

Etkileşen Düşük Sıcaklıklı Plazmaların Spektroskopisi

Mücahit İlker CENİK

DOKTORA TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Mart - 2008

Spectroscopy of Interacting Low Temperature Plasmas

Mücahit İlker CENİK

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Physics

March - 2008

Etkileşen Düşük Sıcaklıklı Plazmaların Spektroskopisi

Mücahit İlker CENİK

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

Danışman: Prof. Dr. Naci EKEM

Mart - 2008

Mücahit İlker CENİK'in DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Etkileşen Düşük Sıcaklıklı Plazmaların Spektroskopisi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. Naci EKEM (Danışman)

Üye : Prof. M. Selami KILIÇKAYA

Üye : Prof. Dr. Turgay ARMAĞAN

Üye : Doç. Dr. Özden TEZEL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şadan KORKMAZ

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

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ETKİLEŞEN DÜŞÜK SICAKLIKLI PLAZMALARIN SPEKTROSKOPİSİ

MÜCAHİT İLKER CENİK

ÖZET

Bu çalışmada, farklı gaz ve gaz karışımlarında üretilen plazma jetlerinin Optik Emisyon Spektroskopisi (OES) incelenmiştir. Üç farklı tipte plazma jet sistemi dizayn edilmiştir. Bunlar; etkileşen plazma jet, ac plazma jet ve dc plazma jet sistemidir. Etkileşen plazma jet sisteminde iki farklı plazma birbiri ile çarpışmaktadır.

Gaz karışım plazmaları için bir elektronegatif gaz (H_2 veya O_2) ve bir elektropozitif gaz (Ar veya Ne) içeren gaz karışımı kullanılmıştır. Bu gaz karışımlarında üretilen gaz karışım plazmalarının optik emisyon spektrumunda Monokromatizasyon-etkisi (M-Etkisi) gözlenmiştir.

Plazma jetlerin üretimi için, farklı tip güç kaynakları (3 kV DC ve 25 kV AC), farklı tip gaz ve gaz karışımları ve farklı tip plazma jet tasarımları kullanılmıştır. Bu plazma jetleri küçüktür ve sanayide kullanılan plazma jetlerinden farklıdırlar. Ayrıca düşük basınç (1-50 Torr) şartlarında da çalışabilirler.

Anahtar Kelimeler: Plazma jet, Monokromatizasyon Etkisi (M-etkisi), Optik Emisyon Spektroskopisi (OES)

SPECTROSCOPY OF INTERACTION OF LOW TEMPERATURE PLASMAS

MÜCAHİT İLKER CENİK

SUMMARY

In this study, Optical Emission Spectroscopy (OES) of plasma jets generated in various gas and gas mixtures was investigated. Three different types plasma jets system was designed. These are interaction plasma jet, ac plasma jet, dc plasma jet system. In the interaction plasma jet system, two different plasma can be collide with each other.

For the gas mixture – plasmas, a gas mixture contain an electronegative gas (H_2 or O_2) and an electropositive gas (Ar or Ne) was used. Monochromatization effect (M-effect) was observed in the optical emission spectrum of gas-mixture plasmas generated in the gas-mixture.

For the generation of the plasma jets, different types power sources (3 kV DC and 25 kV AC), different types gases and gas mixtures and different types jet designs were used. These plasma jet systems are small and different from the plasma jets used in industry. They can work in low pressure conditions (1-50 Torr), as well.

Keywords: Plasma jet, Monochromatization effect (M-effect), Optical Emission Spectroscopy (OES),

TEŞEKKÜR

Derslerimde ve tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve uluslar arası bilimsel işbirliği kapsamında her türlü olanağı sağlayan danışmanım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Naci EKEM'e teşekkür ederim.

Bilimsel çalışmalarında beni yönlendiren, bilgilerini esirgmeden benimle paylaşan, tezimin oluşmasında büyük katkı sağlayan örnek bilim insanı sayın Prof. Dr. Geavit MUSA'ya teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarında zaman problemi yapmaksızın bana destek olan değerli arkadaşlarım Suat PAT ve M. Zafer BALBAĞ'a teşekkür ederim.

Ayrıca, yoğun çalışmalarım esnasında, beni yalnız bırakmayan sevgili eşim Selda ve kızım Gökçe'ye desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xviii
1. GİRİŞ	1
2. GAZLARDA DC ELEKTRİKSEL ARK DEŞARJLAR	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 Ark Deşarj Parametrelerinin Aralıkları.....	5
2.3 Arkın Elektriksel Yapısı.....	7
2.3.1 Klasik arkın özellikleri.....	8
2.3.2 Modern arkın özellikleri.....	10
2.4 Elektriksel Ark İşleminin Özellikleri.....	12
2.4.1 Hayrton'un ısıl olmayan arkı	12
2.4.2 Eberhart ve Seban'ın ısıl arkı.....	15
2.5 Elektrik Arkları İçin Güç Kaynakları.....	16
2.6 Ark Şekillerinin Uygulamaları.....	18
2.6.1 Lineer arklar.....	18
2.6.2 Genişleyen ark.....	23
2.6.3 Dönen arklar.....	26
2.7 Plazma Jetleri	27
2.7.1 Plazma ile kesme teknolojisi.....	29
2.7.2 Kesme işlemi.....	32
2.7.3 Plazma ile kesmede kullanılan gazlar ve özellikleri	34
2.7.4 Plazma ile kesmede önemli parametreler.....	35

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

3. SPEKTROSKOPİK YÖNTEMLER.....	37
3.1 Spektroskopinin Tanımı	37
3.2 Atomik Spektroskopi Teorisi	37
3.3 Atom spektroskopisi dili	42
3.4 İki Atomlu Moleküllerin Spektrumları	44
3.5 Atom ve Moleküllerde Elektronik Işıma Türleri	45
3.6 Optik Emisyon Spektroskopisi.....	48
4. ARK DEŞARJ PLAZMASINDA OPTİK YÖNTEMLER	50
4.1 Giriş.....	50
4.2 Optik Emisyon Spektroskopisi (OES) Uygulamaları	51
4.2.1 Uyarılmış atomik türlerin emisyonu	53
4.2.2 Uyarılmış moleküler türlerin emisyonu	54
4.2.3 Kompleks gaz karışımlarındaki ışık emisyonu	56
4.2.4 Işık Yayımayan Parçacıklar için Optik Tanımlama Teknikleri	57
4.3 Optik Emisyon Spektroskopisi Teknikleri.....	58
4.3.1 Deneylerde kullanılan Spektrometre cihazının özellikleri	64
4.3.1.a Spektrometrenin çalışma prensibi	64
4.3.1.b CCD Dedektörün özellikleri	65
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	66
5.1 Deney sistemi	67
5.2 Etkileşen Plazmalar Sistemi.....	70
5.3 AC Plazma Jet.....	78
5.4 DC Plazma Jet.....	87
6. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	110
7. KAYNAKLAR DİZİNİ	112

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ..... 116

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	DC elektriksel deşarj tüpünün genel akım-voltaj karakteristiği 4
2.2	Basıncın fonksiyonu olarak arkların gaz kinetik sıcaklıkları ve elektron sıcaklıkları değişimi..... 7
2.3	Bir ark deşarjın eksenini boyunca voltaj dağılımını ve görünen karakteristiğinin şematik �izimi 8
2.4	Her birindeki potansiyel dağılımını ile lineer bir arkın bölgelerinin şematik gösterimi 11
2.5	1 atm'de oluşturulan karbon ark'ların voltaj-akım karakteristikleri..... 13
2.6	Anod materyalin buharlaşma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak, Nottingham ilişkisinin n üst ifadesi..... 14
2.7	Eberhart ve Seban (1966) tarafından bulunmuş argondaki temel ark şekli 15
2.8	Termal ark bilgileri ve yüksek şiddetli bir termal argon arkı 15
2.9	Argondaki bir yüksek şiddetli termal ark için voltaj-akım uyumu..... 16
2.10	Termal olmayan arkların elektriksel kararlılığı 17
2.11	Termal olmayan arkların kararlılığı..... 18
2.12	Yatay elektrot dizilmesi ve Dikey elektrot dizilmesi ile serbest yanan arkların şekli..... 18
2.13	Kararlı elektrot arklarının tıkanması..... 19
2.14	Duvara sabitlenmiş arkın iki şekli (a) bölünmemiş i� içe geçmiş anot, (b) Parça anot, eksensel birleşmeler ile oluşturulmuş..... 19
2.15	Su soğutmalı hollow katot yapısının ve dışarıdaki anoda akan akımın duvar içerisindeki ark şekli ile transfer edilen ark şekli..... 21
2.16	Soğuk su ya da gazın radyal olarak enjekte edilen merkezlenmiş bir yerde oluşan kolonlu terleme kararlı arkları 21
2.17	Kararlı gazların laminer aksenal akışlı kolaksiyel akış kararlı arkı..... 22
2.18	Vortex-kararlı arkda akan gaz veya sıvının girdaba teğetsel olarak enjekte edilmesiyle eksendeki davranışı..... 22

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

2.19	Katot çevresinde teğetsel gaz enjeksiyonu bir eksenel vortex kararlı ark	23
2.20	Akan ark dar bölgedeki ark kıvılcımlanır ve uzunluk bitinceye kadar artar...	23
2.21	Akan ark güç kaynağı yüksek voltaj sağlanarak dar bölgede arkı başlatır ve başlangıçta güç kaynağı arkı kuvvetlendirir.....	24
2.22	Temas eden plakalar açıldığında bunlar arasından bir akım geçtiği görülen genel bir Switchgear.....	25
2.23	Eksenel bir gaz akışı ile yapılan kıvılcımlanmalı geçişsiz ark	25
2.24	Eksensimetrik, transfersiz, magnetize olmamış ark kararması.....	26
2.25	Magnetik olarak kararlı ark	26
2.26	Magnetik olarak kararlı plazma meşalesi	27
2.27	Plazma ile kesme işleminin şematik gösterimi.....	29
2.28	Termal kesme metodlarının kesme hassasiyeti	30
2.29	Torç parçaları ve girdap etkisi	32
2.30	Yüksek frekans ile a) pilot ark, b) plazma oluşumu	33
2.31	Plazma ile Kesme Parametreleri.....	35
3.1	Varsayılan bir atomun Grotrian diyagramı ve optik spektral seriler	41
3.2	Elektronik uyarılmış molekülün enerjisini kaybedebileceği farklı yolların gösterimi.....	46
4.1	SF ₆ / O ₂ plazması kullanılarak emisyon spektrumu a) 2dakika b) 30dakika c) 90 dakikada kaldırma reaktöründe kullanılır	52
4.2	A ve B gaz karışımlarından oluşan plazma için tipik atomik emisyon çizgi spektrumu	54
4.3	Moleküler parçacıklarından emisyon bandı örneği	55
4.4	Atomik ve moleküler emisyonunun farklı çizgi genişlikleri	56
4.5	Spektral çözülme durumları.....	57
4.6	Absorbsiyon ve emisyon işlemleri	58
4.7	Plazmanın Optik Emisyon Spektroskopisi için Deneysel Düzenek	60
4.8	Glow deşarj optik emisyon spektroskopisi ile Karbon, Neon ve Argon'un Spektrumları	63
5.1	Deneysel düzeneğin şematik gösterimi	67

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

5.2	Kullanılan AC güç kaynağının fotoğrafı	69
5.3	Güç kaynağının voltaj-zaman değişimi	69
5.4	Taşınabilir 3.5 kV'luk DC güç kaynağının fotoğrafı	70
5.5	Etkileşen plazmaların incelendiği sistemin şematik gösterimi	71
5.6	Plazma tabancalarının şekli ve konumu	71
5.7	Breakdown voltajının Deşarj Reaktörünün basıncına bağımlılığı.....	72
5.8	Argon gazı plazma jetinin fotoğrafı.....	73
5.9	İkinci Plazma Tabancasında elde edilen Argon plazma tabancasından elde edilen plazmanın fotoğrafı (V= 500 Volt, P=5Torr).....	73
5.10	İkinci Plazma Tabancasında elde edilen Argon plazma tabancasından elde edilen plazmanın fotoğrafı (V= 400 Volt, P=8,5 Torr).....	74
5.11	İkinci Plazma Tabancasında elde edilen Argon plazma tabancasından elde edilen plazmanın fotoğrafı (V= 430 Volt, P=11 Torr).....	74
5.12	Argon gazı kullanılarak elde edilen etkileşen plazmaların fotoğrafı.....	75
5.13	Argon gazı ile elde edilen plazma jetin optik emisyon spektrumu	75
5.14	Argon + Bakır Plazma jetinin deney esnasında çekilen fotoğrafı	77
5.15	Argon + Bakır Plazma jetinin optik emisyon spektrumu	78
5.16	Su soğutmalı Tungsten elektrotlu plazma jet sisteminin şematik gösterimi ...	79
5.17	Tungsten elektrotlu plazma jet içeren devrenin şematik gösterimi	80
5.18 (a)	%100 saf Neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumu (P=10 Torr).....	81
5.18 (b)	%100 saf Neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumu (P=15Torr).....	81
5.18 (c)	%100 saf Neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumu (P=20Torr).....	82
5.18 (d)	%100 saf Neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumu (P=25Torr).....	82
5.18 (e)	%100 saf Neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumu (P=30Torr).....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

5.19	Toryumlanmış tungsten elektrotlu plazma tabancasından elde edilen saf neon gazının plazma jetinin dijital fotoğrafı	84
5.19 (b,c)	Neon gazının plazma jetinin diğer fotoğrafları	85
5.19(d)	Saf neon gazının plazma jetinin boyutları	86
5.20	Su soğutmalı paslanmaz çelik elektrotlu plazma tabancasının şematik gösterimi.....	88
5.21	Paslanmaz çelik düz elektrotlu plazma tabancası kullanılan deneysel düzeneğin şematik gösterimi.....	89
5.22 (a)	%100 Neon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 14 Torr).....	90
5.22 (b)	%100 Neon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 21 Torr).....	91
5.22 (c)	%100 Neon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 30 Torr).....	91
5.22 (d)	%100 Neon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 40 Torr).....	92
5.23	Saf neon gazının plazma jetinin dijital fotoğrafı	92
5.24 (a)	%100 Argon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 10 Torr, I=1210mA, V=260V).....	93
5.24 (b)	%100 Argon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 20 Torr, I=1400mA, V=300V)	93
5.24 (c)	%100 Argon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 30 Torr, I=1500mA, V=515V).....	94
5.24 (d)	%100 Argon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P=40 Torr, I=1550mA, V=525V).....	94
5.25	Paslanmaz çelik düz elektron tabancasından elde edilen saf argon gazının plazma jetinin dijital fotoğrafı.....	95
5.26 (a)	%75 Ar + %25 O ₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumu (P= 30 Torr, I= 650mA, V=300V).....	95

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

5.26 (b)	%75 Ar + %25 H ₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumu (P= 30 Torr, I= 650mA, V=300V).....	96
5.27	Saf argon gazının (a) ve %75 Ar + %25 O ₂ oranında yapılan gaz karışımının (b) plazma jetinin deney esnasında çekilmiş olan fotoğrafı.....	96
5.28	Saf argon gazının (a) ve %75 Ar + %25 H ₂ oranında yapılan gaz karışımının (b) plazma jetinin deney esnasında çekilmiş olan fotoğrafı.....	97
5.29	Saf argon gazı spektrumu ile %75 Ar + %25 O ₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması	98
5.30	Saf argon gazı spektrumu ile %75 Ar + %25 H ₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması	99
5.31 (a)	%75 Ne + %25 H ₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektroskopisi (P=30 Torr, I= 680 mA, V=275V).....	100
5.31 (b)	%60 Ne + %40 H ₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektroskopisi (P=30 Torr, I= 760mA, V=195V).....	100
5.32	Saf neon gazının (a) ve %75 Ne + %25 H ₂ oranındaki gaz karışımının (b) plazma jetinin dijital fotoğrafı	101
5.33	Saf neon gazının (a) ve %60 Ne + %40 H ₂ oranındaki gaz karışımının (b) plazma jetinin dijital fotoğrafı	102
5.34 (a)	%60 Ne + %40 O ₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektroskopisi (P=30 Torr, I= 810mA, V=385V).....	103
5.34 (b)	%75 Ne + %25 O ₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektroskopisi (P=30 Torr, I= 950mA, V=420V).....	103
5.35	Saf neon gazının (a) ve %75 Ne + %25 O ₂ oranındaki gaz karışımının (b) plazma jetinin dijital fotoğrafı	104
5.36	Saf neon gazının (a) ve %60Ne + %40 O ₂ oranındaki gaz karışımının (b) plazma jetinin dijital fotoğrafı	104
5.37	Saf neon gazı spektrumu ile %75 Ne + %25 H ₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması	105

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

5.38	Saf neon gazı spektrumu ile %60 Ne + %40 H ₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması	106
5.39	Saf neon gazı spektrumu ile %60 Ne + %40 O ₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması	107
5.40	Saf neon gazı spektrumu ile %75 Ne + %25 O ₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Non-termal (düşük şiddet) ve termal (yüksek şiddet) ark deşarjlar için plazma parametreleri	5
2.2 Çeşitli gazlardaki atmosferik basınçta karbon elektrotlar için bir aksenel elektrik alanda k ve m üssünün değerleri	14
2.3 Plazma ile kesme işleminde malzemelere göre kullanılan gazlar	34
3.1 Spektral dil kodu	42
3.2 Molekül hareket türleri ve Enerji değerleri	44
4.1 Plazmadaki Spektrum İncelenmesi	50
4.2 20 ⁰ C 'de nemlilik ile ilgili %100 hava bileşenleri	52
5.1 Nötral argon atomunun var olan çizgi spektrumu değerleri	76
5.2 Nötral bakır atomunun var olan çizgi spektrumu değerleri	77
5.3 Nötral neon atomunun var olan çizgi spektrumu değerleri	83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
AC	Alternatif akım
V_A	Anot Voltaj Düşümü
L	Ark Uzunluğu
T_V	Buharlaştırma Sıcaklığı
λ_{De}	Debye uzunluğu
DC	Doğru akım
T_e	Elektron sıcaklığı
n_e	Elektron yoğunluğu
T_g	Gaz Sıcaklığı
V_{Th}	Isıl hareket hızı
c	Işık hızı
IR	İnfrared
V_C	Katot Voltaj Düşümü
$I^{0.25}L^{0.30}$	Korelasyon parametresi
f_0	Ortalama emisyon frekansı
UV	Ultra-viyole
R	Yük Direnci

Kısaltmalar Açıklama

IR	İnfrared
CARS	Koherent Anti-Stokes Spektroskopisi
LTE	Lokal Termodinamik Denge
M-etkisi	Monokromatizasyon Etkisi
OES	Optik Emisyon Spektroskopisi
OMA	Optik Çok Kanallı Analizör
UV	Ultraviyole

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde plazmalar değişik teknolojiler geliştirilerek imalatta, tıpta, ışıklandırmada, televizyonlarda, enerji üretmekte (nükleer) ve daha birçok teknolojide kullanılmaktadır. Plazma jetleri, ark plazması kullanılarak üretilmesine rağmen ark plazmadan farklı bir plazma türüdür. Plazma jetleri ile kesme yöntemi sanayide yaygın olarak alaşımlı çelik, paslanmaz çelik, karbon çeliği, alüminyum alaşımları, titanyum alaşımları ve bakır kesmekte kullanılır [4,5].

Modern plazma ile kesme sistemlerinde, iyi bir kesme kalitesi elde etmek için taşıyıcı (plazma) ve koruyucu gaz olarak çeşitli gazlar ve karışımları kullanılmaktadır. Kullanılacak plazma gazları arasındaki farklar gazın iyonlaşma enerjisi, ısıl iletkenlik ve reaktiflik özelliklerine bağlıdır. Gazın iyonlaşma enerjisi arkın gerilme değerini ve açığa çıkan enerji yoğunluğunu etkiler [3].

Optiksel diagnostik teknikle, plazmayı pertürbe etmeksizin farklı türlerin konsantrasyonları ve bunların sıcaklıkları hakkında bilgi edinilebilir. Bunlar plazmadaki optik radyasyonun analizine dayanır. Aynı zamanda, plazmadan yayınlanan ışığın spektral analizleri için kullanılan optik emisyon spektroskopisi (OES) görüntüleme ve plazma işlemlerinin tanımlanması için yaygın bir şekilde kullanılır. Plazmadan yayınlanan ışığın dalga boyu ve yayınlanan spektral çizgilerin şiddetlerinin ölçülmesiyle plazmadaki nötral parçacıkların ve iyonların varlığı da belirlenebilir. Bu yöntem aynı zamanda plazma kullanılan sistemlerin kontrolünü de sağlamaktadır [11].

Belirli bir radyasyon yayınlayan türler, emisyon spektrum tablosu kullanılarak radyasyonun spesifik frekansından tanımlanabilir. Ancak plazma diagnostiği için OES'nin kullanımında birçok faktör söz konusudur. Bunlardan bir tanesi spektrumun oldukça karmaşık olmasıdır. Atomik ve diatomik türlerden daha dar spektruma sahiptirler. Bir diğeri ise, titreşim ve dönme geçişleri nedeni ile oldukça geniş bir spektrum oluşturur ya da bu bölgede geçişin olmamasından kaynaklanır. Elementsel

çizgilerin özellikleri oldukça basit olduğunda kimyasal bileşiğin çizgilerin özellikleri bileşikteki her element için üretilen emisyon çizgilerinin sayısının çokluğu nedeni ile zordur [10,12].

Plazma kimyasal işlemlerde, reaksiyon sonundaki ilgili materyali sağlayan türleri arttırmak için ve aynı zamanda yeni materyal üretmeksizin enerjiyi tüketen reaksiyonu mümkün olduğu kadar hızlı bitirmek amacıyla plazma halinde parçacıkların seviyelerini kontrol etmek gerekir. Yeniden birleşim için özel bir durum pozitif iyon – negatif iyon yeniden birleşimidir. Pozitif iyon – negatif iyon arasındaki etkileşimden dolayı bu işlemin tesir kesiti değeri bilinen yeniden birleşim reaksiyonlarının en büyüklerinden birisidir.

Özel iyon – iyon yeniden birleşiminin yüksek tesir kesiti değerinden dolayı sonuç ürün reaksiyonun toplam tesir kesitine bağlı olarak çok yüksek değerlere sahip olacaktır. Sadece tek spektral çizgi yayınlayabilen plazmanın oluşturulma işleminin geçerliliği oldukça yaygın bir şekilde son 10 yıldır Ovidius Üniversitesi (Köstence-Romanya) ve National Institute for Laser Plasma and Radiation Physics (Bükreş-Romanya) ‘dan bir grup araştırmacı tarafından geliştirilmiştir [17-33].

Bu çalışmada, saf gaz ve gaz karışımlarının plazma jetleri elde edilmiş ve optik emisyon spektrumları kaydedilerek incelenmiştir. Elektropozitif gaz olarak neon ve argon, elektronegatif gaz olarak ise hidrojen ve oksijen kullanılmıştır. Gaz karışımları plazmaları üretilirken bir elektronegatif (H_2 veya O_2) ve bir elektropozitif (neon veya argon) gaz karışımı kullanılmıştır. Üretilen gaz karışımı plazmalarının optik emisyon spektrumlarında ise Monokromatizasyon Etkisi (M-etkisi) gözlenmiştir.

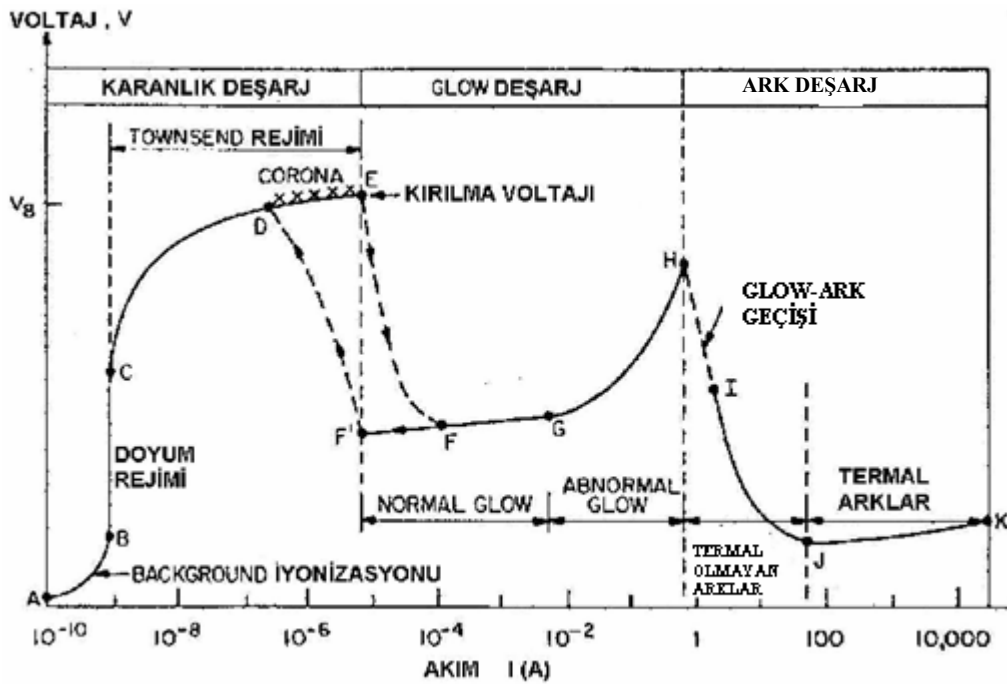
Saf argon gazı ile saf oksijen gazı arasında %75 Ar + %25 O_2 şeklinde ve saf argon gazı ile saf hidrojen gazı arasında %75 Ar + %25 H_2 şeklinde oluşturulan gaz karışımlarının plazma jeti elde edilmiştir.

BÖLÜM 2

GAZLARDA DC ELEKTRİKSEL ARK DEŞARJLAR

2.1. Giriş

Düşük basınçlı bir cam tüp içerisine (deşarj tüpü) yerleştirilen anot ve katot arasına uygulanan yüksek voltaj ile cam tüp içerisindeki gazın plazma haline geçtiği gözlenir. Bu durumdadeşarj tüpü için akım ve voltaj değerleri ile oluşturulan grafikte 3 temel bölge bulunmaktadır. Bunlar; karanlıkdeşarj bölgesi, glowdeşarj bölgesi ve arkdeşarj bölgesidir. Şekil 2.1’de gösterilen DC düşük basınç elektrikseldeşarj tüpünün voltaj-akım karakteristiği görülmektedir. Bu bölümde, şekil 2.1’de verilen grafikte görülen arkdeşarj bölgesinin temel özellikleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 2.1 DC elektrikseldeşarj tüpünün genel akım-voltaj karakteristiği [1].

H noktasında akımın artmasına rağmen voltajın ani olarak düşüş gösterdiği görülmektedir. H-I arasına glow-ark geçiş bölgesi denilmektedir. H noktasından itibaren

akımın artması katottan yayınlanan elektronlar nedeniyle olmaktadır. Bu ısınma şekil 2.1'deki H noktası etrafında üst normal glow deşarjın yüksek akım yoğunluğu bölgesinde gerçekleşir. Deşarjın akım – voltaj eğrisi H noktasından I noktasına düştüğünde, ark genellikle ısı olmayan bölgede olacaktır. Bu bölgede ark, yaklaşık olarak 1A ve 50A aralığındaki akım değerlerine sahiptir. Buna rağmen ısı olmayan düşük şiddet arkları bazı durumlarda bu akım değerlerinin dışında olabilir. Bu negatif direnç karakteristiğinin gözleendiği bölgedir. Yani akım-voltaj eğrisi azalan voltajda artan akım ile sonuçlanan negatif bir eğime sahiptir. Şekildeki yaklaşık olarak 20 ile 50A'deki J noktasından sonra ark, J ve K noktaları arasında ark deşarjın ısı veya yüksek şiddet bölgesi olarak adlandırılan hemen hemen düz veya yavaşça yükselen akım-voltaj karakteristikli ark deşarjı bölgesine geçer.

Düşük basınçlarda DC elektriksel deşarj 1A ile 10A mertebesinde akımlarda meydana geldiğinde, bu deşarjın ark deşarj veya glow deşarj olup olmadığını söylemek zordur. Düşük şiddetli arklar nadiren 1A den daha az akımlara sahiptirler. Arklar yüksek akımlar ve akım yoğunlukları ile karakterize edilirler [1].

Ark deşarjın parlaklığı, akım yoğunluğu ve katot düşümü voltajı gibi terimleri ile ifade edilir. Glow deşarjın aksine bir ark deşarj (özellikle yüksek şiddetli ısı arklar), son derece parlaktırlar. Arkların akım yoğunlukları, cm^2 başına birkaç amperden bin ampere kadar aralıklarda değişir. Akım yoğunlukları değeri $50\text{mA}/\text{cm}^2$ 'den daha küçük değerlere sahip ise glow deşarjın akım yoğunluğundan bahsediliyor demektir. Arklar aynı zamanda katotun birkaç milimetresi içindeki yüksek gradyentler bölgesinde yaklaşık olarak 10V veya daha küçük katot düşümü voltajı ile de karakterize edilirler [1].

Ark deşarj durumunda deşarj akımı $i \sim 1-10^5\text{A}$ arasında olurken, katot akımı yoğunlukları bazı ark deşarjlar için $10^2-10^4\text{A}/\text{cm}$ ve bazende $10^4-10^7\text{A}/\text{cm}$ olabilmektedir [2].

2.2 Ark Deşarj Parametrelerinin Aralıkları

Ark deşarjın oluşumu esnasında gözlenen bazı parametreler, oluşan ark deşarj plazmasının tanımlanabilmesi için oldukça gereklidir. Ark deşarjın ısı olmayan (düşük şiddetli) ve ısı (yüksek şiddetli) bölgeleri için plazma parametrelerinin aralıkları çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Ark Deşarj Parametrelerinin Aralıkları.

Plazma parametresi	Isıl olmayan ark	Isıl ark
Denge durumu	Kinetik	Lokal termodinamik denge
Elektron yoğunluğu n_e (elektron/m ³)	$10^{20} < n_e < 10^{21}$	$10^{22} < n_e < 10^{25}$
Gaz basıncı P (Pa)	$0.1 < P < 10^5$	$10^4 < p < 10^7$
Elektron sıcaklığı, T_e ,(eV)	$0.2 < T_e < 2.0$	$1.0 < T_e < 10$
Gaz sıcaklığı T_g (eV)	$0.025 < T_g < 0.5$	$T_g = T_e$
Ark akımı I (A)	$1 < I < 50$	$50 < I < 10^4$
E/p (V/m.Torr)	Yüksek	Düşük
IE (kW/cm)	$IE < 1.0$	$IE > 1.0$
Katot emisyonu	Termiyonik emisyon	Alan emisyonu
Parlaklık şiddeti	Parlak	Göz kamaştırıcı kadar parlak
Şeffaflık	Şeffaf	Opak
İyonizasyon miktarı	Tayin edilemez	Saha denklemi ile bulunur

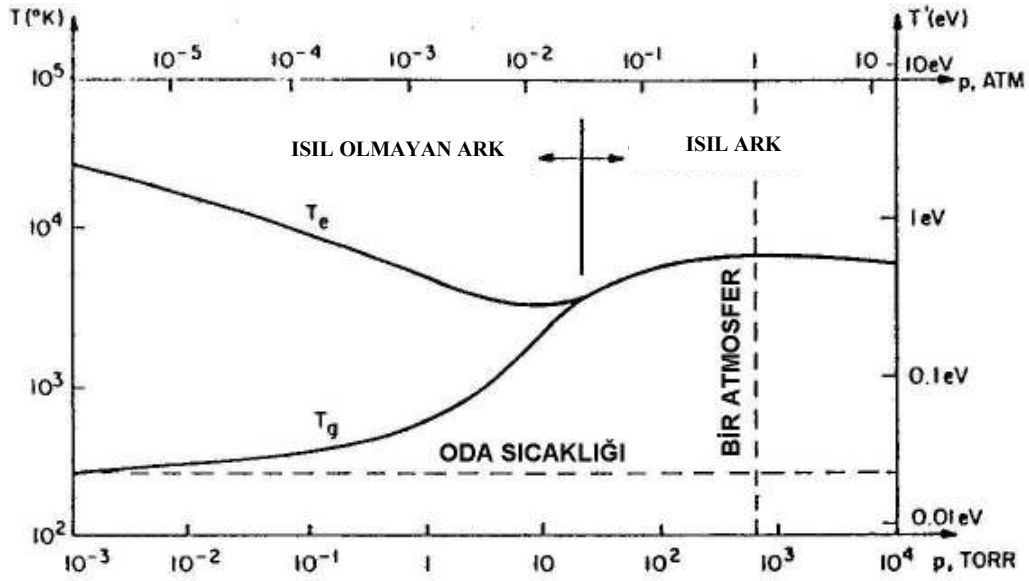
Isıl olmayan düşük şiddet arklarını kinetik dengede oldukları için ve ısı yüksek şiddet arklarını da uygun lokal termodinamik denge (LTE)’de kabul edilemedikleri için teorik olarak karakterize etmek veya matematiksel olarak modellemek zordur. Bir ark termodinamik denge içinde oluncaya kadar Saha denklemini kullanarak iyonlaşma kesrini, uyarılmış hallerdeki atomların bağıl kesrini ya da Stefan-Boltzmann ışınım kanunu ve termodinamik dengenin temelindeki ark içindeki ışın yayıcı geçişleri kesin olarak analiz etmek mümkün değildir [1].

Isıl, yüksek şiddet arkların elektron sayı yoğunluğu bazen ısı olmayan, düşük şiddet arkların akım yoğunluklarından daha yüksektir. Elektron kinetik sıcaklığı da ark deşarjının belirleyici bir karakteristiği değildir.

Elektron kinetik sıcaklığı ve gaz sıcaklığı arasındaki ilişki ark bölgesinin belirleyici bir karakteristiğidir. Isıl arkların karakteristiği olan lokal termodinamik dengede elektron ve gaz kinetik sıcaklıklarının eşit olması gerekir. Isıl olmayan düşük şiddetli arklarda elektron-nötral çarpışmaları, elektron ve nötral gaz atomlarının popülasyonunun ayrışması olabilmektedir ve sıcaklıklarında çok önemli farklılıklar olabilmektedir. Ark akımı iki ark bölgesi için de belirleyici bir karakteristik değildir. Isıl arklar 50A'den daha az toplam akımlarla oluşabilirken, ısı olmayan arklar 50A'den daha büyük akımlarda olabilir.

Isıl, yüksek şiddet arkları genellikle alan emisyonunda çalışırken, ısı olmayan, düşük şiddet arkları genellikle katottan termiyonik emisyonu gereksinim duyarlar. Isıl arklar her zaman yüksek gaz sıcaklıklarında ve yüksek basınçlarda bulunurken ısı olmayan arklar düşük basınçlarda oluşabilir. Isıl olmayan arklar düşük elektron kinetik sıcaklığı şartı ile atmosferik ve daha yüksek basınçlarda da olabilir. Isıl olmayan arklar için elektron kinetik enerjisi, elektron-nötral çarpışma frekansının düşük olduğu düşük basınç değerlerinde nötral gaz ve elektron sayılarının yavaş yavaş artmasının bir sonucu olarak gaz sıcaklığından daha büyüktür. Şekil 2.2'deki grafikte de görüldüğü gibi elektron ve gaz sıcaklıkları on torr civarında aynı olmaktadır [1].

Şekil 2.2'de bir argon deşarjı için basıncın bir fonksiyonu olarak beklenen gaz kinetik sıcaklıkları ve elektron sıcaklıkları şematik olarak gösterilmiştir.



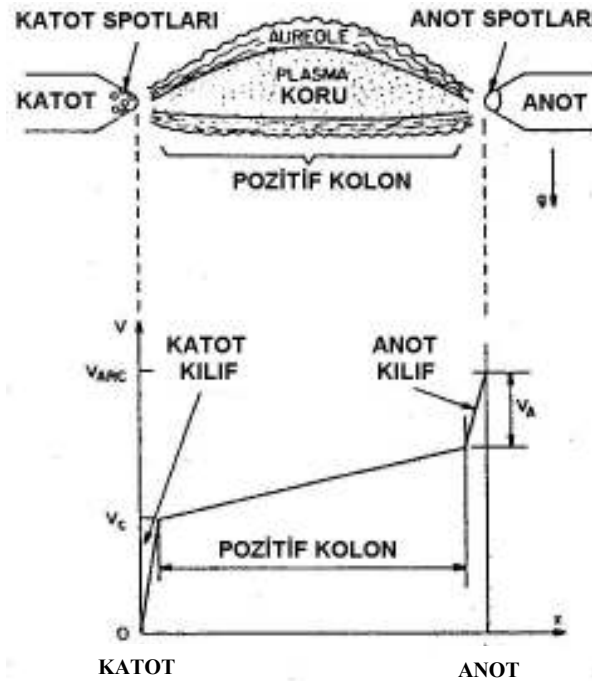
Şekil 2.2 Basıncın fonksiyonu olarak arkların gaz kinetik sıcaklıkları ve elektron sıcaklıkları değişimi [1].

