

**ELEKTROSTATİK FİLTRELER VE ENDÜSTRİYEL
UYGULAMALARI**

Özgür ALACA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2007
ANKARA**

Özgür ALACA tarafından hazırlanan ELEKTROSTATİK FİLTRELER VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU
Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Müh. A.D, G.Ü.

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

Prof. Dr. Mirzahan HIZAL
Elektrik Elektronik Mühendisliği A.D, O.D.T.Ü.

Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU
Elektrik Elektronik Mühendisliği A.D, G.Ü.

Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER
Elektrik Elektronik Mühendisliği A.D, G.Ü.

Tarih : 11 / 10 / 2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Özgür ALACA

**ELEKTROSTATİK FİLTRELER VE ENDÜSTRİYEL
UYGULAMALARI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Özgür ALACA

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2007**

ÖZET

Geleneksel elektrostatik toz tutucunun teorik ve teknik gelişmeleri, bu çalışmada modern tasarımı, fiziksel yapısı ve uygulamadaki performansı vurgulanarak gözden geçirilmiştir. Korona boşalması tekniğinin elektrostatik toz tutucuda kullanımı, korona boşalması parametrelerindeki ve mühendislikte modelleme prosedürlerindeki yeni gelişmelerin açıklanabilmesi amacıyla özetlenmiştir.

Elektrostatik toz tutucu teknolojisinde, partikül yükünün ve partikül hızının toz tutucu performansı üzerinde güçlü etkilerinin olduğu bilinmektedir. Daha önceki araştırma çalışmaları da kullanılarak, partikül hızı ve yükünün kontrolü için, üç farklı geometrik şekilde elektrot kullanılmıştır. Her bir elektroda negatif dc gerilim uygulanarak toz tutma kapasiteleri incelenmiştir. Farklı geometrideki elektrostatik toz tutucuların mühendislik özellikleri, tutma mekanizmaları, uygulama performansları ve maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 905.1.150
Anahtar Kelimeler : Elektrostatik Filtre, Korona Deşarjı
Sayfa Adedi : 58
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

ELECTROSTATIC FILTERS AND INDUSTRIAL APPLICATIONS
(M. Sc. Thesis)

Özgür ALACA

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

October 2007

ABSTRACT

The theoretical and technical developments of traditional electrostatic precipitator are overviewed in this research stressing its modern design and physical structure, and performance in practice. Application of corona discharge technique on electrostatic precipitator is summarized to explain new developments on corona discharge parameters and modeling procedures in engineering.

It is known that the particle charge and particle velocity has strong effects on performance of the precipitator in electrostatic precipitator technique. Using the previous research studies, three different electrodes with different geometric shapes has been used for controlling the charge and velocity of the particles. Dust precipitating capacities has been measured by applying negative dc voltage to each of the electrodes. Engineering characteristics, precipitation mechanisms, application performances and costs of electrostatic precipitators with different geometries are realized and compared to each other.

Science Code : 905.1.150
Key Words : Electrostatic Filters, Corona Discharge
Page Number : 58
Adviser : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca benden yardım ve katkılarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU' na (Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakóltesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölüm Baőkanı), 7 yıldır çalıőtıęım őirketim ilk göz ağrım Ciner Holding / Park Grubuna, maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan tüm aile fertlerime ve eőime, sadece doğdukları için Kızım Bengi ve Oęlum Emir' e teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. GELENEKSEL VE MODERN ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCU	4
2.1. Elektrostatik Toz Tutucu Temel Özellikleri	4
2.1.1. Çalışma Prensibi	4
2.1.2. Partikül Yükleme ve Toplama Mekanizmaları	5
2.1.3. Gazlarda Askıda Kalan Partiküllerin Özellikleri	7
2.2. Geleneksel Elektrostatik Toz Tutucu Teknolojisi.....	9
2.2.1. Tasarım ve Yapım.....	9
2.2.2. Uygulamalarda Görülen Performans.....	10
2.2.3. Uygulama Alanları.....	14
2.3. Elektrostatik Toz Tutucu Teknolojisindeki Modern Gelişmeler	14
2.3.1. AC Elektrostatik Toz Tutucu	14
2.3.2. İki Aşamalı Elektrostatik Toz Tutucu.....	15
2.3.3. Darbeli Enerji Besleme Tekniği.....	15
2.4. Mevcut Araştırmanın Teması.....	17

	Sayfa
3. DARBELİ ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCU	18
3.1. Darbeli Elektrostatik Toz Tutucu Tekniğinin Tarihçesi	18
3.2. Geri Korona Kavramı ve Darbeli Güç Besleme	19
3.3. Darbe Modu	20
3.4. Voltaj – Akım Özellikleri.....	21
3.5. Partiküllerin Göç Hızı ve Darbeli Güç Besleme	24
3.6. Güç Kaynağı Devreleri ve Güçlendirme Uygulamaları.....	25
3.7. DC Besleme Tekniği ile Darbeli Besleme Tekniğinin Karşılaştırılması	26
3.7.1. Çalışma Durumu	26
3.7.2. Ekonomik Yönden Değerlendirme	28
4. ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCUDA KORONA DEŞARJI	30
4.1. Korona Deşarjı Genel Tanımlar	30
4.2. Doğru Akım Koronaları	30
4.2.1. Voltaj-Akım Özellikleri	31
4.2.2. Uzay Yüğü Etkileri	33
4.2.3. Çevresel Etkiler	36
4.3. Darbeli Korona Boşalması	37
4.4. Korona Deşarjı Parametrelerinin Ölçümü.....	39
5. ELEKTROT ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİ DENEYSSEL İNCELENMESİ	42
5.1. Giriş.....	42
5.2. Deneysel Yöntemler.....	42
5.2.1. DC Voltaj Beslemesi.....	42
5.2.2. Test Hüçresi	43

	Sayfa
5.3. Araştırma Verileri	44
5.3.1. Araştırmanın Amacı	44
5.3.2. Araştırma Esnasında Takip Edilen Aşamalar	44
5.3.3. Gerilim – Akım Karakteristikleri	50
5.4. Sonuçlar	54
6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	55
7. KAYNAKLAR.....	56
8. ÖZGEÇMİŞ.....	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elektrostatik toz tutucu çalışma şekli prensip şeması.....	4
Şekil 2.2. Elektrostatik toz tutucunun parçacık boyutuna göre tutma verimi...	8
Şekil 2.3. Parçacık direncine göre göç hızı değişimi.....	11
Şekil 2.4. Korona gücüne göre tutma verim değişimi.....	12
Şekil 2.5. Negatif korona akım-gerilim karakteristiği.....	13
Şekil 2.6. İki aşamalı elektrostatik toz tutucu yapısı.....	16
Şekil 3.1. Darbe uygulanmış elektrostatik toz tutucudaki gerilim dalga şekilleri.....	22
Şekil 3.2. Darbe uygulanmış elektrostatik toz tutucudaki gerilim akım eğrileri.....	23
Şekil 3.3. Partikül direncine göre elektrostatik toz tutucunun verimi.....	25
Şekil 5.1. Tasarlanan elektrostatik toz tutucunun dış görünümü.....	47
Şekil 5.2. Tasarlanan elektrostatik toz tutucunun iç görünümü.....	47
Şekil 5.3. Tasarlanan elektrostatik toz tutucunun besleme ekipmanı.....	48
Şekil 5.4. Boru tipi yükleme elektrodu ve tutulan kül.....	48
Şekil 5.5. Yuvarlak uçlu boru tipi yükleme elektrodu	49
Şekil 5.6. Dikenli boru tipi yükleme elektrodu	49
Şekil 5.7. DC gerilim uygulanmış boru tipi elektrot konfigürasyonu için elektrostatik toz tutucunun gerilim akım karakteristiği.....	51
Şekil 5.8. DC uygulanmış yuvarlak uçlu boru tipi elektrot konfigürasyonu için elektrostatik toz tutucunun gerilim akım karakteristiği.....	51
Şekil 5.9. DC uygulanmış dikenli boru tipi elektrot konfigürasyonu için elektrostatik toz tutucunun gerilim akım karakteristiği.....	52

Şekil	Sayfa
Şekil 5.10. DC uygulanmış 3 farklı elektrot konfigürasyonu için elektrostatik toz tutucunun gerilim akım karakteristiği.....	52
Şekil 5.11. D.C. Voltaj uygulanmış 3 farklı elektrot konfigürasyonu için elektrostatik toz tutucunun toz tutma karakteristikleri.....	53

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Üç farklı geometri için akım-gerilim değerleri	50

1. GİRİŞ

Genel Bilgi ve Araştırma Hedefleri

Son yıllarda yavaşlatılamayacak kadar büyük bir hızla gelişen teknolojinin sebep olduğu çevre kirliliğine karşı çevresel bir korumaya yönelik gittikçe artan bir ilgiye tanık olmaktadır. Dört milyon kilovatlık elektrik gücüne sahip, linyit kömürü ile çalışan elektrik üretim santralleri yılda 5.000.000 ton ağır yakıt kullanmaktadır. Bu yakıt Elektrostatik Toz Tutucu kullanılmadığı takdirde ortalama % 3,5 doğal kükürt içerdiğinden, böyle bir santralden yılda 350.000 ton sülfüroz asit gazları havaya salınır (Çayırhan Termik Santrali 2006). Kömür kazanlarından salınan ince partiküllerin solunması ve bu partiküllerin akciğerlerde birikmesi kamu sağlığı için risk oluşturur. Bu çevresel sorunlar ve sağlık sorunları sonucunda sınai ve yardımcı kazanlardan salınan gazlı ve katı partiküller hakkında yasal düzenlemelerle daha sıkı kısıtlamalar getirilmiştir. Mevcut kısıtlamalar, gaz temizleme ünitelerinin verimini %99,875 değerlerinde baz alıp, toz salınımının 100 mg/m³ seviyesine düşürülmesini gerektirir. Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (27 Temmuz 2006).

Gazlardaki askıdaki maddelerin tutulması ve ayrıştırılması için kullanılan toz tutucu cihazlarının çalışma şekli açısından dört farklı temel tipi vardır: filtre tipi toz tutucu, yüksek enerjili yıkayıcı, siklon veya santrifüjlü tutucu ve elektrostatik toz tutucu. Yıllardır süre gelen pratik deneyim, elektrostatik toz tutucu' nun değişen sıcaklık ve basınç koşulları altında üstün temizleme verimi ile çalışabilen en uygun mevcut filtreleme sistemi olduğunu göstermiştir [White, 1981]. Elektrostatik toz tutucu üzerinde yapılan kapsamlı araştırma ve geliştirmeler, son kırk yıldır kanuna uygun toz emilim gerekliliklerini karşılamak için, tasarım ve performansının geliştirilmesi amaçlanarak gerçekleştirilmektedir. Gelişmiş güç kaynakları, farklı ön yükleme teknikleri, üçlü elektrot sistemleri, daha geniş elektrot aralığı, darbeli güç verme ve modülasyonu, gelişmiş elektrot tasarımı, iki aşamalı tutucu, sıcak taraf ve soğuk taraf tutucuları, ıslak tutucular, bilgisayarlı simülasyon ve mikroişlemcili kontrol yöntemlerini içeren yeni kavram ve teknikler geliştirilmiş ve pazara sunulmuştur.

Hava kalitesinin korunması ile ilgili gereksinimlerdeki hızlı değişiklikler, işlemin temel parametrelerinin anlaşılmasından ziyade, toz tutucu uygulamalarında daha fazla gelişme yapılmasını teşvik etmiştir. Tutma işleminin daha fazla inceleme gerektiren bazı yönleri:

- a) İşletme koşullarındaki çalışma parametreleri, enerjinin uygulanış biçimi ve tutucu performansı arasındaki ilişkinin tanımlanabilmesi için, hem işletme parametre değişkenliğinin hem de sebep olacağı etkilerin anlaşılması, yanı sıra işlem dinamiğinin de tamamen anlaşılmasını gerektirir.
- b) Daha hızlı partikül toplama ve daha küçük boyutlarda elektrostatik toz tutucuyu tasarlayabilmek amacıyla, tutucularda partikül yükleme ve taşımının incelenmesi.
- c) Toplanmış tozda iletim mekanizmaları ve toplanmış tozun sınırlayıcı faktör olması sebebiyle izin verilebilir elektriksel çalışma koşullarının tahmini.
- d) Partikül taşıma ve toplama mekanizmasının korona deşarjı ve gaz türbülansına etkileri.
- e) Yüksek dirençli uçucu külün toplanmasında darbeli tutucu ile sıcak taraflı ve iki aşamalı tutucunun karşılaştırılması, niceliksel değerlendirilmesi.
- f) Elektrostatik Toz Tutucunun elektrotları arası boşluktaki korona şarjının ve alanının tutma işlemi sırasındaki değişiklikleri.
- g) Geometrik şekilleri değiştirilmiş olan Elektrostatik toz tutucuların toz tutma karakteristiklerinin modellenmesi ve incelenmesi.

Tutma işlemi için temel araç olan korona deşarjı kavramı, yukarıdaki alanların hemen hepsi için ortak bir faktördür. Ayrıca elektrostatik toz tutucunun elektriksel performansının tanımı için korona deşarjı, yük taşınması ve toplama

mekanizmalarını içeren geçerli koşulların tam olarak anlaşılmasını gerektirir. Dolayısıyla esas olarak korona deşarj kavramının, elektrostatik toz tutucunun başarılı bir şekilde uygulanması ve geliştirilebilmesi için tamamen anlaşılması önemlidir.

Mevcut araştırma çalışmasının iki amacı vardır:

(I) Daha önceden yayınlanmış olan araştırmalar incelendi:

(a) Farklı çalışma şartları altında korona deşarjını, yük taşınmasını ve elektrostatik toz tutucunun toplama proseslerini açıklayan uygun mühendislik modellerindeki gelişmeler incelendi.

(b) Performans, maliyet ve güçlendirme uygulamaları açısından elektrostatik toz tutucu teknolojisi üzerinde farklı geometrik şekillerin etkisini açıklamak için yayımlanmış literatür araştırıldı.

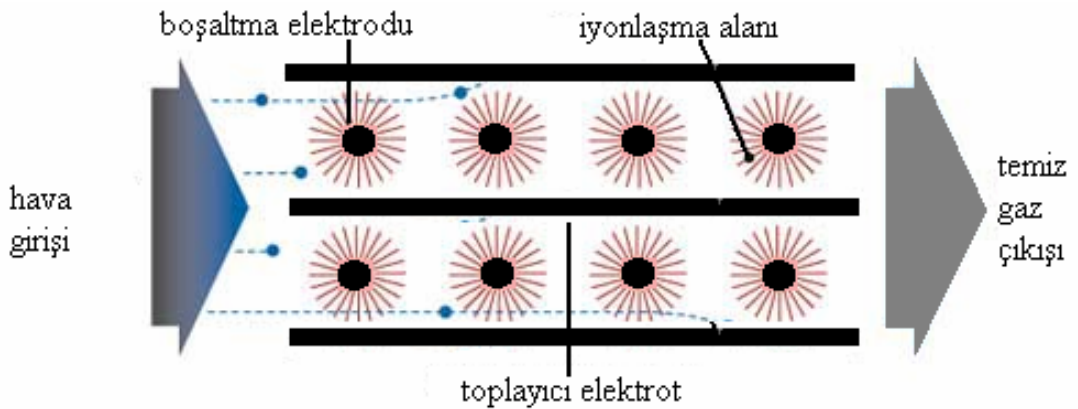
(II) Tasarım uygulamaları için uygun mühendislik modellerini geliştirmek amacıyla farklı geometrik şekillere sahip elektrot ve plakalar kullanılarak elektrostatik toz tutucunun uygulamalı konfigürasyonlarındaki korona deşarjı, korona boşluk yükü taşınması ve toplanması deneysel ve kuramsal incelendi.

2. GELENEKSEL VE MODERN ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCU

2.1. Elektrostatik Toz Tutucu Temel Özellikleri

2.1.1. Çalışma prensibi

Elektrostatik toz tutucunun çalışması ile ilgili ana prensipler literatürde ayrıntılı açıklanmıştır [White, 1963; Cook, 1985; Oglesby and Nichols, 1978]. Şekil 2.1’ de gösterildiği gibi elektrostatik toz tutucu, aralarına tellerin (verici elektrotlar) yerleştirildiği ve yüksek seviyelerde negatif polariteli doğru gerilim ile sağlanan topraklanmış paralel levhalar (toplama elektrotları) içerir. Verici elektrotlar etrafında korona deşarjı, gaz tüpündeki negatif polaritenin iyonik şarj enjekte edilmesiyle biçimlendirilir. Elektrostatik etkileşimden dolayı, elektrikle yüklenen kül partikülleri çekilir. Elektrik alanı ile şarjlı partiküller arasındaki etkileşim, yüklü partikülleri toplama elektrotuna doğru hareket ettirir ve sonra bu toplama elektrotu üzerinde bu partikülleri biriktirir. Yeterli miktarda kül partikülü levhalar üzerinde biriktiğinde bunlara hafifçe vurulur ve kül, yapının alt kısımlarında inşa edilen silolarda toplanır ve sonra tutuculardan atılır.



Şekil 2.1. Elektrostatik toz tutucu çalışma şekli prensip şeması

2.1.2. Partikül yükleme ve toplama mekanizmaları

Partikül yükleme elektrostatik tutma işleminde esas adımdır, çünkü toplama elektrotuna doğru partikülleri sevk eden güç, uygulanan elektrik alanı ve partikül şarjının büyüklüğü ile orantılıdır. Yükleme işleminde iki mekanizma yer alır: alan şarjı ve difüzyon şarjı. Her iki mekanizma yükleme işleminde etkin olmasına rağmen her birinin önemi partikül boyutuna dayanır. Alan şarjı 0,5 μm ' dan daha büyük yarıçaplı partiküllere hükmederken difüzyon şarjı ise 0,2 μm ' dan daha küçük yarıçaplı partiküllere hükmeder [Boehm, 1982; Mclean, 1988]. Birleşik yükleme mekanizmaları aşağıdaki eşitlikle verilen toplam partikül yükleme oranına yol açar [Oglesby and Nichols, 1978].

$$\frac{dq}{dt} = \frac{q_s}{\tau} - \frac{2q}{\tau} + \frac{q^2}{q_s \tau} + a^2 e N_0 \sqrt{\frac{8KT\pi}{m}} \exp\left(-\frac{qe}{aKT}\right) \quad (2.1)$$

Burada q_s gaz akışında ilerleyen bir partiküle verilebilen maksimum şarj veya doyma şarjıdır ve aşağıdakiler ile verilir:

$$q_s = 12 \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r + 2} \pi \epsilon_0 a^2 E_c^2 \quad (2.1.a)$$

ϵ_r = ortamın nispi yalıtkanlık sabiti.

