

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖN KARIŞIM ODALI ÖZGÜN BİR ARK PLAZMA TORÇUN
TERMODİNAMİK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ
VE DENEYSEL PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

HANDAN DEMİRÇAY

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. ADNAN MİDİLLİ

II. DANIŞMAN

PROF. DR. İBRAHİM DİNÇER

TEZ JÜRİLERİ

PROF. DR. ARİF HEPBAŞLI

PROF. DR. HAYDAR KÜÇÜK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RİZE-2019

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

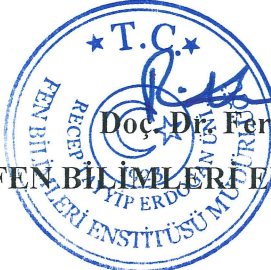
ÖN KARIŞIM ODALI ÖZGÜN BİR ARK PLAZMA TORÇUN
TERMODİNAMİK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE DENEYSEL
PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ danışmanlığında Handan DEMİRÇAY tarafından hazırlanan bu çalışma Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 10/07/2019 tarihinde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvan Adı Soyadı
Başkan	: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ
Üye	: Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI
Üye	: Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

İmzası

A. d. l. Midilli
A. Hepbasli
H. Kucuk


Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarımın tüm aşamalarında tecrübeleri ve bilgi birikimleriyle kendilerinden çok değerli bilgiler öğrendiğim ve yoğun çalışma temposu arasında çok değerli zamanlarını ayırarak bana destek olan tez danışmanlarım Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ ve Prof. Dr. İbrahim DİNÇER hocalarıma en içten duygularıyla teşekkür eder, saygı ve hürmetlerimi sunarım.

Tezimin deneysel çalışmaları kısmında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Makine Mühendisi İsmail VURANER ve Serdar VURANER' e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sürecinde laboratuvar çalışmalarında yardım ve desteklerinden dolayı proje ekibinde yer alan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu günlere gelmemi sağlayan, eğitim hayatım boyunca beni her zaman teşvik eden, sabır ve desteklerini esirgemeyen fedakâr aileme minnettarım.

Hazırlanan bu Yüksek lisans tezi TÜBİTAK tarafından 117M436 nolu proje ile desteklenmiştir.

Handan DEMİRÇAY

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Ön Karışım Odalı Özgün Bir Ark Plazma Torçun Termodinamik Modelinin Geliştirilmesi ve Deneysel Performansının Araştırılması” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 10/07/2019


Handan DEMİRÇAY

***Uyarı:** Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.*

ÖZET

ÖN KARIŞIM ODALI ÖZGÜN BİR ARK PLAZMA TORÇUN TERMODİNAMİK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE DENEYSEL PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Handan DEMİRÇAY

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ**

Bu tez çalışmasında, ön karışım odalı özgün bir ark plazma torçun termodinamik modelinin geliştirilmesi ve deneysel performansı araştırılmıştır. Bu amaçlar için kuru hava, kızgın su buharı, argon ve azot gibi dört farklı iş akışkanı içeren beş farklı çalışma modu dikkate alınmıştır ki bunlar i) İş akışkanı için kuru hava içeren Mod 1, ii) Kızgın su buharı-kuru hava karışımı içeren Mod 2, iii) Kuru hava ve argon karışımı içeren Mod 3, iv) Kuru hava ve azot karışımı içeren Mod 4, v) Kuru hava-argon-azot karışımı içeren Mod 5. Bu modlar dikkate alınarak ark plazma torçun deneysel performansı araştırıldı ve Termodinamiğin Birinci Kanunu kapsamında deneysel veriler kullanılarak enerji analizi gerçekleştirildi. Bu kapsamda ark plazma torçun performans değerlendirmesini yapmak için gerekli olan plazma entalpisi, plazma enerji akımı, çillerin plazma torçu soğutma kapasitesi ve plazma torç verimi gibi parametreler hesaplandı. Sonuç olarak, ark plazma torç enerji verimi Mod 1 de %85,6; Mod 2 de %86,4; Mod 3 te %85,3; Mod 4 te 85,4 ve Mod 5 de %86,3 olarak hesaplandı. Ark plazma torçun en yüksek verimi kuru hava ve kızgın su buharının kullanılması durumunda elde edildi. Bunun manası kızgın su buharı, ark plazma torçun performansını arttırmak için önemli bir iş akışkanı olarak düşünülebilir. O halde bu çalışmanın, plazma yakma, plazma piroliz ve plazma gazlaştırma gibi endüstriyel uygulamalar için önemli bir kaynak olacağı beklenmektedir.

2019, 79 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ark Plazma Torç, Enerji Analizi, İş Akışkanı, Verim, Deneysel Performans.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL PERFORMANCE INVESTIGATION AND THERMODYNAMIC MODEL DEVELOPMENT OF A NOVEL ARC PLASMA TORCH WITH PRE-MIXTURE CHAMBER

Handan DEMİRÇAY

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Master Thesis
Supervisor: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ**

In this thesis, experimental performance investigation and thermodynamic model development of a novel arc plasma torch pre-mixture chamber are carried out. For these purposes, including four different working fluids (dry air, superheated water vapor, argon and nitrogen) five different operating modes are considered. They are i) Mode 1 including dry air as working fluid, ii) Mode 2 containing mixture of dry air and superheated water vapor, iii) Mode 3 with mixture of dry air and argon, iv) Mode 4 using mixture of dry air and nitrogen, v) Mode 5 utilizing mixture of dry air, argon and nitrogen. Taking into consideration these modes, experimental performance of arc plasma torch is investigated. In terms of the First Law of Thermodynamics, energy analysis is performed by using the experimental data. In this regard, the following parameters required for performance evaluation of arc plasma torch are calculated, which are enthalpy of plasma, energy flow rate of plasma, cooling capacity of chiller, and plasma torch efficiency. Consequently, it is estimated that arc plasma torch energy efficiencies are to be 85.6% in Mode 1, 86.4% in Mode 2, 85.3% in Mode 3, 85.4% in Mode 4 and 86.3% in Mode 5. The highest efficiency of arc plasma torch is obtained in case of the utilization of dry air and superheated water vapor. It means that superheated water vapor can be considered as a crucial working fluid to increase the arc plasma torch performance. Thus, it is expected that, this study will be important source for industrial applications such as plasma gasification, plasma combustion and plasma pyrolysis processes.

2019, 79 pages

Keywords: Arc Plasma Torch, Energy Analysis, Working Fluid, Efficiency, Experimental Performance.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi	2
1.3. Literatür Araştırması.....	3
1.3.1. Termal Plazma Teknolojisi.....	3
1.3.2. Plazma Torçlar.....	4
1.3.3. Ark Stabilizasyon Mekanizma Çeşitleri	4
1.3.3.1. Gaz Akış Stabilizasyonu.....	5
1.3.3.2. Su Akış Stabilizasyonu	5
1.4. Plazma Jetleri	6
1.5. Ark Plazma Torçlar Üzerine Yapılan Çalışmalar	6
1.6. Yapılan Çalışmanın Literatürden Farkı	12
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	13
2.1. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunun Tasarımı.....	13
2.1.1. Katı Modelinin Oluşturulması	13
2.1.2. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunun İmalatı	15
2.1.3. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçu Güç Kaynağı İmalatı ve Entegrasyonu	15
2.2. Test Çalışmaları	17
2.3. Deneysel Çalışmalar	20
2.4. Termodinamik Çalışmalar	29
2.4.1. Genel Kabuller.....	29
2.4.2. Sistemdeki Etkili Büyüklükler.....	30
2.4.2.1. Ölçülebilen Büyüklükler.....	30

2.4.2.2. Hesaplanabilen Büyüklükler.....	31
2.4.3. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunda Plazma Üretimi İçin Parametrik Hesaplamalar.....	32
2.4.3.1. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunun Plazma Debi Hesabı.....	33
2.4.3.2. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunun Performans Analizi	35
2.4.3.3. Plazma Entalpi Değerinin Hesaplanması.....	38
2.4.3.4. Plazma Entalpi Hesabının Doğrulanması	39
2.4.3.5. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunun Veriminin Hesaplanması	39
2.5. Belirsizlik Analizi	40
3. BULGULAR	45
3.1. Analitik Bulgular	45
3.2. Deneysel Bulgular.....	58
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	72
5. ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu katı modelinin; (a) üstten görünümü, (b) alttan görünümü, (c) önden görünümü.....	14
Şekil 2. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu montaj görünümü.....	15
Şekil 3. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağının görünümü; (a) önden görünüm, (b) arkadan görünüm.....	16
Şekil 4. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu test çalışması.....	17
Şekil 5. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ve güç kaynağı.....	18
Şekil 6. Yalıtımsız hücre ile çalıştırılması.....	18
Şekil 7. İzolasyonlu hücre ile çalıştırılması.....	19
Şekil 8. Hücre üzerinde sıcaklık ölçümü.....	19
Şekil 9. Test sonu alınan ölçüm.....	20
Şekil 10. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu deney sistemi düzeneği; (a) Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, (b) Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağı.....	21
Şekil 11. Soğutucu kollektörleri.....	22
Şekil 12. Kuru hava basınç ölçer.....	22
Şekil 13. Anemometre cihazı.....	22
Şekil 14. Kuru hava çıkış hızının ölçülmesi.....	23
Şekil 15. Argon ve azot tüpleri.....	23
Şekil 16. Argon ve azot tüpü basınç ayarı panosu.....	24
Şekil 17. Dijital multimetre.....	24
Şekil 18. Dijital pens ampermetre.....	25
Şekil 19. Kuru hava ile oluşturulan plazma alev boyunun ölçülmesi.....	26
Şekil 20. Kuru hava-argon gazı kullanılması sonucu oluşan plazma alev boyu.....	27
Şekil 21. Kuru hava-azot gazı kullanılması sonucu oluşan plazma alev boyu.....	28
Şekil 22. Kuru hava-argon-azot gazı kullanılması sonucu oluşan plazma alev boyu.....	29
Şekil 23. Farklı gazlarla çalışabilen doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun en genel haldeki kontrol hacmi.....	33
Şekil 24. Farklı gazlarla çalışabilen doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun en genel halde enerji akış diyagramı.....	35
Şekil 25. Plazmanın kütleli debisine bağlı plazma enerji akımı karşılaştırılması.....	46
Şekil 26. Verim ile plazmanın kütleli debisinin karşılaştırılması.....	46
Şekil 27. Kuru havanın kütleli debisi ile toplam giren enerji akımı karşılaştırılması ..	47

Şekil 28. Plazmanın kütleli debisi - plazma enerji akımı karşılaştırılması	49
Şekil 29. Plazmanın kütleli debisi - verim karşılaştırılması	49
Şekil 30. Plazmanın kütleli debisine bağı toplam giren enerji akımı karşılaştırılması.	50
Şekil 31. Plazmanın kütleli debisi - plazma enerji akımı karşılaştırılması	51
Şekil 32. Plazmanın kütleli debisi ile verim karşılaştırması	52
Şekil 33. Plazmanın kütleli debisi ile plazma enerji akımı karşılaştırılması	53
Şekil 34. Plazmanın kütleli debisine bağı toplam giren enerji akım karşılaştırılması	54
Şekil 35. Plazmanın kütleli debisi-verim karşılaştırması	54
Şekil 36. Plazma enerji akımı ile plazmanın kütleli debisinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 37. Plazmanın kütleli debisine ile toplam giren enerji akım karşılaştırılması.....	56
Şekil 38. Plazmanın kütleli debisi ile verim karşılaştırılması	57
Şekil 39. Soğutma yükü ile plazma kütleli debisinin karşılaştırılması.....	58
Şekil 40. Soğutma yükü-zaman deneyi karşılaştırması.....	59
Şekil 41. Sistemde kullanılan gücün zamana bağı değişimi.....	59
Şekil 42. Zamana bağı amper-voltaj değişiminin deneysel değerleri.....	60
Şekil 43. Amper değişimine bağı olarak plazma boyu.....	61
Şekil 44. Plazmanın kütleli debisi - soğutma yükü.....	62
Şekil 45. Zamana bağı olarak soğutma yükünün karşılaştırılması.....	62
Şekil 46. Gücün zamana bağı değişimi.....	63
Şekil 47. Zaman ile amper – voltaj değişimi.....	63
Şekil 48. Amper – plazma boyu karşılaştırılması.....	64
Şekil 49. Plazmanın kütleli debisi ile soğutma yükünün karşılaştırılması.....	65
Şekil 50. Zaman ile soğutma yükünün karşılaştırılması.....	66
Şekil 51. Güç değerinin zamana göre değişimi.....	66
Şekil 52. Amper ve voltajın zamana bağı değişimi.....	67
Şekil 53. Plazma boyunun ampere bağı değişimi.....	68
Şekil 54. Plazmanın kütleli debisine bağı olarak soğutma yükü.....	69
Şekil 55. Soğutma yükü – zaman ilişkisi.....	69
Şekil 56. Güç değerinin zamana göre değişimi.....	70
Şekil 57. Zamana bağı olarak amper – voltaj değişimi.....	71
Şekil 58. Amper değeri ile plazma boyu karşılaştırılması.....	71

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Literatürdeki çalışmaların özeti.....	10
Tablo 2. Kuru hava kullanılarak ölçülen sonuçlar.....	25
Tablo 3. Kuru hava – argon kullanılarak ölçülen sonuçlar.....	26
Tablo 4. Kuru hava – azot kullanılarak ölçülen sonuçlar.....	27
Tablo 5. Kuru hava – argon – azot karışımı kullanılarak elde edilen sonuçlar.....	28
Tablo 6. Sistemdeki ölçülebilen büyüklükler.....	31
Tablo 7. Sistemdeki hesaplanabilen büyüklükler.....	32



SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A_k	Anot Çıkış Kesit Alanı, cm^2
$A_{\text{torç yüzeyi}}$	Torç Yüzey Alanı, cm^2
$\dot{E}_\text{ç}$	Çıkan Enerji Akımı, kW
$\dot{E}_{g,\text{Ar}}$	Argon Gazının Enerji Akımı, kW
$\dot{E}_g$	Toplam Giren Enerji Akımı, kW
$\dot{E}_{g,\text{kb}}$	Kızgın Buharın Enerji Akımı, kW
$\dot{E}_{g,\text{kh}}$	Kuru Havanın Enerji Akımı, kW
$\dot{E}_{g,\text{N}_2}$	Azot Gazının Enerji Akımı, kW
$\dot{E}_{g,\text{ssan}}$	Anot Giriş Soğutma Suyu Enerji Akımı, kW
$\dot{E}_{g,\text{sskat}}$	Katot Giriş Soğutma Suyu Enerji Akımı, kW
$\dot{E}_{\text{plazma}}$	Plazma Enerji Akımı, kW
$\dot{E}^W$	Elektrik Gücü, kW
$h_{\text{ç,ssan}}$	Anot Çıkış Soğutma Suyunun Entalpi Değeri, kJ/kg
$h_{\text{ç,sskat}}$	Katot Çıkış Soğutma Suyunun Entalpi Değeri, kJ/kg
$h_{g,\text{Ar}}$	Argon Gazının Entalpi Değeri, kJ/kg
$h_{g,\text{kb}}$	Kızgın Buharın Entalpi Değeri, kJ/kg
$h_{g,\text{kh}}$	Kuru Havanın Entalpi Değeri, kJ/kg
h_{g,N_2}	Azot Gazının Entalpi Değeri, kJ/kg
$h_{g,\text{ssan}}$	Anot Giriş Soğutma Suyunun Entalpi Değeri, kJ/kg
$h_{g,\text{sskat}}$	Katot Giriş Soğutma Suyunun Entalpi Değeri, kJ/kg
h_{plazma}	Plazmanın Entalpi Değeri, kJ/kg
I	Akım, A
$\dot{m}_{\text{ç,ssan}}$	Soğutma Suyu Anot Çıkış Kütlesel Debisi, kg/s
$\dot{m}_{\text{ç,sskat}}$	Soğutma Suyu Katot Çıkış Kütlesel Debisi, kg/s
$\dot{m}_{g,\text{Ar}}$	Argonun Giriş Kütlesel Debisi, kg/s
$\dot{m}_{g,\text{kb}}$	Kızgın Buhar Giriş Kütlesel Debisi, kg/s
$\dot{m}_{g,\text{kh}}$	Kuru Hava Giriş Kütlesel Debisi, kg/s
$\dot{m}_{g,\text{N}_2}$	Azot Giriş Kütlesel Debisi, kg/s

$\dot{m}_{g,ssan}$	Soğutma Suyu Anot Giriş Kütlesel Debisi, kg/s
$\dot{m}_{g,sskat}$	Soğutma Suyu Katot Giriş Kütlesel Debisi, kg/s
$\dot{m}_{kh}$	Kuru Havanın Kütlesel Debisi, kg/s
$\dot{m}_{plazma}$	Plazmanın Kütlesel Debisi, kg/s
$T_{\text{çevre}}$	Çevre Sıcaklığı, °C
$T_{\text{torç yüzeyi}}$	Torç Yüzey Sıcaklığı, °C
$\dot{Q}_{\text{soğyükü}}$	Soğutma Suyu Kaybı, kW
V	Voltaj, V
v	Hız, m/s
ρ	Yoğunluk, kg/m ³
η	Verim
w_t	Toplam Belirsizlik, %
KKD	Kütlenin Korunumu Denklemi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde ark plazma teknolojileri atıkların bertarafı işlemlerinde, kesme işlemlerinde, kaplama işlemlerinde, tıp alanında, enerji üretiminde ve daha farklı birçok alanda kullanılmaktadır (Sunjuq, 2016). Plazma arkı ise numune üzerine transfer işlemi gerçekleştirilmeden önce anot ile elektrot arasında başlayarak ve sürekli olarak akışı devam eden gazın etkisi ile sürekliliği sağlayacak şekilde plazma torç ucundan alev olarak çıkmaktadır (Sunjuq, 2016).

Ark plazma gazlaştırma torçları ise yüksek entalpiye sahip plazma jetinin oluşturulmasında ve farklı alanlarda geniş bir uygulama alanında kullanılması ile ilgili son derece önemli katkıları bulunmaktadır. Ark plazma torçunun, sıcaklık ile hız değeri gibi parametrelerin elde edilebilmesi için torçun geometrisinin ve özellikle sınır koşul parametrelerinin bilinmesi gerekir. Fakat plazma torçların uygulamalı olarak sıcaklık, hız gibi parametrelerinin ayrıntılı olarak analizi sistemde yüksek sıcaklık oluşumu ve gerekse dahili bazı bölgelere ulaşılabilme sınırlılığı nedeniyle oldukça zordur (Murphy and Kovitya, 1993).

Ark plazma torçlarda, plazma üretiminde kullanılan gazlar; kuru hava, azot, argon, su buharı, helyum, hidrojen ya da bu gazların karışımıdır (Venkatramani, 2002). Plazma üretimi için kullanılan gazların seçiminde gazların entalpisi, reaktivite ve maliyet kavramları önemlidir. Azot ve hidrojen gazının enerji miktarı, argon ya da helyum gazından daha yüksektir. Enerji miktarının yüksek olması, iyonlaşma öncesi hidrojen ve azot gazının ayrışma reaksiyonlarından dolayıdır (Venkatramani, 2002).

Plazma, elektriksel bozunma olduğu kabul olan ve proseste elektrik akımının bir gaz içerisinden geçirilmesi ile aralıksız olarak oluşmasını kapsamaktadır. Plazma torçu sistemi elektriksel özdirenç nedeni ile gaz moleküllerinden elektron ayrılmasını sağlayan, iyonlaşmış gaz akışını veya plazmayı oluşturur. Oluşan plazmada ise önemli ölçüde bir ısı açığa çıkmaktadır. Plazma torçlarda ise yüksek sıcaklıklarda gaz molekülleri

atomlarına ayrılmaktadır. Sıcaklık yükseldiğinde ise gaz molekülleri elektronlarını kaybederek iyonlaşır (Gomez vd., 2009). Oluşan bu gazın serbest elektrik yükü gazlara göre yüksek, metallere ise yakın bir değerde elektriksel iletkenlik vermektedir (Gomez vd., 2009).

Bu düşünceler ışığında, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun plazma oluşum davranışı ve performans analizinin nasıl olduğu araştırılmalı ve ortaya konulmalıdır. Bu çerçevede, Termodinamiğin Birinci Kanunu kapsamında enerji analizi yapılmalı ve doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun deneysel performans analizi gerçekleştirilmelidir. Burada şunu da ifade etmek gerekir ki, yapılan literatür araştırmaları, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun termodinamik modeli ve performans analizi kapsamında detaylı bir çalışmanın olmadığını ortaya koymuştur. Bu durum, yapılan tez çalışmasının bilimsel, akademik ve endüstriyel orijinalitesini ortaya koymaktadır.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi

Yapılan tez çalışmasının temel amacı; doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun termodinamik modellemesi kapsamında termodinamik analizini yapmak ve deneysel performansını araştırmaktır.