2.3. Arkın Elektriksel Yapısı

Elektriksel deşarjların ark rejimi 1808'de Sir Humphrey Davy tarafından rapor edilmiştir ve birçok kuru pilin seri-paralel şekilde bağlanıldığı ilk kez yüksek voltajda yüksek akımlar elde etmek için aynı anda üretime izin verildiği İngiltere Kraliyet enstitüsünün büyük batarya bankası ile elektrokimyasal deneylerin birleştirmesi ile gözlenmiştir. Elektriksel arklar zaman içerisinde akım – voltaj değişimlerine bağlı olarak geliştirilmiştir. Ark içerisindeki bölgelerin adlandırılmasına ve arkın yapısına bağlı olarak elektriksel arklar klasik ark ve modern ark olmak üzere iki ana başlıkta toplanabilir.

2.3.1 Klasik arkın özellikleri

20. yüzyılının öncesine kadar çoğu arklar, ısıl olmayan ark olarak çalışan aydınlatma cihazları olarak kullanılmıştır. Şekil 2.3'ün üst kısmında klasik ark şematik olarak gösterilmiştir. Eksenel voltaj dağılımı ise şeklin alt kısmında şematik olarak çizilmiştir.



Şekil 2.3 Bir ark deşarjının eksenel voltaj dağılımı ve görünüşünün şematik çizimi [1].

Şekil 2.3'te görülen arkın özellikleri katotdan anoda doğru aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Katot:** Katot, ısıl olmayan, düşük şiddet ark deşarjlarında genellikle termiyonik olarak elektron yayınlayan negatif elektrottur.
- Katot spotları:** Katot spotları, katot materyalinin çok sıcak olduğu yerde yüksek akım yoğunluğunun olduğu plazmanın başlangıç bölgesinde bir veya daha çok noktalardan oluşmaktadır. Katot spotlarındaki akım yoğunluğu $10000A/cm^2$ 'den daha büyüktür. Pozitif iyon akımı $100A$ mertebesinde olabilmektedir. Katotun

sıcaklığı gaz çeşidine, elektrot materyaline ve akım yoğunluğuna bağlıdır. Fakat atmosferik arklar için tipik olarak 2200 ile 3300 K aralığındadır. Katot spotları, ark deşarjın devam ettiği sürece saniye başına metre mertebesindeki hızla katot yüzeyi üzerinde hareket ederler. Katot materyali, katot spotlarının katot materyalinin kaynama sıcaklığı değerlerine kadar yükselmesi nedeniyle buharlaşma ile kaybolur. Katot spotları son derece sıcak oluyorken bir bütün olarak katot sıcaklığı son derece düşüktür.

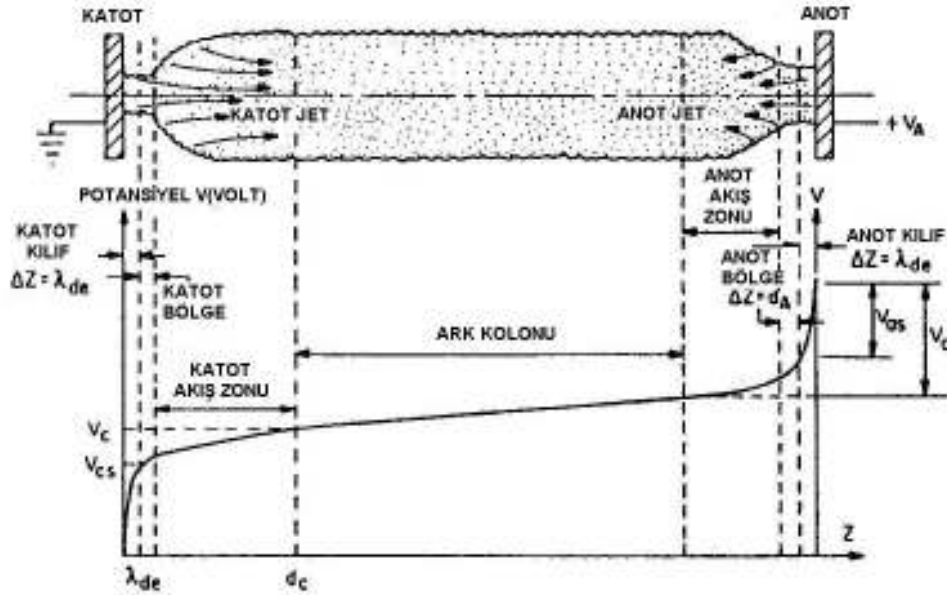
- c) Katot kılıfı: Katot kılıfı katotun çok yakınına yerleşmiştir ve genellikle 1mm'den daha az kalınlıktadır. Genellikle kullanılan gazın iyonizasyon potansiyeline yakın 10V'luk bir voltaj düşümüne sahip olacaktır. Bu voltaj düşümü "katot düşümü" olarak ifade edilir.
- d) Pozitif kolon: Pozitif kolon ark deşarjın hacmini oluşturur ve neredeyse arkın tüm aksenal uzunluğu boyunca yayılmaktadır. Şekil 2.3'ün üst kısmında görünüm olarak iki bölgeye ayrılan bu bölgede nispeten küçük voltaj düşümü vardır.
- e) Plazma kuru: Plazma kuru sıcak plazmanın hacmidir. Gazların çoğu bu bölgede ayrışır ve bir atmosfer veya daha büyük basınçlarda çalışan çoğu arklar için plazma kuru termodinamik denge içindedir ve bir kara cisim gibi ışıma yapar. Bir ark deşarjın pozitif kolonunun sıcaklığı elektrot malzemesine, çalışılan gaza ve akım yoğunluğuna bağlıdır ancak atmosferik havadaki bir ark için tipik sıcaklıklar, güneşin yüzey sıcaklığı olan 5700 K değerinin üzerinde olacaktır.
- f) Aureole: Aureole plazma kimyasının yapıldığı kuru çevreleyen termodinamik dengede olmayan yanan gazların bir bölgesidir.
- g) Anot kılıfı: Anot kılıfı kısa mesafede büyük voltaj düşümüne sahiptir. Anot düşümü gazın iyonizasyon potansiyelinden daha küçük veya iyonizasyon potansiyeli ile kıyaslanabilir düzeydedir. Anot kılıfındaki elektrik alan elektronları anot spotuna doğru hızlandırır.

- h) Anot spotu: Anot spotu genellikle akım yoğunluğunun yüksek olduğu yerdeki tek bir sıcak spottur. Katot spotlarının aksine daha büyük alanın yalnızca tek bir spotu vardır ve katot spotlarından daha düşük akım yoğunluğu vardır. Anot spotu arka en yakın yerde oluşur ve artan akım ile anotun arkasına doğru yayılır.
- i) Anot: Anot elektron akımını toplayan elektrottur ve genellikle katot gibi yüksek erime noktalı erimeyen metallere yapılır. Atmosferik basınçlarda, anotun sıcaklığı katotun sıcaklığı ile yaklaşık aynıdır. Anot sıcaklığının değeri elektrot materyaline, gazın çeşidine, akım yoğunluğuna bağlıdır ve genellikle karbon, tungsten, bakır veya demir elektrotlarla çalışan atmosferik arklar için 2500K ile 4200K arasında değişir.

2.3.2 Modern arkın özellikleri

Ark deşarj üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda şekil 2.4'te gösterilen daha karmaşık bir model geliştirilmiştir. Şekil 2.4'te bu şematik çizime eşlik eden voltaj düşümü ile bir arkın değişik bölgeleri için modern isimlendirmeler gösterilmektedir.

Şeklin sol kısmından başlayarak katot çok yüksek akım yoğunluklarında elektronlar yayınlar. Isıl olmayan, düşük şiddet arklar için bu akım genellikle yüzey üzerinde hareket eden bir veya daha çok katot spotlarından termiyonik emisyon sonucu oluşur. Bu katot spotundaki akım yoğunluğu 500 A/cm^2 - 10000 A/cm^2 aralığında değişebilmektedir. Alan emisyonlu ısı, yüksek şiddet arklar için birçok küçük mikrosplot her biri 10^6 A/cm^2 ile 10^8 A/cm^2 arasında değişen akım yoğunlukları ile katot yüzeyi üzerinde hareket ederler. Katot kılıfı elektron debye uzunluğu ($\lambda_{De} \approx 1-10 \mu\text{m}$) ile kıyaslanabilir düzeydedir [1].



Şekil 2.4 Her birindeki potansiyel dağılımı ile lineer bir arkın bölgelerinin şematik gösterimi [1].

Katot bölgesi $d_c \approx 1$ mm eksenel uzunluklu potansiyel ve yoğunluk gradyentlerinin bir bölgesidir. Bu bölgenin ilerisinde, katot jetinin olduğu ve dışarıdan gelen nötral gazın ark kolonu ile güçlü bir şekilde etkileştiği yaklaşık olarak 1cm eksenel uzunlukta katot akış bölgesi vardır. Katot jet, katot civarında dışarıdan gelen gazı çeken yüksek hızlı sıcak gaz bölgesidir ve saniye başına birkaç yüz metreye ulaşabilen hızlarla eksenel olarak akar. Katot jet anoda ulaşabilir ve anoda büyük ölçüde ısı transferini artırır. Anot üzerinde katot jetinin aşındırıcı etkisi hızlı oranda anot materyalini kaldıracaktır. Ark kolonu düşük eksenel yoğunluk gradyenti ve elektrik alanlar bölgesidir ve sıcaklık gradyentleri yoktur.

Anot civarında, daha küçük anot jeti hızına ve daha az baskın anot akış etkilerine neden olan anot spotunun çapı, genellikle katotun spotlarından daha büyüktür. Ark kolonu akım yoğunluğu ısı, yüksek şiddet arklarda genellikle 1000 A/cm^2 , katot düşümü $V_C \approx 10\text{V}$ ve anot düşümü, V_A , 3 ile 13V arasında değişen kullanılan gazın iyonizasyon potansiyeline eşittir [1].

Düşük akımlı (yaklaşık olarak 1-10A) ısı olmayan, düşük şiddet arklarında birincil elektron emisyon mekanizması bazen kendiliğinden sağlanan termiyonik emisyonudur. Bu durumda katotun, katot yüzey sıcaklığına bağlı bir ark oluşturması için yeterince elektron yayınlatabildiği seviyeye gelinceye kadar dışarıdan ısıtılması gerekir.

Sonuç olarak ısı, yüksek şiddet arklarda, son derece yüksek akımlar ve akım yoğunlukları elektriksel arkın sürekliliğini sağlamak için gereklidir ve bunlar alan emisyonu ile sağlanır. Alan emisyonunda katot sıcaklığı katota ve katot soğutucu mekanizmaya ısı transferi karakteristikleri ile tayin edilir. Elektrotları korumak ve elektrot ömrünü uzatmak için ısı, yüksek şiddet arklarında katot termiyonik olarak yayınlama yapamayacak kadar soğuktur. Elektronlar, her biri 10^6-10^8 A/cm^2 lik akım yoğunluğuna sahip küçük spotlardan (mikrospotlar) ark içine yayılırlar.

2.4 Elektriksel Ark İşleminin Özellikleri

Özel bir durum için, ısı olmayan düşük şiddetli ark ve ısı yüksek şiddetli ark işlemin karakteristiklerinin incelenmesi amacı ile bir seçim yapılmıştır. Isı olmayan arklar için Ayrton'un klasik bilgileri (karbon elektrotlu havada 1 atm basınçta argon arkı) ve ısı arklar için de Elberhart ve Seban'ın 1 atm basınçta argon arkı düşünülmüştür.

2.4.1 Ayrton'un ısı olmayan arkı

1 Atm'lik basınçta karbon arkları için voltaj-akım ilişkisi 1902'de Mrs. Hertha Ayrton tarafından yayınlanmıştır. Bu veriler bir parametre olarak ark uzunluğuyla Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Bu bilgilere dayanarak, Ayrton denklemi,

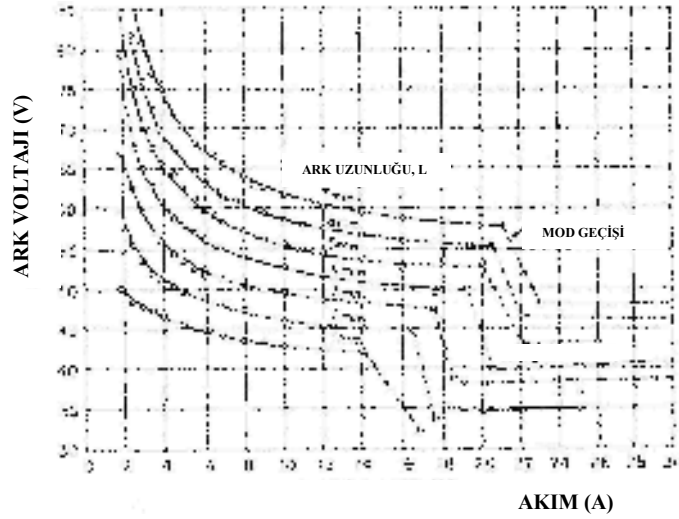
$$V_A = C_1 + C_2L + \frac{C_3 + C_4L}{I} \quad (2.1)$$

Şeklinde verilir. Burada C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 sabit, L ark uzunluğu ve I toplam ark akımıdır.

Nottingham (1923) tarafından türetilen ve daha sonraki araştırmalarda Nottingham denklemi olarak bilinen,

$$V_A = A + \frac{B}{I^n} \quad (V) \quad (2.2)$$

denklemini ile voltaj-akım ilişkisi atmosferik ark için hesaplanmıştır.

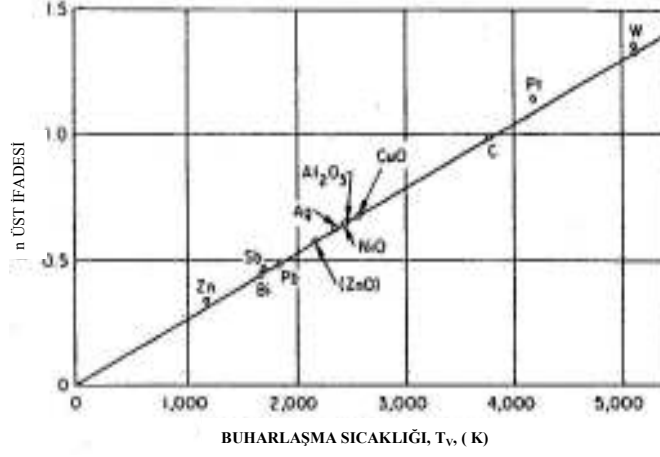


Şekil 2.5 1 atm'de oluşturulan karbon ark'ların voltaj-akım karakteristikleri.

Gazların ve elektrot materyalinin çoğu kombinasyonu için, Nottingham denkleminde görölen n üstel ifadesi anot materyalinin buharlaşma sıcaklığının lineer bir fonksiyonudur.

$$n = 2,62 \times 10^{-4} T \quad (2.3)$$

ile verilmektedir. Buradaki T kelvin cinsinden sıcaklık değeridir. Bu etkinin bilgileri Şekil 2.6'de gösterilmiştir. (Karbon için, Ayrton denklemi (2.1) ile üst ifadesi $n=1,0$ 'dir).



Şekil 2.6 Anod materyalin buharlaşma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak, Nottingham ilişkisinin n üst ifadesi [1].

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan ark deşarjı için anahtar parametre ark'ın pozitif kolundaki eksen boyunca elektrik alanla yakın ilişkili olan toplam güç dağılımıdır. Bir fonksiyonel ark akımı, aksenal elektrik alanının hassas ölçümleri, ark basınç işlemleri ve gaz tipleri eksensel elektrik alanları için,

$$E = C_0 \frac{P^m}{I^k} \quad (\text{V/m}) \quad (2.4)$$

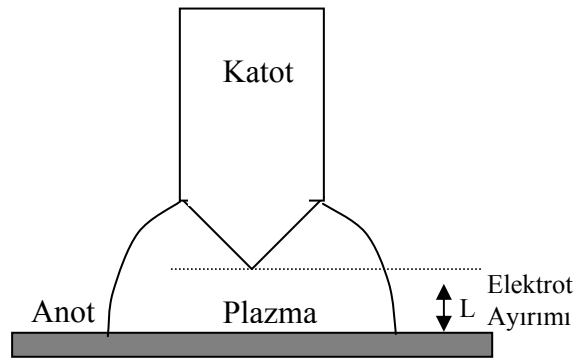
denklemleri ile özetlenebilir. Bu denklemlerdeki k ve m değerleri çizelge 2.2'de verilmiştir. Çalışılan çoğu gaz, aksenal elektrik alan ark akımını fonksiyonel olarak azaltır.

Çizelge 2.2 Çeşitli gazlardaki atmosferik basınçta karbon elektrotlar için bir aksenal elektrik alanda k ve m değerleri.

Gaz	Hg	A	N ₂	Hava	CO ₂	He	H ₂ O	H ₂
k	0,26	0,54	0,60	0,60	0,60	0,73	0,59	0,70
m	-	0,16	0,31	-	-	0,20	-	0,32

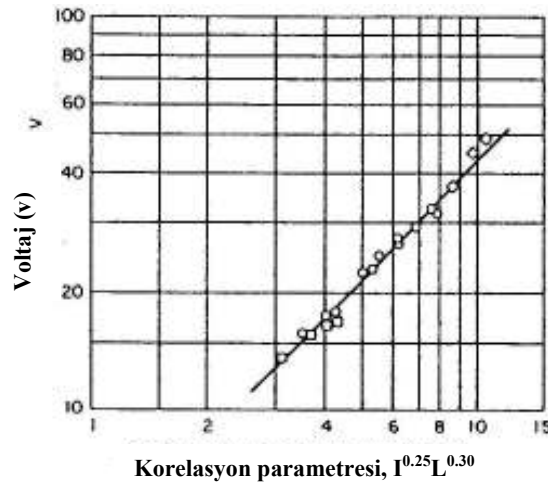
2.4.2 Eberhart ve Seban'ın ısıl arkı

Eberhart ve Seban (1966), bir katot ve bir düzlem anot arasındaki bir argon arkı için yüksek şiddetli bir ısıl arkı incelemiştir. Anot düzlemi ile bu düzlemin 2.54 cm üzerine yerleştirilmiş katot arasındaki argonda meydana gelen bir arkın güç akışının küçük bir kısmının bilgilerini göstermiştir.

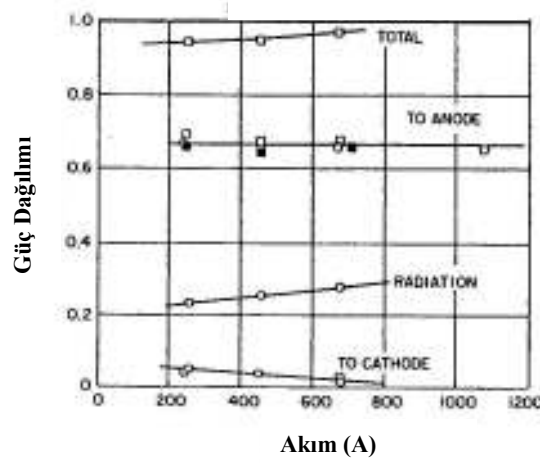


Şekil 2.7 Eberhart ve Seban tarafından bulunmuş argondaki temel ark şekli.

Bu durumda, gücün sadece çok küçük bir kısmı katoda gider, %60'dan fazlası anoda gider ve yaklaşık %25'i duvarda radyasyon yapısında görülür. Anottaki çok büyük ısı depolanması katot kararmasına sebep olmuştur. Bu yüksek güç ısıl arkların karakteristiğidir ve özellikle büyük güç depolaması nedeniyle anot soğur.



Şekil 2.8 Isıl ark bilgileri ve yüksek şiddetli bir ısıl argon arkı [1].



Şekil 2.9 Argondaki bir yüksek şiddetli ısırl ark için Voltaj-akım uyumu [1].

Eberhart ve Seban şekil 2.9'da gösterilen arkların voltaj-akım karakteristiklerinin algılanabilen uyumunu bulmuşlardır. Anot-katot ayırımı L 'nin en az üç farklı değeri için deneyleri gerçekleştirmiş ve voltaj-akım ilişkisi I amper ve L metre olmak üzere

$$V = 17,11^{0,25} L^{0,30} \quad (2.5)$$

şeklinde verilmektedir.

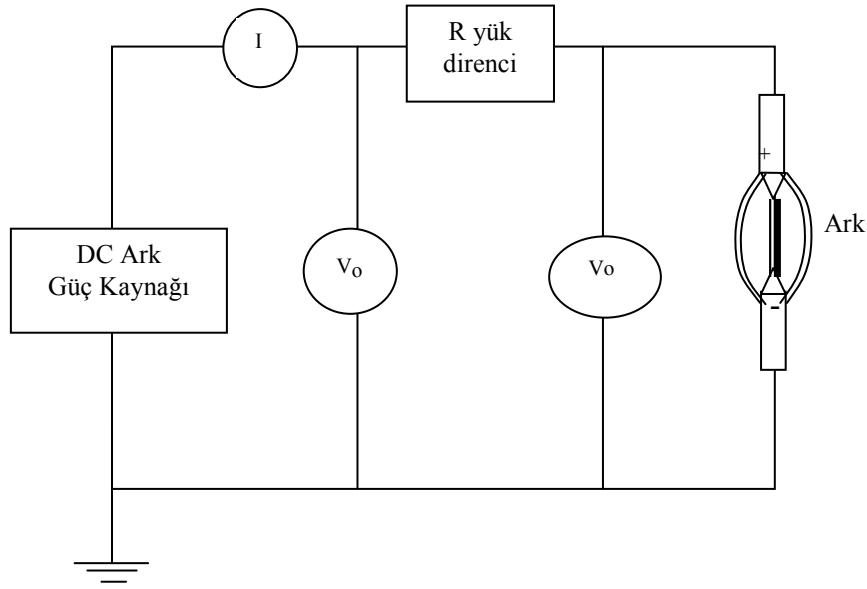
Denklem (2.5)'in tamamı $0,5 \leq L \leq 3,15$ cm, $200 \leq I \leq 2300$ A ve $4 \leq V.I \leq 97$ kW değerlerinde bulunmuştur. Denklem (2.5)'te akım ifadesi $I = \frac{1,164 \times 10^{-5} V^4}{L^{1,2}}$ (A) olarak verilir. Bu denklem, ark rejiminin yüksek şiddetli sıcaklıklarda oldukça düz bir I-V eğrisini gösterir.

2.5 Elektrik Arkları İçin Güç Kaynakları

Akımların üretimi için gerekli arklar 50 ya da 60 Hz'lik uygulama frekansına sahip AC ya da DC güç kaynakları kullanılarak üretilir. Aydınlatma cihazlarında

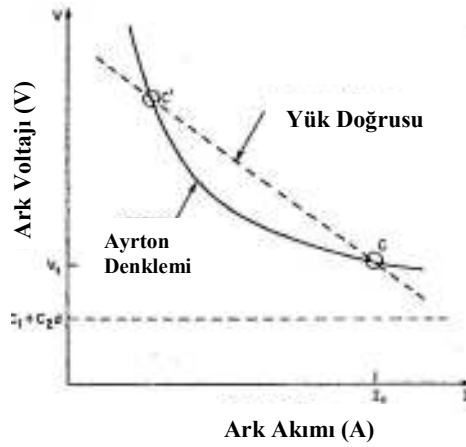
kullanılan ark'lar hariç, endüstriyel ısıl arklar için AC güç kaynaklarının çıkış gücü kW'tan MW seviyesine kadar değişmektedir.

DC güç kaynaklarının çıkış gücü ise kW'tan onlarca kW bölgesine kadar değişir. Isıl olmayan DC güç kaynakları düşük şiddetli ark üretir. Bu durumda kararlılığı sağlamak için ısıl arklarda kullanılan cihazlara ek olarak yük direnci içeren bir devre kullanılır. R yük direnci içeren devre şeması şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10 Isıl olmayan arkların elektriksel kararlılığı.

Isıl olmayan ark için şematik voltaj-akım ilişkisi Şekil 2.11'de görülmektedir. Şekilde, parabolik eğri Ayrton ilişkisi ile elde edilen kısımdır. Kesikli çizgi ile gösterilen doğru ise yük doğrusudur.



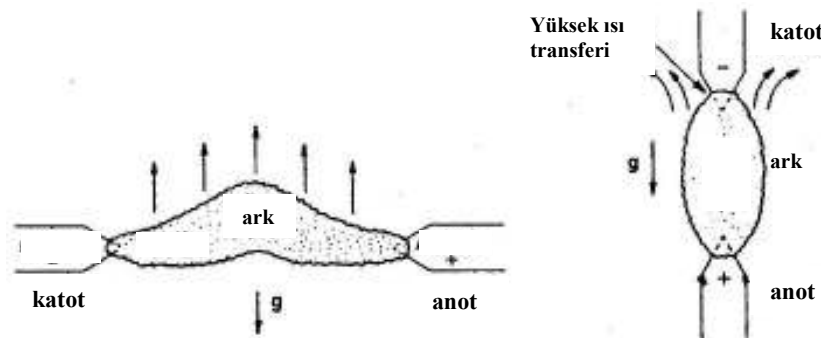
Şekil 2.11 Isıl olmayan arkların kararlılığı.

2.6 Ark Şekillerinin Uygulamaları

Bu bölümde, sanayide kullanılmakta olan çeşitli ark şekilleri anlatılmıştır. Lineer arklar genellikle ısı, diğer şekiller ise yüksek güçlü ve ısı arklardır.

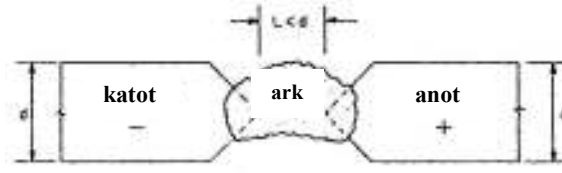
2.6.1 Lineer arklar

Bu arklar genellikle iki elektrot arasındaki bir doğrudan lineer bir şekilde çalışırlar. Lineer arkların çoğu temeli serbest-yanan arklardır ve Şekil 2.12’de hem yatay hem de dikey şekli gösterilmiştir.



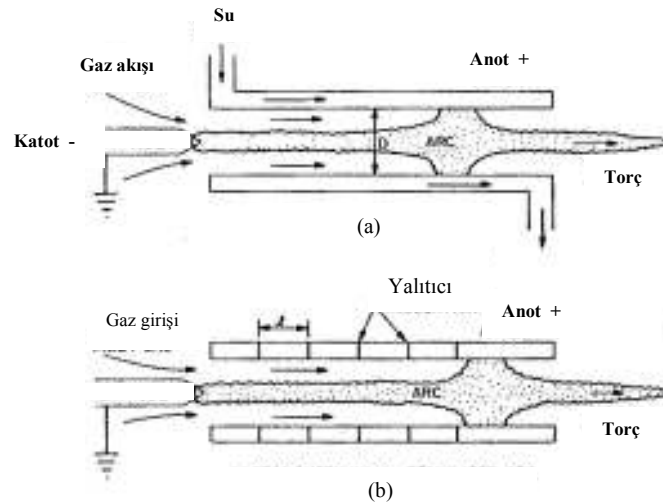
Şekil 2.12 a) Yatay elektrot dizilmesi ve b) dikey elektrot dizilmesi serbest yanan arkların şekli.

Şekil 2.13’de şematik olarak kapatılan elektrot-kararlı arklar gösterilmiştir. Elektrotlar arasındaki mesafe küçük olduğundan ark kolonu meydana gelmez ve elektrot tabakası çok küçük olduğunda ark tıkanması olduğu söylenir. Böyle arklarda elektrotlar arası mesafe $L=1$ mm’dir. Fakat elektrotlar arasına uygulanan V_1 potansiyeli anot ve katot düşmesinden daha büyük olmalıdır.



Şekil 2.13 Kararlı elektrot arklarının tıkanması

Şekil 2.14’te duvara sağlamlaştırılmış arkların iki çeşidi gösterilmiştir. Duvara sabitlenen arklar, bir aksenal katot ve iç içe geçmiş oyuk anotundan oluşur. Bu durumda bir ark kenarlarda soğuyorsa eksenlerdeki sıcaklık artar. Öncelikle aksenal simetrik ark kolonu bozulur ve Şekil 2.14(a) daki gibi duvara yaklaştığında ark’ın kenarları soğuyacaktır ve eksendeki gazın sıcaklığı artacaktır.

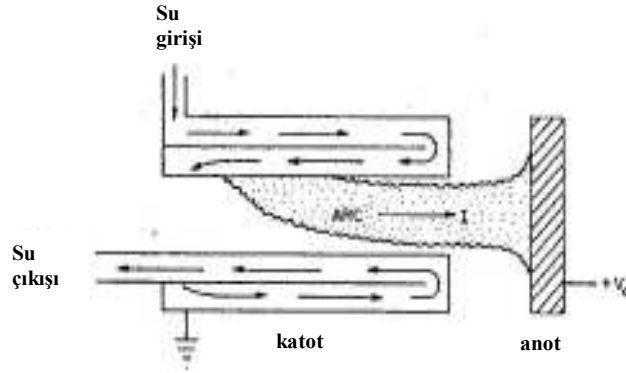


Şekil 2.14 Duvara sabitlenmiş arkların iki şekli (a) bölünmemiş iç içe geçmiş anot, (b) Parça anot, eksensel birleşmeler ile oluşturulmuş.

Eksendeki gazın yükselmesi elektrik iletkenliğini artırır ve ark eksende arkaya çekilecektir. Şekil 2.14'de duvarın parçaları, ark ışıması için kullanılacaksa, kuartza benzeyen materyaller izole edilmiştir. Yüksek güç gaz ısıtma özelliklerinde, silindirik anot su ile soğutulabilir. Şekil 2.14(a)'da görülen şekilde, ark, anot eksenini boyunca herhangi bir potansiyel kararlığına sebep olur ve ark katoda doğru uzaklaştıkça çevresindeki gaz akışının ısıtması yetersiz kalır. Oldukça sık olarak içerideki gaz akışı, katodun uzağındaki anot silindirin sonunun karşısına nokta eklenmesiyle itiş için kullanılabilir, fakat daha iyi tanımlanan düzenlemede Şekil 2.14(b)'de görülen parçalanarak duvara tutturulan arklardır. Duvara tutturulan arkların bu yapısında, anot duvarları tekrar suyla soğutulur, fakat elektriksel olarak parçalanmıştır ve eksenel voltajın lineer azalmasını sağlamak için izole edilmiştir. Parçaların eksenel genişliği, bir sonraki parçadan sıçramaması için gerekli olan ℓ uzunluğunu aşmayacak şekilde ayarlanmalıdır [1].

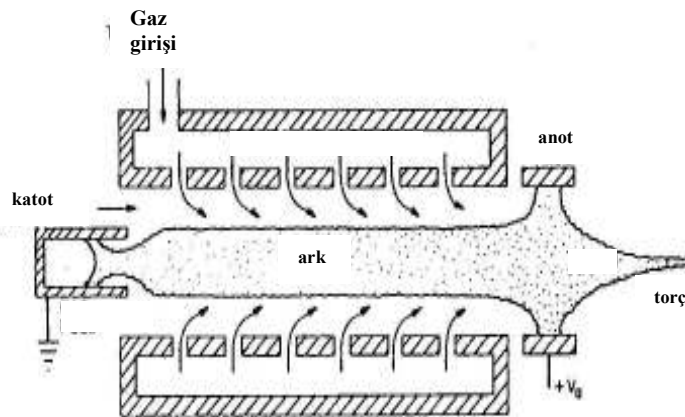
$$\int_0^l Edz < V_a + V_c \quad (2.6)$$

Denklem 2.6 yeterli olduğunda, eksenel parçalar arasındaki ark sıçraması birinci durumda yapılamayan bir genişlemeyi tıkayacaktır. Tükenmeyen katot ile transfer edilen ark Şekil 2.15'de gösterilmiştir. Bu, soğutma işlemi, alan emisyonlu katodu yüksek güç arklar için tasarlanmış ark teknolojisinde kullanımları son zamanlarda geliştirilmiştir. Böyle arklarda, elektrik devresi sadece dışarıda anoda ark geçişleri ile tamamlanır. Bu şekil, termiyonik olarak yayınlanan katotlar ya da soğumamış katotlar havada çalışan akkor lambalar için mümkün olmayan süreler için MW seviyesinde çalışabilirler. Şekil 2.15'dekilere benzer transfer edilen arklar metal ergime ve arıtma sanayisinde gittikçe kullanımı artmaktadır.



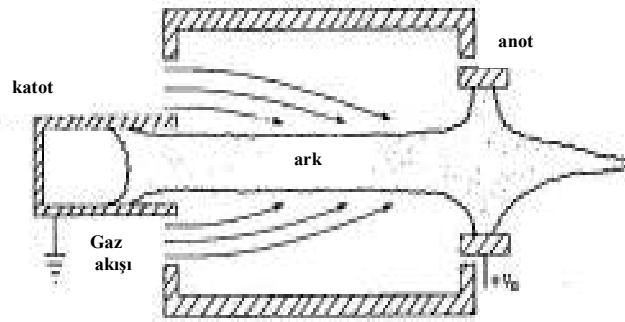
Şekil 2.15 Su soğutmalı oyuk katot yapısının ve dışarıdaki anoda akan akımın duvar içerisindeki ark şekli ile transfer edilen ark şekli

Bazen bir duvara monte edilmiş ark'ın su soğutması oldukça zordur. Şekil 2.16'da gösterilen ark şekilleriyle duvara sabitlenmiş arklarda ısı transferi probleminde azalmanın olduğu kabul edilir. Bu şekildeki kararlı arklara anodu soğutmak ve süresini daha da uzatan iç parçalarını korumak için parçalar arasındaki halka şeklindeki deliklerden sıvı ilave edilir. Çalışılan gazın bir parçası olan terleme sıvısı ile birleştirilir ve ark tarafından ısıtılır.



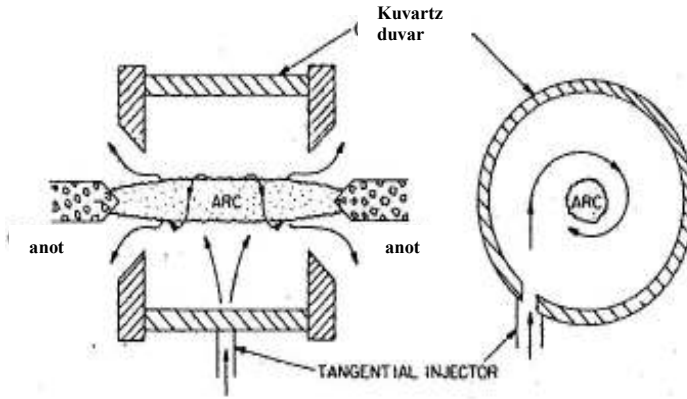
Şekil 2.16 Soğuk su ya da gazın radyal olarak enjekte edilen merkezlenmiş bir yerde oluşan kolonlu terleme kararlı arkları.

Bir diğer yüksek güçlü lineer ark şekli, Şekil 2.17’de şematik olarak gösterilen eşeksenli akış kararlılığı arkıdır. Bu durumdaki anot yüzeyi, duvar kararlılığını arttırmak için ark’dan radyal olarak uzağa taşınmıştır. Ark kararlılığını sürdürmek için katı duvar arkın dış yüzeyi boyunca kolaksiyel gaz akışı ile yer değiştirmiştir. Bu kolaksiyel akış laminer olarak adlandırıldığında ark kararlı olacaktır ve büyük ölçüde çevrelenen duvardaki ısı transferi problemini azalacaktır.



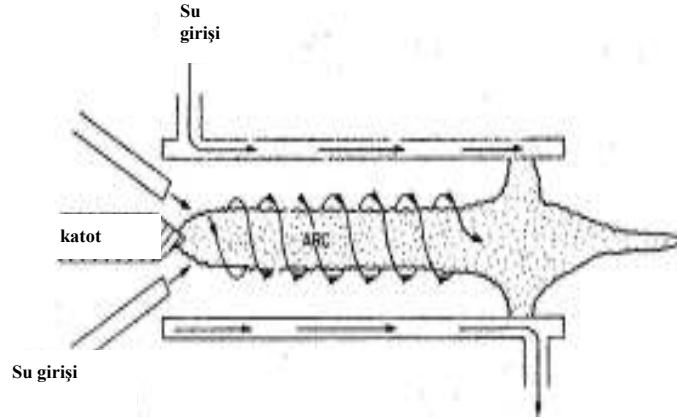
Şekil 2.17 Kararlı gazların laminer eksenel akışlı eşeksenli akış kararlı arkı.

Bir bağıntılı lineer ark şekli Şekil 2.18’de görülen girdap-kararlı ark’dır. Kolaksiyel akış kararlı arkların aynı temel işlemlerine dayanan bu yöntemle duvar kararlı arklarda oynadığı benzer rolü arkdan radyal olarak yeteri kadar uzağa hareket ettirilir. Arkın kenarı soğur ve şeklin eksenini sınırlandırılmıştır. Girdap kararlılığı için kullanılan akışkan bir sıvı ya da gaz ve her ikisi de endüstriyel amaçlar için kullanılırlar. Girdap akışı duvardaki ısı akışını azaltmada oldukça etkindir.



Şekil 2.18 Girdap-kararlı arkda akan gaz veya sıvının girdaba teğetsel olarak enjekte edilmesiyle eksenindeki davranışı [1].

