

Düşük Basınçta Ayrı Bir Post – Deşarj Odasına
Akıtılan Plazmaların İncelenmesi

Yasin Yunus Eren

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Haziran 2015

The Investigation of Plasmas Flowed to Another
Post-Discharge Chamber at Low Pressure

Yasin Yunus Eren

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Physics

June 2015

Düşük Basınçta Ayrı Bir Post – Deşarj Odasına
Akıtılan Plazmaların İncelenmesi

Yasin Yunus Eren

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Enerji Ve Plazma Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Tamer AKAN

"[Bu Tez ESOGÜ-BAP tarafından \"2014 - 326\" no' lu proje çerçevesinde
desteklenmiştir]"

Haziran 2015

ONAY

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Yasin Yunus Eren'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Düşük Basınçta Ayrı Bir Post-Deşarj Odasına Akıtılan Plazmaların İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Tamer AKAN

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Ferhunde ATAY

Üye : Prof. Dr. Tamer AKAN

Üye : Doç. Dr. Rasim DERMEZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet PEKER

Üye : Yrd.Doç. Dr. Mustafa AKARSU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Tamer Akan danışmanlığında hazırlamış olduğum “ Düşük Basıncıta Ayrı Bir Post – Deşarj Odasına Akıtılan Plazmaların İncelenmesi ” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 19/06/2015

Yasin Yunus Eren

İmza

ÖZET

Düşük basınçta ayrı bir post – deşarj odasına akıtılan Gaz Deşarj Plazmaları incelenmiştir. Bunun için birbirine paslanmaz çelik flanş ile bağlanmış iki adet cam reaktör kullanılmıştır. Reaktörlerden birincisi "Deşarj Odası", ikincisi ise "Post – Deşarj" olarak adlandırılmıştır. Deşarj odasında sabit elektrotlar arasında farklı gazların 18 kV – 15kHz A.C. güç kaynağı kullanılarak deşarjları üretilmiştir. Bu deşarjlar bir vakum pompası yardımıyla post – deşarj odasına (ikinci reaktör) akıtılarak Post – Deşarj Plazmalar ayrı bir reaktörde üretilmiştir.

Deşarj ve Post - deşarj üretmek için gaz olarak Hava, Helyum, Argon ve Oksijen kullanılmıştır. Üretilen her bir gazın post – deşarjı, post – deşarj odasında farklı noktalarda Optik Emisyon Spektroskopisi (OES) ile incelenmiştir. Tüm deneylerde gaz akış hızı, elektrotlar arasına uygulanan voltaj ve elektrotlar arası uzaklık parametreleri sabit tutulmuştur. Bu parametreler sabit tutulurken basınç değişimi ile post deşarj oluşumu incelenmiştir. Bununla birlikte deşarj oluşumu için koşullar sabit kalırken, yalnızca post – deşarjın farklı noktalarında spektroskopik analiz yapılmıştır. Post – deşarjın, deşarja yakın kısmı Erken post – deşarj, deşarja uzak kısmı da Geç post – deşarj olarak adlandırıldı. Bu şekilde Erken, Orta ve Geç post – deşarjın spektroskopik analizi yapıldı. Ayrıca fotoğraflama tekniği ile de üretilen deşarjların ve post – deşarjların yapısal değişimi incelenmiştir. Bununla birlikte Helyum, Argon, Oksijen gazları için post – deşarj oluşum koşulları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plazma, Gaz Deşarj, Post-Deşarj, Yüksek Voltaj, Optik Emisyon Spektroskopisi.

SUMMARY

Plasmas flowed to another post-discharge chamber at low pressure was investigated. For this; two glasses reactor was tied with stainless steel flange each other. The first reactor was named as discharge chamber. Second reactor was named as post – discharge chamber. In discharge chamber, discharge of different gasses was produced by 18kV – 18kHz Ac power source between fixed electrots. Post discharge plasmas were produced in different reactor by pouring discharge to post discharge chamber(second reactor) with a vacuum pump.

To produce discharge and post discharge , air, helium, argon and oxygen were used as gasses. Each of the gasses post discharge which was produced; were investigated with Optical Emission Spectroscopy (Oes) indifferent place of discharge chamber. In all experiments, pressure, gas flow rate, power and distance parameters between the electrodes is fixed. So that, while the conditions fort he formation of the discharge remains constant, only spectroscopic analysis were made at different points of post – discharge.the part of the post – discharge which is closed to discharge was named as "Early post - discharge", remote part was named as "Late post - discharge" In this way, spectroscopic analysis of early, middle and late post – discharge were made. In addition, the structural change of discharges and post – discharges produced, are explored by photographing technique. However, the post – discharge process conditions to helium, argon, oxygen gasses have been achieved.

Keywords: Plasma, Gas-Discharge, Post-Discharge, High Voltage, Optical Emission Spectroscopy

TEŞEKKÜR

İnsanlar vardır; hayatlarını, amaçlarını ve yaşam tarzlarını gözlemlediğinizde olmak istediğim karakter bu dersiniz. Ben hayatımda bu insanı yüksek lisans dönemimde, yanında çalışma şansını yakaladığım danışman hocam olarak buldum. Prof. Dr Tamer AKAN' a sonsuz teşekkürler.

Bunun yanı sıra deneysel çalışmalarında tüm desteği ve sabrı ile yanımda olan araştırma görevlisi Erkan İLİK' e de teşekkür ederim.

Son olarak beni dünyaya getiren, bulunduğum yerde olmamı sağlayan, her kararında arkamda olan, beni destekleyen sevgili anneme ve babama, her şeyden çok değer verdiğim kardeşim Elif Didem'e, hayatıma en büyük anlamı yükleyen sevgili eşim Beril' e yanımda oldukları için çok ama çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vi
SUMMARY.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2.PLAZMANIN TANIMI VE GAZ DEŞARJ.....	4
2.1.Plazmanın Tanımı ve Özellikleri.....	4
2.2.D.C. Gaz Deşarj Plazmalar.....	8
3. POST DEŞARJ (PLAZMA JET) PLAZMA.....	13
3.1. Post Deşarj Plazmalar (Plazma Jetlerin)’ın Genel Uygulamaları.....	17
4. DENEYSEL SİSTEM.....	22
5. DENEYSEL SONUÇLAR.....	26
5.1. Hava Gazının Deşarj ve Post-Deşarj’ın İncelenmesi.....	26
5.2. Helyum Gazının Deşarj ve Post-Deşarj’ın İncelenmesi.....	30
5.3. Argon Gazının Deşarj ve Post-Deşarj’ın İncelenmesi.....	33
5.4. Oksijen Gazının Deşarj ve Post-Deşarj’ın İncelenmesi.....	36
5.5. Post – Deşarj Oluşma Koşullarının İncelenmesi.....	38

6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	41
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	43

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Yıldırım ve Şimşek.....	4
2.2. Kutup Işıkları.....	4
2.3. Plazma küre.....	5
2.4. Neon lamba.....	5
2.5. Ateş.....	5
2.6. Plazma TV.....	6
2.7. Galaksiler.....	6
2.8. Yıldızlar.....	6
2.9. Plazma üretimi için maddeye enerji aktarılması.....	7
2.10. D.C. Elektriksel gaz deşarjın akım voltaj karakteristiği.....	10
2.11. Farklı gazlar için Paschen eğrileri.....	12
3.1. Elektrotlar arasına yüksek basınç gaz gönderildiğinde post deşarjın atmosfer ortamına çıkışı.....	14
3.2. Elektrotlar arasına yüksek basınç gaz gönderildiğinde post deşarjın kapalı bir hacime çıkışı.....	14
3.3. Düşük basınçta post-deşarj plazmanın post deşarj odası içinde üretimi.....	15
3.4. Düşük basınçta post-deşarj plazmanın ayrı bir odada üretimi.....	15
3.5. Puls Plazma jet tarafından üretilen plazma atmaları.....	16
3.6. Sıcak ark plazma jetleri.....	17
3.7. Elle dokunulabilecek kadar soğuk atmosferik basınç plazma jeti.....	18
3.8. Argon "Plasma Jet" in kağıt üzerine temas hali.....	18
3.9. Plazma jet ile elektronik kart temizliği.....	19
3.10. Plastiğin atmosferik basınçta üretilen soğuk plazma ile temizlenmesi.....	19

3.11. Bir atmosferik basınç soğuk plazma jeti olan “Plazma Needle” ile dış uygulaması.....	19
3.12. Atmosferik Basınç Plazma Jet ile kırışıklık tedavisi uygulaması.....	20
3.13. Soğuk plazma ile yanık tedavisi.....	20
4.1. DeneySEL Sistem.....	22
4.2. Deşarj ve Post-deşarj odasının fotoğrafı.....	23
4.3. Birbirine bağlı deşarj ve post deşarj odasının şematik görünümü.....	24
4.4. Helyum gazı için üretilen deşarj ve post-deşarj.....	25
5.1. Farklı basınçlarda üretilen Hava deşarj ve post-deşarj’larının fotoğrafları.....	26
5.2. Hava gazı post- deşarj plazması OES ölçümleri.....	29
5.3. Farklı basınçlarda üretilen Helyum deşarj ve post – deşarjlarının fotoğrafları..	30
5.4. Helyum gazının OES ölçümleri.....	31
5.5. Farklı basınçlarda üretilen Argon deşarj ve post – deşarjlarının fotoğrafları.....	33
5.6. Argon gazının OES ölçümleri.....	34
5.7. Farklı basınçlarda üretilen Oksijen deşarj ve post – deşarjlarının fotoğrafları...	36
5.8. Oksijen gazının OES ölçümleri.....	37
5.9. Dielektrik Bariyer Deşarj Post-Deşarj fotoğrafları.....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ**Çizelge****Sayfa**

Çizelge5.1. Post – Deşarj plazmanın oluşum aralıkları.....	38
--	----

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama:</u>
kV	Kilovolt
kHz	Kilohertz
A.C.	Alternatif akım
OES	Optik Emisyon Spektroskopisi
TTD	Termodinamik dengede olan plazmalar
LTD	Lokal termodinamik dengede olan plazmalar
Non LTD	Lokal termodinamik dengede olmayan plazmalar
D.C.	Doğru akım
RF	Radyo frekans
MW	Mikrodalga
DBD	Dielektrik Bariyer Deşarj
E	Elektrik alan
ICCD	Çok yüksek hızda çekim yapabilen fotoğraf makinesi
Mbar	Milibar
Nm	Nanometre

1. GİRİŞ

Plazma, bir maddenin atom ve/veya moleküllerinin iyonlaştırıldığı maddenin bir halidir. Bu nedenle plazma içinde çok sayıda elektronlar ve pozitif/negatif iyonlar bulunur. Bununla birlikte bir plazma içinde nötr atom ve moleküller, radikal parçacıklar, uyarılmış atom ve moleküller ve/veya fotonlar da bulunur. Plazma içindeki tüm bu parçacıklar birbiriyle sürekli etkileşim halindedirler (Akan, 2005).

Laboratuar koşullarında maddenin dördüncü hali olan plazmayı üretmek için kolay ve ekonomik yöntem; bir gazı iyonlaştırmaktır. Farklı yöntemler kullanılarak bir gazın iyonlaştırılarak plazma haline getirilmesi genelde “**Gaz Deşarj Plazmalar**” olarak isimlendirilir (Akan, 2003).

Gaz deşarj plazmalar; atmosfer basıncında ve/veya daha yüksek basınçlarda ve düşük basınçlarda üretilebilmektedir. Gaz olarak atmosferik basınçta hava kullanılabildiği gibi daha çok soy gazlar tercih edilmektedir. Bununla birlikte üretilen gaz deşarj plazma, düşük sıcaklıklarda ya da yüksek sıcaklıklarda olabilmektedir. Kullanılan güç kaynağı, kullanılan gaz, gaz basıncı, gaz akış hızı, elektrotlar dizaynı gibi parametreler, üretilen plazmanın tüm özelliklerini belirlemektedir. Hiç elektrotsuz gaz deşarj plazması üretilebildiği gibi genelde iki metal elektrot arasında gaz deşarj plazması üretilmektedir. Deşarj, elektrotlar arasında bir bütün olarak durabildiği gibi elektrotlar arasında akabilir. Bu durumda üretilen plazmalara “**Akan Deşarj**” denir. Elektrotlar arasında akan plazmalar, elektrotlar arasından da çıkartılabilir. Elektrotlar arasından çıkarılarak uzaklaşan plazmalara “**Post-deşarj Plazmalar**”, “**Afterglow Deşarj**”, “**Uzaklaşan Plazma**” gibi isimler verilmektedir. Bu isimlerle anılan plazmalar, elektrotlar arasından uzaklaştırıldıktan sonra akmaya devam ederlerse “**Akan Post-deşarj Plazmalar**”, “**Akan Afterglow Deşarj**”, “**Akan Uzaklaşan Plazma**” ya da “**Akan Plazma Jet**” olarak adlandırılırlar. Ancak genelde ‘Post Deşarj’ ya da ‘Plazma Jet’ kavramı kullanılmaktadır (Dallı, 2013).

Akan Post-Deşarj plazmalar, elektrotlar arasından uzaklaştırıldığından plazmayı üretmek için kullanılan yüksek elektrik alandan da uzaklaştırılmış olur. Bu nedenle bu tip

plazmalar, kullanıldığı yerde yüksek elektrik alanla materyalin etkileşmesini önler. Kullanıcı da bu yüksek elektrik alandan korunmuş olur. Bununla birlikte uygulanacak yüzeye zarar verebilecek yüksek enerjili iyonlar ve radikal parçacıklar da kontrol altına alınabilir. Örneğin bir uygulamada pozitif iyonlar, uygulanan yüzeye zarar verirken radikal parçacıklar istenilen reaksiyonu yapabilir. Bu durumda uygulanan numune, Post Deşarj/Plazma Jet'ten daha uzağa konur. Tersisi durumda ise daha yakına konur. Böylece plazma içinde üretilen parçacık türlerinden hangisi uygulamada etkin role sahipse ondan faydalanmış olunur. Plazma içindeki parçacıkların yaşam ömrü (life time) bilinerek post deşarjın hangi bölgesinde ne tür parçacığın çoğunlukta olduğu bulunabilir. Kolayca yapılabilir. Ancak elektrotlar arasındaki plazma ile uygulama yapıldığında elektrotlar arasındaki yüksek elektrik alan ve tüm plazma parçacıkları uygulamaya katılır. Yüksek elektrik alan içinde numune uygulaması yapmakta oldukça zordur. Bununla birlikte Post Deşarj Plazmalar uygulama sahasına götürülebilir. Yani in situ (yerinde), in vivo (canlı hücrede) ve in vitro (vücut üzerinde canlı hücrede) uygulama yapılabilir. Örneğin böyle bir plazma ile insan yüzünde sivilce tedavisi hatta diş çürüğü tedavisi yapılabilir. Bu sistemler taşınabilir ve hareket edebilir oldukları için bir numunenin her bölgesine uygulama yapılabilir. Aynı zamanda elektrik alandan uzaklaştırılmış plazmanın analiz edilmesi de kolaylaşmış olur. Bu durumda plazma, parçacıkları elektrik alan içinden çıktığı için birbirleriyle etkileşimleri nispeten azalmıştır ve plazma içi reaksiyonları anlamak daha kolay olmaktadır (Dallı, 2013).