ϵ_0 = boşluk yalıtkanlık sabiti.

E_c = yükleme alanı.

τ = rahatlama süresi sabiti, $\tau = \frac{4\epsilon_0}{N_0 e \mu}$

N_0 = molekül yoğunluğu.

μ = partikül hareketliliği.

e = elektron şarjı.

K = Boltzmann sabiti.

m = partikül kütlesi.

T = sıcaklık, °K

a = partikül yarıçapı.

Tutma işlemindeki ikinci esas basamak şarjlı partiküllerin toplanmasıdır. Bu kuvvetin yönü yükün polaritesine ve uygulanan alanın yönüne bağlıdır. Dolayısıyla toplama yoğunluğu, partikül şarj sonucuna ve toplama alanının yoğunluğuyla orantılıdır. Elektrostatik kuvvetlere ek olarak yüklü partiküller yerçekimi, viskozite ve eylemsizlik kuvvetlerine tabidir. Partikül kinetik kuramından anlaşılacağı gibi E_p toplama alanında, q yüküne sahip bir partikül için, alan yönünde kat edilen mesafe şu eşitlikle verilir.

$$z = \frac{q\varepsilon_p \rho_p d_p}{54\pi v^2} \left[\frac{t}{\tau} - (1 - e^{-t/\tau}) \right] \quad (2.2)$$

Burada ρ_p = partikül yoğunluğu, d_p = partikül çapı, v = gaz viskozitesi şeklindedir. Bu partikülün hızı, “göç hızı” olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$\omega = \frac{q\varepsilon_p}{6\pi a v} \quad (2.3)$$

Elektrostatik toz tutucu toz toplama verimi ise aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\eta = 1 - e^{-\lambda} \quad (2.4)$$

Burada λ , çöktürücü tasarımı ve tozun fiziki özellikleri ile ilgili çeşitli faktörlere bağlı olan bir parametredir. Bu eşitliğin açık bir biçimi Alman eşitlikte şöyle verilmiştir:

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{\omega A}{Q}\right] \quad (2.5.a)$$

Buradaki A toplama alanı olup Q ise gaz akışı hacmidir. A/Q oranı spesifik toplama alanı olarak ifade edilir. Göç hızı partikül çapı, partikül yükü, toz ve toplama alanı yoğunluğu tipi gibi pek çok faktörden etkilenir. [White, 1963; Mclean, 1988]. Bu etkileri oluşturmak için verilen Alman eşitliğinde iki alternatif değişiklik

kullanılmıştır. İlk eşitlik “etkili göç hızı” (ω_e) terimini kullanır ve şu şekilde ifade edilir:

$$\eta = 1 - \exp\left[(-A/Q)\omega_e\right] \quad (2.5.b)$$

ω_e değeri, zor toz için 30 mm/s ile 120 mm/s arasında değişirken, kolay tozlar için daha fazla aralıklarda değişiklik gösterir. Yukarıdaki eşitlikle ilgili sorun ω_e ' nin aynı partikül boyutu için sabit olmamasıdır ve bunun sonucu olarak ikinci bir alternatif eşitlik sunuldu;

$$\eta = 1 - \exp\left[(A/Q)\omega_k\right]^k \quad (2.5.c)$$

Bu eşitlikte, uçucu kül için $k=1,5$ 'tur. Bu eşitliğin, büyük çaplı verimler için daha kesin kabuller elde ettiği ve partiküllerin boyut dağılımını dikkate aldığı belirtilmiştir. ω_k değerleri; zor toz için 15 mm/s, kolay toz için 180 mm/s arasında değişiklik gösterir.

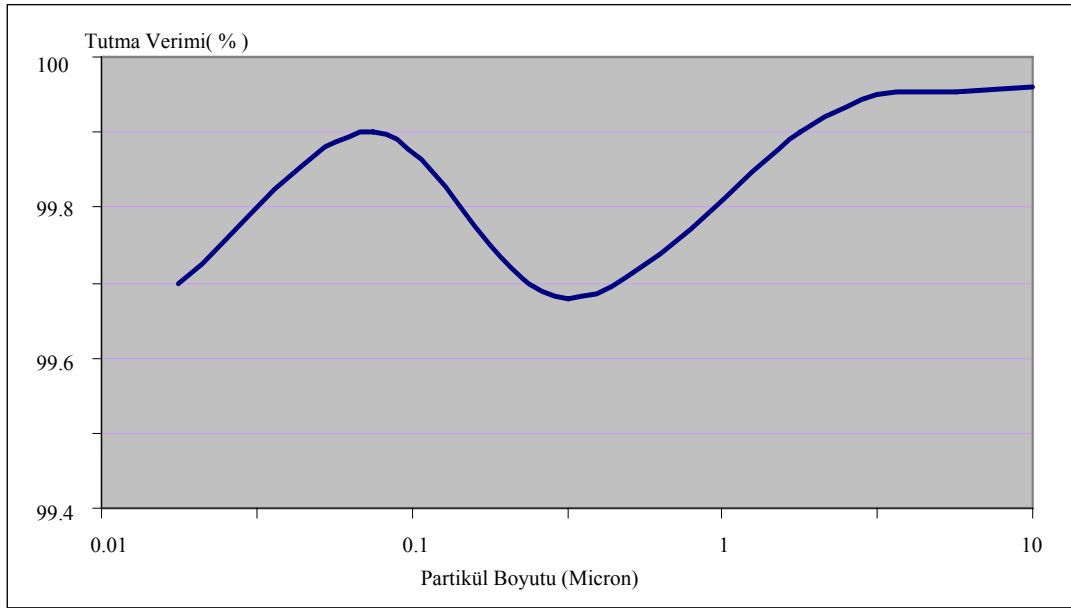
2.1.3. Gazlardaki askıda kalan partiküllerin özellikleri

Gazlardaki askıda kalan partikül özelliklerinin tanımının detaylı yapılabilmesi, toplama için etkili araçların kullanılabilmesi açısından esastır. Elektrostatik tutucu için önemli özellikler; partikül boyutunu, şeklini, optik özelliklerini, çöktürme oranını, yüklenme ve yüklenmeyi emebilme oranını, yoğunluğunu ve elektrik direncini içerir. Etkili göç hızının belirlenmesinde ve elektrostatik toz tutucunun toplama veriminin belirlenmesi için boyut, yoğunluk ve direnç baskındır. Elektrostatik toz tutucunun 0,1 μm kadar küçük çaplardaki partikülleri tutabildiği gösterilmiştir (Şekil 2.2). Partikül boyutu yükseldikçe, kuru tutma işlemi için 4 ile 5 μm arasında, göç hızı için en düşük azalmayı sergileyerek küçük değerlerde azalma gerçekleşir. Islak çökeltme için en düşük azalma miktarı yaklaşık 1 μm ' de gerçekleşir. Bu en küçük azalma değerlerinin varlığı, alana bağımlı şarjdan difüzyon

şarjına geçişe bağlanır. Ayrıca yüksek yoğunluklarda etkili göç hızının, partikül boyutu ne olursa olsun daha yüksek olduğu da belirtilmiştir. [White, 1981; Lodge Sturtevant, 1995].

Partikülün elektriksel direnci iki sebepten dolayı tutma işleminde önemli bir rol oynar;

- i) Kollektör yüzeyinde toplanan yüksek dirençli ($<10^{10}$ Ωcm) partiküller, ark eşik değeri geriliminde bir azalmaya dolayısıyla Elektrostatik toz tutucu performansında azalmaya sebep olarak, elektrostatik toz tutucuda gerçekleşecek geri korona deşarjına sebep olur.
- ii) Düşük dirençli ($<10^6$ Ωcm) partiküller ise aşırı topaklaşmalara ve dolayısıyla düşük elektrostatik toz tutma verimine sebep olur.



Şekil 2.2. Elektrostatik toz tutucunun parçacık boyutuna göre tutma verimi [Lodge Sturtevant, 1995]

2.2. Geleneksel Elektrostatik Toz Tutucu Teknolojisi

DC güç beslemesi yapılan elektrostatik tutma, hava kirliliği kontrolünün etkili bir aracı olarak dünyada yerleşmiş bir teknolojidir. Bu teknolojinin genel biçimi, 1907’ de piyasaya sürülmesinden beri temel olarak değişmemiştir. Ancak yıllar boyunca yapılan araştırmalarda, bileşen tasarımının geliştirilmesi ve sürecin anlaşılmasının üzerine yoğunlaşmıştır. Otomatik tristör kontrollü gelişmiş güç kaynakları, mekanik tasarım, vurma teknikleri ve gaz akışı kontrolü ile ilgili büyük gelişmeler elde edilmiştir. Çok daha yüksek elektrostatik toz tutma verimi elde etmek için, pozitif korona ile karşılaştırıldığında negatif korona deşarjının avantajlarının tanımlanması da büyük önem taşır. Elektrostatik toz tutucunun elektrik koşullarını açıklayan mühendislik modelleri, bilgisayarlı simülasyon ve cihaz kontrolü kolaylaştırarak geliştirilmiştir. Araştırma çalışması ile ilgili korona deşarjı ayrıntılı olarak Bölüm 4’ te anlatılacaktır. Aşağıda geleneksel elektrostatik toz tutucu teknolojisinin diğer ana yönleri kısaca incelenecektir.

2.2.1. Tasarım ve yapı

Güç kaynakları

Geleneksel elektrostatik toz tutucu için modern güç kaynağının ana bileşenleri şunlardan oluşur [Kuffel ve ark., 2000; Lodge Sturtevant, 1995] :

- a) Elektrostatik toz tutucuya uygulanan gerilim dalga şeklini değiştirebilen, akımını değiştirebilen, devreye bir seri reaktör yardımıyla bağlanan, negatif çıkış gerilimi sağlayan tristör kontrollü transformatör-doğrultmaç seti.
- b) Farklı çalışma koşulları altında elektrostatik toz tutucu performansını optimize eden mikroişlemci tabanlı bir otomatik kontrolör. Bildirildiği gibi kaynak bir L-C dönüştürme devresine dayanır ve yüksek değerli bir güç faktörüne sahip olup kolayca kontrol edilebilir, kurulabilir ve korunabilir.

Tasarım teknikleri

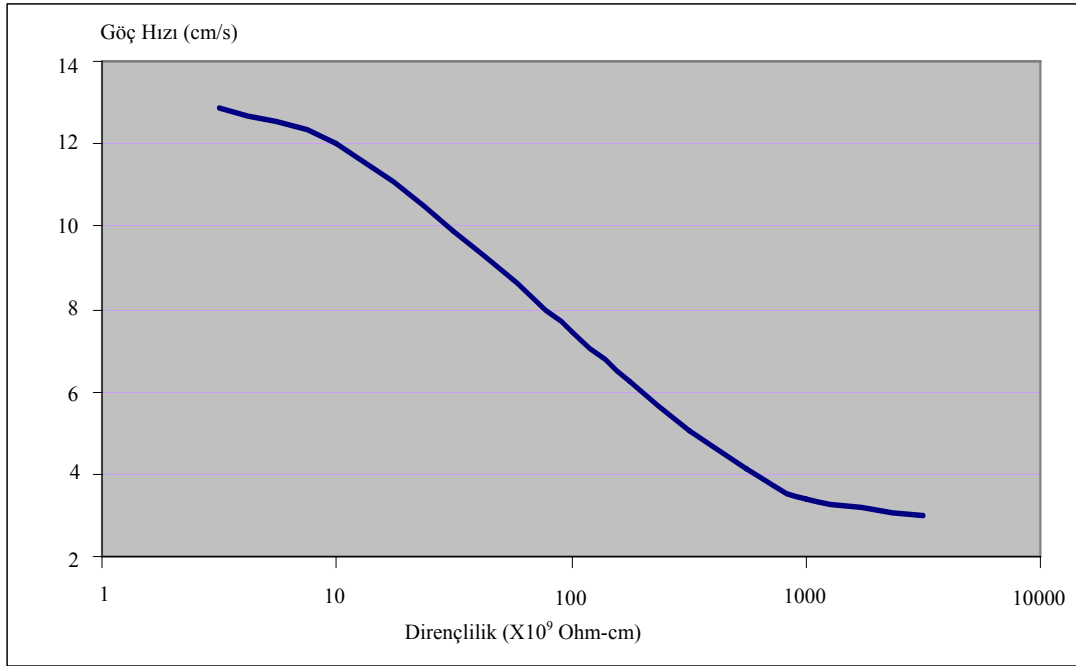
Elektrostatik toz tutucu için temel tasarım problemi, özel seviyelerde performans sağlamada kullanılacak elektrik parametrelerinin ve ana boyutlandırmayı belirlemektir. Elektrostatik toz tutucu için çeşitli tasarım teknikleri literatürde pek çok kaynakta belgelenmiştir [White, 1963; Oglesby and Nichols, 1978; White, 1981; Nichols, 1978]. Elektrostatik toz tutucu tasarımının klasik yaklaşımı, Alman eşitliğine ve tasarım parametrelerinin esas davranışının göz önüne alınarak, bu eşitliğe sonradan yapılan değişikliklere dayanır. Partiküllerin ve belli toplama alanının etkili olduğu göç hızı, elektrostatik toz tutucunun veriminin belirleyici faktörleridir. Yasal olarak istenen emisyon sınırlarının ortaya çıkması cihazın tasarım metodolojisinde devrimsel nitelikte değişikliklere yol açmıştır. Elektrostatik toz tutucunun performansı üzerinde tozun elektriksel dirençliliklerindeki değişimlerin etkisini oluşturmak için istatistiksel bir tasarım yaklaşımı kullanılmıştır. Güvenilir bir tasarım metodolojisi, bir elektrostatik toz tutucu ile donatılan benzer kurulumlar üzerindeki gerçek testlerden ileri gelir. Ancak ideal olan elektrostatik toz tutucu tüm değişken parametreleri göz önüne alan teorik ilişkilere dayanarak tasarlanmasıdır. Bu amacı gerçekleştirmek üzere uygulamaya yönelik ve yararlı sonuçlar sağlayan elektrostatik toz tutucu performansını açıklamak için birkaç mühendislik modelleme işlemi geliştirilmiştir [Canadas ve ark., 1995; Mizuno ve Davis, 1990].

2.2.2. Uygulamalarda görülen performans

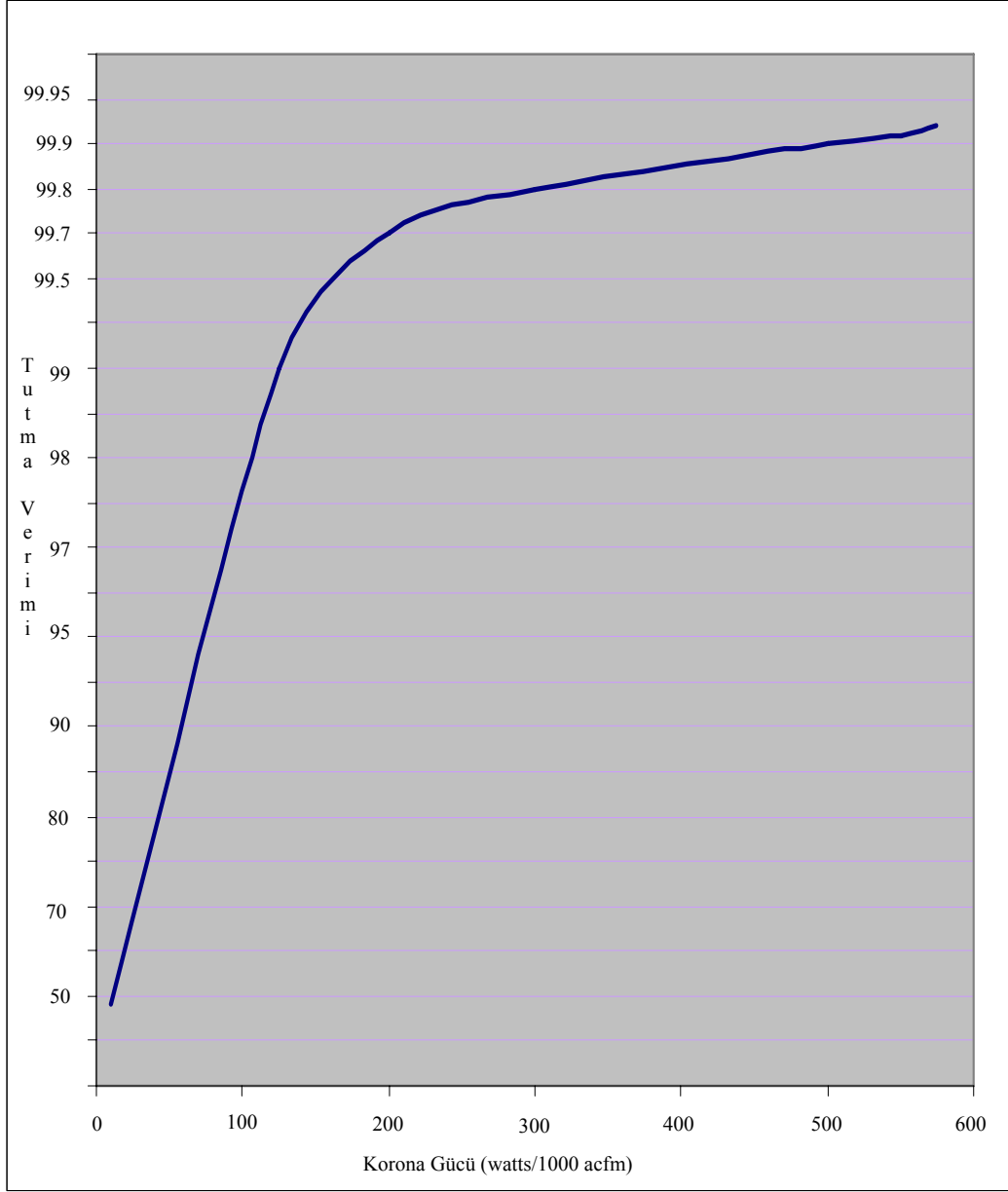
Genel olarak tutucu performansı, belli çalışma koşulları altında toplama verimine, uzun süreli güvenilirliğe ve toplama etkinliğinden belirgin kayıplar olmaksızın tesisin çalışma koşullarındaki normal değişiklikleri karşılayabilme yeteneğine ile açıklanır [White, 1981]. Uygulamada pek çok faktör elektrostatik toz tutucunun performansını belirler. Hem araştırma çalışması hem de tecrübeler göstermiştir ki elektrostatik toz tutucu için partikül toplama verimi toz partikülün boyutundan etkilenmektedir [Hartmann ve ark., 2000; McClean, 1988; Oglesby and Nichols, 1978; Lodge Sturtevant, 1995]. Şekil 2.2 partikül boyutuna göre verimdeki oransal değişimi gösterir. Bu tip bir değişime yol açan faktör, daha önce belirtildiği gibi partikül

boyutu ile benzer değişimi gösteren etkili göç hızıdır. Küçük olduğu kadar büyük boydaki partiküller için de maksimum verim alınabileceği Şekil 2.2' te açıktır. Göç hızı Şekil 2.3' te gösterildiği gibi tozun direncinden de etkilenir. Çalışma sıcaklığı da elektrostatik toz tutucunun verimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