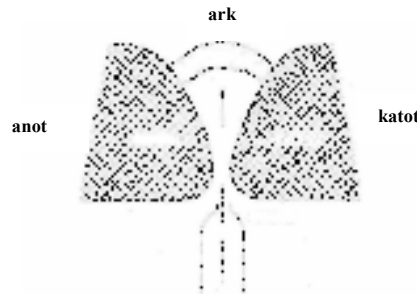
Şekil 2.19’da girdap kararlı arkların ilişkili değişkeni gösterilmiştir. Bu, kararlı gazın (ya da sıvının) katot yakınlarda teğetsel olarak enjekte edildiği aerodinamik olarak kararlı arklardır. Böyle bir durumda arkların dış sınırı etrafında bir girdap akışı devam eder.



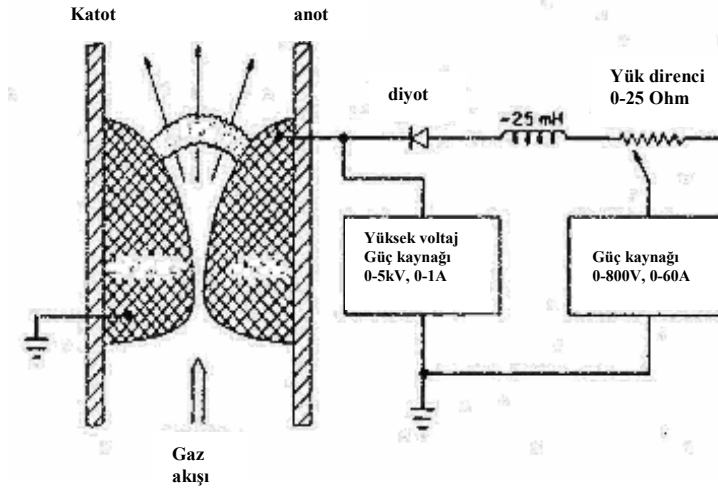
Şekil 2.19 Katot çevresinde teğetsel gaz enjeksiyonu bir aksenal girdap kararlı ark [1].

2.6.2 Genişleyen ark

Endüstride kullanılan çoğu yüksek güçlü gaz ısıtıcılarından çoğu yukarıda anlatılan lineer ark şekillerinin bir tanesine dayanmasına rağmen, diğer önemli endüstriyel uygulamalar toksit atıkları elden çıkarma, devre tertibatlarında ve üç basit şeklini anlatacağımız genişleyen arkı kullanan plazma kimyasını içerir. Akan ark toksit atıkları elden çıkarmada ve tahrip edici plazma kimyasında kullanılır. Şekil 2.20’de şematik olarak gösterilen akan ark şeklini içine doğru ya da dışına doğru olan düzleme genişleyen bir çift elektrot içerir.



Şekil 2.20 Akan ark dar bölgedeki ark kıvılcımları ve uzunluk bitinceye kadar artar [1].

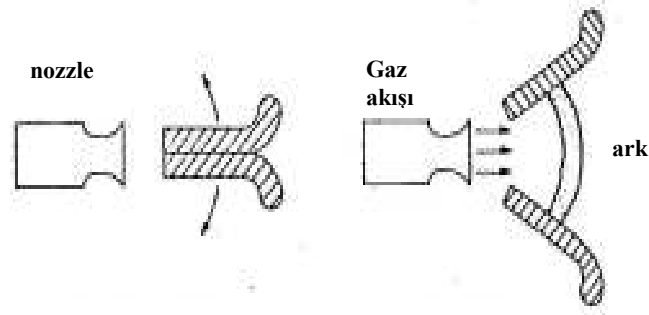


Şekil 2.21 Akan ark güç kaynağı yüksek voltaj sağlanarak dar bölgede arki başlatır ve başlangıçta güç kaynağı arki kuvvetlendirir.

Bu elektrotlar Şekil 2.21’de gösterilen güç kaynakları ile enerji kazanırlar. Elektrot aralığında çapraz olarak devam eden bir yüksek voltajda aralığın en dar bölgesindeki elektrotlar arasında gaz akışını elektriksel bozunmaya sebep olmaya yeterlidir [1].

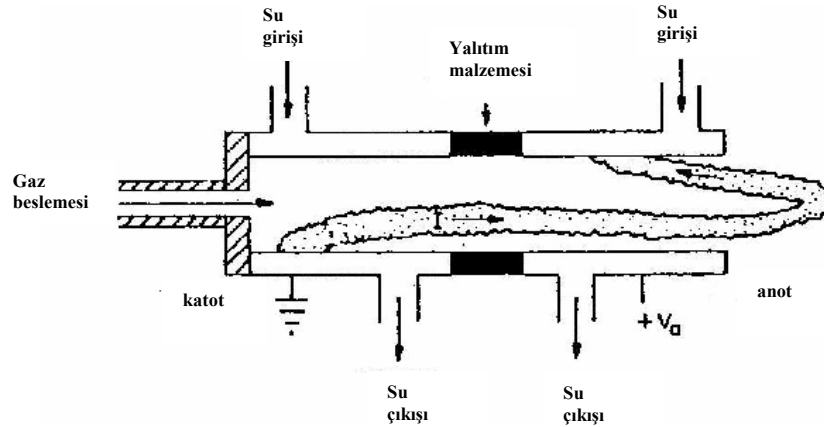
Breakdown meydana geldiğinde, başlangıçtaki güç kaynakları uzun süreli olmayan elektrotların yarı eliptik yüzeylerdeki genişleme bir güçlü ark oluşturmaya yeterlidir. Orta şiddetteki voltajda yüksek akım sağlar. Bu noktada, ark kaybolmuş ve işlem tekrarlanmıştır. Bu oldukça eski ark şekli 19yy ilk olarak araştırılmıştır. Bu bazan Jacobs liderliğindeki popüler bilim araştırmalarında görülmüştür. Genişleyen arklar hasar verici plazma kimyasının çeşitli yapıları için plazma işlem parametrelerinin değerlerinin aralığını sağlayabilir. Akan arklardaki son zamanlardaki çalışmaları Lesuer ve arkadaşları tarafından 1990 da çalışılmıştır [1].

Bir genişleyen arka ilgili şekil, Şekil 2.22’de gösterilen değişkenin birisi ile anahtar donanımında bulunmuştur. Bir tipik anahtar donanım uygulamasında, Şekil 2.22’de gösterilen temasta (a) başlangıç da kapalı ve iki elektrot arasından başlanan sönen uca karşı olan bir kenar bölünen yüzeylerle düzenlenmiştir. Temas eden yüzeyler Şekil 2.22(b) deki gibi açıldığında genişleyen arkın hareketi çevrelenen gazdaki daha fazla desteklenemeyen ark bir genişliğe ulaşıncaya kadar artan uzunluk boyunca yapılır.

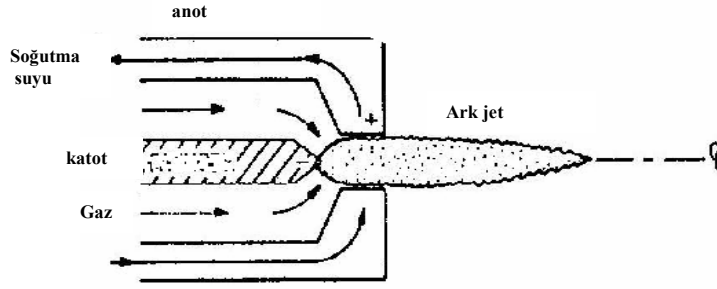


Şekil 2.22 Temas eden plakalar açıldığında bunlar arasında bir akım geçtiği görülen genel bir Switchgear [1].

Metal ısıtmada ve arıtma işlemlerindeki önemin artmasıyla Şekil 2.23'deki şematik olarak gösterilen transfersiz ark şekli geliştirilmiştir. Bu şekil su soğutmalı silindirik şekilde yerleştirilmiş bir silindirik katot ve eşeksenli anot ile duvara tutturulmuş arkı içerir. Oyuk, eşeksenli ve silindirik elektrotlar bir yalıtkan ile ayrılır ve bir ark, katot ve anodun iç yüzeyleri arasında çizilmiştir. Anodun açılmasından öte materyali ısıtmak için gaz ısıtılan materyale doğru arkın dışına akan eksen boyunca beslenir. Bu transfersiz arkalar su soğutmalı katot ve anot yüzeyleri etrafında dönmek için ark köküne sebep olan $J \times B$ kuvvetlerinin avantajıdır; bunlar, tamamen alan emisyonuna güvenilir ve örneğin özellikle yüksek güçlü ark ocağında standart olarak kullanılan katodun daha fazla düşmesine ve anot yüzey sıcaklığının daha da büyümesine sebep olur. Akkor grafit elektrotlardan daha uzun ömre sahiptir [1].



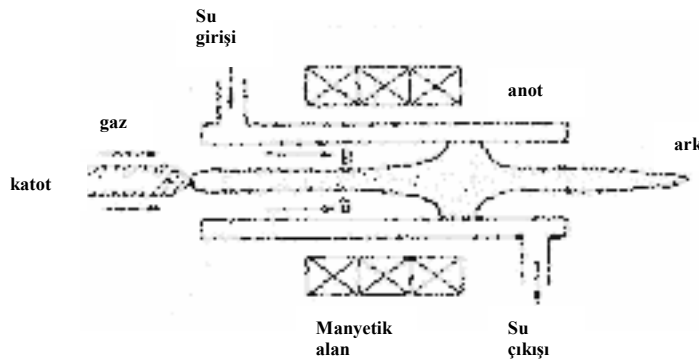
Şekil 2.23 Eksenel bir gaz akışı ile yapılan kıvılcımlanmalı geçişsiz ark.



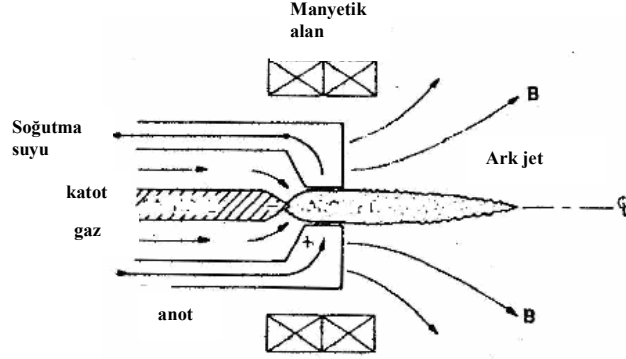
Şekil 2.24 Eksensimetrik, transfersiz, magnetize olmamış ark kararması.

2.6.3 Dönen arklar

Magnetik olarak kararlı, dönen arklar Şekil 2.25’de gösterilmiştir. Bir eksenel magnetik ala, anottaki bölgesel yüksek ısı yüklenmesinden kaçınmak için ark basamağını döndüren $J \times B$ kuvvetini sağlar. Eksenel magnetik alan genellikle duvar kararlılığı ya da çalışılan gaz ile sağlanan aerodinamik kararlılığın etkisini sağlamada kullanılır. Eşeksenli, dönen ark şekillerinin büyük çoğunluğu sanayide kullanılmaktadır. Karakteristik eksen simetrik transfersiz arklar Şekil 2.26’da şematik olarak görüldüğü gibi ayrıca ark kararma ya da plazma meşalesi olarak adlandırılır. Bu arklar dönen basamak şeklindeki bir ark yapısıyla ortasından bir konik aralık bulunan su soğutmalı eksen simetrik anod ve eksenel katodu içerir. Genellikle arlıktan beslenerek çalışan gaz ark tarafından ısıtılmıştır ve genellikle süper sonik hızlardaki ağızlığın akış yönünde çok yüksek sıcaklıkta ark kararması olur [1].



Şekil 2.25 Magnetik olarak kararlı ark.



Şekil 2.26 Magnetik olarak kararlı plazma meşalesi.

Magnetik olarak kararlı arkların çok önemli bir türü, magnetik olarak kararlı plazma ışınlarıdır. Bu plazma ışınları Şekil 2.24’de görülen ark kararmalarına benzer, fakat magnetik alan maksimum olduğunda anot ve bir aksenel magnetik alanın içinden geçen ark dönme düzlemine yakındır. Arkın olduğu yerde bulunan gaz hem manyetik alan hem de ark tarafından beslenir ve ağızlığın akıntı yönünde yoğun bir plazma kararması olur. Buna ark jet denir. Manyetik alan etkisinde kalan plazma ışınımının birçok endüstriyel şekli, girdap kararlılığı, duvar kararlılığı ve terleme soğumasını içerir. Plazma ışığı, plazma meşale spreysi, plazma kimyası ve toksik atık imhası için kullanılır [1].

2.7 Plazma Jetleri

Ark jetlerinin yapısında bulunan manyetik alanın olmadığı ark plazması çeşidine plazma jet denir. İlk elektrik ark kaynakları, plazma jetlerinin geliştirilmesiyle yaygın kullanım alanına sahip olmuşlardır. Plazma jeti, ark plazması kullanılarak üretilmesine rağmen ark plazmadan farklı bir plazma türüdür. Silindiriksel bir elektrot (anot)’un aksenlerine, yarıçapı 1-5mm civarında olan genellikle sivri uca sahip tungsten çubuktan yapılmış katot yerleştirilmiştir. Silindiriksel elektrotun uç kısmında konik şeklinde bir kapak bulunmaktadır ve katot olarak kullanılan çubuk konik kapağın uç kısmında bulunan deliğe yakın bir konuma yerleştirilir. Güçlü gaz akışı anodun delik olan

ucundan dışarı çıkmaktadır. Uygun bir şekilde aynı eksenli yerleştirilmiş elektrotlara yüksek voltaj uygulanırsa, katot ve anot arasında bir ark elde edilir. Ancak bu ark aynı eksenli elektrot sisteminin içinde kalır. Eğer gaz akışı yeterince yüksek olursa, anot ucundan başlayan ve katota doğru uzanan bu sistemin eksenlerinde bir plazma jet'i oluşur. Anot ucundan çıkışta plazma jetinin sıcaklığı 10000 K'den daha yüksektir ve jet boyunca giderek azalır.

Normal ark kaynakları ile karşılaştırıldığında plazma jetlerin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Plazma jet kaynak yapılan parçanın uzunluk değişimine göre çok az duyarlılık gösterir.
- Argon arkı elektrotlar arasında toplu olarak bulunduğu için, kaynak yapılan yer civarında reaksiyona girmez.
- Ağızdan gelen Argon nedeniyle, kaynak yapılan yer oksidasyondan korunur.
- İyi düzenlenmiş jet milimetre boyutunun altındaki kaynak işlemlerinde bile daha iyi kaynak yapılmasını sağlar.
- Uygulanan güç nedeniyle ısıl olarak etkilenen bölge azaltılmış olur.
- Plazma jet teknolojileri kullanılarak materyallerin kesilmesi daha temiz bir şekilde yapılır.

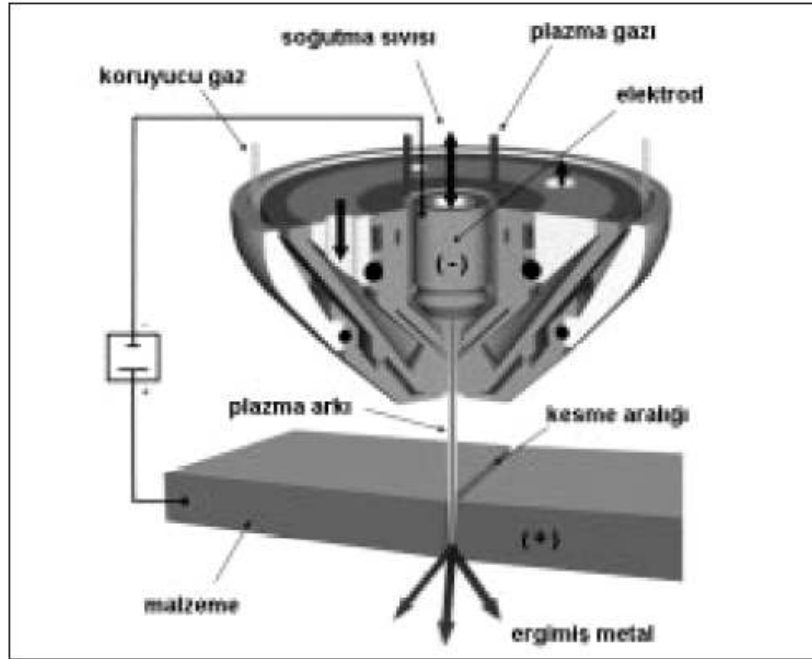
Plazma jetlerin özellikleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Plazma jet'e ayrıca bir güç uygulanması gerekmez.
- Plazma jet serbest bir şekilde yayılır ve bu plazma boyunca plazmanın tüm parametrelerinde sürekli bir değişim vardır.
- Bu plazma (plazma jet), değişik işlemlerde kullanılabilen zayıflayan bir plazmadır.
- Güçlü bir radyal ve eksenel plazma gradyentleri vardır.

2.7.1 Plazma ile kesme teknolojisi

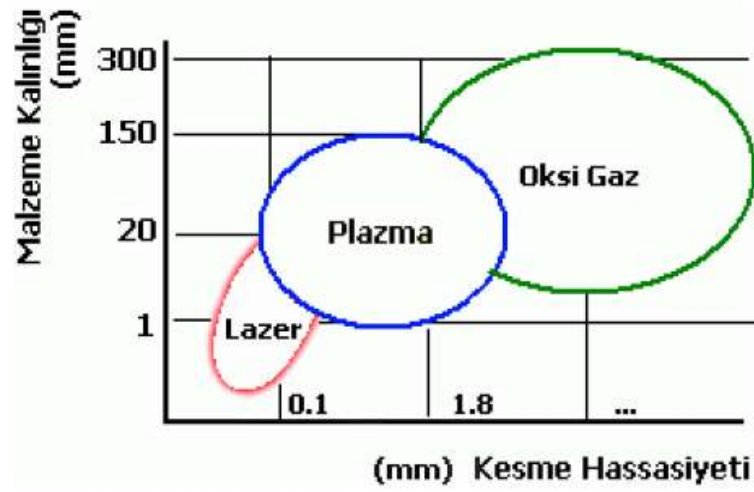
Günümüzde plazmalar değişik teknolojiler geliştirilerek imalatta, tıpta, ışıklandırmada, televizyonlarda, enerji üretmekte (nükleer) ve daha birçok teknolojide kullanılmaktadır [4,5]. Plazma ile kesme yöntemi sanayide yaygın olarak alaşımlı çelik, paslanmaz çelik, karbon çeliği, alüminyum alaşımları, titanyum alaşımları ve bakır kesmekte kullanılır.

Plazma ile kesme metodu, iletken metallerin kesiminde kullanılan ısı bir kesme metodudur. Kesme işlemi basitçe, torç içinde akan gaza enerji verilerek kısmen iyonlaştırılması (plazma haline dönüştürülmesi), oluşturulan yüksek sıcaklıktaki plazmanın da gaz akışı etkisi ile nozul ağzından pozitif kutup olan malzemeye yönelmesi, malzemeyi eritmesi ve eriyen malzemenin akan gazın jet etkisiyle itilerek uzaklaştırılması ile gerçekleştirilir. Geleneksel plazma sistemleri 20–150 mm kalınlık aralığında olan malzemelerin kesiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [3].



Şekil 2.27 Plazma ile kesme işleminin şematik gösterimi

Günümüz hassas plazma sistemleri ise lazer kesme sistemlerinin çalıştığı 1-2mm malzeme kalınlığı arasında ve lazer sistemlerine yakın hassasiyette kesme yapabilmek yönünde geliştirilmektedirler. Şekil 2.28'de günümüz ısı kesme teknolojileri, kesme hassasiyeti ve malzeme kalınlığına göre karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.28 Isıl kesme metodlarının kesme hassasiyeti [3].

Plazma ile kesim düşük işletme ve yatırım maliyeti, yüksek kesme hızı, üretim hattı uygulamasına ve otomasyona uygunluğu, sürekli iyileştirilen kesme kalitesi ile sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır.

Genel olarak otomasyona yönelik bir plazma ile kesme sistemi şu alt sistemlerden oluşur;

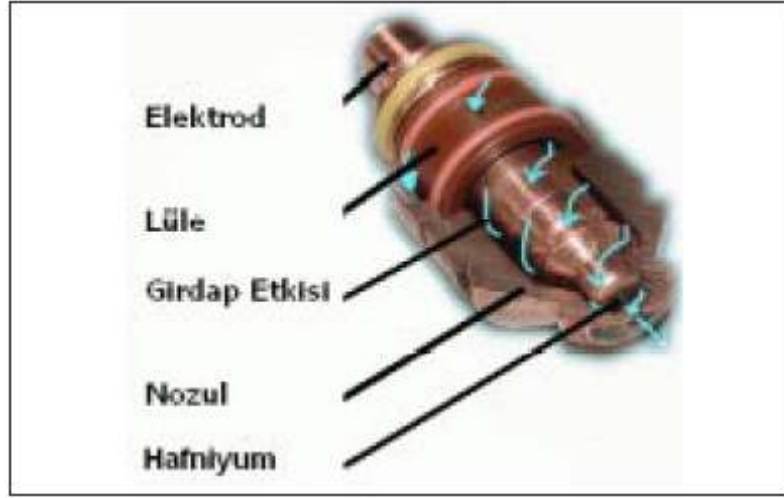
- **Güç kaynağı:** bir doğru akım kaynağıdır. Yüksek gerilimde, sabit doğru akım sağlar. Görevi iyonizasyon sonrası plazmanın devamlılığını sağlamak için gerekli enerjiyi sağlamaktır.
- **Yüksek frekans (HF) ateşleme devresi:** 2MHz de 5000 ile 10000 volt arası alternatif akım yaratan bir devredir. Taşıyıcı gazın iyonlaşması (plazma oluşumu) için gerekli olan pilot arkı ateşler.

- **Gaz Konsolu:** taşıyıcı (plazma) ve koruyucu gazın akış hızlarını, karışım oranlarını ayarlamak ve plazma gazlarını seçmek için kullanılır. Günümüz sistemleri elektronik kontrollüdür.
- **Torç:** İçinde plazma gazı ve koruma gazının aktığı, lüle, elektrod, lüle, lüle dış kapağı, koruyucu kafa ve kapağını bir arada tutan parçadır. Plazmayı oluşturmak ve odaklamak için tasarlanmıştır. Koruyucu gaz ve soğutma sıvısı akışını da sağlar. Gövde içinde gazlar, elektrik bağlantısı ve soğutma sıvısı için özel tasarlanmış kanallar ve elektrik bağlantıları vardır.
- **Taşıyıcı Sistem ve Kontrol Sistemi:** Torç hareketini ve tüm sistemin kontrolünü sağlar. Kontrol sistemi ise güç kaynağını, ateşlemeyi, gaz akışını ve torç hareketini ilgili parametreler aracılığı ile kontrol eder.
- **Soğutma Sistemi:** Soğutucu sıvının sistem içerisinde dolaşımını sağlar.
- **Aspiratör Sistemi:** Kesme sırasında oluşan gazları ve dumanı kesme bölgesinden uzaklaştırmak için kullanılır.

Plazma arkını oluşturmak ve malzemeye doğru odaklamak için tüm kesme torçlarında şu temel parçalar bulunur: elektrod, lüle, nozul ve koruyucu kaptır.

Elektrod, güç kaynağının negatif kutbudur. Bakırdan imal edilir. Elektrod ucunda ise arkı yayan, ısıya dayanıklı ikincil bir malzeme vardır. Bu uç için yüksek ergime noktalı hafniyum (hava ve oksijen plazma sistemlerinde) ve tungsten (azot ve argon-hidrojen plazma sistemlerinde) yaygın olarak kullanılır. Ateşleme sayısı ile ölçülen belli bir kullanım ömrü vardır. Aşınma ve bozulma elektrod ucunda görülür. Lüle, taşıyıcı gazı elektrod etrafında girdap etkisi vererek döndürerek iten yüzük şeklinde bir parçadır.

Girdap etkisi arkı silindirik şekilde çevirerek arkın daha yoğun ve kararlı olmasına yardımcıdır. Günümüzde neredeyse hemen hemen tüm plazma ile kesme sistemi üreticileri girdap etkisinden yararlanmaktadır. Girdap etkisini torç eksenine dik delikler yerine (nozül içerisine) belli bir açıda lüle üzerinde açılmış gaz giriş delikleri yaratır. Bu akış etkisi ile nozul içerisine giren gaz plazma arkını kesim süresince elektrottan malzemeye kadar ufak bir gaz girdabı içinde tutar.



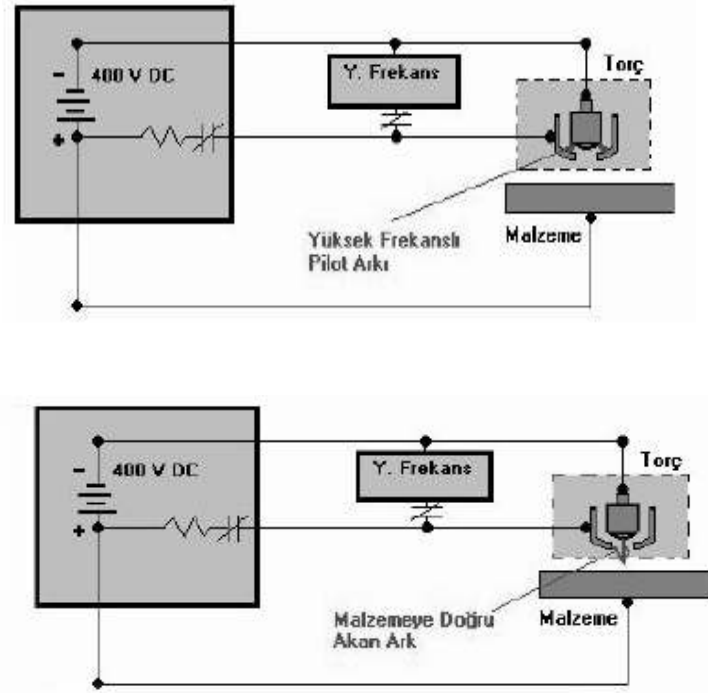
Şekil 2.29 Torç parçaları ve girdap etkisi [3].

Nozul, plazma arkının kararlı olmasını ve odaklanmasını sağlar. Bu arkın enerji yoğunluğunu ve akış hızını artırır. Ateşleme esnasında güç kaynağının pozitif kutbudur. Nozul ağız açıklığı, belirli bir tip nozul için maksimum kesme akım şiddetini belirler. Aşınma parçasıdır. Nozul ömründe ateşleme sayısı ile ifade edilir. Koruyucu kap ve başlığı nozulun dışında yer alır. Kesilen malzeme ile nozulun arasında yalıtıcı olarak görev yapar.

2.7.2 Kesme işlemi

Güç kaynağına gelen bir sinyal eşzamanlı olarak açık devre gerilimini açar ve torça gaz akışını başlatır. Sistemde nozul ve malzeme güç kaynağının pozitif kutbuna, elektrod ise negatif kutbuna bağlıdır. Taşıyıcı gaz nozul ve elektrod arasındaki boşluktan geçerek nozul ağzından dışarı akmaya başlar. Bu esnada yüksek frekans ateşleme devresi, nozul ile elektrod arasında yüksek frekansta arklar oluşturur. Taşıyıcı

gaz bu arklardan gelen enerji ile kısmen iyonize olur. Yüksek akış hızındaki gaz, itme etkisi ile bu akım yolunun pozitif kutbunu dışarıya -nozuldan malzemeye doğru yöneltir. Pozitif kutuptaki malzeme ile artık akım devresi tamamlanmıştır ve yüksek frekans devresi kapanır. Gazın sürekli olarak iyonizasyonu (arkın sürekliliği) doğru akım devresinden gelen enerji ile sağlanır. Bu şekilde elde edilen plazma metoduna "taşınan ark metodu" (transferred arc method) denir [3].



Şekil 2.30 Yüksek frekans ile a) pilot ark, b) plazma oluşumu

Kesme işlemi plazmanın yüksek sıcaklığı nedeni ile malzemeyi lokal olarak ertmesi ve yüksek akış hızındaki taşıyıcı gazın ertmiş malzemeyi püskürterek malzemede bir delik açması ile başlar. Bu esnada torç taşıyıcı sistem ile -arkın sürekliliğini kaybetmeyecek bir hızda- hareket ettirilerek kesme işlemi gerçekleştirilir. Plazma ile kesme işlemi genel olarak taşınan ark metodu ile gerçekleştirilir. Bir diğer metot ise "taşınmayan ark metodu" (non-transferred arc method)' dur. Torç teknolojisi farklıdır. Plazma arkı malzemeye transfer edilmeden nozul ile elektrod arasında başlar ve akan gaz etkisi ile -sürekliliğini kaybetmeyecek şekilde- plazma torç ucunda alev şeklinde çıkar. Genel olarak bu metot iletken olmayan malzemelerde kullanılır ve diğer

plazma işlemlerinde (örneğin yüzey kaplamada, atık işlemede) kullanılır. Kesmede yaygın olarak kullanılmamasının nedeni plazma ark yoğunluğunun kontrol edilememesidir.

2.7.3 Plazma ile kesmede kullanılan gazlar ve özellikleri

Modern plazma ile kesme sistemlerinde, iyi bir kesme kalitesi elde etmek için taşıyıcı (plazma) ve koruyucu gaz olarak çeşitli gazlar ve karışımları kullanılmaktadır. Kullanılacak plazma gazları arasındaki farklar gazın iyonlaşma enerjisi, ısı iletkenlik ve reaktiflik özelliklerine bağlıdır. Gazın iyonlaşma enerjisi arkın gerilme değerini ve açığa çıkan enerji yoğunluğunu etkiler. Isıl iletkenlik, arkın sürekliliğini etkilediği gibi enerjinin ısı formunda iletilmesinde de rol oynar. Reaktiflik ise ısı etkisi altında gazın ergiyen malzeme ile etkileşmesidir (azotun yüksek sıcaklıkta karbon çelikleri ile etkileşip nitrat oluşturması gibi). Plazma torçunun teknolojisine göre de kullanılan gazların karışım oranlarında değişebilir. Plazma ile kesmede en çok kullanılan gazlar hava, azot, oksijen ve argon-hidrojenidir.

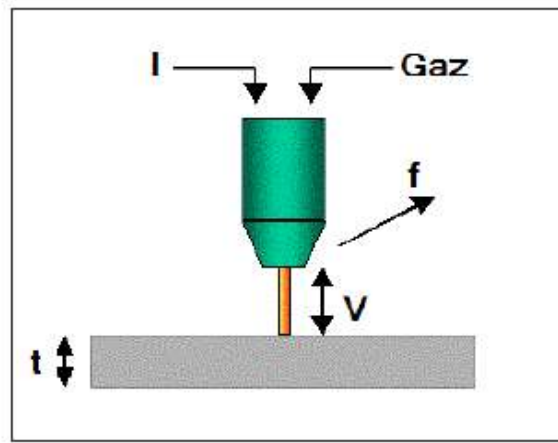
Çizelge 2.3 Plazma ile kesme işleminde malzemelere göre kullanılan gazlar [3].

Malzeme	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz
Karbon Çelikleri	Oksijen	Oksijen ve Azot Karışımı
Paslanmaz Çelik	Hava	Hava
	Hava	Hava ve Metan Karışımı
	H35 & Azot	Azot
Alüminyum	Hava	Metan
	H35 & Azot	Azot
Bakır	Oksijen	Oksijen ve Azot Karışımı
	Oksijen	Oksijen ve Azot Karışımı

2.7.4 Plazma ile kesmede önemli parametreler

Plazma ile kesmede önemli parametreler gaz parametreleri, güç kaynağı parametreleri ve kesme hızıdır. Parametreler arasındaki ilişkiler kesmede elde edilecek kaliteyi tanımlar.

Gaz parametreleri; taşıyıcı (plazma) ve koruyucu gazın akış hızı ve gazların karışım oranıdır. Plazma gazının akış hızının artışı arkın kararlılığını etkileyen faktörlerden birisidir. Arkın yoğunluğunu artırır. Artan momentum nedeni ile eriyen malzemenin kesme bölgesinden püskürtülmesini kolaylaştırır.



Şekil 2.31 Plazma ile Kesme Parametreleri [3].

Güç kaynağı parametreleri: standoff, V ve akım şiddetidir. Standoff, malzeme-torç arası uzaklığı belirler. Otomasyona yönelik sistemlerde kesme işlemi başlamadan bu mesafe bir sonda sistemi ile ayarlanır. Kesme başladıktan sonra ise standoff mesafesini torç yükseklik kontrol sistemi ile kontrol eder. Geribildirim döngüsünden gelen anlık gerilim değerini verilen değer ile kıyaslar ve bu değere göre yükseklik ayarlanır. Standoff malzemeye ve kalınlığına, kullanılan torç tipine göre tablolarda kesme öncesi için mm olarak, kesme süresince kullanılmak içinse gerilim birimi ile belirtilir. Akım şiddeti (I), plazma sisteminin gücünü belirler. Malzemeye transfer edilen birim zamandaki enerji daha yüksek olduğundan aynı kalınlıktaki malzeme için kesme hızı akım şiddeti değeri ile artar. Değer yükseldikçe kesilebilecek malzeme kalınlığı da artar.

Kesme hızı (f): Kesme sonrası metalin kesme yüzeylerinin kalitesini etkileyen parametrelerden biridir. Tavsiye edilen değerden yavaş hızlarda plazma arkı ergittiği bölgeden hemen uzaklaşmadığı için yarık aralığı değeri artar. Bu geriye doğru eğimli kesme çizgileri oluşturur. Daha yüksek hızlarda plazma arkı malzemeyi tüm kalınlık boyunca ergittiği fakat püskürtme işlemi tamamlanmadan torç hızla ilerlediği için alt kısımlarda malzeme tekrar katılarak yarığı doldurur ya da kalın çapak oluşumu gözlenir [4].

BÖLÜM 3

SPEKTROSKOPİK YÖNTEMLER

3.1 Spektroskopinin Tanımı

Işığın renklerinin dalga boylarına göre dizilişi anlamında kullanılmış olan spektrum kelimesi, 1686 yılında, Newton'un bir prizmadan geçen güneş ışığının renklere ayrıldığını gözlemesi ile bilim diline girmiştir. Spektroskopi günümüzde kullanıldığı yerlere bakıldığında, yüklü veya yüksüz bir temel taneciğin madde ile etkileşmesini ve bu etkileşme sonucundaki olayları inceleyen bilim dalıdır [6].

3.2 Atomik Spektroskopi Teorisi

Atomun yapısını anlamak için yapılan ilk çalışma 19. yüzyılda hidrojen atomu üzerinde Balmer yapmıştır. Bu çalışma yarı deneysel yarı teoriktir. Balmer deneysel sonuçları açıklamak amacıyla [7,8,9];

$$\lambda = (3645.6) \frac{n^2}{n^2 - 4} \text{ A}^0, n=3,4,5,\dots \quad (3.1)$$

şeklinde bir formül ortaya koymuştur. Buradaki n baş kuantum sayısı olup

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \lambda = 3645.6 \text{ A}^0 = \lambda_{\infty} \quad (3.2)$$

olmaktadır. Bu da Balmer serisinin limit(sınır) değeri denir. Denklem (3.1) ile verilen Balmer formülünü , 1896 yılında J.R..Rydberg,

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (3.3)$$

şeklinde ifade etti. R . Rydberg sabiti olup değeri ,

$$R = (109677.576 \pm 0.012) \text{ cm}^{-1}$$

olarak bulunmuştur ve Rydberg denklem (3.3) ile verilen formülünde bir düzeltme yaparak, iki optik terim farkını

$$\bar{\nu} = \bar{\nu}_{\infty} - \frac{RZ^2}{(n + \Phi)^2} \quad (3.4)$$

olarak ifade etmiştir. Burada $n_i \rightarrow \infty$ durumundaki dalga sayısı anlamına gelen

$$\bar{\nu}_{\infty} = T_{\infty} = \frac{E_1}{hc} \quad (3.5a)$$

ve

$$T_N = \frac{RZ^2}{(n + \Phi)^2} \quad (3.5b)$$

olarak alındığında

$$\bar{\nu} = T_{\infty} - T_N \quad (3.6)$$

olur.

