

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATMOSFERİK BASINÇ PLAZMANIN ELEKTRİKSEL VE
OPTİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Kadir AKKAYA

Danışman : Doç. Dr. Lütfi ÖKSÜZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA, 2009**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1.GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1. Plazma Sınıflandırması.....	3
2.1.1. Sıcak Plazmalar:	4
2.1.2. Soğuk Plazmalar:.....	5
2.2. Atmosferik Plazmalar:.....	6
2.2.1. DC ve Düşük Frekans Deşarjlar	7
2.2.2. RF Deşarjlar:	10
2.2.3. Mikrodalga Deşarj	11
2.3. Yalıtkan Engel Deşarj Fiziği	12
2.3.1. Kırılma Olayı ve Mikrodeşarj Oluşumu.....	13
2.3.2. Elektrik Modelleme	15
2.3.1. Optik Karakteristikler.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	25
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	35
6. KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ.....	44

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATMOSFERİK BASINÇ PLAZMANIN ELEKTRİKSEL VE OPTİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Kadir AKKAYA

**Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı**

Jüri: Prof. Dr. Fatih UCUN
Doç. Dr. Lütfi ÖKSÜZ (Danışman)
Doç. Dr. Ayşegül UYGUN

Plazmalar kimyasal olarak aktif maddelerdir. Bu özelliklerinden dolayı pek çok işlemde önemli yere sahiptirler. Aktivasyonlarına ve çalışma gücüne bağlı olarak düşük ya da çok yüksek sıcaklık aralıklarında olabilirler. Bu sebeple soğuk ve sıcak plazma olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kimyasal özellikleri ve geniş sıcaklık aralıkları ile plazma yüzey kaplama, sterilizasyon, kimyasal sentez, dalga bozucu gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Soğuk plazmalar mikro elektronik ve metal işleme teknolojileri alanında pek çok uygulama yeri bulurlar. Fakat limitli vakumlu ortam gereksinimleri kullanım alanlarını sınırlar. Bu amaçla vakum oluşturma maliyeti ve kısıtlamalarından kurtulmak için atmosferik basınç plazmalar gelişme aşamasındadır.

Bu çalışmada düzlemsel yalıtkan engel deşarj sistemi incelenmiştir. Düşük frekans (600 Hz - 1 kHz), sinusoidal voltaj ($V_{pp} = 24 - 32$ kV) ve farklı aralık değerlerinde bir atmosferik basınç helyum ve hava plazma deşarj sistemi oluşturulmuştur. Deşarj reaktörünün elektriksel modeli deneysel olarak doğrulanmıştır. Optik görüntüleri alınmıştır. Glow deşarj hava plazmada gözlenmezken helyumda gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik Plazma, Elektrik, Optik, Karakterizasyon.

2009, 44 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ATMOSPHERIC GLOW PLASMA ELECTRICAL AND OPTICAL CHARACTERISTICS

Kadir AKKAYA

**Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences
Physics Department**

Thesis Committee: Prof. Dr. Fatih UCUN
Assoc. Prof. Lütfi ÖKSÜZ (Supervisor)
Assoc. Prof. Ayşegül UYGUN

Plasmas are chemical active materials. Plasmas have great importance because of being chemical active materials. They can be at any temperature from low to very high depending on their activation and power. Because of this reason, they are categorized as thermal or non-thermal plasmas. They are used in many areas such as surface treatment, sterilization, chemical synthesis and jammer with their chemical properties and wide range of temperature.

Non-thermal plasmas takes place many place in industry such as microelectronics and metal forming. Whereas their limited vacuum chamber requirements restrain their working area. Atmospheric plasmas in progress to be able to get rid of constitute vacuum environment and their limited usage.

In this study electrical and optical properties of planer dielectric barrier discharge system is investigated. One atmospheric helium and air plasma discharge operated at low frequency (600 Hz – 1 kHz), sinusoidal voltage ($V_{pp}=24 - 32$ kV) and different gap distance. Electrical model of discharge reactor has been verified by experimental results. Optical images have been taken. Glow discharge can not be seen in air discharge whilst it is seen easily in He ICCD pictures.

Key Words: Atmospheric Plasma, Electric, Optic, Characterization.

2009, 44 pages

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum bu çalışmada benim her zaman yanımda olan ve her konuda desteğini esirgemeyen Danışman Hocam Doç. Dr. Lutfi ÖKSÜZ' şükranlarımı sunar ve teşekkürü bir borç bilirim. Bunun yanında laboratuvar çalışmalarımda da önemli destekleri olan Arř. Gör. Ali GÜLEÇ' e teşekkürlerimi sunarım.

Kadir AKKAYA

ISPARTA, 2009

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Plazma sınıflandırması (elektron sıcaklığı – gaz yoğunluğu)	3
Şekil 2.2.	Glow deşarjdan ark deşarja geçişte basınç etkisini göstermektedir (Boulos vd., 1994).	5
Şekil 2.4.	DC ve düşük frekans deşarj kaynakları (Boulos vd., 1994).	7
Şekil 2.6.	Rf plazma kaynakları (Fauchais vd.,2001).	10
Şekil 2.7.	Yalıtkan engel deşarj konfigürasyonları (Kogelschatz, 2002)	12
Şekil 2.8.	Mikrodeşarj görüntüsü (Kogelschatz, 2002)	13
Şekil 2.9.	Yalıtkan engel deşarj eşdeğer devresi (Kogelschatz, 2002).	14
Şekil 2.10.	Elektron dağılım simülasyonu (Kogelschatz, 2002).	14
Şekil 2.11.	Yalıtkan engel deşarj eşdeğer devresi	16
Şekil 2.12.	Deşarj akım – zaman grafiği	17
Şekil 2.13.	Deney düzeneği basitleştirilmiş şematik çizimi	18
Şekil 2.14.	Deşarj ICCD görüntüleri	18
Şekil 3.1.	Oluşturulan deney düzeneği şematik çizimi	20
Şekil 3.2.	Elektrot sisteminin boyuna ve enine görüntüsü	21
Şekil 3.3.	Escort EFG–3210 sinyal üretici	21
Şekil 3.4.	Trek model 20/20C yüksek gerilim üretici	22
Şekil 3.5.	ANDOR Technology DH5H7- 18S -13 çoklayıcı CCD kamera	22
Şekil 4.1	Farklı voltajlarda hava için akımın zamanla değişimi	25
Şekil 4.2.	Farklı frekanslarda hava için akımın zamanla değişimi	26
Şekil 4.3.	Farklı uzaklıklarda hava için akımın zamanla değişimi	27
Şekil 4.4.	Farklı voltajlarda helyum için akımın zamanla değişimi	28
Şekil 4.5.	Farklı frekanslarda helyum için akımın zamanla değişimi	29
Şekil 4.6.	Farklı uzaklıklarda helyum için akımın zamanla değişimi	30
Şekil 4.7.	24 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (hava)	31
Şekil 4.8.	28 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (hava)	31
Şekil 4.9.	32 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (hava)	32
Şekil 4.10.	24 kV altında 800 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (hava)	32
Şekil 4.11.	24 kV altında 600 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (hava)	33
Şekil 4.12.	24 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (helyum)	33

Şekil 4.13	28 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (helyum)..	34
Şekil 4.14	32 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (helyum)..	34
Şekil 4.15	24 kV altında 800 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (helyum)...	35
Şekil 4.16	24 kV altında 600 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (helyum)...	35
Şekil 5.1.	Sabit frekans, uzaklıkta farklı gerilim değerlerinde akımın zamanla değişimi (hava)	36
Şekil 5.2.	Sabit gerilim, uzaklıkta farklı frekans değerlerinde akımın zamanla değişimi (hava)	37
Şekil 5.3.	Sabit gerilim, frekansta farklı uzaklık değerlerinde akımın zamanla değişim grafiği (hava)	38
Şekil 5.4.	Sabit frekans, uzaklıkta değişen gerilim değerlerinde akımın zamanla değişimi (helyum).....	38
Şekil 5.5.	Sabit gerilim, aralıkta farklı frekans değerlerinde akımın zamanla değişimi (helyum).....	39
Şekil 5.6.	Sabit gerilim, frekansta farklı aralık değerlerinde akımın zamanla değişimi (helyum).....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Hava ve helyum için uygulanan gerilim, frekans, boşluk değerleri...23
Çizelge 5.1.	Hava ve helyum için elde edilen ICCD görüntüleri41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ρ_c	Yük yoğunluğu
ε_0	Boşluğun geçirgenliği
$\vec{E}$	Elektriksel alan
μ_0	Boşluğun manyetik geçirgenliği
f	Frekans
C	Kapasitans
P	Güç
i	Akım
$\varepsilon_{r_{polyamid}}$	İzafi yalıtkanlık katsayısı
V_{pp}	Uygulanan voltajın tepeden-tepeye değeri
mA	Mili Amper
kHz	Kilo Hertz
kV	Kilo Volt

1.GİRİŞ

Plazma, içerisinde elektronlar, iyonlar ve nötraller taşımaya rağmen yüklerin birleşecek sakinliğe erişemediği bu yüzden dışarıdan bakıldığı zaman nötr gözükür fakat nötr olmayan gaz halinde bulunan maddenin 4. hali sayılan bir yapıdır. Evrenin % 99 undan daha büyük bir oranı plazmadır.

Plazma gazı enerji uygulayarak, atomların ya da moleküllerin elektronik yapılarının tekrar düzenlenmesi sayesinde oluşur. Bu yapıda atomlar ya da moleküller iyonlaşmış durumdadırlar. Enerji kaynağı termal olabildiği gibi elektrik akımı veya elektromagnetik radyasyon yoluyla aktarılabilir. Termal plazmaların laboratuvar şartlarında oluşturulması zor olduğu için elektrik enerjisi ile oluşum gerçekleştirilir. Elektrik alan enerjiyi, hareketli ve yüklü olan gaz atomlarına taşır. Çarpışmalar yardımıyla da elektronik enerji nötral atom ya da moleküllere taşınır. Bu çarpışmalar bir kaç olası yol izler ve aşağıdaki şekilde kategorilere ayrılır; Elastik çarpışmalar, nötral türlerin iç enerjisini değiştirmez fakat kinetik enerjilerini artırır. İnelastik çarpışmalar, elektronik enerji yeteri kadar yüksek ise çarpışmalar nötral türlerin elektronik yapılarını değiştirirler. Eğer çarpışma yeterli enerjideyse uyarılmış türlerin veya iyonların oluşumuna neden olur. Pek çok uyarılmış türün çok kısa ömürleri vardır ve bunlar foton yayarak temel enerji seviyesine inerler. Yarı kararlı türler de uyarılmış durumdadırlar fakat uzun ömürlüdürler çünkü ışınım ile seviyesini değiştirmeleri bulunduğu durumundan geçiş izini olmadığı için gerçekleştiremezler.

Çarpışmalar plazmanın özelliğini etkileyen bir faktördür. Çarpışmaları belirleyen faktörler ise sıcaklık ve yoğunluktur. Öyleyse plazma karakterizasyonunda bunlardan bahsetmemiz gereklidir. Sıcaklıklarına göre plazmaları iki kategoriye ayırırız: Soğuk plazmalar; plazma içerisinde kütlece ağır parçacıkların sıcaklığı oda sıcaklığında, sıcak plazmalar; plazmalar içerisinde kütlece ağır parçacıkların sıcaklığının diğer parçacık sıcaklığına aşağı yukarı eşit kısacası termal dengedeki plazmalardır. Yoğunluk ise çarpışmaları etkileyeceğinden dolayı diğer önemli unsurdur.

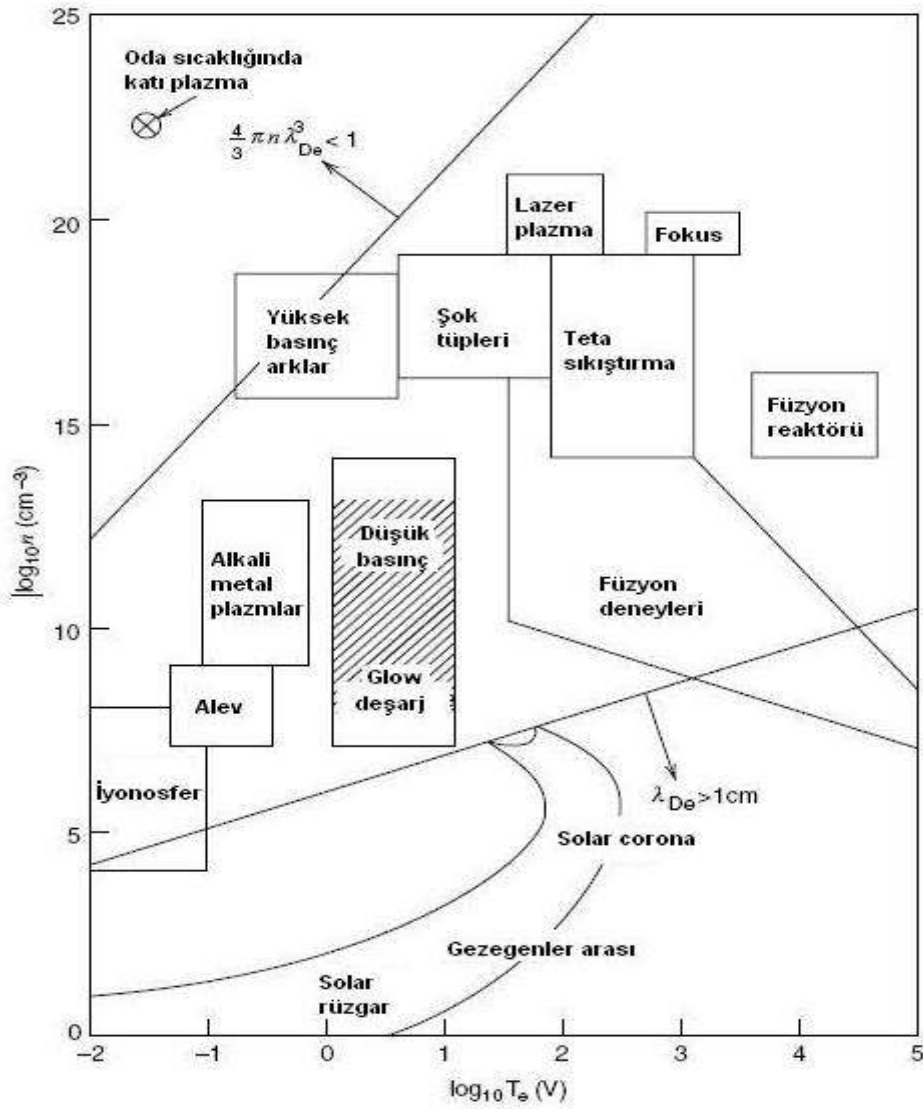
Atmosferik plazmalar ise özel bir vakum ortamı gereksinimi duymayan plazmalardır, üretim yöntemi RF ve mikrodalga olabildiği gibi DC akımla da oluşturulabilirler. Gazın kırılmasına yeterli elektrik alanı sağlandığında gaz iyonlaşmaya başlar. Yalıtkan üzerinde hızla çoğalan yüklerin zıt elektrik alanı yaratmasıyla da sona eren akım mikrodışarj olarak anılır. DC veya düşük frekans üreteçler ile oluşturulan atmosferik plazmalar vakum gereksinimi duymayan düşük maliyetli üreteçler ile gerçekleştirildiği için, endüstri için de önem taşımaktadır.

Süleyman Demirel Üniversitesi plazma laboratuvar'ında yapılan bu çalışmada atmosferik basınç hava ve helyum gazlarının yalıtkan engel dışarj sisteminde düşük frekanslı yüksek gerilim üreteciyle beslenerek oluşturdukları dışarjların elektriksel ve optik özellikleri incelenmiştir. Elektrotlar arasında gazın geçtiği boşluk genişliği, üretecin voltajı ve frekansı plazma oluşumunu etkileyen faktörler olup bu bulgulara yer verilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Plazma Sınıflandırması

Elektron sıcaklığı ve gaz yoğunluğu parçacık dağılım fonksiyonunu, elektron, iyonlaşma ve titreşim sıcaklığını vb. plazma özelliklerini değiştirdiği için önemlidir. Şekil 2.1 de gaz yoğunluk – elektron sıcaklığı ve buna göre plazma sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Plazma sınıflandırması (elektron sıcaklığı – gaz yoğunluğu) (Lieberman ve Lichtenberg, 2005)

Buna göre plazmaları Bölgesel Termodinamik Denge (BTD) veya sıcak plazma ve Bölgesel Termodinamik Denge olmayan veya soğuk plazmalar olarak ayırırız.

