

ÇOKLU GAZ KARIŞIMI PLAZMALARININ OPTİK EMİSYON
SPEKTROSKOPİSİ

SUAT PAT

DOKTORA TEZİ

FİZİK Anabilim Dalı

Mart 2007

OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY OF MULTIPLE
GAS MIXING PLASMAS

SUAT PAT

DOCTORAL DISSERTATION

Department of PHYSICS

March 2007

ÇOKLU GAZ KARIŞIMI PLAZMALARININ OPTİK EMİSYON
SPEKTROSKOPİSİ

SUAT PAT

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Fizik Anabilim Dalı
Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof.Dr.Naci EKEM

Mart 2007

SUAT PAT' in DOKTORA tezi olarak hazırladığı “ÇOKLU GAZ KARIŞIMI PLAZMALARININ OPTİK EMİSYON SPEKTROSKOPİSİ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof.Dr.Naci EKEM

Üye : Prof.M.Selami KILIÇKAYA

Üye : Doç.Dr.Salih OKUR

Üye : Prof.Dr.Geavit MUSA

Üye : Yrd.Doç.Dr.Özden TEZEL

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

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

National Institute for Laser Plasma and Radiation Physics (NILPRP), Low temperature plasma laboratory, Bucharest/Romania'da yıllardır, küçük deşarj boşluk derinlikli plazma ekran panelleri (P.D.P.) üzerine araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Kullanılan plazma, bir elektro pozitif gaz (Ar, Ne, Kr ve Xe) ve bir elektro negatif gaz (H_2 , O_2 ve Cl_2) karışımı plazmalarında yüksek basınçlarda (100-400 Torr) üretilmiştir. Deşarjı oluşturmak için, genellikle 1-2 kV'luk gerilime ve kHz mertebesinde frekanslara sahip güç kaynağı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, plazma oluşturmak için yeni bir deşarj cihazı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Büyük deşarj boşluk derinliğinde (36 mm) ve çapı 18 mm'lik bu deşarj cihazı düşük gaz karışım basınçlarında (30-70 Torr) çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu deneyler esnasında, saf Ar, saf Ne, Saf He, %50Ar+%50 H_2 , %50Ne+%50 H_2 , %50He+%50 H_2 , %15Ar+%15Ne+%70 H_2 , %25Ar+%25Ne+%50 H_2 , %35Ar+%35Ne+%30 H_2 , %45Ar+%45Ne+%10 H_2 gaz ve çoklu gaz karışımları kullanılmıştır. Deşarjın bu çeşidi on yıl kadar önce NILPRP, Romanya'da geliştirilmiştir. Bu çalışmada, 25 kHz, 25kV atmalı güç kaynağı kullanılmıştır. Elde edilen deşarjların spektrumlar, 200-850 nm aralığında optiksel çok kanallı analizör (O.M.A.) kullanılarak elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Elektriksel deşarjın akımı saf gaz ve çoklu gaz karışımlarında oluşturulmuş ve incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, deşarj akımının basınca bağlı olmadığını göstermektedir.

Spektrumlardan elde edilen sonuçlar NILPRP araştırma grubunun yayınladığı sonuçlara benzerdir. Monokromatizasyon etkisi yukarıdaki çoklu gaz karışımları kullanılarak yeni tip deşarj cihazında üretilenmiştir.

Ayrıca bu çalışmada, O.M.A.'nın farklı bir uygulaması olarak da, Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) gümüş buhar plazması için farklı parametrelerde; plazma elektron sıcaklığı, parçacık yoğunluğu ve ideal olmayan etki değeri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Plazma, Gaz boşalmaları, Spektroskopi, Optoelektronik sistemler, Optik emisyon spektroskopisi, Monokromatizasyon, M-etkisi, Plazma ekran panelleri

SUMMARY

Over the years extended studies on the narrow gap plasma display panels (P.D.P.) were performed at National Institute for Laser Plasma and Radiation Physics (NILPRP) at Low temperature plasma physics laboratory, Bucharest/Romania. The used plasma were generated in multiple gas mixtures with an electropositive gas (Ar, Ne, Kr and Xe) and an electronegative gas (H_2 , O_2 and Cl_2) at high pressure (100-400 Torr). In generally, the discharge was ignited using a kHz scale power supply of 1-2 kV.

In this study, a discharge device was mounted for plasma generation. The discharge device was designed in the form of extended gap (36 mm) with a diameter of 18mm which was filled with low pressure multiple gas mixture (30-70 Torr). Used gas and multiple gas mixtures were pure Ar, pure Ne, pure He, %50Ar+%50 H_2 , %50Ne+%50 H_2 , %50He+%50 H_2 , %15Ar+%15Ne+%70 H_2 , %25Ar+%25Ne+%50 H_2 , %35Ar+%35Ne+%30 H_2 and %45Ar+%45Ne+%10 H_2 . These types of discharges were developed at NILPRP, Romania more than a decade. In this research were ignited using a 25 kHz power supply of pulsed 25 kV. Spectra of the discharges were obtained by using optical multi channel analyzer (O.M.A.) in the range of 200-850 nm. Electrical discharges current were produced and investigated in pure gas and mixture gases. It was pointed out that discharge currents were not depended on gas pressure.

The obtained results on the spectra were similar to those reported by the group of researchers from NILPRP. Monochromatization effect was generated by used above gas mixture discharge in a discharge device with the above mentioned characteristics.

In addition, as different applications of the optical multi channel analyzer (O.M.A.), plasma temperature, particle density and non-ideal factor were calculated by using this technique at the Thermionic Vacuum Arc (T.V.A.) silver vapor plasma.

Keywords: Plasma, Gas discharges, Spectroscopy, Optoelectronic systems, Optical Emission spectroscopy, Monochromatization, M-effect, Plasma display pannel

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam süresince, gerek derslerimde ve gerekse deneysel çalışmalarında, bana danışmanlık ederek beni yönlendiren, ulusal ve uluslararası bilimsel aktivitelerde yer almamız için her türlü imkânı sağlayıp, ilgisini esirgemeyen danışmanım, örnek bilim insanı Sayın Prof. Dr. Naci EKEM'e teşekkür ederim.

Sahip olduğu engin tecrübe ve bilgisi ile, plazma fiziği alanında bize yeni ufuklar açan örnek bilim insanı Sayın Prof. Dr. Geavit MUSA'ya, teorik ve deneysel çalışmalarımızdaki yardımı, yakın ilgisi ve desteği için teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında her türlü yardım, ilgi ve dostluklarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. M. Zafer BALBAĞ ve Sayın Arş. Gör.M. İlker CENİK'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
 1.GİRİŞ VE AMAÇ.....	 1
 2. PLAZMA İÇERİSİNDE MEYDANA GELEN REAKSİYONLAR.....	 3
2.1. Homojen Reaksiyonlar.....	4
2.1.1 Elektronlar ile ağır parçacıklar arasındaki etkileşmeler.....	4
2.1.2. Ağır parçacıklar arasındaki reaksiyonlar.....	8
 3. ÇOKLU GAZ KARŞIMI PLAZMALARINDA GERÇEKLEŞEN OLAYLAR.....	 13
3.1. Atomların ve Moleküllerin Uyarılması.....	13
3.2 Atomların ve Moleküllerin İyonizasyonu.....	13
3.3 İyon-İyon ve İyon-Elektron Yeniden Birleşmesi.....	14
3.3.1 İyon-iyon yeniden birleşmesi.....	16
3.3.2 İyon-elektron yeniden birleşmesi.....	19
3.4 Negatif İyonların Üretilmesi.....	20
3.5 Monokromatizasyon Etkisi ve Oluşum Mekanizması.....	21
 4.PLAZMADAN YAYINLANAN RADYASYONUN SPEKTROSKOPİSİ	 30
4.1 Giriş.....	30
4.2 Absorpsiyon ve Emisyon.....	30

İÇİNDEKİLER (Devam)	<u>Sayfa</u>
4.2.1 Kendiliğinden geçiş olasılığı.....	30
4.2.2 Ayrıntılı Dengenin İlkeleri.....	32
4.2.3 Einstein Katsayısı.....	33
4.3 Atomik Spektroskopisi.....	34
4.4 Moleküler Spektroskopisi.....	41
4.4.1 Moleküllerin dönme spektrumu.....	41
4.4.1 Moleküllerin titreşim-dönme spektrumu.....	42
4.4.1 Elektronik-titreşim-dönme spektrumu.....	44
4.5 Optik Emisyon Spektroskopisi (O.E.S.) ve Plazma Karakterizasyonu.....	47
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	51
5.1 İyonların Birleşme Reaksiyonlarının Deneysel Sonuçları.....	51
5.1.1 Deney sistemi.....	51
5.1.2 Deneyin yapılışı ve deney sonuçları.....	55
5.2. Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) Gümüş (Ag) Metal Plazmalarının Spektral Ölçümleri.....	111
5.2.1 Deney sistemi.....	111
5.2.2 Deney sonuçları.....	112
6.SONUÇ ve TARTIŞMA.....	122
7.KAYNAKLAR.....	126
8. ÖZGEÇMİŞ.....	132

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	Plazma içerisinde meydana gelen reaksiyonlar.....	3
3.1	(Ne + % 1 Xe) gaz karışımının 500–800 nm aralığında elde edilen optik emisyon spektroskopisi.....	22
3.2	% 50 (%99 Ne + % 1 Xe) + % 50 H ₂ gaz karışımının 500-800 nm aralığında elde edilen optik emisyon spektroskopisi.....	23
3.3	Neon atomunun Grotrian diyagramı.....	24
3.4	M değerinin, Ne + % 1 Xe + H ₂ Penning tipi çoklu gaz karışımı basıncı ile değişimi.....	26
4.1	İki seviyeli bir atomun enerji diyagramı.....	31
4.2	Şematik olarak çizilmiş üç seviyeli bir atomun enerji diyagramı.....	32
4.3	T ₁ , T ₂ , T ₃ ve T ₄ Terim değerleri ve olası geçişler.....	36
4.4	Lityum atomunun Grotrian diyagramı.....	37
4.5	Hidrojenin atomunun (a) absorpsiyonu, (b) emisyonu için Grotrian diyagramı.....	40
4.6	Hidrojen atomunun plazma reaktöründe ya da elektriksel deşarj cihazındaki emisyon spektrumu.....	41
4.7	Titreşim ve dönme spektrumunun izinli geçişleri ve spektrum çizgilerinin genel görünümü.....	44
4.8	İki atomlu bir molekülün elektronik-titreşim-dönme enerji düzeylerinin bağıl konumları ve izinli geçişleri.....	46
4.9	İki atomlu bir molekülde, enerji düzeylerinin bağıl konumlarını.....	46
4.10	Plazmanın optik emisyon spektroskopisi için deneysel düzenek.....	48
5.1	Deneysel sistemin şematik gösterimi.....	52
5.2	Dielektrik bariyer deşarj deneysel sisteminin dijital fotoğrafı.....	52
5.3	Deşarj tüpü ve elektrotlar.....	53
5.4	Elektrotların dijital fotoğrafları.....	53
5.5	Kullanılan güç kaynağının fotoğrafı.....	54
5.6	Güç kaynağının voltaj-zaman değişimi.....	55
5.7	(a) Deşarj tüpü ve bağlantı sistemleri için Basıncı (Torr)-Zaman (s) değişimi, (b) Vakum kaçağından dolayı bazı spektrumlarda görünen havaya ait pikler.....	56
5.9	Argon gazının 70 Torr'daki ark deşarjının fotoğrafında katot ve anot uç noktaları ile spektrumun alındığı noktaların gösterimi.....	57
5.8	Deşarj tüpünde spektrumların alındığı noktalar.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa</u>
5.10	Deşarj tüpünde Ar ve Ne gazının farklı basınçlardaki deşarjlarının dijital fotoğrafları.....	58
5.11	Ar gazı (70 Torr) deşarjının 2 numaralı prob konumundan alınan optik emisyon spektrumu.....	59
5.12	Saf argon gazının maksimum şiddetteki pikleri için ($I_{750.38 \text{ nm}}$ ve $I_{763.51 \text{ nm}}$) ayrı ayrı basınç-şiddet değişim grafikleri.....	61
5.13	Saf argon gazının elektriksel deşarjı esnasında ölçülen Basınç(Torr)-Akım (mA) değişimi grafiği.....	61
5.14	Ne gazı (70 Torr) deşarjının 2 numaralı prob konumundan alınan optik emisyon spektrumu.....	62
5.15	Saf neon gazının maksimum şiddetteki pikleri için ($I_{585.24 \text{ nm}}$, $I_{614.30 \text{ nm}}$ ve $I_{640.22 \text{ nm}}$) ayrı ayrı basınç-şiddet değişim grafikleri.....	64
5.16	Saf neon gazının elektriksel deşarjı esnasında ölçülen Basınç(Torr)-Akım (mA) değişimi grafiği.....	64
5.17	Helyum gazı (70 Torr) deşarjının 2 numaralı prob konumundan alınan optik emisyon spektrumu.....	65
5.18	%50 Ar+%50H ₂ çoklu gaz karışımı (70 Torr) deşarjının optik emisyon spektrumu.....	67
5.19	(a) Saf argon gazı ile, (b) %50Ar+%50H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması.....	68
5.20	%50Ar+%50H ₂ çoklu gaz karışımındaki M değerinin deşarj tüpü içerisindeki basınç ile değişimi.....	70
5.21	%50 Ar+%50 H ₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre $I_{750.38 \text{ nm}}$ ve $I_{763.51 \text{ nm}}$ 'nin değişimi.....	71
5.22	Saf Ar ve %50 Ar+%50H ₂ gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre $I_{750.38 \text{ nm}}$ 'nin değişimi.....	72
5.23	Saf Ar ve %50Ar+%50H ₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre $I_{763.51 \text{ nm}}$ 'nin değişimi.....	72
5.24	%50Ar+%50H ₂ çoklu gaz karışımı elektriksel deşarjı esnasında ölçülen Basınç(Torr)-Akım (mA) değişimi grafiği.....	73
5.25	%50 Ne+%50H ₂ çoklu gaz karışımı (70 Torr) deşarjının optik emisyon spektrumu.....	74
5.26	(a) Saf Neon gazı ile, (b) %50Ne+%50H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması.....	75

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

Sekil	Açıklama	Sayfa
5.27	%50Ne+%50H ₂ çoklu gaz karışımındaki M değerinin deşarj tüpü içerisindeki basınç ile değişimi.....	77
5.28	%50 Ne+%50 H ₂ gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre I _{585.3nm} , I _{614.3nm} ve I _{640nm} ’nin değişimi	78
5.29	Saf Ne ve %50Ne+%50H ₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre I _{585.24nm} ’nin değişimi.....	79
5.30	Saf Ne ve %50Ne+%50H ₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre I _{614.20nm} ’nin değişimi.....	80
5.31	Saf Ne ve %50Ne+%50H ₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre I _{640.22nm} ’nin değişimi.....	80
5.32	%50Ne+%50H ₂ çoklu gaz karışımı elektriksel deşarjı esnasında ölçülen Basınç (Torr)- Akım (mA) değişimi grafiği.....	81
5.33	%50He+%50H ₂ çoklu gaz karışımı (70 Torr) deşarjının optik emisyon spektrumu.....	82
5.34	(a) Saf helyum gazı ile, (b) %50He+%50H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması.	83
5.35	% 15 Ar +% 15 He+% 70 H ₂ gaz karışımı deşarjı spektrumunda 585.24 nm dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafiği.....	85
5.36	Neon soy gazının saf, %50Ne+%50H ₂ ve %15Ar+%15Ne+%70H ₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24nm’lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması.....	86
5.37	% 15Ar +%15 Ne+%70H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının ölçülmüş olan 750.38 nm dalga boylu geçiş için karşılık gelen bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafikleri.....	87
5.38	Argon soy gazının saf, %50 Ne+%50H ₂ ve %15Ar+%15Ne+%70H ₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm’lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması.....	88
5.39	% 15 Ar+% 15 Ne+% 70 H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm’lik pikin 750.38 nm’lik pike oranının ($\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}}$) basınç ile değişimi.....	89
5.40	% 15Ar+% 15 Ne+% 70 H ₂ gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm’lik pikin 750.38 nm’lik pike oranının ($\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}}$)- deşarj uzunluğu ile değişimi.....	90

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa</u>
5.41	%15Ar+%15Ne+%70H ₂ çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjı esnasında ölçülen Basınç(Torr)-Akım (mA) değişimi grafiği.....	91
5.42	% 25 Ar +% 25 He+% 50 H ₂ gaz karışımı deşarjı spektrumunda 585.24 nm dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafiği.....	92
5.43	Neon soy gazının saf, %50Ne+%50H ₂ ve %25Ar+%25Ne+%50H ₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması.....	93
5.44	%25Ar +%25Ne+%50H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının ölçülmüş olan 750.38 nm dalga boylu geçiş için karşılık gelen bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafikleri.....	93
5.45	Argon soy gazının saf, %50Ne+%50H ₂ ve %25Ar+%25Ne+%50H ₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması.....	94
5.46	% 25 Ar+% 25 Ne+% 50 H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm'lik pike 750.38 nm'lik pike oranının ($\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}}$) basınç ile değişimi.....	95
5.47	% 25Ar+% 25 Ne+% 50 H ₂ gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm'lik pike 750.38 nm'lik pike oranının ($\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}}$)- deşarj uzunluğu ile değişimi.....	96
5.48	% 25Ar+%25Ne+%50H ₂ çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiği.....	97
5.49	% 35 Ar +% 35 He+% 30 H ₂ gaz karışımı deşarjı spektrumunda 585.24 nm dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafiği.....	98
5.50	Neon soy gazının saf, %50Ne+%50H ₂ ve %35Ar+%35Ne+%30H ₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç(Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması.....	99
5.51	%35Ar+%35Ne+%30H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının ölçülmüş olan 750.38 nm dalga boylu geçiş için karşılık gelen bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafikleri.....	100
5.52	Argon soy gazının saf, %50Ne+%50H ₂ ve %35Ar+%35Ne+%30H ₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması.....	101

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa</u>
5.53	% 35 Ar+% 35 Ne+% 30 H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm'lik pikin 750.38 nm'lik pike oranının ($\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}}$) basınç ile değişimi.....	102
5.54	% 35Ar+% 35 Ne+% 30 H ₂ gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm'lik pikin 750.38 nm'lik pike oranının ($\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}}$)-deşarj uzunluğu ile değişimi.....	103
5.55	% 35Ar+% 35 Ne+% 30 H ₂ çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)- Akım (mA) değişim grafiği.....	104
5.56	% 45 Ar +% 45 He+% 10 H ₂ gaz karışımı deşarjı spektrumunda 585.24 nm dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafiği.....	105
5.57	Neon soy gazının saf, %50Ne+%50H ₂ ve %45Ar+%45Ne+%10H ₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması.....	105
5.58	%45Ar+%45Ne+%10 H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının ölçülmüş olan 750.38 nm dalga boylu geçiş için karşılık gelen bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafikleri.....	106
5.59	Argon soy gazının saf, %50Ne+%50H ₂ ve %45Ar+%45Ne+%10H ₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması.....	107
5.60	% 45 Ar+% 45 Ne+% 10 H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm'lik pikin 750.38 nm'lik pike oranının ($\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}}$) basınç ile değişimi.....	108
5.61	% 45Ar+% 45 Ne+% 10 H ₂ gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm'lik pikin 750.38 nm'lik pike oranının ($\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}}$)-deşarj uzunluğu ile değişimi.....	109
5.62	% 45Ar+% 45 Ne+% 10 H ₂ çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişim grafiği.....	110
5.63	T.V.A. Ag metal plazması optik emisyon spektroskopisi sisteminin şematik çizimi.....	111
5.64	Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) gümüş metal plazması analizi için kullanılan kolimatör ve kolimatör prob numaraları.....	112
5.65	1 numaralı parametre grubu için Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının fotoğrafı.....	113

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa</u>
5.66	2 numaralı parametre grubu için Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının fotoğrafı.....	114
5.67	3 numaralı parametre grubu için Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının fotoğrafı.....	114
5.68	4 numaralı parametre grubu için Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının fotoğrafı.....	114
5.69	1 numaralı parametre grubu için Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının 5 numaralı kolimatör probundan alınmış spektrumu.....	115
5.70	1 numaralı parametre grubu için Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının kolimatör numaralarına göre $\lambda_1 = 327.33 \text{ nm}$ ve $\lambda_2 = 337.13 \text{ nm}$ dalga boylarının şiddetinin karşılaştırılması.....	115
5.71	T.V.A. Vakum odası üzerindeki camın UV spektrumu ve Gaussian uyumu.....	116
5.72	Uygulanan voltaja karşı elektron sıcaklığının değişimi.....	117
5.73	Plazma parçacık yoğunluğu ile plazma elektron sıcaklığının değişimi.....	117
5.74	Uygulanan voltaj ile parçacık yoğunluğunun değişimi grafiği.....	118
5.75	Filaman akımı 21 Amper için plazma elektron sıcaklığı ile parçacık yoğunluğunun değişimi.....	118
5.76	Filaman akımı 21 Amper için deşarj akımına göre γ ideal olmayan etkinin değişimi.....	119
5.77	Plazma elektron sıcaklığının filaman akımına göre değişimi.....	120
5.78	Filaman akımı 18, 19, 20 ve 21 Amper için filaman akımına göre γ ideal olmayan etkinin değişimi.....	120
5.79	Filaman akımı 18, 20 ve 21 Amper için plazma elektron sıcaklığına göre γ ideal olmayan etkinin değişimi.....	121

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	Bazı atom ve moleküllerin iyonizasyonu potansiyelleri.....	5
3.1	M etkisi için araştırılan gaz karışımları ve dalga boyu değerleri.....	28
5.1	Nötral argon atomunun var olan çizgi spektrumu değerleri.....	60
5.2	Nötral neon atomunun var olan çizgi spektrumu değerleri.....	63
5.3	Nötral gümüş metalinin geçiş dalga boyu ve enerji seviyeleri.....	66
5.4	%50Ar+%50H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjı için farklı deşarj tüpü basıncındaki Monokromatizasyon değerleri.....	69
5.5	%50Ne+%50H ₂ çoklu gaz karışımı deşarjı için farklı deşarj tüpü basıncındaki Monokromatizasyon değerleri.....	77
5.6	Gümüş metal plazması parametreleri ve plazma elektron sıcaklığı.....	112

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
N_2	Atomun üst enerji seviyesi
N_1	Atomun alt enerji seviyesi
h	Planck sabiti
ν	Foton frekansı
A_{mn}	m seviyesinden n seviyesine <i>kendiliğinden geçiş olasılığı</i>
τ	Uyarılmış seviyede kalış süresi
$\rho(\nu)d\nu$	Yayınlanan radyasyon yoğunluğu
g	Seviyenin istatistiksel ağırlığı
B_{mn}	Farklı iki seviye arasındaki geçiş olasılığı
R'	Rydberg sabiti
n	Kuantum sayısı
K ve d	Balmer ve Rydberg seri sabiti
$\bar{\nu}$	Dalga sayısı
λ	Dalga boyu
T	Atom seviyelerinin terim sabiti
ω	Osilasyon frekansı
N_ν	Osilasyon sayısı
E_m ve E_n	m ve n seviyesinin enerji seviyeleri
C_{mn}	M enerji seviyesinden n enerji seviyesine birim zamandaki geçiş olasılığı
K	Dönme tayfı kuantum sayısı
I	Eylemsizlik momenti
$\bar{\epsilon}$	Atom başına düşen ortalama kinetik enerji
Q_i	İyonizasyon tesir kesiti
Z	Atom numarası
n^+ ve n^-	Pozitif ve negatif iyonların sayısı
k	Boltzmann sabiti
Q	Yeniden birleşme tesir kesiti
P	Basınç
T	Gaz sıcaklığı
I	Işık şiddeti

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devamı)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
P.D.P.	Plazma ekran paneli
M	Monokromatizasyon değeri
O.E.S.	Optik emisyon spektroskopisi
O.M.A.	Optiksel Çok Kanallı Analizör
T.V.A.	Termiyonik Vakum Ark
I.C.P.	İndüktif Eşlemeli Plazmalar

1.GİRİŞ ve AMAÇ

Plazma televizyonlarının ekran panellerindeki (Plasma Display Panel; P.D.P.) elektriksel deşarj hücreleri (piksel) oldukça küçük deşarj boşluk derinliğine (0.15mm) sahiptirler ve bu tip deşarj hücreleri 400–600 Torr'luk gaz veya gaz karışımı basınçlarında çalışmaktadır (Bu basınç değeri plazma çalışmalarında yüksek basınç değeri olarak ifade edilmektedir). Bu panellerde santimetre kare başına 100–400 deşarj hücresi mevcuttur ve kullanılan gaz veya gaz karışımı plazmasını üretmek için kare dalga güç kaynakları kullanılmaktadır. Bu güç kaynağının gerilim değeri genellikle 1-2 kV, frekansı ise kHz mertebesindedir.

Bu deşarj hücrelerinde soy gaz kullanılarak oluşturulan gaz karışımı plazmalarında **Monokromatizasyon etkisi (M-etkisi)** olarak isimlendirilen yeni ve beklenmedik bir olay ortaya çıkmaktadır[1–25]. **Bu olay, bir soy gaz ile H_2 ya da O_2 gibi bir elektronegatif gaz karışımının spektrumunda, soy gaza ait olan sadece bir geçişin bağıl şiddeti artarken bunun haricindeki diğer tüm geçişlerin bağıl şiddetlerinin azalması ve belirli parametre değerlerinde spektrumda tamamen görünmemesi olayıdır.**

M-etkisi, alternatif akım plazma ekran panel hücrelerine 100-400 Torr basınçlardaki Penning tipi bir gaz karışımı olan $Ne+0.1Ar$ gaz karışımı içerisine azot gazının %0.005 ile %10 alalığındaki oranlarda ilave edilmesi sonucu gözlenmiştir [1]. Azot gazının mikrodalga deşarjına etanol eklenmesi sonucunda oluşan deşarjda 388.3nm- 387.1nm bölgede CN lazeri olasılığı gözlenmiştir [2]. Neon-argon- hidrojen ve Neon-ksenon-hidrojen çoklu gaz karışımlarının plazma ekran panelleri deşarj hücresinde, 100-400 Torr gaz basıncı aralığında 5kHz'lik radyo frekans deşarjında 585.3nm dalga boylu monokromatik dalga boylu foton oluşturulmuştur[3]. Neon-argon-hidrojen çoklu gaz karışımlarında ise 585.3nm'li monokromatik foton oluşturulmuştur ve kaynak 4'de M etksi oluşum mekanizması açıklanmıştır [4]. Kaynak 5'de ise çeşitli deşarj tüplerinde $Ne+Xe+H_2$ çoklu gaz karışımı plazmalarında 585.3 nm'li monokromatik dalga boylu foton oluşturulmuş ve M etkisinin basınç, sıcaklık, H_2 konsantrasyonu, argon ya da ksenon yüzdesine bağlı olduğu ifade

edilmiştir. DC deşarj tüplerindeki M etkisi, negatif ışıldama bölgesinde neon gazı içerisine hidrojen gazının ilave edilmesiyle gözlenmiştir [7]. Ne-Ar-H₂ çoklu gaz karışımlarında da neredeyse monokromatik dalga boylu foton oluşturulabilmiştir [8-9]. Elektronegatif gaz olarak SF₆ kullanılarak plazma ekran panelleri hücreleri dielektrik bariyer deşarj üretilmiştir [10-11]. Bu etkinin uygulaması olarak da, kuvvetli bir UV ışık kaynağı oluşturulmuştur [12]. Kaynak 13-17’de M-etkisinin oluşum mekanizmaları ise iyon iyon yeniden birleşme reaksiyonu açıklanmıştır. Yüksek basınç ve küçük boşluk derinliğinde yapılan deneysel çalışmalarda Ne, Ar, Kr ve Xe soy gazlarına elektronegatif bir gaz olarak H₂, O₂ ve Cl₂’nin eklenmesi ile ortaya çıkan M etkisinin kontrolü sağlanabilmiştir [18–19]. Penning lazerlerinde, yeni tip lazer oluşturmada, plazma ekranlarda, UV ışık kaynağı olarak ve monokromatik dalga boylu foton oluşturmada kullanılmaktadır [20–26]. Ayrıca bu tür gaz karışımları glow deşarj ile materyallerin yüzey işlemlerinde de kullanılmaktadır [21, 27–32].

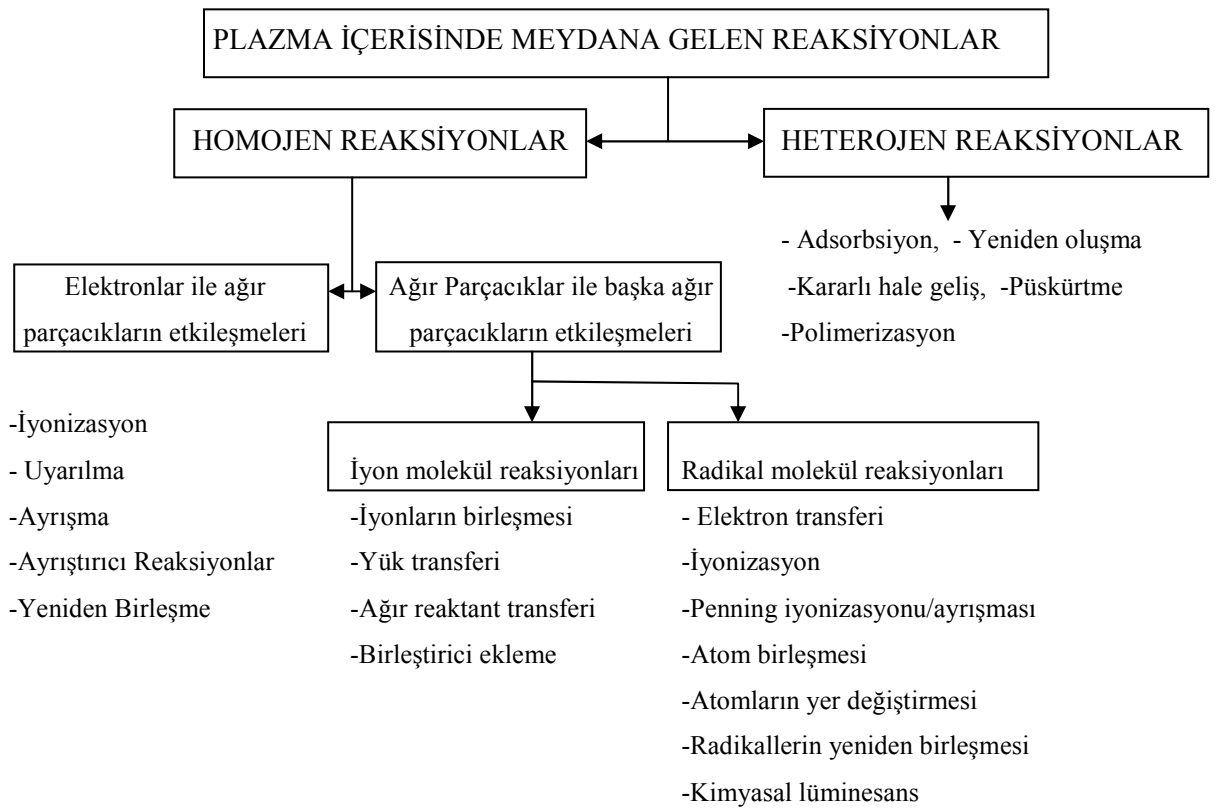
Bu çalışmanın amacı,

- i- Deşarj boşluk derinliği büyük (36 mm) ve düşük gaz basınçlarına (30-70 Torr) sahip dielektrikli deşarj tüpü tasarlamak ve bu sistemi gerçekleştirmek,**
- ii- Bu deney sisteminde soy gaza ait elektronların enerji seviyeleri arasındaki geçişlerini gösteren optik emisyon spektrumlarını elde etmek ve çizgi spektrumlarının bağıl şiddetlerinin basınç ve gaz karışım oranına göre değişimlerini incelemek,**
- iii- Saf gaz ve çoklu gaz karışımlarında deşarj akımlarının basınç ile değişimini incelemek,**
- iv- Elde edilen gözlem sonuçlarını değerlendirmek,**
- v- Optik emisyon spektroskopisinin farklı bir uygulaması olarak da, Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) gümüş buhar plazması için elektron sıcaklığı, parçacık yoğunluğu ve ideal olmayan faktör hesaplarının yapmak,**

şeklinde özetlenebilir. Dielektrikli deşarj tüpünde gaz veya gaz karışımı plazmasını üretmek için 25 kV, 25 kHz’lik güç kaynağı kullanılmıştır.

2. PLAZMA İÇERİSİNDE MEYDANA GELEN REAKSİYONLAR

Plazma içerisinde, plazma kimyası olarak isimlendirilen birçok reaksiyon gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonları homojen reaksiyonlar ve heterojen reaksiyonlar olmak üzere iki ana başlık altında toplayabiliriz. Şekil 2.1’de bu reaksiyonlar gösterilmiştir [33].



Şekil 2.1. Plazma içerisinde meydana gelen reaksiyonlar [33]

Homojen reaksiyonlar iki gruba ayrılır. Birincisi, elektronlar ile ağır parçacıkların etkileşimleri, ikincisi ise ağır parçacıklar ile başka ağır parçacıkların etkileşimleridir. Homojen reaksiyonların çoğunda, etkileşim sonucu radyasyon açığa çıkar. Bu reaksiyonların herhangi birinin oluşma olasılığı, **tesir kesiti** değeri ile ifade edilir. Plazma ve elektriksel deşarjlar içerisinde gerçekleşen homojen reaksiyonlar, ilgili parçacıklar arasındaki elastik olmayan çarpışmaların sonucudur [33].

Heterojen reaksiyonlar ise plazma ile katı yüzeyler arasındaki reaksiyonlardır. Bu nedenle enerjili parçacıklar ile yüzey etkileşimleri olarak da ifade edilirler. Çalışma alanımız heterojen reaksiyonlar olmayıp, homojen reaksiyonlardaki etkileşimlerin her birine kısaca değinmekte yarar vardır [33].

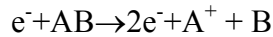
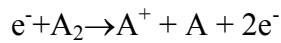
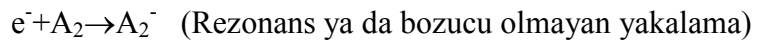
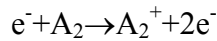
2.1. Homojen Reaksiyonlar

2.1.1 Elektronlar ile ağır parçacıklar arasındaki etkileşimler

Plazma ortamına bir elektrik alan uygulanması halinde ortamdaki elektronlar enerji kazanarak elektriksel deşarjı oluşturmak üzere hızlanırlar ve ortamdaki ağır parçacıklar ile elastik olmayan çarpışmalar gerçekleştirirler. Sonuçta çeşitli reaksiyonlar oluşur. Bunlar aşağıda özetlenmiştir [33].

a) İyonizasyon

Plazma ortamında elektriksel deşarj oluştururken elektron ile moleküller arasındaki çarpışma sonucunda;



reaksiyonlarından birisi gerçekleşir ve sonuçta pozitif, negatif, atomik ya da moleküler iyonlar üretilir.

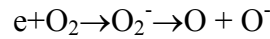
Plazmada ya da elektriksel deşarj içerisinde iyonizasyon işleminin gerçekleşebilmesi için, elastik olmayan çarpışmalar sonucu ağır parçacıklara aktarılan enerjinin atom ve moleküllerin iyonlaşma enerjilerinden büyük olması gerekir. Bazı atom ve moleküllerin iyonizasyon potansiyelleri çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Bu

iyonizasyon potansiyelleri soğuk plazmalardaki ortalama elektron enerjisinden büyüktür [33].

Çizelge 2.1 Bazı atom ve moleküllerin iyonizasyon potansiyelleri

İyonlaşmadan önceki durum	İyonlaşmadan sonraki durum	Gerekli iyonlaşma enerjisi (eV)
Ar	Ar^+	15.8
Ar^+	Ar^{++}	27.6
CH_4	CH_4^+	13
N_2	N_2^+	15.6

Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi yüksek enerjili elektronlar da iyonizasyon reaksiyonlarına katılabilirler. İyonizasyon bazen adım adım da gerçekleşebilir. Öncelikle, düşük enerjili elektron çarpışması sonucu, molekül yarı kararlı hale gelir. Daha sonra ise, elektron ile yarı kararlı molekül çarpışarak iyonizasyon gerçekleşebilir. Ancak, bu mekanizma baskın değildir. Bu reaksiyon rezonans ya da bozucu olmayan yakalama reaksiyonudur. Rezonans ya da bozucu olmayan yakalamaya örnek olarak;

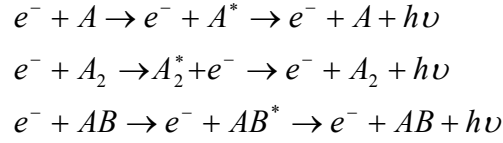


verilebilir. Bu reaksiyon Oksijen plazmasının oluşum reaksiyondur. Bu reaksiyon için eşik potansiyeli 4.53eV’dir. O^+ ve O^- çiftini doğrudan ayırmak için ise 17.28 eV gerekir [33].

Oksijen, halojen ve halojen içeren moleküller, negatif iyon yapısına eğilimli moleküllerdir. Doğrudan iyonizasyonun yanında, ayrıştırıcı ekleme ve bozucu olmayan yakalama reaksiyonu ile, negatif iyonlar üretebilir. Bu moleküller için tesir kesiti, düşük elektron enerjilerinde oldukça yüksek değerdedir [33].

b) Uyarılma

Ağır parçacıklar ile yeterli enerjili elektronların çarpışması sonucu atom ve moleküllerin uyarılmış durumları oluşabilir. Uyarılma reaksiyonları;



şeklindedir ve tüm reaksiyonlar sonucunda karakteristik bir foton oluşur [33].

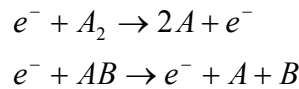
Atomlar sadece elektronik olarak uyarılmış durumlara ulaşabilirken, moleküller titreşim ve dönme için uyarılmış durumlara ulaşabilirler [33].

Plazma içerisinde bulunan elektronik olarak uyarılmış atom, radyasyon yayınlarak taban seviyesine döner. Plazmadan yayınlanan bu radyasyon UV bölgeden IR bölgeye kadar olan bölgededir. Radyasyonlu bozunmada uyarılmış türlerin kısa yaşam süreleri, reaksiyonlara katılmalarına engel olur. Yarı kararlı atom doğrudan radyasyonlu geçişler ile taban seviyelerine dönemediklerinde, τ_m 'ye göre daha uzun ömüre sahip olurlar ve reaksiyonlara bu şekilde katılmaya devam ederler [33].

Uyarılma reaksiyonları sonucu, plazmadan yayınlanan $h\nu$ enerjili fotona bağlı olarak, plazmanın rengi de değişmektedir. Yani farklı gazların plazmaları farklı renklerde. Örneğin; azot plazması mor, helyum plazması mavi, sodyum plazması sarı ve neon plazması kırmızı'dır.

c) Ayrışma

Bir molekül ile bir elektronun elastik olmayan çarpışmalarında ayrışma reaksiyonu gerçekleşebilir. Bu tür reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

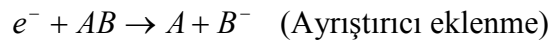


Molekül bir eşik değerinin üzerindeki bir değere uyarıldığında, ayrışma reaksiyonu meydana gelebilir. Yavaş elektronlar ile moleküllerin çoğunun ayrışması, elektronik uyarılmayla gerçekleşir. Örneğin H_2 için eşik değeri 8.8 ± 0.2 eV'dir [33].

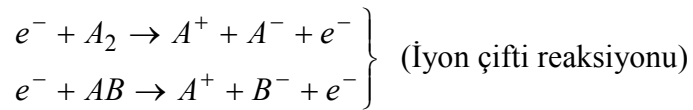
Soğuk plazmalarda bozucu ekleme, bozucu iyonizasyon ve ayrışma reaksiyonları, atomların, serbest radikallerin ve negatif iyonların üretilmesi için önemli bir reaksiyondur [33].

d) Ayrıştırıcı eklenme

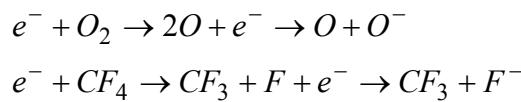
Plazma ya da elektriksel deşarj oluşturmak için elektronegatif gazlar kullanıldığında, düşük enerjili elektronlar ($< 1 \text{ eV}$) moleküler gazın atomlarından bir tanesine eklenebilirler. Bu reaksiyon itici bir elektronik etki oluşturduğundan, moleküller oldukça hızlı şekilde ayrışır ($\sim 10^{-13} \text{ s}$) ve bu reaksiyonun sonunda negatif iyonlar oluşur [33].



Negatif iyonlar **ayrışmalı iyonizasyon reaksiyonları** ile de üretilebilir ve reaksiyonlar aşağıdaki şekilde yazılabilir [33]:



İyon çifti reaksiyonları ile tanımlanan reaksiyonların eşik enerji değeri ayrıştırıcı eklenme reaksiyonunun eşik enerji değeri ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir [33]. Ayrıştırıcı ekleme reaksiyonlarına örnek olarak;

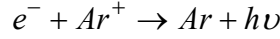


verilebilir. Ayrıştırıcı ekleme reaksiyonlarının tesir kesiti, elektronların kinetik enerjilerine bağlıdır. Elektronların kinetik enerjisi arttıkça, ayrıştırıcı eklenme reaksiyonu tesir kesit değeri azalır [33].

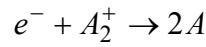
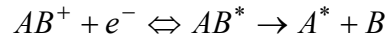
e) Yeniden birleşme

Plazma ya da elektriksel deşarjlar içerisinde bulunan zıt yüklü parçacıklar yeniden birleşme reaksiyonunu gerçekleştirerek, plazma içerisinden kaybolabilirler. Elektronlar ve atomik iyonlar arasında gerçekleşen yeniden birleşme reaksiyonu

sonucunda, radyasyon emisyonu oluşur ve radyasyonlu yeniden birleşme reaksiyonu olarak isimlendirilir [33].



Ayrıca, moleküler iyonlarla elektronların yeniden birleşme reaksiyonu, molekülün bozulmasına sebep olabilir. Bu reaksiyon ise;



şeklinde gerçekleşir [33].

2.1.2. Ağır parçacıklar arasındaki reaksiyonlar

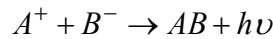
Ağır parçacıklar arasındaki reaksiyonlar, elektronlara nazaran, büyük parçacıkların (moleküller, atomlar, radikaller ve iyonlar gibi) çarpışmaları sonucunda meydana gelir. Bu reaksiyonlar iyon-molekül ve radikal-molekül reaksiyonları olmak üzere iki kategoride gruplandırılabilir. İyon-molekül reaksiyonlarında en az bir tane iyonun reaksiyona girmesi gereklidir. Radikal-molekül reaksiyonları ise, sadece nötral parçacıklar arasında meydana gelir [33].

a) İyon-molekül reaksiyonları

i- İyonların birleşmesi

Zıt yüklü iki iyonun elastik olmayan çarpışmaları sonucunda;

- Ürün olarak yeni bir molekül ve bir adet foton oluşabilir,

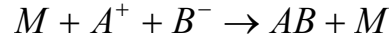


- Uyarılmış iki adet atom ve bir adette foton oluşabilir.



Her iki reaksiyon da iyonların nötralleşmesine neden olur. Yeniden birleşen iyonların toplam enerjileri, genellikle uyarılmış nötrallerin enerjilerinden daha

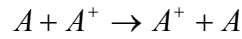
büyüktür. Her iki reaksiyon sonunda fazlalık enerji, radyasyon olarak açığa çıkar. İyonların yeniden birleşme reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için, üçüncü bir parçacığının (M) reaksiyonda bulunması gerekir [33].



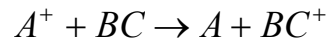
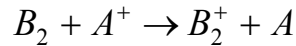
ii-Yük transferi

Bir iyon ve bir nötral parçacığın (atom veya molekül) reaksiyona girmesi sonucunda, iyonun elektrik yük değeri nötral parçacığa geçebilir. Bu reaksiyon, yer değiştirme reaksiyonu olarak da tanımlanmaktadır.

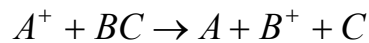
- özdeş iki parçacık arasında,



- özdeş olmayan parçacıklar arasında,



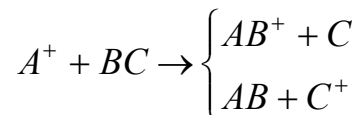
şeklinde gerçekleşebilir. Özdeş atomlar arasında gerçekleşen yük transferi reaksiyonu sonunda, kimyasal olarak hiçbir değişim gözlenmez. Sadece iyonlar yavaşlarken, nötralleşen atomun hızlandığı görülür. Yüklü bir iyon ile nötral bir molekülün çarpışma reaksiyonu, ayrışmalı yük transferi olarak isimlendirilir ve



şeklinde ifade edilir [33].