Bu çalışma kapsamında ilk olarak; doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda plazmayı oluşturan parametreler incelenmiştir. Bu aşamada plazmanın kütleli debisi, plazma entalpi değeri, plazmanın enerji akımı, anot ve katot soğutma suyunun sahip olduğu enerji akımı, kullanılan gazların sahip olduğu enerji akımı miktarları ve verim gibi parametreler hesaplanmıştır. Bu parametrelerin hesaplanmasında ana taşıyıcı gaz olan kuru havanın kütleli debi değerleri 0,001 - 0,01 kg/s aralığında alınmıştır. Bununla birlikte, argon, kızgın buhar ve azot gazlarının kütleli debi değerleri ise 0,0001 - 0,001 kg/s aralığında alınmıştır. Ayrıca, ark plazma gazlaştırma torçunun anot ve katot soğutma suyu kütleli debileri 0,06 kg/s olarak ölçülmüştür. Son aşamada ise, ilgili parametreler dikkate alınarak analizlerin sonuçları grafikler halinde sunulmuş ve yorumları yapılmıştır.

Bu kapsamda gerçekleştirilen tez çalışmasının, aşağıda sıralanan bilimsel, endüstriyel, teknolojik ve akademik yararları sağlayacağı tahmin edilmektedir.

- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ön karışım odalı, aynı anda kuru hava, kızgın buhar, argon ve azot gazlarının kullanılmasına imkan veren ve ayarlanabilir katotlu yeni nesil bir ark plazma gazlaştırma torçu ve özel imalat ile yapılan kademeli plazma torç jeneratörünün literatüre ve uygulamaya kazandırılmış olması bu tez çalışmasının bilimsel ve teknolojik farklılığını, anlamını ve önemini ortaya koymaktadır.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun termodinamik analizi kapsamında yapılan çalışmalara bilimsel nitelikli bir referans oluşturması,
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu destekli enerji teknolojileri üzerine yapılan bilimsel, endüstriyel, teknolojik ve akademik çalışmalara yeni bir alternatif oluşturması,
- Bu çalışmanın gelecekte yapılması düşünülen deneysel çalışmalara bir referans oluşturması,
- Özellikle, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun termodinamik performans analizinin kapsamlı bir biçimde literatüre kazandırılmış olması, yapılan çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

1.3. Literatür Araştırması

Bu tez çalışması kapsamında yapılan literatür araştırması; Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçlarında plazmanın elde edilmesi, termal plazma teknolojisi, plazmayı oluşturan gaz çeşitleri, plazma torç teknolojisi, plazma torçlar, ark stabilizasyon mekanizma çeşitleri ve ark plazma torçlar hakkında genel bilgileri ve yapılan çalışmaları sunmaktadır.

1.3.1. Termal Plazma Teknolojisi

Plazma teknolojisi genellikle ekonomik, tekrarlanabilir olma ve güvenilirlik nedenleriyle sınırlıdır. Çoğu uygulamada, plazma işleminin tasarımı, plazma ve çalışma malzemesi arasındaki ısı alışverişinin en üst düzeye çıkması ve aynı zamanda enerji

kayıplarının en aza indirilmesi son derece önemlidir. Termal plazmalar, yerel termodinamik denge ile karakterize edilen atmosferik basınç plazmalarıdır (Boulos vd., 1994). Termal plazmalar tipik olarak iki iletken elektrot arasında oluşur.

1.3.2. Plazma Torçlar

Plazma torçlar, alternatif akım, doğru akım veya radyo frekansı şeklinde kaynağa bağlandıklarında, doğru akım, alternatif akım veya radyo frekans torçları olarak bilinmektedirler. Doğru akım ark plazma torçları, genellikle materyal işlemede kullanılmaktadır. Gaz ark sütunu ile anot parçasının iç yüzeyinden geçer ve gaz akışının vermiş olduğu baskı ile akım yönüne doğru aktarılır (Gomez vd., 2009). Radyo frekans (indüktif olarak eşleştirilmiş) plazma torçları, plazmanın enerjisini elektriksel indüksiyon bobin ve eletromanyetik alan ile sağlamaktadır. Radyo frekans plazma torçlarda ise kullanılan gazlar sistemde bulunan elektrotlarla temas etmez. Radyo frekans plazma torçlarının güç yoğunluğu, doğru akım plazma torçlarının güç yoğunluğundan daha düşüktür (Gomez vd., 2009). Doğru akım transfersiz ark plazma torçlar veya indüktif olarak eşleştirilmiş RF akımlı torçlar kullanılarak, katı materyallerin plazma ve piroliz kombinasyonu ile bertarafı gerçekleştirilmektedir (Gomez vd., 2009). Alternatif akım plazma torçları ise genellikle yüksek güçlü plazma uygulamaları için farklı plazma teknolojilerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Alternatif akım plazma torçlarda ise plazma endüstriyel gazın alternatif akım enerjisi vasıtasıyla ısıtılarak üretilmektedir (Zhukov vd., 2007).

1.3.3. Ark Stabilizasyon Mekanizma Çeşitleri

Stabilite, arkın sabit bir durumda kalmasını sağlayacak sınır koşullarının oluşturulması ve sürdürülmesi anlamına gelir. Bir plazma torçta, ark stabilizasyonunun sağlanması performans bakımından son derece önemlidir. Arklarda doğal taşınımın yanı sıra, iki temel stabilizasyon türü olan gaz ve su akışı vardır (Venkatramani, 2002). Hem gaz hem de su stabilize ark ve plazma özelliklerini kontrol eden fiziksel mekanizmalar; ısı iletimi, radyasyon yoluyla konveksiyon, radyal ısı transferi ile eksenel ısı transferidir

(Hrabovský, 2002). Bu mekanizmaların düzgün şekilde kurulması plazma torçların performansının artırılmasını sağlar.

1.3.3.1. Gaz Akış Stabilizasyonu

Gaz akış stabilizasyonu plazma torçlarda yaygın olarak ele alınan konulardan biridir. Akış, enjeksiyon moduna göre vorteks veya eksenel olarak gerçekleşebilmektedir. Vorteks, stabilizasyon arkın daralmasında son derece etkilidir, enerji yoğunluğunu ve sıcaklığını artırır, kısa ve yoğun bir ark ortaya çıkarır. Soğuk gazı, gaz kanalının yüzeyine doğru yönlendiren santrifüj kuvvetleri, vorteks akışından dolayı meydana gelmektedir (Agon, 2015). Diğer taraftan, eksenel akışta stabilize olan arklar laminar bir akışa sahiptir ve soğuk gaz sıcak kısmın etrafını çevrelemeye eğilimlidir ve daha uzun arklar oluşturur (Agon, 2015). Kesme uygulamaları için kullanılan plazma torçlar normal koşullarda vorteks akış ile stabilize edilirken, metal işleme uygulamaları için eksenel akış stabilize edilmiş torçlar kullanılır. Gaz stabilize edilmiş torçlarda plazma üretiminde en çok kullanılan gazlar argon, azot, hava, hidrojen, helyum veya bunların bir karışımıdır (Venkatramani, 2002).

1.3.3.2. Su Akış Stabilizasyonu

Su akış stabilizasyonu ile plazma torçlarda büyük ölçüde farklı plazma jet parametreleri elde edilebilir. Ark, su enjeksiyonu ile silindirik bir ark odasında oluşturulan bir su girdabının merkezinde tutuşturulur. Suyu dayanaklı torçlarda, ark sütunu, bir vorteks içinde hapsedilir ve bu girdap yüzey etkileşimi ile stabilize edilir (Agon, 2015). Vorteksin iç yüzeyinden suyun buharlaştırılması ile üretilen buharın ısıtılması ve iyonlaştırılmasıyla plazma oluşur. Ark kolonuna akan buhar radyal olarak transfer edilen ısı ile çekilmesiyle ısıtılır. Su torçları, plazmanın çok düşük kütle akış transfer hızıyla, fakat plazma akışının yüksek hızlarıyla karakterize edilir. Aynı ark gücünde, plazma entalpisi, gaz torçlarında elde edilen entalpiye göre daha yüksektir (Janssens, 2007). Su torçları genel olarak düşük yoğunluklu, yüksek entalpiye ve yüksek sıcaklıklı plazmaya sahiptir.

1.4. Plazma Jetleri

Plazma jet dengesizlikleri, plazma ile plazmayı çevreleyen gaz arasındaki ara yüzeyde yoğunluk ve arkın, torçun içerisindeki hareketinden kaynaklanır. Bu dengesizlikler ise plazma ve çevreleyen gaz arasındaki ara yüzeyinde girdap oluşumuna neden olur (Pfender vd, 1991; Levitan, 1996; Hrabovský vd, 1997; Hlína vd, 2005). Sıcak plazma jeti, geçici akış olarak düşünülebilir, bu jetin kararsız hale gelmesi için harici bir uyarımın gerekli olmadığı anlamına gelir. Dahası, arkın torçun içindeki hareketi, plazma jetinin doğal olarak dengesiz yapısını arttırarak bir zorlama mekanizması olarak görev yapar.

1.5. Ark Plazma Torçlar Üzerine Yapılan Çalışmalar

Ark plazma torçları ile ilgili olarak literatür araştırması yapılmıştır. Fakat bu tez çalışmasında ele alınan konuyu tamamen yansıtan bir çalışmaya tez teslimi itibariyle rastlanmamıştır. Bununla birlikte, bazı çalışmalar literatürde bulunmuş ve aşağıda sıralanmıştır.

Chen vd. (1998), yaptıkları çalışmada doğru akım argon plazma torçlarını tanımlamak için bir termodinamik model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu model farklı güç seviyelerinde üretilen argon plazmalarını, aynı işletme basıncı için torç çıkışında neredeyse aynı duruma sahip olacağını ön görmüşlerdir. Bu tahmin, çok düşük torç gücü seviyeleri dışında deneysel gözlemlerle anlaşılmaktadır.

Shanmugavelayutham vd. (2003), yaptıkları çalışmalarında deneysel verilerden yararlanarak, argon ve azot gazının plazma gazı olarak, doğru akım ark plazma torçunun elektrotermal verimliliğini ve torçtaki plazma jetinin sıcaklığını değerlendirmek için bir çalışma yapmışlardır.

Hrabovský vd. (2005), çalışmalarında doğru akım arkının su girdabı ve gaz akışı ile kombine stabilizasyonu ile yeni tip bir plazma torçu araştırmışlardır. Kombine gaz/su stabilizasyonu ile elektrik arkının karakteristikleri ölçülerek gaz özellikleri, plazma akış

hızının plazma özelliklerine, plazma jetinin argon, argon-hidrojen ve argon-azot gazı karışımları ile çalışmışlardır.

Ramachandran vd. (2006), F4 APS torç içerisindeki plazma arkının fiziksel davranışını tespit etmek için basitleştirilmiş bir sayısal model formüle etmişlerdir. Torç içindeki plazma ark akışını simüle etmek için üç boyutlu model geliştirmişlerdir. Plazmada ark akımı ve gaz akış oranlarının etkisinin nasıl olduğu üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Szafański vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada argon plazma akışı için sabit, iki sıcaklık modeli geliştirmişlerdir. Bu model, sonlu bir fark yöntemi kullanarak, kütle, enerji ve momentum korunum denklemlerinin sayısal çözümüne dayanan bir çalışma yapmışlardır.

Gnedenko vd. (2006), yaptıkları çalışmalarında plazma torç parametrelerini araştırmışlardır. Doğru akım ark plazma torçunun voltaj-akım hesaplanmasını yapmışlardır. Steenbeck ark modelinin silindirik kanal için hesaplamaların mümkün olduğu üzerine örnek hesaplamalar sunmuşlardır.

Trelles vd. (2006), yapmış oldukları çalışmalarında doğru akım aktarılmayan ark plazma torcundaki elektrik ark dinamiklerini üç boyutlu denge modeli kullanarak simüle etmişlerdir. Akışkan ve elektromanyetik denklemleri sonlu elemanlar metodu ile sayısal olarak çözmüşlerdir. Farklı çalışma koşulları altında argon ve argon-hidrojen ile çalışan doğru akım aktarılmayan ark plazma torçunun simülasyonlarını sunmuşlardır.

Matveev vd. (2008), düşük akım ve atmosferik basınç altında bir doğru akım arkın matematiksel modellenmesinin yapılmasını amaçlamışlardır. Modelleme sonuçlarını, elde edilmiş olan deneysel sıcaklık ve akım-gerilim ölçümleri ile karşılaştırmışlardır.

Trelles vd. (2009), Doğru akım ark plazma torç modellenmesinde yer alan ana unsurları araştırmışlardır. Termodinamik ve kimyasal modeller, türbülanslı ve ışımsal aktarım, termodinamik ve taşıma özelliklerinin hesaplanması, sınır koşulları ve ark tekrarı modelleri gibi matematiksel modeller üzerine çalışma yapmışlardır.

Selvan vd. (2010), Doğru akım plazma sprej torçu ile yapılan sayısal ve deneysel çalışmaları irdelemişlerdir. Plazma torçu içerisinde sıcaklık ve hız parametreleri ile direk etkili bir olay olan ark dalgalanmasını belirtmişlerdir.

Tamošiūnas vd. (2011), Doğru akım plazma torçu ile atmosferik basınçta çalışan hava/su buharı, argon/su buharı ve argon/hava vorteksleri ile stabilize edilmiş kademeli anotlu, doğru akım plazma jeneratörü üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Plazma jeneratöründe üç farklı tip gaz stabilizasyonunu deneysel olarak incelemişler, termal ve elektriksel özellikleri araştırmışlardır.

Grigaitienė vd. (2011), yapmış oldukları çalışmalarında su buharı plazma teknolojilerinin biyokütlenin hidrojen açısından zengin sentetik gazla dönüştürülmesi ve tehlikeli atıkların nötralizasyonu için kullanılabildiğini belirtmişlerdir. Su buharı plazmasının oluşumunu, kademeli anot ile doğru akım plazma torcu kullanarak araştırmışlar. Atmosferik basınçta çalışan torçu tasarlamış ve testlerini yapmışlardır.

Fukanuma vd. (2011), yaptıkları çalışmada doğru akım aktarılmayan ark plazma torçunun üç boyutlu simülasyonuna LTE modelini uygulamışlardır. Doğru akım aktarılmayan ark plazma torçunda argon gazı kullanılarak gaz sıcaklığı ve hız dağılımı ile ilgili sayısal hesaplamalar yapmışlardır.

Djebarni vd. (2013), yapmış oldukları çalışmada katot parametrelerinin analitik hesaplamalarını yapmışlardır. Ark deşarjındaki bir katot noktasında ısı transferi modeli geliştirerek ve elektrot malzemesinin temel özelliklerinin fonksiyonları olarak yarıçapı ve sıcaklığı için analitik ifadeler elde etmişlerdir.

Jie vd. (2015), çalışmalarında atmosferik basınçta farklı boyutlarda hidrojen doğru akım plazma torçlarının I-V özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalarda farklı anot boyutlarında, iki farklı güç değeri kullanmışlardır. Doğru akım plazma torçunun sıcaklığının belli bir sınırdan tutulabilmesi için sürekli olarak anot ve katot soğutma suyu ile soğutmayı denemişlerdir.

Guo vd. (2015), yapmış oldukları çalışmalarında üç boyutlu sabit durumlu transfer edilmemiş arkı hesaplamalı akışkanlar dinamiğini (CFD) kullanarak incelemişlerdir. Torç içerisindeki karmaşık plazma akışını simüle etmek için iki denklemlilik bir akım yoğunluğu profili geliştirmişlerdir. Katot uç merkezi ile mevcut yoğunluk profili merkezi arasındaki mesafenin plazma akış özellikleri üzerindeki etkisini ilk defa sistematik olarak araştırmışlardır.

Chinè (2017), yapmış olduğı çalışmada Comsol Multiphysics 5.1'in plazma arayüzünü, yerel termodinamik denge hipotezi altında bir doğru akım aktarılmayan ark plazma torcunu modelleme için kullanmışlardır. İki farklı plazma torcu geometrisi için sıkıştırılabilir laminar akış varsayımı ile simüle etmişlerdir.

Mašláni vd. (2017), yapmış oldukları çalışmalarında iki farklı ark plazma torçu ve plazma jetleri, optik emisyon spektrumları kullanılarak incelenmiştir. Plazma jetlerinin eksenleri boyunca çeşitli mesafelerde atomlar, iyonlar ve iki atomlu emisyon hatlarından elde edilen sıcaklıkları içerir. Emisyon spektrumları ve karşılık gelen sıcaklıkların karşılaştırılması sırasında birçok ortak özellik bulunur. 6000 K'i aşan yüksek sıcaklıkların bile bu yöntemle verimli bir şekilde ölçülebileceğini belirtmişlerdir.

Ondac vd. (2018), yaptıkları çalışmada harici bir anot ile hibrit bir su-argon doğru akım ark plazma torçundaki anot arkının yayılım hızı hareketinin detaylı gözlemleri bildirilmektedir. Anot üzerindeki plazma hacminin ortalama elektriksel iletkenliğinin ölçüldü ve bağlanma hareketi ile anot erozyonu arasında bir ilişki buldular. Ve ark elektrik akımının farklı değerleri, argon akış hızı ve farklı anot konfigürasyonları gibi farklı deneysel koşullar altında kat edilen ortalama mesafe ölçümü için yüksek hızlı kamera ve yüksek gerilim probu kullanılarak ölçümleri yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, bir hibrit plazma torçu tarafından üretilen bir plazma modeliyle ve spektroskopi ölçümleri ile uyumlu olduğı belirtilmiştir.

Tablo 1. Literatürdeki çalışmaların özeti.

Çalışma konusu	Referans	Çalışmanın amacı
Analitik modelleme	Gnedenko vd., 2006.	Steenbeck ark modeli ile torç parametreleri hesaplanmıştır.
	Djebarni vd., 2013.	Elektrot parametrelerinin analitik hesap ile belirlenmesi üzerine çalışılmıştır.
Deneysel çalışma	Shanmugavelayutham vd., 2003.	Doğru akım ark plazma torçta, argon ve azot gazları kullanılarak deneysel çalışma yapmışlardır.
	Hrabovský vd., 2005.	Gaz/Su stabilizasyon torcunun elektrik arkının karakteristikleri ölçülmüştür.
	Matveev vd., 2008.	Yapılan hesaplamaların sonuçları, elde edilmiş olan deneysel sıcaklık ve akım-gerilim ölçümleri ile karşılaştırılarak uyum sağlayan bir çalışma yapmışlardır.
	Selvan vd., 2010.	Doğru akım akım plazma sprej torçu ile yapılan sayısal ve deneysel çalışmaları irdelemiştir.
	Jie vd., 2015.	Doğru akım plazma torçlarının I-V özellikleri incelenmiştir.
	Mašláni vd., 2017.	İki farklı ark plazma torçu ve plazma jetleri, optik emisyon spektrumları kullanılarak incelenmiştir.
	Ondac vd., 2018.	Hibrit bir su-argon doğru akım ark plazma torçu ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.
Sayısal modelleme	Ramachandran vd., 2006.	Plazmada ark akımı ve gaz akış oranlarının etkisinin nasıl olduğu üzerine çalışmalar yapmışlardır.
	Szafranski vd., 2006.	Sonlu bir fark yöntemi kullanarak, kütle, enerji ve momentum korunum denklemlerinin sayısal çözümüne dayanan bir çalışma yapmışlardır.
	Trelles vd., 2009.	Doğru akım ark plazma torçun termodinamik model, türbülanslı ve ışımsal aktarım, sınır koşulları, ark modelleri ve matematiksel modeller gibi unsurlar ele alınmıştır.

Tablo 1 (devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti.

Çalışma konusu	Referans	Çalışmanın amacı
Termodinamik model	Chen vd., 1998.	Doğru akım argon plazma torçlarını tanımlamak için bir termodinamik model geliştirmişlerdir.
Tasarım	Grigaitiene vd., 2011.	Atmosferik basınçta çalışan torç tasarımı yapılmıştır.
	Tamošiūnas vd., 2011.	Doğru akım plazma torçu ile atmosferik basınçta çalışan hava/su buharı, argon/su buharı ve argon/hava vorteksleri ile stabilize edilmiş kademeli anotlu, doğru akım plazma jeneratörü, tasarlanmış ve yapılmıştır.
Simülasyon	Trelles vd., 2006.	Argon ve argon-hidrojen ile çalışan doğru akım aktarılmayan ark plazma torçunun simülasyonu yapılmıştır.
	Fukanuma vd., 2011.	Doğru akım aktarılmayan ark plazma torçunun üç boyutlu simülasyonuna LTE modeli geliştirilerek uygulandı.
	Guo vd., 2015.	Torç içerisindeki karmaşık plazma akışını simüle etmek için iki denklemlilik bir akım yoğunluğu profili geliştirmişlerdir.
	Chinè, 2017.	Laminer akış varsayımı ile iki farklı plazma torç geometrisi simülasyonu yapılmıştır.

1.6. Yapılan Çalışmanın Literatürden Farkı

Yapılan çalışmada kullanılan bir doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun literatürde bulunan diğer çalışmalardan farkları; sistemde aynı anda dört farklı gaz (kuru hava, argon, azot ve kızgın buhar) kullanılabilmektedir. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu içerisinde gazların daha iyi karışabilmesi için ön karışım odası bulunmaktadır. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun ön karışım odasının bulunması sistemde daha iyi verim elde edilmesini sağlamaktadır. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun ayırık soğutmalı olması, kolay sökülebilir ve takılabilir olması, ayarlanabilir katotlu olması ve etkin soğutma için özel tasarlanmış yüzeylere sahip olması özellikleri ile literatürden farklıdır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, ön karışım odalı özgün bir doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun tasarımı yapılarak katı modeli oluşturulmuş, imalatı yapılmış, ön testleri gerçekleştirilmiş ve deneysel çalışmalar yapılarak veriler toplanmıştır. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, termodinamiğin birinci kanununa göre termodinamik modelinin performans analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar; Termodinamiğin Birinci Kanununa göre performans analizi, belirsizlik analizi ve deneysel çalışmalar şeklinde detaylı olarak aşağıda sunulmuştur.