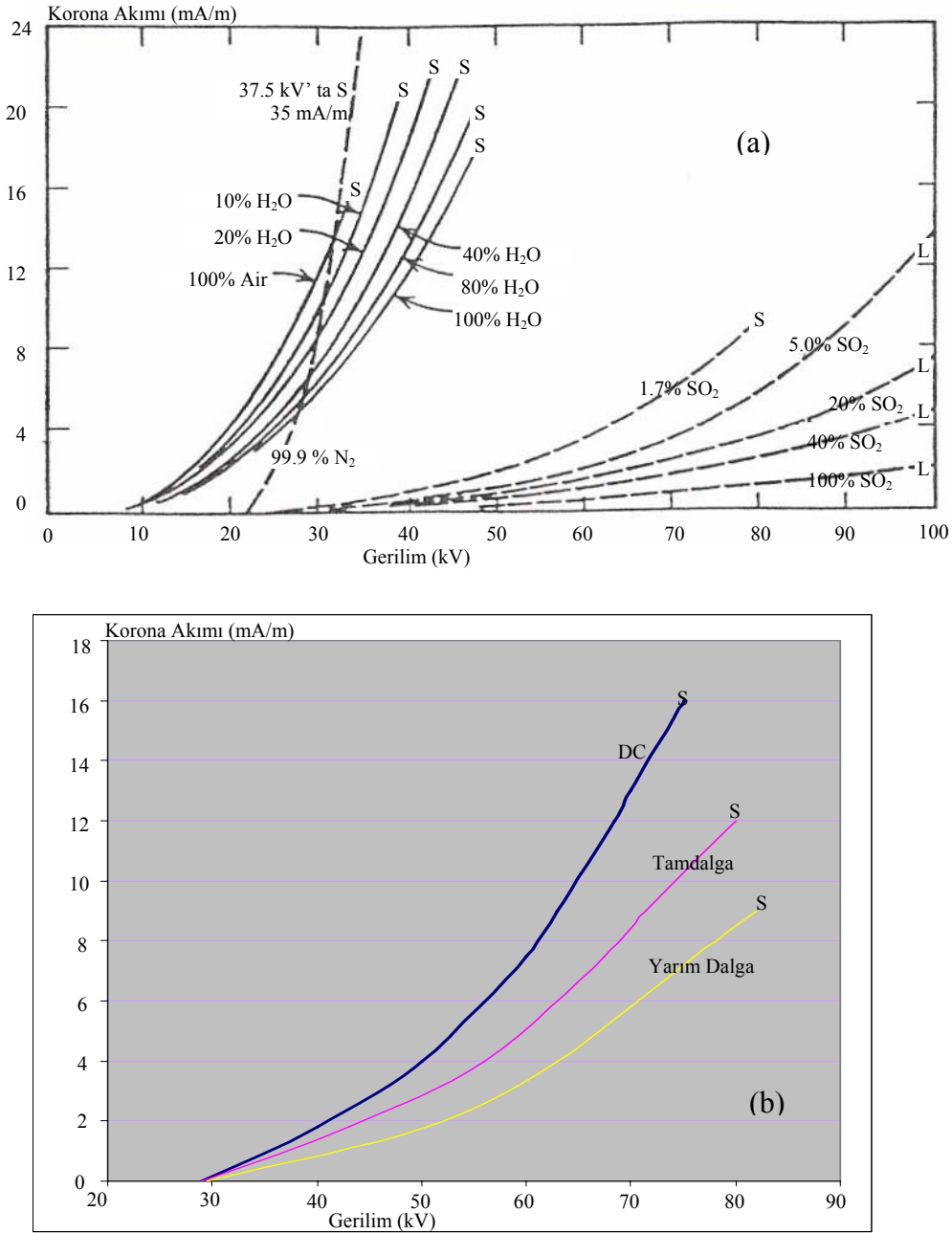
Elektrik koşulları da elektrostatik toz tutucunun performansının belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Önemli bir elektrik parametresi ise, işlenen gazın birim hacim başına düşen korona gücü olarak tanımlanan, belirgin korona gücüdür [White, 1981]. Genelde elektrostatik toz tutucu verimi, Şekil 2.4' te görüldüğü gibi belli korona gücü ile belirgin şekilde yükselir. Ayrıca elektrostatik toz tutucu verimi, gerilim-akım özellikleri, uygulanan gerilimin dalga şekli ve gaz bileşenlerinden de etkilenir. Bu etkiler Şekil 2.5' de görülmektedir.



Şekil 2.3. Parçacık direncine göre göç hızı değişimi [White, 1981]



Şekil 2.4. Korona gücüne göre tutma verim değişimi [White, 1981]



Şekil 2.5. Negatif Korona Akım-Gerilim Karakteristiği.

(a) Çeşitli gazların ortama eklenmesi yöntemi (b) Gerilim Dalga boyu fonksiyonu olarak normal hava ortamında. [Moore, 1973]

L: Güç besleme limit gerilimi, S : Ark eşik değeri

2.2.3. Uygulama alanları

Endüstriyel uygulamalarda, geniş sınırlara sahip olan elektrostatik toz tutucu kullanmanın avantajları arasında; çok çeşitli partikül boyutu üzerinde yüksek toplama verimi, düşük çalıştırma maliyeti, çeşitli çalıştırma sıcaklıkları, kontrol edilebilirlik, güvenli çalıştırma, tasarım ve iyileştirme kolaylığı yer alır. Temel uygulamalar arasında, petrol ve kömürle çalışan güç üretim santrallerinde uçucu külün duman gazlarından ayrılması, çimento değirmenlerinden tozun temizlenmesi, gazlardan atıkların alınması, tavlama ocakları, kurutucular ve genel olarak sınıai gazların temizlenmesi bulunur. Elektrostatik toz tutucu ayrıca bakır, teneke, çinko, kömür ve tungsten gibi metalik oksitleri geri kazanmak için metalürjide ve sodyum sülfatı geri kazanmak için kağıt sanayi deki kağıt hamuru ezme makinelerinde kullanılır [White, 1981; Abdel, 2003].

2.3. Elektrostatik Toz Tutucu Teknolojisindeki Modern Gelişmeler

2.3.1. AC elektrostatik toz tutucu

AC elektrostatik çöktürücü şu anda sınıai uygulamalarda bilinmemektedir. Uzak yükü üretme ve taşıma dahil ac korona boşalmasının bazı temel özelliklerini açıklayan bazı incelemeler yapılmıştır [Mizuno, 1990; Golkowski, 1995]. Ehrlich ve Mechler, 1988 tarafından yapılan bir araştırma çalışmasında, ac gerilimi ile beslenen laboratuvar ölçekli tek aşamalı elektrostatik toz tutucunun, toplama verimi incelenmiştir [Masuda, 1988]. Belli bir rms geriliminde, 60 Hz besleme ile, partiküllerin etkili göç hızı; aynı gerilim seviyesinin negatif dc besleme kullanılarak ölçülenin, %28' i olarak bulunmuştur. Yazarlar; bu göç hızıyla, bir ac elektrostatik toz tutucunun dc emsallerini 10^{12} Ω cm partikül direnci fazlasıyla geçebildiği sonucuna varmışlardır. Yazarlar, ac elektrostatik toz tutucunun partikül toplama yeteneğini incelemelerinde göstermelerine rağmen böyle bir cihazın geleneksel elektrostatik toz tutucu ile elde edilenden daha fazla verim ile yüksek dirençli partikülleri topladığını belirten kesin bir kanıt öne sürmemişlerdir. Ancak sınıai durumları daha yakından simüle eden koşullarla birlikte daha fazla deneye dayalı

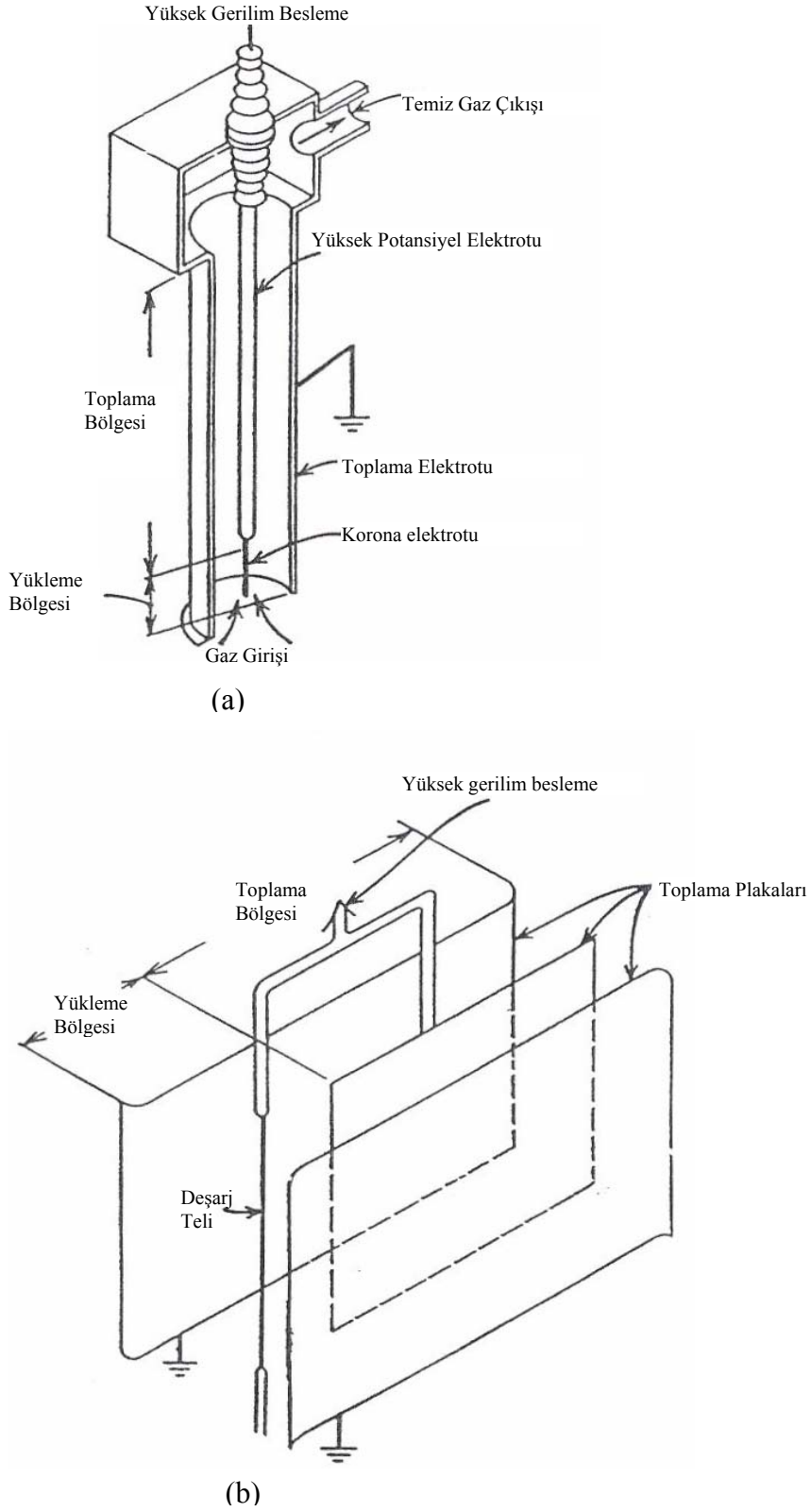
araştırma gerekmektedir. Böylece partikül emisyon kontrolündeki AC elektrostatik toz tutucu uygulamalarının fizibilitesi değerlendirilebilir.

2.3.2. İki aşamalı elektrostatik toz tutucu

Elektrostatik toz tutuculardaki geri korona boşalması problemini çözmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler, bu çalışmada ayrıntılı incelenecek olan sıcak taraflı elektrostatik toz tutucu, gaz şartlandırma [Peter, 1988; Cook, 1985], iki aşamalı tutma [Lausen ve ark., 1991; Masuda and Hosokawa, 1988] ve darbeli güç vermedir. İki aşamalı tutma kavramı elektrostatik toz tutucu teknolojisinin ilk aşamalarında kavranmıştır ve son yıllarda çokça araştırmanın ilgi konusu olmuştur. Şekil 2.6 iki aşamalı elektrostatik toz tutucunun boru şeklinde ve tabakalı tiplerinin yapısını gösterir. Böyle bir cihazda yükleme ve toplama fonksiyonları ayrılır. Partiküller ilk olarak ön yükleyici veya iyonlaştırıcıda yüklenir ve sonra yüksek elektrik alanları ile ayrıştırılacakları bir toplayıcı bölümünden geçirilirler. İki aşamalı elektrostatik toz tutucuyu kullanmanın avantajı, küçük ön yükleme bölümlerinin uygulanmasının, tek aşamalı elektrostatik toz tutucuya göre daha pratik olmasıdır. Ayrıca toplama kısmı korona üretilmeden yüksek elektrik alanlarını üretecek şekilde tasarlanabilir ve böylece kollektör kısmında geri iyonlaştırmayı ortadan kaldırır. Önyükleyicinin çeşitli tipleri deneme bazında geliştirilmiş ve pek çok yayında incelenmiştir [Lausen, 1991; Maclean, 1988].

2.3.3. Darbeli enerji besleme tekniği

Darbeli enerji verme kavramının, diğer tekniklerle karşılaştırıldığında teknik olduğu kadar ekonomik avantajları olan elektrostatik toz tutucularda geri korona sorununu çözmek için verimli bir şekilde kullanılabilirdiği gösterilmiştir. Bu yeni teknolojinin bağımsız incelemesi Bölüm 3’de sunulmuştur.



Şekil 2.6. İki aşamalı elektrostatik toz tutucu yapısı
 (a) Silindirik Tip (b) Plaka Tipi [Moore, 1973]

2.4. Mevcut Araştırmanın Teması

Elektrostatik tutma işleminde yer alan her bir fiziksel işlemi doğru şekilde tanımlayan mühendislik modellerine duyulan ihtiyaç son yıllarda önem kazanmıştır. Bu tip modellerin var olması elektrostatik toz tutucunun verimli tasarımı, gelişmesi ve kontrolü açısından vazgeçilmezdir. şu anda çeşitli elektriksel parametrelerin birbirine bağımlılığını açıklamak, elektrot ve plaka geometrik şekil değişikliği gibi modellemelerin gerekli olduğu görölmektedir. Dolayısıyla mevcut araştırma farklı geometrik şekilli elektrot ve plakalara sahip elektrostatik toz tutucunun korona boşalması davranışını açıklayan mühendislik modellerini geliştirerek bu teknolojinin gelişimine katkıda bulunmayı amaçlar.

3. DARBELİ ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCU

3.1. Darbeli Elektrostatik Toz Tutucu Tekniğinin Tarihçesi

Literatürdeki incelemeler elektrostatik toz tutucunun darbeli enerji verme kavramının 70 yıldan daha eskiye dayandığını göstermektedir [Lausen, 1981]. Yaklaşık yirmi yıl sonrasında elektrostatik toz tutucu uygulamaları için darbeli enerji verme sisteminin başarılı bir uygulamasını rapor ederek başka bir araştırma çalışması yayımlandı [White, 1963]. Bu sistem, anahtarlamayı sağlamak için bir döner ark aralığından yararlandı. 70' lerin başında petrol sıkıntısından kaynaklanan dünya enerji politikasındaki değişim sanayilerin gittikçe artan oranda yakıt olarak kömür kullanmasına sebep oldu. Bu da düşük kükürlü kömürün yanmasının sebep olduğu hava kirliliği hakkında halkta genel bir endişe oluşmasını sağladı ve sıkı kirlilik karşıtı mevzuatlar sunuldu. Enerji üretmek amacıyla düşük kükürlü kömür gibi maddeleri yakmak, bilindik de güçlü tutucularla toplanamayan partiküllerin salınmasına sebep oldu. Bu sebeple düşük elektrostatik toz tutucu boyutu ve maliyeti ile yüksek verim talebini karşılamak amacıyla tutma teknolojisini geliştirmek için dünya çapında yüksek seviyede araştırma faaliyetlerini tetikleyerek, elektrostatik toz tutucu sanayine bir yöneliş başladı. Prensipite, herhangi proses koşulunu ve istenilen verimliliği karşılayacak bir elektrostatik toz tutucu yapılandırmak mümkün idi [Peterson, 1981]. Ancak yüksek dirençli tozun ($>10^{10}\Omega\text{cm}$) tutulması elektrostatik toz tutucu boyutunda önemli bir artış veya santral koşullarının değiştirilmesini gerektirdi. Elektrostatik toz tutucunun toplama performansını iyileştirmek için birçok yöntem geliştirilmiştir fakat bunlardan bazısının kullanımı pratik olmuştur. Genelde yüksek dirençliliği yendiği bildirilen yöntemler birkaç temel kategoriye ayrılabilir [White, 1963; Oglesby and Nichols, 1978; White, 1981; Lausen ve ark., 1979; Petersan, 1981; Masuda and Hosokawa, 1988; Mok ve ark., 2001]. Bunların arasında;

- a) Hareketli kayışlı elektrotlar veya döner fırçalar kullanılarak toplama yüzeyini tozsuz tutma,

- b) Sodyum karbonat, sülfür trioksit ve amonyak gibi katkı maddeleri kullanılarak gaz şartlandırma,
- c) 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,
- d) Hızla akıtılan su veya ıslak film toplama elektrotları kullanımı,
- e) Özel yükleme ve toplama bölümleri olan iki aşamalı tutucuların kullanımı,
- f) AC ve darbeli çöktürme kullanan elektrikli yöntemler yer alır.