2.1.1 Sıcak Plazmalar:

BTD plazmalar çarpışmaların etkisiyle geçişler ve kimyasal reaksiyonlar ile oluşurlar. Bunun ötesinde çarpışmalar mikro – dönüşümlü olmak zorundadırlar. Her çarpışma türü (uyarılma / eski haline dönme, iyonizasyon / birleşme) olarak geri dönüşümlü bir dengededir. Plazma özelliklerinin bölgesel değişimleri (sıcaklık, yoğunluk, termal iletkenlik), plazma içerisindeki parçanın dengeye ulaşabilmesi için çok düşüktür; BTD plazmalar için ağır taneciklerin sıcaklıkları elektron sıcaklığına yakındır. Griem kriteri olarak eğer elektron yoğunluğu gereken değerdeyse oluşan ince homojen bir plazma Bölgesel Termodinamik dengededir (Griem vd., 1963).

$$n_e = 9.10^{23} \left(\frac{E_{21}}{E_{H^+}} \right)^3 \left(\frac{kT}{E_{H^+}} \right) (m^{-3}) \quad (2.1)$$

E_{21} temel hal ile 1.uyarılmış seviye arasındaki enerji aralığıdır.

$E_{H^+}=13.58$ eV hidrojenin iyonlaşma enerjisidir.

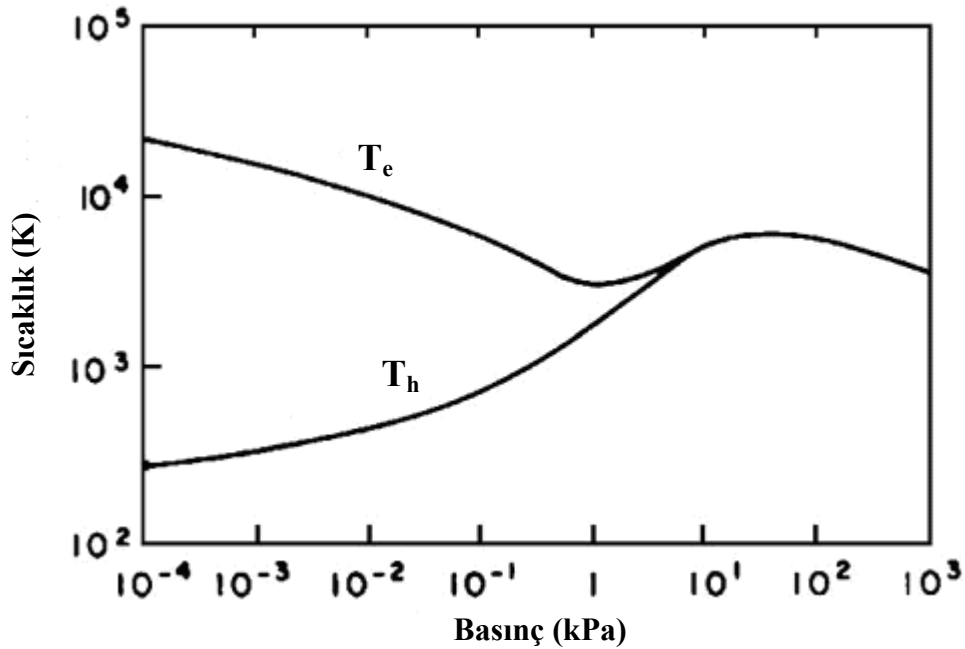
T plazma sıcaklığıdır.

Bu bağıntı BTD için gerekli elektron yoğunluğu ile birincil uyarılma seviyesi arasındaki kuvvetli ilişkiyi gösterir. Bu formül aynı zamanda laboratuvar ortamında oluşturulan düşük elektron yoğunluğundaki tüm plazmaların da BTD'den sapacağına işaret etmektedir (Tendero vd., 2006).

2.1.2 Soğuk Plazmalar:

Boltzman dağılımından sapmak BTM'den sapmak anlamındadır. Bir diğer sapmayı, ağır parçacıklar ile elektron arasındaki kütle farkı oluşturur. Elektronlar çok hızlı hareket ederken, ağır parçacıklar statik olarak düşünülür. Bu yüzden çarpışmalardan ve enerji geçişlerinden elektronlar sorumludur. Difüzyonla eşlik eden plazma özelliklerindeki (sıcaklık, yoğunluk, termal iletkenlik) değişim de sapmanın önemli bir unsurdur. BTM dağılımının kısmi olabileceği de gösterilmiştir. BTM iyonizasyon sınırına yakın seviyeler için (argon için 5 p veya yukarı enerji seviyesi) teyit edilmiştir. Bu tür plazmalar kısmi BTM'lerdir (Calzada vd., 1996).

BTM olmayan plazmalar iki sıcaklık modeliyle açıklanır: elektron sıcaklığı (T_e) ve ağır parçacık sıcaklığı (T_h). Elektron ve ağır parçacıklar arasındaki büyük kütle farkına göre, plazma sıcaklığı (veya gaz sıcaklığı) T_h olarak sabitlenmiştir. BTM'den uzaklaştıkça T_e ile T_h arasındaki farkta artacaktır (Boulos vd., 1994). BTM ile BTM olmayan plazma ana karakteristiklerini özetlemiştir (Şekil 2.2). Basıncı 10^{-4} ile 10^{-2} kPa aralığındaki plazmalar BTM olmayanlardır.



Şekil 2.2. Glow deşarjdan ark deşarja geçişte basınç etkisini göstermektedir (Boulos vd., 1994).

2.2 Atmosferik Plazmalar:

Düşük basınç plazmalar (10^{-4} ile 10^{-2} kPa) BTĐ olmayan plazmalardır. Ağır parçacıkların sıcaklıkları elektron sıcaklığından düşüktür. Elektronlar ve ağır parçacıklar arasındaki inelastik çarpışmalar uyarılma ve iyonizasyona sebep olurlar. Bu çarpışmalar ağır parçacıkların sıcaklığını artırmazlar.

Basınç artırıldığında çarpışmalar yoğunlaşır. Bu sayede inelastik çarpışmalarla plazma kimyası ve elastik çarpışmayla da ağır parçacıkların sıcaklık artışı gözlenir. T_e ve T_h arası fark azalır: Plazma BTĐ plazma haline yaklaşır fakat ulaşamaz. Plazmadaki önemli parametrelerin, parçanın deşarjdaki hareketiyle sınırlandırılarak dengeye ulaşmasını önler. Kaynak güç yoğunluğu plazmanın BTĐ olup olmamasında etkilidir. Genel olarak yüksek güç yoğunluğundaki kaynaklar BTĐ plazmaları oluştururken, BTĐ olmayan plazmalar pulslu veya düşük güç yoğunluğundaki kaynaklar tarafından oluşturulur. Pulslu güç kaynakları düşük kısa pulslar ürettiğinden dengenin kurulmasını engellemiş olurlar.

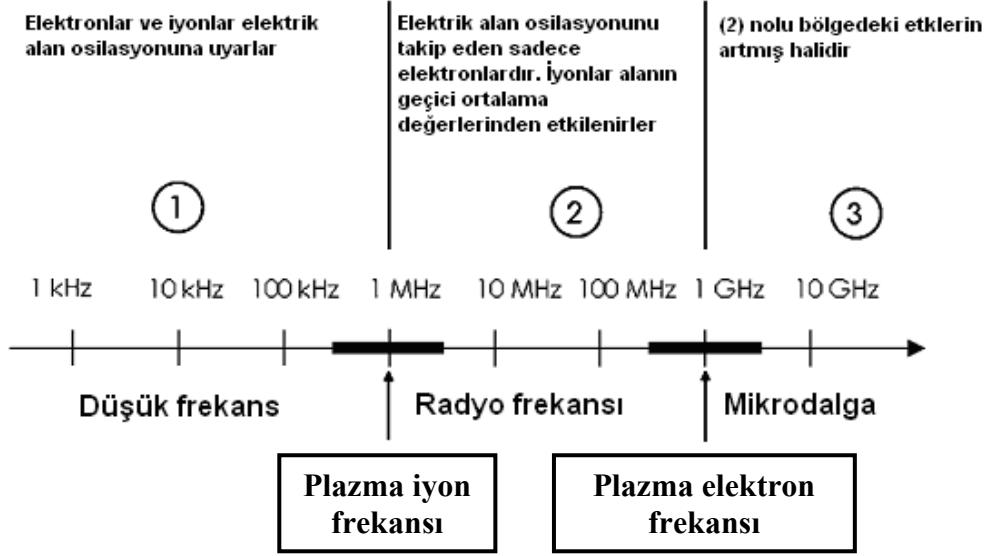
Sonuç olarak, bölgesel termodinamik denge plazma sıcaklığını tayin edeceğinden temel kavramdır. Bu ise plazma kaynağına oldukça bağlı bir unsurdur ve plazma uygulaması için belirleyicidir (Tendero vd., 2006).

Kaynaklar hakkında önemli bir parametre kaynak frekansıdır. Kaynak frekansı elektronların ve iyonların hareketini etkileyeceğinden önemlidir. Şekil 2.3 de soğuk plazmada elektron ve iyon frekans aralığı için bir çizelge oluşturulmuştur.

Atmosferik plazma kaynakları uyarma modlarına göre sınıflandırılır:

- i. DC ve düşük frekans deşarjlar
- ii. Radyo frekansı ile oluşturulan deşarjlar
- iii. Mikrodalga deşarjları

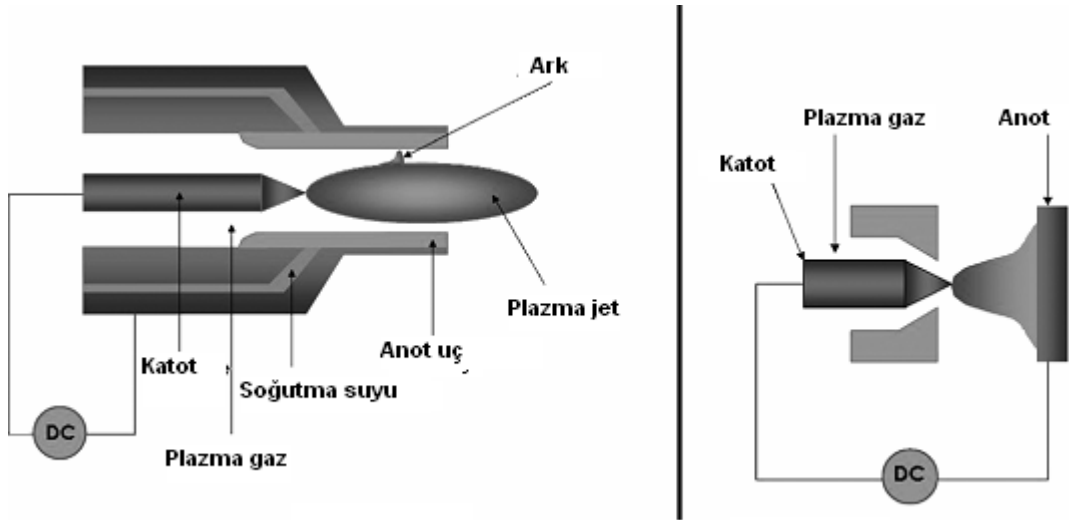
Bunlar arasında mikrop plazma uygulamaları düşük güç, yönlü taşınabilir sistemler olmasıyla ilgi çekicidir.



Şekil 2.3. Plazma frekans sınıflandırması (Boulos vd., 1994)

2.2.1 DC ve Düşük Frekans Deşarjlar

Dizayna bağlı olarak DC ve düşük frekans deşarjlar, devamlı veya pulslu mod olarak çalışırlar. Puls modu kısa aralıklarla sisteme yüksek enerji vererek ısınma problemini de sınırlamayı amaçlar.



Şekil 2.4. DC ve düşük frekans deşarj kaynakları (Boulos vd., 1994).

Sürekli çalışma modu için ark plazma torklar örnek gösterilebilir. DC kaynak ile beslenirler. Kategori olarak akım taşıyan ark ve transfer edilen ark olarak ikiye ayrılırlar. Şekil 2.4' de iki örnek de görülmektedir.

Plazma sıcaklığı 8000 K den 15000 K (plazma çekirdeği) aralığındadır. Bu yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalara izin vermektedir. Akım geçirgenliği ise 50-600 A aralığında olup yüksek iyonize gaz içerir ve yoğunluğu $3 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$ mertebesinde (Tendero vd., 2006).

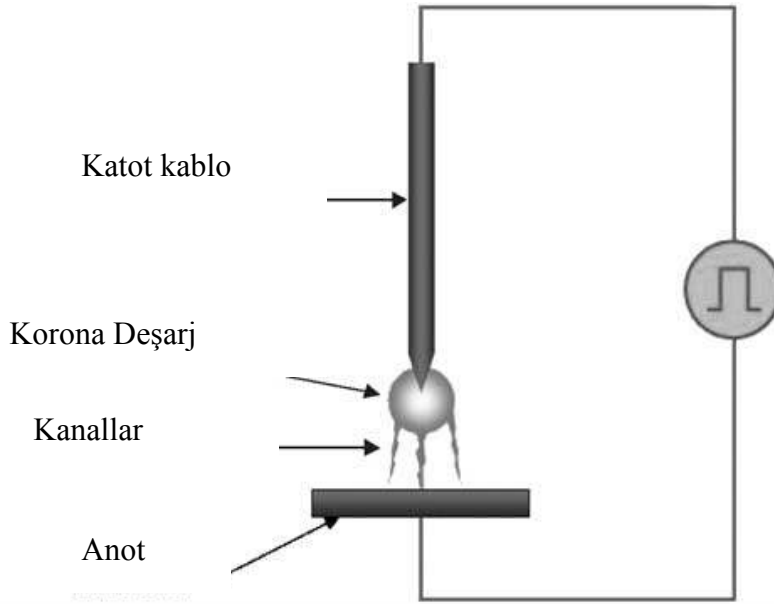
Sürekli çalışma moduna bir diğer örnek ise kalem şekli torklardır. Kalem şekli plazma torklar düşük güçte çalışırlar. Klasik ark plazmalarından ayıran yönü düşük ısı üretimiyle çeşitli malzemeler üzerinde yüzey işlemlerine olanak tanınmasıdır.

Klasik ark torklar yüksek sıcaklıklarla karakterize edilir ve ısının gerekli olduğu kaynak, kesme, spreyleme gibi alanlarda kullanılırlar. Klasik torklar BTD deşarjları olarak kategorize edilirken kalem torklar düşük sıcaklık gerektiren uygulamalarda kullanılır ve BTD değildirler.

Pulsu çalışma modeline korona deşarj bir örnektir. Taç şeklinde bir plazma olduğu için "Corona" plazma olarak adlandırılır (Şekil 2.5). Düşük akım yoğunluğunda BTD olmayan plazmadır. DC güç kaynağı kullanılır. Elektrot kablo ucuna negatif voltaj uygulanırsa bu negatif korona olarak adlandırılır. Pozitif iyonlar kabloya yönelirken ikincil elektronlar salınarak plazmaya yönelirler. Puls aralığı ark oluşumunu engelleyecek şekilde kısa tutulmalıdır. Deşarj aşırı iletken olmadan sona erer, bu şekilde kıvılcım oluşumu önlenmiş olur. Akım aralığı 10^{-10} ile 10^{-5} A civarındadır. Aynı şekilde pozitif korona oluşturmakta polarizasyonu tersine çevirerek elde edilir (Fridman vd., 2005).

Coronadan türetilmiş bir diğer deşarj sistemi olarak yine benzer bir sistem olan fakat alternatif akımla çalışan sistemler de vardır.

Oluşturulan plazma alanının küçük olması yüzey işlemlerini elverişsiz hale getiren bir unsurdur. Boyutun artırılması için katot kablo yüzeye paralel düzlemsel bir elektrotla değiştirilmelidir. Böyle bir sistem ise çok sayıda mikro ark'lar (streamer) üretecektir. Bu da yüzey üzerinde homojen olmayan bir dağılım yarattığından Yalıtkan Engel Deşarj geliştirilmiştir.