Bu çalışmada; bir deşarj odasına paslanmaz çelik flanş ile bağlı olan post-deşarj odasına akıtılan "post-deşarj plazmalar" incelenmiştir. 18kV-15kHz A.C. güç kaynağı ile sabit güç uygulanarak ve deşarj odasında elektrot yapısı ve düzenlenişi aynı tutularak Hava, Helyum, Argon ve Oksijen gazlarının deşarjları üretilmiştir. Vakum pompası yardımıyla bu deşarjlar post deşarj odasına akıtılarak post deşarj odasında "Akan Post Deşarj" plazmalar üretilmiştir. Post deşarj odasında seçilen farklı noktalardan sabit basınçta Optik Emisyon Spektroskopisi (OES) ile spektroskopik ölçümler alınarak post deşarjın erken, orta ve geç yapıları incelenmiştir. Her farklı gaz için post-deşarjın oluştuğu basınç değeri ve basınç değişimine göre post deşarjın değişimi incelenmiştir. Bununla birlikte bu gazlar için "post – deşarj" oluşum koşulları incelenmiştir.

Tezin birinci bölümünde bir giriş yapıldıktan sonra ikinci bölümünde plazma ve deşarj tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde post-deşarjlar tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde deneysel çalışmalar verilmiştir. Son olarak sonuç ve yorum verilmiştir.

2. PLAZMANIN TANIMI VE GAZ DEŞARJ

2.1. Plazmanın Tanımı Ve Özellikleri

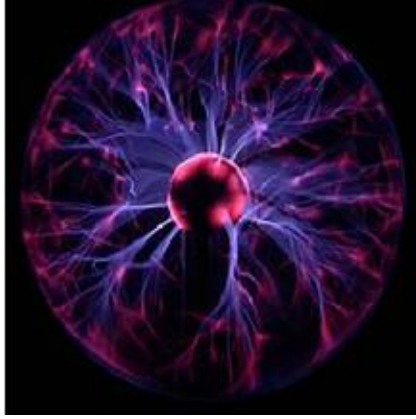
Plazma, bir maddenin gaz halinin iyonlaştırılması ile elde edilen, içerisinde nötral atom ve moleküller, uyarılmış atom ve moleküller, iyonlaşmış atom ve moleküller, elektronlar, fotonlar ve radikal atomları içeren evrenin % 99' unu oluşturan bir maddesel haldir. Çevremize baktığımızda ya da evrenimize baktığımızda birçok plazma halinde madde ile karşılaşırız. Bunlardan bazıları Şekil 2.1. – 2.8. 'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Yıldırım ve Şimşek.



Şekil 2.2. Kutup Işıkları.



Şekil 2.3. Plazma küre.



Şekil 2.4. Neon lamba.



Şekil 2.5. Ateş.



Şekil 2.6. Plazma TV.

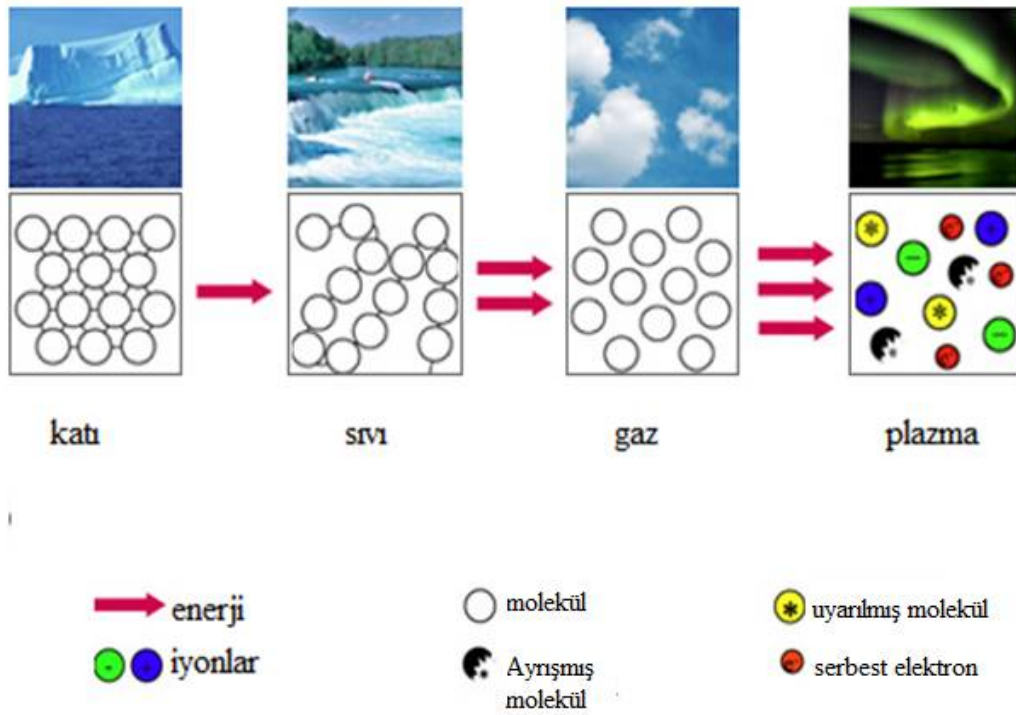


Şekil 2.7. Galaksiler.



Şekil 2.8. Yıldızlar.

Bilindiği gibi termal dengedeki katı bir madde, genelde sabit bir basınçta, sıcaklığının artırılması ile sıvı haline geçer. Sıcaklık biraz daha arttırılırsa sıvı, gaz haline geçer. Yeterince yüksek bir sıcaklıkta gaz içindeki moleküller, rastgele doğrultularda serbestçe hareket eden gaz atomlarını oluşturmak için ayrışır. Eğer sıcaklık daha fazla arttırılırsa gaz atomlarından bir ya da birkaç elektron kopar ve gaz atomları serbestçe hareket eden yüklü parçacıklara (pozitif iyonlar ve elektronlar) ayrılarak maddenin dördüncü hali "PLAZMA" oluşur. Şekil 2.9.'da katı bir maddenin enerji aktararak plazma haline geçişi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.9. Plazma üretimi için maddeye enerji aktarılması.

Plazma halinde, maddenin atomları parçalanmıştır ve sürekli hareket halinde olan pozitif yüklü iyonların ve elektronların oluşturduğu bir sistem haline gelmiştir. Plazma içinde aynı zamanda elektronlar, fotonlar, uyarılmış atomlar veya moleküller, radikaller, metastable atomlar, nötral atom veya moleküller de vardır (Tanenbaum, B. S., 1967). Plazma; bütünüyle elektriksel olarak nötral olan ve rastgele doğrultularda hareket eden pozitif ve negatif yüklü parçacıklar topluluğudur. Plazma içindeki yüklü parçacıklar

birbirinden bağımsız hareket ederken, sistem bütünüyle sanki yüksüzdür. Bu nedenle plazma içindeki parçacıkların hareketi bireysel değil kolektiftir.

Bazı özellikler plazmayı karakterize eder ve bu özellikler plazmayı katı, sıvı ve gazlardan ayırt eder. Plazmanın en önemli ve diğer hallerden farklı özelliği, plazmayı oluşturan parçacıkların yüklü olması ve bu yüklü parçacıkların Coulomb kuvvetleri ile birbirlerine etki etmesidir. Plazma içindeki her parçacık komşusu bulunan her parçacığa ve hatta kendisinden daha uzakta bulunan parçacıklara aynı zamanda etki eder. Bu nedenle plazma içindeki parçacıklar sürekli birbirleriyle etkileşerek kolektif bir davranış içindedirler. Plazma içindeki yüklü parçacıkların difüzyonu bundan dolayı elektronların ve iyonların bireysel difüzyon katsayıları ile değil, ambipolar difüzyon katsayısı ile verilir (Kral, N. A. and Trivelpiece, 1973).

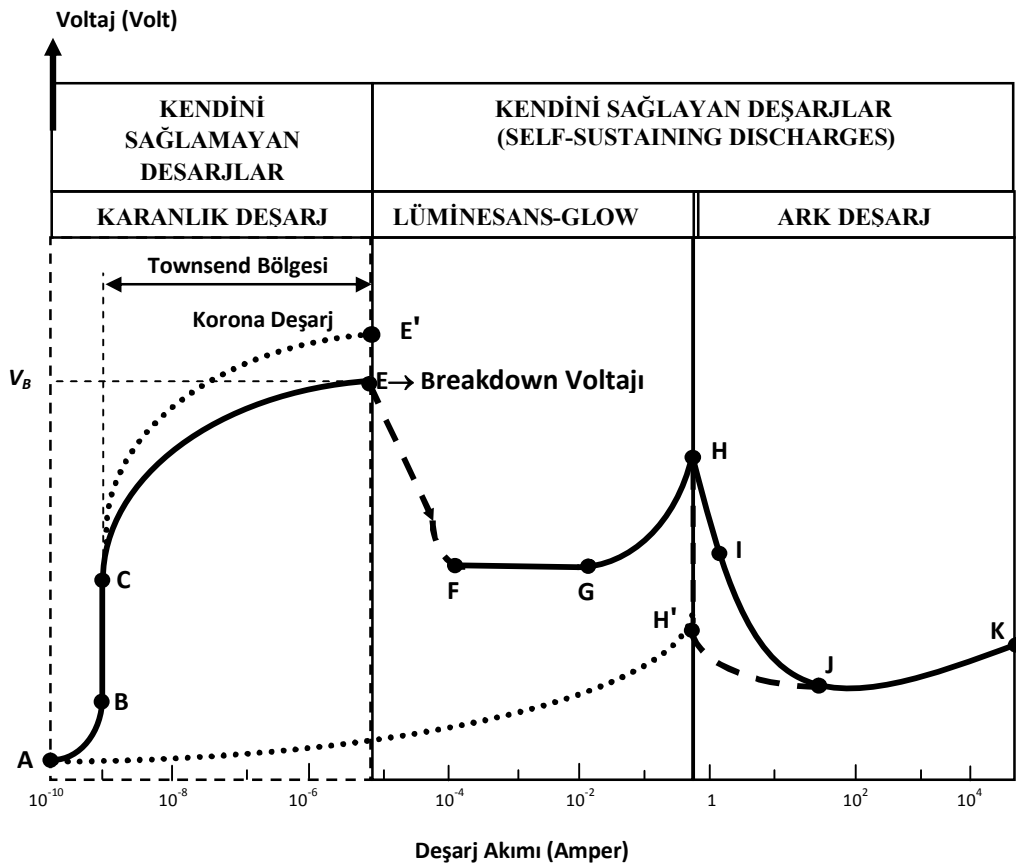
Plazmalar üretim yöntemlerine göre sınıflandırılabilirdiği gibi, plazması elde edilen gazın basıncına, parçacık yoğunluğuna, iyonlaşma derecelerine göre de sınıflandırılabilir. En genel sınıflandırma, plazma içindeki parçacıkların sıcaklığına göre yapılır. Buna göre plazmalar; Toplam Termodinamik Dengede Olan Plazmalar (TTD Plazmaları), Lokal Termodinamik Dengede Olan Plazmalar (LTD Plazmaları) ve Lokal Termodinamik Dengede Olmayan Plazmalar (Non-LTD Plazmalar) olarak üç gruba ayrılır.(Grill A., 1993) Genelde TTD ve LTD plazmaları "Sıcak Plazmalar", non-LTD plazmalar da "Soğuk Plazmalar" olarak adlandırılır. **Plazma Yoğunluğu, Plazma İyonlaşma Derecesi, Plazma Sıcaklığı, Plazma Frekansı, Debye Uzunluğu ve Plazma Kılıfı**, plazmaların karakterizasyonun da en önemli parametrelerdir.

2.2. D.C. Gaz Deşarj Plazmalar

Laboratuar koşullarında maddenin dördüncü hali olan plazmayı üretmek için kolay ve ekonomik yöntem; bir gazı iyonlaştırmaktır. Bir gazı iyonlaştırmak için gaza; ısı enerjisi, elektrik enerjisi, kimyasal enerji, nükleer enerji verilebildiği gibi gaz; yüksek enerjili parçacıklarla bombardıman edilerek de iyonlaştırılabilir. İki metal elektrot arasına yerleştirilen bir gaza elektrik enerjisi vermek, gazı iyonlaştırmak için en çok kullanılan yöntemdir. Bunun için bir gaz içinden doğru akım (DC) ya da alternatif elektrik akımı (AC) geçirmek, radyo frekans (RF), mikrodalga (MW) gibi elektromanyetik dalgalarla

gazın indüklenmesi, yüksek pulslu çok kısa elektromanyetik kullanmak (Puls voltaj), alternatif akımı bir dielektrik üzerinden gaza aktarmak, gazı elektrik enerjisi ile iyonlaştırmak için kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerden herhangi birisi ile gazın iyonlaştırılarak plazma haline getirilmesi genelde “Gaz Deşarj” olarak isimlendirilir ve üretim yöntemine göre D.C. Deşarj, A.C. Deşarj, Puls Deşarj, Korona Deşarj, R.F. Deşarj, M.W. Deşarj, Dielektrik Bariyer Deşarj (DBD) gibi farklı isimlerle anılır. Gaz deşarjlar, plazmanın ilk üretim tekniklerinden biri olması, kolay ve ucuz bir plazma üretim tekniği olması ve bazı önemli avantajları nedeniyle bugün teknolojide birçok uygulama alanı bulmuştur. Hemen hemen her ev ve işyerinde bulunan flüoresans lambalar, farklı basınçlarda civa buharı lambaları, sodyum lambalar, neon ve xenon lambalar, gaz deşarjların aydınlatma sanayinde kullanımlarına örnek verilebilir. Bunun yanında gaz deşarjlar; materyal sanayinde, askeri endüstrilerde, elektronik malzeme üretiminde, tıp ve biyomedikalde, ozon üretiminde, atık ve çöp arıtma gibi çevresel uygulamalarda, polimer sanayinde, plazma ekranlarında, lazer üretiminde, plazma klimalar gibi son derece hayatımıza girmiş yüksek teknolojilerde kullanılmaktadırlar (Akan, 2003).

Bu çalışmada düşük frekans A.C. deşarj plazması üretilmesine rağmen benzer yapılara sahip oldukları için bu bölümde D.C. gaz deşarj plazma üretimi kısaca açıklanmıştır. Bir elektriksel gaz deşarj üretmek için elektrotlar arasına yüksek basınçta veya düşük basınçta gaz yerleştirilir. Gaz olarak atmosferik hava ve/veya reaktif gaz ya da gaz karışımları kullanılır. Düşük basınçtaki gazlarda plazma üretmek için bir vakum odası, vakum pompası ve vakum ölçüm cihazları kullanılır. Elektrotlar arasında üretilen plazmanın yüksek akımlar çekerek güç kaynağına zarar vermemesi için bir akım ayarlayıcı direnç de kullanılır. Deşarj akımının ölçülmesi için bir ampermetre ve deşarj üzerinde potansiyel düşümünün ölçülmesi için de bir voltmetre kullanılır. Daha çok düşük basınçta iki metal elektrot arasına D.C. voltaj güç kaynağı ile yüksek voltaj uygulandıktan sonra deşarj akımının ve deşarj üzerindeki voltajın ölçülmesi ile elde edilen akım-voltaj karakteristiği Şekil 2.10.’da verilen grafiğe benzer olur (Akan, 2003). Grafik üzerindeki değerler, kullanılan gazın cinsine ve basıncına, elektrotlar arası uzaklığa, elektrotların cinsine ve yapısına göre farklılıklar gösterebilir.



