



**HELİYUM PLAZMA ETKİSİ ALTINDA ZnSe DEDEKTÖRÜNÜN
OPTOELEKTRONİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Seren Elifcan KIZIŞAR AKSİN

**YÜKSEK LİSANS
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Seren Elifcan KIZIŞAR AKSİN

25/01/2023

HELYUM PLAZMA ETKİSİ ALTINDA ZnSe DEDEKTÖRÜNÜN OPTOELEKTRONİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Seren Elifcan KIZIŞAR AKSIN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Kızılötesi görüntü çevirici sistemlerde bulunan mikro-deşarj yapısı ZnSe yarıiletkeni He gazı kullanılarak oluşturulmuştur. Mikro-deşarj bölgesindeki farklı basınçlarda (320-900 Torr), farklı elektrot çaplarında ($D=9, 12, 18$ mm), farklı elektrotlar arası mesafelerde ($d=50, 100, 160, 330$ μm) ve farklı aydınlatma seviyelerinde ($K<A1<A3$) ZnSe yarı-iletkeninin göstermiş olduğu akım-voltaj karakteristiği incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda yüksek basınç seviyelerinde elektriksel kırılmanın daha geç gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Mikrodeşarj bölmesindeki ışıma şiddetinin ise $D=18$ mm elektrot çapında ve yüksek basınç değerlerinde elde dildiği görülmüştür. Düşük elektrotlar arası mesafe ve yüksek basınçlarda kararsızlık tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 20219

Anahtar Kelimeler : Plazma Fiziği, Mikro-deşarj, ZnSe, He, kırılma

Sayfa Adedi : 89

Danışman : Prof. Dr. Hatice Hilal KURT

INVESTIGATION OF OPTOELECTRONIC PROPERTIES OF ZnSe DETECTOR
UNDER HELIUM PLASMA EFFECT

(M. Sc. Thesis)

Seren Elifcan KIZISAR AKSIN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

The micro-discharge structure in infrared image converter systems was created using ZnSe semiconductor and He gas. At different pressures (320-900 Torr) in the micro-discharge zone, different electrode diameters ($D=9, 12, 18$ mm), different inter-electrode distances ($d=50, 100, 160, 330$ μm) and different illumination levels ($K < A1 < A3$). The current-voltage characteristics of the ZnSe semiconductor were investigated. As a result of the studies, it has been observed that the electrical breakdown occurs later at high pressure levels. It was observed that the radiation intensity in the micro-discharge chamber was obtained at $D=18$ mm electrode diameter and high-pressure values. Instability was detected at low electrode spacing and high pressures.

Science Code : 20219

Key Words : Plasma physics, micro-discharge, ZnSe, He, breakdown

Page Number : 89

Supervisor : Prof. Dr. Hatice Hilal KURT

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması süresince beni her zaman anlayışla karşılayan ve desteğini her daim hissettiren danışmanım Sn. Hatice Hilal YÜCEL hocama canı gönülden teşekkür ederim.

Bu süreçte maddi manevi desteğini esirgemeyen annem Gül KIZIŞAR, babam Ayhan KIZIŞAR ve kardeşim Altar KIZIŞAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez hazırlık sürecinde beni destekleyen ve teşvik eden Roketsan ailesine, yöneticim Sn. Barış AKGÜN ve müdürüm Sn. Olcay ELMALI MEÇO'ya teşekkürlerimi sunarım.

Karşılaştığım zorluklar karşısında vazgeçmemem için beni her zaman teşvik eden ve arkamda olan sevgili eşim Alp AKSİN'a minnettarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. MADDENİN DÖRDÜNCÜ HALİ: PLAZMA.....	3
2.1. Plazma Parametreleri	5
2.1.1. Debye uzunluğu.....	5
2.1.2. Debye küresi içerisindeki parçacık yoğunluğu.....	10
2.1.3. Plazma frekansı	11
2.2. Plazma İçerisindeki Prosesler	14
2.2.1. Saçılma: $e + A \rightarrow A + e$	15
2.2.2. Uyarılma: $e + A \rightarrow A^* + e$	15
2.2.3. İyonlaşma: $e + A \rightarrow A^+ + 2e$	15
2.2.4. Yeniden birleşme: $e + A \rightarrow A + (h\nu)$	15
2.3. Plazma Türleri	15
3. PLAZMA OLUŞTURMA YÖNTEMİ: ELEKTRİK DEŞARJ	19
3.1. Deşarj Mekanizması	19
3.2. Glow Deşarj	23
3.2.1. DC glow deşarj.....	23

	Sayfa
4. ZnSe YARIİLETKEN	27
5. DENEY DÜZENEGİ	31
5.1. Deney Konfigürasyonu	32
6. DENEY SONUÇLARI	35
6.1. Farklı Elektrotlar Arası Mesafelere Göre Akım-Voltaj Karakteristiği	35
6.2. Farklı Elektrot Çaplarına Göre Akım-Voltaj Karakteristiği	50
6.2.1. 9 mm elektron çapı için	51
6.2.2. 12 mm çaplı elektrot için	53
6.2.3. 18 mm çaplı elektrot için	55
6.3. Farklı Aydınlatma Seviyelerinde Ölçülen Işıma Şiddeti	57
6.4. Farklı Aydınlatma Seviyelerinin Akım-Voltaj Karakteristiği Üzerine Etkileri .	66
6.4.1. Elektrotlar arası mesafe 50 μm için	67
6.4.2. Elektrotlar arası mesafe 100 μm için	70
6.4.3. Elektrotlar arası mesafe 160 μm için	73
6.4.4. Elektrotlar arası mesafe 330 μm için	76
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deşarj tiplerinin sınıflandırılması	19
Çizelge 3.2. DC Glow deşarj için fiziksel parametre aralığı.....	24
Çizelge 4.1. ZnSe teknik özellikleri	28
Çizelge 5.1. Test konfigürasyonu.....	32
Çizelge 6.1. 9 mm çaplı elektrot kullanımında mikro deşarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddetleri ve ışımanın gerçekleştiği konfigürasyonlar	59
Çizelge 6.2. 12 mm çaplı elektrot kullanımında mikro deşarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddetleri ve ışımanın gerçekleştiği konfigürasyonlar	61
Çizelge 6.3. 18 mm çaplı elektrot kullanımında mikro deşarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddetleri ve ışımanın gerçekleştiği konfigürasyonlar	64
Çizelge 7.1. En yüksek ışıma şiddetinin gözleendiği konfigürasyonlar.....	82
Çizelge 7.2. En yüksek ışımanın elde edilebilmesi için tercih edilebilecek optimum konfigürasyonlar.....	84

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sıcaklıklara ve parçacık enerjilerine göre maddenin halleri.....	3
Şekil 2.2. Plazmayı oluşturan parçacıklar.....	4
Şekil 2.3. Debye uzunluğunun elektron yoğunluğu ve sıcaklığına göre değişimi.....	8
Şekil 2.4. Debye zırhlaması	9
Şekil 2.5. Elektrostatik coulomb potansiyeli $\phi_c(r)$ ve debye potansiyelinin $\phi(r)$, Q test yükünden r uzaklığı ile değişimi	9
Şekil 2.6. Sık karşılaşılan plazmalara ait sıcaklık, elektron yoğunluğu ve debye uzunluğu grafiği.....	10
Şekil 2.7. Yük ayrışması ile oluşan elektrik alan, elektronları denge durumuna geri çekerek ve bu kuvvetler etkisindeki elektron salınım hareketi yapar.....	12
Şekil 2.8. Elektrik alan koordinatları	13
Şekil 2.9. Doğal ve laboratuvar plazmalarının elektron yoğunluğuna ve elektron sıcaklığına göre sınıflandırılması.....	16
Şekil 3.1. Elektron çığı mekanizması	20
Şekil 3.2. Elektrik deşarj aşamaları.....	21
Şekil 3.3. Havanın basınç ve elektrotlar arası mesafeye bağlı kırılma voltajını veren paschen eğrisi.....	22
Şekil 3.4. Farklı gazlar için kırılma voltajı eğrisi (paschen eğrisi).....	22
Şekil 3.5. Glow deşarj plazmasının yapısında bulunan farklı ışıma bölgeleri ve ışıma bölgelerine denk gelen temel fiziksel parametreler	25
Şekil 4.1. Çeşitli yarı iletkenlerin oda sıcaklığındaki enerji bant aralıkları ve kafes sabitleri ilişkisi.....	27
Şekil 4.2. ZnSe tabanlı MSM UV fotodedektöre ait akım-voltaj grafikleri	29
Şekil 5.1. Kullanılan deney düzeneğinin şematiği (a) ve görüntüsü (b).....	31
Şekil 6.1. 320 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	37

Şekil	Sayfa
Şekil 6.2. 320 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	37
Şekil 6.3. 450 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi	38
Şekil 6.4. 450 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	38
Şekil 6.5. 450 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	39
Şekil 6.6. 500 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi	39
Şekil 6.7. 500 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	40
Şekil 6.8. 500 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	40
Şekil 6.9. 550 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi	41
Şekil 6.10. 550 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	41
Şekil 6.11. 550 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	42
Şekil 6.12. 600 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi	42
Şekil 6.13. 600 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	43
Şekil 6.14. 600 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	43
Şekil 6.15. 650 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi	44
Şekil 6.16. 650 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	44
Şekil 6.17. 650 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	45

Şekil	Sayfa
Şekil 6.18. 760 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi	45
Şekil 6.19. 760 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	46
Şekil 6.20. 760 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	46
Şekil 6.21. 800 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi	47
Şekil 6.22. 800 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	47
Şekil 6.23. 800 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	48
Şekil 6.24. 900 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi	48
Şekil 6.25. 900 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	49
Şekil 6.26. 900 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi.....	49
Şekil 6.27. 9 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği.....	51
Şekil 6.28. 9 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği.....	52
Şekil 6.29. 9 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği.....	52
Şekil 6.30. 12 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği.....	53
Şekil 6.31. 12 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği.....	54
Şekil 6.32. 12 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği.....	54
Şekil 6.33. 18 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği.....	55

Şekil	Sayfa
Şekil 6.34. 18 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği.....	56
Şekil 6.35. 18 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği.....	56
Şekil 6.36. 9 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddeti.....	57
Şekil 6.37. 9 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddeti.....	58
Şekil 6.38. 9 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddeti.....	58
Şekil 6.39. 12 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddeti.....	60
Şekil 6.40. 12 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddeti.....	60
Şekil 6.41. 12 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddeti.....	61
Şekil 6.42. 18 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddeti.....	63
Şekil 6.43. 18 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddeti.....	63
Şekil 6.44. 18 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddeti.....	64
Şekil 6.45. Elektrotlar arası mesafenin 50 µm olduğu durumda, 320 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	67

Şekil	Sayfa
Şekil 6.46. Elektrotlar arası mesafenin 50 um olduğu durumda, 500 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	68
Şekil 6.47. Elektrotlar arası mesafenin 50 um olduğu durumda, 600 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	68
Şekil 6.48. Elektrotlar arası mesafenin 50 um olduğu durumda, 760 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	69
Şekil 6.49. Elektrotlar arası mesafenin 50 um olduğu durumda, 900 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	69
Şekil 6.50. Elektrotlar arası mesafenin 100 um olduğu durumda, 320 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	70
Şekil 6.51. Elektrotlar arası mesafenin 100 um olduğu durumda, 500 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	71
Şekil 6.52. Elektrotlar arası mesafenin 100 um olduğu durumda, 600 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	71
Şekil 6.53. Elektrotlar arası mesafenin 100 um olduğu durumda, 760 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	72
Şekil 6.54. Elektrotlar arası mesafenin 100 um olduğu durumda, 900 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	72
Şekil 6.55. Elektrotlar arası mesafenin 160 um olduğu durumda, 320 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	73
Şekil 6.56. Elektrotlar arası mesafenin 160 um olduğu durumda, 500 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	74
Şekil 6.57. Elektrotlar arası mesafenin 160 um olduğu durumda, 600 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	74

Şekil	Sayfa
Şekil 6.58. Elektrotlar arası mesafenin 160 μm olduğu durumda, 760 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	75
Şekil 6.59. Elektrotlar arası mesafenin 160 μm olduğu durumda, 900 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	75
Şekil 6.60. Elektrotlar arası mesafenin 330 μm olduğu durumda, 320 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	76
Şekil 6.61. Elektrotlar arası mesafenin 330 μm olduğu durumda, 500 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	77
Şekil 6.62. Elektrotlar arası mesafenin 330 μm olduğu durumda, 600 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	77
Şekil 6.63. Elektrotlar arası mesafenin 330 μm olduğu durumda, 760 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	78
Şekil 6.64. Elektrotlar arası mesafenin 330 μm olduğu durumda, 900 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği	78
Şekil 6.65. Atmosfer basıncı civarında (760 Torr) GaP ve ZnSe'nin akım-voltaj değerleri: a) GaP yarıiletkenine ait 101 kPa (760 Torr) basınçta akım-voltaj grafiği, b) ZnSe yarıiletkeninin 760 Torr'da üç boyutlu akım-voltaj grafiği, c) ZnSe yarıiletkeni için 760 Torr'da iki boyutlu akım-voltaj grafiği.....	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Amper
α	Townsend birinci iyonlaşma katsayısı
a.u.	keyfi birim
A1	A1 seviyesi aydınlatma modu
A3	A3 seviyesi aydınlatma modu
cm³	sanitmetre küp
d	Elektrotlar arası mesafe
D	Elektrot çapı
γ	Townsend ikinci iyonlaşma katsayısı
K	Karanlık mod
λ_D	Debye uzunluğu
N_D	Debye küresi içindeki parçacık sayısı
n_e	Elektron yoğunluğu
n_{e0}	Başlangıç elektron yoğunluğu
p	Basınç (Torr)
τ_p	Plazma periyodu
V	Volt
ω_p	Plazma frekansı

1. GİRİŞ

Yarı-iletkenlerin kullanıldığı kızılötesi görüntü çevirici sistemler üzerine yapılan çalışmalarda çoğunlukla söz konusu sistemlerin mekanik dayanımı ve yüksek hızda tepkiselliği üzerine yoğunlaşmıştır. Kızılötesi görüntü çevirici sistemlerde görüntü kalitesini doğrudan etkileyen mikro-deşarj bölmesi özelliklerinin incelenmesi ve optimum koşulların belirlenmesine yönelik çalışma ise bu tezin çalışma konusu olmuştur.

Mikro seviyelerdedeşarj bölmelerinde kırılım modu değişimleri ve ikincil elektron yayılımı baskın süreçlerdir [1]. Kırılma voltajı üzerinde ortam basıncı, elektrot çapı kullanılan gaz tipi gibi pek çok faktörün etkisi bulunmaktadır. Tez çalışmasında bu faktörler geniş bir aralıkta incelenmiştir.

Gazlarda elektrik kırılımının incelenmesinde Townsend teorisi ve bu teorinin matematikselleştirilmiş hali olan paschen denkleminde yararlanılır. John Sealy Edward Townsend 1897 ve 1901 yılları arasında yapmış olduğu çalışmalarda gazlar meydana gelen iyonizasyon sürecini tanımlamıştır [2]. Buna göre bir elektrik alan varlığında elektronların artış hızı eksponansiyel olup aşağıdaki denklem ile ifade edilir [3]:

$$n_e = n_{e0} \exp(\alpha x) \quad (1.1)$$

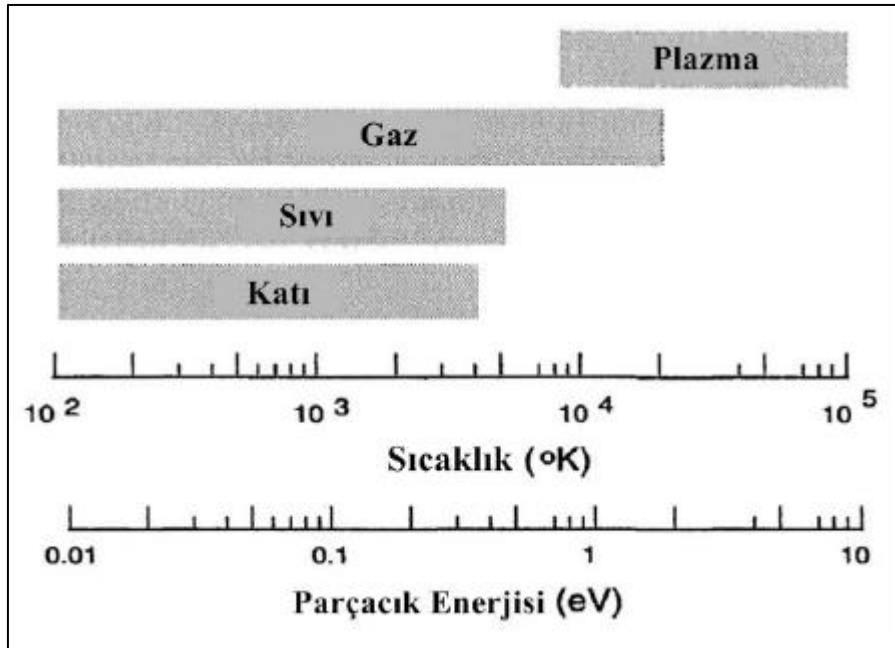
İfadedeki α sabiti Townsend iyonizasyon katsayısı olarak bilinir ve deneysel olarak elde edilir. Townsend iyonizasyon katsayıları kullanılarak aşağıdaki minimum kırılma voltajı denklemi elde edilir. Bu denklem paschen kanunu olarak bilinir [1]:

$$V_b = \frac{Bpd}{\ln(Apd) - \ln[\ln(1 + 1/\gamma)]} \quad (1.2)$$

Tez çalışmasında, yukarıda verilen denklem doğrultusunda kırılma voltajını etkileyen basınç, elektrotlar arası mesafe değerleri incelenmiştir. Elde edilen veriler, mikro-deşarj bölmesinde meydana gelen proseslerin, farklıdeşarj bölmesi konfigürasyonlarının ve çalışma basıncı değerlerinin seçilen yarı-iletken üzerindeki etkilerinin incelenmesi için kullanılmıştır. Bu inceleme sonucunda ZnSe yarı-iletkeninin en verimli çalıştığı koşulların ve sınırlılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MADDENİN DÖRDÜNCÜ HALİ: PLAZMA

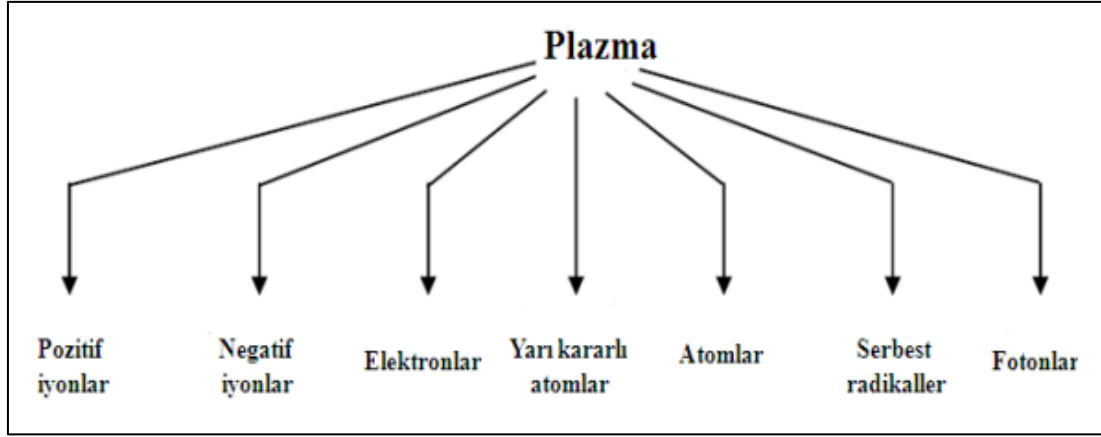
Plazma, 1923 yılında Amerikalı kimyacı Irving Langmuir gazlarda elektriksel deşarj konusunda yaptığı araştırmalar sonucunda ortaya çıkan bir kavramdır. Irving Langmuir, Lrvy Tonks ile yaptığı deneylerde, gaz ortamında medyana gelen elektrik deşarjı esnasında negatif ve pozitif iyonlardan oluşan bir yük kütlesi gözlemlenmiştir. Gözlemini kan plazmasına benzettiği için maddenin bu yeni halini tanımlamak üzere “plazma” terimini kullanmıştır. [4]



Şekil 2.1. Sıcaklıklara ve parçacık enerjilerine göre maddenin halleri

Katı bir madde ele alınacak olursa, enerji aktarımı neticesinde madde erime sıcaklığına ulaştığında, sıvı hal elde edilir. Devamında buharlaşma ısısı maddeye verildiğinde sıcaklık yeterince yüksek değere ulaşırsa sıvı halden gaz hale geçiş gözlenir. Dolayısıyla bir maddeye gerekli enerji verildiği takdirde yaygın olarak bilinen üç hali de elde etmek mümkündür [5].

Gaza enerji aktarımı devam ederse, iyonlaşma için gereken minimum enerji sağlandığında gaz iyonlaşmaya başlar. İyonlaşma başladığında gaz olarak tanımlanan madde artık pozitif ve negatif yüklü parçacıklar, iyonlaşmamış nötr gaz atomları ve uyarılmış moleküller gibi çeşitli parçacıklardan yeni bir hal elde edilir. Langmuir'in tanımlamasına göre bu hal plazmadır [6].



Şekil 2.2. Plazmayı oluşturan parçacıklar

Ancak her iyonlaşmış gaz plazma değildir, iyonlaşmış gazın plazma olarak kabul edilebilmesi için plazmaya özgü karakteristik özellikleri göstermesi gerekir. Örneğin elde ettiğimiz iyonlaşmış gazın kolektif olarak nötr ancak plazma içerisinde iletken özellik göstermesi beklenir [7]. Ayrıca plazma karakteristik özelliklerinin ortaya çıkabilmesi için yüklü parçacık yoğunluğunun belli bir seviyenin üzerinde olması gerekir.

Yüklü parçacıkların yoğunluğunun plazma tanımı için gerekli olmasının nedeni sistemin istatistiksel davranışını etkileyecek olmasıdır. Plazmanın yapısında bulunan nötraller de yüklü parçacıklarda olduğu gibi elektromanyetik etkileşimler sayesinde birbirleri ile etkileşime girerler. Ancak nötraller arasındaki kuvvet kısa menzilli kuvvetler olduğundan çoğu durumda ele alınan iki nötral atomun çarpışana kadar birbirleriyle etkileşmediklerini varsayabiliriz. Bu nedenle plazmayı tanımlayan en önemli özelliklerden biri plazmayı oluşturan parçacıkların yüklü olması ve bu yüklü parçacıkların coulomb kuvvetleri ile birbirlerine etki etmesidir. Plazma içindeki yüklü parçacık sayısının yoğunluğu coulomb kuvvetinin baskın olmasını sağlayarak kolektif bir davranış sergilemesini sağlar [8]. Sonuç olarak, yüklü parçacıklardan oluşan bir gazın plazma olarak adlandırılabilmesi için toplu etkiler önemlidir. [9]. Bahsi geçen karakteristik özelliklerden en önemlileri bir sonraki başlıkta açıklanmıştır.

2.1. Plazma Parametreleri

2.1.1. Debye uzunluğu

Bu kriter, plazma serbest bir yük ile pertürbe edilirse geçerlidir, bu durumda serbest yükün etkisi plazmanın karakteristik boyutundan (L) çok daha küçük olan bir debye uzunluğunda (λ_D) kalacak şekilde korunmalıdır.

Plazma salınımının periyodu boyunca $v_t \tau_p$ uzunluğundan daha kısa boyutlara sahip bir sistem plazma olarak tanımlanamaz bunun nedeni, söz konusu boyutlarda parçacığın elektriksel nötrlüğü sağlayacak olan plazma salınımını tamamlamadan sistemden çıkacak olmasıdır. Burada $\tau_p = 1/\omega_p$ plazma periyodu, v_t ise parçacığın termal hızıdır [10].

Debye uzunluğunu daha iyi kavrayabilmek için plazmanın nötrallik özelliğinin temeline inmek faydalı olur. Toplamda nötr olan plazma ortamının içine $+Q$ yüklü daldırdığımızda, coulomb yasası neticesinde pozitif yüklü iyonlar itilirken negatif yüklü elektronlar bu yüke doğru çekilecek ve bir polarizasyon durumu oluşacaktır. Normalde negatif yüklü elektronların bu pozitif Q yükü ile çarpışarak nötrlemesi beklenirken plazma içerisindeki elektronların sahip olduğu yüksek termal enerjileri (kT), birbirleri ile olan çarpışma hareketini ve titreşim hareketini baskın kılar ve elektronların $+Q$ yükü ile çarpışmasına engel olur. Böylece daha önce bahsedildiği üzere coulomb etkisi ile termal enerji birbirini dengeler ve bu dengelemenin gerçekleştiği mesafe debye uzunluğu olmuş olur. Debye uzunluğu plazma yoğunluğu ile ters orantılı olarak değişir ve değeri Poisson eşitliği ile bulunur.

Bir alandaki elektrik alan, o noktadaki elektrik potansiyelin negatif gradyanına eşittir ($E = -\nabla\phi$), bu değeri Gauss yasası ($\nabla E = \rho/\epsilon_0$) ile birleştirirsek Poisson eşitliğini elde ederiz:

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2.1)$$

burada, ρ , yük yoğunluğudur ($\rho = qn$).

Pozitif yüklü iyonlar elektronlara göre oldukça ağır olduklarından neredeyse hareketsiz olduklarını ve parçacık yoğunluklarının değişmediğini varsayabiliriz, bu durumda hesaba yalnızca elektron yoğunluğunu ekleriz. Termal dengedeki plazmada ($n_e = n_i = n_0$) elektron yoğunluğunun Maxwell dağılımına uyum gösterir:

$$n = n_e e^{-q\phi/T} \quad (2.2)$$

Analitik olarak ilerlemek için, oluşan elektrostatik potansiyelin zayıf olduğu, dolayısı ile elektrik potansiyel enerjinin parçacıkların ortalama termal kinetik enerjisinden çok çok düşük olduğunu varsayabiliriz ($q\phi \ll T$). Bu varsayıma dayanarak yukarıdaki ifadeyi Taylor serisi ile açarsak;

$$n = n_e \left[1 - \frac{q\phi}{T} + \dots \right] \quad (2.3)$$

Yük yoğunluğu ifadesinde yerine yazarsak:

$$\rho = \sum_i n_i q_i = \sum_i q_i \left[n_{0i} \left(1 - \frac{q_i \phi}{T_i} + \dots \right) \right] \quad (2.4)$$

Yarı-nötral durumda $\sum_i n_{0i} q_i = 0$ olduğundan;

$$\rho = \sum_i n_i q_i = - \sum_i \frac{n_{0i} q_i^2}{T_i} \phi \quad (2.5)$$

$$\nabla^2 \phi = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i \frac{n_{0i} q_i^2}{T_i} \phi \quad (2.6)$$

$$\nabla^2 \phi - \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i \frac{n_{0i} q_i^2}{T_i} \phi = 0 \quad (2.7)$$

Yeniden düzenlediğimizde Helmholtz eşitliği elde edilir ve denklemi çözerek debye uzunluğunu bulabiliriz:

$$\nabla^2 \phi - \frac{1}{\lambda_D^2} \phi = 0 \quad (2.8)$$

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{T \epsilon_0}{n_e q^2}} \quad (2.9)$$

Debye uzunluğunun değeridir. Bu değeri aynı zamanda plazma frekansını içerecek şekilde yazmak da mümkündür:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{T_e}{m_e}} \omega_p^{-1} \quad (2.10)$$

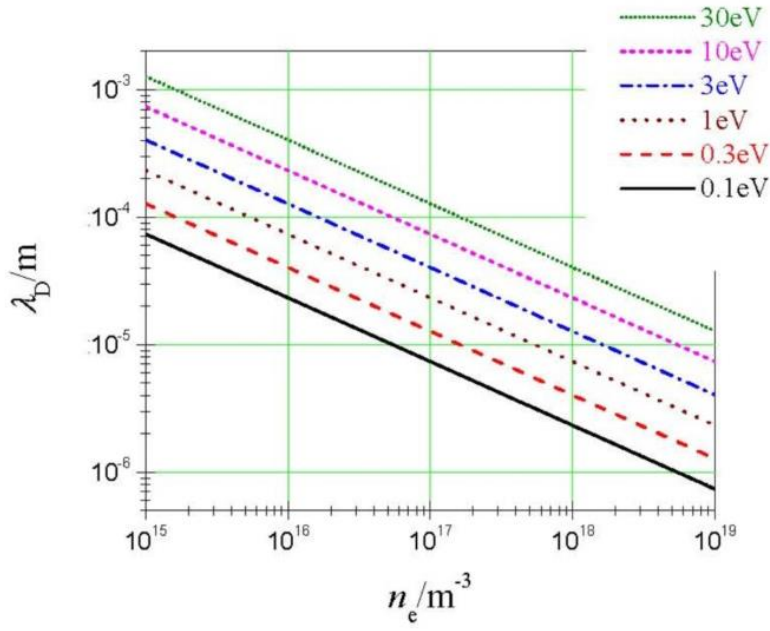
Debye uzunluğu eşitliğini Kelvin cinsinden yazmak istersek bu durumda eşitliğe Boltzmann sabitinin (k) eklenmesi gerekir:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{T k \epsilon_0}{n_0 q^2}} \quad (2.11)$$

Sabitlerin çarpımı hesaplanarak yazılırsa [11]:

$$\lambda_D = 6.9 \sqrt{T/n_0} \text{ cm} \quad (2.12)$$

Debye uzunluğu laboratuvar plazmaları için genellikle küçüktür, örneğin 10^{19} m^{-3} elektron yoğunluğuna sahip 3 eV'luk elektrik ark deşarj için debye uzunluğu yaklaşık olarak $\lambda_D \approx 3 \times 10^{-6} \text{ m}$ olarak hesaplanırken [12], dünya atmosferinin iyonosfer katmanı için ise $\lambda_D \approx 10^{-3} \text{ m}$ 'dir. Uzaya çıkıldığında ise yıldızlararası plazmalarda bu değer birkaç metreyi bulabilmektedir [13].

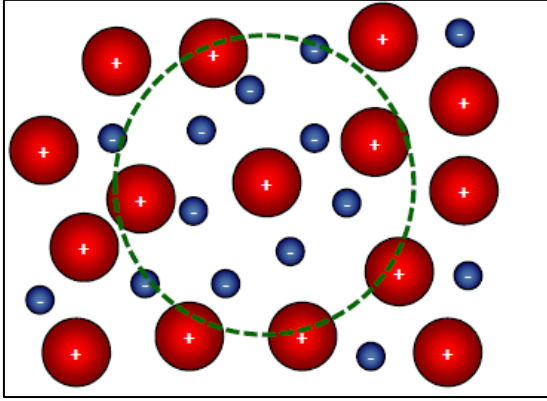


Şekil 2.3. Debye uzunluğunun elektron yoğunluğu ve sıcaklığına göre değişimi [7]

Debye uzunluğu (λ_D) tam olarak, parçacıkların elektrostatik enerjilerinin ve termal kinetik enerjilerinin dengelendiği uzunluktur ve plazma tanımlamasının yapılabilmesi için gerekli olan bir diğer kriteri oluşturur. Bu kritere göre, herhangi bir iyonlaşmış gaze plazma tanımlamasının yapılabilmesi için gazın oluşturduğu sistemin boyutu (L), bahsedilen debye uzunluğu boyutundan çok çok büyük olmalıdır ($L \gg \lambda_D$) [14].

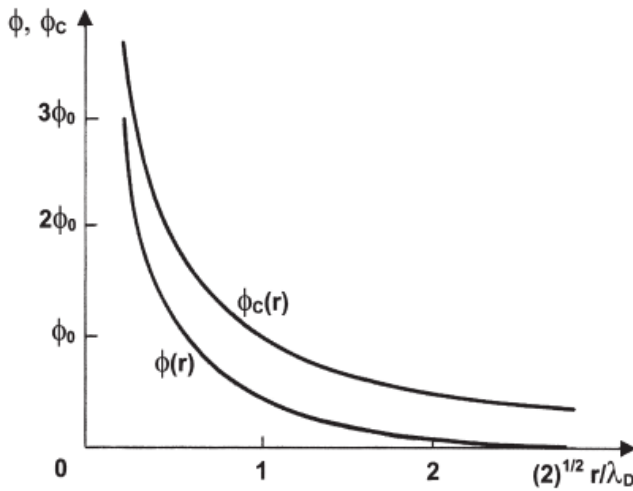
Debye uzunluğunun plazma tanımı için kritik olmasının bir diğer sebebi de debye zırhlaması olayıdır. Debye zırhlaması aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır:

Debye zırhlamasının gerçekleştiği alan, çapı λ_D olan bir küre olarak düşünülebilir bu küreye debye küresi denir ve eğer incelediğimiz test yükü pozitif yüklüyse debye küresi içerisinde elektron yoğunluğunun daha yüksek olduğunu söyleriz.

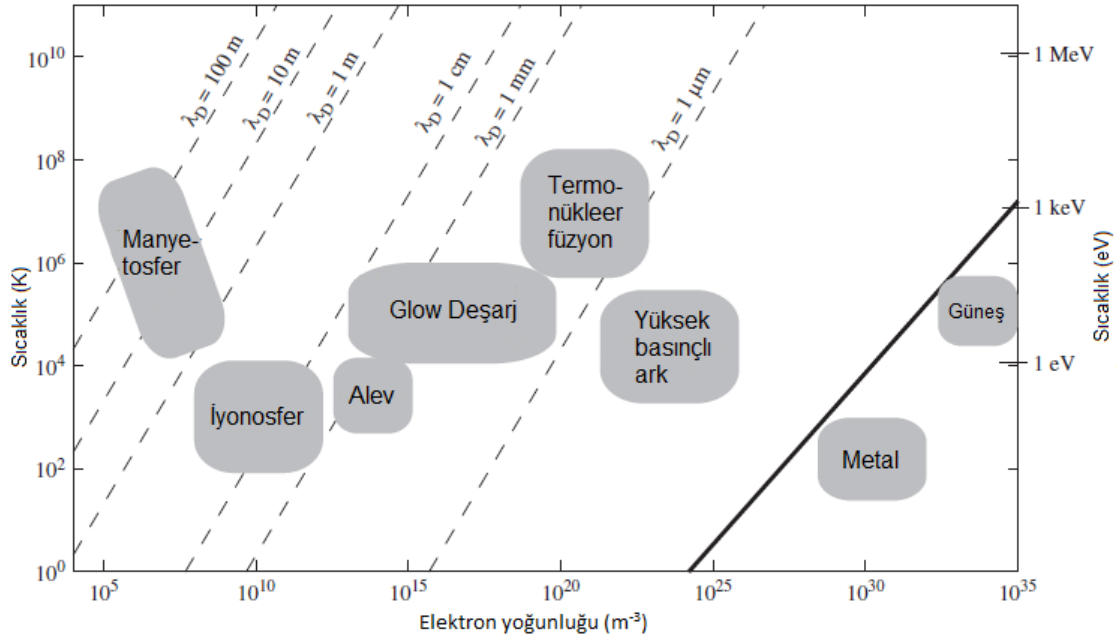


Şekil 2.4. Debye zırhlaması

Debye küresi içerisinde test yükünün (pozitif yüklü olduğunu varsayıyoruz) pozitif yüklü iyonları itmesi ve negatif yüklü elektronları çekmesi sebebi ile bir elektrik alan ve elektrik potansiyeli oluştuğunu tahmin edebiliriz. Burada meydana gelen elektrik alan ile debye uzunluğunu hesaplamıştı, rapor kapsamında debye küresinin içerisindeki potansiyel hesabına ayrıntılı olarak değinilmemiştir ancak gerekli hesaplamalar yapılırsa debye küresi potansiyelinin ($\phi(r)$), λ_D değerinden daha fazla olan uzaklıklarda klasik coulomb potansiyelinin yanında oldukça küçük kaldığı görülecektir. Buradan da debye küresi içinde test yükünü çevreleyen elektronlar tarafından nötralizasyon işleminin gerçekleştiği sonucuna varılabilir [13]. Debye uzunluğu, debye zırhlaması ve debye küresi kavramları birbirleri ile doğrudan ilişkili olup bu kavramlardan çıkarmamız gerek sonuç Şekil 2.5'te özetlenmekte ve plazmanın en önemli kriterlerinden birini ifade etmektedir.