Şekil 2.5. Corona deşarj (Fridman vd., 2005)

Yalıtkan Engel Deşarj (YED) iki paralel metal elektrottan oluşur: bu elektrotlardan en az biri yalıtkan ile kaplanır. Düzgün bir plazma oluşumu için elektrotlar arasındaki mesafe milimetrik düzeydedir. Plazma gaz bu boşluktadır. Deşarj sinusoidal veya pulslu kaynak ile beslenir. Gaz, voltaja ve frekansa bağlı olarak deşarj filamentary veya glowdur. Filamentary deşarj mikro-deşarjlardan oluşurken, helyumun kullanılmasıyla glow deşarj elde edilir.

Mikroplazma ise cam üzerinde mikro mertebede kanallar ile oluşturulan sistemdir.

2.2.2 RF Deşarjlar:

Yapısına bağlı olarak RF kaynaklar yüksek veya düşük güç üniteleriyle çalışırlar (Şekil 2.6). Plazma özelliklerini etkilediği için geçerli bir yöntemdir.

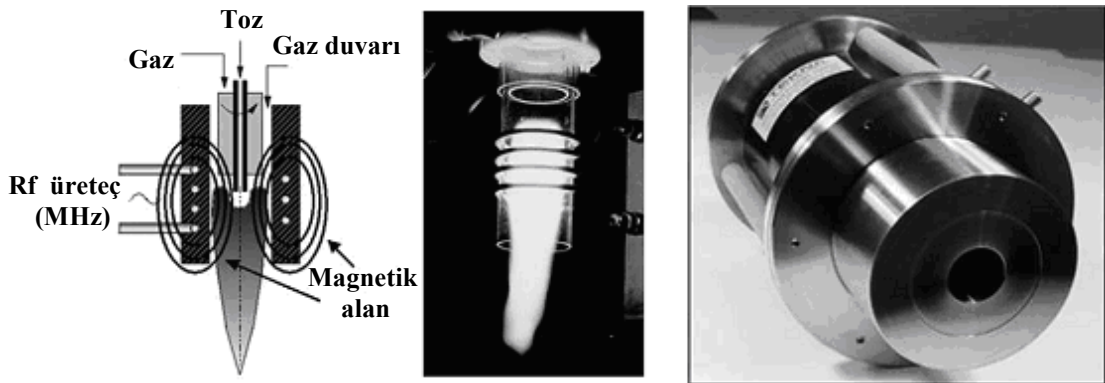
Yüksek güç deşarjlar:

Rf kaynaklar değişen magnetik alanlar ürettiği için plazma içinde indüklenmiş elektrik alanları oluştururlar. Bu frekans aralığı elektronlar ve iyonların elektrik alan içerisinde hareketini sağlayarak tork duvarına ulaşmalarını engeller.

Seramik tüp içerisine hapsedilen plazma kaynak gücüne de bağlı olarak su veya hava ile soğutulur. Gaz akışı dakikada 10–20 litre olan bir endüktif torkun kaynak gücü 20 kW ile 1000 kW aralığındadır (Paya vd., 2003).

Düşük güç deşarjlar:

Deşarj başlatabilmek için elektrotlar arasına uygulanan kırılma voltaj değeri Pxd değeri ile belirlenir. Paschen kanunu atmosferik basınçta çalışabilmek için uygulanabilecek değerde bir voltaj aralığı için birkaç milimetre incelikte bir boşluk oluşturmasını gerekliliğine işaret eder (Schütze vd., 1998).



Şekil 2.6. Rf plazma kaynakları (Fauchais vd.,2001).

2.2.3 Mikrodalga Deşarj

Elektrotsuz mikrodalga sistemlerinin hepsi aynı prensibe dayanır. Mikrodalga sisteme yönlendirilerek plazma gaz elektronlarına enerji aktarılır. Elektronlar ve iyonlar arasında elastik çarpışmalar gerçekleşir. Çarpışan elektronlar geri yansırken, ağır parçacıklar kütlelerinden dolayı sabit kalırlar. Birkaç elastik çarpışma sonrası elektronlar yeterli enerji kazanarak inelastik uyarma veya iyonize eden çarpışmalara sebep olurlar. Gaz kısmi olarak iyonlaşır ve plazma mikrodalga yayılımı gerçekleştirir hale gelir.

Mikrodalga sistemleri, güç kaynağı, magnetron ve magnetronu yansıyan güçten koruyan sirkülatör, mikrodalga ekipmanı (dalga kılavuzu, ayarlama sistemi), ateşleyici sistem ve gaz enjeksiyon sistemlerinden oluşur.

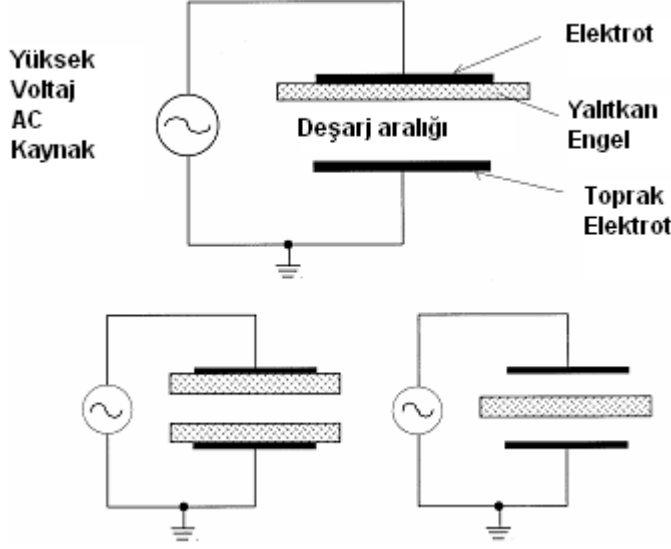
Deşarj başlatımı mikrodalga kaynaklar için önemli bir unsurdur. Gaz elektronlarına aktarılan enerji plazma oluşumunu başlatmaya yetecek seviyede olmalıdır. Kaynaklarda birkaç metot ortaya atılmıştır:

- Anten görevini üstlenen iletken çubuk ile mikrodalga yakalanır ve çubuğun ucunda yoğunlaşır.
- Elektrik alanını maksimize eden gaz boşluğunda oluşturulan rezonatör kavite kullanılır.
- Helikal halka kullanılarak dairesel polarizasyon sağlanır. Böylelikle elektrona aktarılan enerji artırılmış olur.
- Elektrik iletkenliği olan ısıya dayanıklı malzeme argon kullanılan sistemde mikrodalga ile kolaylıkla kararlı plazma oluşumuna sebep olur (Kiyokawa vd., 2001).

Yapılarına göre üçe ayırabiliriz:

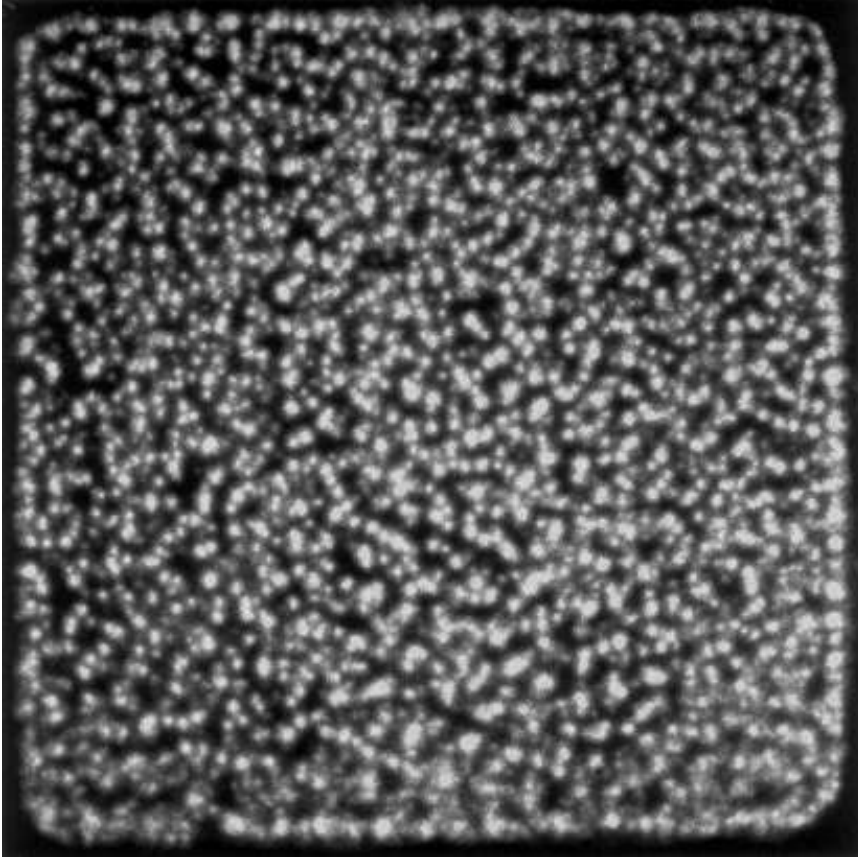
1. Resonant kaviteli
2. Açık plazma torklar
3. Mikrostrip plazma

2.3 Yalıtkan Engel Deşarj Fiziği



Şekil 2.7. Yalıtkan engel deşarj konfigürasyonları (Kogelschatz, 2002).

Yalıtkan engel deşarj düzeneği (Şekil 2.7) yalıtkan kullanımından dolayı alternatif akım kaynağı ile beslenmelidirler. Düzenekteki deşarj aralığı içerisinde elektrik alanı gazın kırılması için yeterli olması gereklidir. Birçok uygulamada yalıtkan ortalama akım yoğunluğunu sınırlayan bir etkisi vardır. Yalıtkanlar cam, silika cam veya seramik malzemeler ve polimer katmanlar olabilmektedir. Çok yüksek frekanslarda ise yalıtkan etki azalacağından dolayı frekans aralığı 10 MHz mertebesinde tutulur. Elektrik alanı kırılma oluşturacak kadar yeterli yüksek olması durumunda pek çok gazda mikrobeşarjlar görülür (Kogelschatz, 2002).



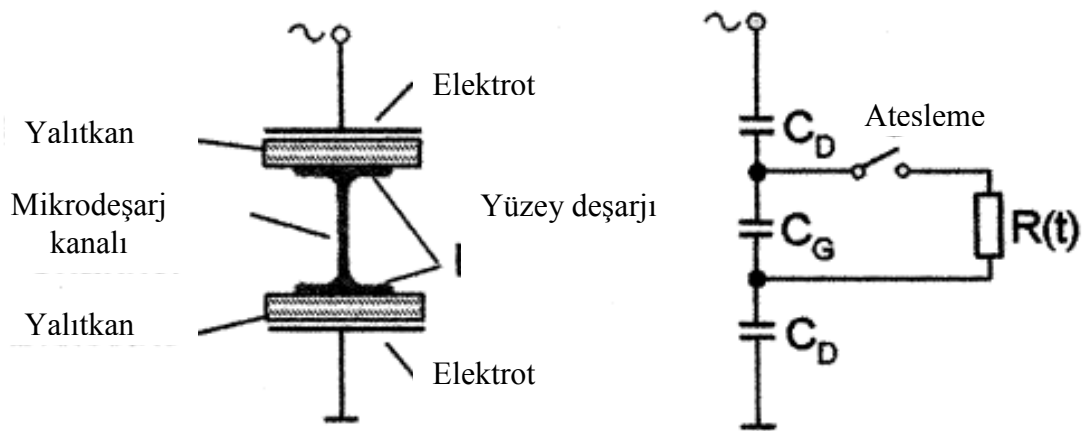
Şekil 2.8. Mikrodeşarj görüntüsü (Kogelschatz, 2002).

Şekil 2.8’ deki filamentli plazma yapısı, elektriksel iletkenliğin mikrodeşarjlarla sınırlandırılması ile var olur. Boşluk arasındaki gaz iyonlaşmamıştır, mikrodeşarlardaki enerjiyi tutan ve uzun-ömürlü türlerin oluşuma aktaran bir yapıdadır (Kogelschatz, 2002).

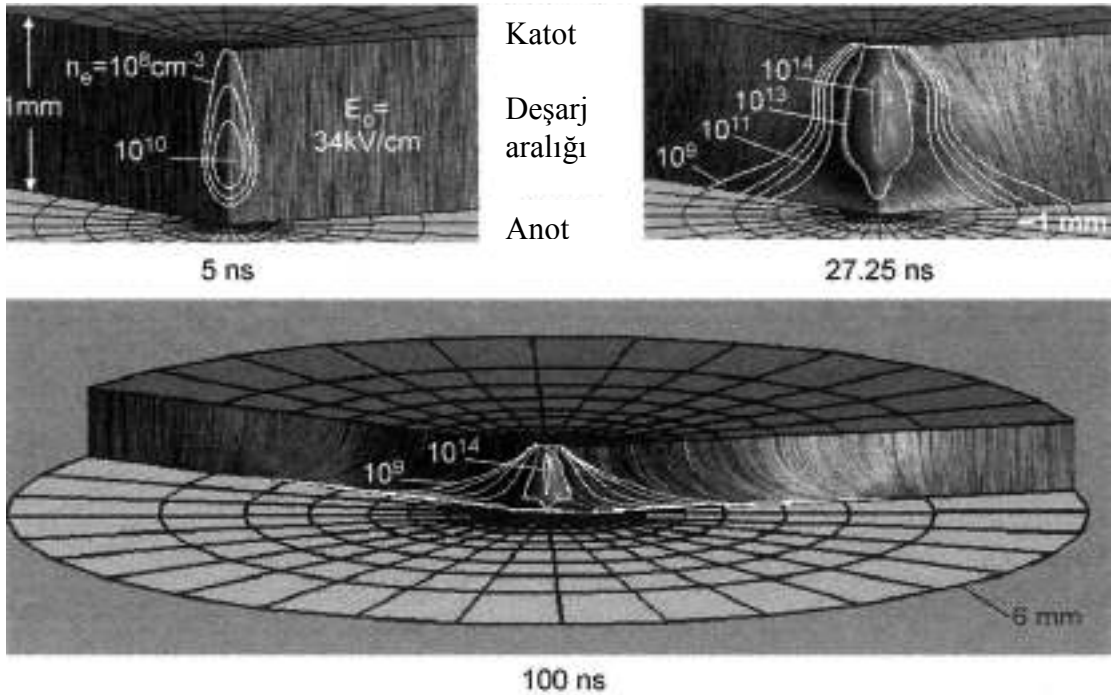
2.3.1 Kırılma Olayı ve Mikrodeşarj Oluşumu

Atmosferik basınç kırılma olayında çok sayıda mikrodeşarj oluşması gereken bir durumdur. Fakat belli şartlar altında homojen, yaygın bir yapı kazanabilirler. Bu olay He ve He karışımli gazlarda kolaylıkla gözlenebilir. Düşük basınçta ise glowdeşarj her zaman gözlenir. Budeşarjlar genellikle RF flowdeşarlardır ve plazma aşındırma, katkılama işlemleri ile yarı iletken endüstrisinde geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Düşük basınç olmayan plazmalardaki geneldeşarj görüntüsü Şekil 2.8’ de verilmiştir. Her mikrodeşarj ortalama 100 μm yarı çapa sahip silindirik yapıda olup yüzeye yayılmışlardır (Kogelschatz, 2002).

Elektrik alanın kırılmayı başlatması durumunda devre çiziminde gösterilen anahtarın kapanması durumuna eşdeğerdir ve plazma filamanından direnci zamanla değişen belli bir akım geçmesini sağlar. Bu büyüyen elektron yığınının çabucak kendiliğinden yayılan streamer'ları oluşturacak büyük yükleri oluşturur. Bu yükler elektron sürüklenme hızından daha hızlı hareket edip anot yüzeye çarparak katot yüzeye doğru dönerler 1 ns içerisinde ve çok ince bir katot katmanını oluştururlar. Oluşan bu katman ise elektrik alanının azalmasına ve mikrobeşarjın yıkımına sebep olur (Kogelschatz, 2002).



Şekil 2.9. Yalıtkan engeldeşarj eşdeğer devresi (Kogelschatz, 2002).