2.1. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunun Tasarımı

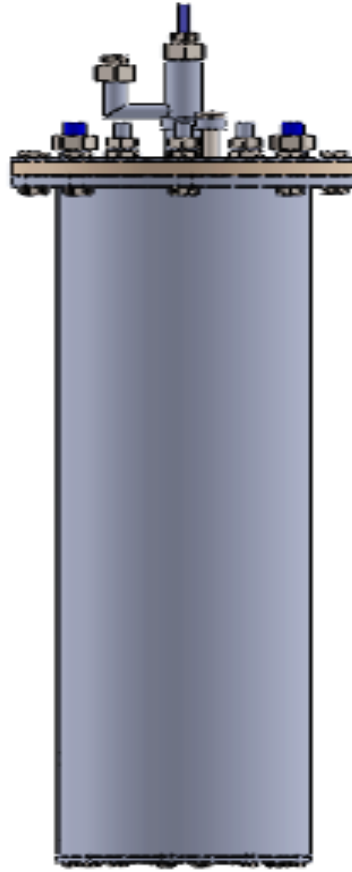
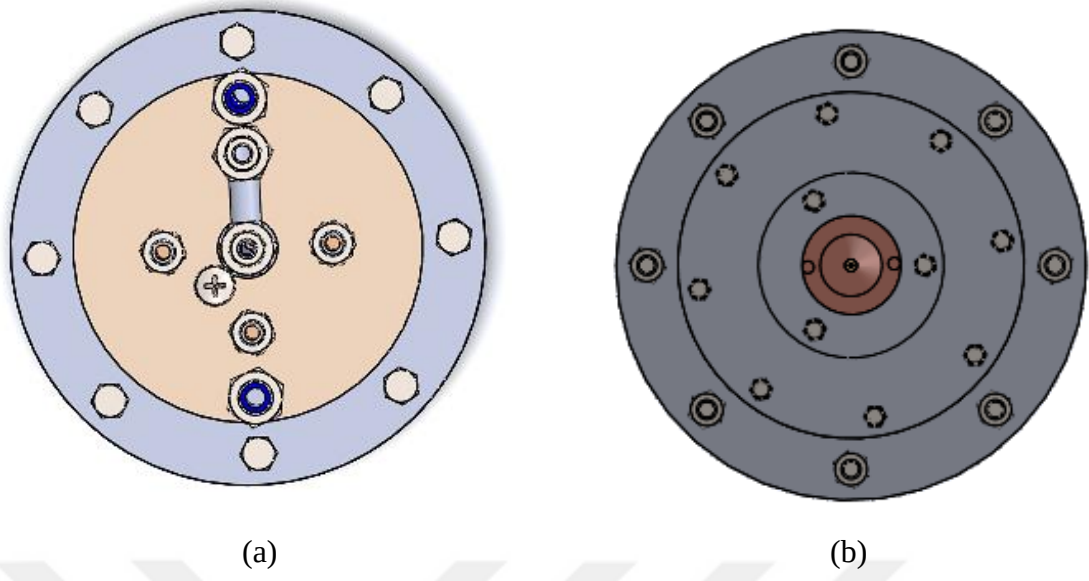
Bu kısımda doğru akım ark plazma torçunun katı modelinin oluşturulması, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun imalatı, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağı imalatı ve entegrasyonu ile ilgili bilgiler detaylı bir şekilde sunulmuştur.

2.1.1. Katı Modelinin Oluşturulması

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu tasarımı farklı gazlar (kuru hava, argon, azot ve kızgın buhar) kullanılarak plazma üretimine imkan sağlayacak şekilde birden fazla gaz girişi eklenmiş ve ön karışım odalı olacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmalar, TÜBİTAK 117M436 nolu proje kapsamında yapıldığından tasarım detayları burada sunulmayacaktır. Aşağıda; üstten, alttan ve ön görünüş olarak katı modeli verilmiştir.

Tez kapsamında kullanılan katı modeller, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, CAD-CAM Laboratuvarındaki SolidWorks programı ile çizilmiştir.

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun katı modelinin üstten, alttan ve önden görünümü Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu katı modelinin; (a) üstten görünümü, (b) alttan görünümü, (c) önden görünümü.

2.1.2. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunun İmalatı

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu imalatı öncesinde kullanılacak olan parçaların tasarımı yapılarak üç boyutlu katı modelleri oluşturulmuştur. Model tasarlandıktan sonra parçaların teknik resimleri oluşturuldu. Teknik resimlere göre uygun imalat yöntemleri belirlendi. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu imalatında talaşlı, talaşsız imalat ve uygun kaynak yöntemleri kullanılarak parçaların imalatı gerçekleştirildi. Aynı anda dört farklı gaz girişi için hazırlanmış olan ısıya dayanımlı gaz giriş hortumlarının torçun üst kapağındaki gaz girişlerine ve yüksek ısıya dayanımı olan su giriş ve çıkış hortumlarının su giriş-çıkış kısımlarına bağlantısı yapılmıştır. İmalatı ve montajı yapılmış doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu montaj görünümü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu montaj görünümü.

2.1.3. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçu Güç Kaynağı İmalatı ve Entegrasyonu

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağında, bobinler, ateşleme trafosu, diyotlar, yüksek frekans kartı, salyangoz, iki adet monofaze fan, faz kontrol

lambaları (R, S, T), kademe şalteri, acil lambası, 100 A sigorta, otomat ve start tuşu bulunmaktadır. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağı imalatına sistemde kullanılacak olan bobinlerin sarım işlemi ile başlanmıştır. Bobinler; 4, 2,5 ve 2,2 mm.'lik bakır teller kullanılarak oluşturulmuştur. Bobinler, primer ve sekonder bobin olarak yerleştirilmiştir. Sarım işlemleri tamamlandıktan sonra bobinlerin arasına silisyumlu saclar yerleştirilmiştir. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağı dikey karakteristikte olacak şekilde yapıldı. Trafo oluşturulduktan sonra diyot ve diğer elemanların (ateşleme trafosu, yüksek frekans kartı, salyangoz) elektrik bağlantısı yapıldı. Bu sistemde 2 adet 30 kW gücünde dikey karakteristikli transformatör ve alüminyum soğutmalı diyot kullanıldı. Bu gruplar tekli ve ikisi bir arada bağlanarak iki kademeli çıkış gücü alınır. Güç kaynağının tamamı bir kabin içerisinde iki adet fan ile soğutulur. Şekil 3'te doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağının imalat ve montajının tamamlanmış şekli sunulmuştur. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağının sisteme entegrasyonu ise kabininin dışında artı ve eksi akım çıkış soketlerini kullanarak kablo ile alınan akım, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçuna bağlanır. Eksi kutbu elektrot destek çubuğuna, artı kutbu ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun gövdesinde her hangi bir kısma bağlanabilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağının görünümü; (a) önden görünüm, (b) arkadan görünüm.

2.2. Test Çalışmaları

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun imalatından sonra test aşamasına geçilmiştir. Test aşamasında, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ve güç kaynağı ünitesi ile gerekli çalışmalar ve testler yapılmıştır. Testler sonucunda gerekli olan kısımlarda iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu hücre ile test yapılmadan önce dış ortamda çalıştırılarak test edilmiştir.

İki saat boyunca yapılan test çalışmalarında; 168 – 184 A, 158 – 172 V arasında ölçümler alınmıştır. Yapılan testler sonucunda güç kaynağı bobinlerinin yüzey sıcaklığı 135⁰C olarak ölçüldü. Test sırasında şebeke 393 V - 50 A ölçüldü.



Şekil 4. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu test çalışması.



Şekil 5. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ve güç kaynağı.

Ön test çalışmaları sırasında, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu izolasyonlu ve izolasyonsuz hücre üzerine yerleştirilerek 2,5 bar kuru hava kullanılarak çalıştırılmıştır. Sistemde, 174 Amper ve 178 Voltaj değerleri ölçülmüştür.



Şekil 6. Yalıtımsız hücre ile çalıştırılması.



Şekil 7. İzolasyonlu hücre ile çalıştırılması.

İçerisine cam parçalar yerleştirilmiş olan izolasyonlu hücre üzerinde doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun çalıştırılması ile yaklaşık olarak 1 saatte Şekil 7’de görüldüğü gibidir. Şekil 8’de ise bu süre sonunda infrared termometre ile yapılan ölçüm sunulmuştur.



Şekil 8. Hücre üzerinde sıcaklık ölçümü.



Şekil 9. Test sonu alınan ölçüm.

Şekil 9'da ise yapılan ön test sonucunda doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun hücre üzerinden alındıktan sonra hücre içersinin sıcaklık ölçümü sunulmuştur.

2.3. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar kısmında ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda ana taşıyıcı gaz olarak kuru hava kullanıldı. Kuru havanın yanında ise argon, azot ve kızgın buhar ile besleme yapılarak plazma oluşturuldu. Bu kısımda plazma güç kaynağı üzerinden ark plazma torçuna gelen gerilim (V) - akım (A) değeri ölçümü, çiller cihazından gelen anot - katot soğutma suyunun debisi ve giriş-çıkış sıcaklıklarının ölçümü, kullanılan gazların hız ve debi değerleri ölçümü, plazma alev uzunluğu ölçümleri yapıldı.

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu deney adımları;

1. Deney öncesi doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun katot (elektrot) ve anot parçaları sistem çalıştırılmadan kontrol edilir. Kontrol işleminden sonra parçalar tekrar yerlerine yerleştirilir.
2. Çiller cihazı çalıştırılarak doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun soğutma suyu gidiş – dönüş hattı kontrol edilir.

3. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun ana taşıyıcı gazı olan hava sisteme gönderilir.
4. Kuru hava sisteme dahil edildikten sonra kullanılacak olan diğer gazlar var ise sisteme gönderilir.
5. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağının fanları çalıştırılır.
6. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torcu güç kaynağı birinci kademe ayarında çalıştırılarak start tuşuna basılarak elektrot ateşlemesi yapılarak ark oluşur.
7. Ark oluşumu sağlandıktan sonra ise sisteme gönderilen gazların yüksek sıcaklık sonucu iyonize olması ile plazma oluşur.



(a)



(b)

Şekil 10. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu deney sistemi düzeneği; (a) Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, (b) Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu güç kaynağı.

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu çalıştırılmadan önce sistemden soğutucu akışkanın geçişi kontrol edilir. Şekil 11’de görüldüğü gibi kollektörler üzerinden sisteme giriş ve çıkış yapan soğutucu akışkanın sıcaklık değerleri okunmaktadır.



Şekil 11. Soğutucu kollektörleri.

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda kullanılan kuru hava istenilen basınç değeri ayarı yapıldıktan sonra anot kısmından çıkan havanın debisinin belirlenmesi için anot çıkışından anemometre probu ile hava hızı ölçümü yapılarak, anotun nozul kesit alanından faydalanılarak debi miktarı belirlenir.



Şekil 12. Kuru hava basınç ölçer.



Şekil 13. Anemometre cihazı.



Şekil 14. Kuru hava çıkış hızının ölçülmesi.

Anemometre cihazını kullanarak nozul kısmından kuru hava çıkış hızı ölçümü yapıldıktan sonra (1)'deki formül kullanılarak debi miktarı belirlenmektedir.

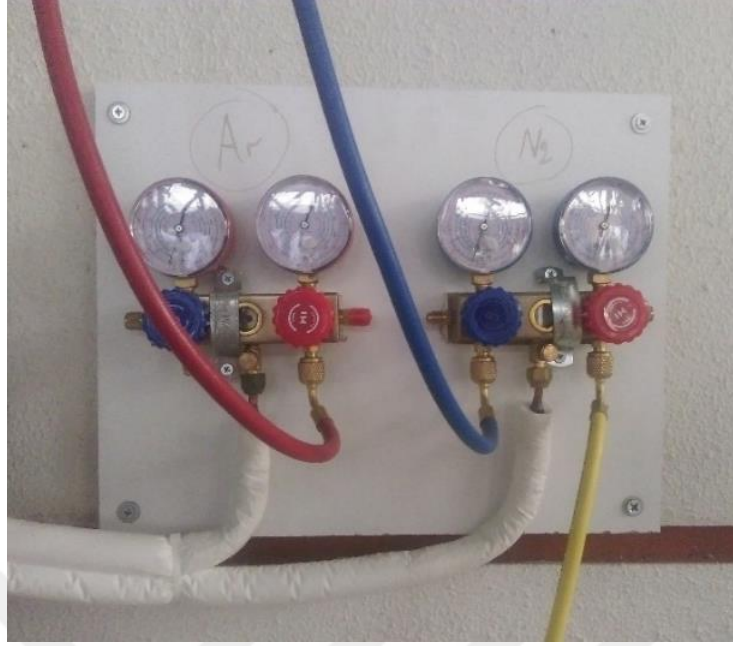
$$\dot{m} = \rho A_k v \quad (1)$$

(1) nolu denklemde; $\dot{m}$, kuru hava kütleli debisi (kg/s); ρ , yoğunluk (kg/m³); A_k , kesit alanı (m²); v , hız (m/s).

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda kullanılan argon ve azot gazlarının tüpleri Şekil 15'te gösterilmiştir. Kullanılacak olan gaz tüpünün üzerindeki vanası açılarak Şekil 16'da görülen basınç ayar panosu yardımı ile istenilen basınç değerine ayarlanır.



Şekil 15. Argon ve azot tüpleri.



Şekil 16. Argon ve azot tüpü basınç ayarı panosu.

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu çalıştırıldıktan sonra sistemde akım ve voltaj değerlerinin ölçümü dijital multimetre ve pens ampermetre kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 17. Dijital multimetre.



Şekil 18. Dijital pens ampermetre.

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ve plazma güç kaynağı ile yapılan deneysel çalışmalar sırasıyla açıklanmıştır.

Deneysel Çalışma 1: Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ana taşıyıcı gaz olan kuru hava ile çalıştırılarak yarım saatlik süre içerisinde ölçümler (30 dk, 60 dk, 90 dk, 120 dk ve 150 dk) alınarak deney sonunda Tablo 2 oluşturulmuştur. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu çalıştırılmak istenilen basınç değerine basınçölçer yardımıyla ayarlanır. Çiller cihazından ark plazma gazlaştırma torçuna gelen ve dönen su hattı kontrolü yapılır. Güç kaynağı çalıştırılarak plazma oluşumu sağlanır ve deneysel ölçümler gerçekleştirilir.

Tablo 2. Kuru hava kullanılarak ölçülen sonuçlar.

Zaman (dk)	Voltaj (V)	Akım (A)	Elektrik gücü (kW)	Plazma alevi uzunluğu (cm)
30	164	188	30,832	23
60	166	183	30,378	20
90	164	186	30,504	17
120	167	183	30,561	18
150	190	164	31,16	17



Şekil 19. Kuru hava ile oluşturulan plazma alev boyunun ölçülmesi.

Deneyisel Çalışma 2: DC ark plazma gazlaştırma torçunda ana taşıyıcı gaz olan 2,3 bar kuru hava ile birlikte kızgın buhar karışımı ile çalıştırılarak deneysel ölçümler yapılmıştır. Kızgın buhar ile yapılan deneysel çalışma 20 dakikalık bir sürede yapılmıştır. Deney sırasında sistemde 30 kW elektrik gücü ölçümü yapılmıştır.

Deneyisel Çalışma 3: Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ana taşıyıcı gaz olan kuru hava ve argon gazı kullanılarak ilk deneyde yapılan kontroller yapılarak çalıştırılmış ve Tablo 3’te verilen değerler ölçülmüştür.

Tablo 3. Kuru hava - argon kullanılarak ölçülen sonuçlar.

Zaman (dk)	Voltaj (V)	Akım (I)	Elektrik gücü (kW)	Plazma alevi uzunluğu (cm)
30	165	192	31,68	19
60	170	184	31,28	18
90	165	185	30,525	16
120	165	166	27,39	17
150	185	163	30,15	15

Kuru hava ile argon gazının birlikte kullanılması sonucunda oluşan plazma alevindeki değişim Şekil 20’de görüldüğü gibi izlenmiştir.



Şekil 20. Kuru hava-argon gazı kullanılması sonucu oluşan plazma alev boyu.

Deneyssel çalışma 4: DC ark plazma gazlaştırma torçu ana taşıyıcı gaz olan kuru hava ve azot gazı kullanılarak çalıştırılmış ve Tablo 4’te verilen değerler ölçülmüştür.

Tablo 4. Kuru hava - azot kullanılarak ölçülen sonuçlar.

Zaman (dk)	Voltaj (V)	Akım (I)	Elektrik gücü (kW)	Plazma alevi uzunluğu (cm)
30	173	174	30,1	16
60	175	180	31,5	18
90	177	187	33,099	21
120	163	183	29,829	16
150	183	170	31,1	18

Kuru hava ve azot gazı kullanılarak yapılan deney sonucunda, önceki deneylerde yapılan plazma alev boyu ölçümleri ile aralarında çok fazla bir değişiklik gözlemlenmedi.



Şekil 21. Kuru hava-azot gazı kullanılması sonucu oluşan plazma alev boyu.

DC ark plazma gazlaştırma torçunda kuru hava ile birlikte azot gazı kullanıldığında oluşan plazma alevinin alev renginde değişiklik gözlemlendi.

DeneySEL Çalışma 5: DC ark plazma gazlaştırma torçunda ana taşıyıcı gaz olan kuru hava, argon ve azot gazları karışımı kullanılması ile çalıştırılarak deneysel ölçümler sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Kuru hava – argon – azot karışımı kullanılarak edilen sonuçlar.

Zaman (dk)	Voltaj (V)	Akım (I)	Elektrik gücü (kW)	Plazma alevi uzunluğu (cm)
30	170	188	31,96	20
60	172	183	31,476	18
90	173	180	31,14	15
120	166	184	30,544	15
150	172	180	30,96	16

DC ark plazma gazlaştırma torçunda ana taşıyıcı gaz olan kuru hava, argon ve azot gazları karışımı kullanılması ile çalıştırılarak Şekil 22’de plazma boyu gösterilmiştir.



Şekil 22. Kuru hava-argon-azot gazı kullanılması sonucu oluşan plazma alev boyu.

2.4. Termodinamik Çalışmalar

Bu tez çalışmasının termodinamik çalışmalar kısmında; ark plazma torçun termodinamik modelinin performans analizi ve verim analizi ayrıntılı olarak gerçekleştirilmiştir. Termodinamik çalışmalarda kullanılan genel kabuller, sistemdeki etkili büyüklükler belirtilmiştir.

2.4.1. Genel Kabuller

Bu tez çalışması kapsamında, Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu sisteminde plazma üretebilme şartlarına bağlı olarak gerekli uygun kabuller yapılmıştır. Bu kabuller aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Tasarlanan doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu sisteminde plazma oluşumu için kullanılan ana taşıyıcı gaz olan kuru hava ve argon, kızgın buhar ve azot gazları ark plazma torçu içerisinde % 100 plazmayı oluşturduğu kabul edilmiştir.

- Katoda sağlanan soğutma yükü katottan ısı kayıp olmasını sağlar. Anottan çıkan ısı, anot soğutma yüküne ($\dot{E}_{\text{ç,ssan}}^Q$) eşit olarak sistem enerji çıkışı olarak kabul edildi.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun enerji analizi sürekli akışlı açık sistem kabulü ile yapılmıştır.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda mükemmel soğutma yapıldığından dolayı torç yüzeyinden çevreye enerji kaybı olmadığı kabul edilmiştir.
- Sistemin termodinamik analizinde kullanılan gazların termofiziksel özellikleri NIST'ten alınmıştır. Bu değerler NIST'in güncellenmesi durumunda farklılık gösterebilir.

2.4.2. Sistemdeki Etkili Büyüklükler

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu sistemindeki etkili büyüklükler üç farklı alt başlık altında sunulmuştur. Gerçekleştirilmiş olan bu çalışmayı referans alarak kurulacak deneysel sistemin tasarımında ve işletilmesinde bu büyüklüklerin dikkate alınması gerekir.

2.4.2.1. Ölçülebilen Büyüklükler

Bu tez çalışmasına benzer nitelikte yapılabilecek deneysel çalışmalarda, sistemin farklı kısımlarında ölçülmesi gereken büyüklüklerde bulunmaktadır.

Sistemdeki ölçülebilen büyüklükler akım, gerilim, sisteme sağlanan elektrik gücü, kuru havanın kütleli debisi, argonun kütleli debisi, azotun kütleli debisi, kızgın buharın kütleli debisi, soğutma suyu debisi, soğutma suyu giriş sıcaklığı, soğutma suyu çıkış sıcaklığı, plazma uzunluğu ile ilgili detaylar Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Sistemdeki ölçülebilen büyüklükler.