Şekil 2.5. Elektrostatik coulomb potansiyeli $\phi_c(r)$ ve debye potansiyelinin $\phi(r)$, Q test yükünden r uzaklığı ile değişimi



Şekil 2.6. Sık karşılaşılan plazmalara ait sıcaklık, elektron yoğunluğu ve debye uzunluğu grafiği

2.1.2. Debye küresi içerisindeki parçacık yoğunluğu

Debye küresinin içindeki parçacık sayısı (N_D) en az 1'den büyük olmalıdır. Bu plazmanın parçacık yoğunluğunun yeterince büyük olması gerektiği anlamına gelir.

$$N_D = 4\pi n_e \lambda_D^3 \gg 1 \quad (2.13)$$

Debye küresi içindeki parçacık miktarını ifade eden bu tanım aynı zamanda plazma parametresi olarak adlandırılan bir büyüklükle ilişkilidir (Literatürde bazı kaynaklarda debye küresi içerisindeki parçacık sayısı direkt olarak plazma parametresi olarak verilmektedir):

$$g = \frac{1}{n_e \lambda_D^3} \ll 1 \quad (2.14)$$

Plazma parametresi olarak bilinen bu değer, plazmanın ideal-ideal olmayan veya zayıf-kuvvetli eşlenikli olmasının tanımlanmasında referans alınmaktadır. Bu tanımlamayı yapmak için direkt olan debye küresi içerisindeki parçacık sayısına da bakabiliriz.

Plazmaya ait elektron yoğunluğu, sıcaklık, plazma frekansı ve hatta debye uzunluğu gibi parametreler, akışkanlaştırma prosesleri esnasında değişmeden kalırken debye küresi içindeki parçacık sayısı değeri artış gösterir. Bu nedenle N_D hangi plazmalara akışkan yaklaşımı uygulanacağını belirlemede büyük öneme sahiptir ve yalnızca N_D değerinin çok yüksek olduğu plazmalarda akışkan yaklaşımı kullanılabileceği belirtilir [13].

Debye küresi içerisindeki parçacık sayının verdiği bir diğer önemli ilişki de plazma içerisindeki parçacıkları kinetik enerjisi ve potansiyel enerjileri arasındaki ilişkidir. Plazma içerisindeki parçacıkların termal kinetik enerjilerinin $(3/2)kT$ ve aynı zamanda plazma içerisindeki ortalama potansiyel enerji değerinin $e^2 / (4\pi\epsilon_0 \langle r \rangle)$ olduğunu biliyoruz ($\langle r \rangle$ parçacıklar arasındaki ortalama mesafe). Bu durumda;

$$\frac{\text{kinetik enerji}}{\text{potansiyel enerji}} = \frac{3kT4\pi\epsilon_0\langle r \rangle}{2e^2}; \quad \langle r \rangle = 1/n^{1/3} \quad (2.15)$$

$$\frac{\text{kinetik enerji}}{\text{potansiyel enerji}} = \frac{3kT4\pi\epsilon_0\langle r \rangle}{2e^2} = 6\pi N_D^{2/3} \quad (2.16)$$

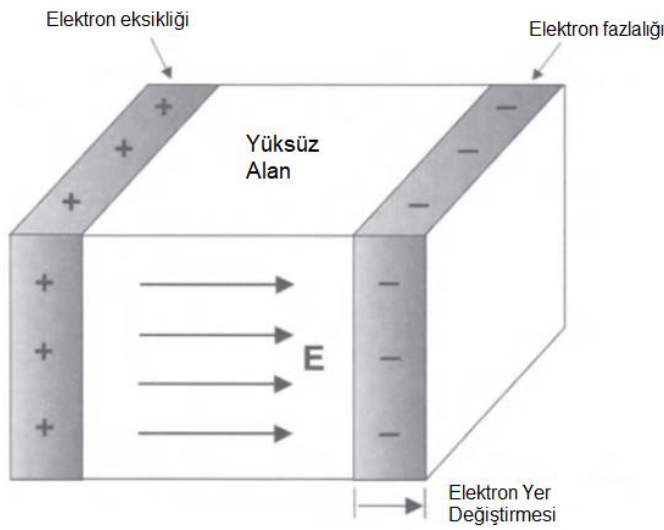
Eğer $N_D \gg 1$ ise kinetik enerjinin potansiyel enerjiden çok büyük olduğunu ve plazmada küçük açılı çarpışmaların baskın olduğunu ve plazmanın zayıf eşlenikli plazma olduğunu söyleriz [15]. N_D azaldıkça potansiyel enerji baskın olmaya başlar ve nihayet $N_D \ll 1$ olduğunda artık plazmada parçacıkların tamamen elektrik alan etkisi ile hareket ettiğini ve güçlü eşlenikli plazma olduğunu söyleyebiliriz [11]. Güçlü eşlenikli plazmalar katı formda incelenirken zayıf eşlenikli plazmalar yüksek sıcaklıklara ve düşük elektron yoğunluğuna sahiptirler [14]. Bildiğimiz plazma hallerinin büyük çoğunluğu zayıf eşleniklidir.

2.1.3. Plazma frekansı

Plazmanın en önemli ve temel özelliklerinden biri bir bütün olarak bakıldığında elektriksel olarak nötr olmasıdır. Nötrlüğü anlatmak için kullanacağımız yaklaşım iyonların duygun olduğu bir durumun kabulüdür. Bu yaklaşımın dayanağı ise plazma sıcaklığı yani yüklü parçacıkların sahip olacağı termal kinetik enerji göz ardı edildiğinde elektronların iyonlara göre çok daha hızlı hareket edecekleri ve bu nedenle lokal termal dengedeki plazmalarda iyonların görece durgun olarak kabul edilebilecek olmasıdır.

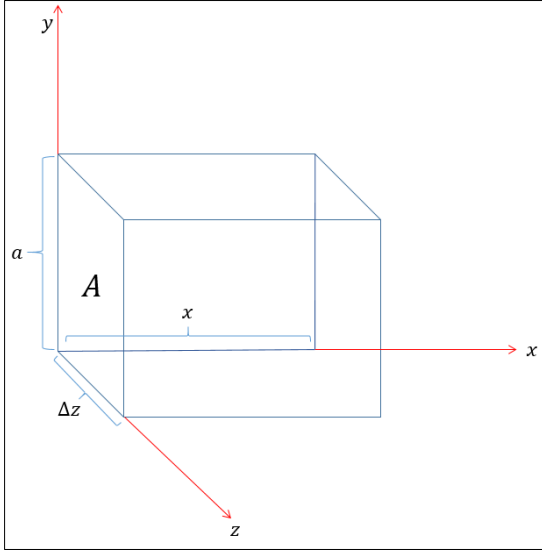
Plazma içerisinde, dışardan bir etkiyle herhangi bir yük ayrışması meydana geldiğinde, elektriksel nötrlüğü korumak adına yükleri denge konumlarına çağırarak bir elektriksel alan oluşumu gerçekleştirir. Şekil 2.7’de şeması verilen mekanizmaya göre oluşan elektrik alan içerisindeki elektronlar üzerine, tıpkı sıkıştırılmış yay durumundaki gibi, tekrar denge konumlarına dönmelerini sağlamak üzere Hook yasasının bir sonucu olarak ($F = -k\Delta x$) kuvveti uygulanır. Hissedilen bu geri çağırıcı kuvvete karşılık elektronların kendi eylemsizliklerinin sebep olduğu zıt bir kuvvet devreye girer ve elektronlar bu iki kuvvet arasında denge konumlarına ulaşana kadar tıpkı bir harmonik osilatör gibi titreşim hareketi yaparlar, bu titreşime plazma elektron titreşimi veya Langmuir titreşimi denir [11].

$\omega_p = 2\pi f_e$, elektron plazma titreşiminin açısal frekansı olup τ ise elektron-atom veya elektron-iyon çarpışmasının ortalama serbest zamanını ifade eder. Diğer bir deyişle plazma titreşim frekansı çarpışma frekansından yüksek olmalıdır. Bu, elektronun iki çarpışma arasındaki süreçte pek çok salınım yapması gerektiği anlamına gelir [15].



Şekil 2.7. Yük ayrışması ile oluşan elektrik alan, elektronları denge durumuna geri çeker ve bu kuvvetler etkisindeki elektron salınım hareketi yapar [13].

Şekil 2.7’te gösterimi verilen yük ayrımı esnasında oluşan plazma frekansını bulmak için hareket eşitliğinden faydalanabiliriz:



Şekil 2.8. Elektrik alan koordinatları

Yukarıdaki gibi bir alanda oluşan elektrik alanı göz önüne alırsak, hareket eşitliğine göre:

$$F = m \cdot a = m_e \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = q_e \cdot E_x \quad (2.17)$$

Elektrik alanın değerini bulmak için Gauss Yasası'nı kullanırsak:

$$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (2.18)$$

$$Q = a \cdot \Delta z \cdot x \cdot N_e \cdot q_e \quad (2.19)$$

$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{s} = -A \cdot \Delta E_x$ olarak alırsak:

$$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{s} = -a \cdot \Delta z \cdot E_x = \frac{a \cdot \Delta z \cdot x \cdot N_e \cdot q_e}{\epsilon_0}; \quad E_x = \frac{x \cdot N_e \cdot q_e}{\epsilon_0} \quad (2.20)$$

Elde ettiğimiz elektrik alan ifadesini hareket eşitliğinde yerine yazarsak:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{N_e \cdot q_e^2}{\epsilon_0 \cdot m_e} \cdot x = 0 \quad (2.21)$$

Bu son eşitlik, $\omega_p = \sqrt{N_e \cdot q_e^2 / \epsilon_0 \cdot m_e}$ frekansında zaman harmonik eşitliğidir. Burada;

$$\omega_p = \sqrt{\frac{N_e \cdot q_e^2}{\epsilon_0 \cdot m_e}} \quad (2.22)$$

plazma frekansdır.

Numerik olarak hesapladığımızda plazma frekansının yalnızca elektron yoğunluğuna bağlı olduğunu görürüz:

$$\omega_p = 5,65 \times 10^4 \sqrt{n_e} \quad (2.23)$$

Kısmi iyonize olmuş gazlarda söz konusu salınımın gerçekleşmesi için çarpışmalar arasında geçen süre τ_n , salınım periyodundan oldukça büyükse olmalıdır [16]. Bu plazma oluşum kriterlerinden biridir ve başlıkta verildiği üzere $\omega_p \tau_n > 1$ şeklinde de gösterilebilir.

Özet olarak plazmayı gazdan ayıran belirgin özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Plazma dış ortama karşı elektriksel olarak nötr olmakla birlikte içerisinde bulunan yüklü parçacıklar sayesinde elektriği iletebilmekte ve manyetik alandan etkilenmektedir.
- Plazma içerisinde, iyonizasyon, rekombinasyon ve uyarılma reaksiyonları sürekli olarak devam eder.
- Plazma içerisindeki parçacıkların yüksek enerji ve hıza sahip olmaları ısı iletiminde de etkin bir rol oynar. Plazma iyi bir ısı iletkenidir.
- Plazma yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuna sahiptir.

2.2. Plazma İçerisindeki Prosesler

Plazma içerisinde bulunan yüklü parçacıklar ve nötraller arasında meydana gelen çarpışmalar sonucunda çeşitli prosesler meydana gelir bunlardan en temelleri aşağıda verilmiştir [17].

2.2.1. Saçılma: $e + A \rightarrow A + e$

Bu proses, çarpan elektronun kinetik enerjisinin küçük bir bölümünü atom veya iyonla aktarması ile oluşur. Saçılma sonucunda elektronun hareket yönü değişir.

2.2.2. Uyarılma: $e + A \rightarrow A^* + e$

Bu proses, yeterli enerjiye sahip elektronun atom veya iyon ile inelastik çarpışması sonucunda oluşur. Bu proses sonucunda, elektronun enerjisinin bir kısmı atom veya iyonun iç enerji seviyelerindeki elektronlar tarafından absorbe edilir ve böylece bir üst enerji seviyesine çıkar ve atom/ion uyarılmış olur. Uyarılmış durumların çoğu kısa ömürlüdür ve elektronlar kısa sürede seviyeler arasındaki enerji farkına eşdeğer bir foton yayınlamaya orijinal seviyelerine dönerler.

2.2.3. İyonlaşma: $e + A \rightarrow A^+ + 2e$

İyonlaşma eşik değeri (maddelerin karakteristik özelliği) kadar enerjiye sahip elektronlar çarpıştıkları atom veya iyonla enerjisini aktararak enerji seviyelerinden elektron koparır bu durumda; atom iyonlaşmış olur, iyonun ise iyonlaşma derecesi artar.

2.2.4. Yeniden birleşme: $e + A \rightarrow A + (h\nu)$

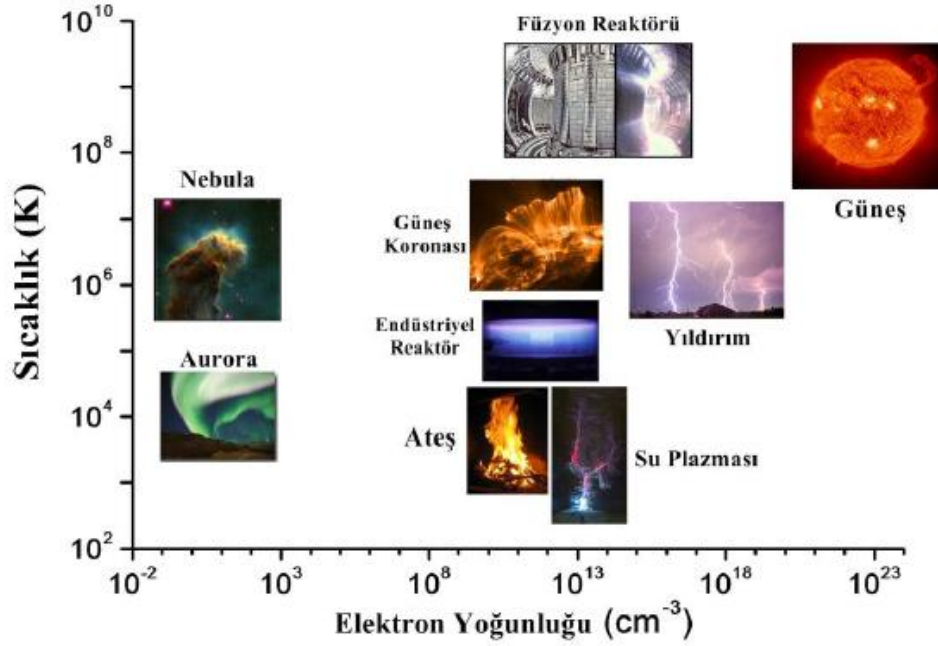
Bu durumda ise iyonlaşmanın tam tersi olarak, elektron çarpıştığı iyon tarafından yakalanarak boş kalan enerji seviyeleri doldurulur. İyon, elektronun enerjisi fazla gelmesi durumunda foton yayabilir.

2.3. Plazma Türleri

Plazmalar, üretildikleri ortam basıncı ve termodinamik denge durumlarına göre sınıflandırılabilirler. Termodinamik durum sınıflandırması elektron ve iyon sıcaklıkları baz alınarak yapılır [18]:

- Vakum ortamında üretilen düşük basınçlı plazmalar
- Atmosfere açık ortamda üretilen yüksek basınç plazmaları yüksek basınç plazması

- Elektron ve iyon sıcaklıklarının neredeyse aynı olduğu termodinamik dengedeki sıcak plazmalar
- İyon sıcaklığının elektron sıcaklığına göre oldukça düşük olduğu termodinamik dengede olmayan soğuk plazmalar



Şekil 2.9. Doğal ve laboratuvar plazmalarının elektron yoğunluğuna ve elektron sıcaklığına göre sınıflandırılması

Termodinamik dengedeki plazmalarda sıcaklık o kadar yüksektir ki iyonlar yüksek kütlelerine rağmen elektron sıcaklığına yakın derecede termal enerjiye sahip olurlar. Sıcaklıkların eşit olduğu durum termodinamik denge olarak adlandırılırken, eşit olmayıp oldukça yakın olduğu durumlar ise lokal termodinamik denge olarak adlandırılır [19] ve her iki durumda da plazma incelemeleri için aynı yaklaşım kullanılabilir. Laboratuvar koşullarında üretilen ark deşarj plazmaları sıcak plazmalara örnek olarak verilebilir.

Soğuk plazmalar ise çok yüksek sıcaklıklı elektronlar ve düşük sıcaklıklı iyonlardan oluşmuştur ve iyonlaşma dereceleri 0,00001 ile %10 arasında oldukça düşüktür [20]. Oluşan plazma iyonları ve nötr parçacıklar yaklaşık olarak oda sıcaklığında gözlenirler.

Termal plazmalar aynı zamanda termodinamik dengede olan plazmalardır. Bu plazmaların incelenmesinde Boltzman-Maxwellian yaklaşımı kullanılabilir. Soğuk plazmalar lokal

termodinamik dengede olabilecekleri gibi (ark plazmalar) termodinamik denge durumunu sağlamayan türleri de (DBD plazma) bulunmaktadır. Lokal termodinamik dengede bulunan plazmalar için termodinamik denge durumundaki yaklaşımlar kullanılabilir.

Termodinamik dengenin sağlanmadığı durumlarda ise elektron ve iyonların davranışları birbirlerinden oldukça farklı olacağından kinetik model kullanımı ön plana çıkar, bu iki yüklü parçacığın ayrı olarak ele alınması gereken daha kompleks yaklaşımlara ihtiyaç duyulur (ikili-sıcaklık/akışkan modeli, magnetohidrodinamik vs.) [21].

3. PLAZMA OLUŞTURMA YÖNTEMİ: ELEKTRİK DEŞARJ

Elektrikseldeşarj, iki iletken elektrot arasına yeterince yüksek voltaj uygulandığında ortamda oluşan kırılma ile yük boşalmasının sağlanmasıdır. Deşarj ortamında elektrik alan sayesinde yük taşıyan parçacıklar ivmelendirilerek diğer yük taşımayan (nötr) parçacıklar ile hızlı bir şekilde çarpıştırılması sağlanır. Plazmayı oluşturmak için AC ve DCdeşarjlardan sıklıkla faydalanılır [22].

Çizelge 3.1. Deşarj tiplerinin sınıflandırılması [23]

	Kırılım (breakdown)	Dengede olmayan plazma	Denge durumunda plazma
Sabit elektrik alan	Tüp içerisinde glowdeşarj başlangıcı	Glowdeşarjın pozitif kolonu	Yüksek basınçlı arkın pozitif kolonu
Radyo frekans	Seyreltik gaz ile doldurulmuş hatlarda rfdeşarj başlangıcı	Seyreltik gaz ortamında kapasitif eşlenikli rfdeşarj	İndüktif eşlenikli plazma torç
Mikrodalga aralığı	Dalga-kılavuzu ve rezonatörlerde kırılım (breakdown)	Seyreltik gaz ortamında mikrodalgadeşarj	Mikrodalga plazmatron
Optik aralık	Lazer radyasyonu ile gaz kırılımı	Optik kırılımın son aşaması	Sürekli optikdeşarj

DC Gaz Deşarj, laboratuvar koşullarında kullanılan en yaygın plazma üretim yöntemi olup maddeye, özellikle bir gaza elektrik enerjisi verilerek yapılmaktadır. Bu durumda üretilen plazma “elektriksel gazdeşarj plazması” olarak isimlendirilmektedir. Gazlarda elektrikseldeşarj oluşturmak için iki metal elektrot arasında bulunan gaza elektrik voltajı uygulanır. Elektrik voltajı sürekli DC veya puls DC olabildiği gibi düşük frekans AC (kHz), yüksek frekans AC (RF) veya çok yüksek frekans AC (GHz) olabilir [24].

3.1. Deşarj Mekanizması

Aşağıdaki şekilde verilen tipik bir gazdeşarj tüpü ele alınacak olursa. Elektrikseldeşarj, elektrotlar arasına küçük bir voltaj uygulanması ile başlar. Voltajın uygulanması ile birlikte elektrotlar arasında fA (10^{-15} A) mertebesinde bir akım oluşur. Voltaj artırılırsa serbest elektronların kinetik enerjisi artar ve voltaj belli bir değere kadar yükseltilince çarpışma yolu ile oluşan iyonizasyon sonunda oluşan iç taşıyıcıların çoğalma süreci önemli bir rol oynamaya başlar diğer bir deyişle iyonizasyon oranı artar ancak bu voltaj değerinde

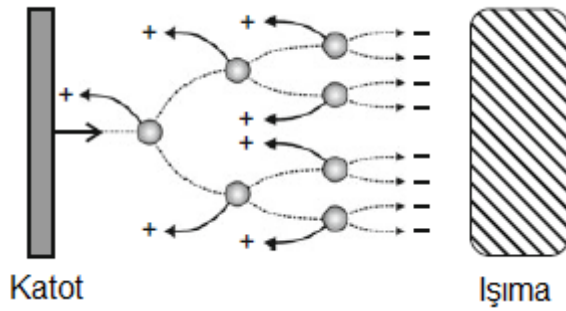
iyonizasyon oranı ile birlikte rekombinasyon oranı da artar, iyonizasyon oranı rekombinasyon oranına eşit olduğu zaman akımın neredeyse sabit olduğu, doyum bölgesi olarak adlandırılan bölgeye ulaşırız. Burada boşalma kendi kendini devam ettiremeyeceğinden “kendini besleyemeyen bölge” olarak bilinir.

Voltaj artırılmaya devam edilirse plazma içerisindeki taşıyıcıların üretilmesi yani iyonizasyon oranı rekombinasyon oranından fazla olmaya başlar bu voltaj değeri, gazın yalıtkan halden iletken hale geçtiği breakdown/kırılma voltajı değeridir. Burada akım aniden hızlı bir artış gösterir. Sonuç olarak bu bölgede boşalma, dışardan bir destek olmaksızın kendini devam ettirebilir hale gelir bu nedenle “kendini besleyebilen bölge” veya “Townsend Kırılması” olarak adlandırılır. Fiziksel açıdan baktığımızda bu boşalmanın en önemli özelliği elektronlar arasındaki uzay yük etkisinin düşük olması ve bu uzay yükün elektrotlar arasındaki elektrik alanın homojenliğini bozmamasıdır.

Elektronların kademeli olarak arttığı bu proses elektron çığı olarak bilinir ve aşağıda verilen eşitlik ile karakterizedir [25]:

$$dn_e = \alpha n_e dz \quad (3.1)$$

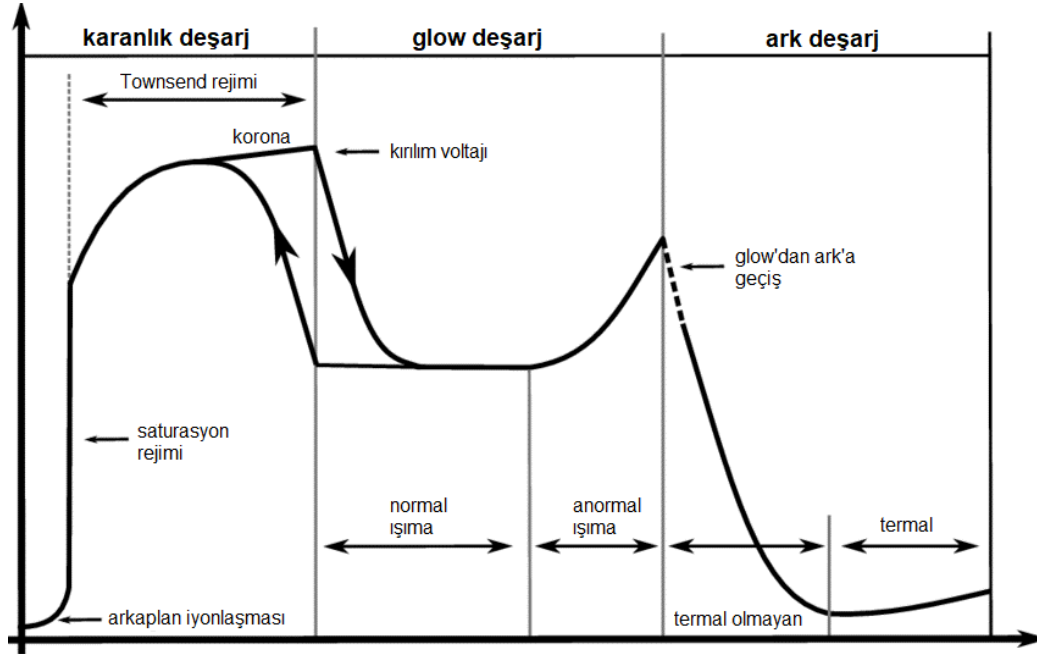
$$n_e(x) = n_e(0)e^{\alpha x} \quad (3.2)$$



Şekil 3.1. Elektron çığı mekanizması [14]

Townsend boşalmasından sonra voltaj artırılırsa potansiyelde bir düşüş gözlenir, bu düşüşün nedeni katotun hemen önünde biriken kütlesi nispeten daha ağır pozitif yüklerin ters yönde bir potansiyel oluşturmasıdır. Potansiyeldeki bu düşüş aynı zamanda Glow Deşarj bölgesine geçişin gerçekleştiğinin bir göstergesidir de. Glow deşarj bölgesinde uzay yük etkisi ihmal edilemez bu nedenle akım yoğunluğu ve elektrik alan homojen değildir. Bu boşalmada ışımanın parlaklığı oldukça yüksektir. Bu bölgede akım $10^{-5} - 10^{-1}$ A arasındadır.

Akım 10^{-1} A'den daha yüksek bir düzeye çıkarsa burada artık ark boşalması söz konusu olur. Bu bölgede elektrotlar çok yüksek sıcaklıklara ulaştığı için katotta termiyonik elektron salınımı meydana gelir, akım yoğunluğu çok yükselir ve ark oluşumu gözlenir.



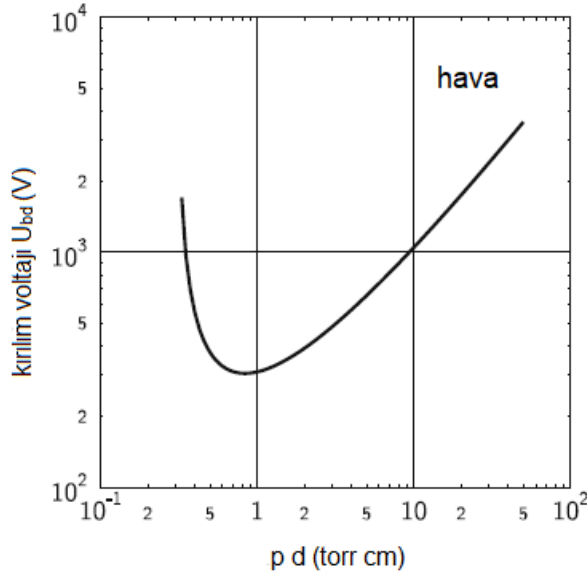
Şekil 3.2. Elektrik deşarj aşamaları [25]

Oluşan plazmadaki iyonizasyon derecesi, deşarj aralığına (d), ortam basıncına (p) bağılı olarak değışim göstermektedir. İyonizasyonun başlaması için gerekli kırılma voltajının bu değıerlere bağılılığı aşağıdaki “Townsend kırılma koşulu” ile ifade edilir ve paschen eğrisi ile gösterilir [1, 14].

$$V_{ba} = \frac{Bpd}{C + \ln(pd)} \quad (3.3)$$

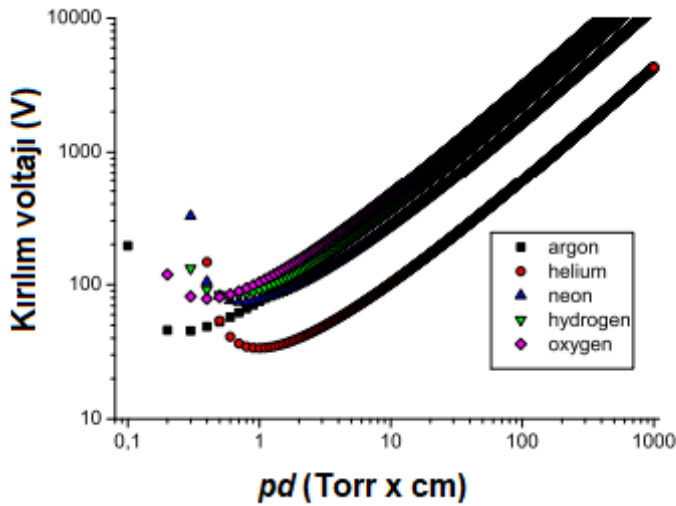
$$C = \ln \left[\frac{A}{\ln(1 + (1/\gamma))} \right] \quad (3.4)$$

γ , katoda çarpan iyonun elektron salınımına neden olma ihtimalini veren ifade olup salınan elektron akısının gelen iyon akısına oranıdır.



Şekil 3.3. Havanın basınç ve elektrotlar arası mesafeye bağlı kırılma voltajını veren paschen eğrisi [14]

Paschen yasası gazlardaki townsend kırılım mekanizmasını açıklar [25]. Her gazın kendine özgü bir yapısı olması nedeni ile kırılma voltajları farklıdır ve bu nedenle paschen eğrisi de her gaz için farklı elde edilir. Helyum ve argon gibi tek atomlu soygazlar nispeten daha küçük çaplara sahip oldukları için elektronların ortalama serbest yolunun daha büyük olmasına ve daha hızlı kırılım gerçekleşmesine olanak tanımaktadır [25]. Şekil 3.4'te farklı gazların belli basınç-mesafe konfigürasyonlarındaki paschen eğrileri paylaşılmıştır. Şekilde de görüleceği üzere tek atomlu soygazlar olan helyum ve argon diğer gazlara nispeten daha düşük kırılma voltajı değerine sahiptir.



Şekil 3.4. Farklı gazlar için kırılma voltajı eğrisi (paschen eğrisi)

3.2. Glow Deşarj

Glow deşarj, düşük sıcaklıklı plazma üretimi için kullanılan ilk yöntemlerden biridir [26]. Düşük basınçlarda, iki iletken arasına yüksek voltaj uygulandığında ve yeterli elektron yoğunluğu elde edildiğinde, ortam gazına özgü ışıma görülür. Bu ışıma glow deşarj olarak adlandırılır. Oluşan plazma ortamının elektriksel özellikleri ağır kütleli iyonların yüksek sıcaklıklara çıkarılması için yeterli olmadığından lokal termodinamik dengede olmayan soğuk plazma olarak sınıflandırılır. Glow deşarj farklı yöntemlerle elde edilebilmektedir. En sık karşılaşılan glow deşarjlar dbd (dielektrik bariyer deşarj) deşarj ve dc glow deşarj yöntemleridir.

Tez kapsamında dc glow deşarj yöntemi ile çalışılacağı için bu deşarj yöntemi aşağıdaki başlıkta ayrıntılı olarak incelenmiştir.

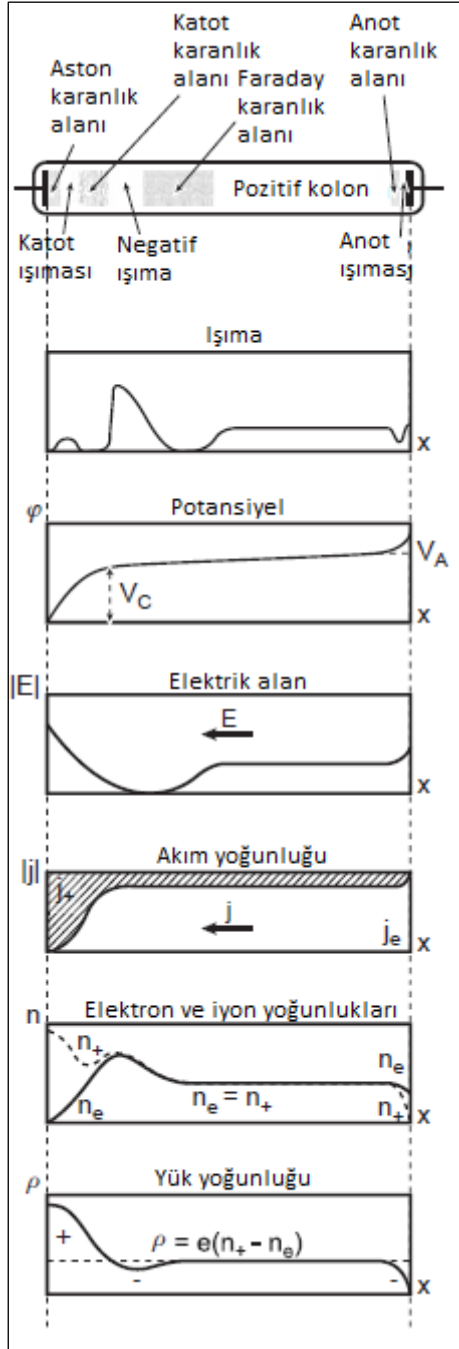
3.2.1. DC glow deşarj

Glow deşarj, pozitif iyon bombardımanı sonucunda ikincil emisyonlar sebebi ile elektron yayan “soğuk katot” aracılığı ile “kendiliğinden-süregelen” bir deşarj tipidir. En ayırt edici özelliği katot önünde büyük miktarda pozitif uzay yükünün bulunması ve yüzeyde güçlü bir alan oluşturmasıdır, bu nedenle potansiyelde 100-500 V veya daha fazla düşüş gözlenir [21]. Bu düşüş katot düşmesi olarak da bilinir. Ve katot yüzeyinin kalınlığı gaz basıncı ile ters orantılıdır. Eğer iç elektrotlar birbirinden yeterince ayrırsa anot ve katot arasında çok zayıf bir alan şeklinde nötral plazma bölgesi oluşur. Bu bölgenin neredeyse homojen olan kısmına pozitif sütun denir bu bölge anot katmanı ile anottan ayrılmıştır. Deşarj akımının artırılmaya devam edilmesi ile birlikte glow deşarj “düzensiz” rejime geçer bu aşamadan sonra artan akım elektrotlar arasında ark oluşumuna neden olur [14]. Çizelge 3.2’de DC glow deşarja ait karakteristik parametreler paylaşılmıştır:

Çizelge 3.2. DC Glow deşarj için fiziksel parametre aralığı [27]

Parametre	Düşük Değer	Karakteristik Değer	Yüksek Değer
Nötral gaz basıncı (Torr)	10^{-6}	0,5	760
Elektrot voltajı (V)	100	1.000	50.000
Elektrot akımı (A)	10^{-4}	0,5	20
Elektron yoğunluğu (elektron/m ³)	10^{14}	5×10^{15}	6×10^{18}
Elektron kinetik sıcaklığı (eV)	1	2	5
Güç seviyesi (W)	10^{-2}	200	250.000
Plazma hacmi (litre)	10^{-6}	0,1	100

Oluşan glow deşarj plazması, katot önündeki yük birikmesi nedeni ile negatif ışıma ve pozitif ışıma olarak iki bölüme ayrılır. Bu fenomenin neden olduğu elektrik alan değişimi aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 3.5. Glow deşarj plazmasının yapısında bulunan farklı ışıma bölgeleri ve ışıma bölgelerine denk gelen temel fiziksel parametreler [21]

Glow deşarjda gözlenen spesifik bölgeler şu şekilde sıralanabilir [14, 21, 23]:

- Katot önünde yük birikmesi nedeni ile oluşan karanlık alan (Aston karanlık alanı)
- Katot ışıması ve takip eden katot karanlık alanı
- Negatif ışıma alanı, katot karanlık alanından sonra belirgin bir parlaklık ile gözlenir ve anot ucuna doğru ışıma şiddeti azalır

- Negatif ışıma sonunda gözlemlenen karanlık alan (Faraday karanlık alanı)
- Faraday karanlık alanını takip eden ve negatif ışıma kadar güçlü olmayan pozitif ışıma alanı
- Anot karanlık alanı
- Anodun hemen yanında gözlenen anot ışıması

DC Glow Plazma'nın pozitif sütunu zayıf iyonize olmuş dengede olmayan plazmaya verilebilecek en uygun ve yaygın örnektir [21].

ve bu sayede; GaAs üzerinde büyütülebilir olması nedeni ile ilk tercih olmuştur [32]. Böylece yeşil/mavi lazer diyot üretimi için geliştirilen ZnSe ilerleyen zamanlarda kızılötesi görüntüleme sistemleri dahil olmak üzere farklı kullanım alanları geliştirmiştir. Çizelge 4.1’de çeşitli kaynaklardan elde edilen ZnSe yarı iletkenine ait özellikler verilmiştir:

Çizelge 4.1. ZnSe teknik özellikleri

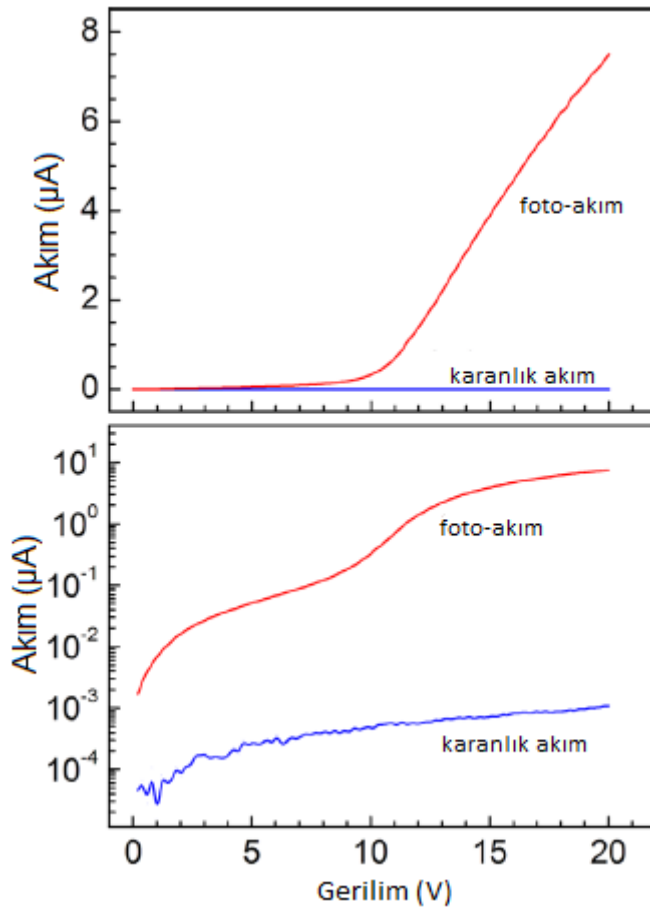
ZnSe		
Parametre	Değer	Kaynak
Yoğunluk	5,266 g/cm ³	[1]
Dielektrik sabiti (statik)	8,6;9,2;9,1;7,6;8,6	[1]; [2]
Dielektrik sabiti (yüksek frekans)	5,7;5,90;6,1;5,4;8,7	[1]; [2]; [3]
Direnç (RT)	10 ⁹ Ωcm, 10 ⁸ –10 ¹⁰ Ωm, 10 ¹² Ωcm	[4], [5], [1]
İletkenlik	1,62.10 ⁻⁶ (Ωcm) ⁻¹ (310K)	[6]

Çizelge 4.1’de paylaşılan veriler katkılanmamış ZnSe yarıiletkenine ait verilerdir. Yapılan çalışmalarda bu özelliklerin, alttaş sıcaklığı, katkı maddesi ve foton enerjisi gibi pek çok parametreye göre değiştiği gösterilmiştir.