Şekil 2.10. D.C. elektriksel gaz deşarjın akım voltaj karakteristiği (Akan, 2003).

Grafik üzerinde akımın birden arttığı ve voltajın birden azaldığı (E) noktasındaki voltaj V_B ; “**Ateşlenme (Breakdown) Voltajı**” olarak adlandırılır. Ateşlenme voltajından sonra deşarj üzerindeki voltaj birden azalarak glow deşarj bölgesine geçilir.

Ateşlenme voltajı; bir deşarj tüpünde glow deşarj oluşturmak için elektrotlar arasına uygulanması gereken minimum voltaj değeridir (Lieberman ve Lichtenberg, 1994). Bir deşarj tüpünde düşük veya atmosferik basınçta iki elektrot arasında karanlık deşarj, korona deşarj gibi deşarjlar üretilse de bugün teknolojiye sıkça kullanılan ve gaz deşarj olarak çoğu kez kullanılan aslında glow deşarjlardır. Bu nedenle ateşlenme voltajı ya da ateşlenme koşulları aslında glow deşarj oluşturma şartıdır. Ateşlenme öncesi, elektrotlar arası potansiyel dağılımı doğrusal dağılımdır ve elektrik alan E sabittir ve $E=V/d$ eşitliği ile

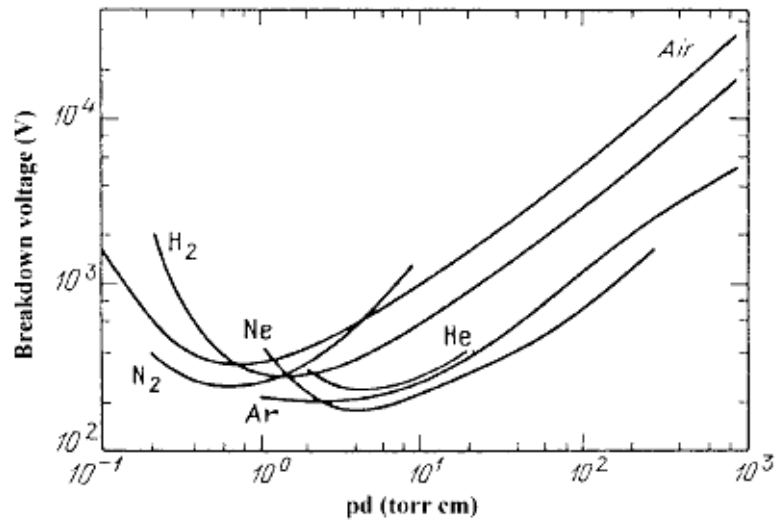
verilir. Bu elektrik alan ile elektronlar anoda, pozitif iyonlar da katoda doğru hareket ederek deşarj içinden doğru akım geçişini sağlarlar. Bu sırada katoda gelen başka bir deyişle katoda vuran pozitif iyonlar ikincil elektron üretecektir (Grill, 1993). Bu yük üretim işlemi, eş zamanlı oluşan iki olayla sonuçlanır. Bunlar; 1-) Katoda gelen hızlı iyonlar elektronlar üretirler. 2-) Üretilen elektronlar hızlandırılırlar ve katoda doğru hızlanan iyonlar üretirler. Her iki işlem de, elektrotlar arası uzayın dışındaki elektron ve iyon kayıplarını karşılamak için, belirli bir oranda olmak zorundadır. Bu kayıpların karşılanması için gerekli voltajın minimum değeri “ateşlenme (breakdown) voltajı” olarak adlandırılır.

Glow deşarjlar için ateşlenme voltajının değeri,

$$V_B = \frac{A_1(pd)}{A_2 + \ln(pd)} \quad (2.1)$$

ile verilir. Burada A_1 ve A_2 deneysel olarak elde edilen birer sabit, p ; gaz basıncı ve d ; elektrotlar arası uzaklıktır. Ateşlenme voltajı yalnızca gazın basıncı ve elektrotlar arası uzaklığın çarpımına ($p.d$) bağlıdır. Bu bağımlılık Paschen yasası olarak tanımlanır (Akan, 2003). Farklı gazlar için ateşlenme voltajının düşük basınçlarda deneysel olarak elde edilmiş ($p.d$) bağımlılığı Şekil 2.11.’de verilmiştir.

A.C. deşarjlarda da glow deşarj oluşumu benzer şekilde oluşur. Ancak elektronların hızlandırılması D.C. deşarjdaki gibi tek yönde değil gaz içinde uygulanan voltajın frekansı ile titreşerek oluşur. Bu nedenle ateşlenme voltajı değeri daha düşük olur. Ateşlenme voltajı değeri yine ($p.d$) değerine bağlı olurken uygulanan voltajın frekansı daha etkin rol alır.



Şekil 2.11. Farklı gazlar için Paschen eğrileri (Raizer, 1991).

Post deşarjlar iki elektrot arasında bir deşarj üretildikten sonra deşarjın elektrotlar arasından çıkarılma işlemi olduğu için yukarıdaki deşarj oluşumunun anlaşılması önemlidir. Post – deşarjların özellikleri, tamamıyla üretilen deşarjın özelliklerine bağlıdır. Ancak post deşarjın oluşma koşulları literatürde hala incelenmekte olan süreçtir. Bu tez çalışması bu sürece önemli katkı sağlayacaktır.

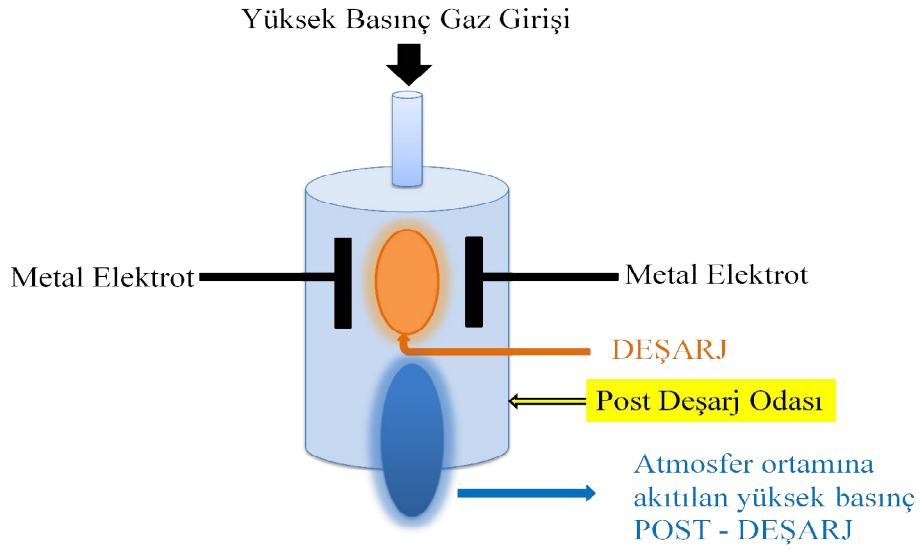
3. POST DEŞARJ (PLAZMA JET) PLAZMALAR

Son yıllarda özellikle kullanım alanına doğrudan uygulama olanağı sağladığı için plazmalar elektrotlar arasından taşınmaktadır. Elektrotlar arasından çıkarılarak uzaklaşan plazmalara “Post-deşarj Plazmalar” , “Afterglow Plazma” “Uzaklaşan Plazma” gibi isimler verilmektedir (Dallı, 2013). Bu isimlerle anılan plazmalar elektrotlar arasından uzaklaştırıldıktan sonra akmaya devam ederlerse “Akan Post-deşarj plazmalar” , “ Akan Afterglow Plazma” “Akan Uzaklaşan Plazma” ya da “Plazma Jet” olarak adlandırılırlar (Dallı, 2013).

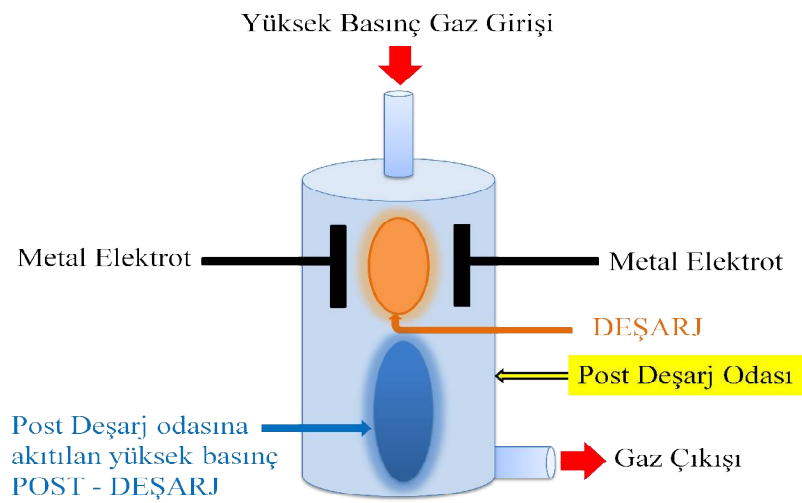
Elektrotlar arasından plazmanın uzaklaştırılması için iki yöntem kullanılmaktadır. Birinci yöntem; elektrotlar arasına yüksek basınç gaz göndermektir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Bu durumda elektrotlar arasında üretilen yüksek basınçtakideşarj/plazma, bir vakum odasına ya da atmosfere yüksek basınç gaz akışı ile itilir. Genelde atmosferik basınçlarda post-deşarj/plazma jet üretmek için bu yöntem kullanılır (Moisan, v.d., 2002). İkinci yöntem; elektrotlar arasında üretilendeşarj, bir vakum pompası ile çekilir. Bu durumda “Post-deşarj Odası” denilen bir hacim kullanılır. Elektrotlar arasında oluşturulandeşarj/plazma; vakum pompası yardımıyla post-deşarj odası içine çekilir. Plazma/Deşarj üretim sistemi (elektrotlar sistemi); postdeşarj odası içine monte edilebileceği gibi (Şekil 3.3), plazma/deşarj; ayrı bir odada üretilip diğer bir odaya (postdeşarj odası) aktılabilir (Şekil 3.4.). Bu çalışmada incelenen post –deşarj plazmalar, Şekil 3.4.’ teki üretim mekanizması ile üretilmiştir.

Şekil 3.1. ve 3.2. ile Şekil 3.3. ve 3.4.’ te verilen her iki üretim yönteminde de elektrotlar arasındaki plazma aktığı için elektrotlar arasında üretilen plazma aynı zamanda “Akan Plazma” ve elektrotlar arasından uzaklaştırılan plazma “Akan Post Deşarj/Plazma Jet” olarak adlandırılır. Yukarıda şematik olarak verilen dört yöntemde de farklı güç kaynakları, farklı elektrot dizaynları, farklı gaz ve gaz akış oranları kullanarak sıcak ya da soğuk akan post-deşarj/plazma jet üretmek mümkündür. Bu şekilde oluşan plazmalar üretim yöntemine göre 5-10 mm uzunluğunda olabildikleri gibi 10-20 cm kadar uzun olabilmektedirler. Çok daha büyük hacimlerde oluşturulmaları gelecekte önemli

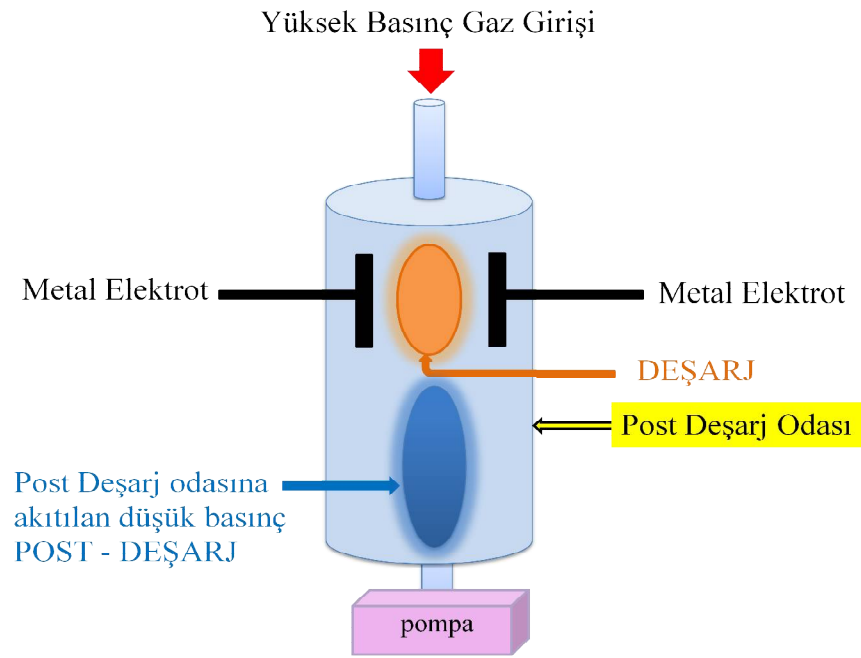
uygulamalara sahip olacaktır. Özellikle elektrik alan bulunmadığı için canlı üzerinde uygulamaları elverişli olacaktır.



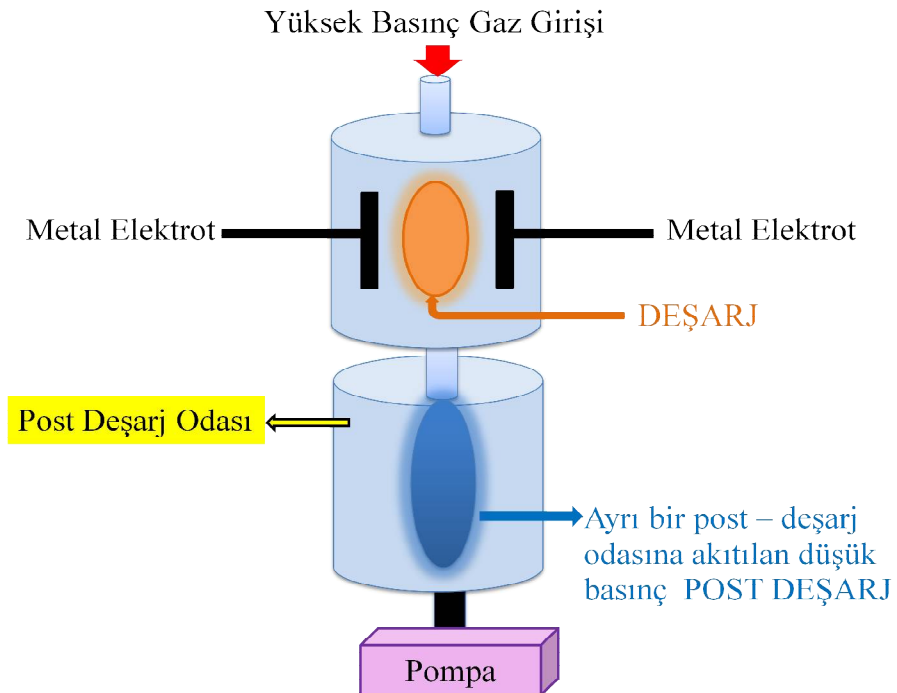
Şekil 3.1. Elektrotlar arasına yüksek basınç gaz gönderildiğinde post deşarjın atmosfer ortamına çıkışı.