Ölçülebilen büyüklükler	Anlamı	Birim	Değer
I	Akım	A	160 – 195
V	Gerilim	V	160 – 190
W	Sisteme sağlanan elektrik gücü	kW	25 – 35
$\dot{m}_{hava}$	Kuru havanın kütleli debisi	kg/s	0,001 – 0,01 (ayrıca hıza ve çapa bağlı olarak hesaplanabilir)
$\dot{m}_{ar}$	Argonun kütleli debisi	kg/s	0,0001 – 0,001
$\dot{m}_{N2}$	Azotun kütleli debisi	kg/s	0,0001 – 0,001
$\dot{m}_{kb}$	Kızgın buharın kütleli debisi	kg/s	0,0001 – 0,001
$\dot{m}_{su}$	Soğutma suyu debisi	kg/s	0,12
T_g	Soğutma suyu giriş sıcaklığı	°C	10
$T_ç$	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı	°C	20
ℓ_p	Plazma uzunluğu	cm	15 – 20

2.4.2.2. Hesaplanabilen Büyüklükler

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar sırasında sistemdeki hesaplanabilen temel büyüklükler plazma entalpisi, plazma kütleli debisi, plazma enerji akımı, kuru havanın enerji akımı, argon gazının enerji akımı, azot gazının enerji akımı, kızgın buharın enerji akımı, anot giriş soğutma suyu enerji akımı, katot giriş soğutma suyu enerji akımı, anot soğutma yükü, katot soğutma yükü, elektrik gücü, kayıp, soğutma yükü, verim ile ilgili detaylar Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7. Sistemdeki hesaplanabilen büyüklükler.

Hesaplanabilen Büyüklük	Anlamı	Birim
h_p	Plazma entalpisi	kJ/kg
$\dot{m}_{\text{plazma}}$	Plazma kütleli debisi	kg/s
$\dot{E}_{\text{plazma}}$	Plazma enerji akımı	kW
$\dot{E}_{g,kh}$	Kuru havanın enerji akımı	kW
$\dot{E}_{g,Ar}$	Argon gazının enerji akımı	kW
$\dot{E}_{g,N_2}$	Azot gazının enerji akımı	kW
$\dot{E}_{g,kb}$	Kızgın buharın enerji akımı	kW
$\dot{E}_{g,ssan}$	Anot giriş soğutma suyu enerji akımı	kW
$\dot{E}_{g,sskat}$	Katot giriş soğutma suyu enerji akımı	kW
$\dot{E}_{\text{ç,ssan}}^Q$	Anot soğutma yükü	kW
$\dot{E}_{\text{ç,sskat}}^Q$	Katot soğutma yükü	kW
W_e	Elektrik gücü	kW
$\dot{Q}_k$	Kayıp	kW
$\dot{Q}_{\text{soğyükü}}$	Soğutma yükü	kW
n	Verim	-

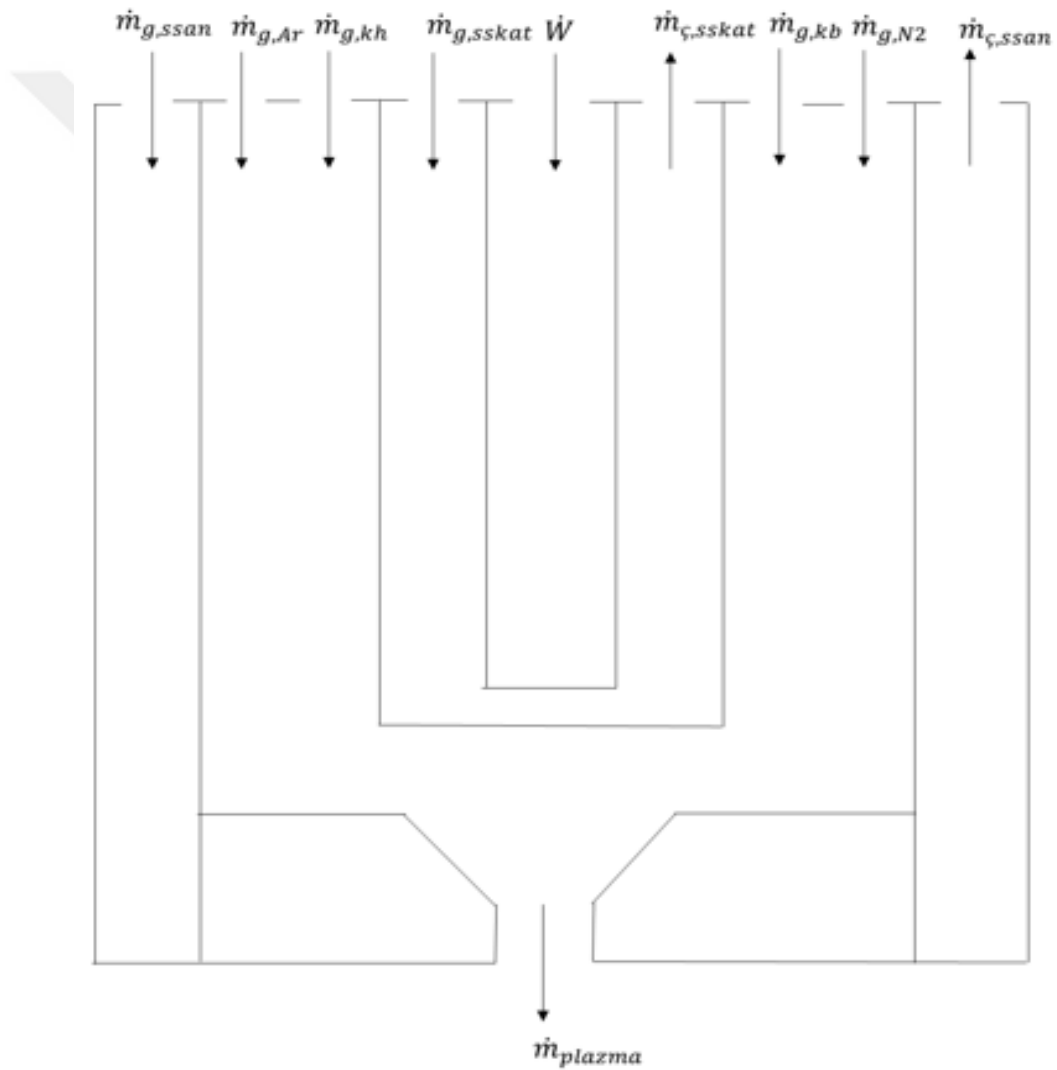
2.4.3. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunda Plazma Üretimi İçin Parametrik Hesaplamalar

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda kuru hava, argon, azot ve kızgın buhar gazları kullanılarak plazma oluşturulmaktadır. Bu kısımda doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu plazma debisinin hesaplanması, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun performans analizi, plazma entalpi değerinin hesaplanması, plazma entalpi

hesabının doğrulanması, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun veriminin hesaplanması sunulmuştur.

2.4.3.1. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunun Plazma Debi Hesabı

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda kullanılan gazların debileri yardımıyla oluşan plazma debisi kütle korunumu denklemi (KKD) yardımıyla hesaplanmaktadır.



Şekil 23. Farklı gazlarla çalışabilen doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun en genel haldeki kontrol hacmi.

$$\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\varphi = \frac{dm}{dt} \quad (2)$$

$\frac{dm}{dt} \cong 0$ kabul edilerek denklem (3) ve (4) elde edilir.

$$\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\varphi = 0 \quad (3)$$

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\varphi \quad (4)$$

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu için oluşturulan kütle korunum dengesi üç durum için ayrı ayrı sıralanmıştır;

1. Anotta kütle dengesi,
2. Katotta kütle dengesi,
3. Ark bölgesindeki kütle dengesi şeklinde ayrı ayrı yazılmalıdır.

Anotta kütle dengesi anotun soğutulması için kullanılan anot soğutma suyu için yazılmalıdır.

$$\dot{m}_{g,ssan} = \dot{m}_{\varphi,ssan} \quad (5)$$

(5) nolu denklemde; $\dot{m}_{g,ssan}$, giren anot soğutma suyunun kütleli debisi (kg/s); $\dot{m}_{\varphi,ssan}$, çıkan anot soğutma suyunun kütleli debisi (kg/s).

Katotta kütle dengesi; katotun soğutulması için kullanılan katot soğutma suyu kütleli debisi için yazılmaktadır.

$$\dot{m}_{g,sskat} = \dot{m}_{\varphi,sskat} \quad (6)$$

(6) nolu denklemde; $\dot{m}_{g,sskat}$, giren katot soğutma suyunun kütleli debisi (kg/s); $\dot{m}_{\varphi,sskat}$, çıkan katot soğutma suyunun kütleli debisi (kg/s).

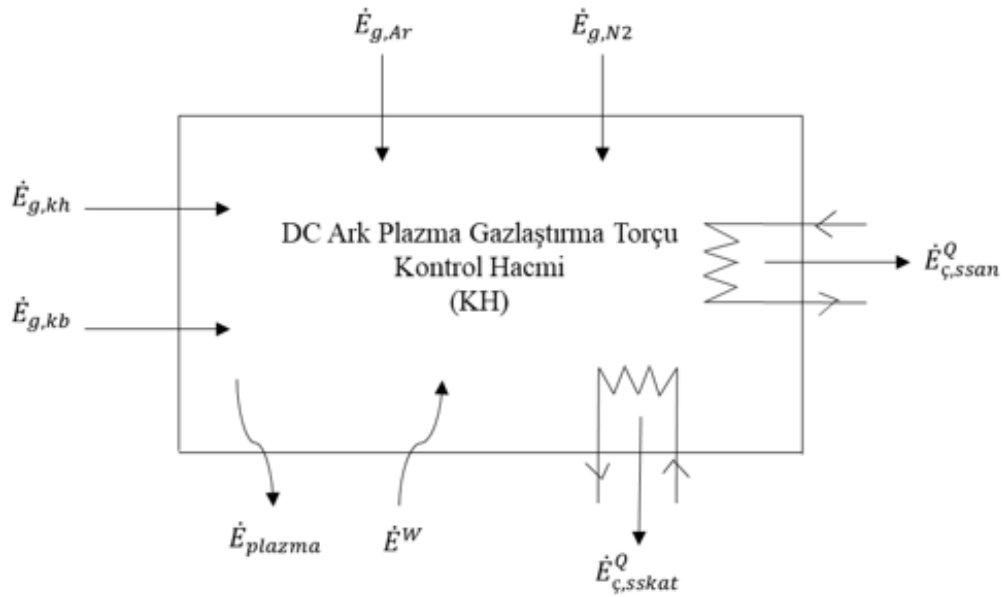
DC ark plazma gazlaştırma torçunun ark bölgesinde oluşan kütle dengesi ise plazma oluşumunda kullanılacak gazların kütleli debilerine bağı olarak hesaplanmaktadır. Ark bölgesinde oluşan kütle dengesi eşitliği en genel halde denklem (7)'de gösterilmektedir.

$$\dot{m}_{g,kh} + \dot{m}_{g,Ar} + \dot{m}_{g,N_2} + \dot{m}_{g,kb} = \dot{m}_{plazma} \quad (7)$$

(7) nolu denklemde; $\dot{m}_{g,kh}$, giren kuru havanın kütleli debisi (kg/s); $\dot{m}_{g,Ar}$, giren argon gazının kütleli debisi (kg/s); $\dot{m}_{g,N_2}$, giren azot gazının kütleli debisi (kg/s); $\dot{m}_{g,kb}$, giren kızgın buharın kütleli debisi (kg/s); $\dot{m}_{plazma}$, plazmanın kütleli debisi (kg/s).

2.4.3.2. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunun Performans Analizi

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu için en genel halde oluşturulan enerji akış diyagramı Şekil 24'te gösterildiği gibidir.



Şekil 24. Farklı gazlarla çalışabilen doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun en genel halde enerji akış diyagramı.

Şekil 24'te verilen enerji diyagramına bağı olarak sistemin enerji denge eşitliği yazılır.

$$\sum \dot{E}_g - \sum \dot{E}_\chi = \frac{d\dot{E}}{dt} \quad (8)$$

$\frac{dm}{dt} \cong 0$ kabul edilerek denklem (9) ve (10) elde edilir.

$$\sum \dot{E}_g - \sum \dot{E}_\varphi = 0 \quad (9)$$

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\varphi \quad (10)$$

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu sisteminin en genel haldeki enerji akış diyagramında gösterildiği gibi kontrol hacmine giren ve çıkan enerji parametreleri için $\sum \dot{E}_g$ ve $\sum \dot{E}_\varphi$ değerleri hesaplanmaktadır.

$$\sum \dot{E}_g = \dot{E}_{g,kh} + \dot{E}_{g,Ar} + \dot{E}_{g,N_2} + \dot{E}_{g,kb} + \dot{E}^W \quad (11)$$

(11) nolu denklemde; $\dot{E}_{g,kh}$, kuru havanın enerji akım değeri (kW); $\dot{E}_{g,Ar}$, argon gazının enerji akım değeri (kW); $\dot{E}_{g,N_2}$, azot gazının enerji akım değeri (kW); $\dot{E}_{g,kb}$, kızgın buharın enerji akım değeri (kW); $\dot{E}^W$, elektrik gücü (kW).

Denklem (11)'de kapalı halde verilen $\sum \dot{E}_g$ denklemi (12)'de gösterildiği gibi açık şekilde oluşturulur.

$$\begin{aligned} \sum \dot{E}_g = & \dot{m}_{g,kh} (h_{g,kh} - h_{o,kh}) + \dot{m}_{g,Ar} (h_{g,Ar} - h_{o,Ar}) + \dot{m}_{g,N_2} (h_{g,N_2} - h_{o,N_2}) \\ & + \dot{m}_{g,kb} (h_{g,kb} - h_{o,kb}) + \dot{W} \end{aligned} \quad (12)$$

(12) nolu denklemde; $\dot{W}$, elektrik gücü (kW); $\dot{m}_{g,kh}$, giren kuru havanın kütleli debisi (kg/s); $\dot{m}_{g,Ar}$, giren argon gazının kütleli debisi (kg/s); $\dot{m}_{g,N_2}$, giren azot gazının kütleli debisi (kg/s); $\dot{m}_{g,kb}$, giren kızgın buharın kütleli debisi (kg/s); $\dot{m}_{plazma}$, plazmanın kütleli debisi (kg/s); $h_{g,kh}$, kuru havanın entalpisi (kJ/kg); $h_{g,Ar}$, argon gazının entalpisi (kJ/kg); h_{g,N_2} , azot gazının entalpisi (kJ/kg); $h_{g,kb}$, kızgın buharın entalpisi (kJ/kg).

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu sisteminde oluşan enerji çıkışı;

1. Plazma ile gerçekleştirilen enerji çıkışı,
2. Sistem içerisinde kullanılan soğutma suyu ile enerji çıkışı,
3. Ark plazma torçunun yüzeyinden çevreye olan enerji kaybı, şeklinde üç farklı yol ile oluşmaktadır. Sistemden çıkan enerji miktarı denklem (13) ve (14)'te yazılmıştır.

$$\sum \dot{E}_{\dot{\chi}} = \dot{E}_{\text{plazma}} + \dot{E}_{\dot{\chi},ssan}^Q + \dot{E}_{\dot{\chi},sskat}^Q + \dot{E}_{\dot{\chi}}^{Q_k} \quad (13)$$

(13) nolu denklemde; $\dot{E}_{\dot{\chi},ssan}^Q$, anot soğutma yükü (kW); $\dot{E}_{\dot{\chi},sskat}^Q$, katot soğutma yükü (kW); $\dot{E}_{\text{plazma}}$, plazmanın enerjisi (kW); $\dot{E}_{\dot{\chi}}^{Q_k}$, kayıp (kW).

$$\sum \dot{E}_{\dot{\chi}} = (\dot{m}_{\dot{\chi},ssan} h_{\dot{\chi},ssan} - \dot{m}_{g,ssan} h_{g,ssan}) + (\dot{m}_{\dot{\chi},sskat} h_{\dot{\chi},sskat} - \dot{m}_{g,sskat} h_{g,sskat}) + \dot{m}_{\text{plazma}} h_{\text{plazma}} + \dot{E}_{\dot{\chi}}^{Q_k} \quad (14)$$

(14) nolu denklemde; $\dot{m}_{\dot{\chi},ssan}$, anot soğutma suyu çıkış kütleli debisi (kg/s); $h_{\dot{\chi},ssan}$, anot soğutma suyu çıkış entalpisi (kJ/kg); $\dot{m}_{g,ssan}$, anot soğutma suyu giriş kütleli debisi (kg/s); $h_{g,ssan}$, anot soğutma suyu giriş entalpisi (kJ/kg); $\dot{m}_{\dot{\chi},sskat}$, katot soğutma suyu çıkış kütleli debisi (kg/s); $h_{\dot{\chi},sskat}$, katot soğutma suyu çıkış entalpisi (kJ/kg); $\dot{m}_{g,sskat}$, katot soğutma suyu giriş kütleli debisi (kg/s); $h_{g,sskat}$, katot soğutma suyu giriş entalpisi (kJ/kg); $\dot{m}_{\text{plazma}}$, plazma kütleli debisi (kg/s); h_{plazma} , plazmanın entalpisi (kJ/kg); $\dot{E}_{\dot{\chi}}^{Q_k}$, soğutma yükü (kW).

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda mükemmel soğutma yapıldığından dolayı ark plazma torç yüzeyinden çevreye enerji kaybı (ark plazma torçunun yüzeyinden çevreye taşınımıyla ısı transferi) olmadığı kabulü ile $\dot{Q}_k$ belirlenir.

$$\dot{Q}_k = h A_{\text{torç yüzeyi}} (T_{\text{torç yüzeyi}} - T_{\text{çevre}}) \quad (15)$$

Yapılan ölçümler sonucunda ise $(T_{\text{torç yüzeyi}} \cong T_{\text{çevre}})$ olduğu belirlenmiştir.

$$\dot{Q}_k = h A_{\text{torç yüzeyi}} (T_{\text{torç yüzeyi}} - T_{\text{çevre}}) \cong 0 \quad (16)$$

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun soğutma yükü hesabı denklem (17) ve (18) ile hesaplanır.

$$\dot{E}_{\text{ç,sskat}}^Q = (\dot{m}_{\text{ç,sskat}} h_{\text{ç,sskat}} - \dot{m}_{\text{g,sskat}} h_{\text{g,sskat}}) \quad (17)$$

(17) nolu denklemde; $\dot{m}_{\text{ç,sskat}}$, katot soğutma suyu çıkış kütleli debisi (kg/s); $h_{\text{ç,sskat}}$, katot soğutma suyu çıkış entalpisi (kJ/kg); $\dot{m}_{\text{g,sskat}}$, katot soğutma suyu giriş kütleli debisi (kg/s); $h_{\text{g,sskat}}$, katot soğutma suyu giriş entalpisi (kJ/kg).

$$\dot{E}_{\text{ç,ssan}}^Q = (\dot{m}_{\text{ç,ssan}} h_{\text{ç,ssan}} - \dot{m}_{\text{g,ssan}} h_{\text{g,ssan}}) \quad (18)$$

(18) nolu denklemde; $\dot{m}_{\text{ç,ssan}}$, anot soğutma suyu çıkış kütleli debisi (kg/s); $h_{\text{ç,ssan}}$, anot soğutma suyu çıkış entalpisi (kJ/kg); $\dot{m}_{\text{g,ssan}}$, anot soğutma suyu giriş kütleli debisi (kg/s); $h_{\text{g,ssan}}$, anot soğutma suyu giriş entalpisi (kJ/kg).

Bu düşünceler ışığında, sistemde dört farklı gaz (kuru hava, argon, azot ve kızgın buhar) kullanılarak doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda oluşturulan plazmanın performans analizi en genel hali (19) ile yaklaşık olarak hesaplanır.

$$\dot{E}_{\text{plazma}} = (\dot{E}_{\text{g,kh}} + \dot{E}_{\text{g,Ar}} + \dot{E}_{\text{g,N2}} + \dot{E}_{\text{g,kb}} + \dot{E}^W) - (\dot{E}_{\text{ç,sskat}}^Q + \dot{E}_{\text{ç,ssan}}^Q) \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{\text{plazma}} = & [\dot{m}_{\text{g,kh}} (h_{\text{g,kh}} - h_{\text{o,kh}}) + \dot{m}_{\text{g,Ar}} (h_{\text{g,Ar}} - h_{\text{o,Ar}}) + \dot{m}_{\text{g,N2}} (h_{\text{g,N2}} - h_{\text{o,N2}}) \\ & + \dot{m}_{\text{g,kb}} (h_{\text{g,kb}} - h_{\text{o,kb}}) + \dot{W}] - [(\dot{m}_{\text{ç,sskat}} h_{\text{ç,sskat}} - \dot{m}_{\text{g,sskat}} h_{\text{g,sskat}}) \\ & + (\dot{m}_{\text{ç,ssan}} h_{\text{ç,ssan}} - \dot{m}_{\text{g,ssan}} h_{\text{g,ssan}})] \end{aligned} \quad (20)$$

2.4.3.3. Plazma Entalpi Değerinin Hesaplanması

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda kullanılan gazlara bağlı olarak oluşturulan en genel durumdaki plazmanın enerji miktarı hesabı kullanılarak plazmanın entalpi değeri hesabı yapılır.

$$\begin{aligned}
h_{\text{plazma}} = & \left[\frac{\dot{m}_{g,kh}}{\dot{m}_{\text{plazma}}} (h_{g,kh} - h_{o,kh}) + \frac{\dot{m}_{g,Ar}}{\dot{m}_{\text{plazma}}} (h_{g,Ar} - h_{o,Ar}) \right. \\
& + \frac{\dot{m}_{g,N_2}}{\dot{m}_{\text{plazma}}} (h_{g,N_2} - h_{o,N_2}) + \frac{\dot{m}_{g,kb}}{\dot{m}_{\text{plazma}}} (h_{g,kb} - h_{o,kb}) \\
& + \frac{\dot{m}_{g,ssan}}{\dot{m}_{\text{plazma}}} (h_{g,ssan} - h_{o,ssan}) + \frac{\dot{m}_{g,sskat}}{\dot{m}_{\text{plazma}}} (h_{g,sskat} - h_{o,sskat}) + \frac{\dot{W}}{\dot{m}_{\text{plazma}}} \Big] \\
& - \left[\frac{\dot{m}_{\text{ç,ssan}}}{\dot{m}_{\text{plazma}}} (h_{\text{ç,ssan}} - h_{o,ssan}) + \frac{\dot{m}_{\text{ç,sskat}}}{\dot{m}_{\text{plazma}}} (h_{\text{ç,sskat}} - h_{o,sskat}) \right] \quad (21)
\end{aligned}$$

2.4.3.4. Plazma Entalpi Hesabının Doğrulanması

Chen vd. (1998), çalışmalarında plazmanın entalpi hesabını yapmışlardır. (22)'de birim kütle akışı başına ısı ilave oranı verilmiştir. Denklem (23) kullanılarak entalpi hesabının doğrulanması yapılmıştır.

$$q_2 = (\text{torçun gücü} \times \text{termal verim}) / (\text{kütlesel debi}) \quad (22)$$

$$h_2 = h_1 + q_2 \quad (23)$$

(23) nolu denklemde; h_1 kuru havanın kullanılan basınç değerine karşılık gelen entalpi değeridir (Chen vd., 1998).