ZnSe günümüzde, IR başta olmak üzere pek çok optik sistem için oldukça avantajlı özelliklere sahip olması nedeni ile optik lens ve optik pencere olarak kullanılmaktadır. Bu özelliklerden bazıları şu şekilde sıralanabilir [38]:

- Düşük absorbsiyon,
- Geniş bant aralığı
- Termal şoklara dayanıklılık sağlayan yüksek direnç değeri,
- Görünür ışık bölgesinden orta-ır ve uzak-ır dalgaboylarına kadar geçirgenlik,
- Yüksek kırınım indeksi,
- Düşük dağılım

Bu özellikler ZnSe yarıiletkeninin aynı zamanda UV-fotodedektör olarak kullanımının da yolunu açmaktadır. UV-fotodedektörler için kullanılan Si ve GaAs yarıiletkeninin yüksek UV radyasyon altında aşınması bir dezavantaj oluşturmaktadır, ZnSe yüksek elektrik alan gücü altında elektrik kırınımına maruz kaldığı için bu aşınma etkisini oldukça azaltmaktadır aynı zamanda yüksek direnç özelliği UV ve X-ray radyasyonuna dayanıklı olmasını sağlar [39]. ZnSe'nin bu özelliği sayesinde yüksek voltaj uygulanarak fotoelektrik etkisi (iyonizasyon) sonucu duyarlılığı (foto-akım/karanlık-akım) artırılabilir.

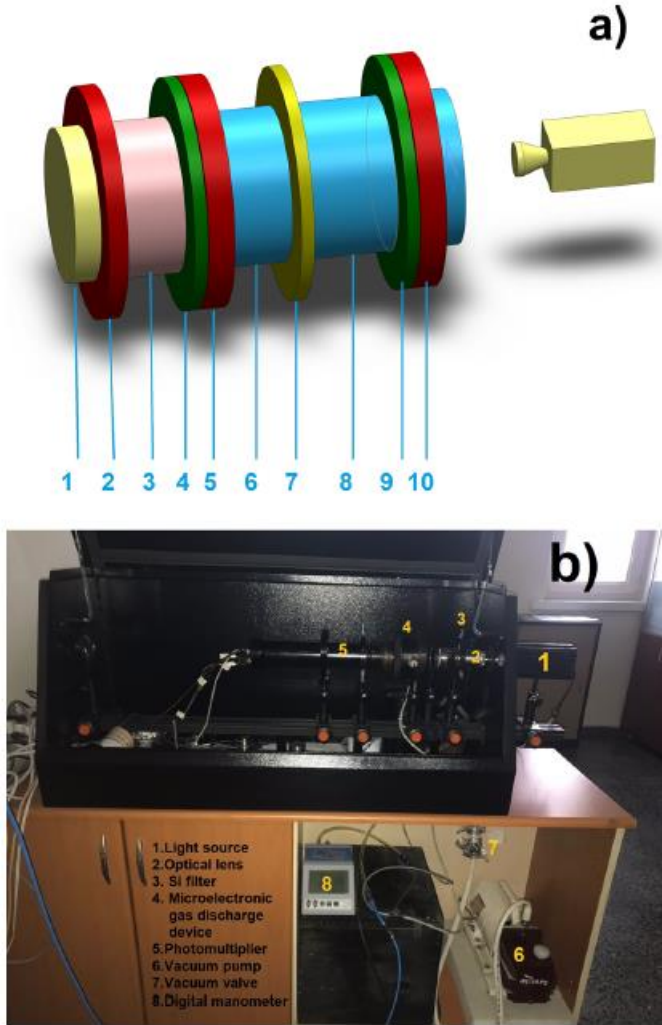


Şekil 4.2. ZnSe tabanlı MSM UV fotodedektöre ait akım-voltaj grafikleri [39]

Yukarıdaki grafik incelendiğinde ZnSe'nin UV aydınlatma altında lineer olmayan özellik gösterdiği görülmektedir. Herhangi bir uyarıcı olmadığında akım değeri uygulanan voltaj ile orantılı olarak artarken UV lazer aydınlatma altında oldukça farklı bir yükseliş trendi izlemektedir.

5. DENEY DÜZENEGİ

Tez çalışmasında kullanılan deney düzeneği Şekil 5.1’de paylaşılmıştır. Deney düzeneğinde plazma oluşturmak için iki elektrot kullanılmış (5 ve 9) ve aralarındaki mesafe olan gaz deşarj aralığı (6) ortası boş yalıtkan malzeme (7) ile değiştirilebilir şekilde tasarlanmıştır. Au kaplamalı (4) ZnSe yarıiletken (5) katot, SnO₂ ince film kaplamalı (9) cam disk ise anot olarak kullanılmıştır. Işık kaynağı (1) devamında Si filtre (2) kullanılarak görünür bölgedeki ışınların soğurulup yalnızca kızılötesi dalga boyundaki ışımaların (3) ZnSe yarıiletkenine düşürülmesi sağlanır. Güç kaynağından uygulanan voltaj ile elektrotlar arasında dc glow deşarj oluşumu (8) gözlenir.



Şekil 5.1. Kullanılan deney düzeneğinin şematiği (a) ve görüntüsü (b)

Deney düzeneği bir vakum odası içerisine yerleştirilmiştir ve test konfigürasyonuna göre deşarj bölgesindeki basınç kademeli olarak artırılabilir. ZnSe yarıiletkeninde aydınlatılan bölge, iletkenliğin artırılması amacı ile Au katmanı ile kaplanmış olup kaplama kalınlığı yaklaşık 40 nm'dir. ZnSe'nin direnci ışınım şiddeti ile ayarlanabilmekte olup oda sıcaklığında 10^7 - 10^{12} Ω cm aralığındadır (Bkz. Çizelge 4.1). Katot görevi gören SnO₂ filmin direnci ise 15–20 Ω /cm² ve Au film için 10 Ω /cm²'dir [40].

Güç kaynağı olarak 200-1000 V aralığa sabit stabilize güç kaynağı (Stanford PS323) kullanılmıştır. Deşarj bölgesinde gözlemlenen ışınım foto-sayım ünitesi (ELSEC 9010-Littlemore Scientific Engineering) kullanılarak dedekte edilmiştir. Veriler sistem için özel üretilen bir yazılım ile toplanmıştır.

5.1. Deney Konfigürasyonu

Tez çalışması kapsamında ZnSe yarıiletkeninin elektro-optik özelliklerinin incelenmesi için Townsend kırılma voltajı ifadesinde belirtilen kırılma voltajının basınç ve elektrotlar arası mesafeye bağlı olarak değişmesi göz önüne alınarak üç farklı elektrot çapında (9, 12, 18 mm) ve dört farklı deşarj alanında testler gerçekleştirilmiştir. Testler kapsamında aynı zamanda basıncın etkisi de incelenmek üzere kademeli olarak artırılmıştır (320-900 Torr). Deşarj hücrendeki ışınımın karakteristiği ve yarıiletkenin akım-voltaj davranışının incelenebilmesi için ise farklı şiddetlerde aydınlatma sağlanmıştır. Bu şekilde yarıiletkenin direncinin değiştirilmesi ve farklı koşullardaki akım-voltaj davranışının gözlenebilmesi amaçlanmıştır. Çizelge 5.1'de test konfigürasyonu özeti paylaşılmıştır.

Çizelge 5.1. Test konfigürasyonu

Elektrot Çapı (mm)	9	12	18
Elektrotlar Arası Mesafe (μ m)	50		
	100		
	160		
	330		

Çizelge 5.1. (Devam) Test konfigürasyonu

Basınç (Torr)	320
	450
	500
	550
	600
	650
	760
	800
	900
Aydınlatma Şiddeti (a.u)*	K
	L1
	L2

*ışık şiddeti: $L3 > L1 > K$

Seçilen test konfigürasyonu ile Helyum ortamında ZnSe yarıiletkenin farklı direnç davranışı gösterdiği durumlardaki akım-voltaj karakteristiği incelenmiş ve Helyum gazının farklı basınç ve elektrotlar arası mesafe değerlerinde kırılma voltajındaki değişim grafikleri elde edilmiştir. Çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıkta paylaşılmıştır.

6. DENEY SONUÇLARI

ZnSe bilindiği üzere termal görüntüleme sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bunun nedenlerinden biri 8-14 μm aralığında kızılötesi ışık için geçirgen olmasıdır. Test sisteminde ZnSe ve ışık kaynağı arasında Si filtre eklenerek yarıiletken üzerine gelen ışımanın yalnızca KÖ bölgesindeki dalga boyunda olması sağlanmıştır. Deşarj bölgesindeki ışımanın ölçülmesi için foto-sayım ünitesi kullanılmış ve sistem dışına KÖ sızıntısını önlemek için cam filtre eklenmiştir.

ZnSe, maruz kaldığı ışıma şiddetine göre direnci değişen bir malzemedir ve bu özelliği tez çalışması sonucunda elde edilen verilerle gözlenmiştir. ZnSe üzerine düşen ışıma şiddeti ve kırılma voltajı grafiği incelendiğinde, ışıma şiddeti arttıkça glow deşarjın daha hızlı gerçekleştiği yani diğer bir deyişle kırılma voltajı sınırının düştüğü görülmüştür. Bu gözlemin ZnSe direncinin ışıma şiddeti ile değişmesi sonucunda elde edildiği değerlendirilmiştir.

6.1. Farklı Elektrotlar Arası Mesafelere Göre Akım-Voltaj Karakteristiği

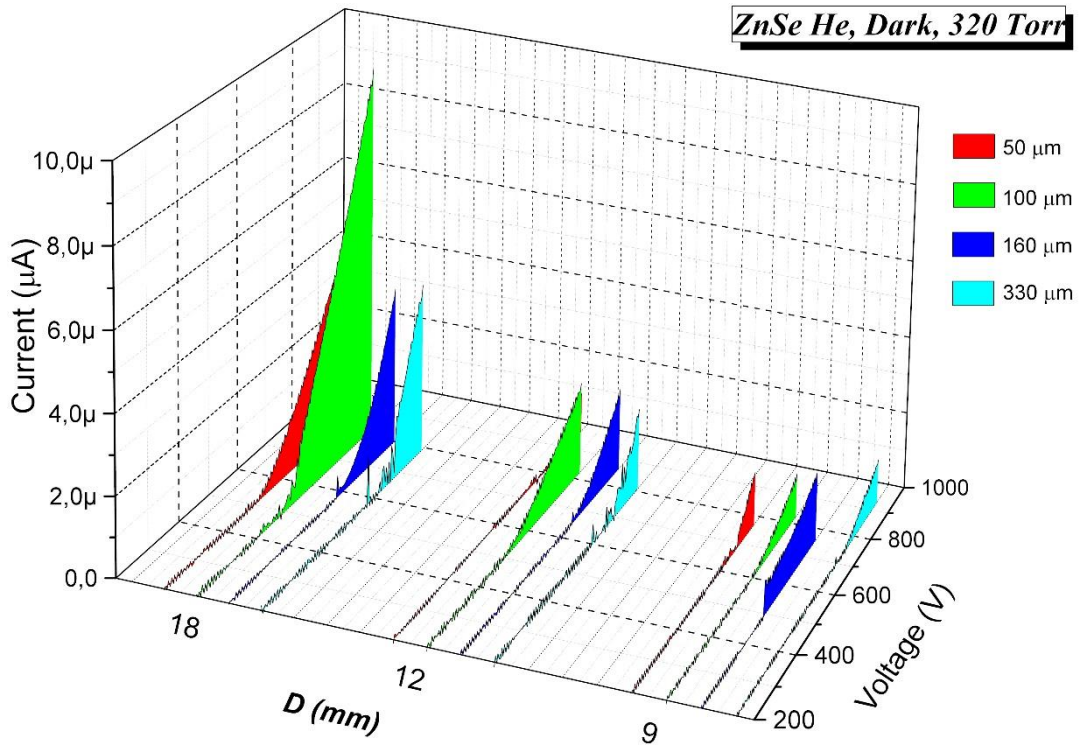
Elektronun katot ve anot arasında aldığı mesafe ve bu mesafede yaptığı çarpışma sayısı göz önüne alındığında bu etkinin kırılma voltajı üzerinde doğrudan etkisi olacağı değerlendirilmektedir. Elektrotlar arası mesafe genişledikçe, yeterli voltaj değeri sağlandığında elektron, anota ulaşana kadar daha fazla iyonizasyon reaksiyonuna girebilecek ve ortamdaki yük sayısını artıracaktır.

Aşağıdaki grafiklerde sabit basınç, elektrot çapı (D) ve elektrotlar arası mesafe (d) değerlerinde akım-voltaj karakteristiği incelenmiştir. Dış bir ışık kaynağının etkisi olmadan farklı elektrotlar arası mesafenin etkileri incelendiğinde her basınç değerinde minimum akım değerlerinin tamamı 9 mm elektrot çapında izlenmiştir. Elektrotlar arası mesafe etkisi incelendiğinde ise 600 Torr'a kadar 330 μm mesafe ve sonrasında 160 μm mesafede minimum akım değerleri gözlenmiştir. Deşarj bölmesinde ulaşılan maksimum akım değeri ise 18 mm çapında görülmüştür. Burada da 600 Torr'a kadar 100 μm mesafede ve sonrasında 50 μm mesafede maksimum akım değeri alınmıştır.

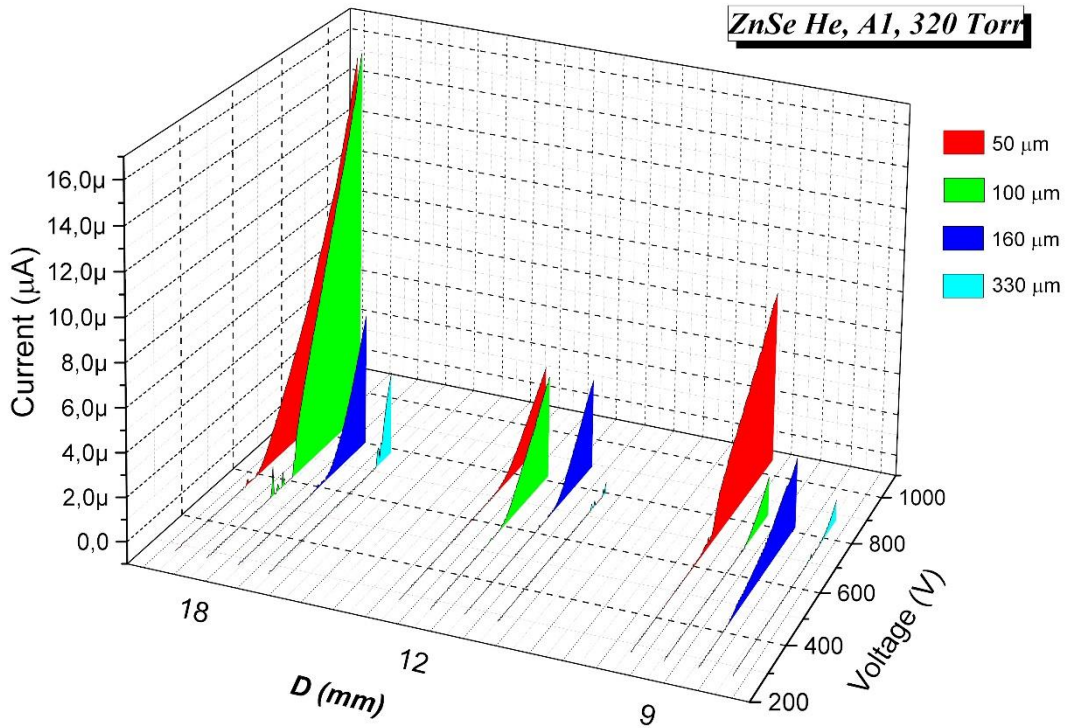
A1 şiddetinde ışık ile aydınlatılan ZnSe'nin akım-voltaj karakteristiği incelendiğinde akım değerinin elektrot çapı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Bu etki yarı-iletken yüzeyinin artması ile daha çok elektron salınımının gerçekleşmiş olması ile açıklanabilir. Elektrotlar arası mesafenin akım üzerine olan etkisinin basınç ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. Büyük elektrot çapında basınç arttıkça daha kısa mesafelerde daha yüksek akımlara ulaşılabilmiştir. Tam tersi durum ise en düşük yarıçaplı elektrot kullanımında daha düşük mesafelerde daha düşük akımların ölçülmesi şeklinde olmuştur. Buradan çıkarılacak sonuç kullanılacak mikro-deşarj bölmesi konfigürasyonunun belirlenmesinde elektrot yarıçapının mutlaka göz önünde bulundurulması ve çapa göre optimum parametrelerin belirlenmesi şeklindedir.

Elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin kırılma voltajı üzerine olan etkisi incelendiğinde ise 9 mm elektrot çapında 50 μm ve 330 μm elektrotlar arası mesafede kırılmanın geç gerçekleştiği 100 ve 160 μm ise birbirine oldukça yakın değerlerde daha erken gerçekleştiği görülmüştür. Ekstra aydınlatmanın kırılma voltajını düşürme etkisinin gözlenmesi ile birlikte bu etki 100 V'tan az olup 9 mm çaplı elektrotta, 330 μm 'de daha belirgin olarak gözlenmiştir. Tüm basınçlarda uygulanan ışık şiddetinin etkisi K ve A1 arasında belirgin iken A1 ve A3 arasındaki aydınlatma seviyelerinde önemli bir fark gözlenmemiştir ($K < A1 < A3$).

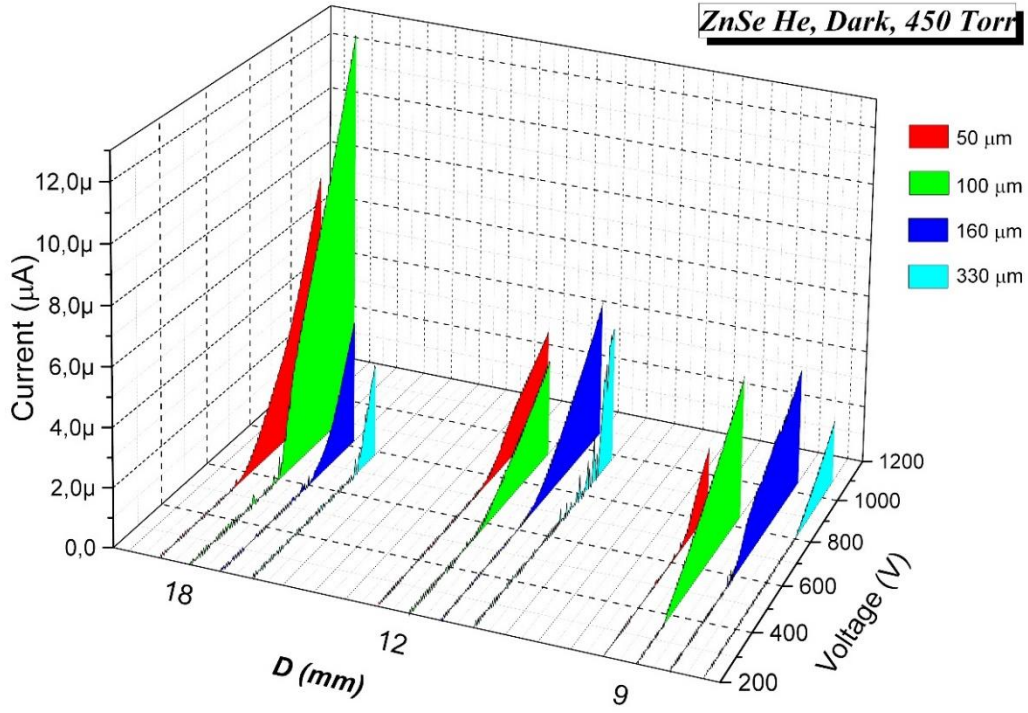
Akım ve voltaj değerleri incelendiğinde; ölçülen akım ve kırılma voltajı değerlerinin basınçla birlikte artış gösterdiği görülmüştür. Bu ilişki paschen eğirisinde de gözlenmekte olup deneysel verilerin literatür ile uyumlu olduğunu göstermektedir.



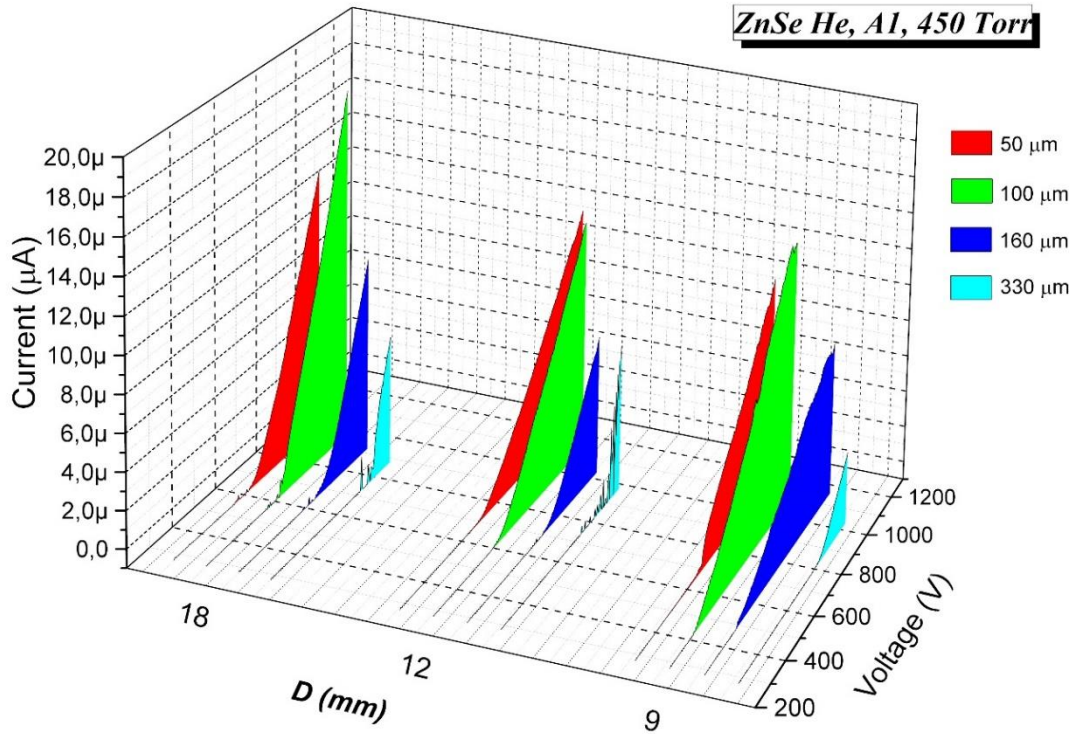
Şekil 6.1. 320 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



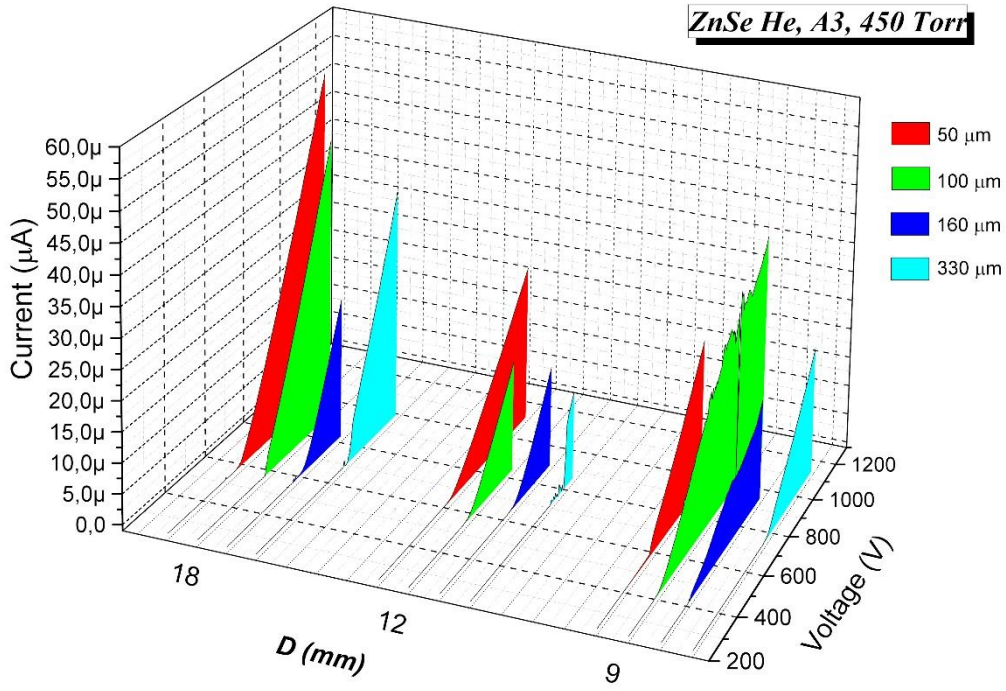
Şekil 6.2. 320 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



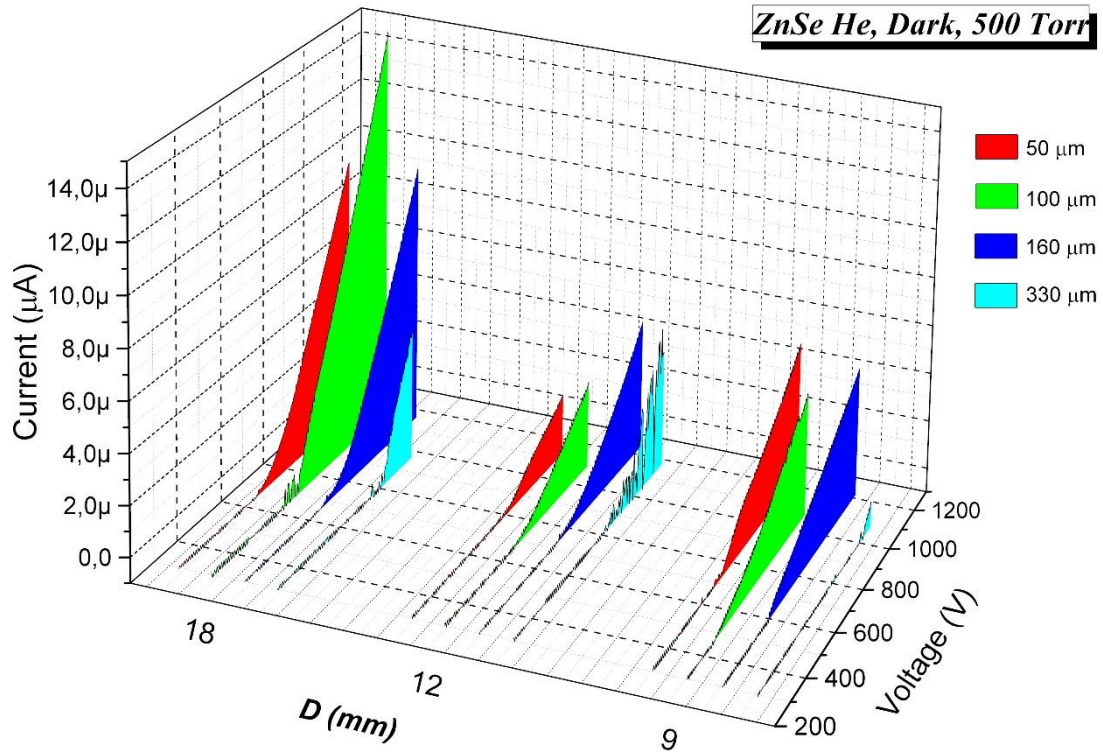
Şekil 6.3. 450 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



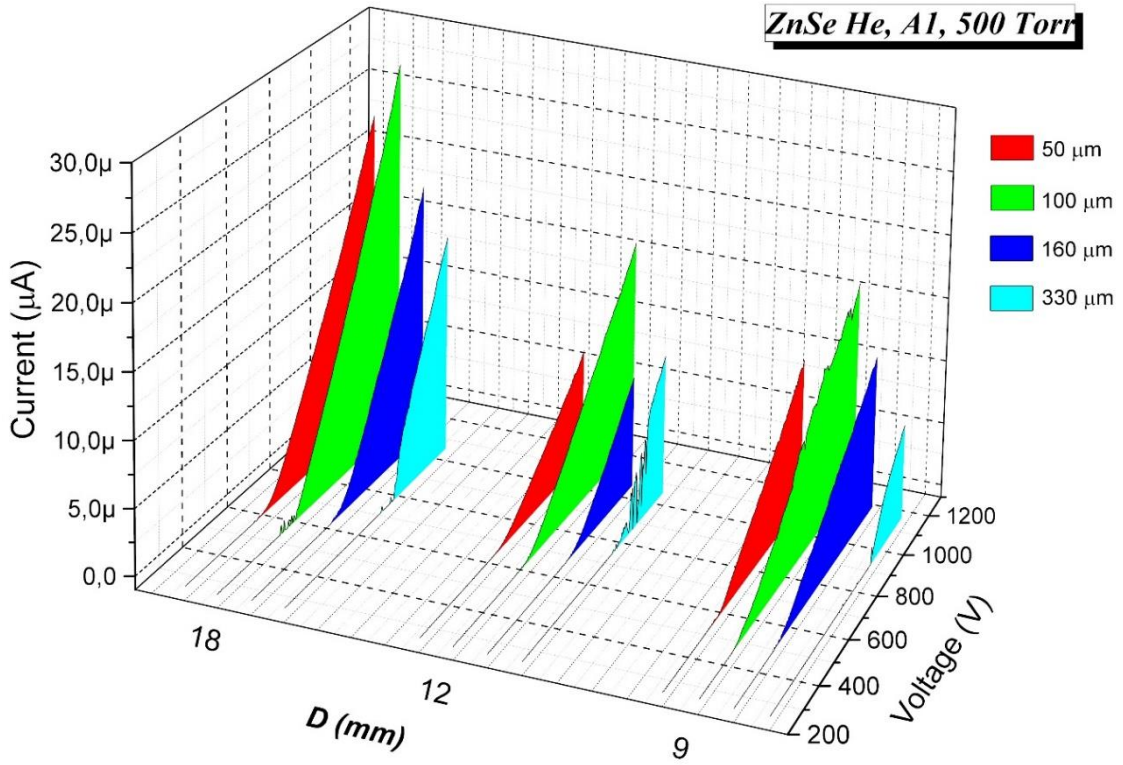
Şekil 6.4. 450 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



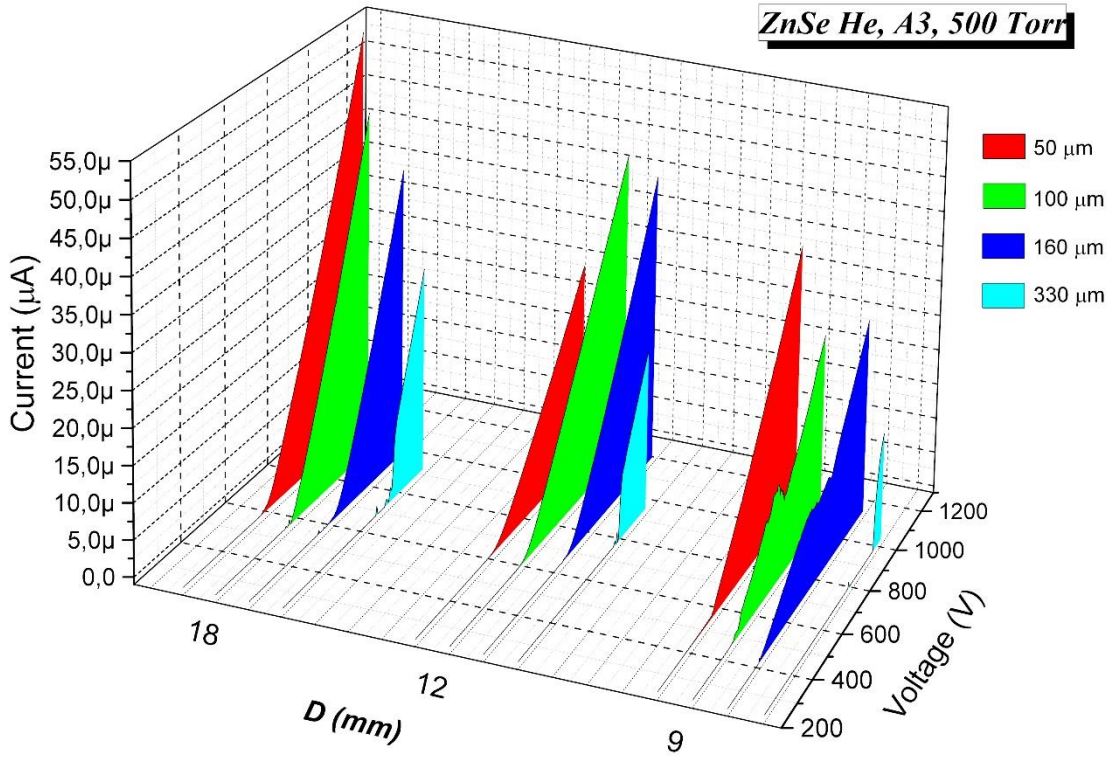
Şekil 6.5. 450 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



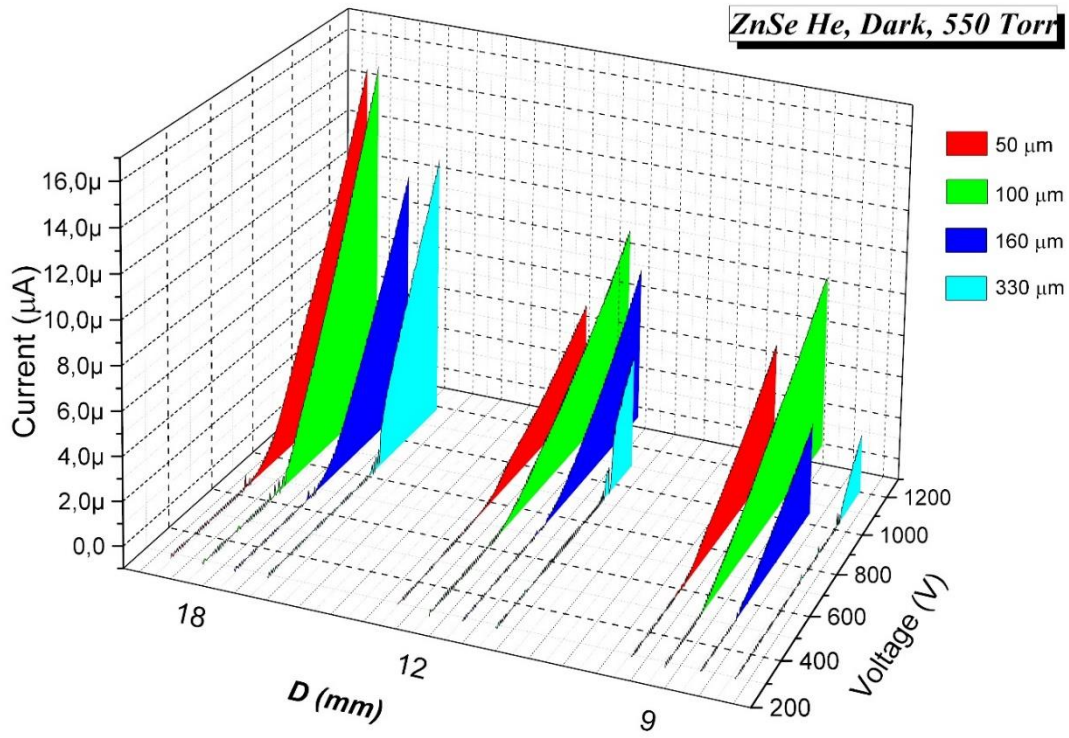
Şekil 6.6. 500 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