Z atom numarası değil , nötr atomlar için $Z=1$, bir defa iyonlaşmış atomlar için $Z=2$, iki defa iyonlaşmış atomlar için $Z=3, \dots$, şekilde tanımlanan bir parametredir. Φ ise seriden seriye değişik parametrik değeri olan ve $\Phi < 1$ şartını sağlayan bir sabittir. İlk spektral çalışmalar yarı-deneysel olduğu için formüller Z ve Φ gibi Uyarlama Sabitleri girmiştir. Bir atomda spektral açıdan değişik özelliklerde ışımalar olur. Bu ışınımalar o elementi belirleyen özellikler taşır. O halde atomlardan yapılan ışımalar belirli özellikler

altında gruplandırılabilir. Bu gruplara **spektrum serileri** denir. Optik spektrum serileri grup özelliklerini göre adlandırılırlar. Bu adlandırmalar, nötr atomlar için;

$$\text{Baş (Principle) Seri} : \bar{\nu} = P_{\infty} - \frac{R}{(n+P)^2} ; n=2,3,4,\dots \quad (3.7a)$$

$$\text{Keskin (Sharp) Seri} : \bar{\nu} = S_{\infty} - \frac{R}{(n+S)^2} ; n=2,3,4,\dots \quad (3.7b)$$

$$\text{Dağınık (Diffuse) Seri} : \bar{\nu} = D_{\infty} - \frac{R}{(n+D)^2} ; n=3,4,5,\dots \quad (3.7c)$$

$$\text{Temel(Fundamental) Seri} : \bar{\nu} = F_{\infty} - \frac{R}{(n+F)^2} ; n=4,5,6,\dots \quad (3.7d)$$

olarak yazılırlar [7-8-9]. Bunlar spektrum serileri olarak adlandırılırlar. Rydberg formülündeki $\bar{\nu}_{\infty}$ değeri $P_{\infty}, S_{\infty}, D_{\infty}$ ve F_{∞} ile gösterilmiştir. Bunlar birbirinde farklıdır ve $\Phi < 1$ koşulunu sağlarlar. Bu sabit değerler yarı-deneysel olarak;

$$P_{\infty} = \frac{R}{(1+S)^2} \quad (3.8a)$$

$$S_{\infty} = \frac{R}{(2+P)^2} \quad (3.8b)$$

$$D_{\infty} = \frac{R}{(2+P)^2} \quad (3.8c)$$

$$F_{\infty} = \frac{R}{(3+D)^2} \quad (3.8d)$$

şeklinde ifade edilirler. Denklem (3.8a,b,c,d)'deki ifadeler denklem(3.7a,b,c,d) ile verilen seri formüllerinde yerlerine konduğunda;

$$\text{Baş (Principle) Seri} : \bar{\nu} = \frac{R}{(1+S)^2} - \frac{R}{(n+P)^2} \quad (3.9a)$$

$$\text{Keskin (Sharp) Seri} : \bar{\nu} = \frac{R}{(2+P)^2} - \frac{R}{(n+S)^2} \quad (3.9b)$$

$$\text{Dağınık (Diffuse) Seri} : \bar{\nu} = \frac{R}{(2+P)^2} - \frac{R}{(n+D)^2} \quad (3.9c)$$

$$\text{Temel(Fundamental) Seri} : \bar{\nu} = \frac{R}{(3+D)^2} - \frac{R}{(n+F)^2} \quad (3.9d)$$

olur. Bu seriler sembolik olarak;

$$\text{Baş Seri} : \bar{\nu} = 1S - nP ; (n=2,3,4,\dots) \quad (3.10a)$$

$$\text{Keskin Seri} : \bar{\nu} = 2P - nS ; (n=2,3,4,\dots) \quad (3.10b)$$

$$\text{Dağınık Seri} : \bar{\nu} = 2P - nD ; (n=3,4,5,\dots) \quad (3.10c)$$

$$\text{Temel Seri} : \bar{\nu} = 3D - nF ; (n=4,5,6,\dots) \quad (3.10d)$$

şeklinde yazılabilirler. Bu sembolik yazılımlar;

$$\text{Baş Seri} : nP \rightarrow 1S \text{ geçişlerinden (P-Serisi)}$$

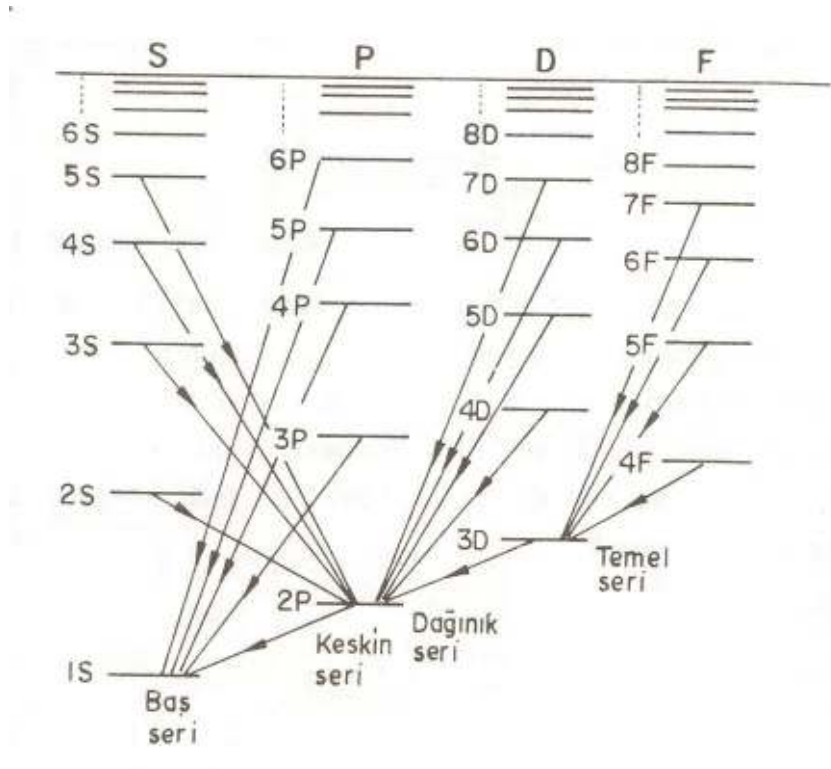
$$\text{Keskin Seri} : nS \rightarrow 2P \text{ geçişlerinden (S-Serisi)}$$

Dağınık Seri : $nD \rightarrow 2P$ geçişlerinden (D-Serisi)

Temel Seri : $nF \rightarrow 3D$ geçişlerinden (F-Serisi)

şeklinde ifade edilirler ve bu seriler parantez içerisinde yazıldığı gibi adlandırılırlar.

Bir tek atomun ∞ adet S seviyesi , bir o kadar P seviyesi, yine bir o kadar D seviyesi,.....vb. olduğuna göre o atomun S,P,D,F,.....gibi seviyelerini harf sembolü ile enerji ölçeğinde üst üste koyarak elde edilen şekle Grotrian diyagramı denir. Şekil(3-1)'de varsayılan bir atomun Grotrian diyagramı ve optik spektrum serileri gösterilmiştir [7].



Şekil 3.1 Varsayılan bir atomun Grotrian diyagramı ve optik spektral seriler [7].

3.3 Atom spektroskopisi dili

Atom fiziğinde yörünge kuantum sayısı ℓ ile gösterilmektedir. Yörünge kuantum sayısı ℓ ile, yörünge açısal momentum vektörünün büyüklüğü (ya da operatörünün özdeğeri) olan $L = \sqrt{\ell(\ell+1)} \hbar$ farklı kavramlar olduğuna dikkat edelim [7].

Atomik spektral dilde ℓ kuantum sayısının $0 \leq \ell \leq (n-1)$ aralığında tam sayı olan değerlerine karşılık, baştan itibaren sıra ile S(sharp) , P(principle) , D(diffuse) , F(fundamental) ve devamını Latin Alfabesinin harfleri ile tamamlayarak bir notasyon oluşturulur. Bu gösterimde elektronlar, orbitaller, terimler, seviyeler ve durumlar, kuantum sayıları yerine harflerle gösterilirler. Bu gösterim çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelge incelenerek söz konusu spektroskopik kavramların, atomik spektral dil ile nasıl ifade edildiklerine dikkat edilmelidir. Atomik spektroskopide çiftlenen açısal momentum kuantum sayılarından küçüğünü alarak belirlenen $(2s+1)$ ya da $(2\ell+1)$ ile belirli sayıya da çok katlılık (multiplicity) denir. Çok katlılık spektral gösterimde bir üst indis olarak kullanılır.

Çizelge 3.1 Spektral dil kodu [7].

$\ell =$	0	1	2	3	4	5	6	7	...
Elektron:	s	p	d	f	g	h	i	j	...
Seviyeleri:	S	P	D	F	G	H	I	J	...

Spektroskopik dil ile ilgili olarak verilen bilgilerden yararlanarak ve ℓ ‘yi \mathfrak{L} ile göstererek;

$$\text{Terim : } \mathfrak{L} \text{ veya } {}^{(2s+1)}\mathfrak{L} = {}^1\text{S}, {}^2\text{S}, {}^3\text{P}, \dots \quad (3.12)$$

$$\text{Enerji seviyesi : } {}^{(2s+1)}\mathfrak{L}_j = {}^1\text{S}_0, {}^2\text{S}_{3/2}, {}^3\text{P}_{1, \dots} \quad (3.13)$$

$$\text{Enerji durumu : } (2s+1)n\mathbf{f}_j = 1^1S_0, 2^3S_0, 2^2P_{1/2}, \dots \quad (3.14)$$

$$\text{Orbitaller : } n\mathbf{f} = 1s, 2s, 2p, 3f, \dots \quad (3.15)$$

şeklinde adlandırma (ya da kodlama) yapılır ve bu kodlamaya spektral dil denir. Spektral dil ifadelerinde çok katlılık da oldukça önemli bir yer tutar. Genellikle spin kuantum sayısı yörünge kuantum sayısından küçük olduğundan ($s < \ell$), çok katlılığı $(2s + 1)$ ifadesi ile belirleriz. s ' nin bazı değerleri için ortaya çıkan çok katlılıklar;

$s=0$ için $(2s+1) = 1 \rightarrow$ Tekli (singlet) yapı

$s=1/2$ için $(2s+1) = 2 \rightarrow$ İkili (doublet) yapı

$s=1$ için $(2s+1) = 3 \rightarrow$ Üçlü (triplet) yapı

$s=3/2$ için $(2s+1) = 4 \rightarrow$ Dörtlü (quadruplet) yapı

.....

şeklinde oluşur. Çok katlılık spektroskopide oluşan çizgi sayısı demektir. Yani;

$$(\ell + s) \geq j \geq (\ell - s) \quad (3.16)$$

ile belirli j değeri sayısı demektir. j , bu iki uç değer arasında birer birer artarak (veya azalarak) değerler alır. Uç değerlere bazen gerilmiş durumlar da denir. Çok katlılık dejenerelikten farklıdır.

Atomlarda n ve ℓ kuantum sayılarının değerlerine göre bir kabuk (shell) modelinden söz etmek olasıdır. Yani her n değeri bir kabuğa, her ℓ değeri de bir alt kabuğa karşılık gelir.

3.4 İki Atomlu Moleküllerin Spektrumları

Moleküler spektroskopisi, atomik spektroskopiden daha karmaşıktır. Çünkü molekül içinde birden fazla atom bulunmaktadır ve her bir atom için ilgili parametrelerin incelenmesi gerekmektedir. Moleküllerin yapabilecekleri hareketler çizelge 3.2 'de gösterilmiştir.

Sıcaklığın veya atoma verilen enerjinin yeterince büyük olması durumunda moleküllerin dönme ve titreşim serbestlik derecelerinin yanı sıra, elektronik (optik) serbestlik dereceleri de uyarılmış olur. Bu durumda elde edilen spektrum, elektronik (optik) +titreşim +dönme tayfidır [7,8,9].

Çizelge 3.2 Molekül hareket türleri ve Enerji değerleri [7].

Hareket Türleri	Enerji Değerleri
a)Dönme (rotasyon) Hareketi	$E_r \approx 10^{-4} \text{ eV}$
b)Titreşim (vibrasyon) Hareketi	$E_v \approx 10^{-1} \text{ eV}$
c)Uyarılmış(eksitasyon)Hareketi	$E_e \approx (1-10) \text{ eV}$

Bir molekül uyarma, titreşim ve dönme hareketini aynı anda yapıyorsa toplam enerjisi ;

$$E_T = E_e + E_v + E_r \quad (3.17)$$

$$E_T = E_e + \left(v + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega_0 + r(r+1) \frac{\hbar^2}{2I} \quad (3.18)$$

olarak yazılır. Toplam enerji seviyeleri arasındaki geçişlerde ortaya çıkan enerji değişimi ise ,

$$\Delta E_T = \Delta E_e + \Delta E_v + \Delta E_r \quad (3.19a)$$

$$\Delta E_e = (E_e)_s - (E_e)_i \quad (3.19b)$$

$$\Delta E_v = (E_v)_s - (E_e)_i \quad (3.19c)$$

$$\Delta E_r = (E_r)_s - (E_r)_i \quad (3.19d)$$

olan bu formüllerden frekansa geçilerek;

$$\mathcal{G}_t = \frac{\Delta E_t}{h} = \frac{\Delta E_e}{h} + \frac{\Delta E_v}{h} + \frac{\Delta E_r}{h} \quad (3.20)$$

olur ve bileşenler yerlerine yazıldığında;

$$\mathcal{G}_t = \mathcal{G}_e + \left[\left(v_s + \frac{1}{2} \right) \mathcal{G}_{os} - \left(v_i + \frac{1}{2} \right) \mathcal{G}_{oi} \right] + \left[r_s(r_s + 1) \frac{\hbar}{4\pi I_s} - r_i(r_i + 1) \frac{\hbar}{4\pi I_i} \right] \quad (3.21)$$

elde edilir. Önemli olan nokta eylemsizlik momenti I 'nın ve taban frekansı \mathcal{G}_0 denklem (3.21)'da ilk terim elektronik uyarma frekansı, ikinci terim titreşimi frekansı, üçüncü terim de dönme frekansı olduğundan;

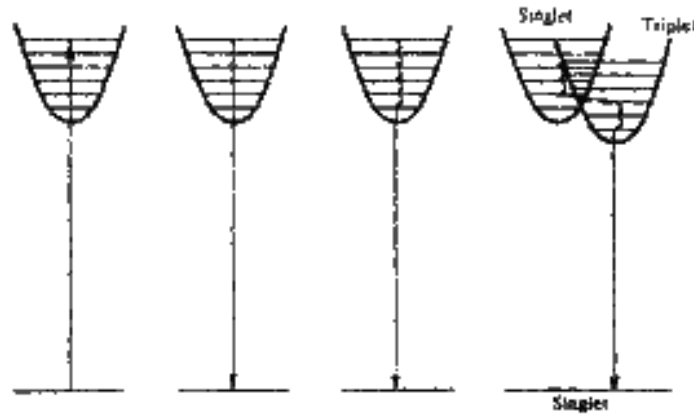
$$\mathcal{G}_t = \mathcal{G}_e + \mathcal{G}_v + \mathcal{G}_r \quad (3.22)$$

şeklinde yazılabilir.

3.5 Atom ve Moleküllerde Elektronik Işıma Türleri

Bir molekül uyarılmış bir hale bir elektronik geçiş yaptığı zaman fazla enerjisini yayımlayabileceği birkaç yol vardır. Bunlar [10];

- a) **Ayrışma** : Uyarılmış molekül iki parçaya ayrılır. Başlangıçtaki absorpsiyon spektrumundan başka parçalar aşağıda değinilmiş yöntemlerden biriyle enerji yaymadıkça spektroskopik olay gözlenmez.
- b) **Yeniden Yayma**: Şayet absorpsiyon işlemi Şekil 3.2(a)'da şematik olarak gösterildiği gibi olursa o zaman yeniden yayma Şekil 3.2(b)'deki gibi bunun tam tersidir. Bir yayma spektrumu olarak toplanabilir ve görüntülenebilir. Yayma ile yayımlanmış radyasyon, absorpsiyonunki ile frekansça aynıdır.
- c) **Flöresans**: Şayet molekül elektronik uyarılmadan sonra gibi yüksek bir titreşim halinde ise o zaman fazla titreşim enerjisi iç moleküller arası çarpışmalarla kaybedilebilir. Titreşim enerjisi kinetik enerjiye çevrilir ve numunede ısı olarak görünür, enerji seviyelerindeki böyle bir geçiş radyasyonsuz geçiş olarak isimlendirilir. Uyarılmış molekül daha düşük titreşim haline ulaştığı zaman (örneğin $v'=0$) o zaman radyasyon yayabilir ve temel hale geçebilir. Yayımlanmış radyasyona floresans spektrumu denir ve normalde başlangıçtaki absorpsiyon frekansından daha düşüktür. Fakat belirli şartlar altında daha yüksek frekansta olabilir. Başlangıç absorpsiyonu ve temel hale geri dönme arasında geçen zaman 10^{-8} s mertebesinde olup çok küçüktür.



Şekil 3.2 Elektronik uyarılmış molekülün enerjisini kaybedebileceği farklı yolların gösterimi [10].

d) **Fosforesans** : Bu , iki farklı toplam spinli iki uyarılmış hal mukayese edilir enerjilerde oldukları zaman meydana gelebilir. Böylece temel hali ve uyarılmış hallerden birini singlet ($S=0$) iken komşu uyarılmış hali bir triplet ($S=1$) olarak düşünebiliriz. $\Delta S = 0$ seçim kuralı ile singlet ve triplet haller arasında spektroskopik geçiş yasak olmasına rağmen şayet uyarılmış haller arasındaki geçiş kinetik (yani çarpışmalarla oluşmuş radyasyonsuz geçişlerle) meydana geliyorsa böyle bir yasak yoktur. İç sistem geçisi olarak bilinen böyle bir geçiş yalnızca iki potansiyel eğrinin birbirleri içinden geçtiklerinde meydana gelebilir ve molekül triplet hale vardığında bu halde titreşim enerjisini kaybeder ve uyarılmış singlet hale tekrar dönemez. Bu yüzden eninde sonunda triplet halin $v' = 0$ seviyesine ulaşacaktır. Şimdi buradan temel hale geçiş spektroskopik olarak yasak olmasına rağmen izinli elektronik geçişten çok daha yavaş olarak meydana gelebilir. Böylece işte bu başlangıçtaki absorpsiyondan sonra saniyeler, dakikalar hatta saatler sonra bir radyasyon yaymayı sürdürebilme metaryalin fosforesans özelliğidir.

Raman olayı ve floresans ya da fosforesans arasında sıkça anlam karışıklığı vardır. Bunlar arasındaki farklar aşağıdaki gibidir [10]:

- Floresans ve fosforesansda molekül tarafından radyasyon absorblanmalı ve uyarılmış hal oluşmalıdır. Raman spektroskopisinde enerji sadece radyasyondan moleküle transfer edilir. Yada bunun tam tersi olur. Yani uyarılmış elektronik hal oluşmaz.
- Floresans ve fosforesans için uyaran radyasyon elektronik haller arasındaki enerji farkına tam eşit olmalıdır. Klasik Raman spektroskopisi için uyaran radyasyon bir elektronik geçiş oluşturmayacak (burada absorpsiyon meydana gelir) herhangi bir frekans olabilir.

e) **Kendiliğinden ve Uyarılmalı Yayma**: Fazla enerji kaybetmenin artarak önem kazanan mekanizmayı Lazer radyasyonu oluşumuna götürür.

3.6 Optik Emisyon Spektroskopisi

Atom 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 yayınlamaya başlarlar. Bu olay sonucu açığa çıkan radyasyon sıcaklık radyasyonu olarak isimlendirilir [9]. Bu olayın kendiliğinden gerçekleşebilmesi için oldukça yüksek enerjiye ihtiyaç vardır. Elektrolüminesans ise plazma ve elektriksel deşarjların hepsinde gerçekleşir (örneğin; spark, 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) oluşur ve fotonlar ortaya çıkar [9]. Kimyasal lüminesans'ta ise kimyasal reaksiyon foton enerjisi şekline dönüştürülür. Flöresans ise ışığın absorplanarak görünür ışık seviyesine çıkartılması ile oluşur [9].

Plazmadan yayımlanan radyasyonun analizleri ise lüminesans ve elektrolüminesans olayları sonucu oluşan fotonların sayılması esasına dayanmaktadır. Bu tür spektroskopik yöntemler teknolojiye oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır. Uygun bir uyarılma yöntemi kullanıldığında (ateş, ark, kıvılcımlanma, elektriksel deşarj gibi) her bir kimyasal element karakteristik bir çizgi spektrumu verir [9].

Plazmadan yayımlanarak detektöre gelen fotonların analizi kullanılarak optiksel olarak yapılan işlem plazma diagnostiği tekniğidir. Plazmadan yayımlanan fotonların analizi, emisyon spektroskopisi, absorpsiyon spektroskopisi ve lazer flöresans tekniklerini ile incelenir, fakat aynı zamanda Raman saçılması, koherent anti-stokes Raman spektroskopisi ve lazer interferometresi gibi yöntemler de kullanılır [11].

Optiksel teşhis tekniğiyle, plazmayı pertürbe etmeksizin farklı türlerin konsantrasyonları ve bunların sıcaklıkları hakkında bilgi edinilebilir. Bunlar plazmadaki optik radyasyonun analizine dayanır. Optik emisyon spektroskopisi (OES), Soğuk

plazmalarda ve plazma kaynaklarında optik spektrumların farklı tiplerinde UV'den IR'e kadar olan bölgede (200-850nm) analiz yapılarak gerçekleştirilir [11].

Soğuk plazmalarda ve kaynaklarda gözlenen optik spektrumlar infrared bölgesinden ultraviyole (UV) bölgesi aralığında değişir. Dalga boyu ve yayınlanan spektral çizgilerinin şiddetlerinin ölçülmesiyle plazmadaki nötral parçacıkların ve iyonların varlığı belirlenebilir [11].

Optik emisyon spektroskopisi (OES) plazma emisyonunun parmak izi spektrumu plazmada meydana gelen kimyasal ve fiziksel özellikleri hakkında da bilgi verir. Bu teknik reaktör ve vakum sistemlerinde dışardan bağlandığı için bir avantajdır ve özel bölgesel yüksek çözünürlük de sağlar. Ancak OES tekniği ışık-yayınlama türlerinin gözlenmesini sınırlar ve yayınlanan ışık şiddeti plazmadaki türlerin konsantrasyonuyla her zaman doğrudan alakalı değildir. Optik emisyon spektroskopisi ile plazmadaki iyonların belirlenebilmesi 200 nm'den daha küçük dalga boylarında meydana gelir. İyon belirlemesi için monokromatör bu kısa dalga boylarındaki radyasyonun absorpsiyonun'dan kaçınmak için vakum altında olmalıdır.

Belirli bir radyasyon yayınlayan türler, emisyon spektrum tablosu kullanılarak radyasyonun özgün frekansından tanımlanabilir. Ancak plazma diagnostiği için OES'nin kullanımında birçok faktör söz konusudur. Bunlardan bir tanesi spektrumun oldukça karmaşık olmasıdır. Atomik ve diatomik türlerden daha dar spektruma sahiptirler. Bir diğeri ise, titreşim ve dönme geçişleri nedeni ile oldukça geniş bir spektrum oluşturur ya da bu bölgede geçişin olmamasından kaynaklanır. Elementsel çizgilerin özellikleri oldukça basit olduğunda kimyasal bileşiğin çizgilerin özellikleri bileşikteki her element için üretilen emisyon çizgilerinin sayısının çokluğu nedeni ile zordur.

BÖLÜM 4

ARK DEŞARJ PLAZMASINDA OPTİK YÖNTEMLER

4.1 Giriş

Plazma özelliklerini tanımlayabilmek için, sayaca gönderilen fotonların kullanılması optik tanımlama tekniklerinde en sıklıkla kullanılan plazma tanımlama yöntemlerinden biridir. Birçok durumda fotonlar bu süreçte küçük değişiklikler yaratabilir. Foton temeline dayanan tanımlama teknikleri; emisyon spektroskopisi, absorpsiyon spektroskopisi, lazer indüklü floresansın yanı sıra raman saçılması, koherent anti-stokes spektroskopisi (CARS), optogalvonik etkiler, lazer interferometre ve elipsometre'dir [11].

Optik tanımlama tekniklerinden yararlanarak plazmayı pertürbe etmeden farklı türlerin konsantrasyonu ve sıcaklıkları hakkında bilgi elde edilebilir. Bu plazmada optik ışımının analizine dayanmıştır. Optik tanımlama tekniği serbest elektronların yakalanması ve hızlanmış elektronlarla çarpışma sonucunda atom ve moleküllerin uyarılmış durumlarda yaptığı ışımaların incelenmesi yöntemine dayanılmıştır [11].

Soğuk plazma ve kaynaklarından elde edilen optik spektrumun farklı türleri çizelge 4.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Plazmadaki Spektrum İncelenmesi [11].

Parçacık	Yapılan işlem	Spektrum tipi	Spektrum bölgesi
Atom veya Molekül	Elektronik uyarılma İyonizasyon Geçişleri	Çizgi Sürekli Çizgi kesiti	UV-Görünür-IR UV-Görünür-IR
Elektronlar	Birleşim	Sürekli	UV-Görünür

	Serbest geçişler	Sürekli	IR
Moleküller	Dönme Titreşim-Dönme Elektronik Uyarılmalar	Çizgi Bant Bant sistemi	İnfrared IR UV-Görünür-IR

4.2 Optik Emisyon Spektroskopisi (OES) Uygulamaları

Optik tanımlama teknikleri; işlem kontrolü için yardımcı olduğu gibi plazma içerisindeki parçacıkların saptanması ayrıca plazmanın n_e (elektron yoğunluğu), T_e (elektron sıcaklığı), V_p , V_f gibi parametrelerini gösteren Langmuir araştırmalarında çok önemli bilgiler verir [11, 12, 13].

Plazma ani değişikliklerde ve aynı zamanda plazma türleriyle orantılı olan optik emisyon spektroskopisi geçici olsa bile plazma işlem kontrolünü sağlar. Önemli nokta I_x (λ_x) optik emisyon sinyal şiddetinin belirsizliği veya I_x (λ_x) / I_y (λ_y) oranının oluşturulan plazma işlem değişikliklerine göre değişmesidir. Aşağıda işlemin başlangıcı veya sonunda belirtilen plazmadan I (λ) ışık emisyon şiddetinin değişmesinin değişmesine göre üç uygulama aşağıda verilmiştir [11].

a) Püskürtme: Püskürtülen hedef atomlardan ışık emisyon başlangıcı Cu hedefli argon plazmasıyla püskürtülme gerçekleştiğini belirtir. Püskürtmede öncelikle, argon etkileşmesi sonucunda optik emisyon görülebilir [12].

b) Bulunan son nokta izi: Eğer B filmi üzerinde "A" metaryalinin film katmanını kaldırmak için "X" halojen gazını kullanıyorsak eğer optik emisyonun bundan sonraki olayların gerçekleşmesini mümkün kılar. A atomunda veya AX_n moleküllerinin emisyonun başlangıcı A filmi üzerine izlerin oluşmaya başladığını gösterir. B atomunda veya BX_n molekülünden emisyonun başlangıcı ince A filminin ortadan kalktığını ve iz bırakmanın B üzerine başladığını belirtir [12]. Optik emisyon oranları, $I(A) / I(B)$ ya da $I(AX_n) / I(BX_n)$ A filmin üzerine bırakılan izlerin tanımında çok faydalı olabilir[12].

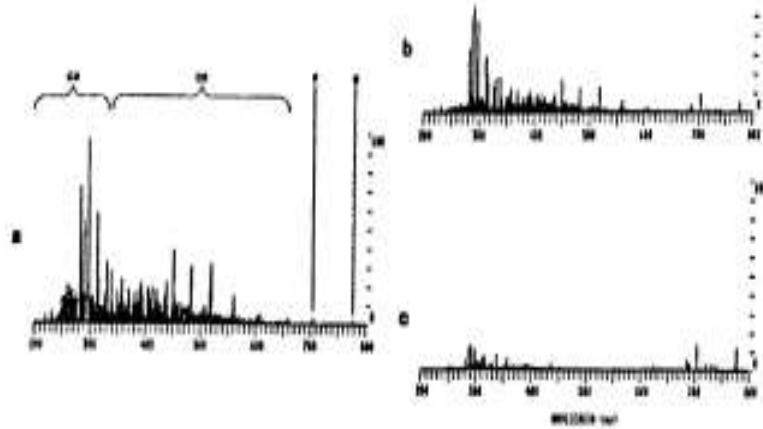
c) **Gaz veya reaktör safsızlığının bulunması:** Normal havanın bileşenleri çizelge 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 20⁰C 'de nemlilik ile ilgili %100 hava bileşenleri[12].

N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	He , Ne , Kr, Xe	H ₂ O	Diğer
%78	%21	%0,9	%0,03	ppm	%3,2	Değişken

N₂, OH veya O₂ den emisyon işlem döngüsü hava sızıntısı olarak bilinir. Uygun işlem şartları altında plazma spektrumlarını koruyarak ileride karşılaşılabilecek emisyon safsızlık özellikleriyle mukayese etmek mümkün olur. Safsızlık döngü sızıntısı (N₂ bant 316, 317, 358 ve 380 nm), polimer yapı emisyonu (CF₂ emisyonu), döngü duvarlarından yüzey suyunun kaybolması (OH emisyonu) istenmeyen gaz karışımlarından kaynaklanabilir [12].

Aynı teknik püskürtülen hedef tamamen safsızlığının tanımlama için uygulanabilir. Şekil 3.4 gaz safsızlık inceleme yöntemini gösterir. Döngü safsızlığından sonra plazma emisyonundaki azalmaya dikkat edelim. Elle kontrol edilen dönüşüm fotoçoğaltıcı kullanılarak, renkler temizlenen döngüde bulanıklıktan belirginliğe dönüşür [12].



Şekil 4.1 SF₆ / O₂ plazması kullanılarak emisyon spektrumu **a)** 2 dakika **b)** 30 dakika **c)** 90 dakikada kaldırma reaktöründe kullanılır [12].

4.2.1 Uyarılmış atomik türlerin emisyonu

Emisyon, atomdaki elektronik geçişler sonucu oluştuğu için, atomdan yayımlanan ışık spektrumunda az bir yer kaplar. Atomik emisyonun çizgi kalınlıkları genelde $\Delta \approx 0.001\text{\AA}^0$ civarındadır. Plazmada, atomların büyük gruplarıyla çalıştığımız için, kolayca ölçülebilen emisyon çizgi genişlikleri plazma hakkında bilgi verir. Bir plazmada emisyon çizgi biçimi birkaç mekanizma nedeniyle izole edilmiş atomla sınırlıdır. Her bir çizgi genişleme mekanizması, bir genişleme mekanizması diğerlerine üstün gelebilirken farklı plazma değişkenlerini belirlemeye olanak sağlar. En temel genişleme mekanizmalarından biri gaz parçacıklarının rasgele termal hareketlerinden kaynaklanır. Rasgele termal hareket V_{Th} hızına sahiptir ve Doppler spektral genişlemesine sebep olur. Bunun sebebi parçacıkların hem detektöre doğru hem de detektörün tersine hareket etmektedir. Genişleme miktarı gaz basıncına veya hızına bağlıdır [12].

Atomik emisyon için Doppler frekans kayması,

$$(\Delta f)_{\text{shift}} \approx \frac{v_{Th}}{c} f_0 \approx \frac{10^4}{10^{10}} 10^{15} \approx 1\text{GHz}$$

(4.1)

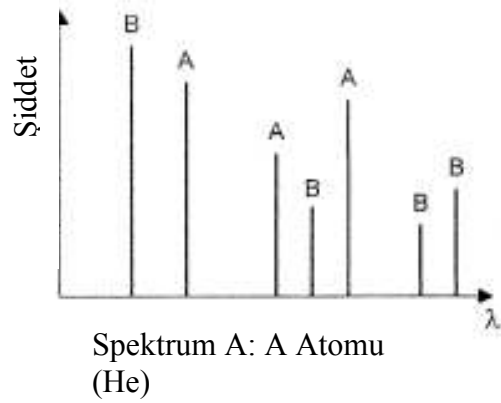
şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

$c \rightarrow$ Işık hızı

$f_0 \rightarrow$ Ortalama emisyon frekansı

Bir GHz geniş emisyon çizgisi 10^{15} Hz de çizgi şekli 1 ppm inde odaklanmıştır, fakat bu ppm Fabry-Perot İnterferometresiyle kolaylıkla ölçülebilir. Atomik emisyon çizgi genişlikleri genelde $0,001 \text{ \AA}^0$ olmasına rağmen incelediğimiz durum oldukça karmaşıktır. Çünkü termal atom hızlarının Maxwell dağılımları gözlenir ve her bir enerji seviyesi aynı enerjiler içerir. Bu Voight görünümü veya Lorentz'in Gauss dağılımı olarak adlandırılır. Böylece keskin bir çizgi teorisine sahipsek F_0 ve Δf (çizgi genişliği) ölçebiliriz. Bunlar atomlar ve iyonlar için tanımlanan $f(V)$ çizgi biçimini ortaya çıkarabiliriz. Plazma hacminde elektrik alanlar nedeniyle iyon sıcaklığı, nötr sıcaklıktan fazladır. Atom emisyon çizgi şekli T_n ve iyon emisyon çizgi şekli T_+ ile tanımlanır [12].

Her bir f_0 'ın belirli atomda veya iyonda belirli bir enerji düzeylerine kadar bulunmaktadır. Her bir atom ve iyonun karakteristik grup veya emisyon çizgileri vardır.



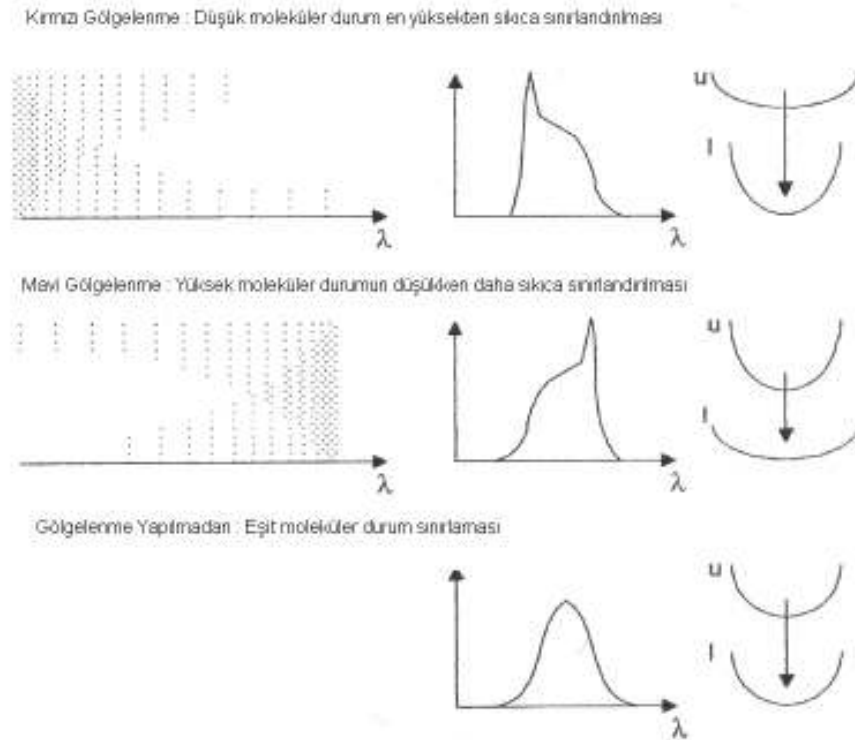
Şekil 4.2 A ve B gaz karışımlarından oluşan plazma için tipik atomik emisyon çizgi spektrumu [10, 12].

Atomlar için bu frekans takımları iyi bir şekilde belirlenmiştir. Dikkat etmemiz gereken bir şey vardır ki; bilinen 100 ün üzerindeki element olmasına karşın iki parçacık aynı $I(\lambda)$ sahip değildir. Bu nedenle, yaydıkları ışık baz alınarak atomik parçacıkların tanımlanması benzer yollarla yapılır. Öyle ki $I(\lambda)$ farklı parçacıkların tanımlanmasına izin verir ve farklı parçacıkların ölçülmüş bağıl yoğunlukları plazmadaki parçacıkların birbirlerine bağıllık miktarlarını verir. Optik multi kanal

inceleyici, plazma ışığı tarafından etkilendiğinde, 200 – 900 nm arasındaki $I(\lambda)$ spektrumunu gösterecektir. Bu plazma parçacıklarını hızlı analizini ve türlerini verir [11].

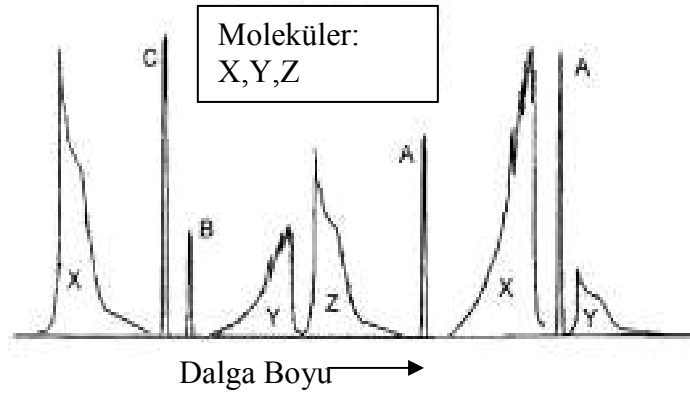
4.2.2 Uyarılmış moleküler türlerin emisyonu

Uyarılmış moleküller, moleküller parçalar ve moleküller iyonlar, atomlardan farklı olan bir emisyon karakteristiğine sahiptirler. Bunun nedeni atomların iyi tanımlanan enerji dönüşüm seviyelerinden yayılırken moleküller titreşim ve dönme enerji seviyelerinden yayılırlar. Bu ek enerji seviyelerinin her ikisi de çeşitlidir ve onların elektronik karıştılarından daha yakın ve çok sayıdadır. Bu muhtemel dönüşüm 10^{-10} - 10^{-12} s genişliğinde daha dar atomik çizgilerdir. Beklenen moleküller parçacıklardan atomik emisyonunkinden daha farklıdır. Şekil 4.3'de Atomik olmayan moleküllerden tipik bant emisyonu gösterir. Şekil 4.4'de moleküller atomik ışımının farklı çizgi genişlikleri gösterilir [10, 12].



