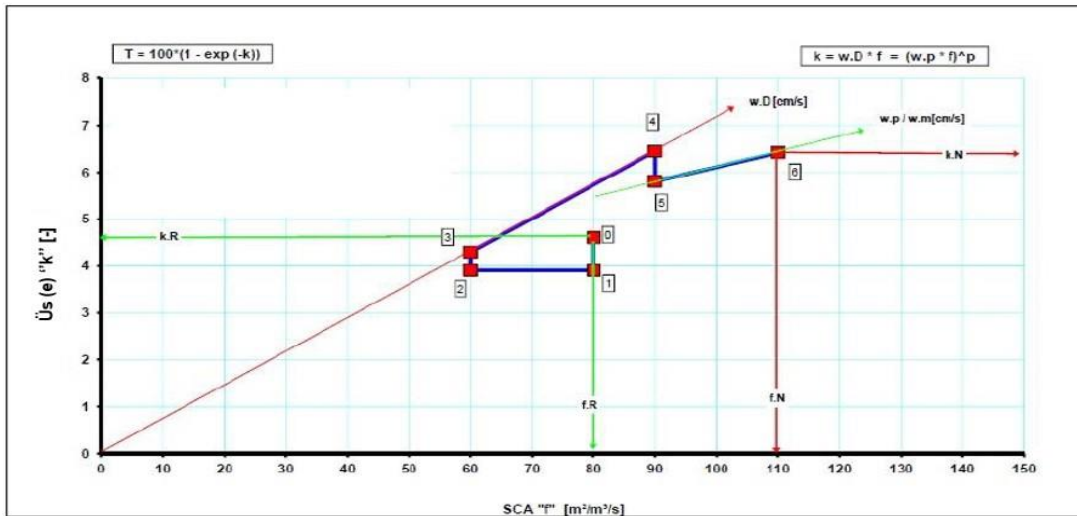
$$c_{rein} = c_{roh} \cdot e^{-(w_{th} \frac{A}{Q})^k} \quad (4)$$

Plakaya hareket hız parametresi incelenen santralde kullanılan ESF'ler içinde aynı olduğundan dolayı 1 olarak kabul edilmiştir (Şekil 1; Adım 2&3). 4, 5 ve 6. Adım incelenen ESF geometrisi ve toz akım alanları için kontrol amacı ile kullanılmıştır. Son adımda, mevcut ESF ile dizaynı planlanan ESF kıyaslaması yapılması için akış adaptasyonu yapılmaktadır.

ESF boyutlandırılmalarında kullanılan k üssü özgül toplama alanının (SCA) bir fonksiyonudur. Deutsch plakaya hareket hız (wD) veya adapte edilen plakaya hareket hızı (w.p) ile ifade edilir. Ayırma verimliliği olan T, bu k değerine bağlı olarak değişmektedir ve Şekil 2'de gösterildiği gibi yaklaşık olarak yüksek temiz gaz toz konsantrasyonu beklentisi halinde wD çizgisini, düşük temiz gaz toz konsantrasyonu gözlemlenmesi durumunda ise w.p çizgisini takip etme eğiliminde olmaktadır.



Şekil 1. ESF boyutlandırması [15].



Şekil 2. ESF boyutlandırması diyagram gösterimi [15].

Referans olarak seçilen ESF'nin özelliklerine göre hesaplanan k katsayısı, ölçümü istenilen santral için Şekil 2 üzerinde gösterilen yukarıdaki adımlar; Referans ESF (Adım-0), Yeni ESF giriş koşullarına göre adaptasyon (Adım-1), Yeni ESF aralıklarına göre adaptasyon (Adım-2&3), Yeni ESF hızına göre adaptasyon (Adım-4), Yeni ESF yüksekliğine göre adaptasyon (Adım-5), Yeni ESF için k değeri bulunması (Adım-6) gibi adımlar takip edilerek ölçümü istenilen santrale göre adapte edilmektedir. Bu adaptasyon sırasında yukarıda bahsedildiği gibi temiz gaz konsantrasyonu beklentisine göre takip edilecek eğri de seçilmektedir. Adapte edilen k katsayısı göre ayırma verimliliği olan T değeri hesaplanarak, temiz gaz konsantrasyonu elde edilmektedir. Bu yöntem doğrultusunda farklı operasyonel değişkenlerin verileri ile elde edilen sonuçlar Bulgular kısmında gösterilmiştir.