Şekil 2.10. Elektron dağılım simülasyonu (Kogelschatz, 2002).

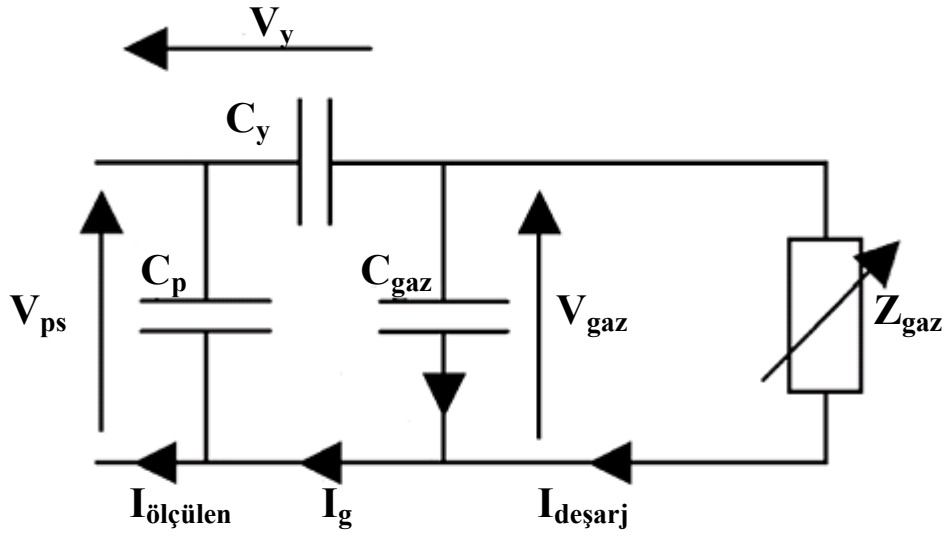
Şekilde 2.10’ da elektronların 5 ns içerisinde anoda yöneldikleri, 27,25 ns de pik akımdaki elektron dağılımını ve katot katmanını görebiliyoruz. Elektronlar hala vardır fakat elektrik alanı bozulmuştur. Yine de birkaç milimetre ötede bozulmamış elektrik alanları bulabiliriz. Yüzey yük dağılımlarının yanal alanları orijinal mikrobeşarj kanallarının çapından daha büyüktür. Bu boğma etkisi elektronegatif gazlarda hızlı elektron bağlanımından dolayı daha yaygındır.

Filamanlar geliştirilmiş katot katmanı ve pozitif kolon geçici glow deşarjları olarak sınıflandırılabilirler. Atmosferik basınçta elektron yoğunluğu $10^{14} - 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ve akım yoğunluğu $100 - 1000 \text{ A cm}^{-2}$ aralığındadır. Değişik gazlar için yapılan hesaplamalarda aynı sayıları vermektedir. Burada yalıtkanın iki görev üstlendiğini de görebiliriz: yük sayısını ve mikro deşarjlara verilecek enerjiyi sınırlar ve aynı zamanda tüm elektrot yüzeyi boyunca mikrobeşarj dağılımını sağlar. Bozulmamış yalıtkan kıvılcım ve ark oluşumunu da önler. Her bir mikrobeşarj tarafından aktarılan yük yaklaşık 100 pC enerjileri ise μJ mertebesinde (Kogelschatz, 2002).

YED üzerine yapılan araştırmalar farklı gazlar kullanarak, sıcaklığı, basıncı ve elektrot geometrisini değiştirerek mikrobeşarj karakteristiklerinin incelemesi üzerinedir (Kogelschatz, 2002).

2.3.2 Elektrik Modelleme

Yalıtkan engel deşarj elektrik eşdeğer çizimi Şekil 2.11’ de deşarj yokken çizilmiştir (N Naud’e vd., 2005). Deney düzeneği yalıtkan engel deşarj içermektedir.



Şekil 2.11. Yalıtkan engel deşarj eşdeğer devresi

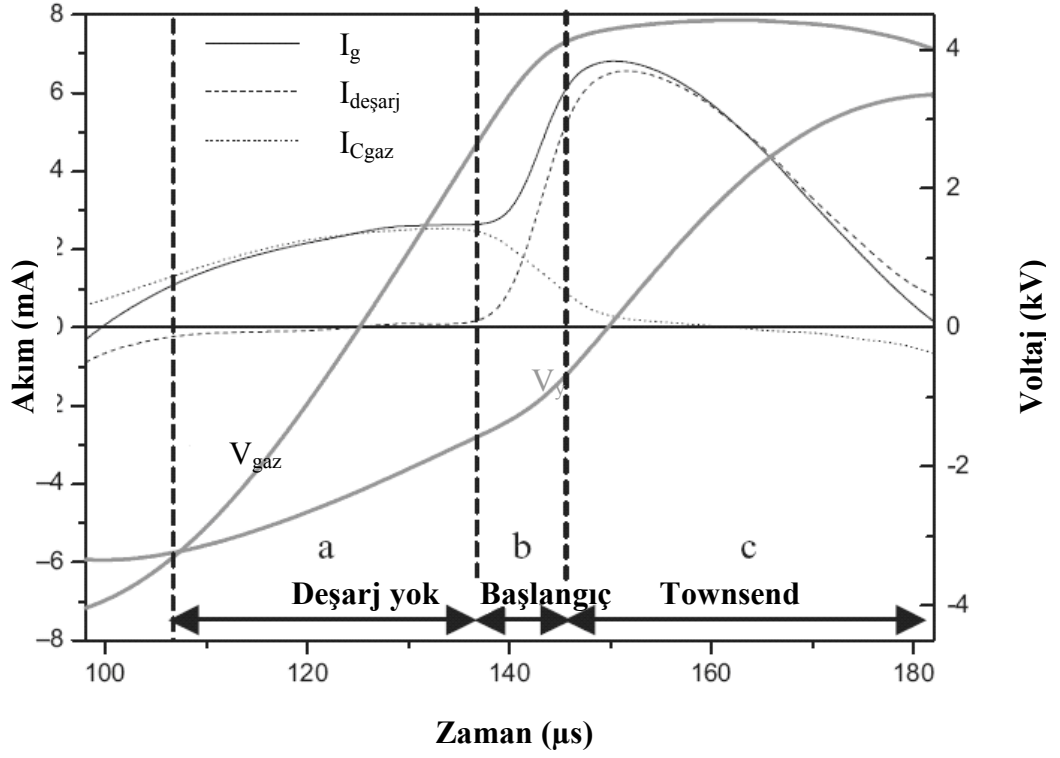
Şekilde 2.11’ de V_{ps} güç kaynağının sisteme verdiği maksimum voltaj, V_{gaz} gaza uygulanan voltaj, C_{gaz} ve C_y ise gazın ve yalıtkan malzemenin kapasitansını ve C_p ise kaçak kapasitansı, Z_{gaz} ise deşarj başladıktan sonra zamanla değişen plazma direncini ifade etmektedir.

Aşağıda ilgili ifadeler verilmiştir.

$$V_{gaz}(t) = V_{ps}(t) - \frac{1}{C_y} \int I_g(t) dt \quad (2.2)$$

$$I_g(t) = I_{ölçülen}(t) - C_p \frac{dV_{ps}(t)}{dt} \quad (2.3)$$

$$I_{deşarj}(t) = I_g(t) - C_{gaz} \frac{dV_{ps}(t)}{dt} \quad (2.4)$$



Şekil 2.12. Deşarj akım – zaman grafiği

Şekil 2.12' ye göre deşarj yokken gaz system akımı (I_g) ile gaz kapasitansından geçen akımın ($I_{deşarj}$) aynı olduğu, gaz voltajının (V_{gaz}) belli bir değere ulaşmasıyla deşarjın başlaması ve deşarj akımının ($I_{deşarj}$) giderek yükselirken gaz kapasitans akımının deşarjın maksimuma ulaşmasıyla sıfırlandığı görülmektedir.

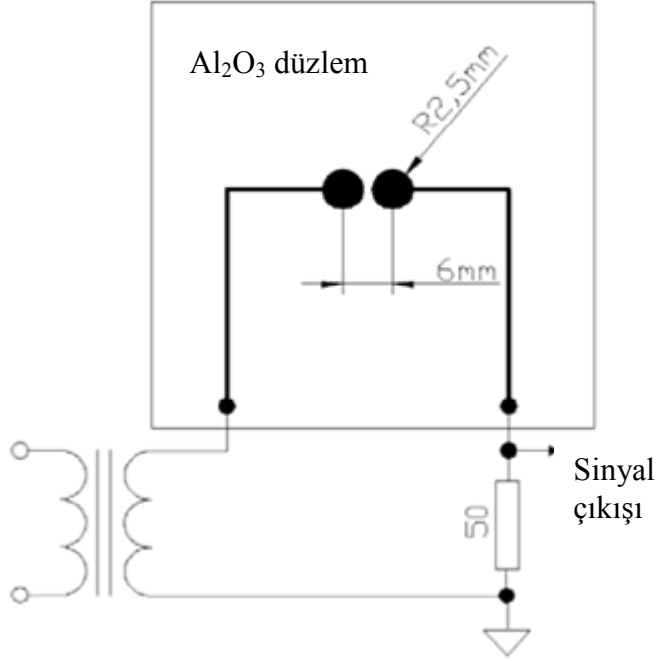
Aşağıda ilgili ifadeler verilmiştir.

$$I_g(t) = \frac{C_y C_{gaz}}{C_y + C_{gaz}} \frac{dV_{ps}(t)}{dt} \quad (2.5)$$

$$I_g(t) = C_y \frac{dV_{ps}(t)}{dt} \quad (2.6)$$

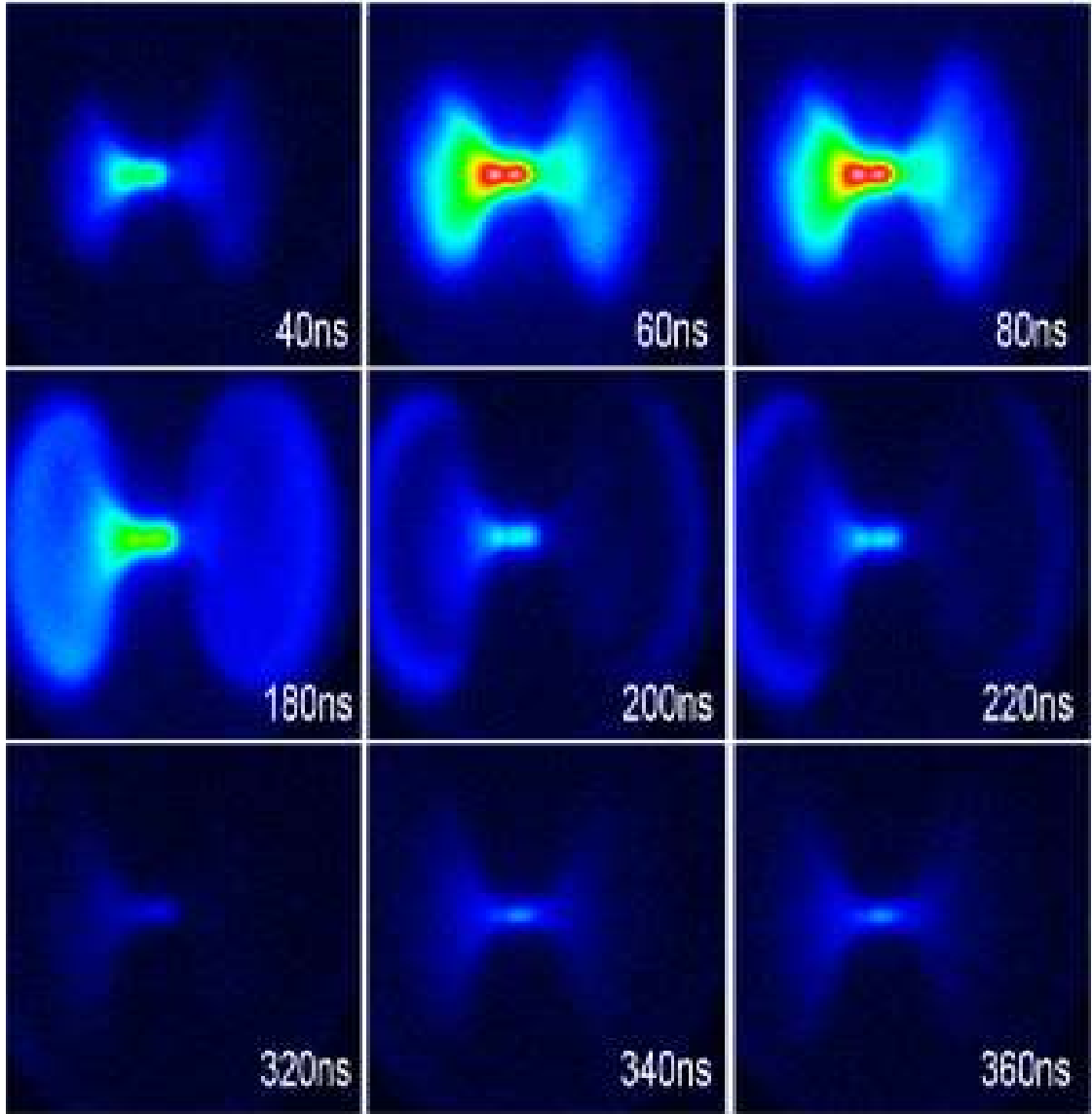
2.3.1 Optik Karakteristikler

Optik karakteristikler üzerine Ráhel' vd. (2005) 'in yaptığı bir çalışmada, oluşturulan deney düzeneği ve elde edilen – Çoklayıcı Yük Eşlemeli Aygıt - Intensified Charge Coupled Device (ICCD) kamera görüntüleri Şekil 2.13' de gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Deney düzeneği basitleştirilmiş şematik çizimi

Oluşturulan düzenekte 5 mm çapında küresel elektrotlar 1 mm aralıkla, 0,4 mm Al₂O₃ seramik düzlem içine gömülmüştür. Deşarj AC kaynak ile oluşturulur. Kullanılan güç kaynağı 10 kHz, voltajın etkin değeri 6 kV'dur. 50 ohm direnç kamera senkronizasyon sistemi için kullanılmıştır.

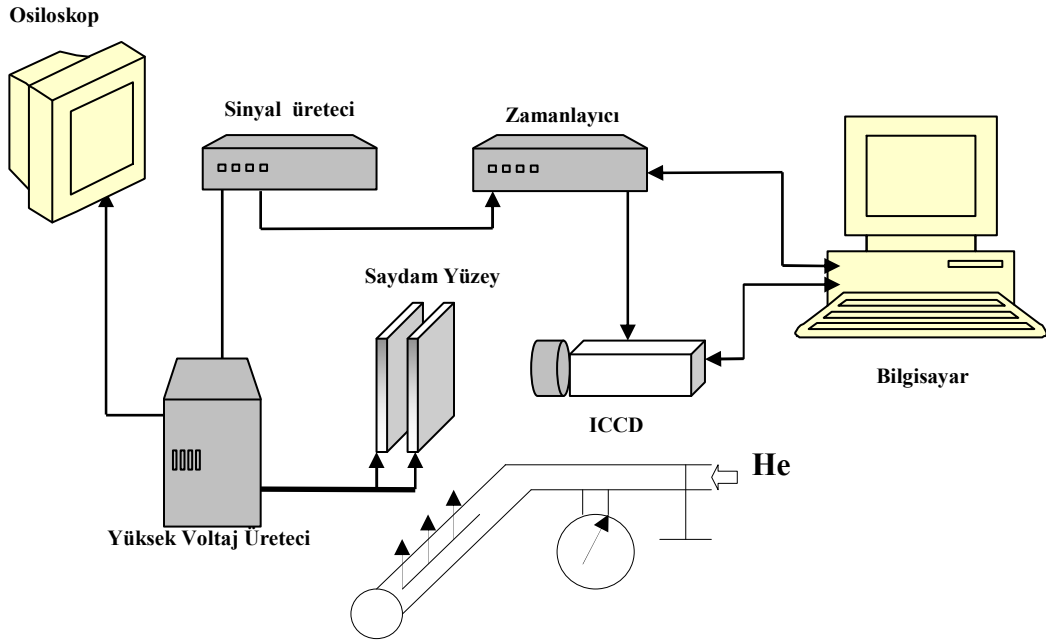


Şekil 2.14. Deşarj ICCD görüntüleri

Elde edilen ICCD kamera görüntüleri ve çekildikleri zamanlar Şekil 2.13’ de gösterilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada deney düzeneği, anot ve katot paralel elektrotlar, saydam olması amacıyla tuzlu su bulunan dikdörtgen cam bir havuzdan yapılmış ve aralarındaki boşluğa hava ve helyum gazları konmasıyla oluşturulmuştur. İki farklı gaz içinde elektrotlar arası uzaklığın, uygulanan voltajın ve frekansın birbirlerine göre değişimlerinin elektriksel ve optik verileri alınmıştır. Süleyman Demirel Üniversitesi Plazma laboratuvarında yapılan bu çalışma Şekil 3.1’ de şematik çizimi ile verilmiştir.