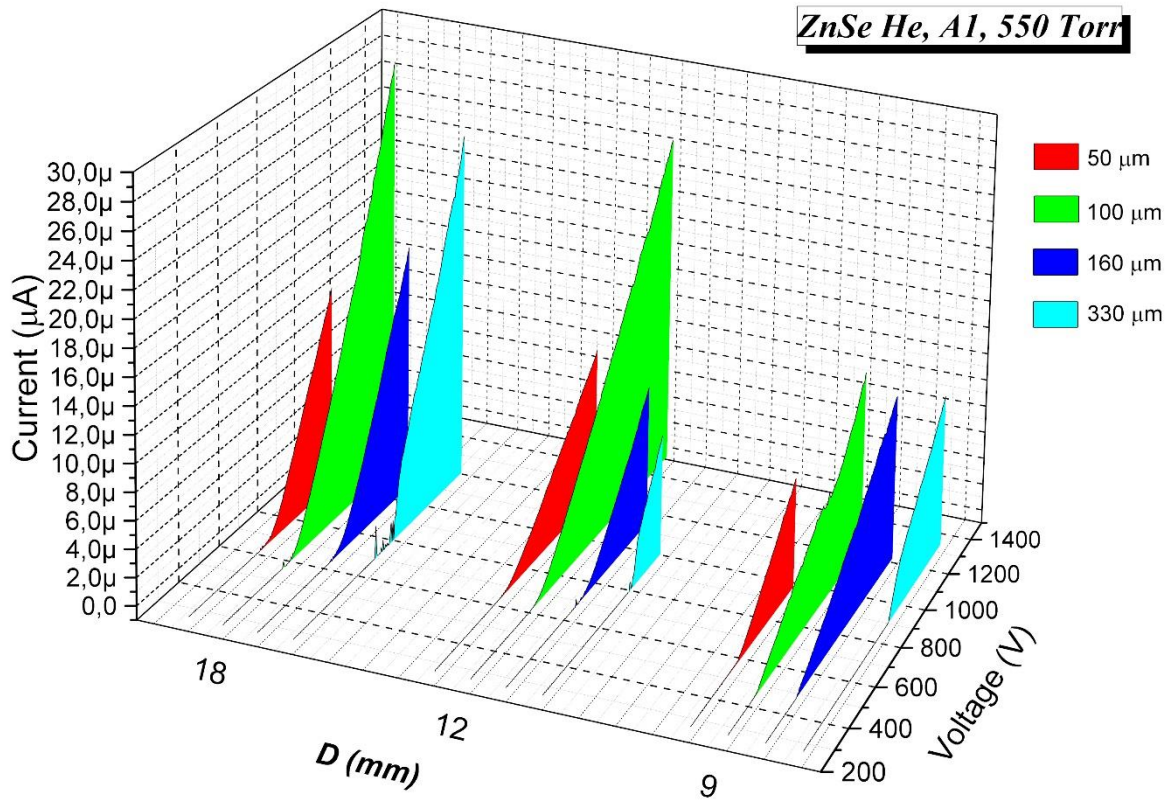
Şekil 6.7. 500 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



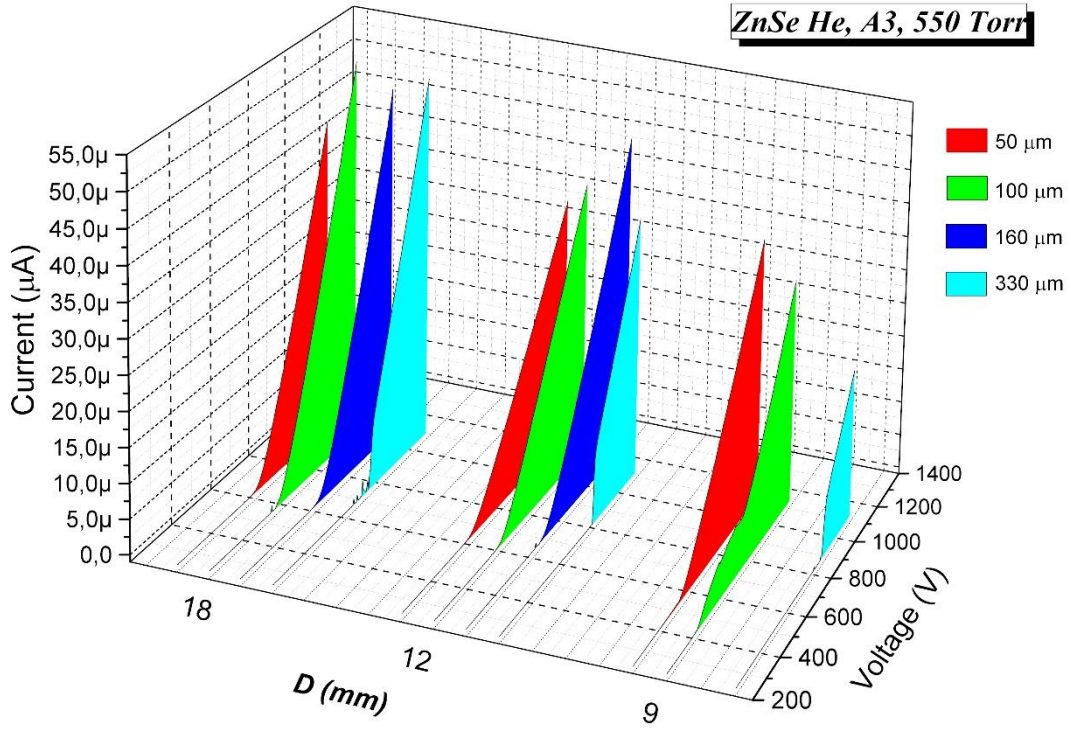
Şekil 6.8. 500 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



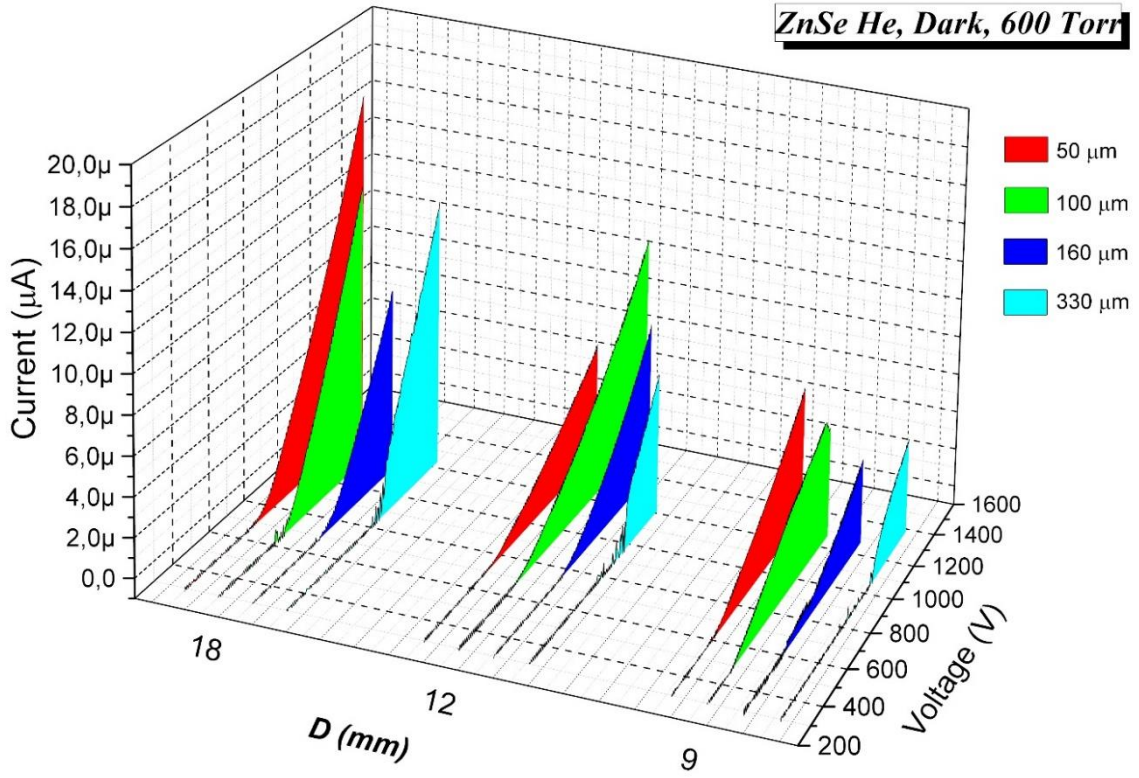
Şekil 6.9. 550 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



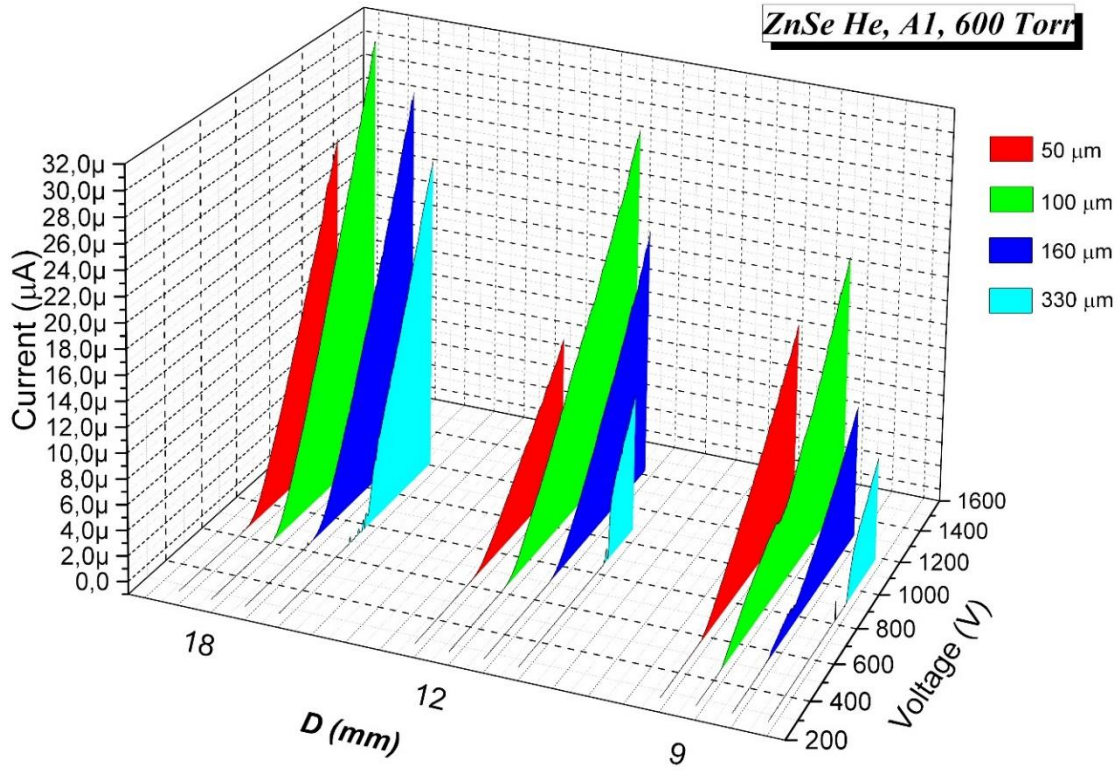
Şekil 6.10. 550 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



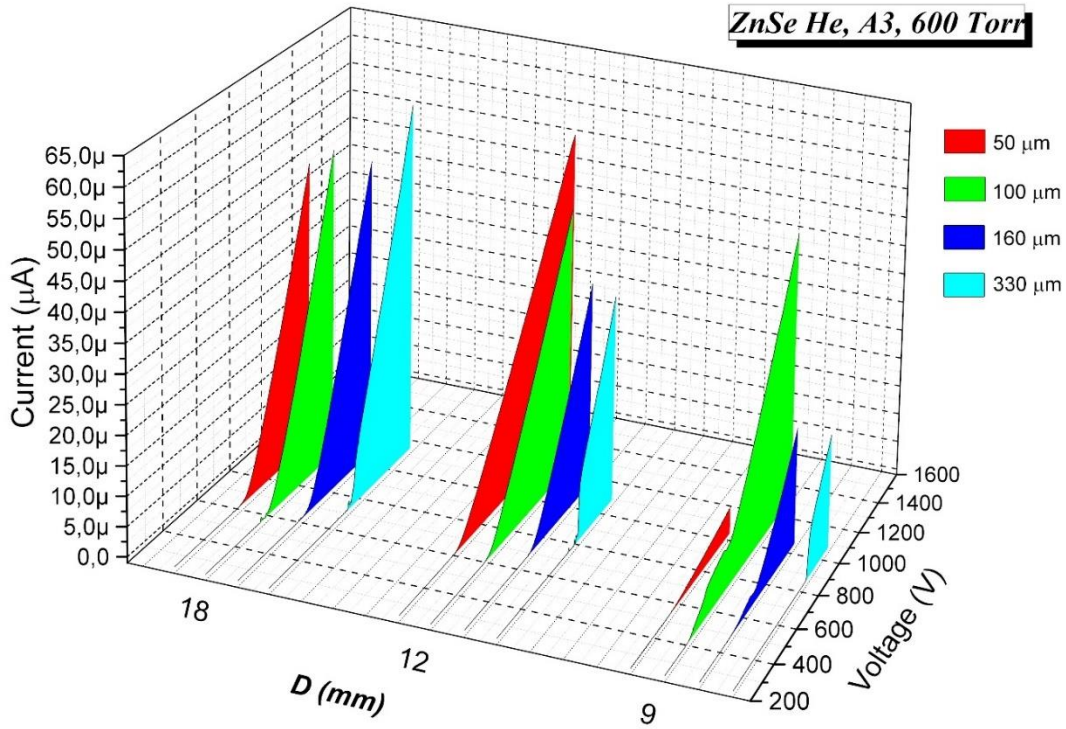
Şekil 6.11. 550 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



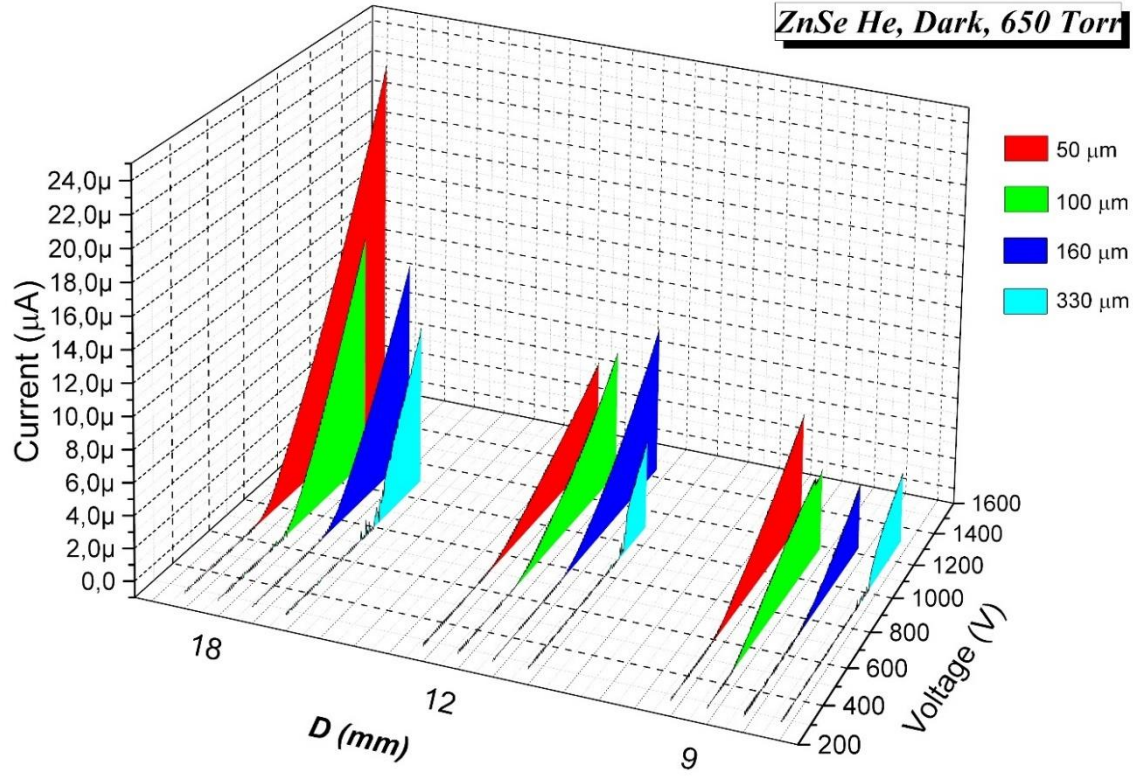
Şekil 6.12. 600 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



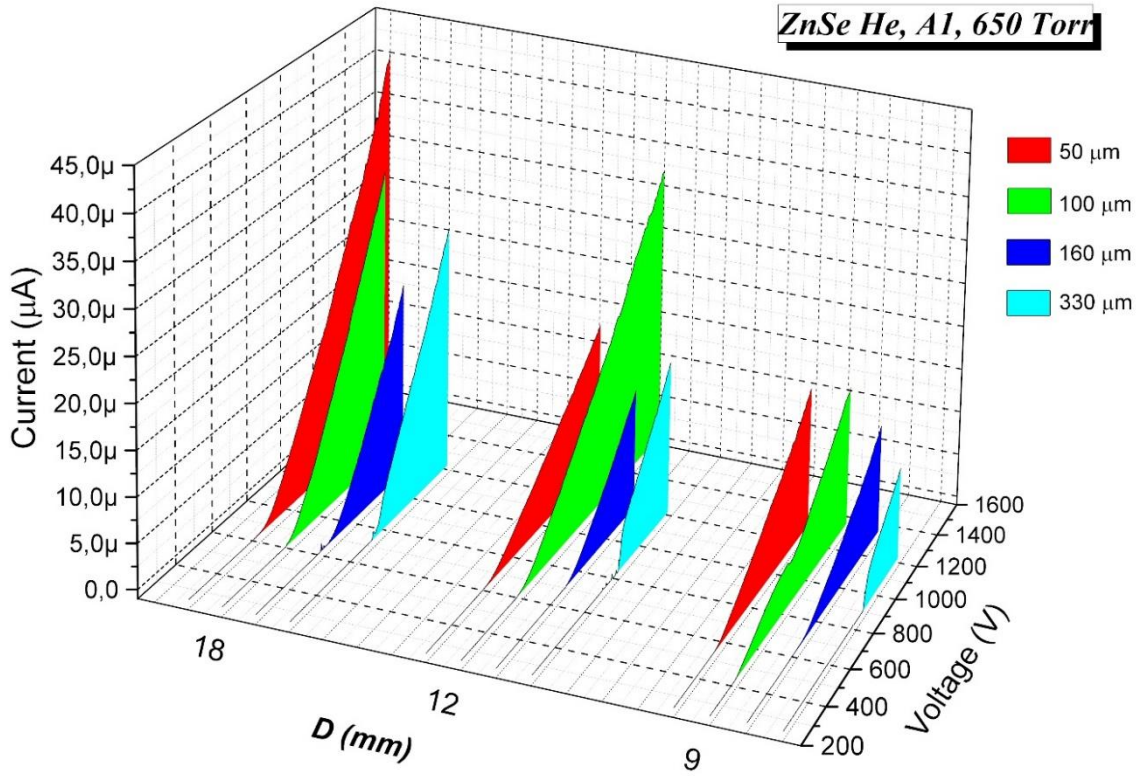
Şekil 6.13. 600 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



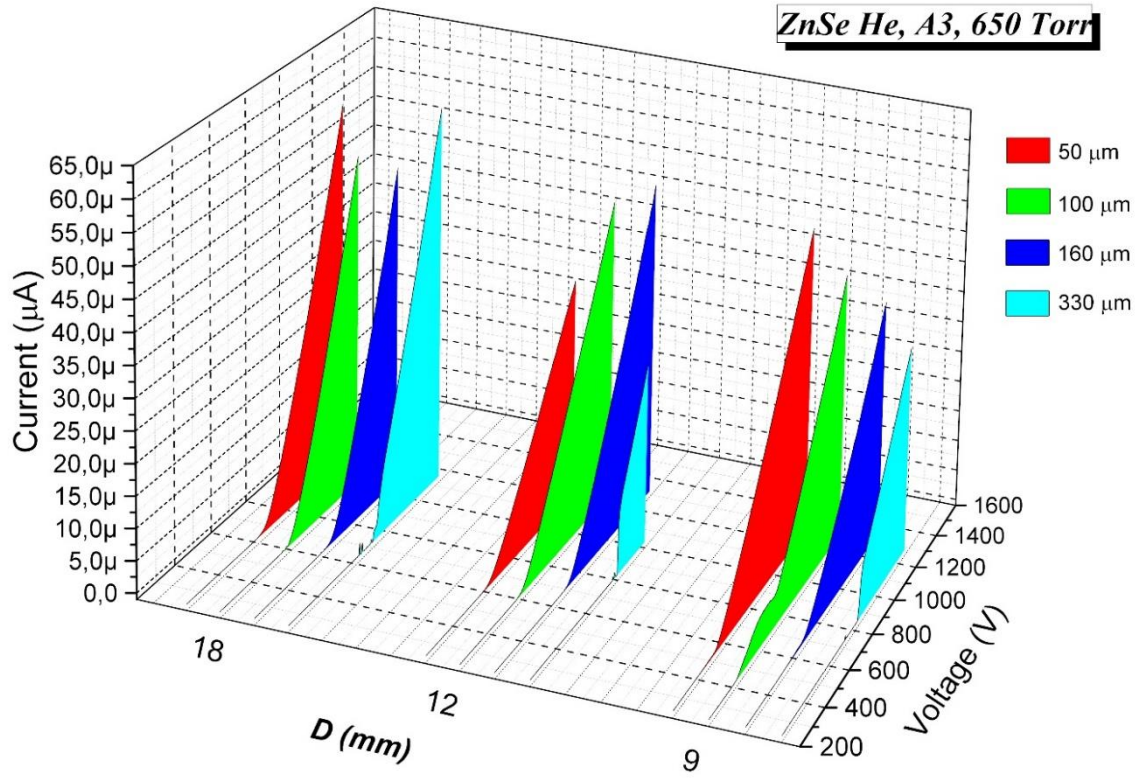
Şekil 6.14. 600 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



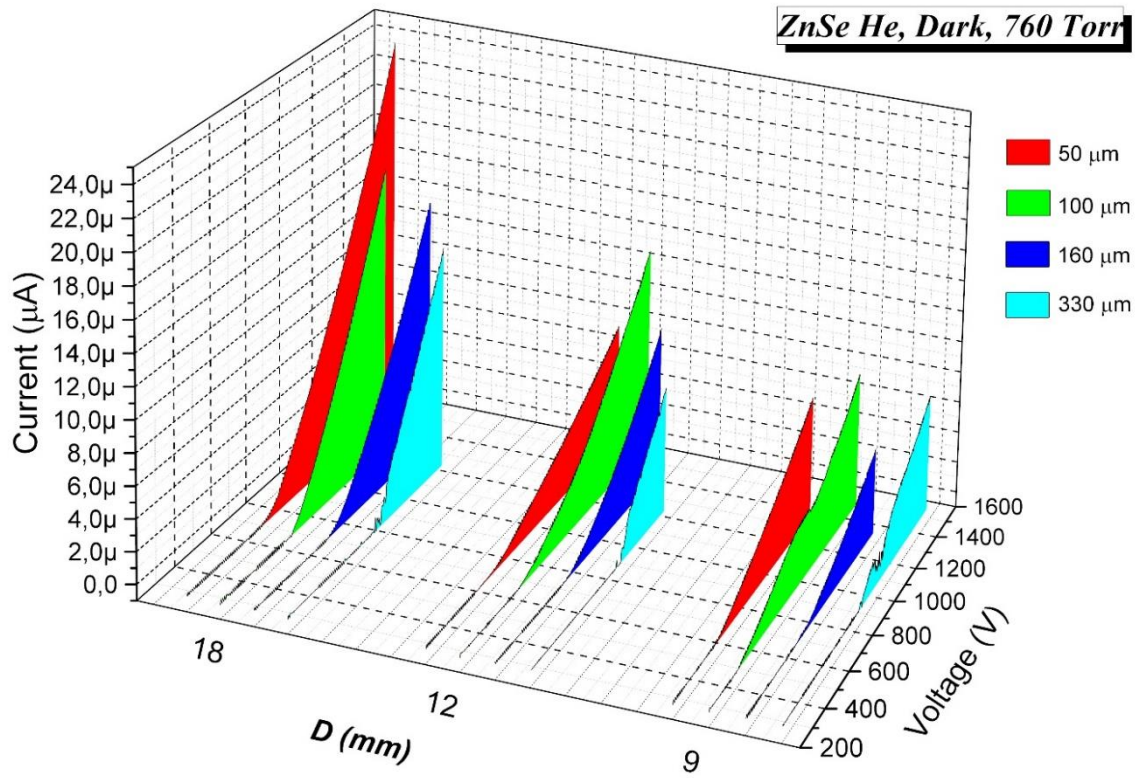
Şekil 6.15. 650 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



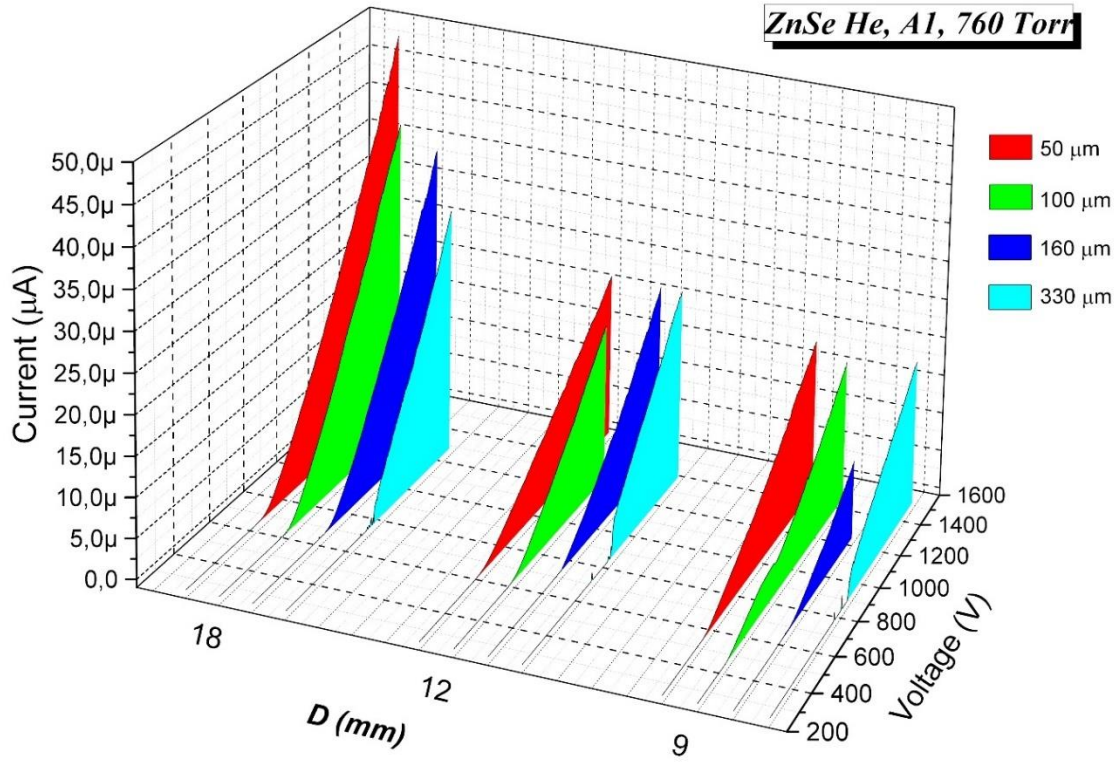
Şekil 6.16. 650 Torr basınçta Al aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



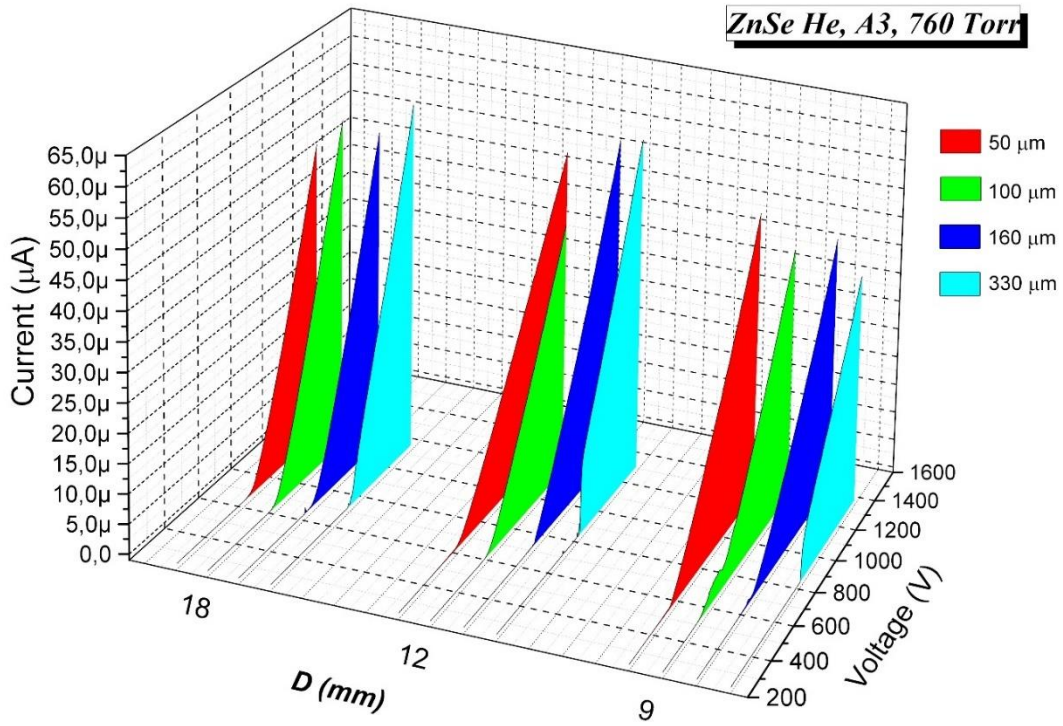
Şekil 6.17. 650 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



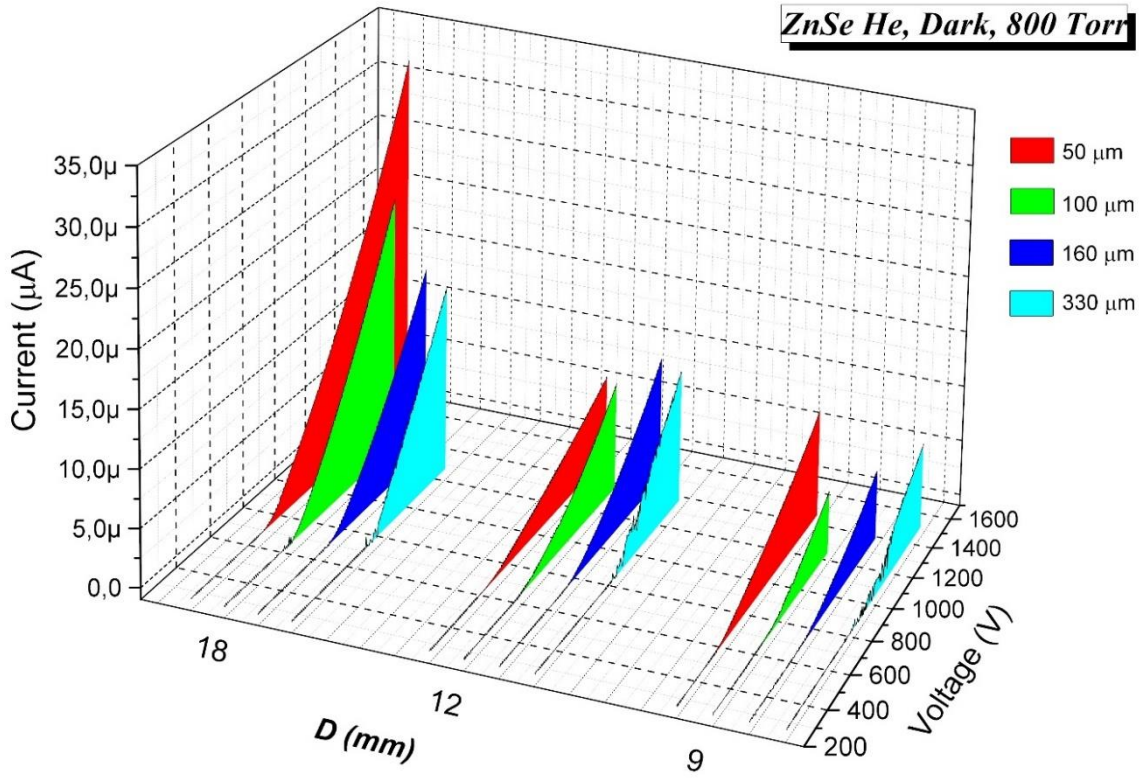
Şekil 6.18. 760 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



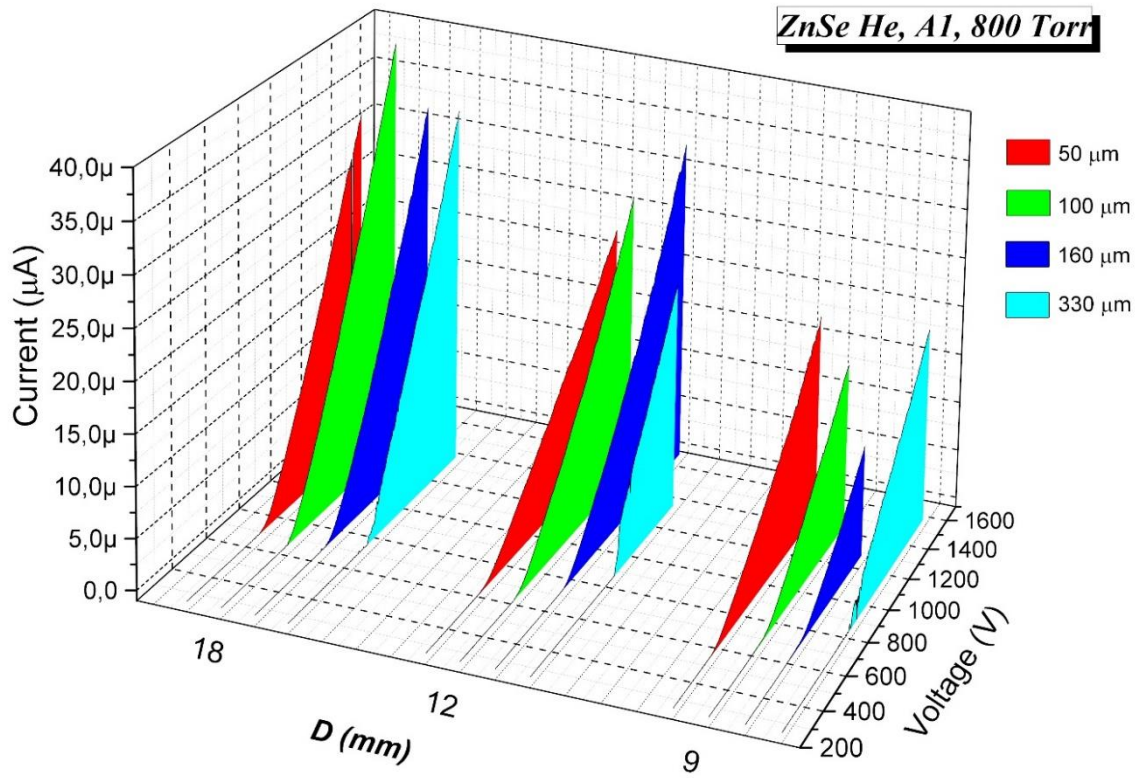
Şekil 6.19. 760 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



