

**T.C.  
SİİRT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNDÜKSİYONLU ISITMA DESTEKLİ BARİYER BOŞALMASININ BACA  
GAZLARININ TEMİZLENMESİ ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL  
OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Murat AKDEMİR  
(163113001)**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fevzi HANSU**

**Ekim, 2019  
SİİRT**

## TEZ KABUL ve ONAY SAYFASI

Murat AKDEMİR tarafından hazırlanan “İndüksiyonlu ısıtma destekli bariyer boşalmasının baca gazlarının temizlenmesi üzerine olan etkisinin deneysel olarak araştırılması” adlı tez çalışması 18/10/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

**Başkan**  
Doç. Dr. Celaleddin YEROĞLU



**Danışman**  
Doç. Dr. Fevzi HANSU



**Üye**  
Doç. Dr. Hüsnü KOÇ



**Üye**  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recep MİNAZ



**Üye**  
Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Fevzi HANSU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, zehirli baca gazlarının temizlenmesine yönelik yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem kapsamında özetle, baca gazları içerisinde bulunan bazı zehirli gazlar ilk önce bir indüksiyonlu ön ısıtmaya tabi tutulmuş ve ardından özel olarak tasarlanmış olan bir DBB plazma reaktöründen geçirilerek iyon-elektron bombardımanına tabi tutularak ayrıştırılmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasının tüm süreci boyunca bana sürekli yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen pek kıymetli saygıdeğer danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fevzi HANSU'ya;

Tezin başlangıç ve bitiş periyodu içerisindeki her aşamada öneri ve yol gösterici tavsiyeleriyle her daim yardımlarını aldığım Tez izleme Komitesi'nin saygıdeğer üyelerine;

Deneysel çalışmalar sürecindeki teknik yardımlarından dolayı Arş. Gör. Rıdvan ÇETİN ve Öğr. Gör. Abdulgani GÖZ'e;

Savunma sürecinde öneri ve yapıcı eleştirileriyle tezin kalitesine katkıları olan Tez Savunma Jürisi'nin saygıdeğer üyelerine;

Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne, Siirt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi hocalarına; Batman Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümü hocalarına;

ve son olarak, eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili anneme, babama ve diğer aile fertlerime,

ve ayrıca, çalışmalarım süresince desteklerinden dolayı tüm arkadaşlarıma gönülden teşekkür ederim.

**Murat AKDEMİR**  
Siirt, 2019

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
TABLolar LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ .....	ix
ÖZET .....	xi
ABSTRACT.....	xii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. NTP Reaktör Tipleri.....	7
1.1.1. Elektron demeti ışınlama reaktörleri .....	7
1.1.2. Dielektrik bariyer boşalması reaktörleri.....	8
1.1.3. Korona boşalması reaktörleri .....	11
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>14</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>35</b>
3.1. Materyal .....	35
3.2. Yöntem.....	41
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>44</b>
4.1. Bariyer Boşalmasının CO, NO, NO <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub> Gazlarının Giderilmesi Üzerine Olan Etkisi .....	44
4.2. Bariyer Boşalması ve İndüksiyon Bobinin Birlikte Kullanılmasının CO, NO, NO <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub> Gazlarının Giderilmesi Üzerine Etkisi .....	51
4.3. İndüksiyon bobinin tükettiği enerjiye bağlı oluşan sıcaklık ve oluşan sıcaklığın CO, NO, NO <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub> gazlarının giderilmesi üzerine etkisi .....	63
4.4. Bariyer Boşalması ve İndüksiyon bobinin CO <sub>2</sub> gazının giderilmesi üzerine etkisi .....	65
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b> .....	<b>67</b>
5.1. Sonuçlar .....	67
5.2. Öneriler .....	70
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>79</b>

## TABLolar LİSTESİ

Sayfa

**Tablo 4.1.** İndüksiyon bobininin çektiği güce bağlı olarak ölçülen gaz sıcaklıkları... 64



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Gaz boşalma koşulları altında NTP kimyasal reaksiyon süreçleri (A ve B nötr atom ve molekülleri temsil eder) (Kim, 2004). ....	7
Şekil 1.2. Tipik bir Elektron demeti ışınlama reaktörü.....	8
Şekil 1.3. DBB reaktörlerinin tipik yalıtkan dielektrik düzenlemeleri .....	9
Şekil 1.4. Reaktör yapısına bağlı DBB türleri: Hacimsel boşalma; Yüzeysel boşalma; Paket yataklı boşalma .....	10
Şekil 1.5. Korona boşalma reaktörleri .....	12
Şekil 3.1. Deney sisteminin genel görüntüsü.....	35
Şekil 3.2. Deney sisteminde kullanılan güç kaynağı .....	36
Şekil 3.3. Deney sisteminde kullanılan yüksek gerilim trafosu.....	36
Şekil 3.4. Deney sisteminde kullanılan DBD reaktörü.....	37
Şekil 3.5. Deneyde kullanılan gaz ve gaz ölçüm cihazları a) Gaz tüpü b) Akış ölçer c) Baca gazı analizörü .....	40
Şekil 3.6. Deneyde kullanılan malzemeler a) indüksiyon bobini b) DC motoru c) DC güç kaynağı.....	40
Şekil 4.1. DC uygulama gerilimi için DBB'nin Gerilim-Akım grafiği.....	45
Şekil 4.2. DC uygulama gerilimi için, DBB'nin uygulama gerilimine karşılık SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri.....	45
Şekil 4.3. F=50 Hz uygulama frekansı için DBB'nin Gerilim-Akım grafiği .....	46
Şekil 4.4. DBD'nin uygulama geriliminin 50 Hz frekansındaki gerilimlere bağlı SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	46
Şekil 4.5. F=100 Hz uygulama frekansı için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınan akım grafiği .....	47
Şekil 4.6. DBD'nin uygulama geriliminin 100 Hz frekansındaki gerilimlere bağlı SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	47
Şekil 4.7. F=200 Hz uygulama frekansı için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınan akım grafiği .....	48
Şekil 4.8. DBD'nin uygulama geriliminin 200 Hz frekansındaki gerilimlere bağlı SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	49
Şekil 4.9. F=350 Hz uygulama frekansı için DBB'nin gerilime karşı alınmış olan akım grafiği .....	49
Şekil 4.10. DBD'nin uygulama geriliminin 350 Hz frekansındaki gerilimlere bağlı SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	50

Şekil 4. 11. F=500 Hz uygulama frekansı için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınan akım grafiği.....	51
Şekil 4.12. DBD'nin uygulama geriliminin 500 Hz frekansındaki gerilimlere bağlı SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	51
Şekil 4.13. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken DC gerilim için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış olan akım grafiği.....	52
Şekil 4.14. İndüksiyonlu ısıtma destekli DC DBB'deki uygulama gerilimine karşı SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	53
Şekil 4.15. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken F=50 Hz uygulama frekansı için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış olan akım grafiği .....	53
Şekil 4.16. F=50 Hz frekansında uygulanan gerilimlere bağlı olarak SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	54
Şekil 4.17. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken F=100 Hz için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış olan akım grafiği .....	54
Şekil 4.18. F=100 Hz frekansındaki DBB uygulama gerilimlere bağlı olarak SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	55
Şekil 4.19. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken F=200 Hz için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış olan akım grafiği .....	56
Şekil 4.20. F=200 Hz frekansındaki DBB uygulama gerilimlere bağlı olarak SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	56
Şekil 4.21. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken F=350 Hz için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış olan akım grafiği .....	57
Şekil 4.22. F=350 Hz frekansındaki DBB uygulama gerilimlere bağlı olarak SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	57
Şekil 4.23. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken F=500 Hz için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış olan akım grafiği .....	58
Şekil 4.24. F=500 Hz frekansındaki DBB uygulama gerilimlere bağlı olarak SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	58
Şekil 4.25. DBD'nin uygulama geriliminin farklı frekanslarındaki gerilimlere bağlı alınmış olan CO gazı konsantrasyonlarının değişim eğrileri .....	59
Şekil 4.26. DBD'nin uygulama geriliminin farklı frekanslarındaki gerilimlere bağlı alınmış olan NO gazı konsantrasyonlarının değişim eğrileri .....	60
Şekil 4.27. DBD'nin uygulama geriliminin farklı frekanslarındaki gerilimlere bağlı alınan NO <sub>x</sub> gazı konsantrasyonlarının değişim eğrileri .....	60
Şekil 4.28. DBD'nin uygulama geriliminin farklı frekanslarındaki gerilimlere bağlı alınmış olan SO <sub>2</sub> gazı konsantrasyonlarının değişim eğrileri .....	61

Şekil 4.29. İndüksiyonlu ısıtma durumunda farklı frekanslardaki uygulanan gerilimlere bağlı olarak alınmış olan CO gazının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	61
Şekil 4.30. İndüksiyonlu ısıtma durumunda farklı frekanslardaki uygulanan gerilimlere bağlı olarak alınmış olan NO gazının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	62
Şekil 4.31. İndüksiyonlu ısıtma durumunda farklı frekanslardaki uygulanan gerilimlere bağlı olarak alınmış olan NO <sub>x</sub> gazının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	62
Şekil 4.32. İndüksiyonlu ısıtma durumunda farklı frekanslardaki uygulanan gerilimlere bağlı olarak alınmış olan SO <sub>2</sub> gazının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri .....	63
Şekil 4.33. İndüksiyon bobininde harcanan enerjiye bağlı olarak elde edilen gaz sıcaklıkları .....	64
Şekil 4.34. Sıcaklığa bağlı olarak alınan SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişimler (F=50 Hz, Reaktör gerilimi=1,5 kV).....	65
Şekil 4.35. Sıcaklığa bağlı olarak alınan SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişimler (F=50 Hz, Reaktör gerilimi=15 kV).....	65
Şekil 4.36. CO üretiminde indüksiyonla ısıtma etkisini gösteren karşılaştırmalı grafik .....	66



## KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
AA	: Alternatif Akım
AC	: Alternatif Akım
BaTiO <sub>3</sub>	: Baryum titanat
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	: Eten
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	: Propen
CCDR	: Eş merkezli silindir deşarj reaktörü
cm	: Santimetre
CO	: Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbon dioksit
DA	: Doğru Akım
DBB	: Dielektrik Bariyer Boşalması
DBD -PH	: Dielektrik bariyeri deşarj-fotokatalizör hibrit
DBD	: Dielektrik Bariyer Deşarjı
DBD-C	: Dielektrik Bariyer Boşalma-Katalizör
DBD-C-P	: Dielektrik Bariyer Boşalma-Katalizör-Fotokatalizör
DBD-P	: Dielektrik bariyer deşarjı-fotokatalizör
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
EPMA	: Elektronik prob mikroanalizi
EY	: Enerji verimi
G-value	: 100 eV'luk girdi enerjisi karşılık giderilen molekül sayısı
H <sub>2</sub> O	: Su
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	: Sülfürik asit
HC	: Hidrokarbonlar
HCl	: Hidrojen klorür
Hg	: Cıva
Hg <sup>0</sup>	: Elemental cıva
HgO	: Cıva oksit
HNO <sub>3</sub>	: Nitrik asit
kE	: Enerji sabiti
mm	: Milimetre
N	: Azot
N <sub>2</sub>	: Azot gazı
N <sub>2</sub> O	: Diazot monoksit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NH <sub>3</sub>	: Amonyak
NH <sub>4</sub>	: Amonyum
NO	: Azot monoksit
NO <sub>2</sub>	: Azot dioksit
NO <sub>x</sub>	: Azot oksitler
NTP	: Non-Termal plazma
O	: Oksijen
O <sub>2</sub>	: Oksijen gazı
O <sub>3</sub>	: Ozon
OH	: Hidroksid
PCD	: Darbeli korona boşalması
PCHP	: Plazma-kimyasal hibrit prosesi

PM	: Partikül madde
ppm	: Milyonda bir
PVCD	: Plazma kimyasal buhar birikimi
SCR	: Seçici katalitik indirgeme
SDR	: Yüzey deşarj reaktörü
SED	: Spesifik enerji yoğunluğu
SEM	: Taramalı elektron mikroskopu
SIE	: Spesifik girdi enerjisi
SO <sub>2</sub>	: Kükürt dioksit
THD	: Toplam Harmonik Bozulma
TiO <sub>2</sub>	: Titanyum dioksit
UV	: Morötesi
WFGD	: Islak baca gazı kükürt giderme
XPS	: X-ışını fotoelektron spektroskopisi

**Simge**

**Açıklama**

°C	: Santigrat Derece
h	: Saat
°K	: Kelvin Derece

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

# İNDÜKSİYONLU ISITMA DESTEKLİ BARIYER BOŞALMASININ BACA GAZLARININ TEMİZLENMESİ ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

**Murat AKDEMİR**

**Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Fevzi HANSU**

**2019, 79+xii Sayfa**

Son yıllarda, nüfus artışına ve endüstrinin hızlı gelişmesine bağlı olarak, büyük güçlü enerji santrallerinde, fabrikalarda ve araçlarda her yıl fosil yakıtların yanması sonucu havaya büyük oranda zehirli gazlar salınmaktadır. Hem insan sağlığı üzerinde hem de çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturan bu gazların temizlenmesi veya zararsız hale dönüştürülmesi güncel bir problemi teşkil etmektedir. Bu çalışmada, çevresel açıdan tehlikeli olan baca gazlarının elimine edilmesine yönelik, mevcut yöntemlerden farklı olarak herhangi bir kimyasal katalizöre gerek duymadan ve uygulanabilirlik açısından önemli avantajlar sunan yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin ilk aşamasında, bir Dielektrik Bariyer Boşalması (DBB) reaktörüne çeşitli frekanslardaki gerilimler uygulanarak zehirli gazların kimyasal ayrışmaları sağlanmıştır. İkinci aşamasında, DBB plazmalarının zararlı gazların giderilmesindeki etkinliğini daha da arttırmak amacıyla, sisteme ek olarak bir indüksiyonlu ön ısıtma sistemi kullanılmıştır. Üçüncü aşamada, indüksiyonlu ısıtıcıda harcanan enerji ile oluşan gaz sıcaklığı arasındaki ilişki belirlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında Bariyer Boşalması ve indüksiyonlu ısıtıcının CO<sub>2</sub> gazının giderilmesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, yüksek frekanslı plazma yük bombardımanı etkisinin, zehirli gaz bileşiklerinin ayrıştırılmalarında oldukça etkili bir davranış sergilediği görülmüştür. Ayrıca, incelenen gazların bu yöntemle kontrollü olarak herhangi bir katalizöre veya başka bir ek sisteme gerek duyulmadan yararlı başka ürünlere dönüşümlerinin gerçekleştirilebileceği saptanmıştır. NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının çok düşük sıcaklıklarda ayrıştığı görülürken, SO<sub>2</sub> gazının NO ve NO<sub>x</sub> gazlarına nazaran bağlarının kırılmasının daha zor olduğu görülmüş, fakat boşalma gerilimi arttıkça SO<sub>2</sub> gazının daha düşük sıcaklıklar da bile ayrışmaya başladığı görülmüştür. CO gazı ayrışmasının, gazın sıcaklığından ziyade reaktöre uygulanan gerilime bağlı olduğu görülmüştür. Son olarak, yüksek frekanslı plazma yük bombardımanı etkisinin indüksiyonlu ısıtma yöntemiyle birlikte kullanılması durumunda, zehirli gaz bileşiklerinin ayrıştırılmalarında oldukça etkili bir davranış sergilediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** DBB plazma, Baca gazı, İndüksiyon fırını, Hava kirliliği

## **ABSTRACT**

### **Ph.D THESIS**

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF INDUCTION HEATING AIDED BARRIER DISCHARGE ON CLEANING OF FLUE GASES**

**Murat AKDEMİR**

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University  
The Degree of Philosophy of Doctorate  
in Electrical-Electronics Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fevzi HANSU**

**2019, 79+xii Pages**

In recent years, due to population growth and rapid development of the industry, large amounts of toxic gases are emitted into the air every year as a result of the burning of fossil fuels in large power plants, factories, and vehicles. These gases have negative effects on both human health and the environment and converting these gases harmless or cleaning them constitutes a current problem. In this study, a new method for the elimination of environmentally hazardous flue gases, which does not require any chemical catalyst and offers significant advantages in terms of applicability, is proposed. In the first stage of the proposed method, chemical decomposition of toxic gases was provided by applying voltages at various frequencies to a Dielectric Barrier Discharge (DBD) reactor. In the second stage, an induction preheating system was used in addition to the system in order to further increase the efficiency of DBD plasmas in removing harmful gases. In the third stage, the relationship between the energy consumed in the induction heater and the gas temperature formed was determined. In the last stage of the study, the effect of Barrier Discharge and induction heater on the elimination of CO<sub>2</sub> gas was investigated. As a result of the study, it was observed that the effect of high-frequency plasma charge bombardment was highly effective in the decomposition of toxic gas compounds. In addition, it has been found that inspected gases can be converted into other useful products controllably without the need for any catalyst or other additional systems. It has been found that while NO and NO<sub>x</sub> gases decompose at very low temperatures, the bonds of SO<sub>2</sub> gas are more difficult to break than NO and NO<sub>x</sub> gases, but as the discharge voltage increases, SO<sub>2</sub> gas starts to be decomposed even at lower temperatures. The decomposition of CO gas was found to be due to the voltage applied to the reactor rather than the temperature of the gas. Finally, it has been found that high-frequency plasma charge bombardment is highly effective in the decomposition of toxic gas compounds when used in combination with an induction heating method.

**Keywords:** DBD plasma, Flue gas, Induction furnace, Air pollution

## 1. GİRİŞ

Yakın Çağ'da Avrupa'da gerçekleşen sanayi devrimi ile birlikte ülkeler arasında hızlı bir teknoloji yarışı başlamıştır. Teknolojik gelişmelerle beraber fabrikaların ve insanların kullandıkları modern araçların yanı sıra insanoğlunun artan enerji talebini ve tüketimini karşılamak için kullanılan enerji üretim santrallerinin sayısı da her geçen yıl daha da artmaktadır. Enerji santrallerinde, fabrikalarda ve araçlarda fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan gazlar hava kirliliğinin ana kaynakları olup yoğun miktarda CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, yanmamış hidrokarbonlar ve partikül madde gibi zararlı kimyasal bileşikler içerirler. Bu bileşikler canlıların solunum sistemi ve çevre açısından zararlı olup, asit yağmurlarına, stratosferik ozon tüketimine, atmosferik kirlleticilerle birleşmiş fotokimyasal etki sonucu oluşan dumana ve bir sera etkisine neden olur (Chmielewski, 2013). Bu durumda, gelişen teknoloji ile beraber çevre koruma olgusu önemli bir sosyal ve ekonomik sorun haline gelmektedir. Bu olgu, tüm dünyada bir çevre koruma bilinci oluşturmuş ve hatta gelişmiş ülkeler tarafından oluşturulan sıkı yasalar ile çevre ve hava kirliliği kontrol edilmeye çalışılmıştır.

Enerji üretim santrallerinde, fabrikalarda ve araçlarda kullanılan fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınan gazlardaki SO<sub>2</sub> gazının konsantrasyonu, yakıtların içerdiği kükürt miktarına bağlıdır (Chmielewski ve Licki, 2008). Ayrıca, yanma reaksiyonları sonucunda farklı formlarda azot oksit bileşikleri oluşur. Dünyanın farklı bölgelerinde, büyük miktarlarda kükürt içeren yakıt türleri bulunmaktadır ve bu yakıtlarda kükürt oranı % 1,5 ile % 4 aralığında bir değişim göstermektedir. Bu tür yakıtların yakılması neticesinde, küresel düzenlemelerin gerektirdiği seviyeleri önemli ölçüde aşan yüksek SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonlu egzoz gazlarının üretilmesine neden olur. Bunun yanı sıra, nitrik asit üretim tesislerinde ve otomotiv katalizörlerini kullanan araçların ısı işlemlerinde kullanılan yüksek sıcaklık fırınlarından çıkan egzoz gazları da yüksek konsantrasyonlu NO<sub>x</sub> gazlarını içermektedirler (Tsai ve ark., 2007).

SO<sub>2</sub>, kükürt ve kükürt bileşenlerinin yanması sonucu oluşan zehirli ve renksiz bir gazdır (Saito, 2004). Kükürt dioksit temel hava kirleticilerinden biri olarak bilinir. Kükürt dioksit, asit yağmurlarına bağlı sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) oluşturmak için su ile reaksiyona giren SO<sub>3</sub>'e oksitlenebilir bir özelliكتedir (Sun ve ark., 2016).

Hava ortamında  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O_3$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_4$ ,  $NO_3$  ve  $N_2O_5$  içeren azot oksit bileşikleri bulunur. Bununla birlikte  $NO_x$ , iki nitrojen oksit bileşimini temsil eder. Bunlar, yakıtların yanma ürünleri olan azot monoksit ( $NO$ ) ve azot dioksit ( $NO_2$ ) bileşikleridir ve her ikisi de hava kirliliğine neden olurlar.  $NO_2 / NO_x$  oranı genellikle sıcaklığa bağlıdır ve yüksek egzoz sıcaklıkları  $NO$  oluşumunun miktarını artırır. Atmosfere salınan gazlarda  $NO$  ve  $NO_2$  oranı sırasıyla % 95 ve % 5 değerindedir (Skalska ve ark., 2010). Normal koşullardaki oda sıcaklığında hem  $NO$  hem de  $NO_2$  bileşikleri gaz halindedir.  $NO$  gazı, su içinde kısmen çözünebilir renksiz bir gazdır.  $NO$  gazı kirliliğinin büyük bir kısmı antropojenik kaynaklardan türemektedir (ABD Çevre Koruma Ajansı, 1999) ve bu kirliliğin % 10'undan azı ise biyojenik kaynaklardan salınmaktadır.  $NO$ 'nun aksine,  $NO_2$  gazı, suda yüksek düzeyde çözünebilir kırmızı-kahverengi karışımı bir gazdır. Başka bir deyişle,  $NO_2$  gazı su ile reaksiyona girdiğinde asit yağmurunun bir bileşeni olan nitrik asidi ( $HNO_3$ ) oluşturur (Sun ve ark., 2016).

Kükürt dioksit, esas olarak solunum sistemi aracılığıyla insan ve hayvan vücuduna girer (WBK ve Associates, 2003). Gaz değişiminin gerçekleştiği alveollerde,  $SO_2$ , solunum sisteminde bulunan sulu yüzeylerde çözülür ve sülfid ve bisülfid haline dönüşür, daha sonra vücuttaki hücrelere taşınır.  $SO_2$ 'ye maruz kalmak solunum sistemi rahatsızlıklarına neden olabilir.  $SO_2$ 'nin çözünmesiyle oluşan bir ürün olan sülfid'in (yüksek konsantrasyonlarda) bir genotoksik faktör ve kanserojen madde olduğu kanıtlanmıştır. Gözlemsel çalışmalar,  $SO_2$ 'ye uzun süre maruz kalmanın, özellikle kirliliği kentsele alanlarda, bir yaşam süresini kısaltabileceğini ortaya koymaktadır (Sun ve ark., 2016).

$SO_2$ 'ye benzer şekilde, nitrojen oksitler vücuda solunum sistemi yoluyla girmektedir ve solunum yolu patolojilerine neden olurlar (ABD Çevre Koruma Ajansı, 1998).  $NO_x$ , amonyak veya nem ile reaksiyona girdikten sonra nitrik asit buharı oluşturur ve akciğer dokusuna nüfuz eder.  $NO_x$ 'e maruz kalmak, anfişeme ve bronşite neden olabileceği gibi, potansiyel olarak erken ölüme neden olan mevcut kalp hastalıklarını da şiddetlendirebilir. Bu zehirli gazlar, küçük partiküllü maddeler üzerine nüfuz ettiğinde insanlar ve hayvanlar için çok tehlikelidir. Çünkü diğer asitte çözünebilir ağır metalleri de içerebilirler ve alveollerde biriktirilirler. Her iki kirlenici de asit yağmuru bileşenleridir (ABD Çevre Koruma Ajansı, 1998).  $SO_2$  ve  $NO_x$ , atmosferde su buharı, oksijen ve diğer bileşiklerle reaksiyona girerek, dünyaya yağmur gibi düşen çeşitli asitli bileşiklerle

sonuçlanırlar. Asit yağmurları, tarihi eserlere, binalara ve doğaya önemli zararlar verir. Nitrojen oksitler ayrıca göllerde ötrofikasyona neden olurlar, bu da suda daha düşük bir oksijene ve suda yaşayan organizmaların yok olmasına neden olur. Ayrıca, her iki kirletici, çevre kirliliğine sahip kentsel alanlarda da ışığın iletimini engelleyerek görünürlüğü etkilemektedir. Ek olarak, güneş ışığının varlığında NO<sub>x</sub>, uçucu organik bileşiklerle reaksiyona girer ve bu da havada dumanlı sis ile sonuçlanır. NO<sub>x</sub> formülü içinde temsil edilen oksitlerden biri olan N<sub>2</sub>O bir sera gazıdır, atmosferde birikir ve dünyanın sıcaklığında bir artışa yol açar. Ayrıca NO<sub>x</sub> gazları atmosferde, genel organik bileşikler ve ozon ile reaksiyona girerek nitrat radikalleri, nitroarenler ve nitrozaminler gibi toksik ürünleri oluştururlar (Sun ve ark., 2016).

Sera etkisi oluşturan ve insan sağlığı açısından tehlike oluşturan diğer bir zehirli gaz ise karbon monoksittir. Karbon monoksitin yüksek konsantrasyonlarda solunması ölümcül olabilir, çünkü oksijenin (kanda) vücutta taşınmasını önler. Karbon monoksit gazına düşük konsantrasyonlara uzun süre maruz kalmak, doğmamış bebeklere zarar verebilir veya canlıların metabolizmalarında birtakım nörolojik hasarlara neden olabilir (<http://apps.sepa.org.uk/spripa/Pages/SubstanceInformation.aspx?pid=4>). Çeşitli sanayi tesislerince atmosfere salınan karbon monoksit, iklim değişikliği ve küresel ısınma ile bağlantılı sera gazı miktarını etkiler. Bu da, ekolojik değişimlere ve diğer aşırı hava olayların oluşumuna neden olur (<http://www.npi.gov.au/resource/carbon-monoxide>).

CO<sub>2</sub>, sera gazı etkisine ve küresel ısınmaya ana katkı maddesi olarak bilinen gazlar içerisinde etkili bir gaz olarak kabul edilmektedir. Artan CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, yeryüzü sıcaklığının ve deniz seviyesinin yükselmesi, hidrolojik ve bitki örtüsü modellerinin değişmesi ve feci hava koşullarının artması dâhil, ekosistem üzerinde yıkıcı bir etki meydana getirir. Bu açıdan bakıldığında, özellikle antropojenik kaynaklardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> salınımının azaltılması birincil öneme sahiptir (Mei ve Tu, 2017). Karbon tutulması ve depolanması, karbon tutulması ve kullanılması, fosil yakıt tüketimini azaltmak ve temiz ve yenilenebilir enerji kullanımını artırmak gibi CO<sub>2</sub> emisyonlarıyla ilgili zorlukların üstesinden gelmek için günümüzde farklı stratejiler geliştirilmektedir. CO<sub>2</sub>'nin katma değer yakıtlara ve kimyasallara (örneğin, CO, CH<sub>4</sub> ve metanol) doğrudan dönüşümü, CO<sub>2</sub> emisyonlarını önemli ölçüde azaltırken, düşük değerli CO<sub>2</sub>'nin verimli kullanımı için dikkat çekici bir yol sağlar (Razali ve ark., 2012).

Yukarıda açıklamalı olarak sıralanmış olan çevre kirletici gazlar insan sağlığı ve çevre için büyük tehlike arz eder. Dolayısıyla, bu kirleticilerin azaltılması ve emisyon düzeylerinin kontrol edilmesi için etkili yöntemlerin geliştirilmesi günümüzde büyük önem taşımaktadır.

Enerji santrallerinde seçici katalitik indirgeme (SCR) ve ıslak baca gazı kükürt giderme (WFGD) yöntemleri kullanılarak NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları etkili bir şekilde azaltılabilir. Fakat bu yöntemlerde kirletici gazların gideriminde bireysel arıtma sistemi kullanılır ve bu bireysel arıtma sistemleri karmaşık arıtma süreci, büyük kurulum alanı, yüksek yatırım ve işletme maliyeti gibi dezavantajlara sahiptirler. Bu nedenle, santraller için çok sayıda kirleticinin eşzamanlı temizlenmesi teknolojileri son yıllarda güncel bir araştırma konusu haline gelmiştir. Karbon bazlı malzeme adsorpsiyon teknolojileri (Liu ve Liu, 2013, Ma ve ark., 2008, Liu, 2008), fotokatalitik oksidasyon teknolojileri (Yuan ve ark., 2012, Su ve ark., 2013), ıslak ovma teknolojileri (Fang ve ark., 2013, Hutson ve ark., 2008, Fang ve ark., 2011) ve Soğuk Plazma (Non-Termal Plasma - NTP) teknolojileri dahil olmak üzere birçok çoklu-kirletici eş zamanlı temizleme teknolojisi (Jeong ve Jurng, 2007, Yu ve ark., 2007) geliştirilmiştir. Orijinal veya modifiye edilmiş aktif karbon, aktifleştirilmiş kok kömürü ve aktifleştirilmiş karbon lifleri, gözenekli yapıları ve güçlü adsorpsiyon kabiliyeti nedeniyle karbon bazlı malzeme adsorpsiyon teknolojilerinde kirletici maddelerin uzaklaştırılması için sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, karbon bazlı malzeme adsorpsiyon teknolojileri, yüksek işletme maliyeti ve uçucu kül kalitesi üzerindeki olumsuz etkisi nedeniyle kısıtlanmıştır (Granite ve ark., 2007). UV/görünür radyasyon altında, kirleticiler fotokatalizör yüzeyinde oluşan pozitif hollerle oksitlenebilir. Fotokatalizör oksidasyon sistemi daha düşük sıcaklık ve basınçta çalışabilir (Thiruvengkatachari ve ark., 2008), ancak UV ışık kaynağından dolayı enerji tüketimi daha yüksektir. Islak ovma teknolojileri için, suda çözülmeyen NO ve Hg<sup>0</sup>'ı daha sonra kimyasal çözeltiler yardımıyla çıkarılabilmek amacıyla suda çözünen NO<sub>2</sub> ve Hg<sup>2+</sup>'ya dönüştürmek için ovalama sistemine oksidanlar (NaClO<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub> / NaOH, üre, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, vb.) eklenmelidir. Güçlü oksitleyicilerin eklenmesi, yüksek işlem maliyetine yol açar. Yukarıdaki çok sayıda kirleticinin eşzamanlı temizlenmesi teknolojilerine kıyasla, NTP teknolojileri, hızlı ve etkin bir şekilde kirletici maddelerin uzaklaştırılması işlemi, yer tasarrufu, kimyasal katkıların olmaması, düşük yatırım ve işletme maliyeti, atmosferik basınç ve oda sıcaklığında çalışma ve ikincil kirlilik (zararlı yan ürün oluşumu) olmaması gibi avantajlara sahiptir. Bu arada, NTP üretim sürecinde



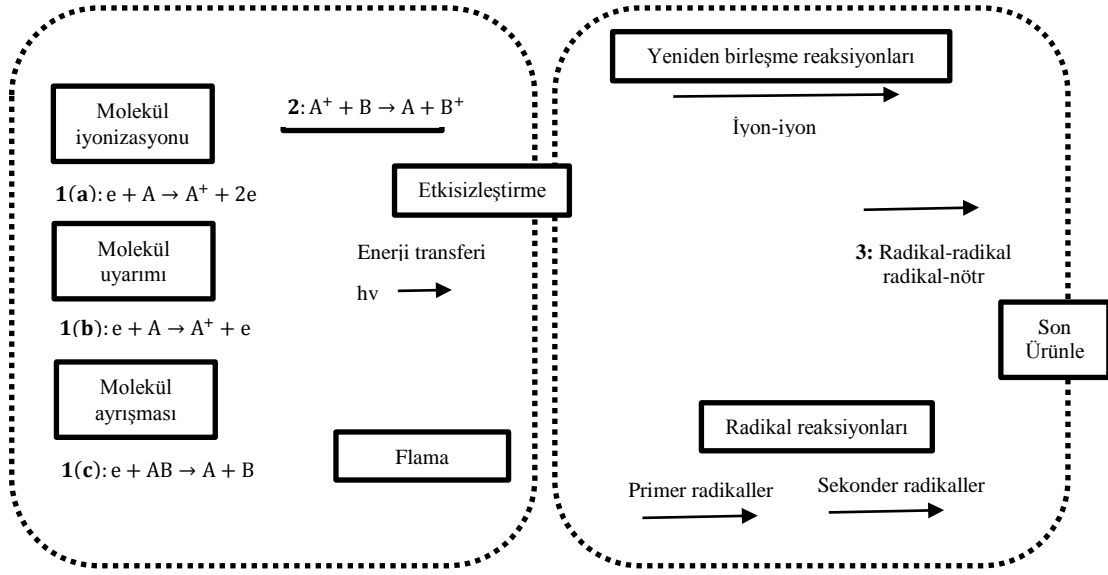
O, OH, O<sub>3</sub> gibi reaktif türlerin oluşumu nedeniyle, NTP baca gazı temizleme teknolojileri, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve Hg<sup>0</sup> çıkarılması üzerinde iyi bir performans göstermektedir (Wang ve ark., 2005, Ma ve ark., 2002). Bu nedenle, NTP teknolojileri, enerji santrallerinde kirleticilerin aynı anda uzaklaştırılması için en umut verici yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir (Ma ve ark., 2017).

Fizik ve kimya teknolojisinde plazma, kolektif davranışla karakterize serbest elektronlar, iyonlar ve nötr türler (atomlar ve moleküller) içeren iyonize bir gaz olarak karakterize edilir. Plazma katı, sıvı ve gazlardan farklı, benzersiz fiziksel özelliklere sahip olması nedeniyle genellikle “maddenin dördüncü durumu” olarak adlandırılır. Özellikle, yük taşıyıcıların varlığından dolayı, plazmalar elektriksel olarak iletken ve elektromanyetik alanlara güçlü şekilde yanıt verir. Uyarılmış türlerin yanı sıra kimyasal olarak reaktif ortam içerir ve çeşitli dalga boylarında elektromanyetik radyasyon yayar. Görünür evrendeki maddenin çoğunluğu (yıldız, gezegenler arası ve yıldızlararası ortam) plazma durumundadır. Yıldırımlar, kıvılcımlar, St'Elmos yangınları ve kutup ışıkları (kutup aurorası), yeryüzünde görülen doğal plazmalar için örneklerdir. Ayrıca, 150 yıldan uzun bir süredir yapay olarak gazlara, sıvılara veya katılara enerji verilerek plazmalar üretilmektedir. Bu tür plazmalar; yüzey modifikasyonu, kimyasal dönüşüm, ışık üretimi veya kontrollü nükleer füzyon gibi çeşitli uygulamalar için hâlâ araştırılmakta ve kullanılmaktadır. Doğal olduğu kadar yapay plazmalar da sıcaklık, partikül yoğunluğu ve basınç gibi çok çeşitli parametreleri kapsar (Brandenburg ve ark., 2011).

Genel olarak plazmalar termal plazmalar ve termal olmayan plazmalar olarak ayırt edilebilir. Termal plazmada mevcut tüm türler (elektronlar, iyonlar ve nötr türler) yerel termal dengededir, yani tüm türler aynı ortalama serbest kinetik enerjiye (sıcaklık) sahiptirler. Bu tür plazmalar, 10<sup>4</sup> °K'dan yüksek sıcaklıklara sahip füzyon deneylerinde üretilir. Diğer durumlarda ise, plazmaya verilen enerjinin çoğu serbest elektronlara salınır ve bu elektronların sıcaklığı ağır plazma bileşenlerinin (iyonlar, nötrler) sıcaklığına göre aşırı miktarda fazla olur. Yüksek enerjili elektronlar ile nispeten soğuk iyon ve nötr kütlelerinin bu tür karışımlarına, termal olmayan veya dengede olmayan plazmalar denir (Brandenburg ve ark., 2011). Bir plazma, atomların veya moleküllerin yapısını yeniden düzenlemek ve uyarılmış atomlar, moleküller ve iyonlar üretmek için bir gaza enerji uygulanarak oluşturulur. Bu enerji termal olabilir veya plazmaya elektrik akımı ya da elektromanyetik radyasyonlar ile aktarılabilir (Tendero ve ark., 2006).