Şekil 4.3 Moleküler parçacıklarından emisyon bandı örneği [12]

Sonuç olarak emisyon spektrumunda atomik ve moleküller parçacıklardan biçimleri ve çizgi genişliklerini bulmak oldukça basittir. Gazların karışımında oluşan plazmada emisyonun büyük bir miktarı ile katlanma spektrumu ihtimalinden dolayı hali hazırdaki parçacıklarla korelasyonundaki zorluk artar. Buna rağmen A,B,ve C, atomik parçacıklar kadar X, Y ve Z moleküller parçacıkların tanımlanması şekil 4.4'te gösterildiği gibi $I(\lambda)$ spektrumunda mümkündür [12].



Şekil 4.4 Atomik ve moleküler emisyonunun farklı çizgi genişlikleri [12].

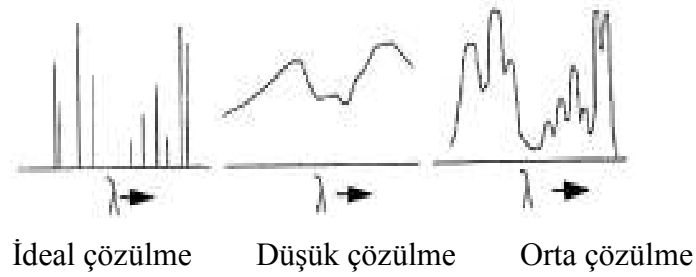
4.2.3 Kompleks gaz karışımlarındaki ışık emisyonu

$I(\lambda)$ spektrumu bize hem plazmadaki parçacıkları ve onların ne kadar olduğu konusunda bilgi verir. Gaz karışımında optik emisyon yalnızca, deşarj plazması ve ışık emisyonunu yaratan gaz karışımından oluşur. Uyarılmış parçacıklar olmaksızın emisyon sağlanamaz, Emisyon örneğinden farklı parçacıklar çeşitli türlerin bağlı bolluklarını belirlenebilir[12].

Örneğin şunları bulabiliriz

- F^+ / F iyonundan atom konsantrasyonu oranı veya bir F plazmasından F/F_2 atomunun molekül oranı
- CF_4 iz plazmasındaki CF, CF_2 veya CF_3 CF_4 oranları
- Oksijen plazmasında O/O_2 oranı

Bu tip bilgiler plazma işleminde farklı parçacıklarla alakalı bilgi edinmemize yardımcı olur. Örneğin, atomik F, F₂ den 10³ kat hızlı olarak silisyum ile etkileşir. Öyle ki Si yapıştırılmış plazma reaktöründe ancak atomik F elde ettiğimiz gibi moleküller F₂ elde edemeyiz. Benzer şekilde, atomik oksijen veya azot plazma kaynaklarında O₂ ve N₂ besleme gazlarından daha fazla öneme sahiptir.



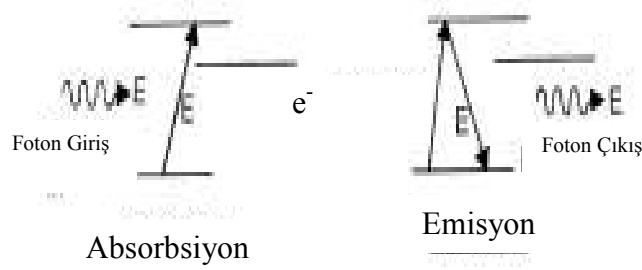
Şekil 4.5 Spektral çözülme durumları [12].

4.2.4 Işık Yayımayan Parçacıklar için Optik Tanımlama Teknikleri

Birçok parçacık etkili bir biçimde ışımaz. Bu yüzden, yalnızca optik emisyon spektroskopisi kullanılarak, oluşumu yanlış değerlendirebiliriz. Örneğin, ışımaya yaymayan parçacıklar ilk olarak atomların moleküllerin iyonların ve serbest radikallerin taban durumu miktarlarını ve ışımaya yaymayan bozunun tipik yarı kararlı durumları içerir. Biz bu tür parçacık konsantrasyonlarına sınırlayacak tekniklere ihtiyaç duyarız. Örneğin, düzensiz parçacıklar ve plazma gaz molekülleri arasındaki hacimsel etkileşimler kısmi olarak önemlidir. Çünkü düzensizlikler birçok plazma kimyasal reaksiyonlarında önemli roller oynarlar. Burada belirtmek istenen temel konu parçacıkların ışımaya yaymadığında plazmayı kimyasal olarak tanımlamanın zor olduğudur [11].

Işımaya yaymayan parçacıkların yoğunluklarını bulmada farklı yöntemler kullanabiliriz. Moleküler durumların atomik etkilerini kullanarak atomik durumlar kendileri ışık yaymadıkça (emisyon), ışığı emebilirler (absorbsiyon) Şekil 3.9'da

emisyon ve absorpsiyon gösterilmiştir. Atomlar veya iyonlar tarafından fotonların emilimi, çarpışma ışığının λ dalga boyuyla değişen $\sigma(\lambda)$ geçici sinyali tanımlanır. Buna rağmen $\sigma(\lambda)$ rezonans $\sigma^* \delta(\lambda-\lambda_0)$ dışında sıfır olmasına rağmen önemli yere sahiptir. Böylece, ilgilendiğimiz parçacıkların λ_0 rezonans dalga boylarında lazer demetini ayarlayabiliriz ve başka parçacıklar lazerle etkileşmez. Dikkat edelim ki bir rezonans taban durum tarafından emilen veya kararlı durgun olmayan durumlardan daha yüksek seviyelere ayarlayabiliriz. Beklenen durumun yeniden foton yayması ve saçılan ışığın gözlenebilmesidir. Yayılan ışığın her zaman λ_0 uyarma dalga uzunluğunda olmayabilir [12].



Şekil 4.6 Absorpsiyon ve emisyon işlemleri [12]

4.3 Optik Emisyon Spektroskopisi Teknikleri

Plazmada yayımlanan optik ışımaların spektrumuna optik emisyon spektrometresi (OES) yöntemi plazmaların kontrolü ve tanımı için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Emisyon spektrum serilerin dalga boyunu ve şiddetini ölçerek plazmada bulunan nötr parçacıkların ve iyonlarının tipini belirtmek mümkündür. Bu yöntem imalatta ve laboratuarlarda üretilen maddelerin kontrolünde kullanılır. Optik plazma emisyon spektrumunu inceleyerek plazma oluşan kimyasal ve fiziksel olaylar hakkında bilgi edinilebilir. Optik emisyon spektrometresi tekniğinin avantajı reaktör ve bakım sisteminin uzaysal ve geçici çözümleri yüksek güvenilirlikte sağlanır. Bununla birlikte optik emisyon spektroskopisi tekniğinin sınırlılığı vardır. Bu ise emisyon şiddetinin plazma türlerinin konsantrasyonuyla direkt doğru orantılı olmamasıdır. Plazmadaki optik emisyon elektronların çarpışması sonucunda meydana gelen uyarılma veya ayrılma [11];



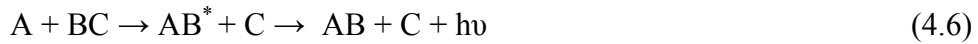
İyon çarpışmasıyla



Bu reaksiyonda A^{*} uyarılmış atomu meydana getirir. Bu atom ışığa yaparak diğer bir uyarılmış hale A^{**} gelir.



Yukarıda gösterilen denklemlerde yıldız işareti uyarılma türlerini gösterir, Bir nötr türü tanımlar, bir negatif iyon ve elektron ile tanımlanır. A^{*} ise A^{**} nın bir aşağısında bulunan uyarılmış durumu gösterir. Örneğin (4.2) ifadesi ile belirtilen reaksiyonlar $CF_4 + O_2$ deşarjında floresans uyarılmaları gerçekleştirilebilir. Denklem (4.3) ile tanımlanan Cl_2 molekül deşarjının radyo frekansları uygulanabilir. Hidrojen atomlarının uyarılması olayına dayalı DC deşarjlarındaki hidrojen uyarılmaları ise (4.4) formülüyle belirtilebilir. Moleküler uyarılma durumunda ise kimyasal lüminesans olmaktadır [11].



Bu süreçler Cl_2 deşarjında Cl_2 molekülü Cl atomlarına ayrılmasıyla gerçekleşir. Silikon atomlarının bulunduğu F deşarjlarında ise optik emisyon aşağıdaki reaksiyon ile gerçekleşir [11].



Bununla beraber hidrojen deşarjına argon ilave edilmesiyle plazmalarda yarı kararlı uyarılmış durumlar bulunur.

Genelde plazmadan ışınım şiddetinin önemli kısmı birinci uyarılmış durumlarda gerçekleşir ve parçacık ω_1 uyarılmış durumda ω_0 taban durumuna geçer. Her bir parçacık (atom, molekül veya radikal) belli enerji değerine sahip olduğu için her bir ışınım aşağıda belirtilmiş frekansa sahip olacaktır.

$$\nu_{1-0} = \frac{\omega_1 - \omega_0}{h} \quad (4.8)$$

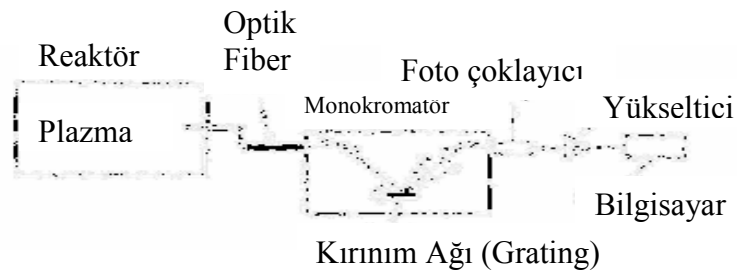
ve dalga boyu

$$\lambda_{1-0} = \frac{hc}{\omega_1 - \omega_0} \quad (4.9)$$

şeklinde belirtilir.

Optik emisyon spektroskopisi için gerekli araç basittir. Optik emisyon spektroskopisi deneysel düzeneği aşağıdaki şekil 4.7'de gösterilmiştir. Üç kısımdan oluşur.

- 1) Plazma ışınlarını dağıtan monokromatör
- 2) Dedektör içerisindeki ışınların toplanması için gerekli optik sistem
- 3) Fotodedektör



Şekil 4.7 Plazmanın Optik Emisyon Spektroskopisi için Deneysel Düzenek [11].

Plazma tarafından yayılan ışınlar monokromatörden geçerek foto çoğaltıcıya vurur, bu nedenle fotoakımı oluştururken bu akım ışık şiddetiyle orantılıdır. Plazma emisyon spektrumu monokromatörün motorunun dönmesiyle elde edilir. Çıkış yarığından geçen monokromatik ışınlar analog mod (akımın ölçülmesiyle), dijital mod (foton counting) tüpler kullanılan toplayıcıyla tespit edilebilir[11-12].

Buna alternatif olarak çıkış yarığı ile Optik Multi Channel Analayzer (OMA) yeri değişir. OMA'nın avantajı monokromatörün döndürülmesi gerekmez. Böylece verilerin daha hızlı toplanması sağlanır. Plazmanın yaptığı ışımının frekans genişliği infrared başlayarak düşük frekanslı X ışını geçiş bölgesini kapsadığı için bu spekturuma optik emisyon spekturumu kullanımda 200-900 nm dalga boyu aralığını kapsamaktadır [11,12].

İyon geçişlerinin küçük dalga boylarında gerçekleşmesi nedeniyle optik emisyon spektroskopisi(OES) plazmada iyonların tespit edilmesi için bilgisayarda görülen serilerin dalga boyu $\lambda < 200$ nm den daha küçük dedektörler gerektirir. İyonların tanımlanması için monokromatörlerin vakumda söz konusu küçük dalga boylu ışınlarının yutulmasının sağlanmasıyla belirtilir. Buradaki dalga boyunda optik fiber kullanışlı değildir. $\lambda < 110\mu\text{m}$ dalga boylu ışınların optik geçişleri için gerekli lenslerin yapılamaması nedeniyle bu dalga boylu ışınların ayırt edilebilmesi için monokromatörler direk plazma reaktörüne bağlanır. Bu dalga boyların yansıtıcılığı % 10 dan küçük olduğunda benzer yansıtıcılarda kullanılmıyor. Bunların yerine küresel aynalar kullanılır [11].

Küresel aynalar hem kırınım hem de optik görüntü için kullanılır. Spektrometre çözülmesi 0.1 ile 1nm arasındaki türlerin belirlenmesi için gereklidir. Birçok araştırmalarda 0.05 nm çözünürlüğe sahip olması için fokal uzunluğu $\sim 0.25\text{m}$ olan lensleri monokromatörlerde kullanılır. Daha yüksek çözünüm gerektirdiğinde atom ince yapısı veya molekülün dönme seviyelerinin belirlenmesi için daha büyük odak uzunluğuna sahip olan monokromatörler (Örneğin 0.01 nm çözünürlüğü olan bir metre

fokal uzunluğa sahip) veya Fabre-Perot interferometre (yaklaşık ~ 0.0005 nm çözünürlüğe sahip) kullanılır [11].

Bazı özel radyasyona sahip ışımaya türlerinin belirtilmesi için emisyon spektrum tabloları kullanılır. Bununla birlikte plazma tanımlanması için optik emisyon spektroskopisi kullanılan aşağıdaki birkaç faktöre dayanarak oluşturulmalıdır. Bunlarda biri spekturumu çok karmaşık olmasıdır. Çok atomlu molekül türlerinin spektrumları daha dar ve basit oldukları için optik emisyon spektrumları tanımlanmasında onların kullanışlı bilgiler elde edilebilir. Çok atomlu moleküllerde titreşim ve dönme hareketleri spektrumlarının geniş olması nedeniyledir. Burada yapılan ışımalar incelenen spektral bölge için yeterli değildir. Bir elementin spektrumun belirtilmesinin daha kolay olmasına rağmen kimyasal bileşimdeki spektrumların belirtilmesi çok zordur. Söz konusu zorluk kimyasal bileşimdeki her bir elementin ışımaya yapması sonucundadır. Başlıca bileşen birçok spektral geçişler olması nedeniyle zayıf serilerin veya küçük yoğunluğa sahip plazmaların belirtilmesi çok zordur. Çünkü daha az türlerden temel bileşimde optik sinyaller anlaşılabilir [11].

Diğer bir zorluk ise optik emisyon spektroskopisi (OES) şiddetinin plazmadaki atomların taban durumdan A^* uyarılmış duruma geçiş yeteneğine bağlılığı sayısal olarak incelenmesidir. Sayısal olarak emisyon spektrumu incelenmesinin ilk adımı I_{ns} emisyon şiddetinin [F] konsantrasyonunun lineer bağımlılığıdır [11].

$$I_{ns} = a_s^e [F] \quad (4.10)$$

burada ; a_s^e oran faktör sabitidir. Bu sabit aşağıdaki formülle belirtilir.

$$a_s^e = K \int_0^{\infty} \theta(p, n_e) \sigma_s^e(\varepsilon) N_e(\varepsilon) d\varepsilon \quad (4.11)$$

burada;

K → Detektör hassasiyeti,

$\sigma_s^e(\varepsilon)$ → Enerjisi ε olan elektronların çarpması ile uyarılmış duruma geçme tesir kesiti,

$N_\varepsilon(\varepsilon)$ → Reaktörde bulunan detektörün görüş menziline bulunan ve $d\varepsilon$ enerji aralığındaki elektron sayısı,

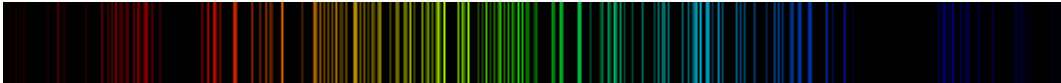
$\theta(p, n_e)$ → Uyarılmış durumdan verimlilik büyüklüğü. Bu büyüklük deşarjın basıncına ve elektron yoğunluğuna bağlıdır. θ büyüklüğü 0 ile 1 arasında değişir.

Plazma parametrelerinde anlamlı değişiklik olmadığı sürece plazma uyarılma verimliliğinin sabit olacağı söylenebilir. Eğer herhangi bir parametrede örneğin; kaynak gücünde, basınçta veya gaz bileşiminde herhangi bir değişiklik olursa yukarıdaki ifade doğru olmaz. Emisyon ışımalarının şiddeti yoğunlukla orantılı olmaz [11]. Bu yüzden yukarıdaki denklemlerde aşağıdaki şekilde bir sonuç çıkar:

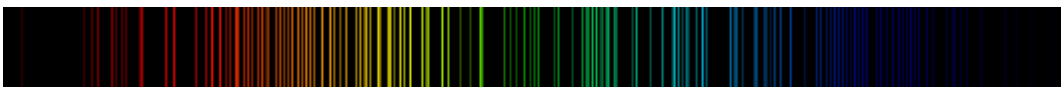
Bütün ışımalar taban durumunun uyarılması ile gerçekleşir. Denklem (4.10)'daki I_{ns} katkıda bulunan diğer metotlar genelde geçersizdir. Mogab ve diğerlerinin yaptığı ölçümlerin gösterdiği şey CF_4 plazmasının oksijen atomu ilave edilirse a_s^e değeri iki kat artacaktır. Bunun sonucunda I_{ns} emisyon şiddetine dayanarak konsantrasyonu ile ilgili belli bir sonuca varamaz. Pratikte spektrum serileri ve bunların birleşimi empirik (yarı deneysel) olarak bulunur. Bu yaklaşımda plazmadaki emisyon serileri değişirler bu değişme ise kaplama sürecinin doldurulması için bir sinyal oluşturur [11].



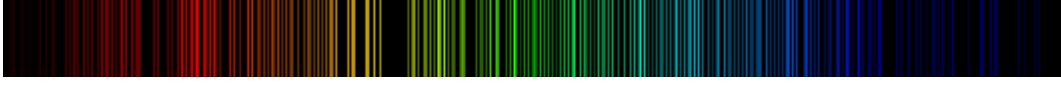
Spektrum



Karbon



Neon



Argon

Şekil 4.8 Glow deşarj optik emisyon spektroskopisi ile Karbon, Neon ve Argon'un spektrumları [14].

4.3.1 Deneylerde kullanılan Spektrometre cihazının özellikleri:

Çeşitli deşarj ve plazma reaktörlerinin Optik Emisyon Spektroskopisi (OES) elde etmek için kullanılacak olan spektrometre USB2000 Plug and Play 600 lines/mm CCD dedektörlü spektrometre cihazı kullanılacak ve ara yüz programı olarak OIBASE32 programında spektral veriler (200-850nm) değerlendirilecektir. [15].

Spektrometrelerde kullanılan birimler şunlardır;

- **Giriş Sliti (Yarık):** 10–50 µm genişlikte olabilir ve spark bölgesinden gelen çok renkli ışığı geçirir.
- **Grating (Spektral Ayna):** Prizma gibi, ışığı dalga boylarına ayırır.
- **Dedektör: Dalga** boyların ayrılmış olan ışığı hisseden CCD veya fototüp sensörlerdir.

Spektrometre cihazı şu üniteleri ihtiva eder.

- Güç ünitesi ve spark sistemi,
- LCD monitörlü bilgisayar sistemi,
- Yazılım sistemi.

4.3.1.a Spektrometrenin çalışma prensibi

Spark bölgesinde Tungsten elektrot ile numunenin alt yüzeyi arasında bir spark boşalması meydana gelir ve elde edilen ışınma optik kısmında kullanılabilir bilgiye dönüştürülür. Spark bölgesinde oluşan ışık mercekle vasıtasıyla optik odasına iletilerek

giriş yarığında toplanır. Giriş yarığından kırınım ağı spektral aynasına odaklanan ışık, burada spektral olarak saçılmaya uğrar ve dalga boylarına ayrışır. Optik ünite, kıvılcımlanma bölgesinden gelen ışığın toplanıp odaklanarak spektral saçılmaya uğradığı ve dalga boylarına ayrıştığı bir optik odasından meydana gelir. Sürekli argon gaz atmosferinde tutulan odadaki dedektör sayesinde belirli dalga boyu aralıklarına tekabül eden elementlerin miktarları belirlenmektedir.

4.3.1.b CCD Dedektörün özellikleri:

Günümüz OES (Optik Emisyon Spektrometresi) teknolojisindeki gelişmelerin en önemlisi CCD (Charged Coupled Dedector) sisteminin geliştirilmesi ve kullanılmaya başlanmasıdır. OES spektrometrelerde Paschen-Runge, Czerny Turner ve Ebert yerleşimi olmak üzere üç ayrı optik sistem kullanılmaktadır. Bunların içinde Parschen-Runge montajı ve Rowland dairesi yerleşimi son yıllarda en çok kabul gören dizayn olmuştur. Fototüp veya CCD sensör kullanımından bağımsız olarak spektrometrelerde yukarıdaki optik sistemlerden herhangi biri kullanılmaktadır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Plazma jetlerin optik emisyon spektroskopisinin incelendiği bu çalışmada, optik emisyon spektrumlarının kaydedilebilmesi için çeşitli plazma jet sistemler tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu plazma jetler sayesinde iki plazmanın bir biri ile çarpışması incelenebilmekte ayrıca gaz veya gaz karışımlarının plazmaları üretilerek plazmaların optik emisyon spektroskopileri (OES) alınarak incelenmiştir.

Gaz karışımları plazmaları üretilirken bir elektronegatif (H_2 yada O_2) ve elektropozitif (Neon, Argon) gaz karışımı kullanılmıştır. Üretilen gaz karışımı plazmalarının optik emisyon spektrumlarında ise monokromatizasyon (M-etkisi) gözlenmiştir.

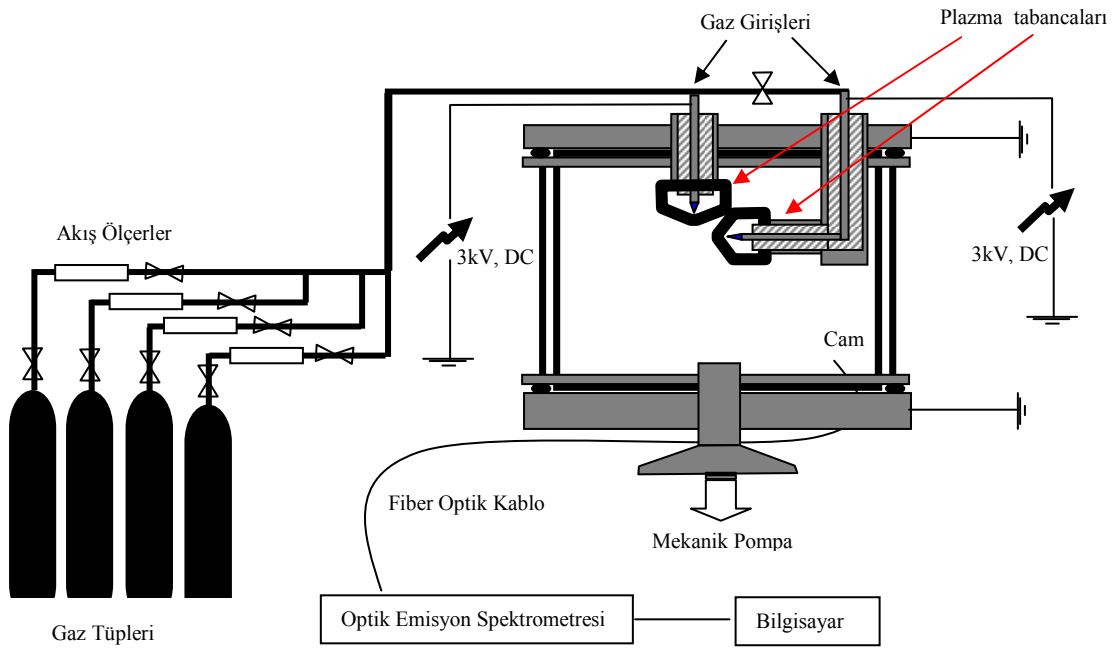
Plazma jetler üretilirken çeşitli güç kaynakları (3kV DC, 25 kV AC), çeşitli gaz ve gaz karışımları ve ayrıca çeşitli jet tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirilen jetler sanayide kullanılan jetlerden farklı olarak oldukça küçük boyutlardadır ve düşük basınç şartlarında çalışmaktadır. Bunların sonucunda üç farklı plazma jet tasarlanmış ve bunlar ile üretilen gaz veya gaz karışımı plazmaları incelenmiştir.

Tasarlanan bu jetler;

- DC Etkileşen Plazmalar Sistemi
- AC Plazma Jet Sistemi
- DC Plazma Jet Sistemi'dir.

Gaz veya çoklu gaz karışımları ile üretilen plazma jetlerin spektrumları, optiksel çok kanallı analizör (O.M.A.) kullanılarak, 200–850 nm dalga boyu aralığında elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

Plazma jetler ile üretilen plazmaların optik emisyon spektroskopileri elde edilirken kullanılan deneysel düzenek Şekil 5.1’de gösterildiği gibidir. Deneysel düzende plazma jetler, 200x300 mm boyutlarında özel olarak yapılmış olan pyrex cam tüp içerisine bir üst kapak ile yerleştirilmiştir. Pyrex cam tüp bir mekanik pompa vasıtası ile vakumlanmaktadır ve plazmalar düşük basınç değerleri altında üretilmiştir. Ayrıca sistemde gaz akış ölçerler vasıtası ile gaz akış hızları ve basınçölçer vasıtası ile de basınç değerleri sürekli kontrol edilmektedir.



Şekil 5.1 Deneysel düzeneğin şematik gösterimi

5.1. Deney sistemi

Saf gaz ve gaz karışımlarının plazma jetlerinin üretildiği deney sistemi beş ana kısımdan oluşmaktadır:

- Vakum odası** ; Saf gaz ve gaz karışımlarının plazma jetleri düşük basınçlarda elde edilmesi amacı ile 200x300 mm boyutlarında özel olarak yapılmış olan

pyrex cam tüpten oluşmaktadır. Cam tüpe bir üst kapak ile yerleştirilmiştir ve bu üst kapakta değişik amaçlarda kullanılmak üzere üç adet NW 25 uyumlu delik bulunmaktadır. Vakum odası (cam tüp) alt kısımdan vakumlanmaktadır.

b) Plazma tabancaları; Plazma jet üretmek amacı ile kullanılan plazma tabancaları paslanmaz çelik gövdeden yapılmıştır. Deneylerimiz esnasında üç farklı plazma tabancası üretilmiş ve bunlarla elde edilen plazma jetler kullanılmıştır. Bunlar; etkileşen plazma jet sistemi, DC plazma jet sistemi ve AC plazma jet sistemi'dir.

c) Vakum ve gaz depolama sistemi; Bu sistem ile vakum odası 3×10^{-3} Torr değerine kadar vakumlanabilmektedir. İstenilen oranlarda gaz ya da çoklu gaz karışımları (Ar, Ne, O₂, H₂) oluşturulabilmektedir. Bu sistem;

- a. bir adet mekanik pompa (Boc Edwards Rotary mekanik pompa,E2M40),
- b. bir adet booster vakum pompası (Boc Edwards Booster pompa,EH250),
- c. bir adet düşük vakum ölçer (Boc Edwards pirani gauge, $P > 10^{-4}$ Torr)
- d. bir adet basınç ölçer (Boc Edwards pressure gauge, (0-760 Torr)
- e. soy gaz olarak;
 - Argon (Messer marka Argon gazı MSDS No:003A, %100Ar)
 - Neon (Messer marka Neon gazı MSDS No:086A, %100 Ne)
- f. elektronegatif gaz olarak;
 - H₂ (Messer marka Hidrojen gazı MSDS No:067A, %100H₂)
 - O₂ (Messer marka Oksijen gazı)

gazı kullanılarak oluşturulmuştur.

d) Spektrometre; Spektroskopik ölçümler için, OceanOptics USB2000 marka 600 groves/mm'lik spektrometre kullanılmıştır. Gaz ve çoklu gaz karışımlarının plazma jetlerinden elde edilen spektrum değerleri fiber optik kablo yardımı ile spektrometreye taşınmış ve OOIBASE32 programı yardımı ile ölçüm sonuçları alınıp ve değerlendirilmiştir.

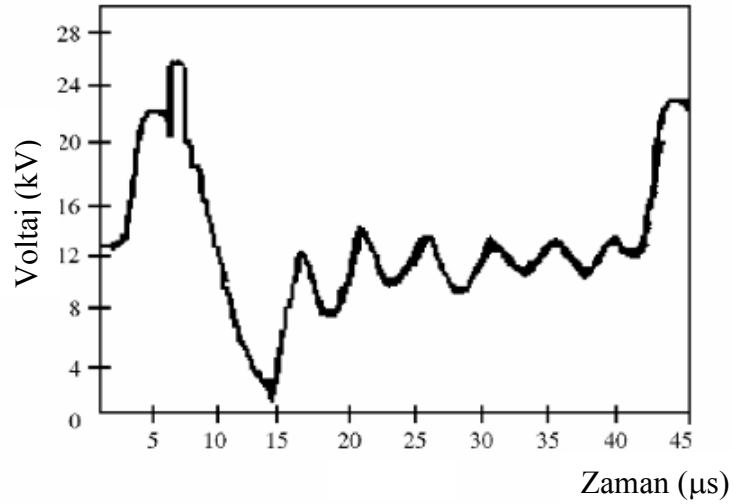
e) **Güç kaynağı;** Plazma jetlerin oluşturulması için iki farklı güç kaynağı kullanılmıştır. Bu güç kaynakları;

i. Yüksek voltaj (25 kV, 25 kHz) atmalı güç kaynağı;



Şekil 5.2 Kullanılan AC güç kaynağının fotoğrafı

Bu güç kaynağından elde edilen gerilimin, direnç üzerinden osiloskop ile alınan çıkış sinyalinin voltaj-zaman değişimi Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Güç kaynağının voltaj-zaman değişimi

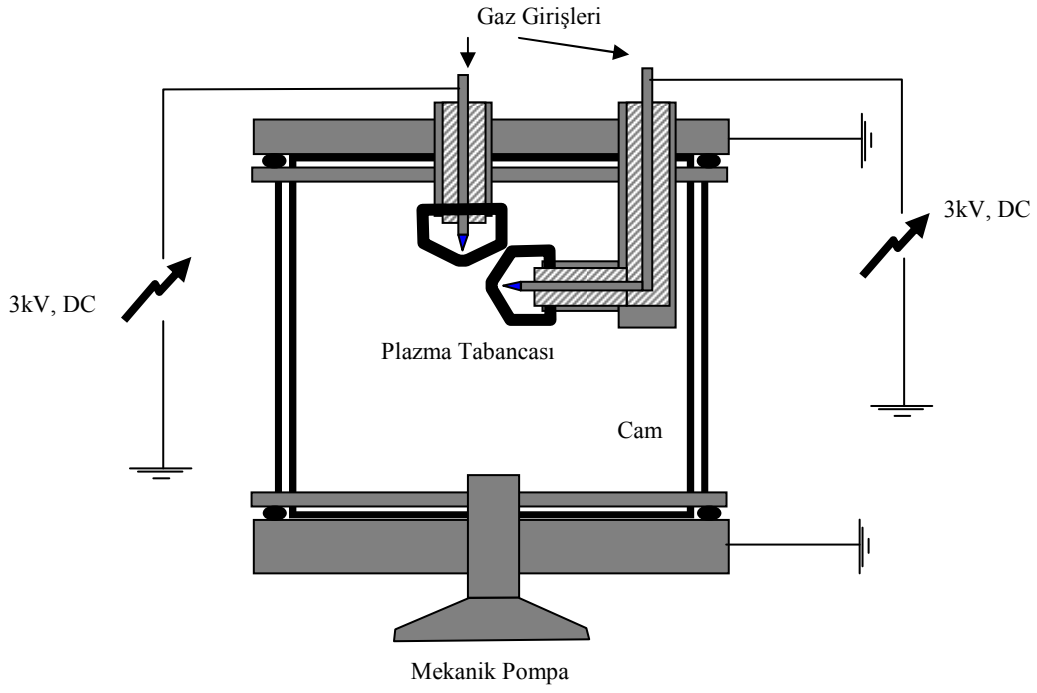
ii. Taşınabilir 3.5 kV'luk DC güç kaynağı; 220V, 50Hz ile çalışmakta ve şehir gerilimi bir toroid vasıtası ile yükseltilmektedir. Daha sonra kondansatör ve diyot devreleri kullanılarak doğru akıma çevrilmektedir.



Şekil 5.4 Taşınabilir 3.5 kV'luk DC güç kaynağının fotoğrafı.

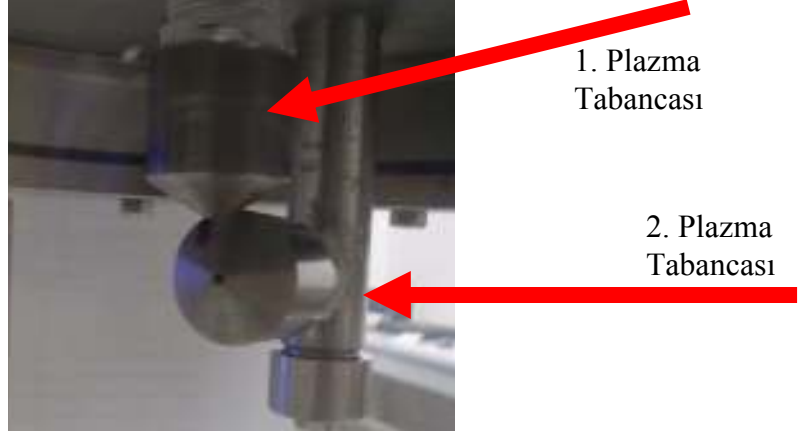
5.2. DC Etkileşen Plazmalar Sistemi

Bu sistemde iki adet plazma tabancası, plazmaların 90^0 'lık açı altında çarpışması sağlamak üzere bir vakum odasının içerisine yerleştirilmiştir. Plazma tabancalarının katot ucu kısmı Toryumlanmış Tungsten elektrottan yapılmıştır. İki adet plazma tabancası ile istenilen gaz ve gaz karışımlarının plazmasının çarpışması ve etkileşmesi sonucu oluşan plazmanın özelliklerinin incelenmesi için oluşturulan deneysel düzeneğinin şematik çizimi şekil 5.5'te gösterilmiştir.



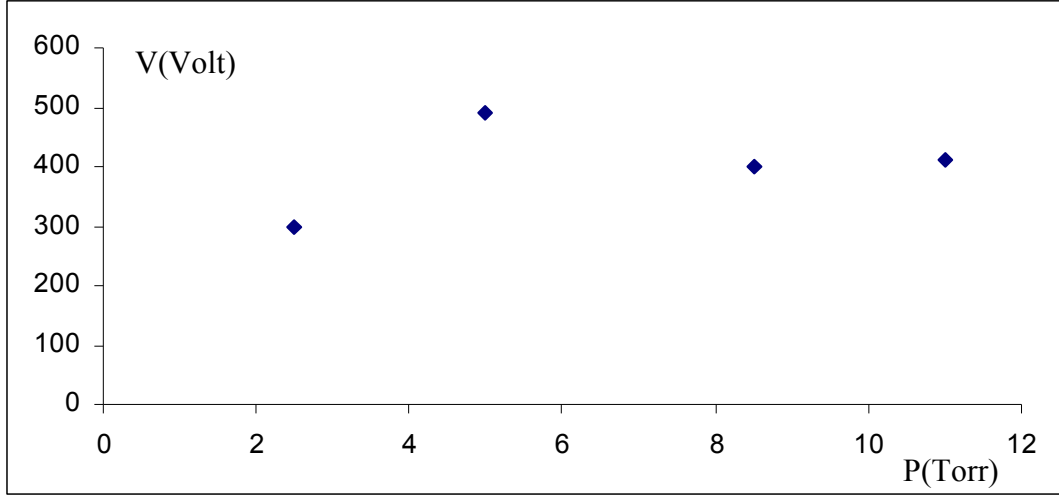
Şekil 5.5 DC Etkileşen plazmalar sistemin şematik çizimi.

Plazma tabancalarının fotoğrafları şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6 Plazma tabancalarının şekli ve konumu.

Plazma tabancalarında argon gazı kullanıldığında plazmaya geçiş voltajı olarak bilinen Breakdown voltajının deşarj reaktörünün basıncına bağımlılığı Şekil 5.7’te görülmektedir.



Şekil 5.7 Breakdown voltajının Deşarj Reaktörünün basıncına bağımlılığı.

Bu sistem ile argon gazı kullanılarak önce birinci plazma tabancasından argon gazının plazma jeti elde edilmiştir. Bu durumda argon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumları alınmış ve deney esnasında, dijital fotoğraf makinesi ile elde edilen plazma jetlerin dijital fotoğrafları çekilmiştir.

Vakum odasının basıncının 10 Torr olduğu durumda düşey konumdaki birinci plazma tabancasından iki elektrot arasına 400 Volt değerinde potansiyel fark uygulanması ile elde edilen argon gazının plazma jetinin fotoğrafı şekil 5.8’te gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Birinci plazma tabancasındaki Argon gazı plazma jetinin fotoğrafı.

Daha sonra argon gazı kullanılarak ikinci plazma tabancasından argon gazının plazma jeti elde edilmiştir. Bu durumda argon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumları alınmış ve deney esnasında dijital fotoğraf makinesi ile elde edilen plazma jetlerin dijital fotoğrafları çekilmiştir. Vakum odasının basıncının 5 Torr, 8.5 Torr ve 11 Torr olduğu durumlarda ikinci plazma tabancasından argon gazı plazma jetleri üretilmiştir. İki elektrot arasına sırası ile 500 V, 430 V ve 400 V değerlerinde potansiyel fark uygulanmıştır.

