

**SİNER TOZUNUN ESP İLE ÇÖKELTİLMESİ
VE SİNER TOZUNUN ESP VERİMİNE
ETKİLERİ**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Ahmet BALIK

**SİNER TOZUNUN ESP İLE ÇÖKELTİLMESİ
VE SİNER TOZUNUN ESP VERİMİNE ETKİLERİ**

Ahmet BALIK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2015**

Ahmet BALIK tarafından hazırlanan “SİNER TOZUNUN ESP İLE ÇÖKELTİLMESİ VE SİNER TOZUNUN ESP VERİMİNE ETKİLERİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL

Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.16/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Ömer KARAL (YBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bilgehan ERKAL (KBÜ)



.../.../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ahmet BALIK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİNER TOZUNUN ESP İLE ÇÖKELTİLMESİ VE SİNER TOZUNUN ESP VERİMİNE ETKİLERİ

Ahmet BALIK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL

Haziran 2015, 81 sayfa

Tez’de ilk olarak, Sinterleme ve Sinter tesisleri üzerinde durulmuştur. Yapılan inceleme ve araştırmalardan sonra elektrostatik toz tutma sistemleri incelenmiş ve Günümüz Endüstriyel tesislerde partiküllerin tutulması amacıyla kullanılan elektrostatik filtrelerin toz tutma verimleri ve verimine etki eden faktörler incelenmiştir. Bu çalışmada, işletme şartlarında çalışan bir Elektro filtrenin yanı sıra atölye ortamında bir deney seti oluşturulmuş ve ölçümler yapılmıştır. Bundan yola çıkarak, bu lisans tezinde sanayi tesislerinde kullanılan, farklı işlem süreçlerinde çalışabilen, düşük maliyeti ve yüksek verim sağlayan elektrostatik filtreler incelenmekle birlikte verimlilik çözümleri araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler : ESP, elektro filtre, toz tutma, partikül, sinter, sinterleme.

Bilim Kodu : 905.1.150

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PRECIPITATING OF SINTER POWDER BY ESP AND EFFECTS OF SINTER POWDER ON ESP EFFICIENCY

Ahmet BALIK

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL

January 2015, 81 pages

Primarily it is emphasized on sinter actions and sinter institutions. After the researches electrostatic dust keeping was observed and also dust retention efficiency of electrostatic filters which are used for keeping particles in present-day industrial operating and factors that influencing this efficiency was searched. In that research an electrostatic filter that works under operating conditions and also a test kit in workshop atmosphere were formed and measured. On the basis, in this thesis electrostatic filters that are used in industrial operations, can work in different process steps, ensure low costs and high performance were observed and efficiency solutions were researched.

Keywords : ESP, electro filters, keeping dust, particle, sinter, sinter actions.

Science Code : 905.1.150

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmama verdikleri desteklerden dolayı danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL'e, ölçümler ve kaynak belirleme esnasındaki yardımlarından dolayı KARDEMİR AŞ' deki tüm yönetici ve mesai arkadaŐlarım, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Abim Prof. Dr. Hasan Hüseyin BALIK ' a, beŐ yıllık yüksek lisans eğitimim boyunca her daim benim yanımda olan sevgili eŐim Dilek BALIK, Kızım Sılanur ve Oğlum Ahmet BORA BALIK'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
SİNERLEME.....	4
2.1. SİNERLEMENİN TANIMI.....	4
2.2. SİNERLEMENİN SAFHALARI.....	7
2.3. YATAK GAZ GEÇİRGENLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	7
2.4. SİNERLEME YÖNTEMLERİ	7
2.4.1. Hava Akımında Sinterleme.....	7
2.4.1.1. Vagon Sinterleme.....	8
2.4.1.2. Döner Izgara Bant Sinterleme.....	8
2.4.2. Döner Fırın Sinterleme Yöntemi	8
2.4.2.1. Katı Hal Sinterlemesi	8
2.4.2.2. Sıvı Faz Sinterlemesi	9
2.4.3. Seçici Laser Sinterleme Yöntemi	11
2.4.3.1. Model Oluşturma	12
2.4.3.2. Kesitlere Ayırma Ve Veri Hazırlama	12

	<u>Sayfa</u>
2.4.3.3. Sls İşlemi.....	12
2.4.3.4. Pişirme Ve Sinterleme	12
2.5. SİNTERLEMİYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	13
2.5.1. Kokun Sinterlemeye Etkisi	13
2.5.2. Cevher İriliğinin Etkisi	13
2.5.3. Sinter Tozunun Etkisi	13
2.5.4. Bazikliğin Etkisi	14
2.5.5. Rutubetin Etkisi	14
2.6. SİNTER KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	14
2.7. KARDEMİR AŞ SİNTERLEME ve SİNTER TESİSLERİ	15
BÖLÜM 3	19
ELEKTROSTATİK FİLTRELER	19
3.1. ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCU VE TEMEL ÖZELLİKLERİ	21
3.1.1. Esp Tanımı Ve Yapısı.....	22
3.1.2. Çalışma İlkesi	23
3.1.3. Yapısal Özellikler	24
3.2. ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCU ÇALIŞMA PRENSİPLERİ VE GENEL TEKNOLOJİSİ	26
3.2.1. Parçacık Yükleme Sistemi.....	26
3.2.2. Elektrik Alanı.....	27
3.2.3. Yükleme Mekanizmaları	29
3.2.4. Göç Hızı.....	30
3.2.5. Toplama Verimi.....	30
3.2.6. Güç Besleme Sistemi	31
3.3. UYGULAMA ALANLARI	34
3.4. ELEKTROSTATİK FİLTRE VERİMİNE ETKİ EDEN ETKENLER	34
3.5. DARBELİ ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCU	37
3.5.1. Darbeli Elektrostatik Toz Tutucu'nun Tarihçesi	37
3.5.2. Geri Korona Kavramı ve Darbeli Güç Besleme	37
3.5.3. Darbe Modu	38
3.5.4. Voltaj Akım Özellikleri	39

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	40
ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCUDA KORONA DEŞARJI	40
4.1. KORONA DEŞARJI GENEL TANIMLAR.....	40
4.2. DOĞRU AKIM KORONALARI.....	41
4.2.1. Voltaj-Akım Özellikleri.....	41
4.2.2. Uzak Yükü Etkileri	42
4.2.3. Çevresel Etkiler	44
4.3. DARBELİ KORONA BOŞALMASI	44
4.4. KORONA DEŞARJI PARAMETRELERİNİN ÖLÇÜMÜ	45
BÖLÜM 5	46
KONTROL TEKNİKLERİ.....	46
5.1. YIKAYICININ ÇALIŞMA İLKELERİ.....	47
5.2. YIKAYICILARIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	47
5.3. COROMAX.....	48
5.4. FLSMİDTH AIRTECH COROMAX	48
5.5. FİLTRE YÜKSELTME ÇÖZÜMLERİ	49
5.6. FLSMİDTH AIRTECH COROMAX EKİPMANLARI.....	49
5.6.1. Yüksek Gerilim Tankı	49
5.6.2. Kontrol Kabini	49
5.7. GÜÇ TÜKETİMİ	50
5.8. AVANTAJ.....	50
BÖLÜM 6	51
ELEKTROSTATİK FİLTRELERİN (AYIRICILAR) SAYISAL AKIŞKAN DİNAMİĞİ MODELLEMESİ	51
6.1. MODELLEME METOTLARI.....	51
6.1.1. Sayısal Akışkan Dinamiği Modellemesi	52
6.1.2. Fiziksel Olarak Ölçekli Modelleme.....	53
6.1.3. Saha Test Metotları.....	55
6.2. VERİ KARŞILAŞTIRMALARI.....	56

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	59
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	59
7.1. DENEY VE TEST ORTAMI.....	59
7.1.1. Kardemir Aş Esp Sistemi.....	59
7.1.1.1. Test Ünitesi	63
7.1.2. Atölye Ortamında Hazırlanan Test Düzeneği.....	64
7.1.2.1. Test Ünitesi	65
7.2. ARAŞTIRMA VERİLERİ	65
7.2.1. Araştırmanın Amacı.....	65
7.2.2. Araştırma Esnasındaki Aşamalar.....	65
7.2.2.1. Kardemir Aş Esp Sistemi	65
7.2.2.2. Atölye Ortamında Hazırlanan Test Düzeneği	67
7.3. TEST VE ÖLÇÜMLER	68
7.3.1. Kardemir Aş Esp Sistemi.....	70
7.3.1.1. Alan Geriliminin U Pulse ve Toz Miktarı üzerindeki Etkisi	70
7.3.1.2. Emisyon Akımının Değişimine Bağlı Olarak Çıkış Toz Miktarının Değişimin İncelenmesi	71
7.3.1.3. Elektrik İletkenliğine Bağlı Toz Miktarının İncelenmesi	72
7.3.1.4. Elektrik İletkenliğine Bağlı Olarak U Pulse' ın İncelenmesi.....	72
7.3.2. Atölye Ortamında Hazırlanan Test Düzeneğinde Gerilim Akım Karakteristiğinin İncelenmesi	73
BÖLÜM 8	75
SONUÇ VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Sinterleme	4
Şekil 2.2. Çift-küre sinterleme modeli	5
Şekil 2.3. Sinterleme sonunda şarjlama tesisi	6
Şekil 2.4. Kardemir aş sinter hammadde besleme - sinter ürün hattı akım şeması. 15	15
Şekil 2.5. Kardemir aş sinter tesisleri fotoğrafı.....	16
Şekil 2.6. Sinter proses kartı.	17
Şekil 2.7. Sinter prosesi soğuk elek	18
Şekil 3.1. Kül bunkerlerinde biriken kül.....	19
Şekil 3.2. Esp iç yapısı ve çalışma prensibi	20
Şekil 3.3. Esp genel görünüm	21
Şekil 3.4. Elektrostatik toz tutucu çalışma şekli prensip şeması.....	23
Şekil 3.5. Elektrostatik filtre altındaki toplama hazneleri.....	25
Şekil 3.6. İnceleme kapakları	26
Şekil 3.7. Elektriksel boşalma ve toplama sistemi.....	27
Şekil 3.8. Elektrostatik filtrede otomatik kontrol sisteminin elemanları	32
Şekil 3.9. Elektrostatik filtre modelinin blok diyagramı.....	33
Şekil 3.10. Parçacık çapı ile tutma verimi eğrisi.....	35
Şekil 3.11. Farklı sanayi tozları için sıcaklık-direnç eğrisi.....	35
Şekil 3.12. Çimento fabrikasındaki elektrostatik filtre için sıcaklık-verim eğrisi	36
Şekil 3.13. Elektrostatik filtrede nemin sıcaklık-direnç ile ilişkisi	36
Şekil 3.14. Darbe uygulanmış elektrostatik toz tutucudaki gerilim dalga şekilleri ...	39
Şekil 3.15. Darbe uygulanmış elektrostatik toz tutucudaki gerilim akım eğrileri ...	39
Şekil 4.1. I/V-V karakteristiği.....	42
Şekil 6.1. Bir esp'nin tipik bir cfd modelinde sayısal kafes görünümü	52
Şekil 6.2. Örnek cfd sonuçları – hız profilleri – plan görünümü ve yan görünüm .	53
Şekil 6.3. Örnek cfd model sonuçları – sıcaklık profilleri ve su damlacıkları akış çizgileri	53
Şekil 6.4. Bir esp'nin tipik bir fiziksel ölçekli akrilik modeli	54

Sayfa

Şekil 6.5. Ağırlıklandırılmış telli esp’lerde kanatçıklı anemometre kurulumu	55
Şekil 7.1. Esp genel görünüş resimleri.....	59
Şekil 7.2. Esp 1. alan öncesi karşılama plakaları	61
Şekil 7.3. Esp 2,3 ve 4. alanlar.....	61
Şekil 7.4. Flsmidth trafo genel görünüş resimleri.....	62
Şekil 7.5. Yüksek gerilim transformatörü çalışma devre şeması	63
Şekil 7.6. Test düzeneği görünüş resimleri	64
Şekil 7.7. YG test ölçümü	67
Şekil 7.8. Alan gerilimi ile çıkış toz miktarı grafiği	71
Şekil 7.9. Emisyon akımı ile çıkış toz miktarı grafiği.....	71
Şekil 7.10. Emisyon akımı sinter tozu direnci (kimyasal özelliği) değişim grafiği	72
Şekil 7.11. Sinter tozunun kimyasal özelliğinin değişimine bağlı esp çıkış toz miktar değişim grafiği	72
Şekil 7.12. Emisyon ve korona akımı oluşumu esnasından termal görüntüler	74
Şekil 8.1. Esp içi görüntüler.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Bazı metal ve alaşımların sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi.....	5
Çizelge 2.2. Sıvı - faz sinterlemede, sinterlenmiş çeşitli ikili sistemlerin optima sinterleme terkibi ve sıcaklığı	9
Çizelge 2.3. Kardemir aş sinter tesisleri özellikleri	16
Çizelge 7.1. Esp teknik verileri	60
Çizelge 7.2. Sinter tozu kimyasal özelliği.....	66
Çizelge 7.3. Test ölçümü.....	68
Çizelge 7.4. 28.01.2015 tarihli kimyasal analiz raporu.....	69
Çizelge 7.5. 28.01.2015 tarihli kimyasal analiz raporu.....	70
Çizelge 7.6. 2015 yılı sinter teknolojik test analiz takip raporu.....	70
Çizelge 7.7. Gerilim akım karakteristiği.....	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

P_e	: Uzay yük yoğunluğu
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
p_{ew}	: Korona elektrodu yakınında uzay yük yoğunluğu
j_p	: Toplama elektrotunda parçacıklar dışında ortalama akım yoğunluğu
b	: Yüklenmiş parçacıkların hareketliliği
y	: Korona elektrodu merkezli toplama elektrotuna göre ölçülmüş konumu
S	: Korona elektrotları arasındaki uzaklık
A	: Korona elektrotunun yarıçapı
F	: Pürüzlülük faktörü
δ	: T_{OP}/T_{P0}
q	: ∞ doyum yükü
t	: Yüklenme süresi
τ	: Alan yüklenme zaman sabitini
ϵ_s	: Parçacık bağıl dielektrik katsayısı
E	: Elektrik alan şiddeti
J	: Akım yoğunluğu
k	: Boltzman sabiti
C_i	: İyonun ısı hızını
μ_i	: İyon hareketliliğini
F	: Coulomb kuvveti
w_e	: Göç hızı
μ	: Vizkosite
C_m	: Cunningham düzeltme faktörü
Λ	: Gaz molekülünün ortalama serbest yolu
A	: Toplama elektrot alanı
Q	: Gaz akış oranı

KISALTMALAR

ESP : Elektrostatik Precipitator (Elektrostatik Filtre)

CFD : Computational Fluid Dynamics (Sayısal Akışkan Dinamiği)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde bilim ve teknolojinin insan hayatında çok önemli bir yeri vardır. Bilimsel çalışmaların doğal bir sonucu olan teknoloji insan hayatını kolaylaştırmaktadır. Gelişen teknoloji, aynı zamanda insanların ve diğer canlıların daha sağlıklı ortamlarda yaşamalarına yardımcı olmaktadır. Nefes alınıp verilen havanın temizlenmesi de bunlardan biridir. Özellikle ağır sanayide çalışma ortamındaki havanın temizlenmesi işçi sağlığı ve güvenliği açısından çok önemlidir.

Elektrostatik toz tutucu (ESP), sinter makineleri için tercih edilen bir toz giderme ekipmanıdır, çelik üretim endüstrisinde iyi bilinmektedir. ESP verimliliğini artırmak için bir yol da ultra kısa (mikrosaniye) saniyelerde, özellikle çok küçük boyutlu yüksek dirençli toz partiküllerinin daha verimli toz toplamasına ulaşmak için uygulanan güç kaynağı olarak nabız sistemlerinin kurulmasıdır [1].

Mevcut ESP'ler fiziksel olarak değiştirilmeden Darbe sistemleri uygulayarak, geliştirilebilir, ya da yeni ESP geleneksel DC güç kaynakları ile daha küçük boyutlarda takılabilir. COROMAX TM IV piyasadaki en gelişmiş 4. nesil yüksek gerilim sistemidir [1].

Sinter makinesi tozu, çok küçük parçacık boyutlu, yüksek direnç, düşük nem ve hidrokarbonlar yüksek içeriği ile karakterize edilir. Tüm bu parametreler, bir elektrostatik çökticide toplamak için zor olan bir tozdur. Geleneksel DC güç kaynağı ile toz toplama düşük verimlilikle sonuçlanan ESP ağır ters - korona ya yol açar. ESP tutma verimini sadece mevcut DC güç kaynağını COROMAX TM pulse sistemlerini değiştirerek arttırabiliriz [1].

FLSmidth COROMAX TM darbe sistemini 1985 yılında tanıtmış ve bu sayede toz tutmadaki performans artışı önemli bir teknik ve ekonomik ilerlemeyi temsil etmiştir. COROMAX TM IV sistemi bir yağ dolu tankı ve bir kontrol kabini içeren, oldukça kompakt boyutlardadır. Fiziksel FLSmidth COROMAX TM sistemi, geleneksel bir DC güç kaynağı için çok benzerdir. 75 mikro saniye nominal süresi FLSmidth COROMAX TM darbe sistemi, (80 KV kadar) yüksek gerilim darbe ile (60 KV kadar) baz gerilimi bindirilmiştir. Toplam tepe gerilim seviyesine yaklaşık olarak ulaşabilirsiniz. Diğer DC güç kaynakları için tepe gerilim seviyesi yaklaşık 65 kV.- 135 kV dır [1].

Linyit kömürüyle çalışan elektrik santrallerinde fazlasıyla ağır yakıt kullanılmaktadır. Kullanılan yakıt Elektrostatik Toz Tutucu kullanılmadığı durumda içerdiği kükürt dolayısıyla, santralden binlerce ton sülfüroz asit gazları havaya salınırlar. Kömür kazanlarından salınan bu asit gazlarının solunması durumunda partiküllerin akciğerlerde birikmesiyle ciddi sağlık sorunları açığa çıkar. Bu sağlık sorunlarının ortaya çıkmasıyla birlikte kömür kazanlarından salınan gazlı ve katı partiküller hakkında yasal düzenlemelerle bazı kısıtlamalar getirilmiştir. Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (27 Temmuz 2006).

Bugün buhar üreten enerji santralleri, çimento fırınlarında, sinter tesislerinde ve diğer sanayide emisyon kontrolü için operasyon elektrostatik çökticilerin (ESP) binlercesi vardır [2].

Birçok uygulamada, yakıtı giden kükürtün, içeriğini düşürmek için tozun daha düşük elektriksel iletkenlikte olması gerekiyor [3].

Toz tutucular, çeşitli kaynaklarda değişik şekillerde sınıflanabilmektedir. En uygun sınıflandırma; Cidar tipi toz toplayıcı cihazlar; Ağırlık etkili (çökeltme odaları), Santrifüj etkili (siklonlar) , Elektrostatik. Filtre edici cihazlar; Yüzeysel, Hacimsel Yıkayıcı tip cihazlar olarak yapılabilir. Birinci grup içindeki cihazlar genel olarak, taneciği bir cidar üzerinde yerçekimi ivmesi, santrifüj ve elektrostatik gibi bir dış kuvvet yardımı ile tutarlar. İkinci grup cihazlar yüzeysel bez filtre veya hacimsel

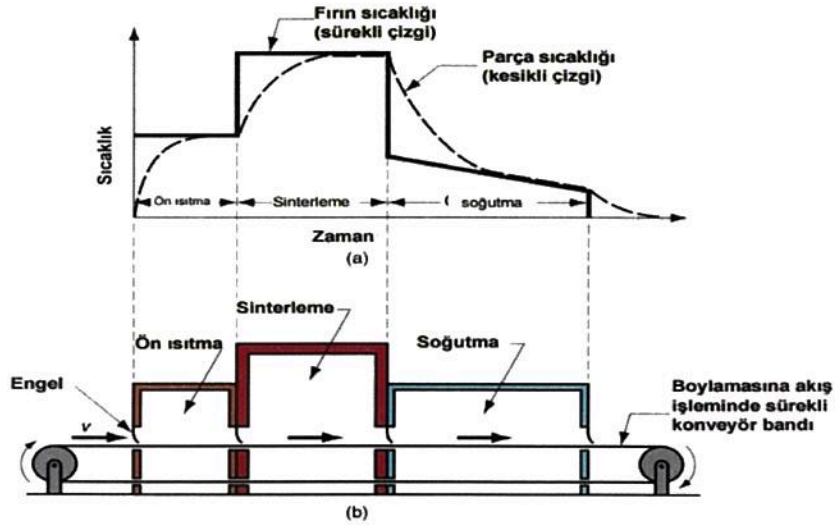
olarak da dolgu tabakalı ve üçüncü grup cihazlar ise filtre edilecek gazın bir sıvı damlacıkları veya kütlesi içinden geçirildiği yıkayıcı tipten toz tutucuları içerir. Elektrostatik toz tutucunun değişik sıcaklık ve basınç koşulları altında üstün temizleme verimi ile çalışabilen en uygun mevcut filtreleme sistemi olduğu demir çelik işletmelerinde yapılan çalışmalarda ortaya çıkmıştır. Elektrostatik çöktürücüler, elektrostatik bir alanda toz partiküllerinin elektrodalara yapışması suretiyle çalışırlar. İyi dizayn edilmiş ve yüksek verimli sistemlerde %99,9 oranında ince tozların giderildiği görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda torba filtrelere göre daha az hassastır ve düşük basınçlarda çalışırlar. Maliyeti yeni bir endüstriyel tesis için kapital maliyetin %12'si kadardır.

BÖLÜM 2

SİNERLEME

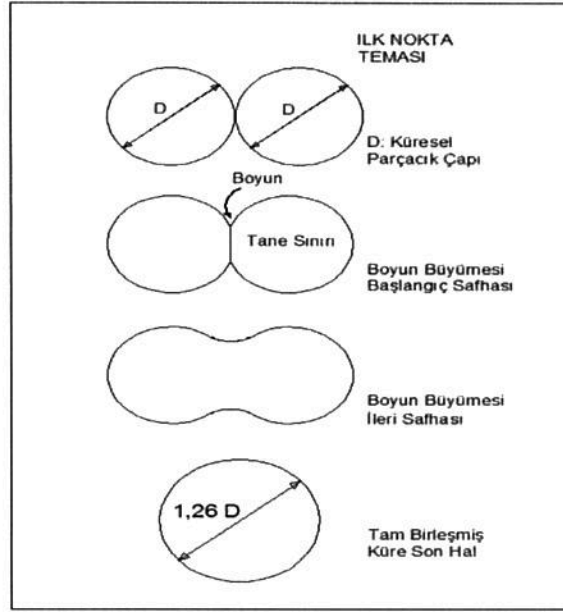
2.1. SİNERLEMENİN TANIMI

Sinterleme Toz cevherlerin belirli bir tane büyüklüğüne getirilerek yüksek fırın için istenen parça genişliğine, dirence ve gazların geçirgenlik işlemine uygun duruma getirilmesi olarak tanımlanabilir.



Şekil 2.1. Sinterleme a) Sinterlemede tipik ısıl çevrim işlemi, b) Bir sürekli sinterleme fırınının şematik en kesiti.

Sinterleme işleminin başlayabilmesi için öncelikle, temastaki toz partiküllerinin katı-hal bağına dönüşümü meydana gelmelidir. Sinterleşme, pudraların erime noktalarının altında meydana gelir. Eğer sıcaklık artarsa pudra kütlesi daha da sertleşerek elektriksel mukavemeti ve gözenekliliği azalır. Sinterleme esnasında, nokta teması ile başlayan, ara partikül bağının gelişmesi ve bu yönde devam eden sisteme çift-küre sinterleme modeli denir. Aşağıda bulunan Şekil 2.2 de bu sistem gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Çift-küre sinterleme modeli.

Sinterleme sıcaklığı, metalin ergime sıcaklığının yaklaşık %66'sı ($2/3$ 'e tekabül eder) veya %80 ($4/5$ 'e tekabül eder)'ni göz önünde bulundurularak elde edilir. Bu sistem tek fazlı bileşenler için geçerlidir. Çok fazlı bileşenlerde ise sinterleme sıcaklığı , ergime sıcaklığı yüksek olan bileşenin ergime sıcaklığının altında, ergime sıcaklığı düşük olan bileşenin ergime sıcaklığının üzerinde seçilir. Sinterleme süresi malzemeye göre değişerek sinterleme esnasında sıcaklık artarsa sinterleme süresi kısalmır. Şekil 2.2.'de çift-küre sinterleme modeli gösterilmektedir. Bazı metallerin erime sıcaklığı şöyledir; Altın: 1064 °C, Alüminyum: 660 °C , Bakır: 1084 °C , Cıva: -38 °C , Demir: 1538 °C , Manganez: 1246 °C , Nikel: 1455 °C , Titanyum: 1668 °C , Tungsten: 3422 °C , Gümüş: 961,78 °C.

Çizelge 2.1. Bazı metal ve alaşımların sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi [7].

MALZEME	SICAKLIK (°C)	SÜRE (dak.)
Bakır, Pirinç, Bronz	760 – 900	10 – 45
Demir	1000 – 1150	8 – 45
Nikel	1000 – 1150	30 – 45
Paslanmaz Çelikler	1100 – 1290	30 – 60
Alnico Alaşımlar	1200 – 1300	120 – 150
Feritler	1200 – 1500	10 – 600
Tungstren karbür	1430 – 1500	20 – 30
Molibden	2050	120
Tungsten	2350	480
Tantal	2400	480

Sinterlemenin amacı, sinterleme sırasında cevherin kimyasal yapısında zararlı elementlerin yok edilmesidir. Demir izabe tesislerinde yüksek fırınlarda değerlendirilemeyen üretim ve nakliye sırasında oluşan 0 – 30 mm. boyutlarındaki kok tozu birikmektedir. İşte sinterleme bu atıl durumdaki kok tozunun da tekrar değerlendirmesini sağlar. Yüksek fırınların çoğunda sinterleme tesisi bulunur. Bulunmasının sebebi, parça demir cevheri, yüksek fırına belirli bir tane iriliğinde verilir. Bu nedenle iri parçalar kırılır ve bu kırma işlemi esnasında belirli oranlarda tozlanmalar olmasından dolayıdır. Sinterleme işlemi için demir cevheri tozuna CaO + MgO gibi katkı maddeleri ile kok tozu ilave edilerek karışım, tromel ve betonyer tipi bir karıştırıcıya verilmektedir. Ayrıca karıştırıcıya belirli oranda nem verilmesinin sebebi de, toz halindeki çok ince taneciklerin topaklanması da meydana getirilmesidir. Daha sonra topaklanan malzemeler, bantlar aracılığıyla sinterleme fırınına gönderilir. Izgara üzerine önce, 10 – 20 mm. kalınlığında ince sinter verilir. Sonra, ızgara'nın üzerine yüklenen malzeme ateşlemenin yapıldığı alandan geçerken karışımdaki kok ateşlenir ve yanar. Izgara ilerlediği sürece üstten gelen hava ile yanma işlemi alt bölüme ilerler. Yapılan bu işlem sonucunda sıcaklık, 1300 – 1400 °C' ye çıkar. Bunun sonucunda, cevher ve katkı maddeleri, sıcaklık esnasında parçalanmak suretiyle içeriklerini kaybetmekte ve partiküller arasında sinter bağları oluşur. 12- 30 cm. kalınlığındaki malzemeler sinter ızgara fırını üzerine verilir. Bir süre sonra bu sinter malzemelerinde şu bölgeler meydana gelir; sinter bölgesi, yanma ve sinterleşme bölgesi, kalsinasyon bölgesi, kuruma ve ön ısınma bölgesi, yaş malzeme ve sinter yatağı bölgesi. Çizelge 2.1'de bazı metal karışımlar görülmektedir.