NTP'nin kirletici maddelerin uzaklaştırılması, esas olarak serbest radikal reaksiyonlarına bağlıdır. Serbest radikaller, eşleştirilmemiş valans elektronlarına sahip atomları, molekülleri veya iyonları ifade eder ve bu eşlenmemiş elektronlar, diğer maddelere karşı kimyasal olarak çok reaktif olan serbest radikaller üretir. NTP, gaz deşarjı ve iyonize radyasyon yöntemleri ile üretilebilir. Her bir yöntem için de, NTP üretim sürecinde çeşitli elektronlar, serbest radikaller, uyarılmış-durum molekülleri ve atomları, pozitif ve negatif iyonlar meydana gelecektir.

Şekil 1.1, NTP'nin gaz deşarjı koşulundaki kimyasal reaksiyon süreçlerini göstermektedir (Kim, 2004). Farklı kimyasal reaksiyonların zaman ölçeğine dayanarak, NTP'nin kimyasal süreci iki gruba ayrılabilir. Birincil işlemde, ilk olarak yüksek voltajlı elektrik alanı boyunca hızlandırılmış yüksek enerjili elektronlar ile baca gazı molekülleri arasındaki çarpışmalar, nötr moleküllerin iyonlaşmasına, uyarılmasına ve ayrışmasına yol açar ve pozitif iyonları, uyarılmış-durum molekülleri ve atomları, primer serbest radikalleri üretir. İşlemler, Şekil 1.1'deki 1 (a) - (c) reaksiyonları olarak gösterilmektedir. Çarpışma tepkimeleri ile üretilen uyarılmış-durum molekülleri ve atomları, nötr moleküller ile yük transfer reaksiyonlarını indükleyebilir ve ayrıca Şekil 1.1'deki reaksiyon 2'de gösterildiği gibi, primer serbest radikaller üretebilir. Birincil işlemin tipik zaman ölçeği yaklaşık  $10^{-8}$  s'dir. İkincil işlemde, kısmi birincil serbest radikaller, Şekil 1'deki reaksiyon 3'te gösterildiği gibi radikal rekombinasyon reaksiyonları yoluyla ikincil serbest radikaller oluşturacaktır. Daha sonra birincil serbest radikaller ve ikincil serbest radikaller kirletici maddelerin uzaklaştırılması işlemi için birlikte çalışırlar. İkincil işlemin tipik zaman ölçeği yaklaşık  $10^{-3}$  s'dir. NTP'nin iyonlaştırıcı radyasyon koşulu altında kimyasal reaksiyon süreçleri, gaz deşarjı koşuluna benzer, ancak aralarında yine de farklılıklar vardır. Gaz deşarjı koşulları altında, iyonik türlerin konsantrasyonları nötr türlerden çok daha küçüktür ve iyonik türlerin serbest radikal oluşumu ve kirletici maddelerin uzaklaştırılması üzerindeki etkisi göz ardı edilebilir. İyonize edici radyasyon kaynaklı plazmada, iyonik türlerin konsantrasyonları nötr türlerle neredeyse aynıdır (Gogulancea ve Lavric, 2014) ve iyonik türlerle reaksiyonlar da serbest radikallerin oluşumunda önemli rol oynar. Çalışmalar, OH radikallerinin, daha çok su buharının radyoliziyle değil, ikincil süreçteki katyon molekülü reaksiyonları tarafından oluşturulduğunu kanıtlamıştır (Schmitt ve ark., 2009).



**Şekil 1.1.** Gaz boşalma koşulları altında NTP kimyasal reaksiyon süreçleri (A ve B nötr atom ve molekülleri temsil eder) (Kim, 2004).

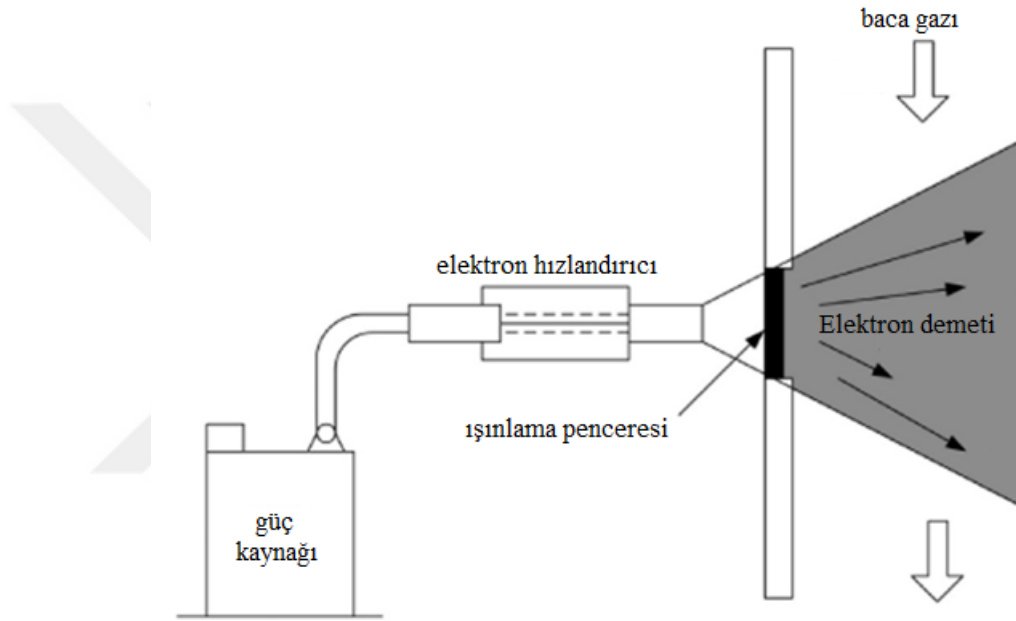
## 1.1. NTP Reaktör Tipleri

NTP teknolojileri, elektrik korona deşarjları, radyo frekansı deşarjları, mikrodalga deşarjları, dielektrik bariyer deşarjları ve elektron demeti ışınları gibi çeşitli şekillerde üretilir. Bu teknolojiler, egzoz veya baca gazlarındaki kirliliğin azaltılması için düşünülmüş olup, her biri farklı uygulamalar için çeşitli avantajlara sahiptir.

### 1.1.1. Elektron demeti ışınlama reaktörleri

Elektron demeti radyasyonu, iyonlaştırıcı radyasyon ilkesini kullanan tipik bir NTP üretim yöntemidir. Elektron hızlandırıcısı tarafından yayılan yüksek enerjili elektron demeti, radyoaktif bölgedeki baca gazı moleküllerinin radyoliz reaksiyonlarına neden olur ve nihayetinde NTP'nin oluşumuna neden olur. Elektron demeti radyasyonu işleminde, farklı baca gazı bileşenleri tarafından emilen radyasyon enerjisi, kütle fraksiyonuyla (parçasıyla) orantılıdır. Yüksek bir enerji seviyesi (300-800 keV) ile, elektron ışını, baca gazı moleküllerinde radyoliz reaksiyonları yoluyla çok sayıda iyonik türün ( $N_2^+$ ,  $N^+$ ,  $O_2^+$ ,  $O^+$ ,  $H_2O^+$ ,  $CO_2^+$  vb.) oluşumuna neden olabilir. Elektron hızlandırıcı, elektron demeti radyasyonu cihazının anahtar işleme bileşenidir. Endüstriyel ölçekli elektron ışını, baca gazı arıtımı için bugüne kadar bilinen en uygun ve yüksek güçlü elektron hızlandırıcısı, doğrudan güç hattı transformatör hızlandırıcılarıdır. Ayrıca yüksek güçlü kompakt transformatör elektron hızlandırıcısı, yüksek tekrarlamalı darbeli hızlandırıcı, birleştirilmiş çarpan hızlandırıcısı, tek boşluklu rezonans hızlandırıcısı ve

benzeri gibi elektron hızlandırıcıların bazı başka türleri de vardır. Tipik bir Elektron demeti ışınlama reaktörü Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Elektron demeti baca gazı işleme teknolojisinin pilot veya endüstriyel uygulamaları için, elektron hızlandırıcısı yüksek elektron enerjisi (0.8-1.5 MeV), yüksek ışın gücü (100-500 kW), yüksek elektriksel verimlilik (% 80), uzun süreli işlemler için yüksek güvenilirlik (6000 h/y), yüksek kullanılabilirlik (% 95), yüksek akım yoğunluğu, düşük elektron demeti maliyeti (~ 2.5 \$/W) ve düşük seviye kayıplı pencereleri gibi ihtiyaçları karşılamalıdır (Ma ve ark., 2017).

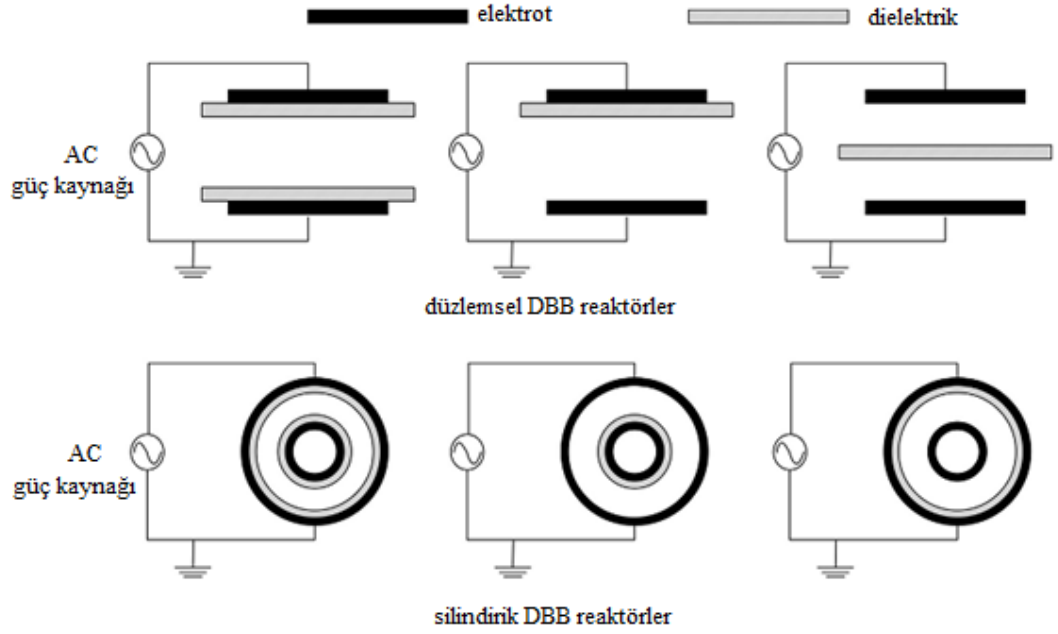


Şekil 1.2. Tipik bir Elektron demeti ışınlama reaktörü

### 1.1.2. Dielektrik bariyer boşalması reaktörleri

Sessiz deşarj da denilen Dielektrik Bariyer Boşalması (DBB), iki elektrot arasında gerçekleşen elektrik boşalmasıdır. Elektrotlara yüksek gerilim alternatif akım uygulanır ve elektrotlardan en az biri yalıtkan bir dielektrik malzeme ile kaplanır. DBB reaktörlerinde deşarj modu; elektrod yüzeyinde rasgele dağılmış mikroşarjlar veya ışık huzmesinden (streamer) oluşan ipliksi deşarj modu veya atmosferik basınçlı parlama (glow) deşarj modu olarak da adlandırılan homojen ışımaya deşarj modu şeklinde olabilir. Sıklıkla kullanılan yalıtkan dielektrikler, ısıya dayanıklı cam, silis camı, alüminyum oksit, seramik malzemeler, polimer katmanları veya düşük dielektrik kaybı ve yüksek kırılma

mukavemetli diğer malzemelerdir. DBB reaktöründe kullanılan yalıtkan dielektrik malzemeler, deşarjı stabilize etme, elektrot aşındırma ve aşınmayı ortadan kaldırma ve kıvılcım deşarjı oluşumunu bastırma etkisine sahiptirler (Ma ve ark., 2017).

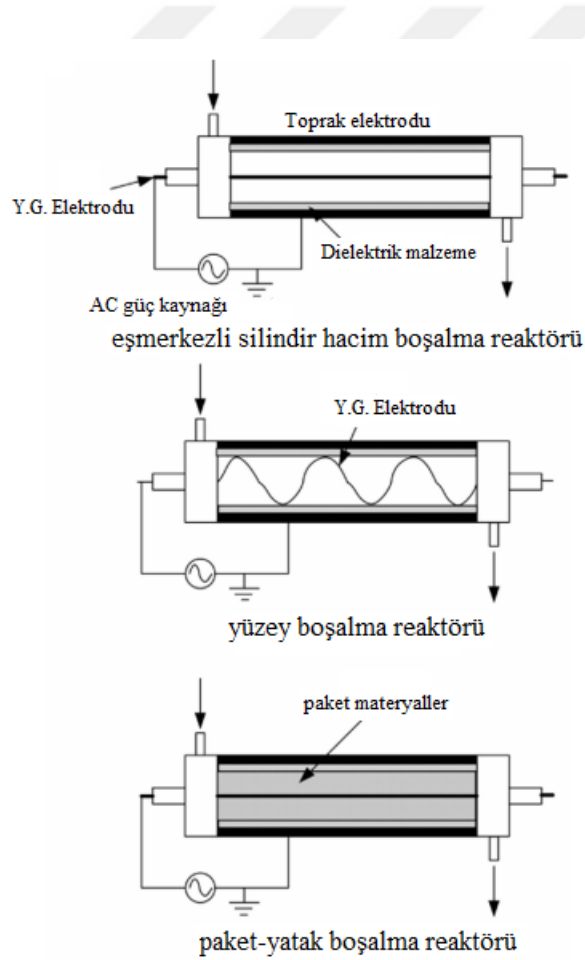


Şekil 1.3. DBB reaktörlerinin tipik yalıtkan dielektrik düzenlemeleri

Şekil 1.3'te gösterildiği gibi, DBB reaktörünün boşalma aralığındaki yalıtkan dielektrik tabakanın konumu üç tipte sınıflandırılabilir: Her iki elektrotu örtebilir, yalnızca bir elektrotu örtebilir veya iki elektrot arasındaki boşalma aralığına yerleştirilebilir (Conrads ve Schmidt, 2000).

Reaktör yapısına bağlı olarak DBB, hacim deşarjı, yüzey deşarjı, eş düzlemsel deşarj ve paket yataklı deşarj olmak üzere dört türe ayrılabilir. Kömürle çalışan elektrik santrallerinden çıkan gazlı kirleticileri gidermek için, Şekil 1. 4'te gösterildiği gibi hacim deşarjı, yüzey boşalması ve paket yataklı deşarj son yıllarda kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Hacim deşarj plazma reaktörlerinin elektrot yapısı genellikle paralel plaka veya eş merkezli silindirdir. Hacim boşalma plazma reaktörlerinde, boşalma işlemi sırasında ince plazma kanalları, yani flamalar (streamer), gaz ortamındaki elektrotlar arasında yayılır. Yüzey deşarj plazma reaktörlerinde genellikle ince tel tipi elektrot veya tarak benzeri elektrotlar kullanılır. Deşarj işlemi sırasında, flamalar yalıtkan dielektrik yüzeyine yakın gaz-katı arayüzler boyunca yayılır. Hacim deşarj plazma reaktörünün aksine, yüzey deşarj plazma reaktörü, kolay imal, daha büyük ve daha düzgün plazma

bölgesi ve daha yüksek enerji verimliliği avantajlarına sahiptir. Dolayısıyla, yüzey deşarj plazma türü son yıllarda çokça çalışılmıştır. Deneysel olarak kullanılan yüzey deşarj plazma reaktörlerinde çoğunlukla spiral tel tipi elektrotlar kullanılmaktadır (Hansu, 2012). Tipik paket yataklı deşarj plazma reaktöründe, yüksek dielektrik sabitli topraklar paketleme malzemesi olarak kullanılır ve bu topraklar bariyer ile elektrot arasındaki aralığa yerleştirilir. En tipik paketleme materyali baryum titanat ( $BaTiO_3$ )'dür. Paketlenmiş yataklı reaktördeki toprakların varlığı, gaz akışı dağılımının ve deşarjının homojenliğine katkıda bulunur. Paket yataklı deşarj plazma reaktörleri genellikle NTP-katalizör hibrid prosesinde kullanılır ve plazma reaktörünün enerji verimliliğini artırabilen katalizör hibrid sisteme paket malzemesi veya paket malzemesi kaplaması olarak dâhil edilir. Paket yataklı reaktörün dezavantajları, yüksek basınç düşüşü ve toprakların yıpranmasıdır.



**Şekil 1.4.** Reaktör yapısına bağlı DBB türleri: Hacimsel boşalma; Yüzeysel boşalma; Paket yataklı boşalma

DBB, diğer NTP teknolojileriyle karşılaştırıldığında, yüksek derecede teknolojik olgunluk (Kogelschatz, 2003), homojen ve kararlı deşarj özellikleri (Jiutao ve ark., 2014) ve homojen plazma uzaysal dağılımı olarak karakterize edilir. Bu özelliklerinden dolayı,

DBB teknolojisi, NTP baca gazı temizleme teknolojilerinde büyük ilgi uyandırmıştır (Ma ve ark., 2017).

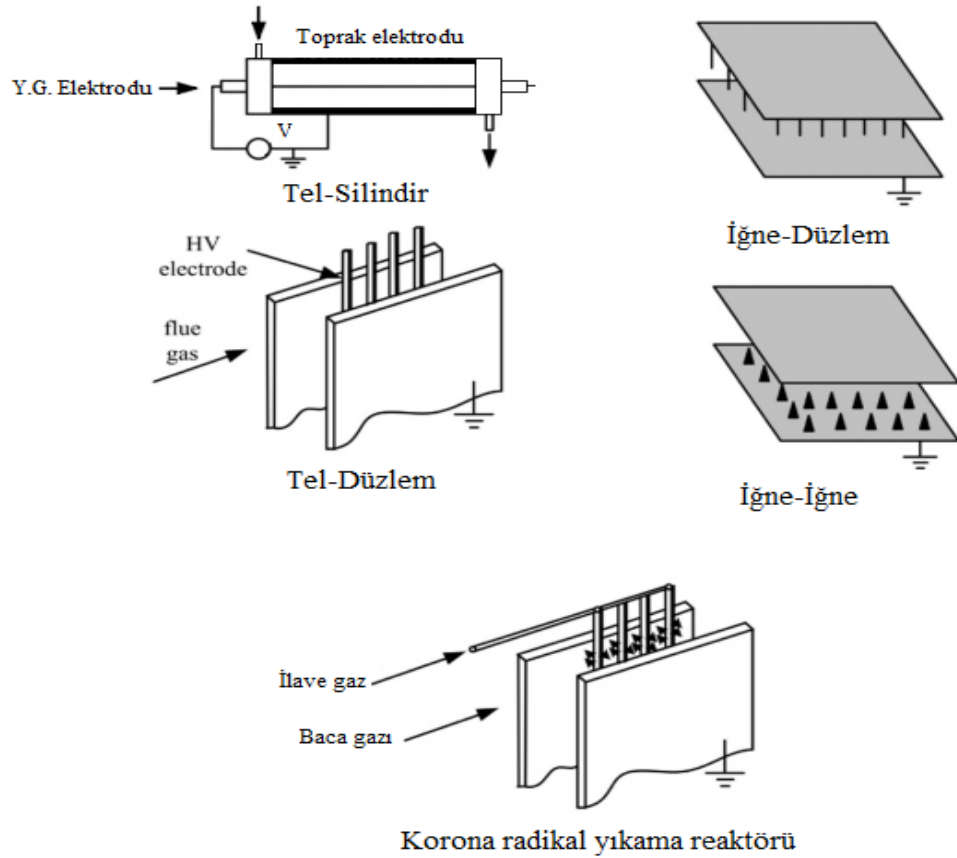
### **1.1.3. Korona boşalması reaktörleri**

Korona deşarjı en basit tabiriyle, yüksek voltaj uygulanan elektrotların yakınındaki kısmi elektrik deşarjıdır. İnce tel tipi elektrot, iğne elektrodu, bıçak kenar elektrodu ve benzeri gibi korona deşarjlı plazma reaktörlerinin deşarj elektrodu genellikle yüksek eğilime neden olabilen çok küçük eğrilik yarıçapına sahiptir. Eğrilik yarıçapı küçük olan bu elektrot yüksek gerilime bağlandığında, termal olmayan plazma oluşturur ve deşarj elektrotlarının etrafındaki baca gazı, oluşan bu yük bombardımanı sonucu bozularak ayrışır.

Yüksek gerilim güç kaynağının türüne göre korona deşarjı; darbeli korona deşarjı (PCD) ve Doğru akım (DA) korona deşarjı olabilir. PCD için, uygulanan darbeli voltajın yükselme süresi, iyon frekansının altında olan 10 ns düzeyindedir. İyonları hızlandırarak enerji kaybı en aza indirilir ve enerjinin çoğu PCD işlemi sırasında yüksek enerjili elektron üretmek için kullanılır. Bu nedenle, PCD, DA korona deşarjına kıyasla daha yüksek enerji verimliliğine sahiptir ve yükselme süresini kısalttığına, enerji verimliliği artar (Mizuno ve ark., 1986). DA korona deşarjı, darbeli güç kaynağının kullanılmasından kaçınmak için basit güç kaynağı ve düşük ekipman maliyeti avantajlarına sahip olan DA yüksek gerilimle tetiklenir.

Korona boşalma plazma reaktörü, Şekil 1.5'te gösterildiği gibi tel silindir tipi, tel plakalı tip, iğne-düzlem tipi, iğne-iğne benzeri gibi elektrot yapısına bağlı olarak birçok çeşide ayrılabilir. Bunların arasında iğne-düzlem ve iğne-iğne plazma reaktörleri çoğunlukla DA korona boşalma koşullarında kullanılmıştır. Tel silindir ve tel plakalı reaktörler sadece boşaltma elektrodu etrafında korona oluştururlar ve bu da küçük plazma bölgesi ve zayıf deşarj akımı ile sonuçlanır. Dahası, tel silindirli ve tel-plakalı reaktörlerin kararlı deşarj voltajı aralığı dar olup, kıvılcım delinme arızası (breakdown) oluşturmak kolaydır. İğne-düzlem ve iğne-iğne plazma reaktörleri, tel-silindir ve tel-plaka reaktörlere kıyasla daha yüksek kıvılcım delinmesi (breakdown) ve daha dengeli deşarj özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte, bunun toplam deşarj verimliliği daha düşüktür.

DA korona deşarjlı plazma reaktörleri arasında, akış dengeli boşalma prensibine dayanan DA korona radikal duş sistemi de baca gazı arıtımı alanında birçok uygulamaya sahiptir. Akış dengeli bir korona boşaltma yönteminde, hızlı gaz akışı doğrudan elektrotların içinden geçer (Urashima ve Chang, 2000). Ohkubo ve ark. (1994, 1996) korona meşale reaktörlerinin içi boş boru şeklindeki elektrodunu bazı hortum başlarıyla (ağızlık) boru elektroduna dönüştürerek korona radikal duş sistemini geliştirmiştir (Ma ve ark., 2017).



Şekil 1.5. Korona boşalma reaktörleri

Korona radikal duş sisteminde, korona bölgesi hortom memesinin ucunda oluşturulmuştur ve ilave gaz meme elektrotlarından korona bölgesine enjekte edilmiş ve daha sonra çeşitli radikallere ayrıştırılmıştır. Tipik bir DC korona radikal duş sistemi Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Tipik ek gaz amonyak, oksijen, su buharı ve hidrokarbondur ve bu gaz, başka kirletici türlerle değiştirilebilir. Korona tabanlı duş sisteminin en belirgin özelliği, ek gazın seçici olarak ayrışabilmesidir. Bu yöntem, istenmeyen baca gazı



bileşenlerinin ayrışmasını en aza indirebilir ve enerji kullanım verimliliğini artırabilir (Ma ve ark., 2017).

Özetle, NTP kirlenici uzaklaştırma teknolojilerinde kullanılan üç temel NTP reaktörü türü vardır ve bunların her biri kendi içerisinde bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Elektron ışını ışınlama reaktörleri yüksek teknolojik olgunluğa sahiptir ve sanayileşmiş büyümeyi gerçekleştirmesi kolaydır. Bununla birlikte, mevcut elektron ışını ışınlama reaktörleri aynı zamanda yüksek enerji tüketimi ve uzun süreli çalışmalarda elektron hızlandırıcısının düşük güvenilirliği gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Günümüzde DBB reaktörleri, teknolojik olgunluğun yüksek derecesi, düşük enerji tüketimi, üniform ve istikrarlı deşarj özellikleri ve üniform plazma uzaysal dağılımı nedeniyle NTP baca gazı temizleme teknolojilerinin araştırma odağıdır. Bununla birlikte, DBB reaktörlerinin basınç düşüşleri nispeten yüksektir ve tek bir DBB reaktörünün hacminin büyütülmesi zordur. Tel-Düzlem korona deşarj reaktörlerinin sanayileşmiş büyümede gerçekleştirilmesi kolaydır. DC korona radikal duş sistemi, ek gazı seçici olarak ayrıştırabilir ve daha sonra enerji kullanım verimliliğini artırabilir. Korona deşarj reaktörlerinin bilinen en önemli dezavantajları küçük plazma bölgesi ve yüksek enerji tüketimine sahip olmalarıdır (Ma ve ark., 2017).

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bariyer boşalması tekniği kullanılarak hava kirliliğinin temizlenmesine yönelik günümüze kadar çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemlerin bazılarının katalizör destekli olmaları nedeniyle maliyetlerinin yüksek olması, katalizörlerin zamanla bozunarak zehirli maddelere dönüşme olasılığının yüksek olması ve bazı çalışmaların ise teorik benzetim tabanlı olduğu için uygulanabilirlik noktasında pratik açıdan birtakım engellere sahip olmaları nedeniyle uygulama açısından yetersiz kalmaktadırlar. Bunun yanı sıra, gelişen teknolojiyle birlikte her geçen gün daha da artmakta olan hava ve çevre kirliliği gibi tehditler canlıların metabolizmaları üzerinde büyük olumsuzluklar meydana getirmektedir. Bu nedenle söz konusu problemlerin çözümü için ilgili alandaki geliştirme ve optimizasyon çalışmaları hızla sürdürülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, önemli bir açığı kapatabileceği düşünülen bu tez çalışmasının yanı sıra, konuyla ilgili yapılmış olan bazı önemli çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Chang ve ark. (1991) tarafından yapılan çalışmada, bir dielektrik bariyer deşarjı kullanarak deneysel olarak ve bilgisayar modellemesiyle benzetimli gaz akımlarından ( $N_2/O_2 / H_2O / SO_2$ ) çıkan  $SO_2$ 'nin giderilmesi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında,  $SO_2$ 'nin ilk olarak  $H_2SO_4$ 'e dönüşümü OH radikallerinin üretilmesi ile sınırlanmıştır. Elde edilen bulgulara göre  $O_2$  ve  $H_2O$  konsantrasyonlarının arttırılması OH radikallerinin oluşumunu arttırmış ve gaz akımlarından  $SO_2$ 'nin daha fazla giderilmesine neden olmuştur. Kaldırma verimleri deneysel olarak  $> \% 80$  olarak elde edilmiştir. Modelin sonuçları, tek bir düşük E/N akım darbesinden ziyade bir dizi kısa, yüksek E/N akım darbesiyle daha verimli çıkarmanın elde edildiğini göstermiştir. Modelin sonuçları ayrıca,  $O_3$  fotolizasyonu için plazmanın UV aydınlatılmasının,  $SO_2$ 'nin gaz akımından uzaklaştırılmasını geliştireceğini önermektedir.  $O_3$ 'ün fotoliz işlemi,  $H_2O$ 'dan H'ın çıkarılmasıyla OH radikalleri üreten O atomları üretir ve böylece  $SO_2$ 'nin giderilmesini arttırır.

Sun ve ark. (1996) tarafından yapılan çalışmada, bir dielektrik bariyer deşarjı kullanarak benzetimli bir kömür yakma gazından  $SO_2$  ve NO'nun uzaklaştırılmasına ilişkin deneysel ve simülasyon sonuçları sunulmuştur. Baca gazının taşıma özelliklerini belirlemek için bir Monte Carlo hesaplaması yapılmıştır. Bunu takiben, dielektrik bariyer deşarjının darbeleri doğasını hesaba katan ayrıntılı bir plazma kimyasının hesaplaması yapılmıştır. Hesaplanan sonuçların, deneysel verilerle iyi uyum içinde oldukları

görülmüştür. Düşük konsantrasyonlarda ( $\text{SO}_2$  için 400 ppm, NO için 100 ppm) dielektrik bariyeri deşarjının  $\text{SO}_2$  ve NO'nun % 99'unu kaldırabildiğini bulmuşlardır. Ağır parçacık reaksiyonlarının sıcaklığa bağlı olması nedeniyle, enerji yoğunluğu optimum değeri aştıkça NO giderme işleminde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Oda (1997) tarafından yapılan çalışmada, yanma baca gazlarından NO'nun üst üste eklenmiş Bariyer Deşarj Plazma Reaktörleri ile indirgenmesi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, 0 ila 28 kV arasındaki uygulanan voltajlar, 0,5 ila 2 l/dk baca gazı oranları, 0,7'den 2,65'ye kadar stokiyometriye sahip amonyak karışım konsantrasyonları ve  $0^\circ$  ila  $180^\circ$  arasındaki voltaj faz farkları için iki adet 60 Hz AC güç kaynağı kullanılarak uygulamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;  $\text{NO}_x$  azaltma oranının, yüzey boşaltma işlemleri için boşaltma gücünün artmasıyla azaldığını; bununla birlikte, sessiz ve üst üste eklenmiş boşaltma işletim modları için artan boşaltma gücü ile  $\text{NO}_x$  azaltma oranının arttığı görülmüştür. Faz farkı olmayan işlemler altında deşarj gücü, gaz akış hızı ve amonyak stokiyometrisi arttıkça  $\text{NO}_x$  azaltma hızının arttığı görülmüştür. Ayrıca faz farklı işlemler için  $\text{NO}_x$  azaltma hızının aynı fazlı operasyonlara kıyasla çok daha yüksek olduğu, ancak  $\text{NO}_x$  azaltma oranının, amonyak stokiyometrisi, deşarj gücü ve gaz akış hızı üzerinde optimum bir koşula sahip olduğu görülmüştür. Son olarak  $\text{NO}_x$  azaltımının enerji verimliliği, amonyak karışımı ve gaz akış hızı arttıkça arttığını ve deşarj gücü arttıkça ise azaldığı görülmüştür.

Niessen ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmada,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ve az miktarda NO,  $\text{NO}_2$  ve isteğe bağlı olarak  $\text{C}_2\text{H}_4$  (eten) içeren bir karışımdaki bir dielektrik bariyer deşarjında plazma kimyasal işlemlerinin zamansal evrimi için bir model sunulmuştur. Hesaplamaların sonuçları deney verileriyle karşılaştırılmıştır.  $\text{NO}_x$  dönüşümünün büyük kısmının oksidasyona bağlı olduğunu ve kimyasal indirgemenin sadece küçük bir fraksiyona neden olduğunu görmüştür. NO'nun tamamen çıkarılması, eğer 2000 ppmv  $\text{C}_2\text{H}_4$  gaz akımında mevcut ise NO molekülü başına 5 ila 10 eV enerji harcaması ile başarılabilirdiğini,  $\text{C}_2\text{H}_4$  mevcut değilse, 60 eV / NO gerekli olduğu tespit edilmiştir.

Takaki ve ark. (1999) tarafından Dielektrik bariyer deşarjında plazma kimyasal reaksiyonları kullanılarak baca gazında  $\text{NO}_x$  giderimi üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Çalışma voltajını düşürmek amacıyla elektrot için birçok iğne-düzlem geometrisi kullanılmıştır. Çalışmada, çok iğneli bir elektrot konfigürasyonunun deşarj ve  $\text{NO}_x$  giderimi özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Plazma, düşük voltajda 2-3 kV

rms'lik sinüzoidal dalga formu ile dielektrik bariyer deşarjı ile dar aralıkta üretilmiştir. NO azaltmak için spesifik enerji 63 eV'dir. Deşarj sırasında tüketilen elektrik enerjisi, çok noktalı elektrot alanıyla doğrusal olarak artmıştır ve 2,7 kV'de yaklaşık  $1\mu\text{J}/\text{iğne}$  olmuştur. Çok iğneli elektrod konfigürasyonunda, iğnenin açısı küçültülerek tüketilen enerji arttırılabilir. Bununla birlikte, iğne açısı küçük olduğunda NO giderme enerji verimliliği azalır. Ayrıca, birim alan başına düşen iğne sayısının azalmasıyla NO giderme enerji verimliliği azalmaktadır. Bir dizel motor üreticisinden (20 kVA) çıkan egzoz gazı ile ilgili olarak NO, nominal çıkışın % 35'in altındaki elektrik yükü için çok sayıdaki iğneden oluşan düzlemsel bariyer deşarjı ile neredeyse tamamen tüketilebilir.

Jani ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada çoklu nokta-düzlem geometrisine sahip bir bariyer deşarj plazma reaktörünü kullanılarak  $\text{NO}_x$  gideriminde flama polaritesinin etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yöntem olarak yüksek frekanslı bir sinüs dalgası voltaj üretici ve dar aralıklı yüksek gerilim darbeleri üreten bir tekrarlamalı darbe üretici, azot oksit ( $\text{NO}_x$ ) 'i çıkarmak için kullanılmıştır. Optik spektrum ölçümüyle, atmosfer basıncındaki boşalma bölgesinde 10 eV'den daha yüksek enerjili elektronların üretildiği açıklığa kavuşturulmuştur.  $\text{N}_2^+$ 'nin ilk negatif sisteminin (391.4 nm, eşik enerjisi 18 eV) ikinci pozitif  $\text{N}_2$  sistemine (337.1 nm, eşik enerjisi 11 eV) yoğunluk oranı uygulanan voltaja ve frekansa bağlı değildir, ancak flamanın polaritesine bağlıdır. Ayrıca, değerin (yoğunluk oranı) pozitif bir flamada negatif bir flamaya göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Çok nokta-düzlem elektrotların kullanılması, uygulanan voltajın sinüs dalgasının her yarım döngüsünde flama polaritesinin değişimine neden olurken, paralel düzlem elektrotlar durumunda, pozitif flama, yalnızca boşaltma bölgesinde oluşturulmuştur. Benzetim gazı ve bir dizel motor jeneratöründen çıkan egzoz gazı, reaktörün  $\text{NO}_x$  giderim performansını teyit etmek için kullanılmıştır.

Bröer ve Hammer (2000) tarafından yapılan çalışmada Azot oksitlerin ( $\text{NO}_x$ ), dielektrik bariyer deşarj plazması ve indirgeyici madde olarak amonyak kullanan bir monolitik  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3 / \text{TiO}_2$  katalizörü kombinasyonu ile seçici katalitik indirgenmesi (SCR) sentetik gaz karışımlarında 100 ila 250 °C arasındaki sıcaklıklarda incelenmiştir. Karışımlar dizel egzoz gazlarına benzerdir. Azot oksitlerin % 95'inin NO formunda olduğu gaz karışımları için ( $\text{NO}_{x,0} = \text{NH}_{3,0} = 500$  ppm), 140 °C'nin altında  $\text{NO}_x$ 'in plazma muamelesiz olarak giderimi önemsizdir. Gaz karışımını, katalitik dönüşümden önce dielektrik bariyer deşarjlarıyla muamele ederek, 100 °C kadar düşük sıcaklıklarda  $\text{NO}_x$ 'in

yaklaşık % 70'i giderilmiştir. Plazma muamelesiyle, NO'nun 110 ppm'si NO<sub>2</sub>'ye oksidasyon ile ve 60 ppm'si NH<sub>3</sub> ürünlerinin indirilmesi ile olmak üzere toplamda 170 ppm'si dönüştürülmüştür. NO ve NO<sub>2</sub>'nin katalizör üzerinde bir arada bulunması nedeniyle seçici katalitik indirgeme oranı arttırılmıştır. Plazma muamelesi olmaksızın eşit miktarda NO ve NO<sub>2</sub> ihtiva eden gaz karışımlarında seçici katalitik indirgeme için benzer etkiler gözlemlenmiştir. Katalizör üzerindeki farklı NO<sub>x</sub> giderme reaksiyonları için göreceli reaksiyon oranları makroskopik bir model kullanılarak değerlendirilmiştir.