Yakın geçmişte bu teknolojinin gelişimine yönelik çok büyük katkılar yapılmıştır. Yeni gelişmelerin ışığında elektrostatik toz tutucunun boyutu, performansı ve maliyeti üzerinde darbeli güç vermenin etkisini formüle etme ve tanımlama amacıyla bilimsel tartışma devam etmektedir. Bu yeni teknolojinin uygulanmasında yer alan birçok değişkenle halen optimizasyonu kolaylaştıran sağlam bilimsel nedenlere ihtiyaç duyulmaktadır.

3.2. Geri Korona Kavramı ve Darbeli Güç Besleme

Elektrostatik toz tutucuda darbeli güç beslemesi kullanmanın temel amacı, geri korona iyonlaşması sorununu çözmektir. Bu sorun, giriş bölümünde bahsedildiği gibi yüksek dirençlilik partiküllerini toplamak için elektrostatik toz tutucu gerektiğinde öne çıkar. Böyle bir durumda akım yoğunluğu ve direnç sonucunda, kollektör elektrotunda toz tabakasının elektriksel delinme mukavemetinden fazla değerlere ulaşabilir [Milde, 1982]. Ortaya çıkan delinme, negatif yüklü partiküllere doğru geri seyahat eden pozitif iyonlar üretir ve böylece kısmen yüklerini dengeler. Laboratuar koşullarında, gaz boşluğuna geri korona tarafından enjekte edilen pozitif iyonların negatif iyon akışının %60' ına kadar ulaştığı gösterilmiştir [Mclean, 1988]. Toz

tabakası delinmesi ile alakalı kıvılcımlar, toplama elektrotta toz birikimlerine zarar verir, böylece elektrostatik toz tutucunun çıkışına doğru ilerletilen toz miktarını artırır [Miller ve ark., 1998]. Geri korona ile ilgili diğer etkiler, elektrostatik toz tutucu geriliminin, dolayısıyla elektrik alanının azalmasını ve elektrostatik toz tutucunun güç tüketiminin artmasını içerir [Petercastle, 1988; Lausen ve ark., 1979]. Bu etkiler elektrostatik toz tutucunun toplama verimini olumsuz yönde etkiler. Salasoo, 1989; tel plakalı elektrostatik toz tutucunun veriminin, 100GΩ direnç değerine sahip toz tabakasının varlığı ile yaklaşık %50 düştüğünü deneysel olarak gösterdi [Salasoo, 1989]. Toplama verimini geri kazandırmak için uygulanan gerilimi artırmak, elektrostatik toz tutucunun delinmesine veya daha fazla geri korona oluşmasına sebep olur. Geri koronanın üstesinden gelmek için uygulanan gerilimi indirmek ise korona gücünde azalmaya sebep olur ve böylece verimi de düşürür.

Elektrostatik toz tutucunun yüksek verimli çalışmasını sağlama ve bunun sürdürülmesi için, korona elektrotunun yanında oluşturulan yüksek elektrik alanı sayesinde aşırı yüklü partiküllerin oluşturulur ve elektrotlar arası boşlukta düzenli bir elektrik alanı oluşturarak partikül taşınması ve toplaması sağlanır. Geleneksel elektrostatik toz tutucuda her iki işlev de DC gerilimi beslemesi ile gerçekleştirilir. Bu oldukça karmaşık gereklilikleri karşılamak için darbeleri güç verme tekniği kullanılmıştır. Cihaz, üzerine darbeleri bir gerilim eklenen, sabit bir doğrudan gerilim ile beslendiğinde iki işlevin ayrıştırılabilmesi de sağlanmıştır. Partikül yükleme darbeleri gerilim bileşeniyle gerçekleştirilirken partikül taşınması da doğrudan gerilim bileşeni ile gerçekleştirilir.

3.3. Darbe Modu

Darbeleri tutma üzerinde gerçekleştirilen kapsamlı araştırma çalışmasına rağmen, darbeleme stratejisinin en etkili yolu hakkında genel bir söz birliği yok gibi görünmektedir. DC tabanının üstüne uygulanan darbe dizisi üç ana değişken ile karakterize edilir: darbenin genliği, darbe genişliği ve darbe frekansı. Şekil 3.1' de gösterildiği gibi pratikte elektrostatik toz tutucu sistemlerinde çok çeşitli dalga şekilleri kullanılmıştır. Cihazın en iyi şekilde çalışması için uygulanan gerilimin

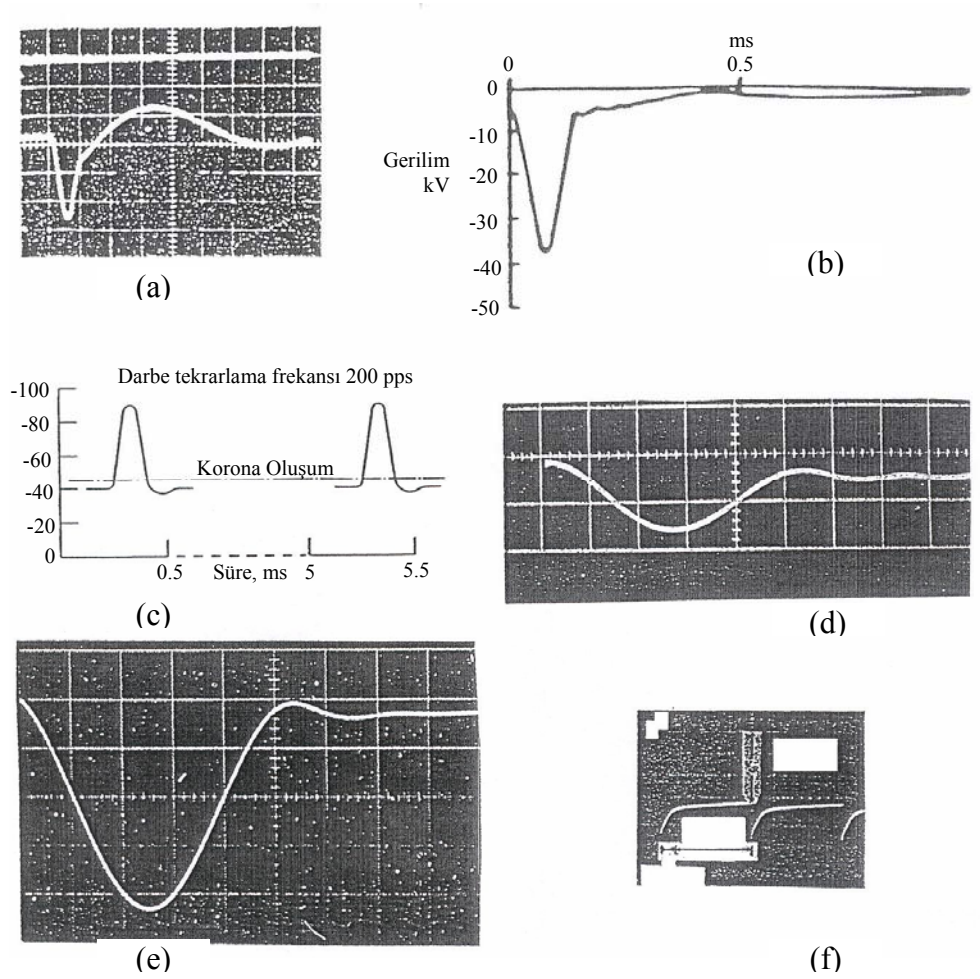
genliği, ark oluşumu ile karşılaşmayacak seviyelerde, olabildiğince yüksek olmalıdır. Bu durum daha büyük korona uzay yüküne sebep olur ve partikül yüklemeyi artırır. Elektrostatik toz tutucuya kısa süreli yüksek darbe gerilimi uygulamak mümkün olmasına rağmen iyon yoğunluğunun oluşumu ve darbe genişliği azaltılır. Araştırma ve uygulamada 1µs ile 1ms aralığındaki bir darbe genişliği kullanılmıştır ve genelde kısa ve uzun darbeler arasında bir ayırım yapılmaktadır [Milde, 1982; Nelson and Salasoo, 1989]. Yaklaşık 100µs bir darbe genişliğinin en yaygın olduğu Şekil 3.1' de açıktır. Darbeli korona deşarjı üzerine yapılan deneysel incelemeler, korona uzay yükü oluşumu söz konusu olduğunda darbe dalga şeklinin etkisinin ikincil olduğunu göstermiştir [Waters ve Stark, 1972]. Ayrıca deneme bazındaki elektrostatik toz tutucu üzerinde yapılan testler toplama veriminin darbe genliğinden ve frekansından etkilendiğini ancak darbenin şeklinden etkilenmediğini göstermiştir [Hartmann ve ark., 1990]. Öte yandan; darbeli çalışmanın veriminin toz direnci yükseldikçe ve darbe genişliği kısaldıkça arttığını rapor etmiştir [Golkowski ve ark., 1995]. Darbeli güç kaynaklarının maliyet etkinlikli tasarımı ve elektrostatik toz tutucunun en iyi şekilde çalışması için en uygun darbe şeklinin kimliğini oluşturmak çok önemlidir.

Voltaj tepe değerine ek olarak, darbe tekrarlama frekansının da elektrostatik toz tutucudaki korona akımının kontrolü için etken olduğu bilinmektedir. Akım seviyesi tutucu geriliminden bağımsız olarak ayarlanabildiğinden bu, esas öneme sahiptir. Bu, yüksek dirençli toz için geleneksel DC güç beslemesi ile elde edilenden daha elverişli elektrik güç beslemesi anlamına gelir. Belirli bir çalışma gerilimi için elektrostatik toz tutucu akımı darbe frekansı ile neredeyse doğrusal karakteristik gösterir [Lausen ve ark., 1979; Petersen, 1981]. Bir elektrostatik toz tutucunun tipik gerilim-akım karakteristiği ile akım frekans özellikleri Şekil 3.2' de gösterilmiştir. Bu özellikler gerilim genliği ve darbe frekansı aracılığıyla akımın bağımsız kontrolünü gösterir.

3.4. Voltaj - Akım Özellikleri

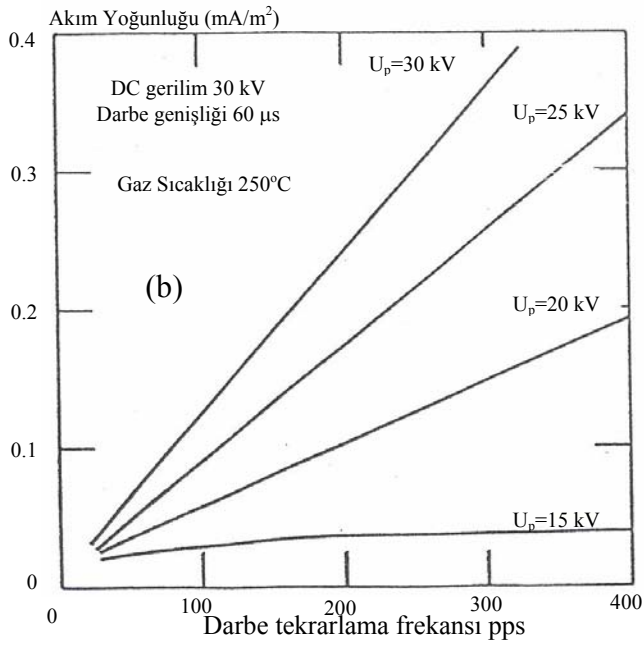
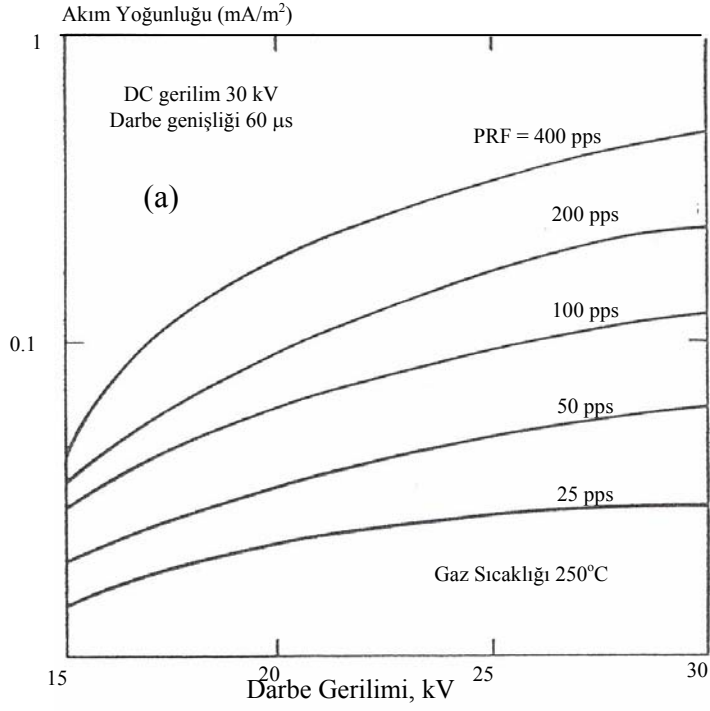
Daha önce açıklandığı gibi geri korona boşalmasının başlaması, akımın geleneksel tutucuda yüksek değerlerle akmasını sağlar ve bunu önlemek için yapılacak pek bir

şey yoktur; ancak uygulanan gerilim azaltılabilir. Uygulanan gerilimin azaltılması ise verimde düşüğe sebep olur. Darbeli güç verme ile iki kontrol parametresinin mevcut olması çöktürücünün daha esnek çalışmasını sağlar.



Şekil 3.1. Darbe uygulanmış elektrostatik toz tutucudaki gerilim dalga şekilleri

- a) $50 \mu\text{s}/\text{div}$. [Lausen ve ark., 1979], b) [Spark ve ark., 1981], c) [Petersan, 1981],
d) $20 \mu\text{s}/\text{div}$. [Sekar ve ark., 1982], e) $50 \mu\text{s}/\text{div}$. [Dinelli ve ark., 1986], f) [Masuda ve Hosokawa, 1988]



Şekil 3.2. Darbe uygulanmış elektostatik toz tutucudaki gerilim akım eğrileri.
a) Darbeli elektostatik toz tutucunun Gerilim-Akım karakteristiği [Lausen ve ark., 1981], b) Darbeli elektostatik toz tutucunun Akım-Frekans karakteristiği [Petersan, 1981]

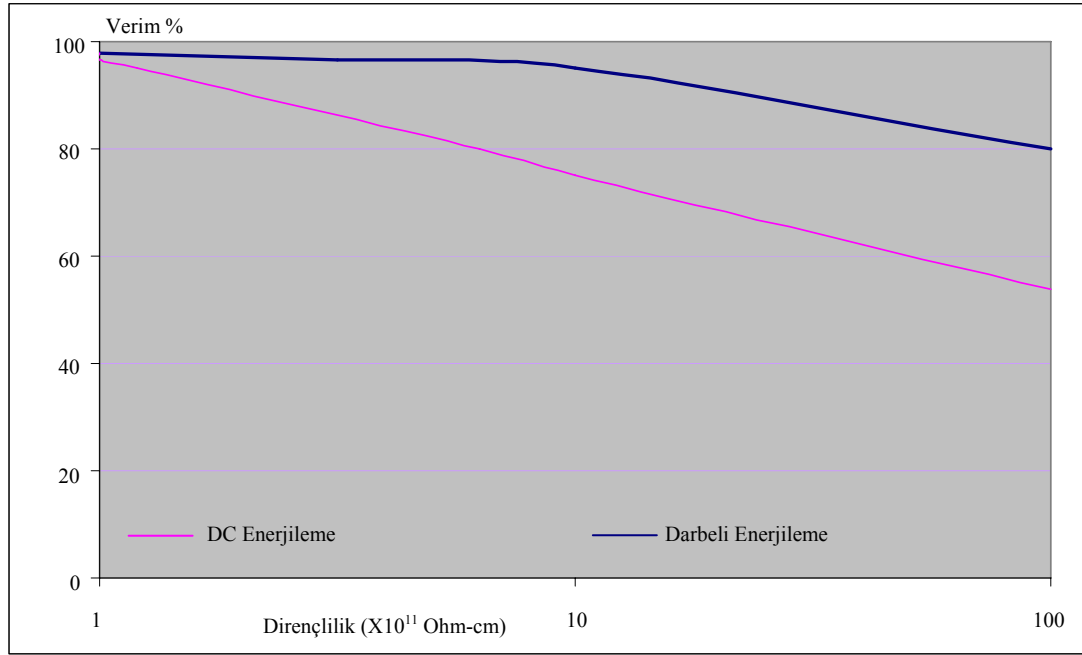
3.5. Partiküllerin Göç Hızı ve Darbeli Güç Besleme

Yüksek darbe gerilim beslemesi gaz boşluğundaki alanı artırarak, partikül yüklemesini de artırır [Nelson and Salasoo, 1987]. Darbeli güç beslemesinde, anoda doğru 40 m/sn hızla hareket eden korona akımı iyon bulutları biçiminde akar [Milde, 1982]. Çok yüksek bir uzay yükü konsantrasyonu olan iyon bulutu sebebiyle; elektrik alanı, bulutun hareketli ön kısmına doğru tepe değerlere ulaşır. Dolayısıyla uygulanan darbe zayıfladığında bile net alan daha fazla partikül yükü artırımına sebep olarak artar. Gaz boşluğunda artan partikül yükü ve elektrik alanı, yüklü partiküller üzerindeki elektrostatik kuvveti artırarak dolayısıyla toplama elektrotuna doğru göç hızını artırarak elektrostatik toz tutucunun verimini artırır.

Darbe teknolojisi kullanarak partikül yüklenme etkisini incelemede Nelson and Salasoo, 1987; hızlı ve orta darbelerle negatif iyonların, elektrostatik toz tutucu içindeki gaz bünyesinde güç besleme darbe süresinde partikül yükleme üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaya yetecek kadar uzağa ilerlemediklerini gösterdi. Öte yandan darbenin azalmasından sonra bile ortaya çıkan iyon bulutu bulut ile kollektör arasındaki alanı genişletmektedir. Adı geçen yazarlar darbe kullanarak besleme yapmanın, 1 μ m' den büyük çapa sahip partiküllerin şarjını önemli derecede arttırdığını ve ayrıca 1 ms' lik darbenin 4 μ m' den büyük çapa sahip partiküller için daha hızlı darbelerden daha yüksek şarj değerlerine ulaştırdığını göstermişlerdir. Genelde partikül şarjı, artan partikül çapı ile çoğalır.