Boulos vd. (2017), yapmış oldukları çalışmalarında plazmanın entalpi değerini hesaplamışlardır. Entalpi hesabı denklem (24)'de sunulmuştur.

$$h = \eta V I / G \quad (24)$$

(24) nolu denklemde; η , verim; V, voltaj (V); I, akım (A); G, gaz akış debisi (kg/s).

2.4.3.5. Doğru Akım Ark Plazma Gazlaştırma Torçunun Veriminin Hesaplanması

Farklı gazlar ile çalışabilen doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun verimi en genel formda aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Rutberg vd., 2004).

$$\eta = \frac{(\dot{E}_g - \dot{Q}_s)}{\dot{E}_g} \quad (25)$$

(25) nolu denklemde; $\dot{E}_g$, toplam giren enerji akımı (kW); $\dot{Q}_s$, soğutma yükü (kW).

2.5. Belirsizlik Analizi

Son yıllarda sayısal çalışmalar önem kazanmasına rağmen, yapılan bu çalışmalardan elde edilen sonuçların deneysel olarak desteklenmesi deneysel yapılan çalışmaların değerini artırmaktadır. Deneysel çalışmalarda, ulaşılan sonuçlar kadar diğer önemli bir nokta; ölçülen değerlerin doğru olmasıdır. Literatürde bir deney düzeneğinde yapılan deneyler sonucu elde edilen değerlerde, iki farklı hata şeklinde ortaya çıkabilir. Birincisi, deney setinin ve ölçü araçlarının yapısının neden olduğu hatalar, diğeri deneyi yapan kişiden kaynaklanan hatalardır (Midilli, 2001). Deneysel çalışmalarda yapılan hatalar ve belirsizlikler; cihazın seçimi, cihaz durumu, cihazın kalibrasyonu, çevre, gözlem, okuma ve test planlaması gibi durumlardan kaynaklanabilmektedir (Midilli vd., 2002).

Ölçü aletlerinin imalatlarının doğru yapıldığı kabul edilirse, hata analizi; rastgele ve sabit hataları belirleyerek bunların deneysel sonuçlar üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasıdır (Midilli, 2001).

- Sıcaklık ölçümünde yapılan hatalar;

Sıcaklık ölçümlerinde ortaya çıkabilecek hatalar genellikle deneylerde kullanılan ölçüm aletlerine bağlı olarak değişmektedir. Deneyler sırasında sistemde çeşitli noktalarda yapılan sıcaklık ölçümlerden kaynaklanan hatalar;

a1 Titreşiminden kaynaklanan ortalama belirsizlik: $\pm 0,01^\circ\text{C}$

b1 Bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan hata: $\pm 0,1^\circ\text{C}$

c1 Lazer sıcaklık cihazı ölçüm hassasiyeti: $\pm 2^\circ\text{C}$

d1 Çevre ya da deney ortamı sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata: $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$

- Zaman ölçümünden kaynaklanan hatalar;

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ile yapılan deneyler sırasında zaman değerleri bir saat yardımıyla ölçülmüştür. Zaman değerleri deney süresinin belirlenmesinde önemli bir faktör olduğundan ortaya çıkabilecek hatalar;

a2 Zaman ölçerin titreşiminden kaynaklanan kaynaklanan hata: $\pm 0,0003$ dakika

b2 Periyodik olarak güç ölçümlerinin alınmasında yapılabilecek ortalama hata: $\pm 0,1$ dakika

c2 Periyodik şekilde sıcaklık değerlerinin alınması ile yapılabilecek ortalama hata: $\pm 0,1$ dakika

- Hız ölçümünden kaynaklanan hatalar;

Deneyler sırasında kuru havanın hız değeri anemometre ile ölçülmüştür. Ölçülen kuru hava hızının belirlenmesinde ortaya çıkabilecek hatalar;

a3 Anemometrenin hassasiyetinden kaynaklanan hata: $\pm 0,2$ m/s

b3 Debi kaçaklarından kaynaklanan hata: $\pm 0,1$ m/s

- Elektrik gücü ölçümünden kaynaklanan hatalar;

a4 Voltaj ölçümü için kullanılan dijital multimetre hassasiyeti: ± 2

b4 Akım ölçümü için kullanılan pens ampermetre hassasiyeti: ± 3

- Yapılan diğer hatalar;

Deneyisel çalışmalarda elde edilen verilerin kullanılması ile yapılan hesaplamalarda ihtiyaç duyulan tablo değerlerinin ya da fiziksel değerlerin okunması sırasında

oluşabilecek hatalarda hesap sonuçlarını etkileyebilmektedir. Fiziksel özelliklerin tablo değerlerinin okunmasında ortaya çıkabilecek hata; $W_p = \pm 0,1 - 0,2$ şeklinde yazılabilmektedir.

- Ölçülen değerlerden kaynaklanan toplam hataların hesaplanması;

DC ark plazma gazlaştırma torçu ile yapılan deneylerde sıcaklık, zaman, hız, güç ve diğer hatalardan kaynaklanan toplam hata değerlerinin hesaplanması gerekmektedir (Midilli, vd., 2002).

Sıcaklık ölçümünde ortaya çıkan toplam hataların analitik ifadesi (Midilli, vd., 2002);

$$w_t = [(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (d1)^2]^{1/2} \quad (26)$$

$$w_t = \pm 2,018 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Zaman ölçümünde ortaya çıkan toplam hataların analitik ifadesi;

$$w_t = [(a2)^2 + (b2)^2 + (c2)^2]^{1/2} \quad (27)$$

$$w_t = \pm 0,141 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Hız ölçümünde ortaya çıkan toplam hataların analitik ifadesi;

$$w_t = [(a3)^2 + (b3)^2]^{1/2} \quad (28)$$

$$w_t = \pm 0,223$$

Elektrik gücü ölçümünde ortaya çıkan toplam hataların analitik ifadesi;

$$w_t = [(a4)^2 + (b4)^2]^{1/2} \quad (29)$$

$$w_t = \pm 3,60$$

Belirsizlik analizinde yöntem olarak, Kline ve McClintock tarafından ortaya atılan bir yöntem kullanılmıştır. Buna göre; hesaplanması gereken büyüklük P ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişken ise $x_1, x_2, \dots, x_n$ olmak üzere;

$$P = P(x_1, x_2 \dots x_n) \quad (30)$$

olarak yazılabilir. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, \dots, w_n$ ve P büyüklüğünün hata oranı w_k ise, belirsizlik analizi yöntemine göre,

$$w_t = \pm \left[\left(\frac{\partial P}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial P}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (31)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu bağıntı incelendiğinde, deneyde en büyük hataya neden olan değişkenin kolaylıkla tespit edilebildiği anlaşılmaktadır. Bu özellik belirsizlik analizi yönteminin en önemli üstünlüğünü olarak belirtilmektedir.

- Plazmanın enerji akımı değerinin belirsizlik analizi:

Belirsizlik hesaplamalarındaki enerji akımı değerinin hesaplanmasında iki adet bağımsız değişken bulunmaktadır.

$$\dot{E}_p = \dot{m}_p h_p \quad (32)$$

$$\dot{m}_p = \frac{m_p}{\Delta t} \text{ olduğundan;} \quad (33)$$

$$\dot{E}_p = \frac{m_p}{\Delta t} h_p \quad (34)$$

$$w_{E_p} = \pm \left[\left(\frac{\partial E_p}{\partial m_p} w_{m_p} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (35)$$

$$w_{Ep} = \pm \left[\left(\frac{h_p}{\Delta t} w_{mp} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (36)$$

$w_{t,Ep} = \pm 2,6 \%$ olarak hesaplanmıştır.



3. BULGULAR

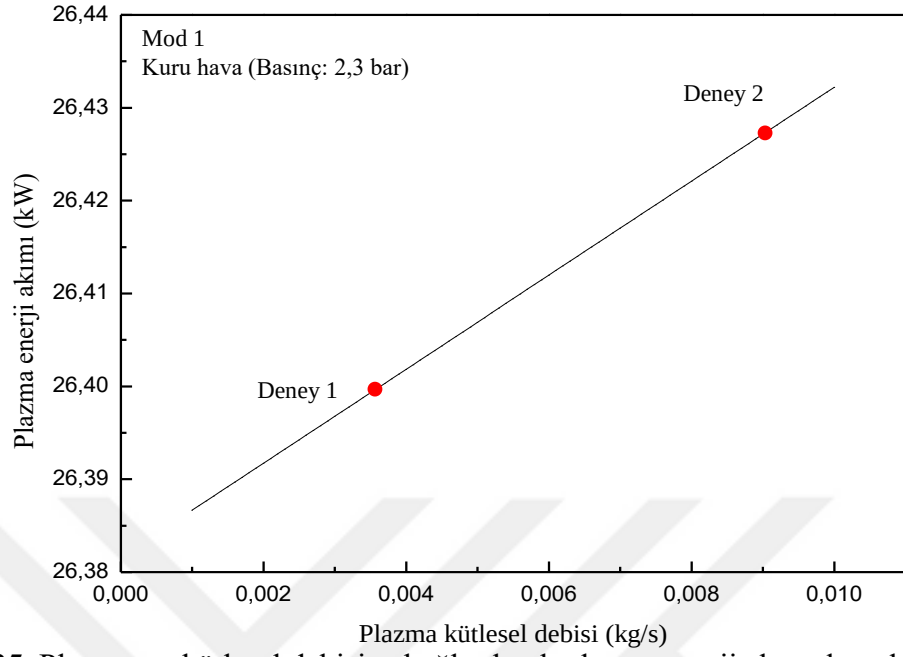
Çalışmanın bu bölümünde, ön karışım odalı ve farklı gazlar ile çalışabilen doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun termodinamik modelinin, termodinamiğin birinci yasasına göre performans analizlerine ait bulgular ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular sunulmuştur. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun performans analizleri beş farklı mod ile çalışarak yapılmıştır.

- Mod 1: Sistemde sadece kuru hava kullanılması,
- Mod 2: Sistemde kuru hava ve kızgın buhar kullanılması,
- Mod 3: Sistemde kuru hava ve argon gazı kullanılması,
- Mod 4: Sistemde kuru hava ve azot gazı kullanılması,
- Mod 5: Sistemde kuru hava, argon ve azot gazlarının kullanılması durumları için performans analizleri yapılmıştır.

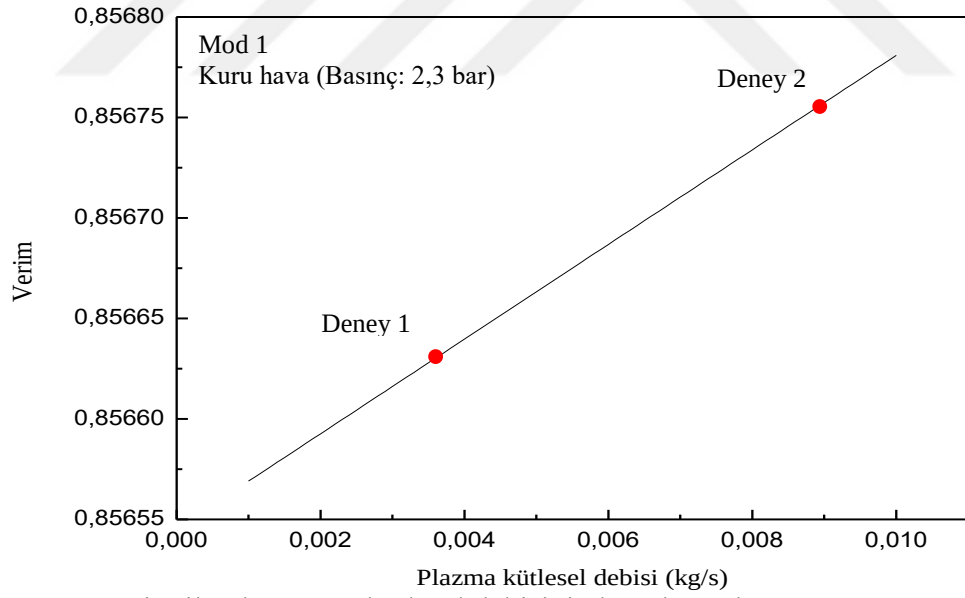
3.1. Analitik Bulgular

Yapılan hesaplamalarda kullanılan havanın gösterge basıncı değeri 2,3 bar olarak alınmıştır. Gösterge basıncı değeri atmosfere açık sistemlerde basınç gerçek basınç değildir. Bu nedenle bu basınç değerinin üzerine atmosferin yaptığı etki değeri eklenmelidir. Atmosfer basıncının etkisi eklendiğinde mutlak basınç elde edilir ($P_{mutlak} = P_{atmosfer} + P_{gösterge}$) (Çengel ve Boles, 2013). Hesaplamalarda kullanılan 2,3 bar değerinin üzerine 1 bar eklenerek 3,3 bar hava değerine karşılık gelen entalpi değeri kullanılmaktadır.

Mod 1 durumunda Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda 2,3 bar ana taşıyıcı gaz olan kuru hava kullanılarak çalıştırılmıştır. Şekil 25'te ise plazma debisine bağlı olarak plazma enerji akımı karşılaştırılması sunulmuştur. Plazma debisinin artması sonucunda plazma enerji akımı değeri artmıştır.

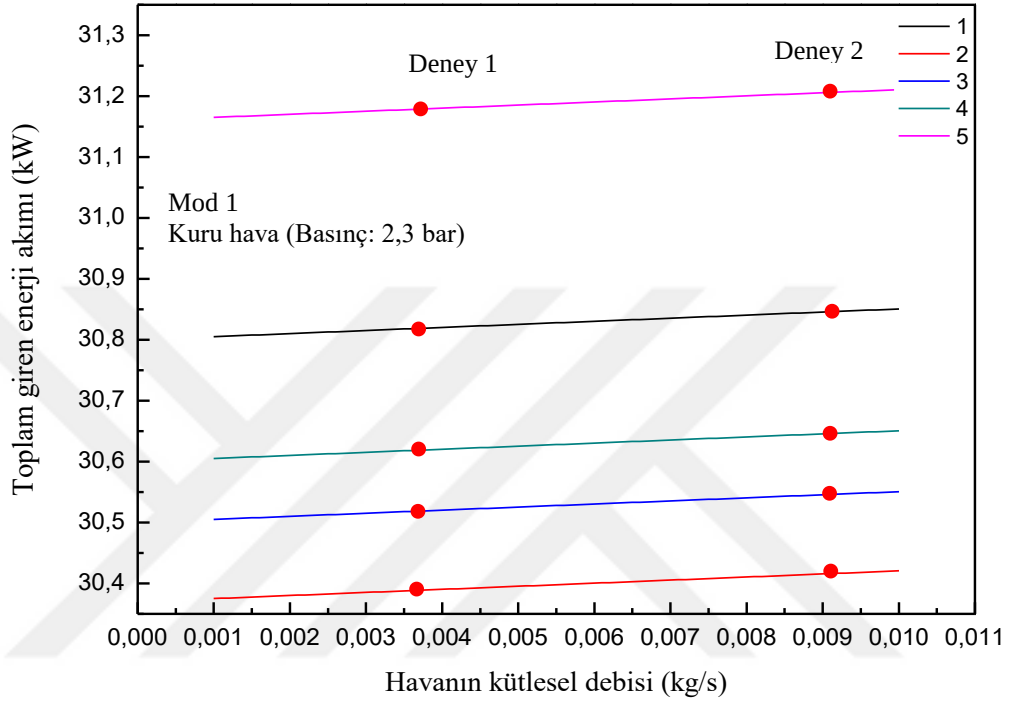


Şekil 25. Plazmanın kütleli debisine bağlı olarak plazma enerji akımı karşılaştırılması.



Şekil 26. Verim ile plazmanın kütleli debisinin karşılaştırılması.

Şekil 26’da ise plazma debi miktarına bağlı olarak verim hesabı sonucu elde edilen verilerin hesabı sunulmuştur. Yapılan karşılaştırmada verim değerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 27. Kuru havanın kütleli debisi ile toplam giren enerji akımı karşılaştırılması.

Şekil 27’de ise sistemde kullanılan hava debisine ve yapılan beş farklı deneyde sistemde kullanılan güç değerlerinden elde edilen toplam giren enerji akımının değişimi sunulmuştur. Plazma debisi arttıkça giren enerji akımının arttığı görülmektedir.

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun soğutma yükü tüm durumlar için 4,418 kW olarak hesaplanmış ve artan plazma debisine bağlı olarak değişim olmadığı hesaplanmıştır.

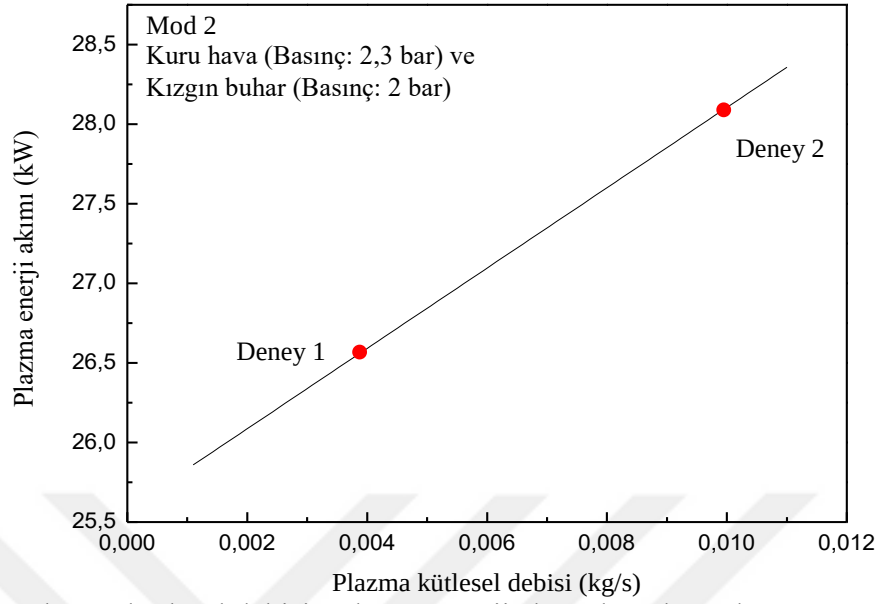
Seçilen çalışma aralığı koşulları, deneysel çalışmalarda sistemde yapılan ölçümlere bağlı olarak elektrik gücü 30,8 kW ve kuru havanın kütleli debisinin 0,0091 kg/s olması durumunda, oluşturulan plazma entalpi değeri üç farklı yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Termodinamiğin birinci kanununa bağlı olarak yapılan performans

analizi (ilk yöntem) ile oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p=2891,452$ kJ/kg, plazma enerji akımı ise 26,427 kW olarak hesaplanmıştır.

Seçilen çalışma aralığı koşulları, deneysel çalışmalarda sistemde yapılan ölçümlere bağlı olarak elektrik gücü 30,8 kW ve kuru havanın kütleli debisinin 0,0036 kg/s olması durumunda, Termodinamiğin birinci kanununa bağlı olarak yapılan performans analizi ile oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p= 7333,285$ kJ/kg, plazma enerji akımı ise 26,39 kW olarak hesaplanmıştır.