Filimonova ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada, çalıştırma ekipmanı kullanılarak NO<sub>x</sub>, N<sub>y</sub>O<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO ve CH<sub>2</sub>O'nin uzaklaştırılması için darbeli koronalı ve sessiz boşalmaların karşılaştırmalı bir modellenmesi sunulmuştur. Çalışmadaki temel amaç, benzer gaz kompozisyonunda ve sıcaklıkta iki deşarj tipi arasındaki toksik safsızlıkların giderilmesindeki enerji verimliliğini modelleyerek karşılaştırmaktır. Üç farklı gaz kompozisyonu kullanılmıştır. Bunlar: dizel motor egzozu, metan yanma ürünleri ve kirletici havadır. Simülasyon, bir atık gazın plazma temizliği için yaklaşık bir matematiksel modele dayanmaktadır. Bir deşarj reaktöründeki çok sayıda flama veya mikro deşarj kanalından kaynaklanan düzensiz tür dağılımlarının etkisi hesaba katılmıştır. Modelleme işlemi, her deşarj darbesinden sonra, akış izinin içindeki ve dışındaki kimyasal ve difüzyon işlemlerini göz önüne alan bir darbe serisi için gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçlarda, darbeli korona ve bariyer deşarjlarındaki temizleme işlemlerinin farklılıkları sunulmuştur. İncelenen deşarjların herhangi birinin kullanılabilceği de önerilmiştir.

Rajanikanth ve Rout (2001) yaptıkları çalışmada, simüle edilmiş gaz bileşimlerinden nitrik oksit giderimi için darbeli elektrik boşalma tekniğine ve (katalizör kaplaması olsun veya olmasın) paketlenmiş dielektrik peletlerin çıkarma işlemi üzerindeki etkisinin incelenmesine dikkat çekilmiştir. Deneyle, tekrarlanan yüksek gerilim darbeleri ile enerjilendirilmiş bir silindirik korona reaktöründe gerçekleştirilmiştir. Çeşitli parametrelerin etkileri, yani, darbe voltajı büyüklüğü, darbe frekansı, başlangıç nitrik oksit konsantrasyonu ve nitrik oksit giderme verimi üzerindeki gaz karışımı kompozisyonu tartışılmıştır. Reaktörler, baryum titanat, alüminyum oksit ve paladyum katalizörü ile kaplanmış alüminyum oksit gibi farklı dielektrik peletlerle dolduğunda, nitrik oksit giderme verimliliğindeki gelişme incelenmiş ve tartışılmıştır. Reaktörden çıkan güç ve çıkarılmış nitrik oksit molekülü başına tüketilen enerji

hesaplanmıştır. Diğer sonuçlar ve çeşitli durumlardaki karşılaştırmalı çalışmalar ilgili makalede detaylı olarak sunulmuştur.

Chang ve Yang (2001) tarafından yapılan çalışmada dielektrik bariyer deşarjı (DBB) ile gaz akışlarından NO'nun etkili bir şekilde azaltılması ve uzaklaştırılması konusu çalışılmıştır. NO ve NO<sub>x</sub>'nin giderim etkinliğini değerlendirmek için bir laboratuvar ölçekli deney sistemi tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Özellikle, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, DBB vasıtasıyla DeNO<sub>x</sub> plazma işleminde indirgeyici bir etmen olarak eklenmiştir. Deneysel sonuçlar, uygulanan voltaj, gaz sıcaklığı ve H<sub>2</sub>O(g) içeriği arttıkça NO/NO<sub>x</sub> giderim verimliliğinin arttığını göstermiştir. Gaz akımındaki oksijen içeriği arttıkça, daha fazla CH<sub>i</sub> radikali CO<sub>2</sub>'ye okside edilerek NO<sub>x</sub>'in uzaklaştırma verimi azaltılmıştır. DBB işlemine yeterli C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> eklendiğinde 500 ppm NO, 1,500 ppm C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, % 3,2 H<sub>2</sub>O(g) ve % 5 O<sub>2</sub> içeren ve taşıyıcı olarak N<sub>2</sub> içeren gaz akımı için 140 °C'de NO % 91,2'sine kadar ve NO<sub>x</sub> % 68,2'sine kadar yüksek oranlarda giderilmiştir. N<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya ek olarak, bu proseste bulunan başlıca ürünler, gaz akımının H<sub>2</sub>O(g) ve O<sub>2</sub> içeriğine bağlı olarak NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, HNO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, CO ve HCOOH'yi içermektedir.

Nagao ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada, NO giderme, bir tek saykılık sinüzoidal dalga güç kaynaklı dielektrik bariyer deşarjı ile aktive edilen azot gazı enjeksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boşalma aralıklı olarak, koaksiyal silindirik elektrotlar arasında, 1,5 mm'lik bir aralıkla, 20-50 kV'luk bir tepe-tepe voltaj uygulanarak oluşturulmuştur. Ölçülen NO azalması, aralıklı (kesik kesik) dielektrik bariyer deşarjının elektriksel özellikleri temelinde tartışılmıştır. NO azalması amonyak radikallerinden farklı olarak, NO ölçülen en düşük sıcaklık olan 200 °C'de azaltılmıştır. NO azaltması uygulanmış yüksek gerilim ve sonuç olarak yüksek boşalma zamanı gerektirir ve bu boşalma zamanı da bir saykıl sinus geriliminin periyoduna çok yakındır. Dolayısıyla, toplam deşarj süresi uygulanan voltaj ile orantılı değildir ve NO indirgeme işleminin sadece deşarj gücü ile ilişkili olmadığı görülmüştür.

Kim ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada model gaz olarak NO kullanılarak soğuk plazma (NTP) işleminin performans değerlendirmesi yapılmıştır. Deney sonuçları, NO konsantrasyonunun spesifik girdi enerjisiyle (SIE) ( $kJ/Nm^3$ ) değişiminin ilişkilendirildiği basit bir model kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar aynı zamanda iyi bilinen enerji maliyeti, enerji verimi (EY) ve G değeri parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir. SIE arttıkça, EY ve G-değeri azalırken enerji maliyeti belirli bir

reaksiyon koşulunda bile artmıştır. Bu parametrelere dayanarak en iyi sonuçlar, NO giderme işleminin zayıf olduğu daha küçük SIE bölgesinde bulunmuştur. Geleneksel bir parametre yerine termal olmayan plazma reaktörünün sistem performansını değerlendirmek için basit bir modeldeki enerji sabiti (bundan sonra enerji sabiti  $kE$  ( $Nm^3/kJ$ ) olarak anılacaktır) kullanmak için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Üç geleneksel parametrenin aksine, enerji sabiti bu çalışmada test edilen aralıktaki SIE düzeyi tarafından etkilenmemiştir. NO'nun başlangıç konsantrasyonu, sıcaklık, enerji sabiti  $kE$ 'deki katkılar gibi çeşitli reaksiyon koşullarının etkileri araştırılmıştır. Farklı NO konsantrasyonları için  $kE$  değerlerinin karşılaştırılması, düşük konsantrasyonda gazlı kirlenmelerin işlenmesinde NTP işleminin daha verimli olduğunu açıkça göstermiştir. NO konsantrasyonunun artması, enerji sabitini üstel olarak azaltmıştır. Gaz sıcaklığı da benzer bir etki göstermiştir. Test edilen parametrelerin enerji sabiti  $kE$  üzerindeki etkisinin önemi, gaz bileşimi, başlangıç konsantrasyonu ve gaz sıcaklığı sırasına göre olabileceği bulunmuştur. Bu çalışmada test edilen katkı maddeleri arasında, etilen enerji sabiti  $kE$ 'yi maksimum değeri olan  $242 \times 10^{-3}$  değerine çıkartmıştır.

Ma ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada  $SO_2$  giderimi için üç farklı dielektrik malzeme ile inşa edilmiş Dielektrik Bariyer Boşalması (DBB) termal olmayan plazma reaktörleri çalışılmıştır. Üç dielektriğin, yani cam, teflon ve cam elyaf bazlı sentetik yapıştırıcı (tutkal) reçinenin deşarj özellikleri Lissajous şekilleri kullanılarak analiz edilmiştir. Lissajous şekillerinden, her dielektrik malzeme için geçiş şarjı (yükü) ve enerji depolanması belirlenmiştir. Hem deşarj özellikleri hem de mekanik işlenebilirlik göz önüne alındığında, DBB plazma reaktörleri için üçü arasında cam elyaf bazlı epoksi (tutkal) reçine en iyi dielektrik bariyer olarak kabul edilmiştir.  $SO_2$  içeren hava akımının işlenmesi için cam elyaf esaslı epoksi reçine ile yapılmış çok hücreli bir DBB reaktörü kullanılmıştır. İki fazlı bir şekilde  $SO_2$ 'nin ilk konsantrasyonunun artmasıyla birlikte  $SO_2$ 'nin giderimi azalmıştır.  $SO_2$  giderimi, hava akımına  $NH_3$  eklenerek büyük ölçüde geliştirilmiştir. Hava akımının bağıl nemini yükseltmek de  $SO_2$ 'nin giderilmesine yardımcı olmuştur. Bir SEM (taramalı elektron mikroskopu) testi, Teflon ve cam elyaf esaslı epoksi reçinesinin yüzey morfolojisinde bazı değişiklikleri göstermiştir.

Ravi ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada Azot oksitlerin uzaklaştırılması için bir katalitik reaktör ile birleştirilmiş bir elektrik deşarj plazma reaktörü incelenmiştir. Birleştirilmiş işlemi iyice anlamak için, ilk önce deşarj plazması ve katalitik proses ayrı

ayrı incelenmiş ve daha sonra iki proses çalışma için birleştirilmiştir. Plazma reaktörü, oksidasyon hızı sıcaklık ile düştüğü halde, NO'yu NO<sub>2</sub>'ye iyi şekilde oksitlemeyi başarmıştır. Plazma reaktörü tek başına NO (NO+NO<sub>2</sub>) seviyesini etkili bir şekilde azaltmamış, ancak plazma deşarjının bir sonucu olarak NO<sub>2</sub>'nin NO'ya oranının artması, katalizör (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-WO<sub>3</sub> / TiO<sub>2</sub>) yüzeyi üzerinde daha düşük sıcaklıklarda bile NO<sub>x</sub> giderme verimini artırmış. 100 °C'lik bir gaz sıcaklığında kombine plazma katalitik işlemi kullanılarak elde edilen NO<sub>x</sub> giderme verimi, 36 eV / molekül veya 30 J/l 'lik bir enerji girişi için % 88 olarak elde edilmiştir.

Yamamoto ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada Nitrik oksit (NO)'yu zararlı olmayan ürünlere dönüştürmek için amonyak radikal enjeksiyon sistemini geliştirmiş, bu sistemde radikaller NO akış odasından ayrı bir odada üretilmiştir. Plazmada NO gazı kullanılmamıştır. Aralıklı dielektrik bariyer deşarj kaynağı kullanarak DeNO<sub>x</sub>'un enerji verimliliğini teyit etmek için NO konsantrasyonu oksijen konsantrasyonunu % 2'den % 5.6'ya değiştirerek 3000 ppm'e kadar yükseltilmiştir. Dielektrik bariyer deşarjı ile daha düşük sıcaklık çalışması kullanılarak daha yüksek bir DeNO<sub>x</sub> oranı elde etmek mümkündür. Plazma işlemi başlatma için eşik gerilimden biraz daha yüksek olan bir uygulama voltajında, NO kaldırma miktarı, maksimum enerji verimi sağlayan bir maksimum değere ulaşır. Özellikle, belirlenmiş bir oksijen konsantrasyonu için, bu durumda % 5.6 ve % 5-10'luk bir doluluk, boşluk yüzdesi (duty cycle) için, 98 g / kWh'lık yüksek bir enerji verimi elde edilmiştir.

Mok ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada Monolit V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/TiO<sub>2</sub> katalizörü ile kombine edilmiş bir termal olmayan plazma reaktörü (dielektrik paketlenmiş yataklı reaktör) kullanılarak azot oksitlerin (NO<sub>x</sub>) uzaklaştırılması araştırılmıştır. İlk NO<sub>x</sub> konsantrasyonu, besleme gazı akış hızı (boşluk hızı), nem ve reaksiyon sıcaklığının NO<sub>x</sub> giderimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kullanılan plazma reaktörü AC veya darbe voltajı ile enerjilenebilir. Bir içten yanmalı motorun elektrik ateşleme sistemini plazma reaktörü için yüksek gerilim darbe üretici olarak kullanmak için girişimde bulunulmuştur. Plazma reaktörüne elektrikli ateşleme sistemi tarafından enerji verildiğinde NO, NO<sub>2</sub>'ye kolayca okside edilmiştir. Performans, AC enerjilendirme kadar iyi olmuştur. Plazma reaktörünün ana rolü olan NO<sub>x</sub> içindeki NO<sub>2</sub> fraksiyonunun artırılması, NO<sub>x</sub> uzaklaştırma verimliliğini büyük ölçüde arttırmıştır. Plazma katalitik reaktörde, ilk NO<sub>x</sub> konsantrasyonundaki artışlar, alan hızı (besleme gazı akış hızı) ve



nem, NO<sub>x</sub> giderimi verimliliğini düşürmüştür. Bununla birlikte, 473 °K'ye kadar olan reaksiyon sıcaklığı, plazma deşarjı varlığında NO<sub>x</sub> giderme verimliliğini önemli ölçüde etkilememiştir.

Alisoy ve arkadaşları tarafından 2005 yılında yapılmış olan çalışmada, Metal-Dielektrik-Gaz-Dielektrik-Metal elektrot sisteminde gerçekleşen bariyer boşalmasının mekanizması incelenmiştir. Gaz elektrokimyasında ve özellikle ozonatör sistemlerinde önemli olan bu çalışma hava ortamında ve sabit elektrot aralığında deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde bariyer boşalmasının darbe karakterli olduğu, Gerilim-Yük karakteristiğinin lineer olduğu ve boşalmanın Gerilim-Akım ve Gerilim-Yük karakteristiklerinden yola çıkılarak boşalmanın bazı parametrelerinin belirlenmesinin mümkün olabileceği saptanmıştır.

Chen ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada bir dielektrik bariyer deşarj reaktöründe baca gazlarında bulunan O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi bazı bileşenlerin elemental cıva oksidasyonu üzerindeki etkisinin incelenmesine odaklanılmıştır. Sonuçlar, % 0,1 O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> akımında Hg buharlarının (6 ppbv), 114 J/l'ye kadar olan enerji yoğunluğunda etkili bir şekilde oksitlendiğini göstermiştir. N<sub>2</sub> dengesinde % 8 O<sub>2</sub>, % 2 H<sub>2</sub>O ve % 10 CO<sub>2</sub> içeren bir gaz karışımında bulunulduğunda % 80'in üzerinde Hg dönüşümü sağlanmıştır. DBB reaktöründe NO<sub>x</sub> varlığı cıva oksidasyonunu artırır. Çalışmada ayrıca, oksidasyon kimyası tartışılmıştır. Çalışmalar, bir DBB reaktörü ve bunu takiben ıslak gaz yıkayıcı bir sistemde Hg'nin diğer iki önemli kirletici madde (NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub>) ile birlikte eşzamanlı olarak uzaklaştırılabileceğini göstermiştir. Bu durum, kömürle çalışan elektrik santrallerinden gelen büyük gazlı kirleticilerin çıkarılması için üç tekniğin gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır.

Khacef ve Cormier (2006) tarafından yapılan çalışmada Atmosferik basınç altında hemen hemen-mikro saniyelik darbeli dielektrik bariyer deşarjı (DBB) kullanarak O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O içeren simüle edilmiş cam imalat sanayi baca gazından SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>'in uzaklaştırılmasını araştırmak için deneyler gerçekleştirilmiştir. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>) giderim verimleri, iki spesifik enerji ve iki başlangıç NO, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonları için gaz sıcaklığının bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Yüksek SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> giderme verimleri, 163 ppm SO<sub>2</sub>, 523 ppm NO, 49 ppm NO<sub>2</sub>, % 14 CO<sub>2</sub>, % 8 O<sub>2</sub>, % 16 H<sub>2</sub>O ve N<sub>2</sub> denge içeren bir gaz akımı ile elde edilmiştir. Deney sonuçları enerji maliyeti veya W-değeri (eV / çıkarılan molekül) kullanılarak değerlendirilmiştir. SO<sub>2</sub>'nin

yaklaşık % 100'ü ve NO<sub>x</sub>'in % 36'sı, 100 °C'lik bir gaz sıcaklığında ve yaklaşık olarak SO<sub>2</sub> için 45 eV /kaldırılan molekül ve NO<sub>x</sub> için 36 eV /kaldırılan molekül enerji maliyeti ile giderilmiştir. Bu sonuçlar, DBB plazmalarının katkı maddesi olmaksızın gaz akımlarından SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> çıkarma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Saveliev ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada Dielektrik bariyer deşarjı ile havadan SO<sub>2</sub> giderimi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, kimyasal olarak aktif parçacıkların, özellikle atomik oksijenin ve OH radikallerinin rolü gösterilmiştir. Ayrıca, giderim işleminin en uygun koşulları belirlenmiştir.

Kambara ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, nitrojen ile dengelenmiş, % 2 hacim H<sub>2</sub> ve % 19,5 hacim O<sub>2</sub> gaz karışımı modeli doğrudan darbeli dielektrik bariyer deşarjı ile işlemde geçirilmiştir. Kuvartz cam tüpleri ile koaksiyal elektrot geometrisine sahip bir DBB plazma reaktörü kullanılmıştır. Gaz karışımı, koaksiyal kuvars cam tüplerinin bir ucuna akıtılmış ve DBB plazması atmosfer basıncında bir aralıkta oluşturulmuştur. Uygulanan voltaj (tepe-tepe değeri) 17,5 ila 37,5 kV arasında değişirken tekrarlama oranları 2,1 ila 49,6 kHz arasında değiştirilmiştir. DBB plazmasındaki deşarj gücü 50 ile 1230 W arasında değişmiştir. Uygulanan voltaj, tekrarlanma hızı ve egzoz gazı sıcaklığının hidrojen dönüşüm oranına etkileri araştırılmıştır. Hidrojen dönüşüm oranı genellikle egzoz gazı sıcaklığındaki ve boşaltma gücündeki bir artış ile artmıştır. Bu prosedürün en önemli özelliği, hidrojenin normal yanmada ateşleme sıcaklığının altında kolayca oksitlenmesidir. 1200 W deşarj gücünde ve 80 °C egzoz gazı sıcaklığında % 99 gibi yüksek bir dönüşüm oranı elde edilmiştir. DBB plazmasında hidrojen oksidasyon reaksiyon mekanizmasını anlamak için bir reaksiyon kinetik çalışması yapılmıştır. Kimya, radyoliz işlemlerinden ve gaz fazı reaksiyonlarından ayrı katkılara dönüştürülmüştür. DBB plazmasındaki elektron çarpma reaksiyonları tarafından üretilen H ve O radikalleri, gaz fazındaki reaksiyonlarda hidrojen oksidasyonunu arttırmada önemli bir rol oynamaktadır. DBB plazmada hidrojen oksidasyonun üç önemli özelliği, DBB plazmanın avantajı, gaz sıcaklığının etkisi ve deşarj gücünün etkisi gibi parametreler, simülasyon sonuçlarına dayanarak tartışılmıştır.

Moscosa-Santillan ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, egzoz gazlarını taklit eden bir gaz karışımından NO<sub>x</sub> çıkarmak için bir tel-silindirik dielektrik bariyer deşarj reaktörü geliştirilmiştir. NO dönüşüm, yüksek voltaj (HV) elektrot malzemesi, dielektrik malzeme, NO konsantrasyonu ve reaktör aralığı gibi parametrelerin bir

fonksiyonu olarak araştırılmıştır.  $^{18}O_2$  izotop deneylerinde tam bir ayrışma yolu önerilmiştir. Son olarak, reaktör parametreleri (giriş akışı, giriş NO konsantrasyonu, elektrik enerjisi yoğunluğu ve elektrik boşluğu) ve deney sonuçları (çıkış  $NO_x$  konsantrasyonu) arasındaki ilişkileri açıklamak için çoklu atomik oksijen enjeksiyonu ile kaskat Sürekli Karıştırılmış Tank Reaktörleri'nden oluşan bir model önerilmiştir. Model parametrelerinin optimizasyonu, yazarların NO dönüşümünde deneysel sonuçların hesaplanan sonuçlarla maksimum % 5 mutlak hata ile uyuşmasını sağlamıştır.

Byun ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, atmosferik basınç termal olmayan plazma ile gaz fazı elemental cıvanın ( $Hg^0$ ) oksidasyonu oda sıcaklığında, hem  $Hg^0$  gaz karışımının dielektrik bariyer deşarjı, hem de  $Hg^0$  gaz karışımına ozonun ( $O_3$ ) enjekte edilişi incelenmiştir. Sonuçlar,  $23,7 J l^{-1}$ 'lik bir enerji tüketimi ile  $Hg^0$ 'ın DBB ile ve  $O_3$  enjeksiyonu ile oksidatif verimliliklerinin sırasıyla % 59 ve % 93 olduğunu göstermiştir. Bu kombine yaklaşım  $O_3$ 'ün  $Hg^0$  gaz fazının oksidasyonunda belirleyici bir rol oynadığını göstermiştir. Ayrıca,  $Hg^0$  gaz karışımına  $O_3$  enjekte edilmesiyle  $Hg^0$  oksidasyonu,  $Hg^0$  gaz karışımının DBB'sinden daha iyi verimlilikle ilerlemiştir. Bu sonuçlar,  $O_3$  ile HgO oluşumu ile plazma ortamında HgO'nun  $Hg^0$ 'a geri dönüşümü arasındaki rekabetçi reaksiyon yollarının dâhil edilmesi ile açıklanmıştır.

Ko ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, gaz halindeki elemental cıvanın ( $Hg^0$ ) oksidasyonu üzerindeki HCl etkisi, plazma reaktör sıcaklığının ve  $N_2$  dengesindeki HCl,  $H_2O$ , NO ve  $O_2$  gaz karışımlarının bileşiminin değiştiği bir dielektrik bariyer deşarjı plazma işlemi kullanılarak araştırılmıştır. DBB süreci ile oluşturulan Cl atomları ve  $Cl_2$  moleküllerinin,  $Hg^0$ 'ın  $HgCl_2$ 'ye yükseltgenmesinde önemli roller oynadığını gözlemlenmiştir.  $H_2O$ 'nun  $N_2$ 'deki HCl gaz karışımına ilavesi,  $Hg^0$ 'ın oksidasyonunu hızlandırmış, ancak  $H_2O$ 'nun tek başına  $Hg^0$ 'ın oksidasyonu üzerinde belirgin bir etkisi gözlenememiştir. HCl varlığında tepkime sıcaklığının artması, muhtemelen, HgO'nun reaktör duvarı üzerindeki klorlanmış türler ile heterojen kimyasal reaksiyonunun bozulmasına bağlı olarak  $Hg^0$  oksidasyon verimliliğinin azalmasına neden olur. NO varlığı,  $N_2$ 'de % 16  $O_2$ 'lik DBB altında  $Hg^0$ 'ın oksidasyonu üzerinde bir engelleyici etkiye işaret eder ve bu da NO'nun bir O ve  $O_3$  temizleyici görevi görmesine işaret eder.  $Hg^0$  ( $280 \text{ } \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), HCl (25 ppm), NO (204 ppm),  $O_2$  (% 16) ve  $N_2$  (denge) bileşiminde ve  $90^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $8 J l^{-1}$ 'lik bir özgül enerji yoğunluğu ile  $Hg^0$ 'ın neredeyse tamamen

oksidasyonu elde edilmiştir. Bu sonuçlarla, DBB işleminin kömürle çalışan elektrik santrallerinden çıkan cıva tedavisinde uygulanabilir olabileceği önerilmiştir.

Takaki ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, dielektrik bariyer deşarjının özellikleri, bir elektrot konfigürasyonunun ozon sentezi ve mikro deşarj davranışı üzerindeki etkisini netleştirmek için deneysel olarak araştırılmıştır. Üç farklı konfigürasyon: düzlem, çukur ve çok noktali toprak elektrotu olarak kullanılmıştır. Alüminyum oksit dielektrik bariyeri kaplı düzlem elektrotu, 10 kHz frekansla sinüzoidal yüksek voltaj uygulanan yüksek gerilim elektrodu olarak kullanılmıştır. Saf oksijen gazı, 5 l/dk gaz akış hızı ile reaktöre beslenmiştir. Bir elektrot konfigürasyonunu düzlemden çoklu noktaya değiştirerek, maksimum verim oranı 80'den 120 g/kWh'e yükselmiştir. Çoklu nokta elektrot 6 cm×22 cm'lik bir düzlem elektrot üzerinde 528 tane sağ-piramit şeklinde çıkıntılıdır. Verim oranı, düzlem elektrotlu durumda üretilen bir ozon konsantrasyonuna kuvvetle bağımlı iken, çok noktali elektrot durumunda konsantrasyona çok az bağılı olduğu görülmüştür. Elektrot konfigürasyonu, bir uygulama voltaj döngüsü başına bir dizi mikro deşarjı da etkilemiştir. Çok noktali elektrot, aynı girdi enerjisinde en fazla sayıda mikro deşarjı göstermiştir.

Song ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada dielektrik bariyer boşalması teknolojisi kullanılarak gerçek bir dizel egzozdan katı parçacık madde, hidrokarbonlar (HC) ve azotoksitler (NO<sub>x</sub>) in azalmalarının karakterize edilmesi amaçlanmıştır. Tepe gerilim, frekans ve motor yükü gibi birçok parametrenin kirletici madde uzaklaştırma işlemleri üzerindeki etkisi yoğun olarak araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre: verilen bir frekansta katı parçacık madde ve hidrokarbonların çıkarılması tepe gerilimin artırılması ve daha yüksek gerilim seviyelerinde artarken aksine daha yüksek gerilim aralıklarında NO<sub>x</sub> çıkarma veriminin düştüğü gözlenmiştir. Verilen bir gerilim değeri için spesifik enerji yoğunluğunun maksimumları ve çıkarma veriminin maksimumları rezonans noktasında elde edilir. Tepe voltajının artması, çoğu motor yükünde DBB'nin enerji kullanım verimliliğinde belirgin bir azalmaya neden olacaktır. Çözünebilir organik fraksiyondaki (SOF) alkanlar, polisiklik aromatik hidrokarbonlardan daha kolay bir şekilde çıkarılan maddelere maruz kalmıştır.

Yin ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, 1 atm basınçta ve oda sıcaklığında (20 °C) dielektrik bariyer deşarjı reaktörü kullanılarak O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O buharının Nitrik oksit (NO) giderimi, NO<sub>2</sub> üretim hızı ve deşarj özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

Sonuçlar, baca gazındaki mevcut O<sub>2</sub>'nin NO'nun giderimini ve N<sub>2</sub>O'nun oluşumunu her zaman engellediğini, ancak O<sub>2</sub>'nin NO/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> karışımlarında NO<sub>2</sub> üretimini artırabildiğini göstermiştir. Dahası, oksijenin artmasıyla birlikte, ortalama deşarj akımı, reaktörde aşamalı olarak azalmıştır. N<sub>2</sub>/NO'da bulunan H<sub>2</sub>O, NO'nun çıkarılmasını ve NO<sub>2</sub>'nin oluşmasını engellemiş, ancak HNO<sub>2</sub> ve HNO<sub>3</sub>'ün tespit edildiği NO/N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O karışımlarındaki reaktördeki ortalama deşarj akımı üzerinde hiçbir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Baca gazından NO'yu çıkarmak için kullanılan DBB'nin enerji verimliliği de tahmin edilmiştir.

Hung ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, dioksin benzeri bileşiklerin yok edilmesi için dielektrik bariyer deşarjı (DBB) plazma teknolojisinin etkililiğini değerlendirmek için dioksin içeren gaz akışı üreten bir sistem tasarlanmıştır. Sonuçlar, DBB plazmasıyla elde edilen dioksin benzeri bileşiklerin yıkım verimliliğinin simüle gaz akımının bileşimine büyük oranda bağlı olduğunu göstermiştir. DBB plazması, % 20 su buharı içeren simüle edilmiş gaz akımı ile çalıştırıldığında, yaklaşık % 74 PCDD'ler ve % 89 PCDF'ler DBB plazmasıyla tahrip edilebilmiştir. UV, elektronlar ve OH radikalleri DBB plazma işlemi vasıtasıyla üretilmiş ve gaz akımında dioksin benzeri bileşiklerle reaksiyona girmiştir. UV ve elektronlarla deklorinasyon ve OH radikalleri yoluyla ayrışma aynı anda gerçekleşmiş ve oksijen ve su buharı varlığında PCDD / Fs yıkım verimliliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Buna ek olarak, giriş enerjisi 1 kJ olan dioksin benzeri bileşiklerin toplam toksisite tahribatı, su buharı gaz akımına dâhil edildiğinde 1.47'den 3.06 ngTEQWHO'ya yükselmiştir.

Thagard ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, Yaş tipi bir plazma reaktörü kullanılarak NO<sub>x</sub> için baca gazı temizlemesinin temel özellikleri, sıvıda nitrat ve amonyum iyonlarının konsantrasyonlarına dikkat edilerek değerlendirilmiştir. Kare dalga yüksek voltajla çalışan tel-silindir konfigürasyonunun ıslak tip plazma reaktörü kullanılmıştır. Reaktörün iç duvarı üzerinde ince bir sıvı film muhafaza edilmiştir. Bu reaktörde bir deşarj plazması NO'yu NO<sub>2</sub>'ye okside eder ve NO<sub>2</sub>, sıvıya NO<sub>3</sub><sup>-</sup> olarak çözünür. Azot oksitlerin sürekli emilmesi, sıvının doygunluğa ve asitleşmesine neden olur, bu nedenle daha fazla absorpsiyonu engeller. NO<sub>x</sub> giderilmesinde sıvı film içine amonyum iyonlarının (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ilavesi deneysel olarak teyit edilmiştir. Bu durumda NH<sub>4</sub><sup>+</sup>'ün eklenmesi, NO oksidasyonu ve sıvıda NO<sub>x</sub> absorpsiyonu için etkili olup, sıvıdaki NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup> konsantrasyonlarının artmasına neden olmuştur. Boşalma plazmasına

maruz bırakılan sıvı içinde  $Fe^{2+}$  iyonlarının bulunmasıyla,  $NO_3$ 'ün  $NH_4^+$  'e indirgenmesi olayı gerçekleşmiştir. Nitrat iyonlarının amonyağa indirgenmesi, solüsyonun pH'ını yükseltmiş ve sürekli  $NO_x$  emilimini sağlamıştır. Bu sonuçlar, ıslak tip plazma reaktörünün, absorbe edici suyun fazla asidifikasyonu olmaksızın  $NO_x$  çıkartılması için sürekli çalışmasının imkânını ortaya koymuştur. Nitrat iyonlarının amonyum iyonlarına indirgenmesinden sorumlu olan sürecin, elektrokimyasal bir nitelikte olduğu sonucuna varılmıştır.

Nasonova ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada,  $TiO_2$  fotokatalizörü ile kombine edilen termal olmayan plazma boşaltma işleminde  $NO$  ve  $SO_2$  giderimi analiz edilmiştir. Termal olmayan plazmalar dielektrik malzemeler olarak cam boncuklarla dielektrik bariyer deşarjı ile üretilmiştir. Dönen bir silindirik plazma kimyasal buhar biriktirme reaktörü ile  $TiO_2$  ince filmleri cam boncuklar üzerinde çatlak olmadan düzgün şekilde kaplanmıştır. Termal plazma- $TiO_2$  fotokatalist hibrid sisteminde elde edilen  $NO$  ve  $SO_2$  giderim verimleri,  $NO$  ve  $SO_2$ 'nin fotokatalizörler tarafından ek olarak çıkarılması nedeniyle sadece plazma işlemi yapılarak elde edilen verimden daha yüksek çıkmıştır. Uygulanan tepe voltaj, darbe frekansı ve gaz kalış süresi arttıkça veya başlangıç  $NO$  ve  $SO_2$  konsantrasyonları düştükçe  $NO$  ve  $SO_2$  giderim verimleri daha da artmıştır. PCVD prosesi ile hazırlanan cam boncuklardaki ince film fotokatalizör ve termal olmayan plazma hibrid sistemi,  $NO$  ve  $SO_2$ 'yi çıkarmak için oldukça etkili bir yöntem olduğu görülmüştür.

Wang ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, oda sıcaklığında dielektrik bariyer deşarjı termal olmayan plazma (NTP) teknolojisi kullanılarak elemental cıvanın oksidasyonu araştırılmıştır. Oksijen, nem,  $HCl$ ,  $NO$  ve  $SO_2$  gibi farklı baca gazı bileşenlerinin etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar  $O$ ,  $O_3$  ve  $OH$  içeren aktif radikallerin hepsinin temel cıvanın yükseltgenmesine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Benzetimli baca gazı içindeki % 5  $O_2$  koşullarında, yaklaşık % 90.2 oranında  $Hg^0$  'ın 3.68 kV deşarj voltajında oksitlendiği gözlemlenmiştir. Boşalma voltajının,  $O_2$  seviyesinin ve  $H_2O$  içeriğinin artması, bunların tümü bireysel olarak oksidasyon oranını artırabilir.  $O_2$  ve  $H_2O$ 'nun her ikisi de var olduğunda, NTP işlemi sırasında cıva oksidasyonu için optimal bir nem seviyesi vardır. Gözlemlenen optimum nem seviyesi hacimce yaklaşık % 0.74 olarak elde edilmiştir. Hidrojen klorür plazma prosesinde üretilen klor atomlarından dolayı cıvanın oksidasyonunu teşvik edebilir. Hem  $NO$  hem de  $SO_2$ , cıva oksidasyonu

üzerinde engelleyici etkilere sahiptir, bu da NO ve SO<sub>2</sub>'nin O<sub>3</sub> ve O'yu (rekabetçi) tüketime sevk edebilir.

Nasonova ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, Proses değişkenlerinin çeşitli koşulları için dielektrik bariyer deşarjı-fotokatalizörü (DBB-P) hibrid yöntemi ile NO ve SO<sub>2</sub> giderimi incelenmiştir. Alüminyumoksit boncuklar, dönen bir silindir PCVD reaktörü yardımıyla TiO<sub>2</sub> ince filmi ile kaplanmış ve bu boncuklar silindirik reaktör içine paketlenmiştir. NO ve SO<sub>2</sub> giderim verimliliği, dielektrik bariyer deşarjı ve TiO<sub>2</sub>'nin fotodegradasyonu ile kombinasyonu kullanılarak geliştirilebilir. Uygulanan voltaj ne kadar güçlü olursa, darbe frekansı ne kadar yüksek olursa, gaz kalış süresi ne kadar uzun olursa, NO ve SO<sub>2</sub> çıkarma verimliliği o kadar yüksek olur. Ek fotokatalitik etki uygulayarak, NO kaldırma verimi, SO<sub>2</sub> kaldırma verimliliğinden daha belirgin bir şekilde artmış, çünkü SO<sub>2</sub> kaldırma verimi, sadece dielektrik bariyer deşarjı ile zaten yükselir. Bu çalışmada, dönen bir silindir PCVD reaktörü yardımıyla TiO<sub>2</sub> ince filmi ile kaplanmış alüminyumoksit boncuklarının NO ve SO<sub>2</sub>'yi DBB-P hibrit işlemi ile verimli bir şekilde giderme için kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Obradović ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, bir kömür yakıtlı güç santralinde baca gazından NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub>'nin eşzamanlı olarak çıkarılması için dielektrik bariyer deşarjı araştırılmıştır. DBB ekipmanı iki modda kullanılmıştır: birincisinde baca gazı deşarj bölgesine yönlendirilmiş (doğrudan oksidasyon), ikincisinde üretilen ozonlanmış hava baca gazı akışına enjekte edilmiş (dolaylı oksidasyon). Her iki yöntem için de SO<sub>2</sub> ve NO'nun uzaklaştırma verimleri ölçülmüş ve karşılaştırılmış. NO oksidasyonu dolaylı oksidasyonda daha etkiliyken; SO<sub>2</sub> oksidasyonu doğrudan oksidasyonda daha etkili olmuştur. NH<sub>3</sub> ilavesi, ısıl reaksiyona bağlı olarak SO<sub>2</sub>'nin verimli bir şekilde uzaklaştırılmasına yol açar ve amonyum tuzu aerosollerinin yüzeyi üzerinde heterojen reaksiyonlara bağlı olarak NO'nun giderilmesini de artırmıştır. Doğrudan oksidasyonda CO konsantrasyonu belirgin bir şekilde artarken dolaylı oksidasyonda seviyesini korumuştur.

Jolibois ve ark. (2012) tarafından ıslak koşullarda nontermal bir yüzey plazma deşarjı yardımıyla NO<sub>x</sub> giderimi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bir yüzey deşarjından ve ıslak tip reaktörden oluşan gaz işleme cihazı FTIR ve elektriksel ölçümlerle karakterize edilmiştir. Önerilen sistemin gaz egzozunun temizlenmesi yeteneği incelenmiştir. Gazlı kirlenici olarak NO<sub>x</sub> etkin bir şekilde parçalanmıştır. Kimyasal dönüştürmeyi iyileştirmek

için elektrik devresine bir bobin yerleştirilmiş, daha sonra bir katalizör plazma alanına yerleştirilmiştir. Sonuçlar, sırasıyla üretilen radikal türlerin ve sinerjik etkinin artmasıyla NO<sub>x</sub> giderilmesinde bir iyileşme göstermiştir.