Şekil 3.2. Elektrotlar arasına yüksek basınç gaz gönderildiğinde post deşarjın kapalı bir hacme çıkışı.



Şekil 3.3. Düşük basınçta post-deşarj plazmanın post deşarj odası içinde üretimi.



Şekil 3.4. Düşük basınçta post-deşarj plazmanın ayrı bir odada üretimi.

Post deşarj/Plazma Jet sistemlerinde deşarj; elektrotlar arasındaki elektrik alandan çıktıkları için oluşum mekanizmaları Bölüm 2’de açıklanan gaz deşarj oluşumundan çok farklı olmaktadır. Elektrotlar arasında deşarj; elektrik alanda hızlanan yüklü parçacıkların çarpışmaları ile olurken, Post deşarj/Plazma Jet plazmaları; çoğalma (avalanche) mekanizması ile kendi kendini oluşturmaktadır. Bu durumda elektrotlar arasından çıkan yüklü parçacıklar sahip oldukları enerji ile hemen karşılırlarına çıkan gazı iyonlaştırırılar. Yeni iyonlaşan parçacıklar da iyonlaşma işlemi yaparak zincirleme çoğalma işlemi meydana gelir. Burada hızlandırıcı bir elektrik alan olmadığından dolayı parçacıklar kolayca enerjilerini kaybederler ve belirli bir mesafeden sonra deşarj söner. Ancak bu sönme noktasının dışında hala uzun yaşama ömrüne sahip plazma parçacıkları (örneğin metastable atomlar, nötr atomlar, radikaller) bulunmaya devam ettiği için tam olarak post-deşarj/plazma jet plazmasının sınırlarını belirlemek kolay değildir.

Şekil 3.5.’ de çok yüksek hızda çekim yapabilen fotoğraf makinesi (ICCD kamera) ile bir Post – Deşarj/Plazma Jet’in farklı zamanlarda (nano saniye) çekilmiş fotoğrafı verilmiştir. Görüldüğü gibi 320-370 nano saniye sonra elektrotlar ağzından çıkan çok küçük plazma, 770-820 nano saniye sonra son bulmaktadır. Fakat insan gözünün ayırma gücü yetmediği için ancak Şekil 3.5.m’ deki gibi plazma jetin tümü görülmektedir.



Şekil 3.5. Post – Deşarj/Puls Plazma jet tarafından üretilen plazma atmaları (Lu ve Laroussi, 2006).

Bu çalışmada; Şekil 3.4.' teki gibi birdeşarj odasından ayrı bir postdeşarj odasına akıtılarak postdeşarjlar üretilmiştir. Ancak bu sistem ile Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3' deki gibi postdeşarj plazmaları da üretilir. Bu sistem ile spektroskopik çalışmalar özellikle uygulanan voltajın frekansından sakınmak için uygun olmuştur.

3.1. Post Deşarj Plazmalar (Plazma Jetlerin)'in Genel Uygulamaları

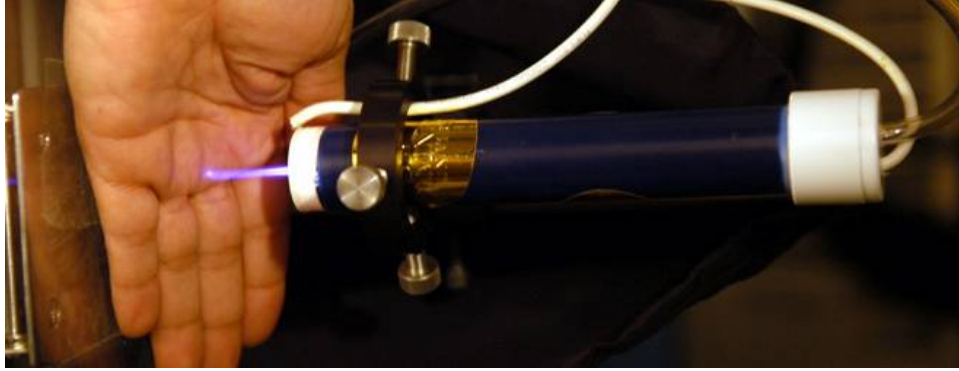
Post-deşarj/Plazma Jet'ler farklı güç kaynakları ve farklı elektrot dizaynları ile üretildiğinde farklı isimlerle anılabilir. Bu parametreler değiştiğinde üretilen post-deşarj/plazma jet'in sıcaklığı değiştiği gibi elektrotlar arasındaki plazmanın yapısı da değişir. Şimdiye kadar D.C. atmosferik basınç plazma jetleri (plazma torch olarak da bilinir); Şekil 3.6.' da gösterildiği gibi kesme, kaynak, kaplama, yeni materyal üretimi gibi birçok teknolojide kullanılmıştır. Bu tip plazma jetlerde elektrotlar arasında ark plazması üretilir ve üretilen post-deşarj/plazma jet 1000-2000 derece sıcaklıklarda ve daha yüksek sıcaklıklarda olabilmektedir. Bu sistemlerde yüksek sıcaklıktaki post-deşarj/plazma jet, materyal ile etkileşmektedir.



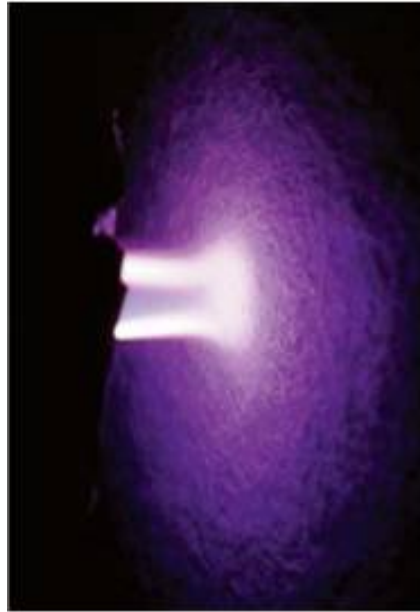
Şekil 3.6. Sıcak ark plazma jetleri (www.gordonenglan.co.uk, 08.06.2013).

Bununla birlikte oda sıcaklığı kadar soğuk post-deşarj/plazma jet plazmaları, sterilizasyon, polimer uygulamaları, diş çürüğü tedavisi, sivilce tedavisi, mantar tedavisi, yüzey temizleme, kaplama ve aktivasyon işlemleri ile elektronik, optik, tekstil gibi birçok endüstriyel uygulamada özellikle ısıya hassas bölgelerde kullanılmıştır. Şekil 3.7. - Şekil

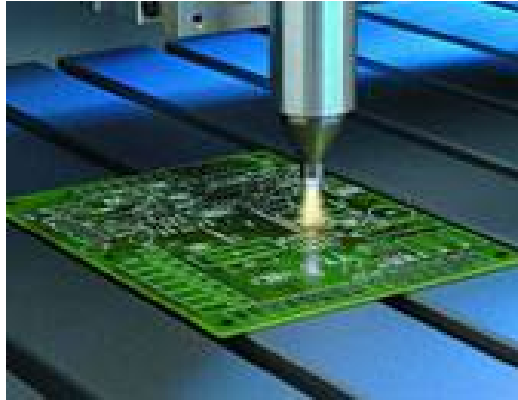
3.13.' de farklı uygulamalarda kullanılan atmosferik basınç soğuk plazma jet resimleri verilmiştir.



Şekil 3.7. Elle dokunulabilecek kadar soğuk atmosferik basınç plazma jeti (<http://www.insidescience.org>, 19.06.2013).



Şekil 3.8. Argon "Plasma Jet" i kağıt üzerine temas hali (Duan, vd., 2005).



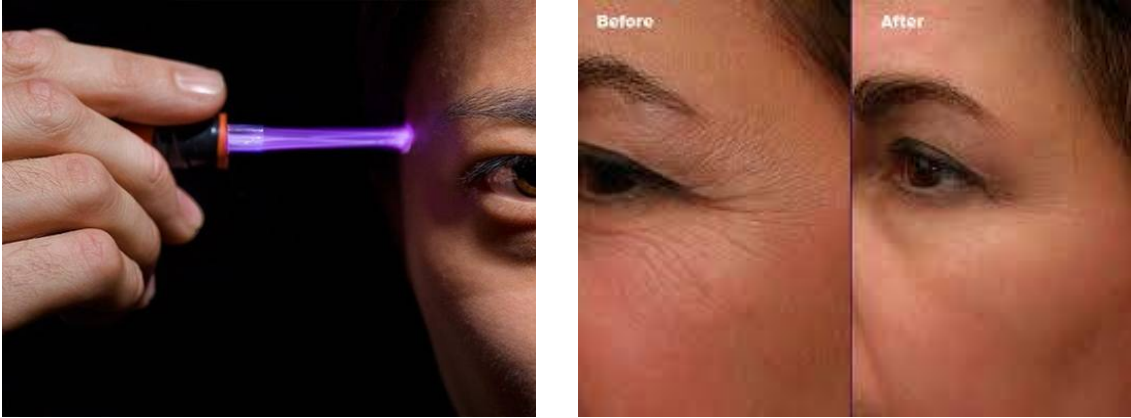
Şekil 3.9. Plazma jet ile elektronik kart temizliği (www.plasmatreat.com, 03.06.2013).



Şekil 3.10. Plastik'in atmosferik basınçta üretilen soğuk plazma ile temizlenmesi (www.plasmatreat.com, 03.06.2013).



Şekil 3.11. Bir atmosferik basınç soğuk plazma jeti olan "Plazma Needle" ile diş uygulaması (<http://www.phys.tue.nl/EPG/stoffels/>, 15.06.2013).



Şekil 3.12. Atmosferik Basınç Plazma Jet İle kırışıklık tedavisi uygulaması (Emmert, vd.,2013).



Şekil 3.13. Soğuk plazma ile yanık tedavisi (Fridman, vd., 2008).

Şekil 3.6 - Şekil 3.13' de, daha çok yüksek basınçta ve atmosferik basınçta üretilen sıcak ve soğuk plazma jetlerinin uygulamaları verilmiştir. Bir vakum pompası, vakum odası ve vakum ölçüm cihazları kullanılmadığı için bu sistemler maliyeti düşürdükleri için ve istenilen uygulama alanına taşınabildikleri için çokça tercih edilmektedir. Ancak bu sistemlerin önemli dezavantajı küçük hacimde post-deşarj ya da plazma jet üretmeleridir. Bununla birlikte üretilen plazma, atmosfer ortamına taşındığı için atmosferik havanın içindeki gazın da plazması üretilmektedir. Bununla birlikte eğer bir toksik gaz plazma sonucunda üretiliyorsa bu tümüyle ortamda kalmaktadır. Daha büyük hacimlerde ve sadece

istenilen gazın post-deşarj/plazma jetini üretmek için post deşarj odaları ve vakum pompası kullanılmaktadır. Post deşarj odalarına plazmayı akıtmak için yüksek basınç gaz veya elektrotlar arasında üretilen plazmayı post deşarj odasına akıtmak için bir mekanik pompa kullanılmaktadır. Bu durumda plazma yüksek basınçta kalabildiği gibi daha çok düşük basınçta da üretilmektedir. Post-deşarj odalarına akıtılan plazmalar genelde yüzey uygulamalarında görülse de daha çok biyolojik uygulamalarda karşımıza çıkmaktadırlar.

4. DENEYSEL SİSTEM

Post-Deşarj Plazmalarının incelenmesi için kullanılan deneysel sistemin fotoğrafı Şekil 4.1’ de verilmiştir.

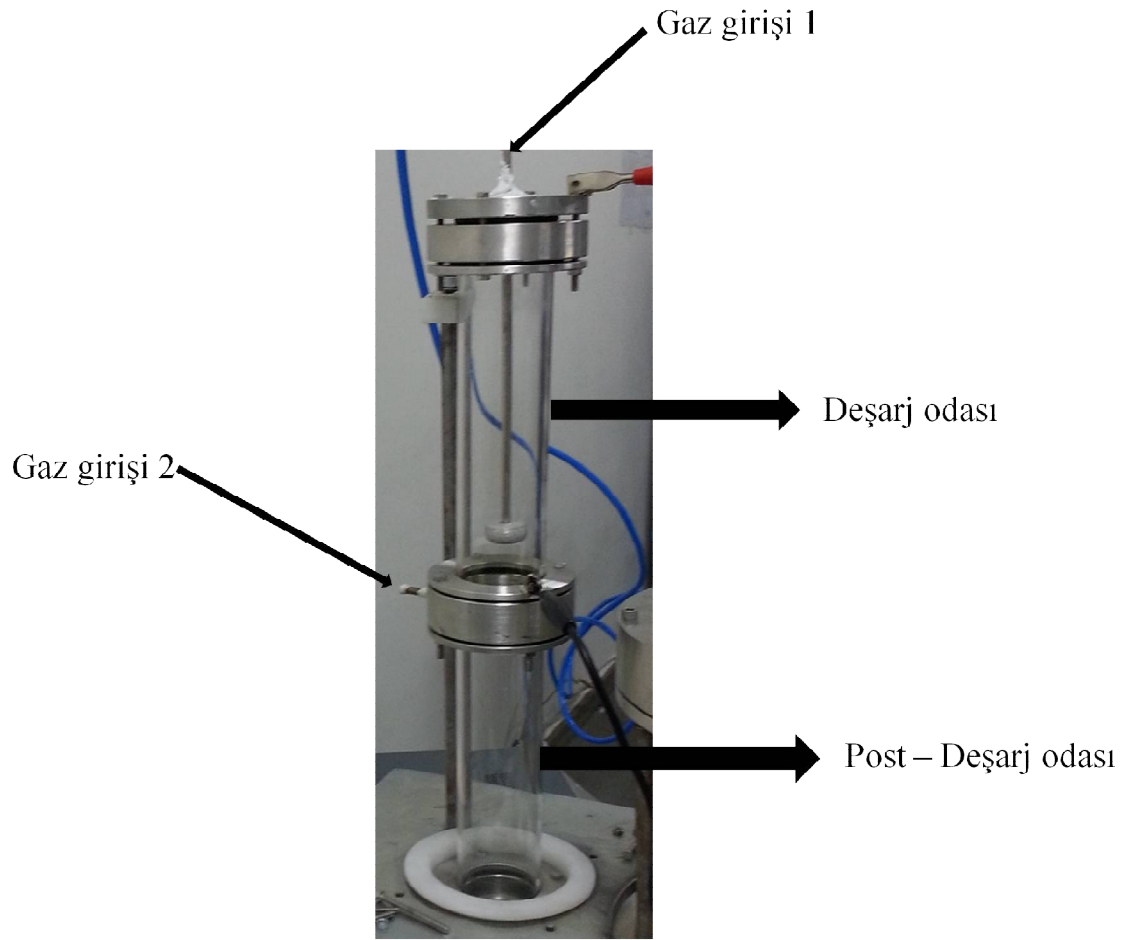


Şekil 4.1. Deneysel Sistemin fotoğrafı.