Yatay konumdaki ikinci Plazma Tabancasından elde edilen Argon gazı Plazmalarının fotoğrafları şekil 5.9, şekil 5.10 ve şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.9 İkinci Plazma Tabancasında elde edilen Argon gazı plazma jetinin fotoğrafı (V= 500 Volt, P=5 Torr).



Şekil 5.10 İkinci Plazma Tabancasında elde edilen Argon gazı plazma jetinin fotoğrafı (V= 400 Volt, P=8,5 Torr).



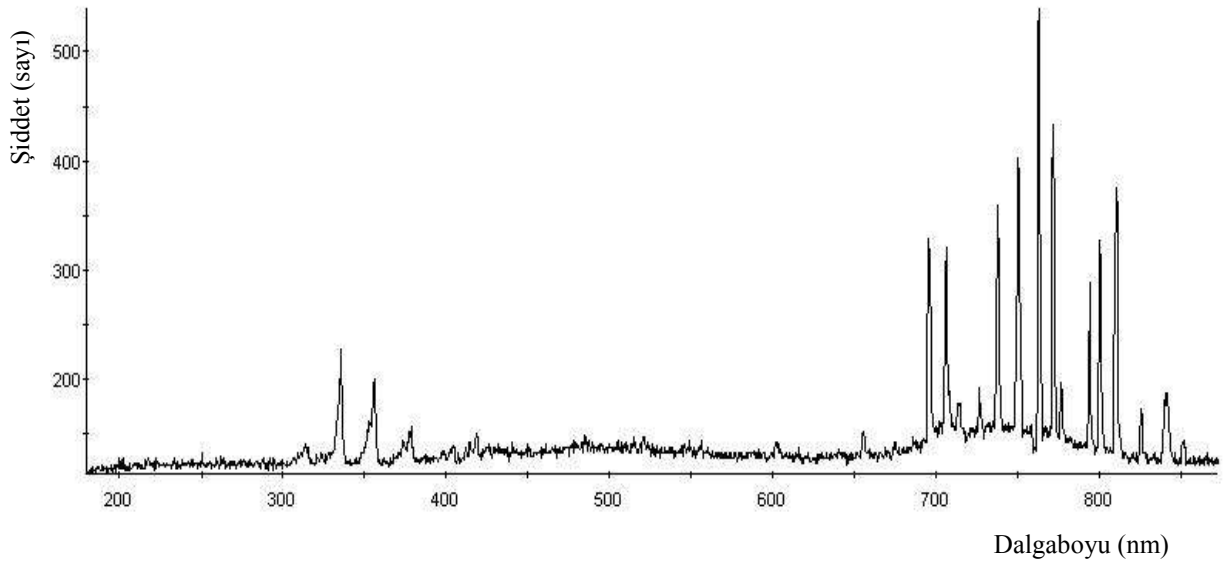
Şekil 5.11 İkinci Plazma Tabancasında elde edilen Argon gazı plazma jetinin fotoğrafı (V= 430 Volt, P=11 Tor).

Birinci plazma tabancasından argon gazı, ikincisinden ise azot gazı gönderilerek plazma jetleri elde edilmiştir. Her iki plazma jet, deşarj odasının basıncının 5 Torr olduğu durumda elde edilmiştir. Birbirlerine 90°'lik açı ile konumlandırılmış iki plazma tabancasından elde edilen argon ve azot gazlarının plazma jetlerinin çarpışarak etkileşmesi sağlanmıştır. Oluşan plazmaların şiddetleri çok düşük olduğundan dolayı optik emisyon spektroskopileri alınamamıştır. Argon ve azot gazlarının plazma jetlerinin etkileşimi esnasında çekilen dijital fotoğraf şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12 Argon+Azot gazı kullanılarak elde edilen etkileşen plazmaların fotoğrafı.

Birinci plazma tabancasında Argon gazı kullanılarak elde edilen plazma jetin optik emisyon spektrumu Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13 Birinci plazma tabancasında argon gazı ile elde edilen plazma jetin optik emisyon spektrumu

Elde edilen deney sonuçlarını karşılaştırmak üzere çizelge 5.1’de verilen National Institute of Standards and Technology, USA [16]’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** içerisindeydir. Şekil 5.11’deki şiddet eksenindeki değerler çizelge 5.1’deki bağıl şiddet değerleri ile yaklaşık aynı değerdedir. Şiddetlerin yüksek veya alçak değerlerde olması kullanılan ışık kaynağına ve diğer uyarma kaynaklarına bağlı olarak farklılık gösterir [16]. Deneyimizdeki farklılık da bundan dolayıdır. Çizelge 5.1’deki değerler 10A, 220 V DC ark deşarj kullanılarak elde edilmiştir [16].

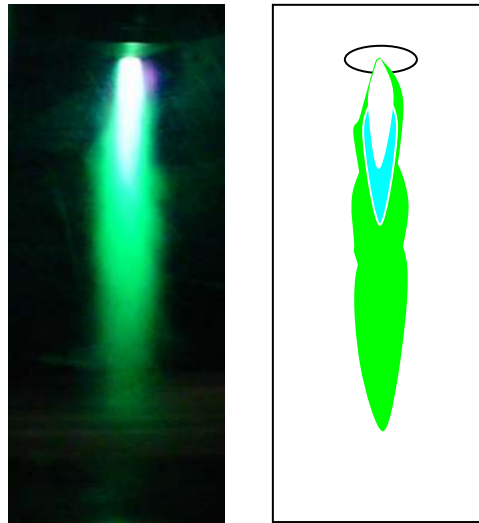
Çizelge 5.1 Nötral argon atomunun var olan çizgi spektrumu değerleri

Dalga boyu (nm)	Bağıl Şiddet	$A_{ki} (10^8 s^{-1})$	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

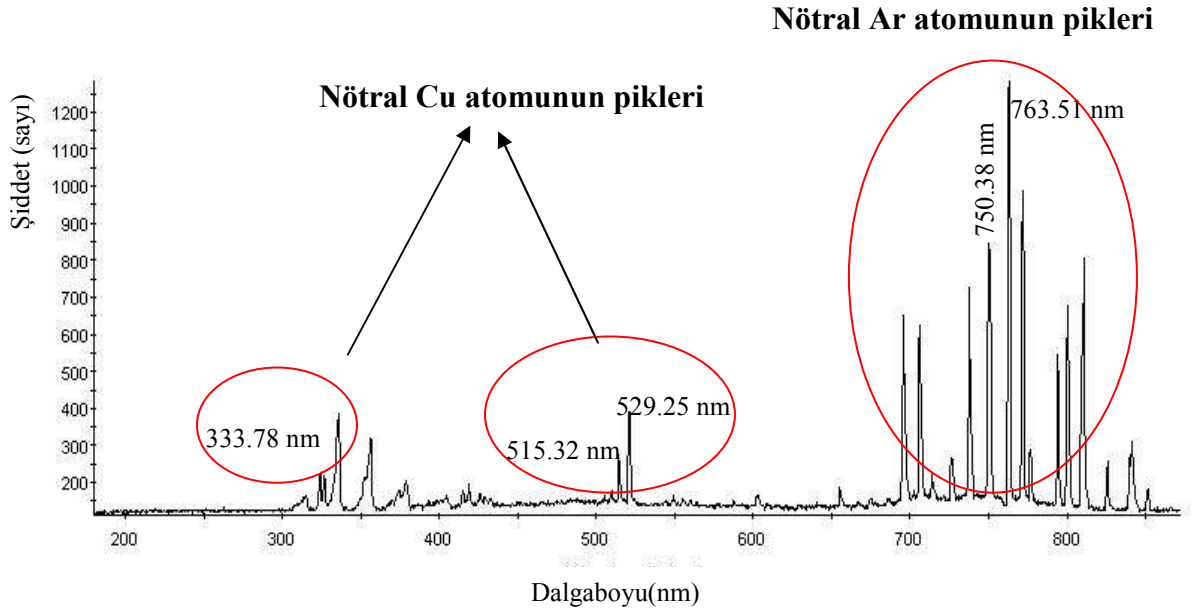
Argon gazının 11 Torr basınçta elde edilen plazma jetin dijital fotoğraf makinesi ile çekilmiş olan diğer bir fotoğrafı şekil 5.14’de görülmektedir. Elektrotlar arasına uygulanan voltaj değeri arttırıldığında saf argon jetinin plazmasının rengi mavi iken yeşil renge dönüşmüştür. Plazmanın yeşil renkte olmasının sebebi, toryumlanmış tungsten elektrotu tutan bakır tutucudan dolayı olduğu şekil 5.15’teki optik emisyon spektroskopisi içerisinde görünen bakır atomlarına ait geçişlerin görülmesi ile anlaşılmıştır.

Çizelge 5.2 Nötral bakır atomunun var olan çizgi spektrumu değerleri

Dalga Boyu (nm)	Bağıl Şiddet	A_{ki} ($10^8 s^{-1}$)
306.341	2500	0,0155
319.410	1500	0.0155
324.754	10000	1.39
327.396	10000	1.37
333.784	1500	0.038
402.263	1250	0,190
406.264	2000	0.210
427.511	950	0.345
465.112	2000	0.380
510.554	1500	0.020
515.324	2000	0.60
521.820	2500	0.75
529.252	1650	0.109
570.024	1500	0.0024
578.213	1500	0.00165

**Şekil 5.14** Argon + Bakır Plazma jetinin deney esnasında çekilen fotoğrafı

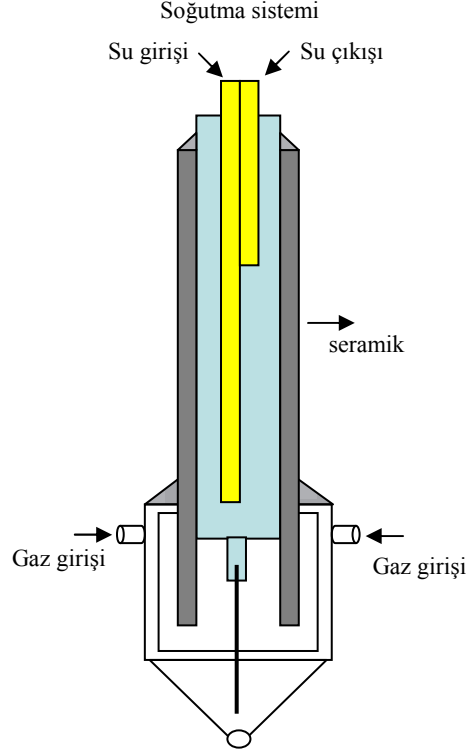
Şekil 5.15’de argon gazı kullanılarak elde edilen plazma jetin optik emisyon spektrumu verilmiştir. Bu spektrumda beklenmedik bir şekilde argon gazı değerlerine ilave olarak bakır plazmasına ait olan değerlere rastlanmıştır. Tungsten elektrodun tutturulduğu bakır parçanın, toryumlanmış tungsten elektrotların aşırı ısınması ve bu ısınma etkisi ile bakır tutucuyu eriterek plazma haline geçmiş olmasındandır. Şekil 5.15’teki spektrumda bakır atomları ve argon atomlarının elektronik geçişlerinin olduğu bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 5.15 Argon + Bakır Plazma jetinin optik emisyon spektrumu.

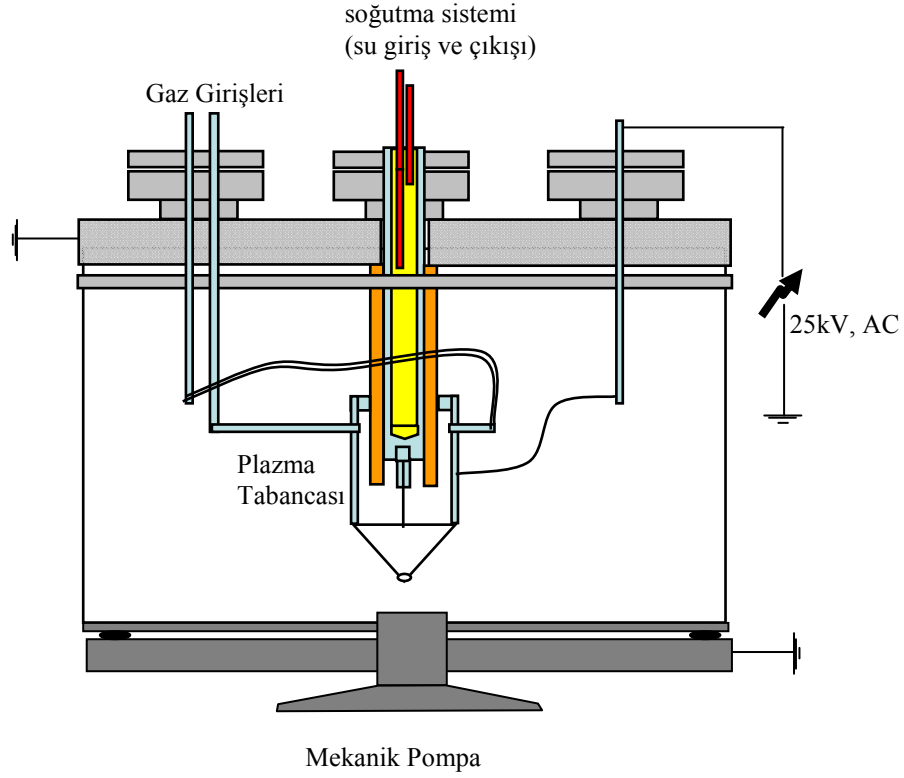
5.3 AC Plazma Jet

Şekil 5.15’teki spektrumda görülen bakır piklerinin olmadığı sadece saf gaz ve gaz karışımı spektrumlarının elde edildiği plazma jet üretimi için plazma tabancasına su soğutma sistemi ilavesi yapılmıştır. 2 mm çapında Toryumlanmış tungsten elektrotun kullanıldığı yeni plazma tabancasının şematik gösterimi Şekil 5.16’da verilmiştir.



Şekil 5.16 Su soğutmalı Tungsten elektrotlu plazma jet sisteminin şematik gösterimi.

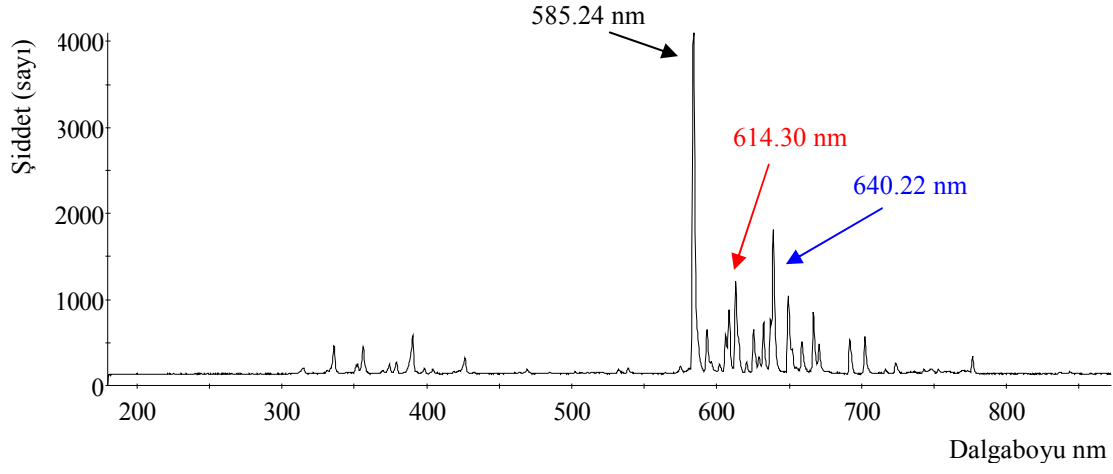
Şekil 5.16’da gösterilen yeni plazma tabancası ile beraber deneysel düzenekte sistemin bağlantılarında bazı değişiklikler yapılmıştır. Deneysel düzenekte şekil 5.2’de dijital fotoğrafı görülen 25 kHz ve 25 kV’luk bir güç kaynağı kullanılmıştır. Bu durum Şekil 5.17’de deneysel düzeneğin şematik olarak verilen çiziminde görülmektedir.



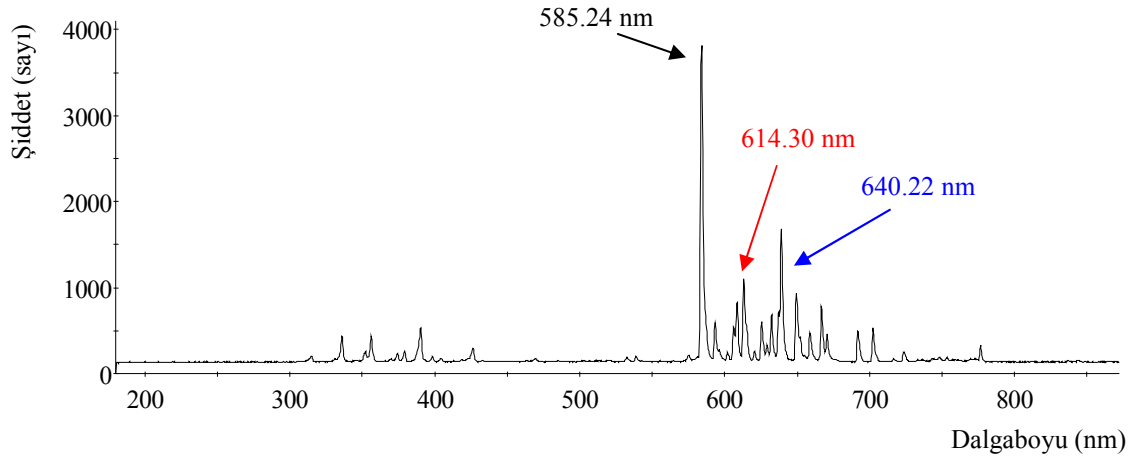
Şekil 5.17 Tungsten elektrotlu plazma jet içeren devrenin şematik gösterimi.

Toryum alaşımlı tungsten elektrot kullanılan AC plazma tabancası kullanılarak, vakum odasının 10 Torr, 15 Torr, 20 Torr, 25 Torr ve 30 Torr basınç değerlerinde saf neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumları alınmıştır.

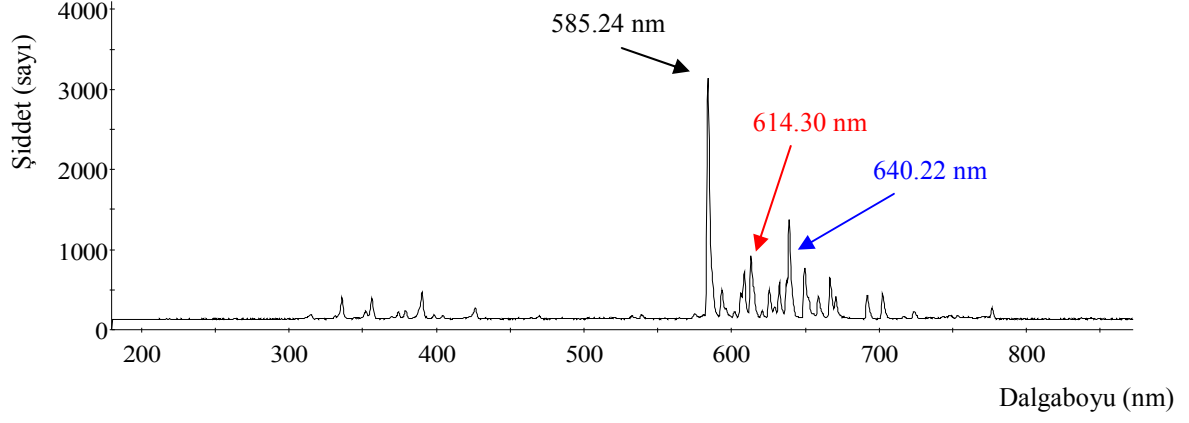
Tungsten elektrotlu plazma jet için devrede AC güç kaynağı kullanılarak değişik basınç değerlerinde saf Ne gazının plazma jetinin elde edilen spektrumları Şekil 5.18 (a,b,c,d,e)'de verilmiştir.



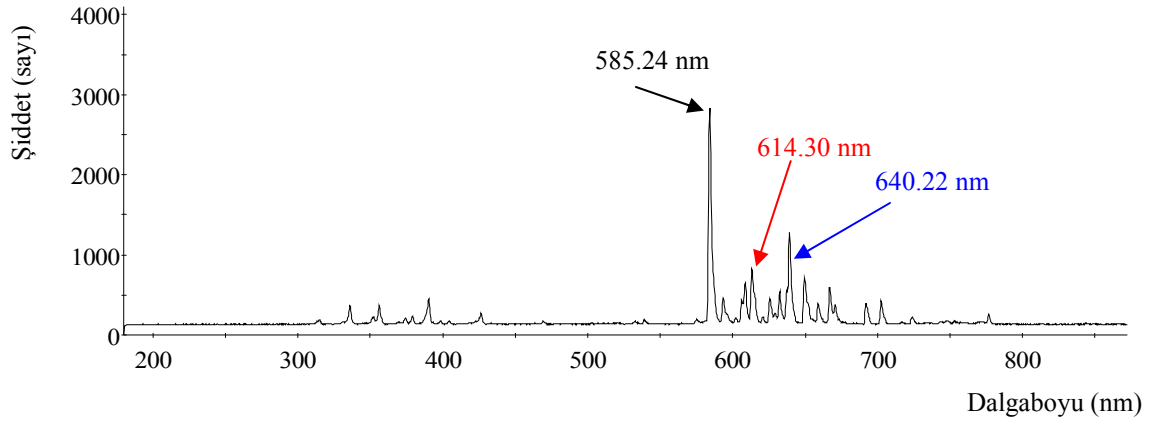
Şekil 5.18 (a) %100 saf Neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumu (P=10 Torr).



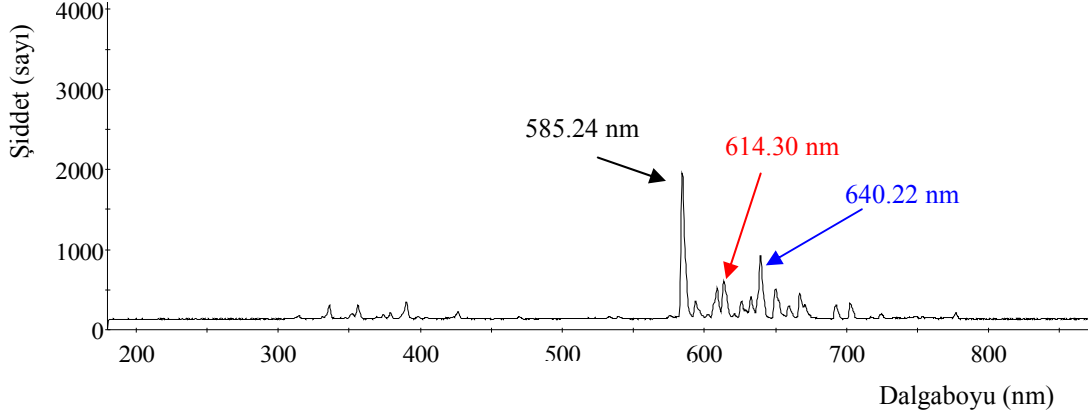
Şekil 5.18 (b) %100 saf Neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumu (P=15Torr).



Şekil 5.18 (c) %100 saf Neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumu (P=20Torr).



Şekil 5.18 (d) %100 saf Neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumu (P=25Torr).



Şekil 5.18 (e) %100 saf Neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumu (P=30Torr).

Çizelge 5.3 Nötral neon atomunun var olan çizgi spektrumu değerleri.

Dalga boyu (nm)	Bağlı Şiddet	A_{ki} ($10^8 s^{-1}$)	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

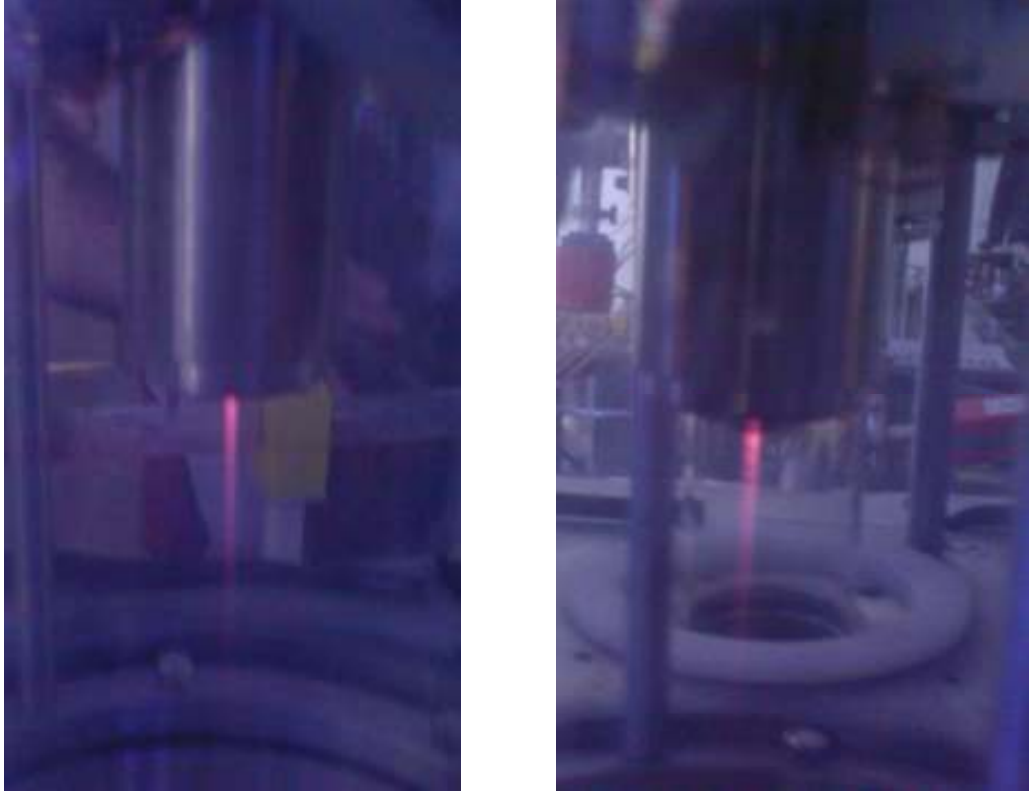
Elde edilen deney sonuçlarını karşılaştırmak için Çizelge 5.3’de verilen National Institute of Standards and Technology, USA [16]’dan alınan nötral neon atomuna ait bağlı şiddet ve dalga boyu değerleri kullanılmıştır. Bu karşılaştırma yapıldığında, deneyden elde edilen piklere ait dalga boyu değerleri ile çizelge 5.3’deki dalga boyu değerleri **tam bir uyum** içerisindeydir.

Şekil 5.18 (a,b,c,d,e)'deki şiddeti gösteren eksenindeki değerler, Çizelge 5.3'deki bağıl şiddet değerlerinin yaklaşık 20 katı büyüklüğündedir. Şiddetlerin yüksek veya alçak değerlerde olması kullanılan ışık kaynağına ve diğer uyarma kaynaklarına bağlı olarak farklılık gösterir [16]. Deneyimizdeki farklılık da bundan dolayıdır. Çizelge 5.3'deki değerler 10A, 220 V DC ark deşarj kullanılarak elde edilmiştir [16].

Toryumlanmış Tungsten elektrotlu plazma tabancasından elde edilen saf neon gazının plazma jetinin deney esnasında çekilmiş olan fotoğrafı Şekil 5.19' da gösterilmiştir.



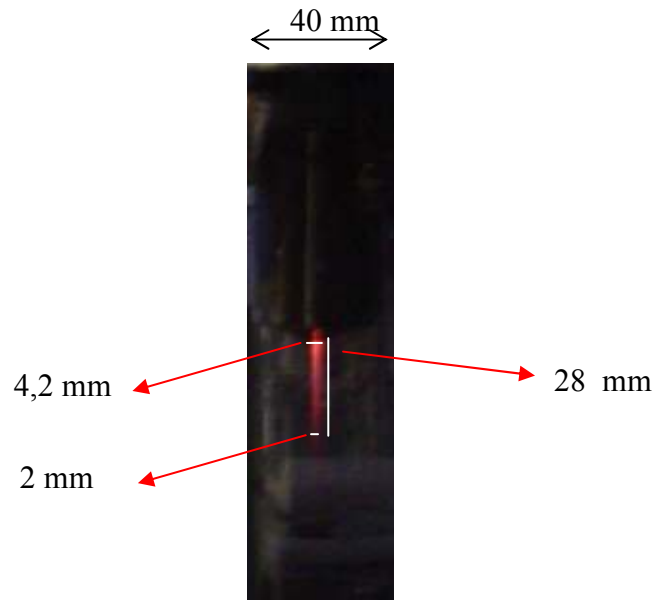
Şekil 5.19 Toryumlanmış tungsten elektrotlu plazma tabancasından elde edilen saf neon gazının plazma jetinin dijital fotoğrafı.



Şekil 5.19 (b,c) Neon gazının plazma jetinin diğer fotoğrafları.

Saf neon gazının plazma jetinin optik emisyon spektrumları incelendiğinde basınç değerleri ile şiddetin ters orantılı olduğu görülmektedir. Ayrıca spektrumlardaki neon piklerinin haricindeki diğer pik değerleri ortamdaki diğer atomlardan gelen katkılara ait pik değerleridir.

Şekil 5.19 (d)'de ise neon gazının plazma jetinin oluşturulması esnasında çekilmiş olan dijital fotoğrafı verilmiştir. Ayrıca fotoğraf üzerinde yapılan 1:1 inceleme ile plazma jetin boyutları ölçülmüştür.



Şekil 5.19 (d) Saf neon gazının plazma jetinin boyutları.

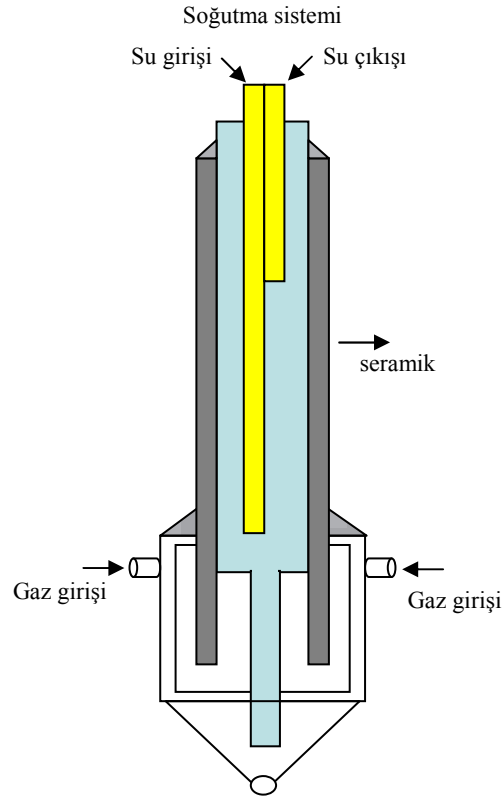
Bu sistemde gaz karışımlarının plazma jetinin elde edilmesi esnasında Toryumlanmış Tungsten malzemedan yapılmış olan 2 mm çapındaki elektrot yüksek sıcaklık nedeni ile erimiştir. Bu nedenle saf gaz karışımlarının plazma jetleri elde edilememiştir. Bu durumda Plazma jet için yeni bir dizayn geliştirilmiştir. Yeni dizayn kesim 5.4'te detaylı bir şekilde verilmektedir.

5.4 DC Plazma Jet

Saf gaz ve gaz karışımları için plazma jetin optik emisyon spektrumlarının elde edilmesi için plazma jet üzerinde bir değişiklik yapılmıştır. AC plazma jet'de kullanılan Toryumlanmış Tungsten sivri elektrotu yerine Plazma jetin iç kısmı ile bir bütün olacak şekilde (tek parça) paslanmaz çelikten yapılmış düz elektrot kullanılmıştır. Ayrıca plazma tabancasının içerisinde su soğutma sistemi de bulunmaktadır ve paslanmaz çelik elektrotun ısınmasını engellemektedir

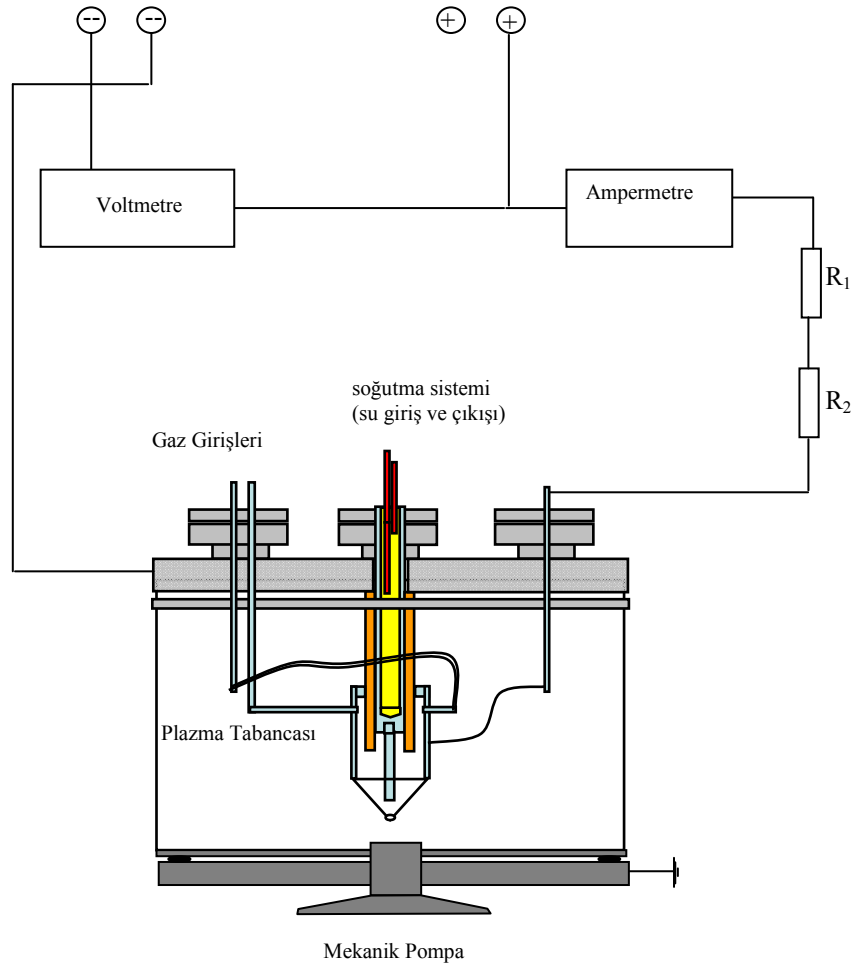
Plazma jetin elde edilebilmesi için devre bağlantısı yapılırken güç kaynağı değiştirilmiş ve AC güç kaynağının yerine özel olarak imal edilmiş olan 3.5 kV'luk DC güç kaynağı kullanılmıştır. Ayrıca devreden yüksek akım geçişini engellemek amacı ile güç kaynağının çıkışına 1000 Ω 'luk iki adet direnç seri olarak (1000 Ω + 1000 Ω) bağlanmıştır. Plazma jetlerin oluşumu esnasında akım ve voltaj değerlerini ölçmek amacı ile dış devreye bir adet ampermetre ve bir adet voltmeter bağlanmıştır.

Paslanmaz çelikten yapılan düz elektrotlu plazma tabancasının şematik çizimi Şekil 5. 20'de verilmiştir.



Şekil 5.20 Su soğutmalı paslanmaz çelik elektrotlu plazma tabancasının şematik gösterimi.

Şekil 5.20’de verilen plazma tabancasının kullanılması ile deneysel düzende bağlantılarda değişiklikler yapılmış ve deneyler bu şekilde yapılmıştır. Paslanmaz çelik elektrotlu plazma tabancası ile plazma üretmek için şekil 5.21’deki elektrik devresi ve deneysel düzenek kullanılmıştır.



Şekil 5.21 Paslanmaz çelik düz elektrotlu plazma tabancası kullanılan deneysel düzeneğin şematik gösterimi.

Paslanmaz çelik elektrot kullanılarak yapılan plazma tabancası kullanılarak saf argon gazı ve saf neon gazı plazma jetleri değişik basınç değerlerinde elde edilmiştir ve bu plazma jetlerin optik emisyon spektrumları kaydedilmiştir.