Partikül etkin göç hızının artması veya gelişmesi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [Lausen ve ark., 1979; Lausen, 1981; Milde, 1982; Porle, 1985; Parker, 1985; Dinelli ve ark., 1991]. Gelişme faktörü, DC güç ile beslenen göç hızı ve darbeli güç ile beslenen göç hızı arasındaki oran olarak tanımlanır. Geri korona olmaksızın (toz direnci $<10^{10}$ Ω cm) gelişme faktörünün 1,1-1,2 aralığında olduğu bulunmuştur. Şiddetli geri korona ile (toz direnci $>10^{13}$ Ω cm) bu oranın 2-4 aralığında değiştiği bulunmuştur. Elektrostatik toz tutucunun toplama veriminde ortaya çıkan gelişme Şekil 3.3' te gösterildiği gibidir. Bu şekilden anlaşıldığı üzere yüksek dirençli tozu toplayan elektrostatik toz tutucunun performansı, geleneksel güç

beslemesi ile karşılaştırıldığında darbeli güç beslemesinde belirgin ölçülerde büyütülür. Yakılan yakıt ile elde edilen ve düşük elektrik direncine sahip olan uçucu külün test sonuçlarına göre, darbeli güç beslemesi kullanılması sonucu göç hızında 1.33' lük bir gelişme faktörü gösterdi [Dinelli ve ark., 1991].



Şekil 3.3. Partikül direncine göre elektrostatik toz tutucunun verimi [Milde, 1982]

3.6. Güç Kaynağı Devreleri ve Güçlendirme Uygulamaları

Elektrostatik toz tutucu teknolojisinde kullanılmak üzere iki tip güç kaynağı devresi geliştirilmiştir. Birinci tipte, ark aralıkları doğrudan yüksek darbe gerilimi üretmek için kullanılır [Masuda and Hosokawa, 1988]. Diğer tip ise anahtarlama cihazı olarak tristörü kullanarak düşük gerilim darbeleri üreten ve bu darbeler ile beslenen bir darbe transformatörü kullanır [Lausen ve ark., 1979; Brambilla ve ark., 1990; Dinelli, 1991]. Düzensiz çalışma, enerji kaybı ve kısa darbe genişliği gibi ark aralıkları ile ilgili mühendislik sorunlarından dolayı ikinci tip güç kaynakları daha fazla kullanılmaktadır. Üretilen güç kaynakları büyüklüğü, frekansı ve darbe genişlikleri rahatça kontrol edilebilen darbeler üretebilir. Bu güç kaynakları, 50-300

μ s aralığında darbe genişliği olan ve 10-500 Hz aralığında frekansı olan, 120 kV' a kadar büyüklükte zirve gerilimine sahip darbeler üretilebilir.

Darbeli güç beslemesinde elektrostatik toz tutucu kondansatörünün yüksek darbeli gerilim seviyelerine tekrar tekrar yüklenmesi için önemli miktarda enerji gereklidir [Petersen, 1981]. Bu enerjinin sadece küçük bir kısmı tutucudaki deşarj akımı için gereklidir. Bu sorunun üstesinden gelmek için darbe tekniği kullanan güç kaynağı devreleri, her darbeye sonunda kullanılmayan enerjiyi transformatörün primer tarafına iletip kondansatör vasıtasıyla depolayarak, bir sonraki darbeye tekrar kullanılabilir olmasına imkân tanımıştır. Enerji tüketiminde önemli seviyelerde azalma bu şekilde elde edilebilir. Lausen, 1981; 30 kV DC ön gerilimli ve üstüne bindirilmiş 50 kV darbe gerilim beslemesine sahip elektrostatik toz tutucu için bu enerji saklama tekniği kullanılarak, enerji tüketimindeki azalmanın %50 civarında olabileceğini gösterdi [Lausen, 1981].

3.7. DC Besleme Tekniği ile Darbeli Besleme Tekniğinin Karşılaştırılması

3.7.1. Çalışma durumu

Darbeli elektrostatik toz tutucu hakkında yayımlanan araştırma çalışmalarının çoğu, ticari amaçlarla üreticiler tarafından gerçekleştirilir. Elektrostatik toz tutucu teknolojisi üzerinde darbeli güç besleme etkisinin etkili bir şekilde değerlendirilmesi için kamu hizmeti yapan şirketler ve üniversiteler gibi diğer kuruluşlar tarafından araştırma çalışması yapılması önemlidir. Sparks, 1981; cihazın geri koronaya girmesine izin verilmediği durumlarda, DC ya da darbeli güç besleme kullanıldığında elektrostatik toz tutucunun performansında bir fark olmadığı sonucuna varmıştır [Sparks, 1981]. Ayrıca Porle, 1985; tozun ancak yüksek ya da orta yüksek direnç değerlerine sahip olması durumunda darbeli güç beslemenin performansı artıracaklarını belirtmiştir [Porle, 1985]. Bu sonuçlar, darbeli güç besleme yararlarının geri koronanın yokluğunda bile elde edilebileceğini belirten Dinelli, 1991' in bulguları ile çelişmektedir [Dinelli, 1991]. Ancak bu yeni teknolojinin başarısı hakkındaki son hükmün, söz konusu teknolojinin kullanımı ile ilgilenen sanayilerce yapılacak

kapsamlı deney ve daha fazla alan araştırma çalışması ile verilebileceğine inanılmaktadır.

Darbeli güç beslemenin, elektrostatik toz tutucu toplama veriminde önemli bir gelişmeye sebep olan yüksek dirençli toz partiküllerinin göç hızının, geleneksel beslemeye göre iki katından fazla değerlere çıkabileceği daha önce tanımlanmış idi. Güç kaynağındaki enerji kazanım özelliğinin geliştirilmesiyle elektrostatik toz tutucunun enerji tüketimi düşmüştür [Parker, 1985; Dinelli, 1991]. Ayrıca darbeli güç vermenin, daha uniform güç tüketimine ve daha düşük kıvılcım oranına katkıda bulunduğu Dinelli, 1991; tarafından belirtilmiştir [Dinelli, 1991]. Elektrostatik toz tutuculardaki ark eşik mekanizması ile ilgili detaylı çalışma yapılmamıştır. Ancak Lausen, 1981; belirttiği gibi belirli bir sıcaklık değeri için 250mm kanallı, 2,7 mm' lik bir korona telli elektrostatik toz tutucunun ark eşik değer gerilimlerinin ölçümü sonucunda, darbeli elektrostatik toz tutucunun ark eşik değer geriliminin, geleneksel elektrostatik toz tutucundakinden yaklaşık üç kat fazla olduğunu göstermiştir [Lausen, 1981]. Her iki elektrostatik toz tutucu tipi için ark eşik değer gerilimi sıcaklıkla birlikte düşer. 140°C' tan 260°C' ye sıcaklık artışı için ark eşik değer gerilimi yaklaşık %20 düşer. Yazarlar daha önce [Lausen, 1979] 30 kV' luk DC besleme gerilimi ile yukarıda belirtilen elektrostatik toz tutucu kıvılcım oranının dakikada yaklaşık 60 kıvılcım olduğunu belirtmişlerdi. 60kV' luk (30 kV DC ve üstüne bindirilmiş 30 kV darbe) maksimum gerilimli darbeli güç beslenmesi ile kıvılcım oranı her üç dakikada 1 kıvılcım değerine düşürülür. Darbeli güç besleme sayesinde büyük ark eşik gerilimi, yüksek dirençli toz uygulamalar için düşük boyutlu elektrostatik toz tutucular tasarlamının mümkün olabileceğini gösterir.

Geleneksel elektrostatik toz tutucularda enerji performansı, toz ve gazın yapısal konumundan büyük ölçüde etkilenir. Geri koronanın bir sonucu olarak gaz boşluğuna enjekte edilen pozitif iyonlar ve iyon hareketliliği, V-I karakteristiğini ve akım dağılımını belirler. Öte yandan darbeli elektrostatik toz tutucularda uzay yükü oluşumu gaz koşullarından daha az etkilenir ve daha kararlı akım dağılımı elde edilir [Oglesby and Nichols, 1979; Lausen ve ark., 1981; Porle, 1985]. Çalıştırma koşullarındaki; yükleme, toz karakteristikleri, kazan işleyişindeki kararsızlıklar,

sıcaklık ve basınç değişiklikleri sonucunda DC beslemeli elektrostatik toz tutucu düzenli ve kararlı çalışmaz. Sonuç olarak uygulanan gerilim elektrostatik toz tutucu veriminde azalmaya sebep olarak düşer. Daha önce belirtildiği gibi darbeli güç verme ile korona akımı, gerilimin ve darbe frekansının genliğini değiştirerek kontrol edilebilir. Dolayısıyla korona akımını azaltarak ve yüksek çalışma gerilimini koruyarak sadece darbe frekansını değiştirerek geri korona sorununun üstesinden gelmek mümkündür. Darbeli güç beslemenin sabit DC güç beslemesinin tersine yüksek direnç karakteristiğine sahip toz ile uzun süreler sabit kararlılıkta elektrostatik toz tutma işlemini sağladığını [Sparks, 1981] bildirmiştir.

3.7.2. Ekonomik yönden değerlendirme

Araştırma çalışmaları, darbeli güç besleme tekniği ile elektrostatik toz tutucunun kurulum ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde düşürmeyi sağladığını göstermiştir. Maliyetlerdeki bu düşüş, enerji tasarrufu ve düşük boyutlu tasarımlar dikkate alınarak ölçülmektedir. Parker, 1985; elektrostatik toz tutucunun darbelenmesi sonucunda, etkili göç hızının, çok zor toz yoğunluklarında bile dört katı kadar arttığını bildirdi [Parker, 1985]. Maliyet açısından bu sonuçlar yazar tarafından şu şekilde yorumlanmıştır. Yaş yakıt kullanan bir elektrostatik toz tutucunun tasarımında göç hızındaki yükselme sebebi ile elektrostatik toz tutucunun boyutu yarıya iner. Bu durumda sermayede %30 indirim ve enerji kaybı olmadığı için işletme maliyetinde önemli bir düşüş sağlar. Çimento imalatı gibi diğer sınıflı uygulamalardaki tasarruf yaklaşık %15 olacaktır. Yazar ayrıca mevcut bir toz tutma sistemini geliştirmek için darbeli güç besleme devresinin eklenmesinin elektrostatik toz tutucunun boyutunu büyütme ya da toz özelliklerini değiştirmekten çok daha ucuz olacağını da göstermiştir. İstenilen toz tutma seviyelerini korumak için küçük işletmelerde toz tutucu boyutunu büyütme maliyeti daha düşük sermaye maliyeti doğururken, büyük işletmeler için darbelemenin maliyet açısından daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Porle' nin bildirdiği rakamlar hatırı sayılır ekonomik menfaatler sağlar [Porle, 1985]. Yazar, kömürle çalışan kazanlar için kurulan darbeli elektrostatik toz tutucular için,

performansta hiçbir sorun olmaksızın, % 50 ile % 90 arasında bir güç tasarrufu olduğunu belirtmiştir. Geleneksel güç besleme işlemi için gerekli güç 500 MW bir kazan için 1MW civarındadır. Dolayısıyla darbeli güç besleme ile %50' lik bir güç kazancı önemli miktarda para demektir. Yazar ayrıca elektrostatik toz tutucularda darbeli güç besleme sistemi kurmanın her zaman zahmete değer olmadığı sonucuna varmıştır. Örneğin, ince gazlı işlemlerde güç tasarrufu görülmez ve düşük dirençlilik performansı artırmaz. Benzer sonuçlar [Dinelli, 1987]; tarafından bildirilmiştir. Yazarlar geleneksel ve darbeli güç beslemeli çok kanallı çok bölmeli elektrostatik toz tutucu üzerinde deneysel incelemeler gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlar darbeli güç besleme ile partikül emisyonundaki düşüşün yaklaşık % 90 olduğunu ve güç tüketiminin yaklaşık % 80 olduğunu gösterir. Aynı gelişme, akış hızı nominal değerinin 1.8 katına çıkarıldığında da elde edildi.

Elektrostatik toz tutucu teknolojisinin temel bir faydası da emisyonu düşük seviyelere sınırlayan yeni standartları karşılayabilme yeteneğidir. Daha önce belirtildiği gibi herhangi bir emisyon sınırını karşılayan elektrostatik toz tutucular tasarlamak mümkündür ancak bu çok yüksek maliyetli ve büyük boyutta elektrostatik toz tutucular gerektirir. Bu bağlamda darbeli güç beslemesinin uygulanması cazip bir mühendislik önerisidir [Masuda and Hosokawa 1988]. Ekonomik kazanç oldukça fazladır; çünkü kollektör yüzey alanının sağlanmasıyla emisyon standartlarını karşılamaktansa, darbelemeyi güçlendirme, maliyetin yaklaşık üçte biri kadar düşürmektedir [Nelson and Salasoo, 1987]. Darbeli güç besleme takviyesi, yalnızca bir darbe güç kaynağının eklenmesiyle olur ve mevcut donanımın kullanılabilmesini sağlar. Masuda ve Hosokawa, 1988; basit yapı, düşük başlangıç ve işletme maliyetini içeren özel özelliklere sahip geliştirme uygulamaları için darbeli bir güç besleme sistemi geliştirdi [Masuda ve Hosokawa, 1988]. Ancak darbeli güç besleme uygulamaları yoluyla edinilen ekonomik kazançlarla ilgili olarak Sparks ve ark., (1981) farklı görüşler öne sürmüştür. Yazarların maliyet tahminleri, darbeli güç beslemesinin marjinal bir teknoloji olabileceğini ve darbeli güç uygulamaları yerine DC kontrol sistemlerini geliştirmenin daha maliyet etkinliği olabileceğini gösterdi [Sparks ve ark. (1981)].

4. ELEKTROSTATİK TOZ TUTUCUDA KORONA DEŞARJI

4.1. Korona Deşarjı Genel Tanımlar

Korunanın elektrostatik toz tutucudaki partikülleri yüklemek, toplamak ve tutmak için en iyi uygulama yöntemi olduğu çok iyi bilinmektedir. Elektrikli tutma prosesinde partikül yükleme için elektron ışını [Mizuno ve Clements, 1990] veya radyoaktivite [White, 1963] gibi diğer yollar kullanılması da fiziksel olarak mümkün olmasına rağmen bu işlevi basitçe yerine getiren korona ile ekonomik olarak yarışacak hiçbir yöntem bulunmamıştır. Elektrostatik kaplama gibi proseslere ek olarak bu uygulama, bu olgunun mühendislik yönlerinin olduğu kadar fiziksel yönlerinin de kapsamlı incelenmesini sağlamıştır. Temel özelliklerin, matematiksel modellemenin, bilgisayar simülasyonunun ve farklı korona boşalması tiplerinin özelliklerinin incelenmesi ile ilgili deneysel yöntemlerin anlaşılması için detaylı çalışmalar yapılmıştır. Elektrostatik toz tutucunun yüksek verim ile çalışması, yüksek alan mukavemeti gerektirir ve sonuçta uygulanan gerilim sabit korona boşalması ile olabildiğince uyumlu olmalıdır. Ancak buna ek olarak çalışma koşullarındaki değişikliklerden doğan kıvılcımlanmayla bozulma riski olmamalıdır. Elektrostatik toz tutucularda belirlenmiş koşullar altında belli bir gerilimde negatif bir korona boşalması, pozitif olandan daha yüksek bir akım sağlar ve tutucunun çalışma potansiyeline üst sınır belirleyen ark eşik gerilimi daha fazladır. Bu sebeplerden dolayı elektrostatik toz tutucularda negatif korona boşalma olayı kullanılır. Negatif korona kullanımıyla ilgili tek yaygın istisna, büyük miktarlarda fizyolojik olarak sakıncalı ozon üretiminden dolayı dâhili hava temizleme uygulamalarında görülür [White, 1963; Moore, 1973].

4.2. Doğru Akım Koronaları

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].

4.2.1. Voltaj-akım özellikleri

Elektrostatik toz tutucunun elektrik performansı genelde terminal gerilim-akım özellikleri ile açıklanır. Ancak elektrostatik toz tutucunun elektrotlar arası boşluğundaki elektrik alanı ve akım yoğunluğu dağılımları, partiküllerle edinilen yük sonucunda yük sürüklenme hızını ve tutucu verimini belirler. Dolayısıyla tasarım açısından bu değerleri hesaplamak için doğru mühendislik modelleri geliştirmek önemlidir. Eşitliklerin ve geometrik karmaşıklıkların doğrusal olmayışından dolayı elektrostatik toz tutucu problemlerine tam analitik çözümler, sadece eşeksenli silindirler gibi konfigürasyonlarda mümkündür. Tel-levha gibi uygulamaların konfigürasyonları için modelleme prosedürlerini geliştirmek için uzay yükü ve elektrik alanı dağılımları ile ilgili varsayımları kolaylaştırma yoluna gidilmiştir. Genelde elektrotların temiz ve elektrotlarının düzgün ve yuvarlak teller oldukları varsayılmaktadır. Elektrostatik toz tutucuda mevcut olan elektriksel koşullar için yaklaşık rakamsal veya analitik çözümleri sağlayan pek çok model bilinmektedir. Cooperman, 1981; tel-levha yapısındaki elektrostatik toz tutucu için uzay yüklü veya uzay yüksüz olarak kapalı biçimli analitik gerilim-akım ilişkilerini elde etti [Cooperman, 1981]. Uniform bir uzay yükü yoğunluğu kabul edildi. Pozitif korona için ölçülen veri ile karşılaştırma, elde edilen ilişkilerin büyük ve küçük tel çapları için temiz hava koşullarındaki V-I özelliklerini doğru şekilde tahmin ettiğini göstermektedir. Poisson ve Laplace alanları arasında bir eş doğrusallık olduğu varsayılarak, Boehm, 1982; tel-levha tutucudaki elektrik alanlarının hesaplanması için rakamsal prosedürler geliştirdi. Hesaplanan sonuçlar, deneysel veri ile

karşılaştırılmasa da yazar, korona akımı için Townsend eşitliğini kullanarak gerilim-akım ilişkisini verdiler [Boehm, 1982].

