

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

**BARİYER BOŞALMASININ TUTUŞMASINDA VE SÖNÜMLENMESİNDE
FREKANS ETKİSİNİN FARKLI GAZ ORTAMLARINDA DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa SAĞLAM
(143103006)**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fevzi HANSU

**Ağustos-2018
SİİRT**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa SAĞLAM tarafından hazırlanan “Bariyer Boşalmasının Tutuşmasında ve Sönümlenmesinde Frekans Etkisinin Farklı Gaz Ortamlarında Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 29/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Necmettin SEZGİN

Danışman

Doç. Dr. Fevzi HANSU

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Sabit HOROZ

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Fevzi HANSU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bana her yönüyle rehberlik eden, bilgi ve tecrübesini aktarmada en küçük ayrıntıyı dahi esirgemeyen, çalışma sürecinin son gününe kadar bana her türlü fedakârlığı gösteren ve ayrıca kıymetli zamanımı esirgmeden tezimin yazımı ve düzenlenmesi konularında her yönüyle katkı sunan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fevzi HANSU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca;

Eğitim hayatım boyunca, benim için en iyi şartları sağlayan, daima fedakâr davranan ve bugünlere gelmeme vesile olan kıymetli anneme ve babama şükranlarımı sunar, tez çalışmasının her aşamasında desteklerini esirgemeyen tüm aile fertlerime ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mustafa SAĞLAM
SİİRT-2018

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖN SÖZ | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| TABLolar LİSTESİ | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vi |
| SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ | viii |
| ÖZET | x |
| ABSTRACT | xi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Dielektrik Bariyer Boşalması (<i>DBB</i>) | 2 |
| 1.2. <i>DBB</i> Mekanizmasına Ait Bazı Temel Denklemler ve Basit Yaklaşımlar | 3 |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 6 |
| 3. MATERYAL ve METOT | 18 |
| 3.1. Materyal | 18 |
| 3.2. Metot | 22 |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA | 23 |
| 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER | 44 |
| 5.1. Sonuçlar | 44 |
| 5.2. Öneriler | 44 |
| 6. KAYNAKLAR | 45 |
| ÖZGEÇMİŞ | 48 |

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1. Elektrik gaz boşalması hücresinin temel modeli (Hansu, 2012) | 2 |
| Şekil 1.2: Tek bariyer tabakası içeren Dielektrik Bariyer Boşalması Modeli ve elektriksel eşdeğer devresi (Hansu, 2012) | 3 |
| Şekil 1.3. Akım, yüzey yükü ve gaz aralığındaki elektrik alanının zamana göre değişim grafiği (Nikandrov, 2005) | 5 |
| Şekil 2.1. DBB'nin azot ortamındaki gerilim ve akımının osilasyon biçimleri (Luo ve ark., 2010) | 17 |
| Şekil 3.1. Deney sistemi görüntüsü | 19 |
| Şekil 3.2. Dijital AC Güç kaynağı | 20 |
| Şekil 3.3. <i>Düzlem-Düzlem</i> elektrot sistemi ve vakumlanabilir reaktörün görüntüsü | 21 |
| Şekil 3.4. Deney setine ait kumanda ve ölçüm elemanları | 21 |
| Şekil 4.1: $f=50$ Hz frekansında oluşturulan DBB görüntüsü..... | 23 |
| Şekil 4.2: $f=50$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü | 24 |
| Şekil 4.3: $f=50$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin <i>V-I</i> karakteristiği | 24 |
| Şekil 4.4: $f=100$ Hz frekansında oluşturulan DBB görüntüsü | 25 |
| Şekil 4.5: $f=100$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü..... | 25 |
| Şekil 4.6: $f=100$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin <i>V-I</i> karakteristiği | 26 |
| Şekil 4.7: $f=150$ Hz frekansında oluşturulan DBB görüntüsü | 27 |
| Şekil 4.8: $f=150$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü..... | 28 |
| Şekil 4.9: $f=150$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin <i>V-I</i> karakteristiği | 28 |
| Şekil 4.10: $f=200$ Hz frekansında oluşturulan DBB görüntüsü | 29 |
| Şekil 4.11: $f=200$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü..... | 30 |
| Şekil 4.12: $f=200$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin <i>V-I</i> karakteristiği | 30 |
| Şekil 4.13: $f=300$ Hz frekansında oluşturulan DBB görüntüsü | 31 |
| Şekil 4.14: $f=300$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü..... | 32 |
| Şekil 4.15: $f=300$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin <i>V-I</i> karakteristiği | 32 |
| Şekil 4.16: $f=400$ Hz frekansında oluşturulan DBB görüntüsü | 33 |
| Şekil 4.17: $f=400$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü..... | 34 |
| Şekil 4.18: $f=400$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin <i>V-I</i> karakteristiği | 34 |
| Şekil 4.19: $f=500$ Hz frekansında oluşturulan DBB görüntüsü | 35 |
| Şekil 4.20: $f=500$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü..... | 36 |
| Şekil 4.21: $f=500$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin <i>V-I</i> karakteristiği | 36 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.22: Vakum ortamında ($P=-0.9$ Bar) oluşturulan <i>DBB</i> 'nin çeşitli frekans değerlerindeki <i>V-I</i> karakteristikleri | 37 |
| Şekil 4.23: Hava ortamında ($P=1$ Bar) oluşturulan <i>DBB</i> 'nin çeşitli frekans değerlerindeki <i>V-I</i> karakteristikleri | 38 |
| Şekil 4.24: Azot ortamında ($P=1$ Bar) oluşturulan <i>DBB</i> 'nin çeşitli frekans değerlerindeki <i>V-I</i> karakteristikleri | 39 |
| Şekil 4.25: Oksijen ortamında ($P=1$ Bar) oluşturulan <i>DBB</i> 'nin çeşitli frekans değerlerindeki <i>V-I</i> karakteristikleri | 40 |
| Şekil 4.26: Helyum ortamında ($P=1$ Bar) oluşturulan <i>DBB</i> 'nin çeşitli frekans değerlerindeki <i>V-I</i> karakteristikleri | 41 |
| Şekil 4.27: Argon ortamında ($P=1$ Bar) oluşturulan <i>DBB</i> 'nin çeşitli frekans değerlerindeki <i>V-I</i> karakteristikleri | 42 |
| Şekil 4.28: Karbondioksit ortamında ($P=1$ Bar) oluşturulan <i>DBB</i> 'nin çeşitli frekans değerlerindeki <i>V-I</i> karakteristikleri | 43 |
| Şekil 4.29: Çeşitli gaz ortamlarında $f=50$ Hz frekansında oluşturulan <i>DBB</i> 'lerin <i>V-I</i> karakteristikleri | 43 |

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

| <u>Simge</u> | <u>Açıklama</u> |
|---------------|--|
| $U(t)$ | : Uygulama Gerilimi |
| $E(t)$ | : Elektrik Alan Şiddeti |
| $\sigma(t)$ | : Yüzey Yük Yoğunluğu |
| τ | : Zaman Sabiti |
| ε | : Ortamın Bağıl Dielektrik Katsayısı |
| L | : Uzunluk |
| D | : Elektrotlar Arası Mesafe |
| R | : Direnç |
| C | : Kondansatör |
| i | : Akım |
| S | : Anahtar |
| A | : Birinci İyonlaşma Katsayısı |
| E_d | : Elektrik Alanın Delinme Sınır Değeri |
| jS | : Yüzey Akımı Yoğunluğu |
| j | : İletim Akımı |
| π | : Pi sabit sayı |
| ω | : Omega |
| t | : Zaman |
| N | : Azot gazı |
| H | : Hidrojen gazı |
| He | : Helyum gazı |
| Ne | : Neon gazı |
| Ar | : Argon gazı |

| <u>Kısaltma</u> | <u>Açıklama</u> |
|-----------------|--------------------------------|
| DBB | : Dielektrik Bariyer Boşalması |
| AC | : Alternatif Akım |
| PET | : Polietilenteraftalat |
| PP | : Polipropilen |
| kPa | : Kilopaskal |

| <u>Kısaltma</u> | <u>Açıklama</u> |
|------------------------------|---|
| <i>XPS</i> | : X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi |
| <i>CO</i> | : Karbonmonoksit |
| <i>C-O</i> | : Karbon-Oksijen |
| <i>O-CO</i> | : Oksijen-Karbonmonoksit |
| <i>OH</i> | : Hidroksil |
| <i>UV</i> | : Ultraviyole |
| <i>Hz</i> | : Hertz |
| <i>SEM</i> | : Taramalı Elektron Mikroskobu |
| <i>ns</i> | : Nanosaniye |
| <i>PF</i> | : Güç Faktörü |
| <i>HVS-SP</i> | : Yüksek Gerilim Beslemeli Sinusoidal Darbe |
| <i>EHD</i> | : Elektrohüdrodinamik |
| <i>DC</i> | : Doğru Akım |
| <i>mA</i> | : Miliamper |
| <i>W</i> | : Watt |
| <i>kV</i> | : Kilovolt |
| <i>V</i> | : Volt |
| <i>VA</i> | : Voltamper |
| <i>kVA</i> | : Kilovoltamper |
| <i>MHz</i> | : Mega Hertz |
| <i>kHz</i> | : Kilo Hertz |
| <i>RF</i> | : Radyo Frekans |
| <i>CO₂</i> | : Karbondioksit |
| <i>μs</i> | : Mikrosaniye |
| <i>mbar</i> | : Milibar |
| <i>ABTB</i> | : Atmosferik Basınçtaki Townsend Boşalması |
| <i>ABGB</i> | : Atmosferik Basınçtaki Glow Boşalması |
| <i>mm</i> | : Milimetre |
| <i>μm</i> | : Mikrometre |
| <i>cm</i> | : Santimetre |
| <i>hPa</i> | : Hektopaskal |
| <i>kΩ</i> | : Kilo Ohm |

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BARIYER BOŞALMASININ TUTUŞMASINDA VE SÖNÜMLENMESİNDE FREKANS ETKİSİNİN FARKLI GAZ ORTAMLARINDA DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mustafa SAĞLAM

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

Danışman : Doç. Dr. Fevzi HANSU

2018, xi+48 Sayfa

Enerji verimliliği ve aydınlatma tekniğinde önemli bir yere sahip olan Dielektrik Bariyer Boşalmalarının (*DBB*) uygulama alanları gün geçtikçe artan bir çeşitlilik göstermektedir. *DBB*'nin tutuşma ve sönmleme gerilim değerlerinin çeşitli frekanslarda ve farklı gaz ortamlarında belirlenmesi, aydınlatma tekniği ve çeşitli endüstriyel uygulamalar açısından büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla bu tez çalışmasında *DBB*'nin tutuşmasında ve sönmlemesindeki bazı parametrelerinin çeşitli frekanslarda ve farklı gaz ortamlarında belirlenmesine yönelik deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, özel olarak tasarlanmış olan kapalı ve vakumlanabilir bir reaktörün içerisine yerleştirilmiş olan silindirik yapılı düzlem elektrot sistemine belirli frekanslarda besleme gerilimi kademeli olarak uygulanmış ve bu deneyler aynı zamanda çeşitli gaz ortamlarında tekrarlanarak sisteme ait *Gerilim-Akım* ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen bu ölçümler kullanılarak sisteme ait *Gerilim-Akım* grafikleri oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, frekansın ve gaz türünün boşalmanın tutuşma ve sönmleme gerilimleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve frekansın artmasının *DBB*'nin tutuşmasını önemli ölçüde kolaylaştırdığı; benzer şekilde ortam gazının iletkenliğinin *DBB*'nin tutuşma gerilimi seviyesini kayda değer oranda düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dielektrik Bariyer Boşalması, Tutuşma Gerilimi, Sönmleme Gerilimi, Frekans.

ABSTRACT

MSc. THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FREQUENCY EFFECT ON THE IGNITION AND DAMPING OF BARRIER DISCHARGE IN VARIOUS GASSES MEDIUM

Mustafa SAĞLAM

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University
The Degree of Master of Science
In Electrical-Electronics Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fevzi HANSU

2018, xi+48 Pages

The applications of Dielectric Barrier Discharges (*DBD*), which play a significant role in energy efficiency and lighting technology, are increasing day by day. Determination of ignition and damping voltage values of *DBD* at various frequencies and different gas environments is of great importance in terms of lighting technology and various industrial applications. Therefore, in this thesis, an experimental study has been carried out to determine some parameters of *DBD* ignition and damping voltages in various frequencies and different gas environments. In the study, the supply voltage was gradually applied at certain frequencies to the cylindrical plane electrode system, which was placed in a specially designed vacuumable reactor, and these experiments were repeatedly carried out in various gas mediums and then the voltage and current parameters of the system were measured. Using these measurements, the voltage-current graphs of the system were created for each medium condition separately. As a result of the study, the frequency and gas species have a significant influence on the ignition and damping voltages of the discharge, and the increase in frequency greatly facilitates the ignition of the *DBD*; similarly, the conductance of the ambient gas resulted in a significant reduction in the ignition voltage level of the *DBD*.

Keywords: Dielectric Barrier Discharge, Ignition Voltage, Damping Voltage, Frequency.

1. GİRİŞ

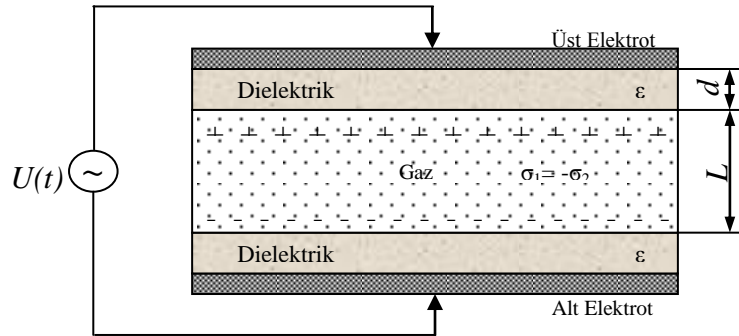
Dielektrik bariyer boşalması (*DBB*), elektrik gaz boşalmalarının önemli bir türü olarak bilinir ve gün geçtikçe çeşitli teknolojik alanlara uygulanarak önemli sonuçlara ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla bu alandaki çalışmalar her geçen gün daha da artmakta ve çok çeşitlilik göstermektedir (Raizer, 1991: Astrov, 1991: Abdel Salam, 1993). Atmosferik basınçlardaki düşük sıcaklıklı plazmaların ana kaynağını oluşturan *DBB* en basit tanımıyla; elektrotlardan biri veya her ikisi dielektrik malzemeyle kaplanmış olan iki elektrot aralığındaki gaz ortamında gerçekleşen bir elektrik boşalmasıdır. Dielektrik bariyer boşalması genel olarak dengede olmayan düşük basınçlı plazmalar grubunda yer alır. Bu tip plazmalarda ortamın basıncı düşük değerlidir ve plazmanın tutuşma gerilimi değerleri ile boşalma akımı değerleri diğer boşalma türlerine göre daha düşük değerlerdedir. Bu tür boşalmaların analizi işlemlerinde genellikle Townsend boşalma mekanizması referans alınarak parametreler belirlenir.

Dielektrik bariyer boşalmasının frekans etkisinin farklı gaz ortamlarında incelenmesi sonucu ortamın özelliklerine (parametrelerine) bağlı olarak önemli sonuçlara ulaşılabilir. Normal koşullarda, sistemdeki elektrotlara AC gerilim uygulandığında, aralıktaki elektrik alan şiddeti gerilimle birlikte artarak dielektrik yüzeyinde belirli bir yük birikimine neden olur. Elektrik alan şiddetinin artarak delinme değerini aşmasıyla birlikte boşalma gerçekleşir (Strümpel, 2000: Morrow, 1997: Ammelt, 1998). Ancak farklı gaz ortamlarında sisteme çeşitli frekanslardaki AC gerilim uygulandığında *DBB*'nin tutuşma ve sönmüleme gerilimlerinin sınır değerlerinde önemli değişimler meydana gelir. Dielektrik bariyer boşalmasının tutuşma ve sönmüleme gerilimlerinin belirlenmesi, enerji iletim hatlarının maksimum gerilim sınırının belirlenmesi, izolatörlerin boyutlandırılması ve izolasyon teknolojisi açısından büyük öneme sahiptir. Boşalmanın bu parametreleri daha çok enerji iletim hatlarındaki ark söndürücü sistemler ile aşırı gerilim koruma sistemlerindeki boşalma elektrotlarının aralık mesafesinin belirlenmesinde referans değer olarak kullanılabilir (Alisoy, 2005: Yongho, 2004: HANSU, 2005).

Dielektrik bariyer boşalmasının tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin sınır değerlerinde frekansın etkisinin göz ardı edilemeyecek derecede önemli olduğu düşünülmektedir. Frekans değeri ayrıca boşalma aralığının reaktans değeri açısından da oldukça önemlidir. Sabit aralıkta gerçekleşen boşalmalar genellikle kapasitif özellikli olduğundan dolayı; ortamdaki gaz türünün özellikleri de boşalma parametrelerini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Boşalmanın gelişimi açısından önemli olan bu parametrelerin belirlenmesi, enerji iletim hatlarında meydana gelen kayıpların kontrolünde, çeşitli (iç ve dış) faktörler nedeniyle iletim hatlarında meydana gelen gerilim dalgalanmalarının oluşturduğu çeşitli frekanslardaki harmonikler ile bu harmoniklerin bileşenlerinin oluşturduğu etkilerin dezavantajlarının ortadan kaldırılması açısından önemli bir yere sahiptir (Hansu, 2012). Bu noktadan hareketle bu tez çalışmasında, enerji iletim hatlarında meydana gelen olağanüstü durumlarda frekans parametresinin enerji iletim sistemlerinde gerçekleşen elektrik gaz boşalmalarının önemli bir türü olan bariyer boşalmasının tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin sınır değerleri üzerindeki etkisi, farklı gaz ortamlarında deneysel olarak incelenmiştir.

1.1. Dielektrik Bariyer Boşalması (DBB)

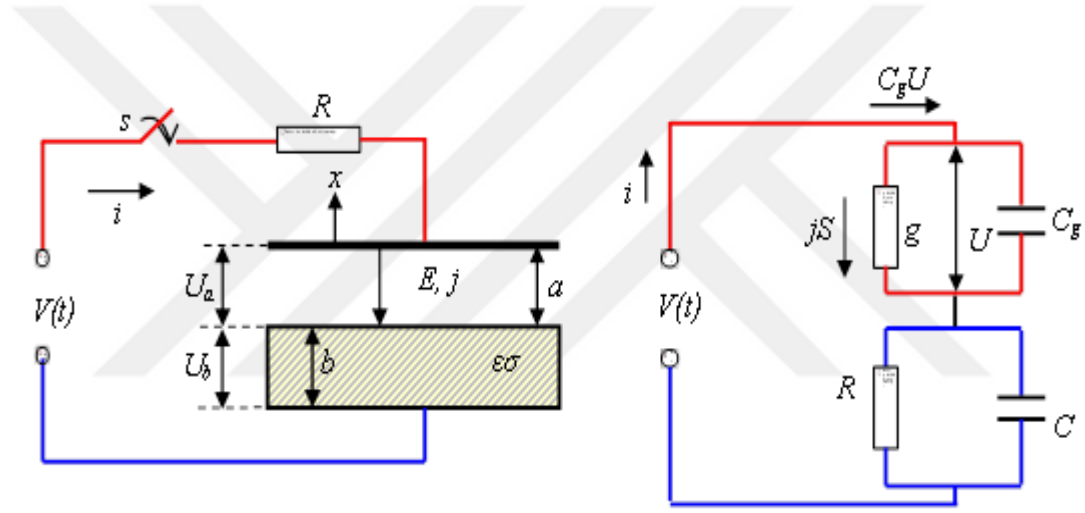
Dielektrik Bariyer Boşalması (DBB) temel bir elektrot sistemindeki boşalma aralığında meydana gelen ve boşalma yolunda en az bir tane yalıtım malzemesi tabakası içeren ve kendi kendini besleyebilen özellikte olan bir elektriksel boşalma türüdür. Bu tür boşalmalar sessiz ve soğuk (nonthermal) plazmalar grubunda yer alırlar. Genellikle ozon üretiminde yaygın olarak kullanılırlar. Bu tip boşalmalar ilk olarak 1857 yılında ozon üretimi için kullanılmışlar fakat gün geçtikçe uygulama alanları çok geniş ve çok çeşitli hale gelmiştir.