Sistem; bir vakum pompası, vakum ölçüm cihazı, birbirine paslanmaz çelik ile bağlı deşarj ve post deşarj odası, gaz tüpleri, gaz akış sistemi ve 18 kV-15 kHz güç kaynağından oluşmaktadır. Vakum pompası Edwards RV3 model ve 3.7 m³/h pompalama hızına sahiptir. Vakum ölçüm cihazı Edwards Active Pirani Gauge düşük basınç manometresi (10⁻³ mbar) Edwards Active Gauge Controller AGC Single Display model dijital

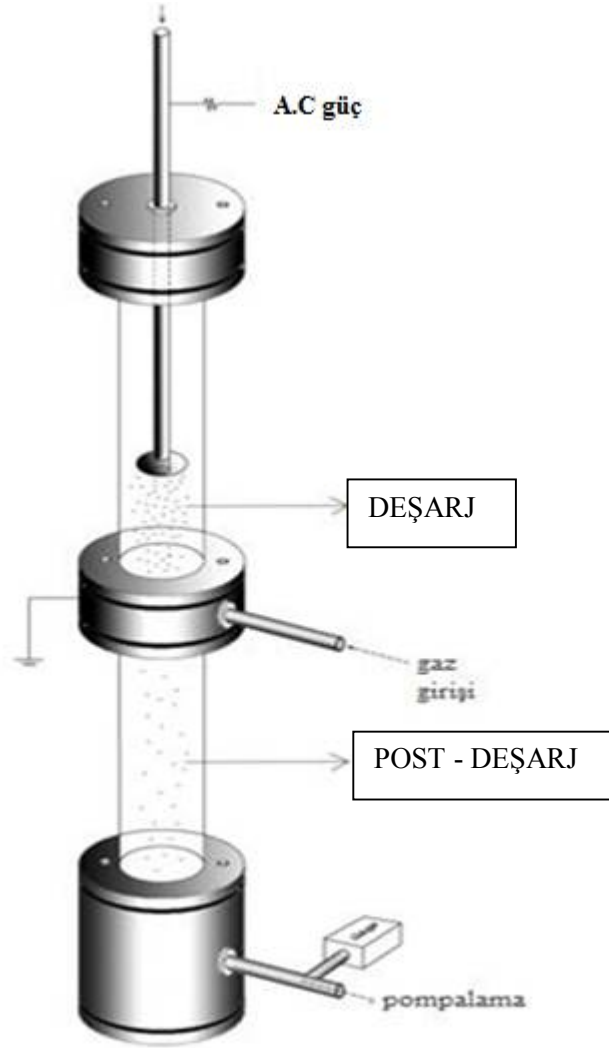
basınçölçere bağlıdır. Gaz akış sistemi Mass – Stream 0-5 lt/dk flowmetre ve hava, helyum, argon, oksijen özel regülatörlü gazlardır.

Şekil 4.2’ de post-deşarj üretimi için kullanılandeşarj odası ve post-deşarj odasının ayrıca fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4.2. Deneysel çalışmaların yapıldığıdeşarj ve post-deşarj odasının fotoğrafı.

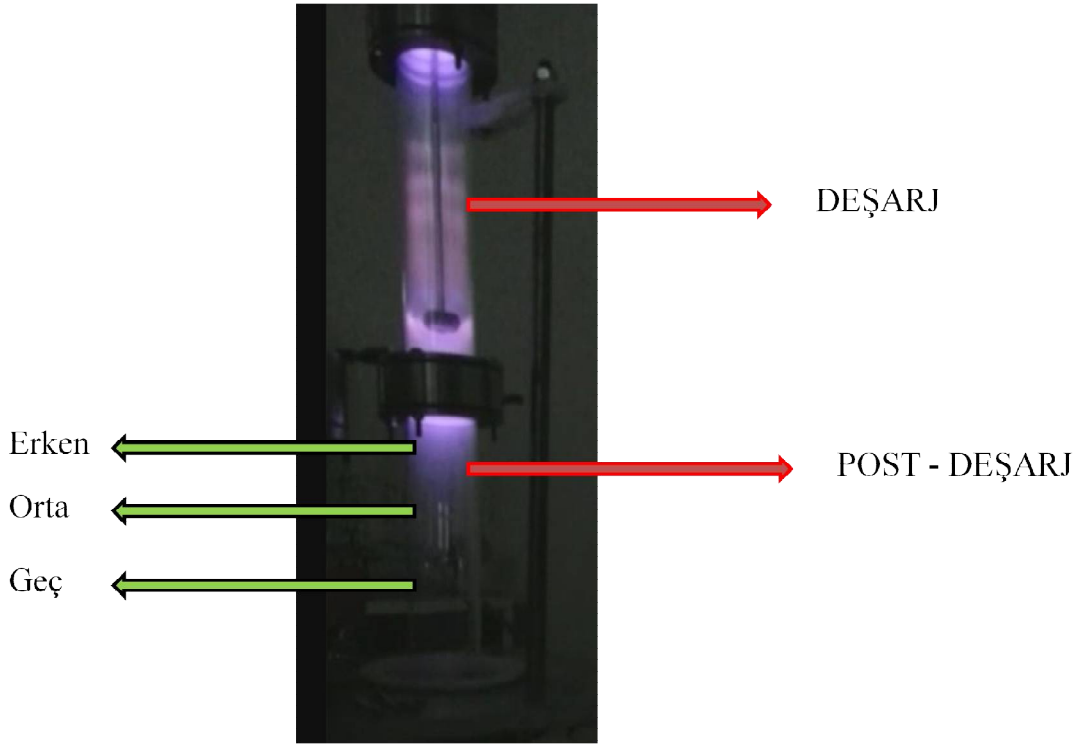
Deneysel sistemin birbirine bağı deşarj ve post deşarj odalarının şematik görünümü de Şekil 4.3.' te verilmiştir.



Şekil 4.3. Deneysel çalışmaların yapıldığı birbirine bağı deşarj ve post deşarj odasının şematik görünümü.

Şekil 4.3.' ten görüldüğü gibi vakum pompasına bağı post deşarj odası, deşarj odasının alt kısmında kalmaktadır. Post deşarj odası NW-25 boyutlu Edwards kelebek bir anahtar yardımıyla vakum pompasına bağlanmıştır. Post deşarj odası 60 mm çapta ve 200 mm uzunlukta pyrex cam tüptür. Post deşarj odası paslanmaz çelik ara flanş ile deşarj

odasına bağlıdır. Ara flanş üzerinde bir gaz girişi vardır. Post deşarj odasının üstündeki deşarj odası 60 mm çapta ve 250 mm uzunlukta pyrex cam tüptür. Deşarj odasının üst kısmında hem elektrot hem de gaz girişi olarak kullanılan sistem vardır. Ara flanştan gönderilecek gazlar ile üstten gönderilen gazların karışımı sağlanır. Gaz akış sistemi, gaz girişi bağlantıları ve gaz akış ölçer sistemi ve vanalardan oluşmaktadır. Bu üst flanşdaki gaz girişinden hava, oksijen, argon ve helyum gazları gönderildikten sonra üst flanşa bağlı 10 mm et kalınlıklı, 20 mm çaplı metalik özellikteki elektrot ile ara flanş arasına güç kaynağı ile voltaj uygulandıktan sonra deşarj odasında gaz deşarj oluşur. Bu sırada vakum pompasının çalışmaya devam etmesi sebebi ile post deşarj odasında ‘post deşarj’ oluşur. Şekil 4.4.’ te Helyum gazı için üretilen deşarj ve post deşarj fotoğrafı verilmiştir.



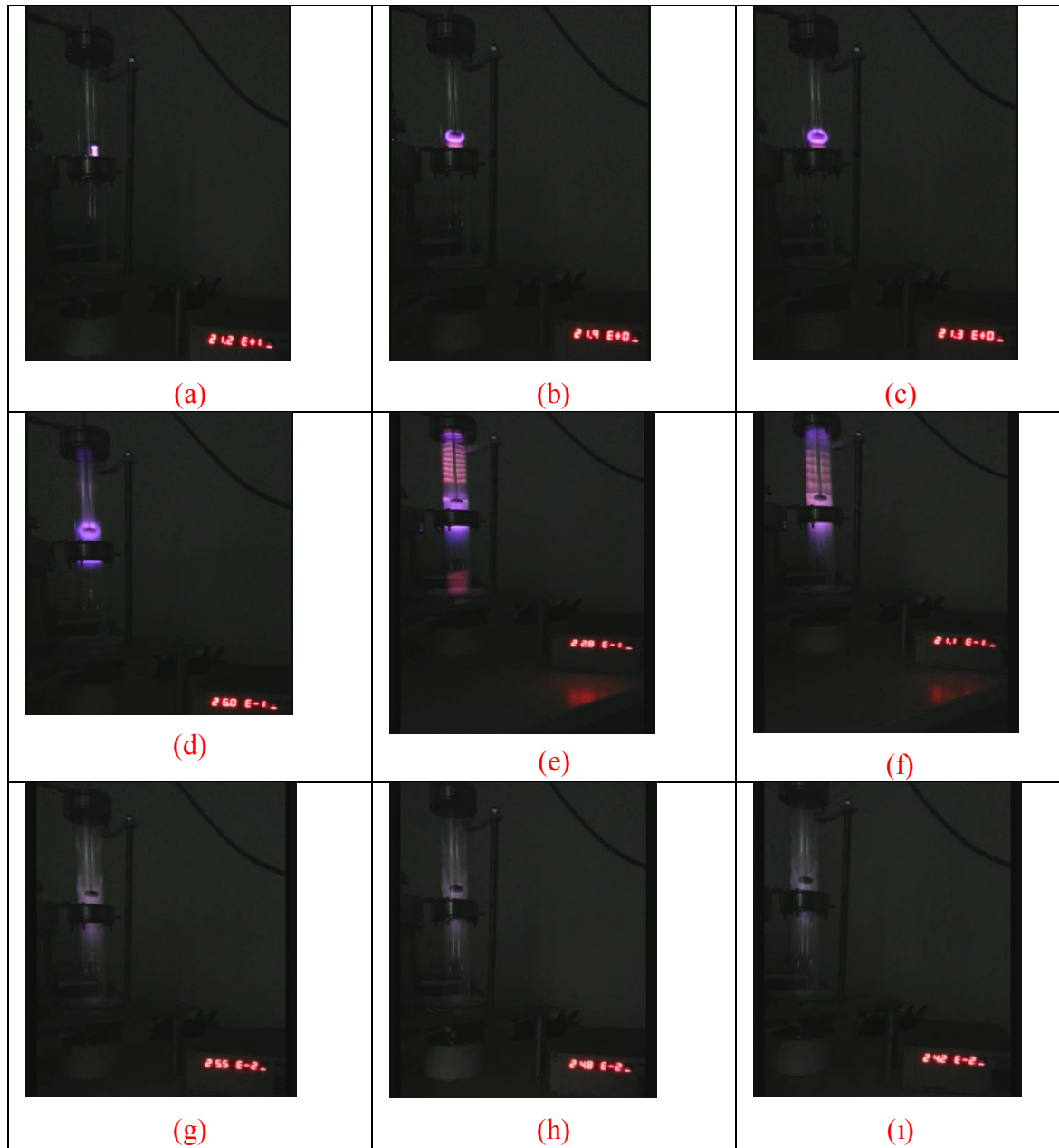
Şekil 4.4. Helyum gazı için üretilen deşarj ve post-deşarj fotoğrafı.

Deneysel çalışmalarda "post – deşarj" in analizi OES ile üç farklı noktada ölçüm alınarak yapılmıştır. Şekil 4.4.’ te gösterildiği gibi bu üç nokta, üretilen "post – deşarj" ın erken, orta ve geç kısmını oluşturur. Spektroskopik ölçümler sabit basınçta özellikle tam post – deşarj olduğu anda alınmıştır.

5.DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Hava Gazının Deşarj ve Post-Deşarj'ın İncelenmesi

Şekil 5.1.' de gaz olarak yalnızca Hava kullanılarak üretilen Deşarj ve Post-deşarj fotoğrafları verilmiştir. Fotoğrafta basınç ölçer ekranında üretilen basınç değeri de gözükmemektedir.



Şekil 5.1. Farklı basınçlarda üretilen Hava deşarj ve post-deşarj' larının fotoğrafları.

Şekil 5.1.' den görüldüğü gibi basınç değıştikçe deşarj ve post-deşarj yapısı değışmektedir. Bu beklenen sonuçtur. Çünkü bir gaz içindeki iyonlaşma içindeki molekül sayısı ve dolayısıyla ortalama çarpışma sayısı ve ortalama serbest yolla ilgilidir. Şekil 5.1.'deki sonuçlar elde edilirken sabit elektrotlar arası mesafeye sabit elektrik voltajı uygulandıktan sonra gaz giriş sistemi yardımıyla basınç değışimi sağlanarak elde edilmiştir. Fotoğraflar çekilirken basınç ölçerdeki değerde kaydedilerek farklı basınçlardaki değışim gözlenmiştir. Aşağıda fotoğraflarda gözlemlenen olaylar ve fiziksel yorumları kısaca açıklanmıştır.