Yang ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada, plazma atmosferi altında H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> ve HCl gibi ana gaz bileşenlerinin elemental cıva oksidasyonu üzerindeki performansı simüle baca gazı içinde araştırılmıştır. Deneyler, 140 °C'de çalıştırılan dielektrik bariyer deşarj reaktöründe gerçekleştirilmiştir. Nanokristal titanyum dioksitin elemental cıvanın oksidasyonu üzerindeki fotokimyasal etkileri de test edilmiştir. Sonuçlar hem H<sub>2</sub>O hem de O<sub>2</sub>'nin temel cıvanın oksidasyonunu önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir. O, O<sub>2</sub> ve OH gibi iyonlaşmayla üretilen aktif radikaller, oksidasyon işleminde önemli rol oynamaktadır. Plazma sisteminde N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> akımında HCl varlığı, elemental cıvayı oksitlemenin çok etkili bir yoludur, temel cıvanın neredeyse tamamen oksidasyonunu yalnızca 4 kV uygulanan voltajla gözlemlenmiştir. Bu testlerde, 600 °C'de yakarak toz haline getirilmiş anataz (tetragonal titanyum dioksit minerali) TiO<sub>2</sub>'nin en iyi fotokatalitik etkinliği belirlenmiştir. Plazma işleminin tek başına kullanılışı ile karşılaştırıldığında, oksidasyon verimliliği fotokatalizör ilavesi ile % 18.7-26.3 artmıştır.

Vinh ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada, simüle edilmiş dizel egzoz gazından, oda sıcaklığında iğne-silindir reaktöründeki dielektrik bariyer deşarjı yoluyla NO<sub>x</sub> giderimi gerçekleştirilmiştir. Dielektrik engel, boşaltma alanına yerleştirilen bir dizel partikül filtresi (DPF) içerir. Partikül madde ile bileştirilmiş N<sub>2</sub>, NO ve O<sub>2</sub> gazlarından oluşan benzetim gazı test gazı olarak kullanılmıştır. Partikül madde (PM), bir difüzyon alevi PM jeneratöründen yüklenmiştir. Atık gazdaki PM ve oksijen fraksiyonunun NO<sub>x</sub> giderim özellikleri üzerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuçlar, PM'nin bariyer deşarjı alanındaki NO<sub>x</sub> giderim tepkimelerine katkıda bulunduğunu fakat etkisinin geçen zamana bağlı olarak düştüğünü göstermiştir. Ek olarak, PM kompozisyonu için çözünür organik fraksiyonlar ve sülfat NO<sub>x</sub> giderimi ile düşürülmüştür. Ayrıca, reaktör içindeki kimyasal reaksiyon mekanizması tartışılmıştır.

Wang ve ark. (2012) tarafından dielektrik bariyer deşarj reaktör yapısını geliştirmek için nitrik oksit (NO) giderimi üzerindeki etkisi üzerine bir deneysel çalışma yürütülmüştür. Elektrot bağlantısı, çapı, iç elektrodun malzemesi ve şekli ve dielektrik malzeme ile farklı yapılar sıralanmıştır. Sonuçlar, koaksiyel reaktörde dış elektrota yüksek gerilim uygulandığında, delinme (breakdown) voltajının daha düşük olduğunu



göstermiştir; NO kaldırma verimi daha küçük bir iç elektrot çapıyla azalır ve bakır veya paslanmaz çelik yerine iç elektrot malzemesi olarak tungsten kullanıldığında NO kaldırma verimi artar. İç elektrot vida şeklindeki, deşarj gücü ve NO giderme verimliliğini iyileştirir. Seramik veya kuvarz yerine dielektrik malzeme olarak Korundum (elmastan sonraki en sert mineral) kullanıldığında, benzer bir yüksek NO giderme verimi bulunmuştur.

Schmidt ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, gerçekçi sentetik egzoz gazı bileşimleri altında termal olmayan bir plazma reaktöründeki NO oksidasyon performansı incelenmiştir. Gaz bileşimleri temel olarak NO-NO<sub>2</sub> oranına göre farklılık gösterir ve bir deniz dizel motorunun farklı çalışma modlarını temsil eder. Maksimum NO oksidasyon etkinliğinin NO/NO<sub>2</sub> oranından bağımsız olduğu bulunmuştur. Analiz edilen tüm gaz karışımlarında NO'nun % 55'e kadarı esas olarak NO<sub>2</sub>'ye oksitlenmiştir. Bununla birlikte, en yüksek NO oksidasyonuna ulaşmak için gereken spesifik enerji yoğunluğu, gaz bileşimine göre 15 ila 60 J/l arasında değişmektedir. NTP reaktörünün performansı, ilave bir oksitleyici etken olarak görev yapan propen (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>) ilavesiyle önemli ölçüde geliştirilmiştir. NO-NO<sub>2</sub> dönüşümü için enerji tüketiminin, eklenen azot oksitlerin konsantrasyonlarının yanı sıra eklenen propan oranına bağlı olarak 20 ila 45 eV/NO arasında olduğu bulunmuştur.

Nasonova ve Kim (2013) tarafından yapılan çalışmada, Dielektrik bariyer deşarj-katalizör (DBB-C) hibrid prosesi ve dielektrik bariyer deşarj-katalizör-fotokatalizör (DBB-C-P) hibrid prosesi, NO ve SO<sub>2</sub> giderimi açısından analiz edilmiştir. DBB-C hibrid prosesinde, dielektrik bariyer deşarjı için dielektrik malzemeler ve katalizörler olarak zeolit parçacıkları kullanılmış; DBB-C-P hibrid prosesinde zeolit parçacıkları, NO ve SO<sub>2</sub> giderimi üzerindeki plazma katalizörü-fotokatalizörün kombine etkilerini araştırmak için TiO<sub>2</sub> fotokatalizörü ile kaplanmıştır. Zeolit parçacıkları, dönen bir silindir PCVD reaktörü vasıtasıyla TiO<sub>2</sub> fotokatalizörü ile kaplanmıştır. TiO<sub>2</sub> fotokatalizörü, zeolitin gözenekli yapısını koruyarak zeolit yüzeyinde kısmen kaplanmıştır. Uygulanan tepe voltaj, başlangıç NO ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonları, darbe frekansı ve kalış süresi gibi çeşitli proses değişkenleri için NO ve SO<sub>2</sub> giderimi çalışılmıştır. DBB-C-P hibrid prosesi ile TiO<sub>2</sub> fotokatalizör kaplamanın NO ve SO<sub>2</sub> giderimi üzerindeki etkileri, düşük ve orta gerilim (<14 kV) için önemlidir. DBB-C-P hibrid prosesinde NO ve SO<sub>2</sub> giderme verimliliği, bu çalışmada kullanılan proses değişkenleri için DBB-C hibrid prosesinde bulunanlardan

1,02-3,4 kat ve 1,03-4 kat sırasıyla daha yüksek olarak elde edilmiştir. Dönen bir silindir PCVD reaktörü vasıtasıyla TiO<sub>2</sub> fotokatalizörü ile kaplanan zeolit parçacıklarının DBB-C-P hibrit prosesinde NO ve SO<sub>2</sub>'yi çıkarmak için etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

An ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, bir yüzey dielektrik bariyer deşarj plazma reaktörü, kömürle çalışan baca gazındaki Hg<sup>0</sup> oksidasyonunu incelemek için kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, 7,9 J·l<sup>-1</sup> 'lik bir spesifik enerji yoğunluğu (SED) altında Hg<sup>0</sup> oksidasyon verimliliğinin % 98 ve enerji veriminin 13.7 µg kJ<sup>-1</sup> olarak elde edildiğini ortaya koymuştur. SED'in artması, aktif türlerin daha yüksek üretimine yol açtığından Hg<sup>0</sup> oksidasyonu için faydalı olmuştur. Daha yüksek başlangıç konsantrasyonu, daha düşük Hg<sup>0</sup> oksidasyon verimliliği ile sonuçlanır, ancak daha yüksek miktarda Hg<sup>0</sup> oksidasyonunu sağlar. Su buharı, Hg<sup>0</sup> oksidasyonunu inhibe etmiştir çünkü O<sub>3</sub> oluşumu bastırılmıştır. NO varlığı dikkat çekici şekilde Hg<sup>0</sup> oksidasyonunu sınırlarken, SO<sub>2</sub> Hg<sup>0</sup> oksidasyonu üzerinde çok az etki göstermiştir. Hg<sup>0</sup> oksidasyonundaki aktif türlerin rolleri, farklı gaz atmosferlerinde (O<sub>2</sub> ve hava) incelenmiş ve O<sub>3</sub>'ün Hg<sup>0</sup> oksidasyonunda önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Reaktörün iç yüzeyindeki birikimler enerji dağılımlı spektroskopi ile analiz edilmiş ve ürün HgO olarak tanımlanmıştır.

Jiang ve ark. (2013) tarafından iki farklı DBB plazma reaktöründe elemental cıvanın (HgO) oksidasyon verimliliği çalışılmıştır. Bir plazma reaktörü, yüksek gerilim elektrodu olarak bir spiral paslanmaz çelik ipliği olan bir yüzey deşarj reaktörüdür (SDR) ve diğer plazma reaktörü, yüksek gerilim elektrodu olarak bir bakır vida çubuğuna sahip bir konsantrik silindir tipi DBB reaktörüdür (CCDR). HgO'nun farklı spesifik enerji yoğunluğu (SED), oksijen içeriği, baca gazı kalış süresi ve baca gazı sıcaklığı altındaki oksidasyon verimliliği, SDR'nin Hg<sup>0</sup>'un oksidasyonunda CCDR'den daha iyi performans gösterdiği bulunmuş ve bu durum, SDR'deki ozonun CCDR'dekinden daha yüksek üretim etkinliğine sahip olduğunu göstermiştir.

Pham ve Kim (2013) yaptıkları çalışmada, dönen bir silindirik plazma kimyasal buhar biriktirme (PCVD) reaktörüyle cam boncukları TiO<sub>2</sub> ince filmlerle kaplamış ve dielektrik bariyeri deşarj fotokatalist hibritinde (DBB-PH) NO ve SO<sub>2</sub>'yi çıkarmak için TiO<sub>2</sub> kaplı cam boncukları uygulamıştır. Cam boncuklardaki TiO<sub>2</sub> ince film kalınlığı, tam olarak çökeltme süresinin değiştirilmesiyle kontrol edilmiştir. DBB-PH prosesinde plazma deşarjından üretilen UV ışını, cam boncuklar üzerindeki TiO<sub>2</sub> fotokatalistini

aktive eder ve NO ve SO<sub>2</sub> giderim verimi, plazma reaksiyonları ve TiO<sub>2</sub> fotokatalistinden üretilen reaktif radikaller tarafından daha kolay giderilir. Cam boncuklardaki TiO<sub>2</sub> ince filmin optimum kalınlığının DBB-PH işlemi ile NO ve SO<sub>2</sub>'yi çıkarmak için yaklaşık 600 nm olduğu bulunmuştur. Uygulanan tepe voltaj, kalış süresi veya darbeleri frekans arttıkça veya başlangıç NO ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonları düştükçe NO ve SO<sub>2</sub> giderim verimleri de artmıştır.

Jögi ve ark. (2014), tehlikeli gazların hibrid plazma-katalitik reaktörler tarafından uzaklaştırılmasını ele alan bir çalışma yapmışlardır. Plazmanın üretilmesi için koaksiyel dielektrik bariyeri boşaltma (DBB) reaktörü kullanılmış ve plazma ile katalizör arasında doğrudan teması izin vermek için plazma reaktörünün iç duvarında bir tabaka katalitik TiO<sub>2</sub> tozu preslenmiştir. Reaktör, karışımdaki NO veya SO<sub>2</sub>'nin oksidasyonu için % 10 O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> dengesi ile kullanılmıştır. Bazı durumlarda, bu egzoz gazı bileşenlerinin NO giderme üzerindeki etkisini araştırmak için karışıma H<sub>2</sub>O buharı veya CO<sub>2</sub> ilave edilmiştir. Reaktör bölgesindeki TiO<sub>2</sub> kaplamanın varlığı, işlemde geçmiş her iki gaz için de oksidasyon verimliliğini arttırmış, ancak SO<sub>2</sub> durumunda daha belirgin olmuştur. Sıcaklık ve nem etkisi hakkında da bazı farklılıklar vardır. SO<sub>2</sub>'ye kıyasla TiO<sub>2</sub> katalizörü ile NO'nun uzaklaştırma verimi arttırmak için daha yüksek sıcaklıkların kullanılması gerekiyormuş. Nemli koşullarda, NO'nun giderilmesi, TiO<sub>2</sub> katalizörü ile daha da artırılmışken, katalizör ile SO<sub>2</sub> giderilmesinde herhangi bir artış tespit edilememiştir.

An ve ark. (2014) tarafından simüle edilmiş baca gazında 110 °C'de elemental cıvayı ( $Hg^0$ ) oksitlemek için termal olmayan plazma (NTP) enjeksiyon yaklaşımının kullanılması araştırılmış ve burada aktif türleri üretmek ve baca gazı içine enjekte etmek için; simüle edilmiş baca kanalına yerleştirilen bir yüzey deşarj plazma reaktörü (SDPR) kullanılmıştır.  $Hg^0$ 'ın yaklaşık % 81'i oksitlenmiş ve 20,5 g kJ<sup>-1</sup> miktarda 3.9 J.l<sup>-1</sup> oranında enerji verimliliği elde edilmiştir. NTP enjeksiyon hava akış hızında bir değişiklik ile maksimum bir  $Hg^0$  oksidasyon verimliliği bulunmuştur. O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NO ve HCl içeren bir karışık baca gazında yüksek bir  $Hg^0$  oksidasyon verimliliği gözlemlenmiştir. Kimyasal ve fiziksel işlemlerin (örneğin ozon, N<sub>2</sub> metastabil durumlar ve UV ışığı),  $Hg^0$  oksidasyonuna katkı sağladığı bulunurken, ozonun baskın bir rolü olduğu belirlenmiştir. Baca borusunun iç yüzeyindeki biriken cıva türleri, X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve elektronik prob mikroanalizi (EPMA) kullanılarak

analiz edilmiş ve birikim HgO olarak tanımlanmıştır. Civa türünün öncelikle gaz fazında asılı aerosollere yapışarak HgO (s) şeklinde var olduğu düşünülmüştür.

An ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada dielektrik bariyer deşarj reaktörleri ile elemental cıvanın ( $Hg^0$ ) oksidasyonu, eş merkezli silindir deşarj reaktörü (CCDR) ve yüzey deşarj plazma reaktörünün (SDPR) kullanıldığı oda sıcaklığında incelenmiştir. Parametreler (örneğin,  $Hg^0$  oksidasyon verimliliği, enerji sabiti, enerji verimi, enerji tüketimi ve  $O_3$  konsantrasyonu) tartışılmıştır. İki reaktörün karşılaştırılmasından, düşük spesifik enerji yoğunluğu kullanılarak SDPR sisteminde daha yüksek  $Hg^0$  oksidasyon verimliliği ve enerji sabiti elde edilmiştir. Uygulanan aynı voltajda, SDPR sistemindeki enerji verimliliği CCDR sistemindeki enerji verimine göre daha büyük ve SDPR sisteminde enerji tüketimi çok daha düşük çıkmıştır. Ek olarak, SDPR sisteminde daha fazla  $O_3$  üretilmiştir. SDPR sistemindeki deneysel sonuçlardan % 98 oranında  $Hg^0$  oksidasyon verimliliği,  $0.6 J.l^{-1}$  değerinde enerji sabiti,  $13.7 \mu g.kJ^{-1}$  oranında enerji verimi,  $15.1 eV.molekül^{-1}$  değerinde enerji tüketimi ve  $12.7 \mu g.J^{-1}$  oranında ise  $O_3$  konsantrasyonu elde edilmiştir. Çalışma, kömürle çalışan baca gazında  $Hg^0$  oksidasyonu için alternatif ve ekonomik bir teknoloji ortaya koymuştur.

Wang ve Sun (2014) tarafından yapılan çalışmada dielektrik bariyer deşarjlı  $SO_2$  gideriminin teorik ve deneysel analizleri geniş bir sıcaklık aralığında yürütülmüştür. Sıcaklık artışı ile E/N (Elektrik alan şiddeti/Toplam gaz yoğunluğu) artmıştır. E/N 100'den 300 Td'ye yükseldiğinde, elektron ortalama enerjisi % 91 artmış ve yüksek enerjili elektronların oranı da artmıştır.  $SO_2/O_2/N_2$  sisteminde,  $O_2$  içeriğindeki artış O atomlarının üretimini artırarak  $SO_2$ 'nin uzaklaştırılmasını artırır ve artan sıcaklık daha aktif türler üretir ve ayrıca  $SO_2$  giderme reaksiyonlarının hızlarını artırır. Bu da  $SO_2$  giderilmesinde belirgin bir iyileşmeyi yansıtır.  $SO_2/H_2O/O_2/N_2$  sisteminde,  $H_2O$ ;  $SO_2$  giderme verimliliğini artırabilir, ancak yüksek bir su içeriği  $SO_2$ 'nin giderimini engeller. Sıcaklık arttıkça, aktif türlerin üretilmesi ve  $SO_2$ 'nin uzaklaştırılma tepkimelerinin her ikisi de artmakta, böylece  $SO_2$ 'nin giderilmesi yoğunlaşmaktadır.

Zhang ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada NO ve  $SO_2$ 'nin eşzamanlı olarak uzaklaştırılması için ozon oksidasyonu ile NaOH absorpsiyonu birlikte kullanılmasını içeren bir yöntem önerilmiştir.  $O_3$  ayrışmasını, NO oksidasyonunu etkileyen faktörleri ( $O_3$  dozajı, reaksiyon sıcaklığı, NO başlangıç konsantrasyonu ve  $SO_2$  varlığı) ve NaOH emilimini içeren temel araştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar, sıcaklık arttıkça  $O_3$  ayrışma

oranının arttığını ve O<sub>3</sub>'ün, başlangıç konsantrasyonundan daha az etkilendiğini göstermiştir. NO oksidasyonu için en uygun sıcaklık 150 °C olarak saptanmıştır. NO oksidasyon verimliliği, sabit bir sıcaklıkta O<sub>3</sub> dozunun artması ile artmıştır. NO'nun İlk konsantrasyonu ve SO<sub>2</sub> varlığı NO oksidasyonu üzerinde hafif bir etki göstermiştir. O<sub>3</sub>/NO konsantrasyon oranı 1 olduğunda NO oksidasyon verimliliği % 90'ın üzerinde kalmıştır. NaOH çözeltisi ile emilim, pH 11'in üstünde iken, % 99'luk NO, % 90'luk NO<sub>2</sub> ve yaklaşık % 100'lük SO<sub>2</sub>'nin son olarak çıkarılması ile sonuçlanmıştır.

Chen ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada azot monoksitin (NO) giderilmesi için plazma boşalması ve TiO<sub>2</sub> fotokatalizör kombinasyonu kullanılmıştır. Çalışmada, NO ayrışma etkinliği ile voltaj, nem ve sıcaklık gibi çeşitli deneysel parametreler arasındaki ilişkilerin açıklanması amaçlanmıştır. Deneysel sonuçlar, sinerjik plazma-katalizör birleşimi ile NO çıkarılmasının etkinliğinin sadece plazma veya sadece fotokatalizör sistemlerden önemli ölçüde yüksek olduğunu göstermiştir. NO giderim etkinliği, uygulanan voltajın artmasıyla artmıştır. Nem artınca, TiO<sub>2</sub> fotokatalizör yüzeyinde daha az sayıda *elektron-delik* çiftine yol açmış ve bu da daha az sinerjik arıtma verimliliğine yol açmıştır. NO gideriminin verimliliği, sıcaklık artışıyla artmış ve bu da NO ve suyun nano-TiO<sub>2</sub> ile adsorpsiyonunun çevre sıcaklığından etkilenmesi nedenine bağlanmıştır.

Anaghizi ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada oda sıcaklığında simüle edilen gazdan azot oksit (NO<sub>x</sub>) gideriminin verimliliğini arttırmak için bir dielektrik bariyer deşarjlı silindirik reaktör analiz edilmiştir. Termal olmayan plazma reaktöründe elektrot şekli, elektrot çapı ve elektrot uzunluğu etkileri araştırılmıştır. İki farklı elektrot konfigürasyonu (çubuk ve vida dişli elektrotları) incelenmiştir. Deneysel sonuç, çubuk elektrot için elektrot çapını arttırarak NO<sub>x</sub> giderim verimliliğinin arttığını göstermiştir. Bununla birlikte, vida dişli elektrotun, NO<sub>x</sub> konsantrasyonunun düşürülmesinde daha etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuçlar, bir çubuk elektrodu yerine 1 mm vida dişli elektrot kullanılarak NO<sub>x</sub> giderimi için ortalama giriş gücü gereksinimini yaklaşık % 14 oranında düşürebildiğini göstermiştir.

Niu ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada gaz bileşenlerinin, dielektrik bariyer deşarjı (DBB) termal olmayan plazma (NTP) teknolojisi ile Hg<sup>0</sup> oksidasyonu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bulgular O<sub>2</sub> ve HCl'nin iyonlaşmasıyla üretilen O ve Cl gibi reaktif türlerin oksidasyon işlemleri sırasında baskın roller oynadığını göstermiştir.

$N_2/O_2$  atmosferinde 50 ppm HCl varlığı,  $Hg^0$  oksidasyonunu arttırmıştır, 6 kV uygulanan voltajla  $Hg^0$ 'nun tam oksidasyonu gözlemlenmiştir. Reaktörde NO varlığı, NO'nun O ve  $O_3$  ile reaksiyon girişiminden ötürü  $Hg^0$  oksidasyon verimliliğini azaltmıştır. Baca gazına 310 ppm NO eklenmesiyle  $Hg^0$  oksidasyon verimliliği % 55 de kalmıştır. Su buharı  $HgO$  oksidasyonunu inhibe etmiş ve bu da reaktif türlerin tüketimi ve  $HgOH$ 'nin bozunmasına atfedilmiştir.  $SO_2$  varlığı,  $SO_2$  yokluğuna kıyasla,  $Hg^0$  oksidasyonu üzerinde hafif bir yükseltici etkiye yol açmış, oksidasyon verimliliği, 100-200 ppm  $SO_2$  ilavesiyle % 2-8 artmıştır. Bu çalışma, baca gazında  $Hg$ 'nin giderilmesi için yeni ve umut verici bir çevre teknolojisinin geliştirilmesine başlamasına neden olmuştur.

Yamamoto ve arkadaşları tarafından yapılan 2016 yılında bir çalışmada bir cam imalat sisteminde baca gazından  $NO_x$  ve  $SO_x$ 'un aynı anda çıkarılması için yeni bir teknoloji, bir plazma-kimyasal hibrit prosesi (PCHP) kullanılmıştır. Egzoz gazı sıvılaştırılmış doğal gazın yanması ile üretilir ve hem  $NO_x$  (189 - 335 ppm) hem de  $SO_x$  (109-183 ppm) içerir. Ozon gazı enjeksiyonu yardımıyla NO'nun  $NO_2$ 'ye oksidasyonunu (% 80 verimlilik) verimli bir şekilde yapabilmek için 200 °C sıcaklığın üstündeki baca gazının, 150 °C'nin altına düşürülmesi gerekir. Bu nedenle, ozon ve su karışımı, üç akışkanlı püskürtme memesinden gelen egzoz kanalına basınçlı hava ile püskürtülmüştür. Ozon gazı, elektriksel deşarj kaynaklı bir termal olmayan plazma aparatı kullanılarak hazırlanmıştır. Ek olarak, hemen hemen  $SO_2$ 'nin tamamı, bir NaOH emici tarafından emilerek  $Na_2SO_3$  oluşumu ile sonuçlanmıştır. Ayrıca, suda çözünebilen  $NO_2$ 'nin  $Na_2SO_3$  ile  $N_2$ 'ye indirgenmesi, cam malzeme olarak yeniden kullanılabilen  $Na_2SO_4$ 'ü oluşturur.  $NO_x$  konsantrasyonu 315 ppm'den 193 ppm'ye ( $O_3/NO = 0,32$ ) düşürülerek  $NO_x$  için % 39'luk en yüksek uzaklaştırma verimi elde edilmiştir. PCHP'nin bu eşzamanlı de- $SO_x$  ve de- $NO_x$  teknolojisi, bir cam imalat sistemi egzoz gazı arıtması için oldukça etkili ve umut verici olduğunu göstermiştir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Tez çalışmasının laboratuvar uygulamaları Siirt Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda özel olarak kurulmuş olan deney sisteminde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın deneysel uygulamalarında laboratuvar ekipmanı olarak bir adet AC güç kaynağı, bir adet yüksek gerilim trafosu, bir adet dielektrik bariyer boşalması (DBB) reaktörü, bir adet indüksiyon fırını, bir adet DC güç kaynağı, bir adet DC motor, çeşitli gaz karışımlarını içeren farklı iki adet gaz tüpü, elektriksel bazı ölçüm aletleri ve bir adet gaz ölçüm analizörü kullanılmıştır. Şekil 3.1'de deney sisteminin genel görüntüsü verilmiştir. Sistemde kullanılacak olan DBB reaktörünün elektrot konfigürasyonunun şekli, sistemde kullanılacak baca ve egzoz gazlarının giderimi açısından büyük önem teşkil etmektedir.



Şekil 3.1. Deney sisteminin genel görüntüsü

Şekil 3.2'de deney sisteminde kullanılan güç kaynağının görüntüsü verilmiştir. Kullanılan AC güç kaynağının markası GW Instek APS-9501 olup doğrusal ve çift çıkışlıdır. Aşırı akım, aşırı sıcaklık ve kısa devre koruması mevcuttur. Güç kaynağı dijital özellikli olup boşalma esnasında sistemde gerçekleşebilecek herhangi bir aşırı akım durumunda koruma fonksiyonu devreye girerek enerjiyi kesmektedir. Yüksek doğruluk ve düşük çıkış bozukluğu (distorsiyon) ile çıkış gerilimi gerçek RMS ve  $< 0,5\%$  THD'de

tutabilme özelliğine sahiptir. Bu güç kaynağı ile 0-500 Hz değerleri arasında ayarlanabilir frekans ve 0-220 volt değerleri arasında ayarlanabilir AC çıkış gerilimi üretilebilmektedir. Bu güç kaynağı aynı zamanda çıkış akımı ve sistemin güç katsayısını ( $\cos\psi$ ) ölçme özelliğine sahip olduğu için yüksek gerilim tarafında oluşan akımı ölçme ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır.



**Şekil 3.2.** Deney sisteminde kullanılan güç kaynağı

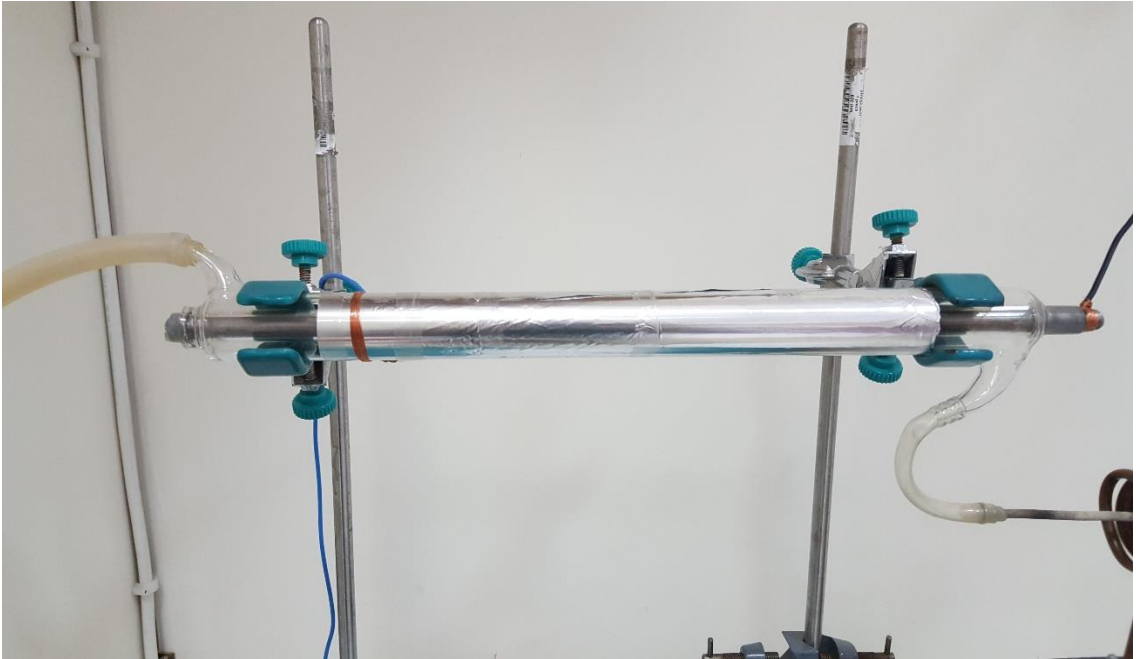
Sistemde kullanılan yüksek gerilim trafosunun görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiş olup, tek fazlı, AC, 1:150 dönüştürme oranına sahip, 1 kVA gücünde ve dahili tip bir gerilim trafosudur. Trafonun topraklama sistemi laboratuvarın bulunduğu binanın topraklamasından bağımsız olup, çok düşük topraklama direncine sahip olan ayrı bir topraklama hattı çekilmiştir. Trafonun primer beslemesi 0-220 V aralığında ayarlanabilen bir gerilim kaynağı ile yapılmıştır. Trafonun sekonder tarafı ise 0-33 kV'a kadar çıkış gerilimi verebilecek kapasitededir.



**Şekil 3.3.** Deney sisteminde kullanılan yüksek gerilim trafosu



Dielektrik bariyer boşalmaları atmosferik basınçlardaki düşük sıcaklıklı plazmaların önemli bir türüdür. İki elektrot arasında gerçekleşecek olan bu elektrik gaz boşlaması türünde genellikle elektrotlardan biri veya her ikisi boşalmanın başlamasını geciktirmek amacıyla özel bir bariyerle kaplanır. Bu boşalma türü günümüzde medikal cihazların sterilizasyonunda, plazma panellerinde, excimer (UV) lambalarında, CO<sub>2</sub> lazerlerinde, deşarj lambalarında, baca gazlarının temizlenmesinde, yüzey modifikasyonunda, hava kirliliği kontrolünde, H<sub>2</sub>S ayrıştırılmasında, ozon üretiminde ve CO<sub>2</sub> hidrojenasyonu gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.4'te deney sisteminde kullanılan DBB reaktörünün görüntüsü verilmiştir. Deneysel uygulamalarda kullanılan DBB reaktörü silindirik yapıda kuvarz camdan yapılmış, iç çapı 11 mm, dış çapı 20 mm genişliğinde ve uzunluğu ise 40 cm'dir. Yüksek gerilim elektrodu 10,5 mm çapında ve reaktörün iç merkezine boşluksuz olarak yerleştirilmiş paslanmaz çubuk şeklindeki çelik malzemeden yapılmıştır. Reaktörün dış kısmı ise alüminyum folyo ile boşluksuz olarak kaplanarak toprak elektrodu olarak kullanılmış ve bu elektrot bir iletken yardımıyla topraklanmıştır. Hem iç elektrot hem de dış elektrodun çevresi cam bariyer ile kaplı olduğu için çift bariyerli elektrot sistemi adını almıştır. Cam reaktörün her iki ucuna yakın noktalarda biri gaz girişi; diğeri ise gaz çıkışı terminalleri bulunur. Gaz bağlantıları ise silikon hortumlar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Deneysel uygulamalar için reaktör sistemi iki adet taşıyıcı ayak ve uçları kauçuk malzemeye kaplanmış olan kısıkaçlar yardımıyla askıda tutulmuştur.



Şekil 3.4. Deney sisteminde kullanılan DBB reaktörü

Canlıların yaşamı ve çevre açısından tehlike arz eden egzoz ve baca gazlarının hava kirliliği problemi günümüzde özellikle ağır sanayiye sahip olan gelişmiş ülkelerde tehlikeli boyutlara ulaşmış durumdadır. Bu nedenle, ülkeler ve uluslararası kurum ve kuruluşlar bu problemi ortadan kaldırmak amacıyla her geçen gün yeni yasalar ve yeni düzenlemeler oluşturmak suretiyle bu problemi nispeten azaltmaya yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Çeşitli gaz türlerini ve parçacıklarını içerisinde barındırmanın yanı sıra canlıların metabolizmaları açısından oldukça zararlı olan  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $CO_x$  türü gazları da içeren bu gazlar, ekolojik denge açısından büyük tehlike oluşturmaktadırlar. Dolayısıyla, deneysel olarak gerçekleştirilen ve yeni bir yöntem olarak önerilen bu tez çalışmasında, ağırlıklı olarak endüstriyel tesislerin bacalarından salınan  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  gazlarının temizlenmesi hedeflenmiştir. Deneysel uygulamalar için Şekil 3.5-a'da gösterilen ve Siirt Ekin Gaz Firmasından özel olarak sipariş ettirilen 500 ppm  $CO$ , 500 ppm  $NO$ , 500 ppm  $SO_2$  ve Bal.  $N_2$  karışımından oluşan ve DIN 14 paslanmaz vanaya sahip, 200 Bar,  $1.9 m^3$  Gaz içeriği, 24 Ay raf ömrüne sahip özellikteki 10 Litrelik Alüminyum tüpe basılmış olan ve ayrıca tüpe monte edilmiş çift kademeli, Krom kaplı prinç gövdeli, 0-241 Bar giriş basıncı; 0-4 Bar çıkış basıncına sahip regülatörden oluşan sistemde baca gazına eşdeğer olan bir karışım kullanılmıştır. Uygulamalarda, karışım şeklindeki bu gazların eş zamanlı olarak giderilmesine yönelik çalışılmıştır.

Deney sisteminde kullanılan ve gazın debisini anlık olarak ölçmek amacıyla kullanılan akış-ölçer Şekil 3.5-b'de gösterilmiştir. Akış ölçer 0-10  $NI/h$  aralığında ölçüm yapabilen ve iğne uçlu ayar vanasına sahip olan boncuk göstergeli tip ölçüm aletidir. Uygulamalarda, gaz akışı ortalama 4  $NI/h$  değerinde sabit tutularak deneysel işlemler gerçekleştirilmiştir.

Reaktörün giriş ve çıkışından çıkan gazların analizlerinin yapılabilmesi ve reaktörün enerji verimliliğinin belirlenebilmesi için bir adet fonksiyonlu ve dijital ekranlı gaz analizör cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihaz  $NO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $CO$  ve  $CO_2$  gazlarını eş zamanlı olarak ölçebilecek özelliktedir. Şekil 3.5-c'de gösterilen bu cihaz MRU-OPTİMA-7 tip Portatif Multifonksiyon Baca Gazı Analiz Cihazı olup teknik özellikleri aşağıda verilmiştir:

#### **MRU-OPTİMA-7 Teknik Özellikleri:**

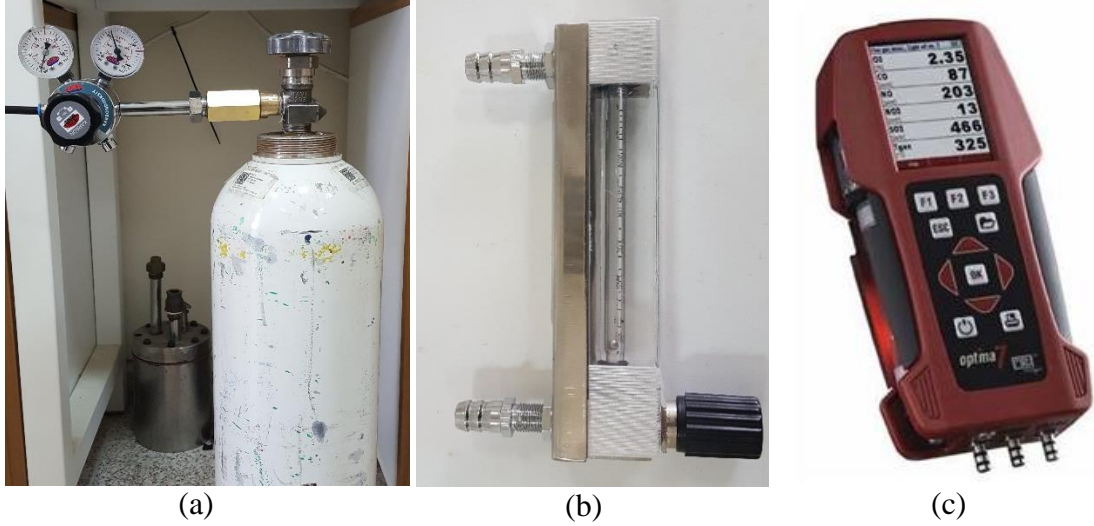
- Oksijen sensörü ( $O_2$ ) standarttır.