Şekil 2.3. Sinterleme sonunda şarjlama tesisi.

Yukarıdaki Şekil 2.3 'de sinterleme sonunda şarjlama tesisi gösterilmektedir.

2.2. SİNERLEMENİN SAFHALARI

Sinterleme üç aşamada gerçekleşir; Birinci aşamada, sinter şarjının ateşlemeye kadar olan hazırlanma ve sinter ızgarasına yerleştirmesi gerçekleşir. İkinci aşamada, Sinter yatağının ateşlenmesinden yatağın tamamen kurumasına kadar geçen safhadır. Üçüncü aşama, Sinter yatağının kurummasından itibaren şarj içindeki yakıtın yanmasıyla artacak sıcaklıkla yatağın kısmi ergimesi, yakıtın yanıp sıcaklığın düşmesiyle don ve soğuma aşamasıdır.

2.3. SİNER YATAK GAZ GEÇİRGENLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Sinter makinesinde Cevherin Tane İriliği, Şarjın Nem Miktarı, Yakıt Maddesinin Tane İriliği, İlave Edilen Sinter Ufağı, Cevherin Kimyasal Yapısı, Homojen Karışım, Basınç Farkı direkt olarak etkilidir.

İyi bir sinterleme için bu yedi değişkenin sürekli kontrol edilmesi ve değişikliklerinin takip edilmesi gerekmektedir. Yukarıdaki Şekil 2.3'de sinterleme sonunda şarjlama tesisi gösterilmektedir

2.4. SİNERLEME YÖNTEMLERİ

En çok kullanılan Sinterleme yöntemleri sırası ile Hava akımında sinterleme, Döner fırın sinterleme ve Seçici Lazer Sinterlemedir.

2.4.1. Hava Akımında Sinterleme

Bu sinterlemede, karışımdaki cevher ızgara üzerine verilir ve ateşlemesi üstten yapılır, yukarıdan aşağı doğru emilen hava ile ızgaranın altına kadar yakılma işlemi yapılır. Sinterlemede sıcaklığın ayarlanabilmesi için yakıt ile cevher karışımı değiştirilmelidir. Hava akımında sinterleme de kendi içinde 2'ye ayrılır.

2.4.1.1. Vagon Sinterleme

Sac vagonlara yakıt ile cevher karışımı konulup yakılmaktadır. Vagon yüzeyleri 10 – 21 m² arasındadır. Örneğin, 21 m² 'lik 5 vagonun bir günlük kapasitesi 1200 – 2400 ton sinter arasında değişim gösterebilmektedir.

2.4.1.2. Döner Izgara Bant Sinterleme

Bu yöntem yürüyen bir banda sahiptir. Yakıt ile cevher karışımı bu banda verilmektedir ve kalınlığı 12–30 cm'dir. Bant hızı ise 1,2 – 4,2 m/d. arasındadır. Sinterleşmenin bant sonuna kadar tamamlanması, cevher kalınlığı ile bant hızının ayarlanmasıyla gerçekleşir. En yaygın sinterleme yöntemi bu yöntemdir.

2.4.2. Döner Fırın Sinterleme Yöntemi

Çapı birkaç metre ile uzunluğu 30 – 70 m. arasındaki döner fırını kullanılmaktadır. Fırın hafif eğiktir ve 0,8 – 1,5 d/dk. arasındaki olan hızla döner. Alt bölgeden yanıcı gazın verilmesiyle sinterlenen ürün, ya farklı bir döner fırında ya da bantlarda soğutulur. Bu işlemin sakıncalarının başında, sinterlerin fırın gövdesine yapışması ve sık sık temizleme gereğinin ortaya çıkması gelir. Sinterleme sırasında basınç uygulamasının önemi büyüktür. Yüksek yoğunlukta kaliteli parça üretmek için uygulanan yöntemlerin çoğunda sıcak presleme, sıcak dövme, sıcak ekstrüzyon yöntemleri kullanılır. Anlatılan bu sinterlemeler, basınçın uygulanması ile meydana gelir.

Birde basınçsız sinterleme yöntemi vardır. Bu yöntemler de kendi içinde ikiye ayrılır. Bunlar; katı – hal sinterlemesi ve sıvı-faz sinterlemesi'dir.

2.4.2.1. Katı Hal Sinterlemesi

Sinterleme işleminin katı halde gerçekleştirilmesidir. Katı hal sinterleme işlemlerinin aşamaları şu şekildedir ;

- Parçacıkların üzerindeki bazı noktaların birbirinden bağımsız büyüme işlemi,

- Gözenek yuvarlaklaşması, uzaması ve yoğunluk artışı,
- Gözenek boyutunun kapalı olması dahilinde de yoğunluğun devam ettiği işlem'dir.

2.4.2.2. Sıvı Faz Sinterlemesi

Sıvı faz sinterlemesinde başınca gerek yoktur. Kapiler kuvvet şiddetli bir şekilde dış basınca eşit etki yapar. Diğer adı "Süper-solidus sinterleme" dir. Amaç, düşük sıcaklıkta sıvı-faz oluşturmak suretiyle sinterleme işleminin hızlandırılmasıdır. Çizelge 2.2. Sıvı-faz sinterlemede, sinterlenmiş çeşitli ikili sistemlerin optima sinterleme terkihi ve sıcaklığı gösterilmiştir. İletişimde bulunan elementlerden en az bir tanesi sıvı olan sinterlemedir. Sıvı-faz miktarının az olmasıyla meydana gelir. Kompakt şeklinin korunabilmesi için sıvı-faz oranı maksimum %40 olmalıdır. Sıvı faz sinterlemesi de kendi arasında dörde ayrılır. Bunlar; geçici sıvı faz sinterlemesi, sürekli sıvı faz Sinterlemesi, solidüsüstü sinterleme ve reaksiyonlu sinterleme' dir.

Çizelge 2.2. Sıvı-faz sinterlemede, sinterlenmiş çeşitli ikili sistemlerin optima sinterleme terkihi ve sıcaklığı.

ALAŞIM %A + %B	SİNERLEŞME SICAKLIĞI (°C)	ALAŞIM & %A + %B	SİNERLEŞME SICAKLIĞI (°C)
70 Pb + 30 Sn	200	65 Au + 35 Ni	1000
90 Sn + 10 Pb	190	50 Cu + 50 Ni	1275
96 Pb + 4 Sb	255	90 Cu + 10 Sn	925
70 Sb + 60 Pb	300	78 Al + 22 Mg	475
80 Sn + 20 Cd	275	80 Mg + 20 Al	450
90 Cd + 10 Sn	185	96 Al + 4 Si	600

Geçici Sıvı-Faz Sinterlemesi

Sinterleme işlemi esnasında meydana gelen denge fazı katı ise sıvı faz difüzyon homojenleştirilmesi aracılığıyla katılaşmak suretiyle kaybolur. Bu sinterlemede sıkıştırılabilirliği yüksek saf element tozları kullanılabilir. Ancak oluşan sıvı faz miktarı bazı işlem değişkenlerine bağlıdır. Bu yüzden de bu yöntem sinterleme şartlarına çok duyarlıdır. Ergime noktası düşük olan bileşenden meydana gelmiş olan sıvı – katı partikül sınırlarına etki ettikçe yerlerinde boşluk oluşmaya başlar. Bu

durum yapı parçaları için zararlı olmakla birlikte gözenekli bronz yatakları için uygundur. Oluşan sıvı-katı partikülünü ısıtmak ve yayılım hızını artırmak gerekmektedir. Eğer artan alaşım elementi oranı ile ergime sıcaklığı düşüyorsa bu şart sağlanmış demektir. Sıvı faz oluşuktan sonra hızlı bir sinterleme oluşur. Yoğunluk artışı, oluşan sıvı miktarına ve iç yapıda bulunan süresine bağlıdır.

Sürekli Sıvı-Faz Sinterlemesi

Sinterleme işlemi yüksek sıcaklıkta yapıldığı zaman iç yapıdaki sıvı - faz hızlı yoğunluk artışı ve partikül büyümesi meydana gelir. İlk olarak katıyı ısıtılan sıvının partiküllerde meydana getirdiği kapiler kuvvetler sonucunda partiküllerin tekrardan düzenlenmesiyle yoğunluk artışı meydana gelir. Bunun sonucunda meydana gelen yoğunluk artışı, oluşan sıvı faz miktarına, partikül büyüklüğüne ve katının sıvı-fazda çözünmesi işlemine bağlıdır. Sürekli sıvı-faz sinterlemesinin başarılı bir sonuca ulaşması için bir takım kriterler uygulanmalıdır. Toz karışımı, sıvının meydana getirmiş olduğu sıcaklığa ısıtılırken ön alaşımli tozlar solidüs üstü sıcaklığa ısıtılarak hızlı sinterleme gerçekleştirilir.

Solidüs Üstü Sinterleme

Bu sinterleme işlemi' nin, yüksek alaşımli malzemelerin yüksek yoğunlukta sinterlenmeleri için uygun olduğu söylenebilir. Örneğin, yüksek karbonlu çelikler, takım çelikleri, nikel esaslı süper alaşımlar bu sinterlemeye örnek verilebilir. İri nitelikli tozlar kullanılabilir. Aynı zamanda hızlı karıştırılmış ince taneli yüksek alaşımli malzemeler, tam yoğunlukta sinterlenebilirler. Bu sinterlemede birtakım problemler mevcuttur. Bu problemlerden bazıları; sinterleme sıcaklığına ısıtma sırasında oluşan katı hal sinterlemesi parçacıklar arasında bağ oluşturarak yeniden düzenlemeyi zorlaştırabilir. Ayrıca sinterleme sıcaklığı, toz bileşimine bağlı olduğundan sıkı bir şekilde kontrolü gerekir. Sıvı oluşumundan sonra sinterleme hızı çok yüksektir. Bu durum boyut ve mikroyapı kontrolünü zorlaştırmaktadır.

Reaksiyonlu Sinterleme

Bu sinterleme GSFS'ne benzer. Karışım karşılıklı yayınımla sıvı fazın meydana geldiği sıcaklıkta sinterlenir. Oluşan sıvı faz geçici'dir. Bileşenlerin arasında bulunan reaksiyon çoğunlukla eksotermiktir. Sonuç olarak, ısınmayla birlikte hızlı bir sinterleme gerçekleşir.

Eğer karşılıklı yayılım hızlarının farklı olması durumunda ve bileşiğin teşekkül ısısının yüksek olması durumunda sinterleme esnasında şişme meydana gelir. Gözenek de meydana gelir. Reaksiyonlu sinterleme, metaller arasında bulunan bileşiklerin ve seramiklerin şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. İç yapıya zarar vermesinin önlenmesi ekzotermik reaksiyon kontrol edilerek yapılır .

Sıvı-Faz Sinterlemesinin Üstünlük Ve Sakıncaları

Sıvı faz sinterlemesi elektronik, seramikler, yüksek sıcaklık seramikleri, elektrik kontak malzemeleri, otomotiv yapı parçaları vb. çoğu yerde kullanılırlar ve sinterlemeyi hızlandırılırlar. Sıvı – faz, partiküller arasındaki sürtünmeyi azaltır ve yeniden düzenler. Parçacık büyüklüğü kontrol edilebilir.

Sıvı faz sinterlemesinin sakıncası ise; sıvı-faz oluşumu aşırı derecede olursa şekil bozulması meydana gelir. Üretilen parçanın özelliklerini kontrol etme işlemini, mikro yapıyı kontrol eden bazı değişkenler sağlayabilir. Sinterleme işleminde başlangıç olarak sıvı, katı ve buhar fazları vardır. Buna göre ara yüzey enerjileri, çözünürlük, yayılım etkileriyle sıvı - faz sinterlemesinin analiz edilmesini güçleştirir.

2.4.3. Seçici Lazer Sinterleme Yöntemi

Üretim yöntemi toz malzemenin sinterlenmesi esasına dayanır. dört aşaması vardır. Model oluşturma, kesit ayırma, veri hazırlama ve S.L.S işlemi (pişirme) sinterleme' dir.

2.4.3.1. Model Oluşturma

Modelleme ile kalıp takım üretim safhasında kullanılacak olan veriler, ürünün bilgisayar ortamında, yüzey veya katı şekilde modellenmesiyle meydana getirilir. Yüzey modelleme işleminde ürünün iç ve dış cidarları boşluksuz olarak tanımlanmalıdır. Katı modellemede, ürünün tüm noktaları tanımlı olduğu için böyle bir duruma gerek yoktur. Var olan modeller, üç boyutlu tarayıcıdan ile bilgisayar ortamına aktarılır.

2.4.3.2. Kesitlere Ayırma Ve Veri Hazırlama

Meydana getirilen model, bilgisayar yardımıyla tabaka tabaka kesitlere ayrılır. SLS tezgahının kullanılacağı kalınlığa göre tabakanın kalınlığı ayarlanır. Bu kesitler STL (Stereolithography Transfer Language), SLC (Stereolithography Contour), IGES (Initial Graphics Exchange Specifications) veri formatlarından birine dönüştürölme işleminden sonra SLS tezgahına aktarılır.

2.4.3.3. SLS İşlemi

Platform üzerine tozdan oluşan malzeme ince bir tabaka şeklinde serilir. Laser ünitesinden gelen ışınlar, X-Y eksen kontrollü yansıtıcısıyla yönlendirilmek suretiyle, modelin taban kesitini, malzeme üzerine işler. Laser ışınına maruz kalan tozlar termoplastik malzeme ile birbirine bağlanır. Kesit'den başka tozlar bağ oluşturmazlar ve ortamda tutulmak suretiyle modele destek verirler. İlk tabaka meydana gelmesinden itibaren, platform, tabaka kalınlığı boyunca aşağıya iner. Her bir tabaka, laser ışınına maruz kalır ve bir önceki tabakanın üzerine inşa edilir. En üst tabaka inşa edildikten sonra, model dışındaki tozlar uzaklaştırılır.

2.4.3.4. Pişirme ve Sinterleme

Öncelikle model temizlenir ve düşük sıcaklıkta fırınlanır. Bunun sonucunda bağ yapısı kuvvetli hale gelen prototip, yapılacak testler için hazır olur. Düşük erime

sıcaklığına sahip metal malzeme sinterleme işleminden sonra metal prototiplere emdirilir.

2.5. SİNERLEMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

2.5.1. Kokun Etkisi

Sinterlemede koktozu ve kok gazı olmak üzere için iki tip yakıt kullanılır. Sinterde koktozu kontrolü, gözle yapılır. Eğer kok, normal kok ise sinterin 2/3'nü siyahlaşmış, 1/3'ü kırmızımsıtrak olmalıdır. Kokun az olması malzeme içerisinde pişmemiş kısımlar'dan anlaşılır. Emiş klapesinde yanma devam ediyorsa kok fazladır ve miktarı ayarlanır.

2.5.2. Cevher İriliğinin Etkisi

Cevherler 12.5 – 6.5 mm. irilikte elenir. İri cevherler homojen olmayan sinterleşmeye neden olur. Bu nedenle 12.5 mm.'den iri partiküllerden sakınılmalıdır. İri taneler bağlanma için tam teması sağlamaz. Arada parçalanmada görev alırlar. Normal irilikteki cevherler, sinterleşebilirler.

2.5.3. Sinter Tozunun Etkisi

Sinterlemeyi, sinter tozlarının toplam miktarı ve cinsi etkiler. Yanma hızı ve sinter direncinin artması, sinter tozu miktarının artmasına bağlıdır. Nedeni, sinter tozunun bir önceki aşamada sinterleşmesidir. Sinterleşme, belirli sınır üzerinde, yanma hızı ve direncin artmasının devam etmesine karşın devreden sinter tozu üretimi devamlı şekilde ve çokca düşürür. Birçok sinter tesisinde sinter harmanına %20 – 40 oranları arasında sinter tozu karıştırılır.

Bu tozların kullanılması sıcaklığı 60 – 70 C⁰ 'e çıkarır. Bunun sonucunda, harmandaki rutubetin homojenliği daha yüksek geçirgenliğe sahip olur.

2.5.4. Bazikliğin Etkisi

Sinter bazikliği 1.0'a doğru artarsa sinterleşme daha hızlı meydana gelir. İndirgenme özelliklerinin düzenlenmesini, bazikliğin artması sağlar. Sinter bazikliği 0.6 – 0.8 'e çıkarılınca hatırı sayılır bir direnç artışına sahip olunmuştur. Ancak bazikliği 0.6 – 0.8 üzerine çıkarmak için yapılan çalışmalar her zaman sinter direnini artırmıştır. Gerçekleşen deneyler sonucunda, CaCO₃ ilavesiyle MgCO₃'ten daha yüksek dirençler elde edilir.

2.5.5. Rutubetin Etkisi

Rutubetin sinterlemeye etkisi büyüktür. Rutubet, maksimum yatak geçirgenliği için topaklanmış bir harman meydana getirir. Rutubet, sinterlenmekte olan harmanın özelliklerine göre verilir. Rutubet miktarlarında oynamalar yapıldığı taktirde sinter kalitesini olumsuz etkilemesine rağmen üretim hızında rolü büyüktür. Aşırı rutubetden dolayı zayıf, süngerimsi bir toprak oluşur. Ayrıca aşırı rutubet sinterleşme sırasında yoğunlaşmayı artırır ve geçirgenliği düşürür.

2.6. SİNER KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sinter için başlıca kriterler vardır. Bunlar; kimyasal kriter; kabul edilebilecek bir direnç, redükleme ve yüksek fırında maksimum demir ve minimum gang ihtiva etmesidir. Sinter kalitesi test edilerek öğrenilmez. Yüksek fırın ekonomisi, sinter tesisinin çalışma şeklini belirler. Sinterleme ünitesinde çalışanlar ise yüksek fırın tarafından kabul edilebilecek bir mamul verebilecek şartları bulmaya çalışırlar. Sinter kalitesi açısından en önemli faktörler tane iriliği, mukavemet, indirgenme özelliğidir.



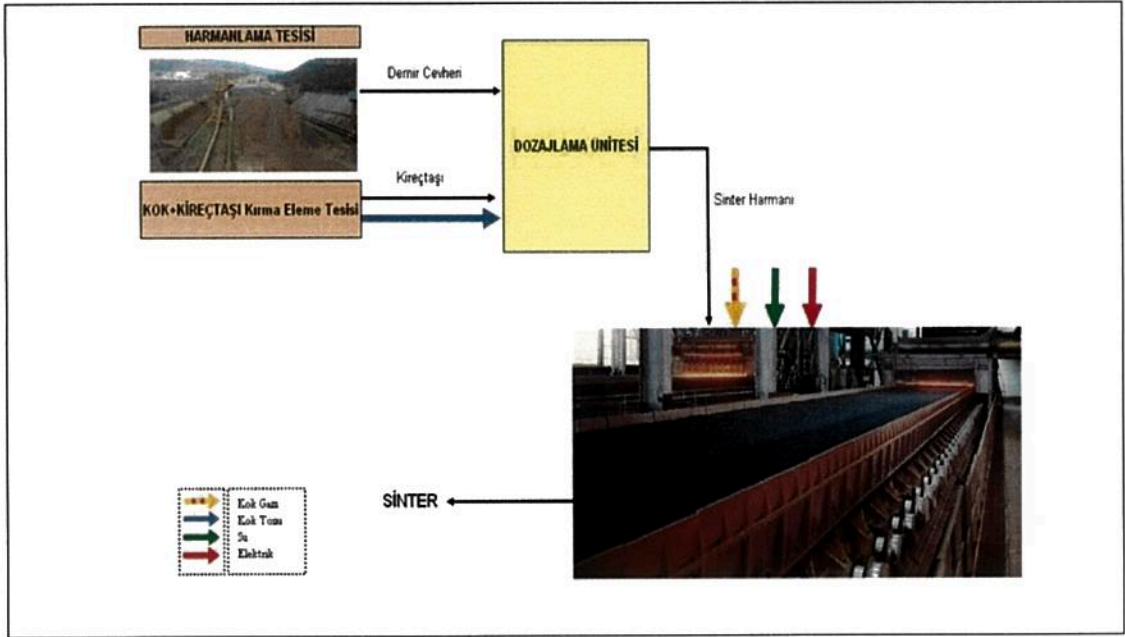
Şekil 2.5. Kardemir AŞ Sinter tesisleri fotoğrafı.

Çizelge 2.3. Kardemir AŞ Sinter tesisleri özellikleri.

	SM 1	SM2	SM3
Sinterleme kapasitesi	1.200.000 ton/yıl(ss)	1.200.000 ton/yıl(ss)	1.200.000 ton/yıl(ss)
Etkili sinterleme alanı	110 m ²	110 m ²	110 m ²
Palet hızı	1-4,5 m/dak.	1-4,5 m/dak.	1-4,5 m/dak.
Fan debisi	700.000 m ³ /saat	700.000 m ³ /saat	700.000 m ³ /saat
Kullanılan gaz	kok gazı	kok gazı	kok gazı

Çizelge 2.3’de Kardemir AŞ sinter tesisleri özellikleri görülmektedir. Dozajlama tesisinde bulunan besleyicilerden istenilen oranlarda seçilen kok, kireç taşı, cevher ve sinter tozu bantlı konveyör yardımı ile önce birincil karıştırıcıya (tromel) gelir. Burada birincil karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra yine bantlı konveyör ile ikincil karıştırıcıya (tromel) gelir. İkincil karıştırıcılarda istenilen oranda

nemlendirilen ve homojen karışımı sağlanan sinter harmanı bantlı konveyörler vasıtası ile sinter makineleri üzerinde bulunan harman bunkere gelir. Buradan da sinterlenmek üzere sinter makinelerine serilir. Makine üzerine, sinter ham karışımından önce 5-8 cm kalınlığında yatak malzemesi serilir ve makine ızgaraları yüksek ısıdan korunur. Şekil 2.6 'da Sinter proses kartı gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Sinter proses kartı.

Ham karışım içerisindeki kok tozu ateşleme fırınında kok gazı ve hava karışımı ile tutuşturulur. Sinter Makinesi 3 metre genişliğinde ve 96 metre uzunluğundadır. Sinterleşme uzunluğu ise 36,6 metredir. Makedeki ızgaralar yüksek kromlu çelik dökümdendir.

Sinterleşme, ham karışım içerisindeki kok tozunun yanarak meydana getirdiği ergimelerle olur. Gerekli olan hava, sinter ana fanı tarafından temin edilir. Ana fan, 700.000 m³ /saat hava emer. Emilen hava sinter yatağından geçerken yanmaları ısı iletimi ve soğutmaları yapar. Makine ilerledikçe hava emişi sayesinde yanma alt kısma doğru ilerler. Bir noktadan sonra cevher ve katkı maddeleri sıcaklık nedeniyle parçalanarak içeriklerini kaybetmekte ve taneler arası sinter bağları kurulmaktadır. Sıcaklıkla parçalanan içeriklerden bir kısmı kükürt gibi yüksek fırında istenmeyen içeriklerdir. Bunun yanı sıra bu içeriklerin çıkması sonucu sinter gözenekliliği

artmakta ve cevherin yüksek fırın içerisindeki reaksiyon özelliği yükselmektedir. Sinterleşme için ana fan tarafından emilen hava, hava kasaları, gaz emiş borusu, elektro filtre ve baca yolu ile dışarı atılır. Sinter bacasının yüksekliği 81,8 metre'dir. Sinter Makinesinde sinterleşmiş malzeme önce kırıcıya gelir. Burada 150 mm'den daha ince ebatta kırılmış olarak çıkar. Isısı yüksek olduğundan çelik tavalı konveyörle dairesel soğutucuya taşınır. Her bir soğutucuda 400.00m^3 /saat debiye sahip ikişer adet soğutma fanı vardır. Soğutma fanları vasıtası ile hava üflenerek sinter sıcaklığı kauçuk bantların taşıyabileceği sıcaklığa (yaklaşık $70\text{ }^{\circ}\text{C}$) düşürülür.



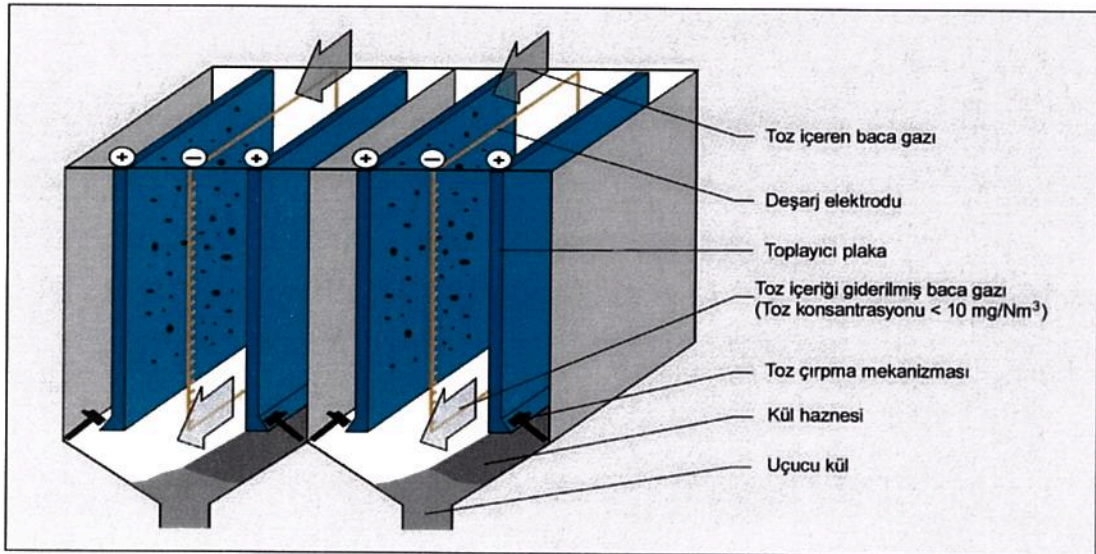
Şekil 2.7. Sinter prosesi soğuk elek.

Soğutulan sinter bantlı konveyör vasıtası ile Şekil 2.7 'de gösterilen soğuk eleklerle gelir burada 6 mm altı sinter tozu olarak ayrıldıktan sonra Yüksek Fırın hattına veya 15-25 mm'ye elenen sinterin yeteri kadarı yatak malzemesi olarak kullanılmak üzere bantlı konveyörler ile sinter makinesine geri döner. -6 mm elek altı malzeme tozu olarak toz bunkerlerine alınır ve buradan kantarlı besleyiciler vasıtası ile uygun miktarda Sinter harmanına karıştırılarak sinterlenmek üzere sinter makinesine beslenir. +6 mm elek üstü Mamul Sinter direk yüksek fırın sinter bunkerlerine veya bunkerler dolu ise sinter stok sahasına gönderilmektedir. Mamul sinterin ortalama fiziksel boyutu 6-40 mm arasındadır ve bazitesi yüksek fırın talebine göre ayarlanmaktadır.