Şekil 3.1. Oluşturulan deney düzeneği şematik çizimi

Şekilde belirtildiği üzere, sinyal jeneratörü yüksek voltaj üreticine bağlanarak verilen voltajın 2000 katı alınması sağlanır. Voltaj üretici ise uygulamış olduğu voltaj değerini ve çekilen akımı çıktı olarak osiloskopa iletir. Sinyal jeneratörü ile senkronize çalışan ICCD kamera zamanlayıcısının hem bilgisayar ile hem de sinyal jeneratörü ile bağlantısı vardır. Sisteme gaz akışı ise homojen olması bakımından alttan belli bir kanal boyunca iletilir.

Şekil 3.2’ de kullanılan saydam elektrot sistemini gösterilmiştir. İçersinde tuzlu su bulunan karşılıklı olarak yerleştirilmiş cam elektrotlar gösterilmektedir. Tuzlu suyun bulunduğu alan $19,3 \times 8,2 \text{ cm}^2$ dir.



Şekil 3.2. Elektrot sisteminin boyuna ve enine görüntüsü

Şekil 3.3’ de Escort EFG–3210 2 MHz sinyal üretici gösterilmiştir. Uygulanan frekans sinüsoidal voltaj olup 600, 800 ve 1000 Hz dir.



Şekil 3.3. Escort EFG–3210 sinyal üretici

Şekil 3.4’ de Trek Model 20/20C Yüksek Gerilim Üreteci gösterilmiştir. Sinyal üreticinden aldığı sinyali 2000 kat artırmaktadır. Uygulanan voltaj ve akım değerleri cihazın iki çıkıştan okunabilmektedir.



Şekil 3.4. Trek model 20/20C yüksek gerilim üretici

Oluşan plazma görüntüleri çeken ANDOR Technology DH5H7- 18S -13 Çoklayıcı CCD kamera ile çekilmiştir (Şekil 3.5). Odaklayabilmek için mercek kullanılmıştır. 10 ns çekim süre aralığı vardır.



Şekil 3.5. ANDOR Technology DH5H7- 18S -13 çoklayıcı CCD kamera

Oluşturulan deney düzeneğinde uygulanan gerilim, frekans ve boşluk değerleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

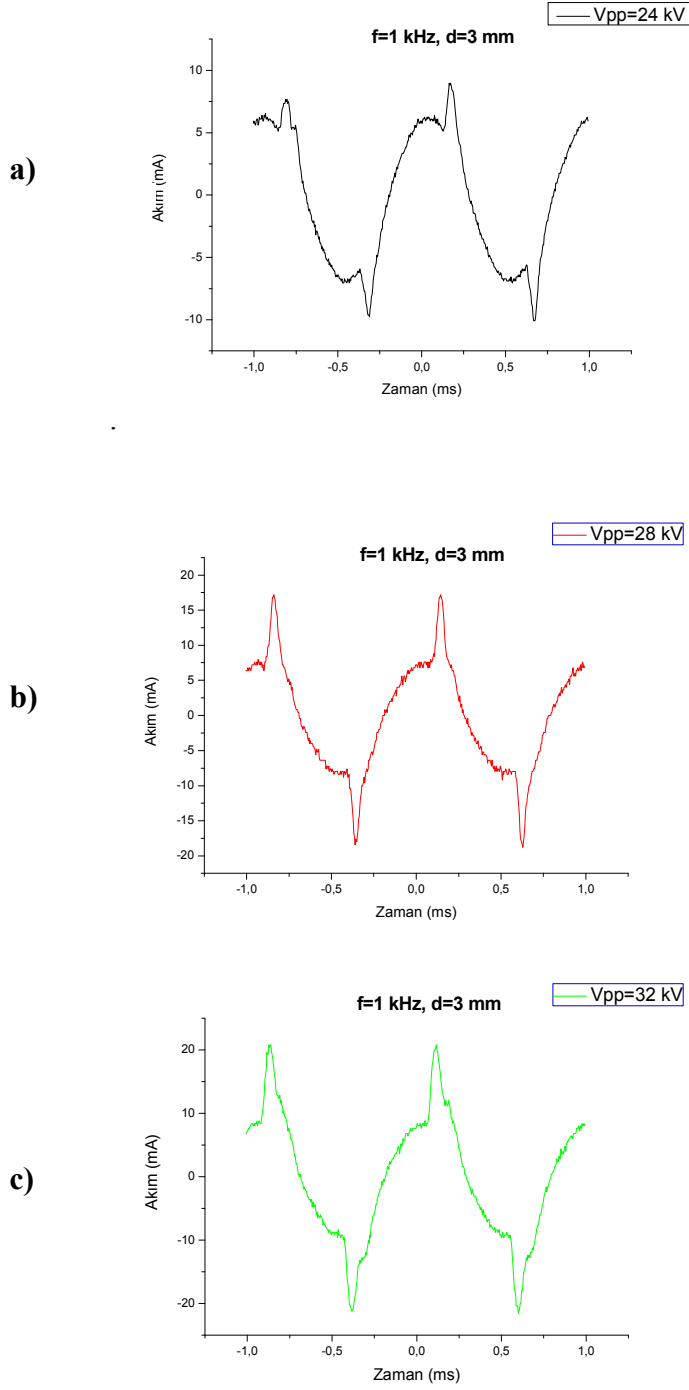
Çizelge 3.1. Hava ve helyum için uygulanan gerilim, frekans, boşluk değerleri

HAVA VE HELYUM	Mak. Gerilim (kV)	Frekans (Hz)	Boşluk (mm)
	12	1000	1
	12	1000	2
	12	1000	3
	12	600	3
	12	800	3
	12	1000	3
	12	1000	3
	14	1000	3
	16	1000	3
	12	1000	3
	14	1000	3
	16	1000	3
	12	600	3
	12	800	3
	12	1000	3

Yapılan düzenekte kullanılan cam kalınlığı 1,5 mm'dir. İçine su alabilmesi için 5 cm' lik bir su haznesi bırakarak silikon ile yalıtılmış 19,3 x 8,2 cm² lik bir alan elde edilmiştir. Tuzlu su iletken ve saydam olması ve elektrik alanı her tarafta düzgün bir şekilde dağıtabildiğı için kullanılmıştır. İki elektrot da aynı şekilde hazırlanmış eşit miktarda su konulmuştur. Elektrotlar arası mesafe 1,2 ve 3,0 mm olarak ayarlanmaktadır. Aradaki boşlukta helyum gazının homojen ve düzgün dağılımı sağlayabilmek için gazın verildiğı alt kısım kapatılmış ve bir kanal üzerinde delikler yardımıyla aralık boyunca verilmektedir. İlk olarak sabit gerilim ve frekansta elektrotlar arası uzaklık, daha sonra sabit gerilim ve elektrotlar arası uzaklıkta frekans değeri değıştirilmiş, son olarak sabit frekans ve elektrotlar arası uzakta gerilim değeri değıştirilmesi ile elde edilen akım değışimleri ve oluşan deşarjın homojenliğini incelemek adına deşarjın eni doğrultusunda optik görüntüler ile hava ve helyumun durumları takip edilmiştir.

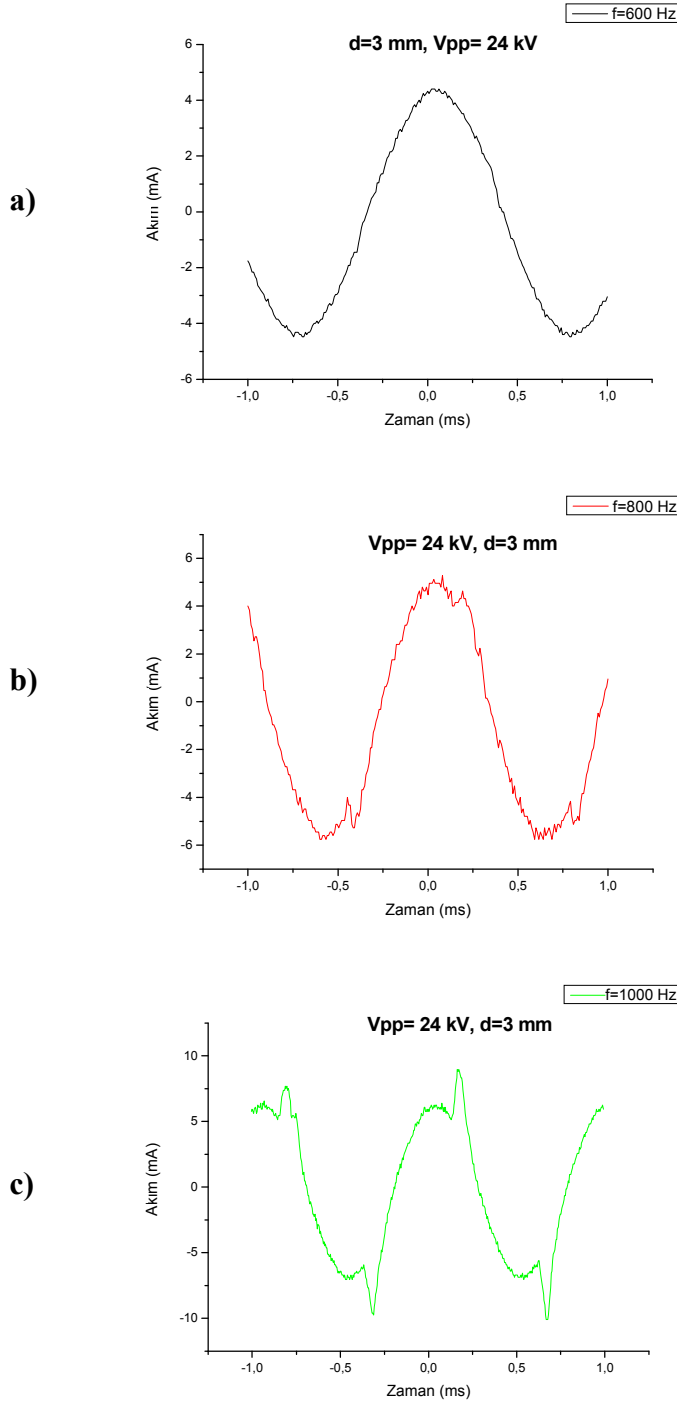
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Atmosferik basınç hava plazmanın 3 mm genişliğindeki boşluk ile 1 kHz frekansında 12, 16, 18 kV' luk gerilime karşılık çekilen akım - zaman grafiği Şekil 4.1 de verilmiştir.



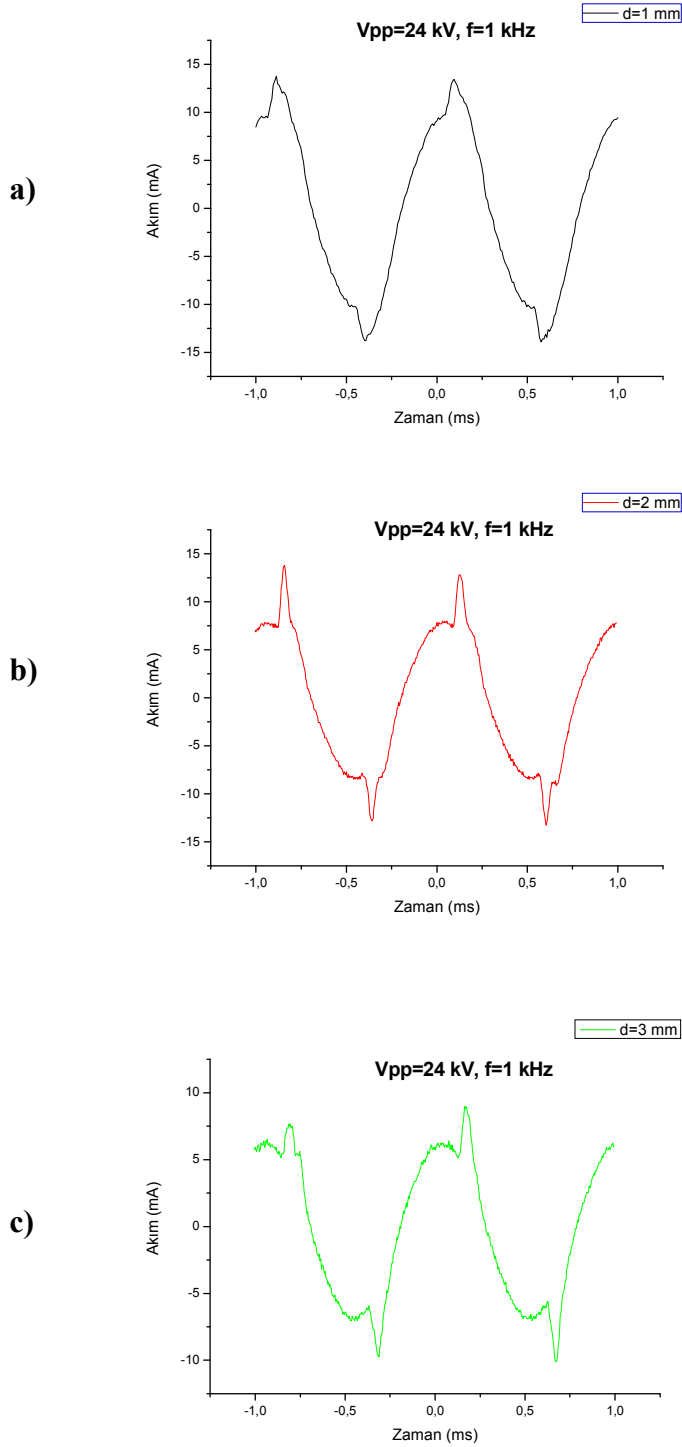
Şekil 4.1. Farklı voltajlarda hava için akımın zamanla değişimi

Atmosferik basınç hava plazmanın 3 mm genişliğindeki boşluk ile 12 kV gerilim altında, 600, 800, 1000 Hz frekanslı ölçüm akım - zaman grafiği Şekil 4.2' de verilmiştir.