V-I özelliklerini modellemeyi kolaylaştırmak için genelde uzay yükünün, büyüklüğü etkilediği, ancak özellikle korona akımlarının düşük değerleri için, elektrik alanının yönünü etkilemediği varsayılır [Brambilla ve ark., 1990]. Bu varsayımın sınırları ki literatürde buna Alman yaklaşımı denir, büyük değerli korona akımları açısından Elmoursi ve Peter Castle tarafından doğrulanmıştır. Yazarlar, kanallı tip bir elektrostatik toz tutucunun temiz havadaki elektrostatik ve korona özelliklerini modellemek için yük simülasyon tekniğini kullandı. Normalde korona modelleme prosedürlerinde kullanılan ve Kaptzof varsayımı olarak anılan bir başka klasik varsayım ise elektrik alanı dağılımının şeklinin korona teli yüzeyi üzerinde korona koşullarında bile bozulmamış formda kalması ve alanın büyüklüğünün korona başlangıç geriliminde mevcut değerde sabit kalmasıdır. Önceki araştırma çalışması [Waters and Stark, 1972; Waters ve ark., 1972] bu varsayımın geçersizliğini korona elektrotlarının yüzeyindeki alan ölçümü ile gösterir. Cristina ve ark., 1991; bu varsayımı, korona uzay yükü ile tozsuz ortamda elektrostatik toz tutucu V-I özelliklerini hesaplamak için sayısal bir modelin gelişiminde kullanmıştır [Cristina ve ark., 1991]. Bu model, Poisson ve süreklilik eşitliklerini çözmek için sonlu eleman yöntemine dayanır. Modelin sonuçları deneysel veriyle başarılı bir şekilde uymaz. Yazarlar bunu korona doğrusalsızlığın ve iyonik hareketliliğin etkilerine atfeder. Kaptzof varsayımının geçersizliği ölçülen veri ile hesaplanan sonuçlar arasındaki uyumsuzluğa katkıda bulunabilir. Bu çalışma, partikül boyutu dağılımları göz önüne alınarak tozlu ortamda elektrik alanı ile akım dağılımlarını hesaplamak için [Cristina ve Felizini, 1995] geliştirilmiştir. Birçok varsayım alan ve yük dağılımları, toz hızı, partikül şekli, difüzyon, geri korona ve korona sönümlenmesi üzerinde tozun etkisi ile ilgili olarak modelleme prosedürlerinde sunuldu. Bununla birlikte hesaplanan ve ölçülen veri arasında tatmin edici bir anlaşma olduğu bildirilmiştir.

Rohde ve ark., 2000; tarafından gerçekleştirilen son çalışmada, elektrostatik toz tutucu konfigürasyonundaki sabit durumlu korona akım dağılımlarını hesaplamak

için rakamsal bir prosedür geliştirilir [Rohde ve ark., 2000]. Model, partiküllerin istatistiksel boyut dağılımlarını ve uygun yükleme işlemini de göz önüne alarak, Poisson ve uzay yükü sürüklenme eşitliklerini çözmek için sonlu fark eşitliğine dayanır. Model yaklaşımı, Alman yaklaşımının sınırları ile sınırlanmaz. $1,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$ eşdeğerli iyonik hareketlilik için ölçülen ve hesaplanan sonuçlar arasında iyi bir uyum elde edildi. Ancak model uzay yükünün zaman değişimini veya Trichel darbeleri ve geri korona boşalması gibi uygulamada gerçekleşen geçici elektrik olgularını oluşturamadı. Daha önce yapılan bir araştırma çalışmasında, elektrik potansiyeli, akım ve uzay yükü yoğunluklarını tel-levhalı elektrostatik toz tutucu için sonlu eleman ve sonlu fark tekniği kullanılarak hesaplandı [Cooperman, 1981]. Elde edilen sonuçlar, sonlu eleman yönteminin elektrostatik toz tutucu özelliklerini tahmin etmede sonlu fark yöntemi üzerinde belli avantajlar sunduğunu göstermiştir.. Ölçülen veri ile herhangi bir karşılaştırma bildirilmemiştir.

4.2.2. Uzay yükü etkileri

Kuramsal çalışmalar ve deneyimler korona boşalmasının elektrostatik tutma işleminde çok yüksek partikül yükü elde etmek için en etkili araç olduğunu göstermiştir [White, 1963]. Elektrostatik toz tutucudaki elektrotlar arası boşluk çok sayıda negatif iyon ve bazı serbest elektronlar içerir. Partiküller bu boşluktan geçtiğinde iyonlar ve serbest elektronlar ile yüklenirler. Negatif iyonlar serbest elektronları fazlasıyla aşar böylece partikül yükleme üzerindeki serbest elektronların etkisi genelde göz ardı edilir. Elektrostatik toz tutucunun performansı elektrik alanı mukavemetinin büyüklüğüne ve toplama alanlarındaki iyonik akım yoğunluklarına dayanır, bu da partikül yükünü ve bunun yüklenme oranını belirler. Elektrostatik toz tutucu performansının tahmini için partiküllerin gerektirdiği yükü bilmek gereklidir. Hesaplama amacıyla genelde Alman yaklaşımına uygun olarak uzay yükünün uniform olarak tutucu hacmi boyunca dağıldığı varsayılmaktadır. Elektrostatik toz tutucudaki korona ile ilişkili uzay yükünün birçok etkisi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [White, 1963; Mizuno, 1981; Mclean, 1988].

- a) 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.
- b) Toplama levhasının yüzeyindeki daha yüksek elektrik alanından dolayı ark eşik geriliminin indirgenmesi.
- c) Elektrostatik toz tutucudaki gaz boşluğu boyunca gerilim düşüşünün artırılması.

Korona sisteminde partikül yükleme konusunda gelişme kaydetmek için dikkate değer araştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir [White, 1963; Smith and McDonald, 1975; Oglesby and Nichols, 1978; Licht, 1980; Mizuno, 1981; Mclean, 1987]. Bu kuramları denemek ve elektrostatik toz tutucuda elektrotlar arası boşluğu geçerken partiküllerin kazandığı yükü belirlemek için çeşitli deneysel teknikler geliştirilmiştir [Oglesby and Nichols, 1978; Anderson and McDonald, 1981; Mizuno and Otsuka, 1984]. 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.

Giriş bölümünde belirtildiği gibi bir korona bölgesindeki partiküller iki mekanizma tarafından eş zamanlı olarak yüklenir, (1) Alan şarjı ve (2) Difüzyon şarjı. Alan yükleme mekanizması $0,5\mu\text{m}$ ' den büyük yarıçaplı partiküllere hakim olurken difüzyon yükleme $0,2\mu\text{m}$ ' den daha küçük yarıçaplı partiküllere hakim olur [Mizuno, 1981; Mclean, 1988]. Alan yüklemeyen dolayı partikül yükü $q_f(t)$ aşağıdaki eşitlikle bir zaman fonksiyonu olarak verilir:

$$q_f(t) = 12\pi\epsilon_0 a^2 E_c \left(\frac{\epsilon_r}{\epsilon_r + 2} \right) \left(\frac{t}{t + \frac{4\epsilon_0}{N_0 e \mu}} \right) \quad (4.1)$$

Burada μ iyon hareketliliğidir. Diğer semboller Eş. (2.1)' deki ile aynıdır.

Difüzyon yüklemenden kaynaklanan partikül yükü $q_d(t)$ aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$q_d(t) = \frac{akT}{e} \ln \left(1 + \frac{\pi ac N_0 e^2 t}{kT} \right) \quad (4.2)$$

Burada;

K = Boltzmann sabiti,

T = mutlak sıcaklık,

c = iyonların RMS hızı

olarak ifade edilir.

Toplamda teorik yük ise yukarıdaki eşitliklerle verilen iki yük değerinin eklenmesiyle elde edilir. Ancak uygulamalı olarak bir partikülün; korona sönümlemesinden, uniform olmayan akım dağılımından, geri korona ve tozun direncinin etkilerinden dolayı teorik yüke varması zordur. Geri korona boşalması ve toz dirençliliği toplam V-I karakteristiği üzerindeki etki ile ilgilidir [McClean, 1981; McClean, 1988]. Daha önce bahsedildiği gibi partiküllerin sürüklenme veya göç hızı ve dolayısıyla elektrostatik toz tutucu verimi, kazanılan yükün miktarı ile kısmen belirlenir. Bu sebeple partikül yükleme prosesini etkileyen tüm faktörleri rakamlarla belirtmek esas bir öneme sahiptir. Elektrostatik toz tutucudaki geri korona boşalması cihazın yüksek dirençli partikülleri toplaması gerektiğinde gerçekleşir ($>10^{10} \Omega \text{cm}$). Bu boşalma, pozitif iyonlar üretir ve elektrostatik toz tutucunun ark eşik geriliminde azalmaya, partikülün kazandığı net yükte bir düşüşe, tutma elektrik alanında bir düşüşe, elektrik gücü tüketiminde bir artışa ve elektrostatik toz tutucu tutma veriminde bir düşüşe sebep olur. Geri boşalmaların etkisini azaltmak için normalde gaz işleme tekniği kullanılır. Son yıllarda ise darbeleme tekniği kullanılmaya çalışılmış ve araştırma çalışmaları bu tekniğin geri boşalma problemlerinin etkisini sınırlamada etkin bir şekilde kullanılabildiğini göstermiştir.

Bir elektrostatik toz tutucu içerisindeki geri korona boşalmasını tespit etmek için ve zararını tamamen tanımlamak için Masuda ve ark, 1988; iki kutuplu iyon alanındaki pozitif ve negatif iyon akım yoğunluklarının ayrı ölçülmesini sağlayan bir “iki kutuplu akım probu” geliştirdi [Masuda ve ark., 1988]. Şiddetli geri korona boşalması koşulunda geri boşalmadan oluşan pozitif iyon akımının, boşalma elektrotundaki normal negatif iyon akım yoğunluğunun %30 - %40’ ı kadar yüksek olduğunu gösterildi. Elektrostatik toz tutucudaki yük yoğunluğu ve elektrik alanı dağılımı üzerindeki geri korona etkisini analitik olarak rakamlarla belirtme girişiminin ilki, [Masuda ve ark., 1988]; tarafından gerçekleştirildi. Yazar, silindrisel yapıda elektrostatik toz tutucudaki elektrik alanı ve yükünü açıklayan bir dizi ana eşitliği rakamsal olarak çözmek için birçok kolaylaştırıcı varsayımda bulundu. Bu inceleme, kollektördeki geri korona iyonlaşmasını içeren çalışma koşulları altında elektrostatik toz tutucu özelliklerini açıklamaya yaramıştır. Geri korona üzerindeki en son araştırma çalışması, etkili göç hızındaki düşüşle silindrisel tipli elektrostatik toz tutucudaki geri koronanın şiddeti arasındaki ilişkiyi belirlemek için deneysel bir çalışma yürüten [Brambilla, 1991]; tarafından gerçekleştirilmiştir. Geri korona boşalması problemi niteliksel olarak anlaşılmasına rağmen; elektrostatik toz tutucunun genel performansı üzerinde bu problemin etkisinin niceliksel ve daha etkili olarak değerlendirilmesini sağlamak için başka araştırma çalışmasına halen ihtiyaç duyulmaktadır.

4.2.3. Çevresel etkiler

Elektrostatik toz tutucu uygulamalarının çoğu atmosferik basınç ve 37,7°C ile 426°C arasında bir sıcaklıkta çalışmasıyla ilgilenmesine rağmen yüksek sıcaklıklı yüksek basınçlı gaz temizleme uygulamaları tarafından tutucu performansına olan etkileri anlamlı bir mühendislik önemine sahiptir. Deneysel incelemeler, basınç ve sıcaklığın korona başlangıç ark eşik gerilimlerini, etkili iyon hareketliliklerini, gaz yoğunluğunu ve V-I özelliklerini değiştirdiğini gösterir [Oglesby and Nichols, 1978]. Elektrostatik toz tutucu performansı üzerinde basınç ve sıcaklığın etkilerini rakamlarla ifade eden hiçbir teorik çalışma olmadığı görülmektedir. Elektrostatik toz tutucu çalışmasını etkileyen diğer çevresel faktör gaz nemidir. Brambilla, 1990;

silindirsel bir elektrostatik toz tutucuda yük yoğunluğu ve elektrik alanı dağılımı üzerinde nemin etkisini tahmin etmek için matematiksel bir model öne sürdü [Brambilla, 1990]. Model Poisson eşitliğinin, akım yoğunluğu eşitliğinin ve akım sürekliliği eşitliğinin çözümüne dayanmaktadır. Hesaplanan sonuçlarla ve ölçülen veri arasında tatmin edici bir uyuşma elde edilmiştir. Yazarın elde ettiği sonuçlar korona başlamasının nispi nemin artması üzerindeki düşük gerilimlerde yer aldığını göstermiştir. Ayrıca yüksek gerilimlerde korona akımı nispi nem arttıkça düşer. Nispi nem, ayrıca elektrik alanı ve özellikle korona elektrotu yanındaki iyon yükü yoğunlukları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

4.3. Darbeli Korona Boşalması

Yüksek dirençli toz toplama levhasında geri korona boşalmasına sebep olarak elektrostatik toz tutucu performansını önemli ölçülerde zedeler. Daha önce de bahsedildiği gibi geri boşalma problemi, bir darbe geriliminin sabit uygulanan doğrudan gerilimin üstüne bindirilmesi ile etkili bir şekilde çözülebilir. Sabit uygulanmış doğrudan gerilim, tam korona başlangıcının altında sabit bir seviyeye ayarlanır. Darbe gerilimi bileşeni, korona boşalması iyonları üretirken doğrudan gerilim bileşeni partikül yükleme ve toplama için gerekli elektrik alanını sağlar. Hem dc hem de darbeli korona boşalmasının fiziksel özellikleri yıllardır araştırma konusu olmuştur. Farklı çalışma koşulları altında bu boşalmaların mekanizması ve davranışı hakkında pek çok bilgi mevcuttur. Darbeleme teknolojisinin elektrostatik toz tutucu teknolojisine tanıtılması doğrudan ve darbeli gerilimin beraber uygulaması altında korona davranışını incelemeyi gerektirmiştir. Önceki incelemelerin çoğu genel gerilim-akım (V-I) özelliklerine yoğunlaşmıştır. Birçok araştırmacı, farklı ve bazen de çelişkili sonuçları bildirerek darbeli elektrostatik toz tutucudaki koronanın fiziksel ve mühendislik özelliklerini incelemiştir.

Temiz bir atmosferik havada besleme geriliminin sırasıyla negatif doğrudan ve negatif darbeli olduğu durumda, temiz bir elektrot sisteminin korona boşalması özelliklerini incelendi [Lausen, 1979]. Aynı ortalama akımda boşalma kalıplarının her iki uygulama gerilimi tipi içinde aynı olduğunu buldu. Düşük gerilim

seviyelerinde yazarın belirttiğine göre trichel akım dalga şekilleri birbirine benzerken, yüksek darbeli gerilim seviyelerinde trichel akım genliği ve frekansı uzay yükü koşullarından etkilenmekteydi. Öte yandan darbeli güç beslemenin iyon yoğunluğu değişimi sonucunda partikül yük artırımını ve tel uzunluğu boyunca daha uniform korona akım dağılımı sağladığını bildirildi [Milde, 1982]. Yazarın tanımladığı darbeli güç vermenin diğer yararlı etkileri şöyledir:

- a) Voltaj ve akımın bağımsız kontrolü.
- b) Büyük çaplarda korona tellerinin kullanımıyla düşük erozyon ve yüksek yükleme ve toplama alanları.
- c) Uzay yükü demetinden dolayı yüksek toplama alanı ve düşük yükleme süresi.

Kısa ($\sim 1\mu s$) ve uzun ($\sim 100\mu s$) darbelerin etkisinin karşılaştırılmasında korona deşarjında, her iki pozitif ve negatif iyon bulutlarının üretilmesinin doğru olduğu varsayılır. Pozitif uzay yükünün etkisi, kısa darbeler için korona faaliyetini gerilim zirvesinin ötesine uzatmazken uzun darbeler için korona gerilim zirvesinde duracaktır. Uzun ve kısa darbeler arasındaki ayırım pozitif iyonların uzaklaştırılma zamanına dayanır. Silindirselle ve tel-levha geometrileri için darbeli koronanın incelenmesinde Cook, 1985; korona boşalmasının uzun darbeler ($100-300\mu s$) için gerilim zirvesi yakınında durduğunu ve tel boyunca deşarjın, doğrudan gerilimle karşılaştırıldığında darbeli gerilim için çok daha uniform olduğunu gözlemledi. Bu bulgular Milde' nininkilerle uyumludur. Cook, 1985; ayrıca silindirselle bir geometride darbeli korona deşarjının değerlendirilmesi için rakamsal bir model öne sürmüştür. Bu model, korona telini çevreleyen boşlukta ayrı yüklü tabakaların üretilmesine dayanır. Darbe başına düşen yükün darbe genişliğinden daha ziyade darbe zirve gerilimine bağlı olduğu görüldü [Cook, 1985]. Buna karşılık Lausen ve Petersen, 1981; bir laboratuvar tutucusunda yaptıkları incelemede korona akımının darbe genişliğinin doğrusal fonksiyonu olduğunu buldu; burada darbe genişliğindeki 25 ila 250 μs bir değişim, akımda yaklaşık %50' lik bir değişime sebep oldu [Lausen ve Petersen, 1981].

4.4. Korona Deşarjı Parametrelerinin Ölçümü

Korona deşarjı parametrelerinin pratik ölçümlerinin amaçları;

- a) Teorik korona deşarjı modellerinin doğrulanması,
- b) Teori kapsamının ötesinde olan elektrot geometrisi ve koşullar için korona özelliklerinin belirlenmesi.

şeklinde tanımlanabilir.