BÖLÜM 3

ELEKTROSTATİK FİLTRELER

Elektrostatik filtreler, çoğunlukla enerji santrallerinde, yakıtın yanması sonucu oluşan baca gazının içerdiği uçucu küllerin atmosfere atılarak çevre kirliliğine sebep olmasını önlemek için kullanılmaktadır. Çalışma prensibi ise; iyonize edilen toz zerrecikleri (korona alanında) negatif yüklenerek hızlı bir şekilde pozitif elektrotların olduğu alana giderler ve burada tutulup çöktürülerek egzost gazlarından ayrılırlar. Toplama elektrotları üzerinde toplanan kül, elektrotların belirli aralıklarla silkelmesi sonucu elektro filtre altındaki Şekil 3.1 'deki kül bunkerlerine dökülmektedir.

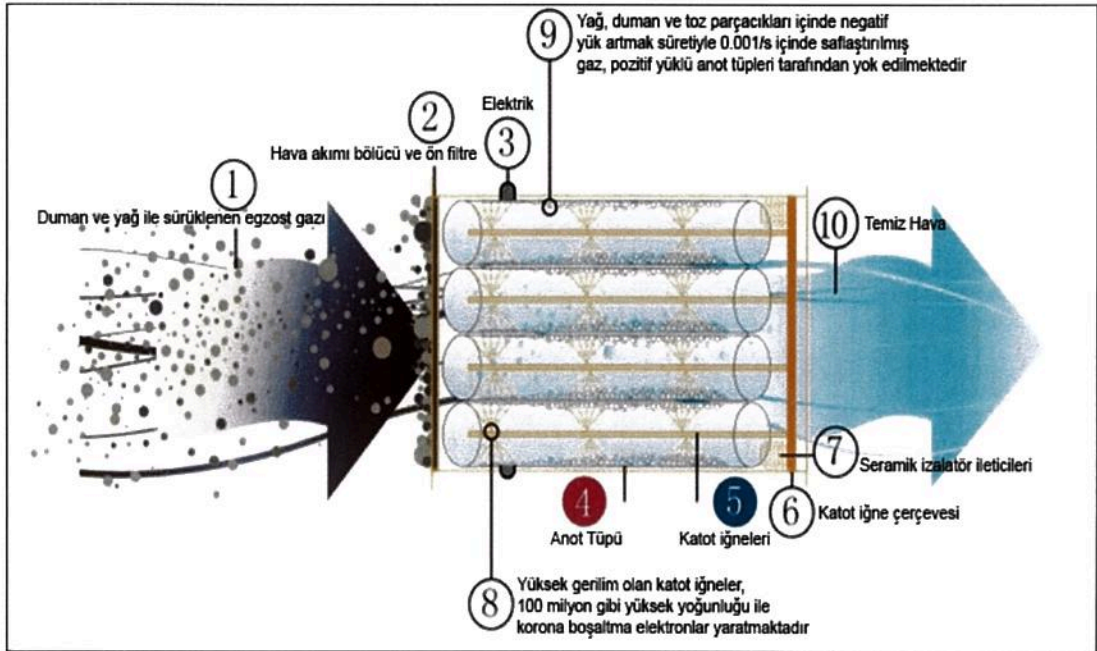


Şekil 3.1. Kül bunkerlerinde biriken kül.

Yapısına değinecek olursak; Aktif elektrostatik filtreler; plakalar arasında meydana gelen yüksek gerilim sahasından yararlanarak, aralarından geçen havada bulunan yüklü parçacıkların elektrostatik çekim kuvveti ile plakalar aracılığıyla tutulması prensibi ile çalışır. Bu çeşit filtrelerin parçacık tutma kapasitesi oldukça yüksektir. Fakat yüksek performansa sahip olmalarına rağmen, montaj ve işletme faaliyetleri

oldukça yüksektir. Bu sebeplerden dolayı küçük çaplı veya ticari uygulamalar için tercih edilmemektedirler.

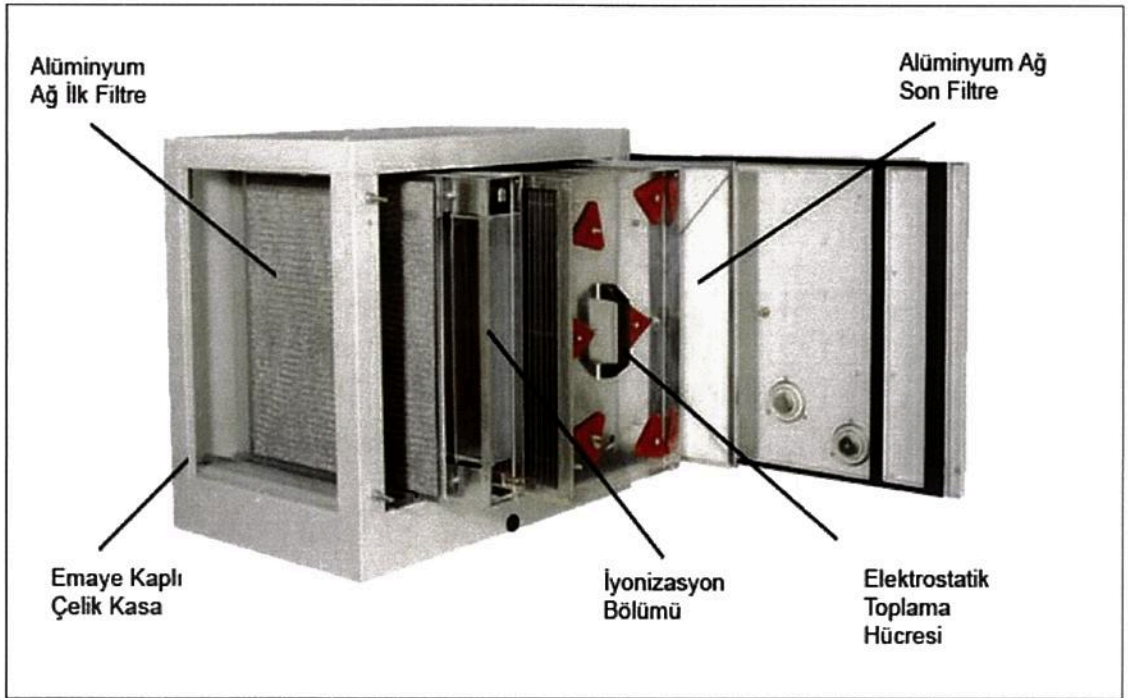
Aktif elektrostatik filtrelerdeki yüksek gerilim sahasını devreden çıkararak, maliyeti düşürerek, elektrostatik parçacık tutma avantajını kullanmak amaçlı geliştirilen diğer yöntem ise pasif filtrelerdir. Pasif elektrostatik filtreler, havada bulunan toz ve diğer partiküllerin elektrostatik kuvvetler aracılığıyla yakalanması ve filtre fiberleri tarafından tutulması prensibi doğrultusunda, aktif elektrostatik filtrelerle aynı davranışları gösterir. Şekil 3.2 'de ise ESP İç Yapısı ve Çalışma Prensibi'nde görebiliriz



Şekil 3.2. ESP iç yapısı ve çalışma prensibi.

Elektrostatik Filtreler çeşitli çevre koşullarına dayanıklı olarak üretilmektedir. Elektrostatik filtreler piramid veya dikey şekillerdeki Bunkerler ile çevrelenmiştir. Elektro filtreler iki akışlı elektrostatik kül tutuculardan baca gazındaki külleri elektrik alanından yararlanarak tutarlar. Kapalı bir gövde içerisinde sac levhalar yerleştirilmiştir. Bu levhalar arasında teller gerilmiştir. Her bir akış yarım toz tutucu olur. Her yarım toz tutucu için 380 V'luk DC akıma dönüştüren 225 kVA gücündeki bir transformatör redresör kümesinden elde edilir. Elektrofiltredeki teller (-) elektrot, sac levhalar (+) elektrotlardır. Elektrotlara gerilim uygulanınca tellerden çıkan

elektronlar yüksüz olan toz tanelerine çarparak onları (-) iyon haline getirirler. (-) yüklü tozlar, (+) yüklü elektrotlar tarafından çekileceğinden toz taneleri sac levhalara yapışır ve gazdan ayrılır. Levhaları tozlardan silkelemek için kam düzeni vardır. Kam vasıtası ile plakalar belirli periyotlarda silkelenir. Silkelenen küller elektrofiltre altındaki kül silolarına boşalır. Elektrofiltrelerin verimi yaklaşık %98' dir. Elektrofiltrelerin kullanımıyla birlikte yakınlarında yaşayan halkın sağlığını tehdit eden çok önemli bir sorun giderilmiş oldu.



Şekil 3.3. ESP genel görünüm.

3.1. ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCU VE TEMEL ÖZELLİKLERİ

Elektrostatik çöktürücü (ESP) partikül emisyon kontrolü için yaygın olarak kullanılan bir cihazdır. ESP gaz akımı içinde süspansiyon parçacıkları aracılığıyla elektrik yüklü fiziksel bir işlemdir ve elektrik alanının etkisi altında gaz akımından ayrılır. Elektrostatik çökeltme sistemi şarj toplama yüzeylerinden oluşur ve yüksek gerilim deşarj elektrot teli plakaları arasında merkezi yerleştirilir. Gerilim-akım (VI) karakteristikleri sıklıkla ESP performansını izlemek için kullanılan önemli tanı araçlarından biri kabul edilir. Tipik ekipman tasarım verimliliği % 99 ve % 99.9 arasındadır.

3.1.1. Esp Tanımı ve Yapısı

Elektrostatik presipitatör (ESP), akan gaz akışı üzerinden ve kollektör plakaları üzerine parçacıkların hareket ettirmek için elektriksel kuvvetleri kullanan bir partikül kontrol cihazıdır. Parçacıklar, bir korona ile gaz iyonları aktığı bir bölgeden geçmek için zorlayacak bir elektrik yükü verilir. Duvarlara yüklü parçacıkları zorlayan elektrik alan akışı sokağın ortasında yüksek voltajda tutulan elektrotlardan geliyor.

Genelde üç çeşit ESP vardır:

- Negatif yüklü kuru toz tutucular, En çok kullanılan tür bunlardır, yakma tesislerinde, çimento fırınlarında vb.
- Islak-yüzeyli toz tutucular, Genellikle mistler ya da görece yapışkan tozlar için kullanılırlar
- Pozitif yüklü iki aşamalı toz tutucular, Sadece mistler için kullanılırlar.

Elektrostatik toz tutucuların (ESP) avantaj ve dezavantajları şöyledir:

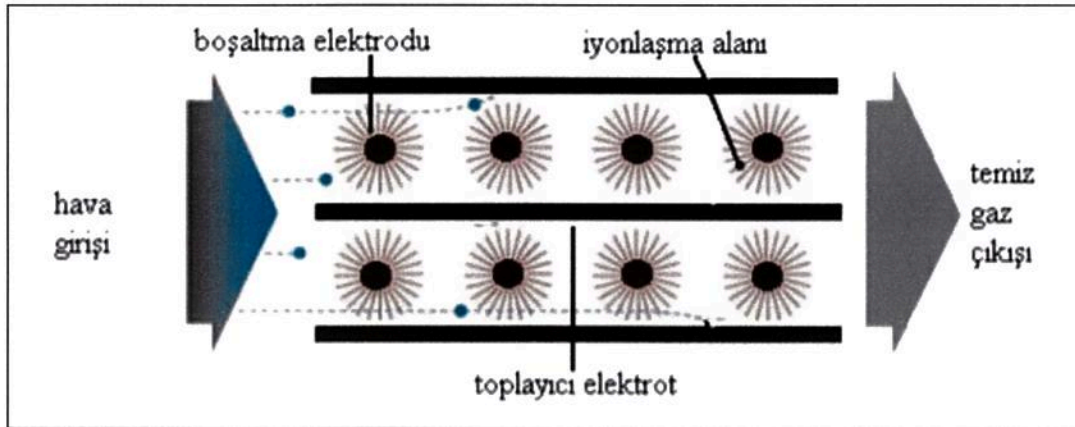
ESP'ler tüm dirençlerde çalışırlar ancak en iyi verim 10^8 - 10^{10} ohm-cm aralığında olur. Yüksek sermaye maliyeti bulunur. Parçacıklar üzerinde işlem yapılamaz. Yüksek elektrik direncine sahiptir. Yanıcı ya da patlayıcı içerikteki toz ya da gazlar mevcutsa kullanımı sakıncalıdır [14].

Düşük işletme maliyetlidirler (çok yüksek verimlilik hariç). Daha küçük partiküller için çok yüksek bir verime sahiptir. Çok büyük gaz debileri işlemek için yeteneğe sahiptir. Düşük basınç kaybı vardır. Tasarımında sıcaklık esnekliği vardır. Pek çok uygulamada kullanılabilir [15].

3.1.2. Çalışma İlkesi

Elektrostatik toz tutucu, aralarına verici elektrotların yerleştirildiği ve yüksek seviyelerde negatif polariteli doğru gerilim ile sağlanan toplama elektrotları içerir. Verici elektrotlar çevresinde korona deşarjı, gaz tüpündeki negatif polaritenin iyonik şarj enjekte edilmesiyle biçimlendirilir. Meydana gelen elektrik alanı ile şarjlı partiküller arasındaki elektrostatik etkileşimden ötürü, elektrikle yüklenen kül partikülleri çekilir. Bu etkileşim yüklü partikülleri toplama elektrotuna doğru götürür ve sonra bu toplama elektrotu üzerinde bu partikülleri biriktirir. Yeterli ölçüde kül partikülü levhalar üzerinde olduğunda bu küllere hafifçe vurulur ve kül, yapının alt kısımlarında inşa edilen silolarda toplanır ve sonra tutuculardan dışarıya atılır.

Birçok ESP'ler ünitenin toplama alanlarına gazı dağıtmak için giriş yüzüne delikli levha ekranları kullanılır. Ekipman tedarikçileri tarafından sağlanan farklı düzenlemeler vardır. Alstom tarafından geliştirilen yeni Off-Flow Rap yapmak Sistemi (OFRS) azaltmak ya da ESP rap kayıplarını ortadan kaldırmak için ünitenin girişinde kullanılan benzeyen delikli plakalar kullanılır [8].



Şekil 3.4. Elektrostatik toz tutucu çalışma şekli prensip şeması [14].

3.1.3. Yapısal Özellikler

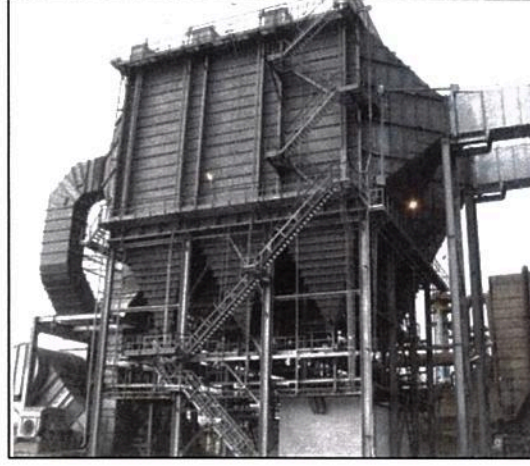
Elektrostatik filtreleme işleminde; gaz içerisindeki parçacıkları transfer etmek için doğru gerilim kullanılır. Korona ve toplama elektrotları arasında oluşan elektrik alanla, toplama elektrotuna itilen negatif yüklü iyon ve parçacıklar silkeleme yöntemiyle sistemden ayrılır [4].

Elektrostatik filtrede yüksek gerilim transformatörü ve doğrultucu kullanılır. Filtreleme kısmı üç ayrı plastik kaplamaya sahiptir. Toplama elektrotları toprağa bağlıdır. Korona başlangıç gerilimini etkileyen unsurlar arasında; korona elektrotlarının şekil ve elektrotlarla arasındaki mesafede etkilidir.

Topraktan yalıtılan korona elektroduna 20-100 kV arası doğru gerilim uygulanır. Parçacıkların bir kısmı toplanma işleminden sonra yüklerini yitirir ve işleme maruz kalır, bunun haricinde bir kısmı toplanmadan bir miktar yol alabilirler. Filtreleme işleminin son aşamasında yapılan parçacıkları ayırma kısmında korona ve toplama elektrotlarına aralıklı vuruşlarla silkeleme işlemi yapılır, işlem sonucunda filtre elektrotlarından dökülen parçacıklar toplama elektrodundan haznelere doğru akar. [4]

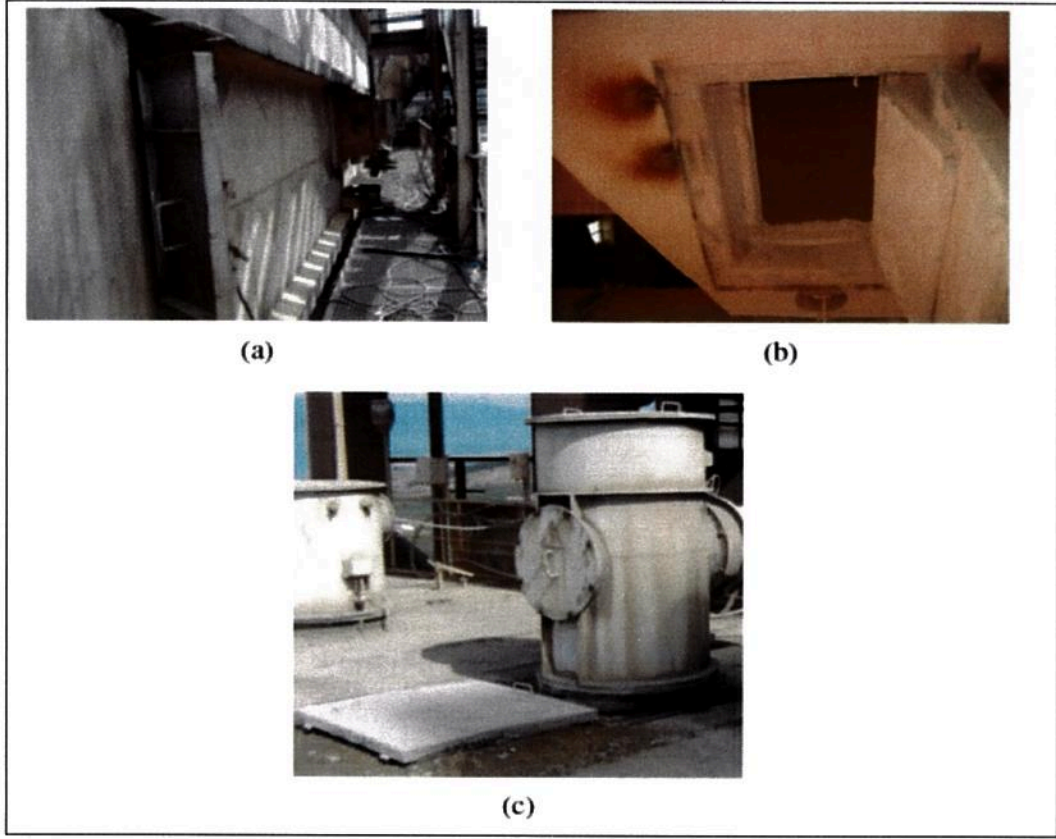
ESP nedeniyle gelişmiş mekanizmalar, enerji tasarrufu, yüksek performans, güvenilir çalışan, basit bakımlar ve düşük işletme maliyetleri, endüstriyel fırın baca gazı kontrolü için en önemli ekipmanlardan biridir [10].

Elektrostatik çökelticinin (ESP) içinde bölgeler için yüksek gerilim (YG) güç kaynakları için gereksinimleri soruşturmaları HV üretimi için farklı teknolojilerin özellikleri açısından yapılmıştır [17]. Şekil 3.5'de Elektrostatik filtre altındaki toplama hazneleri görülmektedir.



Şekil 3.5. Elektrostatik filtre altındaki toplama hazneleri [4].

Elektrostatik filtrenin ana kısımları yalıtkan gövde, hazneler, inceleme kapakları, yapı iskeleti ve giriş çıkış bağlantılarından oluşur. Yapı iskeletinde yüksek gerilim kısımları mevcuttur ve bu sebeple çelik iskeletle toprağa bağlanmıştır. Piramit şeklindeki elektrostatik filtre altındaki haznelerde ve bölmelerdeki inceleme kapaklarından kontrol,bakım gibi işlemler yapılabilir [4]. Şekil 3.6'da İnceleme kapakları görülmektedir.



Şekil 3.6. İnceleme kapakları, a) bölme kapakları, b) toplama hazne kapakları, c) filtre üstü kapaklar [4].

3.2. ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCU ÇALIŞMA PRENSİPLERİ VE GENEL TEKNOLOJİSİ

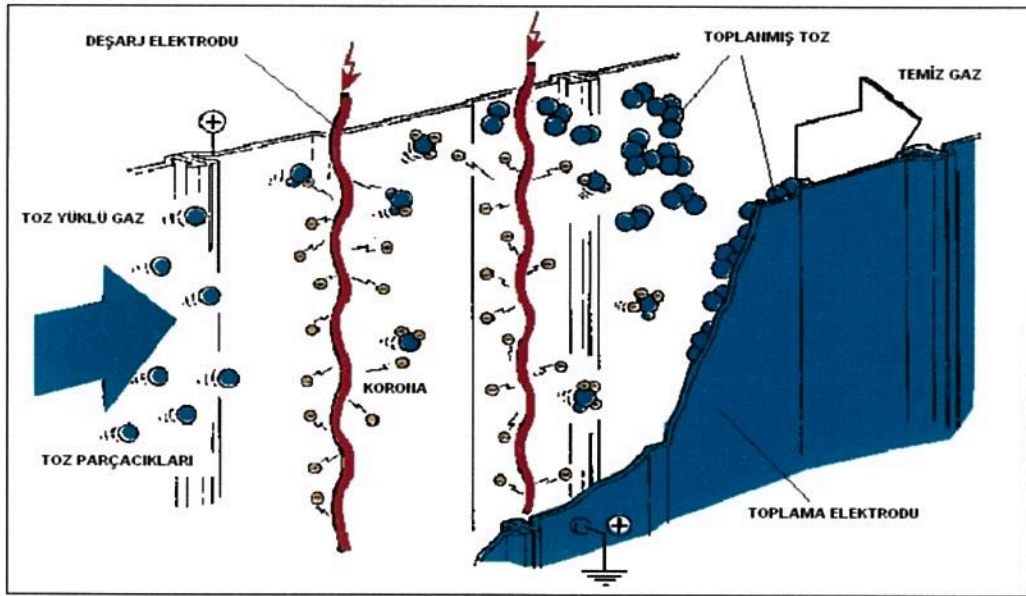
3.2.1. Parçacık Yükleme Sistemi

Parçacıkların elektriksel yüklenmesi elektrostatik filtrelerin temelini oluşturur. Elektrik yükü taşıyan toz parçacıklarının çekim kuvveti büyük filtreler için etkisiz kalmaktadır. Parçacıklar, korona teli aracılığıyla oluşturulmuş alandan geçerek yüklü hale gelirler [4].

Parçacık halinde iki fazlı akışı, iki yolla yani Lagrange ve Euler yöntemleriyle temelde tarif edilirler. Lagrange yaklaşımında bir süreklilik olarak sıvı fazı davranır ve parçacık üzerine etki eden kuvvetlerin dengesi ayrı bir tek parçacığın yörüngesini hesaplar. Euler yaklaşımı, bir bütün olarak ayrıca, gaz fazı olarak tanecikli bir faz

gibi davranır. Kütle ve momentum korunumu denklemleri, her iki faz içinde çözülmüştür. Her iki yaklaşımında avantaj ve dezavantajları vardır.

Birçok sanayi, enerji üretimi ve kimyasal işlemlerin bir sonucu olarak istenmeyen ince parçacıklı malzeme üretmektedir. Elektrostatik çökticiler egzoz gazlarından partikül kirleticileri sürüklenerek çıkarmadan ve yoğun partikül emisyonlarını sınırlamak için bu sektörlerde kullanılan etkili bir yöntemdir [18]. Şekil 3.7 Elektriksel boşalma ve toplama sistemi görülmektedir.



Şekil 3.7. Elektriksel boşalma ve toplama sistemi [4].

3.2.2. Elektrik Alanı

Elektrostatik filtreler, kömür yakan elektrik santrallerin bacalarından, özellikle duman kirletici partikülleri temizlemek için elektrik güçlerini kullanırlar. Şarj ve gaz akımlarından ayrı parçacıklı bir kuvvet oluşturulması için gerekli olan koşullar için gerekli korona üretimi için temel teşkil ettiği durumda elektrik alan çöktirme işleminde önemli bir rol oynar. Bir elektrik alan ESP deşarj elektrotlara yüksek voltaj uygulanması ile oluşur. Bu elektrik alanın gücü ESP performansında önemli bir faktördür.

Elektrostatik filtrenin performansı için elektrik alan şiddetinin hesaplanması gerekir. Aşağıdaki eşitlikler elektrik potansiyeli ve uzay yük yoğunluğu dağılımı kullanılarak oluşturulmuştur [4].

$$\nabla^2 V = -\frac{\rho_\epsilon}{\epsilon_0} \quad (3.1)$$

$$\rho_\epsilon = \epsilon_0 (\nabla \cdot (\nabla V)) \quad (3.2)$$

V =elektrik potansiyeli,
 ρ_ϵ =uzay yük yoğunluğu
 ϵ_0 =boşluğun dielektrik sabiti

Eşitlikleri çözmek için kullanılan sınır koşulları:

- i. Korona elektrotunda $V = V_0$ ya da $\rho_\epsilon = \rho_{ew}$
 - ii. Toplama elektrodu boyunca $V = 0$;
 - iii. Tüm simetrik düzlemler boyunca $\nabla V = 0$;
 - iv. Toplama elektrodu yakınında $\rho_\epsilon = j_p [b(-\partial V / \partial y)] - 1$.
- V_0 = uygulanan gerilim,
 ρ_{ew} = korona elektrodu yakınında uzay yük yoğunluğu,
 j_p = toplama elektrotunda parçacıklar dışında ortalama akım yoğunluğu,
 b = yüklenmiş parçacıkların hareketliliği ve y korona elektrodu merkezli toplama elektrotuna göre ölçülmüş konum koordinatıdır .

$$E = -\nabla V \quad (3.3)$$

$$J = \rho_c B_g E \quad (3.4)$$

B_g =gaz iyonlarının elektriksel hareketliliği ($m^2/V.s$),
 ρ_c =uzay yük yoğunluğunu (C.m⁻³) belirtmektedir.

$$\rho_{e\omega} = \frac{Sj\rho}{\pi baf(30\delta + 0,9\left(\frac{\delta}{a}\right)^2)} \cdot 10^{-5} \quad (3.5)$$

S =korona elektrotları arasındaki uzaklık,

b =yükli parçacıkların hareketliliği, a =korona elektrotunun yarıçapı, f= pürüzlülük faktörü,

$\delta = T_0 P / T P_0$, $P_0 = 1$ atm, $T_0 = 293$ K ve P ve T işletme basınç ve sıcaklıklarıdır.

3.2.3. Yükleme Mekanizmaları

İyonize olmuş gaz molekülleri ile toz parçacıkları arasındaki çarpışma, alan etkisiyle yüklenme ve iyon difüzyon yüklemesi yöntemleriyle incelenir. Bombardıman yüklemesi 0,5 μm 'den büyük ve gaz iyonları toz parçacıklarına çarpıp onlara yapışırlar. Kazanılan yükün bağlı olduğu birimler; alan şiddeti, yüzey alanı, parçacıkların dielektrik özellikleri ve zamandır [4].