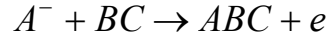
iii- Ağır reaktantların transferi

İyon-molekül reaksiyonlarının bu çeşidinde, reaksiyon sonucunda yeni moleküller ve atomlar oluşurken, aynı zamanda yük transferi reaksiyonu da gerçekleşir. Bu reaksiyon aşağıdaki gibi ifade edilir.



iv- Birleştirici ekleme

Negatif bir iyon ve bir radikal arasında gerçekleşen reaksiyonda, negatif iyon radikaller ile birleşme reaksiyonunun ürünü olarak yeni bir molekül ve serbest bir elektron oluşturur. Bu reaksiyon birleştirici ekleme reaksiyonu olarak tanımlanır ve



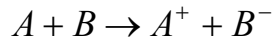
şeklinde ifade edilir [33].

b) Radikal-molekül reaksiyonları

Bu reaksiyonlar plazma içerisindeki radikaller ile moleküllerin etkileşmeleri sonucu oluşur. Radikaller oldukça kararsız yapıda oldukları için çok kısa bir sürede tekrar kararlı yapıya dönmek istedikleri için, kimyasal olarak oldukça aktiftirler.

i- Elektron transferi

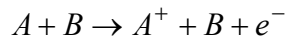
İki nötral radikalın çarpışması sonucu, bir adet pozitif iyon ve bir adet negatif iyon oluşabilir. Bu reaksiyon;



şeklindedir. Bu reaksiyon, plazma ya da elektriksel deşarj içerisinde oldukça yüksek kinetik enerjiye sahip bir atom bulunuyorsa gerçekleşir [33].

ii- İyonizasyon

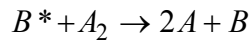
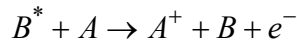
İki adet yüksek kinetik enerjili nötral radikaller arasındaki reaksiyon sonucu nötral atomlardan bir tanesi iyonlaşır ve reaksiyon



şeklinde ifade edilir [33]

iii- Penning iyonizasyonu /ayrışması

Penning reaksiyonlarının oluşabilmesi için, yüksek enerjili yarı kararlı atomların çarpışma reaksiyonuna girmesi gerekir. Nötral atom ile yarı kararlı atomun (B^*) elastik olmayan çarpışmasında, uyarılmış yarı kararlı atom fazlalık enerjisini bünyesinden uzaklaştırmak için iyonizasyon ya da ayrışma reaksiyonuna sebep olabilir. Bu reaksiyonlar;

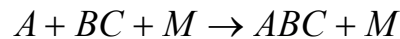


şeklinde ifade edilir [33].

Penning reaksiyonları çoklu gaz karışımı plazmalarında oldukça önemli bir reaksiyondur ve tesir kesiti değeri oldukça büyüktür. Penning reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi için; yarı kararlı atomların enerjileri, reaksiyona giren diğer atom veya molekülün iyonizasyon potansiyeli veya ayrışma potansiyelinden daha fazla olmalıdır [33].

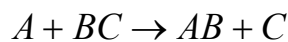
iv- Atom birleşmesi

Bu reaksiyon sadece nötral atom ve nötral molekül arasında gerçekleşebilir. Reaksiyonun tamamlanması için atom ve molekülün fazlalık enerjisinin reaksiyona giren üçüncü bir M parçacığı tarafından alınması gerekir [33].



v- Atomların yer değiştirmesi

Atomların yer değiştirme reaksiyonunda, nötral atom bir molekülün yapısında bulunan bir atomu söker ve bu sökülen atomun yerine kendisi geçer. Bu reaksiyon;



şeklinde gerçekleşir [33].

vi- Radikallerin yeniden birleşmesi

Kimyasal olarak aktif olan radikaller arasında gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda farklı bir molekül oluşabilir. Enerji ve momentum reaksiyon süresince korunmalıdır. Monoatomik radikallerin yeniden birleşme reaksiyonu sadece, plazma içerisinde üçüncü bir parçacık bulunuyorsa ya da plazma katı bir yüzey ile etkileşiyorsa gerçekleşebilir.

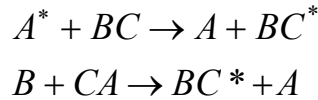
Radikaller genellikle iki tip reaksiyon oluşturur. Bu reaksiyonlar;

- Yer değiştirme ; $2C_2H_5 \rightarrow C_2H_4 + C_2H_6$
- Birleşme; $2C_2H_5 \rightarrow C_4H_{10}$

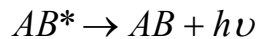
reaksiyonlarıdır [33].

vii- Kimyasal lüminesans

Uyarılma kimyasal bir reaksiyon esnasında da gerçekleşebilir. Kimyasal bir reaksiyon olmaksızın da kimyasal lüminesans oluşabilir. Bu reaksiyonlar;



şeklinde. Bu reaksiyonlar Penning tipi reaksiyon olarak da tanımlanır. Uyarılmış radikal BC^* genellikle uyarılmış durumdan, radyasyonlu bozunma reaksiyonu ile taban seviyesine dönebilmektedir ve



olarak ifade edilir. Bu şekilde oluşan foton kimyasal lüminesans olarak tanımlanmaktadır.

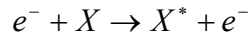
3. GAZ KARŞIMI PLAZMALARINDA GERÇEKLEŞEN OLAYLAR

3.1. Atomların ve Moleküllerin Uyarılması

Plazması oluşturulacak olan gaz içerisindeki elektronlar, kinetik enerjilerine bağlı olarak gazın atom ve molekülleri ile etkileşmeye girerler. Bu reaksiyon, uyarılma tesir kesiti değerine ve parçacığın enerjisine bağlı olarak gerçekleşebilir.

Taban durumunun üzerindeki ilk seviye rezonans seviyesi olarak isimlendirilir ve bu geçişe karşılık gelen enerji “**rezonans enerjisi**” olarak bilinir. Atom rezonans seviyesinden taban seviyesine geçiş yaparken bu seviyelerin farklı paritedeki seviyeler olması ve iki farklı seviye arasındaki geçişin izinli olması gerekir.

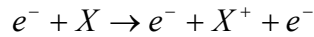
Atom ve moleküllerin uyarılma reaksiyonları genel olarak,



şeklinde ifade edilebilir. Bu reaksiyondaki X terimi nötral atom veya molekülü, X^* terimi ise reaksiyon sonunda oluşan uyarılmış atom veya molekülü temsil etmektedir [34].

3.2 Atomların ve Moleküllerin İyonizasyonu

En basit anlamda atomların ve moleküllerin iyonizasyon reaksiyonları,



şeklinde ifade edilir [35]. Taban seviyesinde bulunan hidrojen ve hidrojene benzeyen atomlar için iyonizasyon enerjisinin değeri;

$$U_i = -\frac{ke^2}{2a_0} \left(\frac{Z}{n} \right)^2 \quad (3.1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu ifadedeki, m ; elektronun kütlesini, Z atom numarasını, a_0 ; Bohr yarıçapı ve n baş kuantum sayısını temsil eder [36].

İyonizasyon tesir kesiti Q_i ifadesi;

$$Q_i \approx \frac{n^4}{Z^2} \quad (3.2)$$

ile orantılıdır. İyonizasyon tesir kesiti elektronların enerjisinin artması ile bir maksimum değere kadar artar.

Plazma içerisindeki yarı kararlı atomun elektronlar ile elastik olmayan çarpışması sonucunda oluşturacağı iyonizasyon reaksiyonunun tesir kesiti değeri, normal atomun elektron ile çarpışması sonucu oluşturacağı iyonizasyon tesir kesiti değerinden daha büyüktür. Plazma içerisinde yüksek enerjili elektronlar varsa ($\sim 10^4 \text{ eV}$), iyonizasyon sonucu elektron serbest hale geçebilir. Bu gibi işlemlerin reaksiyon oranları küçük olduğundan, elektronlar ve radikaller enerji korunum yasalarını sağlamada önemli rol oynarlar.

3.3 İyon-İyon ve İyon-Elektron Yeniden Birleşmesi

Plazma ya da elektriksel deşarj içerisindeki zıt işaretli yüklü parçacıklar arasında karşılaşılan ve yük nötralizasyonu anlamına gelen reaksiyon, **yeniden birleşme** reaksiyonudur (McDaniel,1964). Reaksiyona giren her iki parçacık da iyon olduğunda iyon-iyon, bu parçacıklardan bir tanesi elektron diğeri pozitif işaretli iyon olduğunda iyon-elektron yeniden birleşme reaksiyonu gerçekleşir [37].

İki zıt yüklü parçacığın yeniden birleşme oranı, yeniden birleşme katsayısı olan α ile ifade edilir. Birim hacim ve birim zamandaki pozitif iyon yoğunluğu n^+ ile, negatif iyon yoğunluğu n^- ile, yeniden birleşme reaksiyonu sayısı ise R terimi ile ifade edilir ve

$$R = \alpha n^+ n^- \quad (3.3)$$

bağıntısı ile hesaplanır. α her zaman pozitif bir değere sahiptir ve birimi cm^3/s 'dir. α yeniden birleşme katsayısı, yeniden birleşme tesir kesiti değeri olan $q_r(v_0)$ terimi ile ifade edilmektedir ve

$$\alpha = \int_0^{\infty} v_0 q_r(v_0) f(v_0) dv_0 \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilir [37]. Bu ifadedeki $f(v_0)dv_0$ terimi, v_0 ve $v_0 + dv_0$ arasındaki hızlara sahip olan pozitif ve negatif iyonlar arasında gerçekleşen çarpışma tesir kesiti değeridir [37].

Zıt yüklü iki iyonun plazma ya da elektriksel deşarj içerisinde birim zamanda sayılarında meydana gelen azalma miktarı eşit olduğunda, plazmadan ya da elektriksel deşarjdan difüzyon yoluyla gerçekleşen kayıplar ihmal edilebilir ve bu durumda iyonizasyon kaynağı eylemsizdir. Bu durumda birim zamanda meydana gelen iyon-iyon yeniden birleşme reaksiyonu katsayıları eşit olur ve böyle sistemler için,

$$\frac{dn^+}{dt} = \frac{dn^-}{dt} = -\alpha n^+ n^- \quad (3.5)$$

şeklinde yazılabilir. $t = 0$ 'da $n = n_0$ olduğunu kabul edersek, difüzyon kayıpları olmadığından $n^+ = n^- = n$ şeklinde yazılır ve denklem (3.5)'de yerine yazılıp diferansiyel denklem çözümlenirse;

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{n_0} + \alpha t \quad (3.6)$$

ifadesi elde edilir ve α değeri zamanla lineer bir değişim gösterir [37].

Pozitif ve negatif iyon sayılarındaki azalma sadece iyon-iyon yeniden birleşmesi nedeniyle gerçekleşiyorsa, birim zaman (1s) ve birim hacimde (1cm^3) üretilen Q iyonlarını,

$$\frac{dn}{dt} = Q - \alpha n^2 \quad (3.7)$$

ifadesi ile elde edebiliriz.

$t = 0$ 'da $n = 0$ olduğunu ve yine difüzyon kayıplarının olmadığını kabul edersek denklem (3.7) ifadesinin çözümünden;

$$n = \left(\frac{Q}{\alpha} \right)^{1/2} \frac{e^{2\sqrt{\alpha Q t}} - 1}{e^{2\sqrt{\alpha Q t}} + 1} \quad (3.8)$$

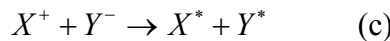
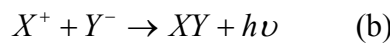
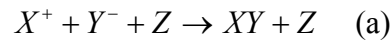
elde edilebilir. $e^{2\sqrt{\alpha Q t}}$ ifadesinin büyük olduğu durum için, $\frac{e^{2\sqrt{\alpha Q t}} - 1}{e^{2\sqrt{\alpha Q t}} + 1} \cong 1$ olacağından denklem (3.8),

$$n_{\infty} = \left(\frac{Q}{\alpha} \right)^{1/2} \quad (3.9)$$

şekline dönüşür [37].

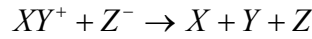
3.3.1 İyon-iyon yeniden birleşmesi

İyon-iyon yeniden birleşme reaksiyonlarının sonucunda toplam iç enerji azalır. Atomik iyonların enerjilerindeki bu azalma, pozitif iyonun iyonizasyon enerjisi ve negatif iyonun elektron çekiciliği arasındaki farka eşittir. Bu enerjinin üçüncü bir parçacığa aktarılması, elektromanyetik radyasyon emisyonu ya da nötral atomların elektronik olarak uyarılmalarıyla gerçekleşebilir ve nötral üçüncü parçacığın kinetik enerjisinde artmaya sebep olur [37]. Reaksiyon boyunca lineer ve açısal momentum korunmaktadır. Pozitif ve negatif iyonlar arasında aşağıdaki reaksiyonların bir tanesi gerçekleşecektir [37].



Üç parçacıklı yeniden birleşme reaksiyonu, (a) reaksiyonu ile tanımlanır ve plazma ya da elektriksel deşarj reaktörünün basıncı birkaç mmHg (0°C 'de 1 Torr)

olduğunda gerçekleşebilen en önemli reaksiyon mekanizmasıdır [37]. Reaksiyon (b) ve (c) ise, radyasyonlu yeniden birleşme ve yük değişimi ile ortak nötralizasyon reaksiyonlarıdır. Bu iki reaksiyon düşük basınçlarda baskındır ve reaksiyonun oluşması için sadece iki parçacık gerektirir. İyonların bir tanesi ya da her ikisi moleküler olduğunda, ayrıştırıcı reaksiyon;



şeklinde gerçekleşebilir [37].

İyon-iyon yeniden birleşme reaksiyonu, üç parçacıklı yeniden birleşme reaksiyonu, radyasyonlu yeniden birleşme ve ortak nötralizasyon reaksiyonları şeklinde gerçekleşir.

a) Üç parçacıklı yeniden birleşme reaksiyonu

Üç parçacıklı yeniden birleşme reaksiyonu Thomson teorisi ile açıklanabilir. Bu teori aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

+e ve - e yüklü iki iyonun, T sıcaklığındaki zayıf iyonize olmuş gaz içerisinde rasgele hareket ettiğini kabul edelim. İyon başına ortalama kinetik enerji $\frac{3}{2}k_B T$ 'ye eşittir. Böylece;

$$\frac{1}{2}m^+(V_R^+)^2 = \frac{1}{2}m^-(V_R^-)^2 = \frac{3}{2}k_B T \quad (3.10)$$

eşitliği yazılabilir. $m^\pm$ iyonik kütleleri, $V_R^\pm$ ortalama iyonik hızı gösterir. Zıt yüklü iyon çiftinin ortalama kinetik enerjisi, aralarında r mesafesi olduğunda,

$$\frac{1}{2}M_r V_{0R}^2 = \frac{3}{2}k_B T \quad (3.11)$$

olarak yazılır. M_r indirgenmiş kütle ve V_{or} , r mesafede bağlı V_0 hızının ortalama değeridir. İyon çiftlerinin potansiyel enerjisi $-e^2/r$ 'dir. Bu potansiyel enerji, iyonlar birbirinden oldukça uzak olduğunda sıfıra yaklaşır [37].

Thomson teorisine göre, toplam enerji negatif olduğunda iyon çiftleri birbirine yakın mesafededir. Yani, hareketin kinetik enerjisi, iyonları sonsuz uzaklığa götürmek için gerekli enerjiden daha az olur [37]. Bu modele göre, üç parçacıklı çarpışma gerçekleşmediğinde, yeniden birleşme imkânsızdır. Kısaca bu teori, radyasyon yayınlıyarak uyarılmış halden kararlı hale geçiş olasılığının olmadığını söyler [37]. Ancak, iyonların bir tanesi molekül ile reaksiyona girdiğinde, diğer iyonun r_1 kritik mesafesinde yeniden birleşme reaksiyonunu gerçekleştirebilir [37].

Bu kritik mesafe;

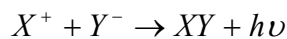
$$r_1 = \frac{2e^2}{3kT} \quad (3.12)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

Thomson, iyonların her birinin etrafında r_1 yarıçaplı negatif küre olduğunu kabul ederek modelini kurmuştur [37]. Thomson, negatif iyon küresi içerisinde gaz molekülleri ile saniye başına pozitif iyonların çarpışmalarının sayısı ve pozitif iyon küresi içerisinde gaz molekülleri ile saniye başına negatif iyonların çarpışmalarının sayısını hesaplamıştır. Bunların toplamını ise yeniden birleşme oranı olarak tanımlamıştır [37].

b) Radyasyonlu yeniden birleşme

Radyasyonlu yeniden birleşmede, yeniden birleşen iyonların fazlalık enerjisi elektromanyetik radyasyon olarak ortaya çıkar ve

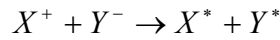


şeklinde ifade edilir. Genellikle, radyasyonlu yeniden birleşme reaksiyonu esnasında en az 10^{-8} s zıt yüklerin birbirlerine yakın bir mesafede kaldıkları ölçülmüştür. İyonların

termal enerjilerinin oda sıcaklığında olduğunu kabul edersek, ortalama bağıl hız yaklaşık 10^5 cm/s'dir ve bir moleküler çapı kadar dönmesi için gerekli zaman, yaklaşık 10^{-13} s'dir. Uyarılmış halden kararlı hale geçerken fotonun yayınlanma olasılığı 10^{-13} s/ 10^{-8} s= 10^{-5} civarındadır [37].

c) Ortak nötralizasyon

Birkaç mmHg (~ 1 Torr)'nın üzerindeki basınçlarda pozitif ve negatif iyonların yeniden birleşmesinde, reaksiyondaki fazlalık enerjiyi alan üçüncü bir parçacık söz konusudur. Düşük basınçlarda ise ($< \text{mmHg}$) ortak nötralizasyon reaksiyonu baskın olarak gerçekleşir.

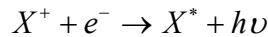


Bu reaksiyon esnasında açığa çıkan yeniden birleşme enerjisi, ya atomların elektronik olarak uyarılması, ya nötral atomlara kinetik enerji ya da her ikisi de olacak şekilde aktarılır. Bu reaksiyonda, yük değişim reaksiyonu meydana gelerek atomlar nötralleşir. X^+ iyonu, Y^- iyonunun elektronunu her hangi bir anda yakalayarak nötralleşir ve geriye kalan nötral Y atomu ise enerjisini korur [37].

3.3.2 İyon-elektron yeniden birleşmesi

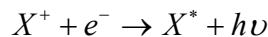
Pozitif iyon ile elektronun yeniden birleşmesine sebep olan işlemlerin bazıları;

a- Radyasyonlu yeniden birleşme reaksiyonu



şeklinde ifade edilir. Yayınlanmış radyasyonun spektrumu, yeniden birleşme spektrumu olarak isimlendirilir ve sürekli bir spektrumdur [38].

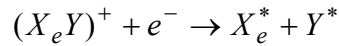
b- Eklenmeli radyasyon reaksiyonu



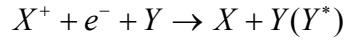
şeklinde ifade edilir. Pozitif bir iyon bir atom yakınından geçerken, atomun bir elektronunu yakalar ve elektronun sahip olduğu enerjiyi alarak uyarılmış hale gelir.

Reaksiyon sonunda ise uyarılmış nötral bir atom ve foton oluşur. Uyarılmış atom enerji olarak kararsızdır ve tekrar eski haline foton yayınlamaya döner [38].

c- Eğer pozitif iyon olarak bir molekül, bir elektron ile yeniden birleşme reaksiyonuna girerse, reaksiyon sonunda molekül atomlarına ayrışabilir ve ayrılan atomlar reaksiyon sonunda uyarılmış seviyededir.



d- Üç parçacıklı çarpışma ile yeniden birleşme;



şeklinde ifade edilir. Üçüncü parçacık bir atom ya da molekül olabilir [38].

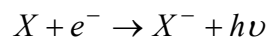
3.4 Negatif İyonların Üretilmesi

Atom ya da nötral molekül ile elektronların elastik olmayan çarpışmaları sonucunda, atom ya da nötral molekülün elektron yakalaması reaksiyonu gerçekleşebilir. Elektronlar, atom ya da moleküllere kolaylıkla yakalanırlar ve bu reaksiyon sonunda kararlı negatif iyonlar üretilebilir. Negatif iyonların oluşumu bazı atom ya da moleküllerin elektron çekiciliği ile ilgilidir. Bu çekicilik elektronegativite olarak isimlendirilir.

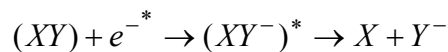
VII. grubun elementleri olan halojenler elektronegatif parçacıklardır çünkü bir elektron eklendiğinde son yörüngeleri dolar. Sonuçta soy gaz ve moleküler azot karakterini sergiler. Negatif iyonlar çeşitli temel reaksiyonlar sonucunda oluşur [5];

Atom ya da moleküllerin yavaş elektronlar ile çarpışmalarında;

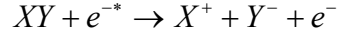
a- Radyasyona sebep olan eklenme;



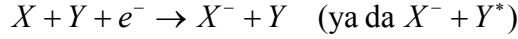
b- Ayrıştırıcı yakalanma;



c- Doğrudan Ayırışma;

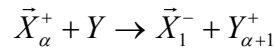


d- Üç parçacıklı çarpışma;



şeklinde ifade edilir.

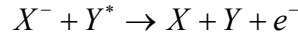
e- Atom ya da Molekül ile elektronların çarpışması;



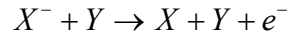
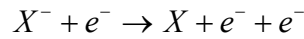
Burada, $\vec{X}_\alpha^+$, αe yüklü yüksek hızlı pozitif iyon, $Y_{\alpha+1}^+$, $(\alpha + 1)e$ yüklü pozitif iyon, $\vec{X}_1^-$, bir e^- yüklü yüksek hızlı negatif iyonu temsil eder.

Diğer negatif iyon üreten reaksiyonlarda ise, çeşitli çarpışma türleri söz konusudur:

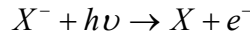
a- İkinci tür çarpışmalar



b- Bir elektron ya da diğer bir parçacık ile çarpışmalar



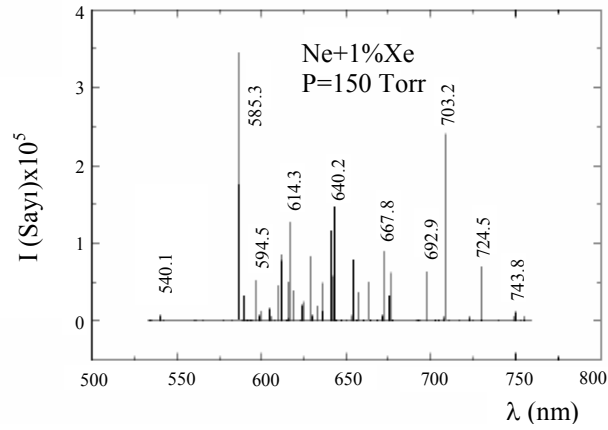
c- $h\nu$ foton absorpsiyonu



3.5 Monokromatizasyon Etkisi ve Oluşum Mekanizması

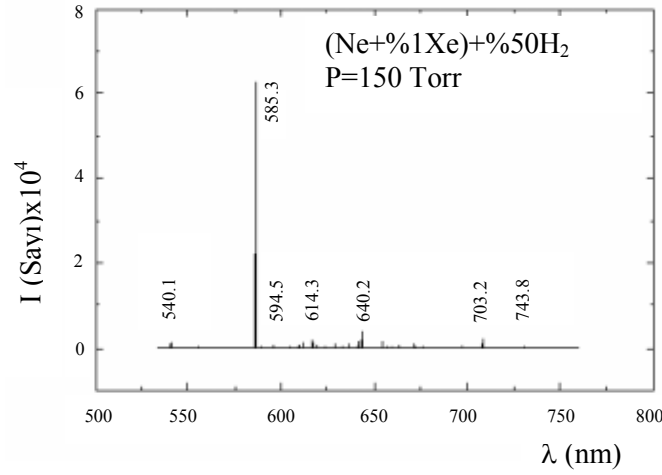
Neon soy gazının elektriksel deşarjından elde edilen renk kırmızıdır [5]. Neon'un optik emisyon spektroskopisi incelendiğinde, neon gazının tüm pikleri 540 ile 800 nm aralığında görülmektedir [39]. Bu pikler elektromanyetik görünür spektrumda sarı ile kırmızı bölge aralığındadır [5,15]. Ne + %1 Xe gaz karışımının 500– 800 nm aralığında elde edilen optik emisyon spektroskopisi şekil 3.1'de görülmektedir. Elektriksel deşarj tüpü içerisine Ne + %1 Xe gaz karışımı yerine, Penning tipi bir gaz

karışımı olan $\%(1-q)(\text{Ne} + \%1\text{Ar}) + \%q\text{H}_2$ ya da $\%(1-q)(\text{Ne} + \%1\text{Xe}) + \%q\text{H}_2$ kullanarak elektriksel deşarjı elde edildiğinde, Ne gazının 540 ile 800 nm aralığındaki piklerinin bir tanesi olan $\lambda = 585.3\text{ nm}$ 'in şiddeti artarken diğer tüm piklerin şiddetleri azalır [5]. Belirli parametrelerde 200–850 nm aralığında sadece 585.3 nm'de merkezlenmiş dalga boylu bir spektrum elde edilir. Elde edilen spektrum, neredeyse monokromatik dalga boylu ışığın optik emisyon spektroskopisi şekline dönüşür. Bu olay Monokromatizasyon etkisi olarak bilinmektedir ve M etkisi olarak da tanımlanır [1-26]. M etkisi durumunda, Neon'un elektriksel deşarjın renginin kırmızıdan açık sarı renge değiştiği gözlenmiştir [5].



Şekil 3.1. (Ne + %1Xe) gaz karışımının 500–800 nm aralığında elde edilen optik emisyon spektroskopisi [15]

$\%50(\%99\text{Ne} + \%1\text{Xe}) + \%50\text{H}_2$ gaz karışımının 500 ile 800 nm aralığında elde edilen optik emisyon spektroskopisi şekil 3.2'de gösterilmiştir [15].



Şekil 3.2. % 50 (%99 Ne + % 1 Xe) + % 50 H₂ gaz karışımının 500-800 nm aralığında elde edilen optik emisyon [15]

M etkisi değerini incelemek ve sonuçları karşılaştırmak için M değeri;

$$M\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right) = \frac{I_{\lambda_i}}{I_{\lambda_j}} \quad (3.12)$$

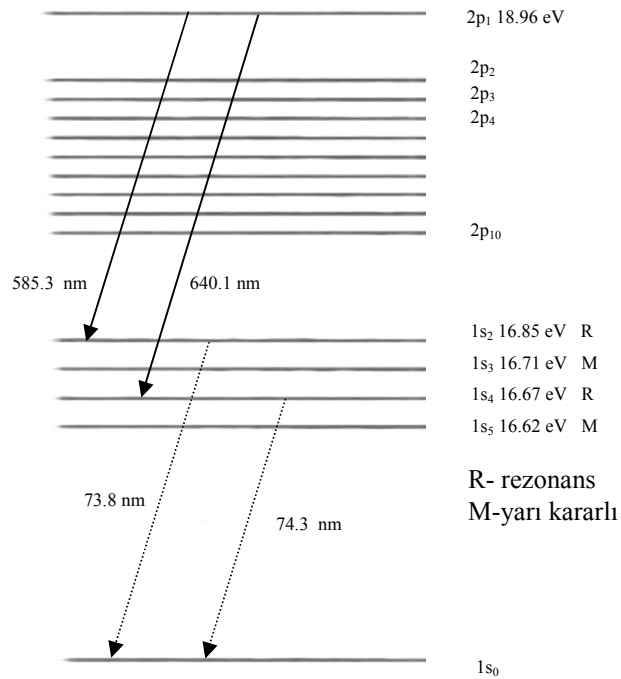
ifadesi ile tanımlanmıştır [5]. I_{λ_i} ve I_{λ_j} sırası ile, λ_i ve λ_j dalga boylarına karşılık gelen geçiş dalga boyunun optiksel çok kanallı analizör (O.M.A.) kullanılarak ölçülmüş bağıl şiddetlerdir.

Ne gazının elde edilen spektrumlarını karşılaştırmak için, $\lambda_1 = 585.3$ nm ve $\lambda_2 = 614.3$ nm'lik geçiş dalga boylarının bağıl şiddetleri arasındaki oran Monokromatizasyon (M) oranı olarak tanımlanmıştır [1-25] ve

$$M = \frac{I_{\lambda_1=585.3nm}}{I_{\lambda_2=614.3nm}} \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Şekil 3.3’de Neon atomunun basitleştirilmiş enerji seviyeleri Grotrian diyagramı olarak gösterilmiştir. $\lambda = 585.3 \text{ nm}$ ’lik dalga boyuna karşılık gelen geçiş $2P_1-1S_2$ geçişidir [5]. Aynı zamanda $2P_1$ seviyesinden $1S_4$ enerji seviyesine’de geçiş olmaktadır. Fakat bu geçiş $2P_1-1S_2$ geçişine göre yaklaşık 76 kat daha küçüktür [5]. $1S_2$ ve $1S_4$ seviyeleri neon atomunun rezonans seviyesidir. Atomun bu seviyelerde kalış süreleri sırası ile, $2 \times 10^{-8} \text{ s}$ ve $1,5 \times 10^{-9} \text{ s}$ ’dir. Bu uyarılmış seviyeden kararlı hale foton yayınlayarak ya da çarpışmalarla dönerler. $1S_2$ ve $1S_4$ seviyelerinden $1S_0$ seviyesine ise 73.6 nm ve 74.4 nm dalga boylu foton ile dönecektir. Birkaç Torr’luk basınçlarda uyarılmış neon atomlarının bu seviyedeki kalış süreleri, yarı kararlı seviyelerde bulunan atomların ömürleri ile karşılaştırılabilir bir seviyede olur [5].



Şekil 3.3. Neon atomunun Grotrian diyagramı [5]

$1S_3$ ve $1S_5$ seviyeleri uyarılmış seviyelerdir, çünkü taban seviyesindeki geçiş yasaktır. Neon gazının elektriksel deşarjı esnasında, $1S_2$, $1S_3$, $1S_4$ ve $1S_5$ enerji seviyeleri arasında görünen reaksiyonlar;



$$Ne^{**}(2P_m) \rightarrow Ne^*(1S_i) + h\nu \quad (3.15)$$

$$i = 1-4, j = 1-4, m = 1-10 \text{ ve } i \neq j \quad (3.16)$$

şeklinde ifade edilmektedir [5]. Neon gazının deşarjı esnasında, $1S_2$, $1S_3$, $1S_4$ ve $1S_5$ enerji seviyeleri arasında görünen reaksiyonlar;

$$Ne^*(1S_i) + Ne \rightarrow Ne^*(1S_j) + Ne \quad (3.17)$$

$$Ne^*(1S_i) + M \rightarrow Ne(1S_j) + M^* + e^- \quad (3.18)$$

$$i = 1-4, j = 1-4, \text{ ve } i \neq j \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilmektedir [5,22].

Bir P.D.P. deşarj cihazında iki başarılı çarpışma arasındaki süre 1 Torr'luk gaz basıncında 3×10^{-9} s'dir, 10-100 Torr'luk basınçlar için ise bu süre yaklaşık olarak 3×10^{-10} - 3×10^{-11} s'dir [11].

Yarı kararlı seviyelerde uyarılmış atomların gerçek ömrü 10^{-3} s'den daha kısadır (Penning tipi çarpışmalarda). Bu reaksiyonlar rezonans seviyelerde olduğu gibi yarı kararlı seviyelerdeki uyarılmış neon atomlarının hızlı bir biçimde soğuması (quenching) ile gerçekleşir [5].

$$Ne^*(1S_i) + Ar \rightarrow Ar^+ + Ne + e^- \quad (3.20)$$

$$Ne^*(1S_i) + Xe \rightarrow Xe^+ + Ne + e^- \quad (3.21)$$

$$Ne^*(1S_i) + H_2 \rightarrow H_2^+ + Ne + e^- \quad (3.22)$$

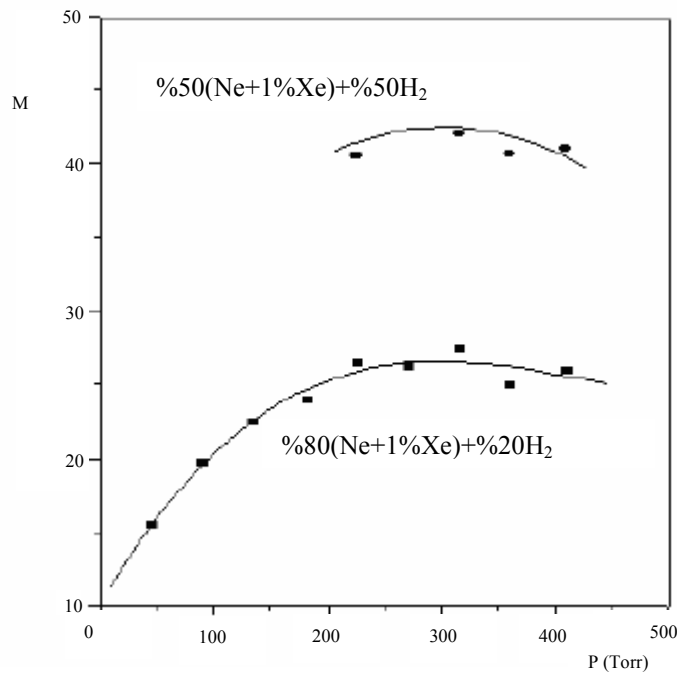
$$i = 2,3,4,5,\dots \quad (3.23)$$

$2P_1$ - $1S_2$ geçişinin sonucu olarak, $1S_2$ seviyesinde nüfus azalması gerçekleşir ($\lambda = 585.3$ nm'li geçiş Penning karışımları kullanılan bazı lazer tiplerinde gözlenen nüfus terslenmesi ana işlemidir).

Gerçekte, Penning çarpışmaları çoklu gaz karışım deşarjlarında (neon+argon+hidrojen) gerçekleşen ana işlemlerin bir tanesidir. Bu işlem M-etkisinin görünmesi için tek başına yeterli değildir. Aynı zamanda düşük enerji seviyesinin

soğuma tesir kesitinin de oldukça büyük olması gerekmektedir. Neon atomlarında ise $1S_2$ seviyesinin soğuma tesir kesiti değeri oldukça yüksektir.

Şekil 3.4'te $Ne + \%1 Xe + H_2$ Penning tipi gaz karışımında dielektrik bariyer deşarj durumunda toplam gaz basıncına bağlı olarak M değerinin deneysel sonuçları görülmektedir [15].



Şekil 3.4. M değerinin, $Ne + \%1 Xe + H_2$ Penning tipi çoklu gaz karışımı basıncı ile değişimi [15]

Şekil 3.4'deki grafik gaz karışımındaki hidrojen yüzdesine göre, üstteki eğri %50 ve alt eğri ise %20'lik karışım için elde edilen M değerine karşılık toplam gaz basıncı değerlerinin değişimi grafiğini göstermektedir. Bu grafikten, toplam gaz basıncı ile M değerinin (100 Torr'a kadar) hızlı bir şekilde arttığı gözlenmektedir. 200 Torr civarında ise doyuma ulaşmaktadır. M değeri, H_2 konsantrasyonu ile artar, H_2 'nin oranı %50'nin üzerine çıktığında artış durur. %60 H_2 konsantrasyonundan sonra ise M değeri azalmaya başlar.

Deneysel sonuçlara göre, katot sıcaklığının artması ile M değerinin azaldığı gözlenmiştir [15]. Bunun için DC deşarj cihazı, M değerinin sıcaklığa bağımlılığını ölçmek için oldukça elverişlidir. Ölçümler negatif glow bölgesinden alınmış ve 30 ila 60 Torr aralığında doldurulan gaz basınçları kullanılmıştır. DC deşarj tüpü içerisinde M etkisi değeri 20'nin üzerindedir ve deşarjın negatif glow kısmında gözlenmiştir [15].

Neon+argon+hidrojen Penning tipi gaz karışımlarında M-etkisini oluşturan reaksiyon zinciri (iyon-iyon yeniden birleşme reaksiyonu);



şeklinde (Musa and Baltog, 2003). (3.26) denklemindeki A parçacığı reaksiyonun tamamlanabilmesi için gerekli olan momentum ve enerji korunumunu sağlayan nötral bir parçacıktır. Denklem (3.25) ve (3.26) göz önüne alındığında, yeniden birleşme reaksiyonları için tesir kesiti oldukça büyük değerdedir [15].

Pozitif neon iyonu ve negatif hidrojen iyonu arasındaki birleşme tesir kesiti $8 \times 10^{-12} \text{ cm}^2$ gibi oldukça büyük bir değere sahiptir. Orta basınçlarda tesir kesiti daha düşüktür. Yüksek basınçta (atmosferik basınç) yeniden birleşme, üç parçacıklı çarpışma reaksiyonunun sonucu oluşur. Plazmojen gaz karışımı en az bir elektronegatif gaz karışımı içermesinden dolayı plazmojen gazda negatif iyon üretimi oldukça fazla miktarda oluşmaktadır. Ayrıca, post lüminesans deşarjda da oldukça fazla negatif iyon üretimi oluşmaktadır [15].

M etkisini oluşturmak için elektropozitif ve elektronegatif gaz karışımlarının büyük çoğunluğunda elektropozitif gaz olarak Ne kullanılmıştır. Elektronegatif gaz olarak ise H_2 ve O_2 'nin yanında Cl_2 gibi moleküler gaz da kullanılmıştır [14, 15, 22].

Çizelge 3.1’de M etkisinin gözlemlendiği gaz karışımları ve dalga boyları gösterilmiştir [18].

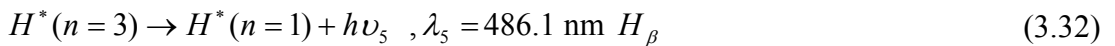
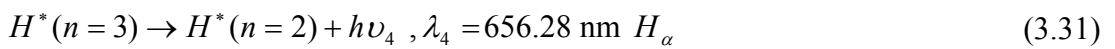
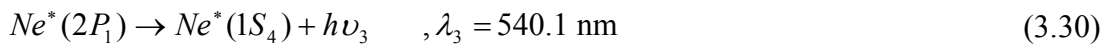
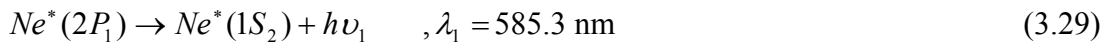
Çizelge 3.1. M etkisi için araştırılan gaz karışımları ve dalga boyu değerleri [18]

Elektropozitif-Elektronegatif gaz karışımı	M değeri için λ değeri
Ar+H ₂	750 nm
Ne+Cl ₂	585.3 nm
Ne+H ₂	585.3 nm
Ne+O ₂	585.3 nm

Neon gazı içerisine elektronegatif gaz olarak H₂ gazı ilave edildiğinde bu monokromatik dalga boyunu veren reaksiyon;



şeklinde dir. Bu denklemin sağ tarafında oluşan $Ne^*(2P_1)$ parçacıkları foton yayınlarak tekrar kararlı hale geçerler. Bu reaksiyonlar ise;



şeklinde yazılabilir [5]. Nötral neon gazı için, bu radyasyonları oluşturan geçişlerin geçiş olasılıkları 540.1 nm için $9 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$ ve 585.3 nm için ise $6,82 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ ’dir. Neon yarı kararlısının 2P₁ seviyesinden 1S₄ seviyesine geçişinde yayınladığı $\lambda_3 = 540.1 \text{ nm}$ dalga boylu foton, $\lambda_1 = 585.3 \text{ nm}$ dalga boylu fotonun geçiş olasılığına göre yaklaşık 76 kat daha küçüktür. Hidrojen atomu için radyasyonları oluşturan geçişlerin geçiş olasılıkları; 656.28 nm için $6,465 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ ve 486.1 nm için ise geçiş olasılığı $2,062 \times 10^{-9}$

s^{-1} 'dir. Geçiş olasılıkları oranı ise yaklaşık 3 'tür [39]. $Ne^*(2P_1)$ ve $H^*(n=3)$ parçacıklarının her ikisi de reaksiyona eşit katılıma sahiptir.

J.J.Thomson, üç parçacıklı çarpışma reaksiyonu için, orta gaz basınçlarının ($P=10-100$ Torr) ve T gaz sıcaklığının Q yeniden birleşme tesir kesitinin bağımlılığını ortaya koymuştur [15].

$$Q = \text{sabit} \times P \times T^{-3} \quad (3.33)$$

ve neredeyse atmosferik basınçlarda ise;

$$Q = \text{sabit} \times T^{-3/2} \quad (3.34)$$

şeklinde ifade etmiştir.

İyon-iyon yeniden birleşme reaksiyonlarının ana özellikleri şunlardır;

- Negatif iyon–pozitif iyon yeniden birleşme tesir kesiti, bilinen en büyük tesir kesitli reaksiyonudur.
- Orta ya da uygun basınçlardaki polar ya da iyon-iyon yeniden birleşme reaksiyonu, üç parçacıklı çarpışma reaksiyonları ile gerçekleşir.
- Yeniden birleşme işlemi sıcaklığa bağlıdır ve sıcaklık attıkça azalır.
- Polar yeniden birleşme için yüksek elektron afiniteli olan bir elektronegatif gaza ihtiyaç vardır.
- Negatif iyonların sayısına bağlıdır. Negatif iyonlar ise;
 - yüksek elektron yoğunluğuna
 - düşük enerjili elektronlara
 - sıfır ya da neredeyse sıfır elektrik alana sahip olmalıdır [15].

Gaz basıncı ile M etkisinin artmasının nedeni, parçacıkların çarpışma frekansının artmasıdır. Böylece, Q yeniden birleşme tesir kesiti de artar [15].

4. PLAZMADAN YAYINLANAN RADYASYONUN SPEKTROSKOPİSİ

4.1 Giriş

Atomlar ve moleküller foton emisyonu oluşturmak için gerekli olan enerjiyi, kendilerine çarpan diğer parçacıkların kinetik enerjilerinden alarak uyarılırlar. Bu uyarılma sonucunda atom ve molekül 10^{-8} s sonra tekrar kararlı hale dönmek için kendiliğinden bir foton yayınlar. Sonuçta açığa çıkan radyasyon *sıcaklık radyasyonu* olarak isimlendirilir [40]. *Elektrolüminesans* ise, plazma ve elektriksel deşarjların hepsinde gerçekleşir (kıvılcım, ark, doğru akım ya da yüksek veya düşük frekanslı alternatif akımlı Geissler tüpleri). Elektrolüminesans için gerekli uyarılma, çoğunlukla elektron ya da iyon çarpışmaları sonucu oluşur. Elektronlar ve iyonlar elektrik alanında hızlanarak, gazı iyonize hale getirir ve böylece iyonize gaz topluluğu (elektriksel deşarj) ve fotonlar oluşur [40].

Plazmadan yayınlanan radyasyonun analizleri, *lüminesans* ve *elektrolüminesans* olayları sonucu oluşan fotonların dedekte edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu tür spektroskopik yöntemler teknolojiye oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır. Uygun bir uyarılma yöntemi kullanıldığında (ateş, ark, kıvılcım, elektriksel deşarj gibi) her bir kimyasal element karakteristik bir çizgi spektrumu verir [40].

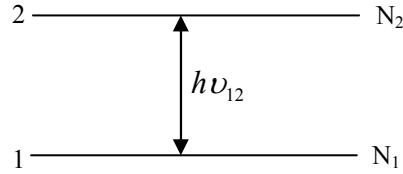
4.2 Absorbsiyon ve Emisyon

Bu bölümde plazma spektroskopisinin dayandığı bazı temel teoriler tanımlanacaktır [38].

4.2.1 Kendiliğinden geçiş olasılığı

Düşük basınçlı sodyum buharı içeren bir vakum odası, sodyum buharı lambası ile ısıtıldığında, uygulanan radyasyon süresince fotonlar taban durumundaki sodyum buharı atomları tarafından absorblanır ve rezonans radyasyonu olarak tekrar yayınlanır.

Absorblanan foton sayısı tekrar yayınlanan foton sayısına eşit olduğunda sistem denge durumuna ulaşır [38].



Şekil 4.1. İki seviyeli bir atomun enerji diyagramı [38]

Radyasyon kaynağı olarak kullanılan sodyum buharı lambasının olmadığı durumda, dt anlık zamanında daha üst seviye olan 2 seviyesinden ayrılan atomların sayısı t zamanında 2 seviyesinde var olan atom sayısı ile orantılıdır ve;

(4.1)

$$dN_2(t) = -A_{21}N_2(t)dt$$

bağıntısı ile ifade edilir ve bu ifadenin çözümü;

$$N_2(t) = N_2(0) \exp[-A_{21}t] \quad (4.2)$$

ifadesini verir. Burada; $N_2(0)$, $t=0$ anında 2 seviyesindeki atom sayısıdır. A_{21} , $h\nu_{12}$ enerjili fotonun emisyonu ile 2 seviyesinden 1 seviyesine, saniyedeki geçiş olasılığını veren bir sabittir ve *Kendiliğinden Geçiş Olasılığı* ismini alır. (4.2) denklemi τ_{21} ömür ifadesi cinsinden;

$$N_2(t) = N_2(0) \exp[-t / \tau_{21}] \quad (4.3)$$

şeklinde verilir, ve;

$$\tau_{21} = 1 / A_{21} \quad (4.4)$$

şeklinde yazılır [38].

4.2.2 Ayrıntılı Dengenin İlkeleri

Atomların uyarılmasının termal olarak sağlandığı, tamamen kapalı bir vakum odası içerisinde bulunan bir atom sisteminin, T sıcaklığında dengede olduğunu kabul edelim.