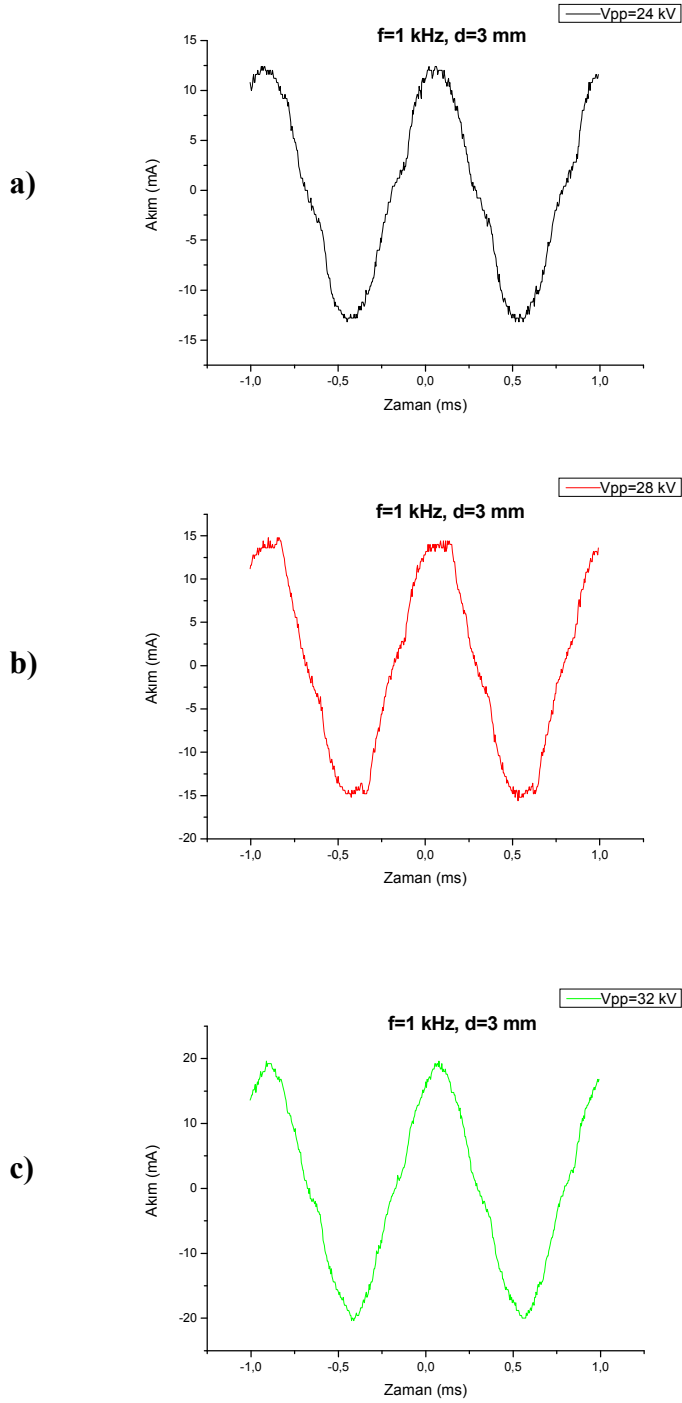
Şekil 4.2. Farklı frekanslarda hava için akımın zamanla değişimi

Atmosferik basınç hava plazmanın 12 kV gerilim altında, 1000 Hz frekansında, 1-2-3 mm boşluk mesafesi için akım - zaman grafiği Şekil 4.3' de verilmiştir.



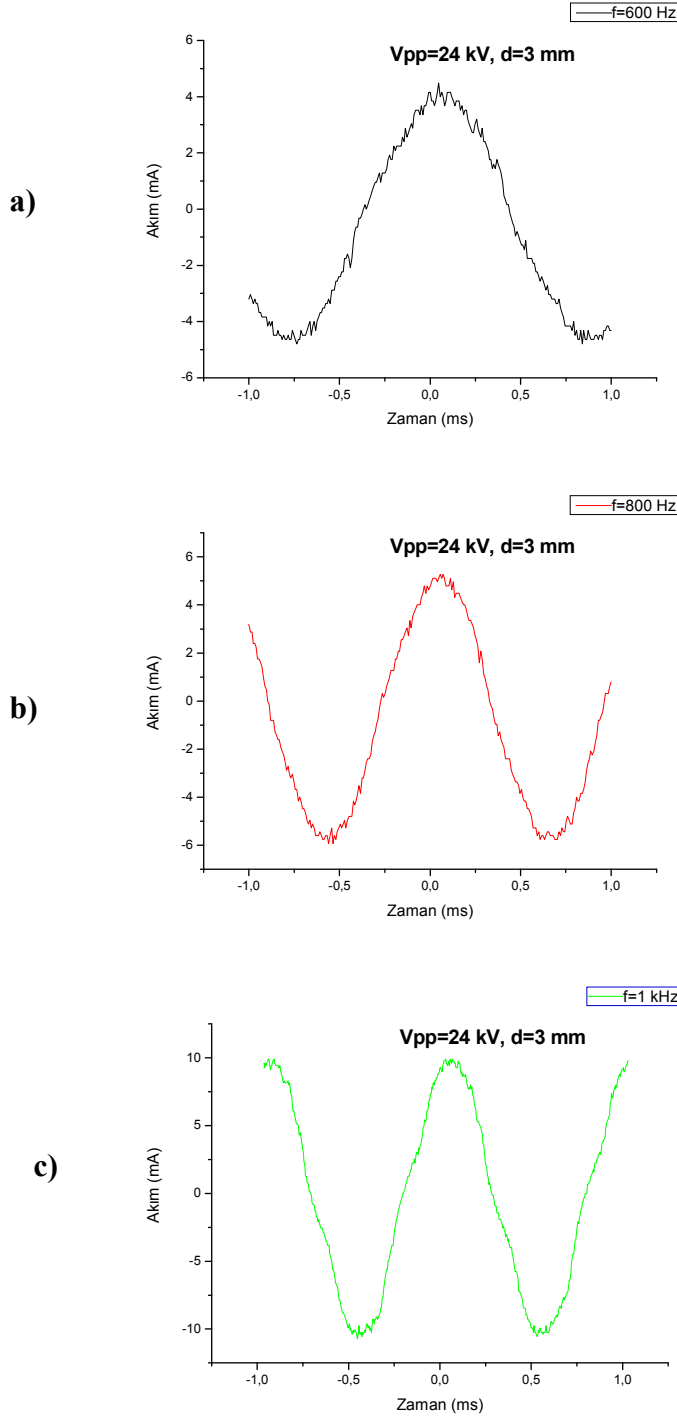
Şekil 4.3. Farklı uzaklıklarda hava için akımın zamanla değişimi

Atmosferik basınç helyum plazmanın 3 mm genişliğindeki boşluk ile 12 kV gerilim altında, 600, 800, 1000 Hz frekanslı ölçüm akım - zaman grafiği Şekil 4.4' de verilmiştir.



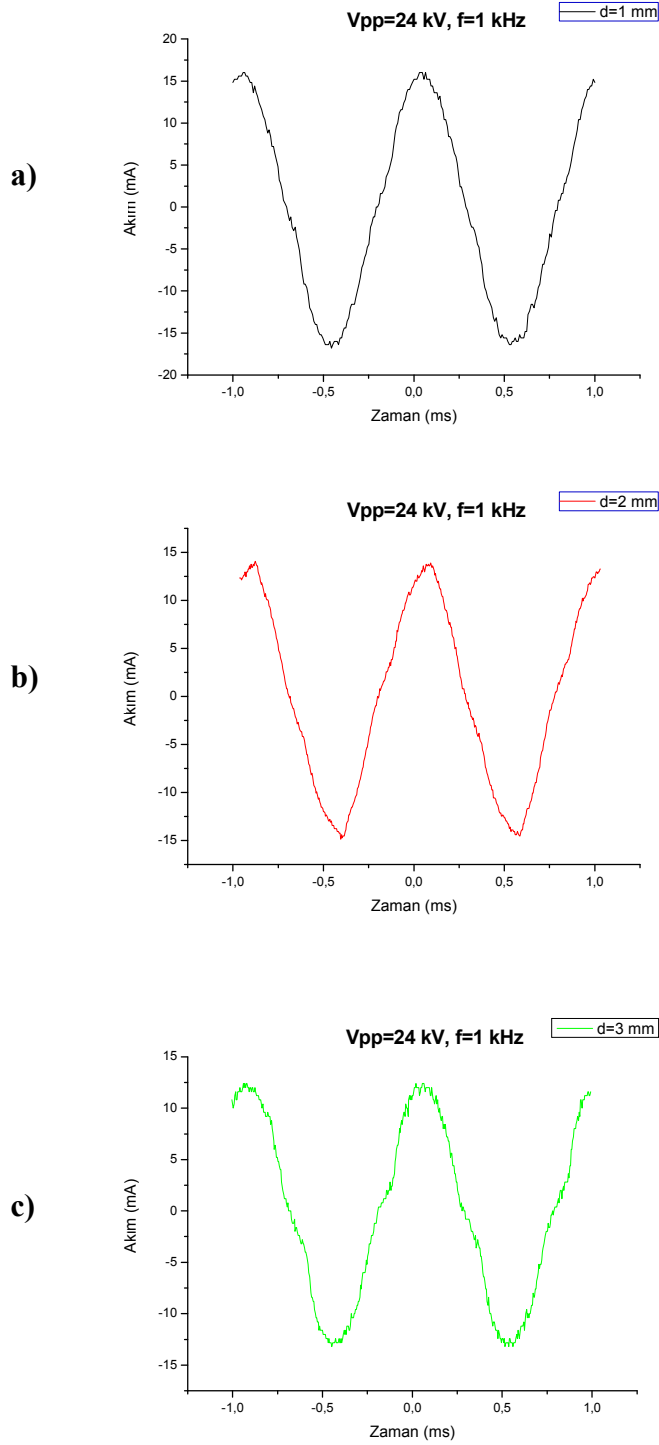
Şekil 4.4. Farklı voltajlarda helyum için akımın zamanla değişimi

Atmosferik basınç helyum plazmanın 3 mm genişliğindeki boşluk ile 12 kV gerilim altında, 600, 800, 1000 Hz frekanslı ölçüm akım - zaman grafiği Şekil 4.5' de verilmiştir.

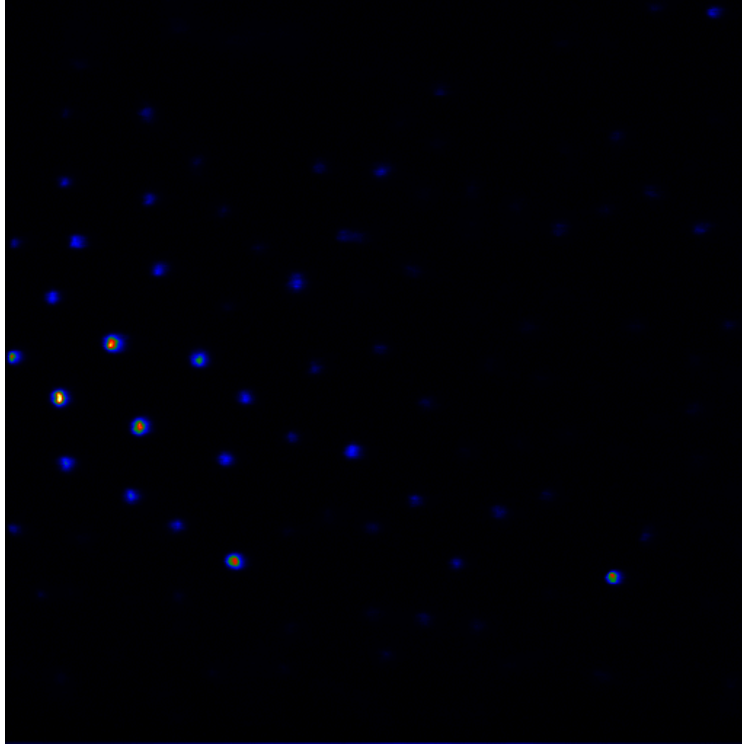


Şekil 4.5. Farklı frekanslarda helyum için akımın zamanla değişimi

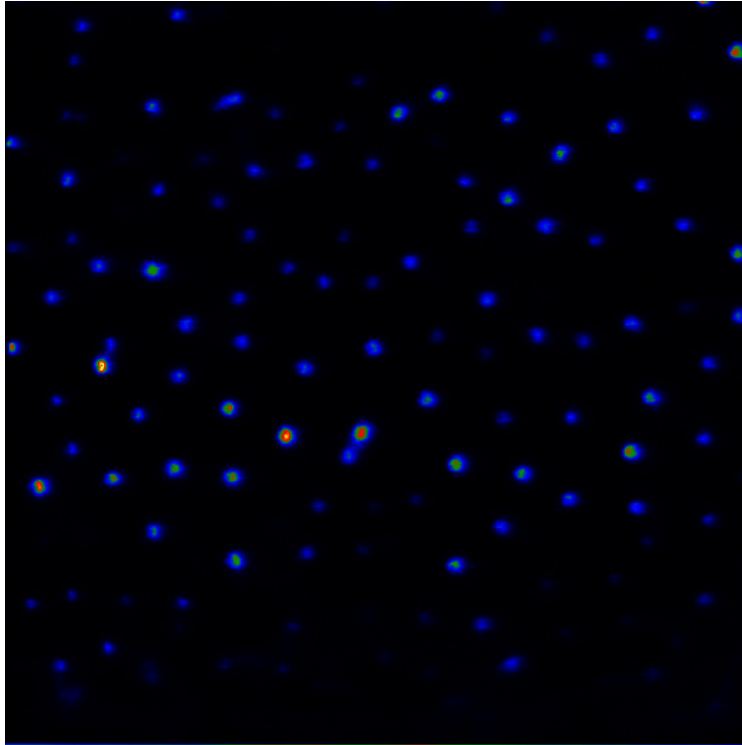
Atmosferik basınç helyum plazmanın 12 kV gerilim altında, 1000 Hz frekansında, 1-2-3 mm boşluk mesafesi için akım - zaman grafiği Şekil 4.6' da verilmiştir.



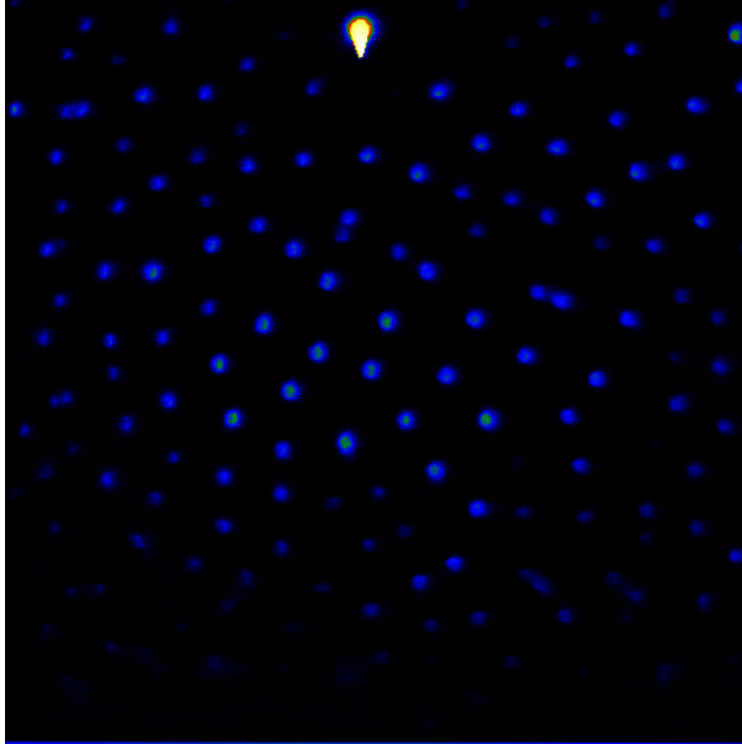
Şekil 4.6. Farklı uzaklıklarda helyum için akımın zamanla değişimi



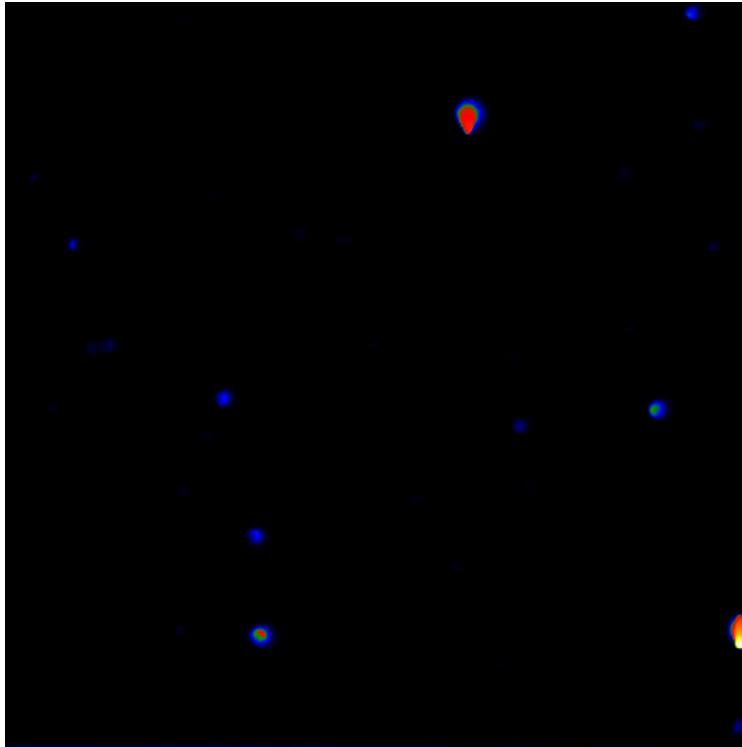
Şekil 4.7. 24 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (hava)