Şekil 1.1. Elektrik gaz boşalması hücresinin temel modeli (Hansu, 2012)

1.2. DBB Mekanizmasına Ait Bazı Temel Denklemler ve Basit Yaklaşımlar

DBB'nin matematiksel olarak modellenmesi için boşalma mekanizmasının kararlı sonuçlar verebilen Townsend mekanizmasından yararlanır. Şekil 1.2'de tek bariyerli düzlemsel elektrot şekilli elektrik gaz boşalması hücresinin genel şeması ve elektriksel eşdeğer modeli verilmiştir. Bu eşdeğer şemadan yararlanılarak elektrotlar arasında gerçekleşen boşalma olaylarının analizi ve modellenmesi için gerekli bazı matematiksel ifadeler türetilmiştir. Boşalmanın uygulama gerilimi $U(t)$ ile aralığın elektrik alan şiddeti $E(t)$ ve yüzey yük yoğunluğu $\sigma(t)$ arasında bir bağıntı söz konusudur ve bu ilişki aşağıdaki şekilde belirlenebilir (Nikandrov, 2005):



Şekil 1.2: Tek bariyer tabakası içeren Dielektrik Bariyer Boşalması Modeli ve elektriksel eşdeğer devresi (Hansu, 2012)

Bariyer boşalma mekanizmasında yer alan dielektrik malzemedeki akım, yüzeydeki sürüklenme akımı ile taşınır. Benzer şekilde boşalma aralığında ise sürüklenme ve iletim akımlarıyla birlikte taşınır. Elektrot aralığında oluşan yükler çok hızlı bir şekilde (ortalama τ kadarlık bir sürede), elektrik alanının etkisiyle aralıktan dielektrik yüzeyine taşınır ve $\omega^{-1} = \frac{\tau}{2\pi}$ kadarlık bir sürede ise dielektrik yüzeyinde toplanır. Bu durumda dielektrik malzemedeki yüzey yük yoğunluğu genel olarak Denklem 1.1'deki gibi bir dağılım gösterir (Nikandrov, 2005).

$$\sigma_1(t) \approx -\sigma_2(t) \quad (1.1)$$

Boşalma aralığındaki elektrik alanı, elektrot sistemine uygulanan gerilime ve dielektrik tabakanın yüzey yüklerine bağlıdır. Yüzey yükleri tarafından oluşturulan zıt yöndeki elektrik alanı, uygulama gerilimini kısmen nötralize eder. Bu nedenle aşırı yüksek gerilim durumunda elektrot aralığındaki net elektrik alanı bu iki alanın farkına eşit olur. Uzay hacim yüklerinin boşalma aralığındaki elektrik alanını bozması durumunda ise ortamın elektrik alan homojenliği bozulur ve böylece delinme geriliminin değeri bu alana göre daha küçük olur. Bu durumda aralıktaki elektrik alanı, uygulama gerilimi $U(t)$ ve dielektrik yüzeyindeki yük yoğunluğu $\sigma(t) = |\sigma_1(t)|$ parametrelerinin değerlerini belirlemek gerekir. Dolayısıyla Gauss teoremine göre elektrik alanının ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir (Nikandrov, 2005):

$$E = U \frac{1}{L + \frac{2d}{\epsilon}} + \sigma \frac{8\pi}{L + \frac{2d}{\epsilon}} \frac{d}{\epsilon} \quad (1.2)$$

Aralıktaki alanın E_d (*Elektrik alanının delinme sınırı değeri*) seviyesini aşması durumunda ise boşalma akımı hızlı bir şekilde artar. Elektrik alanının bir fonksiyonu olan boşalma akımı ise elektrik alanı üzerindeki Townsend'in birinci iyonlaşma katsayısı olan α 'ya bağlı olarak üstel bir fonksiyon şeklinde değişir. Buradan özetle şu sonuca varılabilir: Townsend boşalmasında elektrik alan şiddeti, delinme elektrik alan şiddeti değerini aşamaz (yani $|E(t)| \leq E_d$). Bu durumda boşalma, uygulama geriliminin her bir periyodunda iki faza ayrılır. Birinci faz durumunda $\left(t^* < t < \frac{\pi}{2\omega} \right)$ boşalma aralığındaki iletim akımı, yüzey yük yoğunluğunu değiştirir ve elektrik alanını $E = E_d$ seviyesinde tutar. Denklem 1.2'ye göre yüzey yük yoğunluğu ikinci Fazda $U(t)$ 'ye bağlı olarak değişir $\frac{\pi}{2\omega} < t < \frac{\pi}{\omega} + t^*$. Bu durumda elektrot aralığındaki elektrik alanı E_d 'den daha az olur. Bu fazın en başında bütün yüklenmiş parçacıklar gaz aralığından dielektrik tabakanın yüzeyine taşınır. Bu durumda iletim akımı sıfır olur ve yüzey yük yoğunluğu sabittir. Denklem 1.2'ye göre uygulama gerilimindeki herhangi bir değişikliğin gerçekleşmesi, gaz aralığındaki elektrik alan şiddetini de değiştirecektir.

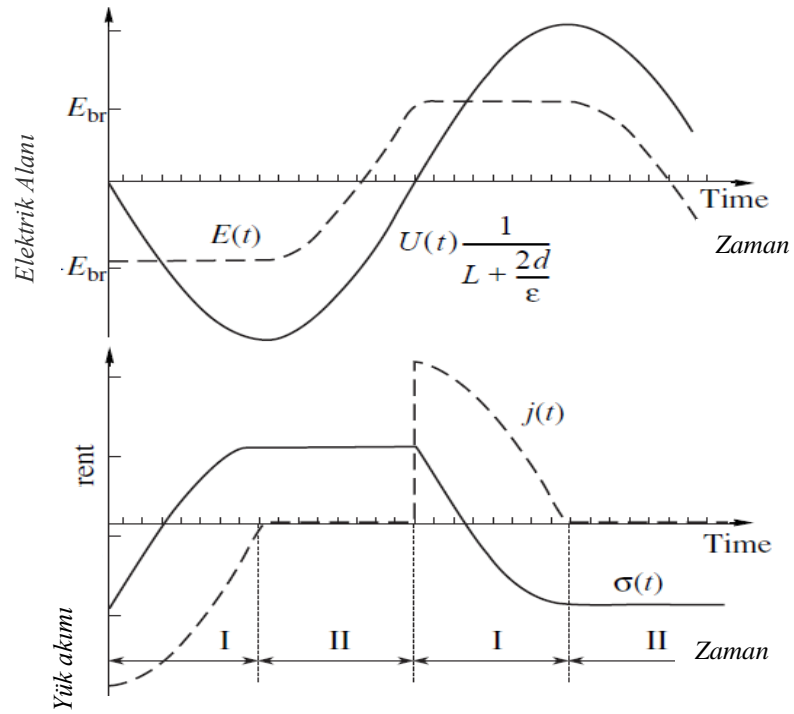
Elektrik alanı, yüzey yük yoğunluğu ve sinüsoidal gerilim durumundaki akımın zamana göre değişimleri ise Şekil 1.3'te gösterilmiştir (Nikandrov, 2005).

$$U_{\max} > 2L \left(1 + \frac{2d}{L\epsilon} \right) E_d \quad (1.3)$$

Uygulama geriliminin düşük değerlerinde Denklem 1.3'e göre delinme gerçekleşir ve $U(t)$ işaret değiştirir. Buna karşılık aşırı yüksek gerilim durumunda ise delinme, $U(t)$ işaret değiştirmeden önce gerçekleşir. Buradan görülüyor ki, I. faz ve II. faz süreleri uygulama geriliminin genliğine bağlıdır. Bu durumu karakterize eden elektrik alanının zamana göre değişim grafiği Şekil 1.3'te verilmiştir (Nikandrov, 2005).

Denklem 1.2'den, elektrik alanını sınırlamak için gerekli olan iletim akımı aşağıdaki şekilde belirlenir (Nikandrov, 2005):

$$j = \frac{d\sigma}{dt} = \begin{cases} \frac{dU}{dt} \frac{\epsilon}{8\pi d}, & t \in \text{I. Faz} \\ 0, & t \in \text{II. Faz} \end{cases} \quad (1.4)$$



Şekil 1.3. Akım, yüzey yükü ve gaz aralığındaki elektrik alanının zamana göre değişim grafiği (Nikandrov, 2005)

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Geyter ve arkadaşları tarafından 2007 yılında yapılmış olan çalışmada, polietilenteraftalat (*PET*) ve polipropilen (*PP*) filmleri şeklindeki dielektrik tabakaları kullanılarak orta basınçtaki (5.0 *kPa*) hava, helyum ve argon ortamında gerçekleştirilen Dielektrik Bariyer Boşalması'nın (*DBB*) parametreleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yöntem olarak *DBB* Plazma ile modifiye edilmiş yüzeylerin temas açısı ölçülmüş ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (*XPS*) analizi kullanılarak ölçülen bu parametrenin enerji yoğunluğunun bir fonksiyonu olduğu gösterilmiştir. Çalışmada ayrıca, hava, helyum ve argon ortamlarında modifiye edilmiş polimer filmlerde, *C-O*, *O-CO* ve *CO* gibi oksijen içeren grupların implantasyonundan dolayı yüzeysel yük yoğunluğunda dikkate değer bir artış olduğu gösterilmiştir. Polimer yüzeylerinde, boşalma esnasında oluşan ve oksijen türleriyle reaksiyona girebilen Atomik oksijen, *OH* radikalleri, *UV* fotonları ve iyonları gibi oksijen içeren radikallerin meydana geldiği gözlenmiştir. Çalışma neticesinde hava ortamında gerçekleştirilen plazmanın oksijen implantasyonunun, argon plazmasında oluşturulana göre daha verimli olduğu görülmüştür (Geyter ve ark., 2007).

S Okazaki ve arkadaşlarının 1993 yılında 50 Hz'lik bir kaynak kullanarak yapmış oldukları çalışmalarında, atmosferik basınçlardaki hava, argon, oksijen ve azot ortamlarında gerçekleştirilen *DBB*'nin olağanüstü parlaklıktaki mikroboşalmaların üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, daha düşük bir dielektrik delinme gerilimi fikrinden yola çıkılarak sunulmuştur. Plazma yüzey işlemleri ve plazma hacmindeki kimyasal reaksiyonlar için, belirtilen yarıçapta ve bir dielektrik maddeye sahip olan ince bir metal tel örgüden oluşan bir elektrot sistemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, oluşturulan bariyer boşalmasının *Gerilim-Yük* ve boşalma akım darbe şekillerinin Lissajous diyagramları elde edilmiştir (Okazaki ve ark., 1993).

Bu çalışmada, orta basınçlardaki (5.0 *kPa*) hava, helyum ve argon ortamında gerçekleştirilmiş olan bir dielektrik bariyer boşalmasının kullanılmasıyla dokumasız polietilen tereftalat (*PET*) ve polipropilen (*PP*) maddelerin modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Helyum ve argon ortamındaki boşalmalar, % 0.1'in altında hava fraksiyonu içermiştir. Maddelerin yüzey analizi ve karakterizasyonu, *X-ışını*

fotoelektron spektroskopisi, sıvı soğurma kapasitesi ölçümü ve taramalı elektron mikroskobu (*SEM*) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *C-O*, *O-C=O* ve *C=O* gibi oksijen içeren grupların birleşmesinden dolayı hava, helyum ve argon ortamında modifiye edilen dokumasız maddelerin sıvı emme kapasitesinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Plazmaya tabi tutulmuş olan dokunmasız kumaşların *SEM* görüntüleri, bu kumaşların yüzeylerinin fiziksel bozulmasına neden olmaksızın sıvı emme kapasitesinin bir doyma değerine kadar yükseltilebileceğini göstermiştir. Çalışmada ayrıca, plazma işlemine tabi tutulmuş olan malzemelerin hava ortamında depolanmalarından sonraki yaşlanma davranışları da incelenmiştir. Çalışma sonucunda yaşlanma süreci boyunca, indüklenen oksijen içeren grupların, materyalin hacmine tekrardan yöneldiği gözlenmiştir. Ayrıca, işlenmiş dokumasız maddeler için en düşük yaşlanma etkisi Argon-plazma ile olanında görülmüştür, ardından da helyum-plazmaya tabi tutulan dokumasız kumaşlarda gözlenmiş ve en büyük yaşlanma etkisi ise hava ortamında gerçekleştirilen plazma ile işlenmiş dokumasız maddelerde gözlenmiştir (Morent ve ark., 2007).

Gibalov ve arkadaşlarının 2000 yılındaki çalışması, iki iletken elektrot arasındaki bir dielektrik katman ile karakterize edilen bir dielektrik bariyer boşalmasının (*DBB*) konfigürasyonundan oluşmaktadır. Çalışma iki temel konfigürasyonda ele alınarak incelenmiştir. Bunlardan birincisi, gaz aralığındaki boşlukta gerçekleşen hacim boşalmasıdır; diğeri ise dielektrik tabaka yüzeyi ile normal elektrot yüzeyi arasında gerçekleşen bir yüzey boşalmasıdır. Çalışma sonucunda, atmosferik basınçta gerçekleşen *DBB* sırasıyla çok sayıda mikro boşalmalardan ve boşalma basamaklarından oluştuğu ve bu mikro boşalma sayılarının boşalma geriliminin genliği ile orantılı olduğu görülmüştür. Bu mikro boşalma olaylarının yaklaşık 10 ns gibi kısa bir süre aralığında gerçekleştiği ve deşarj bölgesi içerisinde bir miktar yük aktarımını sağladığı görülmüştür. Aktarılan toplam yük miktarı boşalma akımını ve dolayısıyla boşalmanın voltaj karakteristiğini belirler. Mikro boşalmalar (boşalma kademeleri) karmaşık bir mekanizmaya sahiptir. Dielektrik yüzey üzerindeki boşalma yapıları, uygulanan gerilimin kutup şekline, genlik derecesine ve dielektriklerin spesifik kapasitesine bağlıdır. Çalışmada ayrıca, hava ve oksijen ortamında gerçekleştirilen *DBB*'ler üzerinde deneysel bulgular sunulmuş ve tartışılmıştır.

Elde edilen veriler ışığında, kendiliğinden tutarlı bir iki boyutlu modelleme temelinde, bir mikro boşalma ve boşalma aşamasının zamansal ve mekânsal gelişimi sayısal olarak incelenmiştir. Alınan sonuçlar *DBB* dinamikleri hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlar. Hacimsel boşalma düzenlemelerinde katod yönelimli fiskiyelerin özellikle elektronegatif gazlarda görüldüğü, yüzeysel boşalmada ise oldukça az sayıda görünmüşlerdir.

Plazma-kimyasal reaksiyonlar için *DBB*'lerin uygulanması, elektrik alanının enerjisinin atomların ve / veya moleküllerin iç hallerine dönüştürülebildiği verimlilik ile belirlenir. Arzulanan üründen bağımsız olarak, moleküllerin veya atomların iç elektronik durumlarının üretilmesi ve moleküllerin ayrışması söz konusu olabilir. Hem yüzeysel boşalmada hem de hacimsel boşalma mekanizmalarındaki *DBB*'lerin boşalma akımı ve akım yoğunluğu, boşalma bölgesindeki enerji boşalması ve enerji yoğunluğu dağılımı vermektedir. Örnek olarak, enerji dönüşümünün ozon üretimine etkisi ayrıntılıdır. Boşalma parametrelerinin bazı özellikleri, örneğin boşalma şekilleri (mikro boşalmalar veya boşalma kademeleri) ile yüzey yük yoğunluğu arasındaki korelasyon ilişkisi tartışılmıştır (Gibalov ve ark., 2000).

Kriegseis tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, *DBB* plazma aktüatörlerinin karakteristik kapasitansını belirlemek için yeni bir yaklaşım yöntemi tanıtılmıştır. Çalışmada aktüatörün performansı kapsamlı olarak açıklanmış ve birkaç önemli miktarın etkileşimi açıklanmıştır. Çalışma gerilimi ve buna karşılık gelen güç tüketimi aktüatörün kapasitansını etkileyen faktörleri belirler. Elektrik devrelerinde zamana ve elektriğe bağımlı yük olarak plazma aktüatörlerine ilişkin sonuçlar bu yeni yaklaşımlardan çıkarılmıştır. Çalışma sonucunda, *DBB* tabanlı sistemlerin optimal empedans uyumunun sağlanması için gerekli adımların yanı sıra çalışma gerilimi gibi temel parametrelere bağlılığının önemi vurgulanmıştır.

Doğal kararsızlık mekanizmalarının çoğu laminer ve türbülanslı akış yapılandırmalarında mevcuttur. Genellikle, bu dengesizlikler farklı mekânsal ve zaman ölçeklerinde oluşan akış yapılarının oluşumuyla sonuçlanır. Etkili bir kontrol, bu dengesizliklerin üstesinden gelmek için momentum transferini geniş bir frekans aralığına getiren bir aktüatör gerektirir. Bu kontrol stratejisi için umut verici sonuçlar

beklenmektedir, çünkü kararlılık teorisine göre, küçük bir genlik bozulması, yüksek Reynolds sayısında bile önemli etkiler üretmek için yeterince büyük olabilir. Öte yandan, birkaç frekansta küçük dalgalanmaların eşzamanlı olarak üretilmesi doğrusal olmayan etkileşimleri geliştirebilir veya iptal edebilir; bu, akış kontrolü için alternatif yöntemler açar. Benard ve Moreau tarafından 2010 yılında yapılmış olan bu çalışmanın odak noktası, plazma aktüatörlerinin plazma aktüatöre uygulanan gerilim dalga biçimini basitçe ayarlayarak plazma aktüatörlerinin tek ve çift frekansta akış dalgalanmalarını uygulama kabiliyetini göstermektir. Burst, süperpozisyon ve halka modülasyonları ile sağlanan bir dielektrik bariyer boşalması tarafından üretilen akışlar zamansal ve frekans alanlarında tanımlanmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, termal olmayan plazma aktüatörlerinin tekli, çiftli veya çoklu frekanslarda oldukça kararsız akışlar üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (Benard ve Moreau, 2010).