III.BULGULAR

Materyal ve metot bölümünde bahsedildiği gibi, temiz hava toz konsantrasyonları hesaplamak için, operasyonel değişkenlerin ESF verimliliği üzerindeki etkisi farklı senaryolar oluşturularak incelenmiştir. Değişiklik yapılan parametreler Tablo 5' de gösterilmiştir.

Tablo 5. Tesiste uygulanan senaryo analizlerinin operasyonel farklılıkları

Operasyonel Değişkenler	Operasyonel Değişken Değerleri				
ESF'ye giriş yapan atık gaz sıcaklığı (°C)	120	125	130	135	140
Hava ön ısıtıcı kaçağı oranı (%)	10	15	25	-	-
Elektriksel alan	1. bölüm & 1. alan kapalı	1. ve 2. Bölüm & 1. alan kapalı	1.bölüm 1. Alan Kapalı & 1.Bölüm 1. Alan Kapalı	-	-

Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre kapasitesi 615 MW olan termik santrallerin sağlaması gereken

temiz hava toz emisyon değerleri;

- “2010/75/EU of the European Parliament and of the Council” on Industrial Emissions (Integrated Pollution Prevention and Control) göre baca gazı toz emisyon limit değeri 10 mg/Nm³,
- Best Available Technologies (BAT) Reference Document for the Large Combustion Plants (LCP) göre baca gazı toz emisyon limit değeri 20 mg/Nm³,
- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü (SKHKK) Yönetmeliği (Resmî Gazete No: 29211) göre baca gazı toz emisyon limit değeri 50 mg/Nm³.

Senaryolar, bir değişken üzerinde değişiklik yapıldığında, diğer değişkenleri sabit tutarak oluşturulmuştur. 3 kömür çeşidinin 120, 125, 130, 135, 140 °C ESF'ye giriş yapan atık gaz sıcaklığı durumunda göreceli olarak düşük, orta ve yüksek olarak seçilen farklı ısıtıcı kaçak oranlarına göre performansı (Toz seviyeleri) Tablo 6' da gösterilmiştir. Yukarıdaki yönetmelikler baz alınarak, 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council yönetmeliği için “a” harfi ile işaretli toz emisyon değerleri, BAT Reference Document for the LCP kriterlerine göre “b” harfi ile işaretli değerler, SKHKK Yönetmeliği için “c” harfi ile işaretli değerler kriter uygunluğunu kaybetmiştir (Tablo 6, 7, 8).

3 kömür çeşidinin 120, 125, 130, 135, 140 °C ESF'ye giriş yapan atık gaz sıcaklığı durumunda 3 farklı hava ön ısıtıcı kaçağı oranı ve sırasıyla bir ve iki elektriksel alan eksikliğine göre performansı Tablo 7 ve Tablo 8'de gösterilmiştir.

İstatistiksel olarak kömür çeşitlerine göre toz seviyelerinin sıcaklık ile korelasyonuna bakıldığında, üç farklı hava ön ısıtıcı kaçağı yüzdesinde de Pearson korelasyon değeri 0.95 ile 0.99 arasında değişmektedir ($R^2 = 0.95 \sim 0.99$).

Son olarak, 3 kömür çeşidinin 120, 125, 130, 135 ve 140 °C ESF'ye giriş yapan atık gaz sıcaklığı durumunda 3 farklı hava ön ısıtıcı kaçağı oranı ve iki bölümde birer elektriksel alan eksikliğine göre performansı ve yönetmeliklere göre sınır değerlerini geçen veriler işaretlenerek Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Farklı kömür çeşitlerinde ve ön ısıtıcı kaçağı değerlerinde hesaplanan partikül madde emisyon değerleri (mg/Nm³)