Şekil 4.8. 28 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (hava)



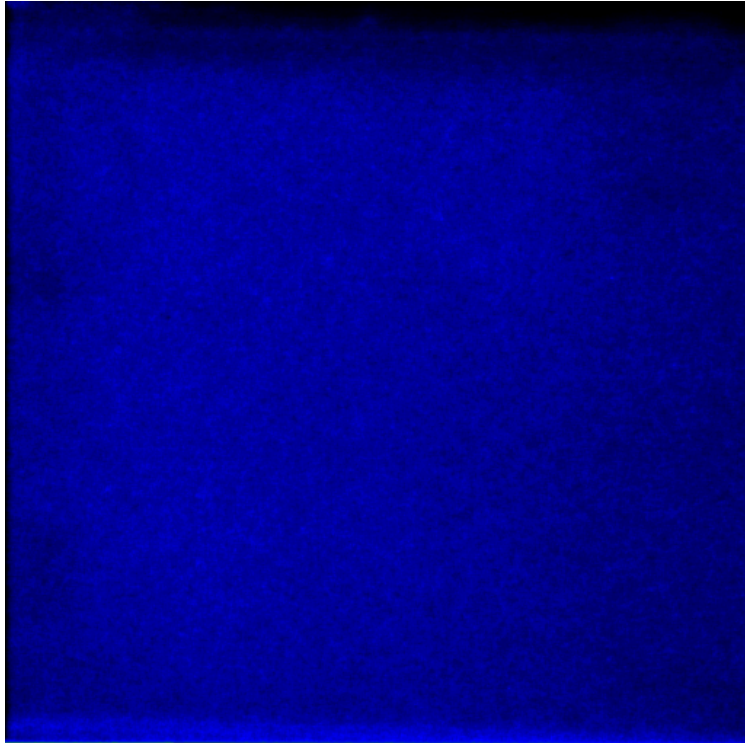
Şekil 4.9. 32 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (hava)



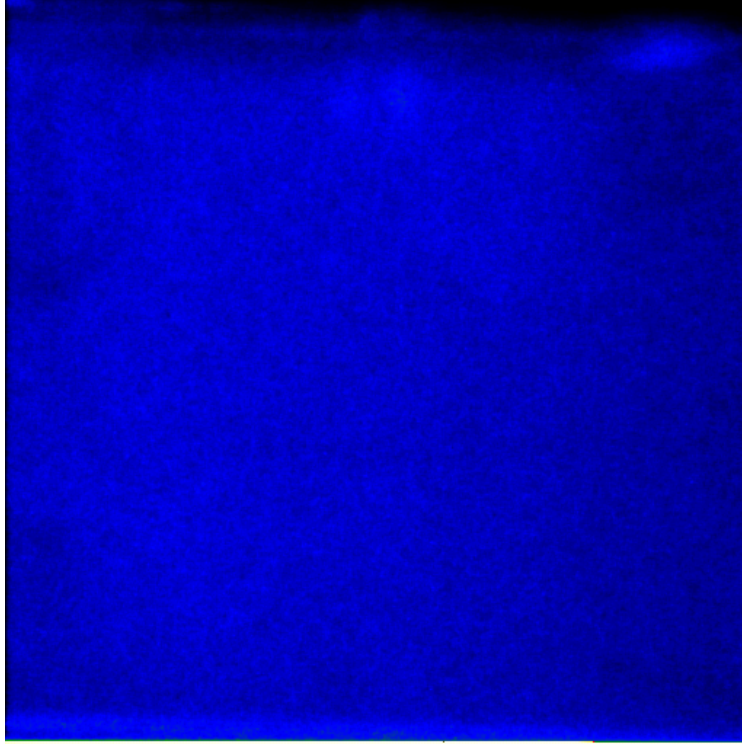
Şekil 4.10. 24 kV altında 800 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (hava)



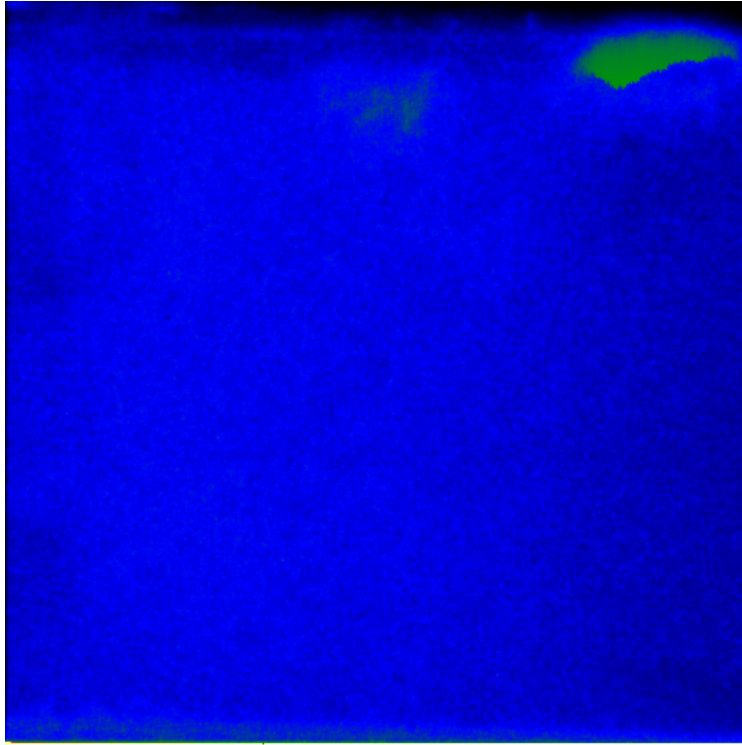
Şekil 4.11. 24 kV altında 600 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (hava)



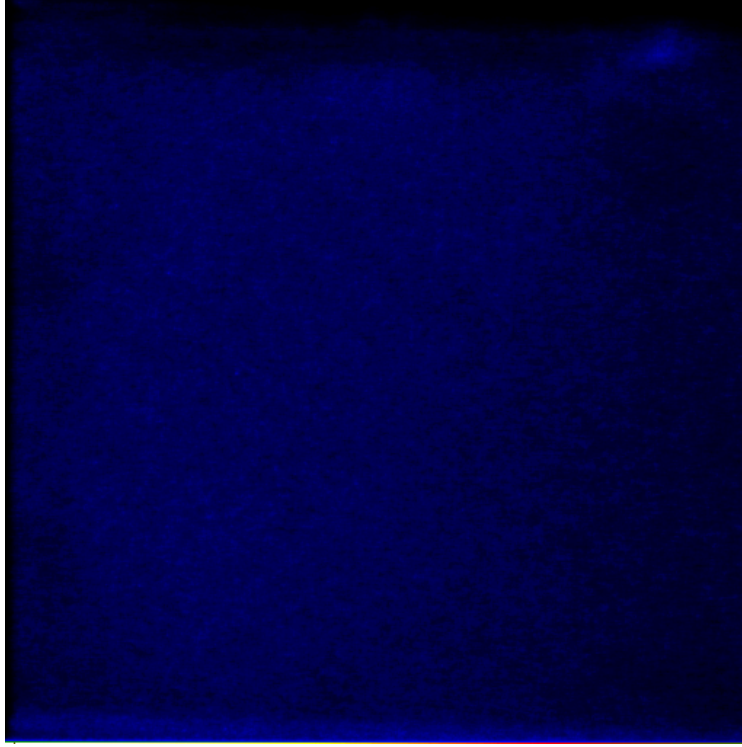
Şekil 4.12. 24 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (helyum)



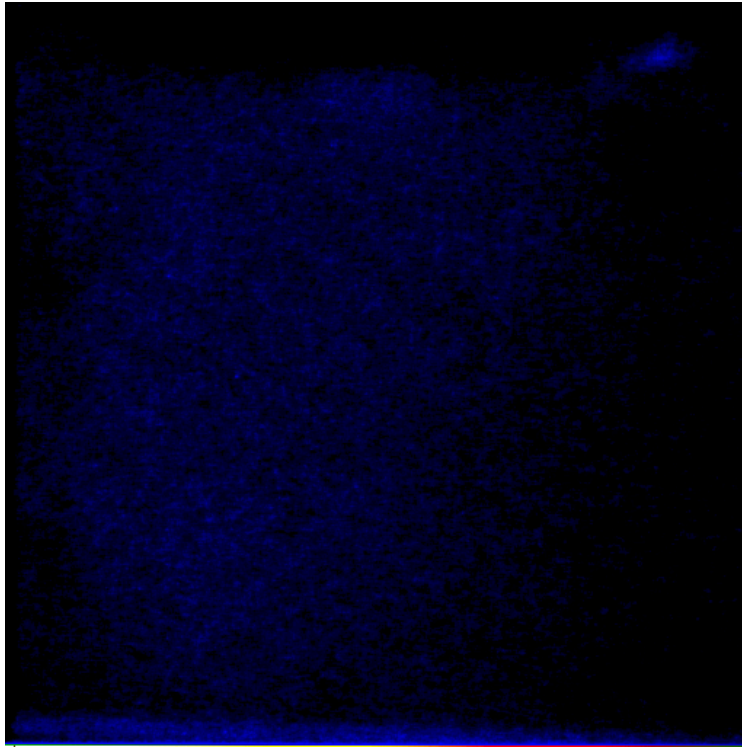
Şekil 4.13. 28 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (helyum)



Şekil 4.14. 32 kV altında 1000 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (helyum)



Şekil 4.15. 24 kV altında 800 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (helyum)



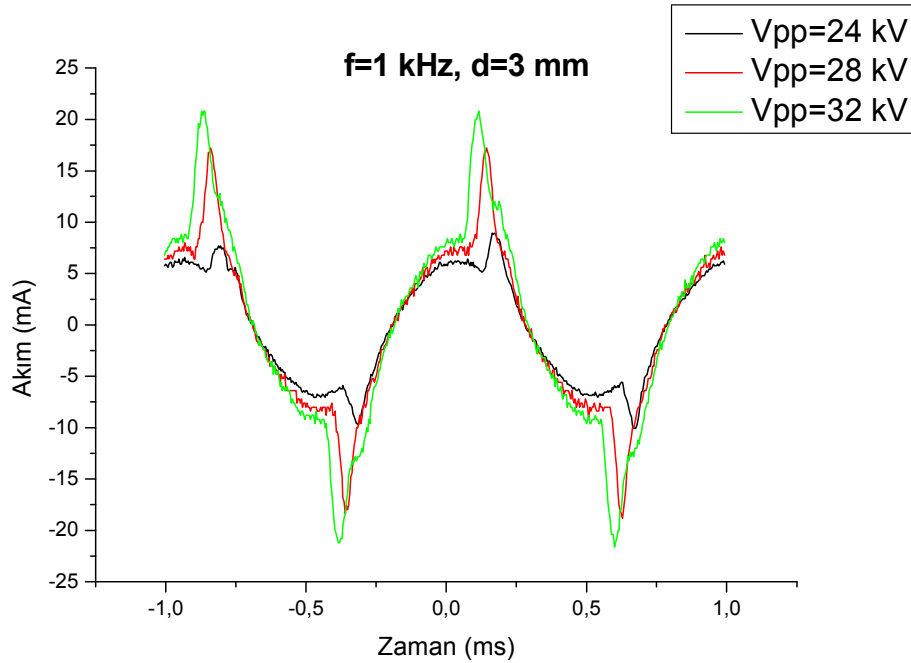
Şekil 4.16. 24 kV altında 600 Hz frekansında 3 mm uzaklıkta görüntü (helyum)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan bu çalışmada amaç saydam yalıtkan engel ile oluşturulandeşarjın elektriksel değişkenler altında sabit frekans, uzaklık – değişken voltaj, sabit voltaj, uzaklık – değişken frekans, sabit voltaj, frekans – değişken uzaklığa karşı optik yapının incelenmesidir. Çekilen görüntülerdeşarj yapısının incelemesini amaçlamadığı için tüm yüzey boyunca oluşandeşarj boyu doğrultusunda alınıp homojenliği incelenmiştir.

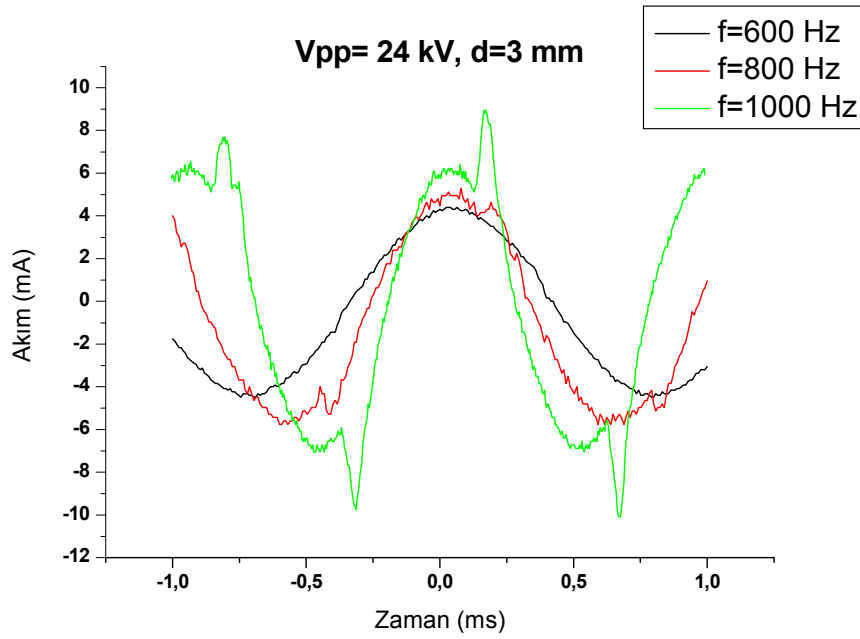
Gaz olarak hava kullanılarak elde edilen veriler şunlardır;

1. Sabit frekans ve elektrotlar arası uzaklıkta farklı voltaj değerlerine karşılık elde edilen sonuçlara bakılacak olursa, voltaj tepe – tepe değeri 24 kV iken 0,13 ms de, 28 kV iken 0,10 ms de, 32 kV iken 0,07 ms dedeşarjın oluştuğu ve artan voltajladeşarj akımının da 3,6 mA, 9,0 mA ve 13,1 mA olarak arttığı görülmüştür (Şekil 5.1).