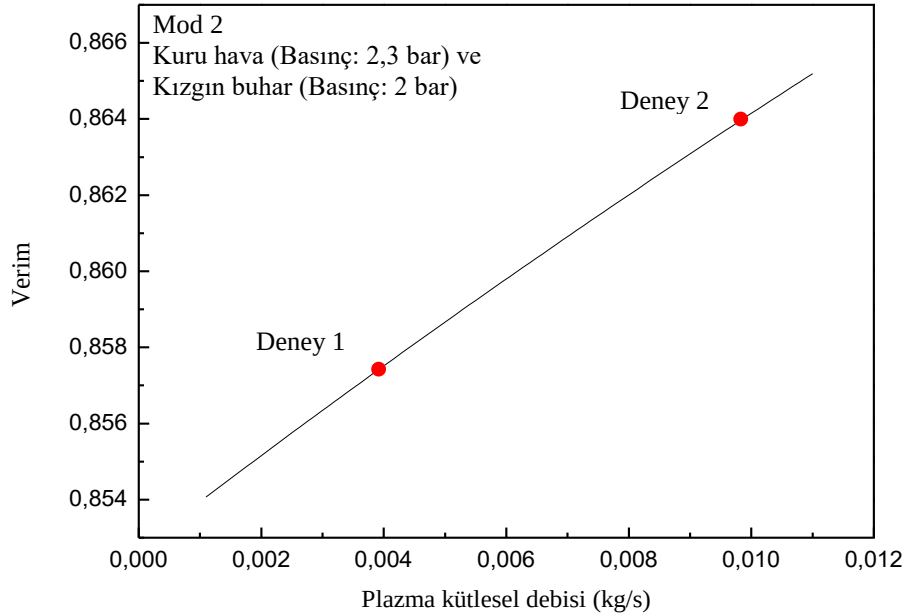
Hava ile oluşan plazmanın entalpi değeri literatürde yer alan entalpi hesabı ile karşılaştırılmıştır. Chen vd. (1998), yaptıkları çalışmalarında plazmanın entalpi hesabı için kullandıkları formül yardımı ile sistemde oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p= 3157,352$ kJ/kg olarak bulunmuştur. Boulos vd. (2017), entalpi hesabı için yaptıkları çalışmada kullandıkları formül ile entalpi değeri 2887,115 kJ/kg olarak bulunmuştur. Farklı yöntemler ile yapılan bu hesaplar doğruluğu karşılaştırma amacı ile yapılmıştır.

Mod 2'de ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçuna 2,3 bar kuru hava ile birlikte 2 bar değerinde kızgın buhar gönderilerek çalıştırılmıştır. Şekil 28'de ise plazma debisine bağlı olarak plazma enerji akımı karşılaştırılması sunulmuştur. Plazma debisinin artması sonucunda plazma enerji akımı artmıştır.



Şekil 28. Plazma kütleli debisi - plazma enerji akımı karşılaştırılması.

Şekil 29’da ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu sisteminde kuru hava ve kızgın buharının birlikte kullanılması sonucu elde edilen plazma debisine karşılık verim değeri sunulmuştur.

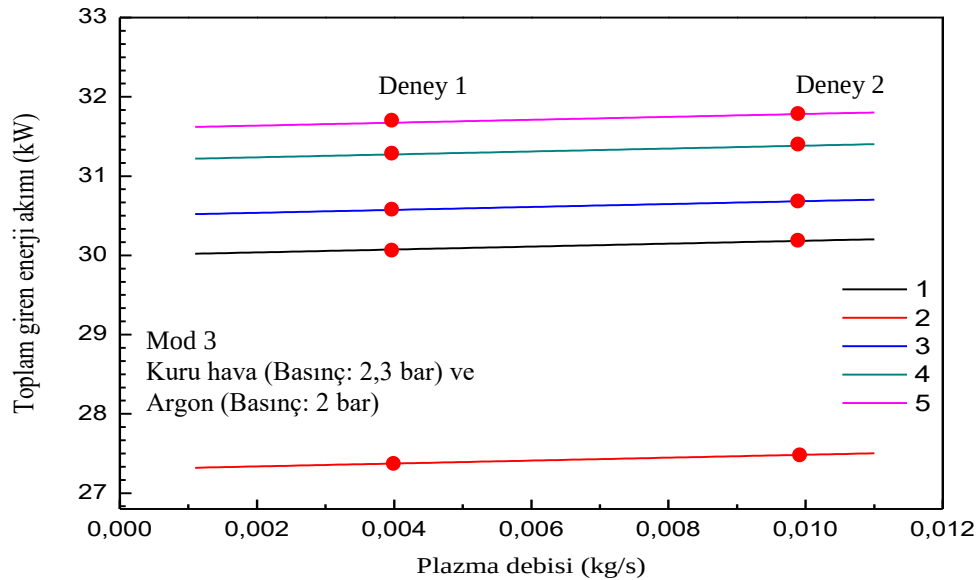


Şekil 29. Plazma kütleli debisi - verim karşılaştırılması.

Seçilen alışma aralığı koşulları, deneysel çalışmalarda sistemde yapılan ölçümlere bağlı olarak elektrik gücü 30 kW ve kuru havanın kütlesel debisinin 0,0091 kg/s olması durumunda, Termodinamiğin birinci kanununa bağlı olarak yapılan performans analizi ile oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p = 2796,777$ kJ/kg, plazma enerji akımı ise 28,12 kW ve verim 0,864 olarak hesaplanmıştır.

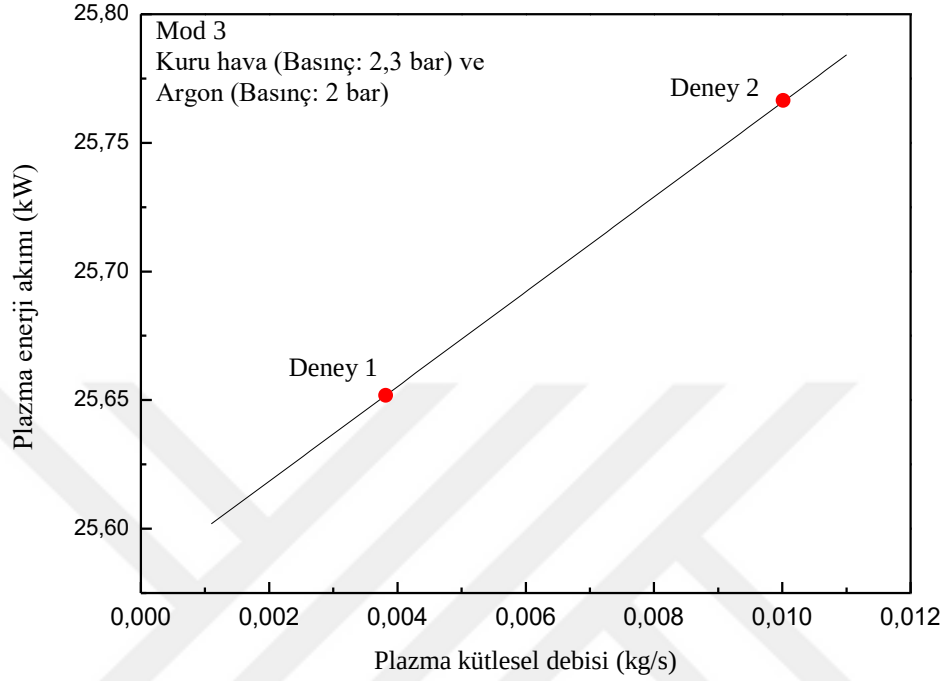
Seçilen alışma aralığı koşulları, deneysel çalışmalarda sistemde yapılan ölçümlere bağlı olarak elektrik gücü 30 kW ve kuru havanın kütlesel debisinin 0,0036 kg/s olması durumunda, Termodinamiğin birinci kanununa bağlı olarak yapılan performans analizi ile oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p = 6712,357$ kJ/kg, plazma enerji akımı ise 26,58 kW olarak hesaplanmıştır.

Mod 3'te ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçuna 2,3 bar kuru hava ile birlikte 2 bar değerinde argon gazı gönderilerek oluşan karışım ile çalıştırılmıştır. Sistemde llen beş farklı elektrik güç değerleri (30 kW, 27,3 kW, 30,5 kW, 31,2 kW ve 31,6 kW) kullanılarak yapılan performans analizleri sonucunda elde edilen toplam giren enerji akımı değeri plazma debisine bağlı olarak artış göstermektedir. şekil 30'da ise plazma debisine bağlı olarak toplam giren enerji akımı miktarının karşılaştırılması sunulmuştur.



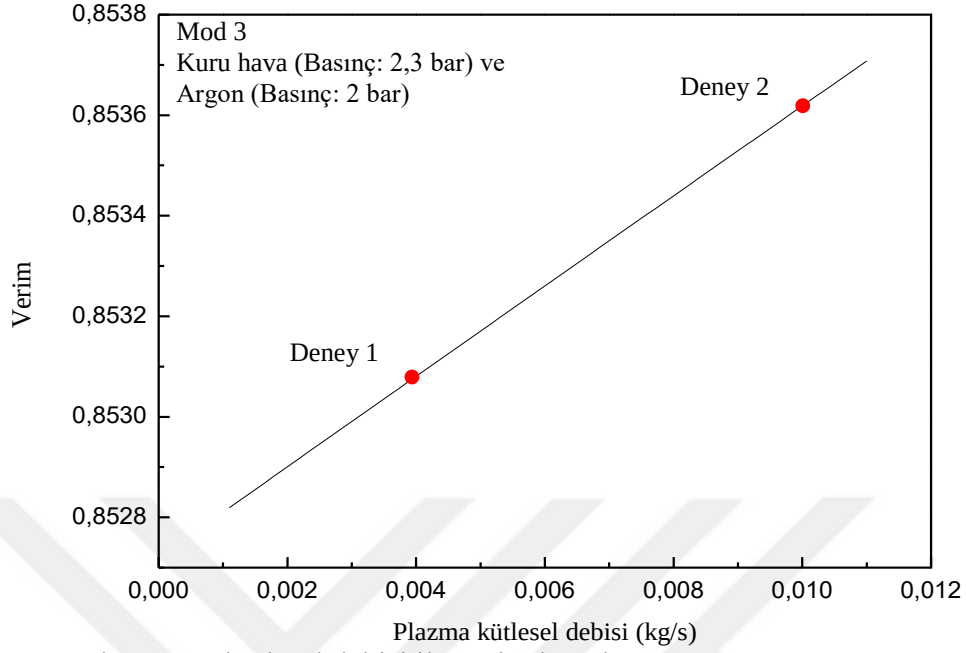
şekil 30. Plazmanın kütlesel debisine bağlı toplam giren enerji akımı karşılaştırılması.

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda plazma debisine bağlı olarak performans analizi sonucunda hesaplanan plazma enerji akım değeri Şekil 31’de verilmiştir.



Şekil 31. Plazma kütleli debisi - plazma enerji akımı karşılaştırılması.

Şekil 32’de plazma kütleli debisine bağlı olarak verim hesabı karşılaştırılması sunulmuştur. Verim değerinin, debi miktarının artışı ile devamlı olarak arttığı görülmektedir.

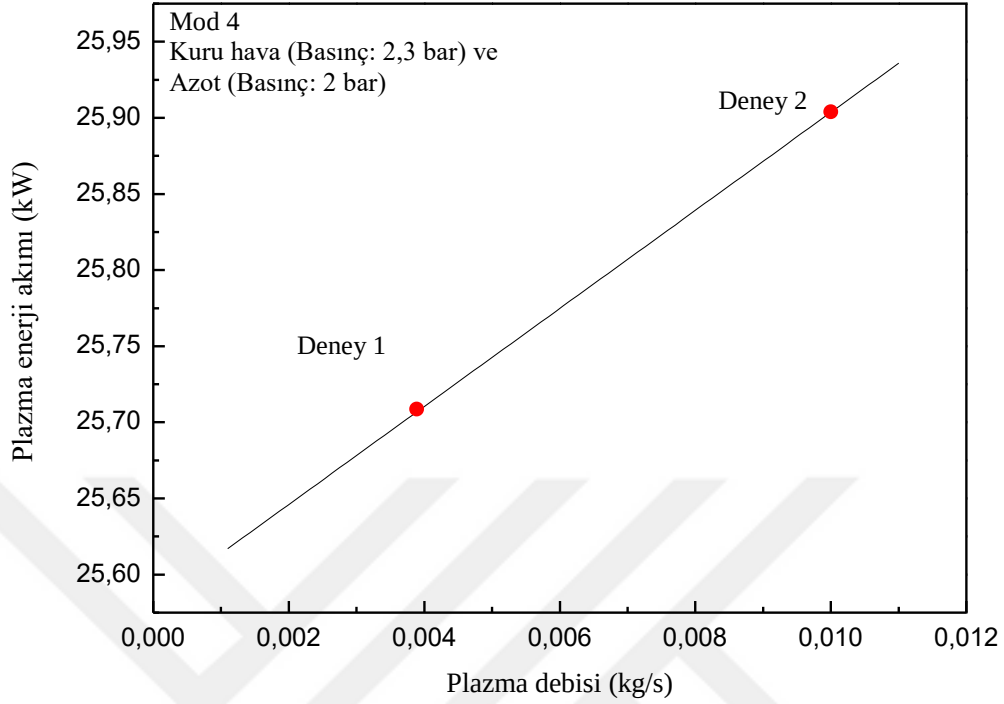


Şekil 32. Plazmanın kütleli debisi ile verim karşılaştırması.

Seçilen çalışma aralığı koşulları, deneysel çalışmalarda sistemde yapılan ölçümlere bağlı olarak elektrik gücü 30 kW ve kuru hava kütleli debisinin 0,0091 kg/s olması durumunda, Termodinamiğin birinci kanununa bağlı olarak yapılan performans analizi ile oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p = 2562,83$ kJ/kg, plazma enerji akımı ise 25,76 kW ve verim 0,853 olarak hesaplanmıştır.

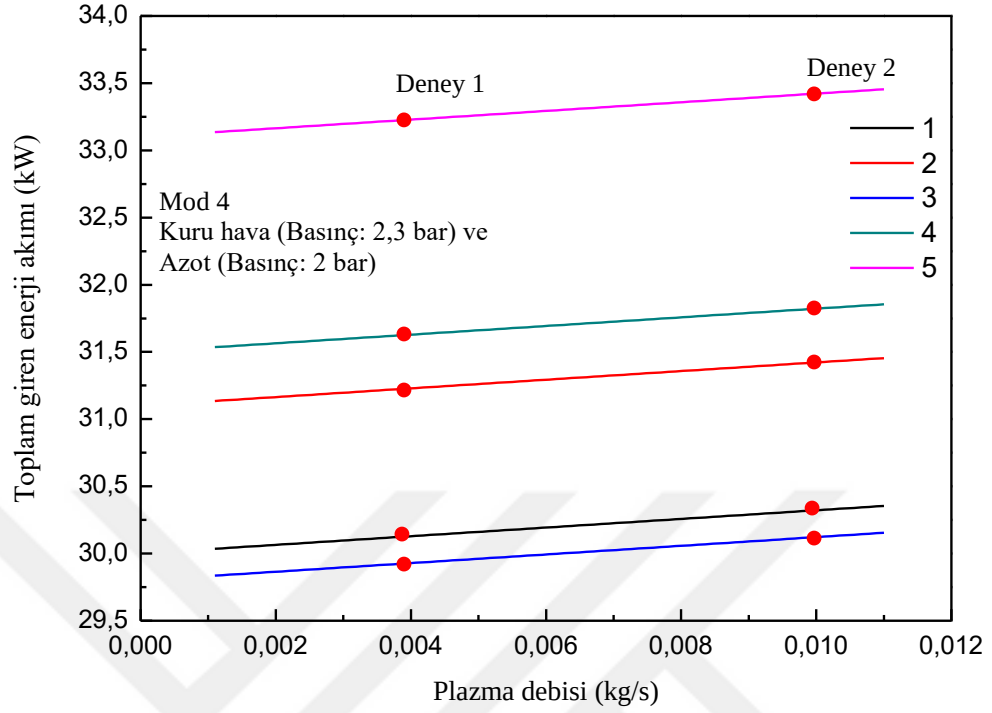
Seçilen çalışma aralığı koşulları, deneysel çalışmalarda sistemde yapılan ölçümlere bağlı olarak elektrik gücü 30 kW ve kuru hava kütleli debisinin 0,0036 kg/s olması durumunda, Termodinamiğin birinci kanununa bağlı olarak yapılan performans analizi ile oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p = 6478,41$ kJ/kg, plazma enerji akımı ise 25,65 kW olarak hesaplanmıştır. Mod 3 durumunda soğutma yükü diğer mod durumlarında olduğu gibi 4,418 kW olarak belirlenmiştir.

Mod 4'te ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçuna 2,3 bar kuru hava ve 2 bar azot gazlarının karışımı kullanılarak çalıştırılmıştır. Termodinamiğin birinci kanununa göre yapılan performans analizi ile plazma debisi ve plazma enerji akımı karşılaştırılması Şekil 33'te sunulmuştur.



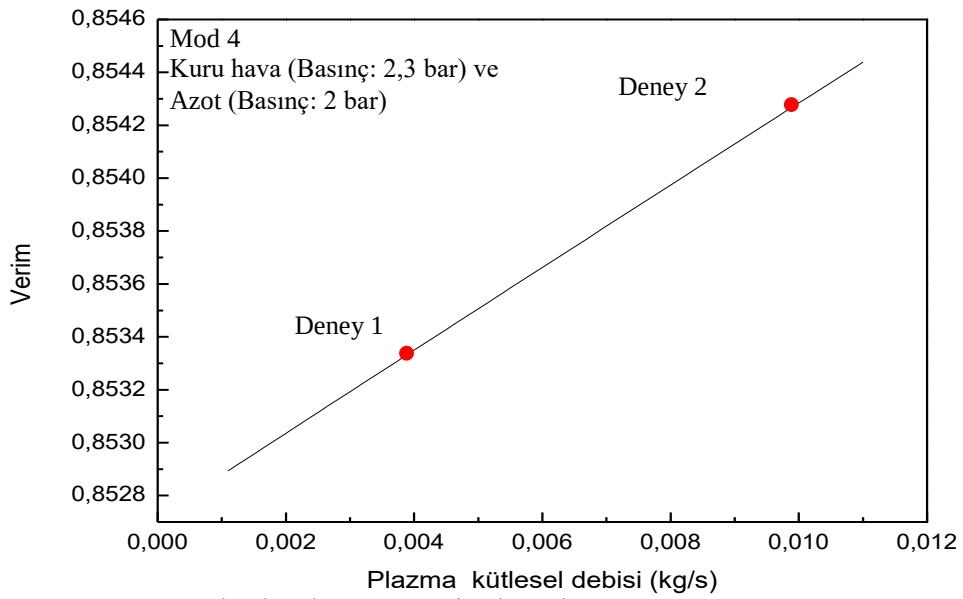
Şekil 33. Plazmanın kütleli debisi ile plazmanın enerji akımı karşılaştırılması.

Sistemde ölçülen beş farklı elektrik güç (kW) değerleri kullanılarak yapılan performans analizleri sonucunda elde edilen enerji giriş değerleri plazma debisine bağlı olarak artış göstermektedir. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda plazma debisine bağlı olarak performans analizi sonucunda hesaplanan enerji girişi Şekil 34’te verilmiştir. Sistemde ölçülen beş farklı elektrik güç değerleri (30 kW, 31,5 kW, 33,1 kW, 29,8 kW, 31,1 kW) kullanılarak yapılan performans analizleri sonucunda elde edilen toplam giren enerji akımı değerleri plazma debisine bağlı olarak artış göstermektedir.



Şekil 34. Plazmanın kütleli debisine bağlı toplam giren enerji akımı karşılaştırılması.

Sistemde 2,3 bar hava ve 2 bar azot kullanılması sonucunda elde edilen verim için yapılan karşılaştırma Şekil 35’te sunulmuştur.

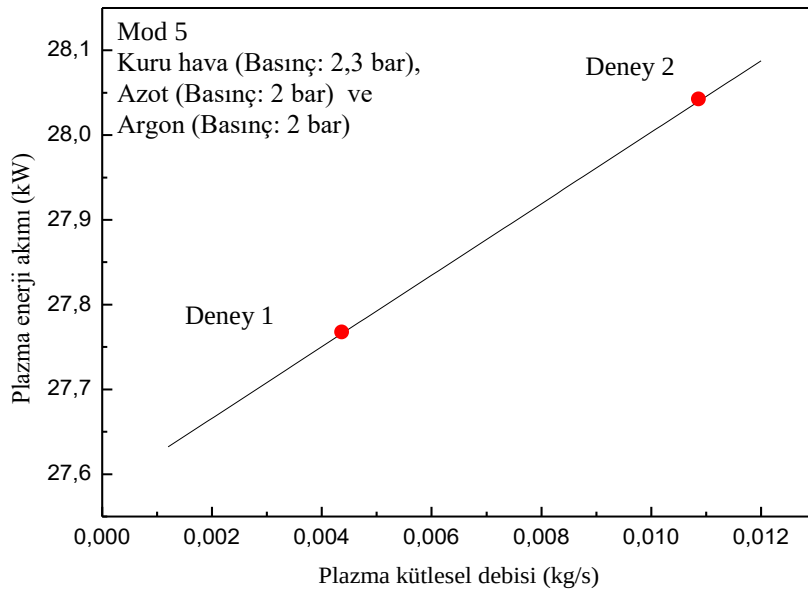


Şekil 35. Plazmanın kütleli debisi-verim karşılaştırması.

Seçilen alışma aralığı koşulları, deneysel çalışmalarda sistemde yapılan ölçümlere bağlı olarak 30 kW elektrik gücü ve kuru hava kütleel debisinin 0,0091 kg/s ve plazma debisi 0,010054 kg/s olarak kullanılmıştır. Termodinamiğin birinci kanununa bağlı olarak yapılan performans analizi ile oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p = 2576,62$ kJ/kg, plazmanın enerji akımı ise 25,905 kW ve verim 0,854 olarak hesaplanmıştır. Mod 4 durumunda da soğutma yükü diğer mod durumlarında olduğu gibi 4,418 kW olarak belirlenmiştir.