Gaz Sıcaklığı (°C)	Hava Ön Isıtıcı Kaçağı (%)	Kömür ¹	Kömür ²	Kömür ³
120	10	2,97	5,22	1,67
	15	4,78	8,25	2,70
	25	10,72 ^a	17,93 ^a	6,10
125	10	4,80	7,36	2,51
	15	7,51	11,39 ^a	3,97
	25	16,03 ^a	23,87 ^b	8,62
130	10	7,75	10,34 ^a	3,65
	15	11,81 ^a	15,67 ^a	5,66
	25	24,02 ^b	31,66 ^b	11,87 ^a
135	10	12,41 ^a	14,49 ^a	5,07
	15	18,42 ^a	21,50 ^b	7,73
	25	35,81 ^b	41,90 ^b	15,74 ^a
140	10	17,61 ^a	20,28 ^b	6,71
	15	25,60 ^b	29,46 ^b	10,08 ^a
	25	48,02 ^b	55,40 ^c	20,00 ^b

Tablo 7. Farklı sıcaklıklarda, 1 elektriksel alan eksikliği durumunda ve farklı ön hava ısıtıcı değerlerinde hesaplanan toz emisyon değerleri (mg/Nm³)

Gaz Sıcaklığı (°C)	Hava Ön Isıtıcı Kaçağı (%)	Kömür ¹	Kömür ²	Kömür ³
120	10	4,75	8,18	2,68
	15	7,36	12,45 ^a	4,16
	25	15,46 ^a	25,45 ^b	8,80
125	10	7,41	11,25 ^a	3,90
	15	11,19 ^a	16,80 ^a	5,95
	25	22,49 ^b	33,22 ^b	12,14 ^a
130	10	11,56 ^a	15,41 ^a	5,52
	15	17,03 ^a	22,59 ^b	8,26
	25	32,80 ^b	43,25 ^b	16,35 ^a
135	10	17,89 ^a	21,08 ^b	7,48
	15	25,76 ^b	30,32 ^b	11,04 ^a
	25	47,65 ^b	56,20	21,29 ^b
140	10	24,78 ^b	28,81 ^b	9,70
	15	35,02 ^b	40,67 ^b	14,13 ^a
	25	62,73 ^c	72,99 ^c	26,64 ^b

Tablo 8. Farklı sıcaklık, hava ön ısıtıcı kaçağı değerlerinde ve bir bölümde 2 elektriksel alan eksikliği durumunda toz emisyon seviyeleri (mg/Nm³)

Gaz Sıcaklığı (°C)	Hava Ön Isıtıcı Kaçağı (%)	Kömür ¹	Kömür ²	Kömür ³
120	10	6,54	11,14 ^a	3,69
	15	9,94	16,66 ^a	5,62
	25	20,21 ^b	32,97 ^b	11,50 ^a
125	10	10,03 ^a	15,13 ^a	5,30
	15	14,86 ^a	22,21 ^b	7,92
	25	28,95 ^b	42,58 ^b	15,66 ^a
130	10	15,37 ^a	20,48 ^b	7,38
	15	22,25 ^b	29,51 ^b	10,86 ^a
	25	41,58 ^b	54,83 ^c	20,84 ^b
135	10	23,37 ^b	27,66 ^b	9,89
	15	33,09 ^b	39,14 ^b	14,35 ^a
	25	59,48 ^c	70,50 ^c	26,84 ^b

	10	31,95 ^b	37,34 ^b	12,70 ^a
140	15	44,43 ^b	51,89 ^c	18,19 ^a
	25	77,43 ^c	90,58 ^c	33,28 ^b

Tablo 9. Farklı sıcaklıklar da ve farklı ön hava ısıtıcı kaçağı değerlerinde ve iki bölümde birer elektriksel alan eksikliği durumunda toz emisyon değerleri (mg/Nm³)