- Toplamda 5 sensöre kadar opsiyonel ölçüm hücreleri CO, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>
- Baca çekişi ve fark basınç ölçümü
- Sıcaklık farkı ölçümü
- Yanma hesaplamaları ve geniş yakıt listesi (CO<sub>2</sub>, fazla hava, ısı kayıpları, yanma verimliliği, bacagazı çüğüleşme noktası)
- Emisyon hesaplamaları (mg/Nm<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub> as mg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>,)
- Standart olarak 650 °C, opsiyonel olarak 1.100 °C 'ye kadar baca sıcaklığı ölçümü
- IRDA infrared arayüz ile kablosuz printer bağlantısı
- Mini-USB bağlantısı ile bilgisayara data transferi
- SD kart bağlantısı (opsiyonel)
- 250 ölçüme kadar dâhili hafıza
- Şarj edilebilir uzun ömürlü batarya (6 saat) opsiyonel olarak 15 saat ölçüm alabileceğiniz batarya
- USB üzerinden şarj imkânı

### **Ölçülen Parametreler:**

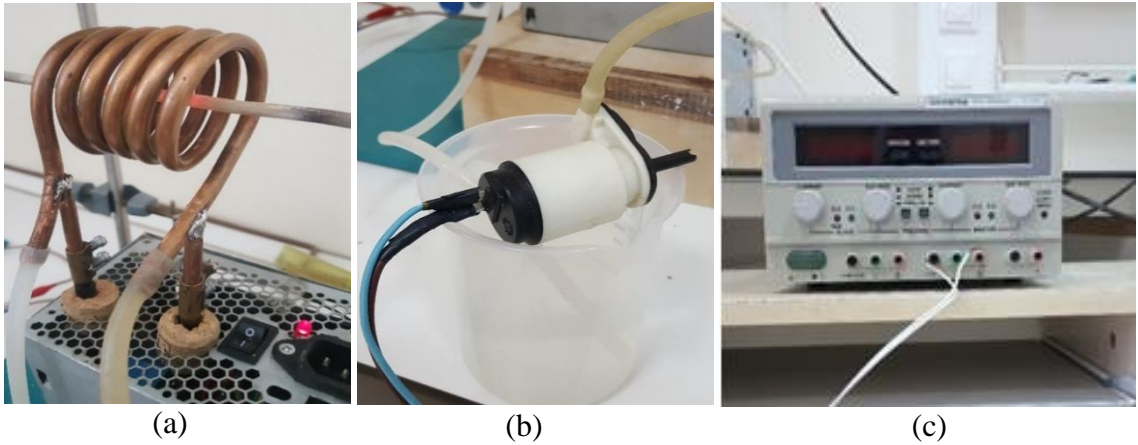
- O<sub>2</sub>, % 0–21,00 STANDART
- CO<sub>2</sub>, % 0–20,00 (hesaplama ile) STANDART
- CO (H<sub>2</sub> compensated) 0–4.000 ppm (max. overload 10.000 ppm) OPSİYONEL
- CO düşük, 0–300 ppm (with 0,1 ppm çözünürlük) OPSİYONEL
- NO, 0–1.000 ppm (max. overload 5.000 ppm) OPSİYONEL
- NO, düşük 0–300 ppm (with 0,1 ppm çözünürlük) OPSİYONEL
- NO<sub>2</sub>, 0–200 ppm (max. overload 1.000 ppm) OPSİYONEL
- SO<sub>2</sub>, 0–2.000 ppm (max. overload 5.000 ppm) OPSİYONEL
- CO yüksek, 0–4.000 ppm (max. overload 20.000 ppm) OPSİYONEL
- CO çok yüksek, % 0–4,00 (max. overload % 10,00) OPSİYONEL
- Yanma Gazı Sıcaklığı 100 °C'ye kadar
- Bacagazı Sıcaklığı 650 °C'ye kadar (opsiyonel olarak 1100 °C'ye kadar)
- Baca çekiş ölçümü +/- 100 hPa
- Fark basınç ölçümü +/- 100 hPa

Gaz analizör cihazı yukarıdaki özelliklere ek olarak, aynı zamanda otomatik sensör temizleme özelliğine sahip olup gaz değişimlerine hızlı tepki verebilen bir özelliğe sahiptir.



**Şekil 3.5.** Deneyde kullanılan gaz ve gaz ölçüm cihazları a) Gaz tüpü b) Akış ölçer c) Baca gazı analizörü

Şekil 3.6-a'da verilen ve deney sisteminde kullanılan indüksiyon fırını 500 W gücünde olup  $\phi=8$  mm çapındaki bakır borudan 6 adet sipir olarak sarılmış olan bobinden oluşmaktadır. Bobinin bakır kayıpları nedeniyle aşırı ısınmasını önlemek amacıyla bir DC motor+sentrifüj sistemi (Şekil 3.6-b) ve bir adet ayarlı gerilim verebilen GW Instek GPC-30300 marka, çift çıkışlı DC güç kaynağı (Şekil 3.6-c) yardımıyla borunun içerisinde kapalı çevrim şeklinde su dolaştırılarak soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.6.** Deneyde kullanılan malzemeler a) indüksiyon bobini b) DC motoru c) DC güç kaynağı

Deney esnasında indüksiyon bobininin çıkış gerilimi yaklaşık olarak 14,4 V değerinde ve şebekeden çektiği akım ise 8,60 A değerinde olup şebekeden anlık olarak çektiği güç yaklaşık olarak 124 Watt sabit olarak ölçülmüştür. Bobin merkezine yerleştirilmiş olan  $\phi=5$  mm çapındaki çelik boru içerisinde geçen gaz yaklaşık olarak 200 °C'ye kadar ısınmıştır.

### 3.2. Yöntem

Bu tez çalışması kapsamında indüksiyonlu ısıtma destekli bariyer boşalmasının canlılar ve ekosistem açısından tehlike arz eden zehirli baca gazlarının temizlenmesi üzerine olan etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma kapsamında baca gazlarının temelini oluşturan ve insan sağlığı ile çevre açısından zehirleyici özelliğe sahip olan CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlarının giderilmesi için çok sayıda deney yapılmıştır. Çalışma genel olarak 4 aşama halinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk üç aşamasında yapılan deneylerde belirli oranlarda özel olarak hazırlanmış karışım halindeki CO, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazları kullanılmıştır. Dolayısıyla, yapılan deneylerde bu gazların eş zamanlı olarak giderilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise sadece CO<sub>2</sub> gazı kullanılarak endüstriyel CO elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışma, ana hatlarıyla aşağıda verilmiş olan adımlar şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, yüksek gerilimli Dielektrik Bariyer Boşalmasının (DBB) belirlenen zehirli gazlar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla tüpten salınan karışım halindeki gaz DBB reaktöründen geçirilerek ve reaktöre belirli adımlarla yüksek gerilim uygulanarak reaktör içerisinde yüksek gerilimli yoğun plazma bombardımanına maruz bırakılmıştır. Daha sonra gerilime bağlı olarak değişen gaz konsantrasyonlarındaki değişimler gaz analizörü yardımıyla ölçülmüş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Bu aşamada;

- i. F= 0 Hz frekans değeri için (DC uygulama);
- ii. F= 50 Hz frekans değeri için;
- iii. F= 100 Hz frekans değeri için;
- iv. F= 200 Hz frekans değeri için;
- v. F= 350 Hz frekans değeri için;
- vi. F= 500 Hz frekans değeri için;

uygulanan gerilime bağlı olarak CO, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlarının ilk ve son konsantrasyon değerleri gaz analizör cihazı yardımıyla ölçülerek kaydedilmiş ve grafiksel olarak yorumlanmıştır. Ayrıca uygulanan gerilime bağlı olarak, verilen frekans değerlerine karşılık sistemden akan akım miktarları ölçülerek kaydedilmiş ve grafik ortamına aktarılmıştır. Daha sonra frekansın, adı geçen gazların temizlenmesi üzerine olan etkisini değerlendirmek amacıyla her bir gazın farklı frekanslardaki işlem öncesi ve işlem sonrası konsantrasyon değerleri grafik ortamına aktarılarak yorumlanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, DBB reaktörüne seri olarak bir indüksiyon fırını bağlanmıştır. Tüpten salınan gazlar ilk önce indüksiyon bobininden geçirilerek bir ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Fırın yardımıyla belirli bir değere kadar (yaklaşık 200 °C'ye kadar) ısıtılan gazlar seri şekilde DBB reaktörüne aktarılmış ve reaktör içerisinde yüksek gerilimli yoğun plazma bombardımanına maruz bırakılmıştır. Yapılan tüm uygulamalar süresince indüksiyon bobininin çıkış gerilimi yaklaşık olarak 14,4 V ve şebekeden çektiği akım ise 8,60 A değerinde sabit olarak tutulmuştur. Bobin içerisinden geçen gaz yaklaşık olarak 200 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Reaktöre gerilim uygulanmadan önce bobin devreye alınmış ve öncelikle sadece indüksiyon fırınının gazlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Daha sonra sırasıyla reaktöre aşağıdaki koşullar çerçevesinde;

- i. F= 0 Hz frekans değerinde (DC uygulama);
- ii. F= 50 Hz frekans değerinde;
- iii. F= 100 Hz frekans değerinde;
- iv. F= 200 Hz frekans değerinde;
- v. F= 350 Hz frekans değerinde;
- vi. F= 500 Hz frekans değerinde;

birbirinden bağımsız olacak şekilde ve ayrı ayrı adımlar halinde yüksek gerilim uygulanmıştır. Uygulanan gerilime bağlı olarak CO, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlarının ilk ve son konsantrasyonları gaz analizör cihazı yardımıyla ölçülerek kaydedilmiş ve grafik ortamına aktarılmıştır. Ayrıca her bir frekans değeri için sistemden geçen akım, uygulanan gerilime bağlı olarak ölçülmüş ve grafik ortamına aktarılmıştır. Daha sonra frekansın bu gazlar üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, sırasıyla her bir gaz için farklı frekanslardaki gerilime bağlı gaz konsantrasyonlarındaki değişim miktarları grafik ortamına aktarılmıştır.

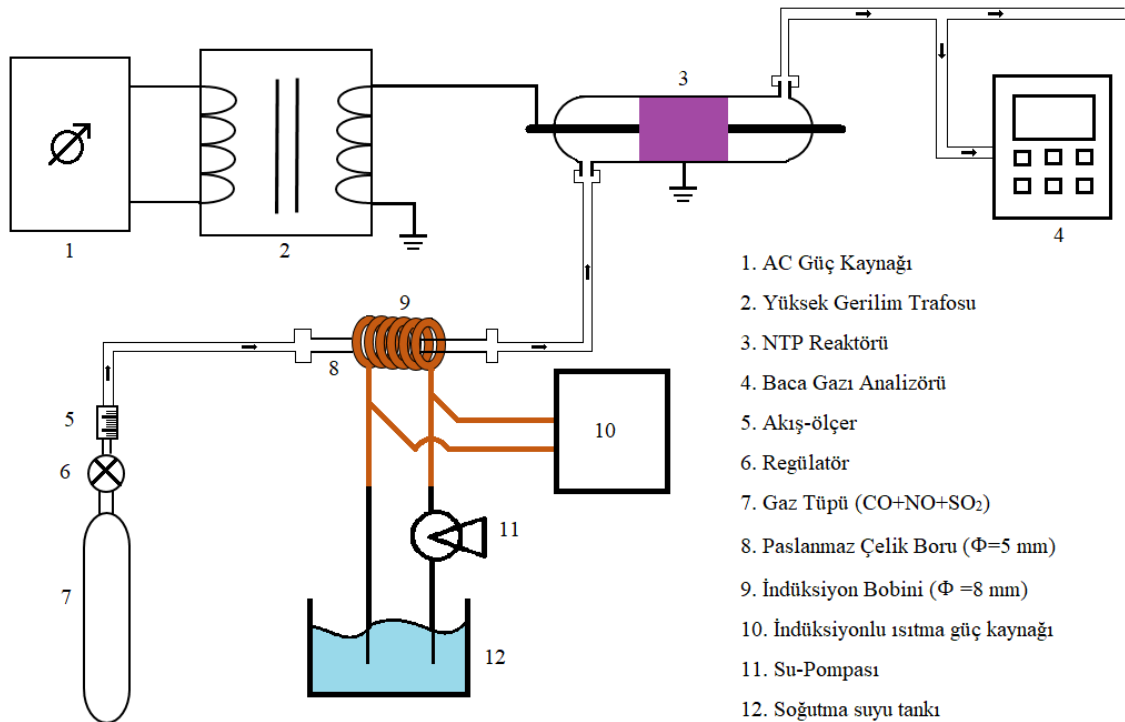
Çalışmanın üçüncü aşamasında, indüksiyon fırınında harcanan enerji ile meydana gelen gaz sıcaklığı arasındaki ilişkiyi belirlemek ve elde edilen gaz sıcaklığı ile gaz konsantrasyonları arasındaki değişim oranlarını belirlemek amacıyla bazı uygulamalar yapılmıştır. Bu durumda, DBB reaktörüne sırasıyla;

- i. 50 Hz frekansında ve 1,5 kV gerilim değerinde;
- ii. 50 Hz frekansında ve 15 kV gerilim değerinde;

alternatif gerilimler uygulanarak, her bir adım için bobinin çektiği elektriksel güce bağlı olarak oluşan gaz sıcaklığı ve bu sıcaklığa bağlı olarak CO, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim miktarları ölçülmüş ve grafik ortamına aktarılarak yorumlanmıştır.

Çalışmanın son aşamasında ise, indüksiyon fırını kullanılarak indüksiyonlu ısıtma destekli bariyer boşalmalarının CO<sub>2</sub> gazının temizlenmesi üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu aşamada ilk önce sadece bariyer boşalması kullanılarak CO<sub>2</sub> gazının temizlenmesi konusu araştırılmış ve alınan sonuçlar kaydedilerek grafik ortamına aktarılmıştır. Daha sonra indüksiyon fırını da devreye alınarak uygulamalar tekrarlanmış ve fırın yardımıyla ısıtılan gaz seri bir şekilde reaktöre aktarılarak elektriksel boşalmaya tabi tutulmuştur. Bariyer boşalması ortamına aktarılmış olan CO<sub>2</sub> gazı burada yüksek gerilimli plazma bombardımanına maruz bırakılmış ve sistemin çıkışındaki gaz konsantrasyonları anlık olarak ölçülmüş ve grafik ortamına aktarılarak yorumlanmıştır.

Tez çalışmasının deney sisteminin genel bir özetini gösteren şema Şekil 3.7'de verilmiştir. Verilen şemadan da görüldüğü üzere, önerilen yöntemin pratik uygulama açısından çok da kompleks olmadığı ve ayrıca sistemin kurulum maliyetinin de mevcut yöntemlere nazaran çok daha az olduğu söylenebilir. Bu avantajları sayesinde, endüstriyel uygulanabilirlik açısından günümüz ve gelecek teknolojilerinde önemli oranda tercih edilebilir konuma gelmesi beklenmektedir.



Şekil 3.7. Deney sisteminin özet şeması

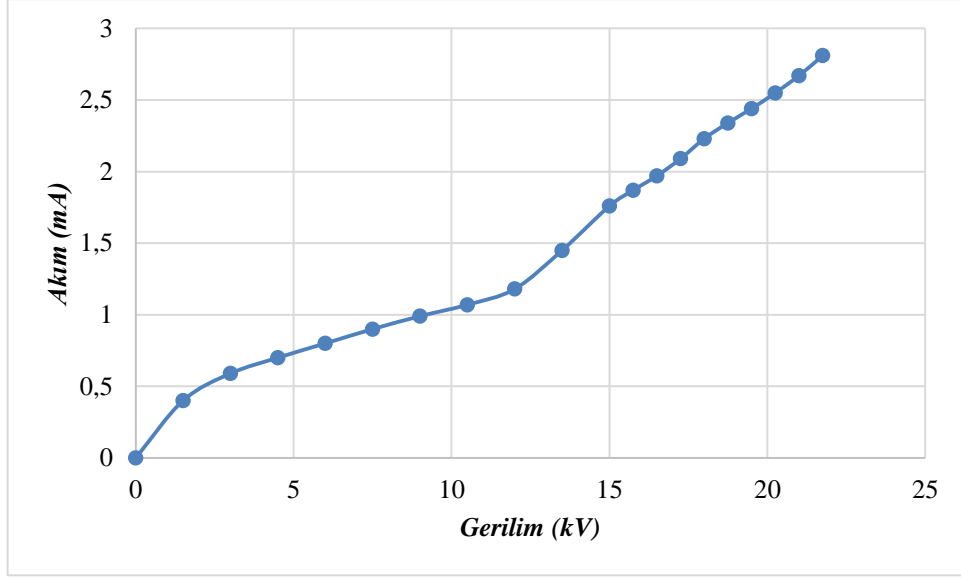
## 4. BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında insan sağlığı ve çevre üzerinde çok büyük miktarlarda zararlı etkisi olan egzoz ve baca gazlarının giderilmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin kullanılmasıyla özellikle endüstriyel tesislerden salınan baca gazlarında zehirleyici etkisi olan CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlarının giderilmesi için çok sayıda deneysel uygulama yapılmıştır. Deneyleerin ilk aşamasında yüksek gerilimin bu zehirli gazlar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla elektriksel gaz boşalmalarının bir türü olan dielektrik bariyer boşalması (DBB) metodu kullanılarak, bariyer boşalmasının baca gazları üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Sistemde kullanılan DBB reaktörü, silindirik yapıda kuvarz camdan özel olarak tasarlanmıştır. DBB boşalma reaktörüne rastgele belirlenen 0 Hz (DC), 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 350 Hz, 500 Hz frekans değerlerindeki uygulama gerilimi 0 V'tan başlayarak reaktörde boşalma gerçekleşene kadar belirli adımlarla uygulanmıştır. Gerilimin her uygulama adımına karşılık, sistemin giriş ve çıkışlarındaki gaz miktarları analizör yardımıyla ölçülmüş ve değerleri kaydedilmiştir.

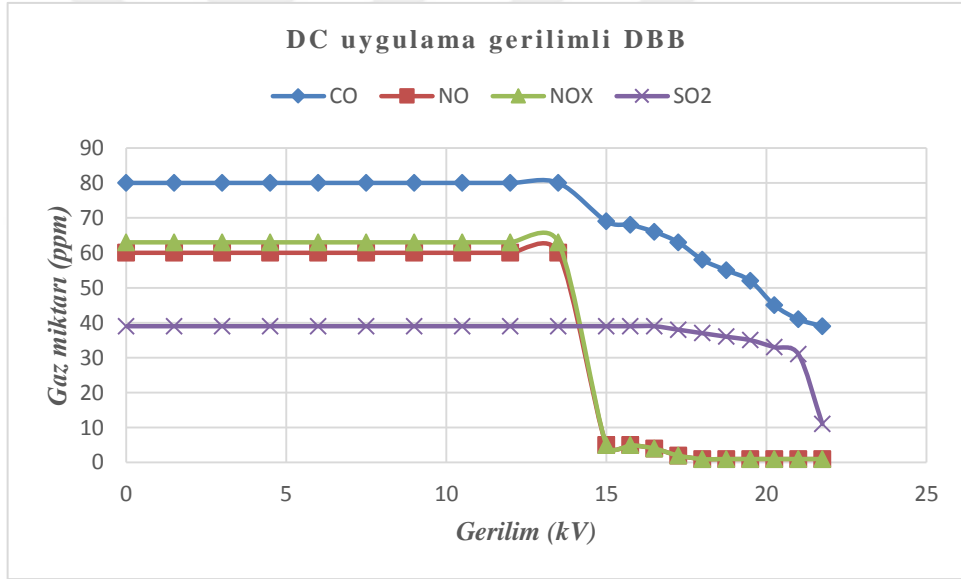
### 4.1. Bariyer Boşalmasının CO, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> Gazlarının Giderilmesi Üzerine Olan Etkisi

Bariyer Boşalmasının CO, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlarının giderilmesi üzerine olan etkisini incelemek amacıyla deney reaktörüne sırasıyla DC, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 350 Hz ve 500 Hz frekans değerlerindeki uygulama gerilimine bağlı olarak SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişimler ve boşalma akımları kaydedilmiştir. f=0 Hz için gerilim değerlerine karşılık gelen akım değerleri grafiği Şekil 4.1'de ve gerilime karşı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim grafiği ise Şekil 4.2'de verilmiştir. Sisteme uygulanan gerilim değeri 13,5 kV değerini aştıktan sonra reaktörde gaz boşalması tutuşmuştur. Gaz boşalmaları başladıktan sonra ortamdaki CO miktarı 80 ppm'den 65 ppm değerine, NO miktarı 60 ppm'den 5 ppm değerine, NO<sub>x</sub> miktarı 63 ppm'den hızla 5 ppm değerine kadar düşmüştür. SO<sub>2</sub> miktarında ise kayda değer bir değişim olmamıştır. Sisteme uygulanan gerilimin değeri 21 kV değerini aştıktan sonra; ortamdaki SO<sub>2</sub> gazında önemli miktarlarda bir düşüş yaşanmış ve gaz miktarı 38 ppm değerinden 11 ppm değerine kadar düşmüştür. Grafikten görüldüğü gibi NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının neredeyse tamamı tükenmiş iken; ortamdaki CO miktarının ise neredeyse %50'si tükenmiş ve 40 ppm değerine kadar düştüğü görülmüştür.





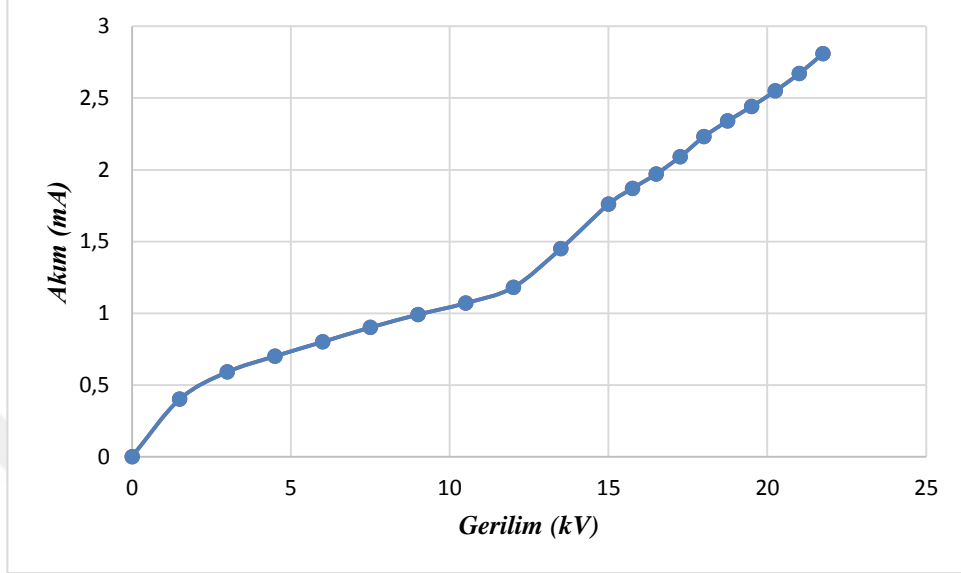
Şekil 4.1. DC uygulama gerilimi için DBB'nin Gerilim-Akım grafiği



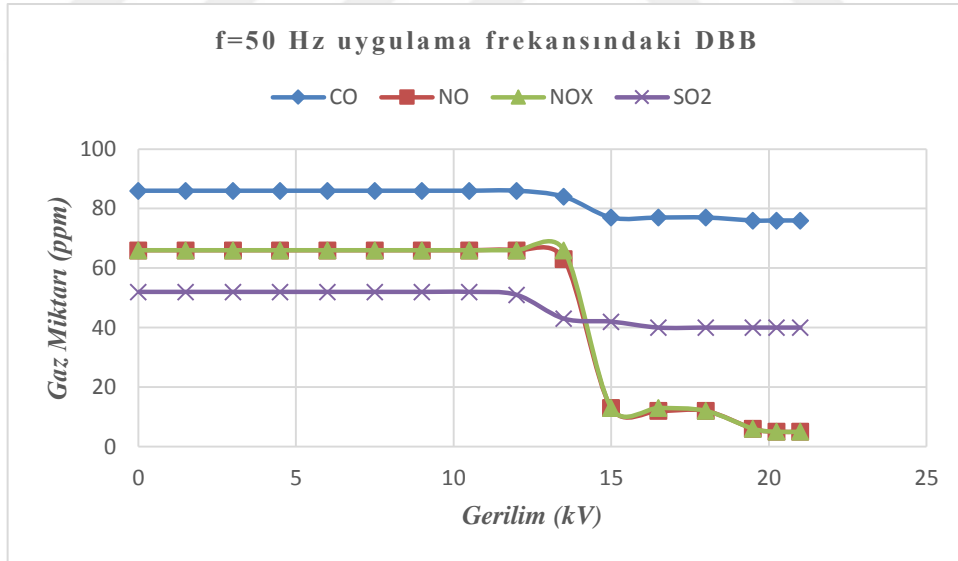
Şekil 4.2. DC uygulama gerilimi için, DBB'nin uygulama gerilimine karşılık SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

Boşalma reaktörüne uygulanan alternatif gerilimin frekansı  $F=50$  Hz'e ayarlandıktan sonra reaktöre uygulanan gerilime karşı elde edilen akım değerlerini gösteren grafik Şekil 4.3'te ve uygulama gerilimine karşı ölçülen SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim miktarları ise Şekil 4.4'te verilmiştir. Sisteme uygulanan gerilim değeri 12 kV'u aştıktan sonra gaz konsantrasyonlarında çok düşük miktarlarda azalma olmuş ve 13,5 kV değerini aştıktan sonra reaktörde bir elektriksel gaz boşalması başlamıştır. Gaz boşalması tutuştuktan sonra ortamdaki CO miktarı 86 ppm'den 77 ppm

değerine, NO miktarı 66 ppm'den 13 ppm değerine, NO<sub>x</sub> miktarı 66 ppm'den 13 ppm değerine ve SO<sub>2</sub> miktarı ise 51 ppm'den 42 ppm değerine düşmüştür. Grafikten görüldüğü gibi, sisteme uygulanan gerilimin değeri 18 kV değerini aştıktan sonra; ortamdaki NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının neredeyse tamamı tükenmiştir.



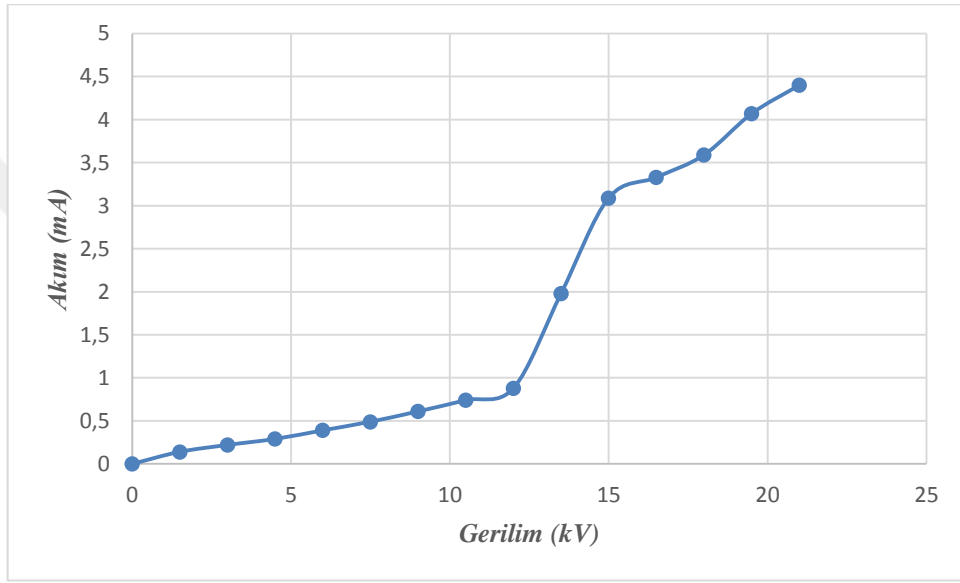
Şekil 4.3. F=50 Hz uygulama frekansı için DBB'nin Gerilim-Akım grafiği



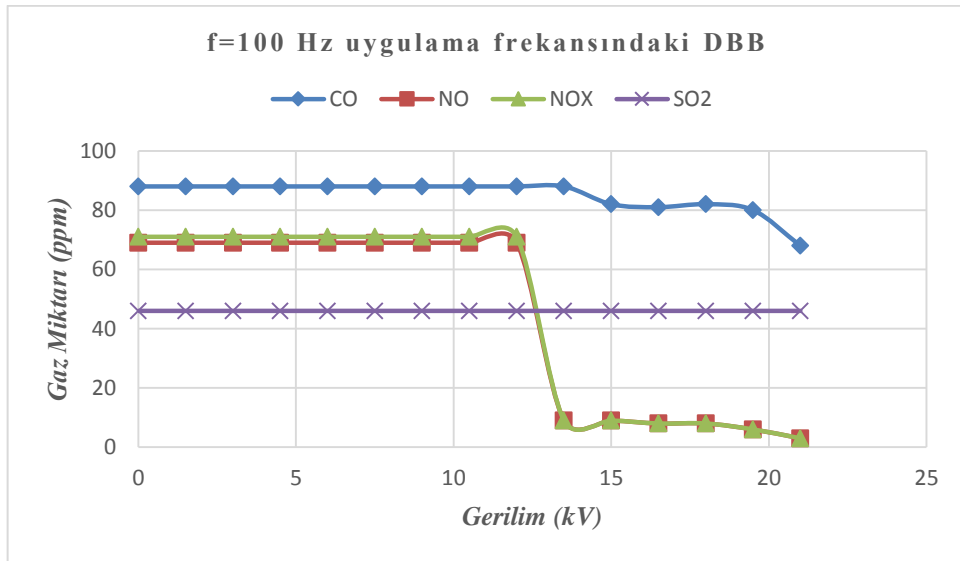
Şekil 4.4. DBD'nin uygulama geriliminin 50 Hz frekansındaki gerilimlere bağlı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

Boşalma reaktörüne uygulanan alternatif gerilimin frekansı F=100 Hz değerine ayarlandıktan sonra reaktöre uygulanan gerilime karşı elde edilen akım değerlerini gösteren grafik Şekil 4.5'te ve uygulama gerilimine karşılık gelen SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri ise Şekil 4.6'da verilmiştir. Eğrilerden görüldüğü

üzere, sisteme uygulanan gerilim değeri arttırıldıkça gaz konsantrasyonlarında önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir. Fakat gerilimin 12 kV değerini aşmasıyla birlikte reaktörde gaz boşalması başlamıştır. Gaz boşalmaları tutuştuktan sonra ortamdaki CO miktarı 88 ppm'den 82 ppm değerine, NO miktarı 71 ppm'den 9 ppm değerine, NO<sub>x</sub> miktarı 71 ppm'den 9 ppm değerine kadar hızla düşmüştür. SO<sub>2</sub> miktarında ise kayda değer bir değişme olmamıştır. Sisteme uygulanan gerilim değeri 19,5 kV değerini aştıktan sonra; ortamdaki CO gazında önemli miktarlarda bir düşüş yaşanmış ve gaz miktarı 68 ppm değerine kadar düşmüştür. NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının ise neredeyse tamamı tükenmiştir.

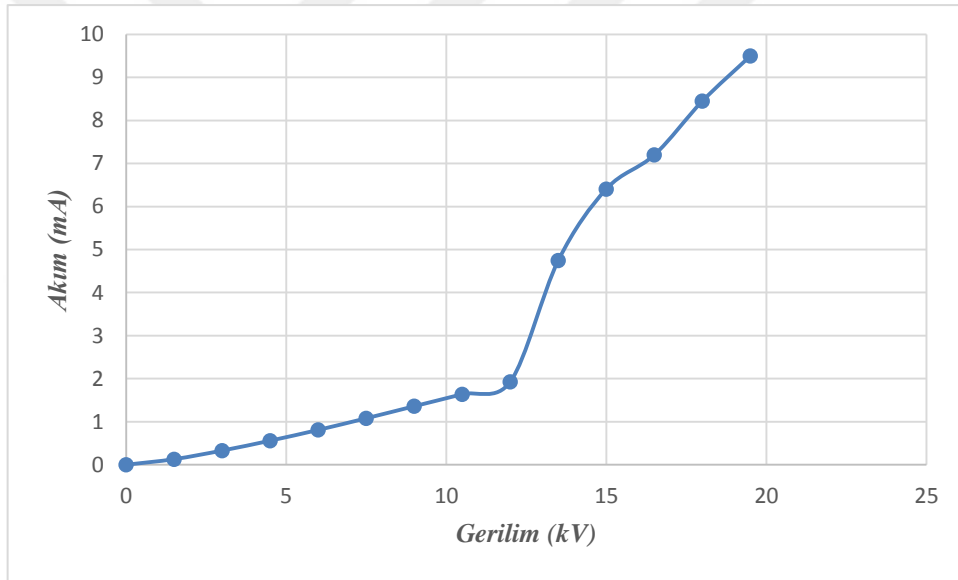


Şekil 4.5. F=100 Hz uygulama frekansı için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınan akım grafiği



Şekil 4.6. DBD'nin uygulama geriliminin 100 Hz frekansındaki gerilimlere bağlı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

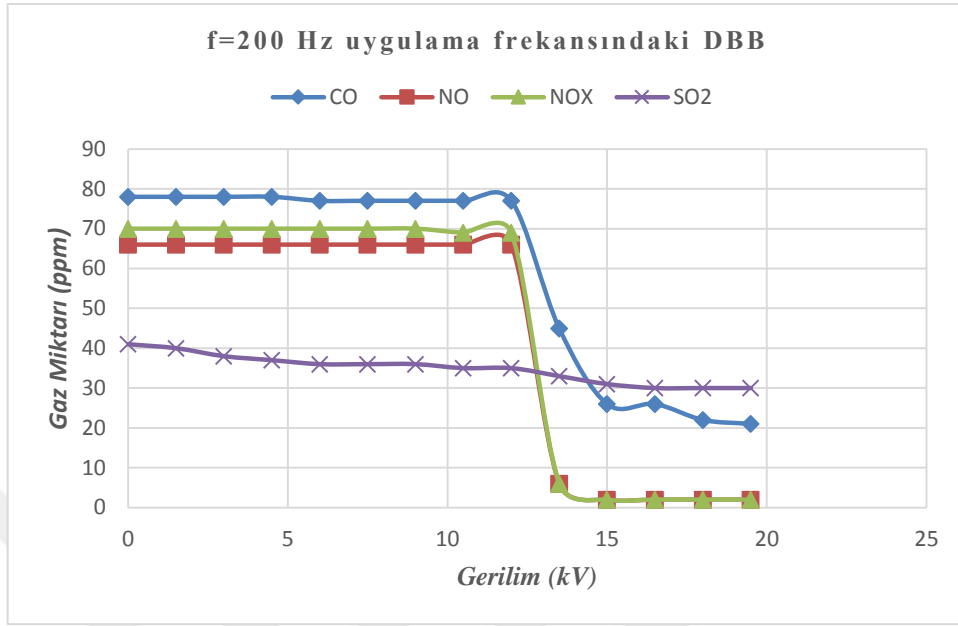
F=200 Hz frekansına sahip alternatif gerilimin DBB reaktörüne uygulanmasıyla birlikte sistemin uygulanan gerilime bağlı elde edilen akım grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere 0-12 kV aralığında boşalma akımı OHM kanununa uygun olarak artmıştır. Bu durumda boşalma ortamının direnci sabittir ve ortamda henüz bir elektriksel delinme olayı gerçekleşmemiştir. Ancak gerilimin 12 kV sınırını aşmasıyla birlikte ortamda bir delinme olayı gerçekleşmiş ve boşalma hızla tutuşmuştur. Bu durumda, ortamda yoğun bir yük bombardımanı başlamıştır. Dolayısıyla, ortamdaki gaz molekülleri arasındaki bağların kopma olasılığı önemli ölçüde artmıştır. Ortamda hareket eden uzay hacim yüklerinin kinetik enerjileri ortamdaki gaz moleküllerinin bağ enerjilerinden büyük ise, gaz bileşenleri arasında bir ayrışma olayı söz konusu olur. Bu durumda, ayrışan moleküller kendi aralarında başka bir bileşik oluşturabildiği gibi; ortamdaki başka moleküllerle de bileşik oluşturabilirler.