ν ile $\nu + d\nu$ frekans aralığında ρ radyasyon yoğunluğu, Planck yasasına göre sadece T sıcaklığına bağlıdır ve

$$\rho(\nu)d\nu = \frac{8\pi}{c^3} h\nu^3 \left(\exp\left[\frac{h\nu}{kT}\right] - 1 \right)^{-1} d\nu \quad (4.5)$$

ile ifade edilir.

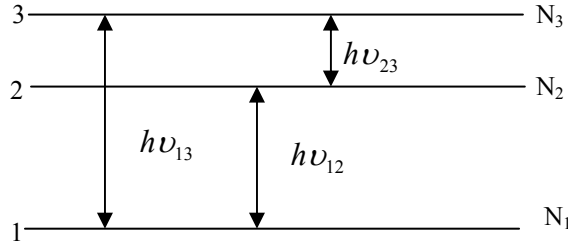
$E_1 < E_2$ durumunda 1 ve 2 seviyelerindeki atom sayısı ise Boltzman yasasına göre;

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} \exp[-h\nu_{12}/kT] \quad (4.6)$$

şeklinde verilir. Burada g_1 ve g_2 , 1 ve 2 seviyelerinin istatistiksel ağırlığıdır. Planck yasası, kuantum hipotezine göre, radyasyona istatistiksel yöntemlerin uygulanması ile elde edilir [38]. Herhangi bir atom grubu, dinamik olarak dengede olmak zorundadır. Atomlar ortamda bulunan yayınlanmış radyasyonu absorbe ederler. Bu tür absorpsiyonlar ve emisyonlar atomların enerji seviyelerindeki değişimlere neden olur [38].

Her bir etkileşme (absorpsiyon veya emisyon) işlemi, ters etkileşme işlemi ile dengelendiğinde, parçacığın toplam dengesi bozulmaz. Bu üç seviye arasındaki gerekli geçişler, fotonların absorpsiyonu veya emisyonu ile gerçekleşir. Şekil 4.2'den de görüldüğü gibi, üç seviyeli bir atom, 1 seviyesinden 3 seviyesine $h\nu_{13}$ enerji

absorbsiyonu ile geçiş yapar. Bu seviyeden tekrar kararlı seviyesine, 3 seviyesinden 2 seviyesine $h\nu_{23}$ ve 2 seviyesinden 1 seviyesine $h\nu_{12}$ enerjili fotonlar yayınlayarak kademeli olarak geçişini tamamlar [38].



Şekil 4.2. Şematik olarak çizilmiş üç seviyeli bir atomun enerji diyagramı

4.2.3 Einstein Katsayısı

Tamamen kapalı bir vakum odası içerisindeki atom sistemini düşünelim. Bu sistem, enerji seviyeleri arasında şekil 4.2'deki gibi geçişler söz konusu olduğunda, ρ radyasyon yoğunluğuna sahip olsun. 1 seviyesinden 2 seviyesine geçiş gerçekleşirken, $h\nu_{12}$ fotonu absorblansın. Saniye başına 1 seviyesinden 2 seviyesine geçiş olasılığı ise $B_{12}\rho(\nu)$ 'ye eşit olsun. Bir süre sonra saniye başına 2 seviyesindeki atomun ansızın bir $h\nu_{12}$ fotonu yayınlayarak 1 seviyesine dönme olasılığı ise A_{21} olarak tanımlanırsa (Marr,1968), 1 seviyesi ve 2 seviyesi arasındaki bağlantı;

$$\rho(\nu)B_{12}N_1 = A_{21}N_2 \quad (4.7)$$

$$\rho(\nu) = \frac{A_{21}}{B_{12}} \frac{g_2}{g_1} \exp\left[-\frac{h\nu_{12}}{kT}\right] \quad (4.8)$$

olarak ifade edilebilir [38].

Atomlar T sıcaklığında dengede olduklarından, $\rho(\nu)$ enerji yoğunluğu ifadesi Planck siyah cisim yasası ile elde edilir ve

$$\rho(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \left\{ \exp\left[\frac{h\nu_{12}}{kT}\right] - 1 \right\}^{-1} \quad (4.9)$$

şeklinde yazılabilir (Marr,1968). Ayrıntılı dengenin ilkeleri uygulandığında,

$$\rho(\nu)B_{12}N_1 = A_{21}N_2 + B_{21}\rho(\nu)N_2 \quad (4.10)$$

elde edilir ve buradan ise;

$$\rho(\nu) = \frac{A_{21}/B_{21}}{\frac{g_1}{g_2} \frac{B_{12}}{B_{21}} \left\{ \exp\left[\frac{h\nu}{kT}\right] - 1 \right\}} \quad (4.11)$$

şeklinde yazılabilir.

$$g_1 B_{12} = g_2 B_{21} \quad (4.12)$$

olduğunda ise,

$$A_{21} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{21} \quad (4.13)$$

elde edilir [38].

4.3 Atomik Spektroskopi

Bir maddenin uyarılması sonucu oluşan spektrumu incelendiğinde, üç tür spektrumdan oluştuğu görülür. Bunlar sürekli, band ve çizgi spektrumudur. Sürekli spektrum, ayırma gücü yüksek olan cihazda bile ince yapı göstermez ve başlıca yüksek sıcaklıktaki uyarma kaynağındaki katı maddeler ve ısınan elektrotların yaydığı kara cisim ışıması ve bunların kombinasyonu sonucu oluşan spektrum ayırma gücü yüksek olan cihazlarda gözlenir. Işının frekansının şiddeti yalnızca uyarma ortamı sıcaklığı ve elektron yoğunluğuna bağlıdır. Band spektrumu ise ayırma gücü düşük olan bir cihazda sürekli spektrum gibi görünse de, dalga boyuna bağlı olarak şiddeti değişir ve daha çok, büyük dalga boylarında görülür. Ayırma gücü yüksek aletlerde ise, birbirine yakın çok sayıda çizgilerden oluşan bandlar halinde gözlenir. Band spektrumu, gaz halindeki moleküler maddelerin elektronik seviyelerine ek olarak, titreşim seviyelerinin de uyarılması ile oluşur. Çizgisel spektrum ise, gaz halindeki atom ve iyonlardan oluşan gerçek atom spektrumlarıdır. Uyarma kaynağında herhangi bir yolla uyarılan atom ve iyonların, doğrudan veya kademeli olarak temel duruma geçerken aldıkları enerjiyi

foton halinde geri vermeleri ile oluşur [41]. Her bir atom ve iyonunun yaydığı çizgisel spektrum, belirgin ve maddeye özgüdür [40].

Balmer ve Rydberg, hidrojenin hesaplanan çizgi spektrum frekansları ile deneysel sonuçlarının, oldukça uyum içerisinde olduklarını gözlemişlerdir [38]. Frekans denklemi;

$$\nu = R' \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (4.14)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, R' sabit ve $n = 3, 4, 5 \dots \infty$ gibi bir tam sayıdır. Bazı durumlarda bu denklem;

$$\nu = R' \left[K - \frac{1}{(n-d)^2} \right] \quad (4.15)$$

ile verilir. Burada, K ve d seri sabiti, n tam sayı ve R' , Rydberg sabitidir.

Denklem 4.14 ve 4.15'in her ikisi de farklı olarak görülür. Ritz (1908) çok genel olarak frekans eşitliğini(Ritz birleşim ilkesi) hidrojen atomu için;

$$\bar{\nu} = \frac{R}{n^2} - \frac{R}{n'^2} \quad (4.16)$$

olarak ifade etmiştir. $\bar{\nu} = 1/\lambda$ (cm^{-1}) dalga sayısı, λ ; dalga boyu, n ve n' birer tam sayıdır. Diğer spektrumların seri çizgileri için R (Rydberg sabiti) terimi yaklaşık sabittir fakat n tam sayısı $n-d$ ile değişir ve d 'de bir sabittir [38].

Gerçekte, spektral çizgilerin dalga sayıları, Ritz birleşim ilkesinde iki terimin farkı olarak ifade edilebilir [38]. T_1, T_2, T_3 ve T_4 dört terimin farkı olarak spektral çizgi (şekil 4.3) dalga sayıları ile ifade edilebilir;

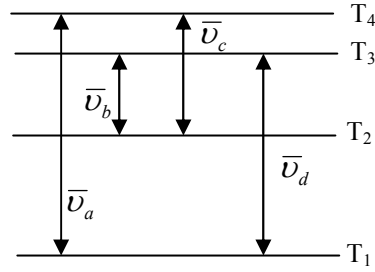
$$\begin{aligned} \bar{\nu}_a &= T_1 - T_4 \\ \bar{\nu}_b &= T_2 - T_3 \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned}\bar{\nu}_c &= T_2 - T_4 \\ \bar{\nu}_d &= T_1 - T_3\end{aligned}\tag{4.18}$$

Spektral çizgilerin dalga sayıları arasındaki bağıntı ise;

$$\begin{aligned}\bar{\nu}_b - \bar{\nu}_c &= \bar{\nu}_d - \bar{\nu}_a \\ \bar{\nu}_a - \bar{\nu}_c &= \bar{\nu}_d - \bar{\nu}_b\end{aligned}\tag{4.19}$$

şeklinde yazılabilir [38].



Şekil 4.3. T_1, T_2, T_3 ve T_4 Terim değerleri ve olası geçişler

$$\text{Baş seri : } \bar{v}_p = \frac{R}{(n_0 + s)^2} - \frac{R}{(n + p)^2}$$

$$\text{Keskin seri: } \hat{v}_s = \frac{R}{(n_0 + P)^2} - \frac{R}{(n + s)^2}$$

(4.20)

$$\text{Difüze seri: } \bar{v}_d = \frac{R}{(n_0 + P)^2} - \frac{R}{(n + d)^2}$$

$$\text{Temel seri : } \bar{v}_f = \frac{R}{(n_0 + d)^2} - \frac{R}{(n + f)^2}$$

Burada; n_0 bir seriye ait olan ortak terim değeri, n terim değeridir ve $n \geq n_0$ 'dır. s, p, d, f sırasıyla keskin, baş, difüze ve temel serilere karşılık gelen terimlerdir.

Klasik elektrodinamiğe göre, çekirdek etrafındaki yörüngede bulunan elektronun hareketi harmonik osilatöre benzerdir. Yayınlanan ışığın şiddeti a^2 (a ; büyüklük), ν^4 (osilasyon frekansı) ve N_ν (osilasyonun sayısı) ile orantılıdır ve osilasyon frekansı;

$$\varpi = \frac{16\pi^4 e^2}{3c^3} a^2 \nu^4 N_\nu \quad (4.21)$$

şeklinde ifade edilir.

Elektronun her bir enerji durumu, kuantum sayıları ile tanımlanır. Bir enerji seviyesindeki elektron, diğer parçacıklar ya da radyasyon ile etkileşebilir. Atom, enerjisindeki değişim ile, diğer bir enerji seviyesine geçer.

Elektronun seviyeler arası geçişi; radyasyon enerjisi ve yayınlanan ya da absorblanan fotonun frekansına bağlıdır.

$$h\nu_{mn} = E_m - E_n \quad (4.22)$$

E_m ve E_n , geçişin gerçekleştiği seviyelerin enerjileridir.

Atom bir radyasyon alanının etkisinde ise, bir foton yayınlamasına sebep olabilir ve geçiş olasılığı,

$$C_m = A_{mn} + \rho_{mn} \cdot B_{mn} \quad (4.23)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki A_{mn} ; kendiliğinden geçiş olma olasılığı, B_{mn} ; emisyonun olma olasılığı, ρ_{mn} ; ν_{mn} frekanslı elektromanyetik radyasyonun yoğunluğu ve C_{mn} ; m enerji seviyesinden daha düşük olan n enerji seviyesine birim zamanda geçiş olasılığıdır.

Bir atomun iki ya da daha fazla enerji seviyesi, aynı enerjiye sahip ise, söz konusu seviye dejeneredir ve bu enerji seviyesinin çok katlılığı olarak isimlendirilir.

E_m ve E_n enerji seviyelerinin, dejenere olduğunu kabul edelim. Bu durumda, birim zamandaki ν_{mn} frekanslı bir radyasyonun yayınlanma olasılığı;

$$A_{mn} = \frac{4\nu_{mn}^3}{3hc^3} \sum |M_{mn}|^2 \quad (4.24)$$

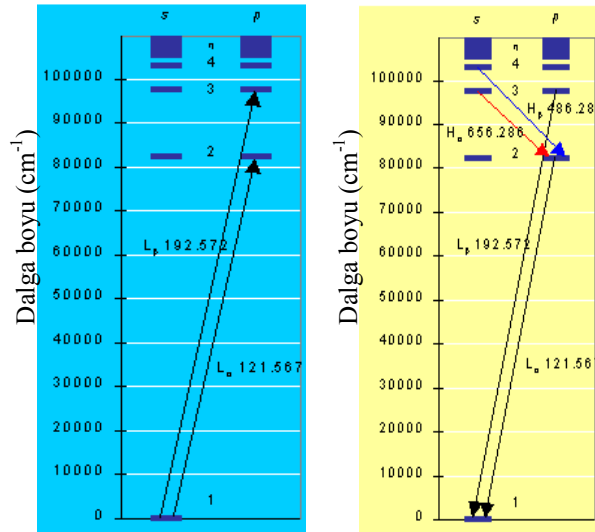
ifadesi ile verilir. Burada, M_{mn} elektrik dipol momentidir. Uyarılmış durumdaki bir atomun ortalama ömrü ise;

$$\tau_m = \frac{1}{\sum_n A_{mn}} = \frac{1}{A_m} \quad (4.25)$$

olarak tanımlanır. Uyarılmış durumdaki bir parçacığın ömrü, kendiliğinden geçişin olma olasılığının tersidir. Bu ömür, $\tau \cong 10^{-8} s$ civarındadır ve görünür bölgede bir radyasyon oluşturur. Bu, plazma durumunda gerçekleşir. Plazmada bulunan uyarılmış atomlar,

kendiliğinden radyasyonla ya da diğer herhangi bir atom ya da moleküller ile çarpışmaları sonucunda, uyarılmış seviyeden kararlı hale radyasyon yayınlamadan geçiş yapar.

Atomlar, çarpışmalarla ya da radyasyon absorpsiyonu sonucunda ulaştıkları uyarılmış halden, τ_m süresi sonunda foton yayınlayarak, daha yüksek enerji seviyesinden daha düşük enerji seviyesine geçiş yaparlar. Bu yayınlanan fotonların her birinin, karakteristik dalga boyları vardır. Optik spektroskopide ilgilenilen bölge 100 – 900 nm (UV bölgeden yakın IR'ye) aralığındadır. Plazmanın rengini gözle gözlemleyebildiğimiz bölge, yani görünür ışık bölgesi yaklaşık olarak 400 nm (mavi) ile 700 nm (kırmızı) aralığındadır [42]. Şekil 4.5a'da hidrojen atomunun absorpsiyonu için ve şekil 4.5b'de hidrojen atomunun emisyonu için Grotrian diyagramları görülmektedir.



Şekil 4.5. Hidrojenin atomunun (a) absorpsiyonu, (b) emisyonu için Grotrian diyagramı

Plazma reaktöründen ya da elektriksel deşarj cihazlarından elde edilen hidrojen plazmasının emisyon spektrumu, şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Hidrojen atomunun plazma reaktöründe ya da elektriksel deşarj cihazındaki emisyon spektrumu

4.4. Moleküler Spektroskopi

Moleküler bir sistemin enerji düzeyleri arasında geçişler, emisyon ya da absorpsiyon biçiminde olur. Moleküllerin spektrumları, atomların spektrumlarından daha karışıktır. Moleküllerin spektrumları; dönme, titreşim ve elektronik enerji seviyelerinde meydana gelen değişimler sonucunda ortaya çıkar [43].

Moleküllerin spektrumları, oldukça geniş bir frekans (veya dalga boyu) bölgesini kapsayan, geniş bantlar biçiminde karşımıza gelmektedir. Ayırma gücü yüksek spektrometreler ile yapılan gözlemler, moleküler bantların birbirine çok yakın çizgilerden oluştuğunu ve belirli limitlerde son bulduklarını gösterir [43].

Genel olarak, her hangi bir T sıcaklığında, bir molekülün toplam enerjisi; öteleme (kinetik), dönme ve titreşim enerjilerinin toplamı olarak ifade edilir [43].

4.4.1. Moleküllerin dönme spektrumu

İki atomlu bir molekülde, dönme enerji düzeylerinin durumu ve dönme (soğurma) tayfında gözlenen geçişlerin deneyle saptanabilmesi için, moleküllerin soğurma tayflarının elde edilmesi gerekmektedir. Daha alt bir E_i düzeyinde bulunan bir molekül, dışarıdan aldığı enerji ile daha üst bir E_s enerji düzeyine uyarılır ve

$$(4.26)$$

$$h\nu = E_s - E_i = \left[K_s(K_s + 1) - K_i(K_i + 1) \right] \frac{\hbar^2}{2I}$$

denklemini ile ifade edilir. Buradaki K değeri 0,1,2,3,... gibi bir tam sayıdır ve dönme kuantum sayılarını gösterir.

Bu şekilde elde edilen bir saf dönme tayfında, seçim kuralları $\Delta K = \pm 1$ olan geçişler izinli geçişlerdir. Bunun sonucu olarak (4.26) eşitliği,

$$h\nu = 2(K + 1) \frac{\hbar^2}{2I} \quad (4.27)$$

olarak ifade edilir ve sözü edilen dönme düzeyleri arasındaki geçişlere karşılık gelen dönme (absorbsiyon) spektrum çizgilerinin frekansı için de,

$$\nu = (K + 1) \frac{\hbar}{2\pi I} \quad (4.28)$$

yazılabilir [43].

Dönme enerji düzeylerinin aralıkları çok küçük ($\Delta E_r \cong 10^{-4}$ eV mertebesinde) olduğundan, bu düzeylerin oldukça alçak sıcaklıklarda bile uyarılabilirmeleri mümkündür. Buna karşılık alçak sıcaklıklarda çarpışmalar yolu ile moleküller arasında aktarılan enerji, çoğu zaman titreşim ve elektronik (optik) serbestlik derecelerinin uyarılması için yeterli değildir. Dolayısı ile düşük sıcaklıklarda, moleküllerin sadece dönme tayfları sıcaklıktan bağımsız olarak gözlenebilir [43].

4.4.2. Moleküllerin titreşim-dönme spektrumu

Çok atomlu moleküllerin titreşim serbestlik derecesine karşılık gelen enerji,

$$E_v = \left(n_v + \frac{1}{2} \right) h\nu_v \quad (4.29)$$

olacak biçimde ifade edilir. ν_v titreşim frekansı, $n = 0,1,2,3,\dots$ titreşim kuantum sayısı'dır. N atomdan oluşan bir molekülün titreşim enerjisi,

$$E_v = \frac{3N\hbar\bar{\epsilon}}{\exp(\frac{\hbar\omega}{kT}) - 1} \quad (4.30)$$

bağıntısı ile verilir. Burada $\bar{\epsilon}$, her atoma düşen ortalama titreşim enerjisini, k , Boltzmann sabitini ifade eder. İki atomlu bir molekülde, atomların bir kütle merkezi etrafındaki titreşim hareketleri, harmonik osilatörün titreşimine benzer. Bu durumda, titreşen atomların potansiyel enerjileri,

$$E_p(x) = \frac{1}{2}k'x^2 \quad (4.31)$$

şeklinde ifade edilir. Schrödinger dalga denkleminin çözümünden ise,

$$E_v = \left(n_v + \frac{1}{2}\right)\hbar\omega_0 \quad (4.32)$$

olarak yazılır ve E_v titreşim düzeyine ait enerjileri, $n_v=0,1,2,3,\dots$ titreşim kuantum sayısını gösterir [43].

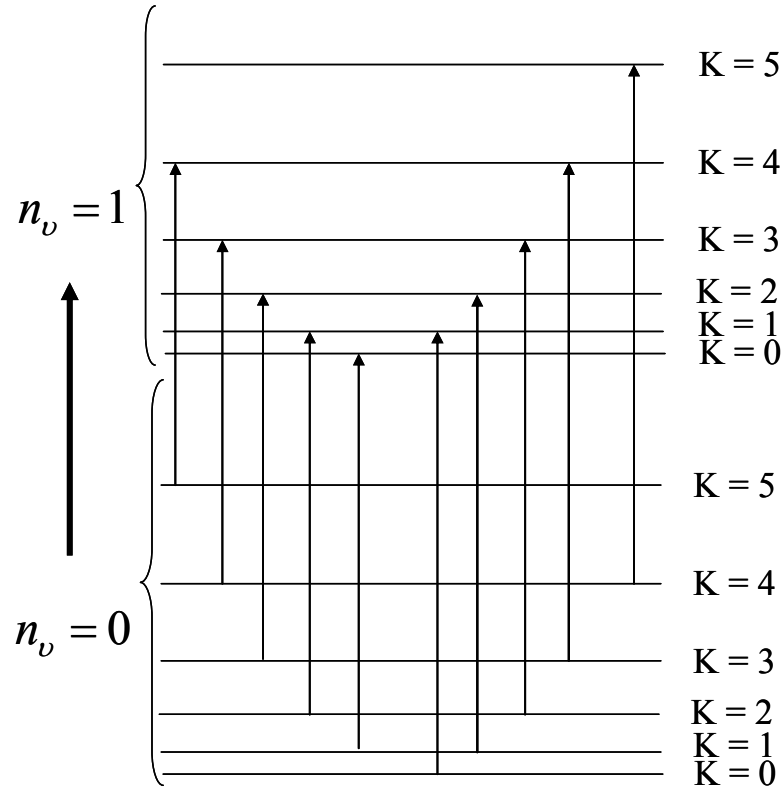
Yüksek sıcaklıklara doğru gidildikçe, moleküllerin dönme düzeylerinin yanı sıra, titreşim düzeylerinin de uyarıldıkları görülür. Böyle bir durumda elde edilen tayf, artık bir titreşim-dönme tayfıdır. Dönme ve titreşim serbestlik derecelerinin her ikisinin birden uyarılmış olduğu bir molekülde, toplam enerji;

$$E = E_v + E_r = \left(n_v + \frac{1}{2}\right)\hbar\omega_0 + K(K+1)\frac{\hbar^2}{2I} \quad (4.33)$$

olacaktır. Titreşim enerji düzeylerine ait enerji aralıkları $\hbar\omega_0/2I \approx 10^{-1}eV$ mertebesinde dir. Bunun sonucu olarak da, herhangi bir molekül için, her titreşim düzeyine bir dönme enerji seviyesi karşılık gelmektedir. Düzeyler arası geçişler; $\Delta n_v = \pm 1$, $\Delta K = \pm 1$ seçim kuralına uygun olarak gerçekleşir. Titreşim-dönme tayfına ait çizgilerin frekansları, seçim kuralına göre,

$$\nu = \nu_0 + K(K+1)\frac{\hbar^2}{2I} \quad (4.34)$$

bağıntısı ile belirlenebilir. İki atomlu bir molekülde, titreşim ve dönme enerji düzeyleri arasındaki geçişler ve buna karşı gelen tayf çizgileri şekil 4.7’de gösterilmiştir [43].



Şekil 4.7. Titreşim ve dönme spektrumunun izinli geçişleri ve spektrum çizgilerinin genel görünümü [43]

Titreşim-dönme tayfları, yakın kırmızı ötesi bölgede yer alırlar ve tayf çizgilerinin yer ve şiddetleri spektroskopik yöntemlerle belirlenir [43].

4.4.3. Elektronik-titreşim-dönme spektrumu

Sıcaklığın veya atoma verilen enerjinin yeterince büyük olması durumunda; moleküllerin ve titreşim serbestlik derecelerinin yanı sıra, elektronik (optik) serbestlik dereceleri de uyarılmış olur. Bu durumda elde edilen spektrum elektronik-titreşim-dönme spektrumudur. Molekülde düzeyler arası geçişlerin de gerçekleşmesi sonucu, molekülün toplam enerjisi;

$$E = E_e + E_v + E_r = \left(n_v + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega_0 + K(K+1) \frac{\hbar^2}{2I} \quad (4.35)$$

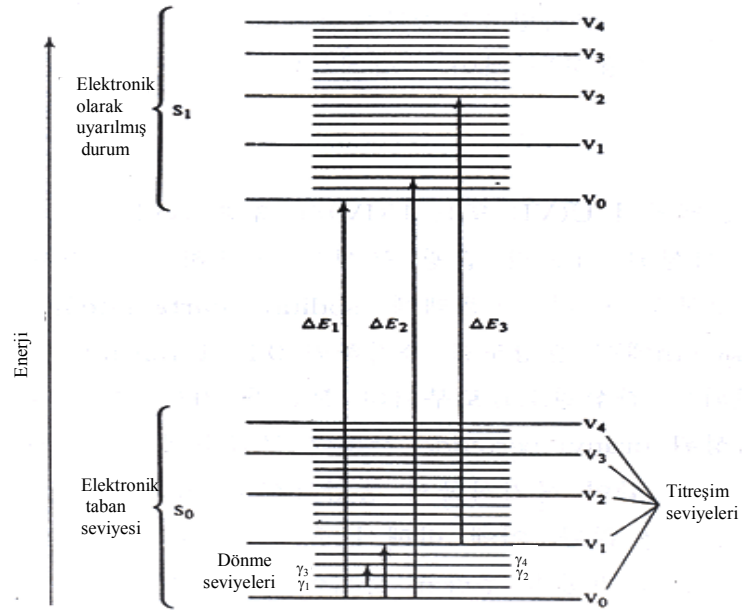
şeklinde ifade edilir ve spektrum çizgilerinin frekansları;

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \nu_e + \left[\left(n_{vs} + \frac{1}{2} \right) \nu_{os} - \left(n_{vi} + \frac{1}{2} \right) \nu_{oi} \right] + [K_s(K_s+1) - K_i(K_i+1)] \frac{\hbar}{2\pi I} \quad (4.36)$$

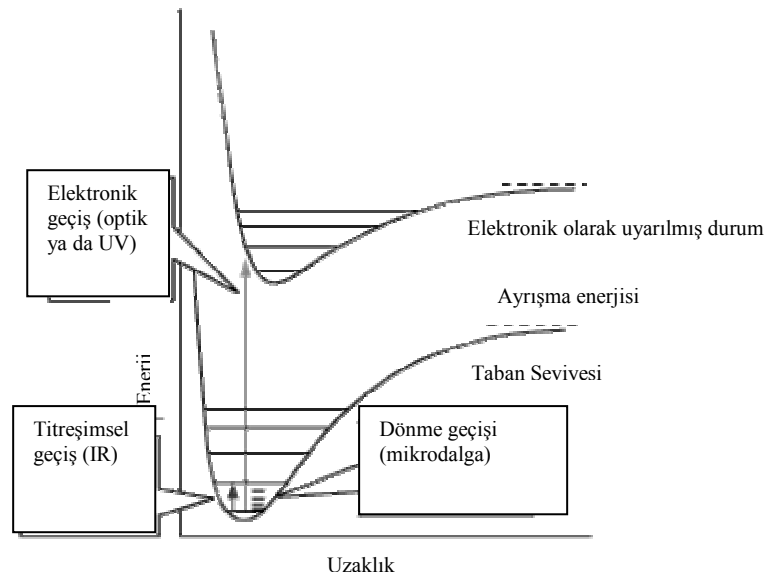
eşitliği ile hesaplanır.

Elektronik enerji düzeyleri arasındaki uzaklıklar $\Delta E_e \approx 1-10 \text{ eV}$ mertebesinde olup, titreşim ve özellikle dönme düzeyleri arasındaki uzaklığa göre çok daha büyüktür. Bunun sonucu olarak, her elektronik düzey bir seri titreşim düzeyine ve her titreşim düzeyi de bir seri dönme düzeyine sahip olacak biçimde, incelenmekte olan spektrumda çok katlı bir ince yapı ortaya çıkar. İki atomlu bir molekülün elektronik-titreşim-dönme enerji düzeylerinin bağıl konumları ve izinli geçişler şekil 4.8’de görülmektedir. Spektrum çizgileri, yüksek frekanslara doğru birbirine yaklaşan çizgi grupları (bantları) oluşturur. Farklı elektronik düzeyler arasındaki geçişler, her grup için bir bant yapısının oluşmasına yol açar [43].

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi iki atomlu bir molekülde, enerji düzeylerinin bağıl konumlarını, potansiyel enerji eğrisi üzerinde göstermek de mümkündür. Genel olarak, molekül spektrumlarının incelenmesi ile, atomlar arası uzaklık, eylemsizlik momenti gibi önemli fiziksel büyüklüklerin tayin edilmeleri mümkün olur. İki den fazla atomu olan moleküllerde; çok sayıdaki dönme ve titreşim sertlik derecesinin ve buna bağlı olarak birden fazla eylemsizlik momentinin ortaya çıkması nedeniyle gözlenen spektrumların yorumlanması daha da zorlaşır [43].



Şekil 4.8. İki atomlu bir molekülün elektronik-titreşim-dönme enerji düzeylerinin bağlı konumları ve izinli geçişleri [44]



Şekil 4.9. İki atomlu bir molekülde, enerji düzeylerinin bağlı konumları [45]

4.5 Optik Emisyon Spektroskopisi (O.E.S.) ve Plazma Karakterizasyonu

Diğer spektroskopik yöntemlerden farklı olarak optik emisyon spektroskopisinde en yakın komşu atom ve taneciklerin bozucu etkisini önlemek için atomları serbest hale, yani gaz haline geçirmek gerekir. Daha sonra uygun uyarma kaynağı olarak alev, elektrik arkı ve kıvılcım, halka katot, laser, Glim tipi deşarj tüpleri, indüktif eşlemeli plazmalar (I.E.P.) kullanılarak analizler gerçekleştirilebilir. Günümüzde bunlardan en yaygın kullanılanı ise I.E.P. ve optik emisyon spektroskopisi (O.E.S.) cihazlarıdır. Ayrıca O.E.S. ile her türlü plazmanın karakterizasyonu da yapılabilmektedir [41].

Plazma analizinin amacı nicel olarak plazmanın bileşimi hakkında bilgi edinmek ve ayrıca plazma sıcaklığı, parçacık yoğunluğu, ideal olmayan faktör, özgül ısı, viskozite, termal ve elektriksel iletkenliği gibi parametreler hakkında bilgi sahibi olmaktır [46].

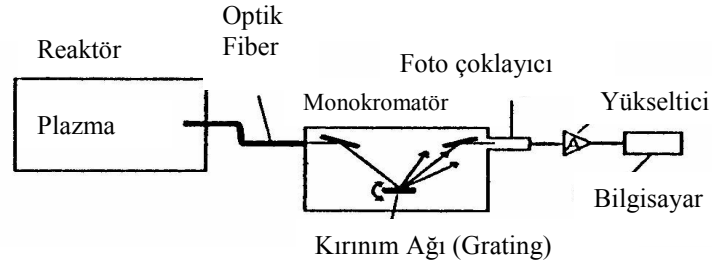
Mavi ötesi ve görünür bölgedeki elektromanyetik ışınlarla serbest atom ve iyonlar arası etkileşim optik emisyon spektroskopisi olarak bilinir [41].

Optik karakterizasyon tekniği plazmayı pertürbe etmeksizin farklı türlerin konsantrasyonları ve bunların sıcaklıkları hakkında bilgi sağlar. Bunlar, genellikle atomların çeşitli oluşumları içindeki serbest elektronların yakalanması sonucu oluşan, iyonlar ve atomlarla çarpışma esnasında gerçekleşen optik radyasyonun analizlerine dayanır.

O.E.S., plazma veya gaz deşarj reaktörlerine ve vakum sistemlerine dışarıdan bağlandığı için, kolaylıkla uygulanabilmesi, çok hızlı sonuç alınabilmesi, yüksek çözünürlüğe ve güvenilirliğe sahip olması gibi bazı avantajları vardır.

O.E.S., elektron çarpışmasıyla, uyarılma ve ayrışma gibi reaksiyonların sonucundaki ürün olarak ortaya çıkan fotonların analiz edilmesi ile gerçekleştirilir.

Şekil 4.10’da basit anlamda plazma optik emsiyon spektroskopisi için gerekli olan deneysel sistem gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Plazmanın optik emsiyon spektroskopisi için deneysel düzenek [33]

Plazma tarafından yayınlanan ışık, doğrudan ya da fiber optik kablo yardımıyla monokromatöre iletilir. Monokromatörün kırınım ağından yansıyanlar, detektöre gelerek burada spektral verilerin analizi gerçekleştirilir. Sadece belirli dalga boyundaki ışık monokromatörden çıkabilir ve çoklayıcı detektöre iletilir. Bu detektör gelen ışığın şiddetiyle orantılı bir fotoakım oluşturur. Plazma emisyonunun spektrumu, monokromatördeki yansıtıcının bir motor yardımıyla döndürülmesiyle oluşur. Monokromatörden çıkan monokromatik ışık (tek dalga boylu ışık), analog modda (akımölçer) ya da dijital modda (foton sayıcı) çalışan bir çoklayıcı tüpü ile ölçülür. Alternatif olarak monokromatör çıkışına “çok kanallı analizör” (O.M.A.) yerleştirilerek monokromatik ışık ölçülebilir. O.M.A.’nın avantajı ise emisyon spektrumunun, monokromatörü taramadan anında kaydedilebilmesidir. Plazmadaki iyonların optik emisyon spektroskopisi 200 nm’den büyük dalga boyundaki çizgileri dedekte eden bir detektör gerektirir [33].

Plazma sıcaklığının ölçülmesi, O.E.S. çizgilerinin kullanımı için çok basit ve kullanışlı bir yöntemdir. Prob metotlarının aksine plazmayı pertürbe etmeksizin, plazma sıcaklığı ölçümleri için kolay uygulanabilir bir yöntemdir. Atomun her hangi bir seviyeden başka bir seviyeye geçişi esnasında yayınlanan fotonun şiddeti,

$$I_{mn} = Qh\nu_{mn}A_{mn}N\frac{g_m}{B(T)}\exp\left(-\frac{E_m}{k_B T}\right) \quad (4.37)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada Q; sabit, h; Planck sabiti, ν_{mn} ; radyasyon frekansı, N; taban seviyesindeki atomun konsantrasyonu, g_m ; üst seviyenin istatistiksel ağırlığı, B(T); toplam fonksiyonu, E_m ; üst seviyenin uyarılmış enerjisi, T; plazma sıcaklığıdır [38].

Bu denklem uyarılmış durumdan taban enerji durumuna geçiş esnasında yayınlanan foton şiddetini belirler. Denklem 4.37'deki B(T) toplam fonksiyon teriminin belirlenmesinin güçlüğünden dolayı, aynı taban enerji seviyesi olan iki geçişin oranı şeklinde yazılarak basitleştirilebilir. Bu iki geçiş birbirine oranlandığında ise;

$$k_B T = \frac{E_m - E_n}{\ln \frac{I_{pn}}{I_{mn}} - \ln \frac{g_p A_{pn} \lambda_{mnn}}{g_m A_{mn} \lambda_{pn}}} \quad (4.38)$$

denklemini elde edilir.

Plazma sıcaklığını belirlemek için başka bir yöntemde Boltzman grafik metodudur. Bu metot kullanılırken

$$\ln\left(\frac{I_{mn}\lambda_{mn}^3}{g_m f_{mn}}\right) = -\frac{E_m}{k_B T} + C \quad (4.39)$$

denkleminde yararlanılır. Burada C elektron sıcaklığını elde etmek için olası bir sabit değerdir [38].

P. Frugier ve arkadaşları, metal buhar plazmalarının elektron sıcaklığını veren ifadeyi;

$$T = \frac{E_{k1} - E_{k2}}{k} \left\{ \ln \left[\frac{I_2(x) A_1 g_1 \lambda_2 \left(\frac{E_{k2}}{E_{k1}} \right)^{1/2}}{I_1(x) A_2 g_2 \lambda_1} \right] \right\}^{-1} \quad (4.40)$$

şeklinde vermişlerdir. Alt indis 1 ve 2 ayrı ayrı iki farklı elektronik seviyeye karşılık gelir. E_{k1} ve E_{k2} sırasıyla 1 ve 2 seviyelerinin enerjilerini ifade eder. λ_1 ve λ_2 , yayınlanan fotonların dalga boyları; I_1 ve I_2 ölçülen bağıl şiddetleri; g_1 ve g_2 , bu seviyelerin istatistiksel ağırlıklarını, A_1 ve A_2 ise geçiş olasılıklarını temsil etmektedir [47]. P.Frugier ve arkadaşları metal buharı plazmaları için ikiz hamlaçlı (anot ve katot hamlaçlı olan) ark sistemi kullanmışlardır.

Plazma içerisindeki elektronların yoğunluğu birim hacim içerisindeki (cm^{-3}) toplam parçacık sayını ifade eder ve

$$n_e \approx 10^{18} T Z^{7/2} \left(\frac{1}{n_a} \right)^2 \left(\frac{2}{n_b} \right)^5 cm^{-3} \quad (4.41)$$

şeklinde verilmektedir. Bu ifadedeki n_b ve n_a sırası ile uyarılmış seviye ve taban seviyesini göstermektedir. T , keV biriminde plazma sıcaklığını ifade eder [38].

Plazma yoğunluğu n_e ve Plazma elektron sıcaklığı T biliniyorsa, plazma için başka bir parametre olan plazma birleşme parametresi (ideal olmayan etki), γ ;

$$\gamma = \frac{E_p}{E_k} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{(2N_e)^{1/3}}{kT_e} \quad (4.42)$$

ifadesi ile hesaplanabilir [48].

$\gamma \ll 1$ ise elde edilen plazma ideal plazma olarak tanımlanır. $\gamma \leq 1$ ise, plazma zayıf bir şekilde birleşmiş ideal olmayan, $\gamma > 1$ olduğunda plazma kuvvetli bir şekilde birleşmiş ideal olmayan plazma anlamına gelmektedir. İdeal olmayan ve kuvvetli birleşmiş plazmalar yoğun ve soğuk plazmalardır. Bu tür plazmalarda parçacıklar arası mesafe yeterince kısadır ve parçacık hızı, yüklü parçacıkların önemli elektrostatik etkileşimleri üretmesi için yeterince küçüktür [29].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yüksek basınç şartlarında gerçekleştirilen **Monokromatizasyon etkisi (M-etkisi)**, küçük deşarj boşluk derinliğine sahip (0.15mm) plazma televizyon ekran panelleri ve Ne, Ar, Kr ve Xe soy gazlarına elektronegatif bir gaz ilave edilmesi ile kontrol edilebilmiştir [1-26]. Plazma televizyonlarının ekran panellerinde çalışma basıncı 100–400 Torr’dur. 1-2 kV ve 1-20 kHz’lik güç kaynakları kullanılarak deşarj oluşturulmaktadır. **Bu çalışmada amaç, daha büyük deşarj boşluk derinliğine sahip olan deşarj tüplerinde (36 mm) ve kısmen düşük basınçlarda (30-70 Torr) Monokromatizasyon etkisinin (M-etkisinin) gözlenebilmesi için yeni tip bir deşarj tüpü oluşturmak ve M-etkisi değerinin, bu çalışma parametrelerinde de gözlenebileceğini göstermek ve saf gaz ve çoklu gaz karışımlarında deşarj akımlarının basınç ile değişimini incelemektir.**

Deneylerde 25kV ve 25kHz’lik yüksek voltaj atmalı güç kaynağı kullanılmıştır.

Gaz veya çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarj spektrumları, optiksel çok kanallı analizör (O.M.A.) kullanılarak, 200-850 nm dalga boyu aralığında elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

Ayrıca, Optik emisyon spektroskopisinin (O.E.S.) farklı bir uygulaması olarak da, Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) gümüş metal plazması için elektron sıcaklığı, parçacık yoğunluğu ve ideal olmayan faktör hesapları yapılmıştır.

5.1 İyonların Birleşme Reaksiyonlarının DeneySEL Olarak Gerçekleştirilmesi

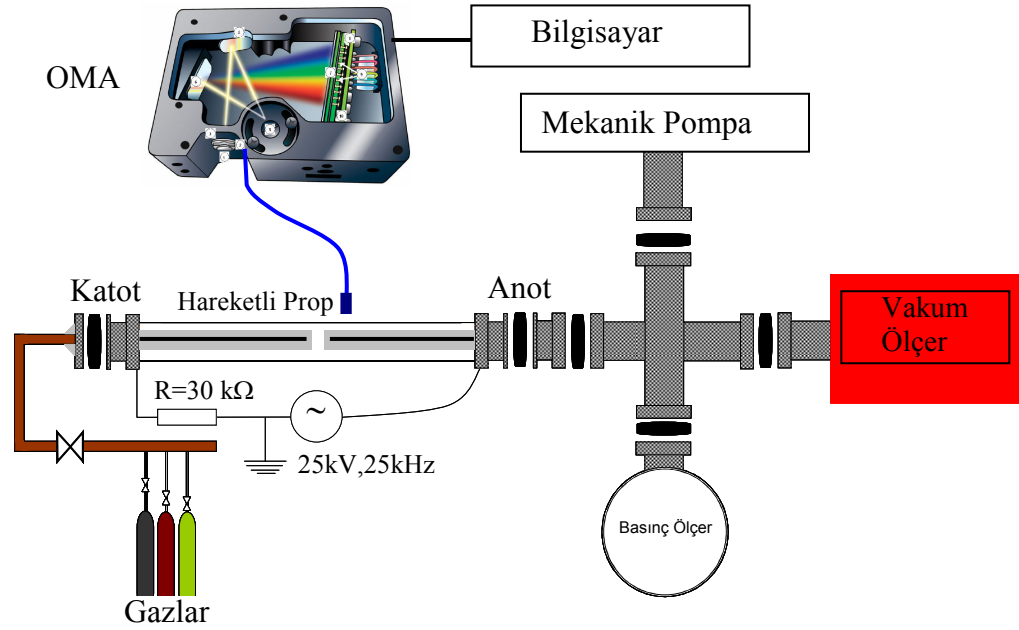
5.1.1. Deney sistemi

Şekil 5.1’de gaz ve çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjının üretildiği deney sisteminin şematik çizimi verilmektedir. Deney sistemimiz;

- i- Deşarj tüpü,
- ii- Elektrotlar,

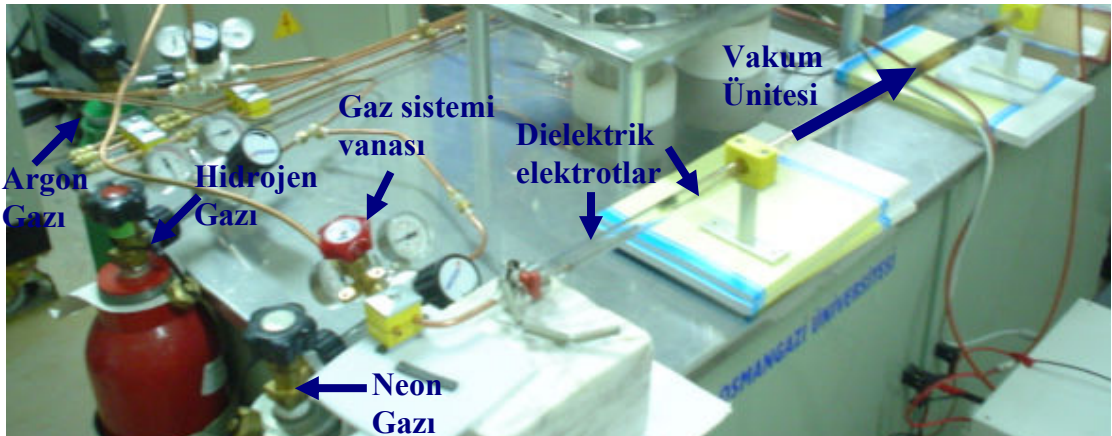
- iii- Vakum ve gaz depolama sistemi,
- iv- Spektrometre,
- v- Güç kaynağı

olmak üzere beş ana kısımdan oluşturulmuştur.



Şekil 5.1. Deney sisteminin şematik gösterimi

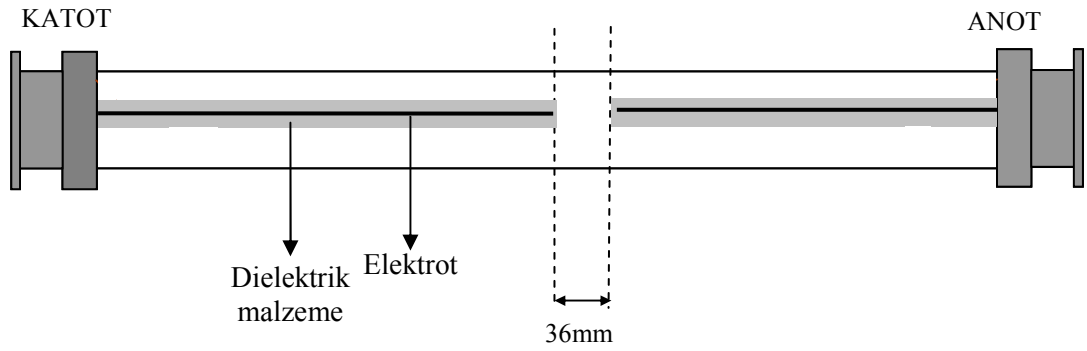
Gerçekleştirilen bu dielektrik bariyer deşarj sisteminin fotoğrafı ise şekil 5.2’de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Dielektrik bariyer deşarj deney sisteminin dijital fotoğrafı

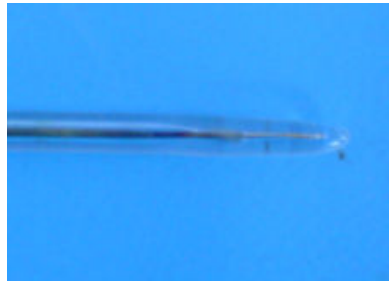
Bu sistemin detayları aşağıdaki gibidir;

- i- **Deşarj Tüpü;** Dielektrik bariyer deşarjını oluşturmak için kullanılan deşarj tüpünün boyu 1 metre ve çapı 18 mm olan kuartz camdan imal edildi. Deşarj tüpü içerisine dielektrik ile kaplanmış iki adet elektrot, aralarındaki uzaklık 36 mm olacak şekilde yerleştirildi. Şekil 5.3’de deşarj tüpü ve elektrotların şematik çizimi gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Deşarj tüpü ve elektrotlar

- ii- **Elektrotlar;** Dielektrik bariyer deşarj oluşturmak için kullanılan 1,5 mm çaplı tungsten elektrotların uçları, %20 KOH+%80 H₂O çözeltisinde elektro çöktürme yöntemi ile özel olarak sivriltildi. Daha sonra bu elektrotların üzeri tamamen dielektrik malzeme ile kaplandı. Dielektrik bariyer deşarj oluşturmak için yapılan elektrotların dijital fotoğrafları şekil 5.4’de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.4. Elektrotların dijital fotoğrafları

- iii- **Vakum ve gaz depolama sistemi;** Bu sistem ile deşarj tüpü 3×10^{-3} Torr değerine kadar vakumlanabilmektedir. İstenilen oranlarda gaz ya da çoklu gaz karışımları (Ar, Ne, He, H₂) oluşturulabilmektedir.