Dielektrik bariyer boşalma (*DBB*) lambaları, homojen bir deşarj dağılımı ve sonuç olarak yüksek lamba verimliliğini sağlamak için darbeli çalışmayı gerektiren kapasitif yüklerdir. *DBB*'ler düşük bir Güç Faktörü (*PF*) ve neredeyse Dirac benzeri çok küçük bir güç tüketimine sahip olduklarından dolayı bu tip sürme devreleri daha avantajlıdır. Parazitik paralel rezonansın oluşması nedeniyle yüksek hacim, yüksek karmaşıklık ve güvenilirlik sorunları gibi trafo donanımlı devrelerin kısıtlamalarını önlemek için bu tip cihazlar Yüksek Gerilim Beslemeli Sinüsoidal Darbe (*HVS-SP*) devreleri prensibiyle çalışırlar. Giriş gerilimleri yüksek olup trafo gerektirmezler. Ana avantaj olarak, transformatörsüz tasarım aynı zamanda daha yüksek bir darbe frekansı sağlar. *DBB* kapasitansında depolanmış olan enerjiyi kullanarak, devrenin gerilim yükseltmesi, transformatör donanımlı varyantlara kıyasla daha yüksektir. Deneysel veriler, % 80'lik bir elektrik verimliliği sağlandığını göstermiştir (Meisser ve ark., 2011).

Elektrohidrodinamik (*EHD*) ve manyetohidrodinamik kavramlar yaygın olarak Aerodinamik uygulamalar için kullanılır. Bu kavramların başlıca etkileri, gazın, vücut kuvveti üretiminin ve entalpi artışının veya ekstraksiyonunun ısıtılmasıdır. Özellikle, asimetrik dielektrik bariyer boşalma (*DBB*) plazması aktüatörlerinin, aerodinamik kontrolünde etkili olanın, *EHD* cihazı olduğu bilinmektedir. Deneysel çalışmalar, *EHD*'nin ayırma kontrolü, akustik gürültü azaltma ve diğer havacılık uygulamalarındaki

etkilerini göstermiştir. Bu çalışmada, sinüsoidal gerilimlerle tahrik edilen konvansiyonel *DBB* aktüatörlerinin aksine, *DC* bias gerilimi üzerine bindirilmiş nanosaniye darbelerinden oluşan bir gerilim şekli önerilmiş ve kullanılmıştır. Bu durum, esasen kendiliğinden kalıcı bir boşalma olan plazmayı üretir. Bu tür plazma, tekrarlanan kısa darbelerle oluşturulur ve gazın bastırılması, esas olarak ön besleme geriliminden kaynaklanır. Kendi kendini besleyen bu sürekli boşalmanın avantajı, iyonizasyon darbeleri ve sürme gerilimi gibi parametrelerinin birbirinden bağımsız olarak değiştirilebilmesidir ve bu da aktüatörlerin performansının kontrol ve optimizasyonuna esneklik katar. Deneysel çalışmalar, tek bir *DBB* aktüatörü tarafından hareketsiz bir hava ortamında indüklenen bir akıştan gerçekleştirilmiştir. Pasif gazda aktüatör kaynaklı indüklenen akışın teşhisi üç yöntemin bir araya getirilmesi ile yeni bir yaklaşım modeli olarak önerilmiştir. Bu yöntemler: schlieren tekniği, plazma aktüatör çalışmasının patlama modu ve 2-D sayısal akışkan modellemesidir. Deneyler sırasında *DBB* performansının dielektrik üzerindeki yüzey yükü birikimi ile ciddi şekilde sınırlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, yüzey yükünü hafifletmek için birkaç yol belirlenmiştir. Bunlar: tersine çevrilmiş bir *DC* öngerilim potansiyeli, üç elektrot konfigürasyonu, hafif iletken dielektrikler ve yarı iletken kaplamalar olarak verilmiştir. Kuvvet dengesi ölçümleri, önerilen konfigürasyonların etkinliğini ve yeni gerilim profilinin (darbeler + besleme) avantajlarını sinüzoidal biçimli nispeten düşük voltajlarda kanıtlamıştır. Pratik uygulamalar göz önünde bulundurulduğunda, aktüatörlerin gerçek boyutlu modellerle ölçeklenmesine eşlik eden elektrodinamik etkiler ve çevresel etkiler olan ozon üretiminin plazma aktüatörleri tarafından etkileri gibi belirli konular da ele alınmıştır (Opaits, 2012).

Bu çalışmada, akış denetimi için aktüatörler olarak yüzeysel dielektrik bariyer boşalmaları (*DBB*'ler) önerilmiştir. Çalışma kapsamında, gaz molekülleri üzerindeki boşalmanın uyguladığı elektrohidrodinamik (*EHD*) kuvvetin temel mekanizmaları tartışılmıştır. *DBB*'nin iki boyutlu bir akışkan modeli, plazma dinamiklerini tanımlamak, *EHD* kuvveti ile ilişkili temel fiziği anlamak ve basitleştirilmiş koşullar altında kuvvetin niceliksel kestirimini vermek için kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, rampa veya sinüzoidal gerilim dalga formları için boşalma, bir Filament plazmanın yüzey boyunca yayılmış ve uzun süre, bir Townsend veya korona tipli düşük akımlı boşalma fazları ile

ayrılan büyük genlikli kısa akım darbelerinden oluştuğunu göstermiştir. Çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda, farklı boşalma rejimleri ve *EHD* kuvvetinin gerilim yükselme zamanı ve dielektrik kalınlığının bir fonksiyonu olarak parametrik bir çalışma hakkında bazı açıklamalar sunulmuştur (Boeuf ve ark., 2007).

DC veya alternatif sinüzoidal veya kare dalga besleme gerilimi üzerine bindirilen yüksek voltajlı nanosaniye süreli tekrarlayan darbelerden oluşan gerilim dalga formları tarafından tahrik edilen bir asimetrik dielektrik bariyer boşalması ile başlangıçta hareketsiz bir hava ortamında indüklenen bir akış işlemi deneysel olarak incelenmiştir. Darbeleri karakterize etmek ve plazma ile eşleşmelerini optimize etmek için, isteğe bağlı empedans yükü ile kısa darbe hesaplamaları için sayısal bir kod geliştirilmiştir. Çalışmada, durgun gaz ortamında plazma aktüatörle indüklenen akışın koordine edici olmayan teşhisi için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bunlar, birbirine bağlı üç elementten oluşur: schlieren tekniği, plazma aktüatör çalışmasının patlama modu ve iki boyutlu sayısal sıvı modellemesidir. Bir plazma modeli ile hesaplanan kuvvet ve ısıtma oranı, zamana bağlı indüklenmiş bir dielektrik bariyerin boşaltım akış alanını tahmin etmek için iki boyutlu viskoz akış çözücüsüne bir girdi olarak kullanılmıştır. Bu yaklaşım, iki boyutlu dengesiz plazmanın uyardığı akış modelinin yanı sıra plazmanın uyardığı kuvvetin özelliklerini de geri kazanmamızı sağlamıştır. Hem deneyler hem de hesaplamalar, aktüatör tarafından indüklenen aynı girdap akış yapılarını göstermiştir. Çalışmada, farklı besleme gerilimlerindeki vortekslerin parametrik çalışmaları, darbe polariteleri, tepe darbe gerilimleri ve darbe tekrarlama oranları deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yük birikiminin dielektrik yüzey üzerindeki önemi gösterilmiştir. Yükün oluşumu, plazmadaki etkili elektrik alanını azaltmış ve plazma aktüatör performansını azaltmıştır. Biriken yüzey yükü, yüksek gerilimli düşük frekanslı bir sinüzoidal gerilimin üstüne yerleştirilmiş yüksek gerilimli nanosaniye tekrarlamalı darbelerden oluşan ve yeni önerilen gerilim dalga formuna yol açan besleme polaritesini değiştirerek kaldırılabilir. Çalışma neticesinde, yeni gerilim dalga formunun avantajları deneysel olarak gösterilmiştir (Opaits ve ark., 2008).

Bu çalışmada, atmosferik havadaki asimetrik yüzey dielektrik bariyeri boşalmasının elektriksel özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Boşalma, dielektrik yüzeye yakın hava akımı üretimi için kullanılmış ve zaman ortalamalı akış hızı

mekânsal profilleri ölçülmüştür. Yüzey boyunca 20 mA'e kadar akım pikleri ile filamentli boşalmalar üretildiğinde bu akım pikleri, 1-2 mm yüksekliklerde $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 'e kadar olan hızlara ulaşır. Güçler açısından değerlendirildiğinde, girişte 10 W'a kadar olan elektrik gücü, çıkışta ise birkaç milliwatt'lık mekanik güçler elde edilir. Çalışma neticesinde, birkaç boşalma parametresi (uygulanan gerilim dalga formu, elektrotlar arasındaki mesafe, dielektrik kalınlığı ve dielektrik geçirgenlik) ile değişkenlik yasaları veya boşalmanın davranış mekanizması gibi parametreler deneysel olarak belirlenmiştir (Pons ve ark., 2005).

Gulubovskii ve arkadaşları tarafından 2002 yılında yapılmış olan çalışmada, helyum gazı ortamında homojen bariyer boşalmasının uzay-zaman karakteristiklerinin sayısal hesaplamaları tek boyutlu bir akışkan modeliyle gerçekleştirilmiştir. Temel işlemlerin boşalma davranışı üzerindeki etkisi, ilgili hız sabitlerinin değişimi ile incelenmiştir. Simülasyon ve analitik yorumlamalar homojen bariyer boşalmasının iki temel modu, yani Townsend ve ışımaya modları için yürütülmüştür. Townsend boşalması, quazinötral plazma yokluğu ile karakterize edilmiştir; akımın yarım periyodunda birkaç tepe oluşabilir. Akımın bu salınımları, anoda yakın olan iyon üretimi ile katottaki daha sonra oluşacak iyon elektron emisyonu arasındaki gecikmeden kaynaklanır. Parlak boşalmanın özelliği, arıza sırasında bir katot bölgesinin ve pozitif bir kolonun gelişmesinin yanı sıra sonraki safhalarda quazinötral plazmanın varlığıdır. Plazma tarafından harici alanın korunması anlık olmadığı için pozitif kolon, oluşur. Boşalmanın davranışı uygulanan gerilimin genliği ve frekansına, boşalma aralığının genişliğine ve dielektrik bariyerlerin kalınlığı gibi dış parametrelere bağımlılığı analiz edilmiştir. Boşalma modu çoğunlukla aralık genişliği ve bariyer kalınlığı tarafından yönetilir ve uygulanan gerilimin genlik ve frekansına zayıf derecede bağlıdır. Bariyerler ince olduğundan ve deşarj aralığı yeterince geniş olduğu için boşalmanın glow modu oluşur; aksi halde boşalma Townsend modunda gerçekleşir (Gulubovskii ve ark., 2002).

Bu çalışmada, dielektrik bariyer boşalmasına dayanan 300 W gücündeki radyo frekanslı (13.56 MHz) bir güç kaynağı tarafından oluşturulan atmosferik basınçtaki argon ortamında düzensiz bir glow boşalması araştırılmıştır. Çalışmada yöntem olarak, bir parazitik kondansatörün atmosferik basınçlı kapasitif plazmaya bağlanarak plazmanın elektriksel özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda,

RF akımının yarısından fazlasının, kapasitif olarak birleşmiş plazmanın karakteristiği olarak sistemimizde bir parazit şeklinde ortaya çıktığı görülmüştür. Empedans azalırken, boşalma direnci ve kılıf kapasitansının daha yüksek giriş güçlerinde arttığı da kanıtlanmıştır. Plazmayı analiz etmek için optik emisyon spektroskopisi cihazı kullanılmıştır. Argon, oksijen, bakır ve azot spektrumu çizgileri teşhis edilmiştir. Plazma gaz sıcaklığı ve elektronik uyarılma sıcaklığı incelenmiş ve dengesiz bir plazma özelliğini göstermiştir (Sohbatzadeh ve ark., 2012).

Bu çalışma, şeffaf elektrotlu bir cihazda atmosferik basınçta mikro boşalmalı dielektrik bariyer boşalmalarının (*DBB*) plazma ışınımı üzerine bir yöntem sunmuştur. *DBB* radyasyon ortam gazlarının iyonizasyon durumunu tanımlamak için kullanılmıştır. Atmosferik değerlere yakın basınç aralığında termal olmayan bir dengeli plazma oluşturabilir. Bu tip bir elektrik boşalmasının ana avantajı, vakum tertibatının kaldırılmasına rağmen düşük sıcaklıklarda kimyasal tepkime için aktif türlerin üretilmesidir. Bu durum, ozon sentezi, *UV* lamba ve *CO₂* lazerleri de dâhil olmak üzere bir dizi önemli uygulamaya yol açmıştır. Sonuç olarak, uygulanan gerilim, uygulanan frekans ve *DBB*'nin konfigürasyonu boşalmanın radyasyonunu etkileyebilir. Atmosfer basıncındaki dar boşalma aralığı, daha ince dielektrik tabaka, yüksek frekanslı ve yüksek voltajlı güç kaynağı gibi bazı parametreler mikro boşalma *DBB*'sinde kullanılır. Bu parametrelerin iyileştirilmesi, *DBB*'nin deşarj aralığındaki elektrik alan şiddetini ve güç yoğunluğunu arttırmada oldukça yararlıdır. Bu nedenle atmosfer basıncında güçlü bir iyonlaşma boşalması gerçekleşebilir (Zhang ve ark., 2004).

Dielektrik bariyer boşalması (*DBB*) kaynağı, seramik kaplı bir bakır elektrottan oluşmuş ve delinme koşulları yerine getirildiğinde plazma topraklanmış 'karşıt' elektrotlarla veya yüksek kapasitanslı nesnelere (ör. İnsan vücudu) ortam koşullarında tutuşabilir. Aynı kaynak, alüminyum plaka ve fosfat tamponlu tuz çözeltisi gibi topraklanmış karşıt elektrotlar ve cam üzerinde çalıştırıldığında ise homojen bir filament plazma modu gözlemlenir. Kaynak insan vücudu üzerine uygulandığında ise hem homojen hem de filamentli boşalmalar aynı anda gerçekleşir ve bu da iki ayrı boşalma ile çözümlenemez. Bu durumda, yukarıda bahsedilen topraklanmış elektrotları kullanarak, optik emisyon spektroskopisi, mikrofotografi ve sayısal simülasyon uygulayarak, *DBB* plazma kaynağının filament ve homojen modlarının

karakterizasyonu bildirilmiştir. Elektron hız dağılım fonksiyonu ve elektron yoğunluğu gibi ortalama plazma parametreleri belirlenmiştir. İşlenmiş yüzeye ulaşan nitrik oksit, ozon ve fotonların fleksleri simüle edilmiştir. Tekli filamentli boşalma (aynı pozisyonda oluşturulmuş boşalma), stokastik filamentli boşalma ve homojen boşalma olmak üzere farklı boşalma modlarında elde edilen bu akışlar, insan derisinin tedavisinde kullanımlarını belirlemek için karşılaştırılmıştır. Tek filaman modunda fotonların ve kimyasal olarak aktif parçacıkların akışlarının en yüksek olduğu fakat işlemde geçirilmiş yüzey alanının çok küçük olduğu sonucuna varılmıştır. Daha geniş alanı tedavi etmek için ise homojen *DBB*'nin stokastik filamentik deşarjdan daha etkili olduğu görülmüştür (Rajasekaran ve ark., 2010).

Bu çalışmada, atmosferik basınçtaki helyum ortamında gerçekleştirilen yüzeysel bariyer boşalmasında düşük frekanslı iyonizasyon dalgaları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, uygulanan gerilim artışının dalga frekansını arttırdığı görülmüştür. Ayrıca, düşük gerilimde uyarılan kararlı osilasyonların türbülanslı hale geldiği ve nihayetinde yüksek gerilim durumunda ise düzensiz bir boşalma oluşturarak ortadan yok olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak bu tür iyonizasyon dalgalarının dağılıma ilişkileri tartışılmıştır (Srivastava ve ark., 2010).

Bu çalışmada, μs darbeleri yüksek gerilim güç kaynağı kullanılarak ve dielektrik bariyerler olarak epoksi plakalı iki simetrik-sütunlu bakır elektrot arasında, atmosferik basınçtaki hava ortamında gerçekleştirilmiş olan homojen dielektrik bariyer boşalması (*DBB*) incelenmiştir. Homojen *DBB*'nin boşalma özellikleri, elektrik boşalma parametrelerinin ölçülmesi ve ışık yayılımı olaylarının gözlemlenmesi ile incelenmiş ve boşalma akımı ve ortalama boşalma gücü gibi ana boşalma parametreleri hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar, üretilen boşalmanın homojen olduğunu ve her gerilim darbesinde yaklaşık $2 \mu\text{s}$ süren daha büyük tekli akım darbesinin olduğunu ve ışık emisyonunun radyal olarak homojen olduğunu ve ayrıca boşalmanın her iki elektrotun tüm yüzeyini kapladığını göstermiştir. Boşalma modlarının geçişine uygulanan gerilimin genliği, hava aralığı mesafesi ve bariyer kalınlığının etkileri incelenmiştir. Hava aralığı mesafesinin artmasıyla boşalma homojen moddan filament moduna geçmiştir. Dielektrik bariyerlerin kalınlığı ne kadar yüksek olursa, homojen boşalma modunu elde etmek için hava aralığı mesafesi de o kadar büyük olur. Ortalama

boşalma gücü, uygulanan gerilimin genliğindeki artışla doğrusal olmayan bir şekilde artmış ve hava aralığı mesafesi ile bariyer kalınlığının artmasıyla doğrusal olmayan bir şekilde azalmıştır. Yüksek boşalma gücü ile dengeli ve homojen *DBB* üretmek için ince bariyer tabakası kullanılmalı ve küçük hava aralığına daha yüksek genlikli gerilim uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır (Zhi ve ark., 2011).

Plazmanın polimerler üzerindeki etkisi, geleneksel kimyasal işlemlere kıyasla sayısız avantajlar sunduğu için yüzey modifikasyonu tekniği giderek daha fazla popülerlik kazanmaktadır. Plazma yardımıyla yüzey aktivasyonu işlemi, çevre açısından zararsız, hızlı ve çok yönlü bir teknolojidir. Bununla birlikte, önemli bir dezavantajı vardır: Yüzeyin düzeltilmemiş duruma gelme eğilimi gösterdiği için, yüzeyin uyarılmış modifikasyonu kalıcı değildir. Yaşlanma etkisi, indüklenen polar kimyasal grupların malzemenin yığına yeniden yönlendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, orta basınçtaki (5.0 *kPa*) hava, helyum ve argon ortamında çalışan bir dielektrik bariyer boşalmasına tabi tutulmuş polipropilen (*PP*) ve polietilen tereftalatın (*PET*) filmlerinin eskimesi incelenmiştir. Bu çalışma temas açısı ölçümleri ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (*XPS*) yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar plazma işlemi sırasında kullanılan gazın *PP* ve *PET* filmlerin yaşlanma davranışları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Hava, helyum ve argon plazma ile işleme tabi tutulmuş *PP* filmler, sırasıyla % 47, % 35 ve % 25'lik bir işlem verimliliği kaybına uğramıştır. Bu durum, plazma muamelesinden sonra polimer filmlerin çapraz bağlantı dereceleri ile açıklanabilir. Çapraz bağlama derecesinin arttırılmasının, polimer zincirlerinin hareketini engellediği ve yaşlanma etkisini azalttığı görülmüştür (Morent ve ark., 2007).