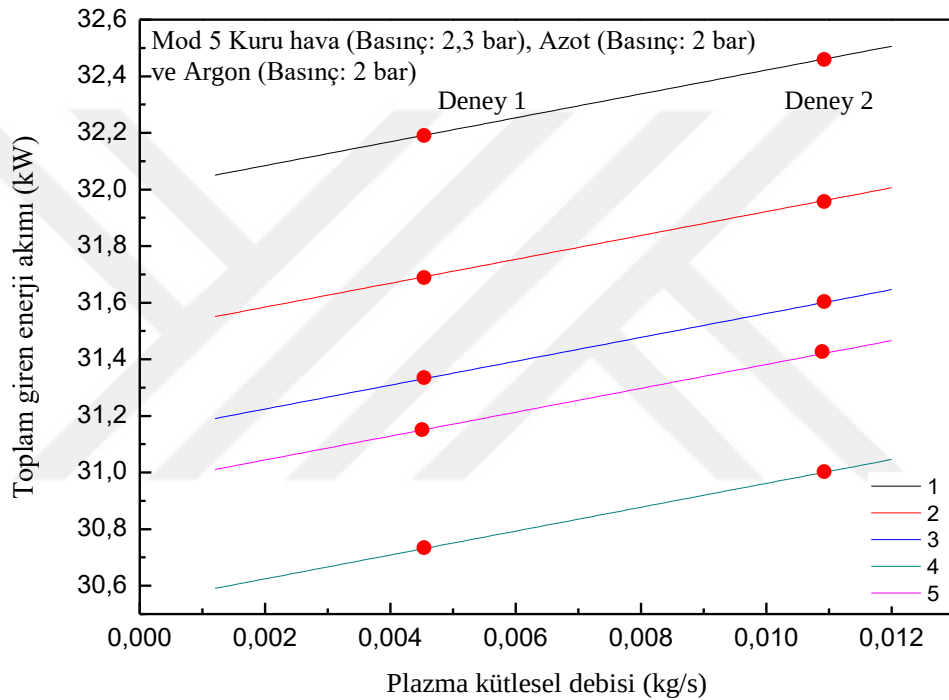
Seçilen alışma aralığı koşulları, deneysel çalışmalarda sistemde yapılan ölçümlere bağlı olarak elektrik gücü 30 kW ve kuru hava kütleel debisinin 0,0036 kg/s ve plazma debisi 0,00396 kg/s olarak kullanılmıştır. Termodinamiğin birinci kanununa bağlı olarak yapılan performans analizi ile oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p = 6492,20$ kJ/kg, plazmanın enerji akımı ise 25,70 kW olarak hesaplanmıştır.

Mod 5 durumunda ise Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçuna 2,3 bar kuru hava, 2 bar azot ve 2 bar argon gazları kullanılarak çalıştırılmıştır. Termodinamiğin birinci kanununa göre yapılan performans analizi ile plazma kütleel debisi ve plazma enerji akımı karşılaştırılması şekil 36’da sunulmuştur.



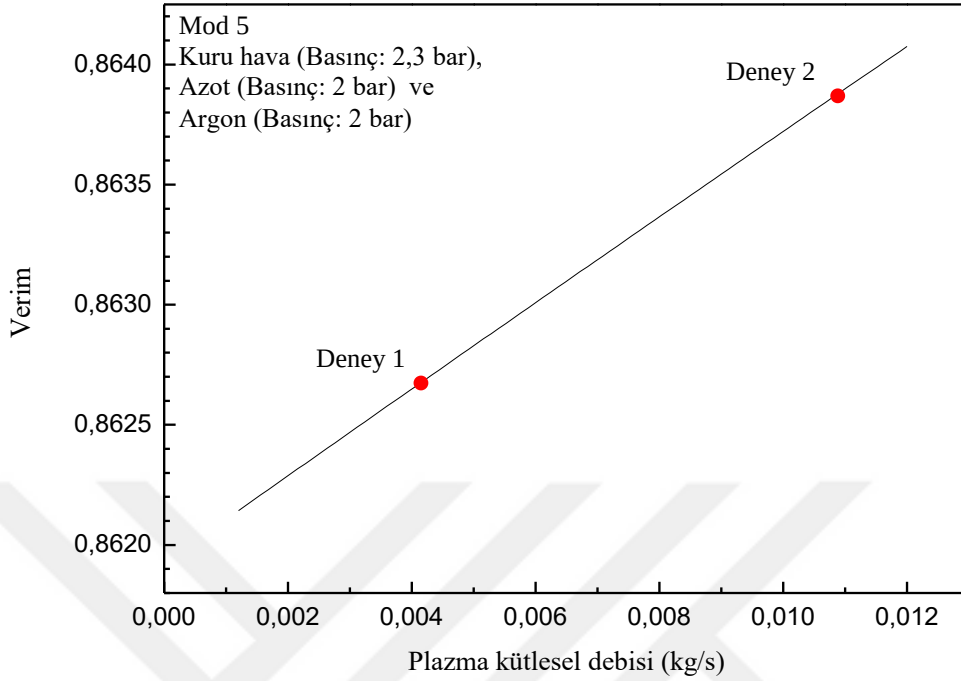
şekil 36. Plazma enerji akımı ile plazma kütleel debisinin karşılaştırılması.

Sistemde ölçülen beş farklı elektrik güç (kW) değerleri kullanılarak yapılan performans analizleri sonucunda elde edilen enerji giriş değerleri plazma debisine bağlı olarak artış göstermektedir. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda plazma debisine bağlı olarak performans analizi sonucunda hesaplanan enerji girişi Şekil 37’de verilmiştir. Sistemde ölçülen beş farklı elektrik güç değerleri (32 kW, 31,5 kW, 31,14 kW, 30,54 kW, 30,96 kW) kullanılarak yapılan performans analizleri sonucunda elde edilen toplam giren enerji akımı değerleri plazma debisine bağlı olarak artış göstermektedir.



Şekil 37. Plazmanın kütledebisine bağlı toplam giren enerji akımı karşılaştırılması.

Sistemde 2,3 bar kuru hava, 2 bar argon ve 2 bar azot kullanılması sonucunda elde edilen verim için yapılan karşılaştırma Şekil 38’de sunulmuştur. Görüldüğü gibi debi miktarına bağlı olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 38. Plazmanın kütleli debisi ile verim karşılaştırılması.

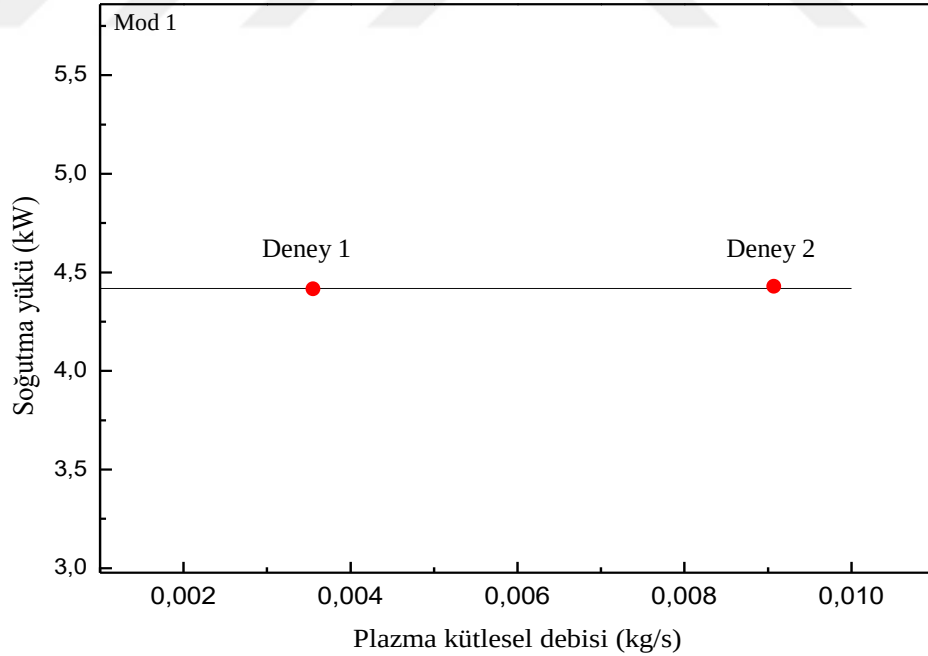
Seçilen çalışma aralığı koşulları, deneysel çalışmalarda sistemde yapılan ölçümlere bağlı olarak elektrik gücü 32 kW ve kuru hava kütleli debisi 0,0091 kg/s ve plazma kütleli debisi 0,010968 kg/s olarak kullanıldı. Termodinamiğin birinci kanununa bağlı olarak yapılan performans analizi ile oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p = 2556,913$ kJ/kg, plazmanın enerji akımı ise 28,044 kW ve verim 0,863 olarak hesaplanmıştır.

Seçilen çalışma aralığı koşulları, deneysel çalışmalarda sistemde yapılan ölçümlere bağlı olarak elektrik gücü 32 kW ve kuru hava kütleli debisi 0,0036 kg/s ve plazma kütleli debisi 0,00432 kg/s olarak kullanıldı. Termodinamiğin birinci kanununa bağlı olarak yapılan performans analizi ile oluşan plazmanın entalpi değeri $h_p = 6426,809$ kJ/kg, plazmanın enerji akımı ise 27,763 kW olarak hesaplanmıştır. Mod 5 durumunda da soğutma yükü diğer mod durumlarında olduğu gibi 4,418 kW olarak belirlenmiştir.

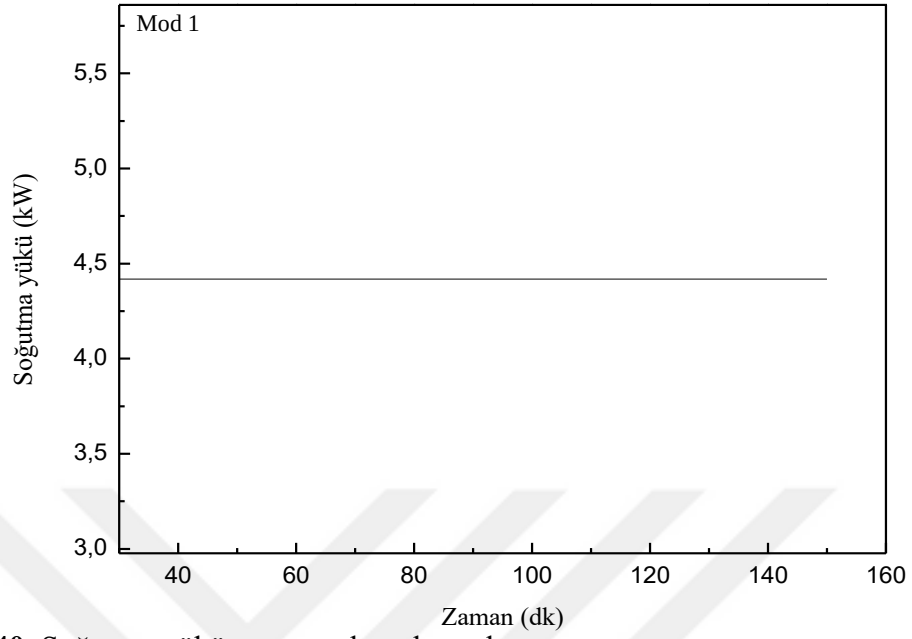
3.2. Deneysel Bulgular

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ile kuru hava, argon, kızgın buhar, azot gazları kullanılarak çalıştırıldı. Yapılan çalışmada ölçümler 30 dk.'lık zaman aralıklarında alındı. Deneysel çalışmalar; kuru hava, kuru hava-argon, kuru hava-azot, kuru hava-argon-azot, kuru hava-kızgın buhar kullanılarak yapıldı.

Deneysel çalışma 1: Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ana taşıyıcı gaz olan kuru hava ile çalıştırılarak alınan ölçümler sonucunda grafikler oluşturuldu. Şekil 39'da soğutma yükünün plazma debisine göre değişimi sunulmuştur. Yapılan deneylerde deney 1 ve deney 2'de ölçülmüştür. Plazma debisinin artmasıyla soğutma yükü sabit kalmıştır. Soğutma yükünün sabit kalmasının nedeni ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun etkin soğutma yüküne sahip olmasıdır. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçuna sağlanan soğutma yükü kaynağının kapasitesinin maksimumda çalıştırılıyor olması ve kapasitesi güce bağlı olarak değişmemektedir.

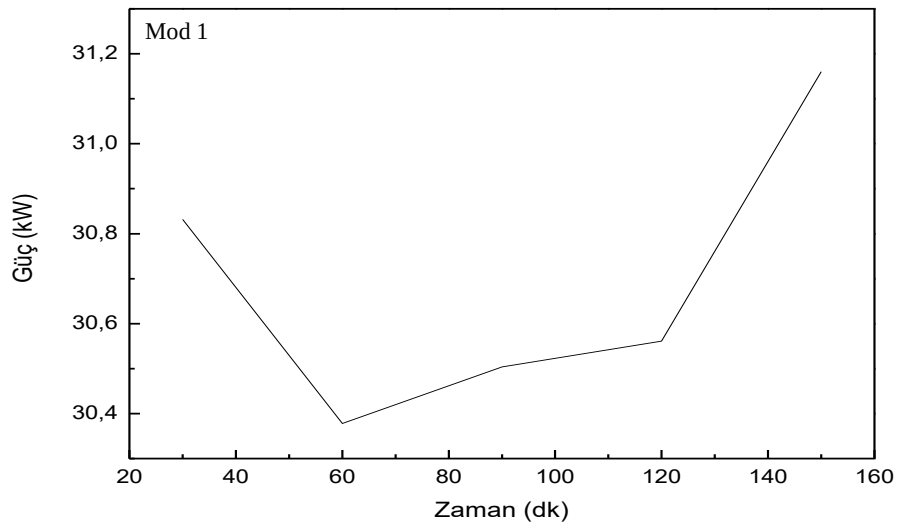


Şekil 39. Soğutma yükü ile plazma kütleli debisinin karşılaştırılması.



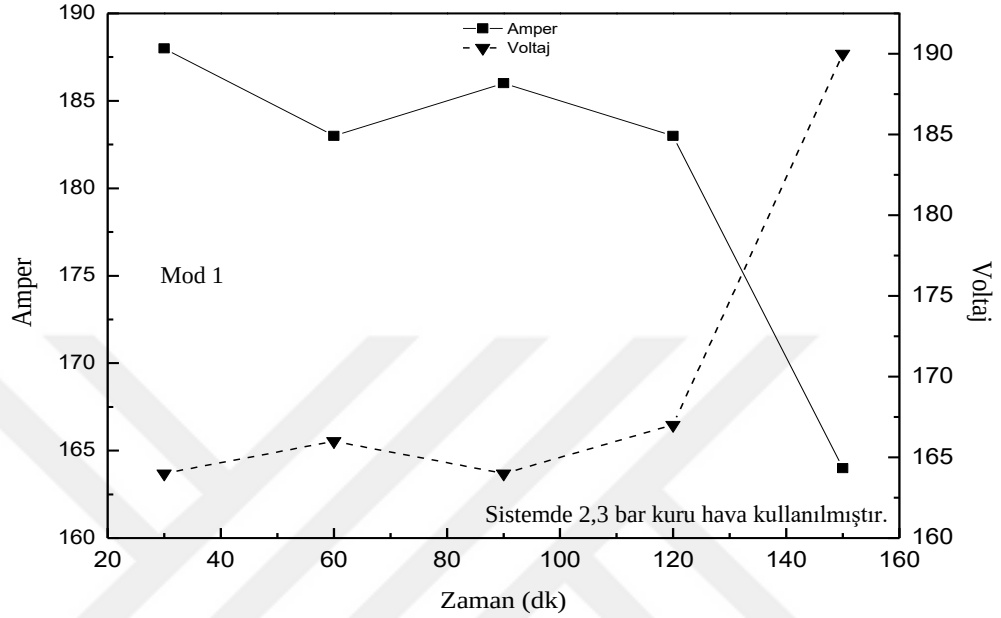
Şekil 40. Soğutma yükü – zaman karşılaştırılması.

Şekil 40’da ise zamana bağlı olarak soğutma yükü karşılaştırılması verilmiştir. Soğutma yükünde zamana bağlı olarak değişim gerçekleşmemiştir.



Şekil 41. Sistemde kullanılan gücün zamana bağlı değişimi.

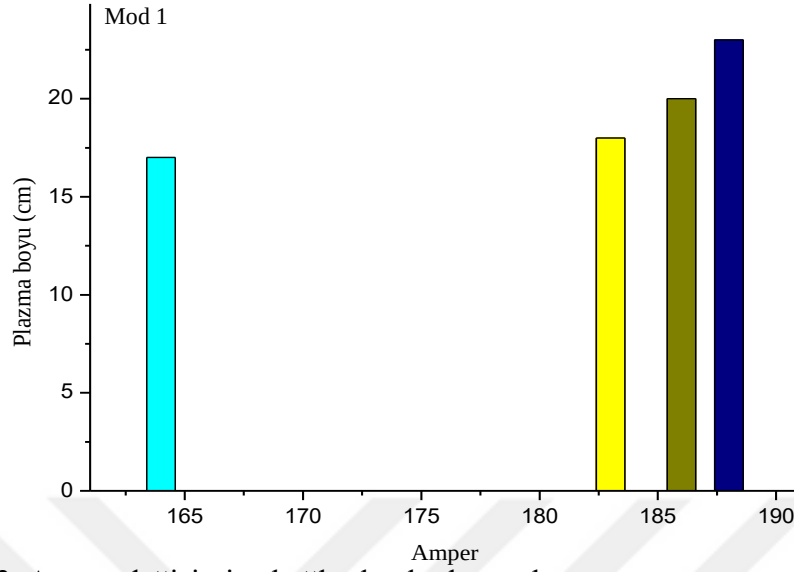
Şekil 41’de ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun kuru hava ile çalıştırılması sonucunda zamana bağlı olarak pens ampermetre ve multimetre cihazları ile ölçümleri alınan sistemde kullanılan güç değerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 42. Zamana bağlı amper-voltaj değişiminin deneysel değerleri.

Şekil 42’de ise sistemde kuru hava kullanılması sonucunda zamana bağlı olarak elde edilen amper – voltaj değişimi sunulmuştur.

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda kuru hava kullanılarak oluşan plazma boyunun amper değerine bağlı olarak değişimi Şekil 43’te sunulmuştur. Artan amper değerine bağlı olarak plazma boyunda artış görülmektedir.

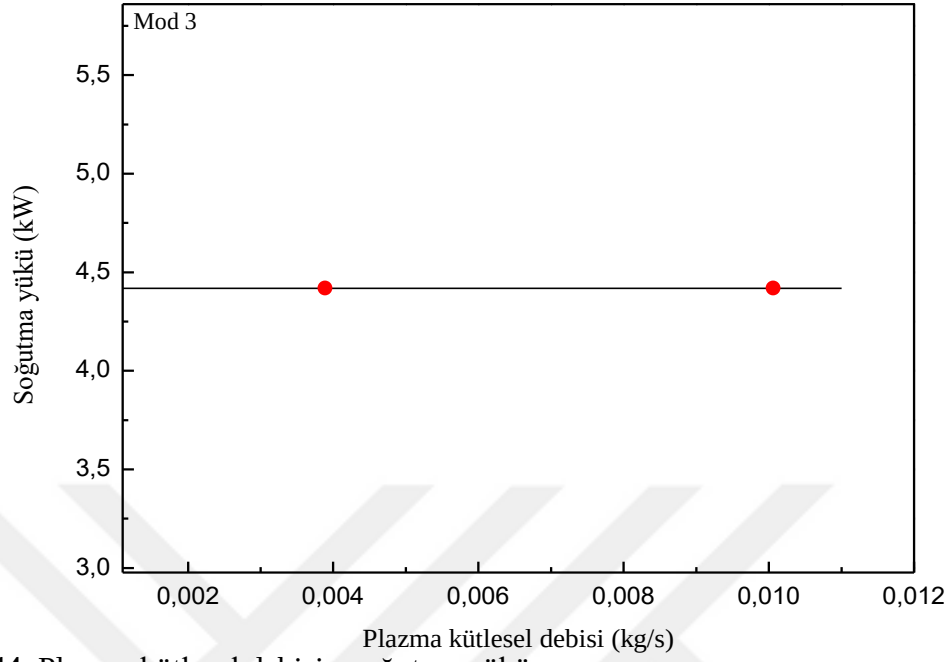


Şekil 43. Amper değişimine bağlı olarak plazma boyu.