Bu sistem;

- bir adet mekanik pompa (Boc Edwards Rotary mekanik pompa, E2M40),
- bir adet booster vakum pompası (Boc Edwards Booster pompa, EH250),
- bir adet düşük vakum ölçer (Boc Edwards pirani gauge, $P > 10^{-4}$ Torr)
- bir adet basınç ölçer (Boc Edwards pressure gauge, (0-760 Torr)
- soy gaz olarak
 - Argon (Messer marka Argon gazı MSDS No:003A, %100Ar)
 - Neon (Messer marka Neon gazı MSDS No:086A, %100 Ne)
 - Helyum(Messer marka Helyum gazı MSDS No:061A, %100 He)
- elektronegatif gaz olarak ta H₂ (Messer marka Hidrojen gazı MSDS No:067A, %100H₂)

gazı kullanılarak oluşturulmuştur.

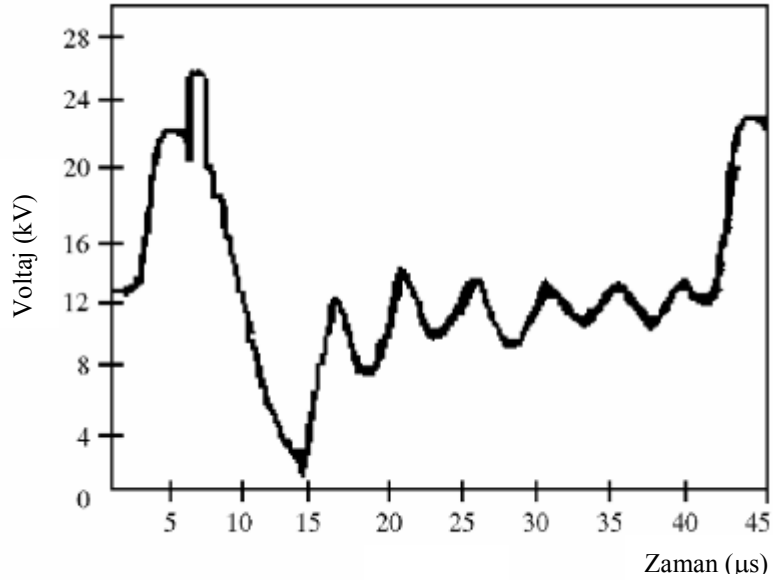
- iv- **Spektrometre;** Spektroskopik ölçümler için, OceanOptics USB2000 marka 600 grooves/mm'lik spektrometre kullanıldı. Gaz ve çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarından elde edilen veriler fiber optik kablo yardımı ile spektrometreye taşındı ve OOIBASE32 programı yardımı ile ölçüm sonuçları alındı ve değerlendirildi.

- v- **Güç kaynağı;** Dielektrik bariyer deşarjını oluşturmak için kullandığımız yüksek voltaj (25 kV, 25 kHz) atmalı güç kaynağının fotoğrafı şekil 5.5'de görülmektedir.



Şekil 5.5. Kullanılan güç kaynağının fotoğrafı

Güç kaynağından elde edilen gerilimin, direnç üzerinden osiloskop ile alınan voltaj-zaman değişimi şekil 5.6’da gösterilmiştir.

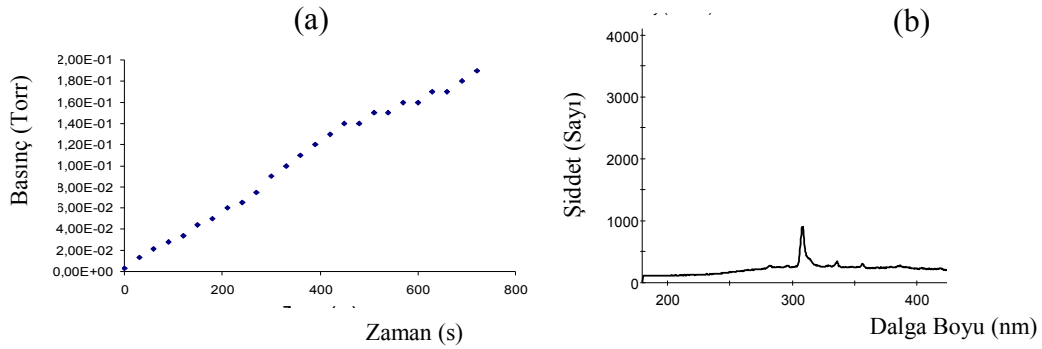


Şekil 5.6. Güç kaynağının voltaj-zaman değişimi

5.1.2 Deneyin yapılışı ve deney sonuçları

Öncelikle deneysel çalışmalar esnasında, deşarj tüpü ve bağlantılarında meydana gelebilecek vakumda kaçak olup olmadığını belirlemek üzere, tüm sistemin içerisindeki basıncın zamanla değişimi belirlendi. Deşarj tüpü içerisindeki basınç (Torr) değerinin zamanla (s) değişimi şekil 5.7(a)’da gösterilmiştir. Vakum pompası vanası kapatıldıktan sonraki 12 dakika süresince sistemin içerisindeki vakum değeri, 3.0×10^{-3} Torr değerinden 1.9×10^{-1} Torr değerine kadar yükselmiştir.

Yukarıda belirtilen kaçağı minimuma indirmek ve spektrumlardaki 300 nm civarındaki istenmeyen havaya ait pikin oluşmaması için; gaz ve çoklu gaz karışımlarının her birinin dielektrik bariyer deşarjları elde edilmeden önce, deşarj tüpü 3×10^{-3} Torr değerine kadar vakumlanmıştır. Buna rağmen, elde edilen spektrumların bazılarında 300 nm civarındaki bu pik, şekil 5.7(b)’deki görülmektedir.



Şekil 5.7.(a)Deşarj tüpü ve bağlantı sistemleri için Basınç (Torr)-Zaman (s) değişimi,
(b) Vakum kaçağından dolayı bazı spektrumlarda görünen havaya ait pikler

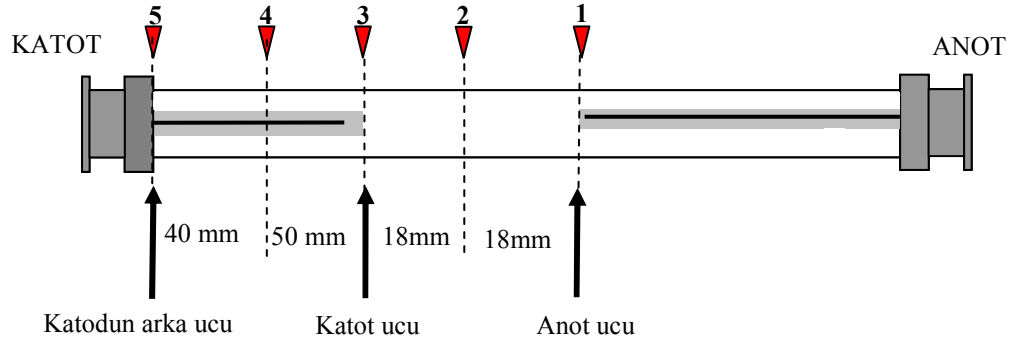
Gaz ve çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjları sırası ile;

- i- Saf Ar,
- ii- Saf Ne,
- iii- Saf He,
- iv- %50 Ar+%50 H₂,
- v- %50 Ne+%50 H₂,
- vi- %50 He+%50 H₂,
- vii- %15 Ar +%15 Ne+%70 H₂,
- viii- %25 Ar +%25 Ne+%50 H₂,
- ix- %35 Ar +%35 Ne+%30 H₂,
- x- %45 Ar +%45 Ne+%10 H₂,

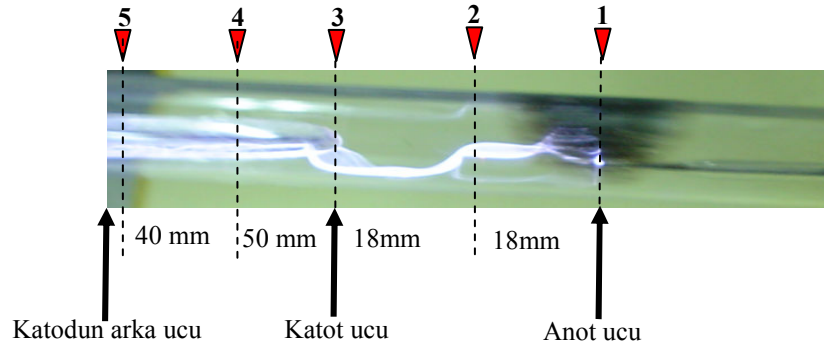
şeklinde 10 ayrı grup için elde edilmiştir. Her bir grup için sırası ile; 70 Torr, 60 Torr, 50 Torr, 40 Torr ve 30 Torr basınç değerlerinde dielektrik bariyer deşarjları oluşturulmuştur.

Oluşturulan her bir deşarj için spektroskopik ölçüm değerleri, deşarj tüpünün beş farklı noktasında ayrı ayrı alınmıştır. Şekil 5.8'de spektrumların alındığı noktalar (**prob konumları**) gösterilmiştir. Gaz ve çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının spektrumlarını beş farklı noktada almamızın nedeni, elde edilen deşarjların, deşarj eksenini boyunca değişimini görebilmektir. Şekil 5.9'da oluşturulan bir

deşarjda katot ve anodun uçları ile ölçüm alınan noktalar, arkdeşarj fotoğrafları üzerinde gösterilmektedir.

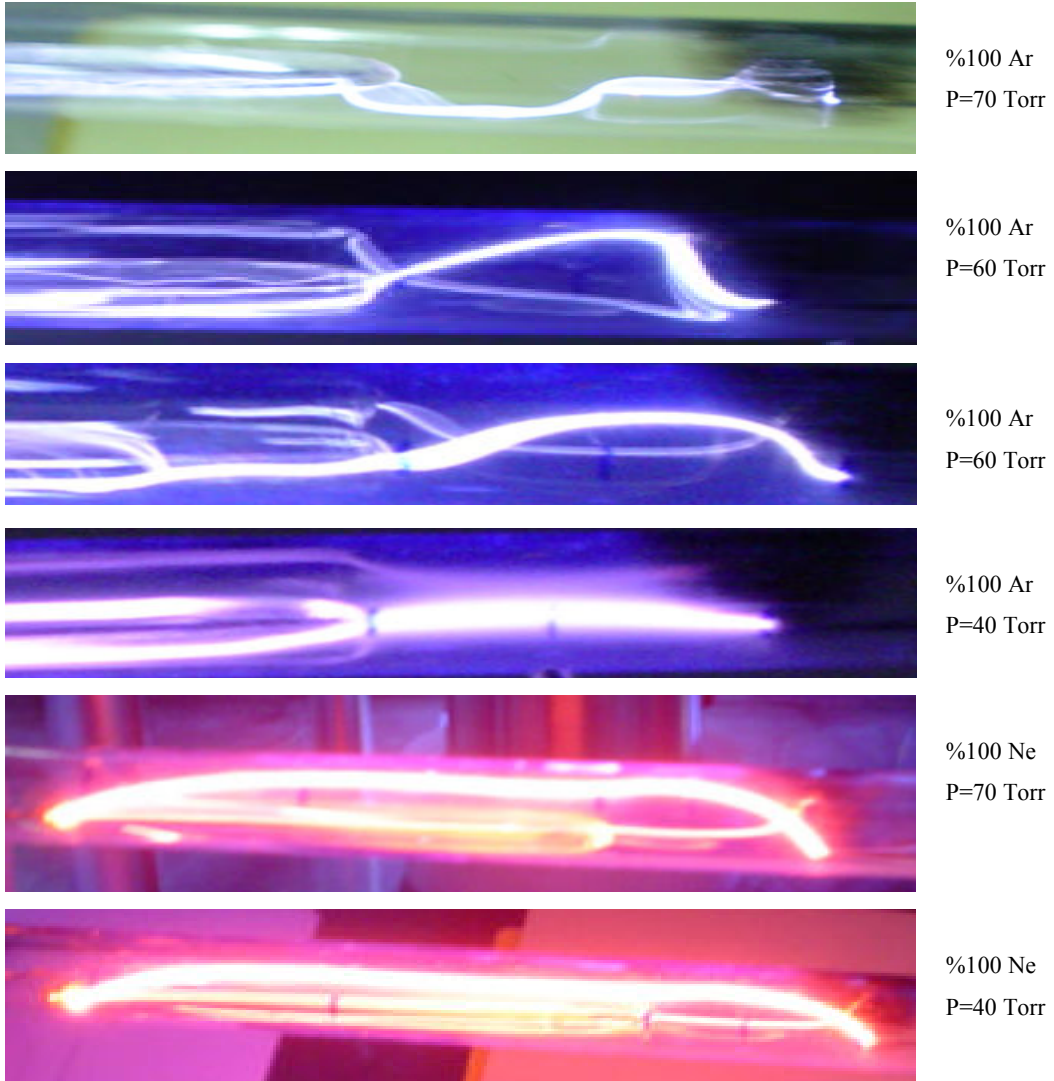


Şekil 5.8. Deşarj tüpünde spektrumların alındığı noktalar



Şekil 5.9. Argon gazının 70 Torr'daki arkdeşarjının fotoğrafında katot ve anot uç noktaları ile spektrumun alındığı noktaların gösterimi

Yukarıda belirtilen 10 farklı grup için, beş farklı basınç değerlerinde ve 5 farklı noktadan alınan ölçümler (10x5x5) toplamda 250 adettir. Örnek olmak üzere argonun ve neonun altı deşarjının dijital fotoğrafları Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Elde edilen verilerin grafikleri, Microsoft Office Excel (2003) programı kullanılarak çizildi. Grafiklerdeki eğim çizgisi biçimi, eğilim/regresyon özelliği kullanılarak belirlendi.



Şekil 5.10. Deşarj tüpünde Ar ve Ne gazının farklı basınçlardaki deşarjlarının dijital fotoğrafları

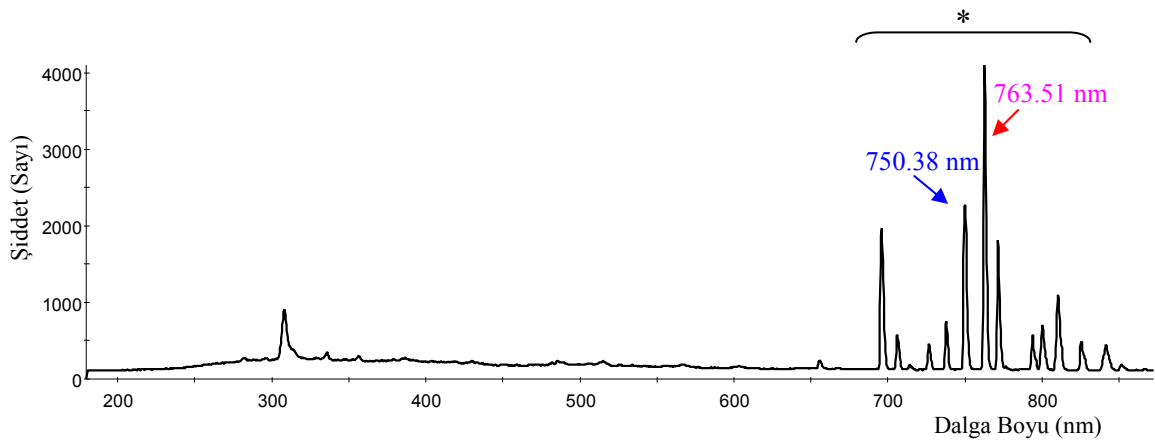
I- Saf Argonun dielektrik bariyer deşarjlarının optik emisyon spektrumları ve sonuçları;

Beş farklı basınç değerinin her birisi için beş farklı prob konumundan alınan 25 adet optik emisyon spektrumlarından örnek olmak üzere argon gazının 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki dielektrik bariyer deşarjının optik emisyon spektrumu şekil 5.11’de gösterilmiştir. Diğer basınçlarda ve prob konumlarındaki emisyon

spektrumlarının tümü benzer sonuçlar gösterdiğinden her biri ayrı ayrı verilmemiştir. Optik emisyon spektrumlarının tümünde en kuvvetli iki pik olarak görünen ve argon gazı için karakteristik olan 750.38 nm ve 763.51 nm'lik dalga boylarındaki piklerin bağıl şiddetleri $I_{750.38\text{nm}}$ ve $I_{763.51\text{nm}}$ olup şiddetlerin büyüklük sıralaması;

$$I_{750.38\text{nm}} < I_{763.51\text{nm}}$$

olacak şekilde elde edilmiştir. Karakteristik olarak kabul edilen ve deney sonuçlarında ele alınan bu iki pikin dalga boyu (nm) değerlerinde hiçbir kayma gözlenmemiştir. Şekil 5.11'de görülen spektrum 2 numaralı prob konumundan yani anot ile katodun ortasından alınmıştır.



Şekil 5.11. Ar gazı (70 Torr) deşarjının 2 numaralı prob konumundan alınan optik emisyon spektrumu

Şekilden görüldüğü gibi 300 nm civarında görünen pik sisteme dışarıdan giren havanın oluşturduğu piktir. 650 nm'den daha düşük dalga boyu değerlerinde argon atomunun çizgi spektrumu bulunmamaktadır. Nötral Ar gazının en şiddetli piklerinden olan 750.38 nm ve 763.51 nm'lik dalga boyuna karşılık gelen çizgi spektrumları ve Ar atomuna ait pikler (*) ile işaretlenmiştir.

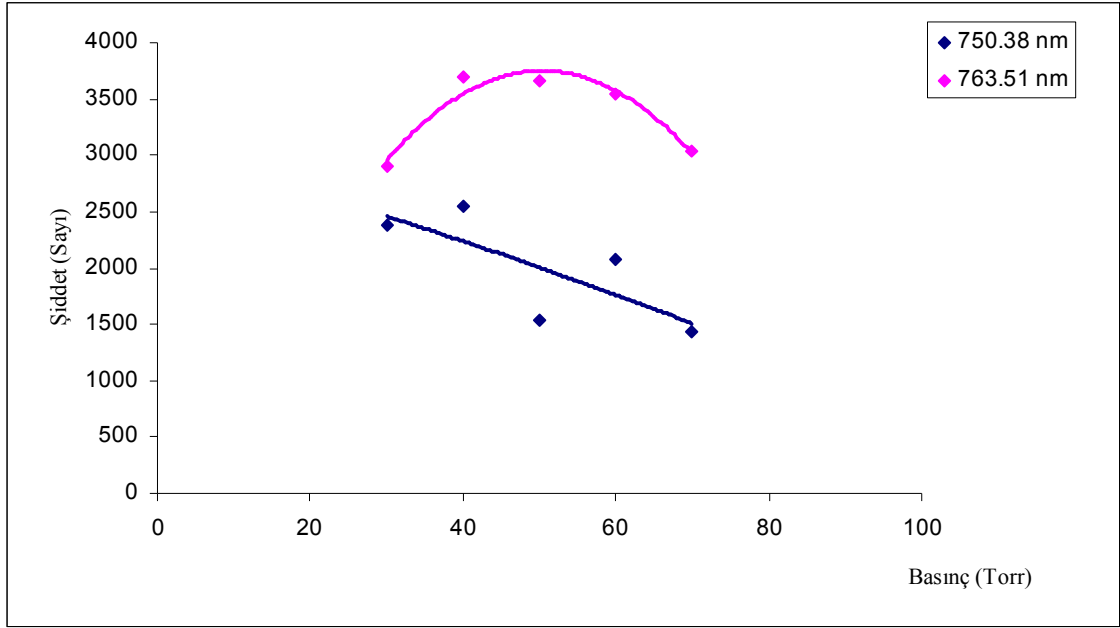
Elde edilen deney sonuçlarını karşılaştırmak üzere çizelge 5.1'de verilen National Institute of Standards and Technology, USA [39]'dan alınan nötral argon atomuna ait bağıl şiddet ve dalga boyu değerleri kullanılmıştır. Bu karşılaştırma

yapıldığında deneyden elde edilen piklere ait dalga boyu değerleri ile çizelge 5.1'deki dalga boyu değerleri **tam bir uyum** içerisinde. Şekil 5.11'deki şiddet eksenindeki değerler çizelge 5.1'deki bağıl şiddet değerlerinin yaklaşık 5 katı büyüklüğündedir. Şiddetlerin yüksek veya alçak değerlerde olması kullanılan ışık kaynağına ve diğer uyarma kaynaklarına bağlı olarak farklılık gösterir [39]. Deneyimizdeki farklılık da bundan dolayıdır. Çizelge 5.1'deki değerler 10A, 220 V DC ark deşarj kullanılarak elde edilmiştir [39]. Bizim deneylerimizde ise 25 kV, 25 kHz'lik güç kaynağı kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Nötral argon atomunun var olan çizgi spektrumu değerleri

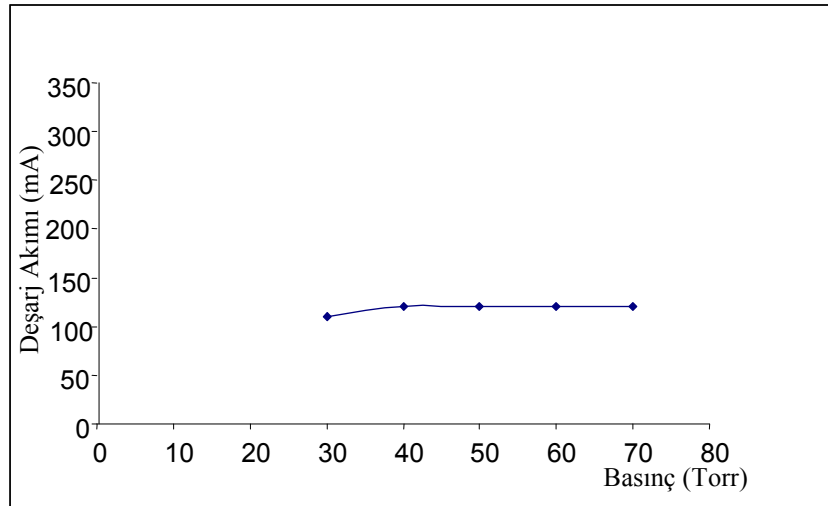
Dalga boyu (nm)	Bağıl Şiddet	Aki ($10^8 s^{-1}$)	Enerji seviyeleri (cm^{-1})	
696.54	300	0.067	93143.7653	107496.4219
706.72	300	0.0395	93143.7653	107289.7054
750.38	600	0.472	95399.8329	108722.6247
763.51	700	0.274	93143.7653	106237.5571
794.81	600	0.196	94553.6705	107131.7139
800.61	600	0.0490	93750.6031	106237.5571

750.38nm'lik dalga boylu pikin 5 farklı basınç değerindeki bağıl şiddetlerinin basınç-şiddet değişimi eğrileri ile 763.38nm'lik dalga boylu pikin 5 farklı basınç değerindeki bağıl şiddetlerinin basınç-şiddet değişimi eğrileri şekil 5.12'de verilmiştir. Bu grafiğin her iki pik için de yaklaşık 40 Torr basınç değerinde maksimuma ulaştıkları görülmektedir.



Şekil 5.12. Saf argon gazının maksimum şiddetteki pikleri için ($I_{750.38 \text{ nm}}$ ve $I_{763.51 \text{ nm}}$) ayrı ayrı basınç-şiddet değişim grafikleri

Şekil 5.13’de Saf argon gazının elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişim grafiği gösterilmiştir. Grafikte saf argon için ölçülmüş olan deşarj akımının, deşarj tüpünün basıncı ile değişmediği görülmektedir.



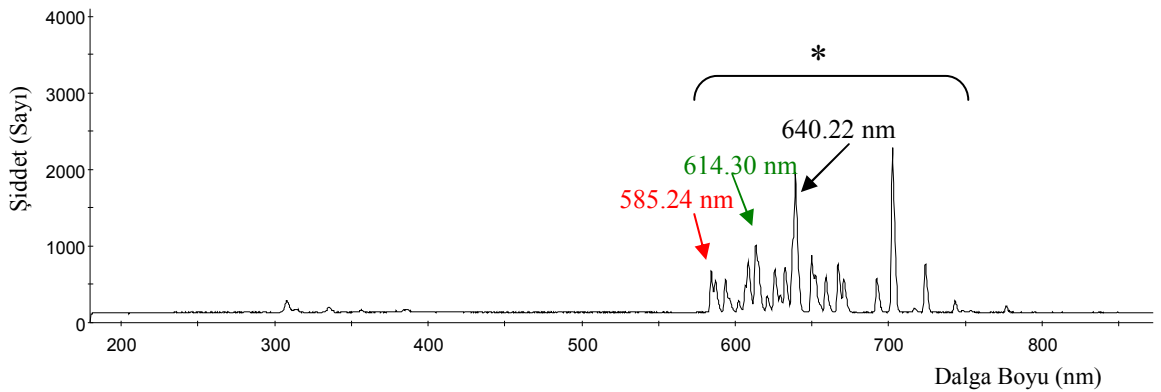
Şekil 5.13 Saf argon gazının elektriksel deşarjı esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiği

II- Saf neonun dielektrik bariyer deşarjlarının optik emisyon spektrumları ve sonuçları;

Beş farklı basınç değerinin her birisi için, beş farklı prob konumundan alınan 25 adet optik emisyon spektrumlarından örnek olmak üzere neon gazının 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki, dielektrik bariyer deşarjının optik emisyon spektrumu şekil 5.14'te gösterilmiştir. Diğer basınçlarda ve prob konumlarındaki emisyon spektrumlarının tümü benzer sonuçlar gösterdiğinden, her biri ayrı ayrı verilmemiştir. Optik emisyon spektrumlarının tümünde en kuvvetli üç pik olarak görünen ve neon gazı için karakteristik olan 585.24 nm, 614.30 nm ve 640.22 nm'lik piklerin bağıl şiddetlerinin büyüklük değerleri;

$$I_{585.24\text{nm}} < I_{614.30\text{nm}} < I_{640.22\text{nm}}$$

olacak şekilde elde edilmiştir. Karakteristik olarak kabul edilen ve deney sonuçlarında ele alınan bu iki pikin dalga boyu (nm) değerlerinde hiçbir kayma gözlenmemiştir. Şekil 5.14'te görülen spektrum 2 numaralı prob konumundan yani anot ile katodun ortasından alınmıştır.



Şekil 5.14. Ne gazı (70 Torr) deşarjının 2 numaralı prob konumundan alınan optik emisyon spektrumu

Şekilden görüldüğü gibi 550 nm'den daha düşük dalga boyu değerlerinde neon atomunun çizgi spektrumu bulunmamaktadır. Nötral Ne gazının en şiddetli piklerinden

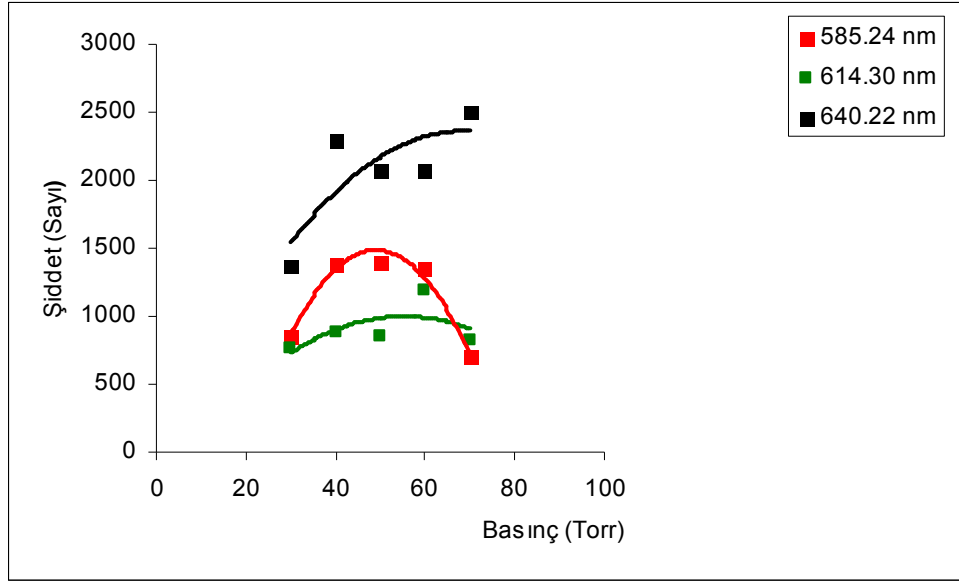
üç tanesi olan 585.24 nm, 614.30 nm ve 640.22 nm'lik dalga boyuna karşılık gelen çizgi spektrumları ve Ne atomuna ait pikler (*) şekil 5.14'de işaretlenmiştir.

Elde edilen deney sonuçlarını karşılaştırmak için çizelge 5.2'de verilen National Institute of Standards and Technology, USA [39]'den alınan nötral neon atomuna ait bağıl şiddet ve dalga boyu değerleri kullanılmıştır. Bu karşılaştırma yapıldığında, deneyden elde edilen piklere ait dalga boyu değerleri ile çizelge 5.2'deki dalga boyu değerleri **tam bir uyum** içerisindeydir. Şekil 5.14'teki şiddeti gösteren eksenindeki değerler, çizelge 5.2'deki bağıl şiddet değerlerinin yaklaşık 5 katı büyüklüğündedir. Şiddetlerin yüksek veya alçak değerlerde olması kullanılan ışık kaynağına ve diğer uyarma kaynaklarına bağlı olarak farklılık gösterir [39]. Deneyimizdeki farklılık da bundan dolayıdır. Çizelge 5.2'deki değerler 10A, 220 V DC ark deşarj kullanılarak elde edilmiştir [39]. Bizim deneylerimizde ise 25 kV, 25 kHz'lik güç kaynağı kullanılmıştır.

Çizelge 5.2. Nötral neon atomunun var olan çizgi spektrumu değerleri

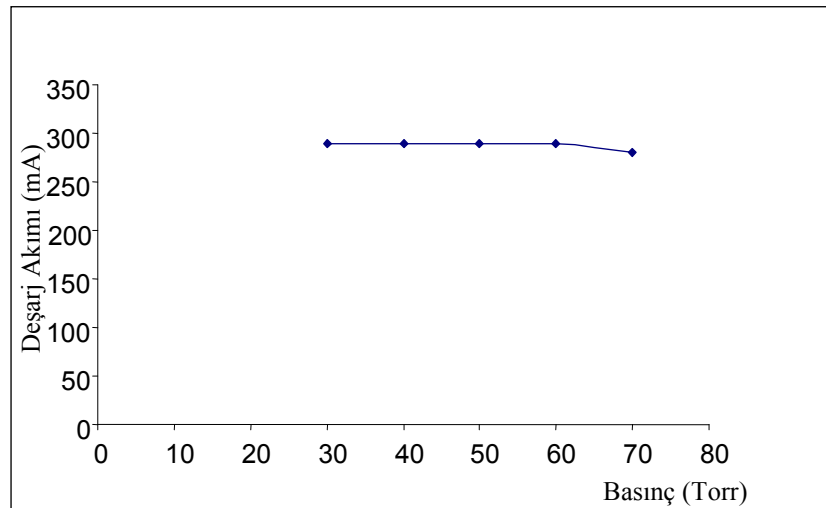
Dalga boyu (nm)	Bağıl Şiddet	Aki ($10^8 s^{-1}$)	Enerji seviyeleri (cm^{-1})	
540.05	200	0.0090	134459.2871	152970.7328
585.24	200	0.682	135888.7173	152970.7328
602.99	100	0.0561	134459.2871	151038.4524
607.43	100	0.603	134459.2871	150917.4307
614.30	100	0.282	134041.8400	150315.8612
640.22	200	0.514	134041.8400	149657.0393
703.24	800	0.253	134041.8400	148257.7898
717.39	800	0.0287	135888.7173	149824.2215

585.24 nm, 614.30 nm ve 640.22 nm'lik dalga boylu pikin 5 farklı basınç değerlerindeki basınç-şiddet değişimi eğrileri şekil 5.15'de gösterilmiştir. 585.24 nm ve 614.30 nm'lik dalga boyuna karşılık gelen pikin şiddeti 40 Torr civarında maksimum değere ulaşır ve basıncın artması ile azalmaktadır. 640.22 nm'lik dalga boyuna karşılık gelen pikin şiddeti ise basınçla artmaktadır.



Şekil 5.15. Saf neon gazının maksimum şiddetli pikleri için ($I_{585.24\text{nm}}$, $I_{614.30\text{nm}}$ ve $I_{640.22\text{nm}}$) ayrı ayrı basınç-şiddet değişim grafikleri

Şekil 5.16'da Saf neon gazı gazının elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişim grafiği gösterilmiştir. Grafikte saf argon için ölçülmüş olan deşarj akımının, deşarj tüpünün basıncı ile değişmediği görülmektedir.

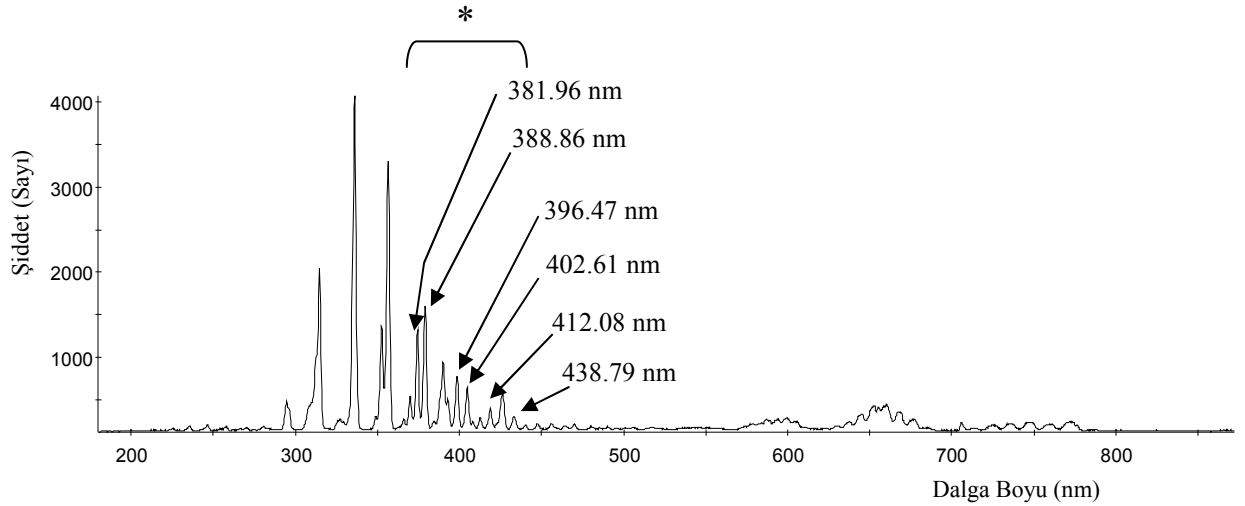


Şekil 5.16 Saf neon gazının elektriksel deşarjı esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiği

III- Saf helyumun dielektrik bariyer deşarjlarının optik emisyon spektrumları ve sonuçları;

Beş farklı basınç değerinin her birisi için, beş farklı prob konumundan alınan 25 adet optik emisyon spektrumlarından örnek olmak üzere helyum gazının 70 Torr ve 2 numaralı prob konumundaki, basınçta dielektrik bariyer deşarjının optik emisyon spektrumu şekil 5.17’de gösterilmiştir. Bu şekilde görülen spektrum 2 numaralı prob konumundan yani anot ile katodun ortasından alınmıştır. Diğer basınçlarda ve prob konumlarındaki emisyon spektrumlarının tümü benzer sonuçlar gösterdiğinden, her biri ayrı ayrı verilmemiştir. Helyum gazının sisteme kaçak olarak giren hava ile etkileşimi argon ve neondakilerden daha baskın gerçekleşmiştir. Bu durum helyum ve havaya ait piklerin aynı bölgede olmasıyla görülmektedir. Piklerin bağıl şiddetlerine göre sıralamaları argon ve neondaki gibi açık ve net olarak belirlemek olası görülmemektedir. Bu nedenle burada buna yer verilmemiştir.

Her hangi bir dalga boyundaki pike ait basınç-şiddet değişimi eğrileri bağıl şiddetlerinin tam olarak belirlenemeyişi nedeni ile verilememiştir.



Şekil 5.17. Helyum gazı (70 Torr) deşarjının 2 numaralı prob konumundan alınan optik emisyon spektrumu

He gazının deşarjının spektrumu, deşarj tüpü içerisindeki vakum kaçağı sonucu spektrumlarda çıkan havanın spektrumu ile aynı bölgededir. Bu yüzden şekil 5.17’de * ile işaretlenmiş olan bölgede hem He atomundan hem de havadan gelen geçişler söz konusudur.

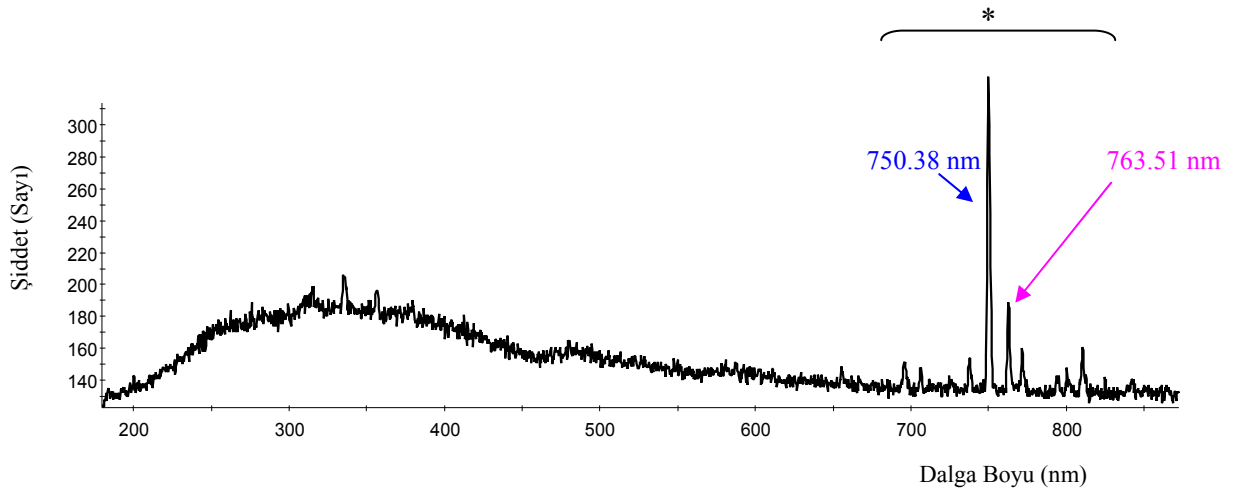
Elde edilen deney sonuçlarını karşılaştırmak için, çizelge 5.3’de verilen National Institute of Standards and Technology, USA [39]’den alınan nötral helyum atomuna ait bağıl şiddet ve dalga boyu değerleri kullanılmıştır. Bu karşılaştırma yapıldığında, deneyden elde edilen piklere ait dalga boyu değerleri ile çizelge 5.3’deki dalga boyu değerleri **tam bir uyum** içerisinde dir. Şekil 5.17’deki şiddeti gösteren eksenindeki değerler, çizelge 5.3’deki bağıl şiddet değerlerinin yaklaşık 5 katı büyüklüğündedir. Şiddetlerin yüksek veya alçak değerlerde olması kullanılan ışık kaynağına ve diğer uyarma kaynaklarına bağılı olarak farklılık gösterir [39]. Deneyimizdeki farklılık da bundan dolayıdır. Çizelge 5.3’deki değerler 10A, 220 V DC ark deşarj kullanılarak elde edilmiştir [39]. Bizim deneylerimizde ise 25 kV, 25 kHz’lik güç kaynağı kullanılmıştır.

Çizelge 5.3. Nötral helyum atomunun var olan çizgi spektrumu değerlerinin bazıları

Dalga boyu (nm)	Bağıl Şiddet	Aki (10^6s^{-1})	Enerji seviyeleri (cm^{-1})	
294.51	10	2.93	159855.9726	193800.7054
318.77	20	5.05	159855.9726	191217.0478
318.77	20	5.05	159855.9726	191217.0388
381.96	10	0.164	169086.7647	195260.0751
388.86	500	9.478	159855.9726	185564.5817
396.47	20	7.17	166277.4384	191492.7097
402.61	50	2.93	169086.7647	193917.1498
412.08	12	1.43	169086.8412	193346.9897
438.79	10	9.07	171134.8951	193918.2878
447.14	200	6.28	169086.7647	191444.4800

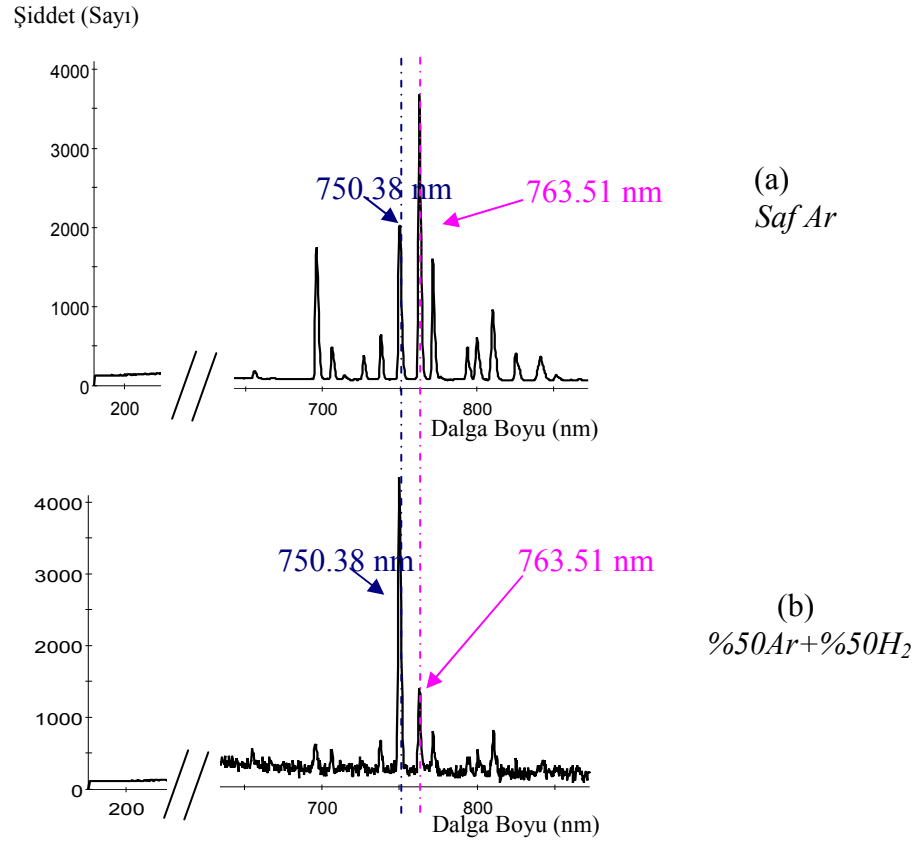
IV- %50 Ar+%50 H₂ çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının optik emisyon spektrumları ve sonuçları;

Elektropozitif gaz olarak Ar gazı ile, elektronegatif gaz olarak H₂ gazının 1:1 oranında karışımı kullanılarak elde edilen çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki optik emisyon spektrumu şekil 5.18’de gösterilmiştir. Diğer basınçlarda ve prob konumlarındaki emisyon spektrumlarının tümü benzer sonuçlar gösterdiğinden, her biri ayrı ayrı verilmemiştir. 300 nm civarında görünen pikler sistemdeki vakum kaçağından kaynaklanmaktadır. Bu piklerin şiddetleri oldukça küçük bağıl şiddet değerlerine sahiptirler.