Bu çalışmada, dielektrik bariyer boşalması (*DBB*), 5 ila 1000 *mbar* arasındaki basıncın bir fonksiyonu olarak helyum ve azot ortamında araştırılmıştır. Basınç, güç ve elektrot aralığına bağlı olarak boşalmanın, Glow, Townsend, çoklu darbeleri ve filamentli şeklindeki farklı rejimleri gözlemlenmiştir. Helyum ortamında *DBB*, yüksek güçte çoklu darbeleri veya Townsend boşalmasına geçiş yapan Glow benzeri bir boşalmadır. Azot ortamındaki boşalma, Townsend benzeri ve 300 *mbar*'ın altındaki çoklu darbeleri moduna geçiş göstermiştir. Geniş aralıklar için filament moduna geçiş gözlenmiştir. Hızlı görüntüleme sistemi kullanılarak azot ortamında çoklu darbeleri modu araştırılmıştır.

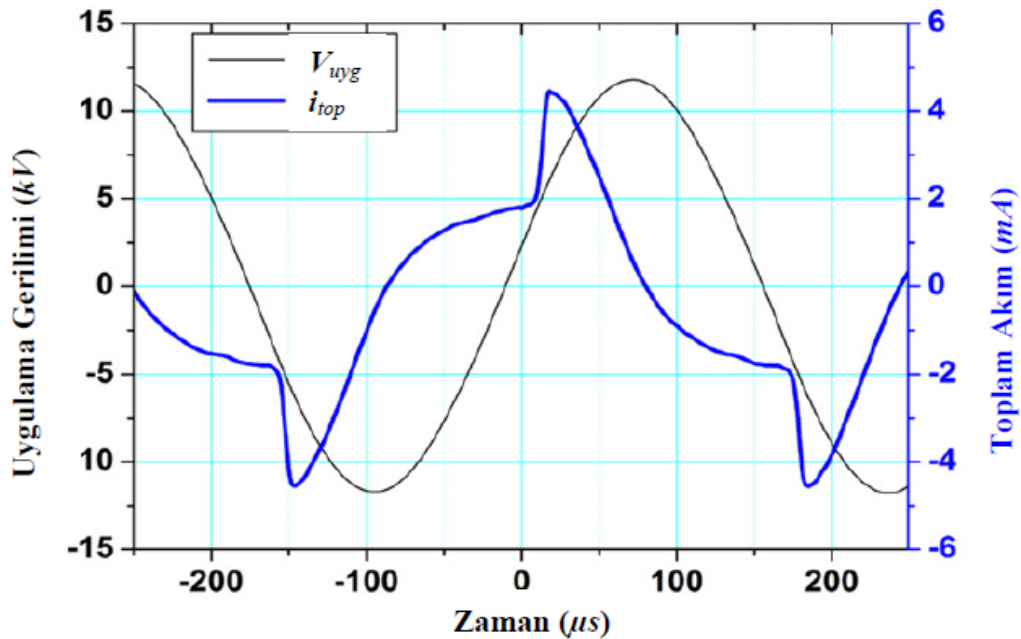
Elektriksel ölçümlenmeli ve zaman çözömlenmeli optik emisyon spektroskopisi kullanılarak boşalma karakterize edilmiş ve metastabil türlerin basıncın bir fonksiyonu olarak incelenmesi ve boşalmanın başlangıç koşulları analiz edilmiştir. Alınan sonuçlar, düşük vakumdaki *DBB*'lerin çalışması için yeni perspektifler sunmuştur (Sublet ve ark., 2006).

Mikroorganizmalara ve canlı dokulara soğuk atmosferik plazma uygulaması modern plazma fiziğinde ve tıp bilimlerinde popüler bir konudur. Plazma bakteri inaktivasyonu ve inflamatuvar olmayan doku modifikasyonunu gerçekleştirebilir, bu da deri hastalıklarının, açık yaralanmaların ve diş çürüğü tedavisinde dikkat çekici bir araç haline gelir. Geliştirilmiş plazma kimyası nedeniyle, son zamanlarda dielektrik bariyer boşalmaları (*DBB*'ler) ortam koşullarında ortamın biyolojik ve kimyasal dekontaminasyonu gibi bazı yeni uygulamalar için geniş çapta araştırılmaktadır. Atmosferik basınçlardaki hava ortamında oluşturulan *DBB* boşalmalarının ortalama akımı yüksek gerilime rağmen düşüktür. Dolayısıyla, bir *DBB* biyolojik nesnelere doğrudan temas halinde herhangi bir zarar vermeden uygulanabilir. Bu çalışmada soğuk atmosferik plazma üreten *60 Hz* bir *DBB* reaktörü ile Petri kaplarındaki bakteri kültürü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma için bir Gram pozitif bakteri *Staphylococcus aureus* ve bir Gram negatif bakteri *Escherichia coli* örnekleri seçilmiştir. Bakteri süspansiyonları, Petri tabaklarında ekilmiş agar medya üzerine eşit şekilde yayılmıştır. Reaktör elektrotları Petri kabının dışına yerleştirilmiş ve böylece mikrobik kontaminasyon riskini ortadan kaldırmıştır. İçerisinde agar ortamı olan kapalı Petri kabı, işlem sırasında dielektrik bariyer görevi görmektedir. Plazma işlemi, farklı maruz kalma süresi ile aynı boşalma gücünde ($\sim 1.0 W$) gerçekleştirilmiştir. *E. coli* ve *S. aureus*'un sterilizasyonu 20 dakikadan daha az sürmüştür. Bakterilerin plazmaya bağlı yapısal hasarları Taramalı Elektron Mikroskobu ile araştırılmıştır (Kostov ve ark., 2010).

Bariyer boşalmaları, genellikle difüze modlarda oluşturulabilir. Çok sayıda bireysel mikro boşalmalarla karakterize edilen olağan filament rejiminin aksine, diffüze bariyer boşalmalarının plazması elektrot yüzeyinin tamamını düzgün bir şekilde kaplar. Çalışma koşullarına (gaz bileşimi, uygulama geriliminin genliği ve frekansına) bağlı olarak, atmosferik basınçtaki Townsend boşalması (*ABTB*) ve atmosferik basınçtaki

glow boşalması (*ABGB*) gibi farklı dağınık modlar incelenebilir. Bu çalışmanın konusu, *ABTB* ve *ABGB* arasındaki geçişin yanı sıra, difüze ve filamentli bariyer boşalma modları arasındaki farklılıklardır. Bu nedenle, bariyer boşalmaları, N_2 / H_2 , N_2 / He , N_2 / Ne ve N_2 / Ar gaz karışımlarında incelenmiştir. *APTD*'nin varlığı moleküler azotun metastabil durumlarının varlığına bağlanırken soygaz olan helyum ve neonda *ABGB*'nin, nispeten düşük bir elektrik alanındaki yüksek iyonizasyon hızından dolayı oluştuğu gözlenmiştir ve buna, kararlı olmayan inert gazlar ve azot safsızlıklarını içeren dolaylı iyonlaşma mekanizmaları yardım etmiştir. Ayrıca, filamentli bariyer boşalmaları için açıklanan dielektrik bariyerler üzerindeki artık yüzey yüklerinin benzer bir durum etkisi diffüze bariyer boşalmalarında gözlenmiştir.

Şekil 2.1'de Haiyun Luo ve ekibi tarafından yapılan deneysel çalışmadaki homojen boşalmanın tipik dalga biçimi görülmektedir. Sisteme uygulanan geriliminin frekansı 3 kHz ve elektrotlar arası mesafe ise 2 mm olup deneyler azot gazı ortamında gerçekleştirilmiştir. Deneyde ölçülen toplam akımın dalga biçimi ise bir kambur yapı ve bir pik olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Akımın kambur kısmı mevcut deplasman (kapasitif) akımını, pik kısmı ise boşalma akımını karakterize etmektedir. Boşalma akımının değeri, toplam akımdan kapasitif akım çıkarılarak elde edilir (Luo ve ark., 2010).



Şekil 2.1. DBB'nin azot ortamındaki gerilim ve akımının osilasyon biçimleri (LUO ve ark., 2010)

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Elektrik gaz boşalmalarının önemli bir türü olan bariyer boşalmalarının farklı gaz ortamlarında incelenebilmesi için bazı uygulamalara karşılık gelen ve elektrotlardan herhangi biri veya her ikisi bir dielektrik (cam veya *PET*) tabakasıyla kaplanmış olan *Düzlem-Düzlem* elektrot sistemlerinden yararlanılmıştır. Bu elektrot sistemlerinin imal edildiği malzemenin türü, geometrik şekli, elektrotlar arası açıklık ve ortamdaki gazın türü, dielektrik tabakanın geometrik şekli ve permitivitesi, uygulama gerilimi ve uygulanan gerilimin frekansı gibi parametreler boşalmanın tutuşması, gelişmesi ve sönümlemesi açısından önemli birer etkendirler. Deneysel olarak yapılan bu tez çalışması kapsamında kullanılan elektrot sistemi paslanmaz bronz malzemeden imal edilmiştir. Mevcut çalışma için tasarlanan her iki elektrot sistemi hassas torna yardımıyla ve yüzeyleri pürüzsüz olarak dairesel disk şeklinde imal edilmiştir. İmal edilen bu elektrotlar özel olarak tasarlanmış olan ve vakumlanabilen bir fiberglas tüp içerisine yerleştirilerek elektrot açıklığı 5 mm olacak şekilde sabitlenmiş ve belirli değerlerde vakumlanarak veya vakumlandıktan sonra ortama çeşitli gazlar eklenerek gerekli deneysel ölçümler alınmıştır.

Deneysel çalışmalar Siirt Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi *B* Bloktaki Yüksek Gerilim Araştırma Laboratuvarında atmosferik koşullarda ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deney seti kapsamında besleme gerilimi için dâhili tip bir gerilim trafosu, elektrot açıklıkları 5 mm olarak ayarlanmış olan bir *düzlem-düzlem* elektrot sistemi, manuel olarak ayarlanabilen ve 0-33 kV arası gerilim verebilen 220/33000 v dönüştürme oranına sahip olan bir AC Transformatör ile bu transformatörü beslemek amacıyla 0-220 v aralığında çıkış gerilimi verebilen bir ayarlı gerilim kaynağı ile dijital olarak ayarlanabilen 0-220 v ve 45-500 Hz arası frekans çıkışları sağlayabilen bir AC güç kaynağı kullanılmıştır.

Dâhili tip gerilim trafosu bir fazlı olarak imal edilmiş ve toprak terminali bina topraklamasından bağımsız olup özel olarak hazırlanmış olan bir topraklama sistemine

sahiptir. Kullanılan trafo 220/33000 v dönüştürme oranına sahip olup 1 kVA gücündedir. Deney sisteminin genel görüntüsü Şekil 3.1’de verilmiştir.



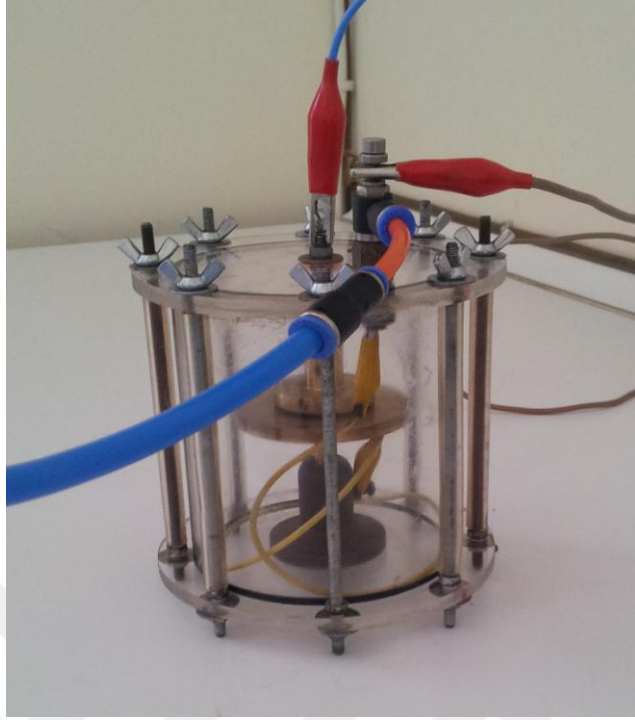
Şekil 3.1. Deney sistemi görüntüsü

Şekil 3.2.’de gösterilen dijital AC güç kaynağı *GWINSTEK APS-9501* modeli olup 0-300 v aralığında 1’er voltluk adımlarla çıkış gerilimi ve 45-500 Hz frekans aralığında 1 Hz’lik adımlarla AC çıkış gerilimi sağlayabilecek özelliklere sahiptir. Kaynağın gücü ise 500 VA değerindedir. Güç kaynağı ayrıca 5 kanal hafıza özelliğine sahip olup dijital ekranında frekans, gerilim, akım, güç ve güç faktörünü gösterme özelliklerine sahiptir. Güç kaynağının çıkışı kısa devre koruma özelliğine sahip olup aşırı akım durumlarında devreyi hızlı bir şekilde keserek aşırı ark oluşumunu önleyebilecek özelliktedir. Dolayısıyla boşalma akımının 5 A’lik bir değeri aşması durumunda devreyi otomatik olarak keserek dielektrik tabakaların zarar görmesini önleyecektir.



Şekil 3.2. Dijital AC Güç kaynağı

Deney sisteminde kullanılan önemli materyallerden biri de *Düzlem-Düzlem* elektrot sistemidir. Bu elektrotlar arasına polietilentraftalat (*PET*) malzemeden üretilmiş olan 12.7 mikrometre (μm) kalınlığında dairesel olarak kesilmiş olan bariyer tabakası yerleştirilmiş olup elektrotlar arasındaki mesafe 5 mm sabit olarak ayarlanmış ve tüm deneyler için bu değer kullanılmıştır. Düzlem elektrotlardan üst elektrodun çapı 25 mm; alt elektrodun çapı ise 50 mm ve kalınlıkları ise 5 mm olarak imal edilmiştir. Hazırlanmış olan düzlemsel elektrot sistemi 5,5 mm yarıçapında ve 12 cm yüksekliğindeki silindir şeklindeki vakumlanabilir bir tüpün içine yerleştirilmiştir. Tüpün et kalınlığı 5 mm olup şeffaf plexiglas malzemeden imal edilmiştir. Tüpün alt ve üst kapakları sızdırmaz oring conta ile izole edilerek gaz sızdırmazlığı sağlanmıştır. Tüpün sadece bir adet gaz Giriş/Çıkışı mevcuttur. Dolayısıyla, tüp öncelikle bir vakum pompası yardımıyla yaklaşık olarak 10^{-3} hPa değerine kadar vakumlandıktan sonra vakum vanası kapatılıp daha sonra gaz vanası açılarak elektrot sisteminin bulunduğu ortama yaklaşık olarak atmosferik basınç değerlerinde istenilen türdeki gaz basılmıştır. Ortamın gaz türü ve basınç değerleri sağlandıktan sonra tüm vanalar kapatılarak elektrot sistemine belirli adımlarla uygulama gerilimi beslenmiştir. Gerilimin her artış kademesinde karşılık gelen akım değeri kaydedilmiştir. Gerilim artışı boşalma akımının, kaynak akımının üst sınır değerine ulaşıncaya kadar yapılabilir fakat kaynak akımının üst sınır değerini aşması durumunda gerilim kaynağı otomatik olarak devreyi kesip koruma moduna geçer. Bu durum dielektrik tabakaların tahrip olmasını önleme açısından istenen bir durumdur. *Düzlem-Düzlem* elektrot sistemi ve vakumlanabilir deney reaktörünün görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Düzlem-Düzlem elektrot sistemi ve vakumlanabilir reaktörün görüntüsü

Deney setinin kumanda elemanları olarak ayrıca 50 Hz sabit frekansta $0-220\text{ v}$ çıkış gerilimi verebilen ve 500 VA gücüne sahip olan manuel olarak ayarlanabilen bir adet varyak kullanılmıştır. Boşalmanın akım ve gerilim dalgalarının görüntülerinin elde edilmesi için *Gwinstek GOS 652 G* tip analog osiloskop kullanılmıştır. Boşalma akımlarının bazıları dijital besleme kaynağının ekranından direk olarak okunabilirken, varyakla besleme yapıldığı durumlarda ise $1\text{ k}\Omega$ 'luk direnç üzerinden osiloskop yardımıyla gerekli ölçümler alınmıştır. Kaynaklarla besleme işlemi ayrı ayrı ve birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir. Deney setinin kumanda elemanlarının görüntüsü Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Deney setine ait kumanda ve ölçüm elemanları

3.2. Metot

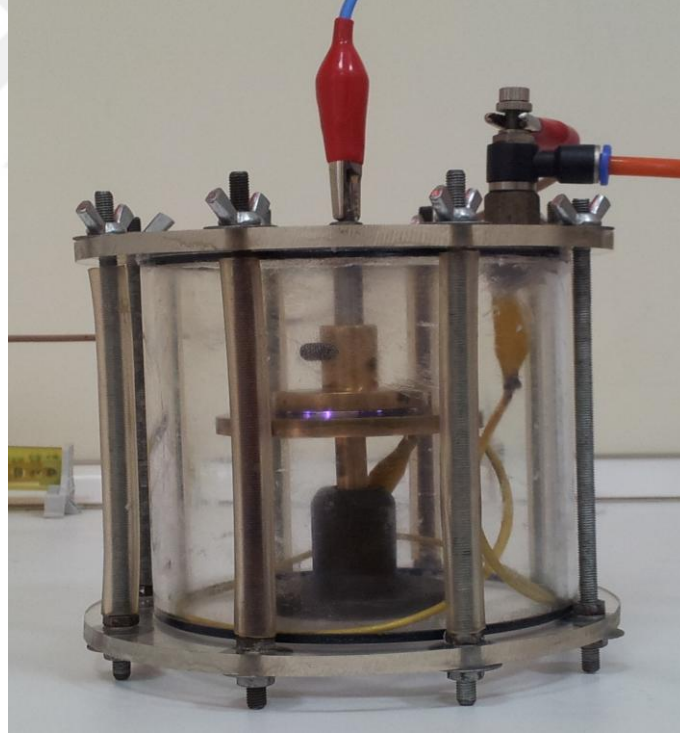
Deneysel çalışma kapsamında *Düzlem-Düzlem* elektrot sistemine 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz ve 500 Hz sabit frekans değerlerinde ve sırasıyla Vakum, Hava, Azot, Argon, Helyum, Oksijen ve Karbondioksit gazları ortamlarında çeşitli gerilimler uygulanarak her durumda birbirinden bağımsız olacak şekilde gerilim ve akım değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Gaz ortamına bağlı olarak her bir frekans değerindeki uygulama gerilimi belirli adımlarla (ortalama 5'er voltluk gerilim değerleriyle) arttırılarak her adıma karşılık gelen akım değerleri kaydedilmiştir. Bu işlemler her bir gazın türü ve her bir frekans kademesi için ayrı ayrı olarak tekrarlanmıştır. Alınan deneysel veriler doğrultusunda boşalmanın karakteristiğini veren *Gerilim-Akım* özdeşleri oluşturulmuş ve yorumlanmıştır. Başlangıçta Ohm Kanununa uygun olarak artan akım değerleri, uygulama geriliminin belirli bir artış sınırından sonra boşalmanın tutuşmasıyla birlikte akım ani bir sıçrayışla artarak *Mikroamper* seviyelerinden *Amper* seviyelerine kadar bir artış göstermiştir. Bu noktadaki gerilim değeri kaydedilmiş ve boşalmanın tutuşma gerilimi olarak adlandırılmıştır. Daha sonra uygulama geriliminin yavaş adımlarla azaltılmasıyla birlikte boşalmanın belirli bir gerilim değerinde (tutuşma gerilim değerinden daha düşük bir değerde) boşalmanın söndüğü görülmüş ve bu ana karşılık gelen gerilim değeri de boşalmanın sönümlenme gerilimi olarak kaydedilmiştir.