Gaz Sıcaklığı (°C)	Hava Ön Isıtıcı Kaçağı (%)	Kömür ¹	Kömür ²	Kömür ³
120	10	12,81 ^a	20,92 ^b	7,23
	15	18,02 ^a	29,09 ^b	10,20 ^a
	25	32,40 ^b	51,29 ^c	18,43 ^a
125	10	18,30 ^a	27,03 ^b	9,78
	15	25,29 ^b	37,10 ^b	13,62 ^a
	25	44,09 ^b	63,91 ^c	24,02 ^b
130	10	26,21 ^a	34,89 ^b	12,92 ^a
	15	35,63 ^b	47,25 ^b	17,79 ^b
	25	60,28 ^c	79,55 ^c	30,73 ^b
135	10	37,43 ^b	45,03 ^b	16,55 ^a
	15	50,09 ^c	60,19 ^c	22,56 ^b
	25	82,38 ^c	99,00 ^c	38,28 ^b
140	10	48,93 ^b	58,18 ^c	20,47 ^b
	15	64,63 ^c	76,74 ^c	27,66 ^b
	25	103,87 ^c	123,33 ^c	46,18 ^b

IV. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, 615 MW kurulu güce sahip ve 2 adet pulverize kazanı bulunan bir termik santral seçilmiştir. Bu tesiste, toz emisyonunu kontrol etmek amacıyla kurulan ESF ünitelerinin verimliliğini artırmak ve alternatif yaklaşımlar üretmek amacıyla, ESF'ye giriş yapan atık gaz sıcaklığı ve hava ön ısıtıcı kaçağı parametreleri için farklı senaryolar oluşturulmuştur. ESF verimliliğine ve dolayısıyla toz konsantrasyonuna etki eden faktörler arasında olan toplama verimliliği ile ters korelasyona sahip toz direnci [16], kömür ve kül özellikleri, toz direnci ile benzer şekilde düşmesi ile toplama verimliliğinde artış gözlenen ESF'ye giriş yapan atık gaz sıcaklığı [17] parametrelerinin etkisini görebilmek için emisyonlar hesaplanmıştır.

Seçilen üç farklı kömür tipi içinde, ESF'ye giriş yapan atık gaz sıcaklığı ve hava ön ısıtıcı kaçağı parametreleri düşük ve orta değerlerde uluslararası yönetmeliklerin belirlediği emisyon sınır değerlerine uygunluk göstermiştir. Bununla birlikte, özellikle 1 ve 2 numaralı kömür çeşitlerinde 130 °C'e çıkan ESF'ye giriş yapan atık gaz sıcaklığı ile uygunluklarını kaybetmektedir. Tesis faaliyet halindeyken ortaya çıkabilecek problemlerden ve elektriksel alanın devre dışı kalabilme ihtimalinden dolayı, elektriksel alanların tamamen devrede olduğu durumların yanı sıra devre dışı kalması durumu da incelenmiş ve yönetmeliklerle uygunluğu değerlendirilmiştir. Baca gazı toz emisyon değeri sırasıyla bir bölüm içerisinde; bir ve iki elektriksel alan devre dışına alınarak hesaplanmıştır. Beklendiği gibi bir elektriksel alan devre dışına

alındığında, göreceli olarak düşük toz direncine ve yüksek alt ısı değerine sahip olan 3 numaralı kömür düşük ve orta operasyonel değerler altında yönetmeliğe uygunluk göstermiştir. Bununla birlikte, bir ünite de 2 elektriksel alan devre dışı bırakıldığında, orta derecedeki operasyonel değerler altında olmasına rağmen yönetmeliğe uygunluğunu kaybetmiştir [16]. En yüksek toz emisyon değerleri 2 bölümden de birer elektriksel alanın devre dışı kalması durumunda gözlenmiştir.

Santralde yönetmeliklerce belirlenen toz konsantrasyonunu kritik seviyelerin altında tutulması ve elektriksel alanlarında devre dışı kalması durumları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, ESF'ye giriş yapan atık gaz sıcaklığının ve hava ön ısıtıcı kaçağı değerlerinin düşük seviyelerde tutulması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde, yönetmeliklerce belirlenen emisyon değerlerine uygunluk gösteren santrallerin elektriksel alanları devre dışı bırakılarak oluşturulacak senaryolar ile tasarruf sağlamaları hedeflenebilir.