Şekil 5.18. %50 Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımı (70 Torr) deşarjının optik emisyon spektrumu

Argon gazına hidrojen gazının 1:1 oranında karıştırılmasıyla oluşturulan çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının spektrumları, saf argon gazının optik emisyon spektrumları ile karşılaştırıldığında, bir takım değişikliklerin meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 5.19. (a) Saf Argon gazı ile, (b) %50Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması

Şekil 5.19’de 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundan alınan argon gazının optik emisyon spektroskopisi (a) ile %50Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımının optik emisyon spektroskopisi (b) karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Spektrumlardaki değişimi incelemek için en şiddetli iki pik olan 750.38 nm ve 763.51 nm’lik dalga boylarının ölçülmüş bağıl şiddetleri kullanıldı. Şekil 5.19.b’den de görüldüğü gibi 750.38 nm’li pik ile 763.51 nm’li piklerin bağıl şiddetlerinin büyüklük sıralamaları saf argonunkilere göre değişim göstermiştir. Saf argon gazının optik emisyon spektrumunda görüldüğü gibi (şekil 5.19.a), bu dalga boylarına ait ölçülmüş foton bağıl şiddetleri $I_{750.38\text{nm}}$ ve $I_{763.51\text{nm}}$ ile gösterir ise, bu şiddet değerleri arasında sıralama

$$I_{750.38\text{nm}} < I_{763.51\text{nm}} \text{ 'dir}$$

şeklinde görülmektedir.

%50Ar+%50H₂ gaz karışımı deşarjında ise, şekil 5.19.b’de görüldüğü gibi, yukarıdaki bağıl şiddetlerin sıralaması değişikliğe uğrayarak

$$I_{750.38nm} > I_{763.51nm}$$

şeklini almıştır.

Hidrojen gazının ilave edilmesiyle argon gazına ait piklerin bağıl şiddetlerindeki bu değişiklik, diğer basınç değerlerinde ve farklı prob konumlarında da aynen görülmüştür

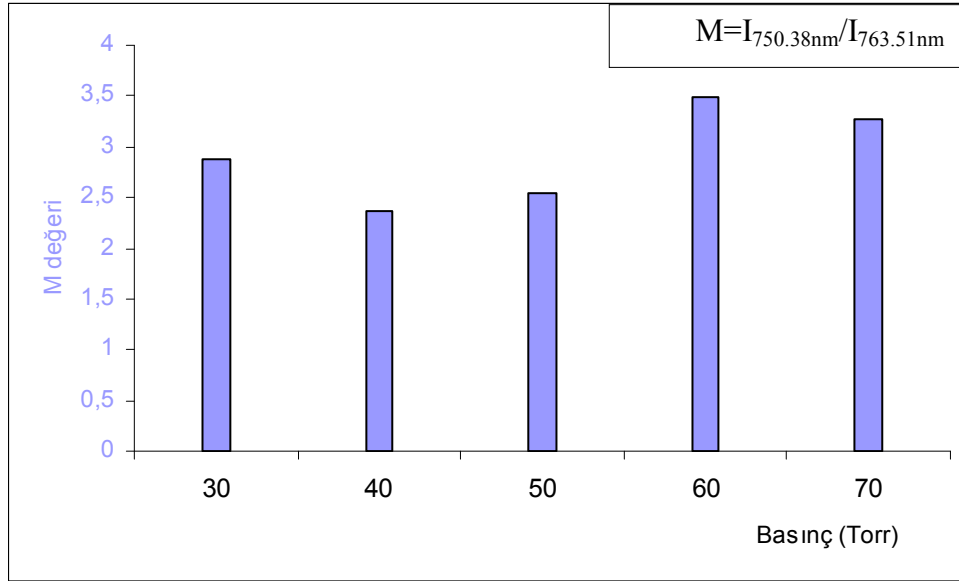
%50Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımındaki Monokromatizasyon (M) değerleri 3.bölümde neon soy gazı için verilen 3.13 ifadesi argon gazı için uyarlanarak,

$$M_{Argon} = \frac{I_{750.38nm}}{I_{763.51nm}}$$

şeklinde bulunmuştur. Bugüne kadar literatüre geçmiş Monokromatizasyon değeri hesaplamaları 100 Torr basınç değerinin altındaki basınç değerlerinde rastlanılmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmada özellikle 100 Torr’un altındaki basınç değerlerinde Monokromatizasyon değerleri hesaplanarak, basınçla değişimleri bulunmuştur. Çizelge 5.4’de %50Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımı deşarjı için farklı deşarj tüpü basıncındaki Monokromatizasyon değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.20’de ise bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.

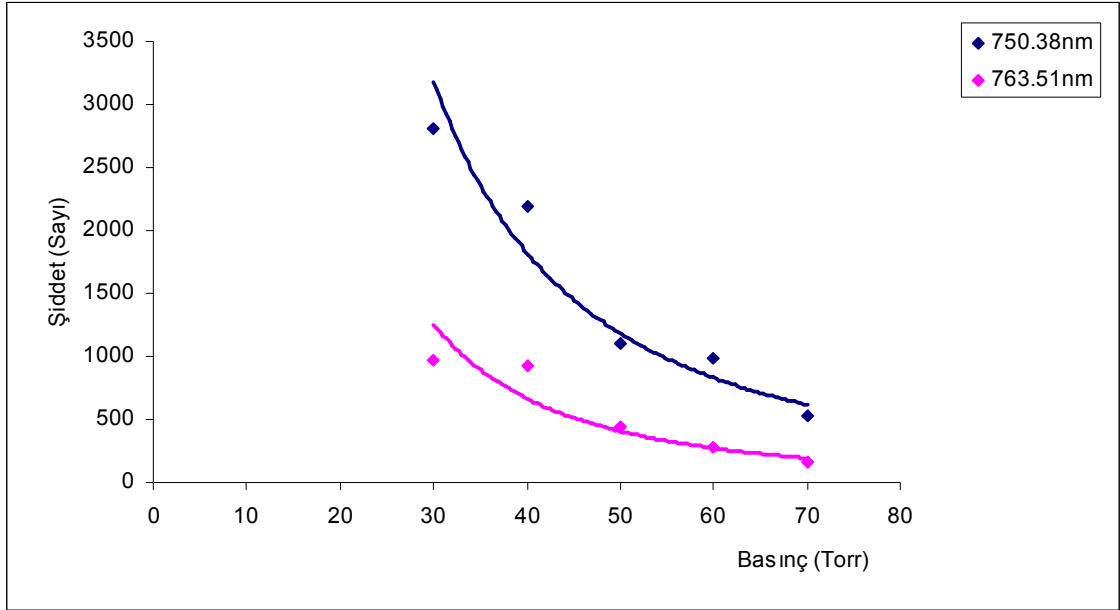
Çizelge 5.4. %50Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımı deşarjı için farklı deşarj tüpü basıncındaki Monokromatizasyon değerleri

$M_{Argon} = \frac{I_{750.38nm}}{I_{763.51nm}}$	Basınç (Torr)
2.88	30
2.36	40
2.54	50
3.48	60
3.27	70



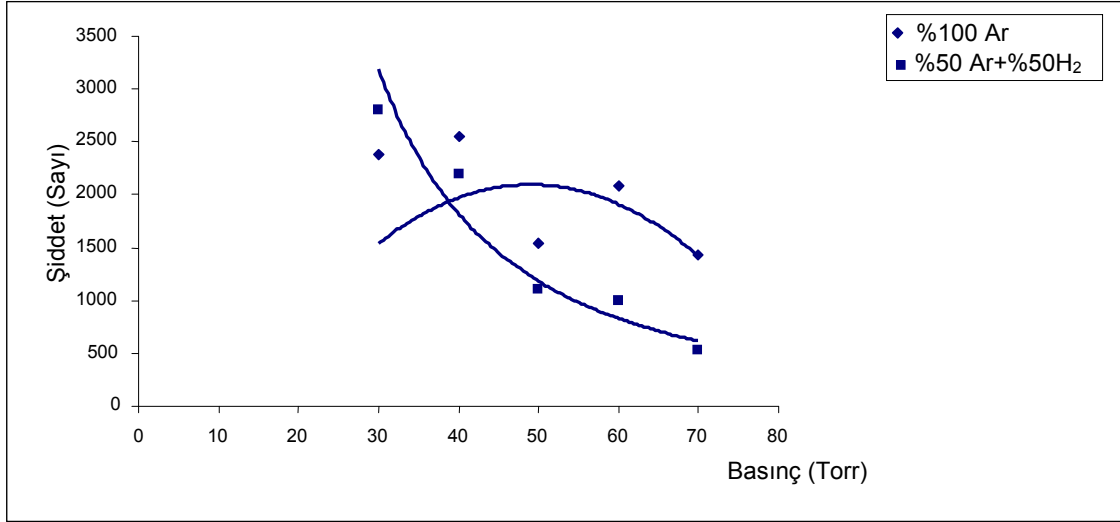
Şekil 5.20. %50Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımındaki M değerinin deşarj tüpü içerisindeki basınç ile değişimi

Şekil 5.21’de %50Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımı kullanıldığında deşarj tüpünün basıncına göre 750.38 nm ve 763.51 nm’lik dalga boylarına karşılık gelen geçişlerin bağıl şiddetlerinin değişimi görülmektedir. Deşarj tüpü içerisindeki toplam gaz karışımı basıncı azaldıkça 750.38 nm’lik geçişin bağıl şiddeti hızlı bir şekilde artarken, 763.51 nm’lik dalga boyuna karşılık gelen geçişin bağıl şiddeti 750.38 nm’lik pikin artış oranına göre daha yavaş arttığı görülmektedir.



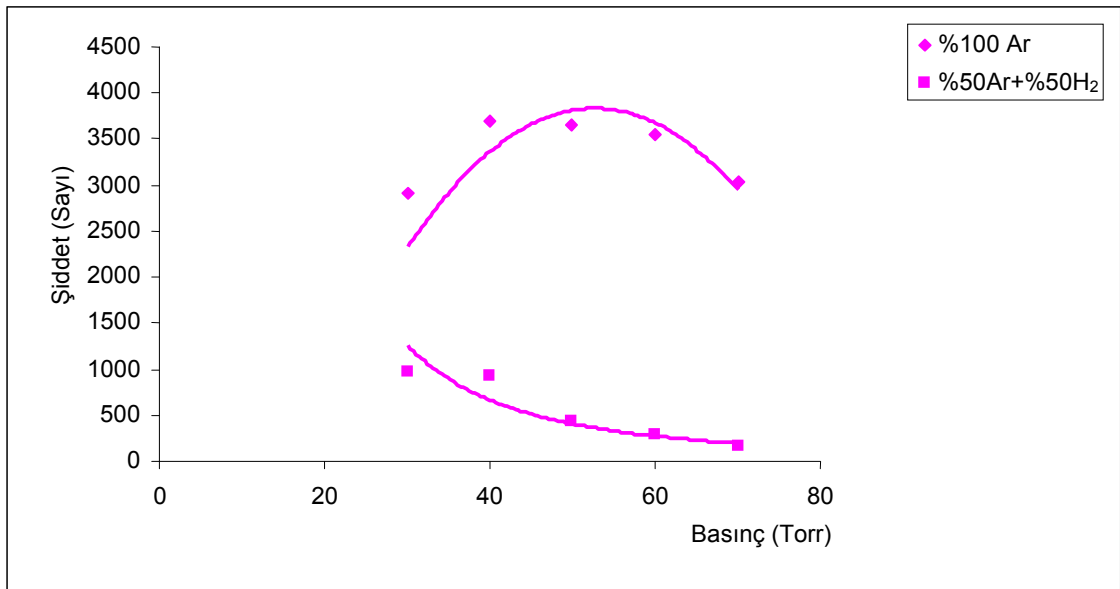
Şekil 5.21. %50Ar+%50 H₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre I_{750.38 nm} ve I_{763.51nm}'nin değişimi

Saf argon için basınçla şiddetin değişimi Şekil 5.12'de verilmiş idi. Bunu ve şekil 5.21'i ele alarak bir karşılaştırma yapılır ise şekil 5.22 ve şekil 5.23 elde edilir. Bunları açıklamak gerekirse; elektropozitif Ar gazının içerisine 1:1 oranda elektronegatif H₂ gazı ilave edildiğinde 750.38 nm'lik dalga boyuna karşılık gelen geçişin şiddeti deşarj cihazı içerisindeki gaz basıncının azalması ile artmaktadır. Saf Ar durumunda ise belirli bir değere kadar artmakta (40 Torr civarı) daha sonra ise azalmaktadır. Bu değişim şekil 5.22'deki grafiksel gösterimde çarpıcı bir şekilde görülmektedir.



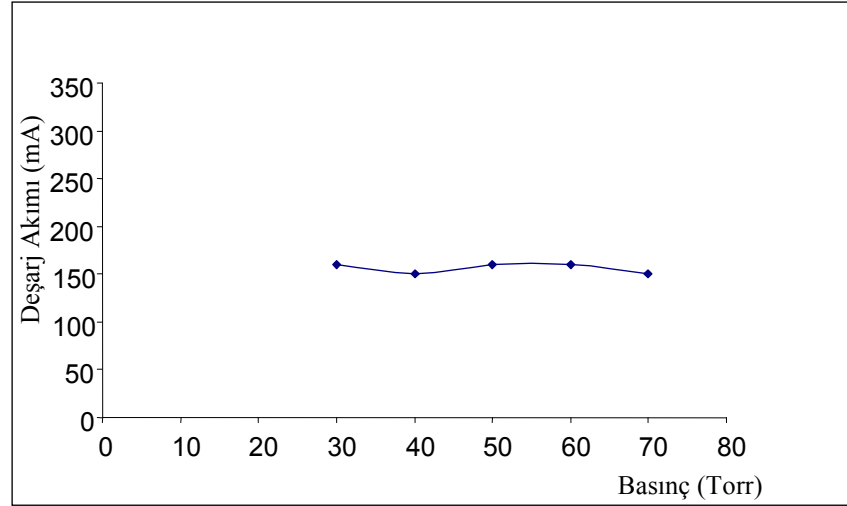
Şekil 5.22. Saf Ar ve %50 Ar+%50H₂ gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre $I_{750.38\text{nm}}$ 'nin değişimi

763.51 nm'lik dalga boyuna karşılık gelen geçişin şiddeti ise, deşarj cihazı içerisindeki gaz basıncının azalması ile %50Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımında oldukça yavaş bir şekilde artmaktadır. Saf Ar durumunda ise belirli bir basınç değerine kadar (40 Torr) artmakta, daha sonra ise azalmaktadır. Bu değişim şekil 5.23'deki grafiksel gösterimde çarpıcı bir biçimde görülmektedir.



Şekil 5.23. Saf Ar ve %50 Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre $I_{763.51\text{nm}}$ 'nin değişimi

Şekil 5.24’de %50Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımı elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikte %50Ar+%50H₂ için ölçülmüş olan deşarj akımının deşarj tüpünün basıncı ile değişmediği görülmektedir.



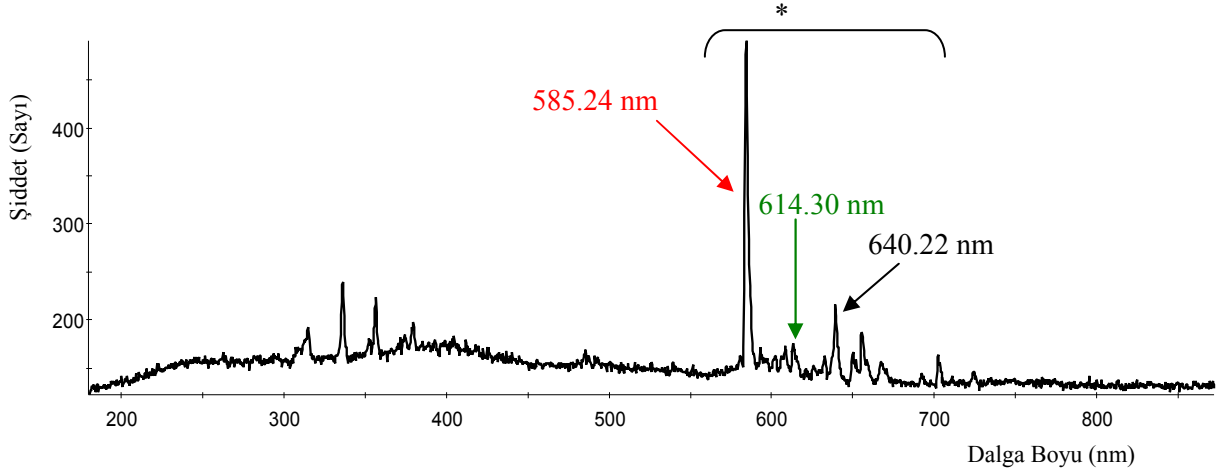
Şekil 5.24 %50Ar+%50H₂ çoklu gaz karışımı elektriksel deşarjı esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiği

Şekil 5.24’den de görüldüğü gibi deşarj akımı deşarj tüpünün basıncı ile değişmemektedir. Bu grafiklerdeki değerler kaynak [22]’deki sonuçlar ile uyum içerisindedir. Bu kaynakta plazma ekran panelleri için, deşarj akımının deşarj tüpünün basıncı ile değişmediği deneysel olarak gösterilmiştir.

V- %50Ne+%50 H₂ çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının optik emisyon spektrumları ve sonuçları;

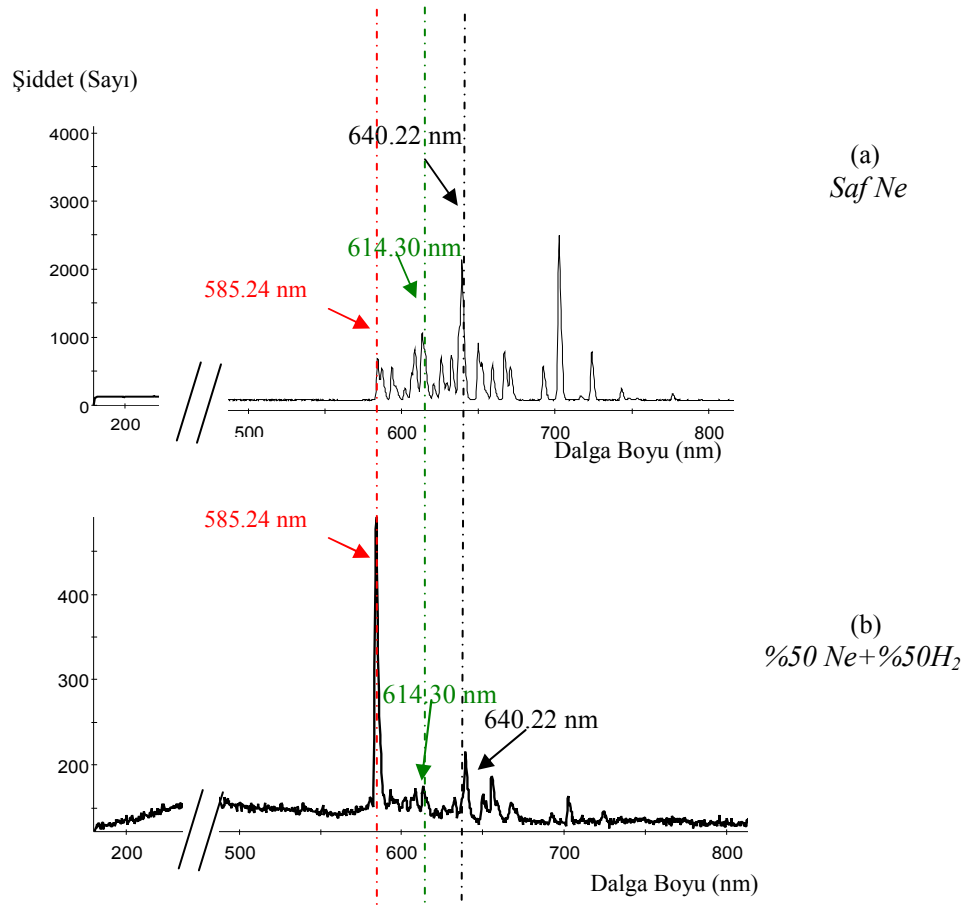
Elektropozitif gaz olarak Ne gazı ile elektronegatif gaz olarak H₂ gazının 1:1 oranında karışımı kullanılarak elde edilen deşarjın 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki optik emisyon spektrumu şekil 5.25’de gösterilmiştir. Diğer basınçlarda ve prob konumlarındaki emisyon spektrumlarının tümü benzer sonuçlar gösterdiğinden her biri ayrı ayrı verilmemiştir. 300 nm civarında görünen pikler sistemdeki vakum

kaçağından kaynaklanmaktadır. Bu piklerin şiddetleri oldukça küçük bağıl şiddet değerlerine sahiptirler.



Şekil 5.25. %50 Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımı (70 Torr) deşarjının optik emisyon spektrumu

Neon gazına hidrojen gazının 1:1 oranında karıştırılmasıyla oluşturulan çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının spektrumları saf neon gazının optik emisyon spektrumları ile karşılaştırıldığında bir takım değişikliklerin meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 5.26. (a) Saf Neon gazı ile, (b) %50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması

Şekil 5.26'da 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundan alınan neon gazının optik emisyon spektroskopisi (a) ile %50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımının optik emisyon spektroskopisi (b) karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Spektrumlardaki değişimi incelemek için en şiddetli pikler olan 585.24 nm, 614.30 nm ve 640.22 nm'lik dalga boyları ve bunların ölçülmüş bağıl şiddetleri kullanıldı. Şekil 5.26(b)'den de görüldüğü gibi 585.24 nm'li, 614.30nm'li ve 640.22 nm'li piklerin bağıl şiddetlerinin büyüklük sıralamaları saf neonunkilere göre değişim göstermiştir. Saf neon gazının optik emisyon spektrumunda görüldüğü gibi [Şekil 5.26(a)], bu dalga boylarına ait

ölçülmüş foton bağıl şiddetlerini $I_{585.24nm}$, $I_{614.30nm}$ ve $I_{640.22nm}$ ile gösterir isek, bu şiddet değerleri arasında sıralama

$$I_{585.24nm} < I_{614.30nm} < I_{640.22nm}$$

şeklinde görülmektedir.

%50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımı deşarjında ise, şekil 5.26.b’de görüldüğü gibi yukarıdaki bağıl şiddet sıralaması değişikliğe uğrayarak

$$I_{585.24nm} > I_{640.22nm} > I_{614.30nm}$$

şeklini almıştır.

Hidrojen gazının ilave edilmesiyle neon gazına ait piklerin bağıl şiddetlerindeki bu değişiklik diğer basınç değerlerinde ve farklı prob konumlarında da aynen görülmüştür.

%50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımındaki Monokromatizasyon (M) değerleri, 3.bölümde neon soy gazı için verilen 3.13 ifadesi kullanılarak değerler;

$$M_{Neon_1} = \frac{I_{\lambda_1=585.3nm}}{I_{\lambda_2=614.3nm}} \quad M_{Neon_2} = \frac{I_{\lambda_1=585.3nm}}{I_{\lambda_3=640.22nm}}$$

şeklinde bulunur. Bugüne kadar yapılan deneysel çalışmalar ve literatür verileri sadece

$$M_{Neon_1} = \frac{I_{\lambda_1=585.3nm}}{I_{\lambda_2=614.3nm}} \quad \text{Monokromatizasyonunu vermektedir. Bizim ikinci}$$

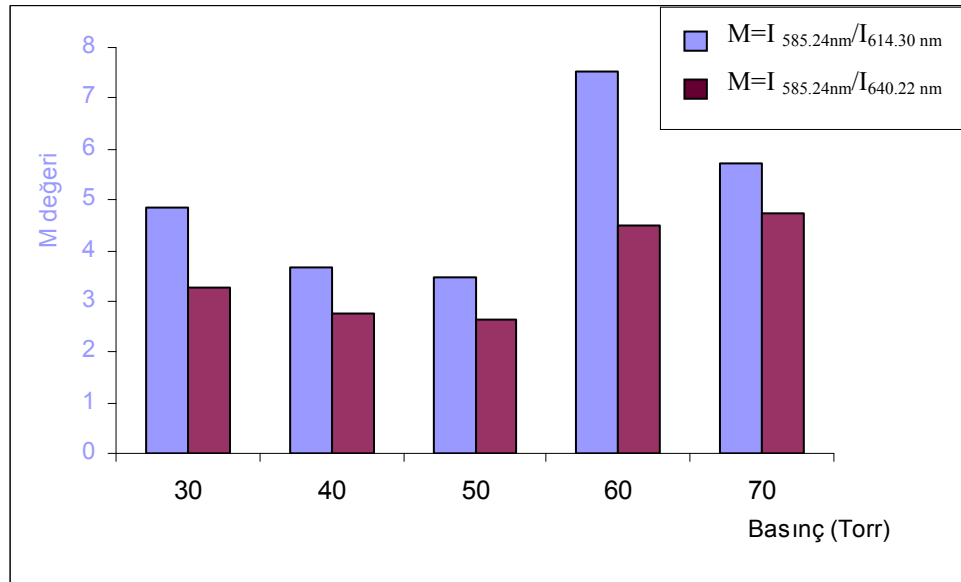
$$\text{bulgumuz olan } M_{Neon_2} = \frac{I_{\lambda_1=585.3nm}}{I_{\lambda_3=640.22nm}} \quad \text{'de bir Monokromatizasyon etkisi olarak}$$

görülmektedir. Literatüre geçmiş Monokromatizasyon değeri hesaplamaları 100 Torr basınç değerinin altındaki basınç değerlerinde rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada özellikle 100 Torr’un altındaki basınç değerlerinde Monokromatizasyon değerleri hesaplanarak basınçla değişimleri bulunmuştur. Çizelge 5.5’de

%50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımı deşarjı için farklı deşarj tüpü basıncındaki Monokromatizasyon değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.27’de ise bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.

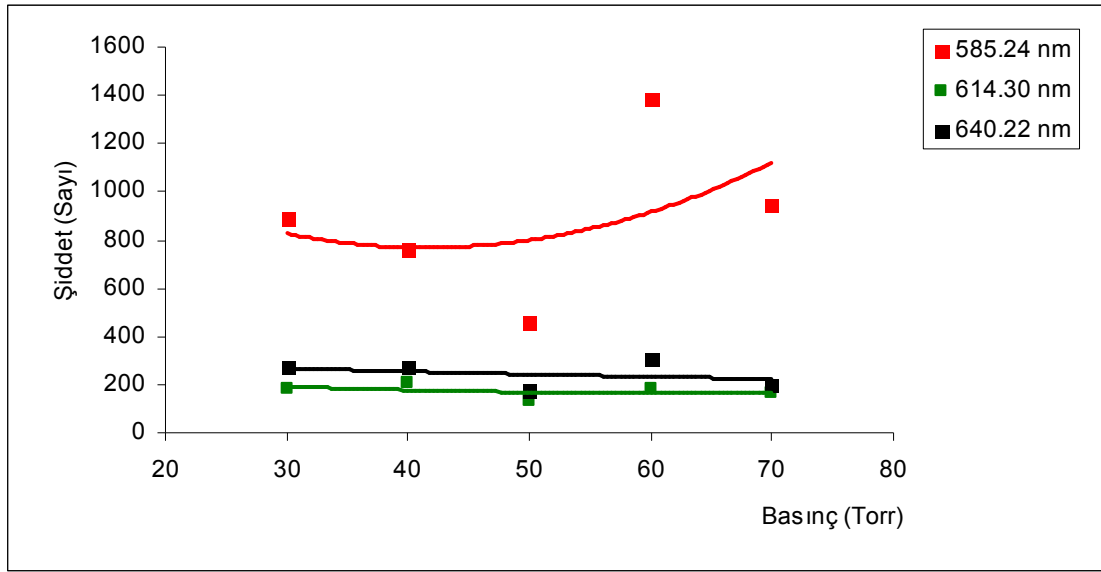
Çizelge 5.5. %50 Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımı deşarjı için farklı deşarj tüpü basıncındaki Monokromatizasyon değerleri

$M_{Neon_1} = \frac{I_{\lambda_1=585.3nm}}{I_{\lambda_2=614.3nm}}$	$M_{Neon_2} = \frac{I_{\lambda_1=585.3nm}}{I_{\lambda_3=640.22nm}}$	Basınç (Torr)
4.85	3.29	30
3.66	2.76	40
3.48	2.66	50
7.53	4.51	60
5.71	4.73	70



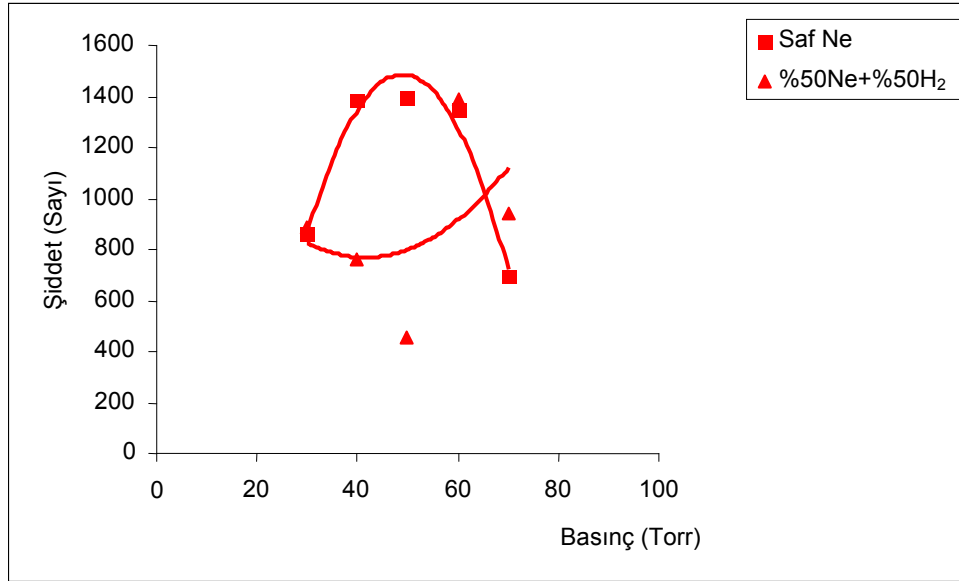
Şekil 5.27. %50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımındaki M değerinin deşarj tüpü içerisindeki basınç ile değişimi

Elektropozitif gaz olarak Ne atomunun içerisine elektronegatif olarak H_2 gazı ilave edildiğinde, 614.30 nm ve 640.22 nm'ye karşılık gelen geçişin bağıl şiddet değerleri cihazı içerisindeki gaz basıncının artması ile yavaş bir şekilde azalmaktadır. 585.24 nm'ye karşılık gelen geçişin bağıl şiddeti ise basıncın artması (70 Torr'a kadar) ile artmaktadır (Şekil 5.28).



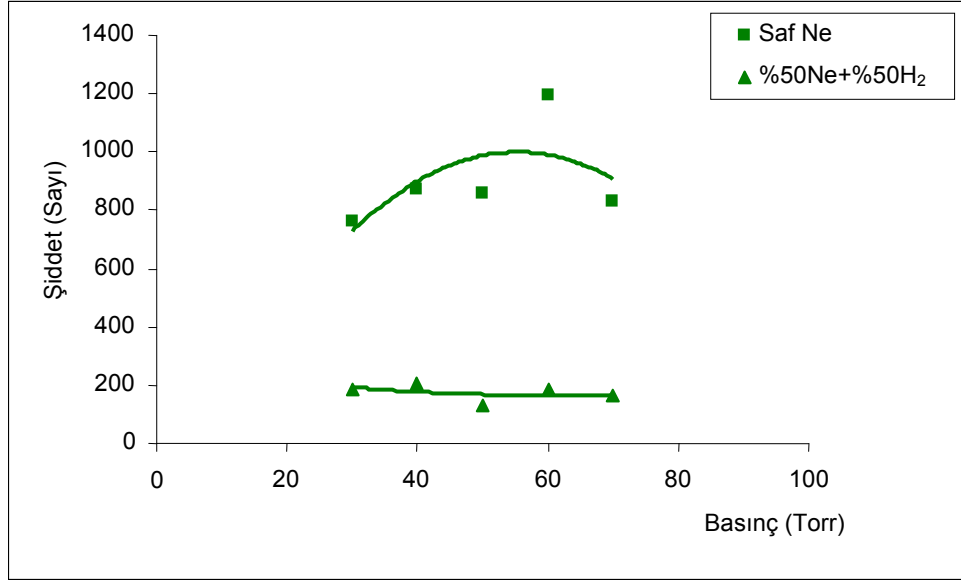
Şekil 5.28. %50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre I_{585.3nm}, I_{614.3nm} ve I_{640 nm}'nin değişimi

Elektropozitif Ne gazının içerisine 1:1 oranda elektronegatif H_2 gazı ilave edildiğinde 585.24 nm'lik dalga boyuna karşılık gelen geçişin bağıl şiddeti deşarj cihazı içerisindeki gaz basıncının azalması ile artmaktadır. Saf Ne durumunda ise belirli bir değere kadar artmakta (40 Torr civarı) daha sonra ise azalmaktadır. Bu değişim şekil 5.29'daki grafiksel gösterimde çarpıcı bir şekilde görülmektedir.

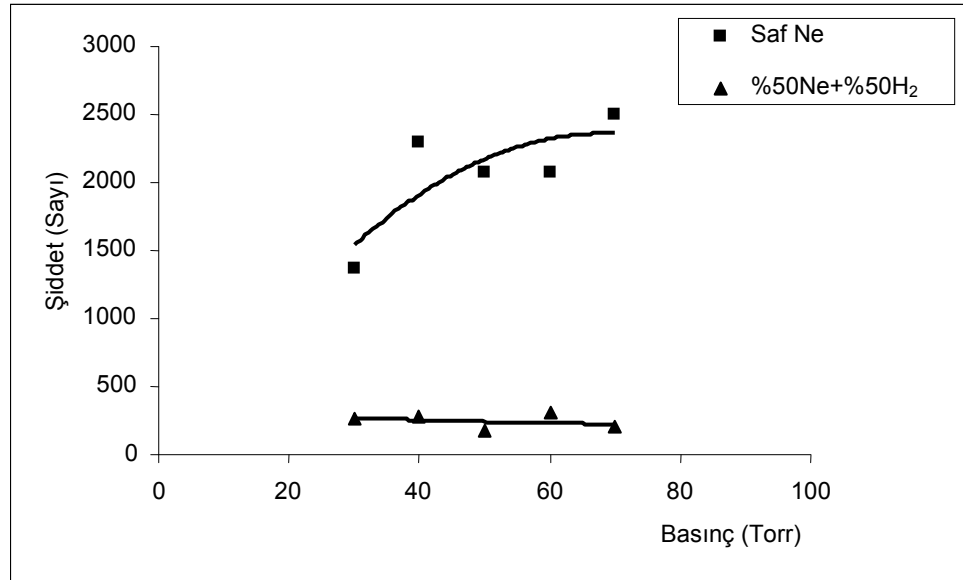


Şekil 5.29. Saf Ne ve %50 Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre I_{585.24 nm}'nin değişimi

Saf neon için basınçla şiddetin değişimi şekil 5.15'de verilmiş idi. Bunu ve şekil 5.28'i ele alarak bir karşılaştırma yapılır ise şekil 5.29, şekil 5.30 ve şekil 5.31 elde edilir. Bunları açıklamak gerekirse; elektropozitif Ne gazının içerisine 1:1 oranında elektronegatif H₂ gazı ilave edildiğinde 614.30 nm'lik dalga boyuna karşılık gelen geçişin bağlı şiddeti deşarj cihazı içerisindeki gaz basıncının azalması ile çok yavaş bir biçimde azalmaktadır. Saf Ne durumunda ise yaklaşık sabittir. Bu değişim şekil 5.30'daki grafiksel gösterimde çarpıcı bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.30. Saf Ne ve %50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre $I_{614.30 \text{ nm}}$ 'nin değişimi

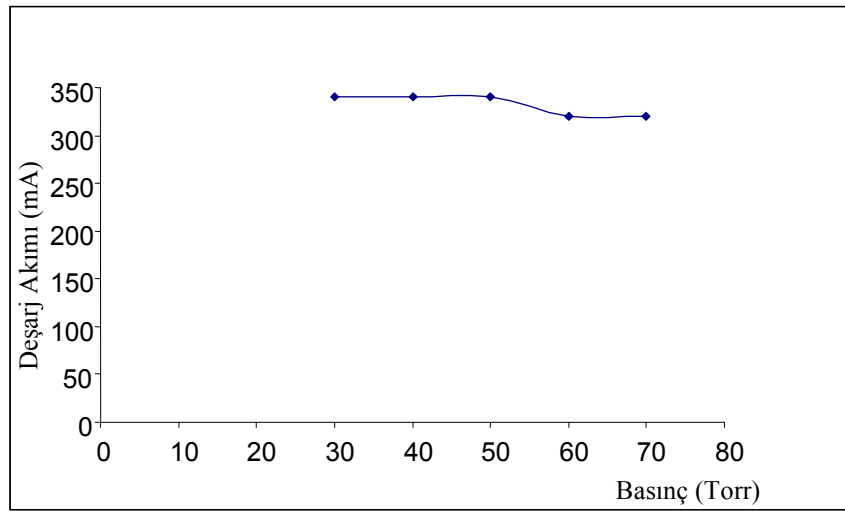


Şekil 5.31. Saf Ne ve %50 Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımında deşarj tüpündeki basınca göre $I_{640.22 \text{ nm}}$ 'nin değişimi

Elektropozitif Ne gazının içerisine 1:1 oranında elektronegatif H₂ gazı ilave edildiğinde 614.30 nm'lik dalga boyuna karşılık gelen geçişin bağıl şiddeti deşarj cihazı içerisindeki gaz basıncının azalması ile çok yavaş azalmaktadır. Saf Ne durumunda ise

yaklaşık 40 Torra kadar artmakta sonra ise azalmaktadır. Bu değişim şekil 5.31'deki grafiksel gösterimde çarpıcı bir şekilde görülmektedir.

Şekil 5.32'de %50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımı elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikte %50Ne+%50H₂ için ölçülmüş olan deşarj akımının deşarj tüpünün basıncı ile değişmediği görülmektedir.



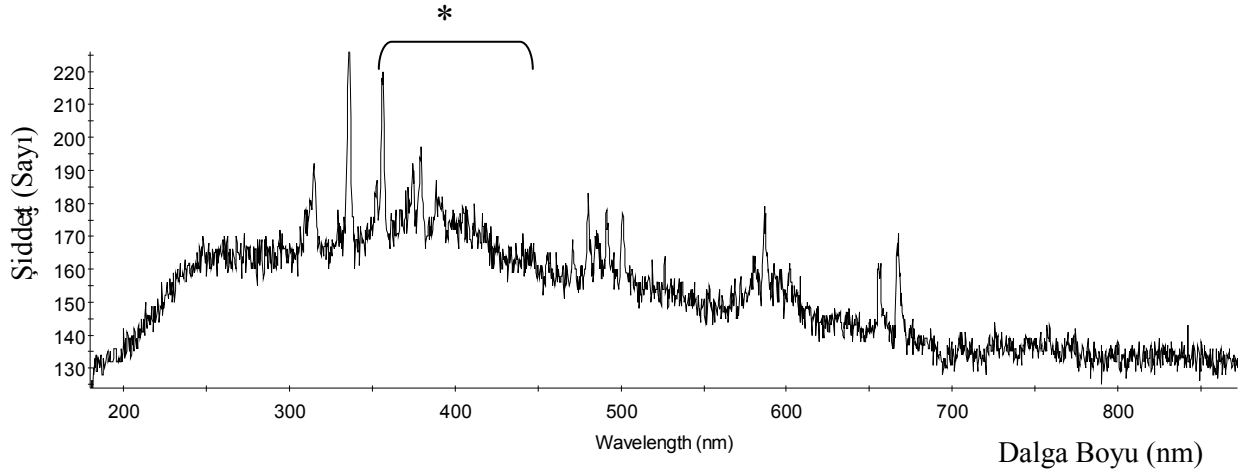
Şekil 5.32 %50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımı elektriksel deşarjı esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiği

Şekil5.32'den de görüldüğü gibi deşarj akımı deşarj tüpünün basıncı ile değişmemektedir. Bu grafiklerdeki değerler kaynak [22]'deki sonuçlar ile uyum içerisindedir. Bu kaynakta plazma ekran panelleri için, deşarj akımının deşarj tüpünün basıncı ile değişmediği deneysel olarak gösterilmiştir.

VI- %50He+%50 H₂ çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının optik emisyon spektrumları ve sonuçları;

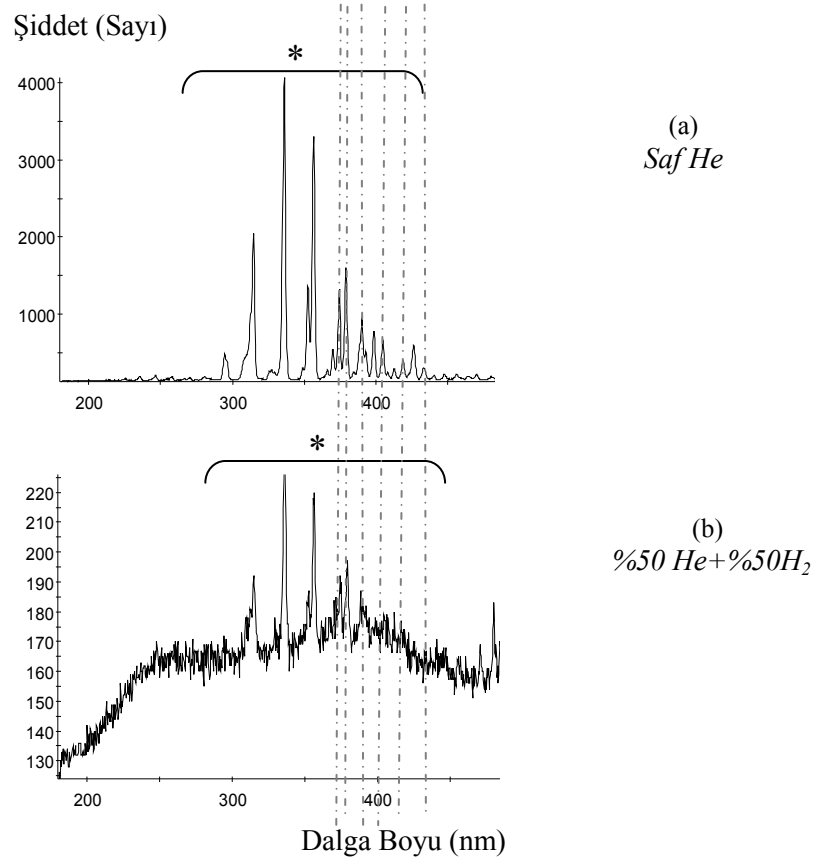
Elektropozitif gaz olarak saf He gazı ile elektronegatif gaz olarak ise H₂ gazının 1:1 oranında karışımı kullanılarak elde edilen çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki optik

emisy on spektrumu şekil 5.33’de gösterilmiştir. Diğer basıncılarda ve prob konumlarındaki emisyon spektrumlarının tümü benzer sonuçlar gösterdiğinden her biri ayrı ayrı verilmemiştir. şekil5.33’de helyum atomuna ait pikler (*) ile işaretlenmiştir. Ancak bu bölgede daha önce belirtildiği gibi havaya ait piklerde yer almaktadır.



şekil 5.33. %50He+%50H₂ oklu gaz karışımı (70 Torr) deşarjının optik emisyon spektrumu

şekil 5.34’de 70 Torr basıncıta ve 2 numaralı prob konumundan alınan helyum gazının optik emisyon spektroskopisi (a) ile %50He+%50H₂ oklu gaz karışımının optik emisyon spektroskopisi (b) karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu karşılaştırmalı spektrumlarda da havaya ait piklerin bağıl şiddetlerinin büyük değerli olmasından dolayı helyum atomuna ait elektronik geçişlerin deşarj tüpü içerisindeki gaz basıncı ile bu geçişlere ait bağıl şiddet değerlerinin değişimi belirlenememiştir.



Şekil 5.34. (a) Saf helyum gazı ile, (b) %50He+%50H₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının 70 Torr basınçta ve 2 numaralı prob konumundaki optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması

Şekil 5.34'deki spektrumlardan da görüldüğü gibi helyum gazının içerisine elektronegatif gaz olarak hidrojen gazının 1:1 oranında ilave edilmesi ile oluşturulan çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjının spektrumlarında Monokromatizasyon etkisi gözlenmemiştir. Helyum gazında bu etkinin görünmeyişinin sebeplerinden bir tanesi havanın spektrumu ile atomik helyum gazının spektrumunun yaklaşık aynı bölgede olmasındandır. Bundan dolayı bir takım değişimler açık bir şekilde gözlenememiştir.