Parçacık yüklenmesi aşağıdaki formüllerle tanımlanmıştır.

$$\tau = 4 \frac{\epsilon_0 E}{J} \quad (3.6)$$

$$q(t) = q_\infty \frac{t}{1 + \frac{t}{\tau}} \quad (3.7)$$

$$q_\infty = \pi \epsilon_0 \frac{3\epsilon_s}{\epsilon_s + 2} \cdot d_p^2 E \quad (3.8)$$

q =yük sabitini (C),

τ = difüzyon yükünün zaman sabitini

k =Boltzman sabitini ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K, T sıcaklığı (K),

e =elektronların yükünü ($1,6 \times 10^{-19}$ C) (C),

n_i =boşluktaki iyonların yoğunluğunu (m^{-3}),

μ_i =iyon hareketliliğini (V.m/s^2) gösterir.

3.2.4. Göç Hızı

Son yıllarda elektrostatik çökticiye ilişkin deneysel araştırmalar tekrar plaka için plaka mesafe genişleterek veya ortalama gaz akış hızının yükseltilmesi üzerine etkin göç oranında bir artış doğrulandı. Artan geçiş genişliği veya gaz hızı ile etkili göç oranındaki artış çöktici performansında bir gelişme olarak görölmektedir. Elektriksel olarak yüklenmiş parçacıklar, elektrik alan içinde bir Coulomb kuvvetine maruz kalarak toplama elektroduna doğru göç hızıyla ilerler.

Coulomb kuvveti

$$F = q \cdot E \quad (3.9)$$

Hareketli parçacıktaki viskoz kuvvet;

$$F_s = \frac{3\pi \cdot \mu \cdot d_\rho \cdot w_e}{C_m} \quad (3.10)$$

Parçacıklar toplama elektroduna doğru w_e hızıyla hareket eder.

$$w_e = \frac{q \cdot E \cdot C_m}{3\pi \cdot \mu \cdot d_\rho} \quad (3.11)$$

$$C_m = 1 + 2,54 \left(\frac{\lambda}{d_\rho} \right) + 0,8 \left(\frac{\lambda}{d_\rho} \right) \cdot \exp \left(\frac{-0,55 d_\rho}{\lambda} \right) \quad (3.12)$$

$$\lambda = 6,61 \cdot 10^{-8} \left(\frac{T}{293} \right) \left(\frac{101,3 \cdot 10^3}{P} \right) \quad (3.13)$$

3.2.5. Toplama Verimi

Elektrostatik çökticiler partikülün tüm boyutlarından daha büyük %99 oranında toplama kapasitesine sahiptir. Toplama verimi toz direnç ve gazda dahil olmak üzere çeşitli faktörler tarafından etkilenir. Sıcaklık, toz ve gazın kimyasal bileşimi ve parçacık boyutu dağılımı bu faktörler arasındadır. Tozun direnci elektrik iletimine olan direncinin bir ölçüsüdür ve kuru ESP performansı üzerinde büyük bir etkisi vardır. ESP etkinliği de boşaltma elektrotlarına uygulanan voltaja bağlıdır, yaratabileceği elektrik alan gücü ile sınırlıdır. Uygulanabilecek maksimum gerilim kıvılcım gerilimi ile tespit edilir. Bu gerilimde, tahliye ve tahsilât elektrotlar arasında

iyonize bir hat ve kıvılcım görülür. Son derece dirençli tozlar düşük voltajda çalışması için ESP zorlar kıvılcım, artar. ESP etkinliği azaltılmış çalışma voltajının bir sonucu olarak azalır . Toplama verimi ifadesi;

$$\eta = 1 - \exp(-w_e \cdot f) = 1 - \exp\left(\frac{-w_e \cdot A}{Q}\right) \quad (3.14)$$

Burada $f = A/Q$ özgül toplama alanını (s/m), A =toplama elektrot alanını (m²)
 Q =gaz akış oranını (m³/s) temsil etmektedir.

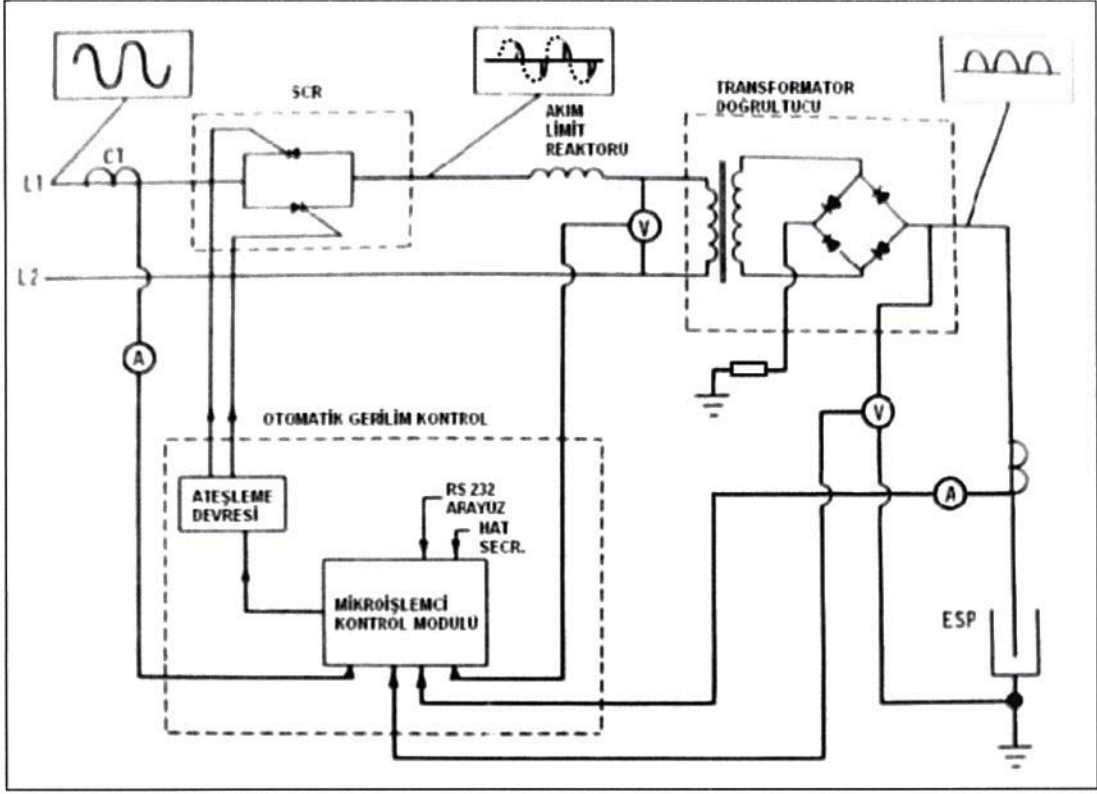
Gerçekte, toplama verimi bazı faktörlerden etkilenir. Toplama verimini düzeltme de ise;

$$\eta = 1 - \exp\left(\frac{-w_e \cdot L \cdot K}{v_0 \cdot b}\right) \quad (3.15)$$

L gaz akışı boyunca toplama elektrotu uzunluğunu (m), v sıfır gaz hızını (m/s), b korona ve toplama elektrodu arasındaki ayırımı (m) ve K gerçek ölçümlere göre hesaplanmış düzeltme faktörünü göstermektedir [4].

3.2.6. Güç Besleme Sistemi

Yükseltici transformatör, yüksek gerilim doğrultucusu, kontrol elemanı ve kontrol sistem sensöründen oluşan elektrostatik filtre güç beslemesi, en yüksek gerilim seviyesini sağlamak için tasarlanır. Uygun gerilim ve akım değerlerini elde etmek için tasarlanan otomatik kontrol sisteminin elemanları şekilde görülmektedir [4]. Şekil 3.8 'de Elektrostatik filtrede otomatik kontrol sisteminin elemanları görülmektedir.



Şekil 3.8. Elektrostatik filtrede otomatik kontrol sisteminin elemanları [4].

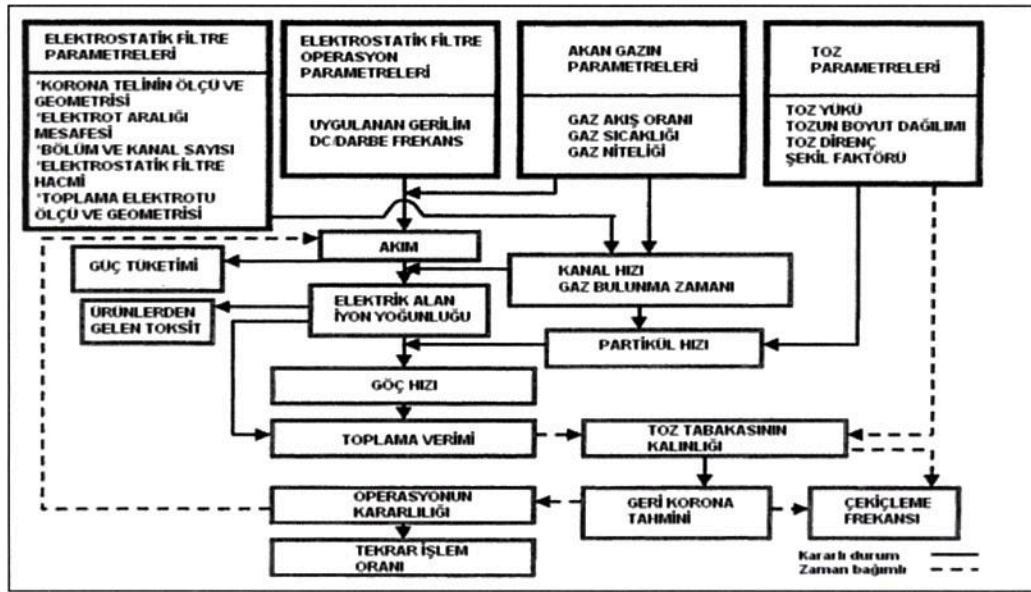
Elektrostatik filtrede, işlem sürecinin uygun bir şekilde izlenmesi için gereken önemli kısımlar buldukları bölgeye göre kategoriye ayrılır. Bunlar, transformatör-doğrultucu, çekişlemeler/vibratörler, alt hazne toz uzaklaştırma sistemi ve dış kısımlardır [20].

Elektrostatik filtre performansında en önemli ölçüm güç ölçümüdür. Bu yüzden elektrostatik filtrede en temel olarak aşağıdaki değerlerin bulunması gerekir.

- Primer akım ölçümü
- Primer gerilim ölçümü
- Sekonder akım ölçümü
- Sekonder gerilim ölçümü
- Atlama oranı ölçümü (isteğe bağlı)

Performans değerlendirme ve bakımda göz önünde bulundurulacak değerler bunlardır. Dijital sistemlerde veri kaydediciler bakımı hızlandırır ve işçiliği azaltır.

Mikroişlemci teknolojisi sistemin bakımını kolaylaştırır. Örneğin herhangi bir toprak arızası meydana geldiğinde otomatik olarak problemi bize bildirir ve hızlı çözüm sağlar. Elektrostatik filtrede yüksek verimde çalışma önemlidir. İdeal çalışma şekli elektrotlar arası atlamanın az sayıda olmasıyla sabit koronanın oluşturulmasıdır. İstenen durum korona geriliminin alçak değerde olmasıdır. Korona elektrodu pozitif ve negatif yüksek gerilim ile beslenir. Bu iki gerilim arası fark aynı çalışma koşullarında ark oluşmadan daha yüksek potansiyelde çalışılabilir. Filtre verimi uygulanan gerilime bağlı olduğundan tercih edilen negatif besleme gerilimidir [4].



Şekil 3.9. Elektrostatik filtre modelinin blok diyagramı [4]

Şekil 3.9.'da Elektrostatik filtre modelinin blok diyagramı verilmiştir. Trafo başıboş kapasitans dayalı yüksek gerilim, yüksek frekanslı elektrostatik çöktürücü güç kaynakları için bir rezonans devresi dönüşümü önerilmiştir. Dünya üzerinde hala ekonomik nedenlerden dolayı tristör bazlı eski sistemler kullanılmaktadır. Güç kalitesini geliştiren yeni sistemler olmasına rağmen eski sistemlerin yapısının basit olması ve düşük maliyetli olması onları hala kullanılır yapmaktadır. IGBT anahtarlamalı modern güç elektroniği ve tam dijital mikrodenetleyici uygulamaları elektrostatik filtre verimini artırmaktadır. Tristörlü güç sistemiyle kıyasla, kesikli ve kısa aralıklı beslemeyle, geri korona durumunda avantaj elde edilebilir [19].

Elektrostatik filtrenin giriş bölümünde parçacık yoğunluğu fazla ve farklı tiplerdedir. Bu bölümde istenen, en fazla sayıda parçacığın en yüksek düzeyde yüklenmesidir. Sonraki bölmelerin verimliliklerini giriş bölümü etkiler.

Büyük çökticilerin güç tüketimi 1 MW ve üzeri aralığında olabilir. Toz yük özelliklerine bağlı olarak, elektrik enerjisi önemli ölçüde toz emisyonlarını artırmadan, bulanık mantık uygulayarak% 50'ye varan azalma olabilir [16].

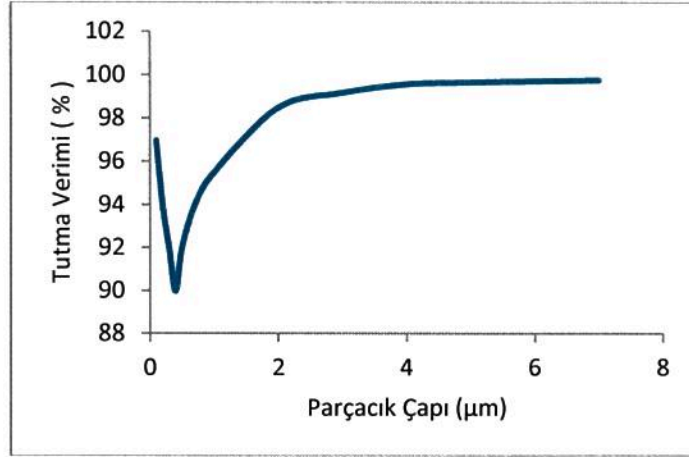
3.3. ESP 'NİN UYGULAMA ALANLARI

Pek çok uygulamada kullanılabilir. Giderim verimi malzeme özellikleri ve torba filtresi malzemesine bağlı olarak %99 ile 99.5 arasında değişir. Tüm partikül çaplarında iyi verim sağlar. Yapışkan tozlar ya da ıslak partiküller için uygun değildir. Yanıcı ya da patlayıcı içerikteki toz ya da gazlar mevcutsa kullanımı sakıncalıdır. Bunlar için genellikle ıslak yıkayıcılar kullanılır. Kömür, linyit, petrol, orimülsiyon, biyokütle ateş gücü ve sanayi kazanları ve diğer yakıtlar. Demir çelik ve demir dışı metalürji endüstrisinde çeşitli prosesler, Çimento sanayi, yakma tesisleri, cam eritme ve kağıt hamuru ve kağıt fabrikaları, vb yerlerde kullanılır.

3.4. ELEKTROSTATİK FİLTRE VERİMİNE ETKİ EDEN ETKENLER

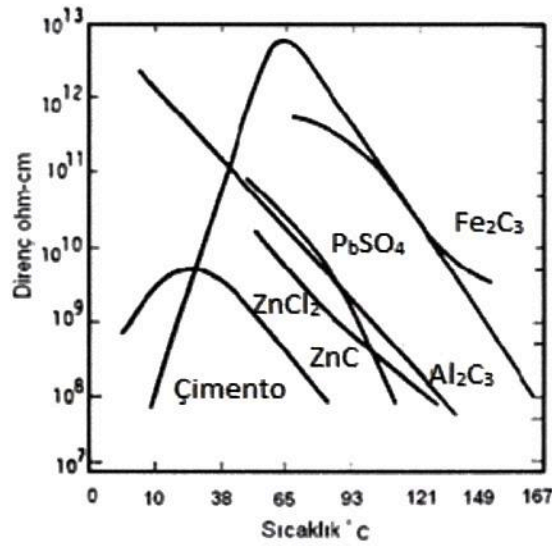
Parçacık boyut dağılımı, parçacık direnci, sıcaklık, gaz akış hızı ve parçacık yoğunluğu elektro statik filtre verimini etkileyen faktörlerin başında gelirler. İnce parçacık toplama verimi parçacığın ücretleri artırılması ve elektrik alanının özelliği optimize yoluyla arttırılabilir. Korona güç korona akımı arttırarak arttırılabilir. Elektrostatik çökticinin performansı (ESP) akım yoğunluğu ve tabak toplama yakınında elektrik gücü ile sınırlıdır [11].

Elektrostatik filtrede, büyük parçacıklar küçük parçacıklara göre daha kolay tutulur. İşletme koşullarında parçacık boyutunun bir fonksiyonu olan filtre verimi belirlenerek tasarım yapılmalıdır. İşletme sıcaklığının 155° C olduğu durumda, parçacık boyutu ve filtre verimi şekildeki gibidir [4].

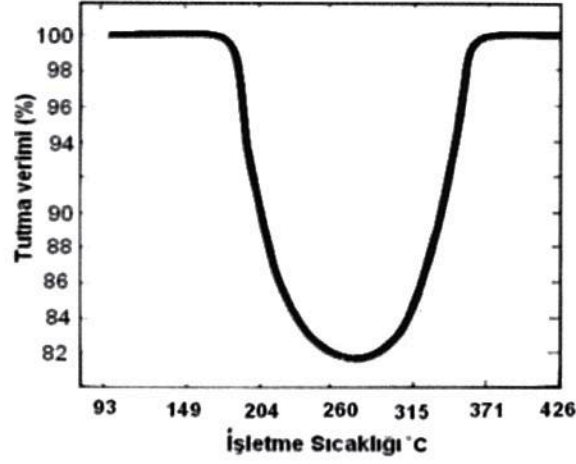


Şekil 3.10. Parçacık çapı ile tutma verimi eğrisi [4].

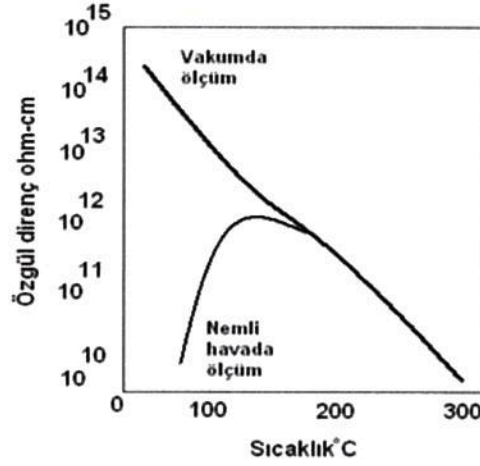
Elektrostatik filtrede, yüksek dirençli parçacıklar yük transferi için uygun değildirler. Parçacık direnci, gazın ve parçacığın kimyasal özelliklerine, gaz akışındaki neme ve sıcaklığa bağlıdır. Direnç değeri 10^8 den 10^{10} ohm-cm aralığında olması uygundur. Aşağıdaki şekilde sanayide kullanılan farklı tozlar için sıcaklıkla direncin değişimi görülmektedir [4]. Şekil 3.10'da parçacık çapı ile tutma verimi eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.11. Farklı sanayi tozları için sıcaklık-direnç eğrisi [4].



Şekil 3.12. Çimento fabrikasındaki elektrostatik filtre için sıcaklık-verim eğrisi [4].



Şekil 3.13. Elektrostatik filtrede nemin sıcaklık-direnç ile ilişkisi [4].

Büyük toplama yüzey alanı, düşük gaz akış oranı filtre verimini artırır. Toz partiküllerin hızlı bir şekilde tutulma elektrotları bölümüne gitmeleri verimi artırır. Bu durum gaz viskozitesinin düşük olmasına, gaz sıcaklığının artmasına, güç kaynağı (voltaj düşüklüğü olmamalı) bağlıdır. Şekil 3.13'da elektrostatik filtrede nemin sıcaklık-direnç ile ilişkisi verilmektedir.

3.5. DARBELİ ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCU

3.5.1. Darbeli Elektrostatik Toz Tutucu Tekniğinin Tarihçesi

Darbeli ESP' nin gelişimi yarım asırdan daha fazladır. Bu gelişimden 20 yıl sonra darbeli enerjini esp' de kullanımıyla ilgili başarılı bir rapor hazırlanmıştır. Eskiden enerji üretimi, düşük kükürtlü kömürlerin yakılmasıyla elde edilmekteydi ve buda çeşitli parçacıkların salınmasına neden olmaktaydı. Enerjiden, yüksek verim sağlamak ve daha az maliyetli olmasını sağlamak amacıyla elektrostatik toz tutucu' ya yönelim olmuştur. ESP' den daha fazla verim elde etmek amacıyla bir takım metotlar ortaya çıkmıştır. Bunlar; [4]

- Hareketli kayışlı elektrotlar veya döner fırçalar kullanılarak toplama yüzeyini tozsuz tutma,
- Sodyum karbonat, sülfür trioksit ve amonyak gibi katkı maddeleri kullanılarak gaz şartlandırma,
- Santral prosesini ve ham maddeleri değiştirme; örneğin, su soğutma kulelerini gaz hacmini azaltmada kullanarak, aynı zamanda düşük elektriksel dirençliliğe sebep olacak olan nemliliği arttırmak veya toz dirençliliğinde azalmaya yol açan gaz sıcaklığını artırmak için sıcak taraflı elektrostatik toz tutucu kullanımı,
- Hızla akıtılan su veya ıslak film toplama elektrotları kullanımı,
- Özel yükleme ve toplama bölümleri olan iki aşamalı tutucuların kullanımı,
- AC ve darbeli çöktürme kullanan elektrikli yöntemler yer alır [4].

3.5.2. Geri Korona Kavramı ve Darbeli Güç Besleme

İnce toz katmanları ve yüksek dirençli tozlar arka korona lehine kraterler oluştururlar. Geri koronalarda 0.1mm'lik ince toz katmanları gözlemlenir, fakat bir toz tabakası üzerinde bir parçacığın kıvılcım gerilimini %50 oranında azaltabilir. Geri korona en belirgin etkileri şunlardır;

- Gerilim üzerinden %50 veya daha fazla kıvılcım azaltır,

- Geri koronanın stabil olmasıyla akım sıçramaları veya kopukluklar meydana gelebilir ve,
- Korona boşluğunun üzerindeki kıvılcımın altındaki akım normal olduğunda, maksimum korona akımında büyük artış olur.

Bu etkiler ESP'nin toplama verimini olumsuz yönde etkiler. Toplama veriminin geri kazandırılması amacıyla uygulanan gerilimin artması, ESP'de delik oluşmasına veya geri koronaların fazlalaşmasına neden olur. ESP'den daha randıvanlı verim alınabilmesi için, korona elektrotu ile birlikte oluşturulan yüksek elektrik alanı sayesinde aşırı yüklü parçacıklar meydana getirilir ve elektrotlar arasında bulunan boşlukta düzenli bir elektrik alanı oluşturulması suretiyle parçacığın taşınması ve toplaması sağlanır. ESP'de korona akımının kontrolü için meydana gelen etmenlerden en önemlisi darbe tekrarlama frekansıdır.

Tel plakalı ESP akım yoğunluğunun tek-biçimli olmaması nedeniyle, yeni bir kablo plaka çökelticinin korona akım yoğunluğu çalışması gereklidir. Negatif DC güç ile deneyler de genellikle 330 mm, ve tek bir deşarj elektrotu ile 22 mm arasında, çeşitli deşarj elektrotu mesafeleri ile gerçekleştirilmiştir [9].

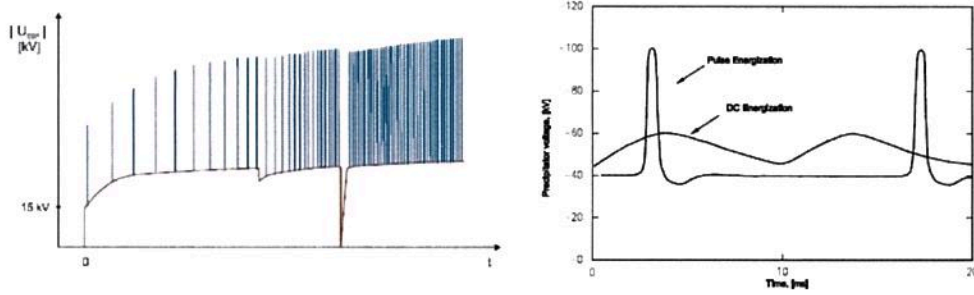
Darbeli güç beslemesine gelecek olursak, kullanımındaki amaç, geri korona iyonlaşması sonucu meydana gelen sorunların giderilmesidir. Bahsedilen sorun, yüksek direnç parçacıklarının muhafaza edilmesi amacıyla ESP devreye girer. Bunun sonucunda, kolektör elektrotunda bulunan toz tabakasının elektriksel delinme mukavemetinden fazla değerlere sahip olunur. Bu delinme, - yüklü parçacığa doğru geri bir şekilde ilerleyerek + iyon üretir ve yükleri dengeler. Yapılan deneyler sonucunda, geri korona tarafından + iyonlar yüklenmiştir. Yüklenen bu + iyonların, - iyonların %60'ına kadar gelmiştir.

3.5.3. Darbe Modu

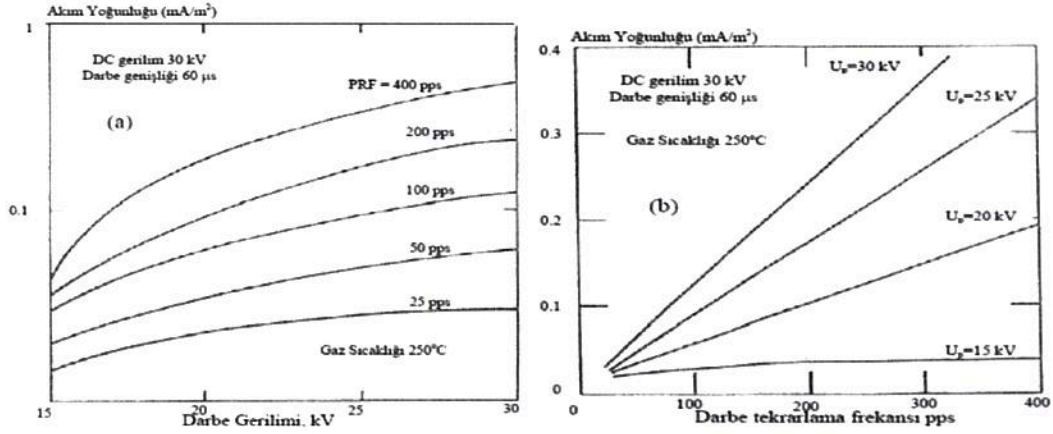
Darbe dizisi 3 kısımdan meydana gelir; Bunlar, darbe genliği, darbe genişliği ve darbe frekansı'dır. Cihazdan alınan verimin üst seviyelere çıkabilmesi için uygulanan gerilim genliği yüksek olmak zorundadır. ESP'ye kısa süreli darbe gerilimi

uygulanabilir. $100\mu\text{s}$ 'lik bir darbe genişliğinin en yaygın olduğu Şekil 5.1' de verilmiştir. ESP üzerinde yapılan testler sonucunda toplama verimi, darbe genliği ile darbe frekansından etkilenmektedir. Ayrıca toz direncinin yükselmesi darbeli çalışma veriminin artmasına yol açar. ESP'nin akım-gerilim karakteristiği ve akım frekans özellikleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

3.5.4. Voltaj – Akım Özellikleri



Şekil 3.14. Darbe uygulanmış elektrostatik toz tutucudaki gerilim dalga şekilleri a) Gerilim – Zaman, b) Spark [21].