DBB deney sisteminin elektrik devresi, akım ve gerilim eğrilerinin yanı sıra $i=f(u)$ ve $q=f(u)$ bağıntılarının görüntülenmesini gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanmıştır. Boşalmanın ve değişim eğrileri eşzamanlı olarak reaktörün çıkışına bağlanmış olan 330 Ω direnç üzerinden osiloskop yardımıyla görüntülenmiş olup, resimler hızlı çekim yapabilme özelliğine sahip olan I-phone marka bir cep telefonu yardımıyla kayda alınmıştır. Elektrot açıklığı ise 3 mm olarak ayarlanmıştır. Sistemin güç katsayısı ise 0,72 olarak ölçülmüştür.

Dielektrik bariyer boşalmasının gerçekleştirildiği sistemde kullanılan materyal ve yöntemin doğru seçimi, boşalma parametrelerinin yüksek hassasiyette elde edilmesi açısından oldukça önemlidir. Sistemin önemli bir parçasını oluşturan yüksek gerilim trafosunun gücünün yeterli değerde olması da akım osilasyonlarının kararlılığı açısından önemli bir gerekliliktir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Homojen veya non-homojen elektrik alanlarında meydana gelen elektrik boşalmalarının tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin sınır değerlerini belirlemede yüksek frekans etkisi büyük öneme sahiptir. Sistemin besleme geriliminde meydana gelen yüksek frekanslı akım osilasyonları boşalma açısından çok kısa periyotlu kademeli iyonizasyon etkisi oluşturarak boşalmanın gerçekleşmesini önemli oranda kolaylaştırmaktadır. Bu durum deneysel olarak açıklığa kavuşturulmuştur. Yüksek frekanslı akım osilasyonları boşalma aralığındaki uzay hacim yüklerini büyük ölçüde aktif hale getirerek boşalmanın tutuşmasını daha da kolaylaştırmaktadır. Şekil 4.1’de 50 Hz frekansında oluşturulmuş olan *DBB*’nin görüntüsü verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 50 Hz frekansında boşalma aralığındaki boşalma kanalcıklarının sayısı az ve elektrot yüzeylerinde seyrek bir dağılım sergilemiştir.



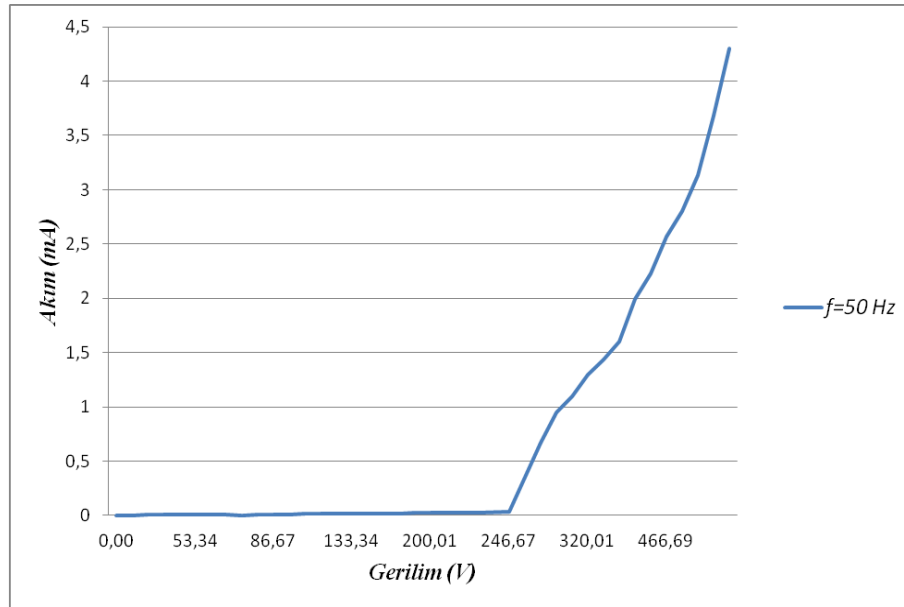
Şekil 4.1: $f=50$ Hz frekansında oluşturulan *DBB* görüntüsü

50 Hz frekansındaki *DBB*’nin akım osilasyonlarının görüntüsü ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi boşalma akımının ana sinyali üzerinde meydana gelen Trichel akım darbelerinin sayısı çok az sayıda ve etkin olan tekli gruplar halinde gözlenmiştir. Bu durum frekansın az olmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.2: $f=50\text{ Hz}$ frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü

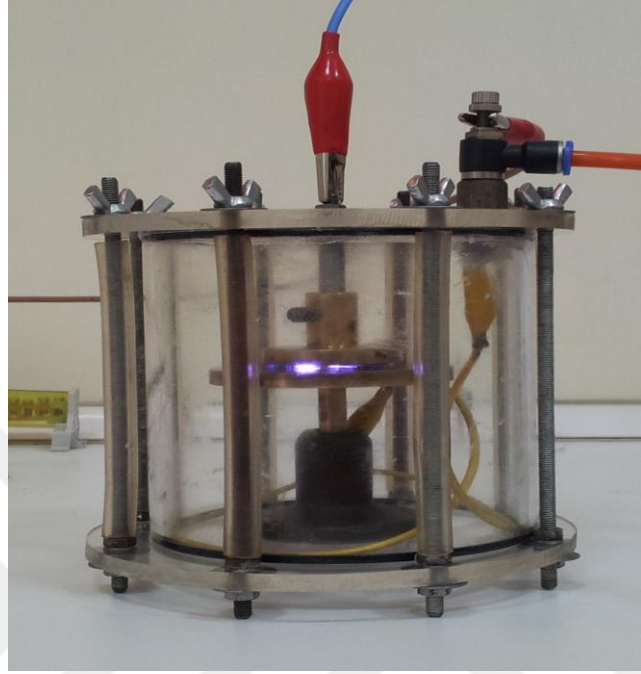
$f=50\text{ Hz}$ frekansında DBB'nin deneysel olarak ölçülmüş olan Gerilim-Akım grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere, $0-246\text{ v}$ gerilim aralığında boşalma akımı yaklaşık olarak *OHM* kanununa yakın olan bir davranış sergilemiştir. Fakat 246 volt tan daha büyük gerilimlerde boşalma tutuşarak hızlı bir akım artışı söz konusu olmuştur. Bu koşullarda, DBB'nin sönmüleme geriliminin sınır değeri akımın kaynağın üst sınır değerini aşması nedeniyle deneysel olarak ölçülememiştir.



Şekil 4.3: $f=50\text{ Hz}$ frekansında oluşturulan DBB'nin *V-I* karakteristiği

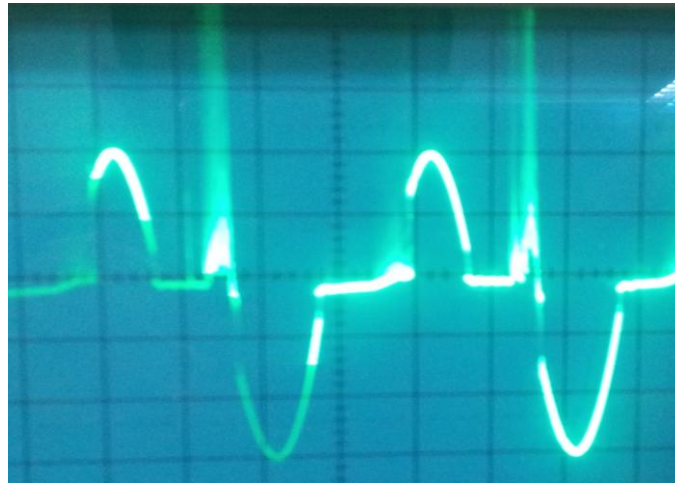
Besleme gerilimi frekansının biraz daha arttırılarak $f=100\text{ Hz}$ yapılması durumunda elde edilen DBB görüntüsü Şekil 4.4'te verilmiştir. Reaktörde gerçekleşen

boşalma görüntüsü incelendiğinde, boşalma kanalcıklarının sayısının daha da artmış olduğu ve bu kanalcıkların elektrot yüzeylerinde daha da yayıldığı görülmektedir.



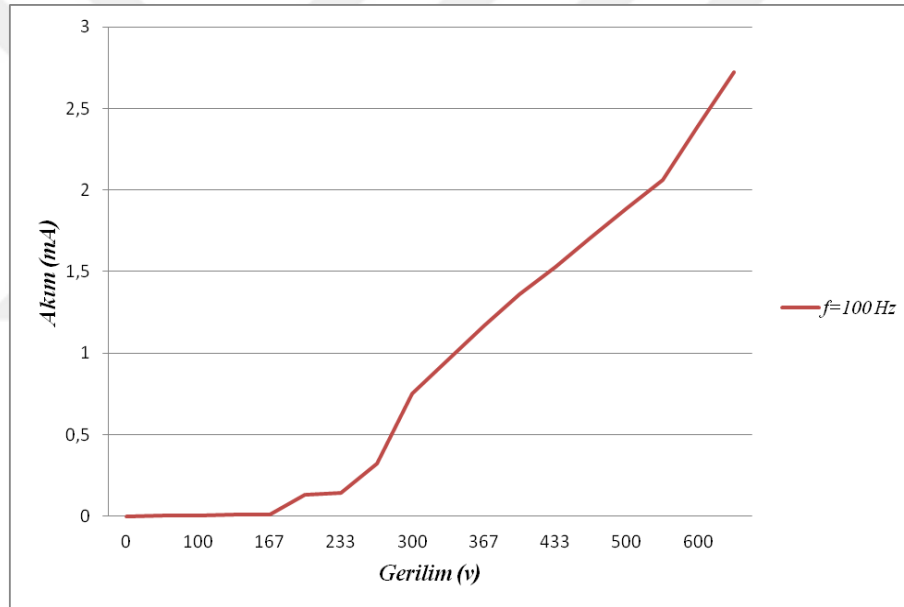
Şekil 4.4: $f=100$ Hz frekansında oluşturulan DBB görüntüsü

$f=100$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin akım osilasyonlarının görüntüsü ise Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi boşalma akımının ana sinyali üzerinde meydana gelen Trichel akım darbelerinin sayısı daha da artmış ve yoğun gruplar halinde gözlenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere frekansın artmasının boşalmanın karakteri üzerinde önemli etkilere sahip olabileceği söylenebilir.



Şekil 4.5: $f=100$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü

DBB'nin $f=100$ Hz frekansında deneysel olarak ölçülmüş olan *Gerilim-Akım* grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere, 0-167 v gerilim aralığında boşalma akımı yaklaşık olarak *OHM* kanununa yakın olan bir davranış sergilemiştir. Fakat 167 volttan daha büyük gerilimlerde boşalma kademeli olarak tutuşmuş ve akım yaklaşık 0,2 mA değerine kadar artmıştır. Besleme geriliminin 233 v değerine kadar arttırılmasına rağmen akım değeri yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Bu durumda boşalma aralığı dengede ve kararlı bir yapıya sahiptir. Besleme geriliminin daha da arttırılarak 233 v değerini aşması durumunda ise boşalmanın ikinci basamağı söz konusudur akım tekrardan artmaya başlamıştır. Bu koşullarda, *DBB*'nin sönmüleme geriliminin sınır değeri 145 volt olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.6: $f=100$ Hz frekansında oluşturulan *DBB*'nin *V-I* karakteristiği

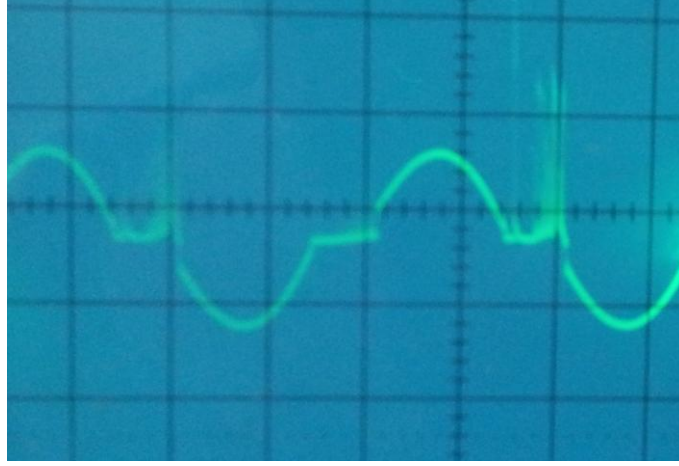
Besleme gerilimi frekansının biraz daha arttırılarak $f=150$ Hz yapılması durumunda elde edilen *DBB* görüntüsü Şekil 4.7'de verilmiştir. Reaktörde gerçekleşen boşalma görüntüsü incelendiğinde, boşalma kanalcıklarının sayısının daha da artmış olduğu ve bu kanalcıkların elektrot yüzeylerinde daha da yayıldığı görülmektedir. Meydana gelen boşalma kanalı sayısının artmasıyla birlikte boşalmanın rengi de buna bağlı olarak koyulaşarak kırmızımsı bir hale dönüşmüştür. Bu durumda boşalmanın akımı hızlı bir artış göstermiştir. Boşalmanın rengini etkileyen diğer bir faktör ise bariyer tabakasının malzemesinin türüdür.

Gerilimin frekansının kademeli olarak artırılarak $f=150 \text{ Hz}$ yapılması durumunda elde edilen *DBB* görüntüsü Şekil 4.7’de verilmiştir. Reaktörde gerçekleşen boşalma görüntüsü incelendiğinde, boşalma kanalcıklarının sayısının daha da artmış olduğu ve bu kanalcıkların elektrot yüzeylerinden biraz taşmış bir durumda yayıldığı görülmektedir.



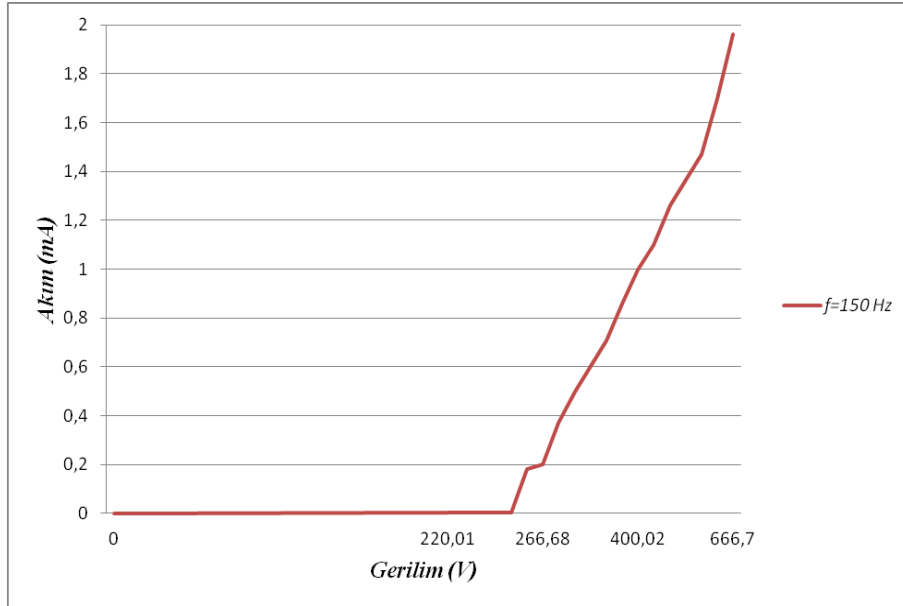
Şekil 4.7: $f=150 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB* görüntüsü

$f=150 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB*’nin akım osilasyonlarının görüntüsü ise Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi boşalma akımının ana sinyali üzerinde meydana gelen Trichel akım darbelerinin sayısı daha da artmış ve çoklu gruplar halinde gözlenmiştir. Bariyer tabakasının toprak (referans) elektrodu üzerine yerleştirilmesi nedeniyle sistemde pozitif koronanın etkisi daha baskındır ve bu durumda oluşan Trichel akım darbeleri pozitif alternanslar üzerinde daha belirgin olarak gözlenmiştir. Akım sinyalinin sıfır geçiş noktalarının basamak şeklinde görüntülenmesinin temel nedeni, o noktalarda boşalmanın tutuşmuş olduğu ve yüksek frekanslı akım darbelerinin meydana geldiğinin bir göstergesidir. Besleme frekansının artmasıyla birlikte bu darbelerin sayısı da buna bağlı oranda artmıştır.



Şekil 4.8: $f=150$ Hz frekansındaki *DBB*'ye ait akım osilasyonu görüntüsü

DBB'nin $f=150$ Hz frekansında deneysel olarak ölçülmüş olan Gerilim-Akım grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere, 0-250 v gerilim aralığında boşalma akımı yaklaşık olarak *OHM* kanununa yakın olan bir davranış sergilemiştir. Fakat 250 volttan daha büyük gerilimlerde boşalma kademeli olarak tutuşmuş ve akım yaklaşık 0,2 mA değerine kadar artmıştır. Bu koşullarda, *DBB*'nin sönümlenme geriliminin sınır değeri 241 v olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.9: $f=150$ Hz frekansında oluşturulan *DBB*'nin *V-I* karakteristiği

Besleme geriliminin 270 v derine kadar arttırılmasına rağmen akım değeri yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Bu durumda boşalma aralığı dengede ve kararlı bir yapıya sahiptir. Besleme geriliminin daha da arttırılarak 275 v değerini aşması

durumunda ise boşalmanın ikinci basamağı söz konusudur akım tekrardan hızlı bir sıçrayışla artmaya başlamıştır.

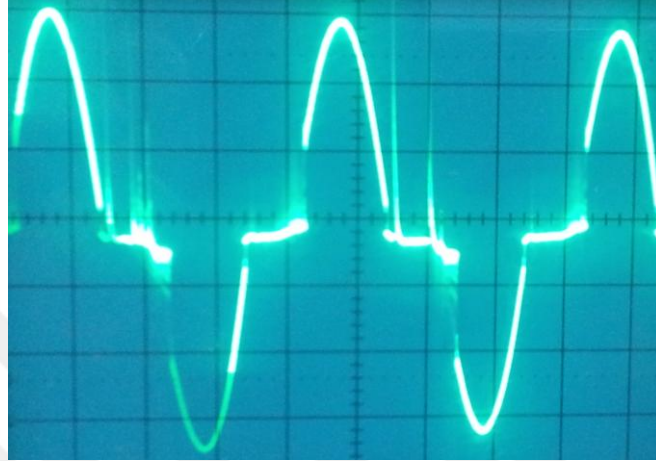
Gerilimin frekansının kademeli olarak artırılarak $f=200$ Hz yapılması durumunda elde edilen *DBB* görüntüsü Şekil 4.10'da verilmiştir. Reaktörde gerçekleşen boşalma görüntüsü incelendiğinde, boşalma kanalcıklarının sayısının daha da artmış olduğu ve bu kanalcıkların elektrot yüzeylerinde gruplar halinde yayıldığı ve ayrıca belirli kısımlarda elektrot yüzeylerinden dış kısımlara doğru daha fazla taşmış bir şekilde yayıldığı görülmektedir.