Bu sistem ile yapılmış olan plazma jet deneylerinde kullanılan gazlar ve gaz karışımları aşağıda verilmiştir:

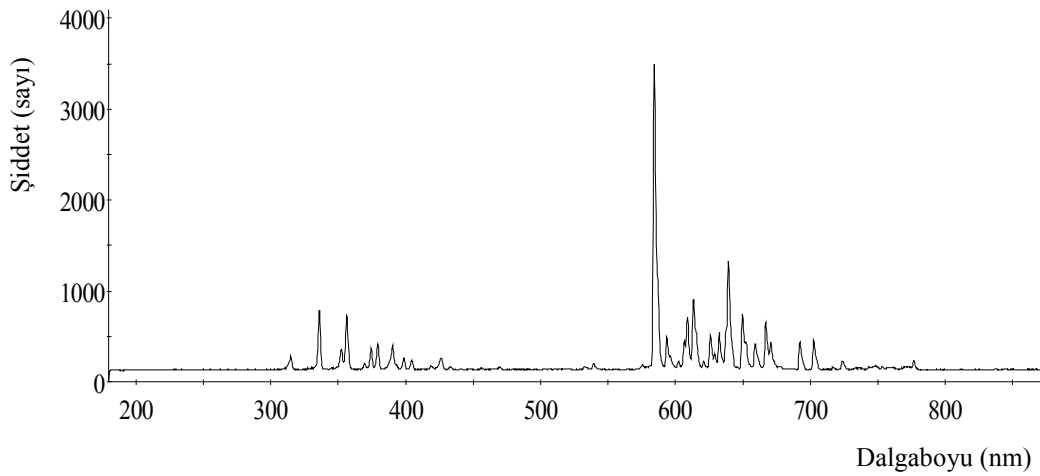
- i. saf neon
- ii. saf argon
- iii. saf argon + saf oksijen

- iv. saf argon + saf hidrojen
- v. saf neon + saf hidrojen
- vi. saf neon + saf oksijen

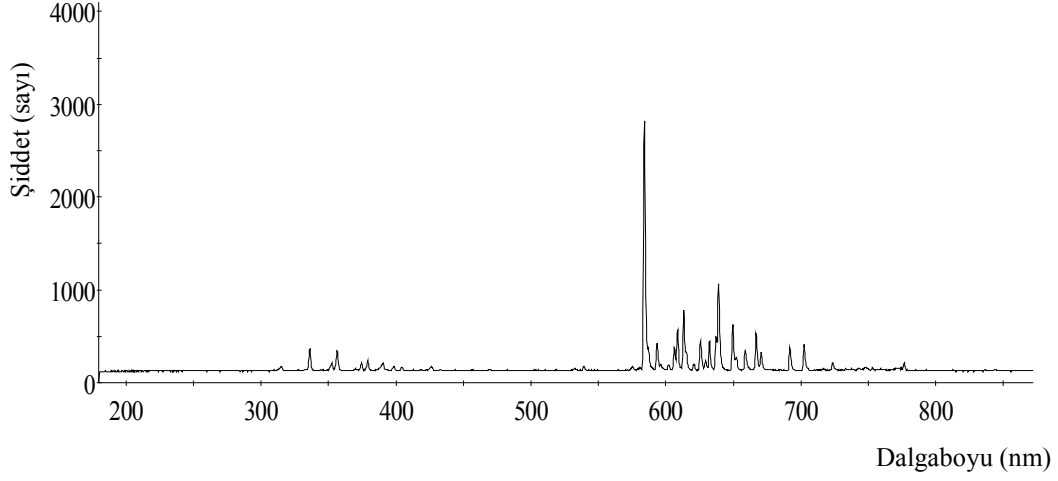
Yukarıda verilen gaz ve gaz karışımları ile elde edilen plazma jetler ile yapılan deney sonuçları aşağıda sırası ile verilmiştir.

i. saf neon gazının plazma jeti ile yapılan deney sonuçları:

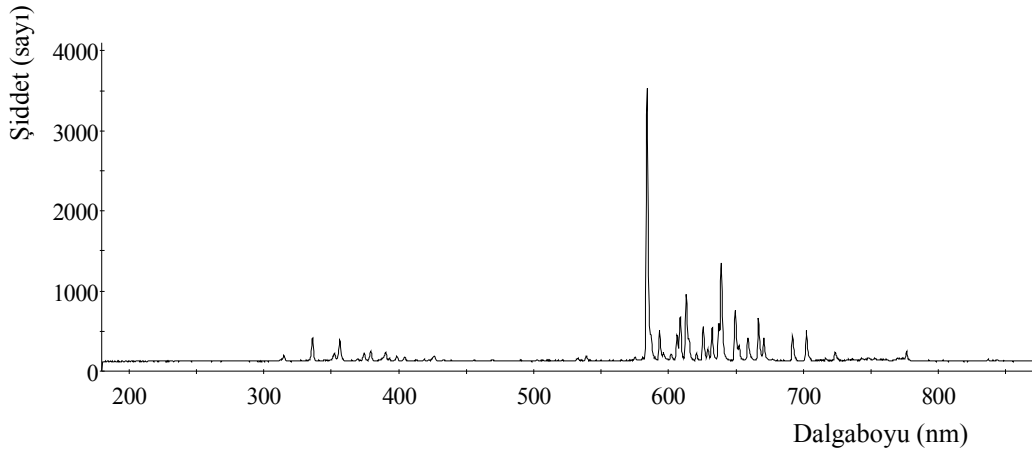
Paslanmaz çelik elektrot kullanılarak yapılan plazma tabancası ile saf Neon gazının 14 Torr, 21 Torr, 30 Torr, 40 Torr vakum odası basınç değerlerinde elde edilen plazma jetinin optik emisyon spektrumları Şekil 5.22 (a,b,c,d) de verilmiştir.



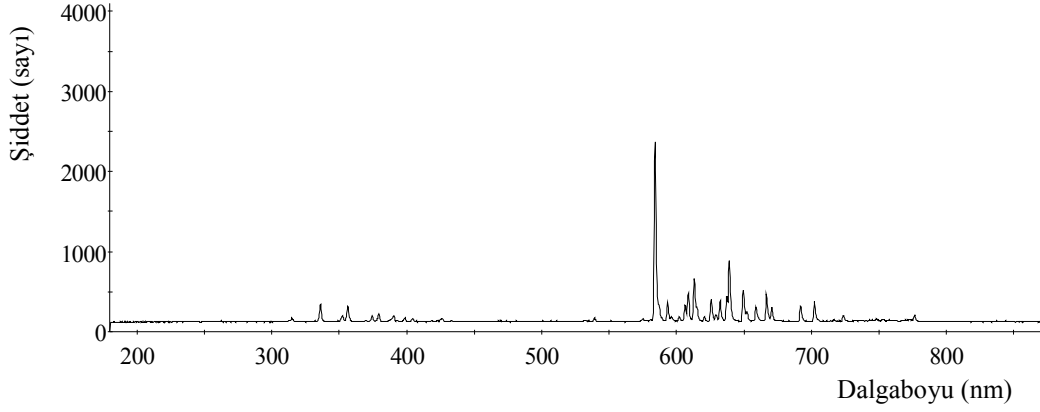
Şekil 5.22 (a) %100 Neon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 14 Torr)



Şekil 5.22 (b) %100 Neon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 21 Torr)



Şekil 5.22 (c) %100 Neon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 30 Torr)



Şekil 5.22 (d) %100 Neon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 40 Torr)

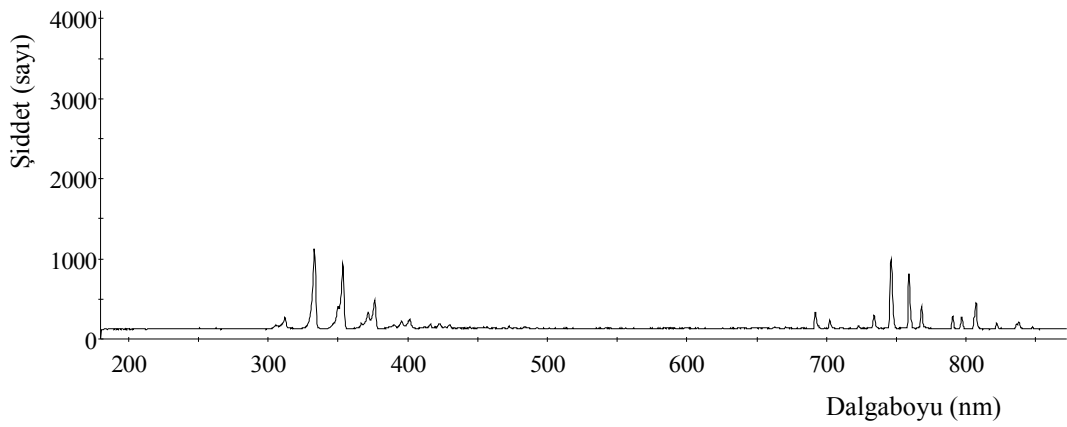
Yukarıda verilen spektrumlar incelendiğinde, çizelge 5.3'de verilen National Institute of Standards and Technology, USA [16]'dan alınan nötral neon atomuna ait dalga boyu değerleri ile bizim elde ettiğimiz dalgaboyu değerlerinin tam bir uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Saf Neon gazının plazma jetinin elde edildiği deneyler esnasında çekilmiş olan dijital fotoğrafı Şekil 5.23'de gösterilmiştir.



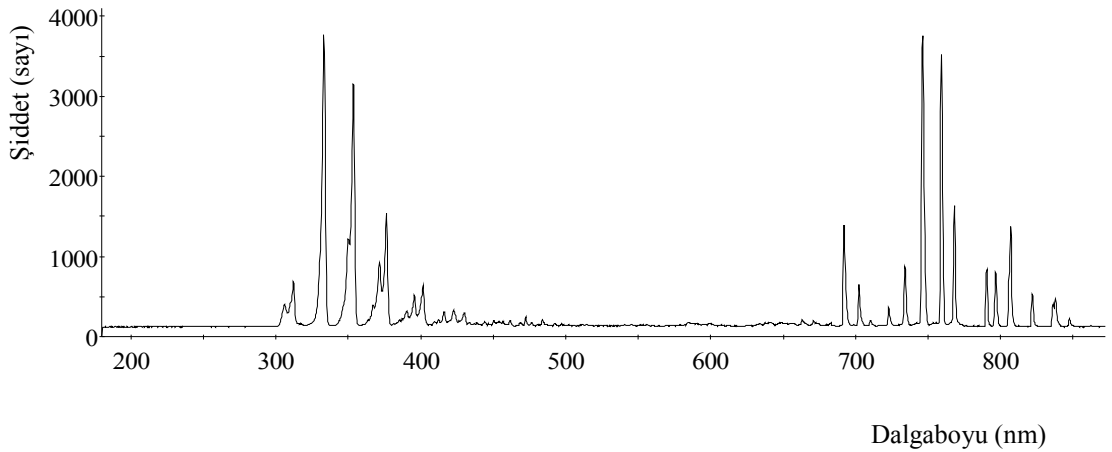
Şekil 5.23 Saf neon gazının plazma jetinin dijital fotoğrafı.

ii. saf argon gazının plazma jeti ile yapılan deney sonuçları:

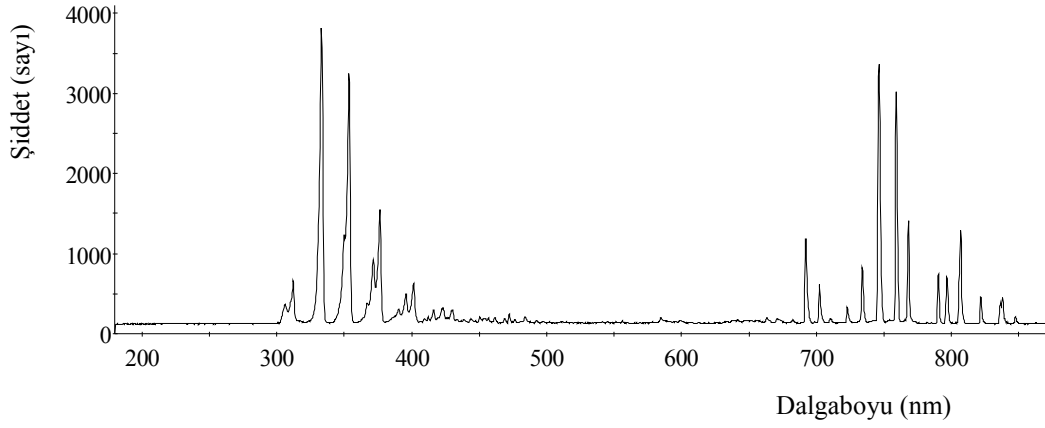
Paslanmaz çelik elektrot kullanılarak yapılan plazma jet ile elde edilen saf Argon gazının değişik basınçlarda elde edilen optik emisyon spektrumları Şekil 5.24 (a,b,c,d) de verilmiştir.



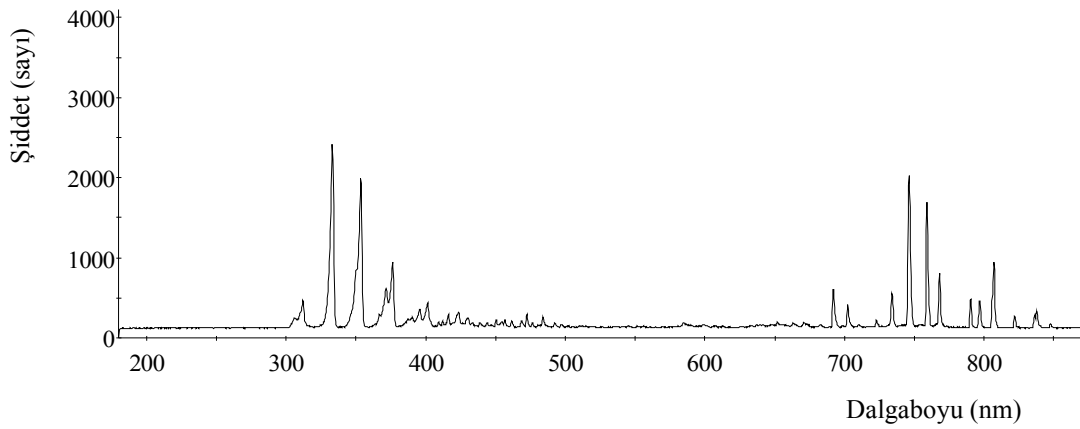
Şekil 5.24 (a) %100 Argon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 10 Torr, I=1210mA, V=260V).



Şekil 5.24 (b) %100 Argon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 20 Torr, I=1400mA, V=300V).



Şekil 5.24 (c) %100 Argon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P= 30 Torr, I=1500mA, V=515V).



Şekil 5.24 (d) %100 Argon'un DC Plazma jet ile alınan optik emisyon spektroskopisi (P=40 Torr, I=1550mA, V=525V).

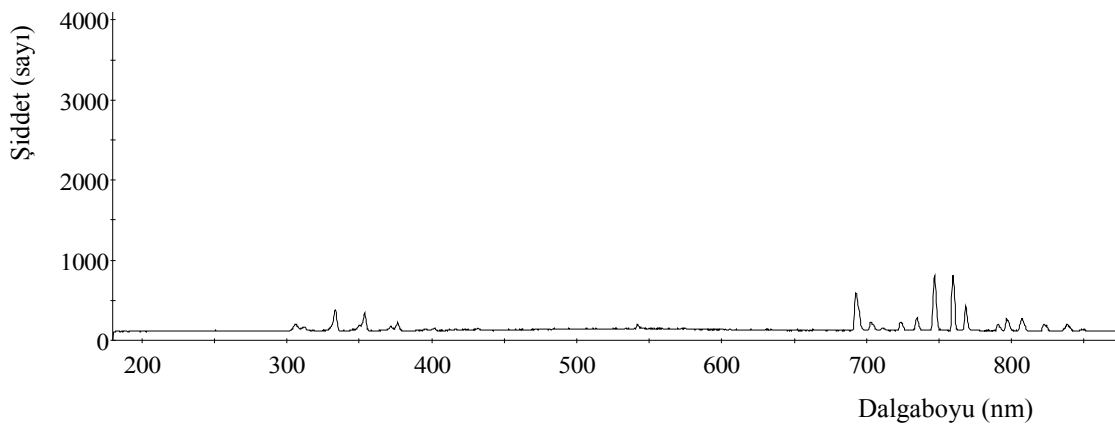
Saf argon gazının paslanmaz çelik düz elektrotlu plazma tabancası kullanılarak elde edilen plazma jetinin deney esnasında çekilmiş olan dijital fotoğrafı Şekil 5.25'de verilmiştir.



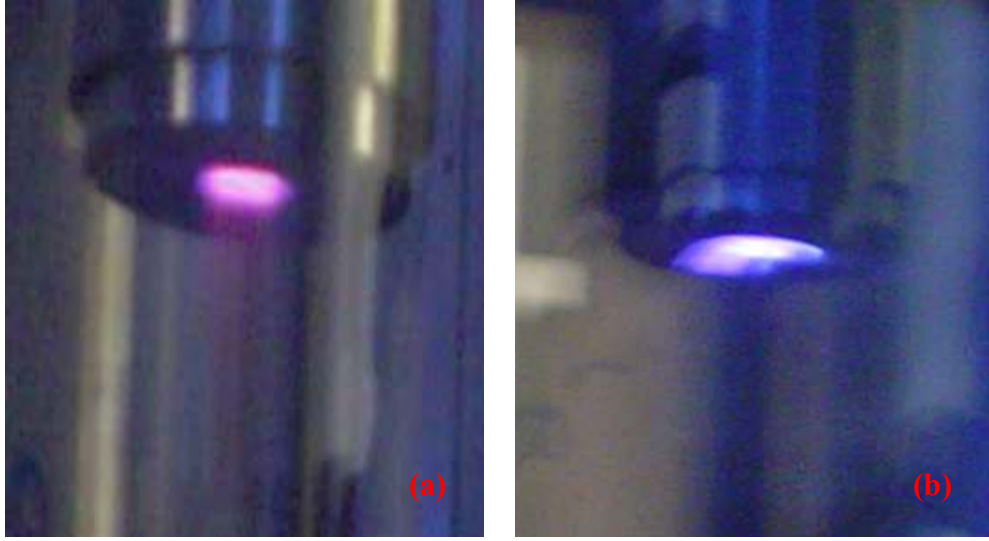
Şekil 5.25 Paslanmaz çelik düz elektron tabancasından elde edilen saf argon gazının plazma jetinin dijital fotoğrafı.

iii. saf argon + saf oksijen gaz karışımının plazma jeti ile yapılan deney sonuçları:

Saf Argon gazı ile Oksijen gazı, %75 Ar + %25 O₂ oranında gaz karışımı oluşturacak şekilde birleştirilmiş ve bu durumda elde edilen plazma jetin optik emisyon spektroskopisi verileri şekil 5. 26 (a)'da verilmiştir.



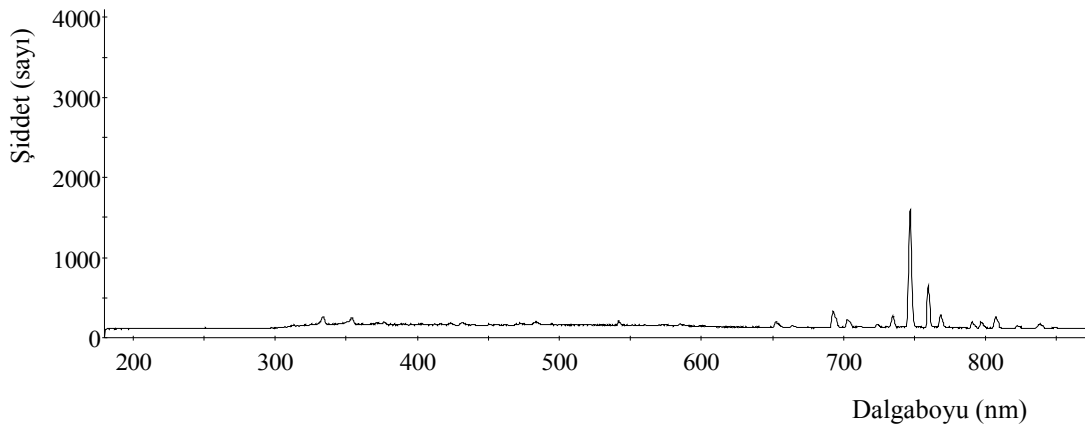
Şekil 5.26 (a) %75 Ar + %25 O₂ gaz karışımının optik emisyon spektromu (P= 30 Torr, I= 650mA, V=300V).



Şekil 5.27 Saf argon gazının (a) ve %75 Ar + %25 O₂ oranında yapılan gaz karışımının (b) plazma jetinin deney esnasında çekilmiş olan fotoğrafı.

iv saf argon + saf hidrojen gaz karışımının plazma jeti ile yapılan deney sonuçları:

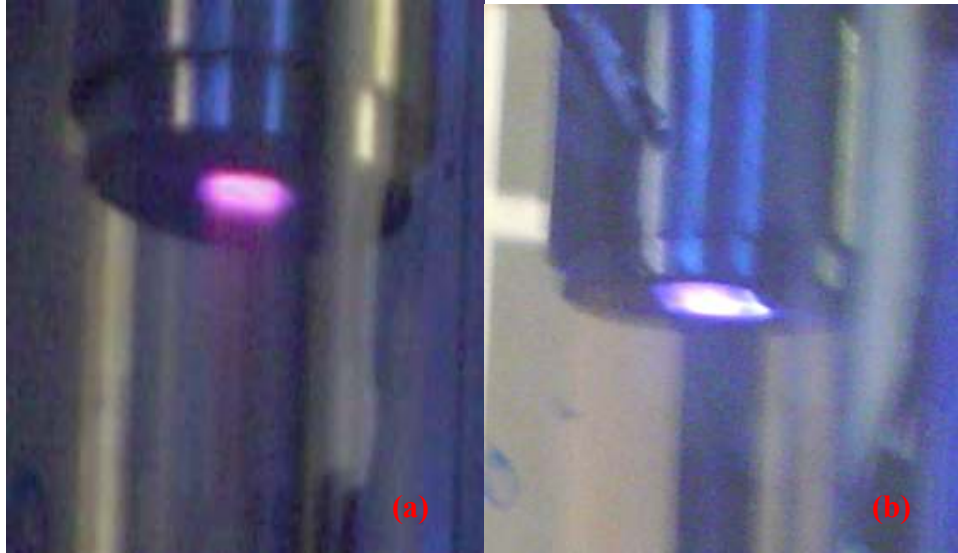
Saf Argon gazı ile hidrojen gazı, %75 Ar + %25 H₂ oranlarında gaz karışımı oluşturacak şekilde birleştirilmiş ve bu durumda elde edilen optik emisyon spektroskopisi verileri Şekil 5. 26 (b)'de verilmiştir.



Şekil 5.26 (b) %75 Ar + %25 H₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumu (P= 30 Torr, I= 650mA, V=300V).

Şekil 5.26 (a) ile saf argon gazının optik emisyon spektrumu (şekil 5.26(b)) karşılaştırıldığında bir takım değişiklikler görülmektedir. Şekil 5.26 (b)'de de açıkça görüldüğü gibi 750.38 nm'ye karşılık gelen elektronik geçiş hariç diğer tüm elektronik geçişlerin bağıl şiddetlerinin saf argon gazının bağıl şiddetlerine göre azaldığı görülmektedir. Bu olay Monokromatizasyon etkisi (M-etkisi) olarak bilinmektedir.

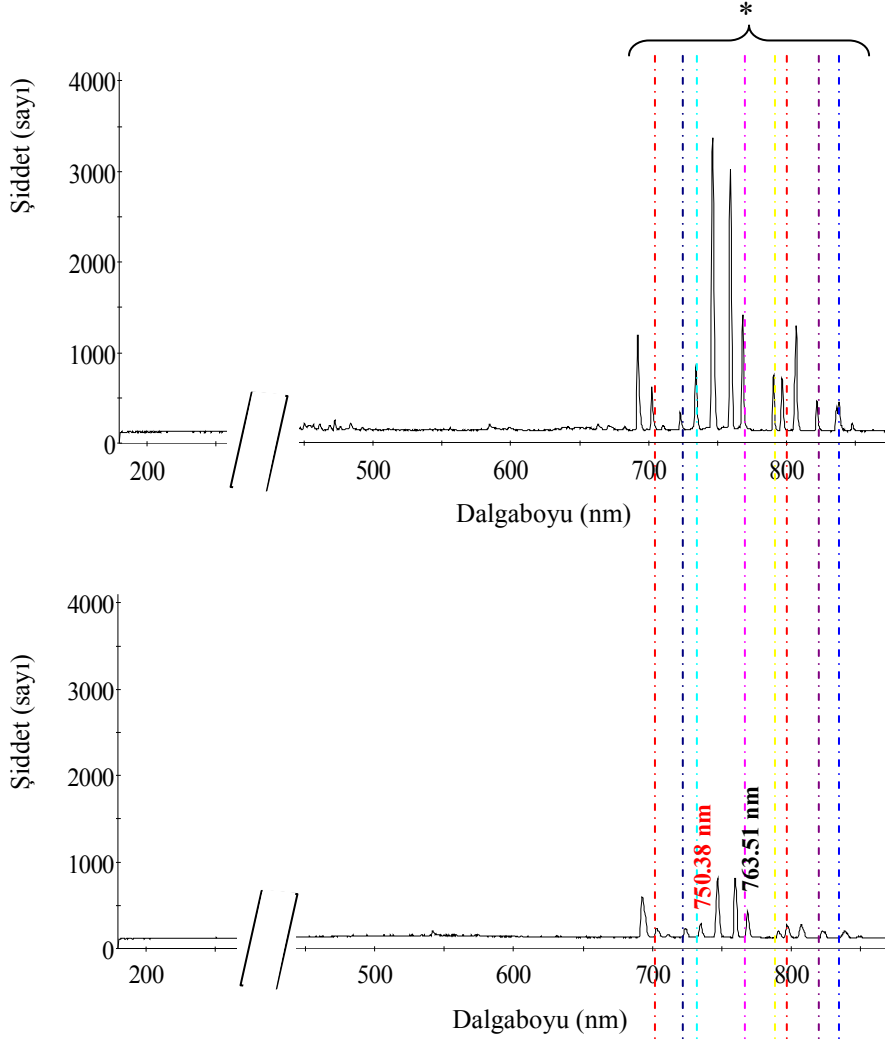
Saf argon gazının %75 Ar + %25 O₂ oranında yapılan gaz karışımının plazma jetinin deney esnasında çekilmiş olan fotoğrafı Şekil 5.27'te ve %75 Ar + %25 H₂ oranında yapılan gaz karışımının plazma jetinin deney esnasında çekilmiş olan fotoğrafı da Şekil 5.28'te verilmiştir.



Şekil 5.28 Saf argon gazının (a) ve %75 Ar + %25 H₂ oranında yapılan gaz karışımının (b) plazma jetinin deney esnasında çekilmiş olan fotoğrafı.

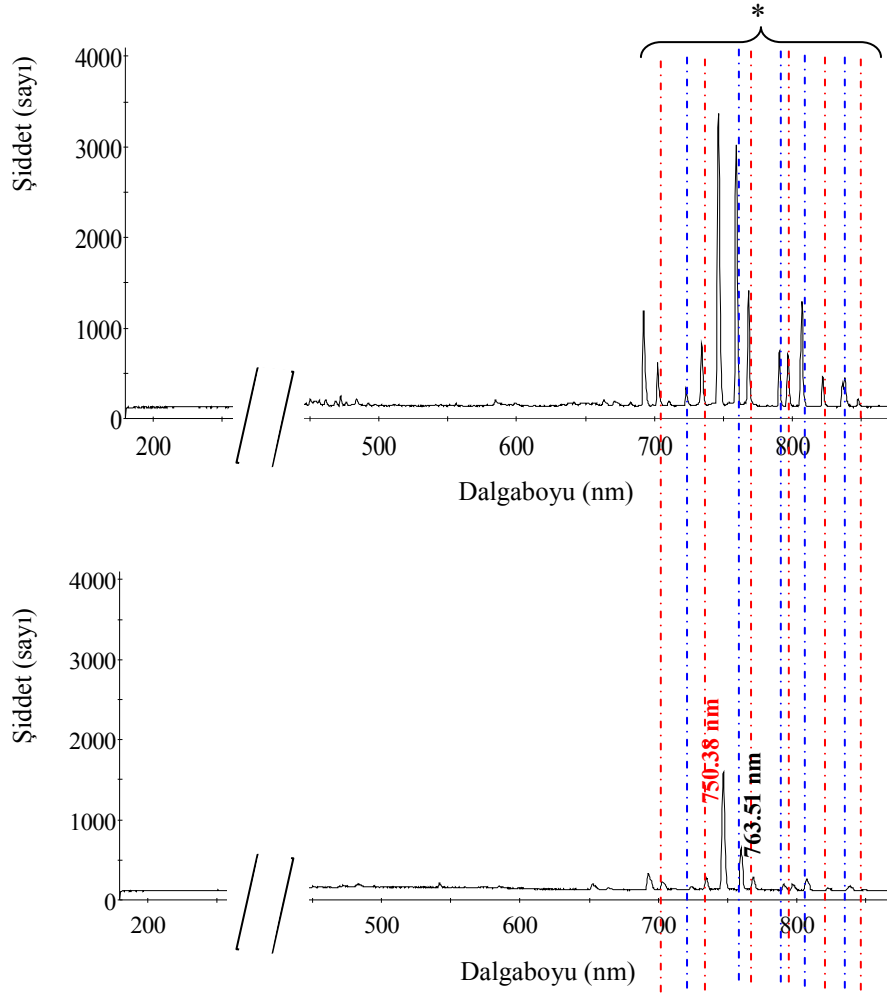
Şekil 5.27 ve şekil 5.28'deki gaz karışımı plazma jetlerinin dijital fotoğrafları karşılaştırıldığında üretilen plazmaların renklerindeki değişiklikler açıkça görülmektedir. Bu renk değişimi M-etkisi nedeniyle gerçekleşmiştir. M-etkisinin sebebi ise iyon – iyon yeniden birleşme reaksiyonudur.

Saf argon gazı spektrumu ile %75 Ar + %25 O₂ gaz karışımının spektrumlarının karşılaştırılması şekil 5.29'da gösterilmiştir.



Şekil 5.29 Saf argon gazı spektrumu ile %75 Ar + %25 O₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması.

Saf argon gazı spektrumu ile %75 Ar + %25 H₂ gaz karışımının spektrumlarının karşılaştırılması şekil 5.30'da gösterilmiştir.

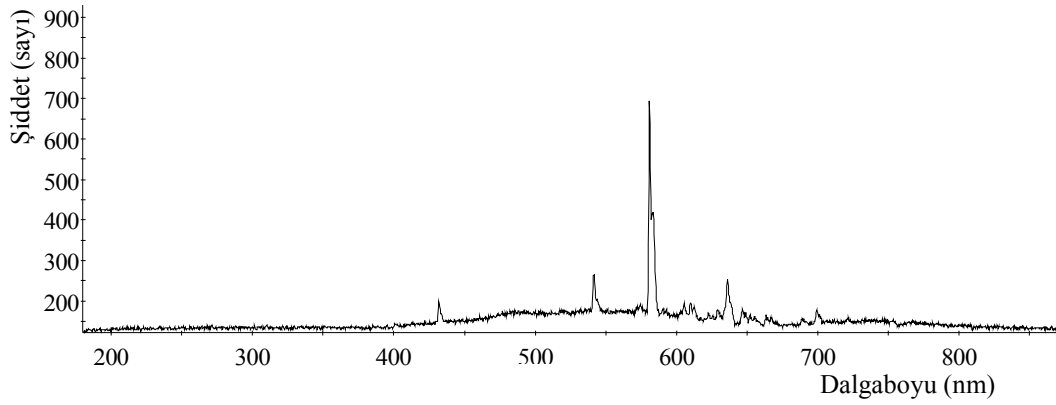


Şekil 5.30 Saf argon gazı spektrumu ile %75 Ar + %25 H₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması.

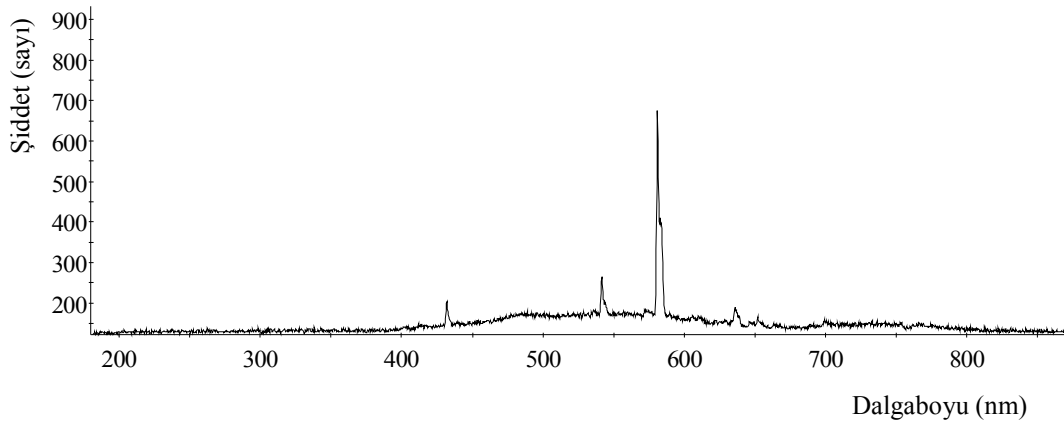
Şekil 5.29 ve 5.30'da elektropozitif gaz olarak argon gazı ve elektronegatif gaz olarak oksijen gazı kullanılmıştır. Kullanılan bu gaz karışımlarının plazma jetlerinin optik emisyon spektrumları incelendiğinde M-etkisi hidrojen gazında daha net olarak görülmektedir. M-etkisi durumunda optik emisyon spektrumunda yüksek şiddetli sadece bir çizgi oluşmaktadır.

v. saf neon + saf hidrojen gaz karışımının plazma jeti ile yapılan deney sonuçları:

Saf Neon gazı ile hidrojen gazı, %75 Ne + %25 H₂, %60 Ne +%40H₂ oranlarında gaz karışımı oluşturacak şekilde birleştirilmiş ve bu durumda elde edilen plazma jetin optik emisyon spektroskopisi verileri Şekil 5. 31 (a ve b)'de verilmiştir.



Şekil 5.31 (a) %75 Ne + %25 H₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektroskopisi
(P=30 Torr, I= 680 mA, V=275V)

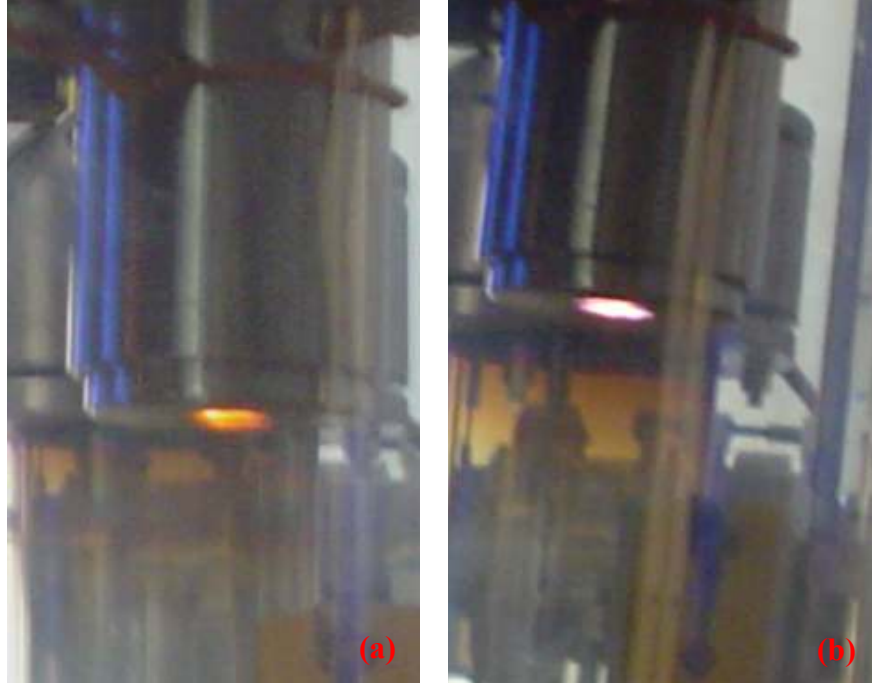


Şekil 5.31 (b) %60 Ne + %40 H₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektroskopisi
(P=30 Torr, I= 760mA, V=195V)

Saf neon gazının paslanmaz çelik elektrot kullanılarak hidrojen gazı ile %75 Ne + %25 H₂ ve %60 Ne + %40 H₂ oranında elde edilen gaz karışımlarının plazma jetinin deney esnasında çekilen dijital fotoğrafları Şekil 5.33 ve Şekil 5.34’de verilmiştir.



Şekil 5.32 Saf neon gazının (a) ve %75 Ne + %25 H₂ oranındaki gaz karışımının (b) plazma jetinin dijital fotoğrafı.

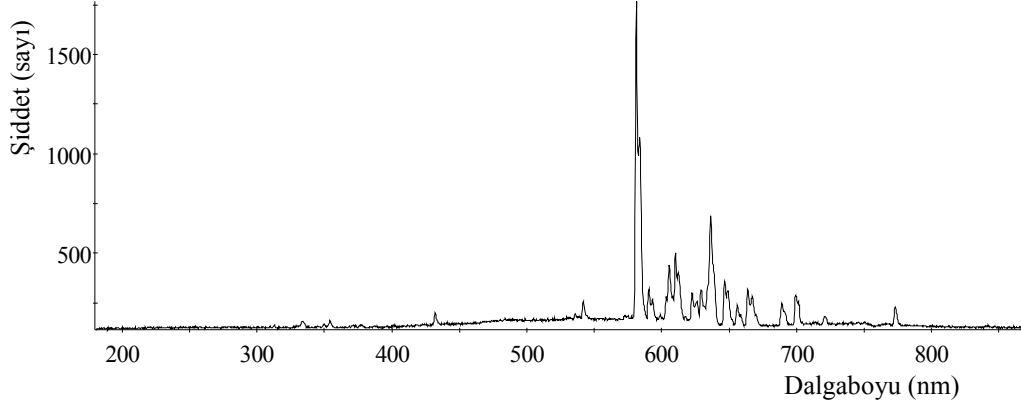


Şekil 5.33 Saf neon gazının (a) ve %60 Ne + %40 H₂ oranındaki gaz karışımının (b) plazma jetinin dijital fotoğrafı.