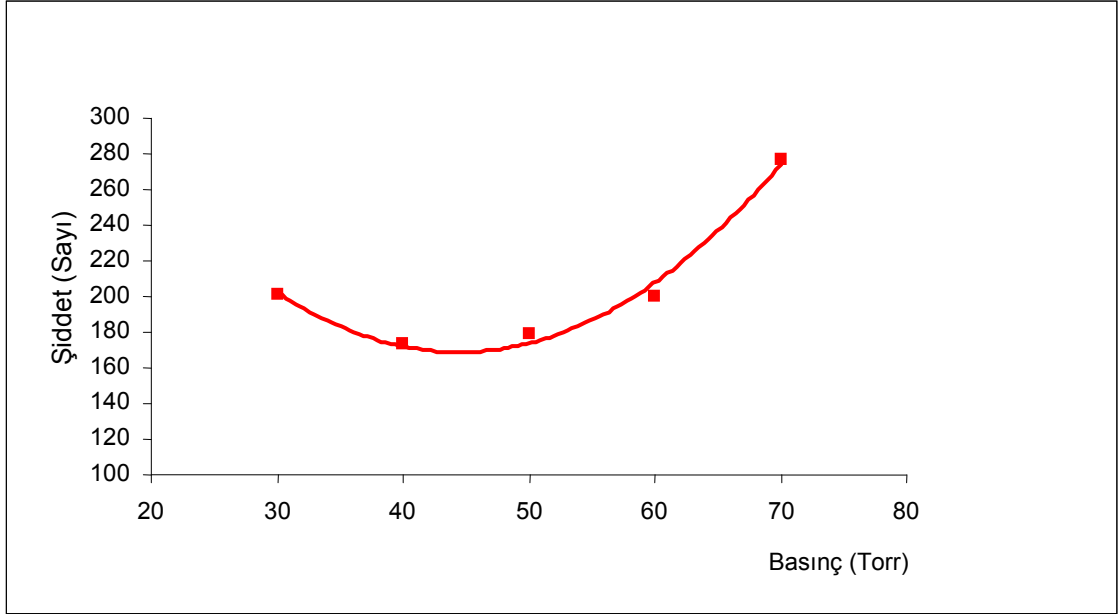
Elektropozitif argon soy gazı ile 1:1 oranında elektronegatif H₂ gazının ilave edilmesiyle oluşturulan çoklu gaz karışımları kullanılarak hesaplanan M değerleri, aynı deneysel parametrelerde neon soy gazı kullanılarak elde edilen M değerlerinden daha

düşük çıkmıştır. Soy gazlar arasında elde edilen bu etki en şiddetli neon gazında daha sonra ise argon gazında gözlenmektedir [3,17]. Helyum gazın da ise sistemdeki havadan dolayı bu etki açık bir şekilde gözlenememiştir.

VII- %15 Ar+%15 Ne+%70 H₂ çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının optik emisyon spektrumları ve sonuçları;

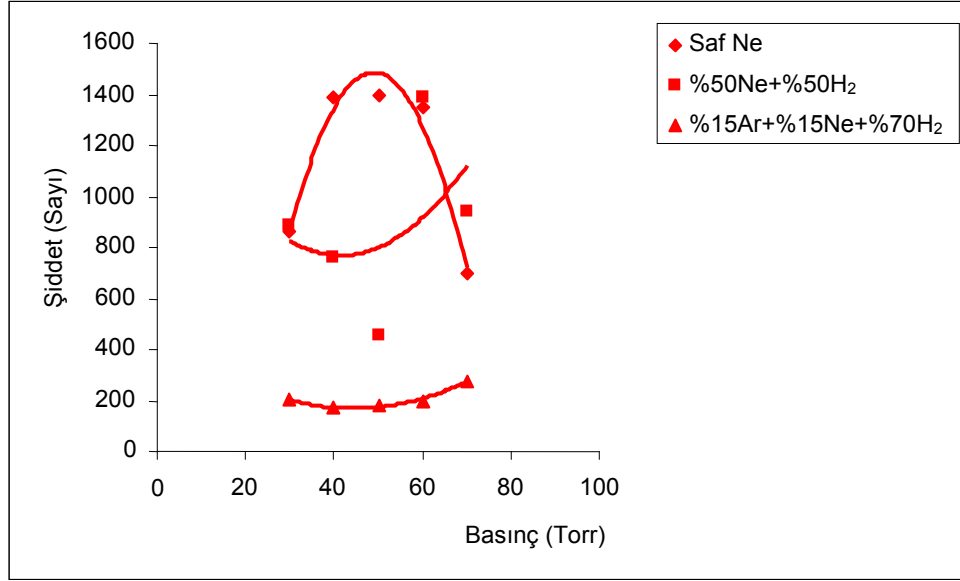
%15Ar+%15Ne+%70H₂ çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının 70 Torr ve 2 numaralı prob konumundan alınan optik emisyon spektrumunda, 585,24 nm’li dalga boyunda neon için monokromatizasyon etkisini veren pik ve 750.38 nm’li dalga boyunda ise argon için monokromatizasyon etkisini veren pik beraberce görülmektedir. Spektrumlarda açıkça görülen bu piklerin dalga boylarında hiçbir kayma gözlenmemiştir. Diğer basınçlardaki ve prob konumlarındaki emisyon spektrumlarının tümü benzer sonuçlar gösterdiğinden her biri ayrı ayrı verilmemiştir.

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan üçlü karışımın 2 numaralı prob konumundan alınan spektrumlarda, neon soy gazının monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm’lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.35’de gösterilmiştir.



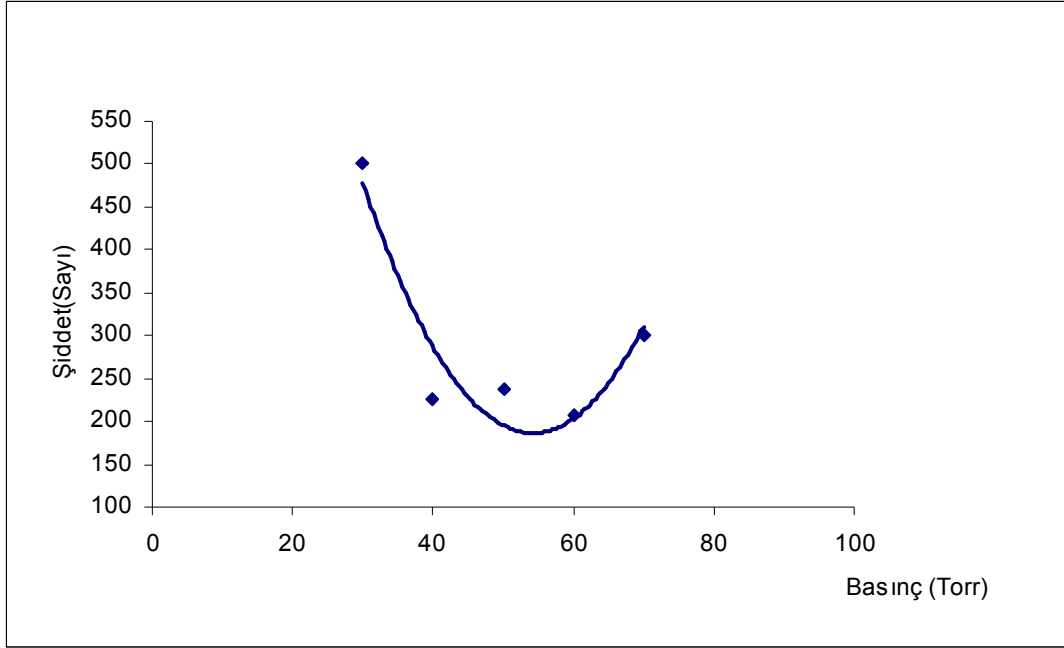
Şekil 5.35. % 15Ar +% 15Ne+%70 H₂ gaz karışımı deşarjı spektrumunda 585.24 nm dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafiği

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan neon soy gazının saf, %50Ne+%50H₂ ve %15Ar+%15Ne+%70H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.36'da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



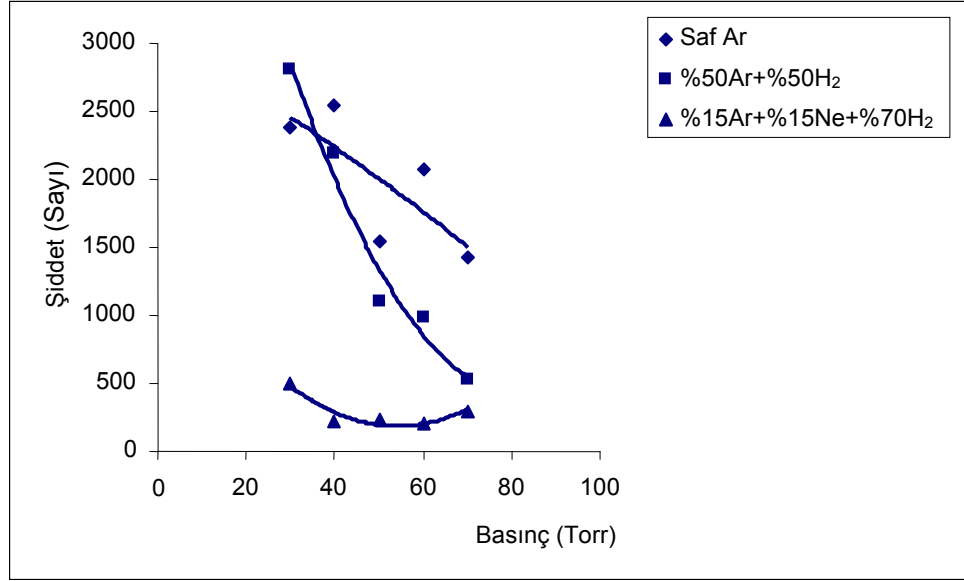
Şekil 5.36. Neon soy gazının saf, %50Ne+%50H₂ ve %15Ar+%15Ne+%70H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan üçlü karışımın 2 numaralı prob konumundan alınan emisyon spektrumlarındaki argon soy gazının monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçişin bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.37'de gösterilmiştir.



Şekil 5.37. % 15Ar +%15 Ne+% 70H₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarının ölçülmüş olan 750.38 nm dalga boylu geçiş için karşılık gelen bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafikleri

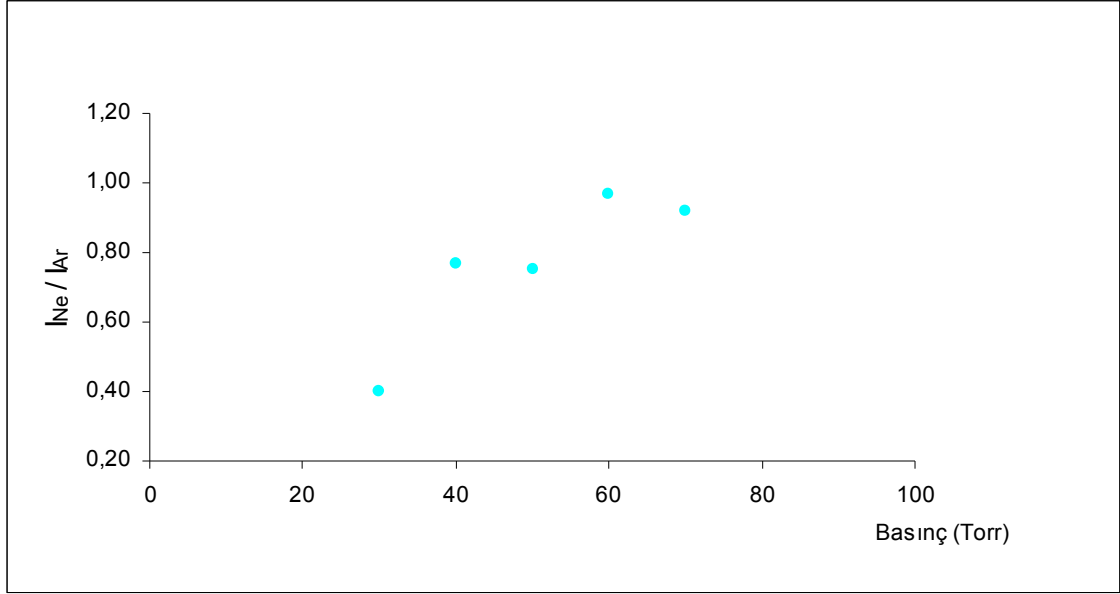
Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan argon soy gazının saf, %50Ar+%50H₂ ve %15Ar+%15Ne+%70H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.38'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.38. Argon soy gazının saf, %50Ne+%50H₂ ve %15Ar+%15Ne+%70H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması

%15Ar+%15Ne+%70H₂ çoklu gaz karışımı deşarjında neon ve argon gazına ait olan monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm'lik dalga boylu geçişlerin bağıl 50 Torr civarında minimum değere ulaşır. 50 Torr'un altındaki ya da üzerindeki basınç değerlerinde ise yavaş bir şekilde artmaktadır. Üçlü karışımlardaki bağıl şiddet değerleri, saf gaz deşarjları ve ikili karışım deşarjlarındaki değerlerden daha düşüktür. Bu değişim şekil 5.35 - 5.38'deki grafiklerde açıkça görülmektedir.

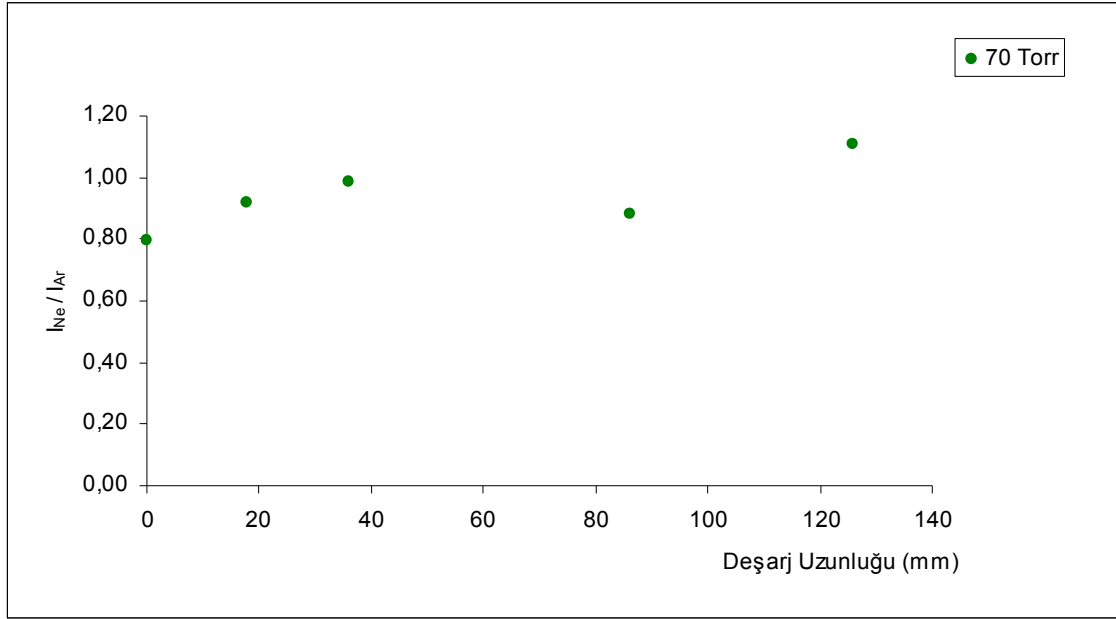
Şekil 5.39, neon ve argon soy gazlarının Monokromatizasyon değerlerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm'lik geçişlere karşılık gelen bağıl şiddet oranlarının $\left(\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}} \right)$ deşarj cihazının içerisindeki çoklu gaz karışımının şiddet-basınç (Torr) değişim grafiğini göstermektedir.



Şekil 5.39. % 15Ar+%15Ne+%70 H₂ çoklu gaz karışımı deşarjları için 585.24nm’lik pikin 750.38 nm’lik pike oranının (I_{Ne}/I_{Ar}) basınç ile değişimi

Şekil 5.39’dan da görüldüğü gibi I_{Ne}/I_{Ar} oranı yaklaşık 0.40 ila 1.00 değerleri arasında değişmektedir. Deşarj tüpünün basıncı yaklaşık 60 Torr civarında olduğunda I_{Ne}/I_{Ar} oranı ortalama 1’dir.

Şekil 5.40’da, elde edilen dielektrik bariyer deşarjda Ne ve Ar soy gazlarının Monokromatizasyon değerlerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm’lik geçişlere karşılık gelen bağıl şiddet oranlarının $\left(I_{Ne}/I_{Ar}\right)$ deşarj cihazının deşarj uzunluğuna göre değişimi gösterilmiştir.

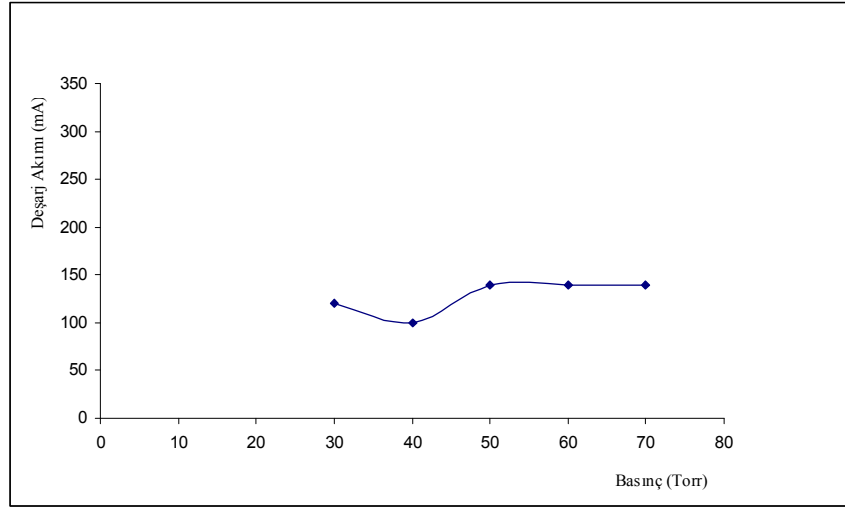


Şekil 5.40. % 15Ar+%15 Ne+%70 H₂ gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm’lik pikin

750.38nm’lik pike oranının (I_{Ne}/I_{Ar})-deşarj uzunluğu ile değişimi

I_{Ne}/I_{Ar} oranı 0.80 ile yaklaşık 1.10 arasında değişmektedir. Şekil 5.39 ve 5.40’daki grafiklerin orjin noktası anot, 36 mm’deki değer ise katot ucuna tekabül etmektedir. 38 mm’den büyük değerler ise katotun arka ucuna doğru olan değişimi göstermektedir.

Şekil5.41’de %15Ar+%15Ne+%70H₂, çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikte ölçülmüş olan deşarj akımları 70, 60 ve 50 Torr değerlerinde yaklaşık aynı değerlerdedir. 40 Torr ve 30 Torr’luk basınç değerlerinde ise akım değerleri azalmaktadır.

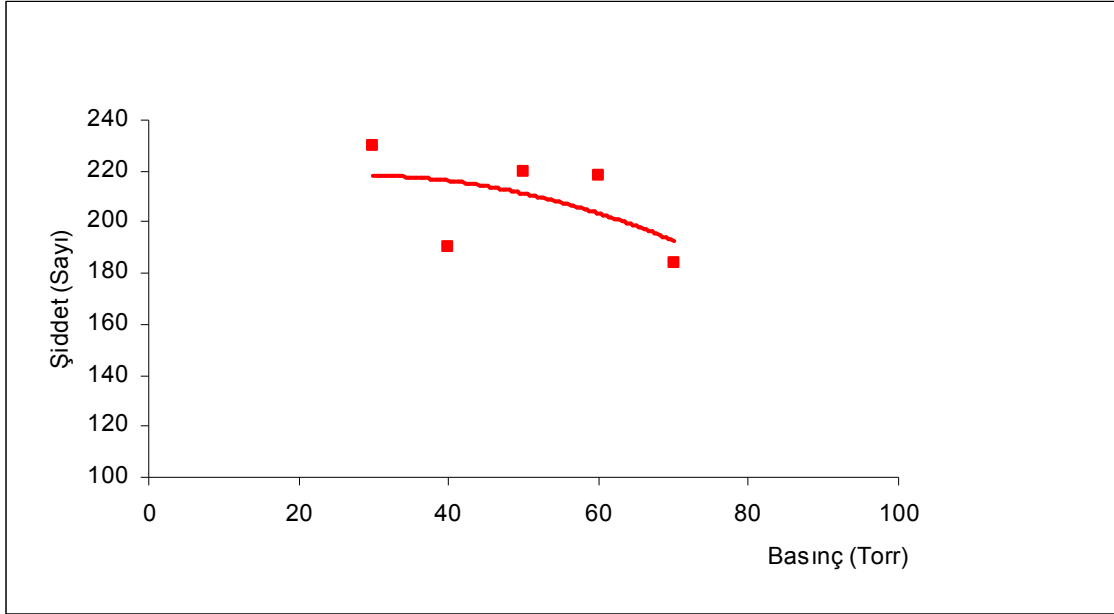


Şekil5.41 %15Ar+%15Ne+%70H₂çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişim grafiği

VIII-%25 Ar+%25 Ne+%50 H₂ çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının optik emisyon spektrumları ve sonuçları;

%25Ar+%25Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının 70 Torr ve 2 numaralı prob konumundan alınan optik emisyon spektrumunda, 585,24 nm’li dalga boyunda neon için monokromatizasyon etkisini veren pik ve 750.38 nm’li dalga boyunda ise argon için monokromatizasyon etkisini veren pik beraberce görülmektedir. Spektrumlarda açıkça görülen bu piklerin dalga boylarında hiçbir kayma gözlenmemiştir. Diğer basınçlardaki ve prob konumlarındaki emisyon spektrumlarının tümü benzer sonuçlar gösterdiğinden her biri ayrı ayrı verilmemiştir.

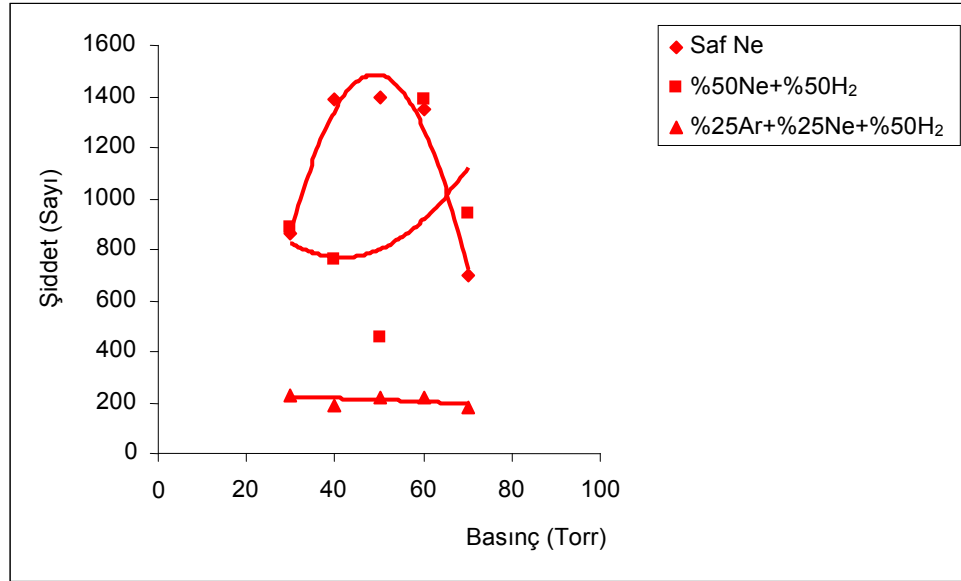
Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan üçlü karışımın 2 numaralı prob konumundan alınan emisyon spektrumlarındaki neon soy gazının monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm’lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.42’de gösterilmiştir.



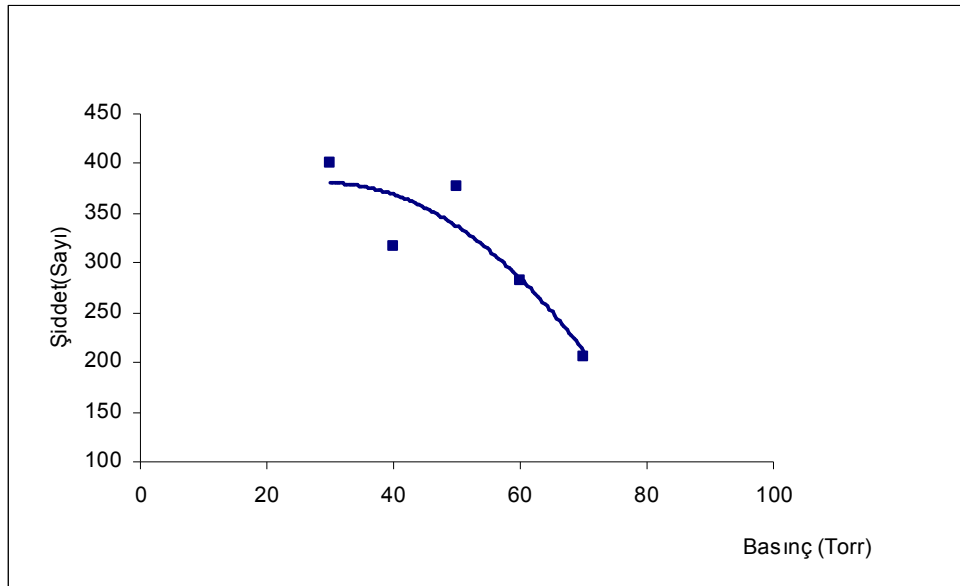
Şekil 5.42. % 25 Ar +% 25 Ne+% 50 H₂ gaz karışımı deşarjı spektrumunda 585.24 nm dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafiği

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan neon soy gazının saf, %50Ne+%50H₂ ve %25Ar+%25Ne+%50H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.43'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan üçlü karışımın 2 numaralı prob konumundan alınan emisyon spektrumlarındaki argon soy gazının monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.44'de gösterilmiştir.



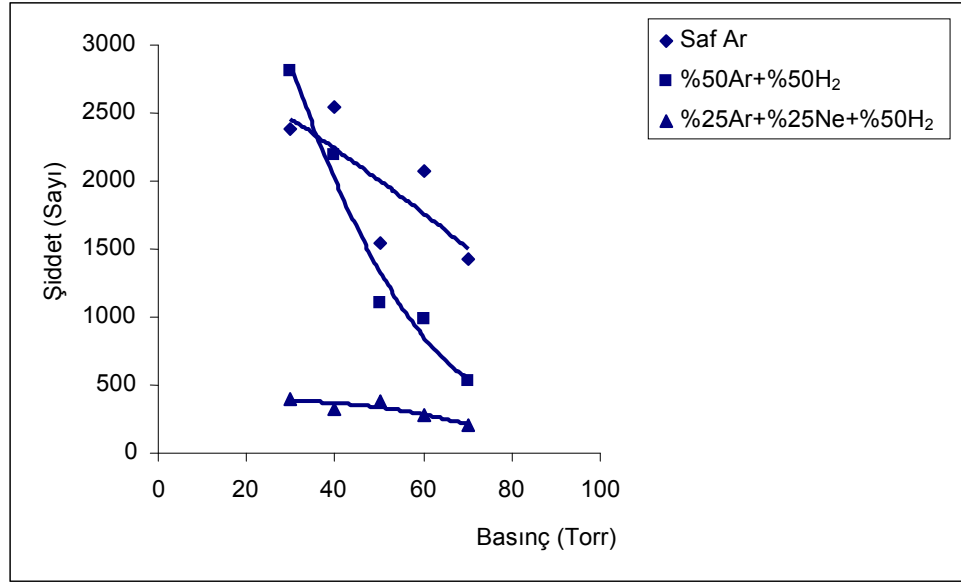
Şekil 5.43. Neon soy gazının saf, %50Ne+%50H₂ ve %25Ar+%25Ne+%50H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 5.44. %25Ar +%25Ne+%50 H₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarında 750.38 nm dalga boylu geçiş için karşılık gelen bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafikleri

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan argon soy gazının saf, %50Ar+%50H₂ ve %25Ar+%25Ne+%50H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik

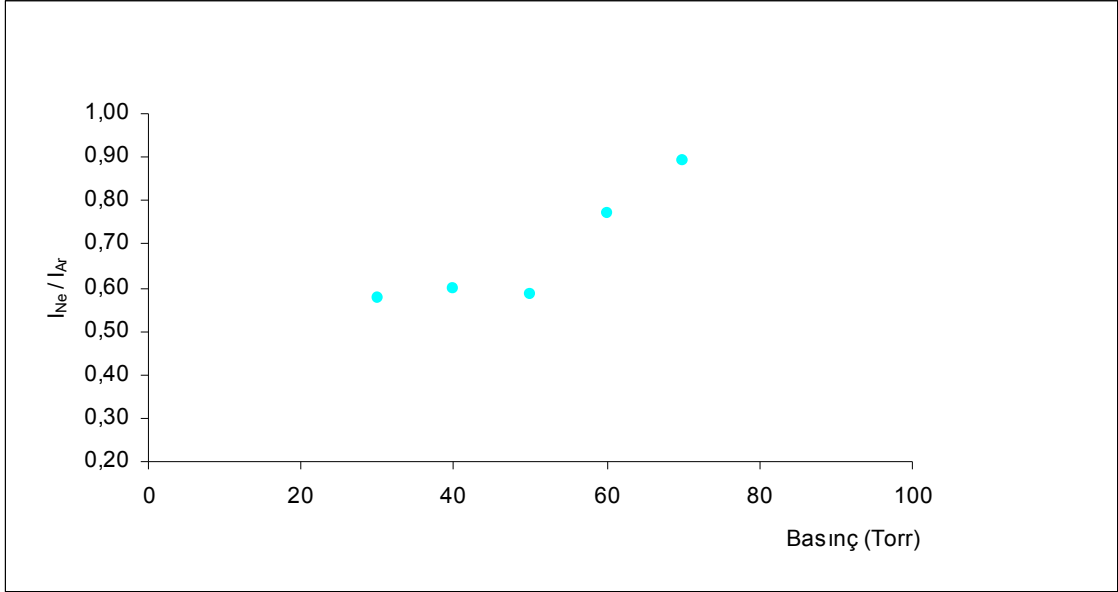
dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.45’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.45. Argon soy gazının saf, %50Ne+%50H₂ ve %25Ar+%25Ne+%50H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm’lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması

%25Ar+%25Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımı deşarjında neon ve argon gazına ait olan monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm’lik dalga boylu geçişlerin bağıl şiddetleri deşarj tüpünün basıncı arttıkça azalmaktadır. Bu azalış şekil 5.42-5.45’deki grafiklerde açıkça görülmektedir. Üçlü karışımlardaki bağıl şiddet değerleri, saf gaz ve ikili karışım deşarjlarındaki değerlerden daha düşüktür.

Şekil 5.46, Ne ve Ar soy gazlarının Monokromatizasyon değerlerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm’lik geçişlere karşılık gelen bağıl şiddet oranlarının $\left(\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}} \right)$ deşarj cihazının içerisindeki çoklu gaz karışımının şiddet-basınç (Torr) değişim grafiğini göstermektedir.



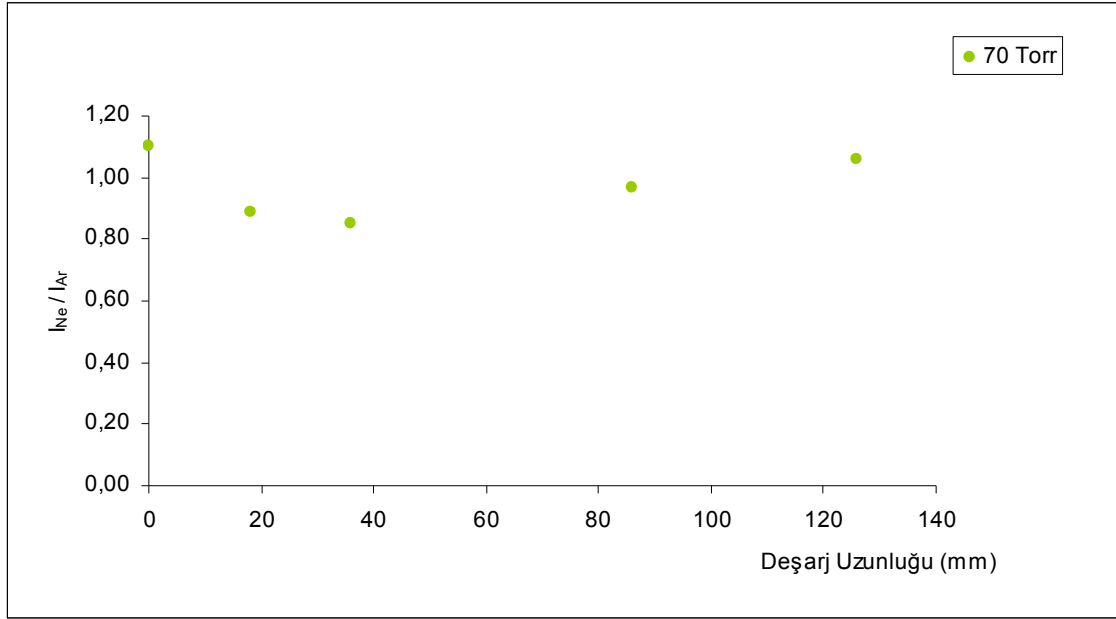
Şekil 5.46. % 25Ar+% 25 Ne+%50 H₂ çoklu gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm’lik

pikin 750.38 nm’lik pike oranının (I_{Ne}/I_{Ar}) basınç ile değişimi

Şekil 5.46’dan da görüldüğü gibi I_{Ne}/I_{Ar} oranı yaklaşık 0.60 ila 1.00 değerleri

arasında değişmektedir. Deşarj tüpünün basıncı arttıkça I_{Ne}/I_{Ar} oranı artmaktadır.

Şekil 5.47’de elde edilen dielektrik bariyer deşarjda Ne ve Ar soy gazlarının Monokromatizasyon değerlerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm’lik geçişlere karşılık gelen bağıl şiddet oranlarının $\left(I_{Ne}/I_{Ar}\right)$ deşarj cihazının deşarj uzunluğuna göre değişimi gösterilmiştir.

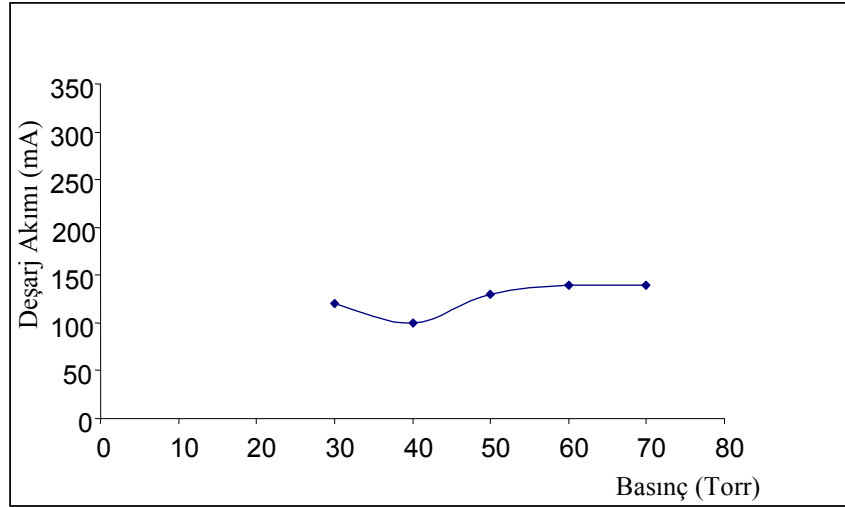


Şekil 5.47. %25Ar+%25 Ne+%50 H₂ gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm’lik pike

750.38 nm’lik pike oranının (I_{Ne}/I_{Ar})-deşarj uzunluğu ile değişimi

I_{Ne}/I_{Ar} oranı 0.80 ile yaklaşık 1.10 arasında değişmektedir. Şekil 5.46 ve 5.47’deki grafiklerin orjin noktası anot, 36 mm’deki değer ise katot ucuna tekabül etmektedir. 38 mm’den büyük değerler ise katotun arka ucuna doğru olan değişimi göstermektedir

Şekil 5.48’de %25Ar+%25Ne+%50H₂, çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikte ölçülmüş olan deşarj akımları 70, 60 ve 50 Torr değerlerinde yaklaşık aynı değerlerdedir. 40 Torr ve 30 Torr’luk basınç değerlerinde ise akım değerleri azalmaktadır.

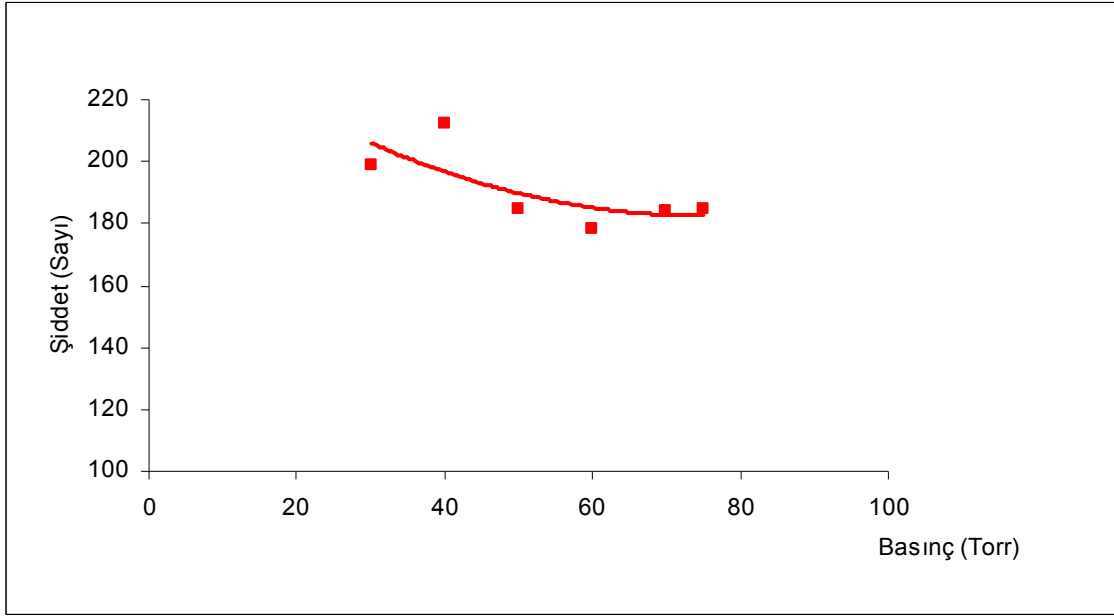


Şekil5.48 %25Ar+%25Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişim grafiği

IX- %35 Ar+%35 Ne+%30 H₂ çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının optik emisyon spektrumları ve sonuçları;

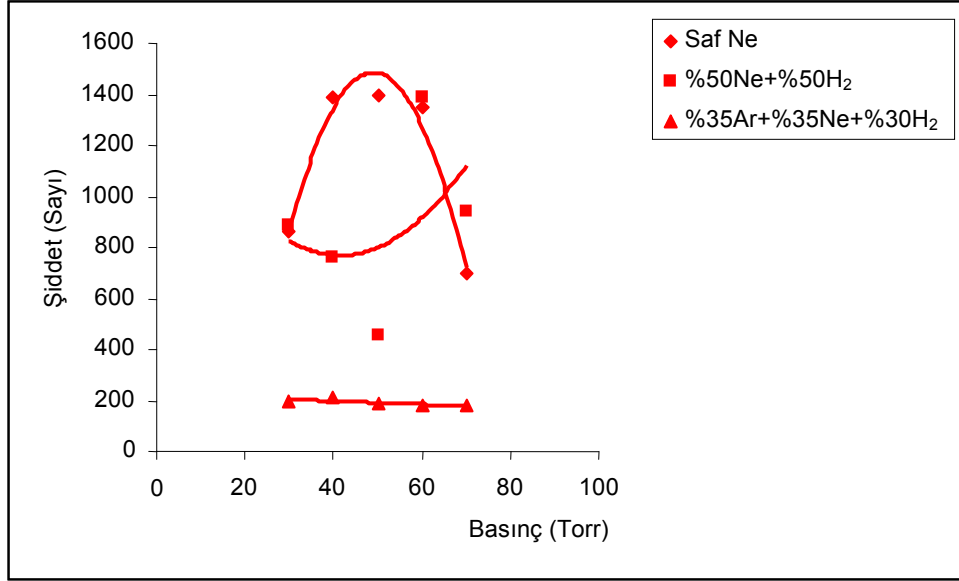
%35Ar+%35Ne+%30H₂ çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjının 70 Torr ve 2 numaralı prob konumundaki optik emisyon spektrumunda, 585,24 nm’li dalga boyunda neon için monokromatizasyon etkisini veren pik ve 750.38 nm’li dalga boyunda ise argon için monokromatizasyon etkisini veren pik beraberce görülmektedir. Spektrumda görülebileceği gibi bu piklerin dalga boylarında hiçbir kayma gözlenmemiştir. Diğer basınçlardaki ve prob konumlarındaki emisyon spektrumlarının tümü benzer sonuçlar gösterdiğinden her biri ayrı ayrı verilmemiştir.

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan üçlü karışımın 2 numaralı prob konumundan alınan emisyon spektrumlarındaki neon soy gazının monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm’lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.49’da gösterilmiştir.



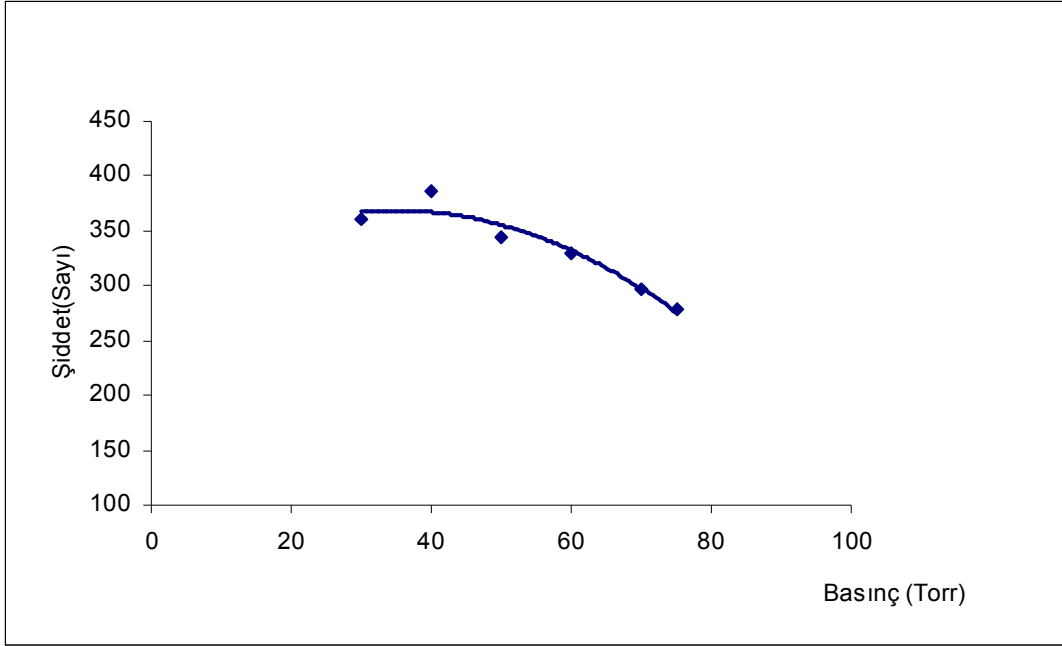
Şekil 5.49. %35 Ar +%35 Ne+%30 H₂ gaz karışımı deşarjı spektrumunda 585.24 nm dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafiği

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan neon soy gazının saf, %50 Ne+%50H₂ ve %35Ar+%35Ne+%30H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.50'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



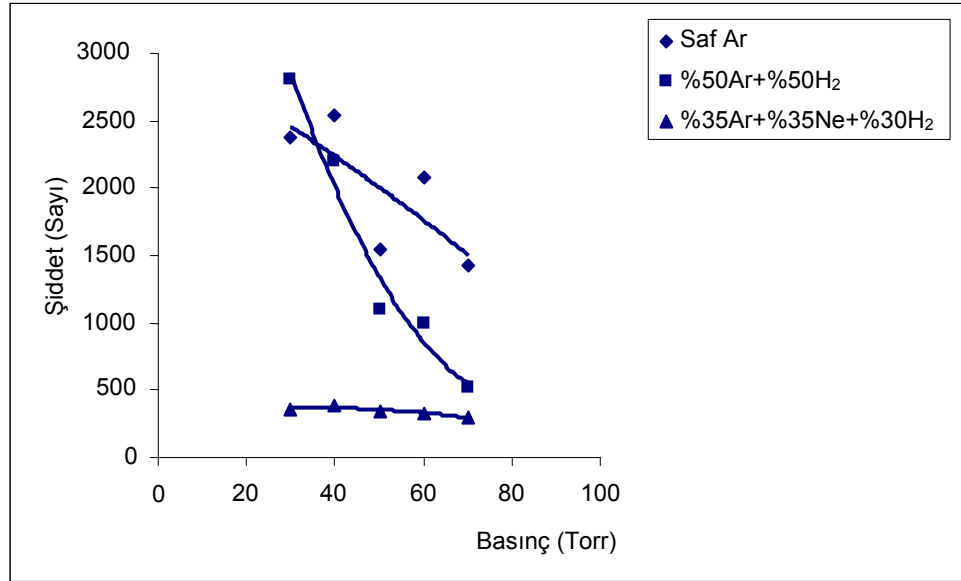
Şekil 5.50. Neon soy gazının saf, %50Ne+%50H₂ ve %35Ar+%35Ne+%30H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan üçlü karışımda 2 numaralı prob konumundan alınan emisyon spektrumlarındaki argon soy gazının monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.51'de gösterilmiştir.