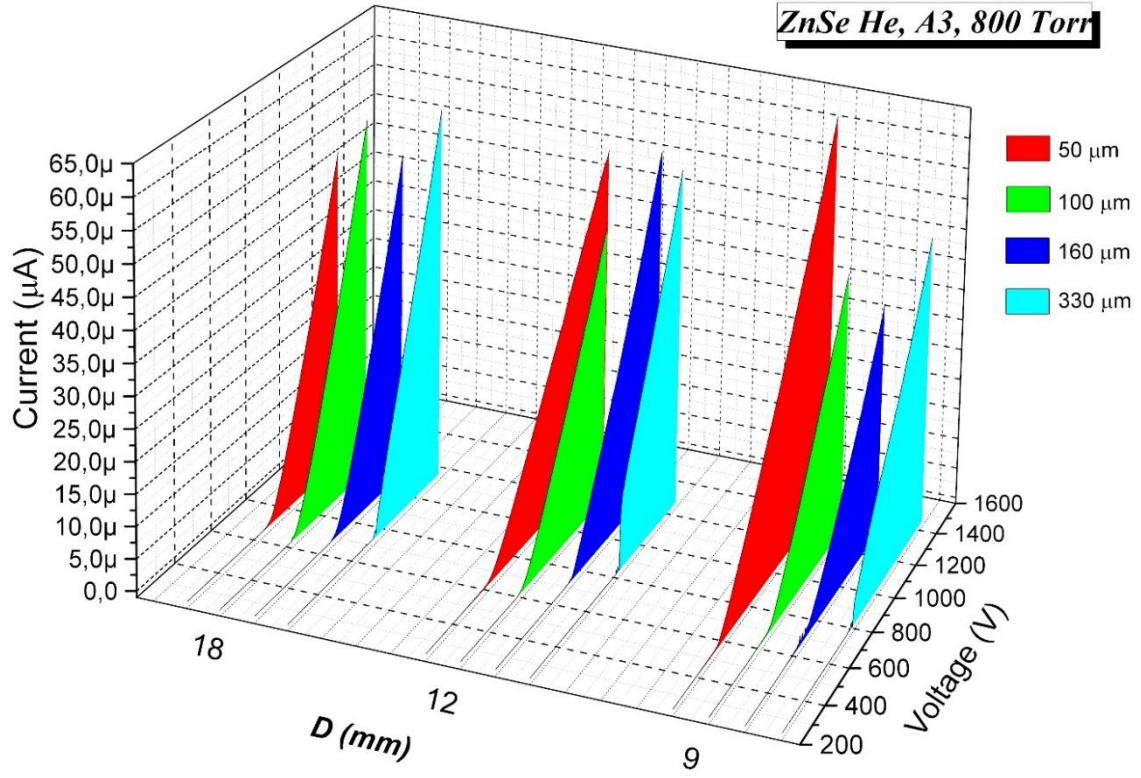
Şekil 6.20. 760 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



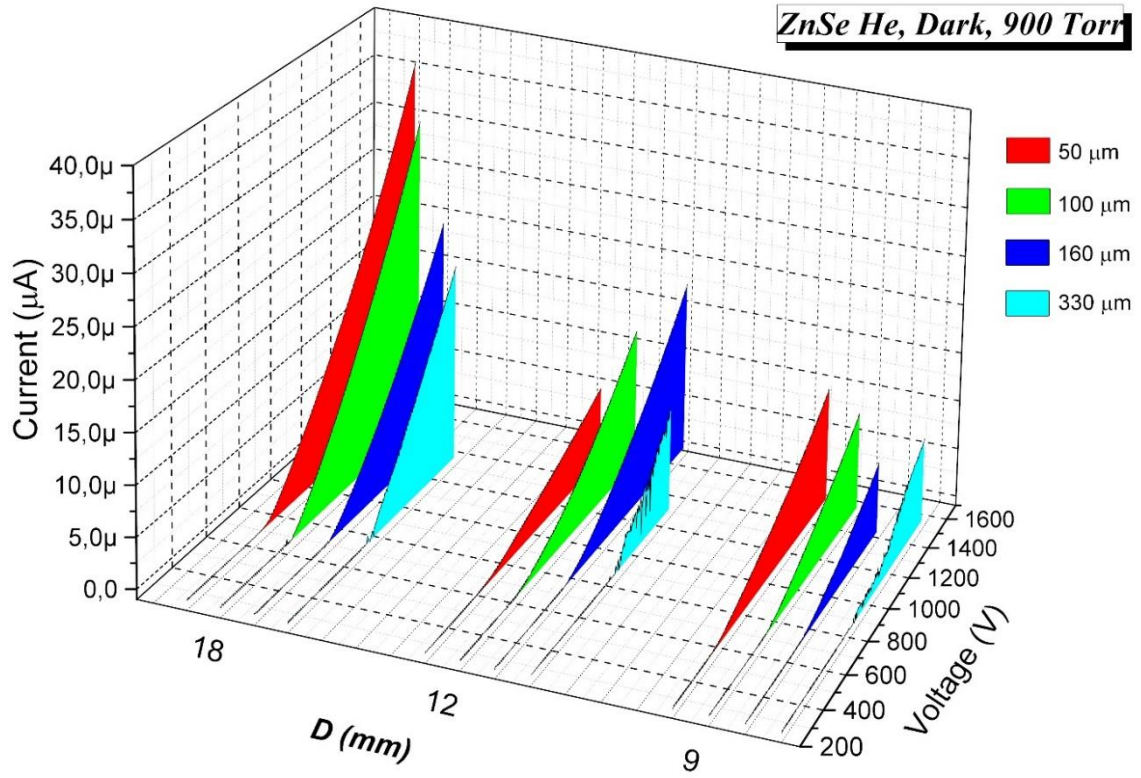
Şekil 6.21. 800 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



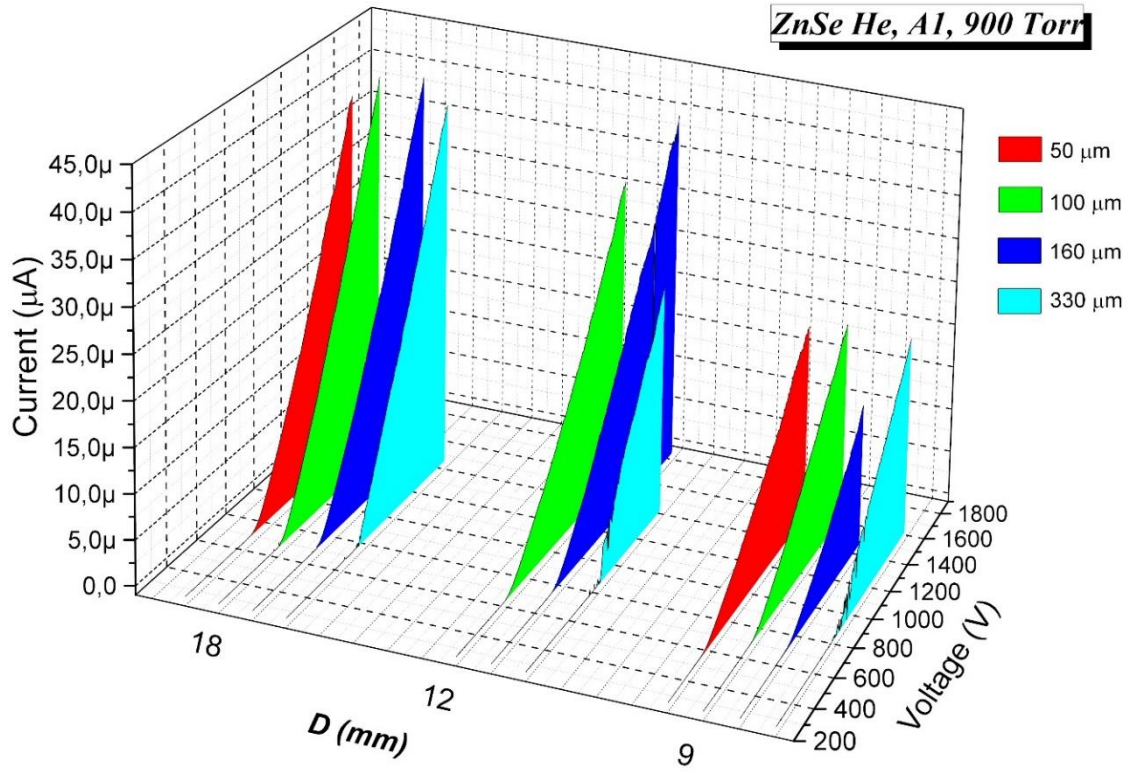
Şekil 6.22. 800 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



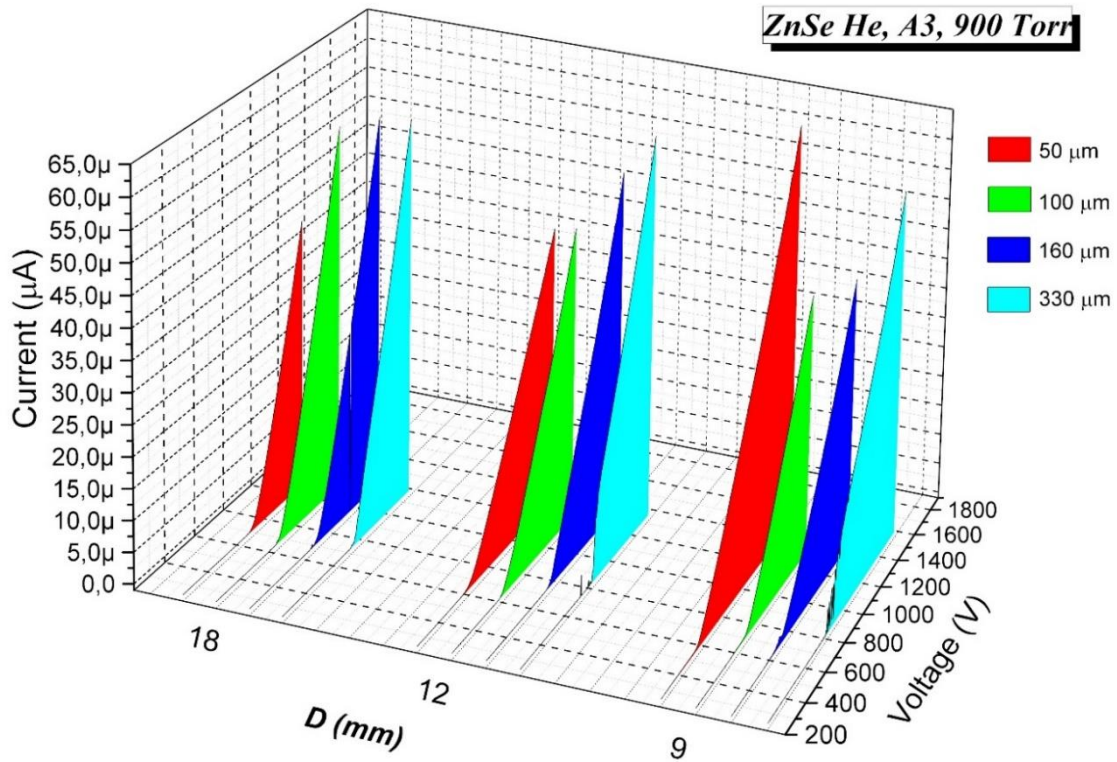
Şekil 6.23. 800 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



Şekil 6.24. 900 Torr basınçta aydınlatma olmaksızın elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



Şekil 6.25. 900 Torr basınçta A1 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi



Şekil 6.26. 900 Torr basınçta A3 aydınlatma seviyesinde elektrot çapı ve elektrotlar arası mesafenin akım-voltaj karakteristiğine etkisi

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde, sistemde ölçülen akımın katot yarı çapı ile doğru orantılı bir ilişkisi olduğu görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur, katot yüzey alanının artması ortama daha fazla elektron sağladığı için akımın yükselmesi olağandır. Akım değeri elektrotlar arası mesafe arttıkça azalmıştır. Bu azalmanın nedeni plazma içerisinde oluşan elektronların daha fazla iyonlaşmaya sağlamak için alması gereken mesafenin artması ve enerjilerinin bunun için yetersiz kalması sonucu iyonizasyon oranının azalması olarak yorumlanabilir.

Bu çalışmada ZnSe yarıiletkeninin farklı koşullar altında akım-voltaj karakteristiği incelenerek ZnSe'nin aydınlatma altındaki direnç değişimi değerlendirilmiştir. Gaz deşarj bölgesindeki ısıma şiddetleri incelenerek yüksek voltaj ve basınç değerlerinde bu gaz deşarj bölmesinin UV ışık kaynağı olarak kullanılabilecek kapasiteye sahip olduğu gösterilmiştir.

Yarıiletkenlerin enerji bant aralıkları ve kırılma indeksleri optik ve elektronik davranışlarını doğrudan belirlemektedir. Bu doğrultuda elde edilen verilerde basınç değerleri arttıkça elektron yoğunluğuna bağlı olarak akım değerinin de yükseldiği görülmektedir.

Basınç ve kırılma voltajı ilişkisi değerlendirildiğinde ise basınç arttıkça ısıma için gerekli kırılma voltajı eşiğinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, artan basınç nedeni ile elektronun ortalama serbest yolunda meydana gelen azalmanın kırılmanın gerçekleşmesi için daha çok enerjiye gereksinim duyması olarak açıklanabilir. Farklı basınçlarda akım-voltaj grafiği incelendiğinde belli bir basınçtan sonra akım değerinde büyük bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Bunun nedeninin elektron yoğunluğunun belli bir basınç değerinden sonra sature olması ve sabit kalması olarak değerlendirilmiştir.

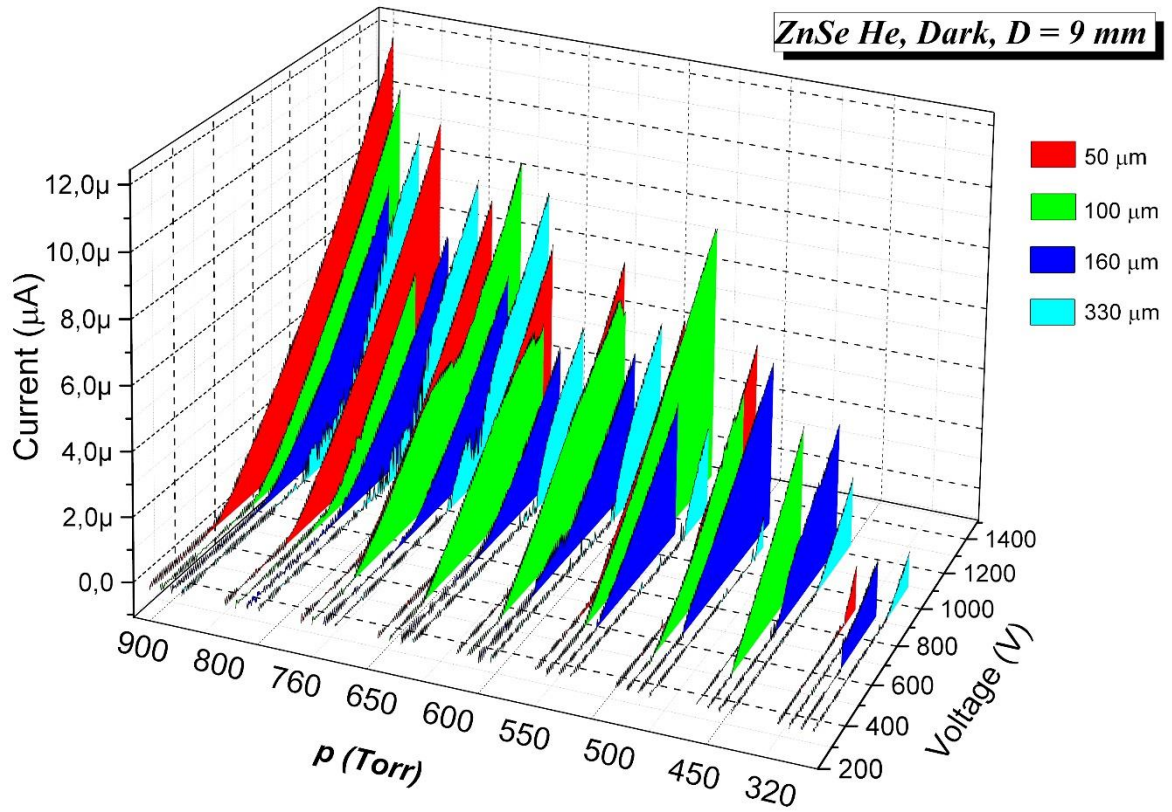
6.2. Farklı Elektrot Çaplarına Göre Akım-Voltaj Karakteristiği

Aşağıdaki grafiklerde akım ve kırılma voltajı değerlerinin basınca bağlı değişimi gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde katot çapının artması ile birlikte akım değerlerindeki karasızlığın ortadan kalktığı ve daha öngörülebilir sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

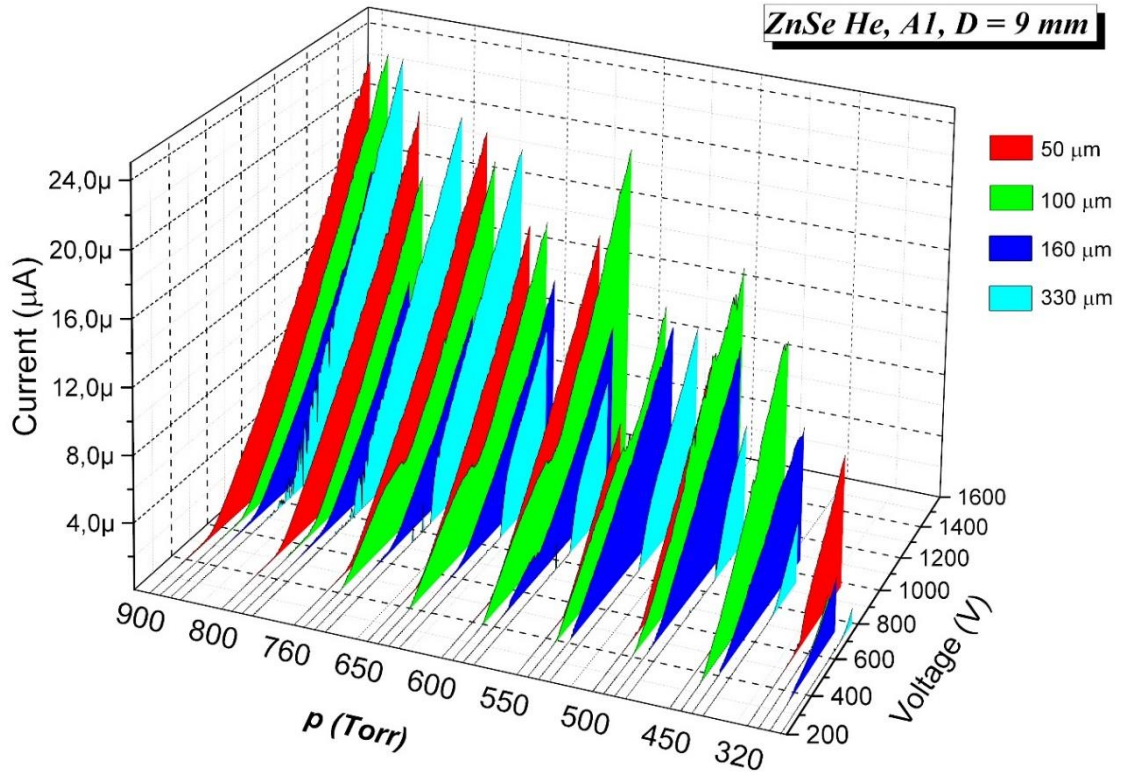
6.2.1. 9 mm elektron çapı için

En yüksek akım 900 Torr'da ve 50 μm 'de gözlenmiştir. Basınç arttıkça akım artmıştır. 600, 650 ve 760 Torr basınçlarda en hızlı kırılım oluşumu gözlenmiştir ve en düşük kırılım voltajı 100 μm 'de gerçekleşmiştir.

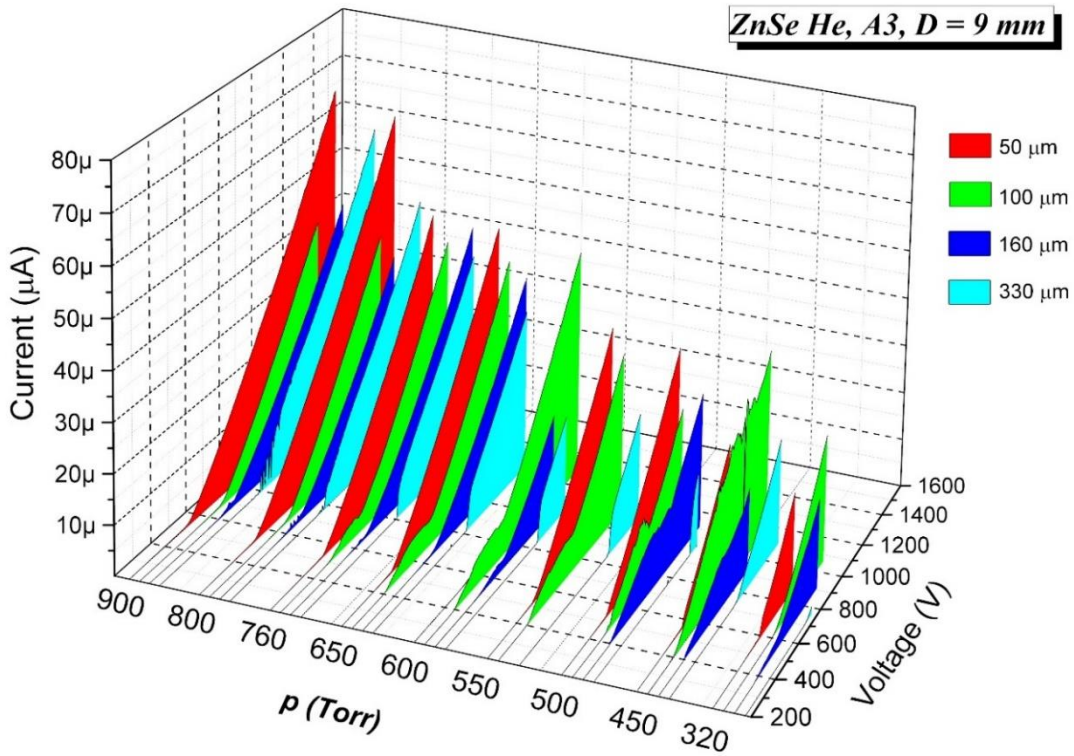
Aynı koşullara A1 ışıması eklendiğinde 450, 500, 550 Torr'larda da düşük kırılma voltajı gözlenmiş olup akım davranışında bir değişiklik gözlenmemiş olup akım değerleri artmıştır. A3 ışımasında ise kırılma voltajı üzerinde bir etki görülmemiş olup ölçülen maksimum akım değeri 20 μA 'den 60 μA 'e yükselmiştir.



Şekil 6.27. 9 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği



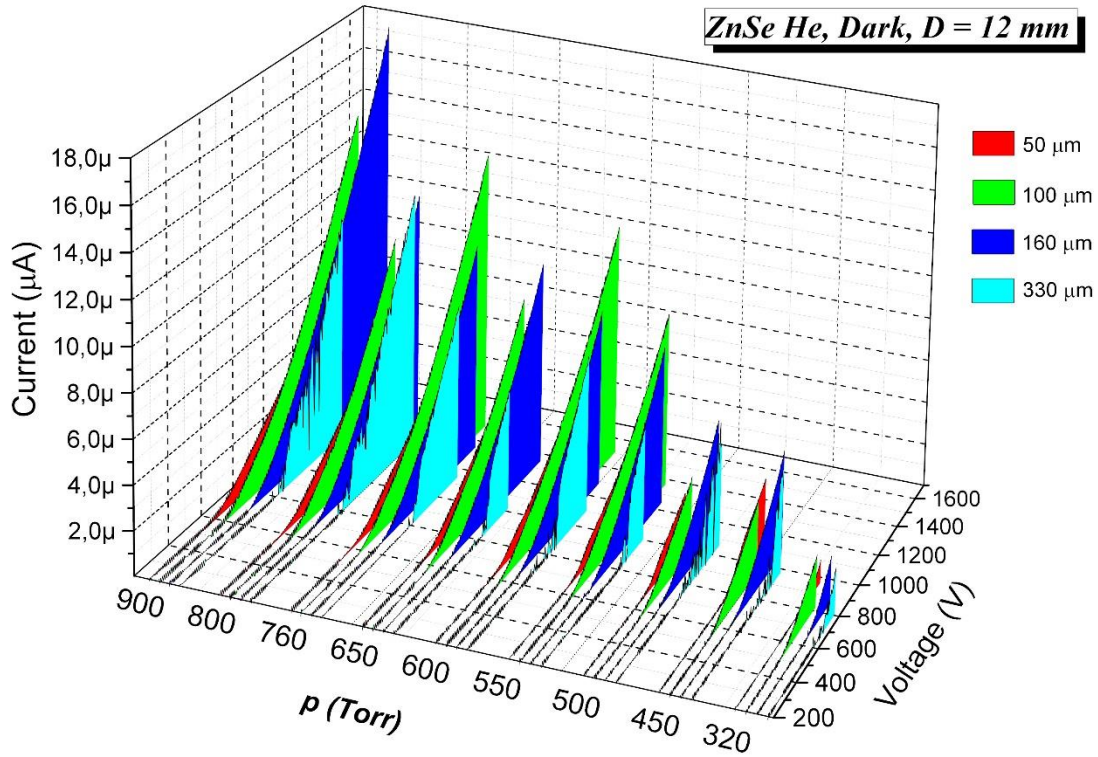
Şekil 6.28. 9 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği



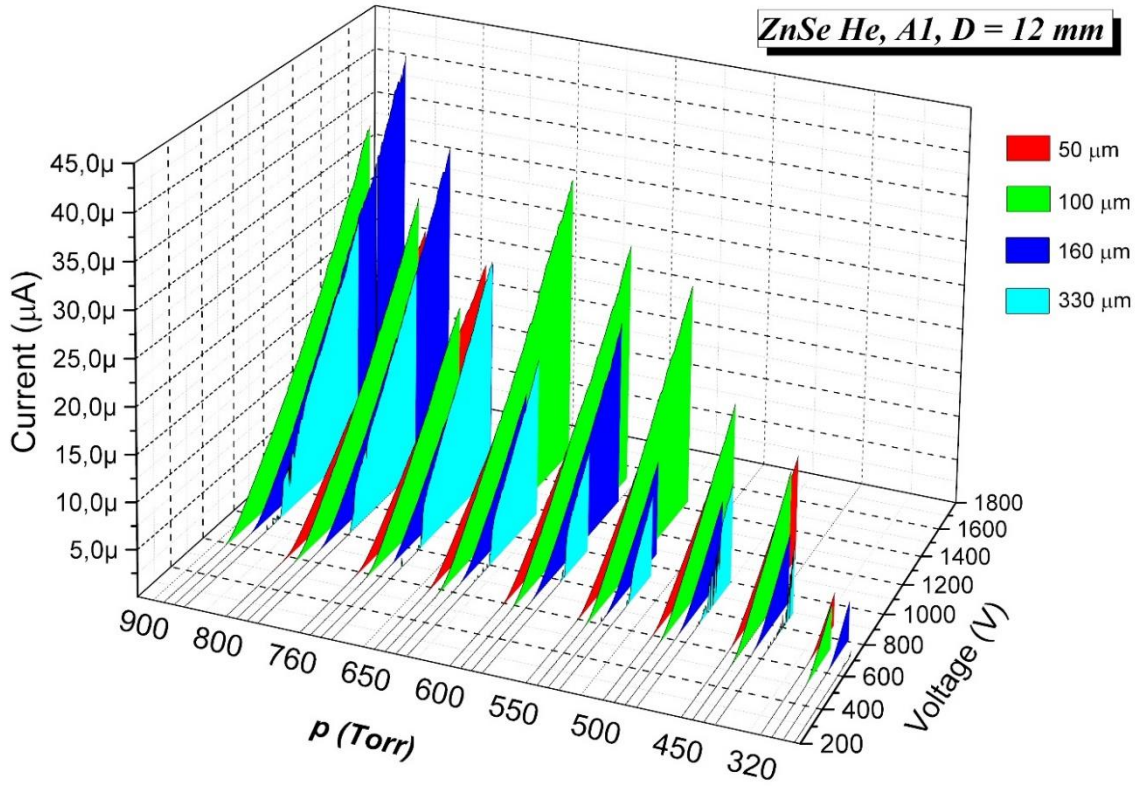
Şekil 6.29. 9 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği

6.2.2. 12 mm çaplı elektrot için

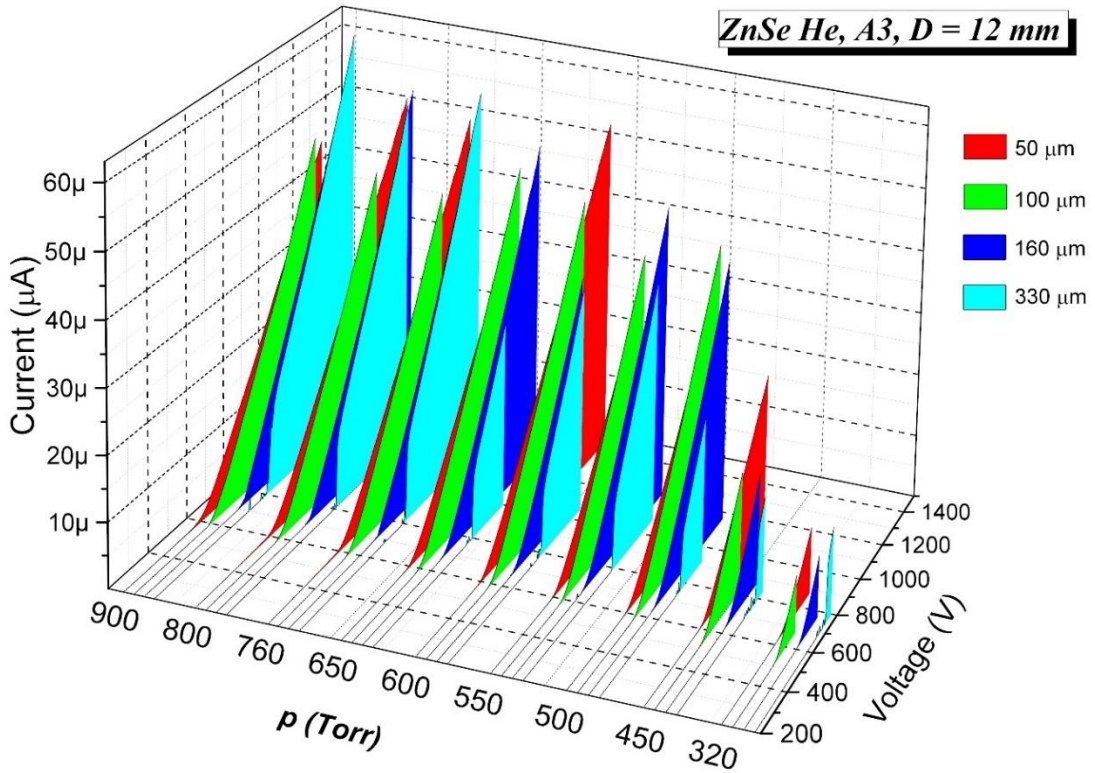
12mm elektrot çapında ışıma varlığının ve şiddetinin kırılma voltajı üzerinde bir etkisi gözlenmemiş olup tüm basınçlarda yaklaşık aynı kırılma voltajı ölçülmüştür (600 Volt). Elektrotlar arası mesafenin kırılma voltajı üzerinde doğru orantılı bir etkisi gözlenmiştir. Elektrotlar arası mesafe arttıkça daha geç kırılma oluşmuştur. En büyük fark 330 μm mesafede gözlenmiş olup 50 μm ve 100 μm arasında kırılma voltajında fark gözlenmemiştir.



Şekil 6.30. 12 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği



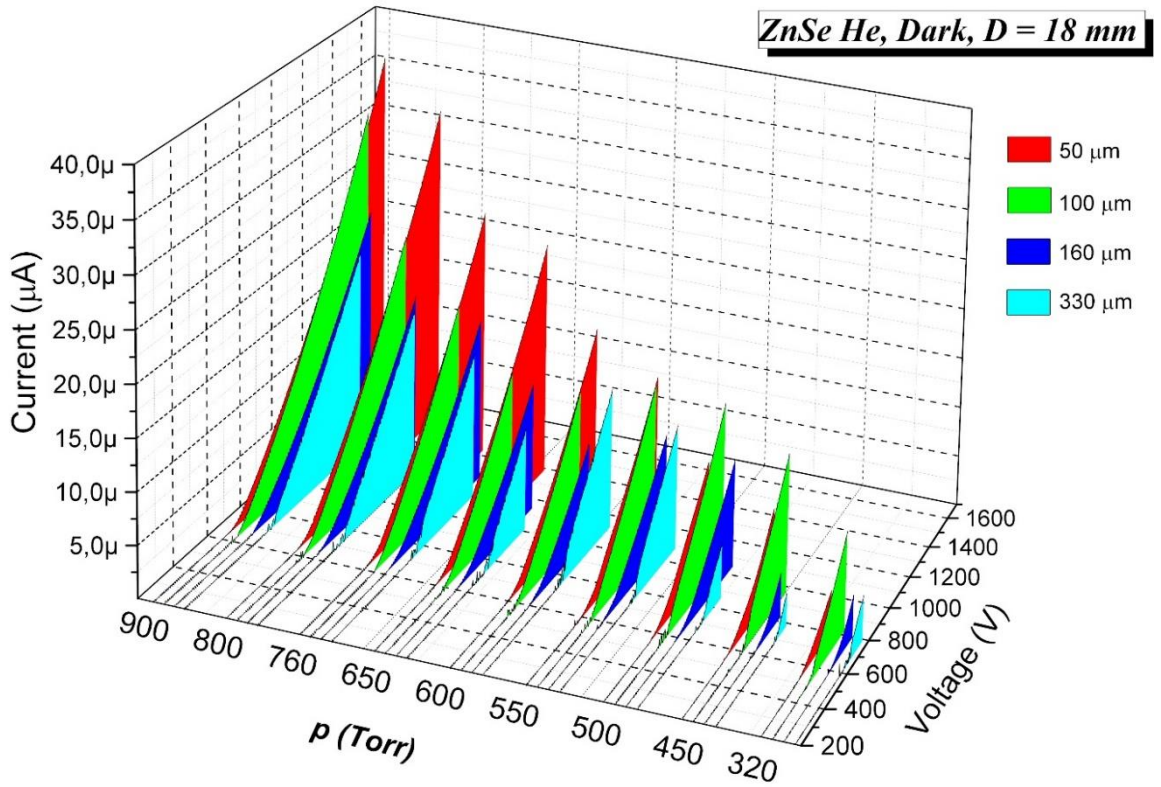
Şekil 6.31. 12 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği



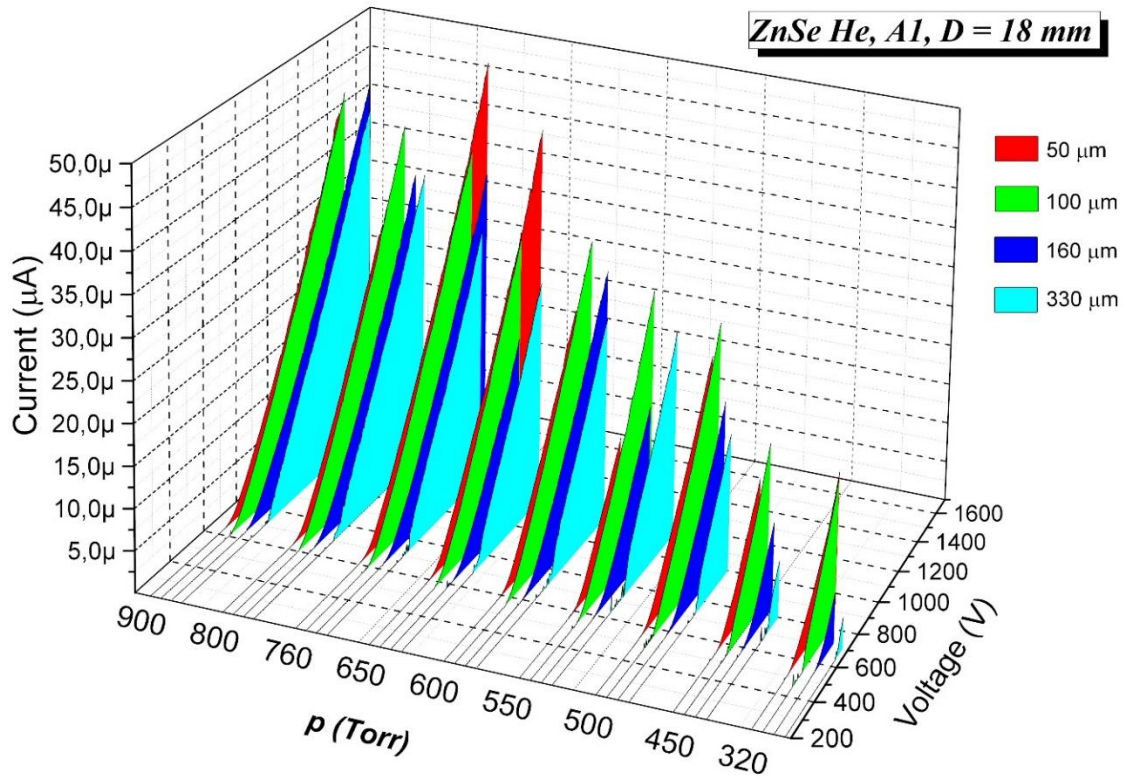
Şekil 6.32. 12 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği

6.2.3. 18 mm çaplı elektrot için

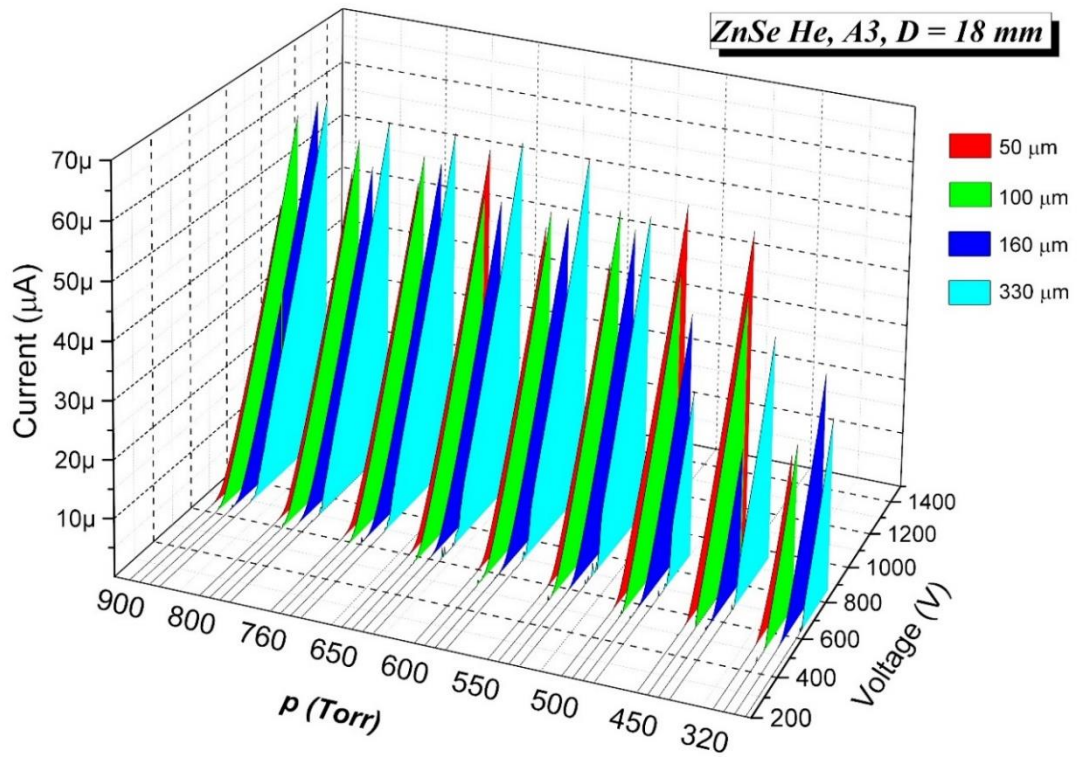
18 mm verileri incelendiğinde ise basıncın kırılma voltajı üzerinde etkisi gözlenmemiş olup, basınç ve ışık şiddeti arttıkça akım değerlerinde artış görülmüştür. Karanlık ve A1 şiddetinde en yüksek akım 50 μm mesafede gözlenmiş olup A3 şiddetinde akım tüm mesafeler için benzer olarak gözlenmiştir.