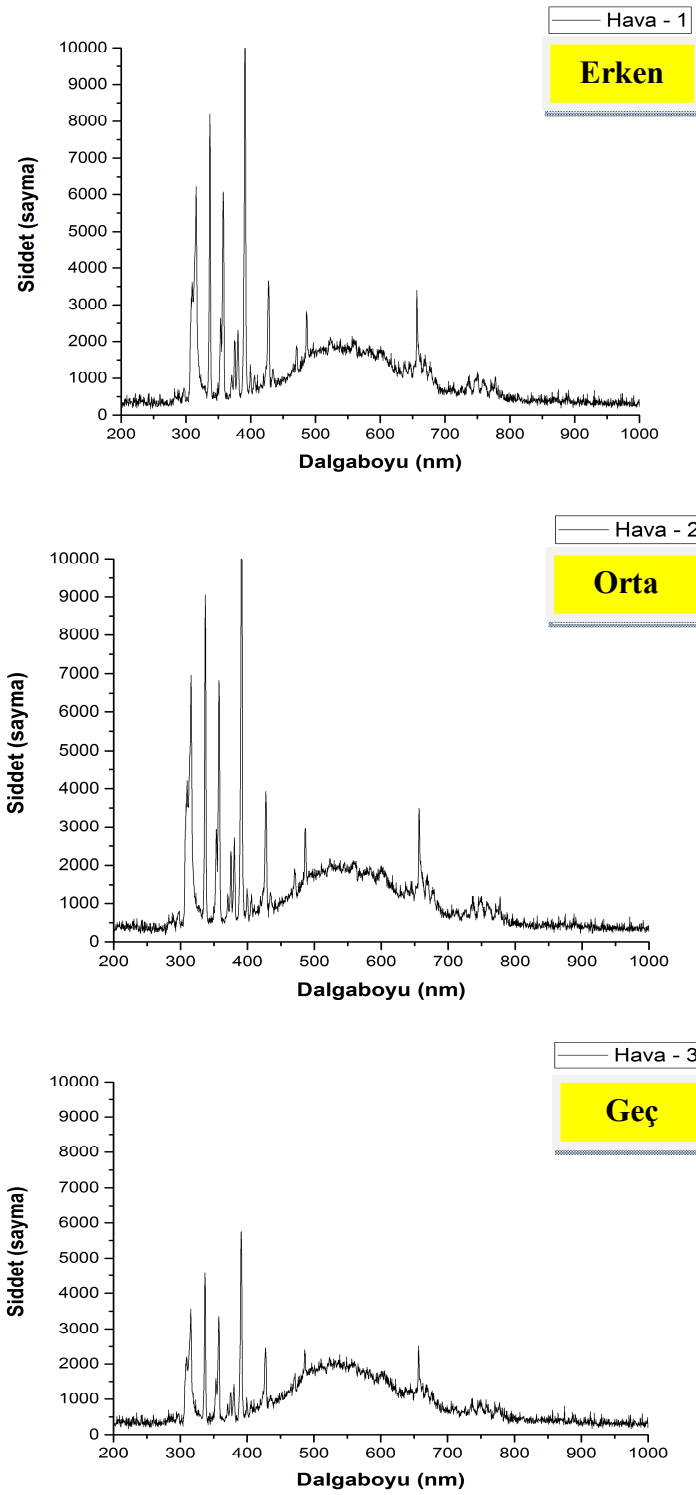
Şekil 5.1.a' da 1.2×10^{-1} mbar basıncında fotoğraf çekilmiştir. Bu neredeyse sistemimiz hiç vakumlanmadan önceki basınç değeridir ve nispeten yüksek basınçtır. Görüldüğü gibi çok yüksek basınçta sadece elektrotlar arasında deşarj gözükmektedir. Basınç düşürüldükçe özellikle 6.0×10^{-1} mbar' a kadar plazmanın sadece deşarj odasında yukarıya doğru hareket ettiğı gözlenmektedir. Deneysel sistemde elektrot düzenlenişini tekrar gözden geçirilirse bu beklenen sonuçtur. Deşarj odasında plazma üretmek için kullanılan elektrot tasarımı şu şekildedir. Üst flanş içinde açılan delikten paslanmaz çelik 6 mm çapta boru geçirilerek bunun ucuna 20 mm çapta silindirik elektrot bağlanmıştır. Bu silindirik elektrotun da içinde 6 mm çapta delik olduğu için içinden kolaylıkla gaz akabilmekte ve elektrotlar arasında deşarj üretilmektedir. Ancak bu silindirik paslanmaz çelik boru ve üst flanşın iç kısmı bir yalıtkanla kaplı olmadığı için plazma bu kısma doğru basınç düştükçe yayılmaktadır. Elektrotlar arasına uygulanan elektrik voltajı aslında üst flanş ile ara flanşa uygulanmaktadır. Bu nedenle bu bölgeye kadar plazma oluşması normaldir. Ancak başlangıçta sadece elektrotlar arasında plazma oluşup daha sonra üst flanşa doğru yayılması elektrik alan dağılımı ile ilgilidir.

Şekil 5.1.d' den görüldüğü gibi bu basınç değerinde post-deşarj odasına akan post-deşarj plazması gözükmektedir. Bu çalışmanın en önemli bilimsel katkısının olacağı kısım post-deşarjın başlama/oluşma koşullarının incelenmesidir. Bu basınç değeri, bu elektrotlar arası mesafe ve bu basınç değeri için başlama koşulu olmaktadır. Başlama koşulları spektrumda ilk pik gözlendiğı basınç değeri alınarak da belirlenmiştir. Diğer gazlar için yapılan farklı deneyler de göstermekte ki post-deşarj başlama koşulu, basınca doğrudan bağlıdır. Literatürde deşarj oluşma koşulları (breakdown voltajı) ile ilgili birçok deneysel veri vardır. Ancak post-deşarj başlama koşulu ile ilgili hiçbir çalışma şimdiye kadar

yapılmamıştır. Bu basınç değerinden sonra deşarj, düşük basınç glow deşarj dağılımına geçmektedir. Post-deşarj ise vakum pompasına kadar uzanmaktadır.

Şekil 5.2.' de Hava gazı için $5.5 \cdot 10^{-1}$ mbar basıncında post – deşarj odasının farklı üç noktasından alınan OES sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi havanın Erken ve Orta post – deşarj plazması spektrumu nispeten aynı dalga boylarında aynı şiddeti verirken, Geç post – deşarj' da daha düşük şiddetler gözlenmektedir.

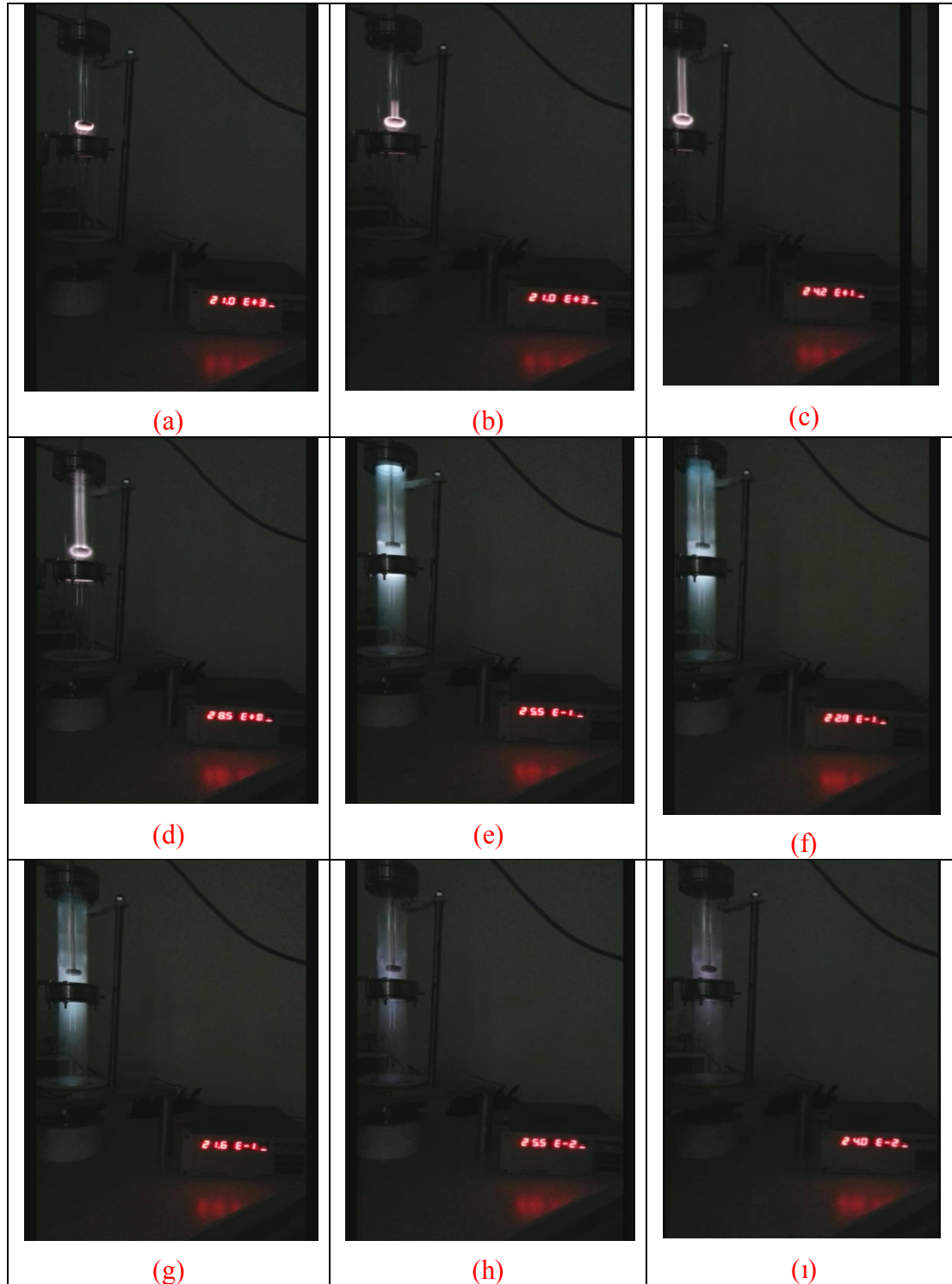
Burada gözlenen pikler beklendiği gibi Hava içindeki Oksijen, Azot, ve bileşiklerinin pikleridir. Spektroskopik ölçümler sabit basınçta ve sabit noktalardan alınmıştır. Burada oluşan plazmalar post – deşarj plazmalardır. Bu nedenle herhangi bir noktadan alınan ölçümlerin yorumu oldukça zordur. Çünkü akan plazmalarda herhangi bir noktada her an farklı reaksiyonlar meydana gelmektedir. Yine de bu sonuçlardan deşarjdan uzaklaştıkça iyonik reaksiyonların azaldığı sonucu çıkartılabilir.



Şekil 5.2. Hava gazı post – deşarj plazması OES ölçümleri.

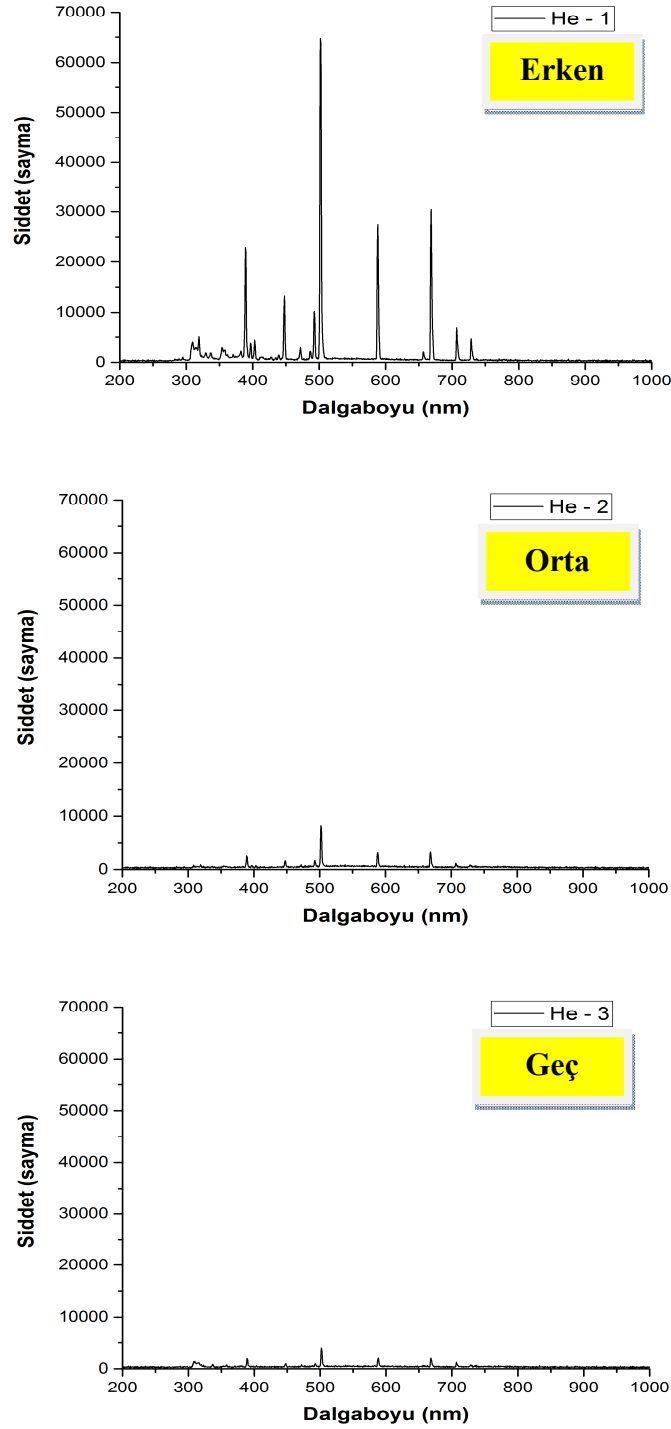
5.2. Helyum Gazının Deşarj ve Post-Deşarj'ın İncelenmesi

Şekil 5.3.' de saf helyum gazı kullanılarak üretilen deşarj ve post – deşarj fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflarda basınç değerleri de gözükmemektedir.



Şekil 5.3. Farklı basınçlarda üretilen helyum deşarj ve post – deşarjlarının fotoğrafları.

Şekil 5.4.' de Helyum gazı için 1.1×10^0 mbar basıncında post – deşarj odasının üç farklı noktasından alınan sonuçlar verilmiştir.



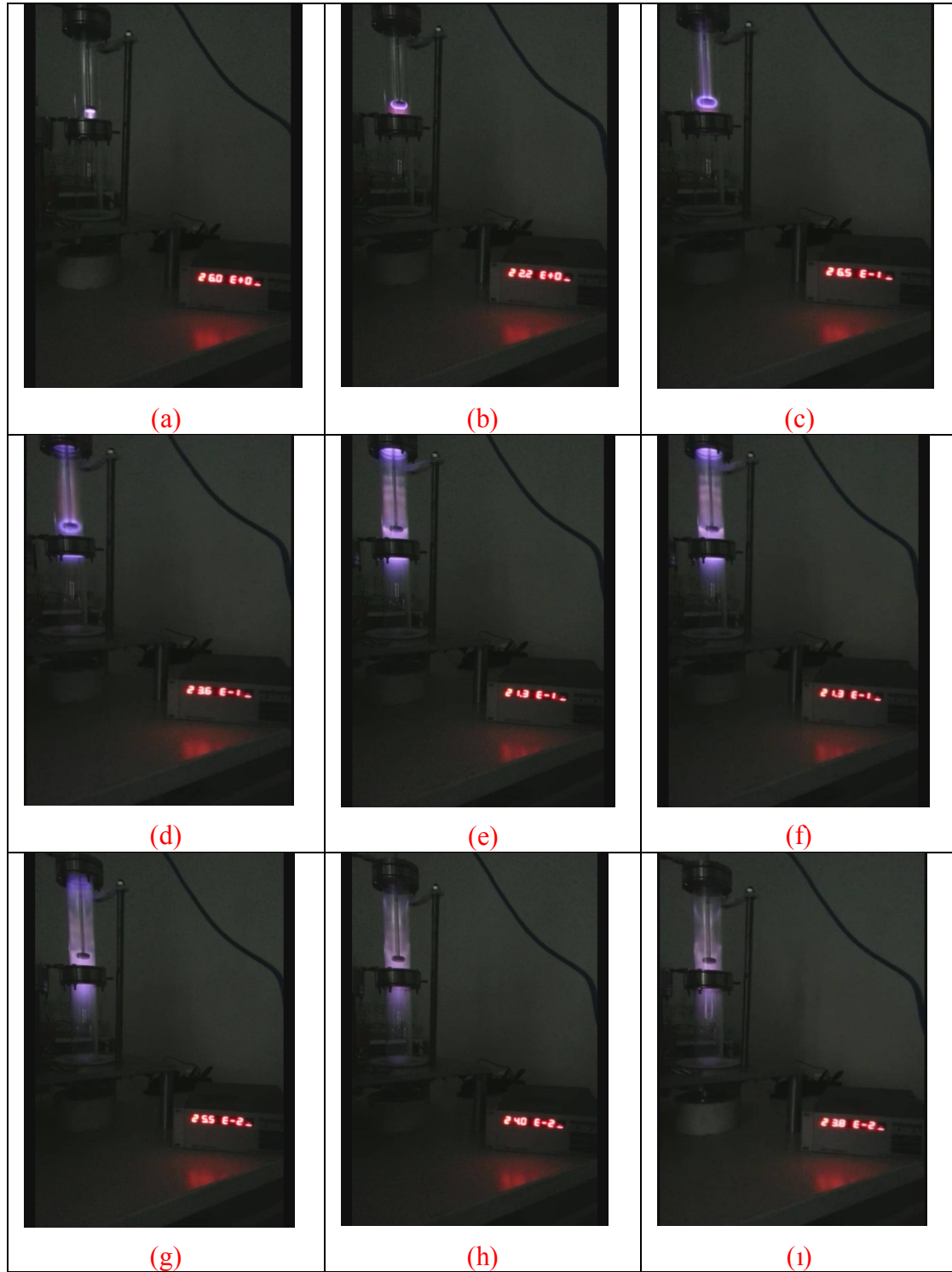
Şekil 5.4. Helyum gazı post – deşarj plazması OES ölçümleri.