Şekil 4.7. F=200 Hz uygulama frekansı için DBB’nin uygulama gerilimine karşı alınan akım grafiği

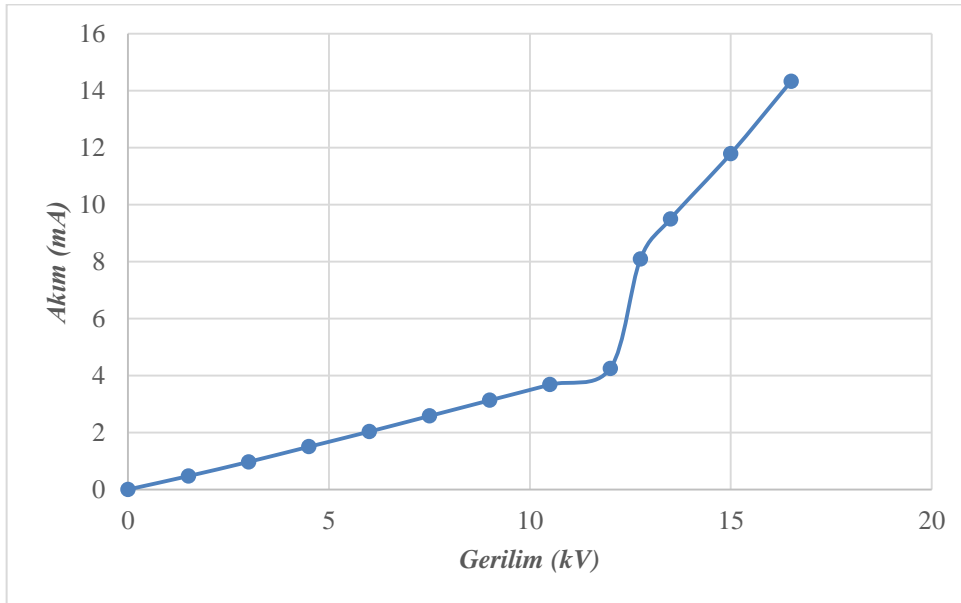
Uygulama gerilimine karşı alınan SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere, sisteme uygulanan gerilim değeri 12 kV değerini aştıktan sonra reaktörde gaz boşalmaları başlamıştır. Gaz boşalmaları başladıktan sonra ortamdaki CO miktarı 78 ppm’den 45 ppm değerine, NO miktarı 66 ppm’den 6 ppm değerine, NO<sub>x</sub> miktarı 70 ppm’den 6 ppm değerine düşmüştür. SO<sub>2</sub> miktarında ise kayda değer bir değişme olmamakla birlikte genel olarak uygulanan gerilim bir kademe arttıkça, SO<sub>2</sub> miktarı da 1 veya 2 ppm’ lik bir azalma göstermiştir. Sisteme uygulanan gerilim değeri 15 kV değerini aştıktan sonra;

ortamdaki CO gazında önemli miktarlarda bir düşüş yaşanmış ve gaz miktarı 26 ppm değerine kadar düşmüştür. NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının ise neredeyse tamamı tükenmiştir.



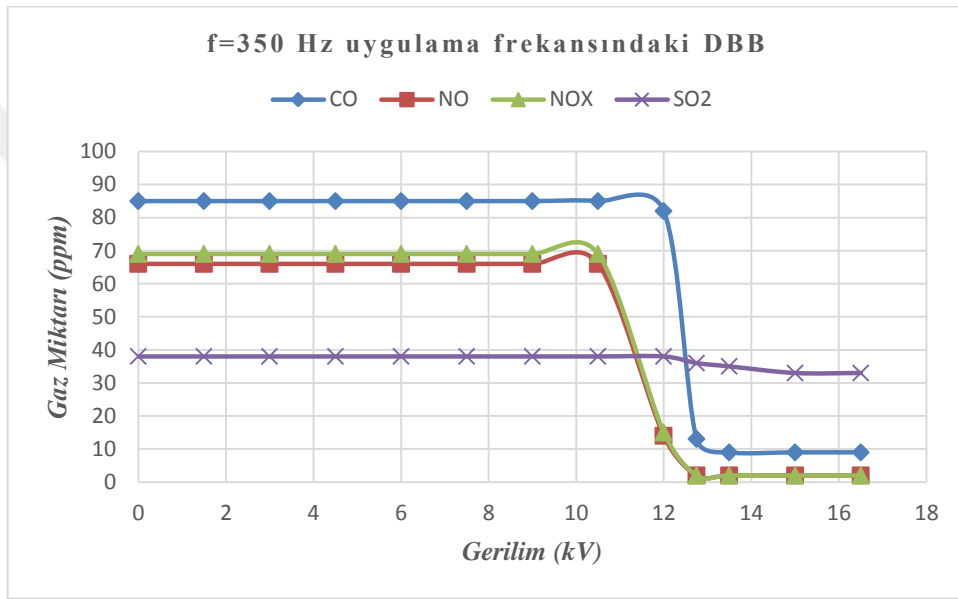
**Şekil 4.8.** DBB'nin uygulama geriliminin 200 Hz frekansındaki gerilimlere bağlı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

Boşalma reaktörüne uygulanan alternatif gerilimin frekansı F=350 Hz'e ayarlandıktan sonra reaktöre uygulanan gerilime karşı elde edilen akım değerlerini gösteren grafik ise Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere 0-12 kV aralığında boşalma akımı OHM kanununa uygun olarak artmıştır.



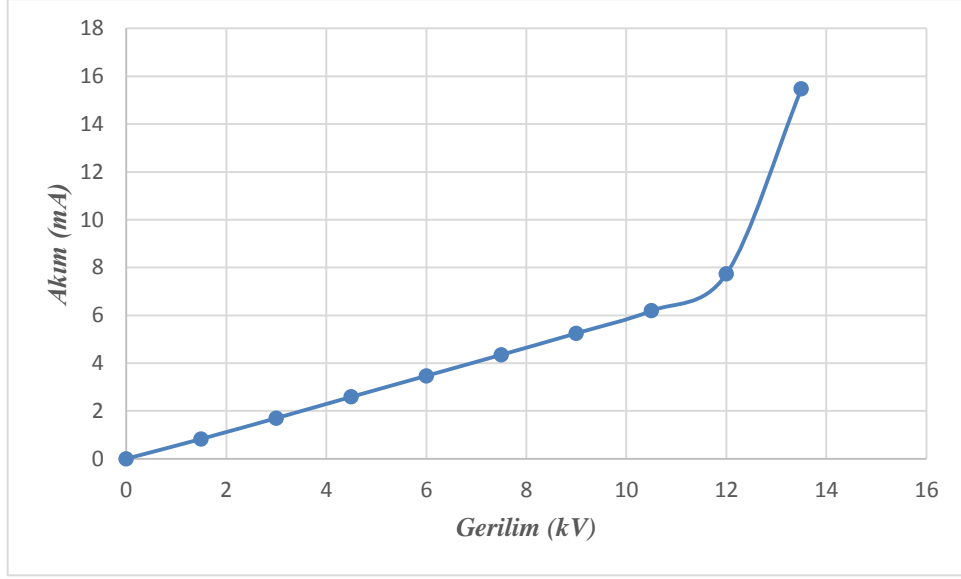
**Şekil 4.9.** F=350 Hz uygulama frekansı için DBB'nin gerilime karşı alınmış olan akım grafiği

DBB'nin F=350 Hz frekansındaki uygulama gerilimine karşı alınmış olan SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere sisteme uygulanan gerilim değeri 10,5 kV değerini aştıktan sonra reaktörde gaz boşalmaları başlamıştır. Gaz boşalmaları başladıktan sonra ortamdaki CO miktarı 85 ppm'den 82 ppm değerine, NO miktarı 66 ppm'den 14 ppm değerine, NO<sub>x</sub> miktarı 69 ppm'den 15 ppm değerine düşmüştür. SO<sub>2</sub> miktarında ise kayda değer bir değişme olmamıştır. Sisteme uygulanan gerilim değeri 12 kV değerini aştıktan sonra; ortamdaki CO gazında önemli miktarlarda bir düşüş yaşanıp gaz miktarı 13 ppm değerine kadar düşmüş, NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının neredeyse tamamı tükenmiştir.

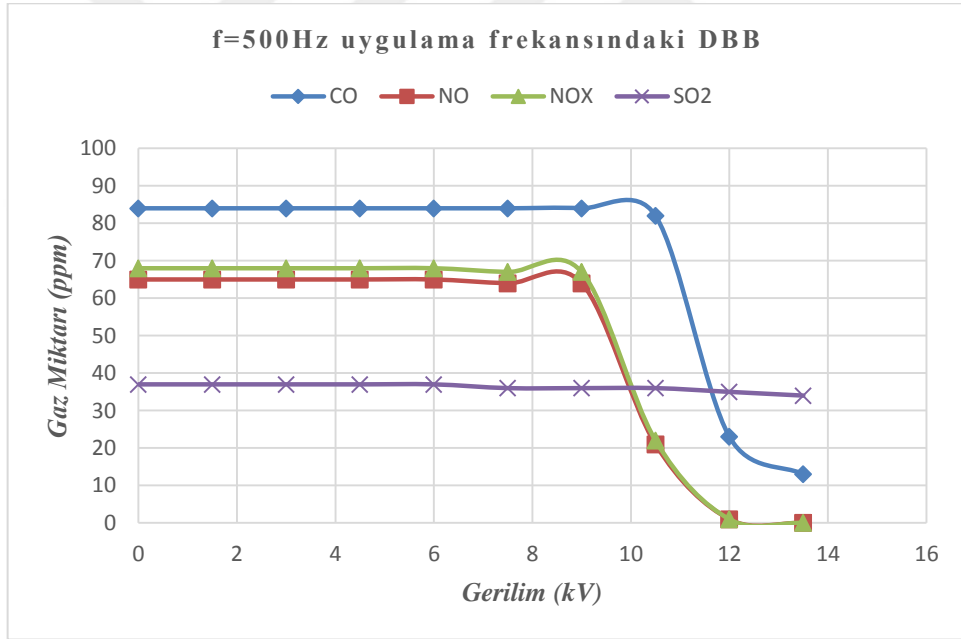


Şekil 4.10. DBD'nin uygulama geriliminin 350 Hz frekansındaki gerilimlere bağlı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

F=500 Hz frekansına sahip alternatif gerilim DBD reaktörüne uygulandıktan sonra uygulanan gerilime bağlı olarak elde edilen akım grafiği Şekil 4.11'de ve gerilime karşı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri ise Şekil 4.12'de verilmiştir. Sisteme uygulanan gerilim değeri 9 kV değerini aştıktan sonra reaktörde gaz boşalmaları başlamıştır. Gaz boşalmaları başladıktan sonra ortamdaki CO miktarı 84 ppm'den 82 ppm değerine, NO miktarı 65 ppm'den 21 ppm değerine, NO<sub>x</sub> miktarı 68 ppm'den 22 ppm değerine düşmüştür. SO<sub>2</sub> miktarında ise kayda değer bir değişme olmamıştır. Sisteme uygulanan gerilim değeri biraz daha artırıldıktan sonra; ortamdaki CO gazında önemli miktarlarda bir düşüş yaşanıp gaz miktarı 13 ppm değerine kadar düşmüş, NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının tamamı tükenmiştir.



Şekil 4. 11. F=500 Hz uygulama frekansı için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınan akım grafiği



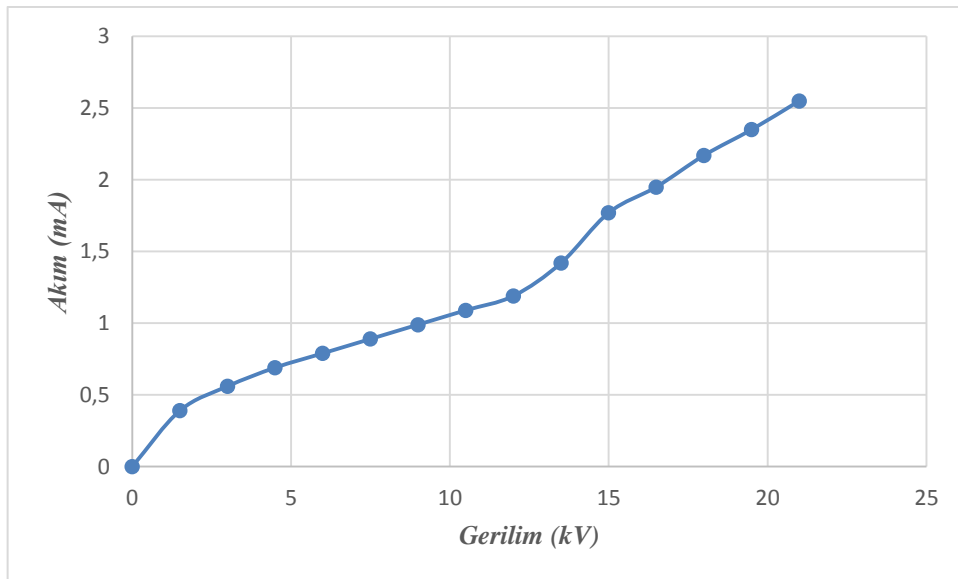
Şekil 4.12. DBD'nin uygulama geriliminin 500 Hz frekansındaki gerilimlere bağlı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

#### 4.2. Bariyer Boşalması ve İndüksiyon Bobinin Birlikte Kullanılmasının CO, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> Gazlarının Giderilmesi Üzerine Etkisi

Bariyer Boşalması ve İndüksiyon bobinin birlikte kullanımının CO, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlarının giderilmesi üzerine etkisini incelemek amacıyla kurulan sistemde verilen gazlar ilk önce indüksiyon bobini yardımıyla bir ön ısıtmaya tabii tutulmuştur. İndüksiyon bobininin çıkış gerilimi yaklaşık olarak 14,4 V ve şebekeden çektiği akım ise 8,60 A

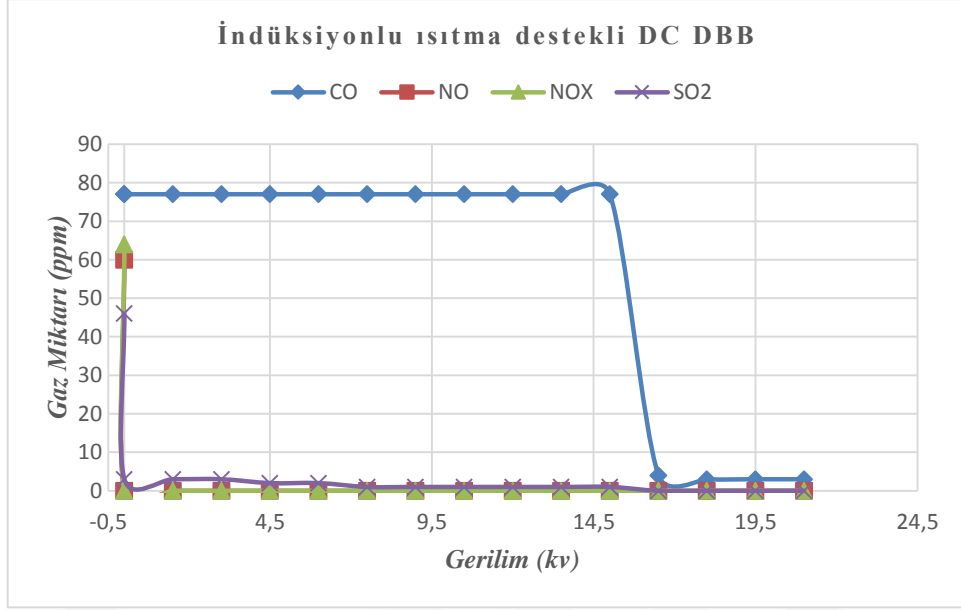
değerindedir. Dolayısıyla, indüksiyon fırınının şebekeden anlık olarak çektiği güç miktarı yaklaşık olarak 124 W olarak ölçülmüştür. Bu durum, fırının yaklaşık olarak % 25'lik bir kapasite ile çalışmakta olduğunu göstermektedir. Bobin merkezindeki ısıtıcı boru içerisinden geçen gaz yaklaşık olarak 200° C'ye kadar ısınmıştır. Isınan gazlar daha sonra DBB reaktöründe yüksek gerilime maruz bırakılmıştır. Sistemin girişindeki ve reaktör çıkışındaki gaz konsantrasyonları, gaz analizör cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Sisteme sırasıyla 0 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 350 Hz ve 500 Hz frekans değerlerindeki gerilimler uygulanmış ve bariyer boşalma reaktörüne uygulanan gerilime bağlı olarak SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişimler ve boşalma akımları ölçülerek kaydedilmiştir.

İndüksiyon bobini devredeyken f=0 Hz için reaktöre uygulanan gerilime karşı alınan akım grafiği Şekil 4.13'te ve gerilime karşı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri ise Şekil 4.14'te verilmiştir. Bariyer reaktörüne gerilim uygulamadan önce fırın devreye alındığında 60 ppm'lik NO gazının ve 64 ppm'lik NO<sub>x</sub> gazının tümü tükenmiştir. SO<sub>2</sub> gazının miktarı da 46 ppm'den 3 ppm değerine kadar düşerek neredeyse tamamı tükenmiştir. Sisteme uygulanan gerilim değeri 15 kV değerini aştıktan sonra reaktörde gaz boşalmaları başlamıştır. Gaz boşalmaları başladıktan sonra ortamdaki CO miktarı 77 ppm'den 3 ppm değerine kadar düşmüş ve neredeyse tamamı tükenmiştir.



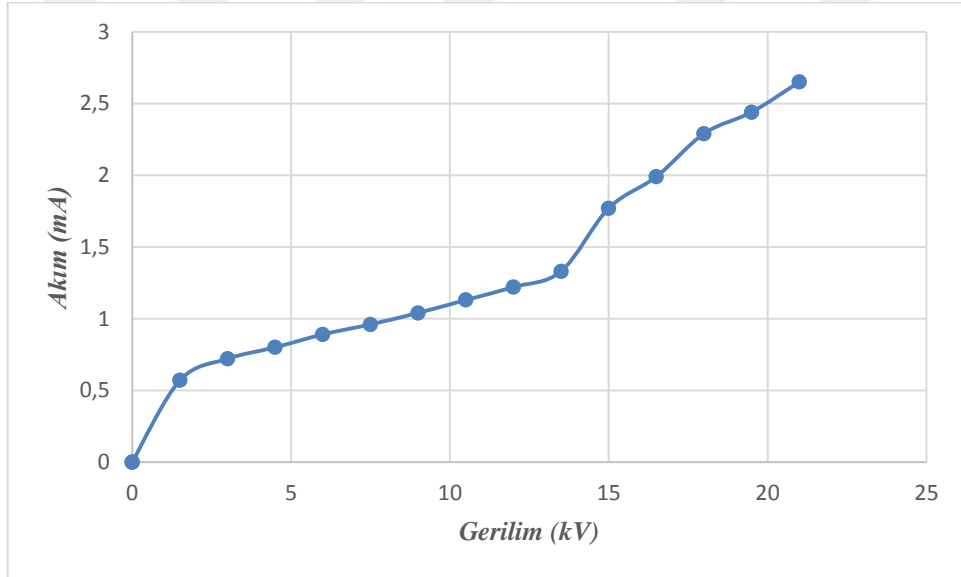
Şekil 4.13. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken DC gerilim için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış akım grafiği





**Şekil 4.14.** İndüksiyonlu ısıtma destekli DC DBB'deki uygulama gerilimine karşı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

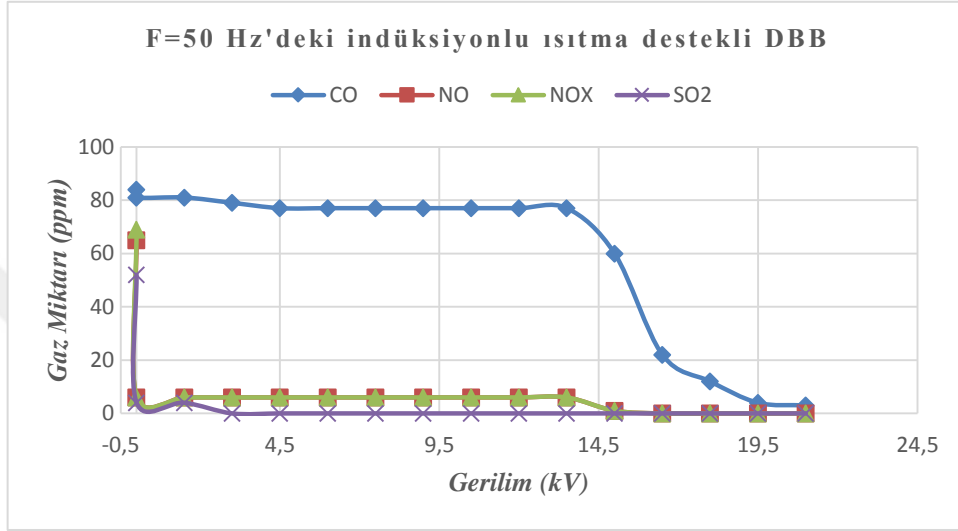
İndüksiyon bobini devredeyken boşalma reaktörüne uygulanan alternatif gerilimin frekansı F=50 Hz'e ayarlandıktan sonra reaktöre uygulanan gerilime karşı elde edilen akım değerlerini gösteren grafik Şekil 4.15'te verilmiştir.



**Şekil 4.15.** İndüksiyonlu ısıtma devredeyken F=50 Hz uygulama frekansı için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış olan akım grafiği

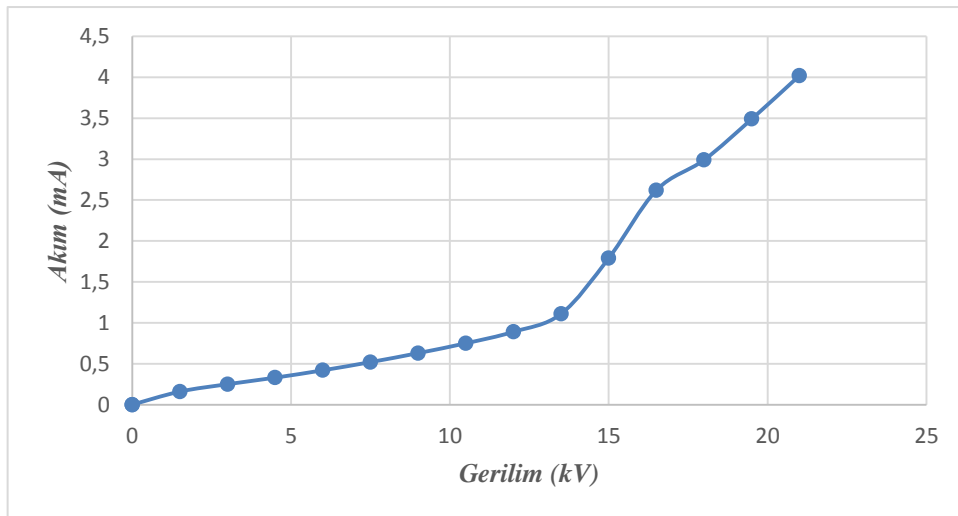
DBB uygulama gerilimine karşı alınan SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri Şekil 4.16'da verilmiştir. Bariyer reaktörüne gerilim uygulamadan önce bobin devreye alındığında NO miktarı 65 ppm'den 4 ppm değerine, NO<sub>x</sub> miktarı 69 ppm'den 4 ppm değerine, SO<sub>2</sub> miktarı 52 ppm'den 4 ppm değerine düşerek bu gazların

neredeşey tamamı tükendiştir. CO gazında kayda değeri bir değışiklik olmamiştir. Sisteme uygulanan gerilim değeri 13,5 kV değeri aştıktan sonra CO miktarı düşmeye başlamış ve gerilim 15 kV değeri aştıktan sonra ise reaktörde gaz boşalmaları başlamış ve böylece başlangıç değeri 84 ppm olan CO değeri 22 ppm değeri kadar düşmüştür. Gerilimin 21 kV'a kadar yükseltilmesiyle birlikte CO, NO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> gazlarının neredeyse tümü tükendiştir.



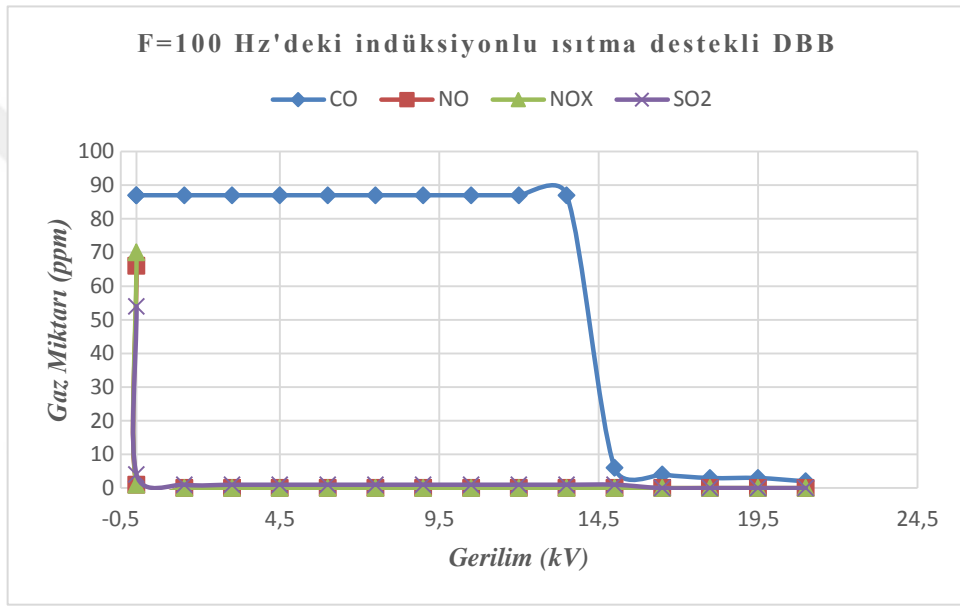
Şekil 4.16. F=50 Hz frekansında uygulanan gerilimlere bağı olarak SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değışim eğrii

İndüksiyon bobini devredeyken boşalma reaktörüne uygulanan alternatif gerilimin frekansı F=100 Hz'e çıkarıldıktan sonra reaktöre uygulanan gerilime karşı elde edilen akım değeriini gösteren grafik Şekil 4.17'de verilmiştir.



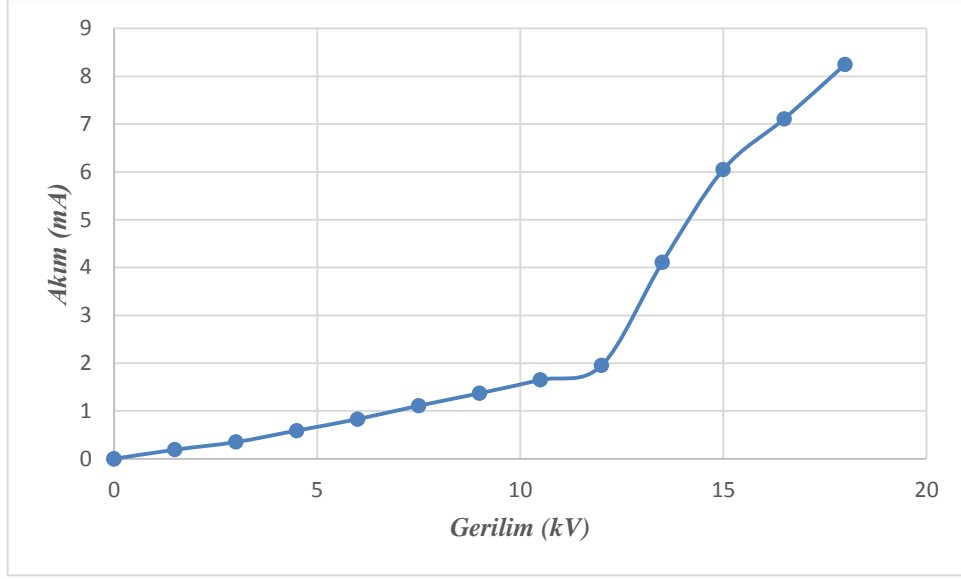
Şekil 4.17. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken F=100 Hz için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış akım grafiğı

DBB'nin uygulama gerilime karşı  $\text{SO}_2$ , NO,  $\text{NO}_x$ , CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri Şekil 4.18'de verilmiştir. Bariyer reaktörüne gerilim uygulamadan önce ısıtıcı fırın devreye alındığında, NO miktarı 66 ppm'den 1 ppm değerine,  $\text{NO}_x$  miktarı 70 ppm'den 1 ppm değerine,  $\text{SO}_2$  miktarı 54 ppm'den 4 ppm değerine hızla düşerek bu gazların neredeyse tamamı tükenmiştir. CO gazının miktarında ise herhangi bir değişiklik olmamıştır. Reaktöre uygulanan gerilim değeri 13,5 kV değerini aştıktan sonra reaktörde gaz boşalmaları başlamış ve başlangıçta 83 ppm olan CO miktarı 7 ppm değerlerine kadar düşmüş ve gerilimin biraz daha artırılmasıyla da ortamdaki parçalanması hedeflenen gazların tamamı tükenmiştir.

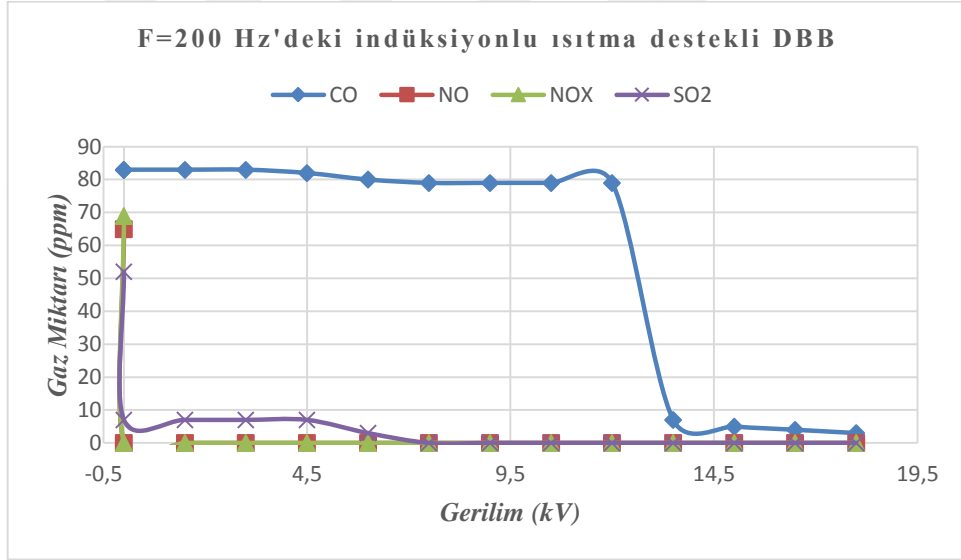


Şekil 4.18. F=100 Hz frekansındaki DBB uygulama gerilimlere bağlı olarak  $\text{SO}_2$ , NO,  $\text{NO}_x$ , CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

Boşalma reaktörüne uygulanan alternatif gerilimin F=200 Hz frekans değeri için indüksiyon bobini devredeyken gerilime karşı akım grafiği Şekil 4.19'da ve gerilime karşı  $\text{SO}_2$ , NO,  $\text{NO}_x$ , CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri ise Şekil 4.20'de verilmiştir. Boşalma reaktörüne gerilim uygulamadan önce indüksiyon bobini devreye alındığında başlangıç miktarları 65 ppm ve 69 ppm olan NO ve  $\text{NO}_x$  gazlarının tümü tükenmiştir.  $\text{SO}_2$  miktarı 52 ppm'den 7 ppm değerine kadar düşmüş ve gerilimin biraz daha artırılmasıyla bu gazın da tamamı tükenmiştir. Fakat bu koşullarda CO gazının miktarında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Reaktöre uygulanan gerilimin 12 kV değerini aşmasıyla birlikte reaktörde elektriksel gaz boşalmaları başlamış ve başlangıçta 83 ppm değerinde olan CO miktarı hızla 7 ppm değerlerine kadar düşmüş ve gerilimin biraz daha artırılmasıyla bu gazın da tamamı tükenmiştir.



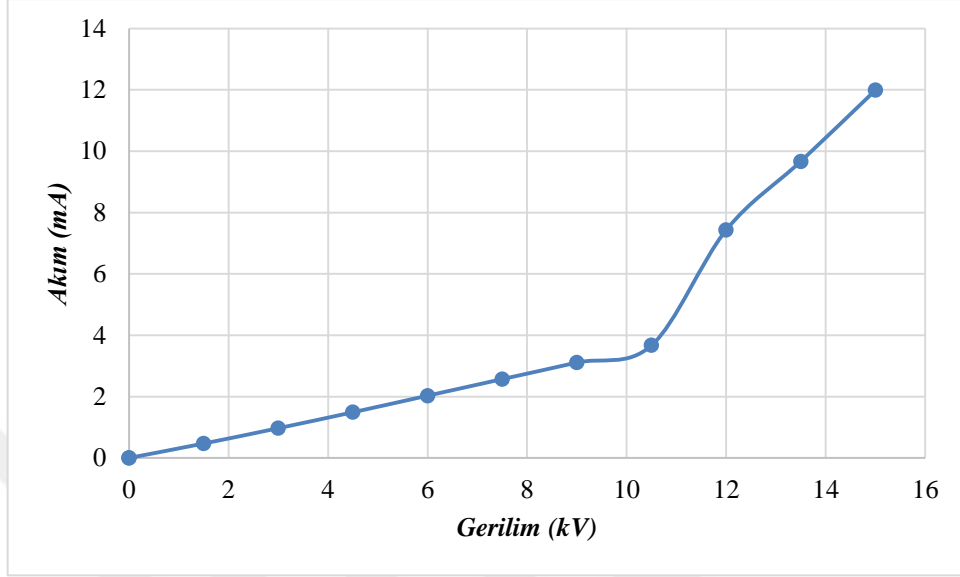
Şekil 4.19. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken F=200 Hz için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış olan akım grafiği



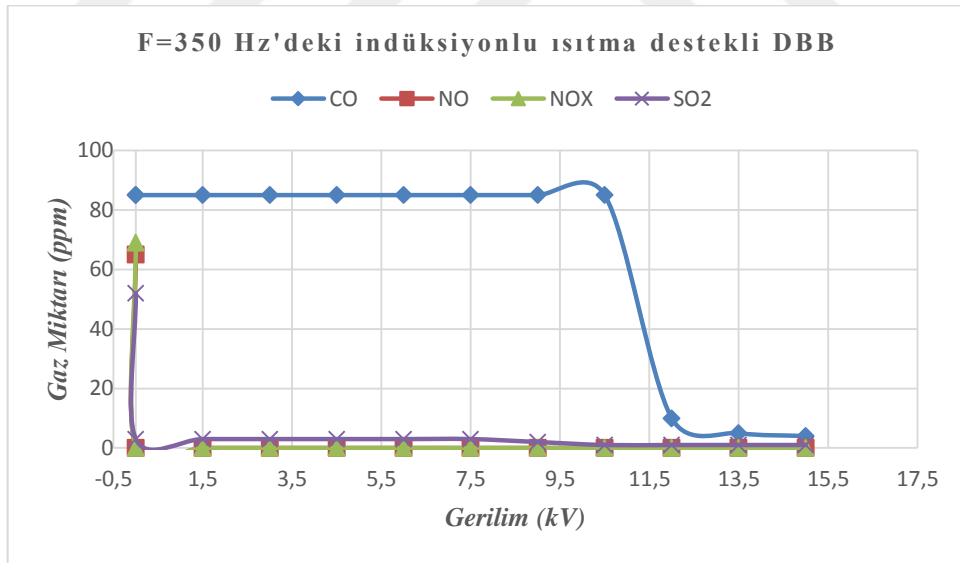
Şekil 4.20. F=200 Hz frekansındaki DBB uygulama gerilimlerine bağlı olarak SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

İndüksiyon bobini devredeyken boşalma reaktörüne uygulanan alternatif gerilimin frekansı F=350 Hz'e çıkarıldıktan sonra reaktöre uygulanan gerilime karşı elde edilen akım değerlerini gösteren grafik Şekil 4.21'de ve gerilime karşı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri ise Şekil 4.22'de verilmiştir. Bariyer reaktörüne gerilim uygulamadan önce ısıtıcı bobin devreye alındığında başlangıç miktarları sırasıyla 62 ppm, 65 ppm, 48 ppm olan NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlarının neredeyse tümü tüketilmiştir. CO gazının miktarında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Reaktöre

uygulanan gerilim değeri 10,5 kV değerini aştıktan sonra reaktörde gaz boşalmaları başlamış ve başlangıçta 80 ppm olan CO miktarı 10 ppm değerlerine kadar düşmüş ve gerilimin biraz daha artırılmasıyla bu gazında neredeyse tamamı tüketilmiştir.