Şekil 5.51. % 35Ar +%35 Ne+%30 H₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarında ölçülmüş olan 750.38 nm dalga boylu geçiş için karşılık gelen bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafikleri

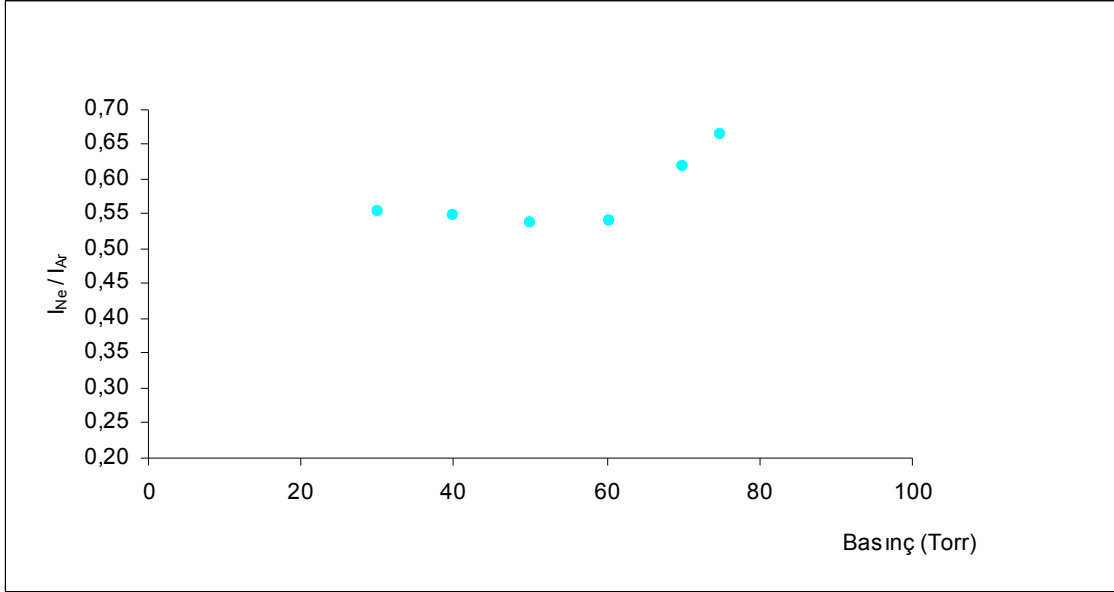
Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan argon soy gazının saf, %50 Ar+%50H₂ ve %35Ar+%35Ne+%30H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.52'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.52. Argon soy gazının saf, %50Ne+%50H₂ ve %35Ar+%35Ne+%30H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması

%35Ar+%35Ne+%30H₂ çoklu gaz karışımı deşarjında neon ve argon gazına ait olan monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm'lik dalga boylu geçişlerin bağıl şiddetleri deşarj tüpünün basıncı arttıkça azalmaktadır. Bu azalış şekil 5.49 – 5.52'deki grafiklerde açıkça görülmektedir. Üçlü karışımlardaki bağıl şiddet değerleri, saf gaz deşarjları ve ikili karışım deşarjlarındaki değerlerden daha düşüktür.

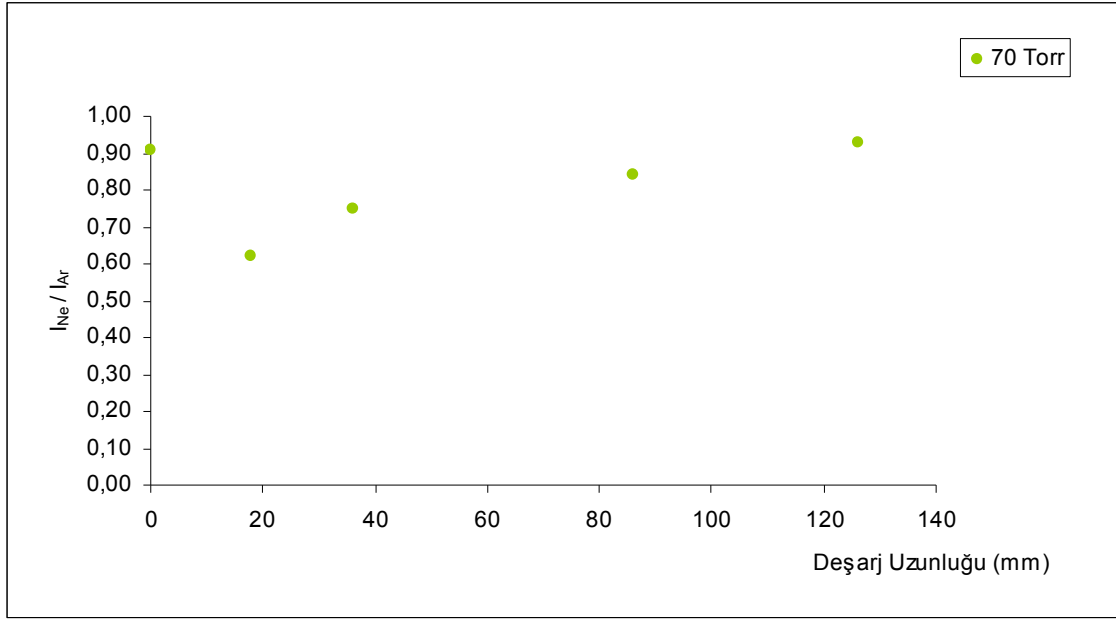
Şekil 5.53, Ne ve Ar soy gazlarının Monokromatizasyon değerlerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm'lik geçişlere karşılık gelen bağıl şiddet oranlarının $\left(\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}} \right)$ deşarj cihazının içerisindeki çoklu gaz karışımının şiddet-basınç (Torr) değişim grafiğini göstermektedir.



Şekil 5.53. %35Ar+%35Ne+%30 H₂ çoklu gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm’lik pikin 750.38 nm’lik pike oranının (I_{Ne}/I_{Ar}) basınç ile değişimi

Şekil 5.53’den de görüldüğü gibi I_{Ne}/I_{Ar} oranı yaklaşık 0.60 ila 1.00 değerleri arasında değişmektedir. Deşarj tüpünün basıncı arttıkça I_{Ne}/I_{Ar} oranı da artmaktadır.

Şekil 5.54’de elde edilen dielektrik bariyer deşarjda Ne ve Ar soy gazlarının Monokromatizasyon değerlerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm’lik geçişlere karşılık gelen bağıl şiddet oranlarının $\left(I_{Ne}/I_{Ar} \right)$ deşarj cihazının deşarj uzunluğuna göre değişimi gösterilmiştir.

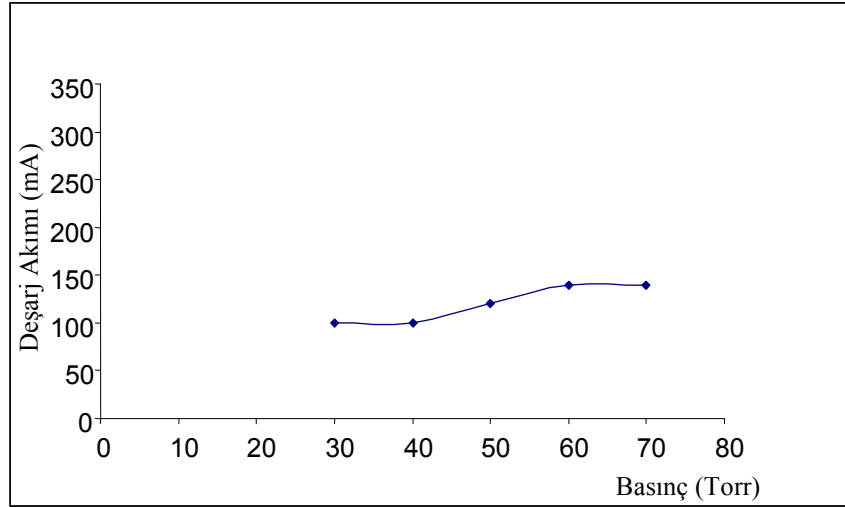


Şekil 5.54. % 35Ar+% 35 Ne+% 30 H₂ gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm’lik pike

750.38 nm’lik pike oranının (I_{Ne}/I_{Ar})-deşarj uzunluğu ile değişimi

I_{Ne}/I_{Ar} oranı 0.80 ile yaklaşık 1.10 arasında değişmektedir. Şekil 5.52 ve 5.53’deki grafiklerin orijin noktası anot, 36 mm’deki değer ise katot ucuna tekabül etmektedir. 38 mm’den büyük değerler ise katotun arka ucuna doğru olan değişimi göstermektedir.

Şekil 5.55’de %35Ar+%35Ne+%30H₂, çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikte ölçülmüş olan deşarj akımları 70, 60 ve 50 Torr değerlerinde yaklaşık aynı değerlerdedir. 40 Torr ve 30 Torr’luk basınç değerlerinde ise akım değerleri azalmaktadır.

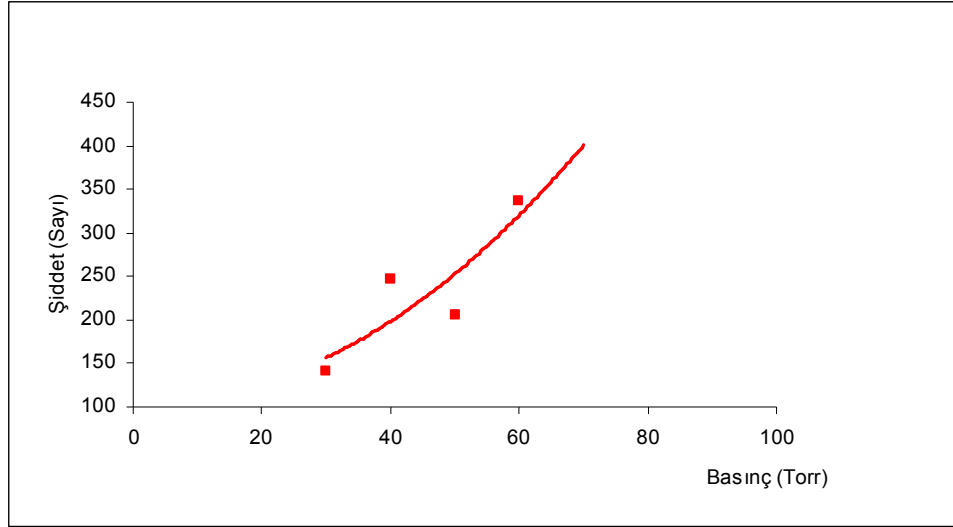


Şekil 5.55 %35Ar+%35Ne+%30H₂ çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişim grafiği

X- %45 Ar+%45 Ne+%10 H₂ çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjlarının optik emisyon spektrumları ve sonuçları;

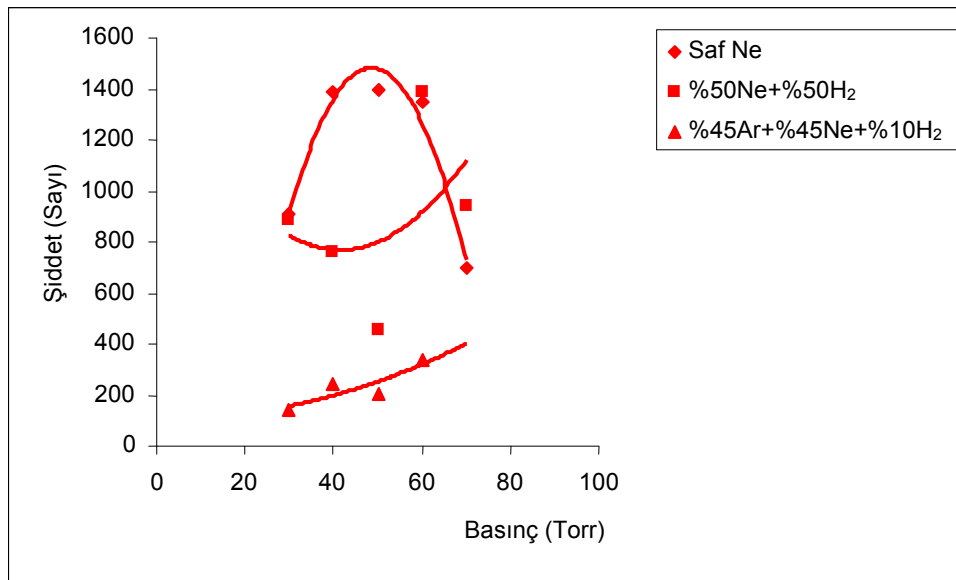
%45Ar+%45Ne+%10H₂ çoklu gaz karışımının dielektrik bariyer deşarjı 70 Torr'da elde edilememiştir. Bunun dışındaki tüm basınç değerlerinde dielektrik bariyer deşarj oluşturulabilmiştir. Bu üçlü karışımın 60 Torr ve 2 numaralı prob konumundaki optik emisyon spektrumunda, 585.24 nm'li dalga boyunda neon için monokromatizasyon etkisini veren pik ve 750.38 nm'li dalga boyunda ise argon için monokromatizasyon etkisini veren pik beraberce görülmektedir. Spektrumlarda görülebileceği gibi bu piklerin dalga boylarında hiçbir kayma gözlenmemiştir. Diğer basınçlardaki ve prob konumlarındaki emisyon spektrumlarının tümü benzer sonuçlar gösterdiğinden her biri ayrı ayrı verilmemiştir.

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan üçlü karışımın 2 numaralı prob konumundan alınan emisyon spektrumlarındaki neon soy gazının monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.56'da gösterilmiştir.



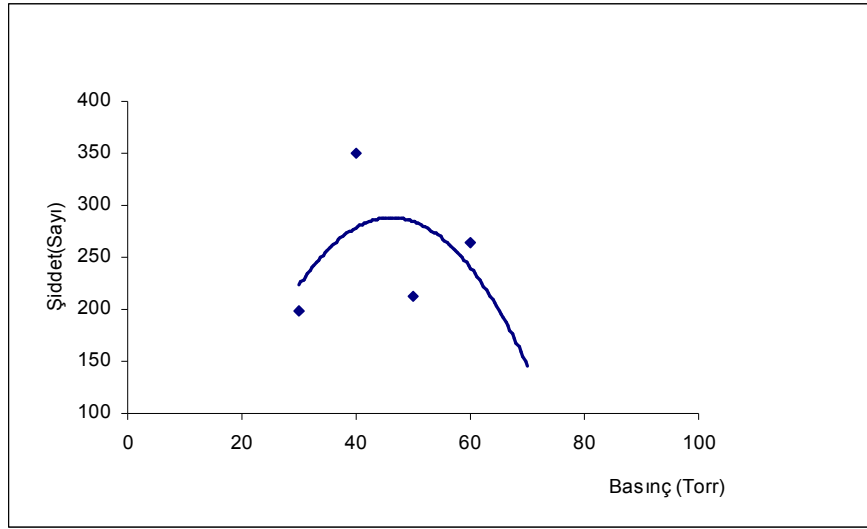
Şekil 5.56. % 45 Ar +% 45 Ne +% 10 H₂ gaz karışımı deşarjı spektrumunda 585.24 nm dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafiği

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan neon soy gazının saf, %50 Ne+%50H₂ ve %45Ar+%45Ne+%10H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.57'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



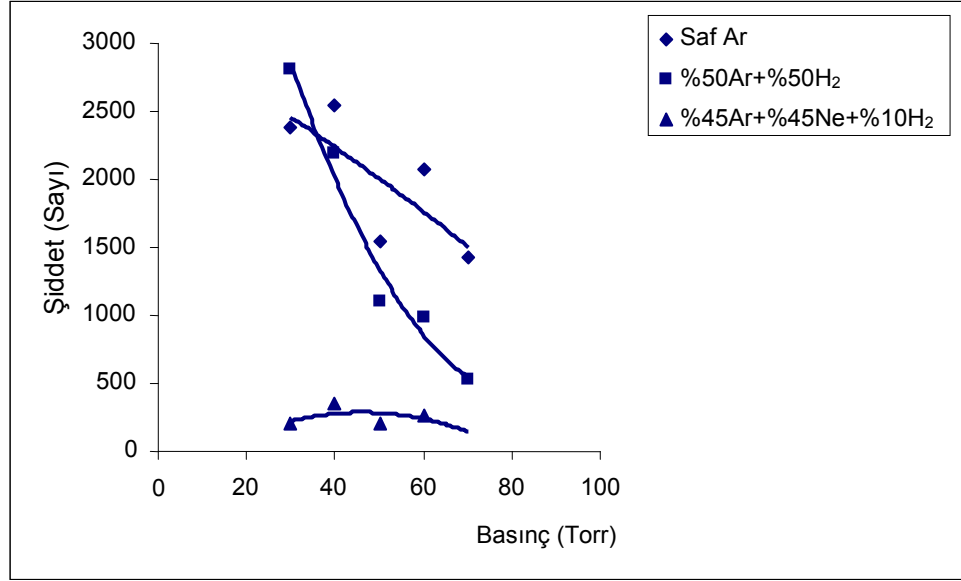
Şekil 5.57. Neon soy gazının saf, %50 Ne+%50H₂ ve %45Ar+%45Ne+%10H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması

Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan üçlü karışımın 2 numaralı prob konumundan alınan emisyon spektrumlarındaki argon soy gazının monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm’lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.58’de gösterilmiştir.



Şekil 5.58. % 45 Ar +% 45 Ne+% 10 H₂ çoklu gaz karışımı deşarjlarında ölçülmüş olan 750.38nm dalga boylu geçiş için karşılık gelen bağıl şiddet-basınç (Torr) değişimi grafikleri

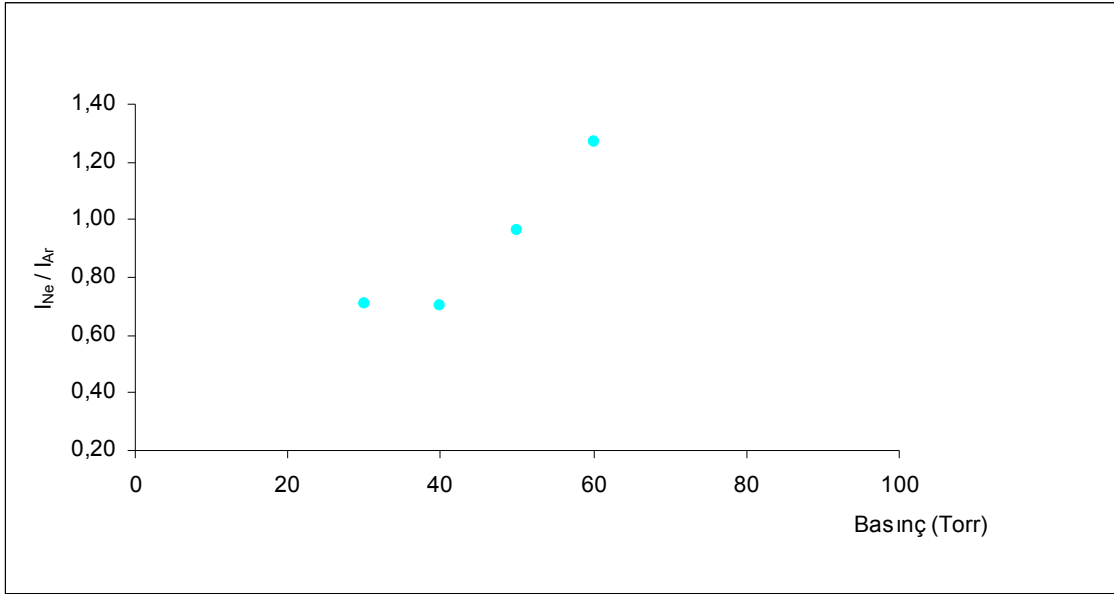
Dielektrik bariyer deşarjı oluşturulan argon soy gazının saf, %50 Ar+%50H₂ ve %45Ar+%45Ne+%10H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm’lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiği şekil 5.59’da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.59. Argon soy gazının saf, %50 Ne+%50H₂ ve %45Ar+%45Ne+%10H₂ durumunda monokromatizasyon değerini veren 750.38 nm'lik dalga boylu geçiş için bağıl şiddet-basınç (Torr) değişim grafiklerinin karşılaştırılması

%45Ar+%45Ne+%10H₂ çoklu gaz karışımı deşarjında neon ve argon gazına ait olan monokromatizasyon değerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm'lik dalga boylu geçişlerin bağıl şiddetleri, deşarj tüpünün basıncı arttıkça azalmaktadır. Bu azalış şekil 5.54 ve 5.59'daki grafiklerde açıkça görülmektedir. Üçlü karışımlardaki bağıl şiddet değerleri, saf gaz deşarjları ve ikili karışım deşarjlarındaki değerlerden daha düşüktür.

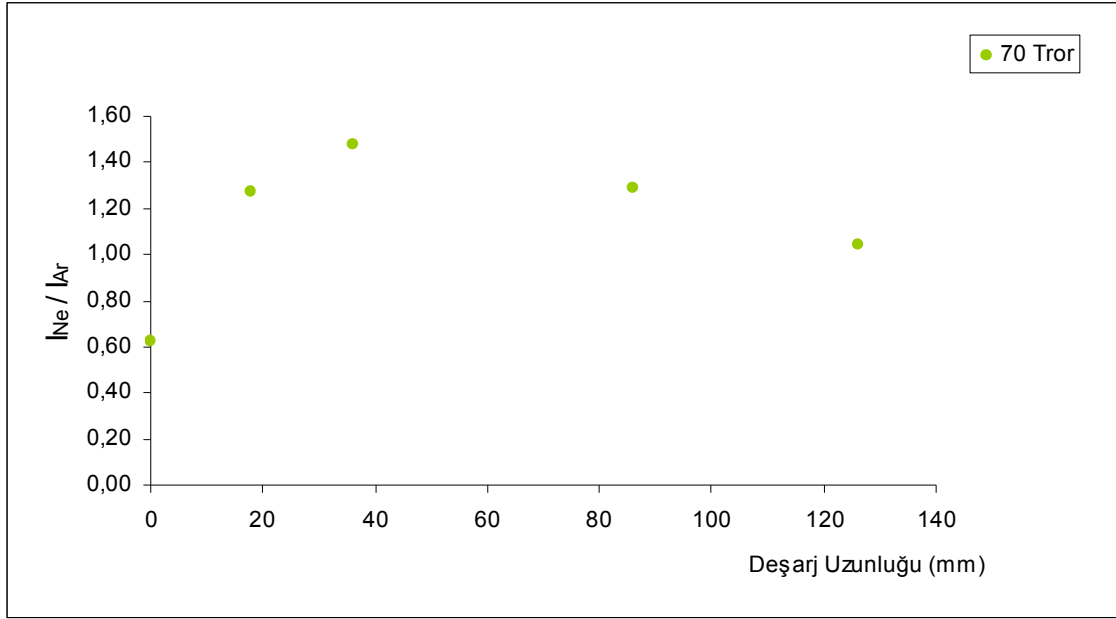
Şekil 5.60, Ne ve Ar soy gazlarının, Monokromatizasyon değerlerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm'lik geçişlere karşılık gelen bağıl şiddet oranlarının $\left(\frac{I_{Ne}}{I_{Ar}} \right)$ deşarj cihazının içerisindeki çoklu gaz karışımının şiddet-basınç (Torr) değişim grafiğini göstermektedir.



Şekil 5.60. % 45 Ar+% 45 Ne+% 10 H₂ çoklu gaz karışımı deşarjları için 585.24nm’lik pikin 750.38 nm’lik pike oranının (I_{Ne}/I_{Ar}) basınç ile değişimi

Şekil 5.60’dan da görüldüğü gibi I_{Ne}/I_{Ar} oranı yaklaşık 0.60 ila 1.00 değerleri arasında değişmektedir. Deşarj tüpünün basıncı arttıkça I_{Ne}/I_{Ar} oranı da artmaktadır.

Şekil 5.61’de elde edilen dielektrik bariyer deşarjda Ne ve Ar soy gazlarının Monokromatizasyon değerlerini veren 585.24 nm ve 750.38 nm’lik geçişlere karşılık gelen bağıl şiddet oranlarının $\left(I_{Ne}/I_{Ar}\right)$ deşarj cihazının deşarj uzunluğuna göre değişimi gösterilmiştir.

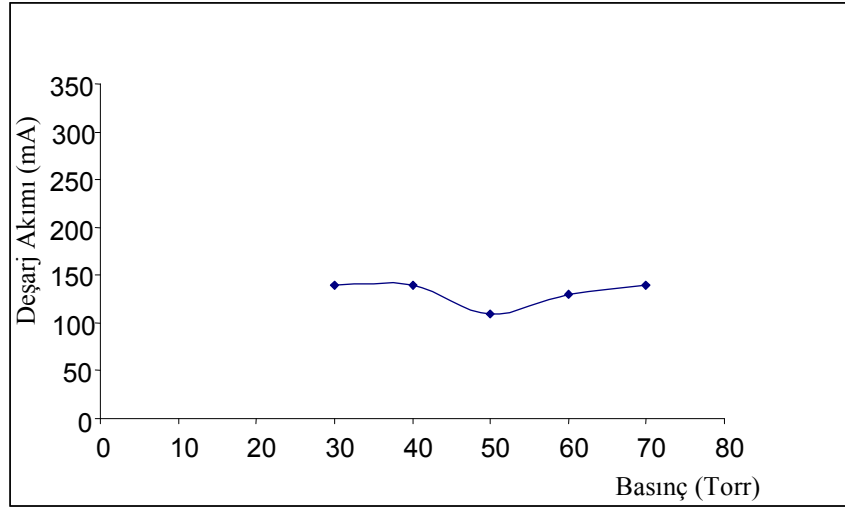


Şekil 5.61. % 45Ar+% 45 Ne+% 10 H₂ gaz karışımı deşarjları için 585.24 nm’lik pikin

750.38nm’lik pike oranının (I_{Ne}/I_{Ar})-deşarj uzunluğu ile değişimi

I_{Ne}/I_{Ar} oranı 0.80 ile yaklaşık 1.10 arasında değişmektedir. Şekil 5.60 ve 5.61’deki grafiklerin orjin noktası anot, 36 mm’deki değer ise katot ucuna tekabül etmektedir. 38 mm’den büyük değerler ise katotun arka ucuna doğru olan değişimi göstermektedir

Şekil5.62’de %45Ar+%45Ne+%10H₂, çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikte ölçülmüş olan deşarj akımları 70, 60 ve 50 Torr değerlerinde yaklaşık aynı değerlerdedir. 40 Torr ve 30 Torr’luk basınç değerlerinde ise akım değerleri azalmaktadır.



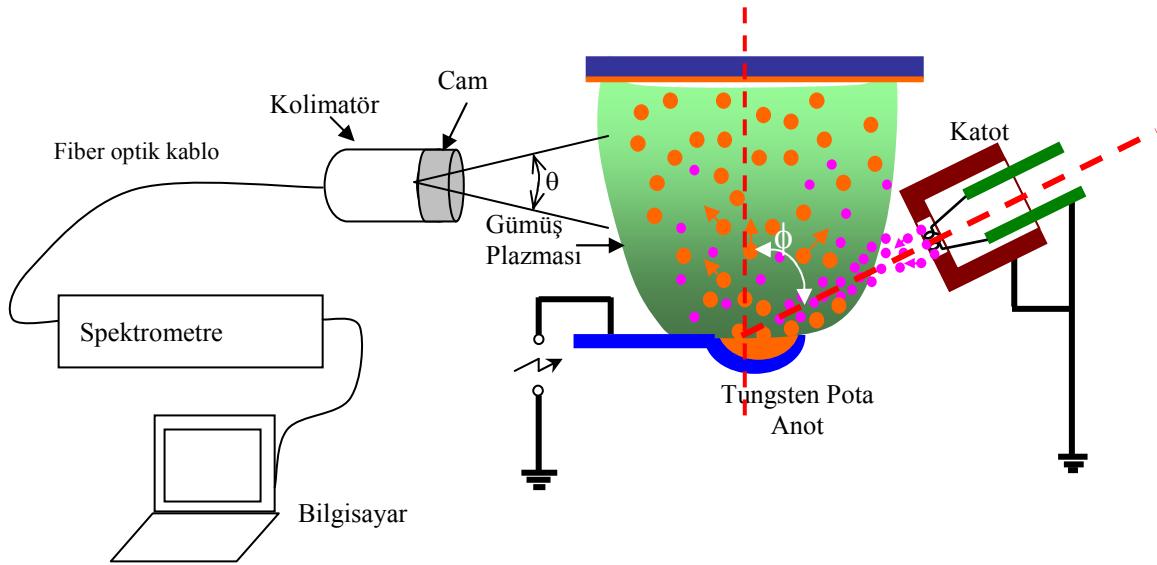
Şekil5.62 %45Ar+%45Ne+%10H₂çoklu gaz karışımları elektriksel deşarjları esnasında ölçülen Basınç (Torr)-Akım (mA) değişim grafiği

5.2. Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) Gümüş (Ag) Metal Plazmalarının Spektral Ölçümleri

5.2.1 Deney sistem

Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) gümüş metal plazmalarının optik emisyon spektroskopisinin incelendiği deneysel sistem şematik olarak şekil 5.63’de gösterilmiştir.

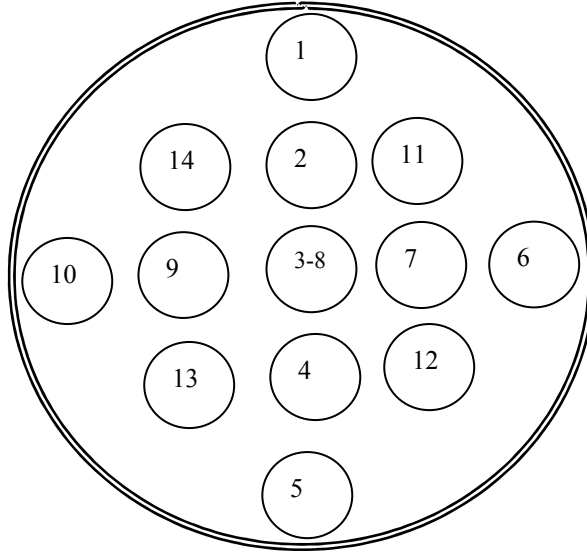
Spektroskopik ölçümler için OceanOptics USB2000 marka 600 groves/mm’lik spektrometre kullanılmıştır. Spektrometre cihazı ile gümüş metal plazmasından alınan veriler fiber optik kablo yardımı ile spektrometreye taşınmış ve OOIBASE32 programı kullanılarak spektroskopik veriler elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.



Şekil 5.63. T.V.A. Ag metal plazması optik emisyon spektroskopisi sisteminin şematik çizimi [49,50]

Optik emisyon spektroskopisi alınırken, oluşan plazmanın radyal dağılımını elde etmek için kolimatör kullanılmıştır. Şekil 5.64’de kullanılan kolimatörün şematik çizimi

gösterilmiştir. Kolimatör üzerindeki yan problemler arasındaki mesafe 7.5 mm, çapraz problemler arası 10mm'dir.



Şekil 5.64. Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) gümüş metal plazması analizi için kullanılan kolimatör ve kolimatör prob numaraları

5.2.2 Deney sonuçları

Gümüş metali 200–850 nm aralığında 4 adet oldukça şiddetli pike sahiptir. Bunlar çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Nötral Gümüş metalinin geçiş dalga boyu ve enerji seviyeleri [39]

Dalga boyu (nm)	Bağıl Şiddet (I)	A_{ki} ($10^8 s^{-1}$)	Enerji Seviyeleri (cm^{-1})	
328.06	1000	1.47	0.00	30472.703
338.28	500	1.35	0.00	29552.061
520.90	90	0.75	29552.061	48764.219
546.54	90	0.86	30472.703	48764.219

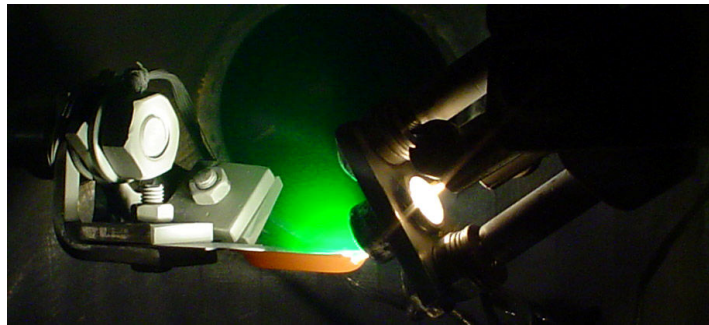
Bu çalışmada, P.Frugier ve arkadaşlarının kullandığı deneysel sistemden farklı bir sistem olan ve yine metal plazması üreten Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) sistemi ile gümüş metal buhar plazması incelenmiştir. T.V.A. gümüş metal plazmasının farklı parametre grupları için denklem 4.40 kullanılarak elde edilen plazma sıcaklıkları çizelge 5.7’de gösterilmiştir. Bu çizelgeden deşarj için gerekli olan yüksek voltaj değeri arttıkça oluşan gümüş metal plazmasının optik emisyon spektroskopisi kullanılarak elde edilen I şiddet değerlerinde de artış olduğu görülmektedir [49,50].

Çizelge 5.7’deki her bir parametre grubu için elde edilen gümüş metal plazmasının dijital fotoğrafları şekil 5.65-şekil 5.68’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Gümüş metal plazması parametreleri ve plazma elektron sıcaklığı

	1. Parametre grubu	2.Parametre grubu	3.Parametre grubu	4. Parametre grubu
I_f	18.5 A	18.5 A	18.5 A	18.5 A
V	1200 V	1250 V	1300 V	1350 V
P	5.10^{-5} mBar	5.10^{-5} mBar	$3.8.10^{-5}$ mBar	5.10^{-5} mBar
D	5.5 mm	5.5 mm	5.5 mm	5.5 mm
φ	50°	50°	50°	50°
T	1950 K	1960 K	2170 K	2650 K

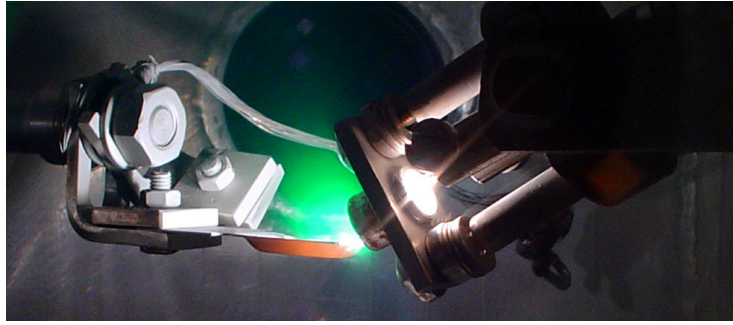
I_f; Flament Akımı, V; Voltaj, P; Basınç, I_B; Bombardıman Akımı, d; Elektrotlar arası uzaklık, φ; Anot açısı, Anot boyutları; 12mm*3mm*25mm



Şekil 5.65. 1 numaralı parametre grubu için Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının fotoğrafı



Şekil 5.66. 2 numaralı parametre grubu için Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının fotoğrafı

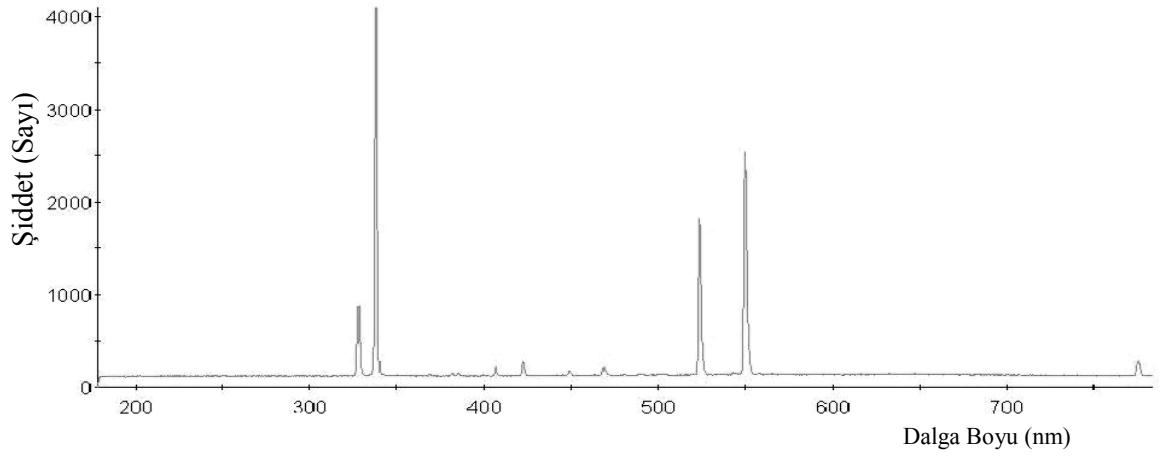


Şekil 5.67. 3 numaralı parametre grubu için Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının fotoğrafı



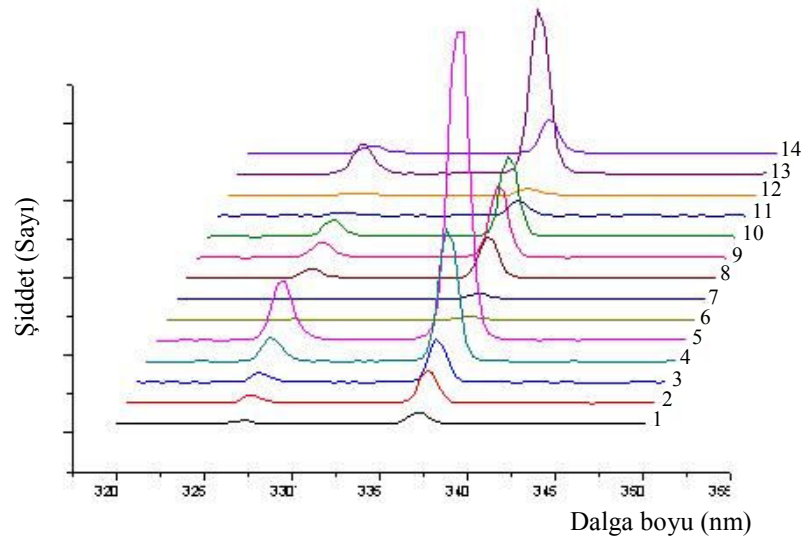
Şekil 5.68. 4 numaralı parametre grubu için Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının fotoğrafı

1 numaralı parametre grubu için 5 numaralı kolimatör probundan optik emisyon spektroskopisi kullanılarak elde edilen gümüş metal plazmasının 200-850 nm aralığındaki spektrumu şekil 5.69’da gösterilmiştir.



Şekil 5.69. 1 numaralı parametre grubu için Temiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının 5 numaralı kolimatör probundan alınmış spektrumu

Şekil 5.70’de 1 numaralı parametre grubu için 14 prob’dan kaydedilmiş optik emisyon spektroskopilerinin değişimi gösterilmiştir.



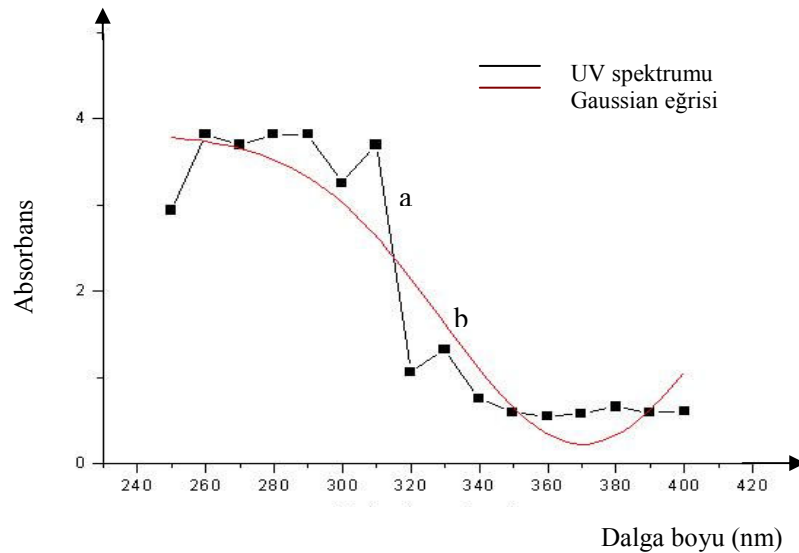
Şekil 5.70. 1 numaralı parametre grubu için Temiyonik Vakum Ark (T.V.A.) cihazında elde edilen gümüş metal plazmasının kolimatör numaralarına göre $\lambda_1 = 327.33$ nm ve $\lambda_2 = 337.13$ nm dalga boylarının şiddetinin karşılaştırılması

Şekil 5.70'den de görüldüğü gibi 5, 7 ve 12 numaralı probdan alınan spektrumda $\lambda_1 = 327.33$ nm ve $\lambda_2 = 337.13$ nm dalga boylarına karşılık gelen şiddet en düşük değerdedir. Çünkü gümüş metal plazmasını oluşturmak için kullandığımız elektron tabancasının probun önünü kapatması nedeniyle spektrumun olması gereken değeri ölçülemedi.

Şekil 5.71'de T.V.A. vakum odasının önünde bulunduğu camın gümüş metal plazması için plazma elektron sıcaklığının hesaplandığı bölgenin UV spektrumu görülmektedir. 328.06 nm ve 338.28 nm değerlerinde görüldüğü gibi, bu dalga boylarına karşılık gelen soğurulma değerleri birbirinden farklıdır. Bu nedenle pikler değerlendirilmeden önce camın absorbans katsayılar ile çarpılması gerekmektedir. Bu katsayı hesaplanırken;

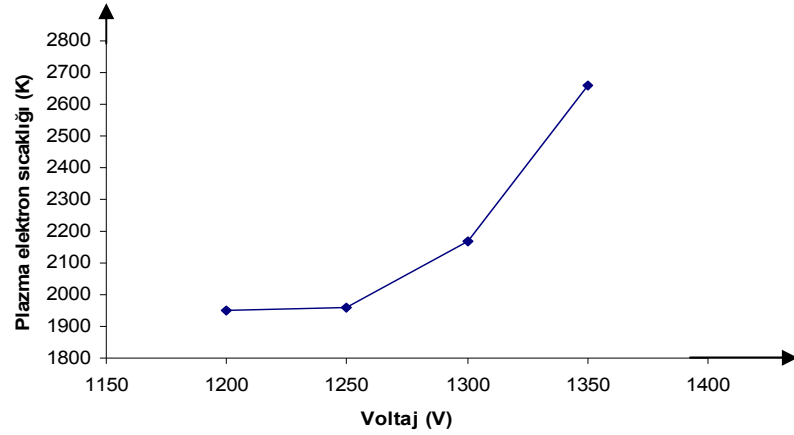
$$I = I_0 \exp(-\alpha t)$$

ifadesi kullanılır. Bu ifadedeki I ; spektrometrenin ölçtüğü ışık şiddeti, I_0 ; kaynaktan yayınlanan ışık şiddeti; α , soğurma katsayısı ve t de T.V.A. vakum odası üzerinde bulunan camın kalınlığıdır. Şekil 5.71'deki (a) eğrisinin Gaussian uyumu Origin programı kullanılarak 240-420 nm aralığında elde edilmiştir.



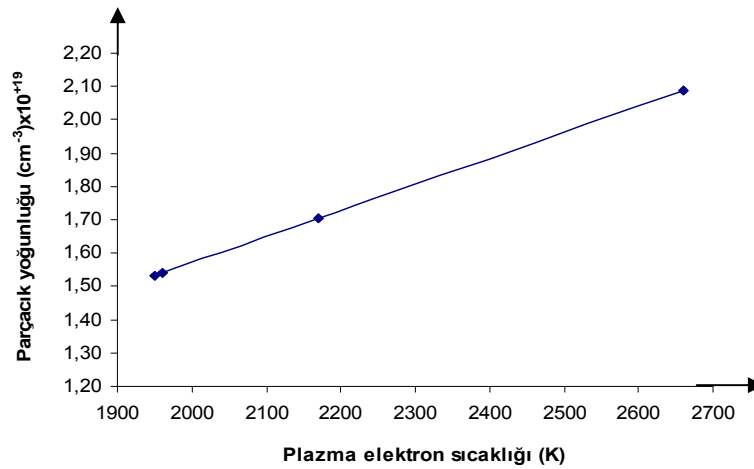
Şekil 5.71. T.V.A. Vakum odası üzerindeki camın UV spektrumu ve Gaussian uyumu

T.V.A. gümüş plazması elde edildikten sonra anot ile katot arasına uygulanan voltajın artırılması ile bu dört parametre grubu için elde edilen plazma sıcaklığı T 'nin V , uygulanan voltaja göre değişimi şekil 5.72'de gösterilmiştir [49,50].

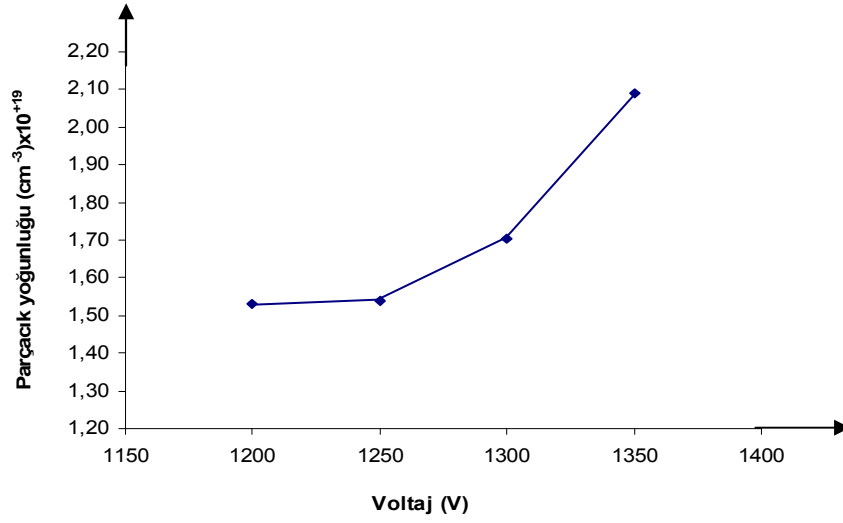


Şekil 5.72. Uygulanan voltaja karşı elektron sıcaklığının değişimi [49,50]

Şekil 5.73'de, şekil 5.72'deki plazma elektron sıcaklığı ile denklem 4.41 kullanılarak hesaplanan plazma parçacık yoğunluğunun değişimi gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi plazma elektron sıcaklığı ile parçacık yoğunluğu arasında doğrusal bir bağıntı vardır. Uygulanan voltajın artması ve plazma elektron sıcaklığının artması ile parçacık yoğunluğu da artmaktadır. Dolayısı ile 328.06 nm dalga boyuna karşılık gelen geçişin üst enerji seviyesindeki parçacık sayısı artmaktadır.