Şekil 3.15. Darbe uygulanmış elektrostatik toz tutucudaki gerilim akım eğrileri, a) Darbeli elektrostatik toz tutucunun Gerilim-Akım karakteristiği, b) Darbeli elektrostatik toz tutucunun Akım-Frekans [4].

BÖLÜM 4.

ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCUDA KORONA DEŞARJI

4.1. KORONA DEŞARJI GENEL TANIMLAR

İletkenin üzerinden akım geçmesi sonucu oluşan elektrik alan kendisini çevreleyen gazın dayanma gerilimini aşarsa kısa süreli deşarjlar meydana getirir. İşte bu deşarjlar koronayı oluşturur. Korona olayının gerçekleşmesinin temelinde ise elektrik alan bulunur. Korona ESP’de ki parçacıkları yüklemek ve tutmak için yapılan uygulamadır. Korona, parçacık yükleme işlemini, elektron ışını ve radyoaktiviteye göre daha ekonomik bir şekilde yapmaktadır. ESP’nin yüksek verimde çalışması, yüksek alan direnci gerektirerek bu uygulanan gerilim sabit korona boşalması ile uyumlu olmak zorundadır. ESP’de negatif korona boşalması, pozitif korona boşalmasından daha yüksek akım sağlar. Bu nedenle ESP’de negatif korona boşalması kullanılır. Negatif korona deşarjı, sivri bölgeden elektronların çevreye yayılması sonucunda öncelikle pozitif elektriksel yükler oluşur. Bu elektronlar O₂ molekülüne yapışması negatif yüklerin oluşmasını hızlandırır. Pozitif korona deşarjı ise, yüksek elektrik alanda negatif yüklü bir katodun bulunmamaktadır. Bu nedenle zar oluşumu daha yüksek gerilim seviyelerinde gerçekleşir. Anot kısmında oluşan pozitif elektriksel yükler, anot etrafındaki yüksek elektrik alanının etkisini azaltır. Yükler dağıldıktan sonra elektriksel alan güçlenir ve elektriksel boşalmalar başlar. AC korona’da sırasıyla negatif ve pozitif korona gerçekleşir. Negatif korona daha düşük gerilim de boşalmalar meydana gelir. Pozitif korona ise daha büyük enliğe sahiptir. Korona ile alakalı bazı yaklaşımlar söz konusudur. Bunlar Townsend ve Kaptzow yaklaşımı (Korona elektrodundaki elektrik alanının sabit kaldığını ve başlangıç değerlerinin her yerde eşit olduğunu kabul ederler.), Deutsch yaklaşımı (Yük yoğunluğunun alan çizgileri boyunca sabit olduğunu ve aktif elektrottaki elektrik alanı laplas değerinde kalacağını kabul eder.), Popkov ve Sarma yaklaşımı (

elektrotlar arası bölge tek kutuplu uzay yükü ile dolu olduğunu ve iyonların ısısal yayımlarının ihmal edildiğini kabul ederler).

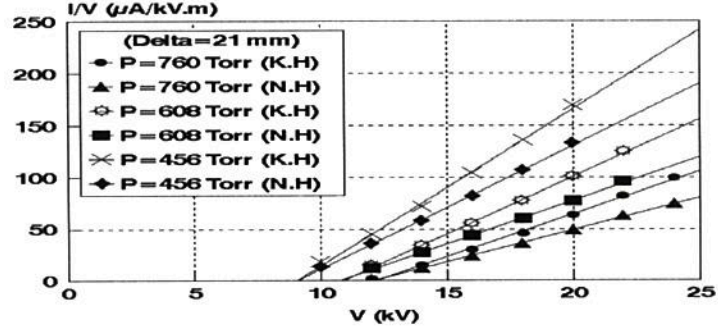
Ayrıca, birçok endüstriyel uygulamalar kötü ESP performansının her zaman geri korona veya yetersiz şarj girişi ESP sahasında, veya her ikisi, ile ilişkili olduğunu göstermiştir [13].

4.2. DOĞRU AKIM KORONALARI

Elektrostatik toz tutucudaki sistematik korona çalışmaları, pek çok alanlarda yapılan büyük katkılarla yaklaşık yüzyıl yıl önce elektrostatik toz tutucunun başarılı tanıtımının hemen ardından başlamıştır. İlk gelişmeleri belge haline getirmek için üçten fazla kitap yazılmıştır [White, 1963 ; Oglesby and Nichols, 1978]. O zamandan günümüze, dijital hesaplama teknikleri ve modern aletlerin gelişmesiyle konu, Mclean, 1988' nin özetlediği gibi çoğu araştırmacı tarafından genişletilmiştir [Mclean, 1988]. Konu üzerindeki son araştırma çalışması, tasarım ve kontrol amacına yönelik olarak elektrostatik toz tutuculardaki korona boşalmasını açıklayan gerçekçi mühendislik modellerini geliştirebilmesine yaptığı katkı ile tanımlanır [Peter Castle ve ark., 1988; Golkowski ve ark., 1995; Canadas ve ark., 1995; Lami ve ark., 1995; Cristina and Feleziani, 1995] [14].

4.2.1.Voltaj-Akım Özellikleri

Paraksiyel sistemde, I-V karakteristiğinde, akımın uygulanan gerilimle değişimi, Δ değeri için gözlenmiştir. Bu değişim, aksiyel sapma $\Delta=21\text{mm}$ olan paraksiyel sistemde 3 değişik basınç değerlerinde, ve kuru ve normal nemli hava ortamında, Şekil 4.1 de gösterilmiştir;



Şekil 4.1. I/V-V karakteristiği.

ESP performansı akım-gerilim özelliği ile açıklanır. ESP’de elektrotlar arasındaki elektrik alanı parçacıklarda bulunan yük nedeniyle filtre verimini belirler. Tel-levha uygulamalarının konfigürasyonlarının modellenmesi uzay yükü ve elektrik alan dağılımları öngörülerini basitleştirmiştir. V-I karakteristiğinin modellenmesini uzay yükünün büyüklüğü etkilediği ancak elektrik alanının yönü etkilememektedir.

4.2.2. Uzay Yükü Etkileri

Uzay yükü etkisi, uzay hacmindeki dengesiz bir yüküdür. Uzay yükü şu formülle hesaplanır;

$$Jc = \rho_{\mu} \cdot E \quad (4.1)$$

Uzay yükü, elektrik alanının belirli bir değeri aştıktan sonra kısmi deşarjlar başlar. Bu kısmi deşarj’dan itibaren laplas elektrik alanına ilaveten bir elektrik alanı oluşturmakla birlikte yönünü de değiştirir. ESP’de elektrotlar arasında bulunan boşluk birçok negatif iyon ve serbest elektronlar içerir. Negatif iyonların serbest elektronları aşması sebebiyle parçacık yükleme üzerindeki serbest elektronlar önemsenmez. ESP performansının bilinebilmesi için parçacığın gerektirdiği yük bilinmelidir.

Elektrostatik toz tutucudaki korona ile ilişkili uzay yükünün birçok etkisi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [White, 1963; Mizuno, 1981; Mclean, 1988] [14].

- Etkili korona başlangıç geriliminin artacağı şekilde korona teli yanındaki elektrik alanının indirgenmesi. Ayrıca korona akımında uzay yükü ile düşürülebilir ve bazı durumlarda akım neredeyse sıfıra indirilebilir. Bu değerlerdeki azalmalar düşük partikül yüklemesine yol açar.
- Toplama levhasının yüzeyindeki daha yüksek elektrik alanından dolayı ark eşik geriliminin indirgenmesi.
- Elektrostatik toz tutucudaki gaz boşluğu boyunca gerilim düşüşünün artırılması.

Korona sisteminde partikül yükleme konusunda gelişme kaydetmek için dikkate değer araştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kuramları denemek ve elektrostatik toz tutucuda elektrotlar arası boşluğu geçerken partiküllerin kazandığı yükü belirlemek için çeşitli deneysel teknikler geliştirilmiştir. Elektrostatik toz tutucudaki elektrik alanı dağılımının belirlenmesi kadar partikül yükünü belirleyebilmek de önemlidir, çünkü partiküllerin göç hızı ve sonrasında tutma verimi doğrudan bu parametrelere bağlıdır.

Parçacık yükleri aşağıdaki gibi gösterilir ;

$$q_{\delta}(t) = 12\pi\epsilon_0 a^2 E_c \left(\frac{\epsilon_r}{\epsilon_r + 2} \right) \left(\frac{t}{t + \frac{4\epsilon_0}{N_0 e \mu}} \right) \quad (4.2)$$

Difüzyon yüklemesindeki partikül yükü şöyledir;

$$q_{\delta}(t) = \frac{akT}{e} \ln \left(1 + \frac{\pi ac N_0 e^2 t}{kT} \right) \quad (4.3)$$

Burada;

K= Boltzmann sabiti,

T= mutlak sıcaklık,

c= iyonların RMS hızı

olarak ifade edilir.

Parçacık yükleme prosesini etkileyen faktörleri rakamlarla belirtilebilir. ESP'deki geri korona boşalması, cihazın yüksek dirençli parçacıkları toplaması gerektiğinde gerçekleşir. Bu olayın neden olduğu etkiler ise;

- ESP'nin ark eşik gerilimindeki azalma,
- Parçacığın kazandığı net yükte gözlenen düşme,
- Elektrik güç tüketiminde artış,
- ESP veriminde düşmeye neden olur.

Gözlenen bu etkileri bir nebze olsun azaltmak için, gaz işleme tekniği kullanılır. ESP'deki geri korona boşalmasının tespiti için iki kutuplu akım probu kullanılır.

4.2.3. Çevresel Etkiler

ESP uygulamaları 37,7°C ile 426°C arasındaki sıcaklıkta çalışmasıyla ilgilendirler. ESP çalışmasını etkileyen faktörlerden biri gaz nemidir. 1990 yılında Brambilla, silindirik bir şekildeki ESP'de yük yoğunluğu ve elektrik alan dağılımı üzerinde nemin neden olduğu etkilerin tahmini için matematiksel bir model öne sürmüştür. Bunun sonucunda, ölçülen veri ile bulunan sonuçların birbirleriyle uyduğu gözlemlenmiştir.

4.3.DARBELİ KORONA BOŞALMASI

Korona boşalması iyon üretimi yaparken darbe gerilimi de parçacıkların yüklenmesi ve toplanması amacıyla gerekli elektrik alanını sağlaması görevini üstlenir.Lausen 1979 yılında temiz atmosfer havasında elektrot sisteminin korona boşalmasını izlemiştir. Lausen bu işlemi, besleme geriliminin negatif doğru ve negatif darbeli olduğu durumda gerçekleştirmiştir. Bunun sonucunda aynı ortalama akımda boşalmaların bahsedilen 2 uygulama gerilimi için aynı olduğunu bulmuştur. Milde'nin darbeli güç vermenin yararlarıyla alakalı birtakım görüşler belirtmiştir. Bu görüşler; akım ve gerilimin bağımsız kontrolü, boyutu büyük korona tellerinin kullanımıyla düşük erezyon yüksek yükleme ve toplama. Son olarakta, uzay yükünden dolayı yüksek toplama alanı ve düşük yükleme süresidir.

4.4. KORONA DEŞARJI PARAMETRELERİNİN ÖLÇÜMÜ

Ölçüm'ün amacı, korona deşarj modellemesinin teoriksel bir biçimde onaylanması ve elektrot geometrisi için korona özelliklerinin belirlenmesidir. ESP'nin performansını akım, gerilim, elektrik alanı ve parçacık yükünün etkilediği bilinmektedir. Cihazın sorunsuz çalışması için bu kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. ESP'nin elektrik alanının ölçümünde değişik şekillerde olan statik uçlar kullanılmıştır. Bua rağmen bir başarıdan söz etmek mümkün değildir. Çünkü bu konuda başarı Cooperman tarafından dinamik uçlar kullanılarak sağlanmıştır. Cooperman bu yöntemi, plaka elektrot geometrisindeki elektrik alanını bulmak içinde kullanmıştır. Lausen ve Petersen, 1981; doğrudan ve darbeli gerilim besleme uygulamaları altında sırasıyla 3 mm ve 250 mm' lik iç ve dış çaplarda eşmerkezli silindir sisteminde dış elektrotun yüzeyinde elektrik alanını ölçmek için alan filtreleme tekniğini kullanmıştır. Yazarlar, 100 μ s' li darbe genişliği olan 50 kV' luk bir darbe gerilimi ve 32,6 kV' luk öngerilimli bir dc gerilim beslemesi uygulandığında ortamdaki elektrik alanının zamana göre değişimini bildirmiştir[14]. Anderson 1981 yılında parçacık yük ölçümü yapan bir sistem geliştirmiştir. Mikroskobik parçacıkların hem boyut ve yükünü belirlemek amacıyla ulaşılan sonuçlar, teorik tahminlerle uyumaktadır. Uzay yükü alanının ölçümünün bir faydasını ESP performansının izlenmesi olarak açıklanabilir. Bu ölçümün yapılabilmesi için bir elektrik alan cihazı yapılmıştır.

BÖLÜM 5.

KONTROL TEKNİKLERİ

Çöktürme odaları partiküllerin kendi ağırlıkları ile çökmelerinin sağlandığı sistemlerdir. Genellikle çapı büyük (çapı 75 µm veya daha büyük) partiküller için uygun olur. Terminal çökme hızlarının çok düşük olması nedeniyle büyük alan ve hacim gerektirirler. Bu bakımdan kullanım alanları sınırlıdır.

Mekanik toplayıcılarda bu sistem partiküllerin ataleti kullanılır. Partikül taşıyan gaz akımı, bir siklon içinde dönmeye zorlanır. Bu durumda partiküllerin kütlesi, onları girdabın dışına iter. Büyük çaptaki partiküller siklon borusunun altındaki haznede toplanırlar.

Siklonlar;

- Büyük çaplı siklonlar
- Küçük çaplı multi siklonlar olmak üzere ikiye ayrılır.

Büyük çaplı siklonlar genellikle 0,3-2 m aralığında bir çapa sahipken, küçük çaplı multi-siklonların çapı 10-40 cm arasındadır. Küçük çaplı multi-siklonlarda, tek siklon, çapının küçük olması nedeniyle az hacimdeki gaz için uygun olduğundan çok sayıda küçük siklon içerirler. Düşük çap gaz için daha yüksek bir dönme hızı sağlar. Dahası, burada partiküller siklon duvarına erişmek için daha az yol kat ederler. Bu siklonlar çapı 5 µm'ye kadar küçük partikülleri toplarken çapı 100 µm ve daha büyük partiküller için uygun değildir. Bazı özel siklonlar 1 µm çaptaki partikülleri dahi etkin bir şekilde toplayabilmektedir. Islak yıkayıcıların çok sayıda çeşidi vardır. En çok kullanılanlar; venturiler, plakalı yıkayıcılar ve sprey kuleleridir. Venturi yıkayıcılarda partiküller boğaza yaklaştıkça hızlanırlar ve burada daha yavaş hareket eden büyük çaplı damlacıklarla (genellikle 45° açıyla) çarpışırlar. Burada boğazın çapı ayarlanabilir. Plakalı yıkayıcılarda bunlar 1-3 arası yatay delikli plaka içerirler.

Deliklerden geçerken hızlanan gaz su damlacıklarını atomize eder ve partiküller bu damlacıklar ile çarpışır [5].

Sprey kuleleri ise ıslak yıkayıcıların en basit şeklidir. Açık, siklonlu ya da sürgülü biçimleri vardır.

Büyük sanayi çökeltici çalıştırmak için minimum enerji tüketimi ve düşük emisyon iki yeni aşamalı kontrol sistemi geliştirilmiştir. İlk aşama, her alan için ayrılmış bir kontrol cihazıdır. Her alan için tamamen işlevsel bir bağımsız denetim sistemini içeriyor. İkinci aşama presipitatör bitki optimize çalışmasını hedefleyen bir bilgisayar tabanlı bindirilmiş kontrol sistemidir [12].

5.1. YIKAYICININ ÇALIŞMA İLKELERİ

Tüm ıslak yıkayıcılar, partikülleri sıvı faza transfer etmek için partikül ve damlacık ataletini kullanır. Bir yıkayıcının verimliliği genelde şu parametrelere bağılıdır:

- Partikülün boyutu (ya da aerodinamik apı)
- Partikülün hızı
- Damlacığın hızı.

Giderim verimi gaz hızı arttıkça artar. Çarpışmanın verimliliği, partikül çapı büyüdükçe artar.

5.2. YIKAYICILARIN AVANTAJ ve DEZAVANTAJLARI

Yıkayıcıların pek çoğu yüksek verimde partikül madde kontrolü sağlar. Bir diğer avantaj da partiküllerin yanı sıra, birçok gaz kirleticisinin de yıkanma yoluyla giderilmesidir.

- Özellikle yanıcı ve patlayıcı kirleticiler üzerinde etkilidirler.
- Az bir yüzey alanı gerektirirler ve çoğu tesise kolaylıkla entegre edilebilirler.
- Farklı amaçlar için tasarım ya da modifiye edilmeleri kolaydır.
- Sürekli temiz su gerektiririler.

- Buharlaşma kayıpları olabilir.
- Gazdaki su içeriğini doygunluğa kadar artırırlar.
- Oluşan sulu çamurun sistemden uzaklaştırılması gerekir.
- Bu kirli suyun dikkatli ve uygun bir şekilde arıtılması gerekir [5].

5.3.COROMAX

Sinter iplik tozu, çok küçük parçacık boyutu, yüksek direnç, düşük nem ve yüksek içerikli hidrokarbonlardır.ESP’de tüm bu parametrelere sahip olabilmek için zor olan bir toz madde elde edilir. Bu parametreler, ağır back-corona’ya yol açar . Bunun sonucunda geleneksel DC güç kaynağı ile birlikte düşük verimliliğe yol açar. Mevcut DC güç kaynağı yerine COROMAX darbe de içermektedir.

5.4. FLSMİDTH AIRTECH COROMAX

Çalışma prensibi, Geleneksel bir tek-fazlı DC güç kaynağı tarafından oluşturulan dalga, darbe gerilimi gösteren dalga formu ile karşılaştırılması aşağıda gösterilmiştir. FLS Airtech COROMAX Sistem darbe ile 80 kadar yüksek gerilim darbesi (75 nominal süresi kV) Mikro ikinci (60 kV kadar) baz gerilimine ulaşabiliriz. Kısa darbe döneminde puls frekansının değiştirilmesi Corona akımını yayar. Darbe süresi on yıldır ancak şarj süresi daha küçüktür. Darbe süresini flash-over olmadan elde etmek yüksek gerilimde mümkündür.

Bir çökelticinin verim tepe gerilimi “ V_{tepe} “ bağlıdır, ortalama Voltaj “ $V_{ortalama}$ “ partikül büyüklüğu” D ” aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$Etki = f(V_{tepe} * V_{ort} * D) \quad (5.1)$$

Bu küçük parçacıklar ile verim düşük olacaktır. Elektrostatik filtrelerde COROMAX darbe sistemi birbirinden bağımsız olarak ortalama voltaj kontrollü yapabilir. Bunun sonucunda tepe voltajı önemli ölçüde artar.

5.5. FİLTRE YÜKSELTME ÇÖZÜMLERİ

Bir verimliliğini arttırmak için şu yollar izlenir;

- Elektrostatik filtrelerin boyutu artırılır
- Güç kaynağını geliştirilir.

Birinci çözüm alan kısıtlamalarından dolayı mümkün değildir. Ayrıca üretim hattı uzun bir durağı gerektirir.

İkinci çözelti, en teknik ve ekonomik olanıdır. Kısa bir durak gerektirir ve maliyetten tasarruf sağlanır.

5.6. FLSMİTH AIRTECH COROMAX EKİPMANLARI

5.6.1. Yüksek Gerilim Tankı

- Yüksek gerilim güç kaynağı
- Bir alçak gerilim bağlantı kutusu (LVJB),
- Bir üç fazlı bir transformatör / redresör
- Baz gerilimi ve üç fazlı
- Darbe gücü trafo / redresör kaynağı içerir. Ölçüm amaçları şant ve gerilim bölücüler içindir.

5.6.2. Kontrol Kabini

- PC
- Kontrol ünitesi, sigortalar, ana kontaktör,
- Yüksek taban için tristör kontrolörü
- Gerilim beslemesi, tristör kontrolörü, darbe güç kaynağı, tristör içerir.

COROMAX kontrol ünitesi, DC kontrolü ve darbe sistemi monitörü ile iletişim kurar.

5.7. GÜÇ TÜKETİMİ

COROMAX darbe sisteminin bir avantajı, düşük güç tüketimine sahip olmasıdır. Normal bir DC güç kaynağı elektrik akımı olarak yüksek voltajı bağımsız olarak kontrol edilemez. Voltaj düzeyi yüksek bir akım da yüksek olacaktır. Mevcut yüksek direnç toz back-corona'yı oluşturur ve toz emisyonu artacaktır.

5.8. AVANTAJ

FLSmidth Airtech COROMAX puls sistemi ile küçük parçacık boyutu ve sinter şerit toz yüksek direnci olan sorunların üstesinden gelmek mümkündür. Bu nokta gerilimi, bağımsız olarak darbe voltaj seviyesine ve mevcut akış tasarıma sahiptir. Bu nedenle, direnç seviyesine çok hassas ayar yapılabilir. Var olan elektrostatik çökelticiye en ekonomik yükseltme çözümü COROMAX darbe sisteminin kurulmasıdır.

BÖLÜM 6.

ELEKTROSTATİK FİLTRELERİN (AYIRICILAR) SAYISAL AKIŞKAN DİNAMIĞI MODELLEMESİ

Bir elektrostatik ayırıcıdaki (ESP) gazların hız karakteristikleri, genel ESP performansında önemli bir rol oynar. Eğer gazların hızı çok fazla olursa, parçacıklar üzerindeki aerodinamik güçler, toplama yüzeyleri ve elektrotlar tarafından üretilen elektrostatik güçlere baskın gelebilir. Bu durum toplama verimliliğini düşürebilir. Benzer şekilde, eğer yerel hızlar çok düşük olursa, toplama yüzeyleri yeterli verimde kullanılmaz ve ESP'lerin giriş ve çıkışlarında parçacık birikimi potansiyeli artar. Bu sebepler yüzünden, ESP'lerdeki akış kontrol cihazlarının iyi bir şekilde tasarlanması kritik önem taşır. Tipik olarak, bir ESP tasarımı; yönlendirme kanatlarının, bölme duvarlarının, perfore tabakaların geometrilerini optimize etmek için bir akış modeli uygulanarak yapılır. Günümüzde ESP'lerin modellenmesi başarı ile sayısal akışkan dinamiği (CFD) yoluyla yapılmaktadır [6].

6.1. MODELLEME METOTLARI

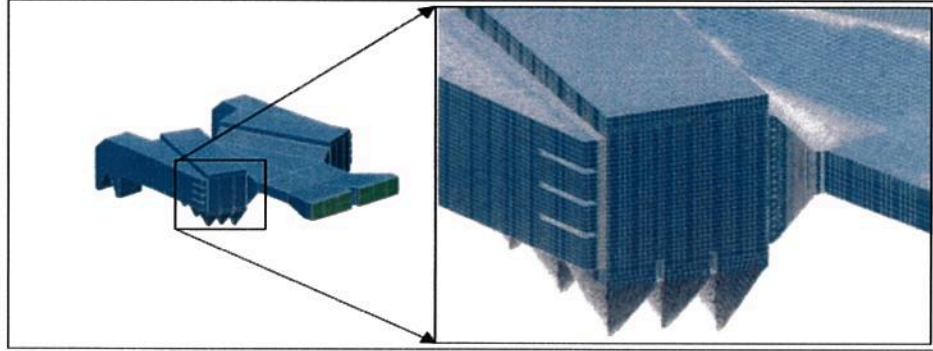
Bir ESP'nin akış dinamiği modeli, toplama bölgesinin ve ilgili kanalların üç boyutlu akış karakteristiklerini inceleme hedefli ana bir mühendislik aracıdır. Bunun için bir model kullanmanın avantajları, düşük maliyet ve kontrollü ortam sayesinde farklı tasarım elemanlarının değerlendirilebilmesidir. Tasarım aşamasında bir model oluşturularak farklı tasarımlar denenir, modelin analizleri yapılır ve optimum bir tasarım oluşturularak gerçek ESP'ye uygulanır.

Her modelleme sürecinde, modelleme sonuçları ve gerçek ölçüm sonuçları arasında farklılıklar oluşmasına yol açan belli kabuller ve basitleştirmeler bulunmaktadır. Deneyimli modelleme uygulamacıları modelleme sürecinin kısıtlamalarını da göz önüne alarak, bu eksiklikleri en aza indirmeye çalışırlar. ESP'ler için akış

karakteristikleri inceleme amaçlı iki ana modelleme metodu vardır: CFD modellemesi ve fiziksel olarak ölçeklendirilmiş modeller. Her iki yöntem de aşağıda anlatılmıştır [6].

6.1.1. Sayısal Akışkan Dinamiği Modellemesi

Bir ESP'nin CFD modeli için 400.000 ila 1.000.000 kontrol hücresi oluşturulması alışılmamış bir durum değildir. Her hücredeki hız, basınç, sıcaklık ve kimyasal parçacık konsantrasyonu bilindiği için, bu sayede ESP içerisindeki akışın yüksek detaylı bir analizi yapılabilir. Bu veriler gerçek bir ESP'yi test ederek veya ölçekli modeller kullanılarak ulaşılamayacak kadar detaylı verilerdir. Doğru bir akış karakterizasyonu elde etmek için ölçeklendirme veya yoğunluk düzeltme faktörlerinin kullanılmasını gerektirmez. Tüm önemli geometrik özellikler (kanal duvarları, perfore plakalar, bölme duvarları vs.) modele tam ölçekli olarak dahil edilebilmektedir. Bu sayede rijit elektrotlar veya toplama plakaları gibi çok karmaşık geometrik özellikler bile düzgün bir şekilde temsil edilebilmektedir.



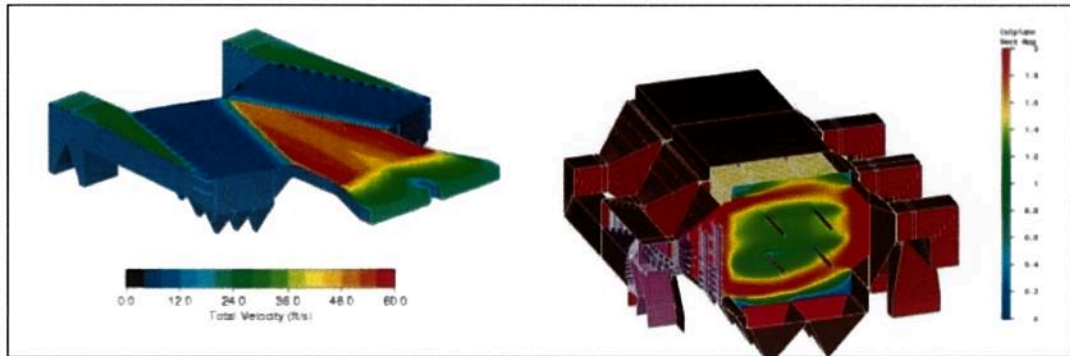
Şekil 6.1. Bir ESP'nin tipik bir CFD modelinde sayısal kafes görünümü [6].