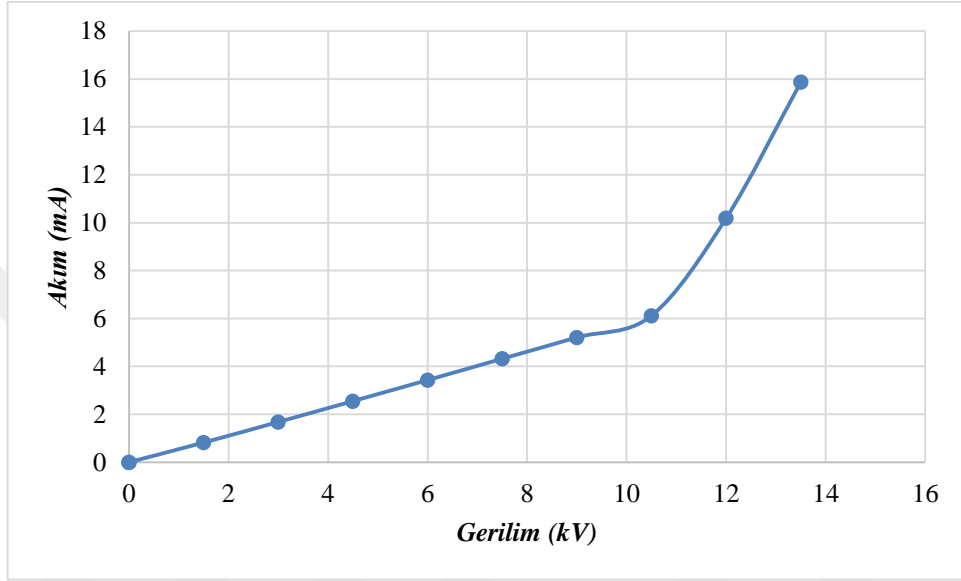
Şekil 4.21. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken F=350 Hz için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış olan akım grafiği



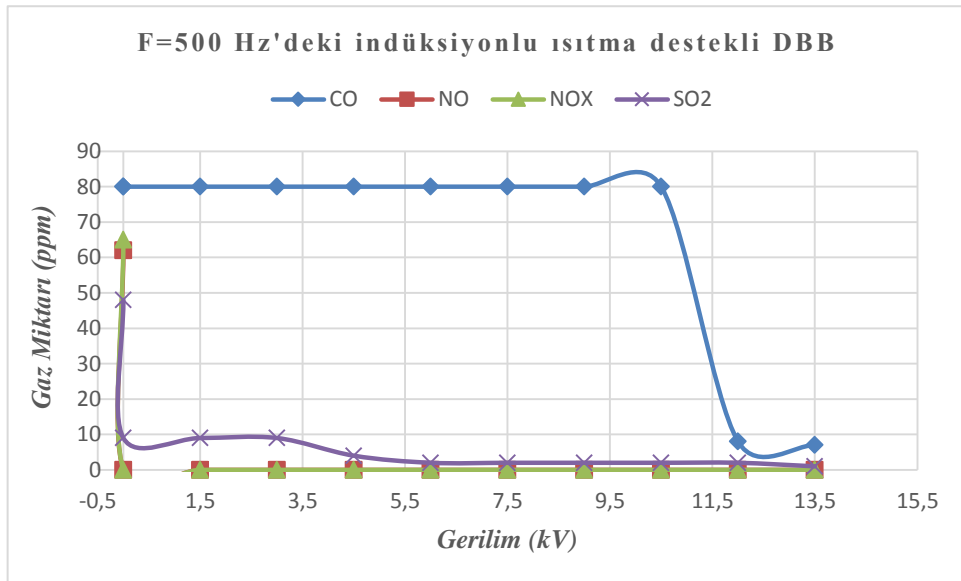
Şekil 4.22. F=350 Hz frekansındaki DBB uygulama gerilimlere bağlı olarak SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

Boşalma reaktörüne uygulanan alternatif gerilimin F=500 Hz frekans değeri için indüksiyon bobini devredeyken gerilime karşı alınan akım grafiği Şekil 4.23'te ve gerilime karşı SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO konsantrasyonlarındaki değişim Şekil 4.24'te verilmiştir. Bariyer reaktörüne gerilim uygulamadan önce ısıtma bobini devreye

alındığında başlangıç miktarları 62 ppm ve 65 ppm olan NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının tümü tükenmiştir. Bu koşullarda SO<sub>2</sub> miktarı 48 ppm'den 9 ppm değerine kadar düşmüş ve gerilimin biraz daha artırılmasıyla da bu gazın da tamamı tükenmiştir. CO gazının miktarında ise herhangi bir değişiklik olmamıştır. Reaktöre uygulanan gerilim değeri 10,5 kV değerini aştıktan sonra reaktörde gaz boşalmaları başlamış ve başlangıçta 80 ppm olan CO miktarı hızla 8 ppm değerlerine kadar düşmüştür.

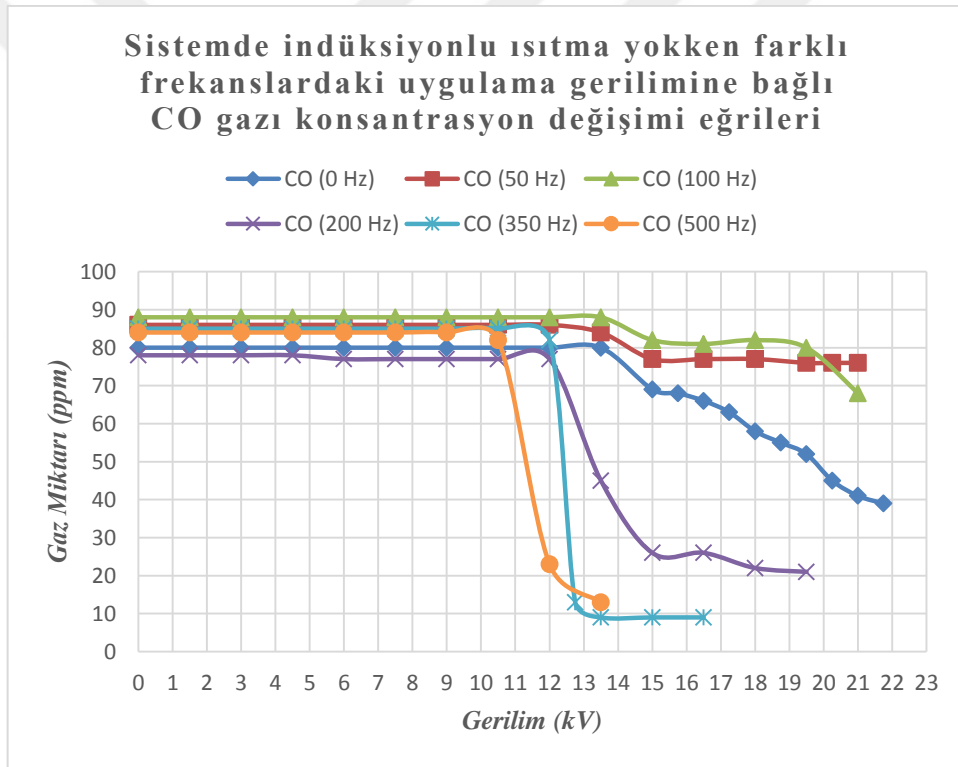


Şekil 4.23. İndüksiyonlu ısıtma devredeyken F=500 Hz için DBB'nin uygulama gerilimine karşı alınmış olan akım grafiği

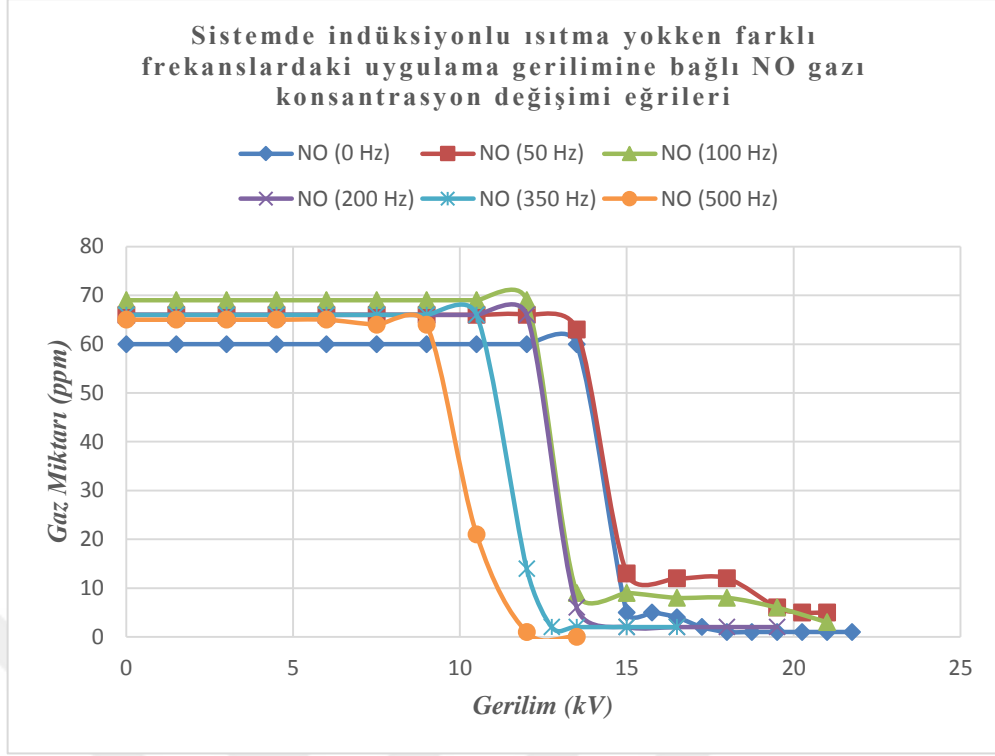


Şekil 4.24. F=500 Hz frekansındaki DBB uygulama gerilimlere bağlı olarak SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

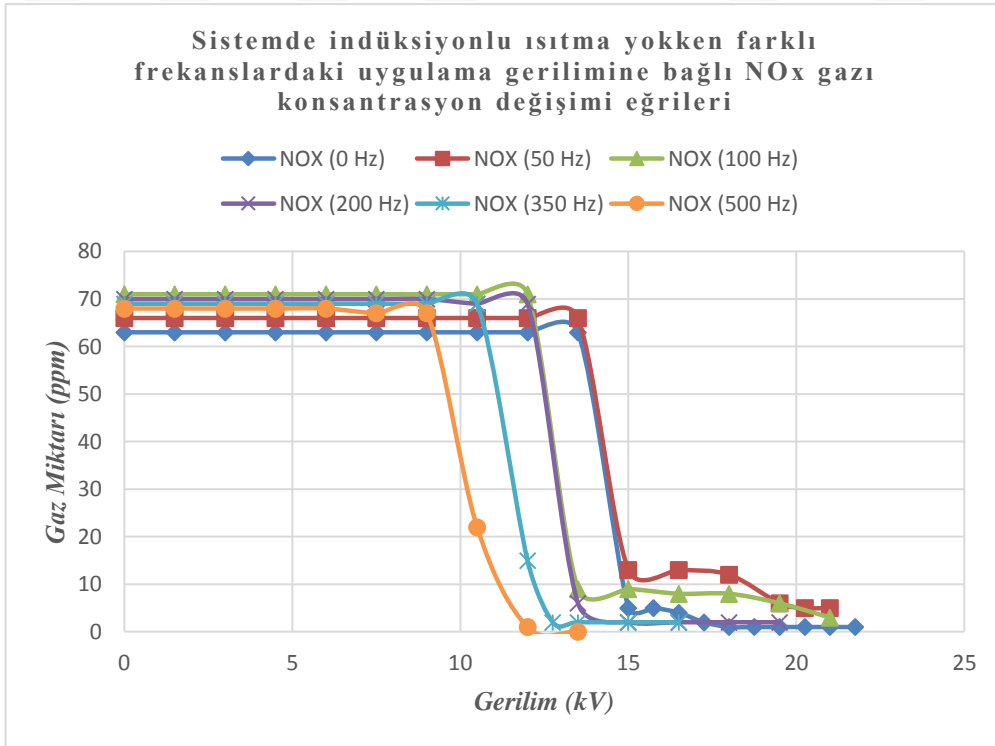
Gazların farklı frekanslar altındaki davranışlarını kıyaslamak amacıyla farklı frekanslarda uygulanan gerilime bağlı olarak gaz konsantrasyonlarındaki değişimler incelenmiştir. İndüksiyonlu ısıtma bobini enerjili değilken (pasif konumda iken) Şekil 4.25'te CO gazının, Şekil 4.26'da NO gazının, Şekil 4.27'de NO<sub>x</sub> gazının ve Şekil 4.28'de SO<sub>2</sub> gazının farklı frekanslardaki gerilimlere bağlı olarak gaz konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri verilmiştir. Uygulanan gerilimin frekansı yükseldikçe CO, NO ve NO<sub>x</sub> gazları daha düşük gerilimlerde tükenmiştir. Frekans değerleri düştükçe, gerilim yükselmesine rağmen bu gazların miktarındaki değişim oranı daha az olmuştur. Bunlardan farklı olarak SO<sub>2</sub> gazının miktarında frekansa bağlı bir değişiklik olmamıştır. Diğer frekanslardan farklı olarak, sadece DC gerilimde biraz daha fazla tüketilmiş görünse de bu miktar çok da kayda değer bir miktar değildir.



**Şekil 4.25.** DBD'nin uygulama geriliminin farklı frekanslarındaki gerilimlere bağlı alınmış olan CO gazı konsantrasyonlarının değişim eğrileri

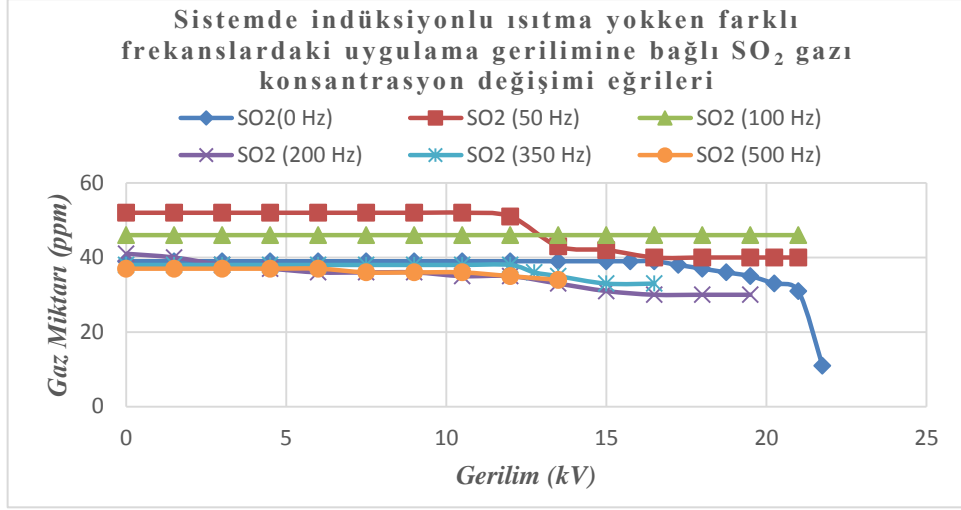


Şekil 4.26. DBD'nin uygulama geriliminin farklı frekanslarındaki gerilimlere bağlı alınmış olan NO gazı konsantrasyonlarının değişim eğrileri



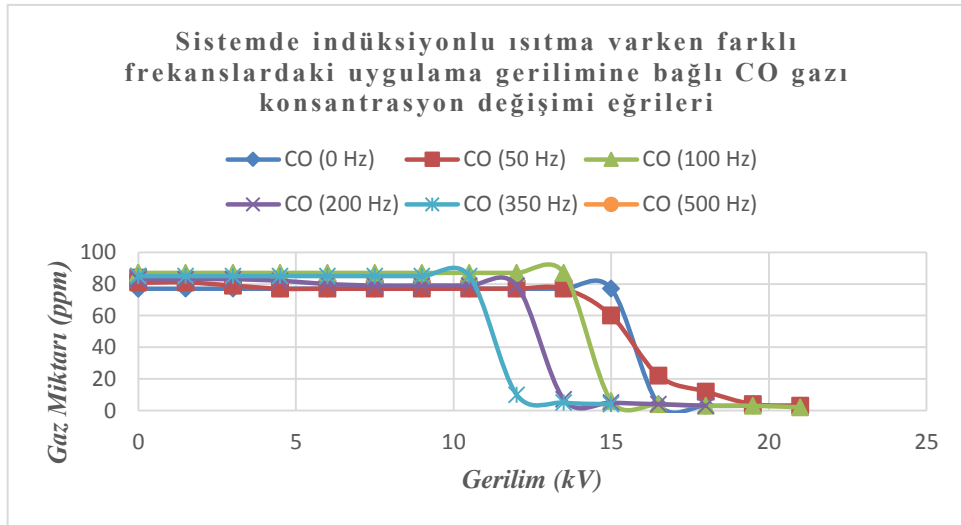
Şekil 4.27. DBD'nin uygulama geriliminin farklı frekanslarındaki gerilimlere bağlı alınan NO<sub>x</sub> gazı konsantrasyonlarının değişim eğrileri



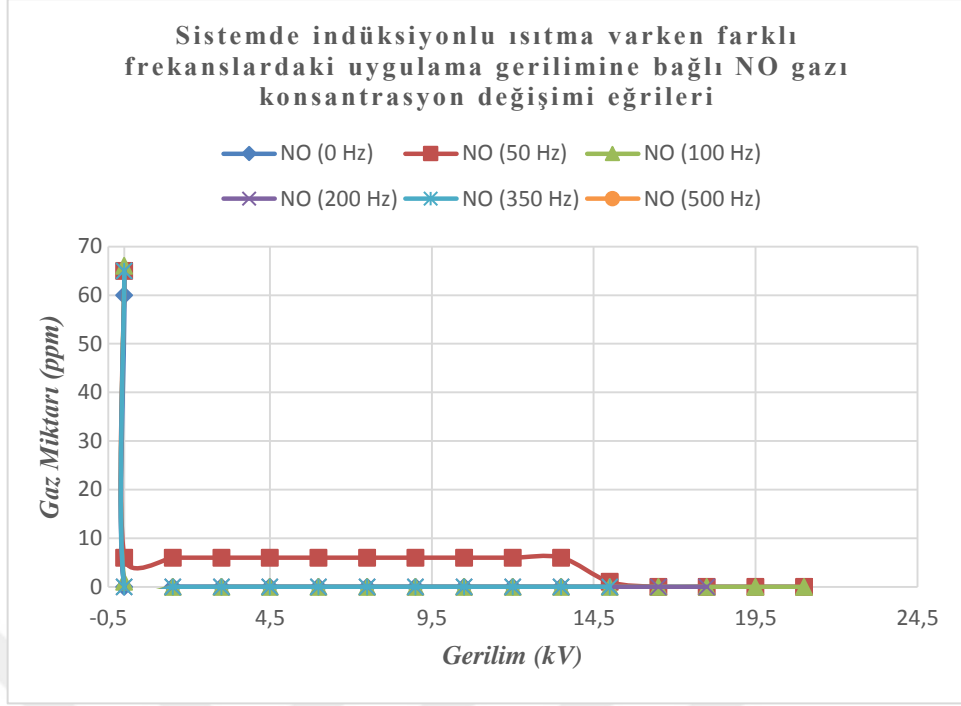


**Şekil 4.28.** DBD'nin uygulama geriliminin farklı frekanslardaki gerilimlere bağlı alınmış olan SO<sub>2</sub> gazı konsantrasyonlarının değişim eğrileri

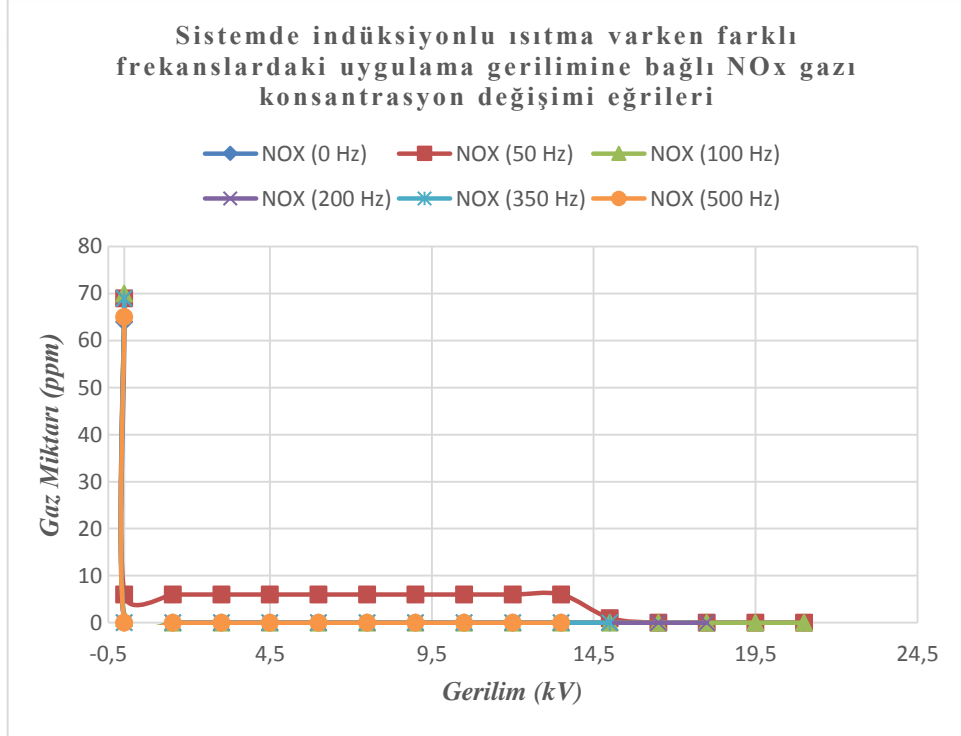
İndüksiyon bobini devrede iken gazların farklı frekans altındaki davranışlarını incelemek amacıyla farklı frekanslarda uygulanan gerilime bağlı olarak gaz konsantrasyonlarındaki değişimler kaydedilmiştir. Şekil 4.29'da CO gazının, Şekil 4.30'da NO gazının, Şekil 4.31'de NO<sub>x</sub> gazının ve Şekil 4.32'de SO<sub>2</sub> gazının farklı frekanslardaki gerilimlere bağlı olarak konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri verilmiştir. İndüksiyon bobini aktif iken boşalma reaktörüne henüz gerilim uygulanmamasına rağmen SO<sub>2</sub>, NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının neredeyse tamamı tüketildiği için frekansa bağlı değişim gözlemlenememiştir. CO gazı için durum biraz daha farklı gözlemlenmiştir. Uygulanan gerilimin frekansı arttıkça daha düşük gerilim değerlerinde ortamdaki CO gazının miktarı düşmüştür.



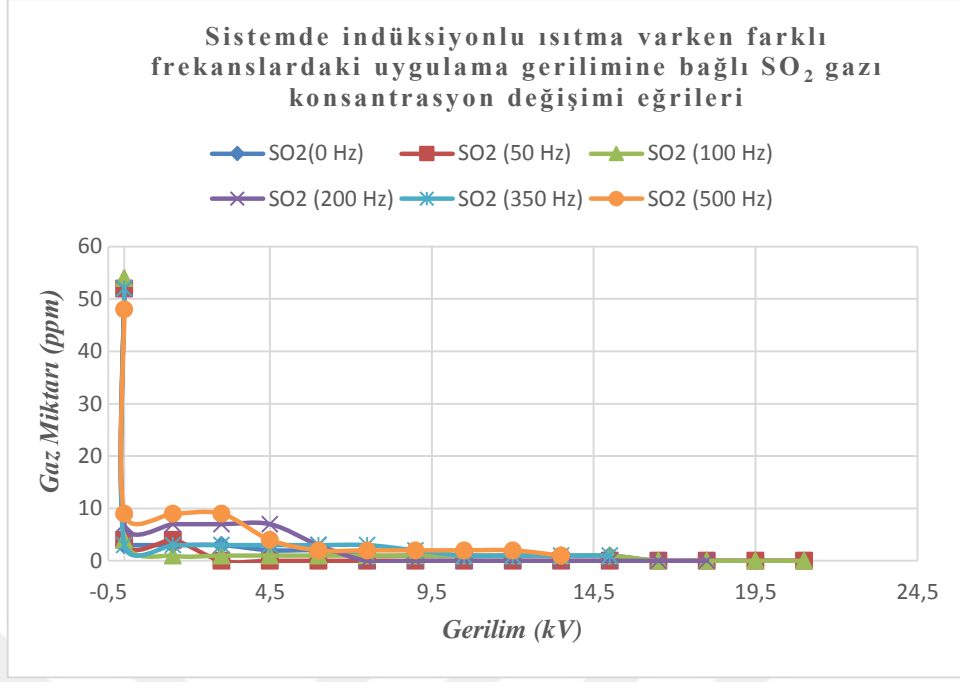
**Şekil 4.29.** İndüksiyonlu ısıtma durumunda farklı frekanslardaki uygulanan gerilimlere bağlı olarak alınmış olan CO gazının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri



**Şekil 4.30.** İndüksiyonlu ısıtma durumunda farklı frekanslardaki uygulanan gerilimlere bağlı olarak alınmış olan NO gazının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri



**Şekil 4.31.** İndüksiyonlu ısıtma durumunda farklı frekanslardaki uygulanan gerilimlere bağlı olarak alınmış olan NOx gazının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri



**Şekil 4.32.** İndüksiyonlu ısıtma durumunda farklı frekanslardaki uygulanan gerilimlere bağlı olarak alınmış olan SO<sub>2</sub> gazının konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri

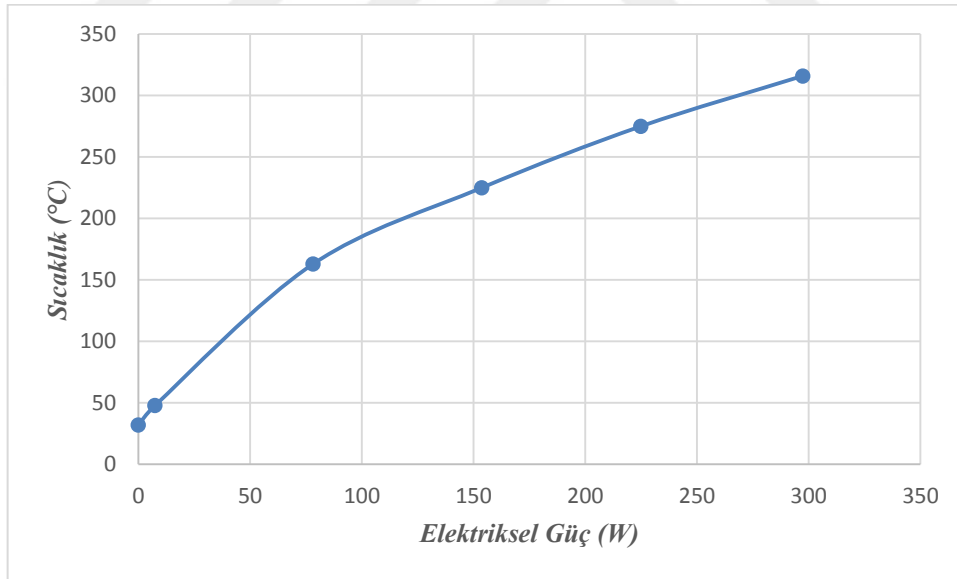
#### **4.3. İndüksiyon bobinin tükettiği enerjiye bağlı oluşan sıcaklık ve oluşan sıcaklığın CO, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlarının giderilmesi üzerine etkisi**

İndüksiyon bobininde harcanan enerjiye bağlı olarak oluşan gaz sıcaklığı ve bu sıcaklığa bağlı olarak SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişimler incelenmiştir. İlk önce boşalma reaktörüne, sabit 50 Hz frekansında 1,5 kV değerinde alternatif gerilim uygulanarak ve indüksiyon bobininde harcanan enerjiye bağlı olarak oluşan gaz sıcaklığı ve bu sıcaklığa bağlı olarak SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişimler ölçülmüş ve bu değerler sırasıyla Tablo 4.1, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'te verilmiştir. Sonraki aşamada boşalma reaktörüne sabit 50 Hz frekansında ve 15 kV değerinde alternatif bir gerilim uygulanarak indüksiyon bobininde oluşan gaz sıcaklığına bağlı olarak SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişimler kaydedilmiş ve Şekil 4.35'de verilmiştir. Şekil 4.33'te görüldüğü üzere bobinin tükettiği güç arttıkça oluşan gaz sıcaklığı da artmıştır. Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te verilen grafiklere göre NO ve NO<sub>x</sub> gazları sıcaklığın 50 °C'nin üstüne çıkması halinde hemen tüketilmeye başlamışlardır. SO<sub>2</sub> gazı, bariyer boşalması reaktörüne uygulanan gerilim 1,5 kV iken 150 °C'den sonra bozunuma uğrarken; reaktöre uygulanan gerilim 15 kV iken 275 °C'den sonra bozunuma uğramıştır. CO gazı bariyer reaktörüne uygulanan gerilim 1,5 kV iken 225 °C'den sonra bozunuma uğrarken, reaktöre uygulanan gerilim 15 kV iken 160 °C'den sonra bozunuma uğramıştır.

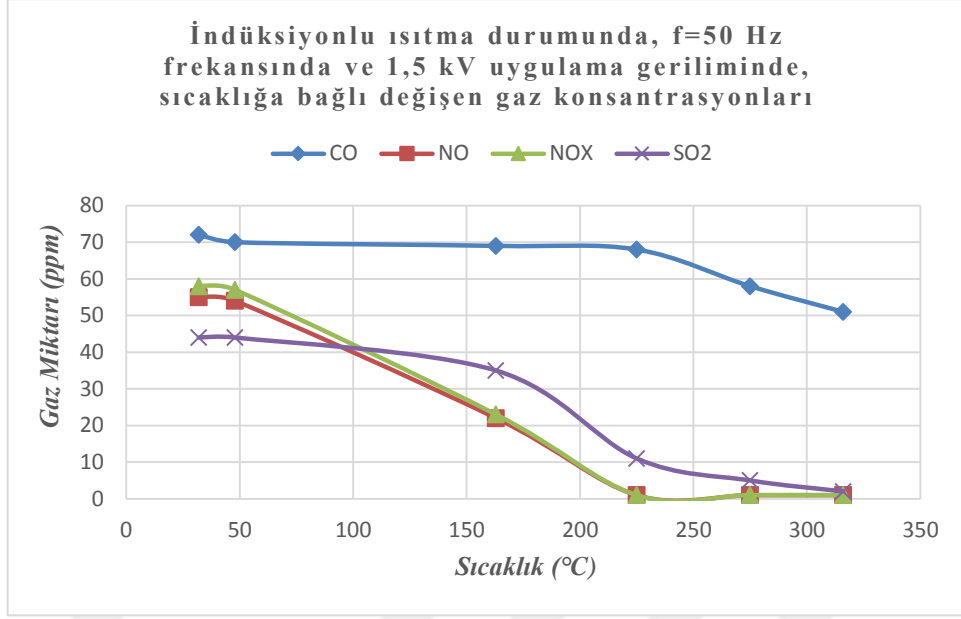
**Tablo 4.1.** İndüksiyon bobininin çektiği güce bağlı olarak ölçülen gaz sıcaklıkları

Güç (W)	Gerilim (V)	Akım (A)	Sıcaklık (°C)
0	0	0	32
7,50	5	1,50	48
78,20	10	7,82	163
153,75	15	10,25	225
225,00	20	11,25	275
297,50	25	11,90	316

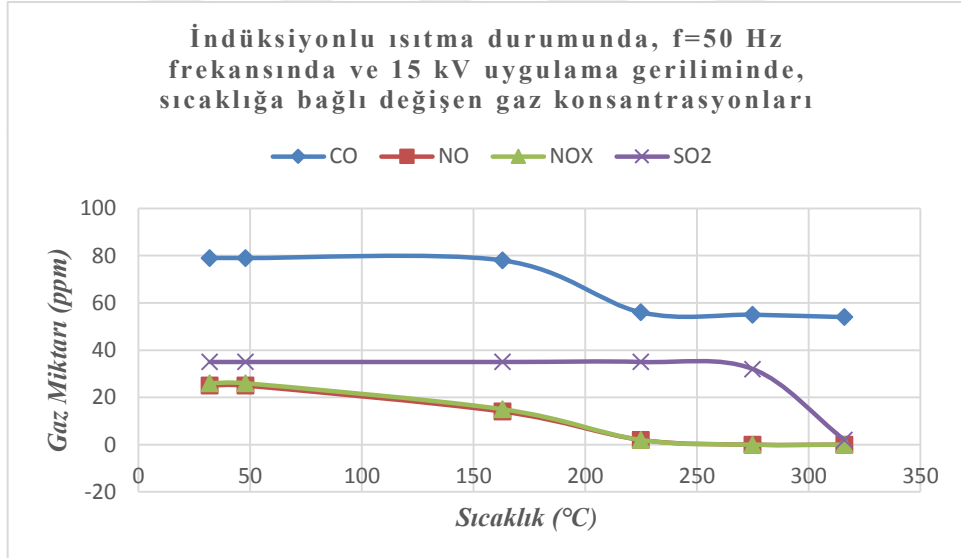
İndüksiyon fırınında harcanan anlık enerji ile elde edilen gaz sıcaklığı arasındaki ilişkiyi ortaya koymak ve gaz konsantrasyonlarındaki değişimin, oluşan gaz sıcaklığı ile bir ilişkisinin olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan deney sonuçları Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te verilmiştir. Şekil 4.33'te görüldüğü gibi bobinin çektiği elektriksel güç arttıkça gazın sıcaklığı da buna bağlı olarak lineer değil; fakat logaritmik bir şekilde artış göstermiştir. Bu durum, ortamda bazı kayıpların da söz konusu olması nedeniyle, harcanan elektriksel gücün tamamının ısı enerjisine dönüşmediğinin bir göstergesidir. Dolayısıyla, artan elektrik enerjisine karşılık gelen ısı enerjisi değişim oranları zamanla daha az artış gösteren logaritmik bir değişim sergilemiştir.



**Şekil 4.33.** İndüksiyon bobininde harcanan enerjiye bağlı olarak elde edilen gaz sıcaklıkları



Şekil 4.34. Sıcaklığa bağlı olarak alınan SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişimler (F=50 Hz, Reaktör gerilimi=1,5 kV)

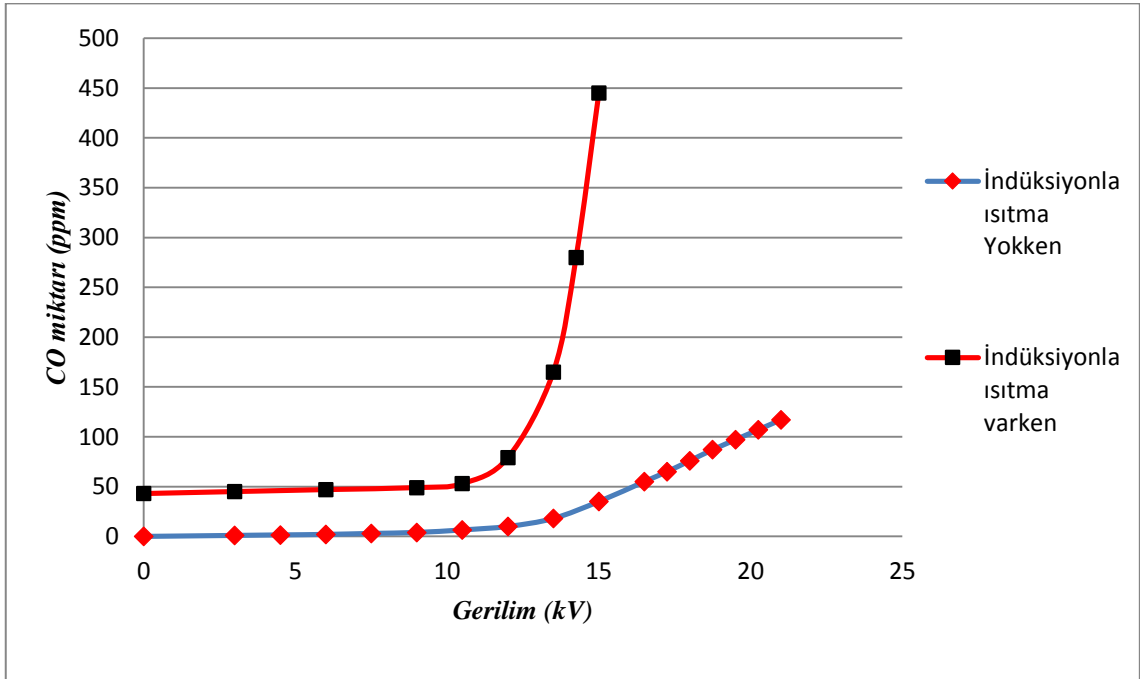


Şekil 4.35. Sıcaklığa bağlı olarak alınan SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO gazlarının konsantrasyonlarındaki değişimler (F=50 Hz, Reaktör gerilimi=15 kV)

#### 4.4. Bariyer Boşalması ve İndüksiyon bobinin CO<sub>2</sub> gazının giderilmesi üzerine etkisi

Çalışmanın bu kısmında bariyer boşalmaları ve indüksiyon bobinin baca gazlarının temel gazlarından biri olan CO<sub>2</sub> gazının üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Tasarlanan sistem yardımıyla CO<sub>2</sub> gazından endüstriyel CO gazının kolaylıkla üretilebildiği gözlemlenmiştir. Sistemde ilk önce Bariyer Boşalmalarının etkisi incelenmiştir. DBB

reaktörüne giriş olarak verilen gaza belirli seviyelerde yüksek gerilim uygulanarak sisteme beslenen gaz, kuvvetli elektrik alana ve dolayısıyla plazma yük bombardımanına maruz bırakılmıştır. Reaktörün çıkışından alınan gaz bileşenleri bir gaz analizörü yardımıyla ölçülerek uygulama gerilimine bağlı reaktörde üretilen CO miktarı ölçülmüştür. Ardından Saf CO<sub>2</sub> gazı ilk önce indüksiyon fırını yardımıyla ısıtılmış ve ardından DBB reaktörüne giriş gazı olarak verilmiştir. Reaktöre belirli seviyelerde gerilim uygulanmış, gerilim seviyelerine bağlı olarak oluşan CO konsantrasyonu gaz analizörü yardımıyla ölçülmüştür. Üretilen CO miktarları Şekil 4.36’da kıyaslamalı olarak gösterilmiştir. Şekil 4.36’da görüldüğü gibi sadece DBB ortamında CO miktarı 9 kV’luk gerilim seviyesinden sonra belirgin olarak artmaya başlamıştır. 15 kV gerilim seviyesinden sonra oluşan CO miktarı daha da artarken uygulanan gerilim seviyesi yükseldikçe bu miktar da üstel bir şekilde artmaktadır. İndüksiyonlu ısıtma ve DBB birlikte kullanıldığı durumda sisteme gerilim uygulanmadığı halde 50 ppm’e yakın bir değerde CO üretilmiştir. Uygulanan gerilim arttıkça üretilen CO miktarı da artmış ve 13,5 kV değerinin üstündeki gerilimlerde artık sistemde boşalmalar yoğun olarak başladığı için üretilen CO gazı miktarı da hızlı bir şekilde artmıştır. Bu gerilimin seviyesinin üstündeki değerlerde, uygulama gerilimi arttıkça üretilen CO miktarı da buna balı olarak artmıştır.