Şekil 4.10: $f=200$ Hz frekansında oluşturulan *DBB* görüntüsü

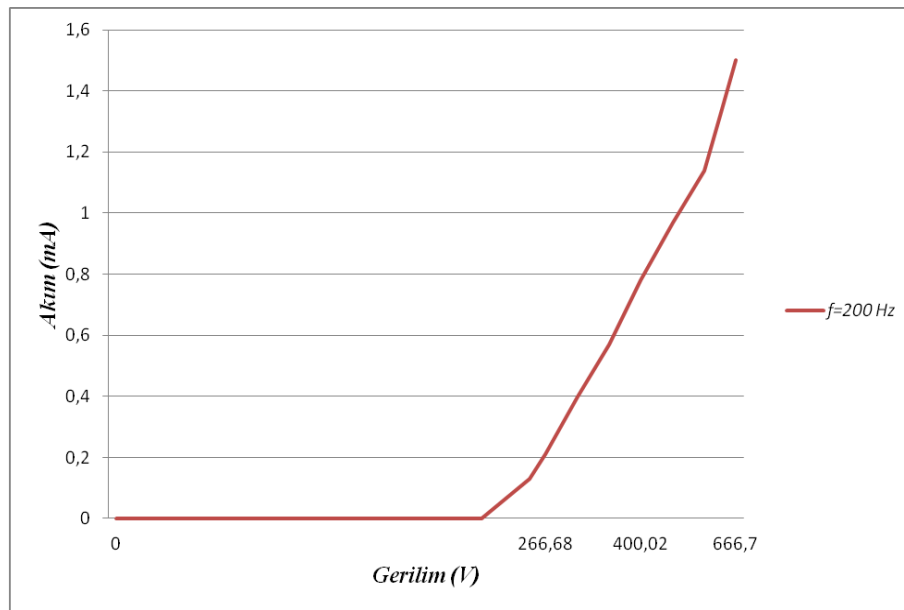
$f=200$ Hz frekansında oluşturulan *DBB*'nin akım osilasyonlarının görüntüsü ise Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi boşalma akımının ana sinyali üzerinde meydana gelen Trichel akım darbelerinin sayısı $f=150$ Hz frekansında oluşturulan *DBB*'ye göre daha da artmış ve çoklu gruplar halinde gözlenmiştir. Sistemde pozitif koronanın etkisi daha baskındır ve bu durumda oluşan Trichel akım darbeleri pozitif alternanslar üzerinde daha belirgin olarak gözlenmiştir. Akım

sinyalinin sıfır geçiş noktalarının basamak şeklinde görüntülenmesinin nedeni ise sıfır geçiş noktalarına yakın bölgelerde boşalmanın tutuşmuş olduğu ve yüksek frekanslı akım darbelerinin meydana geldiği söylenebilir. Besleme frekansının artmasıyla birlikte bu darbelerin sayısı da buna bağlı olarak belirli oranlarda artmıştır.



şekil 4.11: $f=200$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü

DBB'nin $f=200$ Hz frekansında deneysel olarak lmlmş olan Gerilim-Akım grafiği şekil 4.12'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü yzere, 0-233 v gerilim aralığında boşalma akımı yaklaşık olarak OHM kanununa yakın olan bir davranış sergilemiştir. Fakat 233 volttan daha büyük gerilimlerde boşalma başlamış ve akım hızla artmıştır. Bu durumda lmln sönümleme gerilimi değeri 201 voltur.



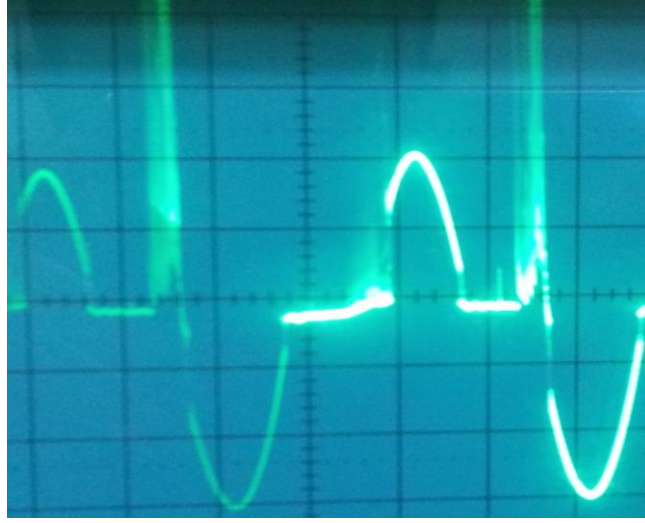
şekil 4.12: $f=200$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin V-I karakteristiği

Gerilimin frekansının daha da artırılarak $f=300 \text{ Hz}$ yapılması durumunda elde edilen *DBB* görüntüsü Şekil 4.13'te verilmiştir. Reaktörde gerçekleşen boşalma görüntüsü incelendiğinde, boşalma kanalcıklarının sayısının daha da artmış olduğu ve bu kanalcıkların elektrot yüzeylerinde gruplar halinde yayıldığı ve ayrıca yüksek gerilim elektrodunun çevresi boyunca elektrot yüzeylerinden dışa doğru daha fazla taşmış bir şekilde yayıldığı görülmektedir.



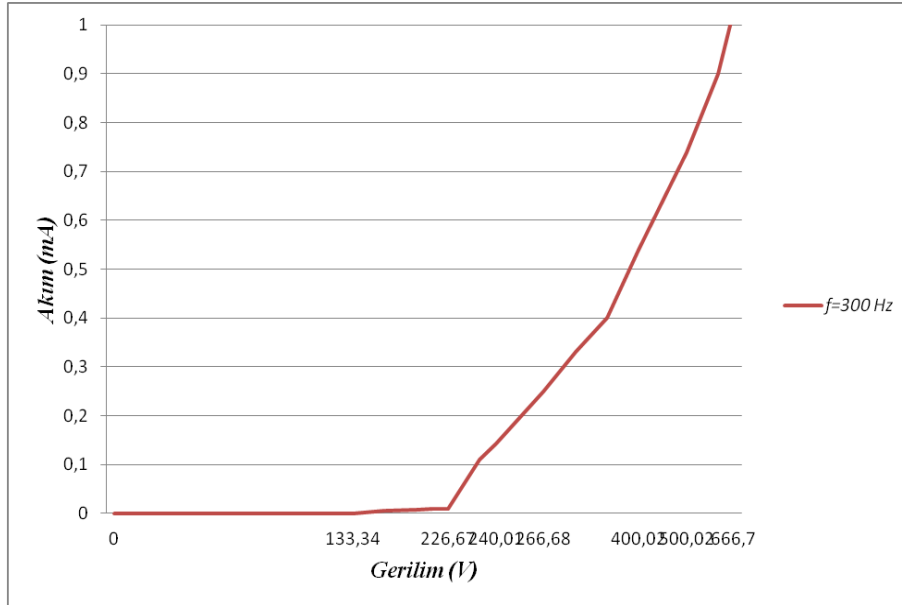
Şekil 4.13: $f=300 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB* görüntüsü

$f=300 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB*'nin akım osilasyonlarının görüntüsü ise Şekil 4.14'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi boşalma akımının ana sinyali üzerinde meydana gelen Trichel akım darbelerinin sayısı $f=200 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB*'ye göre daha da artmış ve çoklu gruplar halinde gözlenmiştir. Sistemde pozitif koronanın etkisi daha baskındır ve bu durumda oluşan Trichel akım darbeleri pozitif alternanslar üzerinde daha belirgin olarak gözlenmiştir. Besleme frekansının artmasıyla birlikte bu darbelerin sayısı da buna bağlı olarak belirli oranlarda artmıştır.



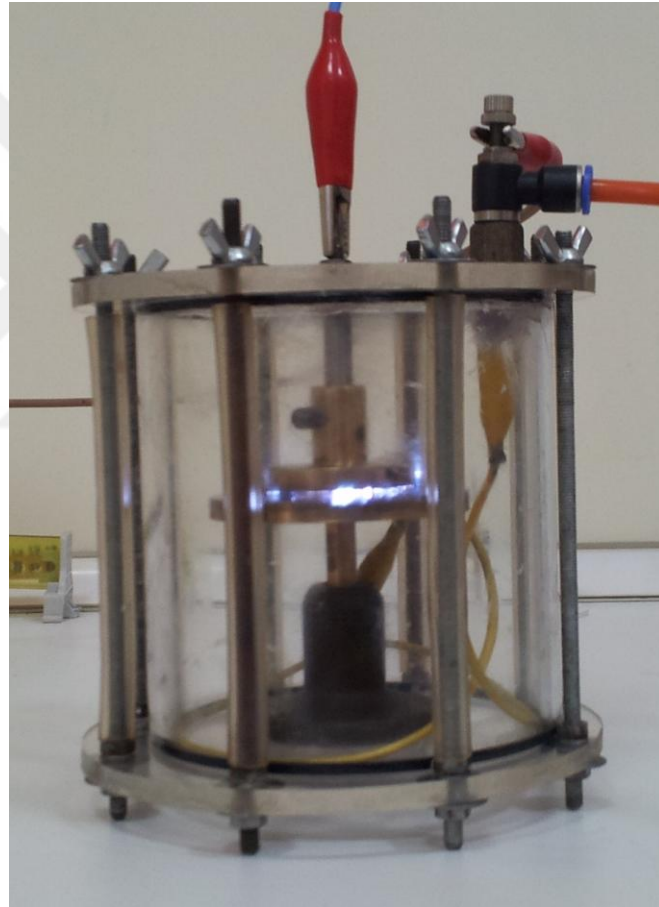
Şekil 4.14: $f=300$ Hz frekansındaki *DBB*'ye ait akım osilasyonu görüntüsü

DBB'nin $f=300$ Hz frekansında deneysel olarak ölçülmüş olan *Gerilim-Akım* grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere, $0-226$ v gerilim aralığında boşalma akımı yaklaşık olarak *OHM* kanununa yakın olan bir davranış sergilemiştir. Fakat 226 volttan daha büyük gerilimlerde boşalma başlamış ve akım hızla artmıştır. Frekansın artmasına bağlı olarak boşalmanın kademeli olarak gerçekleşme durumu daha da kararlaştırmış ve buna bağlı olarak boşalma akımı da lineere yakın bir şekilde artış göstermiştir. Bu durumda boşalmanın akım osilasyonları elektrot yüzeylerinde yayılırken daha homojen bir dağılım göstermiştir. Bu durumda $U_s=213,5$ v ölçülmüştür.



Şekil 4.15: $f=300$ Hz frekansında oluşturulan *DBB*'nin *V-I* karakteristiği

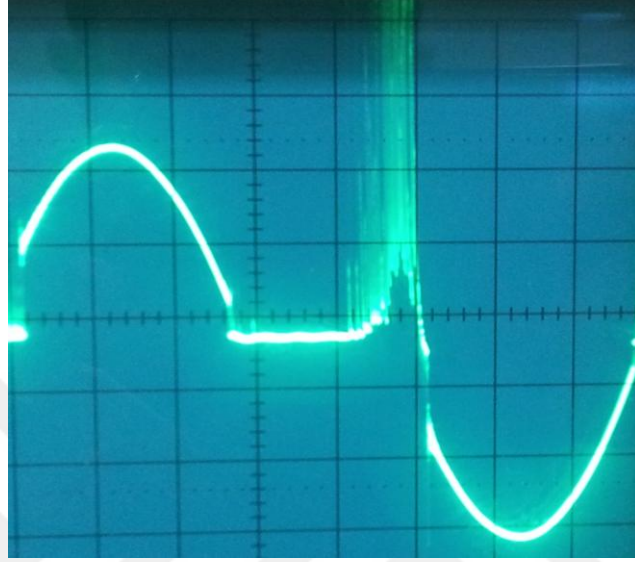
Gerilimin frekansının daha da arttırılarak $f=400 \text{ Hz}$ yapılması durumunda ise, elde edilen *DBB* görüntüsü Şekil 4.16’da verilmiştir. Reaktörde gerçekleşen boşalma görüntüsü incelendiğinde, boşalma kanalcıklarının sayısının daha da artmış olduğu ve bu kanalcıkların elektrot yüzeylerinde gruplar halinde yayıldığı görülmektedir. Oluşan boşalma kanallarının elektrot yüzeyinde çoklu sayıdaki gruplardan oluşan belirli sayılardaki ana boşalma kanallarını meydana getirdiği görülmektedir. Bu ana kanalların akım yoğunluklarının fazla olması nedeniyle zaman zaman bariyer tabakasının üzerinde lokal tahribatlar meydana getirdiği görülmüştür.



Şekil 4.16: $f=400 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB* görüntüsü

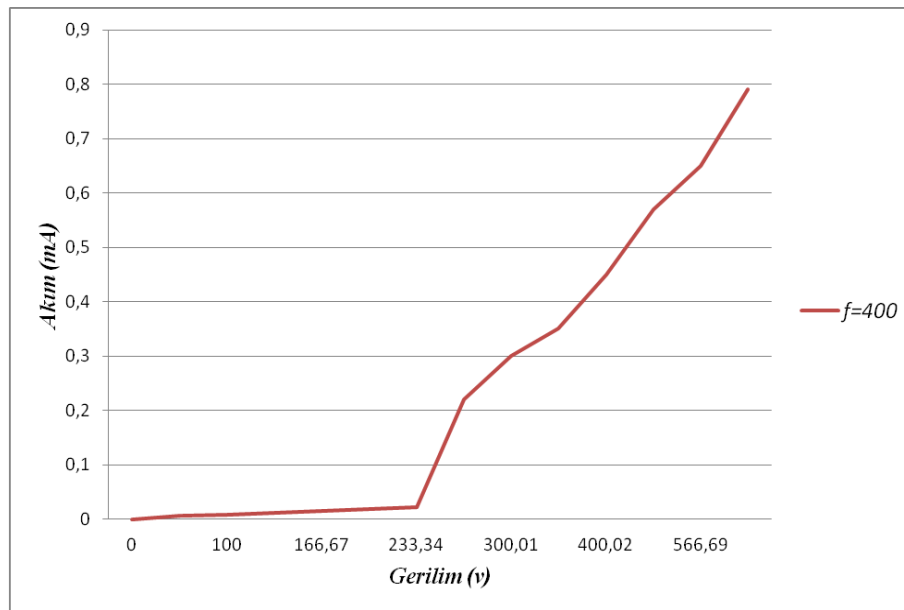
$f=400 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB*'nin akım osilasyonlarının görüntüsü ise Şekil 4.17’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi boşalma akımının ana sinyali üzerinde meydana gelen Trichel akım darbelerinin sayısı $f=300 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB*'ye göre daha da artmış ve çoklu gruplar halinde gözlenmiştir. Sistemde pozitif koronanın etkisi daha baskındır ve bu durumda oluşan Trichel akım

darbeleri pozitif alternanslar üzerinde daha belirgin olarak gözlenmiştir. Besleme frekansının artmasıyla birlikte bu darbelerin sayısı da buna bağlı olarak belirli oranlarda arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.17: $f=400$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü

DBB'nin $f=400$ Hz frekansında deneysel olarak ölçülmüş olan Gerilim-Akım grafiği Şekil 4.18'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere, $0-233$ v gerilim aralığında boşalma akımı yaklaşık olarak *OHM* kanununa yakın olan bir davranış sergilemiştir. Fakat 233 volttan daha büyük gerilimlerde boşalma başlamış ve akım hızla artmıştır. Bu durumda $U_s=187$ v olarak ölçülmüştür.



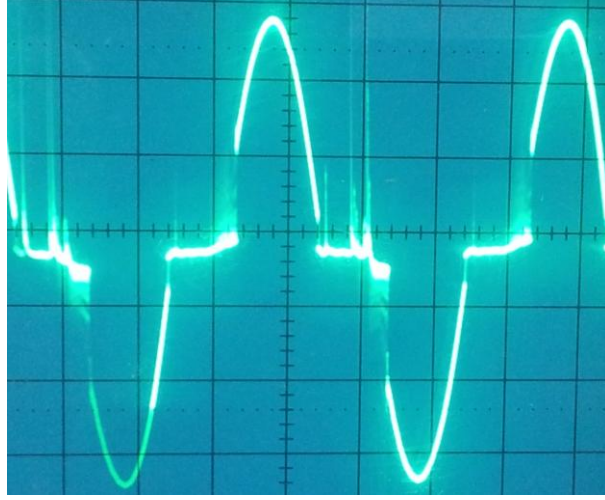
Şekil 4.18: $f=400$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin V-I karakteristiği

Gerilimin frekansının son olarak $f=500 \text{ Hz}$ yapılması durumunda, elde edilen *DBB* görüntüsü Şekil 4.19’da verilmiştir. Reaktörde gerçekleşen boşalma görüntüsü incelendiğinde, boşalma kanalcıklarının sayısının daha da artmış olduğu ve bu kanalcıkların elektrot yüzeylerinde gruplar halinde yayıldığı görülmektedir. Oluşan boşalma kanallarının elektrot çevrelerinde plazma bulutu şeklinde yayılmış olduğu görülmektedir.



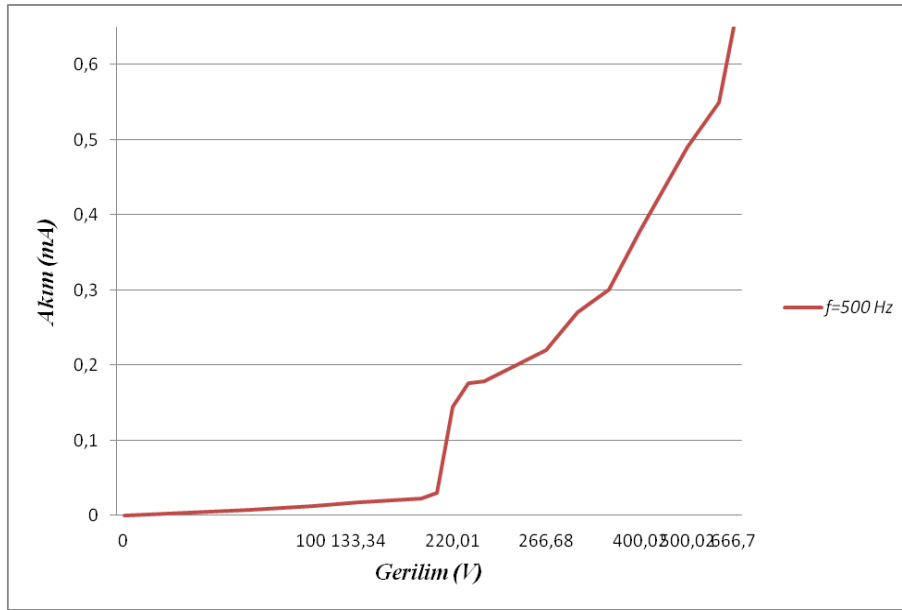
Şekil 4.19: $f=500 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB* görüntüsü

$f=500 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB*’nin akım osilasyonlarının görüntüsü ise Şekil 4.20’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi boşalma akımının ana sinyali üzerinde meydana gelen Trichel akım darbelerinin sayısı $f=400 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan *DBB*’ye göre daha da azalmış ve çoklu gruplar halinde yayıldığı gözlenmiştir. Sistemde pozitif koronanın etkisi daha baskındır ve bu durumda oluşan Trichel akım darbeleri pozitif alternanslar üzerinde daha belirgin olarak gözlenmiştir. Besleme frekansının artmasıyla birlikte bu darbelerin sayısı da artmıştır.