Bir CFD modeli tipik olarak hava ısıtıcısında veya ön ısıtıcı çıkışında (ESP tipine bağlı olarak) başlar. Bazen alternatif olarak tesiste ölçülen gerçek ölçümlerin başladığı yerden de başlayabilir. Toplam akış oranını ve hız/sıcaklık profillerini tanımlamak amacıyla akış girişi koşulları, girişlerin modeline göre başlangıçta belirlenir. Şekil 6.1'de bir ESP'nin tipik bir CFD modelinde sayısal kafesi gösterilmiştir.

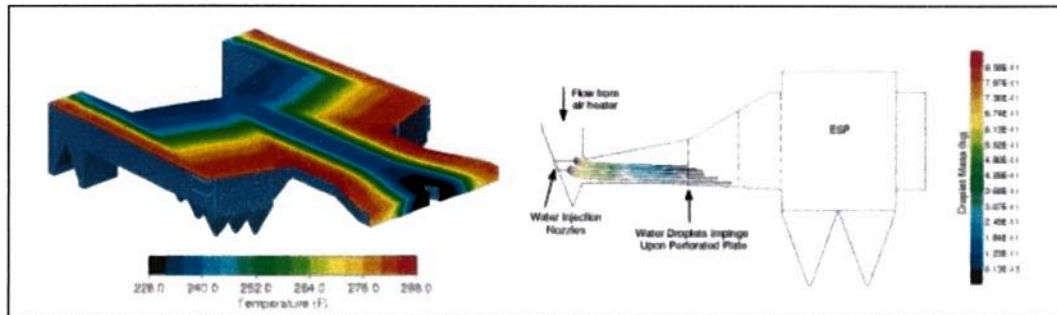
Bilgisayarın tekrarlama ve hesaplama süreci tamamlandığında, korunum eşitliklerinin çözümleri birkaç şekilde gösterilebilir. Genel olarak, 3 boyutlu modelin 2 boyutlu dilimlerinin gösterildiği renkli kontür grafiği kullanılır. Akış yönlerinin gösterilmesi amacıyla, hız vektörleri de çizilebilir. Ek olarak, parçacık takibi, kimyasal reaksiyon, ışınımsal ısı aktarımı ve yanma gibi olaylar da istendiği takdirde modellenebilir. Gelecekte, elektrostatik parçacıkların yakalanması da simüle edilebilir [6].

6.1.2. Fiziksel Olarak Ölçekli Modelleme

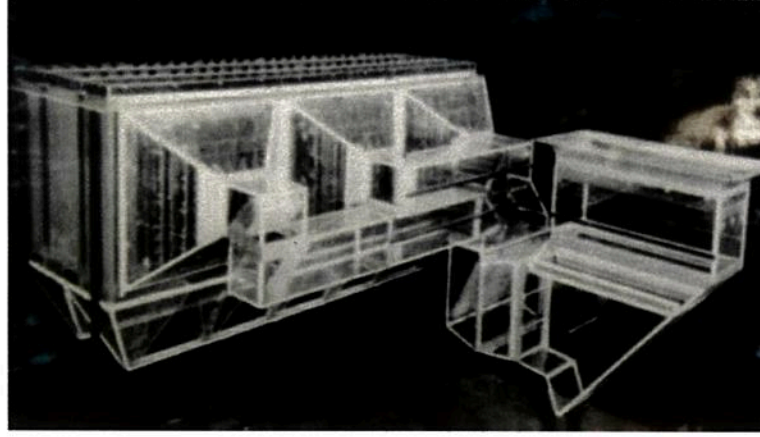
Fiziksel modelleme teknikleri, yüzyılı aşkın bir süredir akışkanların akış karakteristiklerini anlamak için kullanılmaktadır. Fiziksel modeller, temel olarak gerçek cihazların, genellikle küçük ölçekli olarak laboratuvarında yapılmış kopyalarıdır. Bir ESP tipik olarak 1/8 veya 1/16 ölçekli olarak modellenir.



Şekil 6.2. Örnek CFD sonuçları – Hız Profilleri – Plan görünümü ve yan ürünüm [6].



Şekil 6.3. Örnek CFD model sonuçları – Sıcaklık Profilleri ve Su damlacıkları akış çizgileri [6].



Şekil 6.4. Bir ESP'nin tipik bir fiziksel ölçekli akrilik modeli [6].

Şekil 6.4'de bir ESP'nin tipik bir fiziksel ölçekli akrilik modeli verilmiştir. Fiziksel ölçekli modellemenin temel prensibi akışkan dinamiklerinin benzerliğidir. Tam bir mekanik benzerlik, geometrik ve dinamik benzerliği de gerektirmektedir. Geometrik benzerlik, modelin uzunluk, alan ve hacim olarak tam büyüklükteki nesne ile orantılı olmasıdır. Dinamik benzerlik ise, her türlü kuvvet tipinin orantılı olmasıdır. Tipik olarak, tüm kanal yapısı ve ESP elemanları 1/16 ölçeğine uygun olarak yapılmalıdır. Boyu 4 inçten büyük olan yapısal elemanlar genel olarak modele dahil edilir, daha küçük elemanlar ve elektrotlar ihmal edilirler. Toplama plakaları genel olarak düz yüzeyler olarak modellenir ve yapısal çıkıntılar ve akışı kolaylaştıran diğer özellikler ihmal edilir. Genelde, eksiksiz bir şekilde modellenmeyen bir özellik, toplama plakalarının sayısıdır [6].

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} \quad (5.2)$$

ρ = Akışkan Yoğunluğu

v = Akışkan Hızı

D_h = Kanalın hidrolik çapı

μ = Akışkan viskozitesi

Ölçekli modellerde akış oranı, gerçek bir ESP de ulaşılan hızlar ile aynı olacak şekilde ayarlanır. Bu durum, fan gereksinimini azaltır ve parçacık kayıp testlerinin

yapılabilmesini sağlar. Bu prosedür, tipik olarak, model için tam büyüklükteki ESP'ye ait olan Reynolds Sayısı'nın kesiri kadar bir sayı verir ama türbülans akış rejimi aynı seviyede kalır (3200'den büyük). Reynolds Sayısı'nın model için daha düşük kullanılması konusunda göz önüne alınması gereken bir durum da, modelde kullanılan birbirine yakın konumlandırılmış toplama plakaları arasında, Reynolds Sayısının laminar veya geçiş akışı rejimine girme olasılığıdır (3200'den az). Bunun sebebi, hidrolik çapın, gerçek büyüklükteki ESP'nin giriş genişliğine göre değil, plaka aralığına göre alınmasının gerekli olmasıdır. Bu potansiyel sorundan kaçınmak için, çoğu ESP modeline tüm plakalar yerleştirilmez. Tipik olarak plakaların sayısı yarıya indirilir [6].

6.1.3. Saha Test Metotları

ESP hız dağılımı testleri, ünite kapalı ve fanlar çalışır halde iken yapılır. Test personeli, ESP içerisinde toplama plakalarının üstünde veya toplama alanları arasındaki platformlarda durur. Bu ölçümler için genel olarak kanatçıklı anemometre (vane anemometer) kullanılır. Anemometre, ray benzeri bir sisteme sabitlenerek, ESP kesiti içerisinde istenilen yerde konumlandırılabilmesi sağlanır. Katı elektrotların olduğu durumlarda, hareket mekanizması toplama plakaları üzerinde kayabilecek şekilde modifiye edilebilir. Anemometre ölçümünün, elektrotlar tarafından etkilenmemesi için dikkat gösterilmelidir. Şekil 6.5'de ağırlıklandırılmış telli ESP'lerde kanatçıklı anemometre kurulumu verilmiştir.



Şekil 6.5. Ağırlıklandırılmış telli ESP'lerde kanatçıklı anemometre kurulumu [6].

Test personeli, sondayı dikey olarak kontrol eder. Yatay olarak, sonda belirlenen gaz yollarından geçirilerek gerekli veri miktarına ulaşılmaya çalışılır. Hızlar tipik olarak, test alanında dikey ve yatay olarak birer metre aralıklar ile ölçülür. Burada

bahsedilen anemometrenin ölçüm aralığı 0,3 ila 20 m/s'dir ve üretici tarafından sağlanan yanılma oranı, hız sabit iken ölçülen hızın %1 kadardır. Pek çok durumda, ölçüm yapılan noktada, hız en az 16 saniye süresince ölçülür.

Gerçek bir ESP'de kanatçıklı anemometrelerin hassasiyetini düşüren dört etken vardır:

- Akışın sabit hızlı olmaması,
- Hızın katmanlaşması,
- Akışın farklı açılarda olması
- Parçacık birikimi.

Hız değişimleri genellikle uzun süreli ölçümlerin ortalamasının alınması ile aşılabılır, fakat buna rağmen düşük frekanslı değişimler ölçüm hassasiyetini etkileyebilir. Yukarıda belirtildiği gibi, 16 saniyelik ölçümlerin ortalaması %4 tekrarlanabilirlik sağlayabilir ama bazı durumlarda ölçüm süresini arttırmak gerekli olabilir. Düzgün bir ölçüm yapabilmek için ölçüm bölgesinde sabit bir hız gerektirir ama hız katmanlaşması bu durumda bir problem oluşturabilir. Hız katmanlaşması, katı elektrotlu, toplama plakalarında yüzeyden çıkıntı yapan yapısal elemanlar veya ölçüm bölgesine gelen hava akımını kesintiye uğratan elemanlara sahip olan ESP'lerde sorun oluşturabilir. Ek olarak, perfore bir tabaka veya başka bir akış kontrol elemanına çok yakın ölçüm yapmak da hız katmanlaşmasına sebep olabilir. Akışın açılı olması da, kanatçıklı anemometrelerin ölçümlerinin hassasiyetini etkileyen bir başka faktördür. Kanatçıklı anemometre, hızın farklı bileşenlerini doğru olarak ölçebilecek yapıda değildir.

6.2. VERİ KARŞILAŞTIRMALARI

Burada CFD modelleri ile ESP'lerin saha ölçüm sonuçları literatür araştırması ile okuyucu ile paylaşılmıştır. Bu araştırma 10 adet ESP üzerinde yapılmıştır. Bu tip çalışmalarda verileri karşılaştırmak için istatikselsel metotlar bulunmaktadır. Burada ise dört adet nicel karşılaştırma yöntemi dikkate alınmıştır [6]:

Kontür grafiği. Test ve model verileri, eksenel (ana) akış yönündeki hızların büyüklüğünün kontr grafiği olarak çizilmesi ile gösterilir. Model ve test verileri, uygun ortalama hız değerleri ile bölünerek normalize edilir. Bu uygulama ile hız dağılımları eşit bir renk skalasında karşılaştırılabilmektedir.

- Akış dağılımı istatistiklerinin karşılaştırılması. Belirlenen bir akış dağılımının hız sapması, ESP tasarımcıları ve sahipleri tarafından tipik olarak istenen bir istatistiktir. Bu, genel olarak ESP'nin hem giriş hem de çıkışında iki yolla yapılabilir:
- Institute of Clean Air Companies (ICAC) tarafından belirlenen standartlar. ICAC tarafından yayınlanan kılavuzda genel hız dağılımı için "Ayırıcıların toplama haznelerinin giriş ve çıkışlarında, hız dağılımı şöyle olmalıdır; hız dağılımının minimum %85'lik kısmı ortalama hızın 1.15 katından fazla olmamalı ve %99'luk kısmı da ortalama hızın 1.40 katından fazla olmamalıdır." denmektedir.
- b. Ölçülen/modellenen hızların, ortalama hıza göre yüzdelik RMS (percentage RMS) sapması. Yüzdelik RMS aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\%RMS = \frac{100}{V_{avg}} \sqrt{\frac{\sum(v_i - v_{avg})^2}{(n) - 1}} \quad (5.3)$$

v_i : Izgara sistemindeki seçilen noktadaki hız

v_{avg} : Tüm yüzeydeki ortalama hız

n : Izgara sistemindeki nokta sayısı

Bu şekilde, yüzdelik RMS, akış alanının ne kadarlık bir yüzdesinin bu düzlemde bulunan tüm hızların standart bir sapmanın dışında kaldığını gösterir. Endüstride tipik olarak, ESP giriş ve çıkış düzlemlerinde %15'ten daha düşük yüzdelik RMS oranları hedeflenir. Bazı ESP'lerde hatta ESP ıkış düzleminde %10'luk bir değer hedeflenebilmektedir.

Bu karşılaştırma sonucu, test verileri ve modelden elde edilen veriler belli bir hassasiyet toleransı seviyesinde karşılaştırılarak histogram grafiği şeklinde gösterilir. Sapma grafiği aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Sapma} = \frac{v_{\text{test}-i} - v_{\text{model}-i} * f}{v_{\text{avg-test}}}, \text{ iken} \quad (5.4)$$

$v_{\text{model}-i}$ = Modelin kafes sisteminde seçilen noktanın tahmin edilen hızı

$v_{\text{test}-i}$ = Kafes sisteminde seçilen noktanın ölçülen hızı

$$f = v_{\text{avg-test}} / v_{\text{avg-model}} \quad (5.5)$$

$v_{\text{avg-test}}$ = Test data tüm düzlem için test verileri ile hesaplanan ortalama hız

i = Kafes sistemi nokta sayacı

Genel korelasyon faktörü. Bu, temel olarak, tüm ESP durumlarının geometriden bağımsız olarak tek bir numara ile karşılaştırılabilmesini sağlar. Korelasyon faktörü aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\text{Korerasyon Faktörü} = \frac{100}{v_{\text{avg-test}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{\text{test}-i} - v_{\text{model}-i})^2}{(n-1)}} \quad (5.6)$$

Yukarıda tanımlanan noktalar ve hesaplamalar ile ilgili olarak düşünülmesi gereken bir not vardır: Fiziksel CFD modellerinin üzerinde yapılan ölçümler ve test sonuçları genellikle, saha testlerine oranla çok daha ayrıntılı bir test kafes sistemi üzerinde yapılır. Tipik bir CFD modelinde, her ölçüm düzlemi için 3000'in üzerinde ölçüm noktası bulunur. Fiziksel modellerde bu ölçüm noktaları 450 nokta civarında iken, gerçek test verileri ise 100'den az noktadan alınır. Modeller, saha ölçümlerine oranla çok daha ayrıntılı veriler içerdiği için bu sonuçlar, saha ölçümlerine göre yeniden ölçeklenir. Bu durum noktaların ve veri karşılaştırmalarının daha düzgün bir şekilde yapılabilmesini sağlar [6].

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

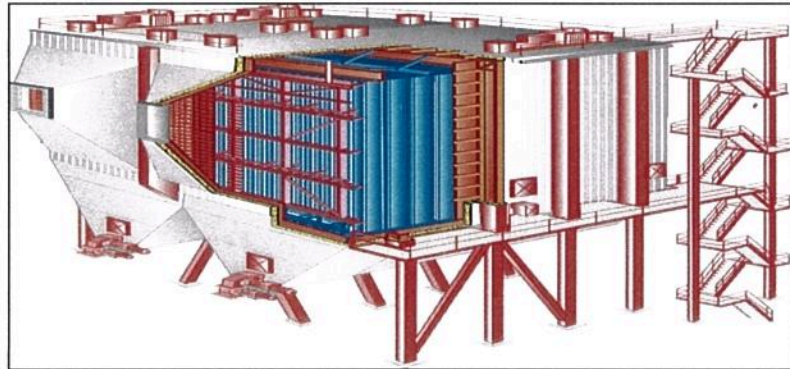
Deneysel çalışmaların öncelikli olarak ilk aşaması Kardemir AŞ Hammadde ve Sinter Tesisleri 1 ve 2 no lu Sinter makineleri makine hattında yer alan 2 adet ESP sisteminde yapılmıştır. Deneysel çalışmaların ikinci ve en önemli aşaması ise Kardemir AŞ sinter tesisleri Elektrik Bakım atölye ortamında gerekli tüm test düzenekleri hazırlandıktan sonra yapılmıştır.

7.1. DENEY VE TEST ORTAMI

Yapılan çalışmaları iki farklı başlık altında toplayacak olursak.

7.1.1. Kardemir Aş Esp Sistemi

Şekil 7.1 'de ESP genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 7.1 ESP genel görünüş.

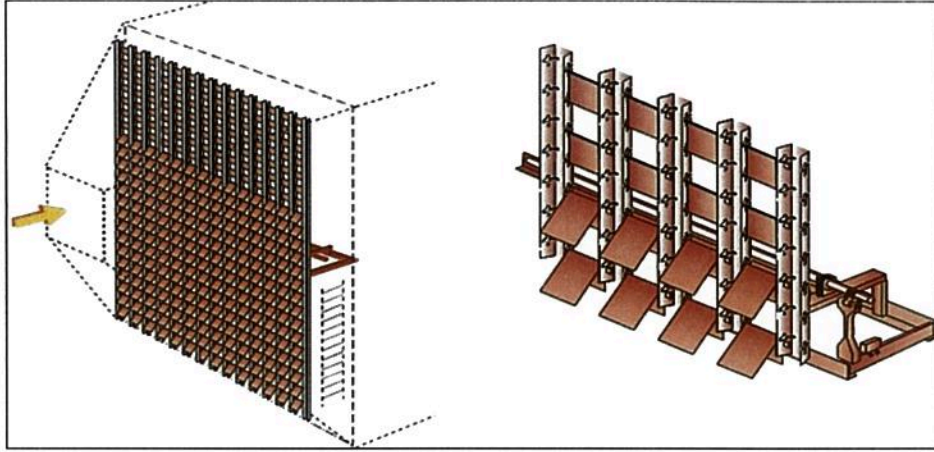
Yeni Sinter Tesisinde 600.000 m³/h 2 Adet Elektro Filtre Mevcuttur. Her bir Elektro Filtrede ise toplam 4 alan bulunmaktadır. Sinter makinesine yüklenen ham karışım'ın sinterlenmesi sırasında, ana fanın vakumlamış olduğu yanma havası gaz emiş borusu vasıtasıyla ESP 'ye taşınır. ESP dört bölüm den oluşmaktadır. Gaz emiş borusundaki atık hava elektrotlar ve plakalar içeren ESP bölümlerine girer. Bu sistemde gaz ve

tozları içeren havayı yüksek gerilim ihtiva eden elektriksel bir alan içerisinde geçirilerek gaz içerisindeki tozların tutularak gazın tozdan arındırılmasını sağlar. Bu tozların büyük kısmı toplama plakalarında (collecting plate) çok az bir kısmı da boşaltma elektrotlarında (discharge electrode) toplanır. Plaka ve elektrot üzerinde biriken tozlar titreşim yaptıran çekişleme sistemi yardımı ile bunkerlere boşaltılır. Buradan konveyörler vasıtasıyla toz bunkerlerine stoklanır. Sistemde toplama plakaları ve elektron yayma elektrotları mevcuttur. Yüksek gerilim tatbik edilen elektrotlar elektron yaymaya başlarlar ve elektrotlar ile plakalar arasında elektron akımı başlar. Elektrot ve plakalar arasında geçen atık gaz içerisindeki tozlar Elektron akımı esnasında elektrikle yüklenirler ve beraberce plakalara doğru sürüklenerek plakalara yapışırlar. Belirli periyotlarda bu plakalar ve elektrotlar çekişleme sistemi ile titreşim yaptırılarak tozların tabandaki zincirli konveyör üzerine düşmesi sağlanır. Buradan da zincirli konveyörler, flap valfler ve konveyörler vasıtası ile toz bunkerlerine stoklanır. İşletme durumunda: ESP üzerindeki tüm geçiş kapıları kilitli olarak kapalı olacaktır. Bakım durumunda: Servis ve bakım çalışmaları sırasında filtrenin bloke durumunda olması gerekmektedir.

Çizelge 7.1. ESP teknik verileri.

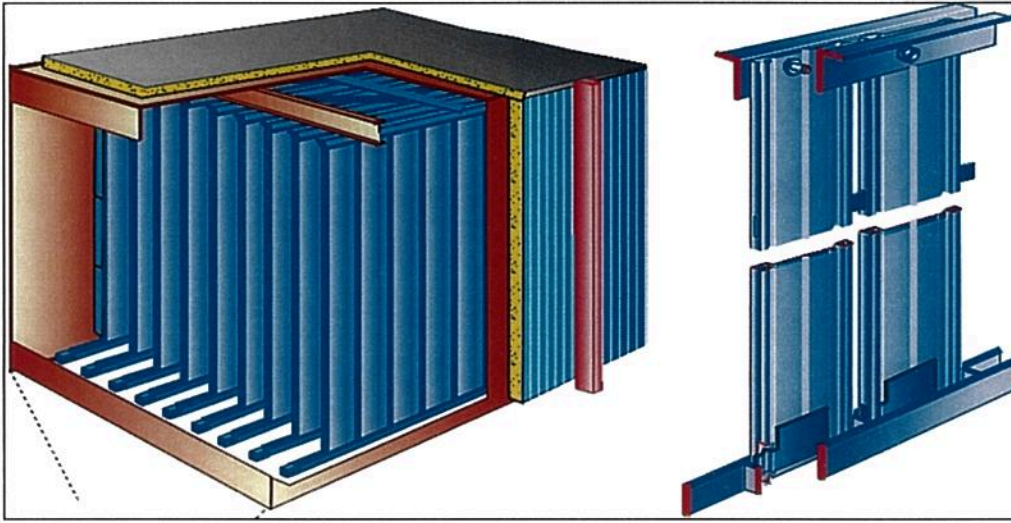
Operating Conditions of Filter		
Precipitator type: 1F400/H2P2/(3*P+1)*40-1x96145/1C/1C/2L/2D/2A		
Main Machine	Sinter band (grate)	
Operating Point	Design w. DC and Pulse	
Chambers in operation	1	pcs
Gas flow	600,000.0	m ³ /hour wet
- corresponding to:	346,519	Nm ³ /h wet
- corresponding to:	166.7	m ³ /s wet
Gas temperature	110	deg C
Operating pressure	-1500	mmWG
Atmospheric pressure	968	HPa
Water content	7.0%	vol% H ₂ O
Minimum Water content	7.0%	vol% H ₂ O
Oxygen content		N.A.
Max Oxygen Content		N.A.
SO ₂ content	<10	ppm, dry gas
Inlet dust load	5.0	g/Nm ³ dry
Recirculation of filter dust	none	
pH-value of Dust, minimum	10.0	
Content of Chloride in dust, maximum	2%	% by weight Cl
Content of Sodium & Potassium in dust, maximum / minimum	5.0	% by weight dry
Resistivity of dust, maximum	10exp-13	V x cm (IEEE std 548-1984)
Content of unburned, maximum	6%	% by weight dry

Measurement or verification of the gas flow rates stated in the Operating Conditions must be done with a pitot static tube e.g. according to the following standards :



Şekil 7.2. ESP 1. alan öncesi karşılama plakaları.

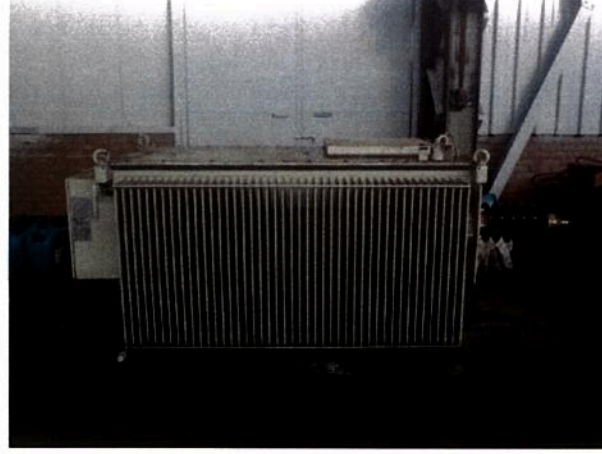
Şekil 7.2 'deki karşılama plakaları gaz akışının ve büyük partiküllerin alttaki şekil 7.3 'deki bunkerlere yönlennesini sağlamaktadır.



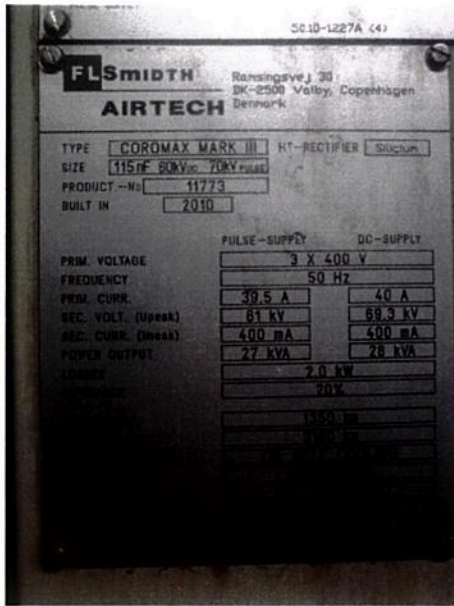
Şekil 7.3. ESP 2,3 ve 4. Alanlar.

Her bir filtrenin ilk alanlarında DC ADOR marka gerilim trafosu kullanılmakta iken diğer alanlarında . FlsMIDTH CROMAX MARK III pulse trafosu kullanılmaktadır. Elektro Filtre içinde 4 alan mevcuttur. Her alan 8 sıradan oluşmaktadır. Her bir sırada 25 adet levha mevcuttur. Yani her alanda 200 adet olmak üzere toplamda 800 adet levha bulunmaktadır. Her bir ESP nin birinci alanlarında 192 diğer alanlarında da 384 adet elektrot mevcuttur. Yani bir ESP de toplamda 1344 adet elektrot

bulunmaktadır. Elektrotlarla levhalar arası 162 ± 5 mm'dir. Bir sırada 24 elektrot vardır. 2-3-4 alanda ise bir sıra 48 elektrot mevcuttur.



a) Trafo genel görünüşü



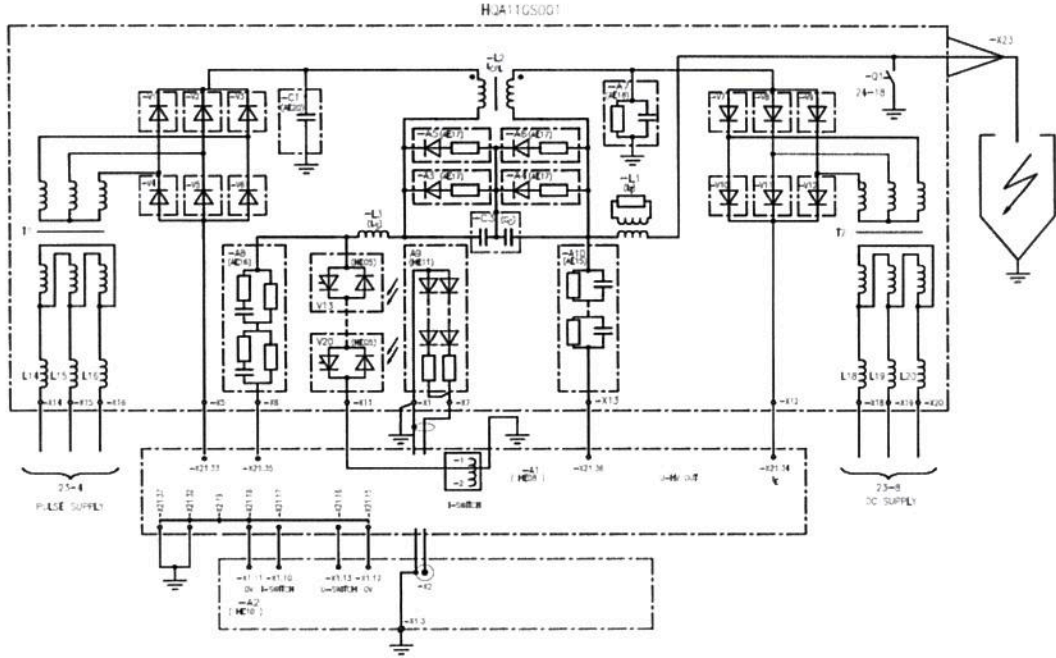
b) Trafo etiketi



c) Trafo YG trafı

Şekil 7.4. FLSMIDTH Trafo genel Görünüş resimleri.