Elektriksel toz tutucunun elektrik performansının kriterleri akım, gerilim, elektrik alanı ve partikül yükü olarak tanımlanabilir. Bu veriler cihazın etkili tasarımı ve çalışması için elzemdir. Terminal V-I değerleri ölçümü basit ölçme ekipmanları ile yapılabilirken elektrotlar arası boşluktaki ve elektrotlar yüzeyindeki elektrik alanının ölçümü uzmanlaşmış teknikler gerektirir. Elektrostatik toz tutucudaki elektrik alanının ölçümüne yönelik ilk girişimlerde çeşitli tiplerde statik problar kullanıldı ancak elde edilen başarı sınırlıydı. İlk başarılı girişim ise dinamik prob yöntemi geliştiren [Cooperman, 1965]; tarafından gerçekleştirildi. Bu yöntemde göre 3/16 çaptaki bilyalar, boşaltım tellerine paralel olan korona alanı boyunca, 100ft/sn ile 500ft/sn aralığının da hızlarla fırlatıldı. Bilya yükü ve alanda geçen zaman ölçüldü. Partikül yükleme kuralları kullanılarak alan mukavemeti ve akım yoğunluklarının değerleri çıkarıldı. Ölçülen sonuçlar eşmerkezli silindirler için yapılan hesaplamalarla uydu. Yazar ayrıca bu yöntemi plaka-elektrot geometrisindeki elektrik alanını ölçmek için de kullandı [Cooperman, 1965]. Tel ile plaka arasındaki hat boyunca ölçülen alanla ortalama alanı karşılaştırma sonucunda, levha yüzeyi yanındaki alanın ortalama alandan daha fazla olduğu da bulundu. Diğer teknikler ise elektrik potansiyel dağılımlarını ölçmek için geliştirildi [White, 1963]. Bu ölçümlerden elde edilen sonuçlar, Cooperman tarafından bulunan minimum alanı işaret etmekte idi. Korona akımının etkisinin levha yanındaki alan yoğunluğunu artırdığını ancak uniform biçimliliğini bozmadığı da bulundu.

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 kullandı. 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 bildirdi. Darbe sürecinden sonra alanın, taban gerilim ve hareket eden uzay yükü ile belirlendiği gösterilmiştir. DC taban geriliminin etkisiyle oluşan alanın etkisiyle toplam alan, yaklaşık 1,7 ms' de uzay yükünün ön tarafının dış elektrotu ulaşıncaya kadar geçen süre içerisinde yükselir. Yaklaşık 10 ms' den sonra iyonlar dış elektrotu ulaşıncaya kadar geçen süre içinde düşer. Bundan sonra mevcut alan uygulanan taban gerilimden kaynaklanır. Bu durum sonraki darbe uygulandığında tekrarlanır [Lausen ve Petersen, 1981].

Partikül yük ölçüm yöntemleri de geliştirilmiştir [Anderson, 1981]. Her bir mikroskobik partiküllerin hem boyutu hem de yükünü belirlemek için elde edilen deneysel sonuçlar, teorik tahminlerle uyudur. Yük taşıyıcı taşıma için zaman ölçümleri [Mizuno, 1981]; yoğun alandaki serbest elektronların, partiküllerin yüklenmesine katkısı olduğunun güçlü bir ihtimali olduğunu gösterdi. Clements ve Williams, 1995; tarafından yapılan son bir araştırma çalışmasında darbeli bir korona-Townsend yöntemi, atmosferik basınçta korona boşalmasındaki sürüklenme hızlarını ve yük taşıyıcılarını ölçmek için geliştirildi. Yöntem ayrıca korona yükleme deneylerinde elektron akımını iyon akımından ayırabilir, bu sayede yük taşıyıcıların kimliğini oluşturur. Elektrostatik toz tutucunun partikül yüklemesinde serbest elektronların rolünü incelemede etkili bir şekilde kullanılıp kullanılmadığı incelenmemiştir. Belli bir elektrostatik toz tutucu kanal geometrisi için partikül uzay yükü yoğunluğu partikül emisyon seviyesiyle ilgili olabilir ve belli koşullar altında nispi çöktürme verimi ile ilgili olabilir. Uzay yükü alanının ölçümü, elektrostatik toz tutucu performansını sürekli izleme olanağı sağlar. Bunu elde etmek için [Peter castle, 1988]; bir elektrostatik toz tutucunun çıkışında partikül uzay yükünün ölçülmesini sağlayan bir elektrik alanı işleyicisi geliştirdi. Yazar, belli koşullar altında kaçan partiküllerin konsantrasyonunun kanalın çıkışındaki uzay yükü alanıyla ilgili olabileceğini gösterdi [Petercastle, 1988]. Alan işleyicisinin performansı

uygulamalı olarak incelendi ve elde edilen ilk sonuçlar anlık emisyon seviyeleri için cihazın faydalarını doğruladı. Elektrostatik toz tutucunun yükleme ve toplama performansının toplanamamış partiküllerin algılanmasıyla tahmin edilmesini kolaylaştırmak için [Mizuno ve Otsuka, 1984]; mikron boyutundan küçük partiküller için yükten yarıçapa doğru bir ölçme aparatı geliştirdi. Yazarlar, yüklenen bir partikülün hızının; bir elektrik alanı içerisinde yarıçapına göre yüklenme değeri kullanılarak belirlenebileceğini teorik olarak göstermişlerdir [Mizuno ve Otsuka, 1984].

5. ELEKTROT ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİ DENEYSEL İNCELEMESİ

5.1. Giriş

Elektrostatik toz tutucunun tutma verimi, enerji tüketimi ve performansına direk etki eden faktörlerden biride elektrot geometrisi ve tutucu plakaların yerleşim şeklidir. Elektrostatik toz tutucularda toz partiküllerinin göç hızı önemli bir rol oynamaktadır. Araştırmanın amacı göç hızını en yüksek seviyede tutarken tutma verimini en yüksek seviyelerde tutmak ve enerji tüketimini en düşük seviyelerde tutacak doğru geometrik elektrotlara ulaşmaktır. Bu araştırmada korona boşalması esnasında, terminal gerilim-akım (V-I) karakteristiklerinin ölçülmesinin yanı sıra pratik uygulamalar üzerine yoğunlaşmıştır. Elektrostatik toz tutucunun elektriksel performansının değerlendirilmesi için; korona uzay yükü bilgisi ve cihaz içerisindeki elektrik alanı dağılımları bilgisi önem kazanmaktadır, çünkü bu parametreler partikül göç hızını ve sonrasında elektrostatik toz tutucunun verimini doğrudan etkiler. Uzay yükü üretiminde uygulanan gerilim seviyelerinin etkileri, gerilim kutupları ve korona teli boyutunun etkileri birlikte incelenmiştir.

5.2. Deneysel Yöntemler

5.2.1. DC gerilim beslemesi

DC gerilim beslemesi için bir adet yüksek gerilim transformatörü, yüksek gerilim diyotu, yüksek gerilim şarj direnci, yüksek gerilim kondansatörü, ölçme ünitesi ve kumanda ünitesi kullanılmıştır. Kullanılan transformatör 0,22 / 50 kV çevirme oranına sahip; nominal akımı ise yüksek gerilim tarafında 50 mA' dir. Devrede bulunan diyot ise 100 adet 1kV, 3 amper diyodun seri bağlanması ile oluşturulan bir diyottur. 470 kOhm değerindeki direnç ise yağ izolasyonlu olup transformatör çıkış akımlarını sınırlandırma amacı ile kullanılmıştır. 2 adet 50 kV' luk kondansatör diyot ve direnç yardımıyla şarj olup yüksek DC gerilim oluşturmak amacı ile kullanılmaktadır. Ölçme ünitesi vasıtasıyla uygulanan gerilim ve korona akımı

görülebilmektedir. Kontrol ünitesi ise uygulanan yüksek DC gerilimin seviyesini kumanda etmektedir.

5.2.2. Test hücresi

Kullanılan test hücresi;

- 1200x1800x1400 mm boyutları olan dikdörtgen prizması biçimindeki 30x30 mm köşebent demirden oluşturulmuş dış kasa,
- Dış kasanın kapatılması için kaplama olarak renkli ve saydam fiber glase kullanılmıştır (iç ve dış ortam yalıtımı için silikon kullanılmış olup, fiber glase hafif olmasından dolayı seçilmiştir),
- Elektrotların bağlantısı ve elektrotlara yüksek gerilim uygulanabilmesi için kasanın üst orta bölmesine yerleştirilmiş olan 70 kV harici tip porselen gövde geçiş izolatörü ve bağlantı için 50x10 mm ebatlarında 800 mm uzunluğunda delikli bakır bara,
- Toz tutucu plakaların toprak bağlantısının yapılabilmesi için dış kasanın üst sol tarafına yerleştirilmiş olan 1kV geçiş izolatörü,
- Kasa içinden geçirilen havanın ayarlanması için 1 adet 250 m³ / saat' lik 60 watt / 220 Volt emici aspiratör,
- Aspiratör hızının ayarlanabilmesi için 1 adet 500 watt / 220 Volt dimmer,
- Kasanın tabanında kül birikmesi amacıyla pres makaron,
- Termik santral elektrostatik toz tutucuda tutulmuş olan kül,

- İç kasanın içinde hava akış güzergâhına paralel olarak yerleştirilmiş elektrotlara mesafenin eşitlenmesi amacıyla alt yüzeyleri ortaya doğru yuvarlatılmış 2 adet 80x100 mm plaka,
- Test elektrotları (3 takım),

dan oluşmaktadır.

Uygulanan gerilimin bağlandığı korona elektrotları toz tutucu içerisinde hava akış yönünde sıralı olarak bağlanmaktadır.

5.3. Araştırma Verileri

5.3.1. Araştırmanın amacı

Uygulanan gerilim ile ölçülen akımın değişim ilişkisi farklı elektrot geometrileri için incelendi. Aynı gerilim seviyesinde elektrotun sadece geometrisi değiştirilerek toz tutma verimi incelendi. Bu inceleme esnasında tutulmak istenen toz aynı karakteristiğe sahip termik santralde tutulmuş küldür. Aynı zamanda tutucu plakalar ile elektrotlar arası uzaklıkların eşit olması sağlanarak, tutucu plakalar üzerinde oluşan birikimlerin şekilleri incelendi.

5.3.2. Araştırma esnasında takip edilen aşamalar

- Başlangıçta aspiratör üfleyici olarak tasarlanmış idi. Elektrostatik toz tutucu çalıştırıldığında üfleyici fan sebebi ile yükleyici elektron geometrisine bağlı olarak tutucu plakalarda tutulan külün sadece belirli noktalarda tutulduğu gözlemlendi. Örneğin düz bakır boru geometrisinde sadece elektrot uç seviyesinin 3 cm kadar altında çok ince bir çizgi halinde kül tutulmakta idi. Hava hızı azaltıldığında havadaki kül direk tabana inmekte hava hızı arttırıldığında ise tutucu plakalarda tutulan kül süpürülmekte idi. Aynı zamanda da üflenene hava elektrostatik toz tutucu içerisinde havayı türbülansa sokmakta ve tutulamayan tozunda sürekli havada askıda

kalmasına sebep olmakta idi. Bu sebepten ötürü homojen bir hava akışı için aspiratör üfleyici değil emici olarak kullanıldı. Bu sayede daha homojen bir hava akışı sağlandı. Tasarlanan Elektrostatik toz tutucunun detay görünümü Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3’ de verilmiştir.

➤ Başlangıç için toz tutucuya yüksek doğru gerilim uygulanmadan sadece emici aspiratör çalıştırılarak 5 dakika boyunca yaklaşık 100 gram kül düzensiz olarak karıştırıldı. Bu aşamada toz tutucu plakalarında herhangi bir kül birikintisi görülmemiş fakat şase altında yaklaşık olarak 30 gram kül birikmiştir. Bu kül toz tutucu içerisinden geçen havanın doyuma ulaşması sonucunda aşağıda birikmiştir. Elektrostatik toz tutucuya yüksek doğru gerilim uygulanmadığında emici aspiratör hava çıkışında gözle görülür bir kül atımı oluşmuştur.

➤ Birinci aşamada yükleme elektrotu olarak 400 mm uzunluğunda 6 mm çapında aralarında 200 mm olacak şekilde tutucu plakalara paralel olarak bağlanan 4 adet içi boş bakır boru kullanılmıştır. Bu durum Şekil 5.4’ de gösterilmiştir. Yükleme elektrotlarına negatif polariteli yüksek doğru gerilim uygulanmış ve tutucu elektrotlar topraklanmıştır. Uygulanan negatif polariteli yüksek doğru gerilim 0 volt ile başlamış 57 kV’ a kadar yükseltilmiştir. Yaklaşık 49 kV’ ta korana akımı başlamış ve 50 mA mertebesine kadar çıkmıştır. 5 dakika boyunca yaklaşık 100 gram kül düzensiz olarak gönderildi. Bu esnada emici aspiratör çıkışında kül atımının sürekli devam ettiği fakat eskiye nazaran azaldığı gözlenmiştir. Daha sonra tutucu plakalar kontrol edildiğinde tutucu plaka üzerinde ince bir tabaka halinde kül katmanı olduğu sadece yükleme elektrotlarının uç kısımlarının karşısında 3 cm kadar aşağıda kalın bir kül tabakası gözlenmiştir. Bu aşamada içeride toplanan toz miktarı yaklaşık 60 gram olmuştur.

➤ İkinci aşamada yükleme elektrotu olarak 4 mm çapındaki tel 400 mm uzunluğunda, Şekil 5.5’ deki gibi yuvarlak uçlu olarak şekillendirilerek 4 adet olarak tutucu plakalara paralel olarak bağlandı. Yükleme elektrotlarına negatif polariteli yüksek doğru gerilim uygulanarak, tutucu plakalar topraklandı. Uygulanan negatif polariteli yüksek doğru gerilim 0 volt ile başlatıldı ve 56 kV’ a kadar yükseltildi.

Yaklaşık 46 kV' ta korona akımı başladı ve 50 mA mertebesine kadar çıkmıştır. 5 dakika boyunca yaklaşık 100 gram kül düzensiz olarak gönderildi. Bu esnada emici aspiratör çıkışında kül atımının sürekli devam ettiği fakat birinci testte nazaran daha az olduğu gözlemlendi. Daha sonra tutucu plakalar gözlemlendiğinde tutucu plaka üzerinde birinci teste nazaran daha kalın bir kül tabakası olduğu görüldü. Fakat birinci testte yükleme elektrotlarının uç noktalarının karşısında tutucu plakalarda oluşan kül tabakasının incelmesi fakat bütün kıvrım noktalarında belirgin fakat ince tabakalaşmalar olduğu görüldü. Bu aşamada içeride toplanan toz miktarının yaklaşık 70 gram olduğu görüldü.

➤ Üçüncü aşamada yükleme elektrotu olarak 400 mm uzunluğunda 6 mm çapında aralarında 200 mm olacak şekilde tutucu plakalara paralel olarak bağlanan 4 adet içi boş bakır boru kullanıldı. Fakat birinci testten farklı olarak bu borulara 80 mm ara ile 80 mm uzunluğunda 1 mm² kesidinde bakır çubuklar tutucu plakalara dik olacak şekilde geçirildi. Bu durum Şekil 5.6' de gösterilmektedir. Yükleme elektrotlarına negatif yüksek doğru gerilim verilerek tutucu elektrotlar topraklandı. Uygulanan negatif polariteli yüksek doğru gerilim 0 volt ile başlatıldı ve 46 kV' a kadar yükseltildi. Yaklaşık 38 kV' ta korona akımı başladı 50 mA' e kadar yükseltildi. 5 dakika boyunca düzensiz olarak yaklaşık 100 gram kül gönderildi. Bu esnada emici aspiratör çıkışında kül atımı olayı göz ile gözlemlenemedi. Daha sonra tutucu plakalar gözlemlendiğinde tutucu plaka üzerinde birinci ve ikinci teste nazaran çok daha kalın bir kül tabakası olduğu görüldü. Birinci testte yükleme elektrotlarının uç noktalarının karşısında tutucu plakalarda oluşan kül tabakası kalınlığına eş değer tabakaların, bütün uç noktaların karşısında oluştuğu gözlemlendi. Bu aşamada içeride toplanan toz miktarının yaklaşık 95 gram olduğu görüldü.



Şekil 5.1. Tasarlanan elektrostatik toz tutucunun dış görünümü



Şekil 5.2. Tasarlanan elektrostatik toz tutucunun iç görünümü



Şekil 5.3. Tasarlanan elektrostatik toz tutucunun besleme ekipmanları



Şekil 5.4. Boru tipi yükleme elektrodu ve tutulan kül



Şekil 5.5. Yuvarlak uçlu boru tipi yükleme elektrodu



Şekil 5.6. Dikenli boru tipi yükleme elektrodu

5.3.3. Gerilim – akım karakteristikleri

Yapılan araştırmada üç farklı geometri için inceleme yapılmıştır. Üç ayrı geometri için akım-gerilim ilişkisi Çizelge 5.1’ de verilmiştir.

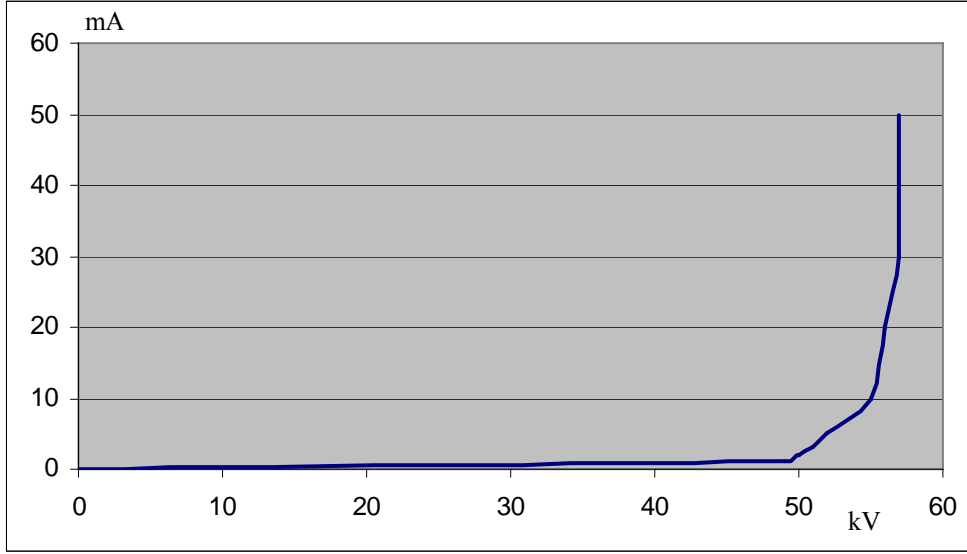
Çizelge 5.1. Üç farklı geometri için akım-gerilim değerleri

Görülen Akım (mA)	Uygulanan DC Gerilim (kV) Boru tip elektrot	Uygulanan DC Gerilim (kV) Yuvarlak boru tip elektrot	Uygulanan DC Gerilim (kV) Dikenli boru tip elektrot
0	0	0	0
1	49	46	38
2	50	47	41
3	51	48	43
5	52	49	44
10	55	53	45
20	56	55	46
30	56	56	46
40	57	56	46
50	57	56	46

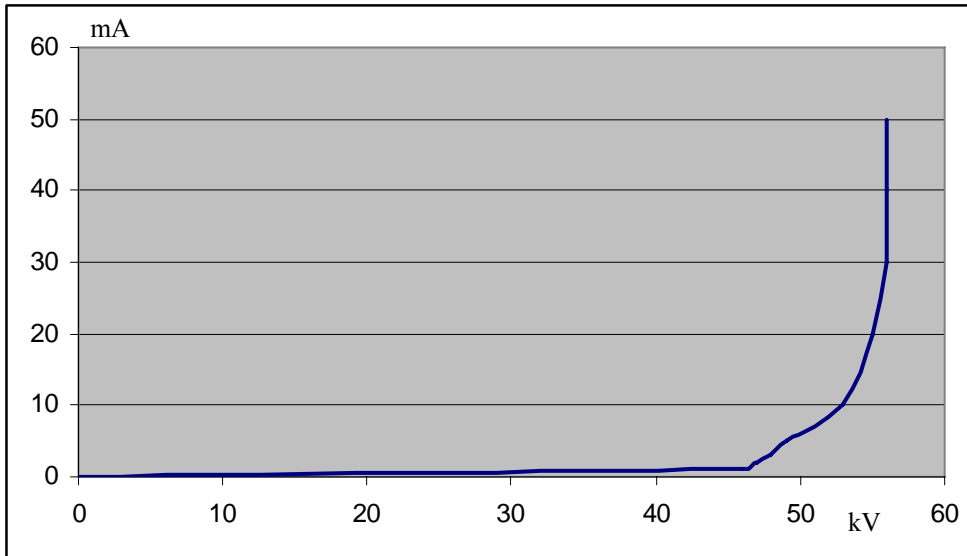
Çizelgeden de anlaşılabilceği gibi sivri uçlu boru geometrisinde korona akımı daha erken seviyelerde başlamaktadır. En iyi toz tutma kabiliyeti ise yine sivri uçlu boru geometrisindedir.