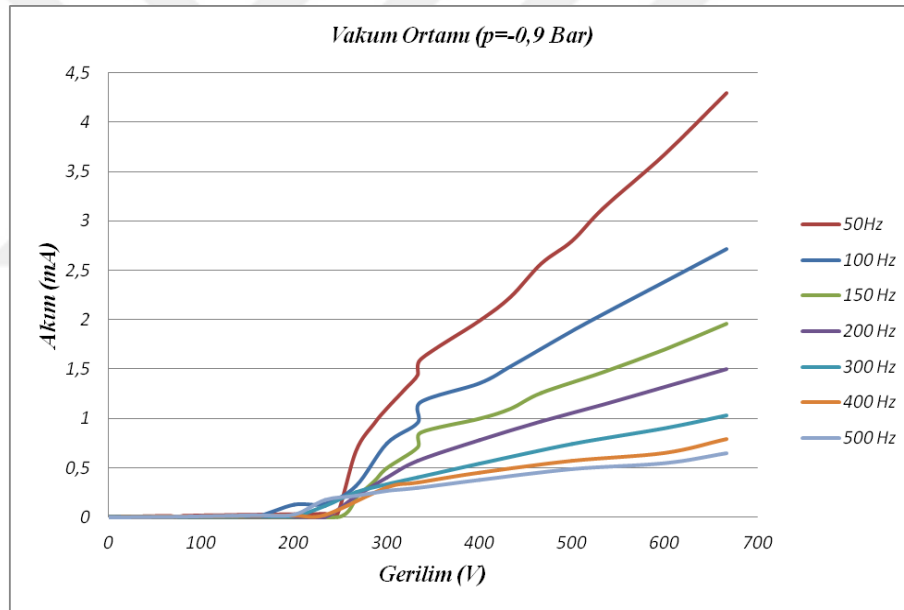
Şekil 4.20: $f=500$ Hz frekansındaki DBB'ye ait akım osilasyonu görüntüsü

DBB'nin $f=500$ Hz frekansında deneysel olarak ölçülmüş olan Gerilim-Akım grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere, $0-200$ v gerilim aralığında boşalma akımı yaklaşık olarak *OHM* kanununa yakın olan bir davranış sergilemiştir. Fakat 200 volttan daha büyük gerilimlerde boşalma başlamış ve akım hızla artmıştır. 225 volttan daha büyük gerilimlerde ise boşalmanın ikinci kademesi gerçekleşmiş olup boşalmanın akım artışı ise basamaklı şekilde gerçekleşmiştir. Boşalmanın başlamasıyla birlikte, başta pasif olarak bulunan uzay hacim yükleri, boşalmanın kararlılaşmasından sonra aktif hale gelerek akım osilasyonları açısından önemli bir rol üstlenirler. Bu durumda ölçülen sönümlenme geriliminin değeri $U_s=136$ voltur.



Şekil 4.21: $f=500$ Hz frekansında oluşturulan DBB'nin V-I karakteristiği

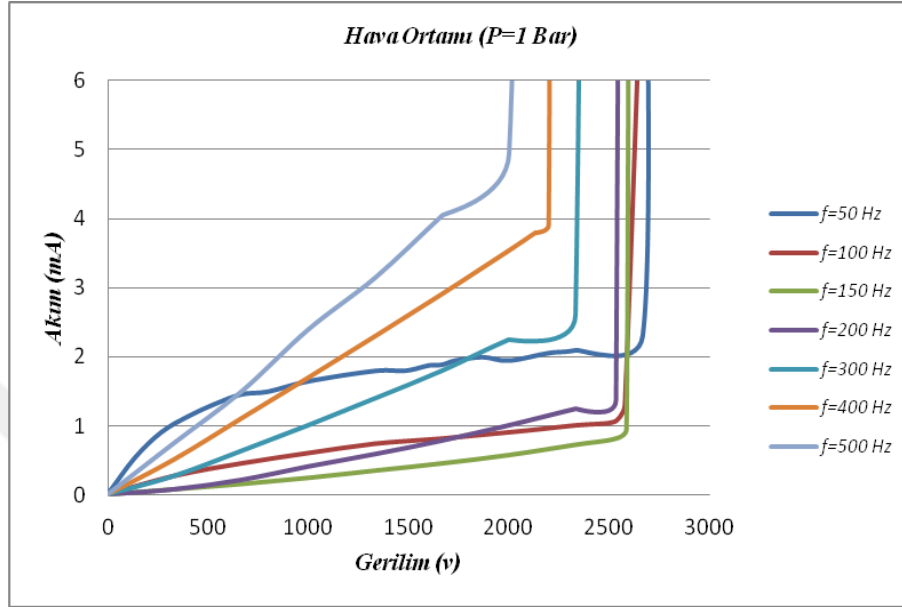
Frekans parametresine bağılı olarak karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla, vakum ortamında ($p=-0,9 \text{ Bar}$) oluşturulan *DBB*'nin çeşitli frekans değerlerindeki *V-I* karakteristikleri Şekil 4.22'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere, frekansın artmasıyla birlikte boşalma akımının azaldığı ve aynı zamanda yaklaşık olarak *OHM* kanununa yakın olan bir davranış sergilediği gözlenmiştir. Frekansın artmasına karşılık boşalma akımının azalması olayı, frekans etkisinin boşalma aralığındaki uzay hacim yüklerine kademeli ve seri bir uyarma etkisi oluşturabileceği ihtimalinin yüksek oluşuyla açıklanabilir. Bu durumda boşalmanın homojenliği ve kararlılığı da artmıştır. Literatürde daha önce yapılmış çalışmalardan; boşalma aralığında gerçekleşen fiziksel olayların ve boşalma aralığının parametrelerinin boşalmanın gelişimi açısından önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir (Raizer, Nikandrov ve Kostov).



Şekil 4.22: Vakum ortamında ($P=-0.9 \text{ Bar}$) oluşturulan *DBB*'nin çeşitli frekans değerlerindeki *V-I* karakteristikleri

Hava ortamında ($p=1 \text{ Bar}$) oluşturulan *DBB*'nin çeşitli frekans değerlerindeki *V-I* karakteristikleri Şekil 4.23'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere basıncın artmasına bağılı olarak boşalmanın başlangıç gerilimi değerleri de önemli oranda artmıştır. Ayrıca, grafiğe göre frekans arttıkça boşalmanın başlangıç geriliminin değeri de buna karşın azalmıştır. Boşalma öncesi akım ise frekansın artmasına paralel olarak artış göstermiştir. $f=50 \text{ Hz}$ ve $f=100 \text{ Hz}$ frekans değerleri için boşalma öncesi akım değerleri daha yüksek olurken $f=150 \text{ Hz}$ ve $f=200 \text{ Hz}$ frekans değerleri için bu değerler

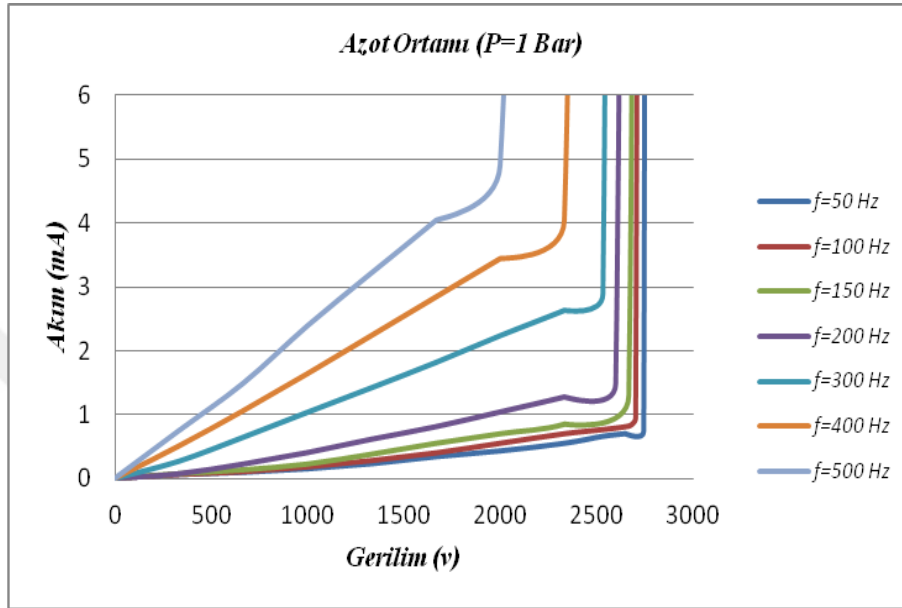
daha düşük ölçülmüştür. Dolayısıyla $f=100$ ile $f=150$ Hz aralığında bir dönüm noktası söz konusudur. Ortamın basıncı vakum ortamına göre daha fazla olduğu için ölçülen boşalma akımlarının değerleri de daha büyüktür.



Şekil 4.23: Hava ortamında ($P=1$ Bar) oluşturulan DBB'nin çeşitli frekans değerlerindeki V-I karakteristikleri

Azot gazı ortamında ($p=1$ Bar) oluşturulan DBB'nin çeşitli frekans değerlerindeki V-I karakteristikleri Şekil 4.24'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, frekansın artmasına bağlı olarak boşalmanın başlangıç gerilimi değerleri de hava ortamına göre daha fazla artmıştır. Grafiğe göre en yüksek boşalma başlangıç gerilimi değeri 2550 v civarında ve $f=50$ Hz frekansında ölçülürken; en düşük boşalma başlangıç gerilimi değeri ise 2000 v civarında ve $f=500$ Hz frekansında ölçülmüştür. Ayrıca, grafiğe göre frekans arttıkça boşalmanın başlangıç gerilimlerinin değerleri de buna karşın azalmıştır. Boşalma öncesi akım ise frekansın artmasına paralel olarak daha fazla artış göstermiştir. Şekildeki grafikten görüldüğü gibi, boşalma öncesi akım değerleri arasındaki fark; düşük frekanslarda (0 ile 200 Hz aralığında) birbirlerine çok yakın iken, yüksek frekans değerlerinde (200 ile 500 Hz aralığında) birbirinden fazladır. Azot ortamında bariyer boşalmasıyla ilgili çalışmalar yapılırken, boşalma başlangıç geriliminin değeri göz önünde bulundurularak frekans seçiminin yapılmasının önemli avantajlar sağlayabileceğini söylemek mümkündür. Bu durumda, boşalmanın başlangıç gerilimi seviyesini yüksek tutmak için düşük frekansların tercih edilmesi; boşalmanın

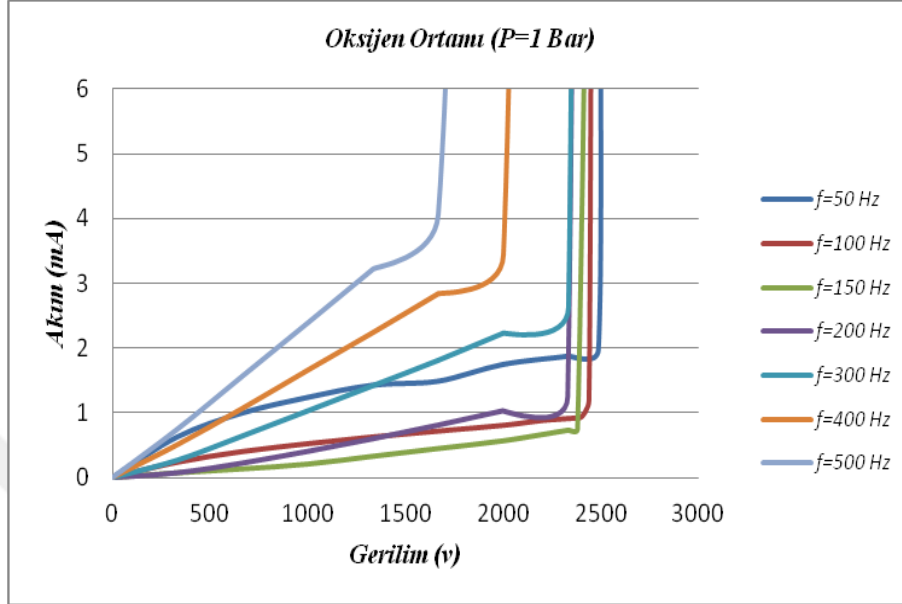
başlangıç gerilimi seviyesini düşük tutmak için ise yüksek frekansların tercih edilmesinin daha doğru olacağı söylenebilir. Azot gazının atmosferde % 78 oranda olması nedeniyle bu değerler aynı zamanda atmosferik koşullar içinde geçerli kabul edilebilir.



Şekil 4.24: Azot ortamında ($P=1$ Bar) oluşturulan DBB'nin çeşitli frekans değerlerindeki V-I karakteristikleri

Havada ikinci yüksek oranda bulunan oksijen gazı ortamında ($p=1$ Bar) oluşturulan DBB'nin çeşitli frekans değerlerindeki V-I karakteristikleri Şekil 4.25'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, frekansın artmasına bağlı olarak boşalmanın başlangıç gerilimi değerleri de azot ortamına göre daha da azalmıştır. Grafiğe göre en yüksek boşalma başlangıç gerilimi değeri 2450 v civarında ve $f=50$ Hz frekansında ölçülürken; en düşük boşalma başlangıç gerilimi değeri ise 1600 v civarında ve $f=500$ Hz frekansında ölçülmüştür. Ayrıca, grafiğe göre frekans arttıkça boşalmanın başlangıç gerilimlerinin değerleri de buna karşın azalmıştır. Boşalma öncesi akım ise frekansın artmasına paralel olarak daha fazla artış göstermiştir. Şekildeki grafikten görüldüğü gibi, boşalma öncesi akım değerleri arasındaki fark; düşük frekanslarda (0 ile 200 Hz aralığında) birbirlerine çok yakın iken, yüksek frekans değerlerinde (200 ile 500 Hz aralığında) birbirinden fazladır. $f=50$ Hz ve $f=100$ Hz frekans değerleri için boşalma öncesi akım değerleri daha yüksek olurken $f=150$ Hz ve $f=200$ Hz frekans değerleri için

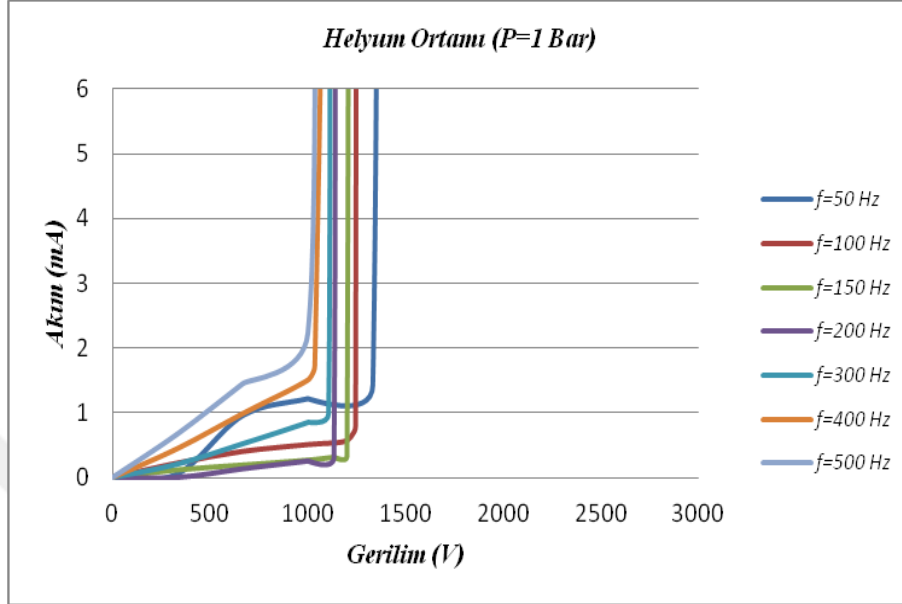
bu değerler daha düşük ölçülmüştür. Dolayısıyla $f=100$ ile $f=150$ Hz aralığında boşalma akımı açısından bir dönüm noktası olduğu görülmüştür.



Şekil 4.25: Oksijen ortamında ($P=1$ Bar) oluşturulan DBB'nin çeşitli frekans değerlerindeki V-I karakteristikleri

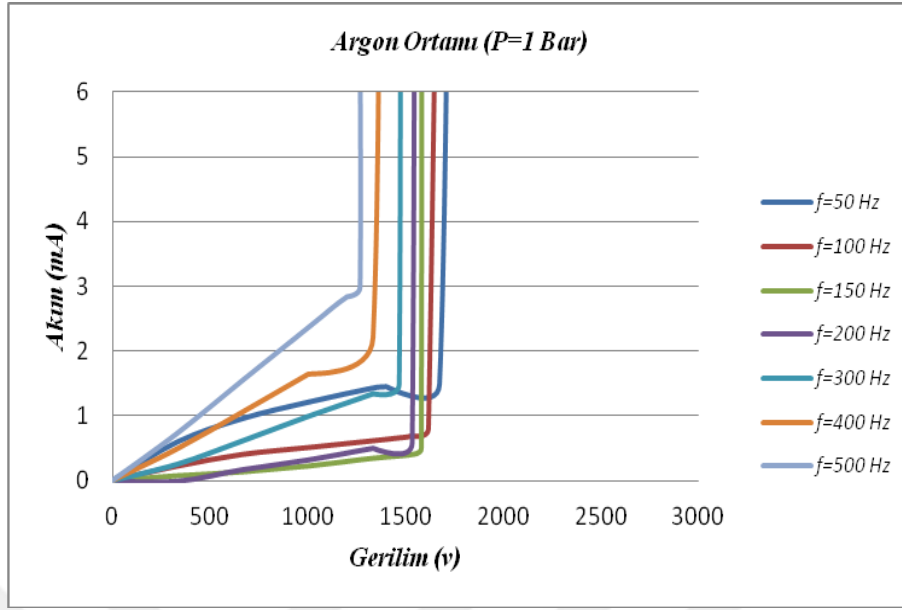
Helyum gazı ortamında ($p=1$ Bar) oluşturulan DBB'nin çeşitli frekans değerlerindeki V-I karakteristikleri ise Şekil 4.26'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, frekansın artmasına bağlı olarak boşalmanın başlangıç gerilimi değerleri de oksijen ortamına göre daha fazla azalmıştır. Grafığe göre en yüksek boşalma başlangıç gerilimi değeri 1330 v civarında ve $f=50$ Hz frekansında ölçülürken; en düşük boşalma başlangıç gerilimi değeri ise 950 v civarında ve $f=500$ Hz frekansında ölçülmüştür. Ayrıca, grafığe göre frekans arttıkça boşalmanın başlangıç gerilimlerinin değerleri de buna karşın azalmıştır. Boşalma öncesi akım ise frekansın artmasına paralel olarak daha fazla artış göstermiştir. Şekildeki grafikten görüldüğü gibi, boşalma öncesi akım değerleri arasındaki fark; düşük frekanslarda (0 ile 200 Hz aralığında) birbirlerine çok yakın iken, yüksek frekans değerlerinde (200 ile 500 Hz aralığında) birbirinden fazladır. $f=50$ Hz ve $f=100$ Hz frekans değerleri için boşalma öncesi akım değerleri daha yüksek olurken $f=150$ Hz ve $f=200$ Hz frekans değerleri için bu değerler daha düşük ölçülmüştür. Dolayısıyla $f=100$ ile $f=150$ Hz aralığında boşalma akımı açısından bir dönüm noktası olduğu görülmüştür. Grafikten, helyum gazı ortamının boşalma açısından oldukça iletken bir özelliğe sahip olduğu görülmüştür. Gaz ortamının

boşalmanın iletkenliği açısından önemi özellikle aydınlatma tekniği ve deşarj lambaları teknolojisi açısından kayda değer özelliğe sahiptir.