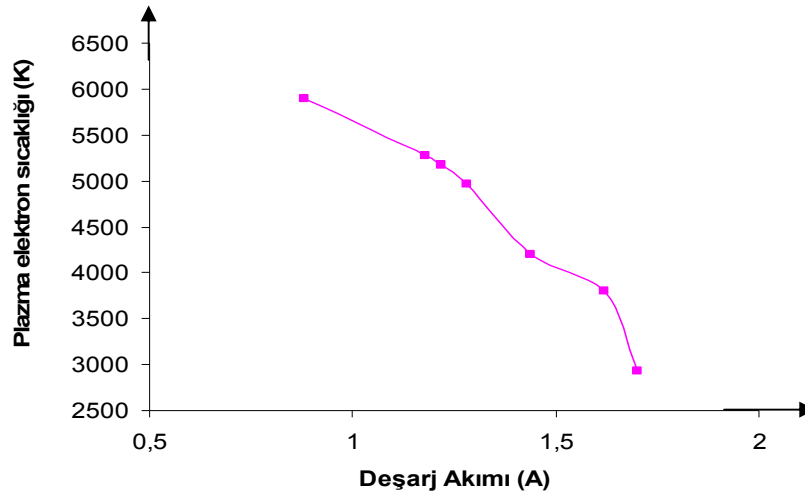


Şekil 5.73. Plazma parçacık yoğunluğu ile plazma elektron sıcaklığının değişimi



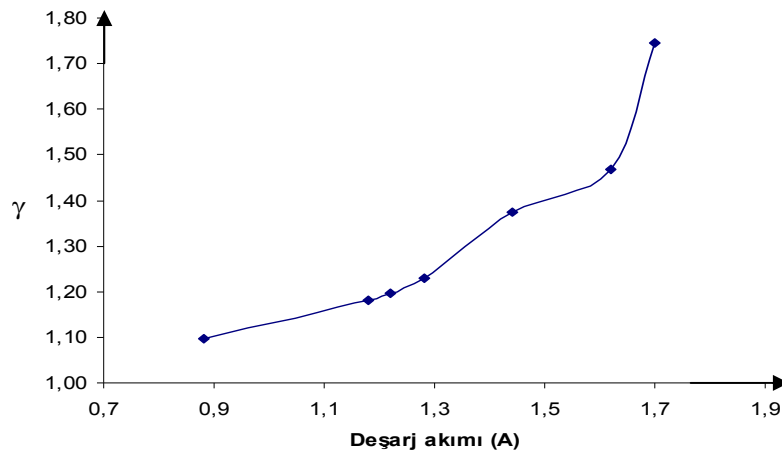
Şekil 5.74. Uygulanan voltaj ile parçacık yoğunluğunun değişimi grafiği

Şekil 5.74’de ise plazma içerisindeki parçacık yoğunluğunun uygulanan voltaj ile değişimi görülmektedir. Grafikten elde edilen eğri plazma elektron sıcaklığı eğrisine benzemektedir. Şekil 5.75’de Filaman akımı 21A için plazma deşarj akımına göre plazma elektron sıcaklığının değişimi gösterilmiştir.



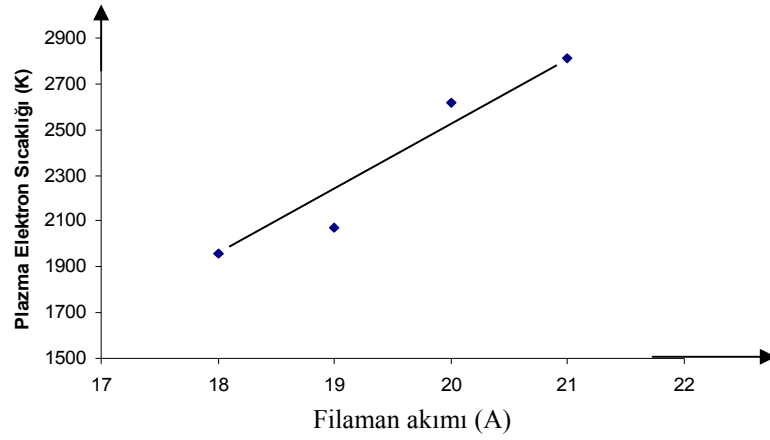
Şekil 5.75. Filaman akımı 21 A için plazma deşarj akımına göre plazma elektron sıcaklığının değişimi

T.V.A. gümüş metal plazmasının gücü $P=IxV$ ifadesinden hesaplanabilir. Ark deşarj boyunca deşarjın uçları arasındaki potansiyel değişmediğinden T.V.A. plazmasının güç ifadesi, deşarj akımı ile orantılı olarak değişmektedir. Şekil 5.73’den de görüldüğü gibi Termiyonik Vakum Ark plazma elektron sıcaklığı, plazma içerisindeki parçacık yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Deşarj akımı ile parçacık yoğunluğunun değişimi ise şekil 5.75’de verilmektedir. T.V.A. gümüş metal plazması için filaman akımı 21 A olduğu durumda denklem 4.42 kullanılarak hesaplanan ideal olmayan etki (γ) sonuçları şekil 5.76’da gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi γ teriminin değeri deşarj akımı ile artmaktadır.



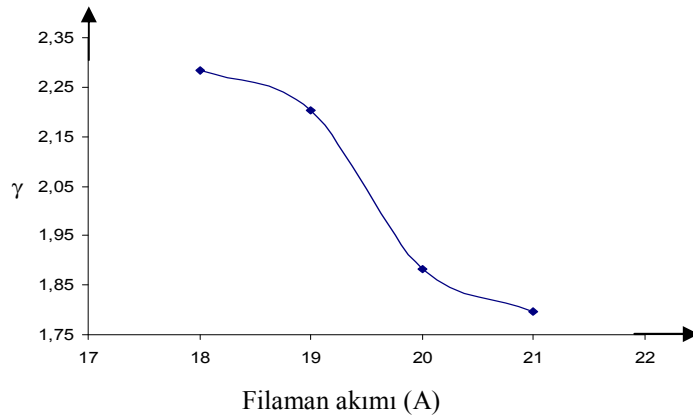
Şekil 5.76. Filaman akımı 21 Amper için deşarj akımına göre γ ideal olmayan etkinin değişimi

T.V.A. gümüş metal plazmasını elde etmek için kullanılan filaman akımı 18, 19, 20 ve 21 A değerlerindeki kararlı hal deşarjlarında plazma elektron sıcaklığının değişimi şekil 5.69’da gösterilmiştir. Yani 328.06 nm’lik dalga boyuna karşılık gelen geçişin şiddeti 338.28 nm lik dalga boyna göre daha çok artmaktadır.



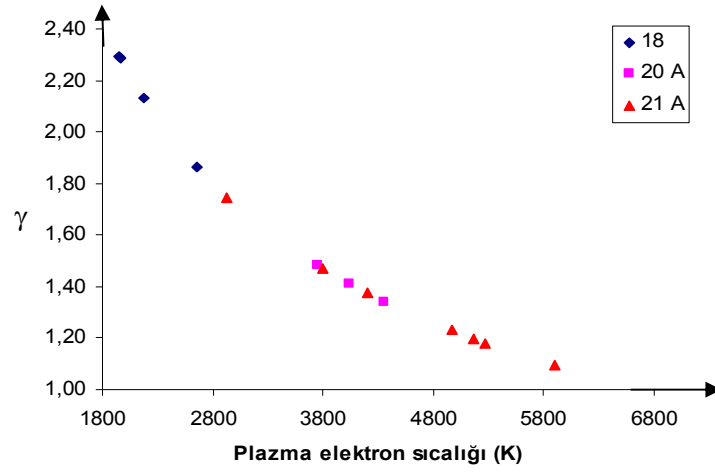
Şekil 5.77. Plazma elektron sıcaklığının filaman akımına göre değişimi

Şekil 5.78'den de görüldüğü gibi filaman akımı ile γ teriminin azalışı söz konusudur.



Şekil 5.78. Filaman akımı 18, 19, 20 ve 21 Amper için filaman akımına göre γ ideal olmayan etkinin değişimi

Şekil 5.79'dan da görüldüğü gibi Termiyonik Vakum Ark plazma elektron sıcaklığı arttıkça γ ideal olmayan etki değeri 1 değerine yaklaşmaktadır. Bu da T.V.A. gümüş metal plazmasının kuvvetli bir biçimde birleşmiş plazma olduğunu gösterir.



Şekil 5.79. Filaman akımı 18,20 ve 21 Amper için plazma elektron sıcaklığına göre γ ideal olmayan etkinin değişimi

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

Monokromatizasyon etkisi (M-etkisi), küçük deşarj boşluk derinliğine sahip olan (0.15mm) plazma ekran panellerinde (P.D.P.) Ne, Ar, Kr ve Xe soy gazlarına H₂ gazı gibi elektronegatif bir gaz ilave edilmesi ile yüksek basınç şartlarında (100-400 Torr) üretilen elektriksel deşarjlarda gözlenmiş ve bu etki, çalışma parametreleri yardımı ile kontrol edilebilmiştir [1-26]. Elektriksel deşarj oluşturmak için ise 1-2 kV'luk ve 1-20 kHz'lik kare dalga güç kaynakları kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amaçlarından bir tanesi, Monokromatizasyon etkisinin gözlenebilmesi için daha büyük deşarj boşluk derinliğine (36mm) sahip olan ve daha düşük basınçlarda (30-70 Torr)'da çalışabilen yeni bir deşarj cihazı oluşturmaktır. Bu deşarj cihazında elektriksel deşarj oluşturmak için, 25 kV ve 25 kHz'lik güç kaynağı kullanılmıştır. Kullanılan güç kaynağının, voltajının yüksek olması nedeni ile elektriksel deşarj içerisinde yüksek enerjili parçacıklar üretilmiştir. Bu yüksek enerjili parçacıklar ise, deşarj içerisinde negatif iyonların oluşmasına sebep olur. Bu negatif iyonlar da yeniden birleşme reaksiyonlarına katılarak, yeni tip deşarj cihazında M-etkisini oluştururlar. Ayrıca, oluşturulan bu gaz karışımı deşarjlarında, güç kaynağının frekansının yüksek olması nedeni ile oluşturulan deşarjın sıcaklığının artması engellenmiş ve böylelikle dielektrik bariyer deşarj cihazının içerisinde kararlı deşarjlar görülmüştür. Deşarj sıcaklığının artması ise, M-etkisi değerini doğrudan azaltmaktadır [15,22].

Deneysel çalışmalar için oluşturulan bu yeni tip deşarj cihazında üretilen çoklu gaz karışımlarının dielektrik bariyer deşarjları üretilmiştir. Monokromatizasyon etkisi ve çoklu gaz karışımlarında, Monokromatizasyon etkisinin gözlemlendiği elektronik geçişlerin incelenmesi için, saf Ar, saf Ne, saf He, %50Ar+%50H₂, %50Ne+%50H₂, %50He+%50H₂, %15Ar+%15Ne+%70H₂, %25Ar+%25Ne+%50H₂, 35Ar+%35Ne+%30H₂, %45Ar+%45Ne+%10H₂ gaz ve çoklu gaz karışımları kullanılmıştır. Helyum gazı kullanılarak oluşturulan elektriksel deşarjlar hariç, diğer tüm çoklu gaz karışımı deşarjlarında Monokromatizasyon etkisi gözlenmiştir. Ayrıca,

Monokromatizasyon etkisinin deşarj tüpü basıncı ve prob konumu ile değişimi saf gaz deşarjları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

DeneySEL sonuçlara göre, nötral argon gazına elektronegatif H_2 gazı ilave edildiğinde, karışımın spektrumu argon gazının optik emisyon spektrumundan farklıdır. Bu farklılığı incelemek için, nötral argonun en şiddetli iki piki olan 750.38nm ve 763.51nm'lik dalga boylarına karşılık gelen elektronik geçişler ve bunlara ait bağıl şiddet değerleri kullanılmıştır. Saf argon için 763.51nm'lik geçişe karşılık gelen bağıl şiddet değerleri, 750.38nm'lik geçişe karşılık gelen bağıl şiddet değerlerinden büyüktür. %50Ar+%50 H_2 çoklu gaz karışımında ise 750.38nm'lik geçişe karşılık gelen bağıl şiddet 763.51nm'lik geçişe ait olan bağıl şiddet değerinden büyüktür. Bu karışımındaki Monokromatizasyon değeri ise 60 Torr'da en büyük değere sahiptir (3.48). Bu gaz karışımında 750.38nm'lik ve 763.52 nm'lik dalga boylarının bağıl şiddetlerinin basınç ile değişimi, saf argona göre farklıdır. %50Ar+%50 H_2 çoklu gaz karışımında 750.38nm'lik geçişin bağıl şiddeti, deşarj tüpünün basıncı azaldıkça hızlı bir şekilde artmaktadır. Saf gaz deşarjında ise belirli bir basınç değerine kadar (40 Torr) artmakta daha sonra ise azalmaktadır. %50Ar+%50 H_2 durumunda 763.51nm'lik geçişin bağıl şiddet değeri ise, saf argondaki bağıl şiddet değerine göre oldukça azalmıştır. Karışımın deşarjında ise basınç azaldıkça, yavaş bir şekilde bağıl şiddet değeri artmaktadır. Saf argon durumunda ise belirli bir basınç değerine (40 Torr) kadar artmakta, sonra ise azalmaktadır.

Nötral neon gazına elektronegatif H_2 gazı ilave edildiğinde, karışımın optik emisyon spektrumu neon gazının spektrumundan farklıdır. Bu farklılığı incelemek için, nötral neonun en şiddetli elektronik geçişleri olan 585.24nm, 614.30nm ve 640.22nm'lik dalga boylarına karşılık gelen geçişler ve bunlara ait bağıl şiddet değerleri kullanılmıştır. Saf neon için bağıl şiddetlerin büyüklük sıralamaları sırası ile 640.22nm, 614.30nm ve 585.24nm şeklindedir. %50Ne+%50 H_2 çoklu gaz karışımında ise 585.24nm, 640.22nm ve 614.30 nm şeklinde gözlenmiştir. Bu çoklu gaz karışımında Monokromatizasyon değeri ise 60 Torr'da en büyük değere sahiptir (7.53). Bu gaz karışımında 585.24nm, 614.30nm ve 640.22nm'lik dalga boylarının, bağıl şiddetlerinin basınç ile değişimi saf neona göre farklıdır. %50Ne+%50 H_2 çoklu gaz karışımında

585.24nm’lik geçişin bağıl şiddeti deşarj tüpünün basıncının artması ile artmaktadır. Saf neonda ise belirli bir basınç değerine kadar (40 Torr) artmaktadır, daha yüksek basınçlarda ise azalmaktadır. %50Ne+%50H₂ çoklu gaz karışımında 614.30nm ve 640.22nm’lik dalga boylarının bağıl şiddetleri ise basınç arttıkça çok yavaş bir şekilde azalmaktadır. Aynı zamanda neon gazına H₂ gazının eklenmesinden sonra elde edilen deşarjlarda, 614.30nm ve 640.22nm’lik geçişlerin bağıl şiddetlerinde büyük bir azalma meydana gelmiştir.

Nötral helyum gazına elektronegatif H₂ gazı ilave edildiğinde, monokromatizasyon etkisi açık bir şekilde gözlenememiştir. Elde edilen saf helyum ve %50He+%50H₂ elektriksel deşarjlarının spektrumunda helyum atomuna ait geçişler, deşarj tüpünün vakum kaçağından dolayı oluşan havanın spektrumunun olduğu bölge (300nm-400nm aralığı) de olduğu için, helyum atomunun elektronik geçişleri net bir şekilde incelenememiştir.

Argon, neon ve hidrojen gazları kullanılarak elde edilen çoklu gaz karışımlarında, argon ve neon yüzdece miktarları eşit olarak kullanılmıştır. Hidrojen miktarı ise %70, %50, %30 ve %10 olarak kullanılarak hazırlanmıştır. Bu çoklu gaz karışımlarının deşarjlarında hem argon için hem de neon için Monokromatizasyon etkisini veren 585.24nm ve 750.38nm’lik dalga boylarına karşılık gelen geçişlerin her ikisi de aynı anda gözlenmiştir. Bu karışımlardaki 585.24nm dalga boylu elektronik geçiş ve 750.38nm’li elektronik geçişlerin bağıl şiddetleri, saf gazların elektriksel deşarjlarındaki bağıl şiddetleri ve 1:1 oranındaki gaz karışımları ile hazırlanan elektropozitif-elektronegatif gaz karışımları deşarjlarındaki bağıl şiddetlerine göre, oldukça küçük bağıl şiddet değerlerine sahiptir. Üçlü karışımlardaki bu iki elektronik geçişin bağıl şiddetlerinin birbirine oranı (I_{Ne}/I_{Ar}) deşarj cihazının basıncının artması ile artmaktadır. Bu oran deşarj cihazının ekseni boyunca farklı değerlere sahip olsa da, birbirine yakın değerdedir.

Saf gaz ve çoklu gaz karışımlarının, oluşturulan elektriksel deşarj akımlarının basınç ile değişimini incelenmiş ve basınç ile değişmemektedir. Yani oluşturulan

elektriksel deşarjlardan yayınlana fotonların bağıl şiddetleri, deşarj tüpünün basınç değışimine bağılıdır.

O.E.S. yönteminin farklı bir uygulaması olarak, Termiyonik Vakum Ark (T.V.A.) gümüş metal plazmasının plazma elektron sıcaklığı, parçacık yoğunluğu ve ideal olmayan etki değerleri (γ) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda plazma elektron sıcaklığının T.V.A. metal plazmasına uygulanan voltaj değeri ve filaman akımı ile artmakta ve deşarj akımı ile azalmaktadır. Parçacık yoğunluğu ise plazma elektron sıcaklığı ve voltaj ile artmaktadır. Deneysel sonuçlara göre, T.V.A. gümüş metal plazması için hesaplanan γ değeri, en düşük 1 olarak hesaplanmıştır. T.V.A. gümüş metal plazmasının kuvvetli bir biçimde birleşmiş plazmalar olduğu söylenebilir ve T.V.A. için γ değeri deşarj akımı ile artmakta ve elektron sıcaklığının artması ile azalmaktadır.

7.KAYNAKLAR

- [1] Musa G., Nastase L., Trache M., Spectral investigation of an ac plasma display, Institute of Physics and Technology of Radiation Devices, **1980**, p59-66.
- [2] Musa G., Collins CB., Excitation of the on Spectra on Ethanol addition to the nitrogen flowing afterglow, Rev.Roum.Phys, Tome25,No8, **1980**, p909-914.
- [3] Musa G., Popescu A., Baltog A., Mustata I., Enhancement of neon radiation at 585.25 nm in a discharge neon-argon-hydrogen mixture, J.Phys.D:Appl.Phys,18, **1985**, p2119-2125.
- [4] Musa G., Lungu CP, Popescu A., Baltog A., An Analysis of the Mechanism of Monochromatization of Ne-Ar-H₂ Filled Plasma Display Light, IEICE Trans. Electron, Vol E75-C, No.2, **1992**, p241-245.
- [5] Musa G., Popescu A., Baltog A., Lungu CP., M-effect, Monochromatization of the radiation of discharge in multiple gas mixtures, Romanian Report in Physics, Vol45, No:3-4, **1993**, p.287-341.
- [6] Musa G., Popescu A., Baltog A., Mustata I., Lungu CP, M Effect-the monochromatization effect of Neon Radiation at wavelength 585.3 nm in various types of discharge in Ne+Xe+H₂ mixtures, Romanian Report in Physics, Vol46,No7-8, **1994**, p597-599.
- [7] Musa G., Baltog A., Lungu CP, Influence of the H on the Neon Negative Glow Spectra In Ne+1%Xe+H₂ Mixture, XXIII-ICPIG, Toulouse, France, **1997**, pI94-I95.
- [8] Musa G., Baltog A., Lungu CP, Banjeu G., Raiciu E., Borcoman I., Nearly Monochrome Radiation Emission in Ne-Ar-H₂ Mixture Discharge, Romanian Reports in Physics, Vol.49, No5-6-7, **1997**, p599-609.

- [9] Musa G., Bratescu M.A., Dinca M.P., Lungu CP, Mihalache M., Hydrogen and Argon Quenching of Neon Metastable States, Romanian Reports in Physics, Vol49, No3-4, **1997**, p229-234.
- [10] Musa G. Baltog A. Banjeu G., Lungu CP, Raiciu E., Borcoman I., Ricard A., Time Evolution of the narrow gap barrier discharge in Ne+1%Xe at the H₂ and SF₆ addition, Romanian Reports in Physics, Vol49, No3-4, **1997**, p195-199.
- [11] Musa,G. Baltog, A., Bajeu G., Lungu C.P., Raicinu E., Borcoman I., Ricard A., Infufluence of the H₂ and SF₆ addition to Ne+1%Xe on the narrow barrier discharge spectral radiation, The European Physical Journal Applied Physics,4, **1998**, 165-169.
- [12] Musa, G., Ciobotaru, L.C., Cudalbu, B., Chiru, P., Lungu, C.P., PDP type discharge as an efficient UV light source, Plasma Applications and Hybrid Functionally Materials, Japan, vol. 11, **2001**, pp 215.
- [13] Musa,G., Baltog A., Ion-ion recombination as a process explaining the M-effect, Romanian Report in Physics, Vol.54, Nos.1-5, **2002**, p.79-90.
- [14] Musa G., A.Baltog, Ciobotaru LC, Chiru P., Cudalbu B., PDP type discharge barrier as an efficent excimer ultraviolet radiation source, ESCAMPIG Conference, Grenoble, France, 14-18 June, Vol I, **2002**, p53.
- [15] Musa, G., Baltog A. , Polar recombination as the main process explaining M-effect, Contrib. Plasma Phys. **2003**,
- [16] Musa G. Ciobotaru CL., Baltog A., The M-Effect in Argon-Hydrogen Gas Mixtures, Journal of Optpelectronic and Advanced Materials, Vol6, No:2, **2004**, p459-464.

- [17] Musa G., Ciobotaru LC, Tentative explanation of selective population of the 2p1 Level of Neon Atoms in the case of mixtures, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol6,No4, **2004**, p1339-2344.
- [18] Musa G., Surdu-Bob, CC., Chiru P and Branza O., Gas Discharge Physics Related to Plasma Display Spectral Emission of Noble Gas-H₂ mixture, XXVIIth ICPIG, Eindhoven, Netherlands, **2005**
- [19] Musa G., Ciobotaru LC, Ionut B., The M-Effect in AC/DC discharge in He+O₂/Cl₂ gas mixtures, Journals of Optoelectronics and Advanced Materials, 8,3, **2006**, p1292-1297.
- [20] Surdu-Bob CC., Chiru P., Branza O., Lungu CP, Musa G., The monochromatization effect in dielectric barrier discharge in noble gas-hydrogen mixtures, 17th ESCAMPIG, Constanta, Romania, **2004**, p.65-66.
- [21] Surdu-Bob, C.C., P.Chiru, Branza, O., Musa, G., The monochomatization effect – an approach to surfacee analysis by glow discharge- optical emission spectroscopy, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol.7,No:5, **2005**, p.2391-2395.
- [22] Baltog, A., Raiciu,E., Musa, G., Influence of the H₂ and Ar on the neon contribution to plasma Phys. , 40, 5-6, **2000**, 537-544.
- [23] Cioboratu L.C., Chiru P., Cudalbu, B., Neacsu, C., Musa, G., Excimer UV radiation source based on plasma display panel (PDP), Conferinta Nationale de Fizica, Targu – Mures, **2001**.
- [24] Ciobotaru LC., Chiru P., Neacsu C., Musa G., PDP type barrier discharge as an efficient excimer ultraviolet radiation source, National Physics Conferance, Iasi, **2001**, p174.

- [25] Cioboratu L.C., Chiru P., Neacsu C., Baltog A., Musa G., The study of M-effect in the Ne at the addition of different electronegative gases: O₂, H₂ and Cl₂, ICPIG, Germany, **2003**.
- [26] El-Daknouri A., Yan J., Gupta M.C., Laroussi M., Badr Y., VUV emission from a novel DBD-based radiation source, J.Phys D: Appl.Phys.35, **2002**, L109-L114.
- [27] Lungu CP, Futsuhara M., Takai O., Braic M. and Musa G, Noble gas influence on reactive radio frequency magnetron sputter deposition of TiN films, Vacuum 51,4, **1998**, p 635-640.
- [28] Bogaerts A., Hydrogen Addition to an argon glow discharge: a numerical simulation, J.AAnal.At.Spectrom., 17, **2002**, 768-779.
- [29] Descoedres A., Hollenstein C., Demellayer R., Walder G., Optical emission spectroscopy of electrical discharge machining plasma, Journal of Materials processing Technology, 149, **2004**, 184-190.
- [30] Fernandez B., Bardel N., Perez C., Pereiro R., Sanz-Medel A., The influence of hydrogen, nitrogen or oxygen additions to radio frequency argon glow discharge for optical emission spectrometry, J.Anal.At.Spectrom,17, **2002**, 1549-1555.
- [31] Hodoroaba VD., Streers EBM., Hoffmann V., Wetzig K., The effect of small quantities of hydrogen on a glow discharge in neon. Comparison with the argon case, Journal of Analytical Atomic Spectrometry, **2000**.
- [32] Wagatsuma K., Saka T., Yamaguchi M., Ito K., Comparison investigation on the characteristics of glow discharge plasma using glow discharge mass spectrometry and glow discharge optical emission spectrometry, J.Anal. At.Spectrom,17, **2002**, p1359-1362.

- [33] Grill,A., Cold Plasma in Materials Fabrcation, IEEE Pres, **1993**.
- [34] Köksal F. ve Gümüş H., Atom ve Molekül Fiziği, Bilim yayıncılık, Ankara,**1999**.
- [35] Ekem N., Musa G., Akan T., Plazma Fiziği Ders Notları, **2001**.
- [36] Aygün E., Zengin M., Atom ve Molekül Fiziği, A.Ü. Fen Fakültesi, Fizik B., Ankara, **1992**.
- [37] McDaniel, E.W. , Collision phenomena in ionized gases, Wiley Sons Inc., **1964**.
- [38] Marr,G.V. , Plasma Spectroscopy, Elsevier Publishing Company, **1968**.
- [39] [Http://nist.gov](http://nist.gov) ,NIST Atomic Spectra Database Lines Form
- [40] Herzberg,G. Molecular spectra&Molecular Structure, D.Van Nostrand Company., **1967**.
- [41] Doğan, M., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Spektroskopi Konferansı, Trabzon, **1988**.
- [42] [Http://www.spectroscopy.net](http://www.spectroscopy.net)
- [43] Gündüz, E., Modern Fiziğe Giriş 3.Baskı,İzmir, **1999**.
- [44] [Http://www.kntc.re.kr/Cyberserver/openlec/nuke\(2\)/nuclearfeul/nuclearfeul_13/ch13_4.html](http://www.kntc.re.kr/Cyberserver/openlec/nuke(2)/nuclearfeul/nuclearfeul_13/ch13_4.html)
- [45] [Http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/molecule/imgmol/molwel.gif](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/molecule/imgmol/molwel.gif)
- [46] Lochte-Holtgreven,W., Plasma Diagnostics, North-Holland Publishing, Company, **1968**.

- [47] Frugier, P., Girolid, C., Megy, S., Vandersteendam, C., Ershov-Paclov, E.A. and Baronnet, J.M., Oes use and vaporization modelling for fly-ash plasma vitrification, Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol.20, No.1, **2000**.
- [48] Valognes J.C., Bardet J.P., Vitel Y., Flih S.A., New contribution to study on stark boardenings of 5870.90AKr (I) spectral lineshape in densene cold plasmas including levels of like and unlike parentage interactions ($1.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3} < \text{Ne} < 2.5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, $15000 \text{K} < \text{Te} < 19000 \text{K}$), Journal of Quantative Spectroscopy & Radiative Transfer 95, **2005**, 113-125
- [49] Ekem N., Pat S., Küsmüş Ö., Demirkol S., Vladoiu R., Musa G., Thermionic Vacuum Arc – A Novel And Advanced Technology For Surface Coating, ESCAMPIG 17th, Constanta, Romania, **2004**.
- [50] Pat, S., Ekem, N., Akan, T., Küsmüş, O., Demirkol, S., Vladoiu, R., Lungu, C. P., Musa, G., Studies On The Thermionic Vacuum Arc-A Novel And Advanced Technology For Surface Coating, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, **2005**.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: SUAT PAT

Doğum Yeri ve Tarihi: Çifteler/ Eskişehir 22.10.1978

Adres: Uluönder mah. 16sok.No:4, 26190 Eskişehir

Fakülte: Fen Edebiyat Fakültesi

Bölümü: Fizik

BİLİMSEL YAYINLAR (Son 5 yıl içindekiler):

I. Uluslar Arası Hakemli Dergilerdeki Makaleler (İndex)

- 1- **S.PAT, N.EKEM, T.AKAN, Ö.KÜSMÜŞ, S.DEMİRKOL, R.VLADOIU, C.P. LUNGU, G.MUSA, “Study on Thermionic Vacuum Arc-A Novel and Advanced Technology For Surface Coating”** Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol.7, No.5, October **2005**, p.2495-2499
- 2- **T.AKAN, N.EKEM, S.PAT, R.VLADOIU, G.MUSA, “Studies on the Thermionic Vacuum Arc Discharges in the Vapors of Cu-Ag and Cu-Sn Alloys”** Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol.7, No.5, October **2005**, p.2489-2494,
- 3- [Musa G](#), [Vladoiu R](#), [Ciupina V](#), [Lungu CP](#), [Mustata I](#), [Pat S](#), [Akan T](#), [Ekem N](#), “**Characteristics of boron thin films obtained by TVA technology**” , Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol: 8 (2), **2006**,p: 617-620,
- 4- T. Akan, N. Ekem, **S. Pat**, U.G. Issever, M.Z. Balbag, M.I. Cenik, R. Vladoiu and G. Musa, “**Boron thin film deposition by using Thermionic Vacuum Arc (TVA) technology**”, *Materials Letters*, vol.61,Issue1,**2007**,p:23-26
- 5- Naci Ekem, Tamer Akan, Yurdanur Akgun, Abdurrahman Kiremitci, **Suat Pat** and Geavit Musa, “**Sterilization of *Staphylococcus aureus* by atmospheric pressure pulsed plasma**”, *Surface and Coatings Technology*, Vol.201,Issues3-4,**2006**,p993-997

II. Uluslar arası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. T.AKAN, G.MUSA, N.EKEM, S.PAT, “**Dependence of film Thickness on the Deposition angle in The Thermionic Vacuum Arc Method**”, Balkan Physics Letter, Vol.10, no.2, PP.79-86, **2003**

III. Uluslar arası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında (Proceedings) Basılan Bildiriler

N.EKEM, S.PAT, Ö.KÜSMÜŞ, S.DEMİRKOL, R.VLADOIU, C.P. LUNGU, G.MUSA, “**Optical Emission Diagnostics of Silver Thermionic Vacuum Arc Plasma**”, 5th International Balkan Workshop on Applied Physics, July 5-7, Constanta, ROMANIA

N.EKEM, S.PAT, Ö.KÜSMÜŞ, S.DEMİRKOL, R.VLADOIU, G.MUSA, “**Thermionic Vacuum Arc- a novel and advanced technology for surface coating**”, ESCAMPIG-17, Constanta, Romania

N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, U.G.ISSEVER, M.Z.BALBAG, M.I.CENIK, A.IYILIKCI, M.POLAT, B.VARAN, G.MUSA, “**The Atmospheric pressure high voltage pulsed discharge characteristics**”, 6th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2P22, p.105, Constanta, Romania

N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, U.G.ISSEVER, M.Z.BALBAG, M.I.CENIK, O.OZEN, E.KILLI, G.MUSA, “**Studies on carbon produced from the high voltage pulse discharge of methane**”, 6th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2P23, p.106, Constanta, Romania

N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, U.G.ISSEVER, M.Z.BALBAG, M.I.CENIK, S.DEMİRKOL, Y.KUCUKBALABAN, G.MUSA, “**The electron temperatures of the copper Thermionic vacuum arc (TVA) discharge**”, 6th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2P24, p.106, Constanta, Romania

N.EKEM, T.AKAN, **S.PAT**, U.G.ISSEVER, M.Z.BALBAG, M.I.CENIK, O.ARMAN, A.ELİDEMİR, G.MUSA, “**TiO₂ Thin layer depositions on titanium by pulsed discharge in oxygen at elevated temperature**”, 6th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2P25, p.106, Constanta, Romania

N.EKEM, T.AKAN, **S.PAT**, U.G.ISSEVER, M.Z.BALBAG, M.I.CENIK, S.DEMİRKOL, O.KUSUMUS, G.MUSA, “**The Investigation of electrical properties of Ag-Al₂O₃ Composites produced by the Thermionic Vacuum Arc (TVA)**”, 6th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2P26, p.107, Constanta, Romania

N.EKEM, T.AKAN, **S.PAT**, U.G.ISSEVER, M.Z.BALBAG, M.I.CENIK, S.DEMİRKOL, R.VLADOIU, G.MUSA, “**Boron Thin Film Deposition by Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technology**, XXVIIth ICPIG, Eindhoven, the Netherlands, 18-22 July, 2005

G.MUSA, N.EKEM, R.VLADOIU, T.AKAN, **S.PAT**, U.G.ISSEVER, M.Z.BALBAG, M.I.CENİK, “**Use of Thermionic vacuum arc (TVA) technology for boron film deposition**”, 17th International Symposium on Plasma Chemistry, August 7-12 th, 2005 Toronto, CANADA

G.MUSA, R.VLADOIU, V.CIUPINA, C.P. LUNGU, I.MUSTATA, **S.PAT**, T.AKAN, **N.EKEM**, “**Characteristics of Boron Thin films obtained by TVA Technology**”, The 4th National Conference New Research Trends in Material Science, ARM-4, Vol II, september 4-6, Constanta, ROMANIA

E.KARAKAŞ, T.AKAN, N.EKEM, **S.PAT**, G.MUSA, “**Yeni Bir Plazma Kaynağı Olarak Termiyonik Vakum Ark (TVA) Teknolojisinin Tanıtılması**”, TPS IV th International Conference and Festival of Physics Students, 31 August-03 September **2005**, İzmir, Türkiye

D.BICAKOGLU, N.EKEM, Y.AKGUN, A.KIREMITCI, T.AKAN, **S.PAT**, G.MUSA, “**Yeni Bir Sterilizasyon Tekniği Yüksek Voltaj Puls Plazmaları**” TPS IV th International Conference and Festival of Physics Students, 31 August-03 September, **2005**, İzmir, Türkiye

N.EKEM, T.AKAN, **S.PAT**, U.G.İŞSEVER, M.Z. BALBAG, M.İ.CENİK, R.VLADOIU, G.MUSA, “**Boron Processes Using The Thermionic Vacuum Ark Technology**” TPS-23rd international Physics Congress, 13-16 September **2005**, Mugla, Türkiye

N.EKEM, Y.AKGUN, A.KIREMITCI, T.AKAN, **S.PAT**, G.MUSA, “**Bacteria Killing Effect of Pulsed Plasmas in Oxygen+Air At Atmospheric Pressure**”, TPS-23rd international Physics Congress, 13-16 September 2005, Mugla, Türkiye

G.MUSA, R.VLADOIU, **S.PAT**, T.AKAN, N.EKEM, “**Plasma deposition of boron thin films**”, XIII th Conference on Plasma Physics and Applications, October 26-29 2005, Iasi, Romania

G.MUSA, C.C.SURDU-BOB, R.VLADOIU, D.COADO, N.EKEM, **S.PAT**, T.AKAN, M.I.CENIK, “**Preliminary Results on the Emission Spectra of Interacting Plasmas**”, XIII th Conference on Plasma Physics and Applications, October 26-29 **2005**, Iasi, Romania

G.MUSA, R.VLADOIU, **S.PAT**, T.AKAN, N.EKEM, “**Plasma deposition of boron thin films**”, XIII th Conference on Plasma Physics and Applications, October 26-29 **2005**, Iasi, Romania

G. MUSA, N. EKEM, T. AKAN, **S. PAT**, M.Z. BALBAG, M.I. CENIK, V.CIUPINA, R.VLADOIU, M.TANISLI, O. OZEN, **Carbon Synthesis In Methane Plasma**, 7th International Balkan Workshop on Applied Physics, July 5-7, **2006**, Constanta, ROMANIA

M. Zafer BALBAG, **Suat PAT**, M.Ilker CENIK, Tamer AKAN, Naci EKEM, Geavit MUSA, **Boron Evaporation And Related Difficulties**, 7th International Balkan Workshop on Applied Physics, July 5-7, **2006**, Constanta, ROMANIA

Geavit MUSA, Rodica VLADOIU, Naci EKEM, M.Ilker CENIK, **Suat PAT**, M.Zafer BALBAG, **Argon Emission Spectra Change At Molecular Gas Addition**, 7th International Balkan Workshop on Applied Physics, July 5-7, **2006**, Constanta, ROMANIA

G.MUSA, N.EKEM, T.AKAN, **S.PAT**, M.Z.BALBAG, M.I.CENIK, R.VLADOIU, M.TANISLI, O.OZEN, **Investigation of the Carbon Produced By Methane Pulsed Discharge**, International Conference on Superlattices, Nano-Structures and Nano-devices, 20 July-04 August **2006**, İstanbul, Türkiye

S.PAT, G.MUSA, N.EKEM, C.C.SURDU-BOB, M.Z.BALBAG, M.I.CENIK, T.AKAN, O.AYDIN, **Optical emission spectra of Plasma Display Panel**, 6th International Conference of the Balkan Physical Union-August 22-26-İstanbul, Türkiye

G.MUSA, C.C.SURDU-BOB, R.VLADOIU, N.EKEM, M.I.CENIK, **S.PAT**, M.Z.BALBAG, T.AKAN, **Emission spectra of Interacting two plasmas**, 6th International Conference of the Balkan Physical Union-August 22-26-İstanbul, Türkiye

G.MUSA, N.EKEM, T.AKAN, **S.PAT**, M.Z. BALBAG, M.I.CENIK, V.CIUPINA, R.VLADOIU, M.TANISLI, O.OZEN, **Investigation of the carbon produced by methane pulsed discharge**, 6th International Conference of the Balkan Physical Union-August 22-26-İstanbul, Türkiye

T.AKAN, N.EKEM, S. DEMIRKOL, **S.PAT**, M.Z.BALBAG, M.I.CENIK, H.DELIGOZ, G.MUSA, **Studies on Ag-Al₂O₃ nano-layer composite produced by Thermionic Vacuum Arc Methode (TVA)**, 6th International Conference of the Balkan Physical Union-August 22-26-İstanbul, Türkiye

N.EKEM, T.AKAN, **S.PAT**, M.Z.BALBAG, M.I.CENIK, E.KARAKAS, R.VLADOIU, G.MUSA, **Investigation of properties of boron thin films deposited by Thermionic Vacuum Arc Technology**, 6th International Conference of the Balkan Physical Union-August22-26-Istanbul,Türkiye

N.EKEM, Y.AKGUN, A.KIREMITCI,T.AKAN,SPAT, G.MUSA, **Analysis of sterilization effect of atmospheric pressure pulsed plasma**, 6th International Conference of the Balkan Physical Union-August22-26-Istanbul,Türkiye

E.KARADEMİR, N.EKEM, **S.PAT**, M.Z. BALBAG, M.I.CENIK, T.AKAN, G.MUSA, **Plasma Processes that is used at thin film deposition**, 4th International Conference of the balkan physical union,29 Agust-1 September 2006,Bodrum, Turkey

IV. Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

1. T.AKAN, G.MUSA,N.EKEM, **S.PAT**, “Termiyonik Vakum Ark ile cam taban üzerine oluşturulan bakır filmlerin metalurjik mikroskop ile İncelenmesi” 21 th Turk Fizik Kongresi, 11-14 Eyl. 2002, Suleyman Demrel University,Isparta/Turkey
2. N. EKEM, **S. PAT**, O. ALTINIŞIK, E. UYSAL, Yüksek Öğretim Kurumlarında, Ölçümbilim Ve Kalibrasyon İle İlgili Konularda Verilen Eğitim, TMMOB Makine Müh. Odası V.Ulusal Ölçümbilim Kongresi, 09-10 Ekim **2003**, Eskişehir/Türkiye
3. T.AKAN, N.EKEM, **S.PAT**, Ö.ARMAN, G.MUSA, “**Puls Plazma İle Titanyum Oksidasyonu**”, Geleneksel Erzurum Fizik Günleri-II, 25-28 Mayıs **2005**, Erzurum

4. **S.PAT, N.EKEM, T.AKAN, Y.KÜÇÜKBALABAN, A.ARMUT, G.MUSA, “Glow Deşarj Argon-Hava Gaz Karışımlarının Optik Emisyon Spektroskopisi (GDOES), Geleneksel Erzurum Fizik Günleri-II, 25-28 Mayıs 2005, Erzurum**
5. **S.PAT, N.EKEM, T.AKAN, Ö.ÖZEN, E.KILLI, U.G.ISSEVER, M.Z. BALBAG, M.I.CENİK, G.MUSA, “Atmosferik Basınç Pulsu Deşarj (PD) Kullanılan Karbon Üretimi”, Geleneksel Erzurum Fizik Günleri-II, 25-28 Mayıs 2005, Erzurum**
6. **N.EKEM, S.PAT, G.MUSA, “Optik Emisyon Spektroskopisi Kullanılarak Termiyonik Vakum Ark (TVA) Gümüş Metal Plazmasının Plazma Sıcaklığının Belirlenmesi” TFD-22, 14-17 Eylül,2004, Bodrum,Türkiye**
7. **N.EKEM, S.PAT, Ö.KÜSMÜŞ, V.CUIPINA, R.VLADOIU, R.VLADOIU, G.MUSA, “Termiyonik Vakum Ark (TVA) Yöntemi ile Katmanlı Kompozit Malzeme Üretimi”,TFD-22, 14-17 Eylül,2004, Bodrum,Türkiye**
8. **N.EKEM, S.PAT, M.Z. BALBAG, A.İYİLİKÇİ, G.MUSA, “Sivri Elektrotlar Arasında Oluşturulan Pulsu Deşarjın Karakteristiğinin Belirlenmesi”, TFD-22, 14-17 Eylül,2004, Bodrum,Türkiye**
9. **N.EKEM, S.PAT, İ.CENİK, H.ÖZÇELİK, G.MUSA, “Vakum Odasının Merkezindeki Bir Noktadaki Kaçağın Deneysel Basınç Gradyentinin Belirlenmesi”, TFD-22, 14-17 Eylül,2004, Bodrum,Türkiye**
10. **N.EKEM, Y.AKGUN, A.KIREMITCI, S.PAT, S.ÖZCAN, G.MUSA, Staphylococcus Bakterisinin Pulsu Plazma İle Sterilizasyonu”, TFD-22, 14-17 Eylül,2004, Bodrum,Türkiye**

11. N.EKEM, S.PAT, U.G.ISSEVER, Ö.ÖZEN, G.MUSA, “**Atmosferik Basıncıta Pulsu Deşarj Kullanılarak Metan (CH₄) Gazından Karbon Üretimi**”, TFD-22, 14-17 Eylül,2004, Bodrum,Türkiye
12. N.EKEM, S.PAT, Y.GÜLSEVEN, A.DOGRUER, G.MUSA, “**Glow Deşarjın Lineer ve Radyal Emisyon Spektroskopisinin Belirlenmesi**”, TFD-22, 14-17 Eylül,2004, Bodrum,Türkiye
13. G.MUSA, N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, M.Z. BALBAG, U.G. ISSEVER, M.I.CENİK, “**Termiyonik Vakum Ark (TVA) Teknolojisini Kullanarak Bor’un Plazma ile İşlenmesi**”, I.Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, 28-29 Nisan 2005 Ankara
14. Naci EKEM, M.Zafer BALBAĞ, M.İlker CENİK, Suat PAT, Tamer AKAN,Geavit MUSA, “**Boron Thin Film Deposition By Using Thermionic Vacuum Arc (Tva) Technology**” Nano-TRII Nanoscience and Nanotechnology 2006, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 3-5 Mayıs 2006

V. Projeler

V.1. Yurt içi destekli

1. “RF Gaz Deşarjlarının ve Termiyonik Vakum Ark (TVA) Bakır Metal Plazmalarının Optiksel Çok Kanallı Analizör (OMA) Kullanılarak Plazma Karakteristiklerinin Belirlenmesi”, **Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Komisyonu**
2. “Yüksek Erime Sıcaklığına Sahip Materyallerin Plazma İle İşlenmesi Ve Yüzey Kaplama Teknolojisinin Geliştirilmesi” Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Araştırma Projeleri Komisyonu (Devam Ediyor)

V.2 Yurt dışı destekli

1. “Synthesis and Analysis of Hard Carbon Coatings using the Thermionic Vacuum Arc”, Alexander Von Humboldt Foundation, (Devam Ediyor)