Yapılan deneyde boru, yuvarlak uçlu boru ve dikenli boru tipi elektrod konfigürasyonu için akım – gerilim karakteristiği Şekil 5.7, 5.8, 5.9’ ve 5.10’ de gösterilmiştir.

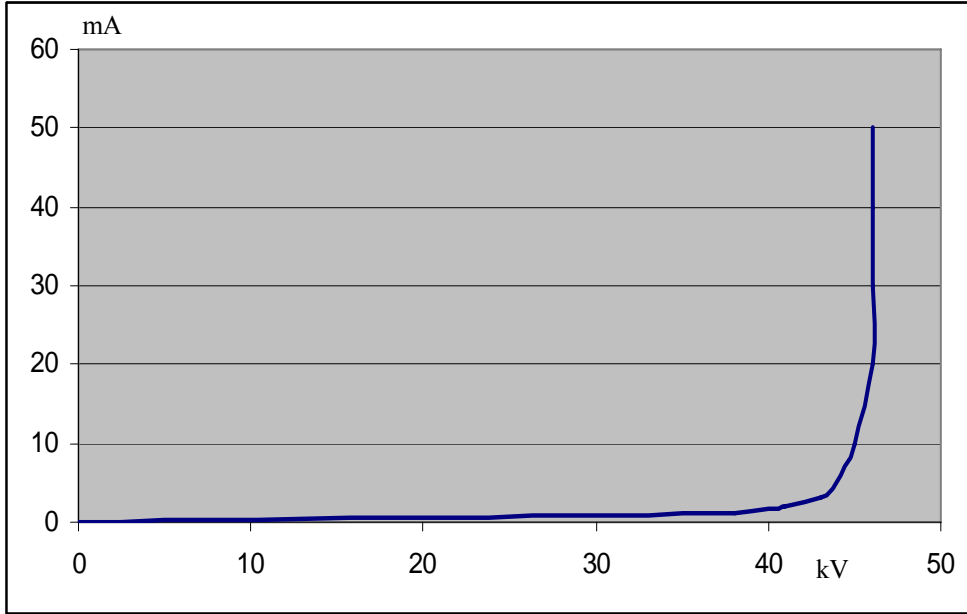
Yapılan deneyde boru, yuvarlak uçlu boru ve dikenli boru tipi elektrod konfigürasyonu için toz tutma kapasitelerinin karşılaştırılması Şekil 5.11’ de gösterilmiştir.



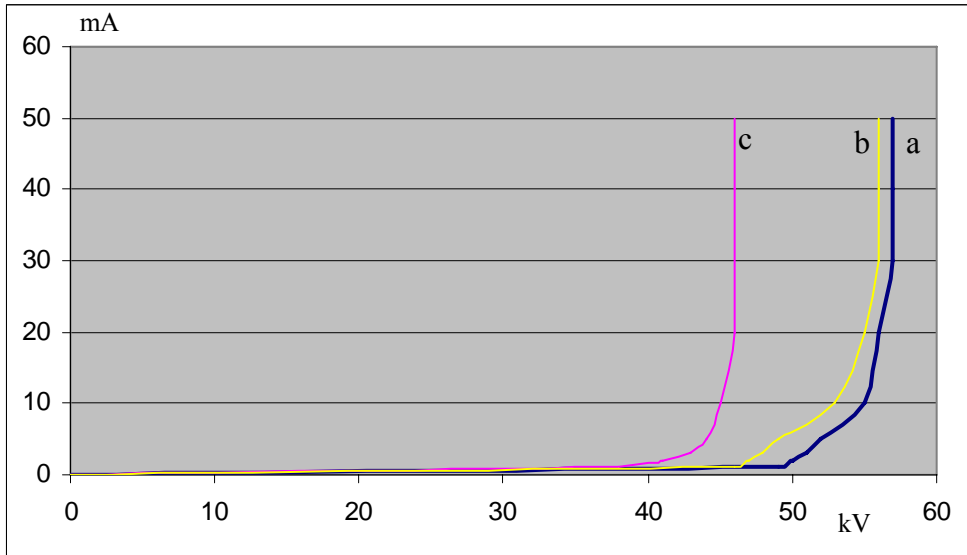
Şekil 5.7. DC gerilim uygulanmış boru tipi elektrot konfigürasyonu için elektrostatik toz tutucunun gerilim akım karakteristiği.



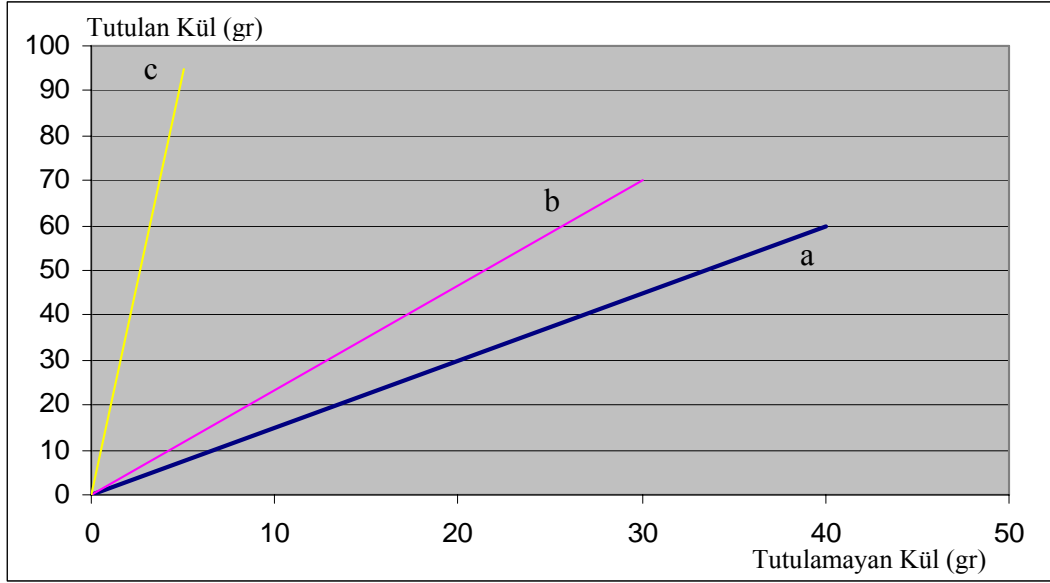
Şekil 5.8. DC gerilim uygulanmış yuvarlak uçlu boru tipi elektrot konfigürasyonu için elektrostatik toz tutucunun gerilim akım karakteristiği.



Şekil 5.9. DC gerilim uygulanmış dikenli boru tipi elektrot konfigürasyonu için elektrostatik toz tutucunun gerilim akım karakteristiği.



Şekil 5.10. DC gerilim uygulanmış 3 farklı elektrot konfigürasyonu için elektrostatik toz tutucunun gerilim akım karakteristiği.
(a) Boru (b) Yuvarlak uçlu boru (c) Dikenli Boru



Şekil 5.11. DC gerilim uygulanmış 3 farklı elektrot konfigürasyonu için elektrostatik toz tutucunun toz tutma karakteristikleri.
(a) Boru (b) Yuvarlak uçlu boru (c) Dikenli Boru

5.4. Sonuçlar

Tutucu plakalar ile yükleyici elektrot aralığını değiştirmeden aynı elektrot tipinde Elektrostatik toz tutucu içerisinden geçen havanın akış yönü, akış hızı ve havaya gösterilen mekanik dirençlerin toz tutucu performansı üzerinde belirgin etkileri gözlemlenmiştir. Çeşitli yöntemlerle havanın tutucu plaka üzerinden en düşük hız seviyelerinde geçirilmesi tutucunun performansını arttırmaktadır. Aynı zamanda tutulmak istenen tozun karakteristiğine göre havanın akış hızı kontrolü toz tutucu performansını arttırarak etkili toz tutma işlemi gerçekleştirmiştir. Hava akış hızından faydalanarak büyük partiküllerin tabanda toplanması kullanılarak daha az enerji tüketimi, daha düşük gerilim seviyeleri dolayısıyla daha az kurulum ve işletme maliyetinin yanı sıra daha rahat bir işletme karakteristiği getirecektir. Ayrıca Elektrostatik Toz Tutucuda havanın akış hızı, akış yönü, tozun karakteristiği, gerilimin uygulanış biçimi ve süresi, tutucu plaka ve yükleyici elektrotlar arası uzaklıklar sabit tutularak sadece yükleyici elektrot geometrisi değiştirilirse tutucu performansında çok önemli değişimler gözlenmektedir. Araştırma alışması göstermiştir ki sivri uçlara sahip yükleyici elektrot geometrilerinde tutucu plaka üzerinde çok daha kalın toz katmanları oluşmaktadır. Aynı malzemeden oluşan yükleyici elektrotlara sivri uç noktalar ekleyerek veya sadece keskin uçlar oluşturarak o bölge karşısında kalın tabakalı tutma işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu keskin uçların elektrostatik toz tutucu içerisine doğru açıklıkta ve doğru sayıda yerleşimi ile uygulanan yüksek doğru gerilim seviyesi düşürülebilir. Böylece enerji maliyeti düşürülebilir. Nispeten yüksek uygulanmış gerilimlerde negatif korona için toplanan yükün büyüklüğü esas olarak maksimum uygulanmış gerilime bağlıdır. Öte yandan pozitif korona boşalması için toplanan uzay yükü, ötesinde daha çok aşamalı artışın bulunduğu belli bir seviyeye kadar maksimum gerilimle git gide artar. Bunun sebebi korona telin etrafındaki parlaklıkların oluşmasıdır. Bu sebeple çevreleyen uzaya yk enjeksiyonu kısıtlanır. Bu sonuçlar, elektrostatik toz tutucudaki pozitif korona ile karşılaştırıldığında negatif korona deşarjının kullanılmasının avantajını bir kez daha gösterir.

6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrostatik toz tutucunun performansını geliştirmede tasarım aşamasında elektrostatik toz tutucunun hangi koşullarda çalışacağı ve ne tarz bir toz karakteristiğinde çalışacağını bilmesi önem kazanmaktadır. Tasarım aşamasında yanlış bir elektrot-plaka geometrisi seçimi, yanlış hava akış kontrol denetimi istenilen performansa gelmeyi zorlaştıracak, prosesin durması gibi istenmeyen sonuçlarda doğurabilecektir. Bu çalışma ile hava akış yön ve hızının belirli bir toz karakteristiğinde performans ve maliyete etkisi ile elektrot-plaka geometrisinin yine belirli bir toz karakteristiğinde performansa ve maliyete etkisini göstermek amacı ile hazırlanmıştır. Bu çalışmada daha çok pratik gözlemler ön plana alınmış ve değerlendirilmiştir. Bu araştırmada kullanılan toz gerçekte bir termik santralde kontrollü olarak emisyonu zorlanan ve elektrostatik toz tutucular tarafından tutulmuş olan küldür. Bu elektrostatik toz tutucunun yapısal boyutları ve tasarım geometrisi tarafımızca geliştirilmiş olup, termik santralde kullanılan elektrostatik toz tutucu model olarak alınmıştır. Bu çalışmada sadece elektrostatik toz tutucunun performansının artırılması amaçlanmamış maliyet ve performans optimize edilmeye çalışılmıştır.

Günümüz teknolojisinde elektrostatik toz tutucularla ilgili darbe ile doğru gerilimin birleştirilerek verilmesi alan şarjının doğru gerilimin ise 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. Bu sebeple elektrostatik toz tutucunun tasarımını ve çalışmasını en iyi hale getirmek için bu parametrelerin birbirlerine bağılıklarının belirlenmesi gerekir.

KAYNAKLAR

Abdel, S.M., "Influence of humidity on the charge density and electric field in tubular ESP", **Proc. Of the 7th Inter. Symp. On High Voltage Eng**, Dresden, 91, (2003)

Anderson , M.M. and McDonald, J.R., "Particle charge measurements", **Inter. Conf. On Electrostatic Precipitators, Monterey, CA.**, 499-514, (1981)

Brambilla, A., Dallago, E. " Circuit analysis of a power pulse generator for electrostatic precipitators", **IEE Proc**, 83-88, (1990)

Boehm, J., "Electrostatic precipitators", **Elsevier Scientific Publishing Company**, 1-52,(1982)

Canadas, L., Navarrete, B., Salvador, L., "Teoretical modelling of electrostatic precipitators performance", **J. Of Electrostatic**, 335-353, (1995)

Cook, R.E., "Sulphur trioxide trioxide conditioning", **J. Air Poll. Control Assoc.**, 156-158, (1985)

Cooperman, G., "Current-voltage relation for duct precipitator valid for low and high current densities", **IEEE Trans. On Industry Applications**, IA-17(2): 236-239, (1981)

Golkowski, C. And Chojnowski, M., "The role of electrode spacing in the performance of the electrostatic precipitator", **J. of Electrostatics**, 14: 339-343, (1995)

Hartmann, H., Romheld, M., Rohde, K., "Highefficiency high-voltage pulse generator based on a fast recovery pseudospark switch", **IEEE Trans. Plasma Sci.** 28(5): 23-25, (2000)

K.J. Mclean, "Electrostatic precipitator", **Proc. Inst. Elect. Eng.**, 135(6): 347-361, (1988)

Kuffel, E., Zaengl, W. S., Kuffel, J., "High Voltage Engineering Fundamentals", **Newnes**, 26-47 (2000)

Lami, E., "A numerical procedure for computing the voltage-current characteristics in electrostatic precipitator configurations", **J. of Electrostatics**, 34: 385-399, (1995)

Lausen, P., Petersan, H.H. and Joergensen, H.J., "Theory and application of pulse energization", **Inter. Conf. On Electrostatic Precipitation, Monterey, CA**, 531-555, (1991)

Lausen, P., Henriksen, H. and Petersen, H., "Energy conserving pulse energization of precipitators", **IEEE/IA**, 163-171, (1979)

Masuda, S. And Hosokawa, S., "Pulse energisation system of electrostatic precipitators for retrofitting applications", **IEEE Trans. On Industry Applications**, 24(4): 708-716, (1988)

Masuda, S. And Hosokawa, S., "Performance of two stage electrostatic precipitators", **IEEE trans. On Industry Applications**, 20(3): 709-717, (1984)

Mclean, K.J., "Electrostatic precipitators", **IEEE Review, IEE Proc.**, 135(6): 347-361, (1988)

Milde, H.I., "Pulse corona discharge in electrostatic precipitator", **IEEE Trans. on Electrical Insulation**, 17(2): 179-186, (1982)

Miller, J.; Hoferer, B.; Schwab, A "The Impact of Corona Electrode Configuration on Electrostatic Precipitator Performance" **Journal of Electrostatics** ,44, (1998)

Mizuno, A., Clements, J.S. and Davis, R.H., "Use of electron beam for particle charging", **IEEE Trans. on Industry Applications**, 26(1): 29-35, (1990)

Mok,Y., Lee, H., Hyun,Y. "Flue gas treatment using pulsed corona discharge generated by magnetic pulse compression modulator", **J. Electrostat.**, 53: 195-208, (2001)

Moore, A.D., "Electrostatic and its applications", **Proc. Elect. Eng.**, 18-125, (1973)

Oglesby, S., Jr and Nichols, B.B., "Electrostatic precipitation", **Published by Marcel Dekker Inc.**, Newyork. 33-72, (1978)

Peter Castle, "Measurement of particle space charge in the outlet of an electrostatic precipitator using electric field mill", **IEEE Trans. On Industry Applications**, 24: 702-707, (1988)

Petersan,H.H., "New trends in electrostatic precipitation: wide duct spacing, precharging, pulse energization", **IEEE Trans. On Industry Applications**, 17: 496-501, (1981)

Salasoo, L., Nelson, J.K., Tardos, G.I., Snaddon.R.W. and Walsh, K.A., "Modelling of dust layer behaviour in pulsed precipitation and comparison with bench scale experimental results", **J. Appl. Phys.**, 66(6): 2156-2167, (1989)

Waters, R.T., and Stark, W.B., "Direct measurement of electrical field on line conductors during ac corona", **Proc. IEEE**, 119(6): 717-723, (1972)

White,H.J., "Industrial Electrostatic Precipitation", **Addison-Wesley**, 125, (1963)

White,H.J., "Electrostatic Precipitation", **Addison-Wesley**, 80, (1981)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALACA, Özgür
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 02.06.1979 Rize
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 255 14 16
Faks : 0 (312) 796 10 58
e-mail : o.alaca@cinergroup.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2001
Lise	Yıldırım Beyazıt Anadolu Lisesi	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2001-.....	Ciner Group, Park Termik A.Ş.	Dış İşl. Elk. Koor.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tiyatro, Elektro-pnömatik ve elektro-hidrolik sistemler.