EK BİLGİ

Bu makale çalışması, Bahçeşehir Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Dr. Hüseyin Özdemir'in tez danışmanlığında hazırlanmış olan, yüksek lisans öğrencisi Baran Kurt'un 'Termik Santrallerde ESF Uygulamaları ve Verim Artırıcı Yöntemler' adlı yüksek lisans tezinden uyarlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] C. İlkılıç ve R. Behçet, «Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerindeki Etkisi,» *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, cilt 5(1), p. 66–72, 2006.
- [2] Energy Agency, «Key World Energy Statistics,» 2019. [Çevrimiçi]. Available: https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Key_World_Energy_Statistics_2019.pdf.
- [3] N. Vardar ve Z. Yumurtacı, «Emissions estimation for lignite-fired power plants in Turkey,» no. 38(1), p. 243–252, 2010.
- [4] N. d. Nevers, *Air Pollution Control Engineering (Second)*, 2010.
- [5] A. A. Varonos, J. S. Anagnostopoulos ve G. C. Bergeles, «Prediction of the cleaning efficiency of an electrostatic precipitator,» *Journal of Electrostatics*, cilt 55(2), pp. 111-133, 2002.
- [6] K. Adamiak, «Numerical models in simulating wire-plate electrostatic precipitators: A review,» *Journal of Electrostatics*, cilt 71(4), p. 673–680, 2013.
- [7] H. Wang, W. D. Porter, H. Böttner, J. König, L. Chen ve S. Bai, «Transport Properties of Bulk Thermoelectrics: An International Round-Robin Study, Part II: Thermal Diffusivity, Specific Heat, and Thermal Conductivity,» *Journal of Electronic Materials*, cilt 42(6), pp. 1073-1084, 2013.
- [8] M. Khare ve M. Sinha, «Computer-aided simulation of efficiency of an electrostatic precipitator,» *Environment International*, cilt 22(4), pp. 451-462, 1996.
- [9] T. Yamamoto ve L. E. Sparks, «Numerical Simulation of Three-Dimensional Tuft Corona and Electrohydrodynamics,» *IEEE Transactions on Industry Applications*, p. 880–885, 1986.
- [10] K. S. Nikas, A. A. Varonos ve G. C. Bergeles, «Numerical simulation of the flow and the collection mechanisms inside a laboratory scale electrostatic precipitator,» *Journal of Electrostatics*, cilt 63(5), pp. 423-443, 2005.
- [11] R. K. Shah, J. W. Kim ve D. A. Weitz, «Janus Supraparticles by Induced Phase Separation of Nanoparticles in Droplets,» *Advanced Materials*, cilt 21(19), p. 1949–1953, 2009.
- [12] M. Jedrusik ve A. Swierczok, «The correlation between corona current distribution and collection of fine particles in a laboratory-scale electrostatic precipitator,» *Journal of Electrostatics*, cilt 71(3), pp. 199-203, 2013.
- [13] C. Çakır ve B. C. Çınar, «Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: https://www.academia.edu/13392206/EREN_ENERJİ_ELEKTRİK_ÜRETİM_A.Ş._TERMİK_SANTRALİNİN_ENERJİ_ve_EKSERJİ_ANALİZİ_Energy_and_Exergy_Analysis_of_Eren_Energy_Electricity_Production_Inc._Thermal_Power..
- [14] N. Noda ve H. Makino, «Influence of operating temperature on performance of electrostatic precipitator for pulverized coal combustion boiler,» *Advanced Powder Technology*, cilt 21(4), pp. 495-499, 2010.
- [15] W. Deutsch, «Bewegung und Ladung der Elektrizitätsträger im Zylinderkondensator. Annalen Der Physik,» cilt 373(12), p. 335–344, 1922.
- [16] H. Zhao, Y. He ve J. Shen, «Effects of Temperature on Electrostatic Precipitators of Fine Particles and SO₃. Aerosol and Air Quality Research,» no. 18, p. 2906–2911, 2018.
- [17] Y. Zhuang, K. Jin, T. Gyu Lee ve P. Biswas, «Experimental and theoretical studies of ultra-fine particle behavior in electrostatic precipitators,» *Journal of Electrostatics*, cilt 48(3–4), p. 245–260, 2000.