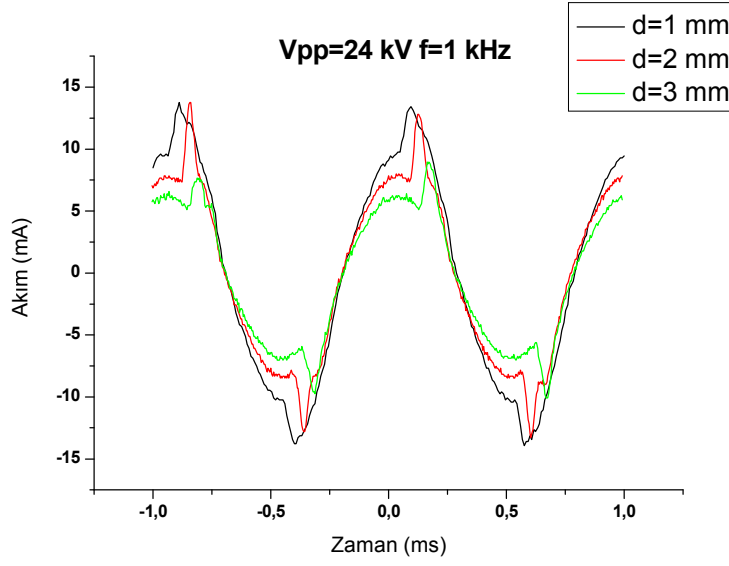
Şekil 5.1. Sabit frekans, uzaklıkta farklı gerilim değerlerinde akımın zamanla değişimi (hava)

2. Sabit gerilim ve uzaklıkta farklı frekans değerlerine karşılık elde edilen sonuçlara bakılacak olursa, frekans değeri 600 Hz iken deşarj gözlenmemiştir. Frekans 800 Hz iken 0,79 ms, 1000 Hz ise 0,62 ms sonra deşarj gözlenmiştir. 800 Hz frekansında 1,8 mA, 1000 Hz de ise 5,2 mA civarında deşarjlar oluşmuştur. Deşarj yokken akım maksimum değerleri 600 Hz için 4,4 mA, 800 Hz için 4,8 mA, 1000 Hz için 6,1 mA dir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Sabit gerilim, uzaklıkta farklı frekans değerlerinde akımın zamanla değişimi (hava)

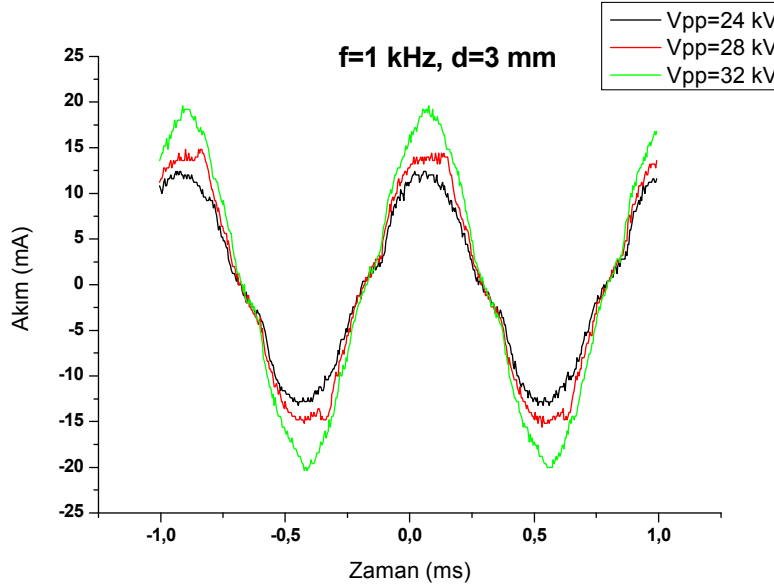
3. Sabit voltaj ve frekansta elektrotlar arası uzaklık değerlerine karşılık elde edilen sonuçları inceleyecek olursak, aralık değeri 1 mm iken 0,55 ms, 2 mm iken 0,58 ms ve 3 mm aralıkta ise 0,63 ms sonra deşarjın başladığı gözlenmiştir. 1 mm aralıkta 3,5 mA, 2 mm aralıkta 5,1 mA, 3 mm ise 5,4 mA deşarjlar oluşmuştur (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Sabit gerilim, frekansta farklı uzaklık değerlerinde akımın zamanla değişim grafiği (hava)

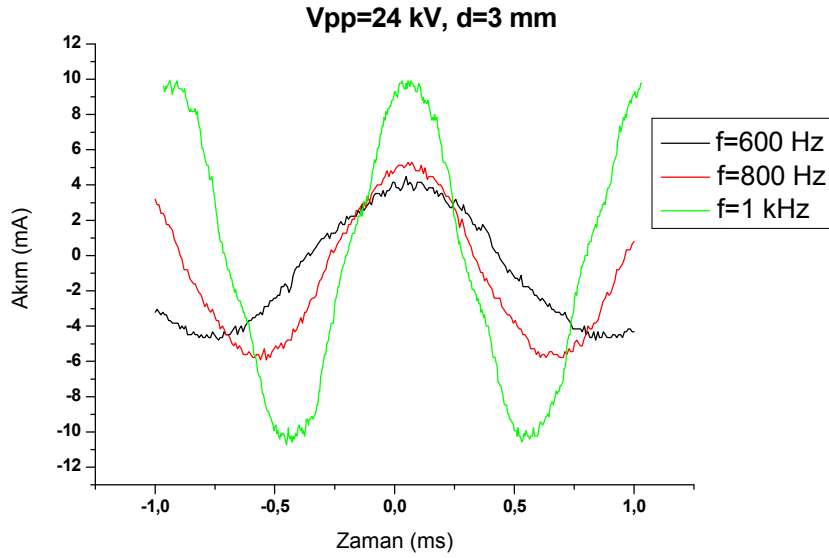
Gaz olarak helyum kullanılarak elde edilen verilerde bulunan değişimler şunlardır;

1. Helyum gazının elektriksel karakteristiğini incelersek, düzgün sinüzoidal eğriden $\pm 2,8$ kV civarında saptığı görülmektedir. (Şekil 5.4).



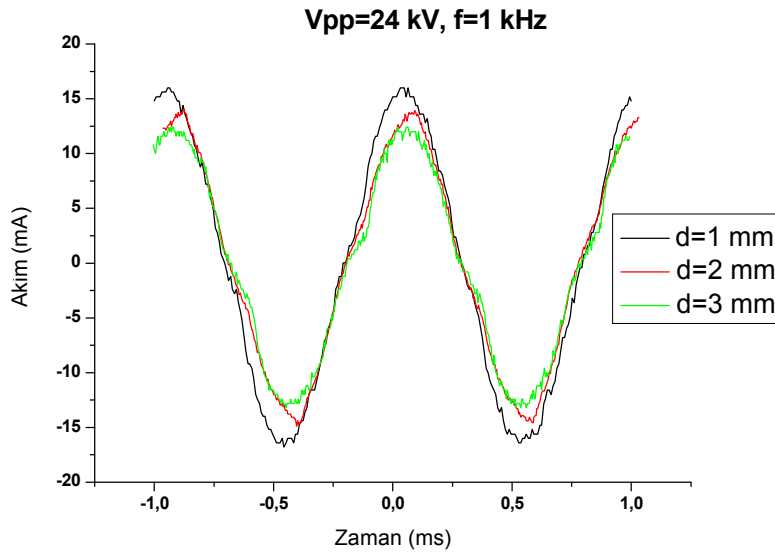
Şekil 5.4. Sabit frekans, uzaklıkta değişen gerilim değerlerinde akımın zamanla değişimi (helyum)

2. Yine benzer bir grafiği sabit voltaj ve uzaklıkta farklı frekans değerlerinde akım - zaman grafiğinde frekansın yükselmesiyle sinüs eğrisinin olması gereken değerden daha yüksek bir değerde oluştuğunu görürüz (Şekil 5.5)



Şekil 5.5. Sabit gerilim, aralıkta farklı frekans değerlerinde akımın zamanla değişimi (helyum)

3. Şekil 5.3’ de görülen değişimin elektrotlar arası uzaklık arttıkça daha da belirginleştiği görülüyor (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Sabit gerilim, frekansta farklı aralık değerlerinde akımın zamanla değişimi (helyum)

Elektrik alan gerilimle arttığından, yüksek gerilim altında gazın kırılım değerine daha erken ulaşacağı için deşarj oluşumdaki zaman farkını açıklayabiliriz. Aynı zamanda yüksek elektrik alan daha fazla iyonlaşmaya sebep olacağı için daha büyük akıma sebebiyet vermektedir.

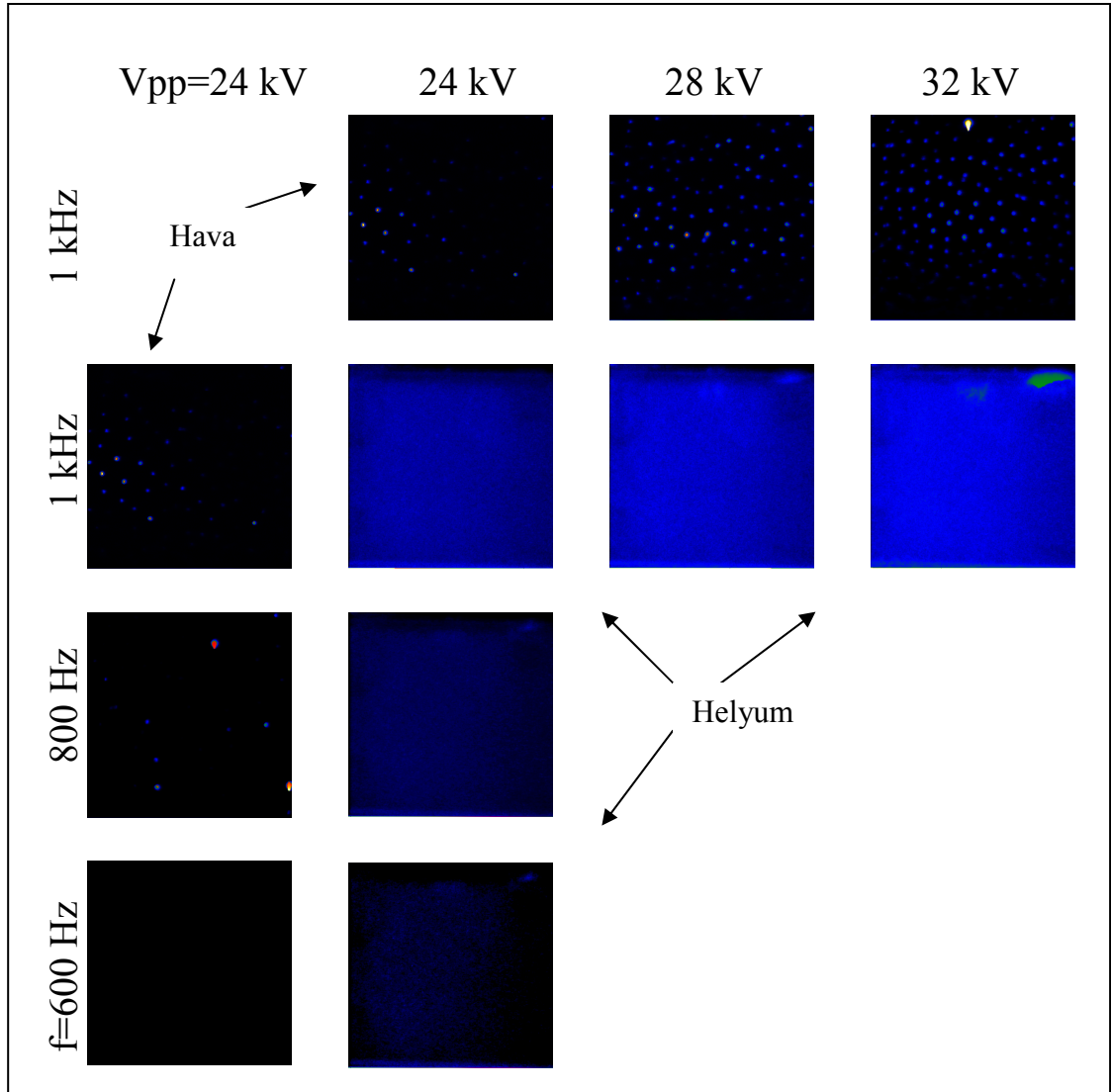
$$V_{ps}(t) = \sin(\omega t) \Rightarrow I_g(t) = C_{sd} \omega \cos(\omega t) \quad (5.1)$$

Eşitlikleri frekansın artması, akımın maksimum değerini de doğrusal bir şekilde etkileyeceğini göstermektedir. Mak_{xx} xx frekansında ölçülen maksimum değerini ifade etmekte olup;

$$\frac{f_{600}}{f_{800}} = \frac{Mak_{600}}{Mak_{800}} \approx 0,75, \quad \frac{f_{800}}{f_{1000}} = \frac{Mak_{800}}{Mak_{1000}} \approx 1,25 \quad (5.2)$$

Çizelge 5.1 'de hava ve helyum için çekilen fotoğraflar 3 mm'lik elektrotlar arası uzaklıkta, farklı voltaj ve frekans değerleri için sıralanmıştır. Çizelgede dış taraftaki fotoğraflar hava, iç taraftaki fotoğraflar ise helyuma aittir.

Çizelge 5.1. Hava ve helyum için elde edilen ICCD görüntüleri



Çizelge 5.1' den elde edilen sonuçlar şunlardır;

- Voltajın artmasıyla hava ve helyumda deşarj akımlarının arttığı görülmüştür. Bu etki havada mikrobeşarjların artması helyumda da oluşan düzgün plazmanın parlaklığının artması şeklinde görülmüştür.
- Frekansın artması voltaj artması etkisine benzer bir şekilde mikrobeşarjların ve plazma parlaklığının artması şeklinde görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Boulos, M. I., Fauchais, P., Pfender, E., 1994. Thermal Plasmas: Fundamental And Applications. Plenum Press, 452 s. New York.
- Calzada, M.D., Rodero, A., Sola, A., Gamero, A., 1996. Excitation Kinetic In An Argon Plasma Column Produced By A Surface Wave At Atmospheric Pressure. Journal of Physical Society, 4, 948– 954.
- Fauchais, P., 2003. Plasmas Thermiques: Production Et Applications. Techniques De L'Ingenieur, Traite' Genie Electrique. 820, 1 – 25.
- Fauchais, P., Vardelle, A., Dussoubs, B., 2001. Quo vadis thermal spraying. Journal of Thermal Spray Technology, 10, 44–66.
- Fridman, A., Chirokov, A., Gutsol, A., 2005. Non-Thermal Atmospheric Pressure Discharges. Journal Of Physics D: Application Of Physics, 38, 21– 24.
- Griem, H.R., 1963. Validity Of Local Thermal Equilibrium In Plasma Spectroscopy. Physics Reviews, 3, 1170–1176.
- Kiyokawa, K., Sugiyama, K., Tomimatsu, M., Kurokawa, H., Miura, H., 2001. Microwave Induced Non-Equilibrium Plasmas By Insertion Of Substrate At Low And Atmospheric Pressure. Application Of Surface Science, 12, (6), 599– 602.
- Kogelschatz, U., 2002. Filamentary, Patterned and Diffuse Barrier Discharges. IEEE Transactions On Plasma Science, 30, 4.
- Kogelschatz U., 2002. Dielectric-barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 23, 1.
- Kogelschatz U., 1991. Modeling and Applications of Silent Discharge Plasmas. IEEE Transactions on Plasma Science, 19, 2.
- Lieberman, M. A., Lichtenberg, A. J., 1994. Principles of Plazma Discharge And Material Processing. Wiley Interscience Publishing. 600 s. New York.
- Naud'e, N., Cambronne, J.P., Gherardi, N., Massines, F., 2005. Electrical Model And Analysis Of The Transition From An Atmospheric Pressure Townsend Discharge To A Filamentary Discharge. Journal of Physics D: Application Of Physics. 38, 530–538.
- Paya, B., Fache, P., 1997, Le plasma inductif de forte puissance. İnternet Sitesi: <http://www.trs-online.com/novelect/cahier/15/plasma.htm>. Eriřim Tarihi:30.03.2007.

- Ráhel', J., Šimor, M., Chorvát, D., Zahoranov, A., Černernák, M., 2005. The Transition From A Filamentary Dielectric Barrier Discharge To A Diffuse Barrier Discharge In Air At Atmospheric Pressure. *Journal Of Physics D: Application Of Physics*, 38, 547-554.
- Roth, J. R., 2005. *Industrial Plasma Engineering Applications to Nonthermal Plasma Processing*. Institute of Physics Publishing, 645 s. London.
- Schutze, A., Jeong, J.Y., Babayan, S.E., Park, J., Selwyn, G.S., Hicks, R.F., 1998. The Atmospheric Pressure Plasma Jet: A Review And Comparison To Other Plasma Sources. *IEEE Transaction Of Plasma Science*, 26, (6), 1685– 1693.
- Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmaison J., Leprince P., 2005. Atmospheric Pressure Plasmas. *Spectrochimica Acta Part B*, 61, 2 – 30.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kadir AKKAYA
Doğum Yeri ve Yılı : KONYA - 1981
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu

Lise : Antalya Lisesi, 1995-1998
Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 1999-2004

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

2007 – Türk Havacılık ve Uzay Sanayi (TUSAŞ)

Yayınları:

- 1- Oksuz, L., Akkaya, K., Gulec, A., 2007. One Atmosphere Uniform Glow Discharge Plasma, ICOPS, New Mexico.
- 2- Oksuz, L., Gulec, A., Ozaltin, K., Akkaya, K., Erkmen, G., Uygun, A., 2008. Electrical and optical characteristics of atmospheric pressure plasma enhanced chemical vapour deposition (APPECVD) system, ICOPS, Karlsruhe.
- 3- Oksuz, L., Gulec, A., Uygun, A., Ozaltin, K., Akkaya, K., 2009, Atmospheric pressure plasma polymerization and thin film coating, FM&NT, International Baltic Sea Region Conference, Riga.