Şekil 4.36. CO üretiminde indüksiyonlu ısıtma etkisini gösteren karşılaştırmalı grafik

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Egzoz ve baca gazları günümüzde hava kirliliğinin temel kaynağı olarak kabul edilmektedirler. Bu gazlar CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, yanmamış hidrokarbonlar ve partikül madde gibi zararlı kimyasal bileşikler içerirler. Bu bileşikler insan solunum sistemi ve çevre için zararlı olup, asit yağmurlarına, stratosferik ozon tüketimine, atmosferik kirleticilerle birleşmiş fotokimyasal dumana ve nihayetinde bir sera etkisine neden olurlar. Dolayısıyla, gelişen teknoloji ile beraber çevre koruma faktörü de önemli bir sosyal ve ekonomik sorun haline gelmektedir. Bu durum, tüm dünya ülkelerinde bir çevre koruma bilinci oluşturmuş ve ülkeler tarafından oluşturulan daha sıkı yasalar ile çevre ve hava kirliliği kontrol edilmeye çalışılmaktadır.

Bu tez çalışmasında hava kirliliğini azaltmak amacıyla bariyer boşalmasının baca gazlarının temizlenmesi üzerine olan etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deney için özel olarak hazırlanan yüksek gerilim DBB reaktöründen gaz geçişi esnasında reaktöre rasgele seçilen 0 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 350 Hz, 500 Hz frekans değerlerinde alternatif gerilimler uygulanarak uygulanan gerilime bağlı olarak reaktörün giriş ve çıkış uçlarından bir gaz analizör cihazı yardımıyla gazların reaktöre giriş ve çıkış konsantrasyonları ölçülmüştür. Ayrıca sistemden geçen akımlar ölçülerek kaydedilmiştir. Şekil 4.2, Şekil 4.4, Şekil 4.6, Şekil 4.8, Şekil 4.10 ve Şekil 4.12' deki verilen sonuçlara göre genel olarak NO ve NO<sub>x</sub> gazları reaktörde elektriksel gaz boşalmaları başladığı andan itibaren temizlenmeye başlar ve neredeyse tamamı yok olur. Ortamdaki CO gazının miktarı da elektriksel boşalmaların başladığı anda azalmaya başlayıp ortamdaki elektrik alan arttıkça yani uygulanan gerilim seviyesi yükseldikçe giderim seviyesi de artmaktadır. SO<sub>2</sub> gazının da ortamdaki elektrik alandan pek etkilenmediği; ancak çok yüksek seviyelerde gerilim uygulanmasıyla kısmi bir etki görülmüştür. Bu seviyelerden daha yüksek uygulama gerilimlerinde reaktördeki gaz boşalmaları ark boşalmalarına dönüştüğü için reaktörün zarar görme olasılığı artmaktadır.

Uygulanan gerilimin frekansının gazların temizlenmesi üzerine olan etkisini incelemek amacıyla her bir gazın farklı frekanslardaki ilk ve son konsantrasyonları ölçülerek grafik ortamına aktarılmıştır. Şekil 4.25'te CO gazının, Şekil 4.26'da NO gazının, Şekil 4.27'de NO<sub>x</sub> gazının ve Şekil 4.28'de SO<sub>2</sub> gazının farklı frekanslardaki

gerilimlere bağı olarak konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri verilmiştir. Uygulanan gerilimin frekansı yükseldikçe CO, NO ve NO<sub>x</sub> gazları daha düşük gerilimlerde tüketmiştir. Bu durum, elektriksel gaz boşalmalarının yüksek frekanslarda daha düşük gerilimlerde tutuşmasından kaynaklanmaktadır. SO<sub>2</sub> gazının miktarında frekansa bağı bir değişiklik olmamıştır. Sadece DC gerilimde diğer frekanslardan farklı olarak biraz daha fazla tüketilse de bu miktar çok da kayda değer bir miktar değildir. Bu da, SO<sub>2</sub> gazının ortamdaki elektrik alandan pek de etkilenmediğini göstermiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında gazlar, reaktöre girmeden önce bir indüksiyon bobini aracılığıyla ısıtılmıştır. Isıtılan gazlar DBB reaktöründe 0 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 350 Hz, 500 Hz frekans değerlerinde alternatif gerilimler uygulanarak uygulanan gerilime bağı olarak reaktörün çıkışından bir gaz analizör cihazı yardımıyla gazların son konsantrasyonları ölçülmüştür. Sistemden geçen akım değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Şekil 4.14, Şekil 4.16, Şekil 4.18, Şekil 4.20, Şekil 4.22 ve Şekil 4.24’de verilen sonuçlara göre, genel olarak CO gazı indüksiyonlu ısıtmadan etkilenmemiştir. CO miktarındaki düşüşler reaktördeki boşalmanın başladığı gerilimlerde gerçekleşmiştir. Ortamdaki NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazları ise indüksiyonlu ısıtmadan dolayı doğrudan ayrışarak zararsız gaz türlerine dönüşmüşlerdir.

Uygulanan gerilimin frekans değerinin bu gazlar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla sırasıyla her bir gaz için farklı frekanslardaki gerilime bağı gaz konsantrasyonlarındaki değişimler ölçülmüş ve grafik ortamına aktarılmıştır. Şekil 4.29’da CO gazının, Şekil 4.30’da NO gazının, Şekil 4.31’de NO<sub>x</sub> gazının ve Şekil 4.32’de ise SO<sub>2</sub> gazının farklı frekanslardaki gerilimlere bağı olarak konsantrasyonlarındaki değişim eğrileri verilmiştir. İndüksiyon bobini aktif iken boşalma reaktörüne henüz gerilim uygulanmamasına rağmen SO<sub>2</sub>, NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının neredeyse tamamı tükendiği için frekansa bağı herhangi bir değişim gözlemlenememiştir. CO gazının, indüksiyonlu ısıtmadan etkilenmediği; fakat daha çok ortamdaki elektrik alandan etkilendiği görülmüştür. Uygulanan gerilimin frekansı arttıkça daha düşük gerilim değerlerinde, ortamdaki CO gazının miktarı düşmüştür. Bu da yüksek frekanslarda elektriksel gaz boşalmalarının daha düşük gerilimlerde kolaylıkla tutuşmasının bir sonucudur.

Çalışmanın üçüncü aşamasında indüksiyon bobininde harcanan enerji ile oluşan gaz sıcaklığı arasındaki ilişkiyi ortaya koymak ve gaz konsantrasyonlarındaki değişimin,



oluşan gaz sıcaklığı ile bir ilişkisinin olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan deney sonuçları Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te verilmiştir. Şekil 4.33'te görüldüğü gibi bobinin çektiği elektriksel güç arttıkça gazın sıcaklığı da buna bağlı olarak logaritmik bir şekilde artmıştır. Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te verilen grafiklere göre NO ve NO<sub>x</sub> gazları sıcaklığın 50 °C'nin üstüne çıkması halinde hemen tüketilmeye başlamışlardır. Bu durum, NO ve NO<sub>x</sub> gazlarının elementleri arasındaki bağın diğer gazlara nazaran daha zayıf olduğunu göstermektedir. SO<sub>2</sub> gazı bariyer boşalması reaktörüne uygulanan gerilim 1,5 kV iken 150 °C'den sonra bozunuma uğrarken, reaktöre uygulanan gerilim 15 kV iken 275 °C'den sonra bozunuma uğramıştır. Bu da SO<sub>2</sub> gazının NO ve NO<sub>x</sub> gazlarına nazaran bağlarının kırılmasının daha zor olduğunu gösterir. Ayrıca, uygulanan gerilim değeri arttıkça, ortamdaki kuvvetli elektrik alanı da buna bağlı olarak arttığı için, reaktörde bulunan SO<sub>2</sub> gazı daha yüksek sıcaklıklar da ayrılmıştır. Bu durum, kuvvetli elektrik alanının SO<sub>2</sub> gazının kararlılığını daha da arttırdığı ve dolayısıyla daha yüksek sıcaklıklarda ayrışmasına neden olduğunun bir sonucu olarak yorumlanabilir. CO gazı bariyer reaktörüne uygulanan gerilim 1,5 kV iken 225 °C'den sonra bozunuma uğrarken, reaktöre uygulanan gerilim 15 kV iken 160 °C'den sonra bozunuma uğramıştır. Fakat CO gazının ayrışmasının, gazın sıcaklığından ziyade reaktöre uygulanan gerilime bağlı olduğu görülmüştür.

Çalışmanın son aşamasında ise Bariyer Boşalması ve indüksiyon bobinin CO<sub>2</sub> gazının giderilmesi üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan deney esnasında CO<sub>2</sub> gazından CO gazının üretildiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.37'de CO üretiminde sadece Bariyer Boşalması ve Bariyer boşalması ile indüksiyonla ısıtmanın beraber kullanıldığı durumlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. DBB reaktörüne gerilim uygulandığı zaman ortamdaki gaz molekülleri ortamdaki elektrik alandan dolayı enerjiyi soğurmaya başlarlar. Gerilim belirli bir seviyeye kadar yükseltildiğinde reaktörde serbest elektronlar ve serbest radikaller oluşmaya başlar. Bu elektronlar ve serbest radikaller gaz molekülleriyle çarpışmaya başlar. Bu çarpışmalar sonucunda da CO<sub>2</sub> gazının bağları kırılarak CO ve O<sub>2</sub> bileşenlerine ayrışmaya başlar. Sadece DBB ortamında CO miktarı 9 kV'luk gerilim seviyesinden sonra belirgin olarak artmaya başlamıştır. 15 kV gerilim seviyesinden sonra oluşan CO miktarı daha da artarken uygulanan gerilim seviyesi yükseldikçe bu miktar da üstel bir şekilde artmıştır.

İndüksiyonlu ısıtma ve DBB yöntemi birlikte kullanıldığı durumda, sisteme gerilim uygulanmadığı halde 50 ppm'e yakın bir değerde CO üretilmiştir. Bu miktar indüksiyonlu ısıtma etkisinden kaynaklanmaktadır. Isıtma sonucunda gaz molekülleri ısınarak kinetik enerjilerinin belirli bir seviyeye gelmesiyle birlikte CO<sub>2</sub> gazı CO ve O<sub>2</sub> moleküllerine ayrışır. Gazın ortamdaki kalış süresine ve ısıtmanın gücüne bağlı olarak üretilen CO miktarı çeşitlilik arz etmektedir. Reaktöre uygulanan gerilim arttıkça CO üretimi artmıştır ve 13,5 kV değerinin üstündeki gerilimlerde elektrotlar aralığında boşalmalar başladığı için üretilen CO miktarı üstel bir şekilde artmıştır. İndüksiyonlu ısıtma tekniği kullanıldığında, belirli bir gerilim değerinden sonra deşarj reaktöründe ısıtma işleminin CO<sub>2</sub> gazının bağlarının kırılmasında önemli bir etkisi olduğundan dolayı boşalma ile birlikte yapılan uygulamada katlı bir etki göstererek üretilen CO miktarında üstel bir artış etkisi göstermiştir.

## 5.2. Öneriler

Bu tez çalışmasında hava kirliliğini azaltmak amacıyla bariyer boşalmasının baca gazlarının temizlenmesi üzerine olan etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Fakat çalışmada kullanılan yöntemlerin bir benzeri egzoz gazları için de tekrarlanabilir. Ayrıca, hava kirliliğinin yoğun olduğu sanayi kentlerinde, bu tür yöntemler kullanılarak atmosferik ortamda hava temizleyici sistemler kurulabilir. Bunun yanı sıra, benzer bir yöntemin kullanılmasıyla kimya endüstrisindeki birçok gaz türü ayrıştırılarak farklı gazlarla bileşik oluşturularak yeni ürünler elde edilebilir. Son olarak, bu çalışmanın prototipe dönüştürülmüş hali doğalgaz kombilerine ve fabrika bacalarına montajı yapılarak bu cihazlardan salınan CO gazı ayrıştırılarak zararsız ürünlere dönüştürülmesi sağlanabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Alisoy, H.Z., Yeroglu, C., Koseoglu, M., and Hansu, F., 2005. Investigation of the characteristics of dielectric barrier discharge in transition region, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 38 (38), 4272–4277.
- An, J. T., Shang, K. F., Lu, N., Jiang, Y. Z., Wang, T. C., Li, J., & Wu, Y. (2014). Oxidation of elemental mercury by active species generated from a surface dielectric barrier discharge plasma reactor. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 34(1), 217-228.
- An, J., Shang, K., Lu, N., Jiang, Y., Wang, T., Li, J., & Wu, Y. (2014). Performance evaluation of non-thermal plasma injection for elemental mercury oxidation in a simulated flue gas. *Journal of hazardous materials*, 268, 237-245.
- An, J., Shang, K., Lu, N., Hong, Y., Jiang, Y., Li, J., Wu, Y. (2014) Performance of Dielectric Barrier Discharge Reactors on Elemental Mercury Oxidation in the Coal-Fired Flue Gas. *Plasma Science and Technology*, 16(2), 155.
- Anaghizi, S. J., Talebizadeh, P., Rahimzadeh, H., & Ghomi, H. (2015). The Configuration Effects of Electrode on the Performance of Dielectric Barrier Discharge Reactor for NO<sub>x</sub> Removal. *IEEE transactions on plasma science*, 43(6), 1944-1953.
- Brandenburg, R., Barankova, H., Bardos, L., Chmielewski, A. G., Dors, M., Grosch, H., Holub, M., Jögi, I., Laan, M., Mizeraczyk, J., Pawelec, A., Statemate, E. (2011). Plasma-based depollution of exhausts: principles, state of the art and future prospects. In *Monitoring, control and effects of air pollution* (pp. 229-254). InTech.
- Bröer, S., & Hammer, T. (2000). Selective catalytic reduction of nitrogen oxides by combining a non-thermal plasma and a V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 28(2), 101-111.
- Byun, Y., Ko, K. B., Cho, M., Namkung, W., Shin, D. N., Lee, J. W., ... & Kim, K. T. (2008). Oxidation of elemental mercury using atmospheric pressure non-thermal plasma. *Chemosphere*, 72(4), 652-658.
- Chang, M. B., Balbach, J. H., Rood, M. J., & Kushner, M. J. (1991). Removal of SO<sub>2</sub> from gas streams using a dielectric barrier discharge and combined plasma photolysis. *Journal of applied physics*, 69(8), 4409-4417.
- Chang, M. B., & Yang, S. C. (2001). NO/NO<sub>x</sub> removal with C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> as additive via dielectric barrier discharges. *AIChE journal*, 47(5), 1226-1233.
- Chen, M., Jin, L., Liu, Y., Guo, X., Chu, J. (2014). Decomposition of NO in automobile exhaust by plasma–photocatalysis synergy. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(2), 1242-1247.
- Chen, Z., Mannava, D. P., & Mathur, V. K. (2006). Mercury oxidization in dielectric barrier discharge plasma system. *Industrial & engineering chemistry research*, 45(17), 6050-6055.

- Chmielewski, A. G. (2013). Nuclear power for Poland. *World Journal of Nuclear Science and Technology* 3, 123-130.
- Chmielewski, A. G., and Licki, J. (2008). Electron beam flue gas treatment process for purification of exhaust gases with high SO<sub>2</sub> concentrations. *Nukleonika* 53 (supl. 2) 61-66.
- Conrads, H., & Schmidt, M. (2000). Plasma generation and plasma sources. *Plasma Sources Science and Technology*, 9(4), 441.
- Fang, P., Cen, C. P., Wang, X. M., Tang, Z. J., Tang, Z. X., & Chen, D. S. (2013). Simultaneous removal of SO<sub>2</sub>, NO and Hg<sup>0</sup> by wet scrubbing using urea + KMnO<sub>4</sub> solution. *Fuel processing technology*, 106, 645-653.
- Fang, P., Cen, C., Tang, Z., Zhong, P., Chen, D., & Chen, Z. (2011). Simultaneous removal of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> by wet scrubbing using urea solution. *Chemical Engineering Journal*, 168(1), 52-59.
- Filimonova, E. A., Amirov, R. H., Kim, H. T., & Park, I. H. (2000). Comparative modelling of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> removal from pollutant gases using pulsed-corona and silent discharges. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 33(14), 1716.
- Gogulancea, V., & Lavric, V. (2014). Flue gas cleaning by high energy electron beam—Modeling and sensitivity analysis. *Applied Thermal Engineering*, 70(2), 1253-1261.
- Granite, E. J., Freeman, M. C., Hargis, R. A., O'dowd, W. J., & Pennline, H. W. (2007). The thief process for mercury removal from flue gas. *Journal of environmental management*, 84(4), 628-634.
- Hansu, F., 2012. Bariyer Boşalmasındaki Akım Kararsızlıklarının Deneysel ve Nümerik Analizi, Doktora tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya.
- Hung, P. C., Chang, S. H., Chi, K. H., & Chang, M. B. (2010). Degradation of gaseous dioxin-like compounds with dielectric barrier discharges. *Journal of hazardous materials*, 182(1), 246-251.
- Hutson, N. D., Krzyzyska, R., & Srivastava, R. K. (2008). Simultaneous removal of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and Hg from coal flue gas using a NaClO<sub>2</sub>-enhanced wet scrubber. *Industrial & engineering chemistry research*, 47(16), 5825-5831.
- Jani, M. A., Takaki, K., & Fujiwara, T. (1999). Streamer polarity dependence of NO<sub>x</sub> removal by dielectric barrier discharge with a multipoint-to-plane geometry. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 32(19), 2560.
- Jeong, J., & Jung, J. (2007). Removal of gaseous elemental mercury by dielectric barrier discharge. *Chemosphere*, 68(10).

- Jiang, Y., An, J., Shang, K., Jiang, D., Li, J., Lu, N., & Wu, Y. (2013). Oxidation efficiency of elemental mercury in two DBD plasma reactors. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 418, No. 1, p. 012118). IOP Publishing.
- Jiutao, A., Kefeng, S., Na, L., Yi, H., Yuze, J., Jie, L., & Yan, W. (2014). Performance of dielectric barrier discharge reactors on elemental mercury oxidation in the coal-fired flue gas. *Plasma Science and Technology*, 16(2), 155-164.
- Jolibois, J., Takashima, K., & Mizuno, A. (2012). Application of a non-thermal surface plasma discharge in wet condition for gas exhaust treatment: NO<sub>x</sub> removal. *Journal of Electrostatics*, 70(3), 300-308.
- Jögi, I., Haljaste, A., & Laan, M. (2014). Hybrid TiO<sub>2</sub> based plasma-catalytic reactors for the removal of hazardous gasses. *Surface and Coatings Technology*, 242, 195-199.
- Ko, K. B., Byun, Y., Cho, M., Namkung, W., Shin, D. N., Koh, D. J., & Kim, K. T. (2008). Influence of HCl on oxidation of gaseous elemental mercury by dielectric barrier discharge process. *Chemosphere*, 71(9), 1674-1682.
- Kambara, S., Kuriyama, R., Osakabe, T., & Yukimura, K. (2008). Hydrogen oxidation in H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> gas mixture by pulsed DBD at atmospheric pressure. *international journal of hydrogen energy*, 33(22), 6792-6799.
- Khacef, A., & Cormier, J. M. (2006). Pulsed sub-microsecond dielectric barrier discharge treatment of simulated glass manufacturing industry flue gas: removal of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 39(6), 1078.
- Kim, H. H. (2004). Nonthermal plasma processing for air- pollution control: a historical review, current issues, and future prospects. *Plasma Processes and Polymers*, 1(2), 91-110.
- Kim, H. H., Prieto, G., Takashima, K., Katsura, S., & Mizuno, A. (2002). Performance evaluation of discharge plasma process for gaseous pollutant removal. *Journal of electrostatics*, 55(1), 25-41.
- Kogelschatz, U. (2003). Dielectric-barrier discharges: their history, discharge physics, and industrial applications. *Plasma chemistry and plasma processing*, 23(1), 1-46.
- Li, R., & Liu, X. (2000). Main fundamental gas reactions in denitrification and desulfurization from flue gas by non-thermal plasmas. *Chemical Engineering Science*, 55(13), 2491-2506.
- Li, S., Huang, Y., Wang, F., Liu, J., Feng, F., Shen, X., ... & Yan, K. (2014). Fundamentals and environmental applications of non-thermal plasmas: multi-pollutants emission control from coal-fired flue gas. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 34(3), 579-603.
- Liu, Q., & Liu, Z. (2013). Carbon supported vanadia for multi-pollutants removal from flue gas. *Fuel*, 108, 149-158.

- Liu, Z. S. (2008). Adsorption of SO<sub>2</sub> and NO from incineration flue gas onto activated carbon fibers. *Waste management*, 28(11), 2329-2335.
- Ma, H., Chen, P., Zhang, M., Lin, X., & Ruan, R. (2002). Study of SO<sub>2</sub> removal using non-thermal plasma induced by dielectric barrier discharge (DBD). *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 22(2), 239-254.
- Ma, J., Liu, Z., Liu, Q., Guo, S., Huang, Z., & Xiao, Y. (2008). SO<sub>2</sub> and NO removal from flue gas over V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/AC at lower temperatures—role of V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> on SO<sub>2</sub> removal. *Fuel processing technology*, 89(3), 242-248.
- Ma, S., Zhao, Y., Yang, J., Zhang, S., Zhang, J., & Zheng, C. (2017). Research progress of pollutants removal from coal-fired flue gas using non-thermal plasma. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 791-810.
- Maezono, I., & Chang, J. S. (1988). Flow-enhanced corona discharge: The corona torch. *Journal of applied physics*, 64(6), 3322-3324.
- Masuda S, Nakao H. (1990) Control of NO<sub>x</sub> by positive and negative pulsed corona discharge. *IEEE Trans Ind Appl* ;26:374–383.
- Mei, D., and Tu, X. “Conversion of CO<sub>2</sub> in a cylindrical dielectric barrier discharge reactor: Effects of plasma processing parameters and reactor design”. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 19, 68-78, 2017.
- Mizuno, A., Clements, J. S., & Davis, R. H. (1986). A method for the removal of sulfur dioxide from exhaust gas utilizing pulsed streamer corona for electron energization. *IEEE Transactions on industry Applications*, (3), 516-522.
- Mok, Y. S., Koh, D. J., Shin, D. N., & Kim, K. T. (2004). Reduction of nitrogen oxides from simulated exhaust gas by using plasma–catalytic process. *Fuel Processing Technology*, 86(3), 303-317.
- Moscosa-Santillan, M., Vincent, A., Santirso, E., & Amouroux, J. (2008). Design of a DBD wire-cylinder reactor for NO<sub>x</sub> emission control: experimental and modelling approach. *Journal of Cleaner Production*, 16(2), 198-207.
- Nagao, I., Nishida, M., Yukimura, K., Kambara, S., & Maruyama, T. (2002). NO<sub>x</sub> removal using nitrogen gas activated by dielectric barrier discharge at atmospheric pressure. *Vacuum*, 65(3), 481-487.
- Nasonova, A., Pham, H. C., Kim, D. J., Kim, W. S., Charinpanitkul, T., & Kim, K. S. (2011). Application of TiO<sub>2</sub>-coated alumina beads to dielectric barrier discharge-photocatalyst hybrid process for NO and SO<sub>2</sub> removals. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 11(2), 1323-1327.
- Nasonova, A., Pham, H. C., Kim, D. J., & Kim, K. S. (2010). NO and SO<sub>2</sub> removal in non-thermal plasma reactor packed with glass beads-TiO<sub>2</sub> thin film coated by PCVD process. *Chemical engineering journal*, 156(3), 557-561.

- Nasonova, A., & Kim, K. S. (2013). Effects of TiO<sub>2</sub> coating on zeolite particles for NO and SO<sub>2</sub> removal by dielectric barrier discharge process. *Catalysis today*, 211, 90-95.
- Niessen, W., Wolf, O., Schruft, R., & Neiger, M. (1998). The influence of ethene on the conversion of NO<sub>x</sub> in a dielectric barrier discharge. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 31(5), 542.
- Niu, Q., Luo, J., Sun, S., Chen, Q., & Lu, J. (2015). Effects of flue gas components on the oxidation of gaseous Hg<sup>0</sup> by dielectric barrier discharge plasma. *Fuel*, 150, 619-624.
- Obradović, B. M., Sretenović, G. B., & Kuraica, M. M. (2011). A dual-use of DBD plasma for simultaneous NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> removal from coal-combustion flue gas. *Journal of hazardous materials*, 185(2), 1280-1286.
- Oda, T. (1997). Reduction of NO<sub>x</sub> from combustion flue gases by superimposed barrier discharge plasma reactor. *IEEE Trans, Industr. Applic.*, 33(4), 879-886.
- Ohkubo, T., Kanazawa, S., Nomoto, Y., Chang, J. S., & Adachi, T. (1994). NO<sub>x</sub> removal by a pipe with nozzle-plate electrode corona discharge system. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 30(4), 856-861.
- Ohkubo, T., Kanazawa, S., Nomoto, Y., Chang, J. S., & Adachi, T. (1996). Time dependence of NO<sub>x</sub> removal rate by a corona radical shower system. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 32(5), 1058-1062.
- Pham, H. C., & Kim, K. S. (2013). Effect of TiO<sub>2</sub> thin film thickness on NO and SO<sub>2</sub> removals by dielectric barrier discharge-photocatalyst hybrid process. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(15), 5296-5301.
- Qi, Y., Yang, H. M., Zeng, K. S., Zhang, Z. W., & Gang, Y. U. (2007). Simultaneous removal of NO and SO<sub>2</sub> from dry gas stream using non-thermal plasma. *Journal of environmental sciences*, 19(11), 1393-1397.
- Rajanikanth, B. S., & Rout, S. (2001). Studies on nitric oxide removal in simulated gas compositions under plasma-dielectric/catalytic discharges. *Fuel Processing Technology*, 74(3), 177-195.
- Ravi, V., Mok, Y. S., Rajanikanth, B. S., & Kang, H. C. (2003). Studies on nitrogen oxides removal using plasma assisted catalytic reactor. *Plasma Science and Technology*, 5(6), 2057.
- Razali, N. A. M., Lee, K. T., Bhatia, S., and Mohamed, A. R. "Heterogeneous catalysts for production of chemicals using carbon dioxide as raw material: a review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4951-4964, 2012.
- Saito, T. (2004). Inorganic Chemistry. Internet, English version translated from Japanese. Retrieved from <http://www.t.soka.ac.jp/chem/iwanami/inorg/>

- Saveliev, A. B., Pietsch, G. J., Murtazin, A. R., & Fried, A. (2007). SO<sub>2</sub> removal from air with dielectric barrier discharges. *Plasma Sources Science and Technology*, 16(3), 454.
- Schmidt, M., Basner, R., & Brandenburg, R. (2013). Hydrocarbon assisted NO oxidation with non-thermal plasma in simulated marine diesel exhaust gases. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 33(1), 323-335.
- Schmitt, K. L., Murray, D. M., & Dibble, T. S. (2009). Towards a consistent chemical kinetic model of electron beam irradiation of humid air. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 29(5), 347-362.
- Skalska, K., Miller, J. S., and Ledakowicz, S. (2010). Trends in NO<sub>x</sub> abatement: review. *Science of the Total Environment* 408, 3976-3989.
- Song, C. L., Bin, F., Tao, Z. M., Li, F. C., & Huang, Q. F. (2009). Simultaneous removals of NO<sub>x</sub>, HC and PM from diesel exhaust emissions by dielectric barrier discharges. *Journal of hazardous materials*, 166(1), 523-530.
- Su, C., Ran, X., Hu, J., & Shao, C. (2013). Photocatalytic process of simultaneous desulfurization and denitrification of flue Gas by TiO<sub>2</sub>-polyacrylonitrile nanofibers. *Environmental science & technology*, 47(20), 11562-11568.
- Sun, W., Pashaie, B., Dhali, S. K., & Honea, F. I. (1996). Non- thermal plasma remediation of SO<sub>2</sub>/NO using a dielectric- barrier discharge. *Journal of applied physics*, 79(7), 3438-3444.
- Sun, Y., Zwolińska, E., & Chmielewski, A. G. (2016). Abatement technologies for high concentrations of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> removal from exhaust gases: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46(2), 119-142.
- Takaki, K., Jani, M. A., & Fujiwara, T. (1999). Removal of nitric oxide in flue gases by multi-point to plane dielectric barrier discharge. *IEEE transactions on plasma science*, 27(4), 1137-1145.
- Takaki, K., Hatanaka, Y., Arima, K., Mukaigawa, S., & Fujiwara, T. (2008). Influence of electrode configuration on ozone synthesis and microdischarge property in dielectric barrier discharge reactor. *Vacuum*, 83(1), 128-132.
- Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmaison, J., & Leprince, P. (2006). Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 61(1), 2-30.
- Thagard, S.M., Kinoshita, Y., Ikeda, H., Takashima, K., Katsura, S., Mizuno, A., (2010). NO<sub>3</sub>- Reduction for NO<sub>x</sub> Removal Using Wet-Type Plasma Reactor, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 46(6), 2165-2171.
- Tsai, C. H., Yang, H.-H., Jou, C. J., and Lee, H. M. (2007). Reducing nitric oxide into nitrogen via a radio-frequency discharge. *Journal of Hazardous Materials* 143, 409-414.



- Thiruvengkatachari, R., Vigneswaran, S., & Moon, I. S. (2008). A review on UV/TiO<sub>2</sub> photocatalytic oxidation process (Journal Review). *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25(1), 64-72.
- Urashima, K., & Chang, J. S. (2000). Removal of volatile organic compounds from air streams and industrial flue gases by non-thermal plasma technology. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 7(5), 602-614.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1998). NO<sub>x</sub>: How nitrogen oxides affect the way we live and breathe. Retrieved from [http://www.nchh.org/Portals/0/Contents/EPA\\_Nitrogen\\_Oxides.pdf](http://www.nchh.org/Portals/0/Contents/EPA_Nitrogen_Oxides.pdf)
- U.S. Environmental Protection Agency. (1999). Technical bulletin, nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), why and how they are controlled. Retrieved from <http://www.epa.gov/ttnecat1/dir1/fnoxdoc.pdf>
- Vinh, T. Q., Watanabe, S., Furuhashi, T., & Arai, M. (2012). Fundamental study of NO<sub>x</sub> removal from diesel exhaust gas by dielectric barrier discharge reactor. *Journal of mechanical science and technology*, 26(6), 1921-1928.
- Wang, T., Sun, B. M., Xiao, H. P., Zeng, J. Y., Duan, E. P., Xin, J., & Li, C. (2012). Effect of reactor structure in DBD for nonthermal plasma processing of NO in N<sub>2</sub> at ambient temperature. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 32(6), 1189-1201.
- Wang, T., & Sun, B. M. (2014). Effects of O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O on SO<sub>2</sub> removal by dielectric barrier discharge at various temperatures. *Japanese Journal of Applied Physics*, 53(4), 046201.
- Wang, W., Zhao, Z., Liu, F., & Wang, S. (2005). Study of NO/NO<sub>x</sub> removal from flue gas contained fly ash and water vapor by pulsed corona discharge. *Journal of Electrostatics*, 63(2), 155-164.
- Wang, Z. H., Jiang, S. D., Zhu, Y. Q., Zhou, J. S., Zhou, J. H., Li, Z. S., & Cen, K. F. (2010). Investigation on elemental mercury oxidation mechanism by non-thermal plasma treatment. *Fuel Processing Technology*, 91(11), 1395-1400.
- WBK and Associates. (2003). Sulfur dioxide: environmental effects, fate and behaviour. Retrieved from <http://esrd.alberta.ca/air/objectives-directives-policies-and-standards/documents/6615.pdf>
- Yamamoto, K., Kawamura, K., Yukimura, K., Kambara, S., Moritomi, H., & Yamashita, T. (2004). Oxygen effect of high concentration NO removal using an intermittent DBD. *Vacuum*, 73(3), 583-588.
- Yamamoto, H., Kuroki, T., Fujishima, H., Okubo, M. (2016). Pilot-scale exhaust gas treatment for a glass manufacturing system using a plasma combined wet chemical process. *Mechanical Engineering Journal*, 3(1), 15-00549.

- Yang, H., Liu, H., Wu, H., & Wang, M. (2012). Photochemical removal of gaseous elemental mercury in a dielectric barrier discharge plasma reactor. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 32(5), 969-977.
- Yin, S. E., Sun, B. M., Gao, X. D., & Xiao, H. P. (2009). The effect of oxygen and water vapor on nitric oxide conversion with a dielectric barrier discharge reactor. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 29(6), 421.
- Yuan, Y., Zhang, J., Li, H., Li, Y., Zhao, Y., & Zheng, C. (2012). Simultaneous removal of SO<sub>2</sub>, NO and mercury using TiO<sub>2</sub>-aluminum silicate fiber by photocatalysis. *Chemical engineering journal*, 192, 21-28.
- Zhang, J., Zhang, R., Chen, X., Tong, M., Kang, W., Guo, S., Zhou, Y., Lu, J. (2014). Simultaneous removal of NO and SO<sub>2</sub> from flue gas by ozone oxidation and NaOH absorption. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(15), 6450-6456.

<http://apps.sepa.org.uk/sripa/Pages/SubstanceInformation.aspx?pid=4>

<http://www.npi.gov.au/resource/carbon-monoxide>

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

<b>Adı Soyadı</b>	Murat AKDEMİR
<b>Doğum Yeri ve Tarihi</b>	Diyarbakır - 01.07.1988
<b>Telefon</b>	90 (484) 212 11 11 /3036
<b>E-mail</b>	muratakdemir@siirt.edu.tr

### EĞİTİM

<b>Derece</b>	<b>Okul Adı</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise	Diyarbakır Anadolu Lisesi, DİYARBAKIR	2006
Lisans	Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA	2011
Yüksek Lisans	Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, SİİRT	2015
Doktora	Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, SİİRT	2019

### İŞ DENEYİMLERİ

<b>Yıl</b>	<b>Kurum</b>	<b>Görevi</b>
2012-Devam Ediyor	Siirt Üniversitesi, Müh.-Mimarlık Fak., Elek.-Elektronik Müh. Bölümü	Araştırma Görevlisi

**UZMANLIK ALANI :** Elektrik Tesisleri

**YABANCI DİLLER :** İngilizce (YDS: 75, 2015)