Şekil 5.3.' te farklı basınç değerlerinde post – deşarjın yapısal değişimi görülmektedir. Helyum gazında hava gazına göre daha yüksek basınç değerinde post – deşarj gözlenmektedir. Bununla birlikte deşarj bölgesinde kesikli yapı neredeyse hiç oluşmamaktadır. Bu helyum' un iyonlaşma enerjisinin küçük olması ile ilgilidir. Şekil 5.4.' teki spektroskopik sonuçlarda şiddetin post – deşarjın Orta ve Geç kısımlarında oldukça azaldığı görülmektedir.

Burada üretilen post – deşarjların akan post – deşarjlar olduğunun altı bir kez daha çizilmelidir. Akan deşarjlar ve akan post – deşarjların analizi özellikle spektroskopik analizi oldukça zordur. Spektroskopik analizler gerek deşarj gerekse post – deşarj için yapıldığında ölçümün yapıldığı bölgedeki kimyasal reaksiyonlar hakkında bilgi verir. Burada atomik reaksiyonlar kadar moleküler reaksiyonlarda meydana gelir. Ayrıca atomik spektroskopide yalnızca elektronik geçişler olurken moleküler spektroskopide dönme ve titreşim enerji düzeyleri arasında da geçişler olur. Bu nedenle spektroskopik sonuçlardan bu reaksiyonların olup olmadığına ulaşmak gerekir. Burada elde edilen sonuçları çalışmanın sonunda temel bir yoruma götürmek önemlidir. Şimdilik burada deşarjdan uzaklaştıkça şiddet azalması görülmektedir. Bu beklenen sonuçtur. Çünkü iyonların yaşam süreleri bellidir ve deşarjdan uzaklaştıkça iyonik reaksiyonlar azalır.

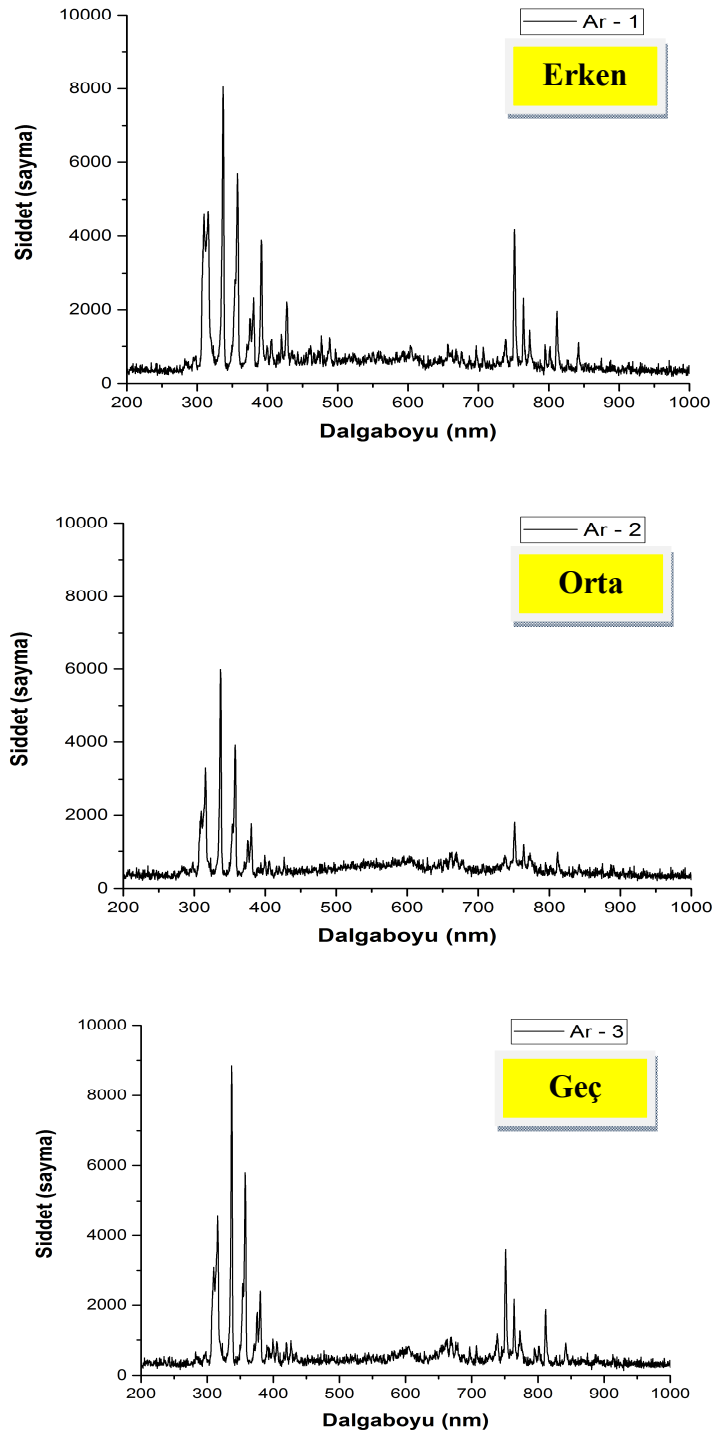
5.3. Argon Gazının Deşarj ve Post-Deşarj'ın İncelenmesi

Şekil 5.5.' te saf Argon gazı kullanılarak üretilen deşarj ve post – deşarj fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflarda basınç değerleri de gözükmemektedir.



Şekil 5.5. Farklı basınçlarda üretilen argon deşarj ve post – deşarjlarının fotoğrafları.

Şekil 5.6.' da Argon gazı için 4×10^{-1} mbar basıncında post –deşarj odasının üç farklı noktasından alınan sonuçlar verilmiştir.



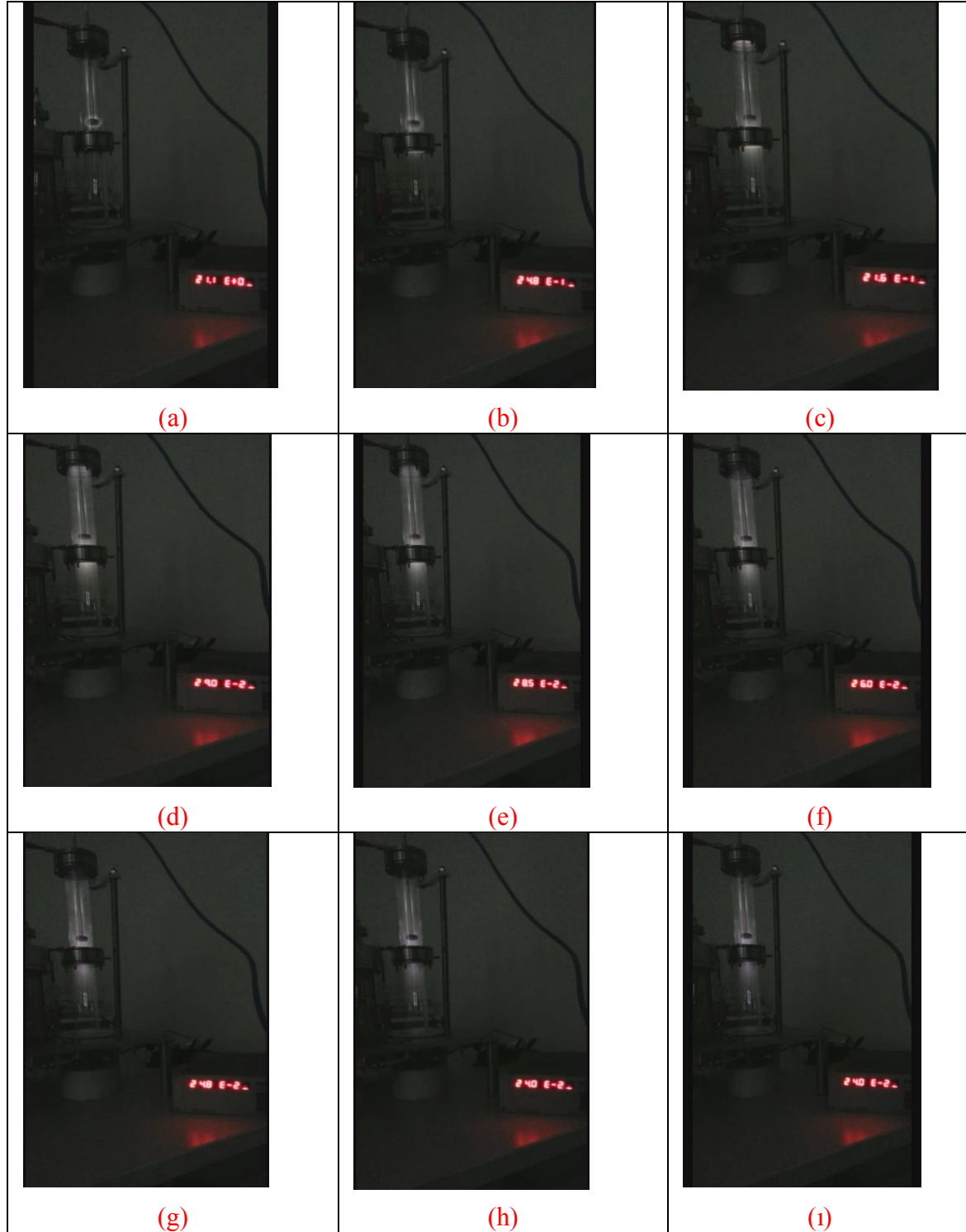
Şekil 5.6. Argon gazı post –deşarj plazması OES ölçümleri.

Şekil 5.5.' te farklı basınçlarda post –deşarj yapısı görülmektedir. Hava gazındaki gibi kesikli yapı gözükmemektedir. Şekil 5.6.' daki spektroskopik sonuçlarda post –deşarjın Orta ve Geç kısmında şiddet azalmaktadır. Ancak geç kısımda nispeten orta kısma göre bir artış gözlenmektedir. Diğer spektroskopik sonuçların yorumlanmasında değinildiği gibi bu sonuçlardan temel bir fiziksel yoruma ulaşmak çok önemlidir. Acaba tüm gazların post –deşarjları üretildikten sonradeşarjdan uzaklaştıkça spektroskopik sonuçlarda bir şiddet azalması yani iyonik reaksiyonların azalması söz konusu oluyor mu? Şekil 5.6.' daki sonuç bir çok kez tekrarlanmıştır ve tamamıyla Erken, Orta ve Geç kısımlarda lineer azalma gözlemlenmiştir. Bunun en önemli nedeni burada üretilen post –deşarjın tümüyle elektrik alandan bağımsız bölge olmamasıdır.

Pompa kısmındaki metalik yapı düşük basınçlarda toprak elektrodu olarak görev yapmakta ve bu nedenle burada elektrik alanla iyonizasyon meydana gelmektedir. Burada oluşan katodik voltaj düşümü bu bölgede iyonik reaksiyonları arttırmaktadır. Bu çelişkilerin ortadan kaldırılması için pompa kısmındaki metalik flanşın yalıtılması önemlidir.

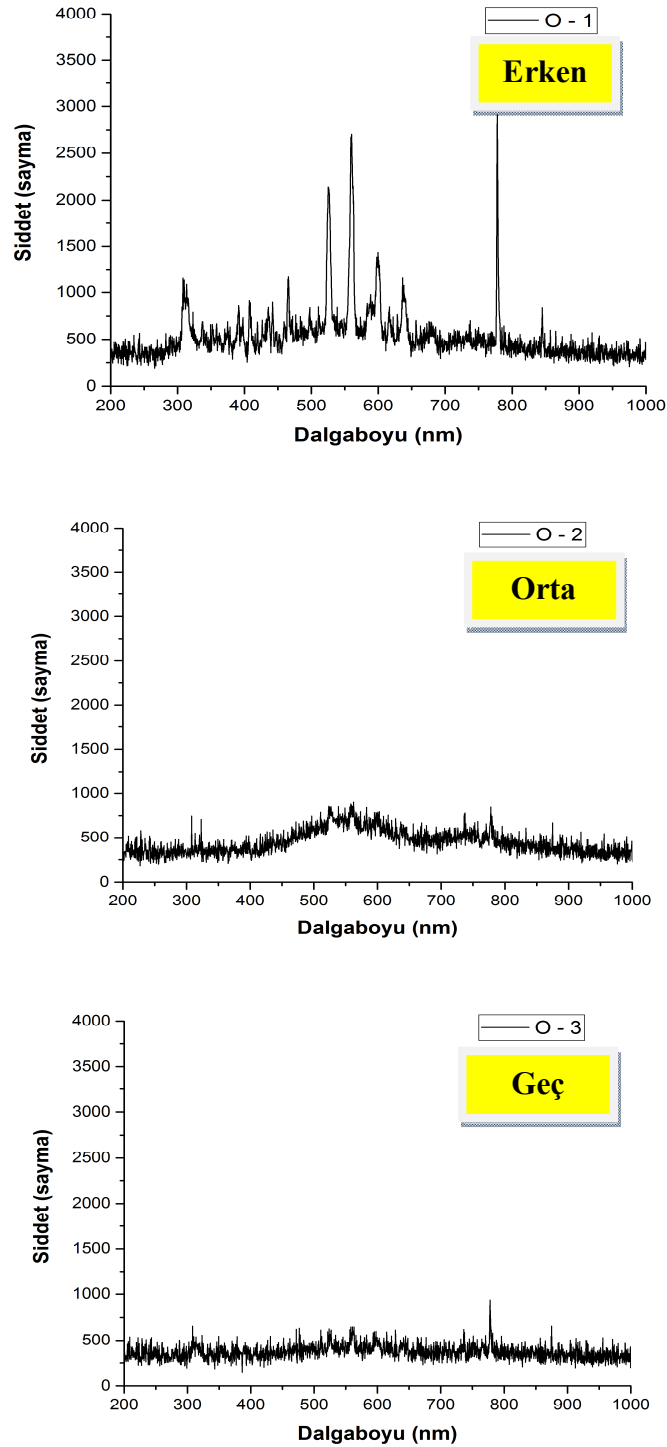
5.4. Oksijen Gazının Deşarj ve Post-Deşarj'ın İncelenmesi

Şekil 5.7.' de saf Oksijen gazı kullanılarak üretilen deşarj ve post – deşarj fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflarda basınç değerleri de gözükmemektedir.



Şekil 5.7. Farklı basınçlarda üretilen oksijen deşarj ve post – deşarjlarının fotoğrafları.