Şekil 6.33. 18 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği



Şekil 6.34. 18 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği

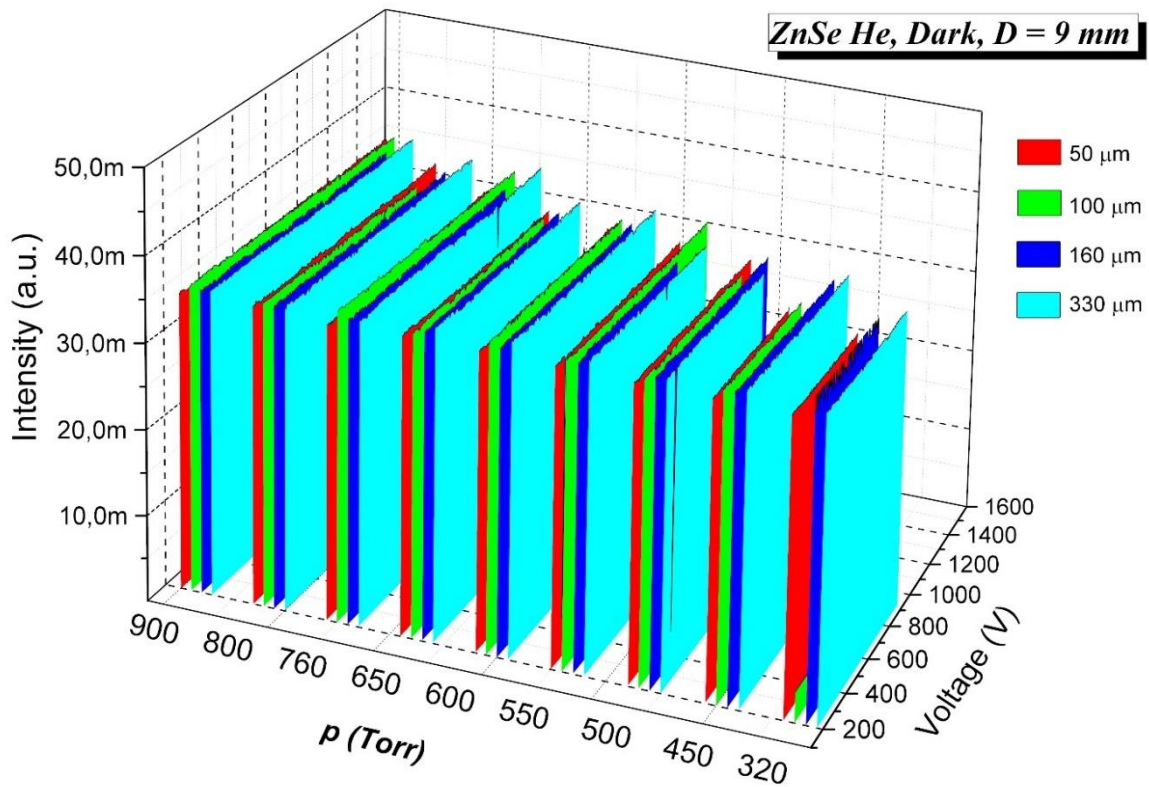


Şekil 6.35. 18 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerine göre akım-voltaj karakteristiği

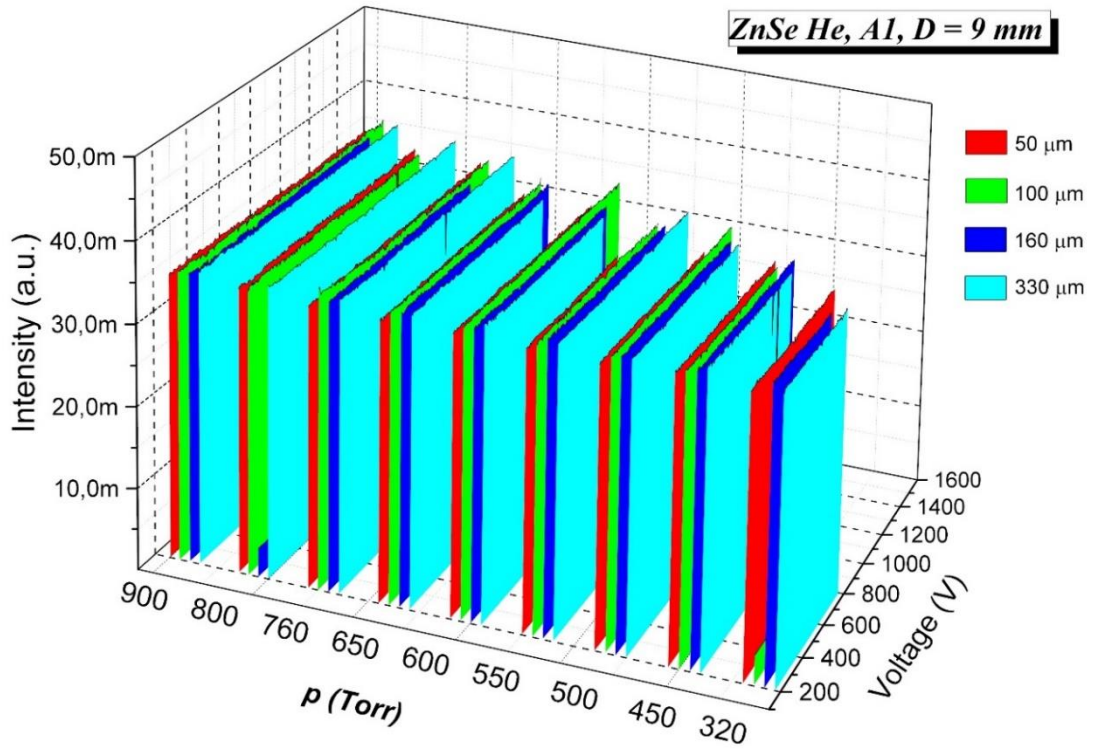
6.3. Farklı Aydınlatma Seviyelerinde Ölçülen Işıma Şiddeti

Çalışmalar kapsamında deşarj hücresindeki ışıma şiddetinin basınç, elektrotlar arası mesafe ve voltaja bağlı davranışı incelenmiştir. Öngörüldüğü üzere yarıiletkenin dış bir ışık kaynağı tarafından aydınlatıldığı durumlarda daha yüksek şiddette ışıma gözlenmiştir. Bunda dış ışıma kaynağının yarıiletkenden salınan elektron sayısına olan katkısının etkisi olduğu düşünülebilir. Bu doğrultuda ZnSe üzerine düşürülen ışıma şiddeti artırıldıkça deşarj bölmesinde daha yüksek şiddette ışıma elde edilmiştir.

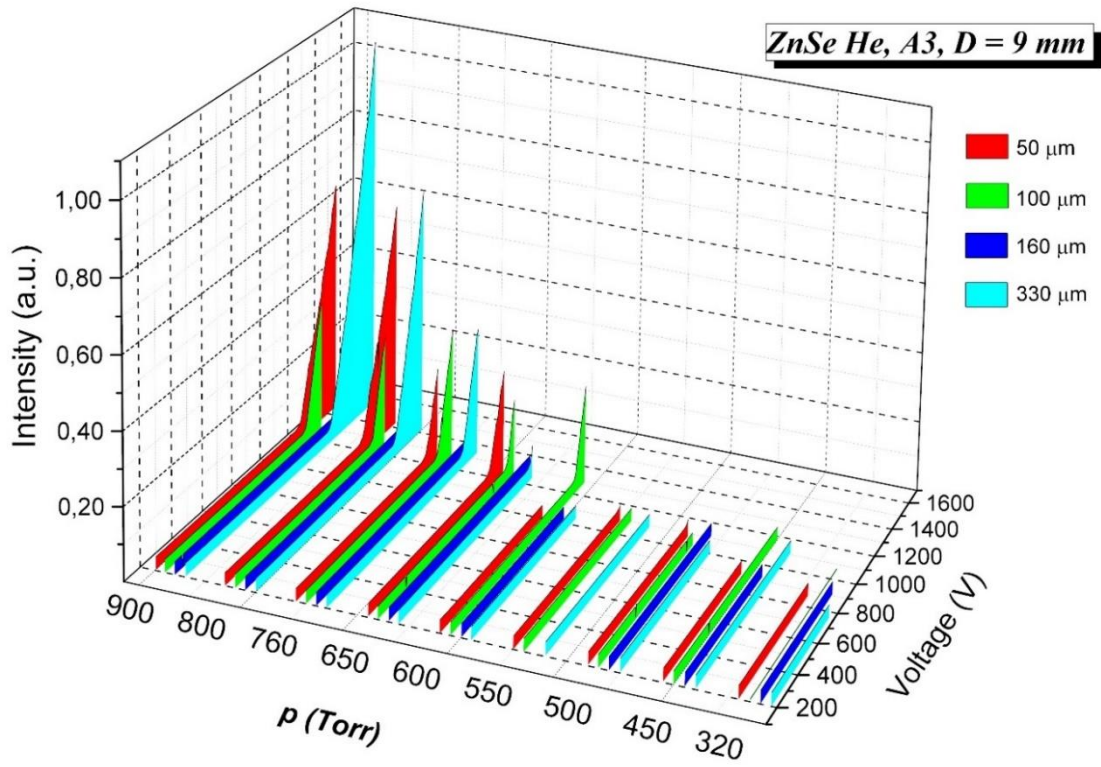
Aynı şekilde elektrot çapının büyümesi dış ışık kaynağı ile daha geniş bir etkileşim alanı imkânı sunduğundan yüksek çaplı elektrot kullanımında daha fazla ışıma olduğu görülmüştür. Deşarj bölgesi ışıma şiddeti nispeten daha yüksek basınçlarda ve yüksek voltaj değerlerinde daha fazla ölçülmüştür. Artan basınç ile ortamda iyonlaşma sağlayıcı daha parçacık bulunması iyonlaşma oranının artmasını sağlamış ve yeterli miktarda voltaj verildiğinde düşük basınçlardakine oranla daha yüksek şiddette ışımlar gözlenmesini sağlamıştır. Bahsi geçen incelemelere kaynak olan veriler aşağıdaki grafiklerde paylaşılmıştır:



Şekil 6.36. 9 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodeşarj bölgesinde gözlenen ışıma şiddeti



Şekil 6.37. 9 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrobeşarj bölmesinde gözlenen ışınma şiddeti



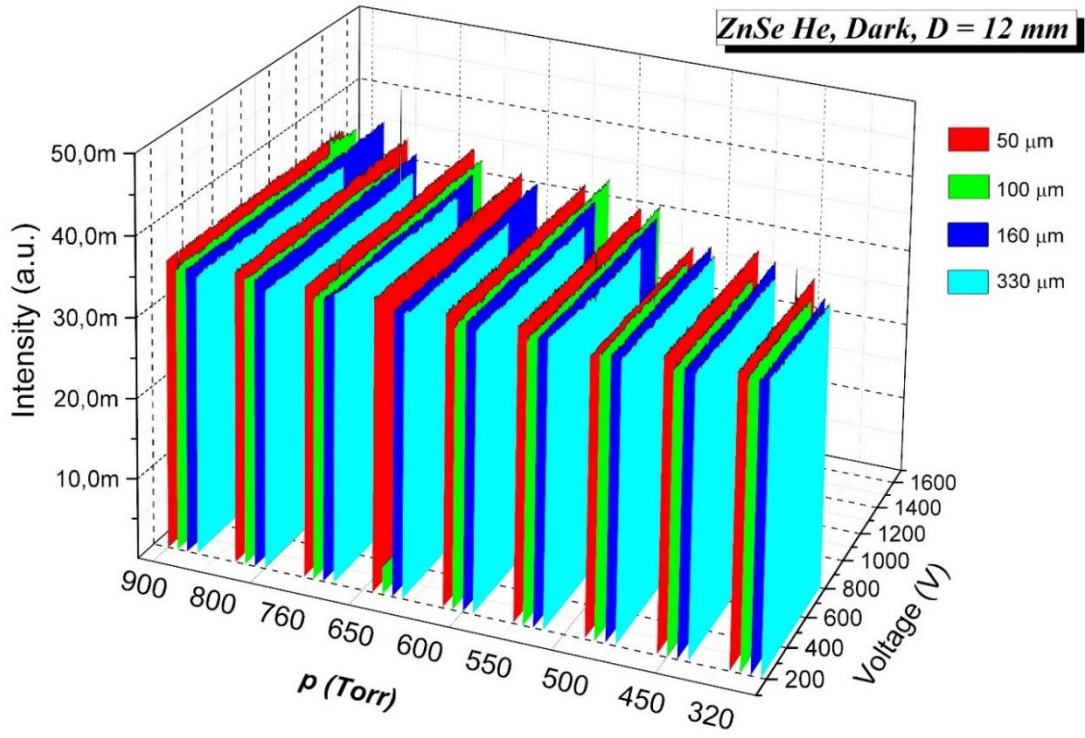
Şekil 6.38. 9 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrobeşarj bölmesinde gözlenen ışınma şiddeti

Çizelge 6.1. 9 mm çaplı elektrot kullanımında mikro deşarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddetleri ve ışımanın gerçekleştiği konfigürasyonlar

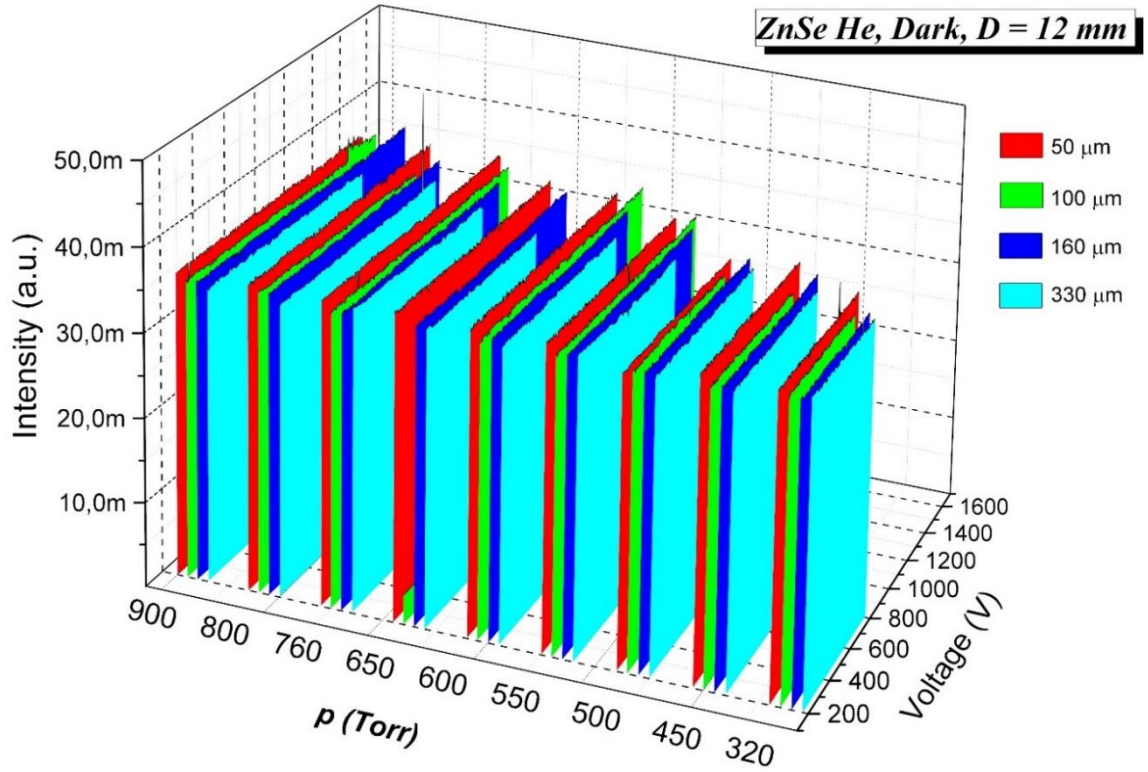
D (mm)	P (Torr)	d (μm)	Intensity (a.u)
9	600	100	<0,2
	650	50	<0,2
		100	<0,1
	760	50	0,1
		100	0,2
		330	0,2
	800	50	0,5
		100	<0,2
		330	0,6
	900	50	0,6
		100	0,3
		330	1

Çizelge 6.1 incelendiğinde basınç arttıkça sabit ışıma şiddetinde (A3) deşarj bölgesindeki ışıma şiddetinin arttığı görülmektedir. Düşük basınçlarda 330 μm elektrotlar arası mesafede ışıma gözlenmezken basıncın artması ile daha geniş mesafede ışıma gözlenecek kadar iyonizasyonun gerçekleştiği görülmektedir. Basıncın artması ortamdaki parçacık sayısını artırdığından bu beklenen bir durumdur. Bu etkiyle orantılı olarak yüksek basınçlarda yüksek mesafelerde daha şiddetli ışımlar gözlemlenmiştir.

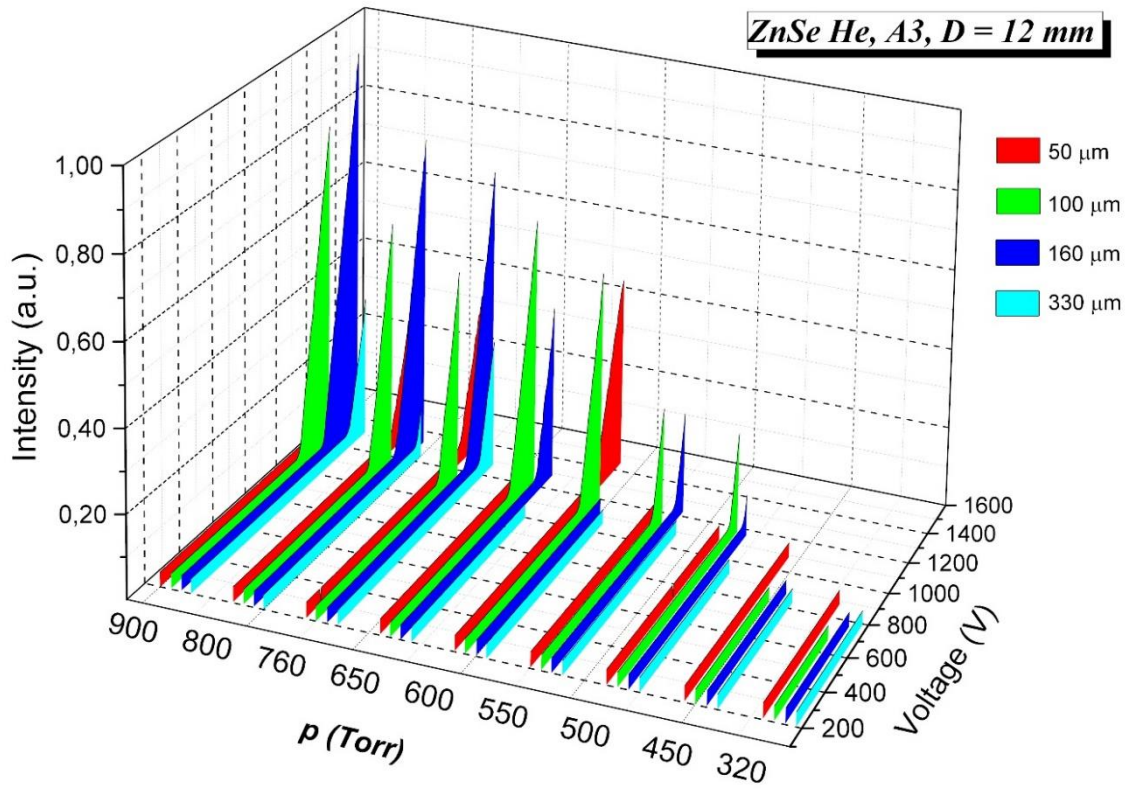
Aynı gözlem 12 mm elektron çapı için yapılırsa akımın elektrot çapı arttıkça artmasından yola çıkarak daha yüksek ışıma şiddetlerinin elde edilmesi öngörülmüştür. 12 mm’de karanlık ortamda önemli bir ışıma gözlenmezken A1 şiddetinde yüksek basınç değerlerinden başlayarak ışık şiddetinin A3’e çıkarılması ile daha çok ışıma elde edilmiştir. Işık şiddeti artırıldığında A1’e kıyasla daha düşük basınç değerlerinde de ışımlar olduğu görülmüştür.



Şekil 6.39. 12 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodeşarj bölgesinde gözlenen ışıma şiddeti



Şekil 6.40. 12 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodeşarj bölgesinde gözlenen ışıma şiddeti



Şekil 6.41. 12 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrobeşarj bölgesinde gözlenen ışıma şiddeti

Çizelge 6.2. 12 mm çaplı elektrot kullanımında mikrodeşarj bölgesinde gözlenen ışıma şiddetleri ve ışımanın gerçekleştiği konfigürasyonlar

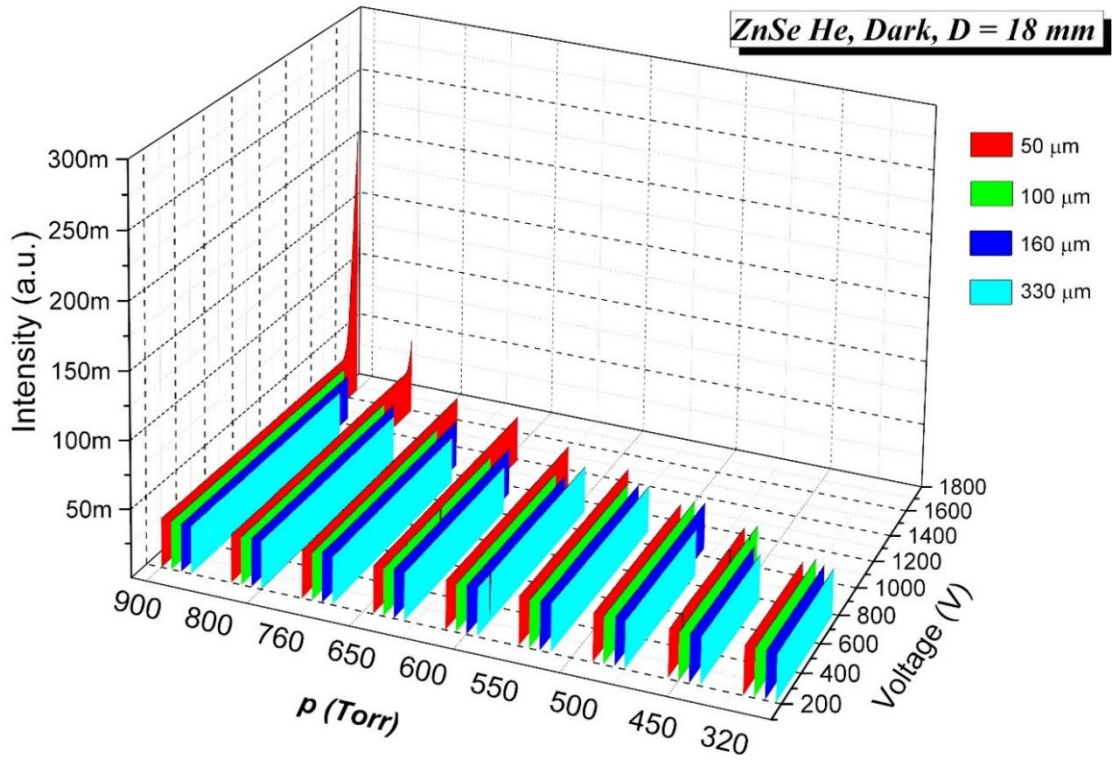
D (mm)	Işık şiddeti	P (Torr)	d (μm)	Intensity (a.u)
12	A1	900	100	0,13
			160	0,32
	A3	500	100	0,05
			160	0,1
		550	100	0,1
			160	0,1
		600	50	0,4
			100	0,4

Çizelge 6.2.(Devam) 12 mm çaplı elektrot kullanımında mikro deşarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddetleri ve ışımanın gerçekleştiği konfigürasyonlar

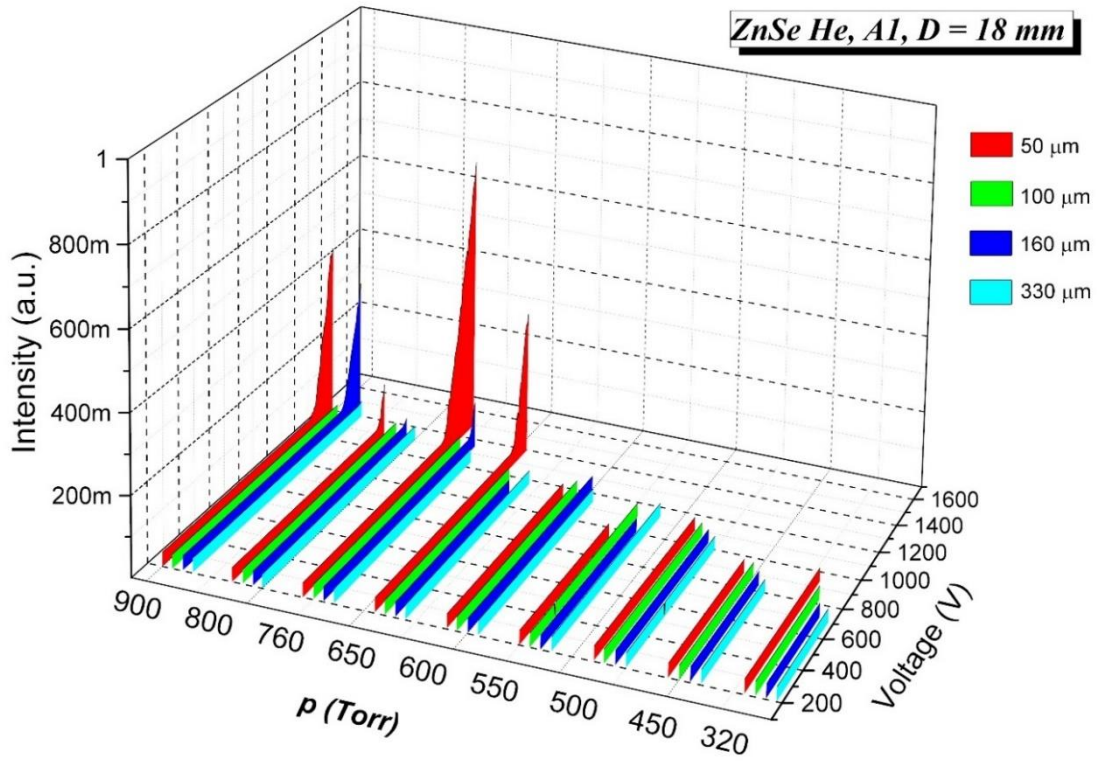
12	A3	650	100	0,5
			160	0,3
		760	50	0,3
			100	0,35
			160	0,61
			330	0,2
		800	50	0,2
			100	0,4
			160	0,7
		900	100	0,75
			160	0,9
			330	0,2

Çizelge 6.2 görülebileceği üzere en yüksek ışıma değerinin yüksek basınçlarda ve 160 μm 'de gerçekleştiği görülmektedir. Deşarj bölmesindeki ışımlar, plazma içerisinde meydana gelen rekombinasyon prosesinin sonucudur. Bu ışımanın korunması ve ışıma şiddetinin artması için rekombinasyon prosesini dengeleyecek ve hatta daha yüksek oranda ikincil elektron salınımı ve elektronlara enerji kazandıracak elektrik alan sağlanmalıdır. Bu koşulların sağlanabilmesi için D=12mm çapta elektrotta optimum konfigürasyonun 160 μm , 900 Torr ve A3 şiddetinde aydınlatma gerektiği sonucu elde edilir.

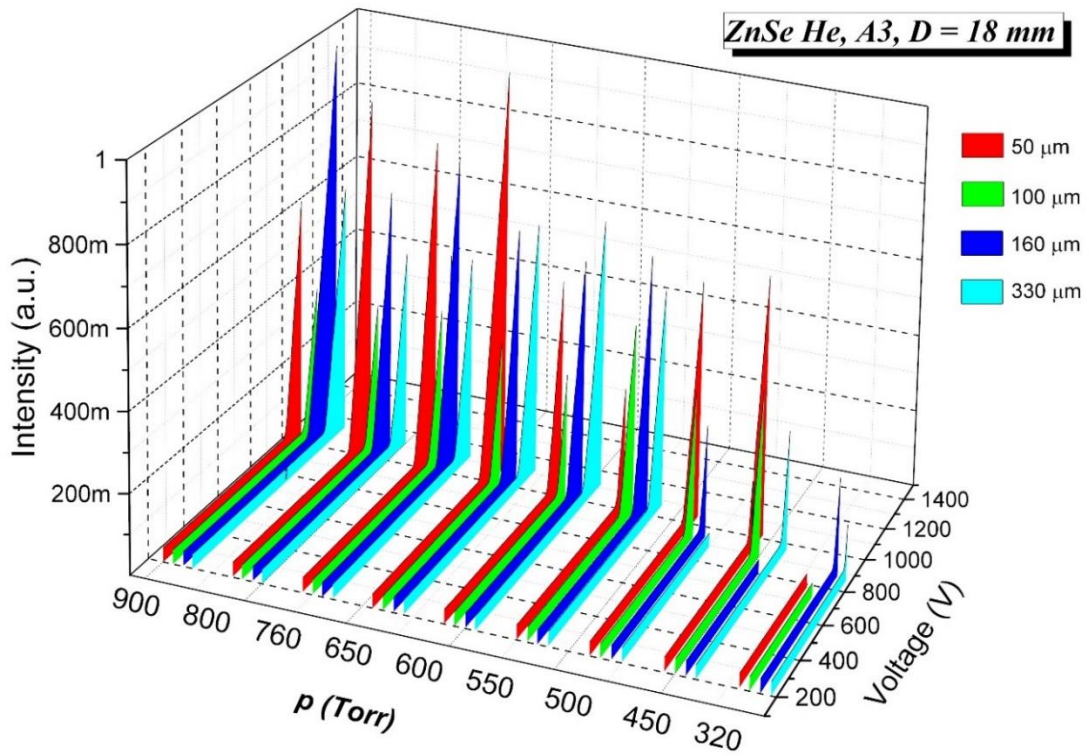
Benzer değerlendirme 18 mm çapta elektrot için yapıldığında ışıma başlangıcının karanlık ortamda başladığı görülmektedir. Beklendiği üzere basınç ve aydınlatma şiddeti arttıkça deşarj bölmesinden yayılan ışıma şiddeti artmış ve daha düşük basınçlarda da ışıma gözlenebilmiştir.



Şekil 6.42. 18 mm elektrot çapında aydınlatma olmaksızın farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışınma şiddeti



Şekil 6.43. 18 mm elektrot çapında A1 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrodışarj bölmesinde gözlenen ışınma şiddeti



Şekil 6.44. 18 mm elektrot çapında A3 aydınlatma seviyesinde farklı elektrotlar arası mesafe ve basınç değerlerinde mikrobeşarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddeti

İşıma şiddetinin konfigürasyon parametrelerine bağlılığını değerlendirebilmek için çizelge 6.3 incelenebilir:

Çizelge 6.3. 18 mm çaplı elektrot kullanımında mikrodeşarj bölgesinde gözlenen ışıma şiddetleri ve ışımanın gerçekleştiği konfigürasyonlar

D (mm)	Işık şiddeti	P (Torr)	d (μm)	Intensity (a.u)
18	K	900	50	0,2
	A1	650	50	0,21
		760	50	0,6
		900	50	0,4
			160	0,2
	A3	320	160	0,1
			330	0,05

Çizelge 6.3. (Devam) 18 mm çaplı elektrot kullanımında mikro deşarj bölmesinde gözlenen ısıma şiddetleri ve ısımanın gerçekleştiği konfigürasyonlar

18	A3	450	50	0,5
			100	0,1
			330	0,1
		500	50	0,4
			100	0,1
			160	0,1
		550	50	0,1
			100	0,3
			160	0,45
			330	0,4
		600	50	0,4
			100	0,15
			160	0,4
			330	0,5
		650	50	0,9
			100	0,15
			160	0,5
			330	0,5
		760	50	0,7
			100	0,3
			160	0,61

Çizelge 6.3. (Devam) 18 mm çaplı elektrot kullanımında mikro deşarj bölmesinde gözlenen ışıma şiddetleri ve ışımanın gerçekleştiği konfigürasyonlar

18	A3	760	330	0,38
		800	50	0,8
			100	0,2
			160	0,5
			330	0,55
			50	0,6
		900	100	0,3
			160	0,92
			330	0,5

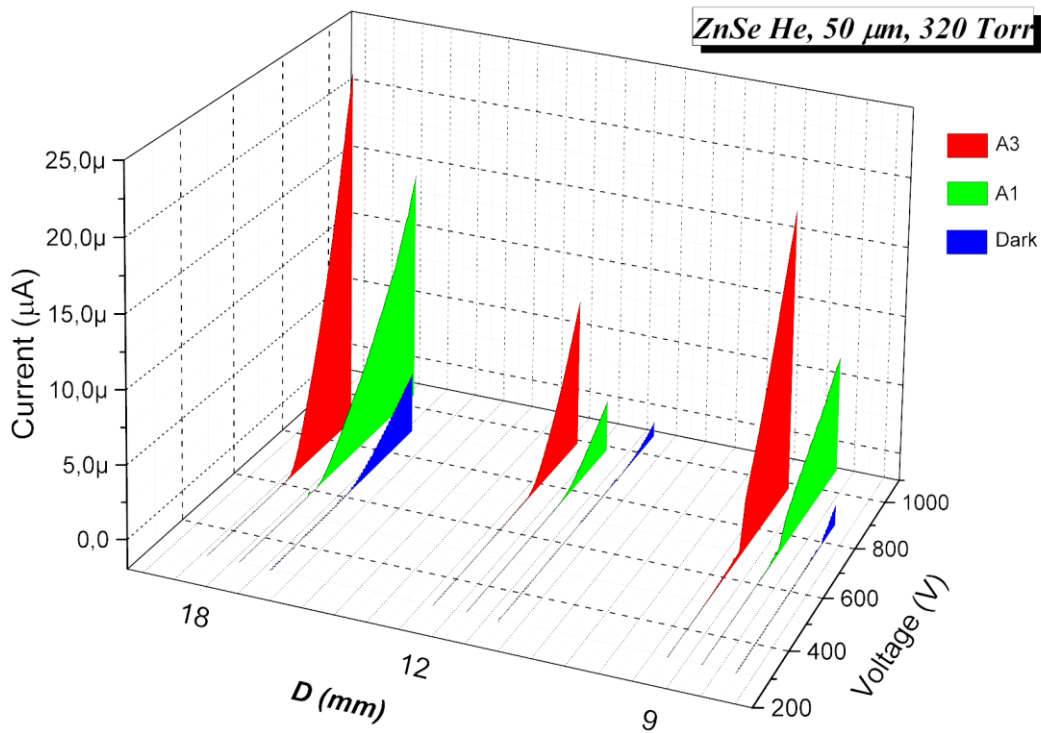
Çizelge 6.3 incelendiğinde 9 mm ve 12 mm çaplı elektrotlara nazaran daha erken ışıma gözlemlenmiştir. En yüksek ışımanın elde edildiği koşullar: 160 μm elektrotlar arası mesafe, 900 Torr basınç ve A3 seviyesinde aydınlatma ile elde edilmiştir. Bu konfigürasyonda diğer elektrot çaplarında olduğu gibi ışıma şiddetindeki değişimin belli bir desen izlemediği görülmüştür. Farklı basınçlarda oldukça farklı elektrotlar arası mesafede yüksek şiddetli ışımlar elde edilmiştir. Örneğin 760 Torr ve 800 Torr basınçlarında en yüksek ışıma değeri farklı elektrot mesafelerinde 0,7-0,8 değerlerinde olurken 650 Torr basınçta 50 μm değerinde en yüksek ışıma 0,9 ölçülmüştür. Bu değer diğer bir en yüksek ışıma verisi olan 0,92 ile oldukça yakındır. 0,92'lik ışıma şiddetinin elde edildiği konfigürasyon ise 900 Torr, 160 μm 'dir.