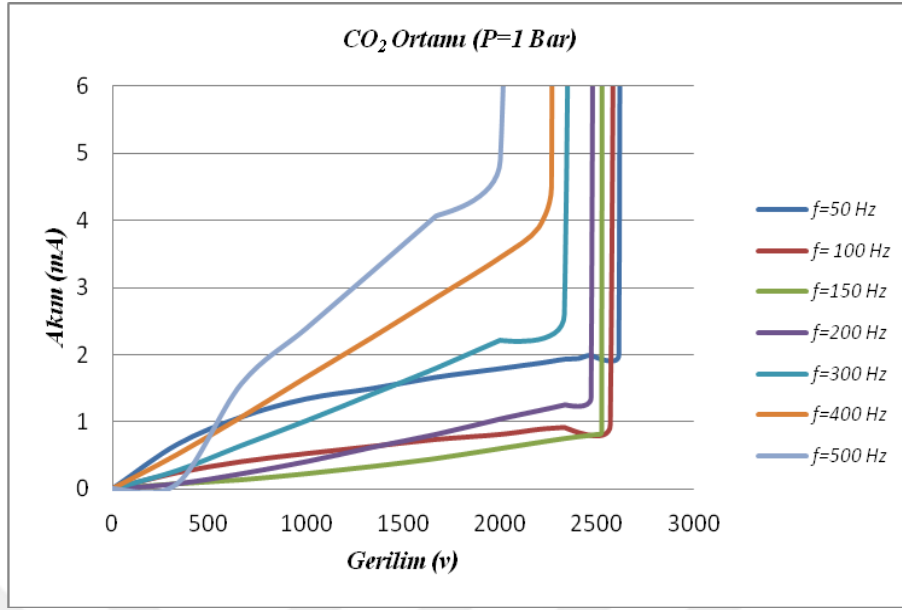
Şekil 4.26: Helyum ortamında ($P=1$ Bar) oluşturulan DBB'nin çeşitli frekans değerlerindeki $V-I$ karakteristikleri

Argon gazı ortamında ve atmosferik basınçlarda ($p=1$ Bar) oluşturulan DBB'nin çeşitli frekans değerlerindeki $V-I$ karakteristikleri ise Şekil 4.27'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, frekansın artmasına bağlı olarak boşalmanın başlangıç gerilimi değerleri de helyum ortamına göre daha fazla artmıştır. Grafiğe göre en yüksek boşalma başlangıç gerilimi değeri 1550 v civarında ve $f=50$ Hz frekansında ölçülürken; en düşük boşalma başlangıç gerilimi değeri ise 1250 v civarında ve $f=500$ Hz frekansında ölçülmüştür. Ayrıca, grafiğe göre frekans arttıkça boşalmanın başlangıç gerilimlerinin değerleri de buna karşın azalmıştır. Boşalma öncesi akım ise frekansın artmasına paralel olarak daha fazla artış göstermiştir. Şekildeki grafikten görüldüğü gibi, boşalma öncesi akım değerleri arasındaki fark; düşük frekanslarda (0 ile 200 Hz aralığında) birbirlerine çok yakın iken, yüksek frekans değerlerinde (200 ile 500 Hz aralığında) birbirinden fazladır. $f=50$ Hz ve $f=100$ Hz frekans değerleri için boşalma öncesi akım değerleri daha yüksek olurken $f=150$ Hz ve $f=200$ Hz frekans değerleri için bu değerler daha düşük ölçülmüştür. Dolayısıyla $f=100$ ile $f=150$ Hz aralığında boşalma akımı açısından bir dönüm noktası olduğu görülmüştür. Grafikten, argon gazı ortamının boşalma açısından orta derecede iletken bir özelliğe sahip olduğu görülmüştür.



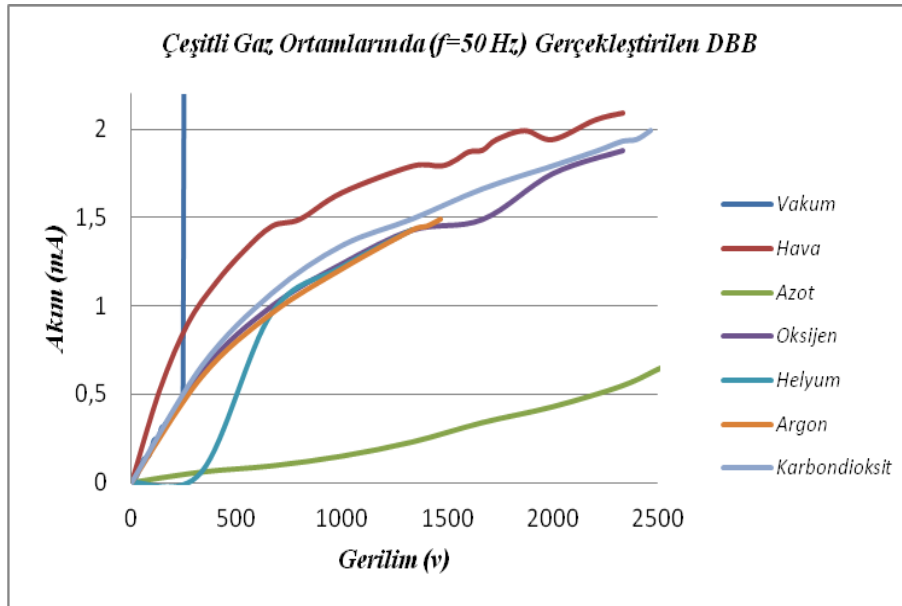
Şekil 4.27: Argon ortamında ($P=1 \text{ Bar}$) oluşturulan *DBB*'nin çeşitli frekans değerlerindeki *V-I* karakteristikleri

Karbondiyoksit gazı ortamında ve atmosferik basınçlarda ($p=1 \text{ Bar}$) oluşturulan *DBB*'nin çeşitli frekans değerlerindeki *V-I* karakteristikleri Şekil 4.28'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, frekansın artmasına bağlı olarak boşalmanın başlangıç gerilimi değerleri de argon ortamına göre daha fazla artmıştır. Grafiğe göre en yüksek boşalma başlangıç gerilimi değeri 2615 v civarında ve $f=50 \text{ Hz}$ frekansında ölçülürken; en düşük boşalma başlangıç gerilimi değeri ise 2000 v civarında ve $f=500 \text{ Hz}$ frekansında ölçülmüştür. Ayrıca, grafiğe göre frekans arttıkça boşalmanın başlangıç gerilimlerinin değerleri de buna karşın azalmıştır. Boşalma öncesi akım ise frekansın artmasına paralel olarak daha fazla artış göstermiştir. Şekildeki grafikten görüldüğü gibi, boşalma öncesi akım değerleri arasındaki fark; düşük frekanslarda (0 ile 200 Hz aralığında) birbirlerine çok yakın iken, yüksek frekans değerlerinde (200 ile 500 Hz aralığında) birbirinden fazladır. $f=50 \text{ Hz}$ ve $f=100 \text{ Hz}$ frekans değerleri için boşalma öncesi akım değerleri daha yüksek olurken $f=150 \text{ Hz}$ ve $f=200 \text{ Hz}$ frekans değerleri için bu değerler daha düşük ölçülmüştür. Dolayısıyla $f=100$ ile $f=150 \text{ Hz}$ aralığında boşalma akımı açısından bir dönüm noktası olduğu görülmüştür. Grafikten, karbondiyoksit gazı ortamının boşalma açısından düşük derecede iletken bir özelliğe sahip olduğu saptanmıştır. Endüstriyel açıdan değerlendirildiğinde bu durum, karbondiyoksit gazının aydınlatma tekniği ve deşarj lambaları teknolojisi açısından verimli bir gaz olmadığına bir sonucu olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.28: Karbondioksit ortamında ($P=1 \text{ Bar}$) oluşturulan DBB'nin çeşitli frekans değerlerindeki $V-I$ karakteristikleri

Çeşitli gazlar için karşılaştırma yapmak amacıyla, DBB'nin $f=50 \text{ Hz}$ frekansında ve çeşitli gaz ortamlarında deneysel olarak oluşturulmuş olan $Gerilim-Akım (V-I)$ karakteristiği Şekil 4.29'da verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere boşalmanın başlangıç gerilimi açısından en verimli ortamın vakum ortamı olduğu; boşalmanın başlangıcını geciktirme açısından ise en kararlı davranış gösteren gazın azot gazı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.29: Çeşitli gaz ortamlarında $f=50 \text{ Hz}$ frekansında oluşturulan DBB'lerin $V-I$ karakteristikleri

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Dielektrik bariyer boşalmasının tutuşmasında ve sönümlenmesinde yüksek frekans etkisi, çeşitli gaz ortamlarında deneysel olarak incelenmiştir. Ortam gazlarının seçiminde, kullanılan gazların havada bulunma oranları ve endüstriyel sistemlerde kullanım yoğunlukları dikkate alınarak hedef gazlar belirlenmiştir. Deneysel ölçümlere başlanmadan önce deney sisteminin optimizasyonu yapılmış ve başlangıç koşulları belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde alınan sonuçlar genel olarak aşağıda sıralanmıştır:

- Sistemin besleme frekansı arttıkça, boşalma akımı sinyali üzerinde meydana gelen akım osilasyonlarının (*Trichel Pulses*) sayıları da belirli oranda artmıştır.
- Boşalma akımı, sıfır ile boşalma başlangıç gerilimi değeri arasında *OHM* kanununa uygun olan bir davranış sergilemiştir fakat boşalmanın tutuşmasıyla birlikte bu değer ani bir sıçrayışla artarak *miliAmper* değerlerinden *Amper* değerlerine kadar yükselmiştir.
- Boşalmanın tutuşmasından sonraki görüntüsü, besleme frekansının artmasına paralel bir davranış sergileyerek elektrot yüzeylerinde homojen bir şekilde yayılarak daha parlak bir davranış göstermiştir.
- Besleme frekansının arttırılmasıyla birlikte boşalmanın tutuşma gerilimi değerleri buna karşın azalmıştır.
- Besleme frekansının arttırılmasıyla birlikte, boşalmanın tutuşma öncesi akım değerleri buna paralel olarak artan bir davranış sergilemiştir.
- Ortamdaki gazın türünün, boşalmanın tutuşma gerilimlerinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ortamdaki gazın iletkenliği arttıkça boşalmanın tutuşmasının da o derece kolaylaşmıştır.

5.2. Öneriler

Aydınlatma tekniği açısından önemli bir yere sahip olan *DBB*'nin diğer soygaz türleri ortamında da incelenmesinin enerji verimliliği ve deşarj lambaları açısından önemli mesafeler kaydedilebileceği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- A Sublet, C Ding, J-L Dorier, Ch Hollenstein, P Fayet and F Coursimault. Atmospheric and sub-atmospheric dielectric barrier discharges in helium and nitrogen. *Plasma Sources Science and Technology*, Volume 15, Number 4 (2006).
- A. K. Srivastava G. Prasad. Low frequency ionization waves in helium surface barrier discharge at atmospheric pressure. *Physics Letters. A*; ISSN 0375-9601; v. 374(38); p. 3960-3966 (2010).
- Alisoy H Z, Yeroglu C, Koseoglu M and Hansu F 2005 *J. Phys. D: Appl. Phys.* 38 4272–7.
- C. Strümpel, Yu. A. Astrov and H.-G Purwins. *Phys. Rev. E* 62, 4889 (2000).
- D. S. Nikandrov and L. D. Tsendin. Technical Physics, Vol. 50, No. 10, (2005), pp. 1284–1294. *Translated from Zhurnal Tekhnicheskoy Fiziki*, Vol. 75, No. 10, (2005), pp. 34–43.
- Dmitry F. Opaits, Alexandre V. Likhanskii, Gabriele Neretti, Sohail Zaidi, Mikhail N. Shneider, Richard B. Miles, and Sergey O. Macheret. Experimental investigation of dielectric barrier discharge plasma actuators driven by repetitive high-voltage nanosecond pulses with dc or low frequency sinusoidal bias. *Journal of Applied Physics* 104, 043304 (2008).
- Dmitry F. Opaits. Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators for Flow Control. *Final Report for NASA*. Princeton University, Princeton, New Jersey. September 2012.
- E. Ammelt, Yu. A. Astrov and H.-G. Purwins. *Physical Review E* **58**, 7109 (1998).
- Fang Zhi, Lei Xiao, Cai Lingling, Qiu Yuchang and Edmund Kuffel. Study on the Microsecond Pulse Homogeneous Dielectric Barrier Discharges in Atmospheric Air and Its Influencing Factors. *Plasma Science and Technology*, Volume 13, Number 6 (2011).
- Farshad Sohbatzadeh, Saeed Mirzanejhad, Hoda Mahdavi, Zahra Omid. Characterization of argon/air atmospheric pressure capacitively coupled radio frequency dielectric barrier discharge regarding parasitic capacitor at 13.56 MHz. *Journal of Theoretical and Applied Physics* 2012, 6:32.
- Fevzi HANSU. Doktora Tezi (2012). *Bariyer Boşalmasının Akım Kararsızlıklarının Deneysel ve Nümerik Analizi*. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fevzi HANSU. Yüksek L. Tezi (2005). *Bariyer Boşalmasının Gaz-Dielektrik ve Sıvı-Dielektrik Sistemlerinin Sorbsiyon Özellikleri Üzerine Etkisi*. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- H. Luo, Z. Liang, X. Wang, Z. Guan and L. Wang. Homogeneous dielectric barrier discharge in nitrogen at atmospheric pressure. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 43, 155201. (9pp) (2010).
- J P Boeuf, Y Lagmich, Th Unfer, Th Callegari and L C Pitchford. Electrohydrodynamic force in dielectric barrier discharge plasma actuators. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 40, Number 3 (2007).
- Jérôme Pons, Eric Moreau and Gérard Touchard. Asymmetric surface dielectric barrier discharge in air at atmospheric pressure: electrical properties and induced airflow characteristics. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 38, Number 19 (2005).
- Jochen Kriegseis, Benjamin Möller, Sven Grundmann, Cameron Tropea. Capacitance and power consumption quantification of dielectric barrier discharge (DBD) plasma actuators. *Journal of Electrostatics*. Volume 69, Issue 4, August 2011, Pages 302-312.
- K. G. Kostov, V. Rocha, C. Y. Koga-Ito, B. M. Matos, M. A. Algatti, R. Y. Honda, M. E Kayama, R. P. Mota. Bacterial sterilization by a dielectric barrier discharge (DBD) in air. *Surface and Coatings Technology*. Volume 204, Issues 18–19, 25 June 2010, Pages 2954-2959.
- M. Abdel Salam and H. Singer, *J. Phys. D: Appl. Phys* v 24 (1991), pp 2000-2007.
- Michael Meisser, Rainer Kling, Wolfgang Heering. Transformerless high voltage pulse generators for bipolar drive of Dielectric Barrier Discharges. *Conference: PCIM conference and exhibition At: Nuremberg*. January 2011.
- N Benard and E Moreau. Capabilities of the dielectric barrier discharge plasma actuator for multi-frequency excitations. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 43, Number 14 (March 2010).
- N. De Geyter, R. Morent, C. Leys, L.Gengembre and E.Payen. Treatment of polymer films with a dielectric barrier discharge in air, helium and argon at medium pressure. *Journal of Surface and Coatings Technology*. Volume 201, Issues 16–17, 21 May 2007, Pages 7066-7075.
- Priyadarshini Rajasekaran, Philipp Mertmann, Nikita Bibinov, Dirk Wandke, Wolfgang Viöl, Peter Awakowicz. Filamentary and Homogeneous Modes of Dielectric Barrier Discharge (DBD) in Air: Investigation through Plasma Characterization and Simulation of Surface Irradiation. *Plasma Process. Polym.* 2010, 7, 665–675
- R Brandenburg, Z Navrátil, J Jánský, P St'ahel, D Trunec and H-E Wagner. The transition between different modes of barrier discharges at atmospheric pressure. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 42, Number 8 (2009).

- R. Morent, N. De Geyter, C. Leys, L. Gengembre, E. Payen. Study of the ageing behaviour of polymer films treated with a dielectric barrier discharge in air, helium and argon at medium pressure. *Surface and Coatings Technology*. Volume 201, Issue 18, 25 June 2007, Pages 7847-7854.
- R. Morrow, The theory of positive glow corona, *J. Phys. D: Appl. Phys.*30 (1997) 3099–3114.
- Raizer Yu P. 1991. *Gas Discharge Physics* (Berlin:Spinger).
- Rino Morent, Nathalie De Geyter, Christophe Leys, Léon Gengembre, Edmond Payen. Surface Modification of Non-woven Textiles using a Dielectric Barrier Discharge Operating in Air, Helium and Argon at Medium Pressure. *Textile Research Journal*. Volume: 77 issue: 7, page(s): 471-488 (2007).
- S Okazaki, M Kogoma, M Uehara and Y Kimura. Appearance of stable glow discharge in air, argon, oxygen and nitrogen at atmospheric pressure using a 50 Hz source. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 26, Number 5. , pp. 889-892 (1993).
- Valentin I Gibalov and Gerhard J Pietsch. The development of dielectric barrier discharges in gas gaps and on surfaces. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 33, Number 20 (2000).
- Yongho Kim, Woo Seok Kang, Jin Myung Park, at all. Seock Joon Kim..Experimental and Numerical Analysis of Streamers in Pulsed Corona and Dielectric Barrier Discharges, *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 32, No. 1, February 2004
- Yu. B. Golubovskii, V. A. Maiorov, J. Behnke and J. F. Behnke. Modelling of the homogeneous barrier discharge in helium at atmospheric pressure. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 36, Number 1. (2002).
- Yu. A. Astrov, L. M. Portsel, S. P. Teperick, H. Willebrand and H-G. Purwins *J. Appl. Phys.* 74 2159 (1993).
- Zhitao Zhang, Xiaodong Wu, Jianlong Gu, Yang Xu, Xiyao Bai. Study on Radiation of Microgap DBD Plasma at Atmospheric Pressure. *Proceedings of the Fifth International Conference on Applied Electrostatics* November 2~5, 2004, 2004, Pages 230-233.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa SAĞLAM
Doğum Yeri ve Tarihi : SİİRT, 23.05.1989
Telefon : 0506 401 9090
E-posta : mstf_saglam@hotmail.com

EĞİTİM

| <u>Derece</u> | <u>Adı, İlçe, İl</u> | <u>Bitirme Yılı</u> |
|---------------|------------------------------------|---------------------|
| Lise | : Siirt Fen Lisesi , Merkez, Siirt | 2007 |
| Üniversite | : Fırat Üniversitesi , Elazığ | 2013 |
| Yüksek Lisans | : City University of London, UK. | 2017 |
| Doktora | : | |

İŞ DENEYİMLERİ

| <u>Yıl</u> | <u>Kurum</u> | <u>Görevi</u> |
|------------|--------------|---------------|
|------------|--------------|---------------|

UZMANLIK ALANI: Yüksek Gerilim ve Güç Sistemleri

YABANCI DİLLER: İngilizce (İyi Derecede)