Yukarıdaki Şekil 7.4 'de FLSMIDTH trafo genel görünüş resimleri verilmiştir.



Şekil 7.5. Yüksek Gerilim Transformatörü Çalışma Devre Şeması (Tez Çalışmaları esnasında alınan notların üzerinde olması nedeni ile bu şekilde kullanılmıştır.)

Test esnasında kullanılması gereken DC yüksek gerilim beslemesi için bir adet kuplaj tip yüksek gerilim transformatörü kumanda ünitesi kullanılmıştır. Kullanılan transformatör 0,4 kV giriş ve 61 kV Pulse ile 69,3 kV DC yüksek gerilim çevirme oranına sahip ve nominal akımı ise yüksek gerilim tarafında 40 mA' dir. Kontrol paneli yardımı ile tüm kontrol ve izlemeler yapılmaktadır. Şekil 7.5 'de yüksek gerilim transformatörü çalışma devre şeması verilmiştir.

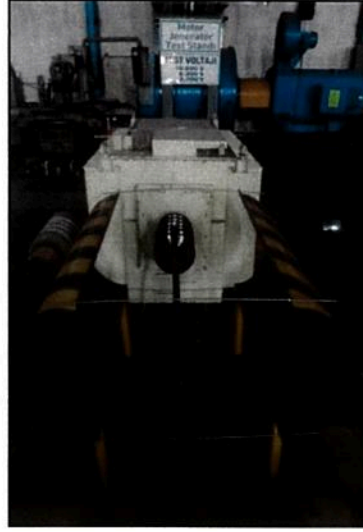
7.1.1.1. Test Ünitesi

Ölçümlerin yapıldığı test ekipmanları hali hazırda KARDEMİR AŞ Hammadde Hazırlama ve Sinter müdürlüğü sinter tesislerinde kullanılan sistemdir. Makine hattında ver alan bu sistem;

- Ana Emiş Fan ve Motor Sistemi
 - 4250 kW 10500 V Asenkron Motor
 - 600.000 m³/h Kapasitesi Fan
- Sinter tesisleri ESP sistemi,

- 600.000 m³/h Kapasitesi Filtre
- FlsMIDTH marka Pulse ve Ador Marka DC Trafo
- FlsMIDTH marka Konrol Paneli
- Ana emiş Fan Motor Hız Ayarı için Orta Gerilim Sürücü Sistemi
- Sinter Tesisleri Proses tozu

7.1.2. Atölye Ortamında Hazırlanan Test Düzeneği



a) Trafo ve test çubuğu



b) Kontrol paneli



c) Genel görünüş

Şekil 7.6. Test düzeneği görünüş resimleri.

Şekil 7.6 'da test düzeneği görünüş resimleri gösterilmektedir.

7.1.2.1. Test Ünitesi

Ölçümlerin yapılabilmesi için işletme şartlarında arızalandığı için atölye ortamına alınan ve hali hazırda test amaçlı olarak kullanılan sistemden yararlanılmıştır. Deneylerin yapılabilmesi için özel bir elektrot dizayn edilmiş olup test ekipmanları aşağıda sıralanmıştır.

- FlsMIDTH marka Pulse Trafosu ve Kontrol Paneli
- Topraklama Plaka sistemi ve Atlama elektrodu

7.2. ARAŞTIRMA VERİLERİ

İşletme şartlarında ve test ortamında yapılan tüm ölçümler anlık olarak izlenmiş ve not alınmıştır.

7.2.1. Araştırmanın Amacı

Uygulanan gerilim ile ölçülen akımın değişim ilişkisi, sinter tozunun kimyasal özelliğine göre değişip değişmediği incelendi. Aynı gerilim seviyesinde sinter tozunun kimyasal yapısının değişiminin toz tutma verimine etkisi incelendi. Bu inceleme esnasında tutulmak istenen toz aynı boyuta sahip farklı kimyasal yapıdaki sinter tozudur. Aynı zamanda tutucu plakalar ile elektrotlar arası uzaklıklar her ölçümde eşit tutulmuştur.

7.2.2. Araştırma Esnasındaki Aşamalar

Proses şartlarına bağlı olarak yapılan çalışmalar iki aşamada yürütülmüştür.

7.2.2.1. Kardemir Aş Esp Sistemi

Tutulması planlanan tozun kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için işletme gruplarından yardım alındı. Yapılan her ölçüm öncesi bu analizler incelenerek çıkış

toz miktarları kontrol edildi. Çizelge 7.2 'de Sinter Tozu Kimyasal özelliği verilmiştir.

Çizelge 7.2. Sinter tozu kimyasal özelliği.

12.11.2014		%N	%SiO ₂	%CaO	%Al ₂ O ₃	%MgO	%Mn	%S	%K ₂ O	%Na ₂ O	%P	%Zn	%Cu	%Ni	%Fe	%TiO ₂	%Zr	CaO/SiO ₂
SAHA	2 NOLU SAHA																	
C E V H E R L E R	ATTEPE TOZ	54,21	7,93	1,79	0,95	0,71	1,17	0,010	0,210	0,080	0,010	0,030	0,050	0,010	0,010	0,050		0,225
	AVNIK TOZ CEVHER	62,26	6,97	0,94	0,97	1,28	0,05	0,010	0,070	0,090	0,150	0,020	0,050	0,010	0,010	0,130		0,135
	BKAFI TOZ	56,88	7,64	2,21	2,38	1,46	0,08	0,190	0,410	0,080	0,050	0,030	0,050	0,020	0,010	0,140	0,060	0,289
	BENZOL SAHASI	53,00	9,56	3,54	1,85	0,89	0,30	1,001	0,155	0,094	0,051	0,033	0,059	0,013	0,050	0,211	0,015	0,371
	ÇALI	56,98	5,38	2,15	1,39	1,96	0,22	2,910	0,140	0,110	0,010	0,030	0,060	0,010	0,010	0,070	0,050	0,400
	ÇETINKAYA TOZ	53,15	10,68	3,05	1,77	0,52	0,49	0,010	0,530	0,110	0,180	0,030	0,070	0,010	0,010	0,350	0,012	0,286
	ÇÖMÜR TOZ	57,25	11,39	0,65	1,24	0,01	0,02	0,210	0,040	0,080	0,110	0,020	0,050	0,100	0,010	0,540	0,065	0,004
	ELMADAG TOZ	52,05	6,93	1,83	0,91	0,55	1,07	0,660	0,260	0,080	0,010	0,020	0,050	0,010	0,010	0,050	0,009	0,263
	ÇÖMÜÇ TOZ	52,10	6,89	3,28	1,59	0,22	1,33	0,060	0,250	0,090	0,020	0,070	0,060	0,010	0,010	0,080	0,006	0,476
	İRAN KALİBRE CEVHER	59,25	6,27	3,35	1,11	0,40	0,10	0,010	0,250	0,110	0,040	0,030	0,010	0,010	0,010	0,090		0,534
	İTHAL TOZİRAN TOZ	58,56	7,42	2,01	0,98	0,28	0,68	0,170	0,140	0,070	0,080	0,020	0,040	0,010	0,010	0,280		0,271
	İTHAL TOZVALE	61,18	9,38	0,13	1,19	1,05	0,21	0,010	0,040	0,090	0,020	0,010	0,020	0,010	0,010	0,080	0,020	0,014
	KAMANI	56,96	12,44	1,45	0,93	0,02	0,19	0,020	0,050	0,090	0,010	0,050	0,050	0,020	0,010	0,020	0,007	0,117
	KURULDEFE	60,05	6,87	1,96	1,14	0,61	0,08	0,340	0,060	0,090	0,010	0,020	0,050	0,010	0,010	0,070		0,285
	LİMONİT	49,37	7,62	1,17	1,92	0,83	3,93	0,010	0,340	0,070	0,010	0,060	0,060	0,010	0,010	0,080	0,040	0,154
	MADENİPE	52,17	9,34	5,57	1,65	4,03	0,21	0,390	0,080	0,090	0,010	0,030	0,050	0,010	0,010	0,050	0,008	0,596
	MENTEŞ TOZ	56,62	5,26	2,65	0,57	0,98	0,87	0,010	0,120	0,080	0,010	0,030	0,050	0,010	0,010	0,040	0,004	0,504
	PELETTÖZÜ	66,12	2,02	0,66	0,96	0,94	0,09	0,001	0,080	0,080	0,010	0,040	0,040	0,004	0,003	0,080		0,327
	PURINSUR TOZ	54,49	4,07	0,23	1,31	0,40	0,06	0,010	0,210	0,060	0,030	0,010	0,050	0,010	0,010	0,070	0,012	0,057
	SADIMBEYLİ TOZ	53,28	9,95	1,33	3,46	0,24	0,06	0,020	0,410	0,080	0,040	0,040	0,050	0,010	0,010	0,190		0,134
	SİDERT	40,11	2,14	3,36	0,80	4,29	3,93	0,220	0,190	0,060	0,010	0,050	0,050	0,010	0,010	0,040	0,048	1,570
	SAMLI TOZ	56,36	8,74	5,72	1,79	0,83	0,18	1,210	0,060	0,090	0,040	0,020	0,060	0,010	0,010	0,150	0,034	0,654
	TAŞLİPE	65,95	2,85	0,19	1,09	0,48	0,08	0,010	0,180	0,110	0,040	0,030	0,050	0,010	0,010	0,060		0,067
	TAHYALI	58,82	10,98	0,47	1,46	0,32	0,28	0,010	0,060	0,080	0,010	0,010	0,050	0,010	0,010	0,080		0,061
	ZENGİN TOZ	56,69	7,95	2,22	2,42	1,77	0,09	0,330	0,470	0,070	0,060	0,020	0,050	0,010	0,010	0,180		0,279
	SARU TOZU	51,23	8,71	9,44	2,05	2,07	1,11	0,010	0,280	0,080	0,040	0,040	0,040	0,010	0,010	0,120		1,084
ATIK	BACA TOZU	37,22	9,85	4,62	2,54	1,49	1,06	0,75	0,46	0,68	0,07	1,05	0,01	0,010	0,150	0,120		0,469
	ÇELİKHAŞE ÇURLU	21,130	13,410	40,520	2,810	7,540	3,810	0,570	0,130	0,040	0,390	0,020	0,110	0,010	0,010	0,430		3,022
	ÇELİKHAŞE OG ÇAM	53,800	1,670	9,800	0,120	0,010	0,625	2,080	0,100	0,010		0,990	0,180	0,020	0,100	0,030		5,868
	TAŞLAMA TOZU	65,540	1,880	0,350	2,890	0,080	0,250	0,050	0,030	0,110	0,040	0,020	0,050	0,010	0,010	0,190		0,186
TUFAL	67,89	0,81	0,34	0,31	0,13	0,06	0,01	0,01	0,11	0,02	0,01	0,04	0,020	0,010	0,090		9,831	
KİREÇTAŞI	0,240	0,770	54,480	0,120	0,290	0,020	0,024	0,010	0,000	0,013	0,000				0,020		70,753	
SİNER TOZU	52,296	8,765	10,259	1,452	1,993	1,121	0,019	0,237	0,060	0,022	0,022			0,053	0,165		1,170	
KOK TOZU	10,000	45,650	5,340	26,260	1,790	1,500	2,830	2,140	0,450	1,000	0,000						0,117	
TOP ORT																		

Emiş yapılan Havanın sıcaklığının en az 100 C derecede olmasına dikkat edildi. Çünkü bu sıcaklık eşik değerinin filtre verimine direkt etki ettiği bilinmektedir.

Emiş yapılan Havanın hızı sabit tutulmaya çalışıldı. Bu sayede filtre içerisinde havayı türbülansa sokmakta ve tutulamayan tozunda sürekli havada askıda kalmasının önüne geçilmiş oldu.

Yapılan çalışmaya negatif polariteli yüksek doğru gerilim 0 volt ile başlamış 60 kV' a kadar yükseltilmiştir. Yaklaşık 20 kV' ta korana akımı başlamış ve 35 mA

mmertebesine kadar çıkmıştır. Ölçüm süresince filtre çıkışından istenilen değerlere uygun toz çıktığı gözlemlenmiştir.

7.2.2.2. Atölye Ortamında Hazırlanan Test Düzeneği

- Başlangıç da yüksek doğru gerilim uygulanmadan yükleme elektrotu ile topraklama plakaları arasındaki mesafe 350 mm olarak ayarlandı ve 19 kV' a kadar çıkıldı. Yüksek gerilim kontrol klemi ile ölçüm yapıldı. bu sayede kontrol paneli ile trafonun sorunsuz çalıştığı test edilmiş oldu.



Şekil 7.7. YG test ölçümü.

- Birinci aşama olarak yüksek doğru gerilim uygulanmadan yükleme elektrotu ile topraklama plakaları arasındaki mesafe 200 mm olarak ayarlandı ve 60 kV' a kadar çıkıldı.
- İkinci aşamada yükleme elektrotu ile topraklama plakaları arasındaki mesafe 150 mm olarak ayarlandı ve 60 kV' a kadar çıkıldı.
- Termal ölçümler yapıldı.

Yukarıdaki Şekil 7.7 YG Test Ölçümü verilmiştir.

7.3. TEST VE ÖLÇÜMLER






Çizelge 7.3. Test ölçümü.

TARİH	SAAT	Sic	emission	IDC	U	LDC	UPS	IPS	P	DC	Pulse	DİRENÇ (Kohm)	emission	TOZ Mg/Nm ²
		(C)	(Ma)	corona	Pulse	(KV)	(KV)	(Ma)	Spkrate	Spkrate	Freq		(Ma)	
05.02.2015	12:50	100	149	32	50.9	32	46	68	3.9	0	53	214,77	149	60
05.02.2015	12:54	101	145	31	51.6	32.2	47	46	4	0	58	222,07	145	56
05.02.2015	12:58	100	148	31	51	32	48	70	3.9	0	53	216,22	148	60
05.02.2015	13:02	99	161	32	51.3	32.1	48	74	3.9	0	55	199,38	161	72
05.02.2015	13:06	98	141	32	52	32	49	72	3.9	0	54	226,95	141	66
05.02.2015	13:10	98	136	33	49.2	32	49.5	72	4.1	0	56	235,29	136	70
05.02.2015	13:14	97	152	32	50.4	32.1	50	70	3.9	0	57	211,18	152	65
05.02.2015	13:18	97	152	26	51.3	32.3	5	68	3.9	0	53	212,50	152	45
05.02.2015	13:22	98	145	30	55	32.2	50	68	3.9	0	57	222,07	145	56
05.02.2015	13:26	99	149	33	51.9	32.5	50.5	70	3.9	0	54	218,12	149	55
05.02.2015	13:30	99	147	33	51.1	32.5	49	70	4	0	52	221,09	147	54
05.02.2015	13:34	100	150	32	50.9	32.3	49.5	68	4	0	55	215,33	150	44
05.02.2015	13:38	100	150	30	51.5	32.2	47	70	3.9	0	52	214,67	150	57
05.02.2015	13:42	100	153	28	51	32.1	48.5	72	3.9	0	53	209,80	153	63
05.02.2015	13:46	101	141	30	51.4	32.2	46.5	70	4	0	51	228,37	141	47
05.02.2015	13:50	101	149	31	49.8	32.2	47.5	68	4.4	0	55	216,11	149	50
05.02.2015	13:54	101	151	25	52.7	32.3	47.5	70	5.5	0	53	213,91	151	70
05.02.2015	13:58	101	152	28	51.3	32.3	48	70	4.9	0	52	212,50	152	71
05.02.2015	14:02	101	148	24	51.1	32.5	47	70	4.7	0	56	219,59	148	40
05.02.2015	14:06	102	147	33	50.9	32.5	46	70	4.8	0	55	221,09	147	60
05.02.2015	14:10	101	150	42	51.4	32.1	49.5	68	4.6	0	52	214,00	150	61
05.02.2015	14:14	101	150	23	51.2	32.1	50	78	4.9	0	54	214,00	150	55
05.02.2015	14:18	102	149	34	50.8	31.2	48.5	72	4.5	0	53	209,40	149	59
05.02.2015	14:22	100	149	22	51.9	30	49	70	4.6	0	54	201,34	149	47
05.02.2015	14:26	100	152	29	51	32.8	49	68	4.4	0	52	215,79	152	60
05.02.2015	14:30	99	150	34	52.1	31	49	68	4.6	0	55	206,67	150	61
05.02.2015	14:34	98	144	33	50.6	31.2	49.5	70	4.4	0	55	216,67	144	65
05.02.2015	14:38	98	139	28	51.7	31.8	50	70	4.8	0	52	228,78	139	64
05.02.2015	14:42	97	150	32	52	31.2	50.5	70	4.6	0	55	208,00	150	48
05.02.2015	14:46	97	129	32	50.8	31.2	48.5	68	4.8	0	56	241,86	129	55
05.02.2015	14:50	97	151	26	50.1	31.2	47.5	70	4.6	0	55	206,62	151	50
05.02.2015	14:54	98	150	31	51.6	31.6	46	72	4.8	0	56	210,67	150	53
05.02.2015	14:58	98	149	31	51.1	31	46	68	4.6	0	55	210,74	149	55
05.02.2015	15:02	99	150	33	51.4	31	47.5	70	4.5	0	56	209,33	150	61
05.02.2015	15:06	99	134	22	49.1	31.6	46.5	68	4.4	0	52	235,82	134	50
05.02.2015	15:10	99	146	29	50.5	31	45	70	4.8	0	55	215,07	146	70
05.02.2015	15:14	99	150	28	51.9	31	46	72	4.6	0	54	209,33	150	65
05.02.2015	15:18	100	144	28	51.7	31.2	45	68	4.6	0	53	216,67	144	68
05.02.2015	15:22	100	117	30	52.2	31.6	46	70	4.6	0	57	270,09	117	70
05.02.2015	15:26	100	133	29	49.5	31.6	45	72	4.6	0	53	237,59	133	72
05.02.2015	15:30	100	145	30	50.4	31	50	70	4.6	0	53	216,55	145	71

Yapılan tüm test ve işletme ölçümlerinde ESP' nin verinine etki eden fatörlerin yanı sıra enerji tüketimi ve performansına direk etkieden faktörlerden olan elektrot

geometrisi ve tutucu plakaların yerleşim şekli ile aralarındaki mesafelerde dikkatli olarak incelenmiştir. Elektrostatik toz tutucuların verimlerinde toz partiküllerinin göç hızı ile kimyasal özellikleri önemli bir rol oynamaktadır. Araştırmanın amacı ESP içerisinde geçen gazın kimyasal özelliğinin yanı sıra göç hızını, Alan gerilimi ve emisyon akımının tutma verimine etkisini incelerken ESP verimini max seviyede tutacak verilere ulaşmaktır. Bu çalışmada gazın kimyasal özelliğinin (akışkan direncinin) değişiminin gerilim-akım (V-I) karakteristiklerine etkisinin ölçülmesinin yanı sıra pratik uygulamalar üzerine yoğunlaşmıştır. Partikül kimyasal özelliği ile göç hızı elektrostatik toz tutucunun verimini doğrudan etkiler. Esp ile tutulan sinter tozunun kimyasal analizi Kalite Yönetim Müdürlüğü laboratuvarlarında ölçülmüştür.

Çizelge 7.4. 28.01.2015 tarihli kimyasal analiz raporu.

KARDEMİR AŞ. KALİTE YÖNETİM MÜDÜRLÜĞÜ KİMYASAL ANALİZ RAPORU		    	RAPOR NO : 2015/00347 KONTROL PARTİSİ NO : RAPOR TARİHİ : 29.01.2015
MALZEME ADI : SİNER TESİSİ ESP TOZU GELDİĞİ YER : HAM.MAN ve SİNER MÜDÜRLÜĞÜ GELDİĞİ TARİH : 28.1.2015			
ARANANLAR		ESP TOZU	
		%	
Fe ₂ O ₃	=	52,27	
C	=	8,15	
S	=	2,81	
Al ₂ O ₃	=	2,70	
SiO ₂	=	12,55	
CaO	=	11,69	
MgO	=	0,56	
Na ₂ O	=	3,50	
K ₂ O	=	2,18	
ZnO	=	0,07	
MnO	=	1,89	
		KRD150006089_2 Lab.no	

Çizelge 7.5. 28.01.2015 tarihli kimyasal analiz raporu.

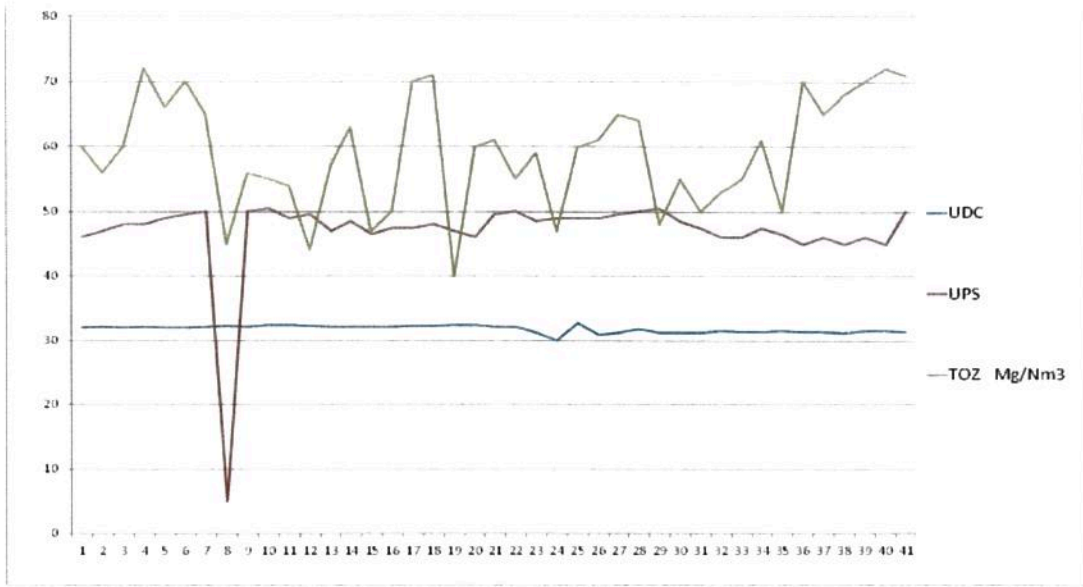
2015 ESP TOZ ANALİZ TABLOSU											
NUMUNE ALINDIĞI TARİH	Fe2O3	C	S	Al2O3	SiO2	CaO	MgO	Na2O	K2O	ZnO	MnO
07 Ocak 2015 Çarşamba	40,01	7,5	2,81	1,57	5,69	6,62	0,01	10,7	10,76	0,17	0,99
14 Ocak 2015 Çarşamba	53,07	5,53	6,03	2,61	9,43	10,26	1,71	2,3	6	0,13	1,82
21 Ocak 2015 Çarşamba	51,29	6,17	4,51	2,63	8,06	9,28	1,67	2,4	5,38	0,13	1,84
28 Ocak 2015 Çarşamba	52,27	8,15	2,81	2,7	12,55	11,69	0,56	3,5	2,18	0,07	1,89
04 Şubat 2015 Çarşamba	55,62	5,25	3,24	3,04	10,88	10,13	1,63	2,9	3,18	0,07	2,06
11 Şubat 2015 Çarşamba	54,06	7,49	3,03	2,14	8,32	9,01	1,2	3,1	4,88	0,11	1,47
18 Şubat 2015 Çarşamba	58,74	3,74	1,63	2,47	10,02	10,25	1,32	2,5	0,77	0,04	1,91
25 Şubat 2015 Çarşamba	54,12	4,36	3,06	2,33	10,46	11,37	2,13	3,00	3,38	0,11	1,76
04 Mart 2015 Çarşamba	45,05	6,05	2,56	1,75	6,4	9,26	1,1	4,1	4,98	0,14	1,02
11 Mart 2015 Çarşamba	47,1	6,11	4,69	2,47	9,19	10,49	2,09	3,8	5,87	0,1	1,55
25 Mart 2015 Çarşamba	59,26	3,7	2,97	2,39	9,31	10,13	2,16	3,6	1,63	0,06	1,84
01 Nisan 2015 Çarşamba	62,25	2,17	1,38	2	8,91	7,81	1,58	2,9	0,96	0,05	1,77
08 Nisan 2015 Çarşamba	55,71	5,9	2,3	3,13	11,1	8,82	1,83	3,4	1,63	0,05	1,36
15 Nisan 2015 Çarşamba	60,26	2,45	1,1	1,84	10,73	10,33	1,22	2,5	0,73	0,04	1,67

Çizelge 7.6 2015 yılı Sinter teknolojik test analiz takip raporu.