6.4. Farklı Aydınlatma Seviyelerinin Akım-Voltaj Karakteristiği Üzerine Etkileri

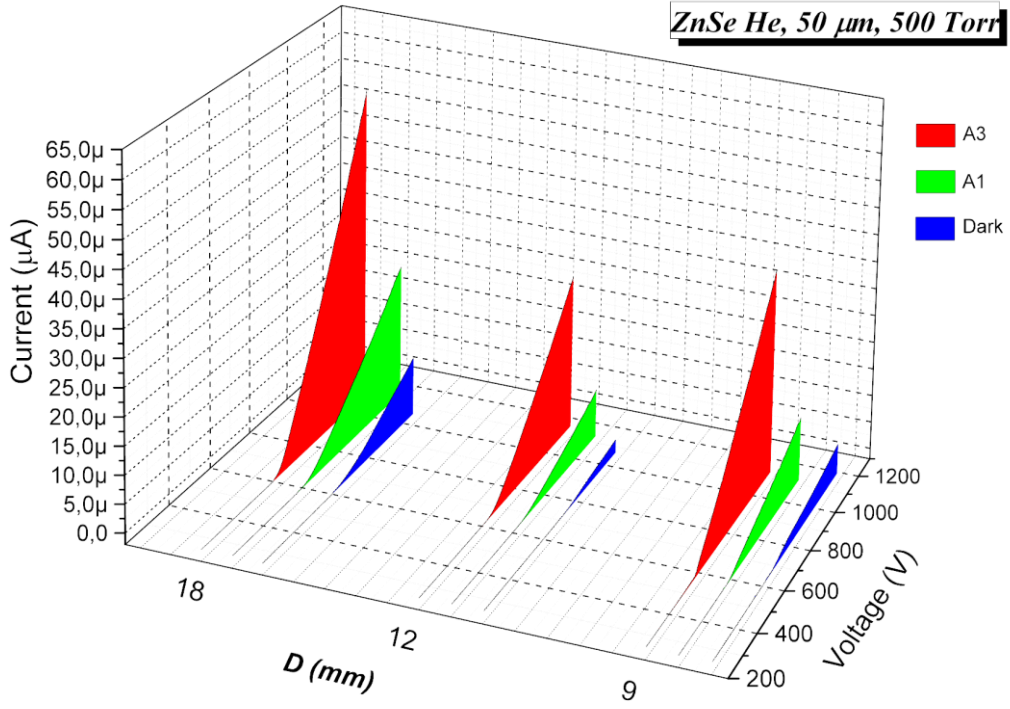
Tez kapsamında yürütülen testlerde bir diğer inceleme konusu ise yarıiletkenin aydınlatılmasının ortamdaki akım değerlerine olan etkisidir. Daha önce de açıklandığı üzere yarıiletken üzerine gelen ışınlar yarıiletkenin direncini değiştirerek onu daha iletken yapmakta ve ortamdaki elektron sayısını artırmaktadır. Artan elektron sayısı ile hem daha

fazla iyonlaşmaya yol açmakta hem de akım değerlerine katkı bulunmaktadır. Testler sonucunda elde edilen veriler bu etkiyi doğrular nitelikte olmuştur. Yarıiletken üzerine gelen ışık şiddeti artırıldıkça kırılmanın gerçekleşmesi ile birlikte ölçülen akım değerlerinin bariz bir şekilde arttığı görülmüştür. Işıma şiddetlerinin $A1 < A3$ şeklinde sıralandığı göz önüne alınarak aşağıda paylaşılan grafikler incelenebilir.

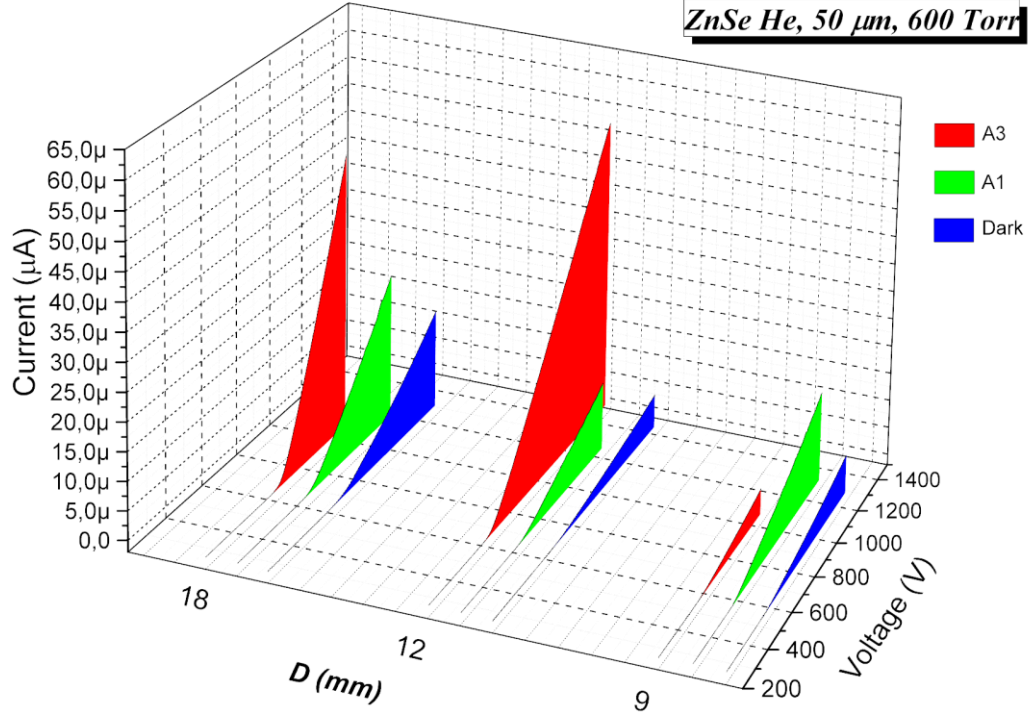
6.4.1. Elektrotlar arası mesafe 50 μm için



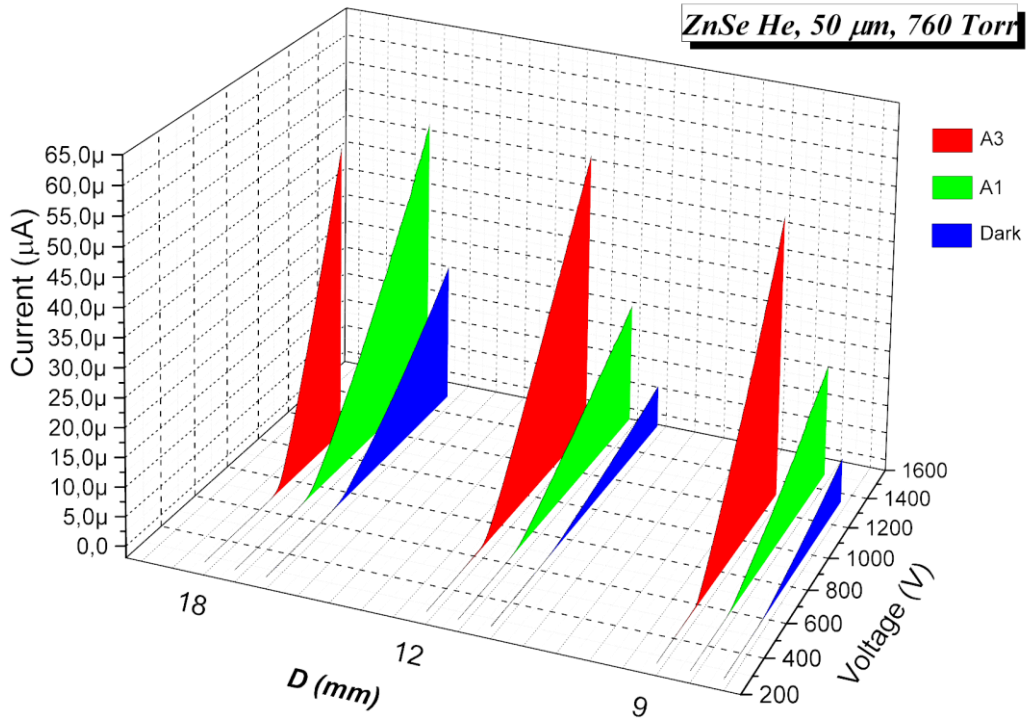
Şekil 6.45. Elektrotlar arası mesafenin 50 μm olduğu durumda, 320 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



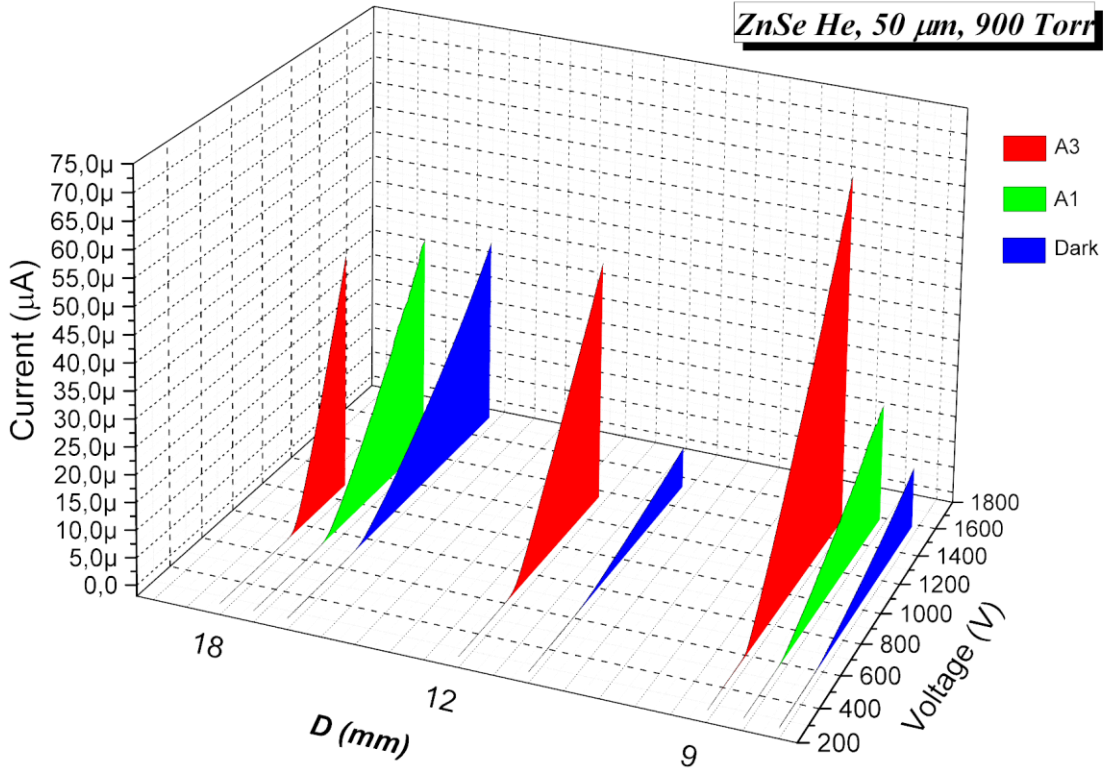
Şekil 6.46. Elektrotlar arası mesafenin 50 μm olduğu durumda, 500 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



Şekil 6.47. Elektrotlar arası mesafenin 50 μm olduğu durumda, 600 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



Şekil 6.48. Elektrotlar arası mesafenin 50 μm olduğu durumda, 760 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği

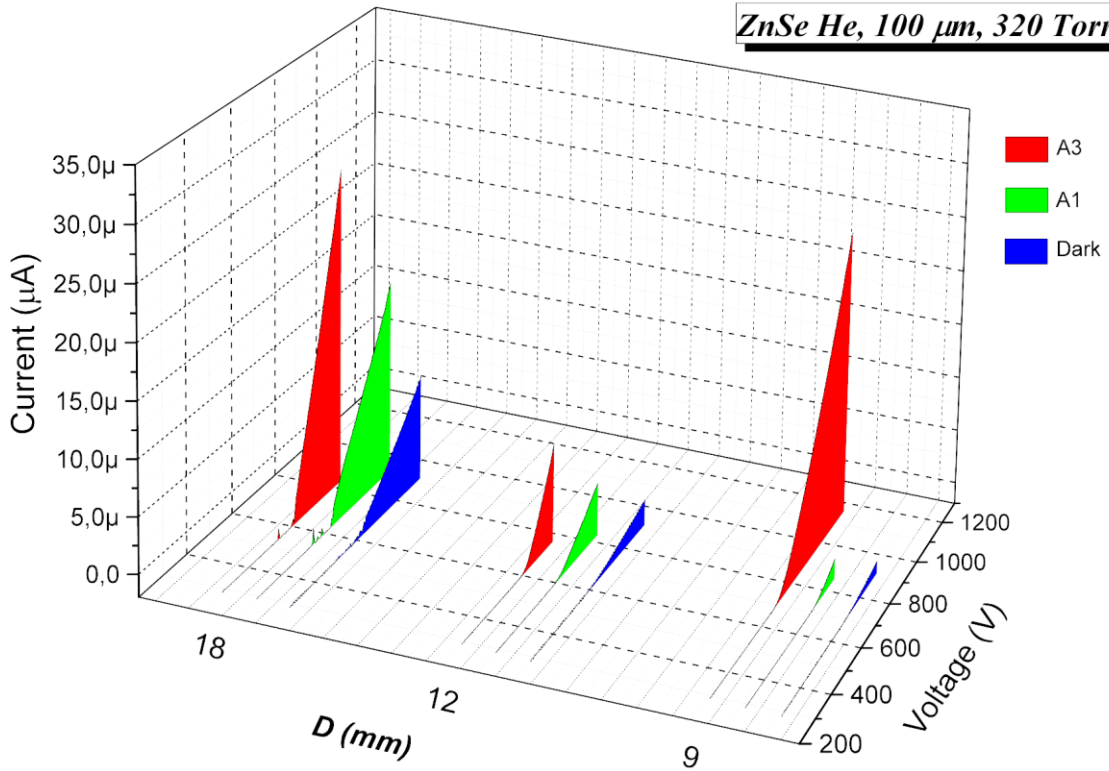


Şekil 6.49. Elektrotlar arası mesafenin 50 μm olduğu durumda, 900 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği

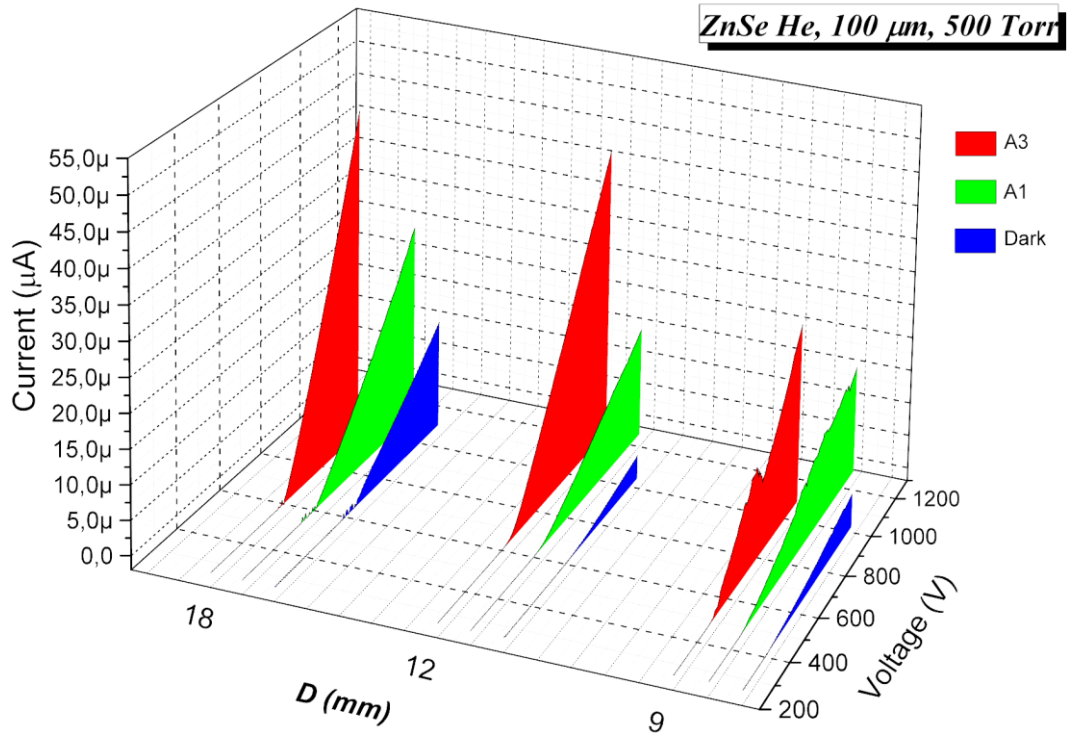
600 Torr dışında tüm basınçlarda en yüksek akım verisine A3 aydınlatma seviyesinde ulaşıldığı görülmektedir. 600 Torr'da A3 seviyesinde erken aşamalarda ark oluşumu gözlemlendiği için test durdurulmuş ve akım seviyesi daha yüksek değerler için ölçülememiştir. Bu mesafede en yüksek akım seviyesi 9mm, 900 Torr ve A3 aydınlatma seviyesinde $60 \mu\text{A}$ olarak ölçülmüştür.

6.4.2. Elektrotlar arası mesafe $100 \mu\text{m}$ için

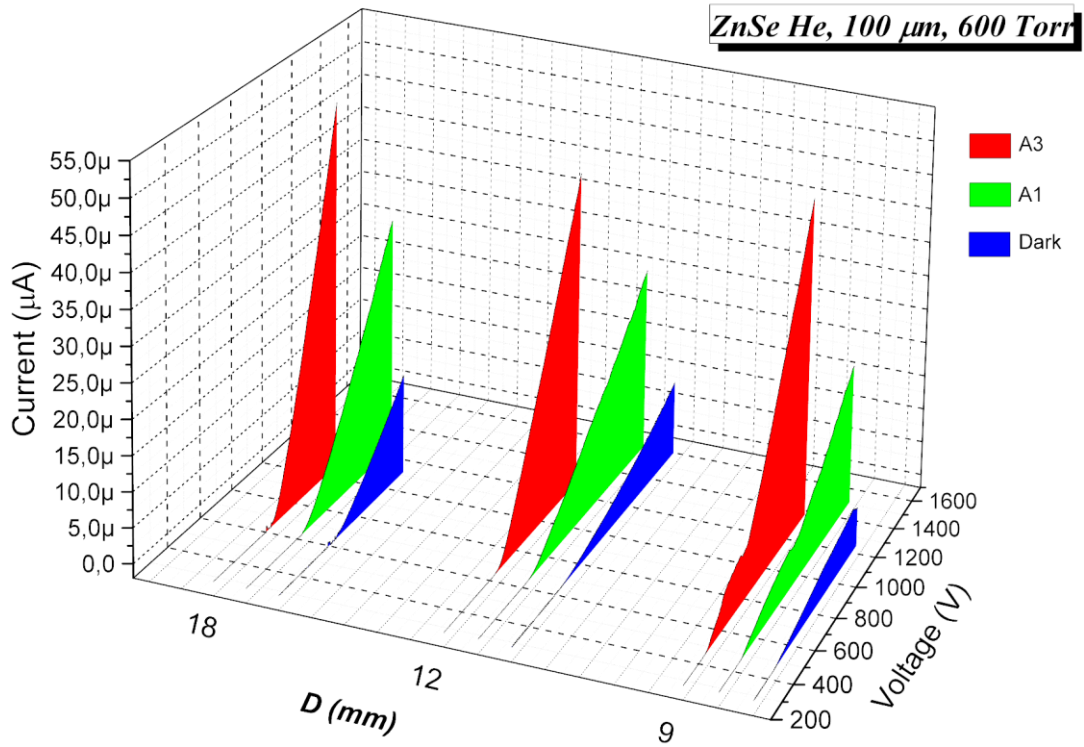
Tüm basınçlarda en yüksek akım verisine A3 aydınlatma seviyesinde ulaşıldığı görülmektedir. En yüksek akım değeri 18 mm, 900 Torr ve A3 aydınlatma seviyesinde $50 \mu\text{A}$ olarak ölçülmüştür.



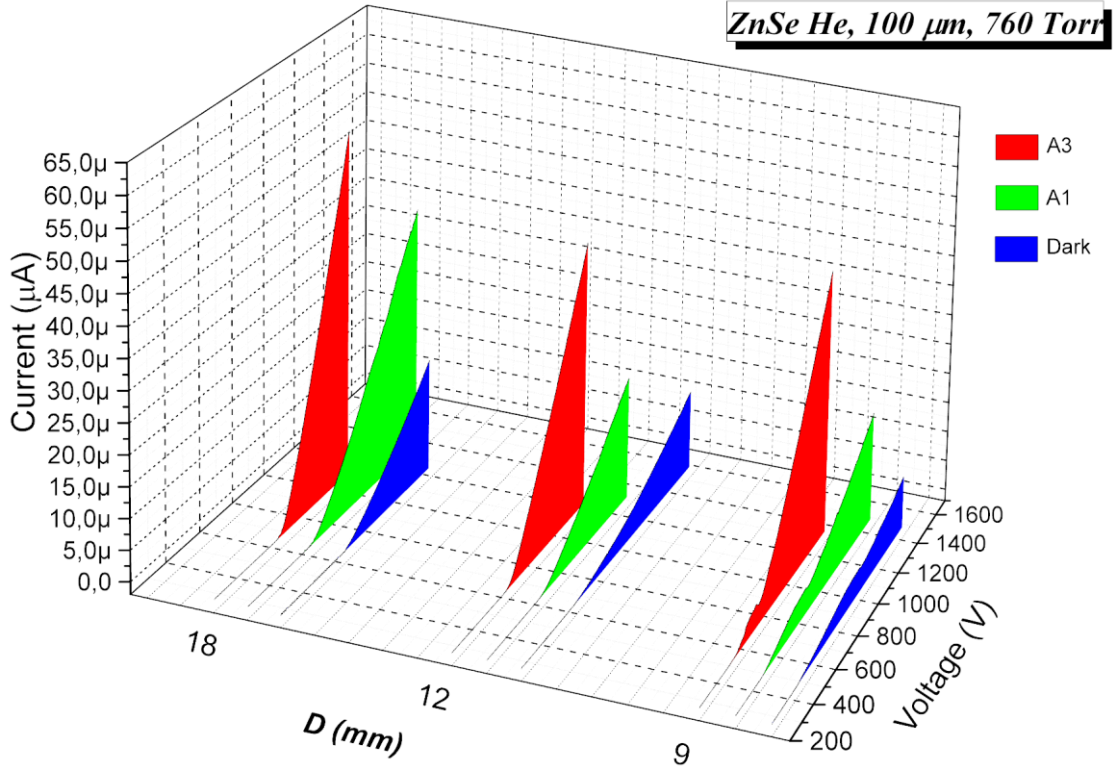
Şekil 6.50. Elektrotlar arası mesafenin $100 \mu\text{m}$ olduğu durumda, 320 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



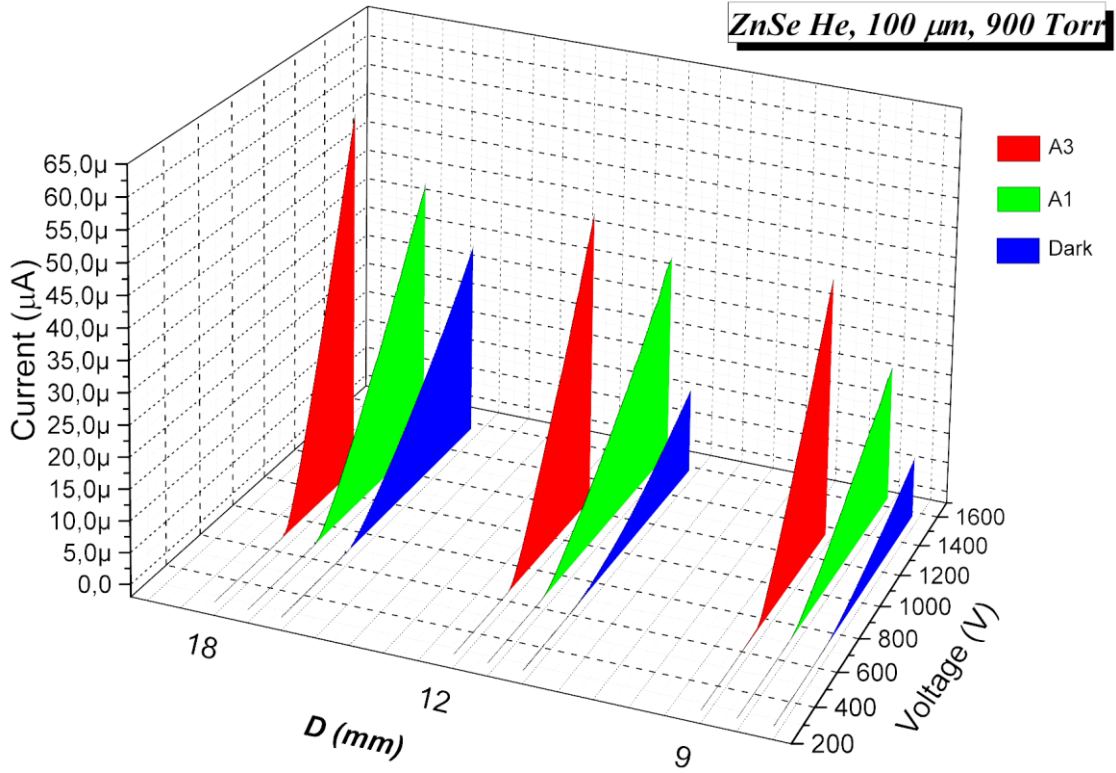
Şekil 6.51. Elektrotlar arası mesafenin 100 μm olduğu durumda, 500 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



Şekil 6.52. Elektrotlar arası mesafenin 100 μm olduğu durumda, 600 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



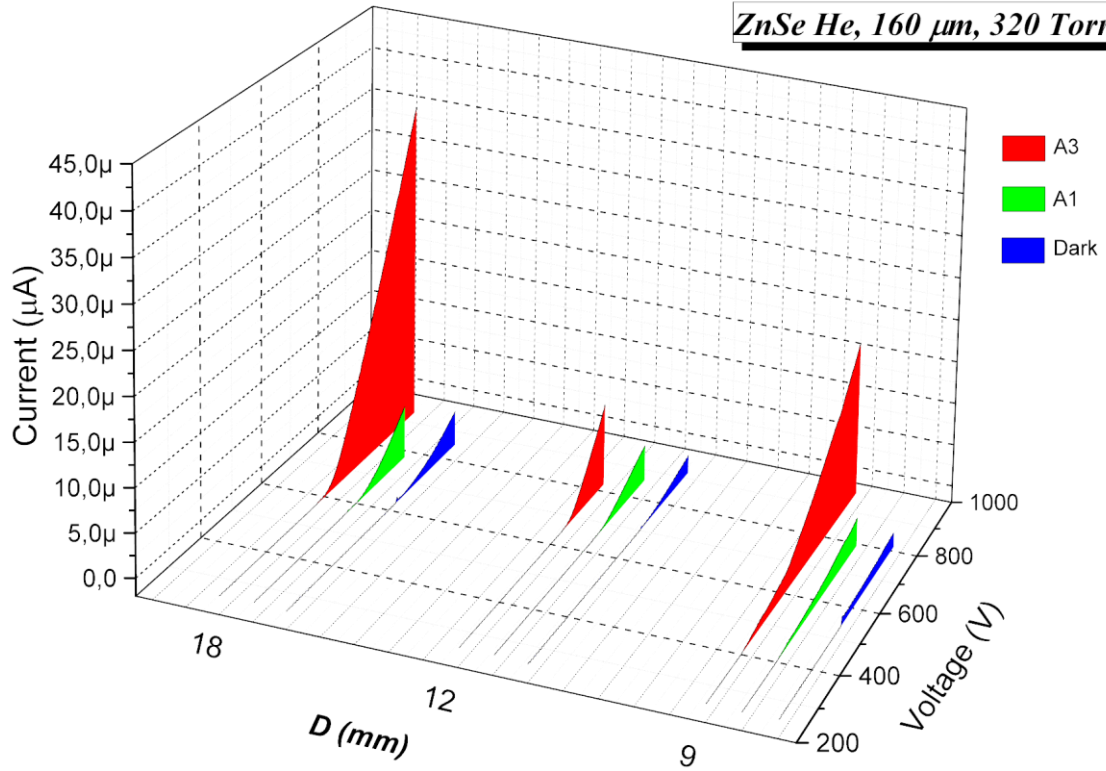
Şekil 6.53. Elektrotlar arası mesafenin 100 μm olduğu durumda, 760 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



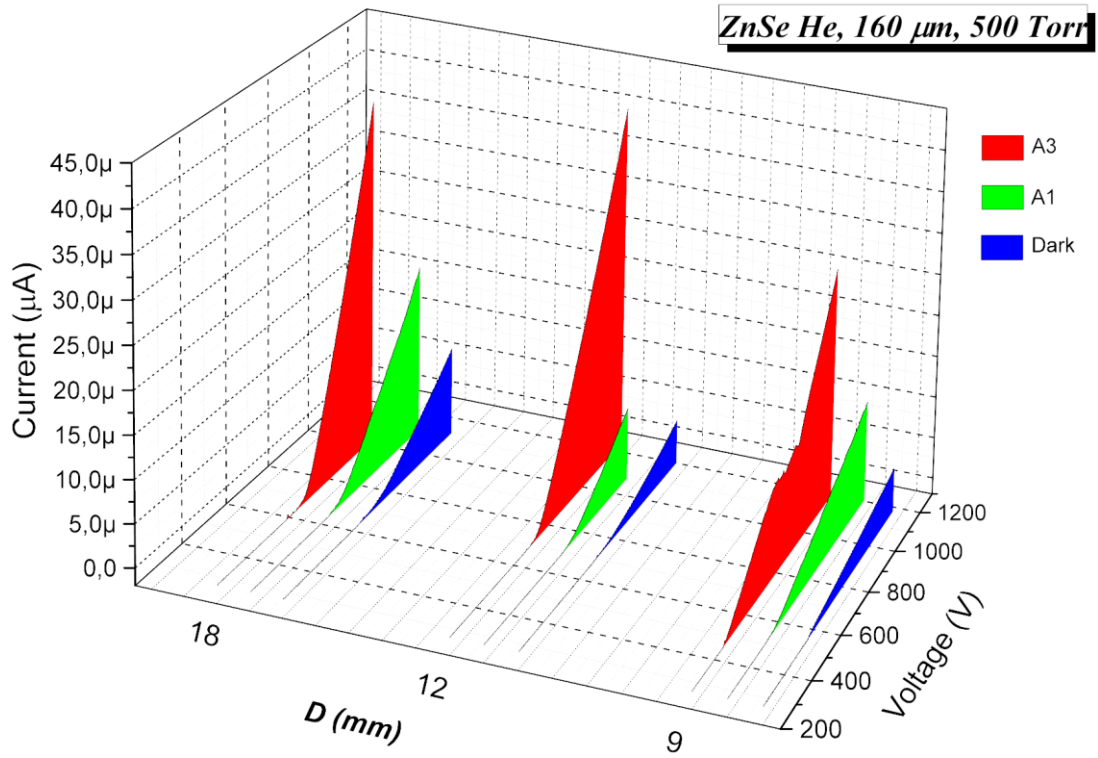
Şekil 6.54. Elektrotlar arası mesafenin 100 μm olduğu durumda, 900 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği

6.4.3. Elektrotlar arası mesafe 160 μm için

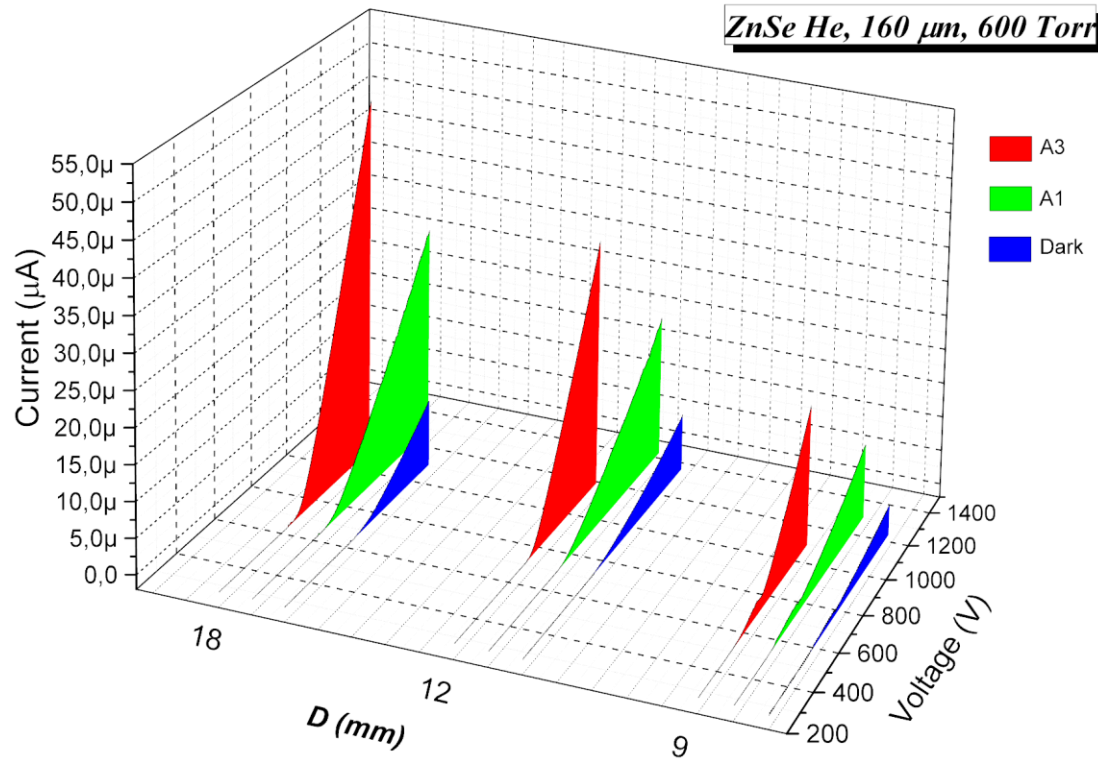
Tüm basınçlarda en yüksek akım verisine A3 aydınlatma seviyesinde ulaşıldığı görülmektedir. En yüksek akım değeri 18 mm, 900 Torr ve A3 aydınlatma seviyesinde 50 μA olarak ölçülmüştür.