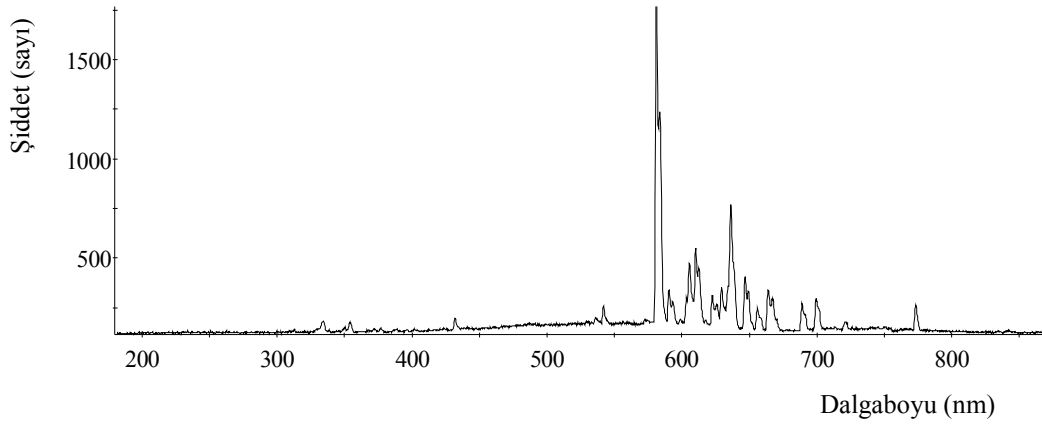
Şekil 5.33 ve şekil 5.34'deki gaz karışımı plazma jetlerinin dijital fotoğrafları, saf neon gazının plazma jetinin dijital fotoğrafı ile karşılaştırıldığında üretilen plazmaların renklerindeki değişiklikler açıkça görülmektedir. Bu renk değişimi M-etkisi nedeniyle gerçekleşmiştir. M-etkisinin sebebi ise iyon – iyon yeniden birleşme reaksiyonudur.

v. saf neon + saf oksijen gaz karışımının plazma jeti ile yapılan deney sonuçları:

Saf Neon gazı ile Oksijen gazı, %75 Ne + %25 O₂ ve %60 Ne + %40 O₂ oranlarında gaz karışımı oluşturacak şekilde birleştirilmiş ve bu durumda elde edilen plazma jetin optik emisyon spektroskopisi verileri şekil 5.32 (a ve b) 'de verilmiştir.

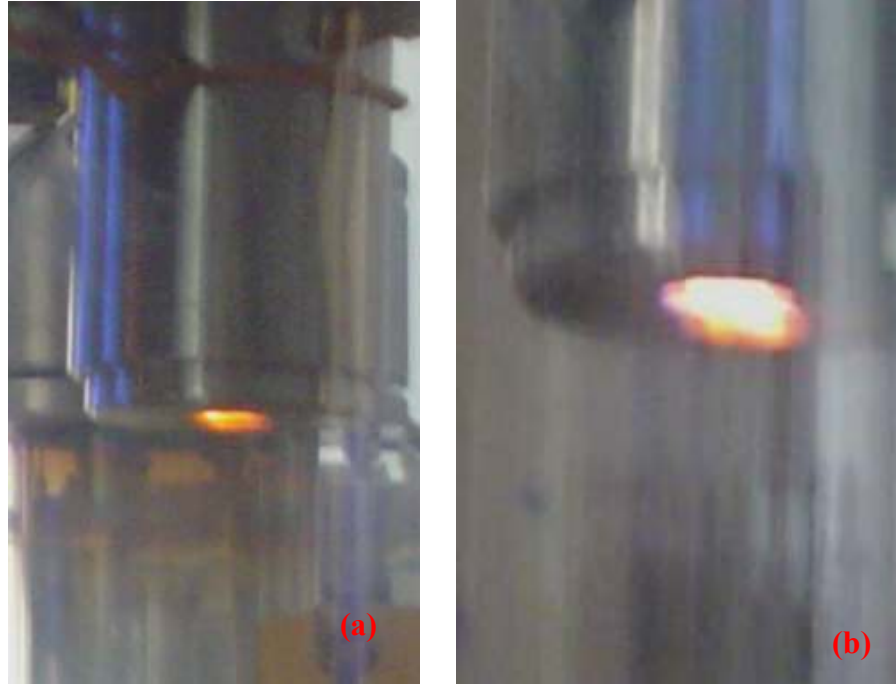


Şekil 5.34 (a) %60 Ne + %40 O₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektroskopisi
(P=30 Torr, I= 810mA, V=385V)

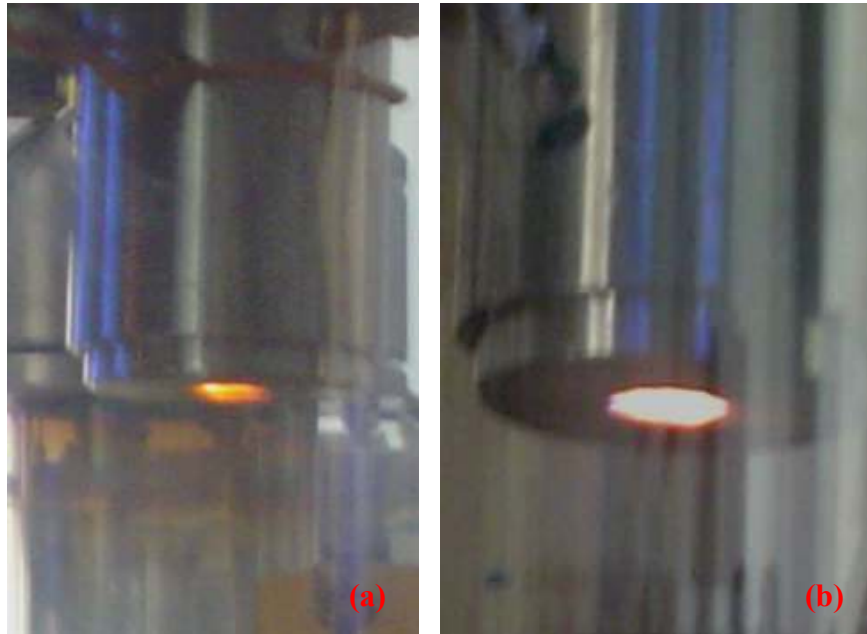


Şekil 5.34 (b) %75 Ne + %25 O₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektroskopisi
(P=30 Torr, I= 950mA, V=420V)

Saf neon gazının paslanmaz çelik elektrot kullanılarak oksijen gazı ile %75 Ne + %25 O₂ ve %60 Ne + %40 O₂ oranında elde edilen gaz karışımlarının plazma jetinin deney esnasında çekilen dijital fotoğrafları Şekil 5.35 ve Şekil 5.36'da verilmiştir.



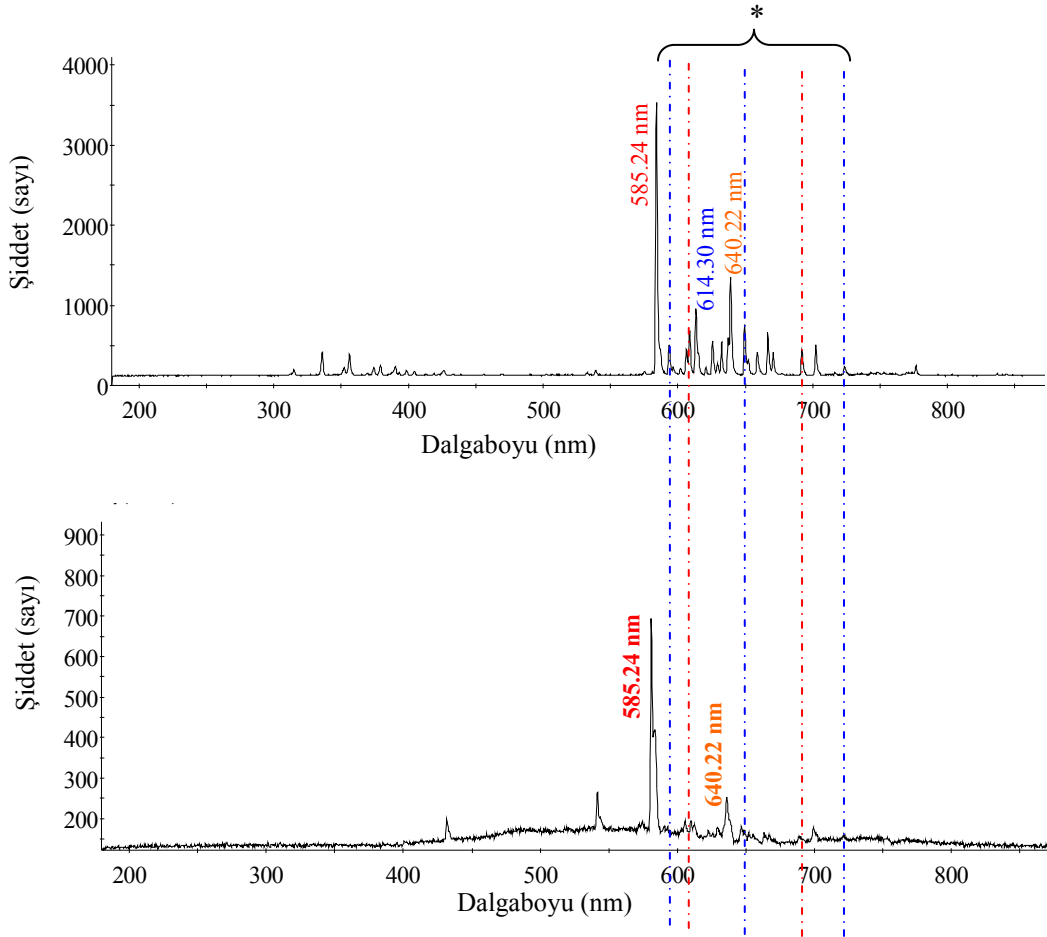
Şekil 5.35 Saf neon gazının (a) ve %75 Ne + %25 O₂ oranındaki gaz karışımının (b) plazma jetinin dijital fotoğrafı.



Şekil 5.36 Saf neon gazının (a) ve %60Ne + %40 O₂ oranındaki gaz karışımının (b) plazma jetinin dijital fotoğrafı.

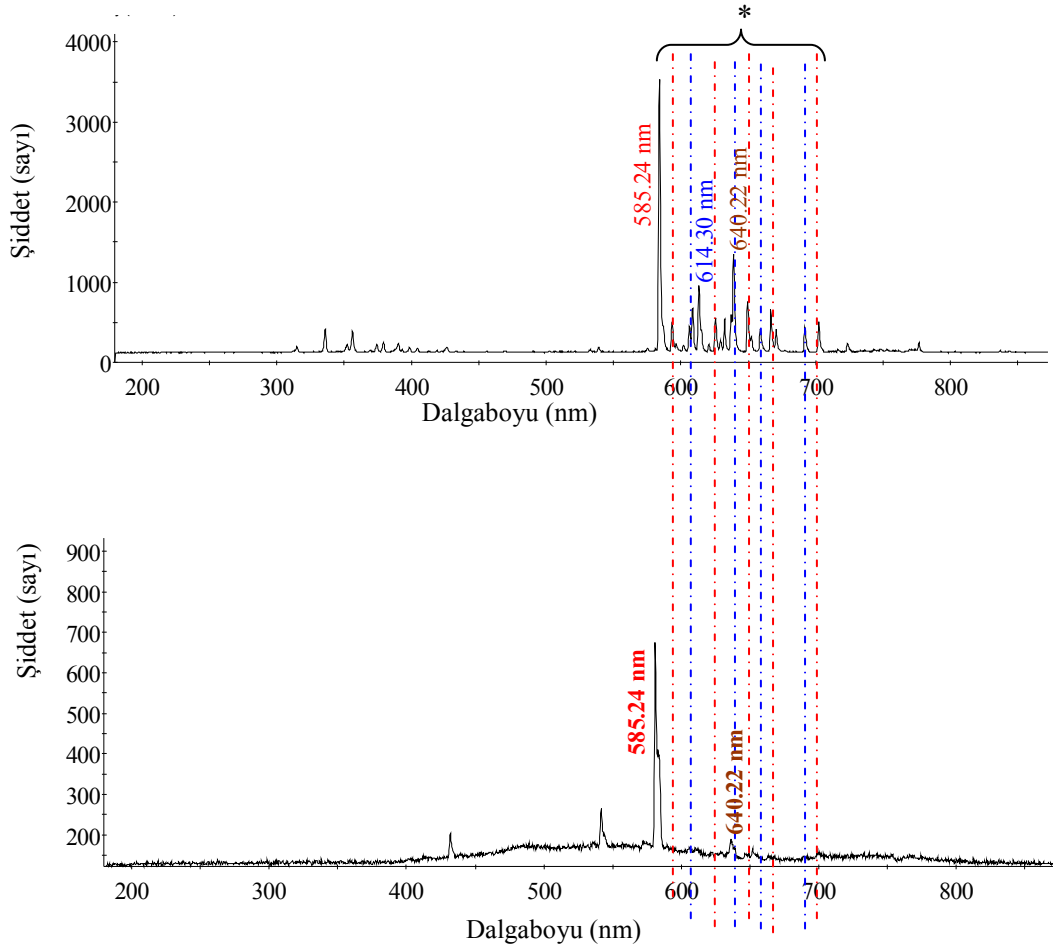
Şekil 5.35 ve şekil 5.36'daki gaz karışımı plazma jetlerinin dijital fotoğrafları, saf neon gazının plazma jetinin dijital fotoğrafı ile karşılaştırıldığında üretilen plazmaların renklerindeki değişiklikler açıkça görülmektedir. Bu renk değişimi M-etkisi nedeniyle gerçekleşmiştir. M-etkisinin sebebi ise iyon – iyon yeniden birleşme reaksiyonudur.

Paslanmaz çelik elektrotlu plazma tabancası ile üretilen saf neon gazı plazma jetinin optik emisyon spektrumu ile %75 Ne + %25 H₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 5.37'de verilmiştir.



Şekil 5.37 Saf neon gazı spektrumu ile %75 Ne + %25 H₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması.

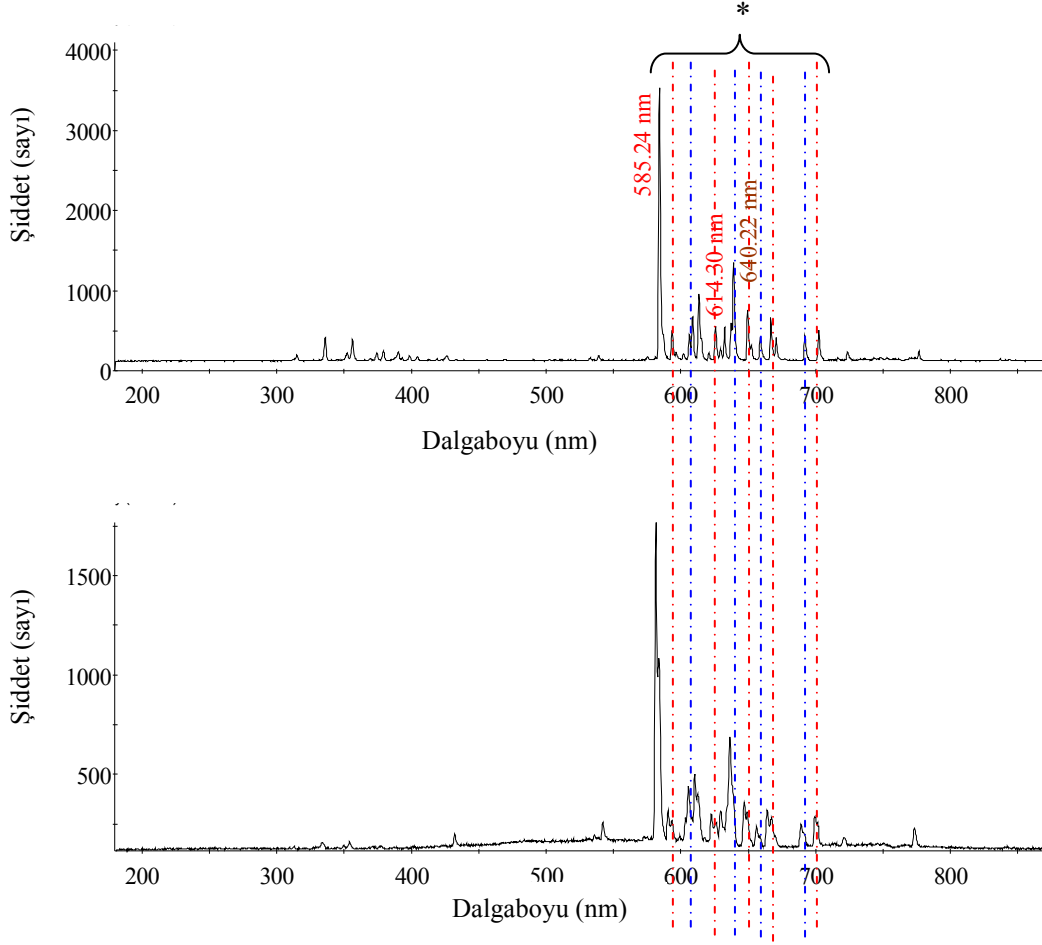
Paslanmaz çelik elektrotlu plazma tabancası ile üretilen saf neon gazı plazma jetinin optik emisyon spektrumu ile %60 Ne + %40 H₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 5.38’de verilmiştir.



Şekil 5.38 Saf neon gazı spektrumu ile %60 Ne + %40 H₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması.

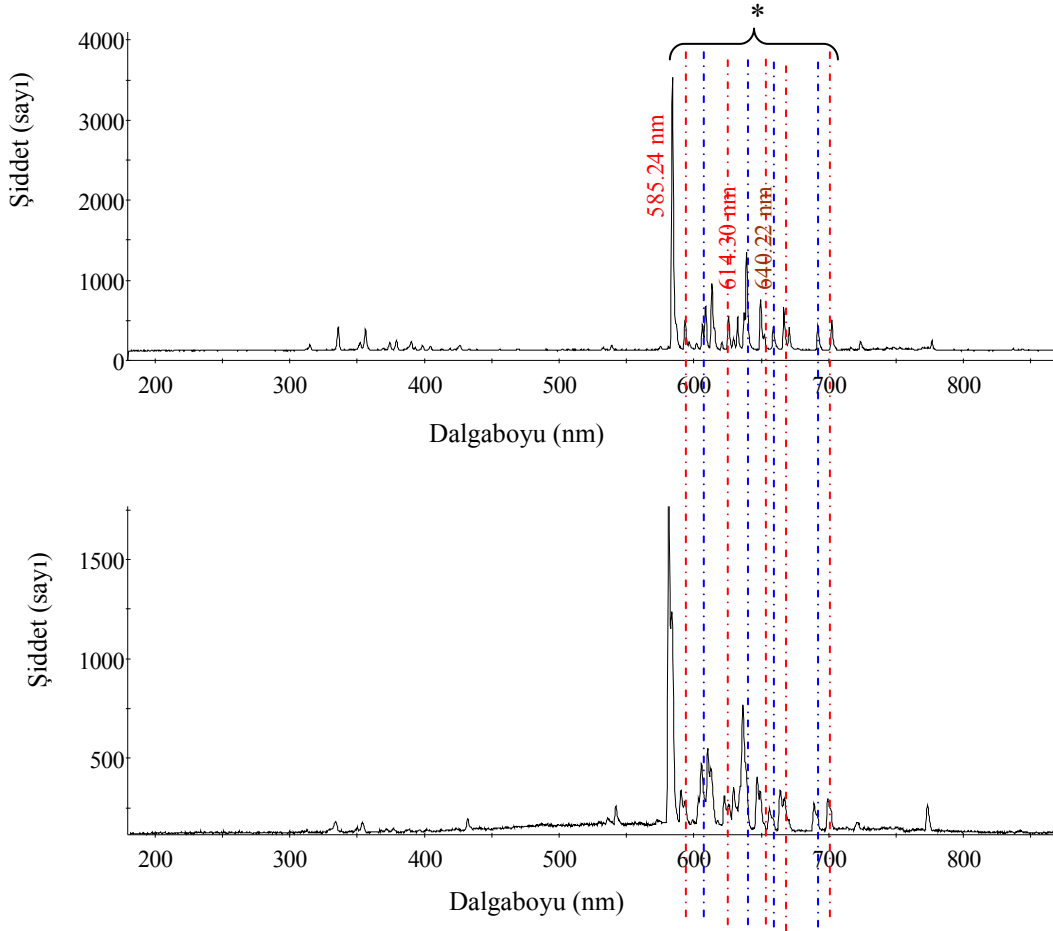
Şekil 5.37 ile saf neon gazının optik emisyon spektrumu karşılaştırıldığında bir takım değişiklikler görülmektedir. Şekil 5.38’de de açıkça görüldüğü gibi 585.24 nm ve 640.22 nm’ye karşılık gelen elektronik geçiş hariç diğer tüm elektronik geçişlerin bağlı şiddetlerinin saf neon gazının bağlı şiddetlerine göre azaldığı görülmektedir. Bu olay Monokromatizasyon etkisi (M-etkisi) olarak bilinmektedir.

Paslanmaz çelik elektrotlu plazma tabancası ile üretilen saf neon gazı plazma jetinin optik emisyon spektrumu ile %60 Ne + %40 O₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 5.39'da verilmiştir.



Şekil 5.39 Saf neon gazı spektrumu ile %60 Ne + %40 O₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması.

Paslanmaz çelik elektrotlu plazma tabancası ile üretilen saf neon gazı plazma jetinin optik emisyon spektrumu ile %75 Ne + %25 O₂ gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 5.40'da verilmiştir.



Şekil 5.40 Saf neon gazı spektrumu ile %75 Ne + %25 O₂ gaz karışımının optik emisyon spektrumlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.39 ve 5.40'da elektropozitif gaz olarak neon gazı ve elektronegatif gaz olarak oksijen gazı kullanıldığı gaz karışımlarının plazma jetinin optik emisyon spektrumları verilmiştir. Kullanılan bu gaz karışımlarının plazma jetlerinin optik

emisyon spektrumları incelendiğinde M-etkisinin oksijen gazı ile kıyaslandığında hidrojen gazında daha net olarak görüldüğü tespit edilmiştir.

6. BÖLÜM

SONUÇ VE TARTIŞMA

Yüksek veya orta değerlerdeki basınçlarda gaz deşarjları (saf gaz veya gaz karışımı), materyal veya yüzey işlemlerinin plazma ile işlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek basınç ve yüksek voltajlarda, elektronlar, atomlar, moleküller ve ağır parçacıkların reaktif çarpışmalarının bir sonucu olarak bu türlerin bir çeşidi olan reaktif atomlar veya moleküller, radikaller, atom veya moleküllerin uyarılmış ve iyonize türleri plazma halinde görülür. Plazma hali büyük bir farkla bilinen kimyasal halden çok daha farklıdır.

Plazma kimyasal işlemlerde, reaksiyon sonundaki ilgili materyali sağlayan türleri arttırmak için ve aynı zamanda yeni materyal üretmeksizin enerjiyi tüketen reaksiyonu mümkün olduğu kadar hızlı bitirmek amacıyla plazma halinde parçacıkların seviyelerini kontrol etmek gerekir.

Günümüzde plazmalar değişik teknolojiler geliştirilerek imalatta, tıpta, ışıklandırmada, televizyonlarda, enerji üretmekte (nükleer) ve daha birçok teknolojide kullanılmaktadır [4,5]. Bu çalışmada gaz deşarj plazmalarının bir uygulaması olan düşük basınçlı plazma jet üretimi yapılmıştır. Üretilen plazma jet, sanayide kesme işleminde kullanılan plazma jetler ile karşılaştırıldığında elde edilen plazma jet oldukça incedir. Gaz karışımları plazmaları üretilirken bir elektronegatif (H_2 yada O_2) ve elektropozitif (Neon, Argon) gaz karışımı kullanılmıştır. Üretilen gaz karışımı plazmalarının optik emisyon spektrumlarında ise monokromatizasyon (M-etkisi) gözlenmiştir.

Elektropozitif argon gazı ile, %75 Ar+%25 O_2 ve %75 Ar+%25 H_2 şeklinde gaz karışımı plazmasının plazma jeti oluşturulmuştur. Elde edilen plazma jetin optik emisyon spektroskopisi incelendiğinde, hidrojen ilavesi ile yapılan %75 Ar+%25 H_2 gaz karışımının plazma jetinde Monokromatizasyon etkisi (m-etkisi)'nin daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca oluşturulan plazma jetlerin deney esnasında dijital

fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen bu dijital fotoğraflar, saf argon gazının plazma jetinin dijital fotoğrafları ile karşılaştırıldığında renk farklılıkları olduğu görülmüştür.

Argon gazı ile %75 Ar+%25 H₂ oranında yapılan gaz karışımının plazma jetinin optik emisyon spektrumu incelendiğinde, 750.38 nm'ye karşılık gelen elektronik geçiş hariç diğer tüm elektronik geçişlerin bağıl şiddetlerinin saf argon gazının bağıl şiddetlerine göre azaldığı görülmektedir. Bu olay Monokromatizasyon etkisi (M-etkisi) olarak bilinmektedir. Elde edilen sonuçlarda yalnızca kısmi olarak M-etkisi görülmüştür. Daha sonraki yapılacak olan çalışmalar bu durumu açıklayacaktır.

Elektropozitif neon gazı ile elektronegatif oksijen gazı arasında, %75 Ne+%25 O₂, % 60 Ne +%40 O₂ şeklinde ve elektronegatif hidrojen gazı %75 Ne +%25 H₂ , %60 Ne +%40 H₂ şeklinde gaz karışımlarının plazma jeti oluşturulmuştur. Elde edilen plazma jetin optik emisyon spektroskopisi incelendiğinde, hidrojen ilavesi ile yapılan gaz karışımlarının plazma jetinde Monokromatizasyon etkisi (M-etkisi)'nin daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca oluşturulan plazma jetlerin deney esnasında dijital fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen bu dijital fotoğraflar, saf neon gazının plazma jetinin dijital fotoğrafları ile karşılaştırıldığında renk farklılıkları olduğu görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, Ovidius University, Constanta / Romania ve Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir / Türkiye arasında imzalanmış olan işbirliği anlaşmasına göre bilinen bir bilimsel dergide yayınlanacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Roth, J. R., 1995, Industrial Plasma Engineering, IOP Publishing.
- [2] Raizer Y., 1991, Gas Discharge Physics.
- [3] A. Erkin Kutlu, Michele Mono, Richardo Bini, Şubat 2005, Plazma ile kesme Moduna Genel Bir Bakış, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 46, Sayı 541,.
- [4] R.Suchentrunk, G.Staudigl, D. Jonke, H.J. Fuesser, 1997, "Industrial Applications for Plasma Processes - Examples and Trends", Surface Coatings Technology, Vol 97, s.1-9
- [5] www.plasmas.org
- [6] Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Spektroskopi Konferansı, Trabzon, 1988
- [7] Aygün, E. Zengin, M., 1998, Atom molekül Fiziği
- [8] Gündüz, E., 1999, Modern Fiziğe Giriş 3.Baskı,İzmir
- [9] Herzberg,G.1944, Atomic Spectra&Atomic Structure”, New York Dover Publications.
- [10] Banwell, 1996, Fundamentals of Molecular Spectroscopy
- [11] Grill,A., 1993, Cold Plasma in Materials Fabrication, IEEE Pres.
- [12] Marr,G.V. , 1968, Plasma Spectroscopy”, Elsevier Publishing Company

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [13] www.rwth-aachen.de
- [14] <http://www.spectroscopy.net>
- [15] McDaniel, E.W. , 1964, Collision phenomena in ionized gases”, Wiley Sons Inc.
- [16] [http:// www.nist.gov](http://www.nist.gov)
- [17] Musa G., Nastase L., Trache M., Spectral investigation of an ac plasma display, Institute of Physics and Technology of Radiation Devices, **1980**, p59-66.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Musa G., Popescu A., Baltog A., Mustata I., Lungu CP, M Effect-the monochromatization effect of Neon Radiation at wavelenght 585.3 nm in various types of discharge in Ne+Xe+H₂ mixtures, Romanian Report in Physics, Vol46,No7-8, **1994**, p597-599.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [23] 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**, p194-195.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Musa,G. Baltog, A., Bajeu G., Lungu C.P., Raicinu E., Borcoman I., Ricard A., Infulence 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.
- [28] 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.
- [29] 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.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [30] Musa G., A.Baltog, Ciobotaru LC, Chiru P., Cudalbu B., PDP type discharge barrier as an efficient excimer ultraviolet radiation source, ESCAMPIG Conference, Grenoble, France, 14-18 June, Vol I, **2002**, p53.
- [31] Musa, G., Baltog A. , Polar recombination as the main process explaining M-effect, Contrib. Plasma Phys. **2003**,
- [32] Musa G. Ciobotaru CL., Baltog A., The M-Effect in Argon-Hydrogen Gas Mixtures, Journal of Optoelectronic and Advanced Materials, Vol: 6, No: 2, **2004**, p459-464.
- [33] 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, Vol 6,No 4, **2004**, p 1339-2344.
- [34] G. MUSA, R. VLADOIU, N. EKEM, M. I. CENIK, S. PAT, M. Z. BALBAG, Argon emission spectra change at molecular gas addition, Journal of Optoelectronic and Advanced Materials, Vol: 9, No: 4, **2004**, p894-896.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Mücahit İlker CENİK

Doğum Yeri, Tarihi: Erbaa, 20.09.1977

Adres bilgileri:

İş adresi: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Ed. Fak. Fizik Bölümü

26480-Eskişehir

E-posta: icenik@ogu.edu.tr

Eğitim Bilgileri:

Doktora: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

(2001-....)

Yüksek Lisans: Dumlupınar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

(1998-2001)

Lisans: Atatürk Üniversitesi

Fen Edebiyat Fakültesi

Fizik Bölümü

(1994-1998)

İş Denevimi:

- Dumlupınar Üniversitesi

Fen Ed. Fak.Fizik Bölümü, Araştırma Görevlisi

(1999-2002), KÜTAHYA

- Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Ed. Fak. Fizik Bölümü, Araştırma Görevlisi

(2002-....), ESKİŞEHİR

Bilimsel Çalışmalar:**I. Uluslar Arası Hakemli Dergilerdeki Makaleler (SCI-Index)**

- 1- 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
- 2- M.Z.Balbag, S.Pat, M.I.Cenik, T.Akan, N.Ekem, G.Musa, “**Boron evaporation and related difficulties**”, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol.9, No:4, April **2007**, p.858-861.
- 3- G.Musa, N.Ekem, S.Pat, M.Z.Balbag, M.I.Cenik, T.Akan, V.Ciupina, R.Vladoiu, M.Tanisli, O.Ozen, “**Carbon synthesis in methane plasma**”, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol.9, No:4, April **2007**, p.871-874.
- 4- G.Musa, R.Vladoiu, N.Ekem, M.I.Cenik, S.Pat, M.Z.Balbag, “**Argon emission spectra change at molecular gas addition**”, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol.9, No:4, April **2007**, p.894-896.
- 5- S. Pat, N. Ekem, Z. Balbag, M. Cenik, R. Vladoiu, G. Musa, “**M-Effect generating of two-spectral lines**”, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol.10, No:1, January **2008**, p.229-231.

II. Uluslar arası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- 1- Geavit Musa, Naci Ekem, Tamer Akan, Suat Pat, M.Zafer Balbag, M.Ilker Cenik, Rodica Vladoiu, Murat Tanişli and Ozlem Ozen, “**Investigation of carbon produced by methane pulsed discharge**”, Phys.stat.sol.(c), No2, 521-523 (2007), DOI 10.1002/pssc.200673313
- 2- T.Akan, N.Ekem, S.Demirkol, S.Pat,M.Z.Balbag, **M.I.Cenik**, H.Deligoz, G.Musa,

“Studies on Ag-Al₂O₃ Nao-Layer Composite produced by the Thermionic Vacuum Arc Method (TVA)”, 2007 American Institute of Physics, p.695, PACS: 52.75.Xx, 52.80Vp,61.46.-w

3- N.Ekem, T.Akan, S.Pat, M.Z.Balbag, **M.I.Cenik**, E.Karakas, R.Vladoiu, G.Musa, **“Investigation of Properties of Boron Thin Film Deposited By Thermionic Vacuum Arc Technology”**, 2007 American Institute of Physics, p699, PACS:52.75.Xx.52.80Vp

4- 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”**, 2007 American Institute of Physics , p.691, PACS: 52.77.-j, 82.33.Xj

5- G.Musa, C.C.Surdu-Bob, R.Vladoiu, N.Ekem, **M.I.Cenik**, S.Pat, M.Z.Balbag, T.Akan, **“Emission Spectra of Two Interacting Plasmas”**, 2007 American Institute of Physics , p.693, PACS: 52.40.-w, 82.33.Xj

6- G.Musa, N.Ekem, T.Akan, S.Pat, M.Z.Balbag, **M.I.Cenik**, V.Ciupina, R.Vladoiu, M.Tanışlı, O.Ozen, **”Investigation of the Carbon Produced by Methane Pulsed Discharge”**, 2007 American Institute of Physics , p. 692, PACS:52.77.Fv, 81.05.Uw, 52.77.-j

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

1- N.Ekem, T.Akan, S.Pat, U.G.Issever, M.Z.Balbag, **M.I.Cenik**, R.Vladoiu, **O.Ozen**, E.Killi, G.Musa, **“Full synthesis of Carbon from a Pulsed High Voltage Discharge in Flowing Methane Gas”**, **The 5th International Conference on Global Research and Education, 25-28 September 2006, Iasi, Romania Proceedings VolumeII**

2- G.Musa, N.Ekem, M.Z.Balbag, S.Pat, **M.I.Cenik**, R.Vladoiu, T.Akan, **E.Karakas**, **“Thermionic Vacuum Arc Technology Use for Evaporation of Boron”**,

The 5th International Conference on Global Research and Education, 25-28 September 2006, Iasi, Romania Proceedings VolumeII

IV. Uluslar arası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler

- 1- 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
- 2- 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
- 3- 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
- 4- 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, 2005, Constanta, Romania
- 5- 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, 2005, Constanta, Romania
- 6- 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, 2005, Constanta, Romania
- 7- 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, 2005, Constanta, Romania
- 8- 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, 2005, Constanta, Romania
- 9- 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
- 10- 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
- 11- 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, Muğla, Türkiye
- 12- 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

- 13- 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
- 15- 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-August22-26, 2006, İstanbul,Türkiye
- 16- 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-August22-26, 2006, İstanbul,Türkiye
- 17- 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-August22-26, 2006, İstanbul,Türkiye
- 18- 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-August22-26, 2006, İstanbul,Türkiye
- 19- 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, 2006, İstanbul,Türkiye
- 20- E.KARADEMIR, 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 August-1 September 2006,Bodrum, Turkey

- 21- N.Ekem, S.Pat, M.Z.Balbag, M.I.Cenik, R.Vladoiu, G.Musa, **“Carbon Deposition by Using TVA”** Synthesis and Analysis of Hard Carbon Coatings using the Thermionic Vacuum Arc, p.242,10.12.2006-12.12.2006, University Duisburg-Essen.
- 22- N.Ekem, T.Akan, S.Pat, M.Z.Balbag, M.I.Cenik, H.Deligöz, S.Demirkol, R.Vladoiu,G.Musa, **“Multi layer composite (Ag-Al₂O₃) production of TVA”**, Synthesis and Analysis of Hard Carbon Coatings using the Thermionic Vacuum Arc, p.243,10.12.2006-12.12.2006, University Duisburg-Essen.

V. Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

1. S.PAT, N.EKEM, T.AKAN, Ö.ÖZEN, E.KILLI, U.G.ISSEVER, M.Z. BALBAG, M.I.CENIK, G.MUSA, **“Atmosferik Basınc Pulslu Deşarj (PD) Kullanılan Karbon Üretimi”**, Geleneksel Erzurum Fizik Günleri-II, 25-28 Mayıs 2005, Erzurum
2. N.EKEM, S.PAT, İ.CENİK, H.ÖZÇELİK, G.MUSA, **“Vakum Odasının Merkezindeki Bir Noktadaki Kaçağın Deneysel Basınc Gradyentinin Belirlenmesi”**, TFD-22, 14-17 Eylül,2004, Bodrum,Türkiye
3. G.MUSA, N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, M.Z. BALBAG, U.G. ISSEVER, M.I.CENIK, **“Termiyonik Vakum Ark (TVA) Teknolojisini Kullanarak Bor’un Plazma ile İşlenmesi”**, I.Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, 28-29 Nisan 2005 Ankara
4. 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

VI. Projeler

VI.1. Yurt içi destekli

1. “Yüksek Erime Sıcaklığına Sahip Materyallerin Plazma İle İşlenmesi Ve Yüzey Kaplama Teknolojisinin Geliştirilmesi” Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Araştırma Projeleri Komisyonu, 2005 (Devam Ediyor)