Şekil 5.8.' de Oksijen gazı için 2×10^{-1} mbar basıncında post –deşarj odasının üç farklı noktasından alınan sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.8. Oksijen gazı post –deşarj plazması OES ölçümleri.

Şekil 5.7.' de oksijen gazı için farklı basınçlarda post – deşarj yapısal değişimi gözükmemektedir. Şekil 5.8.' de oksijen gazı için spektroskopik sonuçlar gözükmemektedir. Post– deşarjın son kısımlarında şiddet oldukça azalmaktadır.

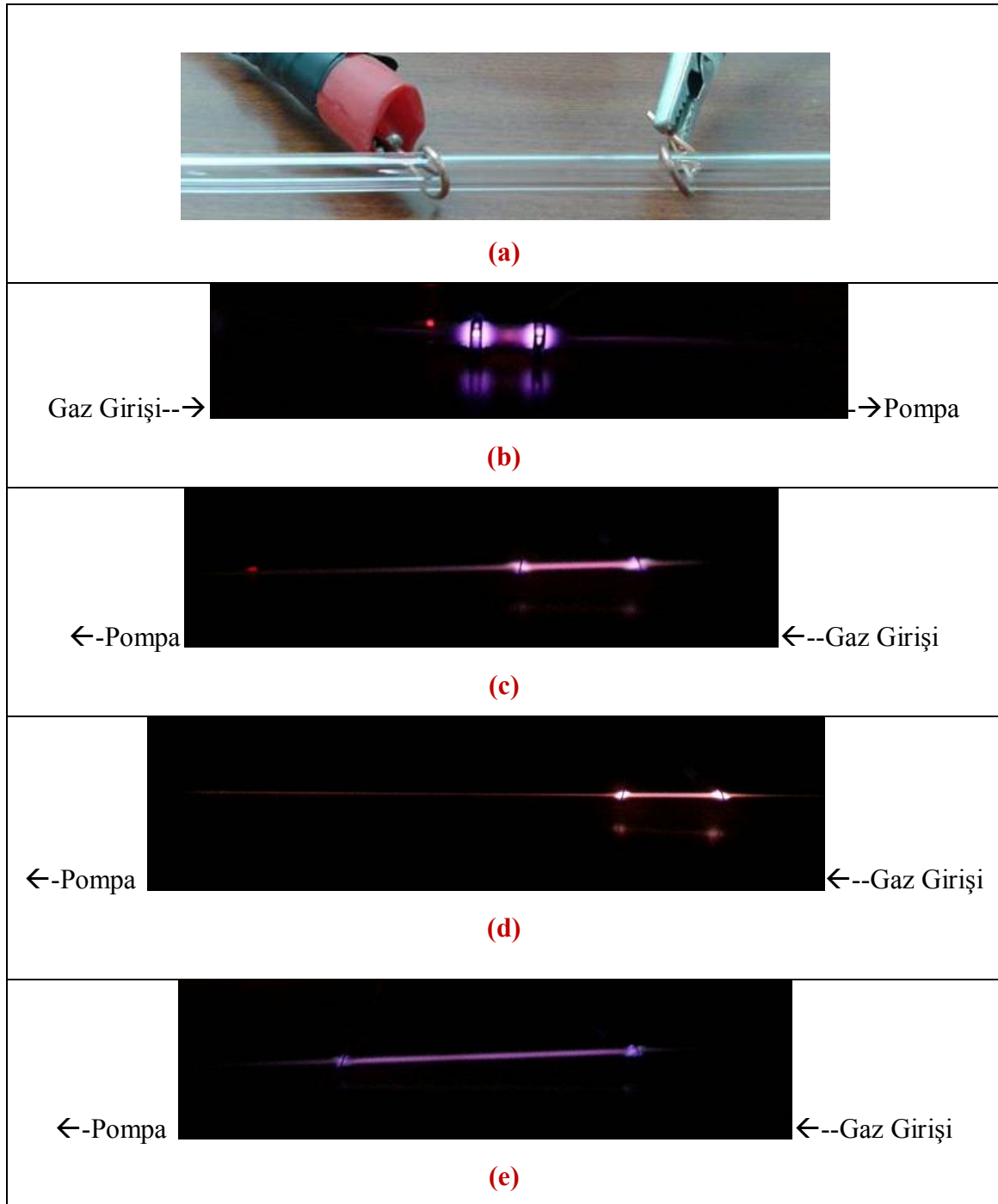
5.5. Post – Deşarj Oluşma Koşullarının İncelenmesi

Plazmaların özellikle gaz deşarj plazmalarının oluşum koşulları "Breakdown Yasası", "Paschen Eğrisi" gibi fiziksel temeller üzerine oturtulmuştur. Bu manada "post - deşarj" plazmaların oluşum koşullarının incelenmesi ve bunun bir yasa üzerine oturtulması önemlidir ve bugüne kadar literatürde böyle bir çalışma yapılmamıştır. Başlangıç çalışması olarak bu tezde Helyum, Argon ve Oksijen gazı için uygulama voltajı ve frekansı sabit tutulurken, gaz akış hızı ve basınca göre post – deşarj oluşma koşulları incelendi. Bu çalışma yapılırken her bir gazın deşarjı üretildikten sonra post – deşarjın hangi akış hızı ve basınçta oluştuğu incelendi. Bunun için OES' nin probu tam deşarjın çıkış noktasına yerleştirildi ve en küçük pik (herhangi bir dalga boyu şiddeti) oluştuğunda basınç ve gaz akış hızı kaydedildi. Çizelge 5.1.' de Helyum, Argon ve Oksijen gazları için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu başlangıç çalışması için post – deşarjın oluşma koşulunun basınca bağlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1. Post – Deşarj plazmanın oluşum aralıkları.

Gaz Türü	Akış Hızı (l/dk)	Basınç (mbar)	Voltaj (kV)	Frekans (kHz)
Helyum	0.109	$1,1 \times 10^0$	18	15
Argon	0.040	$4,0 \times 10^{-1}$	18	15
Oksijen	0.001	$2,0 \times 10^{-1}$	18	15

Elde edilen sonuçların detaylı yorumlanması için Şekil 5.9.a’da verilen deneysel düzende Dielektrik Bariyer Deşarj (DBD) üreterek post-deşarjları incelenmiştir. DBD’ların önemli özelliği elektrotlar ile plazma ortamını ayıran bir dielektrik materyalin kullanılmasıdır. Böylece plazma içindeki parçacıkların elektrotlara doğru elektrik alandan akışının önüne bir bariyer oluşturulabilir.



Şekil 5.9. Dielektrik Bariyer Deşarj Post-Deşarj fotoğrafları.

Şekil 5.9.b’de 1cm iç yarıçapında cam tüp içinde havanın DBD’ı, Şekil 5.9.c’de 2mm iç yarıçapında cam tüp içinde Argon gazının DBD’ı, Şekil 5.9.d’de 2mm iç yarıçapında cam tüp içinde Helyum gazının DBD’ı ve Şekil 5.9.e’de 2mm iç yarıçaplı cam tüp içinde havanın daha uzun elektrotlar arası mesafe seçilerek DBD’ı üretilmiştir. Deşarjların üretilmesi için yine 18kV-15kHz A.C. voltaj kullanılırken basınç 10^{-1} mbar civarında tutulmuştur. Burada elektrotlar ve hatta plazma ortamı, hiçbir metal ile temas halinde değildir. Buna rağmen uygulanan elektrik alan bölgesinin (elektrotlar arası uzaklık) gaz giriş kısmına doğru da pompaya gidiş yönüne de post - deşarjların olduğu görülmektedir. Burada pompanın elektrotlar arasında oluşan plazma parçacıklarını çekmesi söz konusu olabilir ancak daha çok çığ (avalanche) denilen mekanizma ile iyonlaşma ile post deşarj oluşmaktadır. Şekil 5.9’da verilen post – deşarjlar bölgesinde hiçbir metal bulunmadığı için tamamıyla elektrik alanının olmadığı bölgelerdir. Burada post-deşarjlar elektrotlar arasından çıkan plazma parçacığının önündeki atoma çarparak uyarma ve iyonlaştırma işlemlerinin zincirleme devam etmesidir. Pompa yönüne post-deşarjın daha uzun bölgede olduğu görülmektedir. Bu bölge dağılımsal olarak nispeten daha düşük basınçta kaldığından uyarılma ve iyonlaşmalar daha kolay olmaktadır.

Şekil 5.9.’da verilen sonuçlar ile Bölüm 5.1., 5.2., 5.3., 5.4. ve 5.5.’te elde edilen görseller ve spektroskopik sonuçların birlikte yorumunu yapalım;

Bölüm 5.1., 5.2., 5.3., 5.4. ve 5.5.’te elde edilen sonuçlarda pompanın bağlı olduğu elektrot metaldir ve toprak (ground) elektrodu olarak görev yapmaktadır. Bu nedenle elektrotlar arasında üretilen plazma, Şekil 5.9.’daki gibi çığ (avalanche) mekanizması ile olduğu gibi var olan düşük elektrik alanda yüklü parçacıkların hızlanmasıyla da oluşmaktadır.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Düşük basınçta ayrı bir post – deşarj odasına akıtılan gaz deşarj plazmaların üretimi ve özellikleri incelenmiştir. Hava, Helyum Argon, Oksijen gazlarının post – deşarj plazmaları ayrı bir vakum odasına aktarılmıştır. Bu nedenle üretilen post - deşarj plazmalar “Akan Post - Deşarj” plazmalardır. Bu çalışmada uygulanan güç, elektrotlar arası uzaklık, gaz akış hızı parametreleri sabit tutulurken basınç değıştikçe post - deşarj plazmaların yapısının değışimi incelenmiştir. Bunun için fotoğraflama tekniğı kullanılmıştır. Yüksek basınçlarda post - deşarj plazma neredeyse hiç gözlenmemişken, çok düşük basınçlarda da nispeten belirgin bir post – deşarj plazma gözlenmemiştir. Neredeyse her bir gaz için optimum bir basınç değeri post – deşarj plazmaların oluşumu için gözlenmiştir. Bu post - deşarj plazmanın oluşum koşulları incelenmesinde de gözlenmiştir. Bu inceleme sonucunda farklı gazların erken post deşarjlarında iyon spektroskopik bilgiler alınırken, geç post deşarjlarında atom spektroskopik bilgileri alınmıştır. Bu çalışmanın geliştirilmesi için farklı gazların gaz karışımları ile deneylerin tekrar edilmesi çok daha farklı sonuçlar çıkaracaktır.

Bu çalışma post – deşarjların özelliklerinin ortaya konulması için bir ön çalışma oluşturmuştur. Gelecekte bu verilerle deşarjda ortaya konan Paschen Yasası gibi temel yasaları post-deşarjlar içinde ortaya konacaktır.

Metal flanşlar kullanılarak ayrı bir post-deşarj odasında Post-deşarj plazma üretiminde pompa bölgesinde metal elektrotun kullanımının tümüyle elektrik alan olmayan bir post-deşarj bölgesinin oluşumuna engel olmuştur. Hava, Helyum, Argon ve Oksijen gazları için yapılan deneylerde belirli bir basınçtan sonra pompa kısmındaki metal flanja kadar uzanan post-deşarjlar gözlenmiştir. Burada plazma içi parçacıkların pompaya doğru hareketi sonucu polarizasyon ile pompa bölgesindeki flanşın negatif potansiyel elektrotu ile eş potansiyele ulaşmaktadır. Voltaj uygulanan elektrot ile bu elektrot arasında oluşan elektrik alan ile deşarj oluşmaktadır. Elektrotlar arasında elektrik alan bu bölgeye göre daha büyük olduğundan basınç yüksek iken yalnızca elektrotlar arasında deşarj(plazma) oluşurken, düşük basınçta daha düşük elektrik alan bölgesinde de deşarj(plazma) oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlarda Erken, Orta ve Geç olarak adlandırılan bölgelerde spektroskopik şiddet artış ve azalışları bu pencereden yorumlanmalıdır. Bu bölgelerde

deşarj odasında belirli basınçtadeşarjın kesikli yapılara geçişi gibi kesikli yapılar oluşmaktadır. Bu aydınlık ve karanlık bölgeler pompa çalıştığı için ve basınç sürekli değiştiği için değişim arz etmektedir. Ayrıca burada üretilen post -deşarjlar Akan Post Deşarj olduğu için aynı bölgede aynı özellikte plazma bulunmamaktadır. Bu nedenle Erken, Orta ve Geç Post-deşarj bölgesi olarak adlandırılan bölgeler sabit kalmamaktadır. Dolayısıyla elde edilen spektroskopik verilerde doğrusal bir artış ya da azalış elde edilememesi beklenen bir sonuç olmaktadır. Bu çalışmanın ileriki aşamalarında bu sorunların çözümü için öncelikli olarak post -deşarj ayrı bir odaya akıtılırken dielektrik elektrotlar kullanılmalıdır. Bununla birlikte sürekli akan bir plazma ve post -deşarj plazmanın spektroskopik analizi için basınç, gaz akış hızı ve seçilen bölgenin tamamıyla sabit tutulduğu yeni çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akan, T., 2003, Termiyonik Vakum Ark (TVA)' nın Temel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, OGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 147s.

Akan, T., 2005, Maddenin dördüncü hali plazma ve temel özellikleri, Çağdaş Fizik Elektronik Dergi, sayı, <http://nucleus.istanbul.edu.tr/~cfe/dorduncu/mak1/>.

Dallı, E., Atmosferik Basınç Soğuk Plazma Jetler, Yüksek Lisans Tezi, ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 130 s.

Duan, Y., Huang, C., Qingsong, Y., 2005, Low-temperature direct current glow discharges at atmospheric pressure, IEEE Transactions on Plasma Science, 33, 2, 328-329.

Emmert, S., Brehmer, F., Hanble, H., Helmke, A., Mertens, N., Raees, A., Simon, D., Dirk Wandke., Wolfgang, M. F., Däschlein, G., Schön, M. P. ve Viol, W., 2013, Clinical Plasma Medicine, 1, 1, 24-29.

Fridman, G., Friedman, G., Gutsol, A., Shekhter, A. B., Vasilets, V. N., Fridman, A., 2008, Applied plasma medicine, Plasma Processes and Polymers, 5, 6, 503-533.

Grill, A., 1993, Cold Plasma in Materials Fabrication, IEEE Press, New York, 272 p.

Krall, N. A., Trivelpiece, A. W., 1973, Principles of plasma physics, McGraw-Hill Book Com., New York, 674 p.

Laroussi, M., Lu, X., 2006, Dynamics of an atmospheric pressure plasma plume generated by submicrosecond voltage pulses, Journal of Applied Physics, 100, 063302 1-6.

Lieberman, M. A., Lichtenberg, A. J., 1994, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, Wiley, New York, 466 p.

Moisan, M., Barbeau, J., Crevier, M. C., Pelletier, J., Philip, N., Saoudi, B., 2002 Plasma sterilization methods and mechanisms, Pure and Applied Chemistry, 74, 3, 349–358.

Raizer, Y. P., 1991, Gas Discharge Physics, Springer Verlag, USSR, 449 p.

Tanenbaum, B. S., 1967, Plasma Physics, McGraw-Hill Book., New York, 360 p.