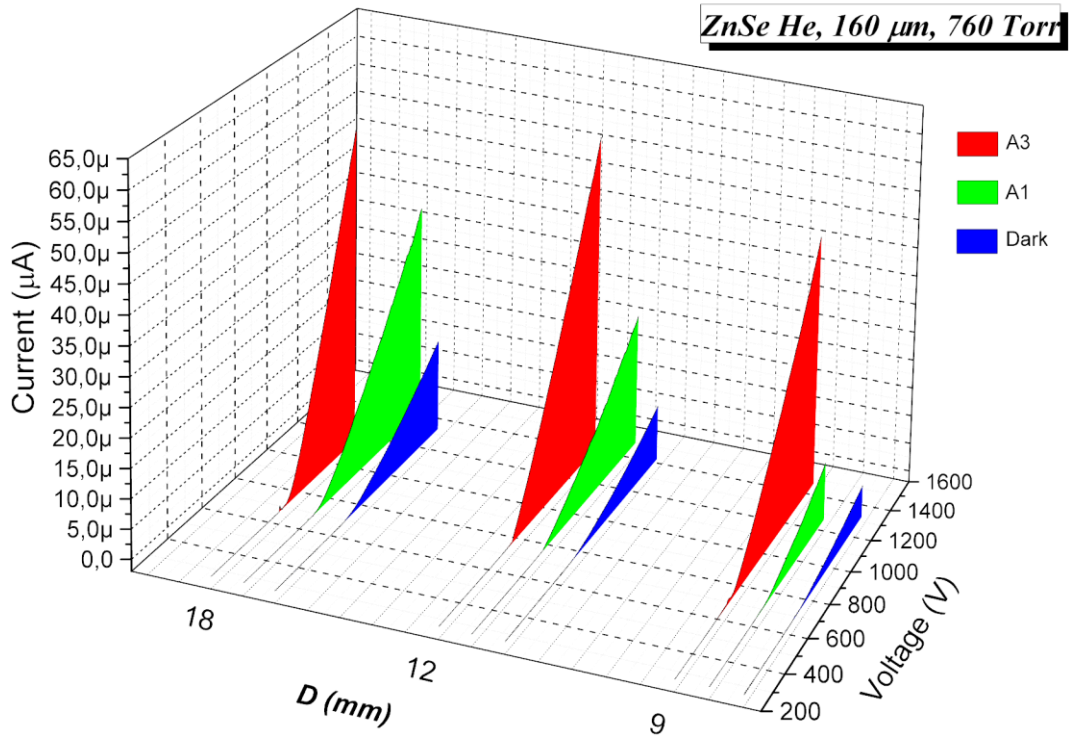
Şekil 6.55. Elektrotlar arası mesafenin 160 μm olduğu durumda, 320 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



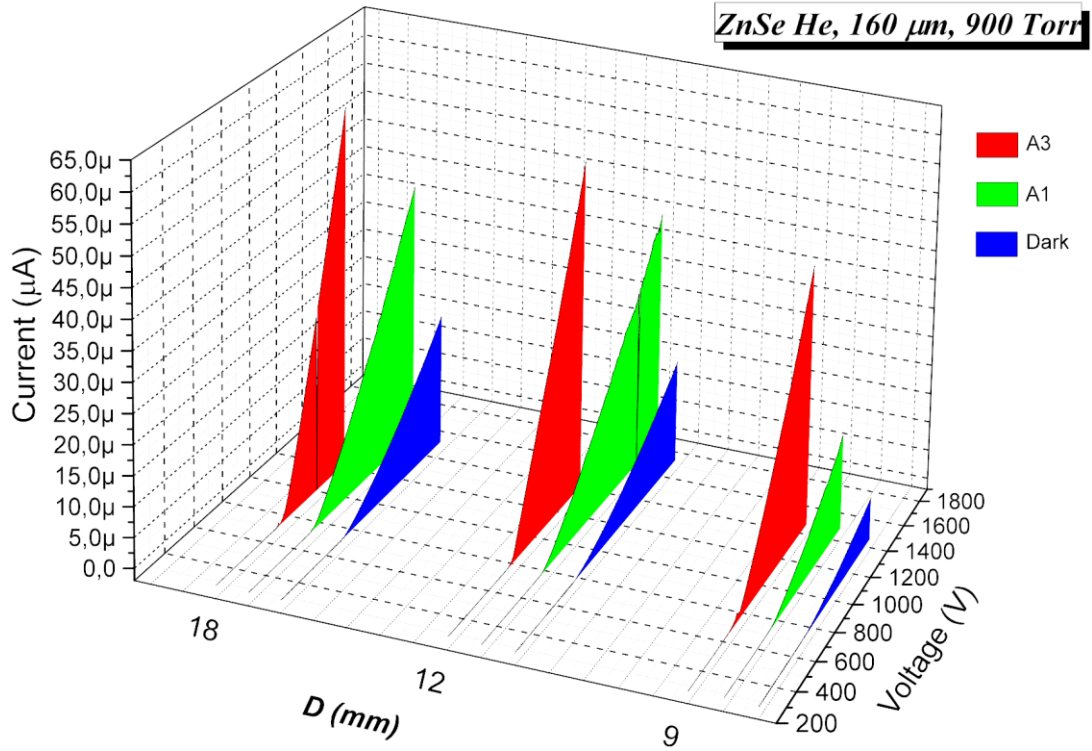
Şekil 6.56. Elektrotlar arası mesafenin 160 μm olduğu durumda, 500 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



Şekil 6.57. Elektrotlar arası mesafenin 160 μm olduğu durumda, 600 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



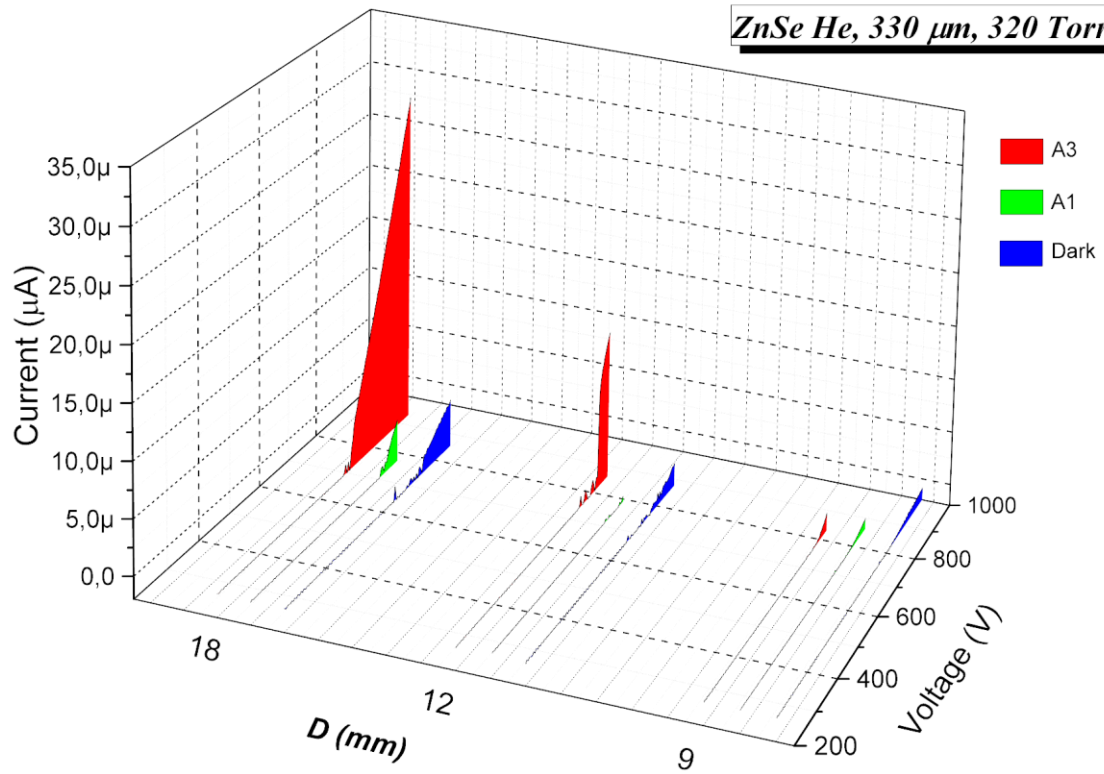
Şekil 6.58. Elektrotlar arası mesafenin 160 μm olduğu durumda, 760 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



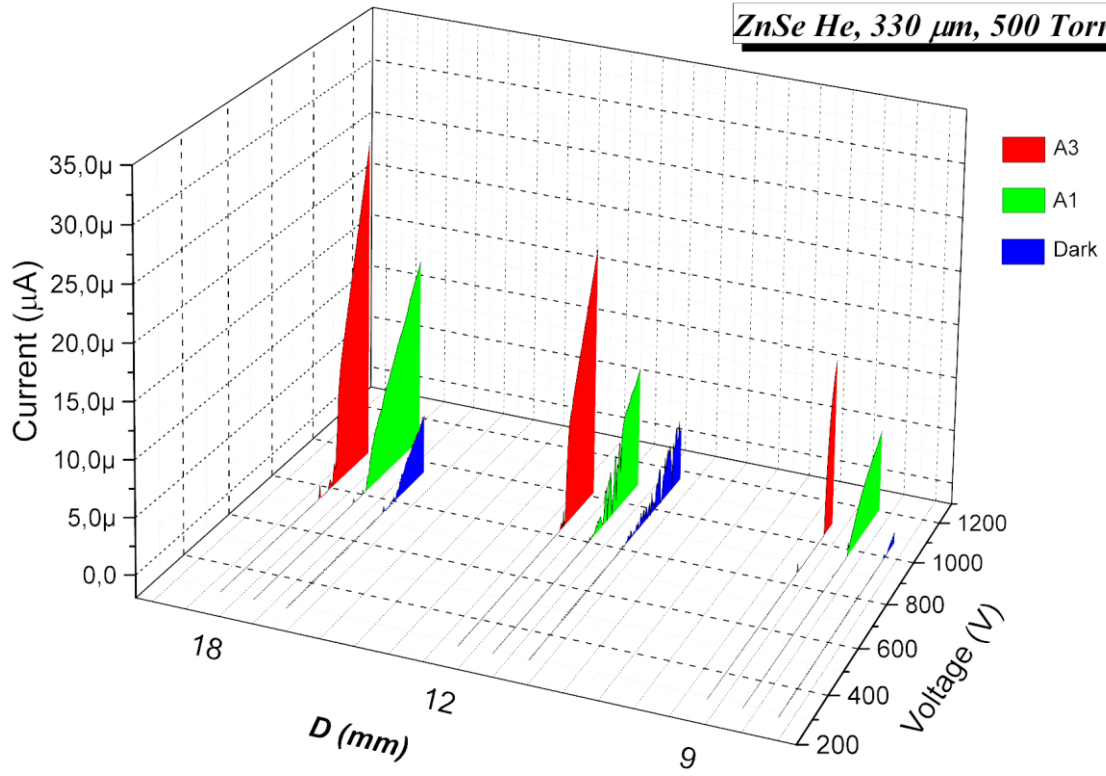
Şekil 6.59. Elektrotlar arası mesafenin 160 μm olduğu durumda, 900 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği

6.4.4. Elektrotlar arası mesafe 330 μm için

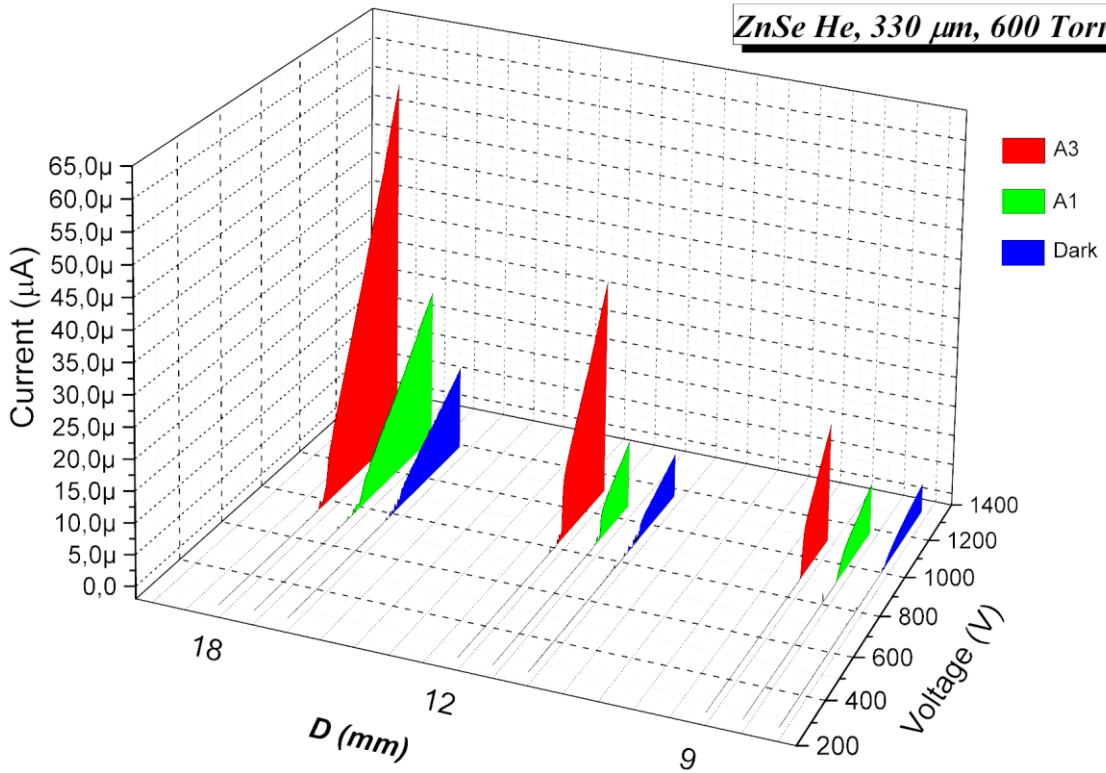
Tüm basınçlarda en yüksek akım verisine A3 aydınlatma seviyesinde ulaşıldığı görülmektedir. En yüksek akım değeri 9 mm ve 18 mm, 900 Torr ve A3 aydınlatma seviyesinde 55 μA olarak ölçülmüştür.



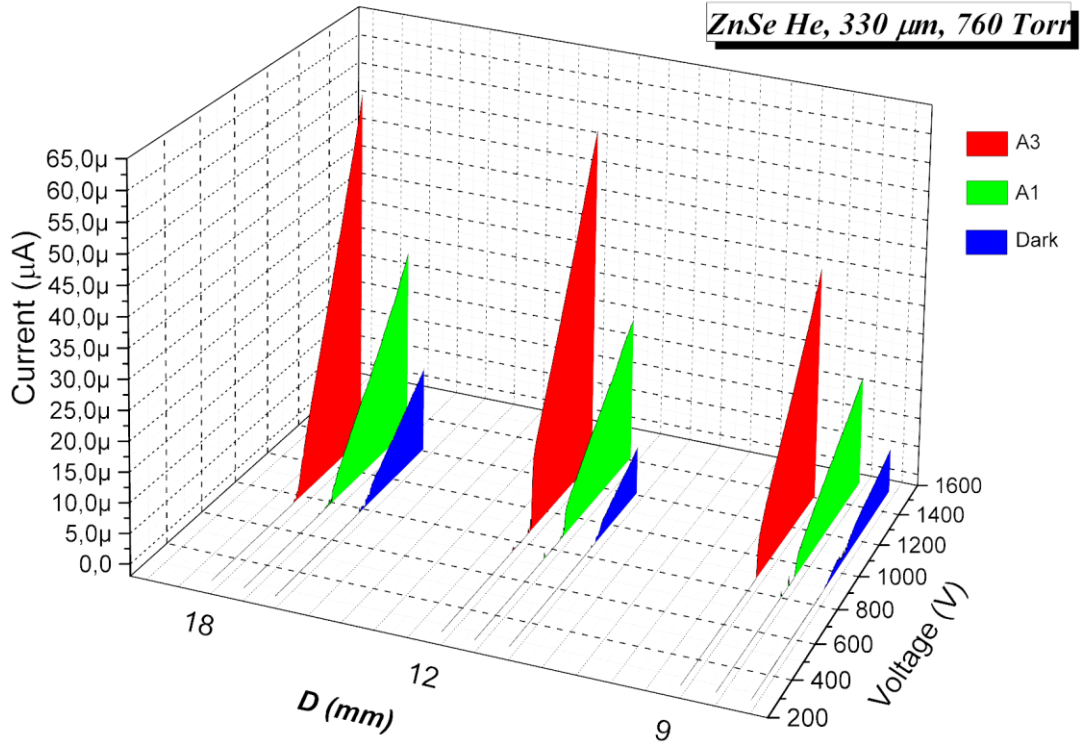
Şekil 6.60. Elektrotlar arası mesafenin 330 μm olduğu durumda, 320 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



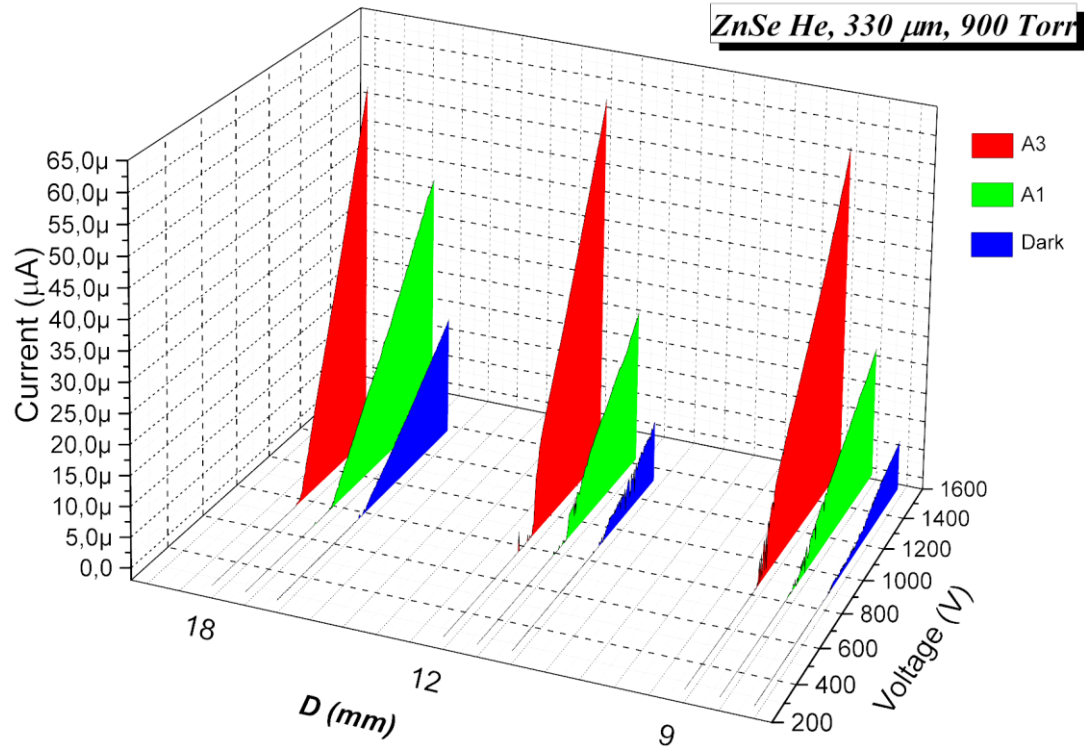
Şekil 6.61. Elektrotlar arası mesafenin 330 μm olduğu durumda, 500 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



Şekil 6.62. Elektrotlar arası mesafenin 330 μm olduğu durumda, 600 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



Şekil 6.63. Elektrotlar arası mesafenin 330 μm olduğu durumda, 760 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği



Şekil 6.64. Elektrotlar arası mesafenin 330 μm olduğu durumda, 900 Torr basınçta farklı aydınlatma seviyesi ve elektrot çapı değerlerinde akım-voltaj karakteristiği

Farklı mesafeler karşılaştırıldığında 50 μm mesafede en yüksek akım değerine ulaşılmıştır. Genel olarak değerlendirilirse, akımın basınç ve aydınlatma seviyesi ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Aydınlatma seviyesinin yarıiletken elektrottan elektron salınımını teşvik etmesi ve yarıiletkenin direncini düşürmesi göz önüne alındığında bu beklenen bir durumdur.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yarıiletken elektrot ve Helyum gazı kullanılarak oluşturulan mikrodeşarj yapısında oluşan townsend rejimine ait akım voltaj karakteristiği ve ZnSe yarıiletkeninin farklı basınç ve aydınlatma seviyelerindeki davranışı incelenmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler, ZnSe yarıiletkeni kullanılarak oluşturulacak mikrodeşarj sisteminin optimum çalışma parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilecektir.

Mikrodeşarj bölmesi SnO₂ ve ZnSe elektrotlar ile oluşturulmuş olup elektrot çapları ve elektrotlar arası mesafe değiştirilebilir şekilde tasarlanmıştır. Yapılan çalışmalarda 320 Torr ve 900 Torr aralığında basınçlarda plazma oluşumu ve ZnSe yarıiletkenine ait akım-voltaj karakteristiği incelenmiştir. Elektrot çapı 9mm, 12mm ve 18mm olmak üzere üç farklı değerde bu deneyler tekrarlanmıştır. Deneysel çalışma kapsamında etkisi incelenmek üzere değiştirilebilir şekilde tasarlanan bir diğer parametre ise elektrotlar arası uzaklık olmuştur. Elektrotlar arası mesafe 50, 100, 160 ve 320 µm iken farklı basınç ve elektrot çaplarındaki deneysel çalışmalar tekrarlanmıştır. Bir diğer önemli inceleme konusu ise ZnSe üzerine yönlendirilen kızılötesi dalga boyundaki ($0,8 \mu\text{m} < \lambda < 1,6 \mu\text{m}$) ışımanın mikrodeşarj bölmesinde ölçülen akım voltaj karakteristiğine etkisi olmuştur. Söz konusu veriler her bir konfigürasyonda karanlık (ışığa gönderilmeden), A1 şiddetinde ışığa ve A3 şiddetinde ışığa gönderilmesi senaryoları için elde edilmiştir.

Akım voltaj karakteristiği incelenirken deneysel parametrelerin kırılma voltajı ve maksimum ulaşılan akım değerleri üzerinde bariz etkileri gözlenmiştir:

- ZnSe üzerinde gönderilen ışığa şiddeti arttıkça tüm konfigürasyonlarda ölçülen maksimum akım değeri ve mikrodeşarj bölmesindeki ışığa şiddeti artmıştır.
- Elektrotlar arası mesafe arttıkça kırılma voltajında artış gözlenmiştir.
- Elektrot çapı arttıkça ölçülen maksimum akım değeri artmıştır.
- 320 Torr ve 900 Torr civarı basınçlarda diğer parametrelerin kırılma voltajı üzerindeki etkisi azalmıştır

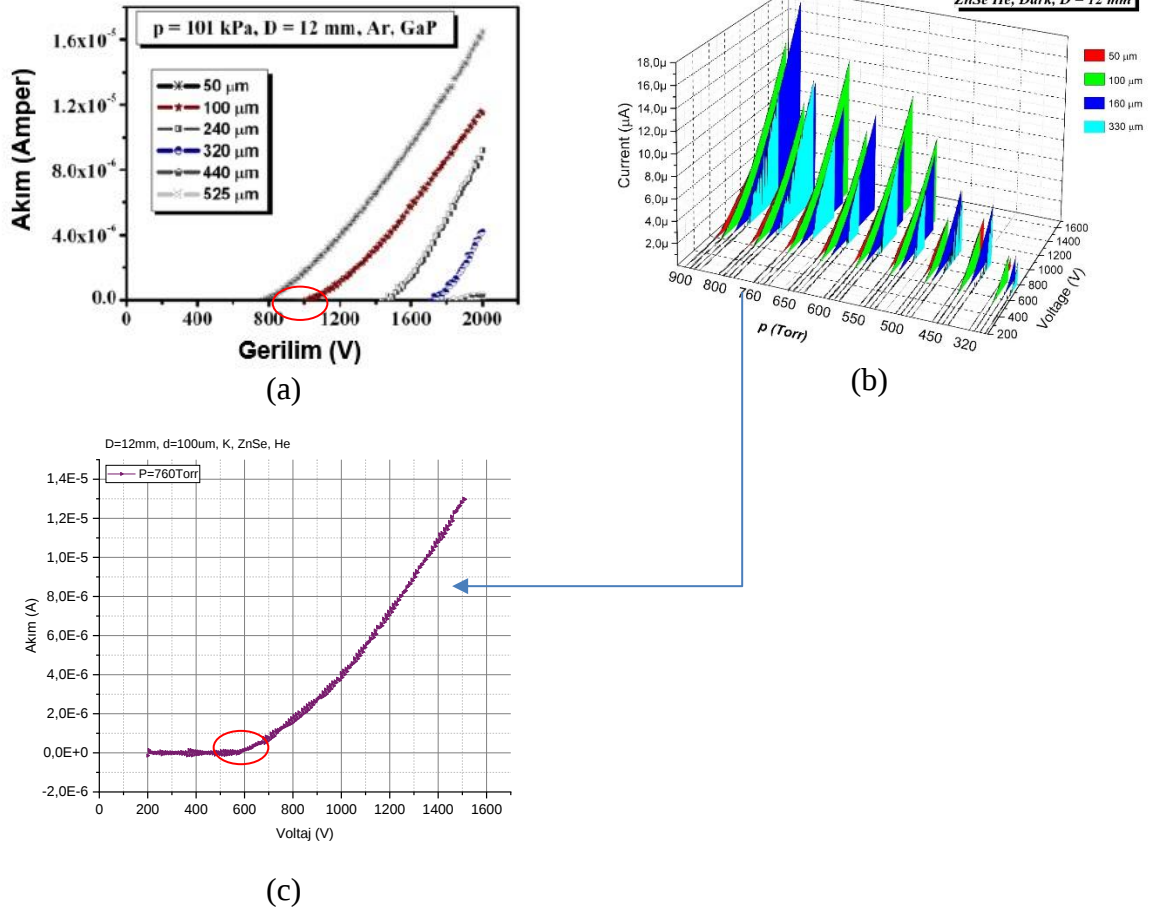
Farklı konfigürasyonlarda yapılan tüm testlerin sonuçları incelendiğinde ve bir araya getirildiğinde basınç değerleri baz alınarak mikro-deşarj bölmesinden en yüksek ışımanın elde edildiği konfigürasyonun belirlenebilmesi için aşağıdaki çizelge oluşturulmuştur:

Çizelge 7.1. En yüksek ışıma şiddetinin gözlemlendiği konfigürasyonlar

Basınç (Torr)	Intensity (a.u)	Akım (A)	Kırılma Voltajı (V)	Elektrotlar arası mesafe (μm)	Konfigürasyon
320	<0,2	38	600	160	D=18mm, A3
450	0,5	45	600	50	D=18mm, A3
500	0,4	50	600	50	D=18mm, A3
550	0,5	40	600	160	D=18mm, A3
600	0,5	52	750	330	D=18mm, A3
650	0,9	52	650	50	D=18mm, A3
760	0,68	40	700	50	D=18mm, A3
800	0,78	45	700	50	D=18mm, A3
900	0,94	10	750	160	D=18mm, A3

Daha önce farklı yarıiletkenler ve ortam gazları ile yapılan çalışmalar göz önüne alındığında ZnSe'nin yüksek basınçlarda kararlı bir şekilde çalışabildiği görülmüştür. Bunun yanı sıra ZnSe'nin diğer çalışına yarıiletkenlere kıyasla üzerine gönderilen KÖ bölgedeki ışıma ile direnç değerinde anlamlı değişiklikler meydana geldiği ve bunun akım-voltaj karakteristiğine yansıdığı görülmektedir. ZnSe yarıiletkeni ve Helyum gazı içeren mikrodışarj bölmesi ile ilk kez çalışılmış olup önceki çalışmalarda kullanılan gazların ve yarıiletkenlerin farklı olması sebebi ile tam bir karşılaştırma yapılamamıştır. Bununla birlikte diğer yarıiletkenlerle yapılan çalışmaların düşük basınçlarda gerçekleştirilmesi ZnSe'nin bu noktada farklılığını ortaya koymaktadır. Bu tez çalışması ile alınan ölçümler ZnSe yarıiletkeninin yüksek basınçlarda kararlı bir şekilde çalışabildiği ortaya konmuştur.

Örnek olarak aşağıda GaP ve ZnSe yarıiletkenlerinin atmosfer basıncı civarında (760 Torr) akım voltaj grafiği gösterilebilir:



Şekil 6.65. Atmosfer basıncı civarında (760 Torr) GaP ve ZnSe'nin akım-voltaj değerler:
 a) GaP yarıiletkenine ait 101 kPa (707 Torr) basınçta akım-voltaj grafiği [41],
 b) ZnSe yarıiletkeninin 760 Torr'da üç boyutlu akım-voltaj grafiği, c) ZnSe yarıiletkeni için 760 Torr'da iki boyutlu akım-voltaj grafiği.

Şekilde görüldüğü üzere 100 μm elektrotlar arası mesafede ZnSe kullanılan sistemde daha düşük voltaj değerinde kırılım gözlenmiştir. Aynı zamanda ölçülen akım değeri de daha yüksek olmuştur.

Farklı yarıiletkenlerle bu tez çalışması kapsamında çalışılan yüksek basınç değerlerinde çalışılmadığı ve aynı konfigürasyonlarda çalışma olmaması nedeni ile veri bulunmadığı için ayrıntılı bir karşılaştırma yapılamamıştır.

Kızılötesi görüntüleyici sistemlerde mikrodışarj bölmesinde oluşan ısımanın önemli olduğu göz önüne alınırsa, bu amaçla kullanılmak üzere seçilebilecek optimum konfigürasyon

düşük akımla çalışmak veya kırılmanın daha düşük voltajlarda gerçekleşmesi amaçlarına göre aşağıdaki konfigürasyonlar seçilebilir:

Çizelge 7.2. En yüksek ışımanın elde edilebilmesi için tercih edilebilecek optimum konfigürasyonlar

D (mm)	D (μm)	Aydınlatma seviyesi	Basınç Değeri (Torr)	Elde edilen Işıma şiddeti (a.u)	Işımanın gözlendiği akım değeri (μA)	Kırılma Voltajı (V)
18	50	A3	650	0,9	52	650
18	160	A3	900	0,94	10	750

Tüm konfigürasyonlar değerlendirildiğinde ve sonuçlar incelendiğinde verimli bir mikrodeşarj sistemi elde edilebilmesi için elektrot çapının ve aydınlatma seviyesinin maksimum değerinde bir tasarımın tercih edilmesi gerektiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Fu, Y., Zhang, P., Verboncoeur, J. P. and Wang, X. (2020). Electrical Breakdown from Macro to Micro/Nano Scales: A Tutorial and a Review of the State of the Art. *Plasma Research Express*, 2, 1-46.
2. İnternet: Electrical Engineering Lecture Notes. (2015). *Veer Surendra Sai University of Technology*. URL: https://vssut.ac.in/lecture_notes/lecture1423723357.pdf, Son Erişim Tarihi: 26 Aralık 2022.
3. İnternet: Chung, K. J. (2018). Electrical Breakdown in Gases. URL: https://ocw.snu.ac.kr/sites/default/files/NOTE/Lecture_06_Electrical%20breakdown%20in%20gases.pdf. Son Erişim Tarihi: 26 Aralık 2022.
4. Eliezer, Y., Eliezer, S. (1989). *The Fourth State of Matter*. (First Edition). London: Institute of Physics, 21.
5. İbrahimoglu, B. (2014). *Plazma Teknolojileri*. (Birinci Baskı). Ankara: Ürün yayınları, 12.
6. İnternet: Hutchinson, I. (2001). Introduction to Plasma Physics. URL: <http://silas.psfc.mit.edu/introplasma/master.pdf>. Son Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2021.
7. Wiesemann, K. (2013). A Short Introduction to Plasma Physics. In Bailey, R. (Ed.). *Proceedings of CAS - CERN Accelerator School, Ion Sources. European Organization for Nuclear Research (CERN)*, 47(44), 85-122.
8. Krall, N. A., Trivelpiece, A. W. (1973). *Principles of Plasma Physics* (First Edition), New York: McGraw-Hill, 3-10
9. Gedalin, M. (2014). *Lecture Notes in Physics- Introduction to Plasma Physics*. (First Edition). South Carolina: CreateSpace Independent Publishing Platform, 1-2.
10. Hazeltine, R., Waelbroeck, F. (2004). *The Framework of Plasma Physics*. (First Edition). Boca Raton: CRC Press, 6.
11. Gurnett, D., Bhattacharjee, A. (2005). *Introduction to Plasma Physics-with Space and Laboratory Applications*. (First Edition). Cambridge: Cambridge University Press, 5.
12. Goldstone, R. J. (1995). *Introduction to Plasma Physics*. (First Edition). Boca Raton: Institute of Physics Publishing, 15.
13. Bittencourt, J. (2004). *Fundamentals of Plasma Physics*. (First Edition). New York: Springer, 7-9.
14. Piel, A. (2017). *Plasma Physics: An Introduction to Laboratory, Space and Fusion Plasmas*. (First Edition). Switzerland: Springer, 35-39.
15. Fitzpatrick, R. (2014). *Plasma Physics-An Introduction*. (First Edition). Boca Raton: CRC Press, 7.

16. Inan, U. S. and Golkowski, M. (2011). *Principles of Plasma Physics for Engineers and Scientists*. (First Edition). Cambridge: Cambridge University Press, 10-13.
17. Wong, C. S. and Mongkolnavin, R. (2016). *Elements of Plasma Technology*. (First Edition). Singapore: Springer, 15-48.
18. Bozduman, F. (2012). *Atmosferik Basınç Mikrodalga Plazmasının Karakteristiği*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 3-5.
19. Nasser, E. (1971). *Fundamentals of Gaseous Ionization and Plasma Electronics*. (First Edition). New York: John Wiley & Sons, 118.
20. Akan, T. (2005). Maddenin Dördüncü Hali Plazma ve Temel Özellikleri. *Elektronik Çağdaş Fizik Dergisi*, (4), 1-11.
21. Fridman, A. (2008). *Plasma Chemistry*. (First Edition). New York: Cambridge University Press, 97.
22. Conrads, H. and Schmidt, M. (2000). Plasma Generation and Plasma Sources. *Plasma Sources Science and Technology*, 9(4), 441-454.
23. Raizer, Y. P. (1991). *Gas Discharge Physics*. (First Edition). Berlin: Springer, 4.
24. Kolbay, K. (2014). *Düşük Basınç ve Düşük Sıcaklıkta Havanın DC Post-Deşarj Plazmasının Bakteriler Üzerine Uygulanması*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 5.
25. Radjenovic, R. M., Radjenovic, B., Klas, M., Bojarov, A. and Matejcik, S. (2013). The Breakdown Mechanisms in Electrical Discharges: The Role of the Field Emission Effect in Direct Current Discharges in Microgaps. *Acta Physica Slovaca*, 63, 105-205.
26. Ramkumar, M., Cools, P., Arunkumar, A., Geyter, N. D., Morent, R., Kumar, S. U. V., Gopinath, P., Jaganathan, S. and Pandiyaraj, K. (2018). Polymer Coatings for Biocompatibility and Reduced Nonspecific Adsorption. *Functionalised Cardiovascular Stents*, 155-198.
27. San, L. S. (2010). *Computer Simulation of Low Temperature Plasma*, Master Thesis, University of Malaya Faculty of Science, Kuala Lumpur, 12.
28. Tamargo, M. (2002). *II-VI Semiconductor Materials and Their Applications*. (First Edition). New York: CRC Press, vii.
29. Kurt, H. H. ve Tanrıverdi, E. (2017). Electrical Properties of ZnS and ZnSe Semiconductors in a Plasma-Semiconductor System. *Journal of Electronic Materials*, 46, 3965-3975.
30. Sweeney, S. J. and Mukherjee, J. (2017). Optoelectronic Devices and Materials. In S. Kasap and P. Capper (Eds.). *Handbook of Electronic and Photonic Materials*. Switzerland: Springer, 887-916.

31. Shkir, M., Bhagavannarayana, G. and Wahab, M. (2011). Structural, Optical and Electrical Properties of ZnSe Semiconductor Nanoparticles. *Chalcogenide Letters*, 8(7), 435-440.
32. Takahashi, K., Yoshikawa, A. and Sandhu, A. (2007). *Wide Bandgap Semiconductors*. (First Edition). Tokyo: Springer, 218.
33. İnternet: Honsberg, C. and Bowden S. (2019) ZnSe. *PVEducation*. URL: https://www.pveducation.org/pvcdrom/materials/znse#footnote3_hqwl9k8. Son Erişim Tarihi:19 09 2022.
34. Adachi, T. T. (1991). Optical Properties of ZnSe. *Physical Revies B Condens Matter*, 43(12), 9569-9577.
35. Calderon, I. H. (2002). Optical Properties and Electronic Structure of Wide Band Gap II-VI Semiconductors. In M. Tamargo (Ed.). *II-VI Semiconductor Materials and Their Applications*. New York: Taylor and Francis, 113-170.
36. Zobov, E., Zobov, M. and Gabibov, F. (2008). Effect of Ultrasonic Treatment on Photoelectric and Luminescent Properties of ZnSe Crystals. *Semiconductors*, 42(3), 277-280.
37. Qasrawi, A. and Taleb, M. (2020). Enhancement of Electrical Performance of ZnSe Thin Films via Au Nanosandwiching. *Materials Science*, 38(1), 174-180.
38. Zhang, F., Qing, Y., Bian, H., Liu, F., Li, M., Hou, X. and Chen, F. (2020). Fabrication of ZnSe Microlens Array for a Wide Infrared Spectral Region. *IEEE Photonics Technology Letters*, 32(20), 1327-1330.
39. Sirkeli, V., Yilmazoglu, O., Hajo, A., Nedeoglo, N., Nedeoglo, D., Preu, S., Kueppers, F. and Hartnagel, H. (2018). Enhanced Responsivity of Znse-Based Metal-Semiconductor-Metal Near-Ultraviolet Photodetector via Impact Ionization. *Rapid Research Letters*, 12(2), 1-5.
40. Kurt, H., Koç, E. and Salamov, B. G. (2010). Atmospheric Pressure DC Glow Discharge in Semiconductor Gas Discharge Electronic Devices. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 137-141.
41. Tanrıverdi, E. (2021). *Yarıiletken Gaz Boşalma Sisteminde Plazma Süreçlerinin Modellenmesi ve Uygulanması*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 110.



Gazili olmak ayrıcalıktır