2015 SİNER TEKNOLEJİK TEST ANALİZ TAKİP TABLOSU																
NUMUNE ALMA TARİHİ	SAHA NO	SİNER MAK.	RULL (ISO 7992)			TAMBUR (ISO 32) RULİ TESTİ (ISO 4696-1)						LTD TESTİ (ISO 13930)				
			R 40	Dp	Dh	6,35	0,5	6,35	-6,35 ; +3,15	-3,15 ; +0,5	-0,50	6,35	-6,35 ; +3,15	-3,15 ; +0,5	-0,50	
			% O2 min.	mm. Wg.	%	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	
25.12.2014-09.01.2015	1	SM1-2	0,88	2,04	0,71	65,99	5,97	45,65	29,27	21,14	3,94	33,17	30,02	25,71	11,10	
25.12.2014-09.01.2015	1	SM3	0,99	1,02	0,58	66,26	6,05	50,52	24,75	20,50	4,23	34,25	27,26	25,62	12,87	
09.01.2015-22.01.2015	4	SM1-2	0,85	2,04	0,71	65,29	6,25	44,05	29,91	21,12	4,82	28,99	30,13	27,14	13,74	
09.01.2015-22.01.2015	4	SM3	0,67	2,04	0,56	65,94	6,13	48,43	27,02	19,92	4,63	40,85	25,38	21,35	12,42	
23.01.2015-13.02.2015	2	SM1-2	0,93	1,02	0,89	66,81	6,25	44,20	30,69	20,55	4,56	34,07	30,74	23,87	11,32	
23.01.2015-13.02.2015	2	SM3	0,80	2,04	1,27	67,71	5,96	52,52	24,68	18,35	4,45	34,43	26,27	25,67	13,63	
13.02.2015-19.02.2015	3	SM1-2	0,86	1,02	1,30	66,52	6,04	48,52	27,27	20,10	4,11	29,71	30,08	27,50	12,71	
20.02.2015-06.03.2015	4	SM1-2	0,83	1,02	0,54	64,34	5,91	50,12	25,81	19,64	4,43	40,16	27,88	22,02	9,94	
13.02.2015-25.03.2015	1	SM3	0,81	1,02	1,11	68,70	6,07	45,17	29,88	20,42	4,53	33,16	27,66	25,97	13,21	
07.03.2015-17.03.2015	3	SM1-2	0,76	1,02	0,73	64,47	6,05	52,95	24,60	18,39	4,06	34,87	30,63	24,04	10,46	
18.03.2015-02.04.2015	2-4	SM1-2+3	0,80	1,02	1,09	66,25	5,92	51,19	26,48	18,08	4,25	35,97	27,81	24,76	11,46	
03.04.2015-	2-3	SM1-2+3														

7.3.1. Kardemir Aş Esp Sistemi

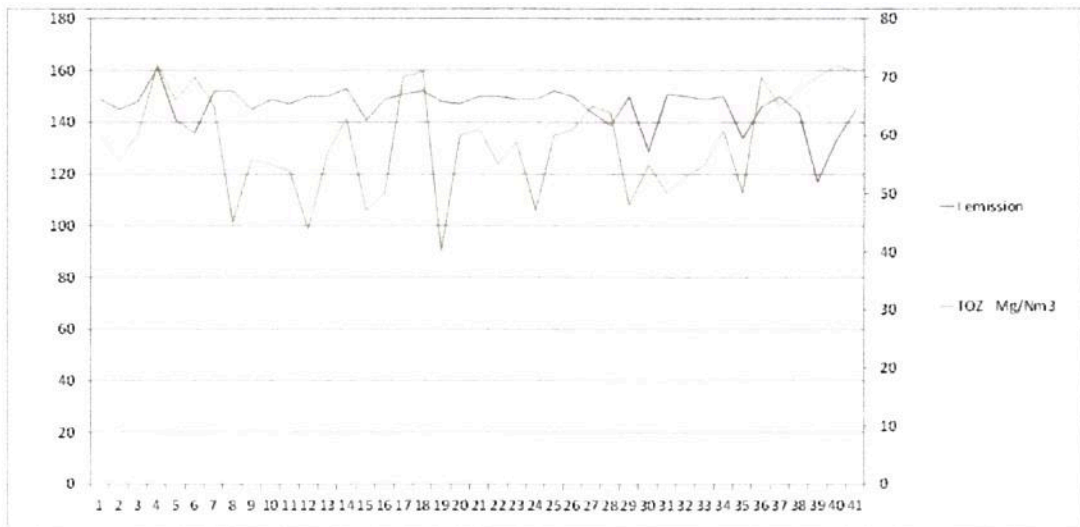
7.3.1.1. Alan Geriliminin U Pulse ve Toz Miktarı üzerindeki Etkisi



Şekil 7.8. Alan gerilimi ile çıkış toz miktarı grafiği.

Elektrostatik toz tutucu alan geriliminin değişiminin filtre çıkışındaki toz partiküllerinin miktarındaki değişimi anlık olarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde alan geriliminin direkt olarak filtre verimine etki ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 7.8’de alan gerilimi ile çıkış toz miktarı grafiği verilmiştir.

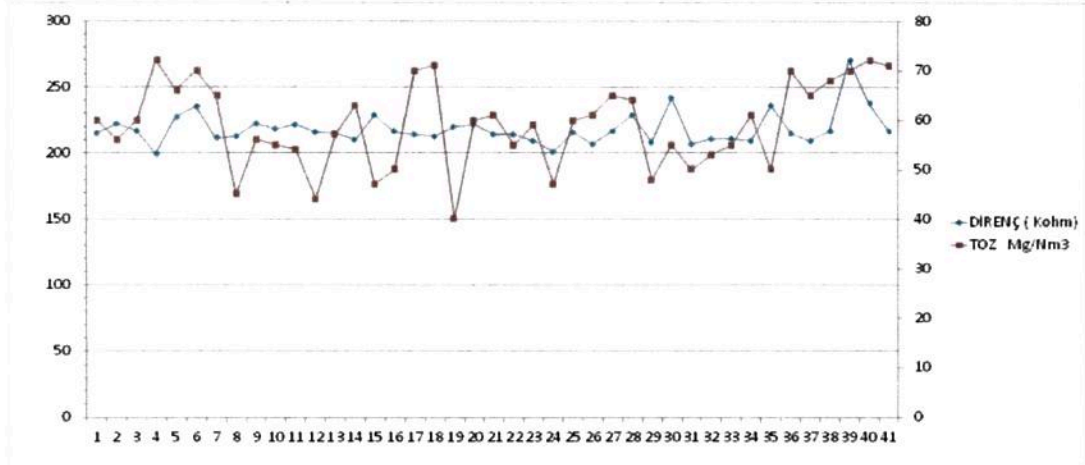
7.3.1.2. Emisyon Akımının Değişimine Bağlı Olarak Çıkış Toz Miktarının Değişiminin İncelenmesi



Şekil 7.9. Emisyon akımı ile çıkış toz miktarı grafiği.

Yapılan ölçümlerde emisyon akımındaki değişmelerin çıkış toz miktarını etkilediği görülmüştür.

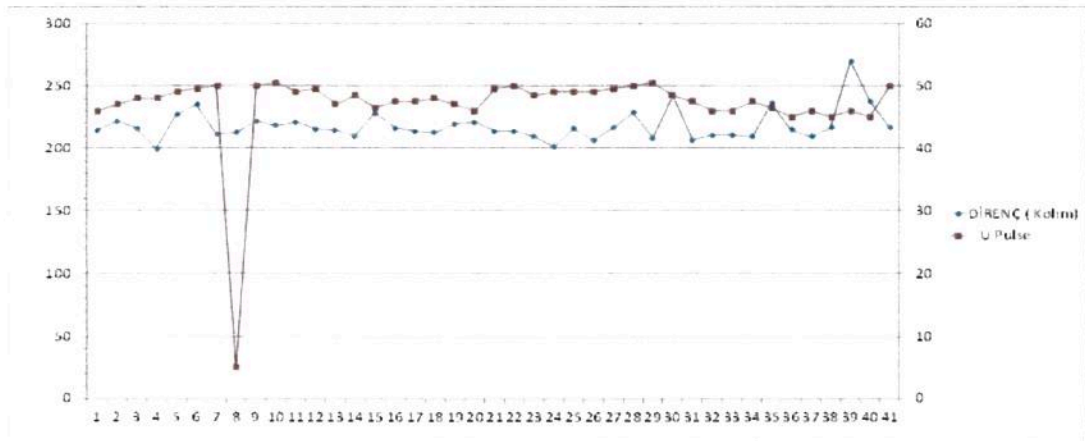
7.3.1.3. Elektrik İletkenliğine Bağlı Toz Miktarının İncelenmesi



Şekil 7.10. Sinter tozunun elektrik iletkenliğine bağlı olarak toz miktarındaki değişim grafiği.

Ölçüm sonuçlarında da görüldüğü üzere toz direncine bağlı olarak toz miktarı değişmektedir.

7.3.1.4. Elektrik İletkenliğine Bağlı Olarak U Pulse' in İncelenmesi



Şekil 7.11. Sinter tozunun elektrik iletkenliğinin U pulse üzerindeki etkisi.

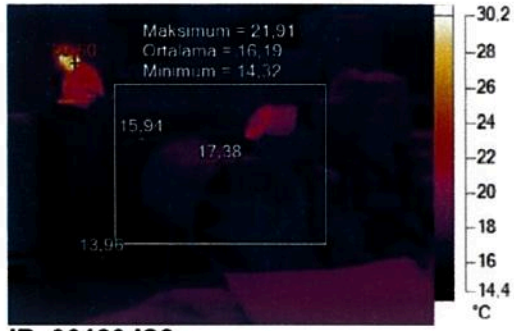
7.3.2. Atölye Ortamında Hazırlanan Test Düzeneginde Gerilim Akım Karakteristiğinin İncelenmesi

Yapılan çalışmalar dört farklı mesafede ve 2 farklı çalışma modunda yapılmıştır. Bu yapılan ölçüm sonuçları akım-gerilim ilişkisi aşağıda verilmiştir.

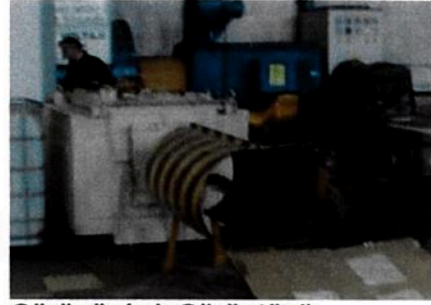
Çizelge 7.7. Gerilim akım karakteristiği.

ÖLÇÜM NO	Plaka ile Elektrot Arası Mesafe mm	UDC kV	UPS kV	I emission mA	IDC mA
1	350	10	10	1	2
2	350	19	19	2	2
3	350	60	60	2	2
4	350	10	10	1	5
5	350	19	19	3	9
6	350	60	60	4	10
7	250	10	10	1	2
8	250	19	19	2	2
9	250	60	60	3	2
10	250	10	10	1	5
11	250	19	19	3	9
12	250	60	60	5	10
13	150	10	10	1	2
14	150	19	19	2	2
15	150	60	60	3	2
16	150	10	10	1	5
17	150	19	19	3	9
18	150	60	60	6	15

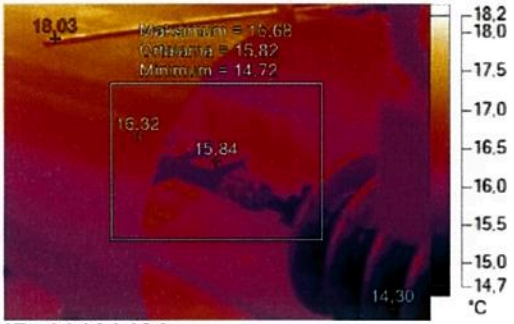
Çizelgeden de anlaşılacağı gibi Plaka ile Elektrot Arası Mesafe ile DC ve Pulse gerilimlerinin seviyeleri de emisyon akımına direkt etki etmektedir. En iyi toz tutma kabiliyeti ise her iki gerilimin uygulandığı proses şartlarına uygun olarak maksimum korona akımının oluştuğu 150 mm mesafede olmaktadır. Plaka ile Elektrot Arası Mesafe 150 mm altına düşmesi durumunda spark değerleri çok yükselmekte ve toz tutma kapasitesi düşmektedir. Şekil 7.12 emisyon ve korona akımı oluşumu esnasında çekilen termal görüntüler yer almaktadır.



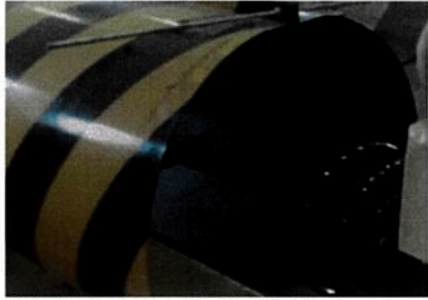
IR_00120.IS2
14.4.2015 12:05:44



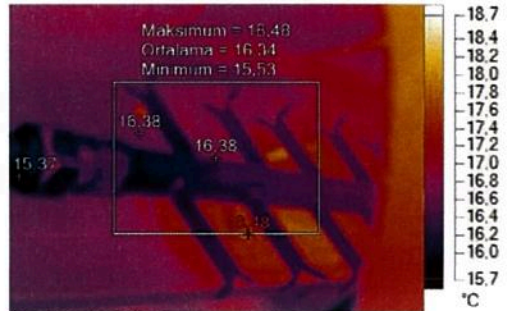
Görünür Işık Görüntüsü



IR_00121.IS2
14.4.2015 12:06:11



Görünür Işık Görüntüsü



IR_00126.IS2
14.4.2015 12:13:50



Görünür Işık Görüntüsü

Şekil 7.12. Emisyon ve Korona Akımı oluşumu esnasında çekilen termal görüntüler.

BÖLÜM 8.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Plakalar ile elektrot arasındaki mesafe ile elektrotların farklı geometrik yapıda olmaları elektrik alan dağılımı ve maksimum elektrik alan şiddetine etkilerinin yanı sıra ilk olarak Elektrostatik filtrelerin en önemli parametresi olan filtre verimine etki eden tutulan tozun kimyasal ve fiziksel yapısının etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda FlsMIDTH CROMAX MARK III pulse trafosu ve kontrol ünitesi kullanılmıştır.

Tutulan tozun fiziksel ve kimyasal yapısının yanı sıra Korona elektrotunun diziliminin sıklaşması elektrik alan dağılımını arttırmaktadır. Ayrıca korona elektrotunun toplama elektrotuna yaklaşması plakalar ile elektrot arasındaki direnci düşürmekte ve elektrotlar arası atılmanın daha erken olmasını sağlamaktadır. Ayrıca plakalar ile teller arası mesafenin yanı sıra tutulan tozun rutubet oranında filtre verimini etkilediği görülmektedir.

Yapılan Uygulamalarda incelenen sinter tozunun içindeki su taneciğinin elektrik alan dağılımını arttırdığı görülmüştür. Korona elektrotuna doğru yaklaşan su taneciğinin maksimum elektrik alan şiddetini arttırdığı saptanmıştır. Ayrıca sinter tozu içerisinde yer alan kireç taşının filtre verimini olumsuz etkilediği ve teller ve plakalar üzerine yapışarak filtre verimini düşürdüğü görülmüştür.

Bu durumda, normal çalışma koşullarında, plakalar üzerine yapışan tozların düşürülmesinde çekiçlemelerin çalışması gerekliliği birkez daha anlaşılmıştır.

Yasal zorunluluklar atmosfere atılan havanın kalitesinin belirlenmesinde işletmeleri yükümlü kılmaktadır. Yasal olarak kontrol edilen ve belirlenen sınır değerler gelecek yıllarda daha düşük düzeylere inmesi olasıdır. İşletme üretiminin durdurulmasına

kadar gidebilen ceza unsurları içeren bu yasal zorunluluklar, sanayi tesislerini filtreleme sistemlerinde sürekli iyileştirmeye gitmelerine yol açacaktır.

Yasal olarak da işletmelerin ilk öncelikleri kullandıkları filtrelerin verimlerini arttırmaları ve filtre verimine etki eden parametreleri belirlemeleridir. Elektrostatik toz tutucunun verimini belirleyen en önemli parametre tasarım aşamasında sistemin hangi koşullarda ve ne tarz bir toz karakteristiğinde çalışacağına bilinmesidir. Dizaynı yanlış bir elektrot-plaka geometrisi seçimi, yanlış hava akış kontrol denetimi istenilen değerleri elde etmeyi zorlaştıracak, prosesin durması gibi istenmeyen sonuçlar doğurabilecektir. Bu çalışma tutulacak olan tozun daha dizayn aşamasında fiziksel ve kimyasal özelliğinin tanımlanıp belirli bir toz karakteristiğinde performans ve maliyete etkisi ile elektrot-plaka geometrisinin de ihmal edilmeden filtre verimine etkisini göstermek amacı ile hazırlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan toz hali hazırda çalışmakta olan bir tesiste eş zamanlı olarak üretim yapılırken emisyonla zorlanan ve elektrostatik toz tutucular tarafından tutulmuş olan tozdur. Hali hazırda çalışan sistem üzerinde ve mevcut sistem üzerindeki ekipmanlar atölye ortamında model olarak alınarak hazırlanmış ve sadece elektrostatik toz tutucunun performansının artırılması amaçlanmamış aynı zamanda maliyet ve performans optimize edilmeye çalışılmıştır.

Test yapılan sistemde darbe ile doğru gerilimin birleştirilerek verilmiş, alan şarjının doğru gerilimi ile difüzyon şarjının ise darbe gerilimi ile karşılanabileceği görülmektedir. Daha önceki araştırma çalışmaları, elektrostatik toz tutucunun performansının, elektrostatik toz tutucudaki gaz boşluğunda elektrik alanı dağılımları, uygulanan darbenin zirve gerilimi, frekansı ve taban DC gerilimi içeren darbeli koronanın parametrelerine kritik olarak bağlı olduğunu göstermiştir. Daha önceki çalışmalardan anlaşılacağı üzere elektrostatik toz tutucunun tasarımını ve çalışmasını en iyi hale getirmek için bu parametrelerin birbirlerine bağlılıklarının belirlenmesi gerekir.

Sanayimizde sürekli işletim özelliğine sahip, farklı çalışma algoritmalarına sahip, düşük çalışma maliyeti ve yüksek verim sağlayan elektrostatik filtreler halen sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrostatik filtreden en iyi verimi elde

etmenin yolu, genel olarak filtre parametrelerinin ve geometrisinin başlangıç aşamasında uygun belirlenmesiyle mümkündür.

Yanlış yapılan bir başlangıç çalışması uygun olmayan yapıda korona elektrotu, korona ve toplama elektrotları arasında hatalı uzaklık, toplama elektrotunun uygun olmayan boyutu, hava akısının tasarıma uygun olmaması, korona elektrotuna uygulanan yüksek gerilim seviyesinin ve tipinin yük durumuna ile filtre yapısına uygun olmaması filtre verimini olumsuz etkiler. Daha dizayn aşamasındaki yanlışlıklar elektrostatik filtrelerinden istenen verim elde edilmesini zorlaştıracak gibi filtrenin kullanım ömrünün de çok kısa olmasına sebep olabilir.

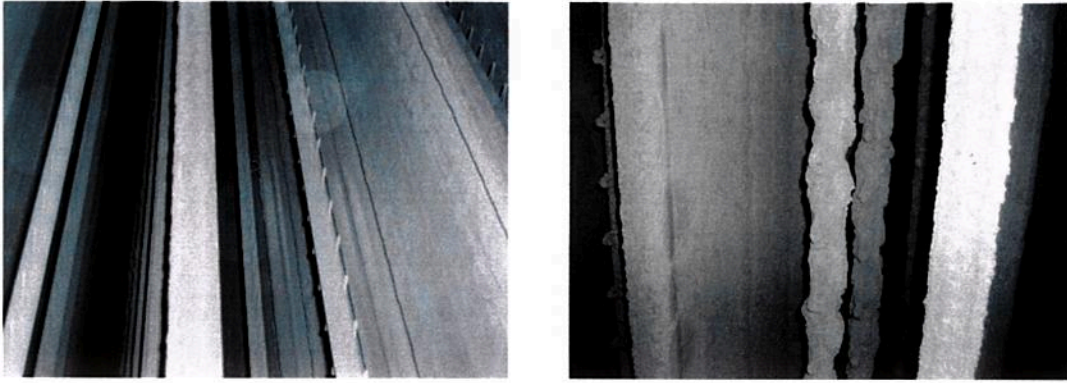
Son yıllarda gelişim gösteren teknoloji sayesinde Elektrostatik filtredeki korona elektrotları darbeli ve yüksek frekanslı gerilim ile beslenmesi, filtrenin verimini olumlu yönde etkilemekte ve geri korona etkisini azaltmaktadır. İşletme ve atölye ortamında hazırlanan deney düzeneklerinde, korona elektrotundaki çıkıntılarının (uzantılarının) farklı konumlardaki elektrik alan dağılımı incelenmiştir. Ayrıca tutulan tozun kimyasal yapısının tutma verimi üzerindeki etkileri ile korona ve emisyon akımına yaptığı etki incelenmiştir.

Yapılan incelemeler neticesinde elektrostatik filtrede daha dizayn aşamasında korona ve toplama elektrotları arasındaki uzaklığın, toplama elektrotunun uygun boyutta seçilmesinin, hava akısının tasarıma uygun olmasının, korona elektrotuna uygulanan yüksek gerilim seviyesinin ve tipinin yük durumuna göre belirlenmesinin ile filtre yapısına uygun olmaması filtre verimini olumsuz etkileyen parametreler olduğu bir kez daha ortaya çıkmakla birlikte en önemli parametrenin tutulacak tozun kimyasal ve fiziksel yapısı olduğu ortaya çıkmıştır.

Yapılan çalışmalar esnasında İşletme koşullarında, filtre içindeki nemli malzemenin, toplama ve korona elektrotuna yapışarak, elektrotlar üzerinde tabaka oluşturduğu, bu durumun korona boşalmasının uygun seviyede oluşmasına engel olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda filtre içinde oluşabilecek kısa devrelerde, akımın yüksek değerlere çıkıp gerilimin artmadığı, hat arızasında ise gerilimin yüksek değerde olup akımın artmadığı gözlenmiştir.

Elektrostatik filtre veriminde büyük öneme sahip olan korona boşalması, korona elektrot yapısına eklenen iğnelerle (tel ya da metal uzantılarla), daha erken başlamaktadır. Bu durumda parçacıkların daha iyi yüklenmesi ve toplama elektrotlarına doğru daha hızlı hareket etmesi sağlanacaktır.

ESP performansını etkileyen parametreler olarak gaz sıcaklığı, nem, gaz içerisindeki toz yükü ve toz yükünün bileşenlerinin (örneğin kireçtaşı) yanı sıra ESP tozunun tekrar proseste kullanılmasının ESP yükünü arttıracığı ve ESP tozlarının normal işletme tozlarından daha fazla yapışkan olduğunu, plaka ve elektrot yüzeylerine yapışan tozun çekiçlemeler vasıtasıyla düşürmekte zorlanılacağı bu nedenle ESP tozlarının tekrar sistemde kullanılması uygun bulunmamıştır.



a) Normal İşletme prosesi

b) Tekrar kullanım halinde işletme prosesi

Şekil 8.1. ESP içi görüntüleri.

Şekil 8.1'de ESP içi görüntüleri yer almaktadır. Yapılan incelemeler neticesinde ESP içerisinde geçen tozun plaka ve teller arası direnci direkt olarak değiştirdiği birde plaka ve tellerin istenilen şekilde temizlenememesinin doğal sonucu olarak emisyon ve korona akımının yanı sıra korona geriliminin de istenilen şekilde olmasını engellemektedir. O nedenle plaka ve tellerin ya sürekli olarak çekiçlemenin yanı sıra silkeleme (fırçalama) vasıtası ile temizlenmesinin daha uygun olacağı öngörülmektedir. ESP veriminin farklı kimyasal yapıya sahip işletme proseslerinde kullanılması durumunda işe plaka ve teller arası mesafenin kontrol edilerek arttırılacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Karsten S. Poulsen, "COROMAX TM High Voltage Power Supply for Emission Reduction and Power Savings for Sinter Strand Electrostatic Precipitators", *FLSmidth*, 89 (2010).
2. Jae Keun Lee "High Resistivity Characteristics of the Sinter Dust Generated from the Steel Plant", *630 KSME International Journal*, Vol. 15 No.5, pp. 630- 638 (2001).
3. Norbert Grass, "Fuzzy Logic-Optimising IGBT Inverter for Electrostatic Precipitators, Conference Proceedings IEEE IAS 1999 annual meeting", *Phoenix*, vol.4:2457 - 2462 (1999).
4. Balgün , Y.E. , " Elektrostatik Filtre Verimini Artırıcı Çözümlerin İncelenmesi" , Yüksek Lisans Tezi , *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , İstanbul, 11-66 (2009).
5. İnternet: Buğra Bilecen "ESP Kontrol Teknikleri" , [www.blog.bugrabilecen.com /wp-content/uploads/2012/04/lec-notes-8.ppt](http://www.blog.bugrabilecen.com/wp-content/uploads/2012/04/lec-notes-8.ppt) (2015).
6. İbrahim ÇAKMANUS, "Elektrostatik Filtrelerin (Ayrıcılar) Sayısal Akışkan Dinamiği Modellemesi Ve Ölçümlerle Karşılaştırmalar" *Çakmanus Müh. Enerji Ltd. Şti*, İstanbul (2014).
7. Prof. Dr. Fazlı ARSLAN ve Doç. Dr. Sultan ÖZTÜRK, "Toz Metalurjisi Deneyi" *Karadeniz Teknik Üniversitesi* (2009).
8. Stephen L. Francis, Andreas Bäck, Per Johansson " Reduction of Rapping Losses to Improve ESP Performance" *Alstom Power Inc*, Francis (2009).
9. ZHU Jibao, SHI Yao, ZHANG Xuming, YAN Hui, YAN Keping "Current Density and Efficiency of a Novel Lab ESP for Fine Particles Collection" *International Conference on Electrostatic Precipitation*, 65-69 (2009).
10. Guosheng, Xu, and Xu Libo. "Five Stages Electrostatic Precipitator Principles and Application." *Electrostatic Precipitation. Springer Berlin Heidelberg*, 70-72 (2009).
11. Xiaoqing, Dang, et al. "Experiment Study on Optimization of Electric Field Performance for Electrostatic Precipitator by Using Finite Element Method." *Electrostatic Precipitation. Springer Berlin Heidelberg*, 169-174 (2009).

12. Grass, Norbert, and Andreas Zintl. "Precipitator Performance Improvement and Energy Savings based on IGBT Inverter Technology." *Electrostatic Precipitation. Springer Berlin Heidelberg*, 259-263 (2009).
13. ZHANG, Binwei, Ronghua WANG, and Keping YAN. "Industrial applications of three-phase T/R for upgrading ESP performance." *Electrostatic Precipitation: 11th International Conference on Electrostatic Precipitation, Hangzhou, (2008). Springer Science & Business Media (2010).*
14. Alaca , Ö , " Elektrostatik Filtreler ve Endüstriyel Uygulamalar" , Yüksek Lisans Tezi , *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , Ankara (2007).
15. Nazaroff & Alvarez-Cohen, *Electrostatic Precipitators*, pages 447-453
16. Grass, Norbert. "Fuzzy-logic-based power control system for multifield electrostatic precipitators." *Industry Applications, IEEE Transactions on 38.5*, 1190-1195 (2002).
17. Grass, Norbert, Werner Hartmann, and Michael Klöckner. "Application of different types of high-voltage supplies on industrial electrostatic precipitators." *Industry Applications, IEEE Transactions on 40.6*, 1513-1520 (2004).
18. K.R. Parker , "Applied Electrostatic Precipitation", *Published by Blackie Academic & Professional*, ISBN 0751402664 (1997).
19. Phillip D. Boyle and Giovanni Paradiso. "Demonstration of three phase power supply for electrostatic precipitators. Proceedings of the American Power Conference" *Illinois Institute of Technology*, Chicago (1999).
20. İnternet: "Power Alstom", <http://www.power.alstom.com/>,2015 (2015).
21. İnternet: Doc. Dr. Rahmi Ünal , " Sinterleme", <http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/sinterleme/sintering.html> (2015).
22. Chan, Wanyu Rengie. "Measurement-Based Evaluation of Installed Filtration System Performance in Single-Family Homes." (2014).
23. Binwei, Zhang, Wang Ronghua, and Yan Keping. "Industrial Applications of Three-phase T/R for Upgrading ESP Performance." *Electrostatic Precipitation. Springer Berlin Heidelberg*, 276-280 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet BALIK 1976'da Kastamonu ili Pınarbaşı ilçesi Savaş Köyünde doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini Karabük' de tamamladı. Karabük Fevzi Çakmak Lisesi, Matematik Bölümü'nden mezun olduktan sonra 1993 yılında KTÜ Trabzon Meslek Yüksek Okulu Elektrik Bölümü'ne girdi ve 1995 yılında mezun oldu. 1996 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2000 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl içerisinde KARDEMİR A.Ş. 'de Elektrik Bakım Mühendisi olarak göreve başladı. 2002 yılında askerlik görevini tamamladı. Halen; KARDEMİR A.Ş. HMM ve Sinter Müdürlüğünde Elektrik Bakım Başmühendisi olarak görev yapmakta ve 2010 yılında başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı altında sürdürmektedir. Ahmet Balık, evli ve iki çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Barış Mahallesi Ermersa Sitesi
D. Blok Kat:2 5
Safranbolu / KARABÜK

Tel : 0 (505) 525 35 73
E-posta : ahmetbalik@hotmail.com
ahmetbalik@gmail.com