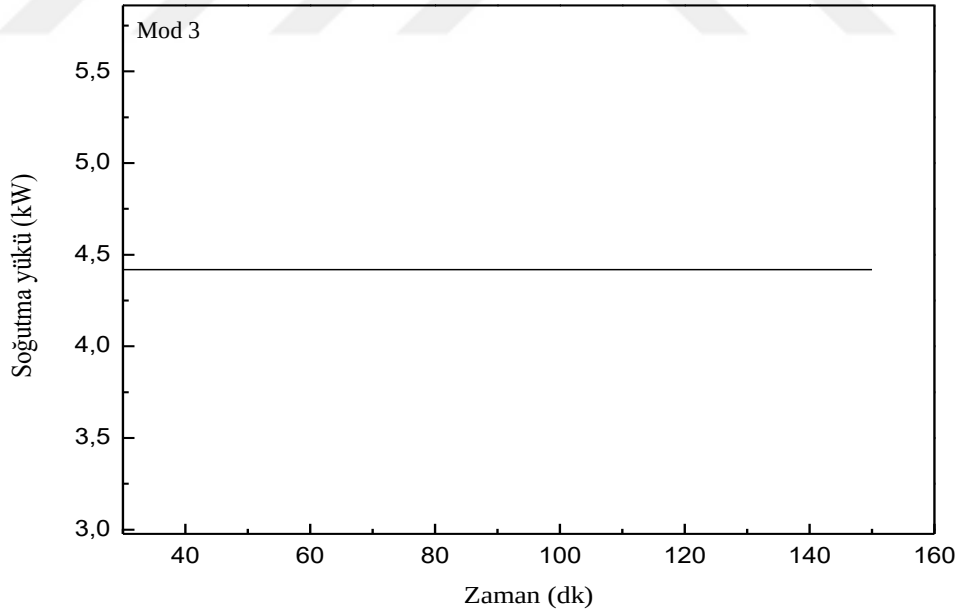
Deneyisel Çalışma 2: Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda ana taşıyıcı gaz olan kuru hava ve kızgın buhar karışımı kullanılarak çalıştırılması ile sistemde 30 kW elektrik gücü ölçümü yapılmıştır. Kızgın buhar ile yapılan deneyisel çalışma 20 dakikalık bir sürede yapılmıştır. Yapılan deney çalışması sırasında zamana bağlı soğutma yükünde değişim olmamıştır. Bu deneyisel çalışmada alınan veriler verim hesaplarında kullanılmıştır. Tek deney yapma imkanı olduğundan grafik olarak gösterilmesine ihtiyaç duyulmamıştır.

Deneyisel çalışma 3: Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ana taşıyıcı gaz olan kuru hava ile argon gazı kullanılarak alınan ölçümler sonucunda grafikler oluşturuldu. Şekil 44’te görüldüğü gibi doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda plazma debisinin arttığı ve buna bağlı olarak soğutma yükünün sabit kaldığı görülmektedir.

Soğutma yükünün sabit kalmasının nedeni ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun etkin soğutma yüküne sahip olmasıdır. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçuna sağlanan soğutma yükü kaynağının kapasitesinin maksimumunda çalıştırılıyor olması ve kapasitesi güce bağlı olarak değişmemektedir.

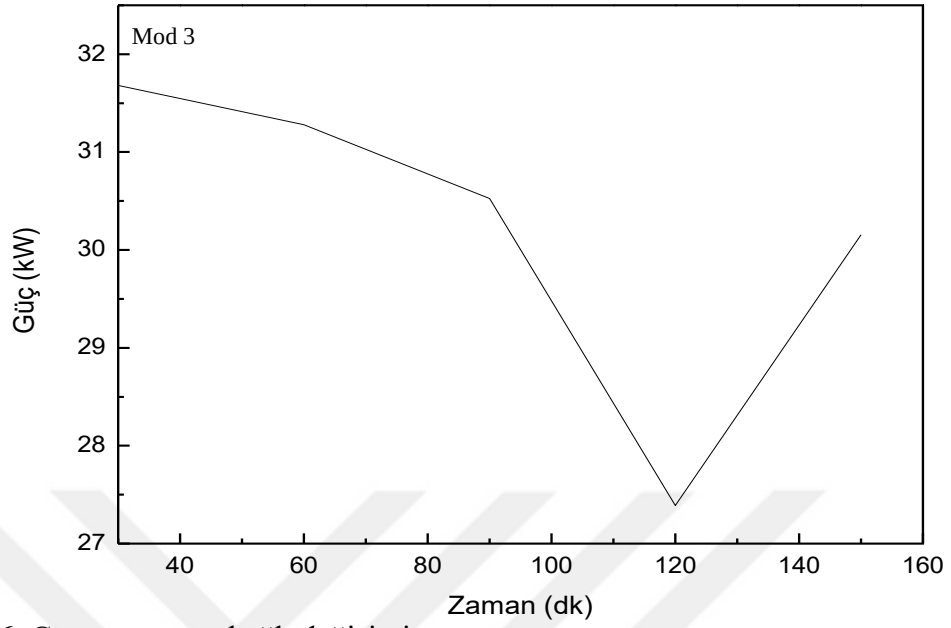


Şekil 44. Plazma kütleli debisi - soğutma yükü.



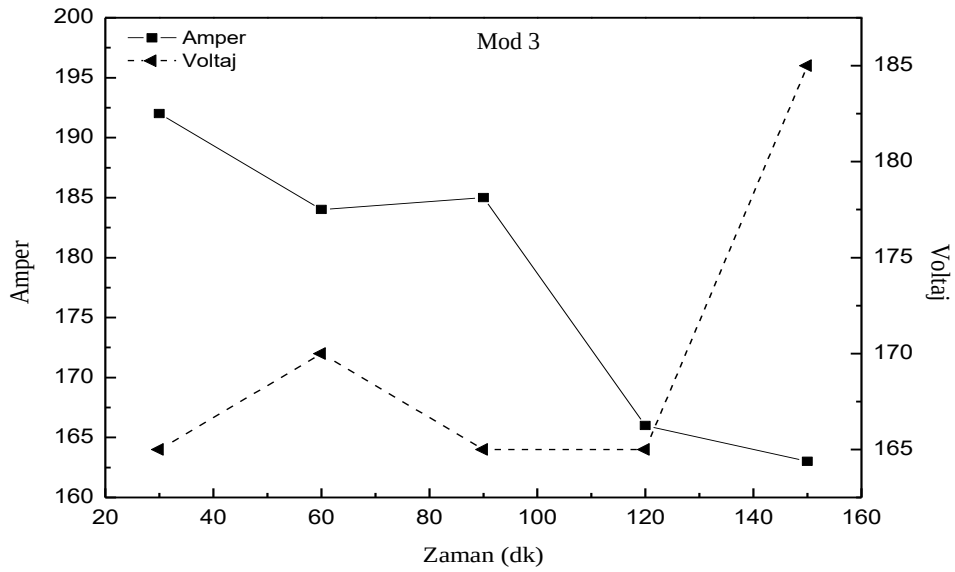
Şekil 45. Zamana bağlı olarak soğutma yükünün karşılaştırılması.

Şekil 45'te ise zamana bağlı olarak soğutma yükü karşılaştırılması verilmiştir. Soğutma yükünde zamana bağlı olarak değişim gerçekleşmemiştir.



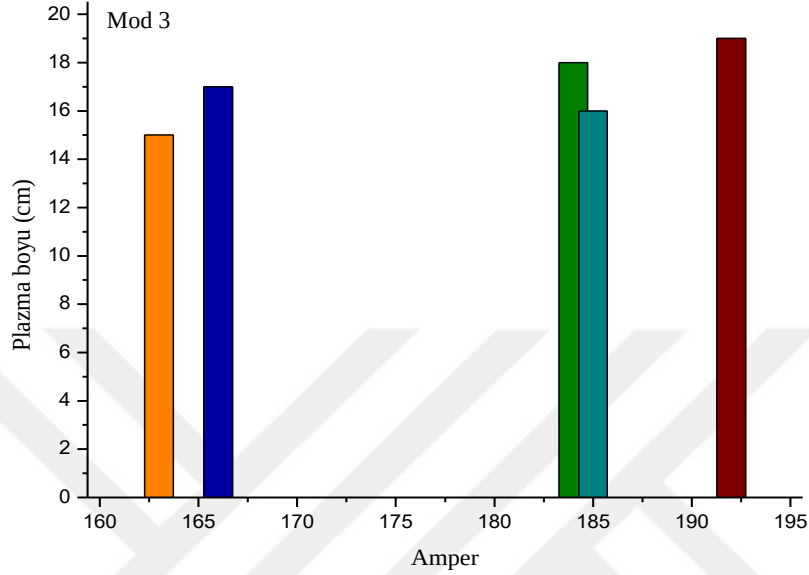
Şekil 46. Gücün zamana bağlı değişimi.

Şekil 46’da ise doğru akım ark plazma gazlaştıma torçunun kuru hava ve argon gazının deneysel çalıştırılması ile sistemde ölçülen güç değerinin zamana bağlı olarak değişimi sunulmuştur.



Şekil 47. Zaman ile amper – voltaj değişimi.

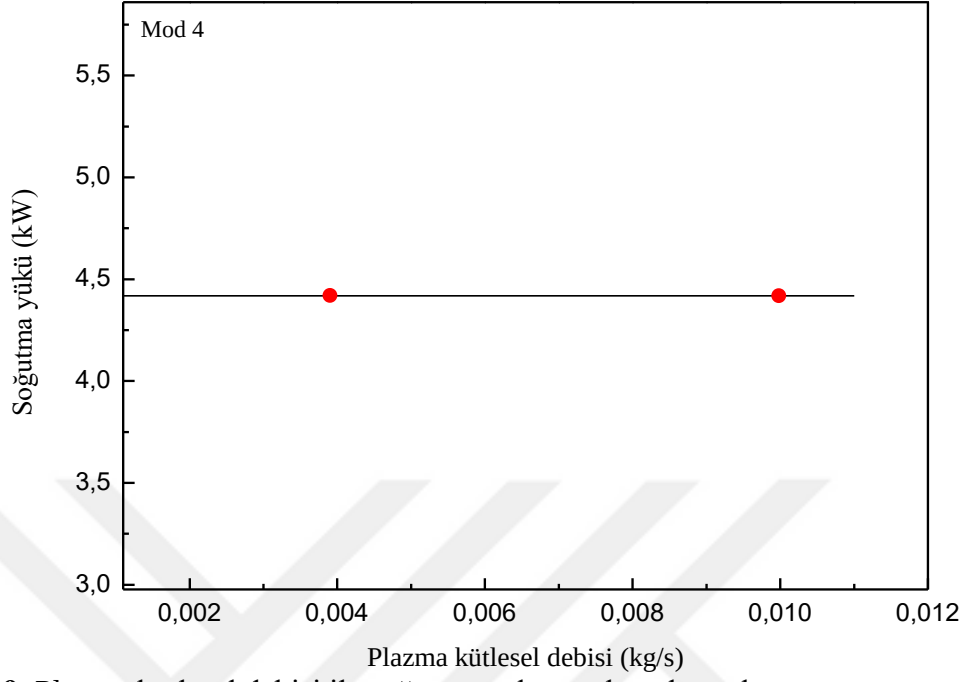
Şekil 47’de ise sistemde zamana bağlı olarak ölçülen amper ve voltaj değerlerinin değişimi sunulmuştur. Sistemde yarım saatte bir ölçümleri alınan amper ve voltaj değerlerinde artış ve azalış olduğu görülmektedir.



Şekil 48. Amper – plazma boyu karşılaştırılması.

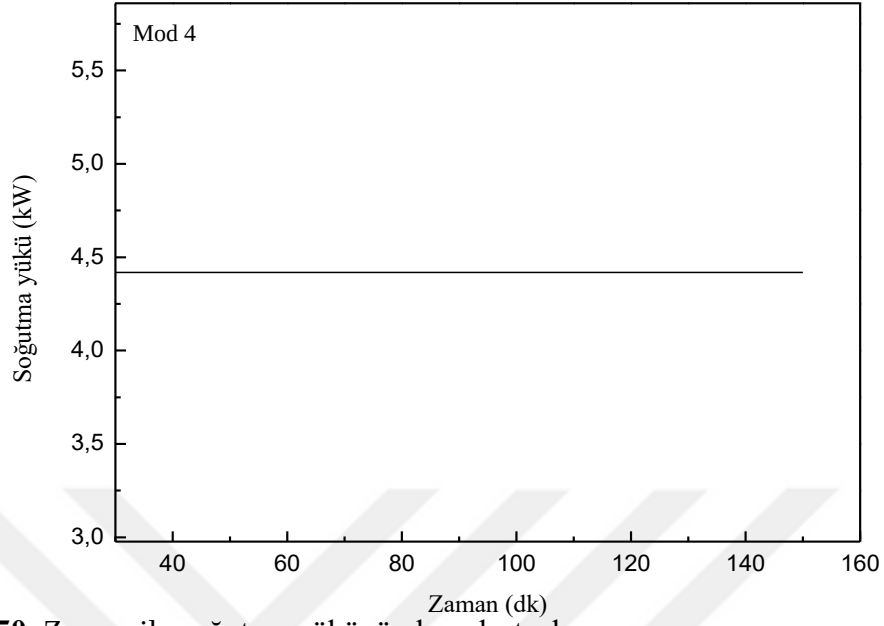
Şekil 48’de ise ölçülen amper değerine karşılık gelen plazma boyunun karşılaştırılması sunulmuştur. Ölçümler yarım saatlik periyotlarda yapılmıştır.

Deneyisel çalışma 4: Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ana taşıyıcı gaz olan kuru hava ile azot gazı kullanılarak alınan ölçümler sonucunda grafikler oluşturuldu.



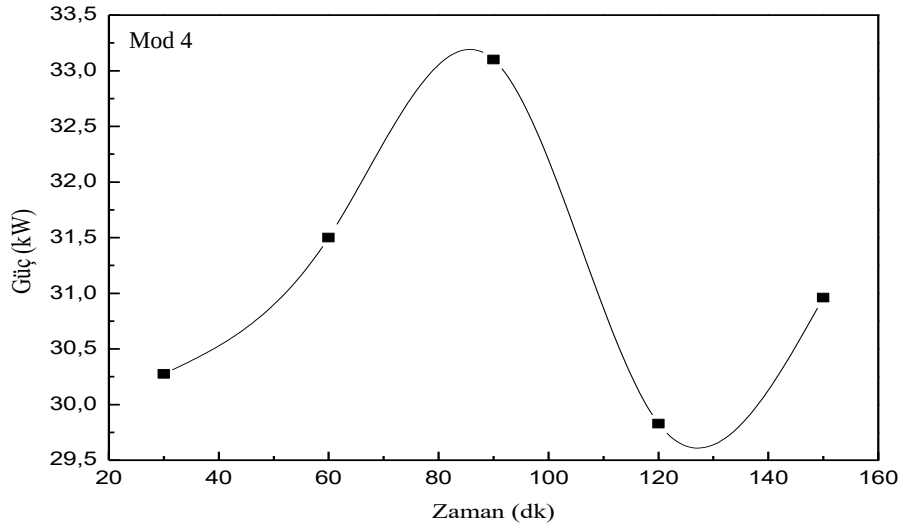
Şekil 49. Plazma kütleli debisi ile soğutma yükünün karşılaştırılması.

Şekil 49’da hava ve azot gazı kullanılarak oluşturulan plazma kütleli debisinin artmasıyla soğutma yükü sabit kalmıştır. Soğutma yükünün sabit kalmasının nedeni ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun etkin soğutma yüküne sahip olmasıdır. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçuna sağlanan soğutma yükü kaynağının kapasitesinin maksimumunda çalıştırılıyor olması ve kapasitesi güce bağlı olarak değişmemektedir.



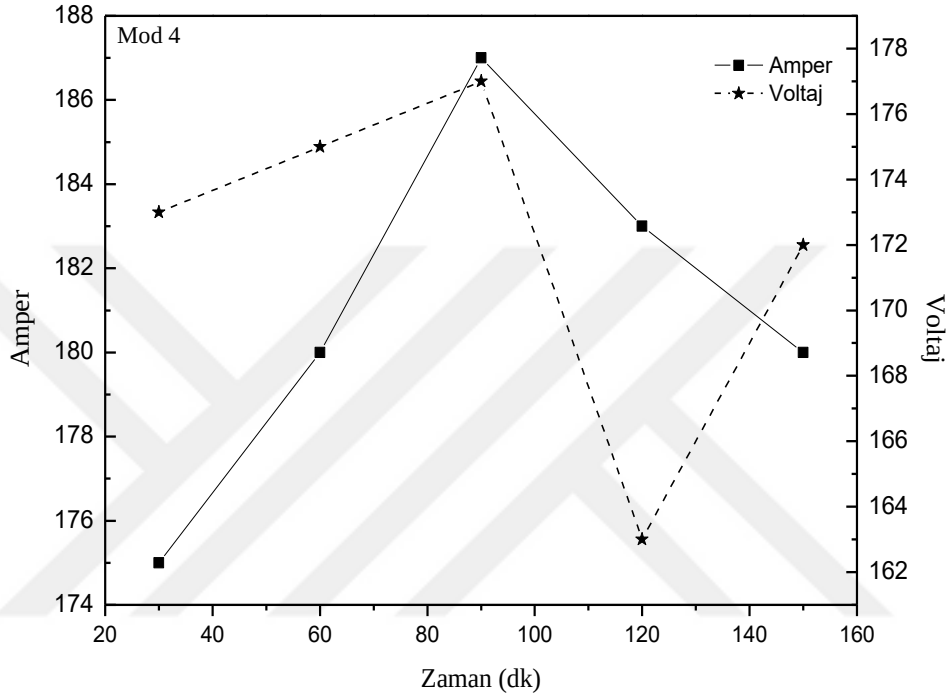
Şekil 50. Zaman ile soğutma yükünün karşılaştırılması.

Şekil 50’de ise zamana bağlı olarak soğutma yükü karşılaştırılması verilmiştir. Soğutma yükünde zamana bağlı olarak değişim gerçekleşmemiştir.



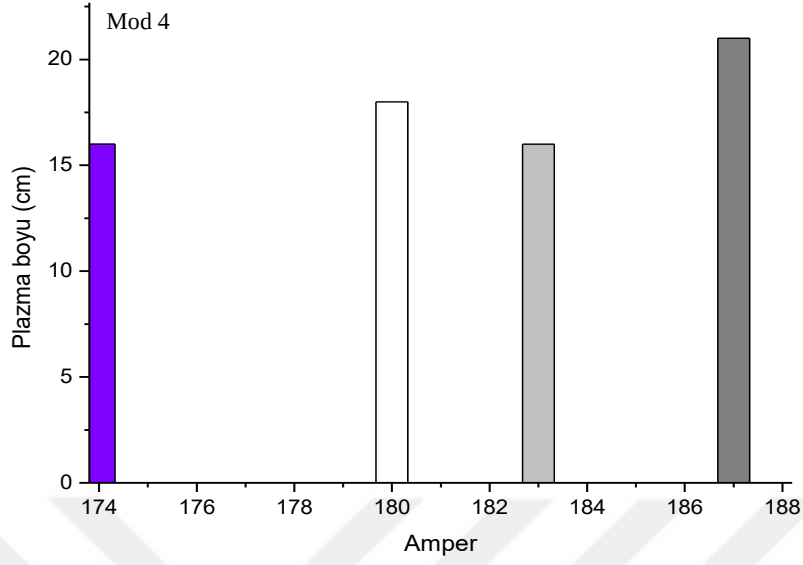
Şekil 51. Güç değerinin zamana göre değişimi.

Şekil 51’de doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunda kullanılan güç değerinin zamanla yapmış olduğu değişimi göstermektedir. Sistemde kullanılan amper ve voltaj değerleri her 30 dakikalık periyotlar aralığında ölçülmüş ve oluşan değişim ise Şekil 52’de sunulmuştur.



Şekil 52. Amper ve voltajın zamana bağlı değişimi.

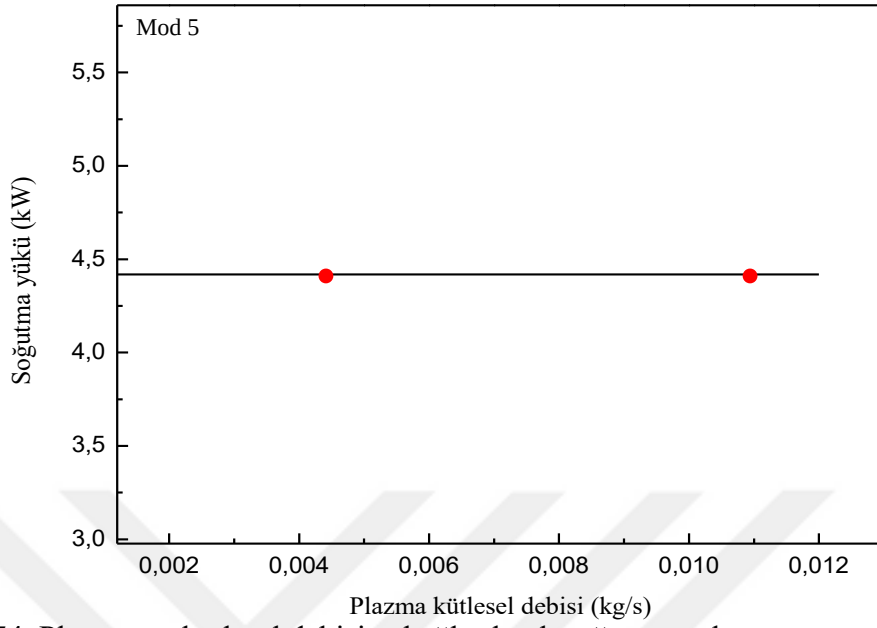
Şekil 53’te ise amper değerine bağlı olarak plazma boyu sunulmuştur. Yapılan ölçümler iki farklı akım değerinde (175 A ve 183 A) aynı plazma uzunluğunu vermiştir.



Şekil 53. Plazma boyunun ampere bağlı değişimi.

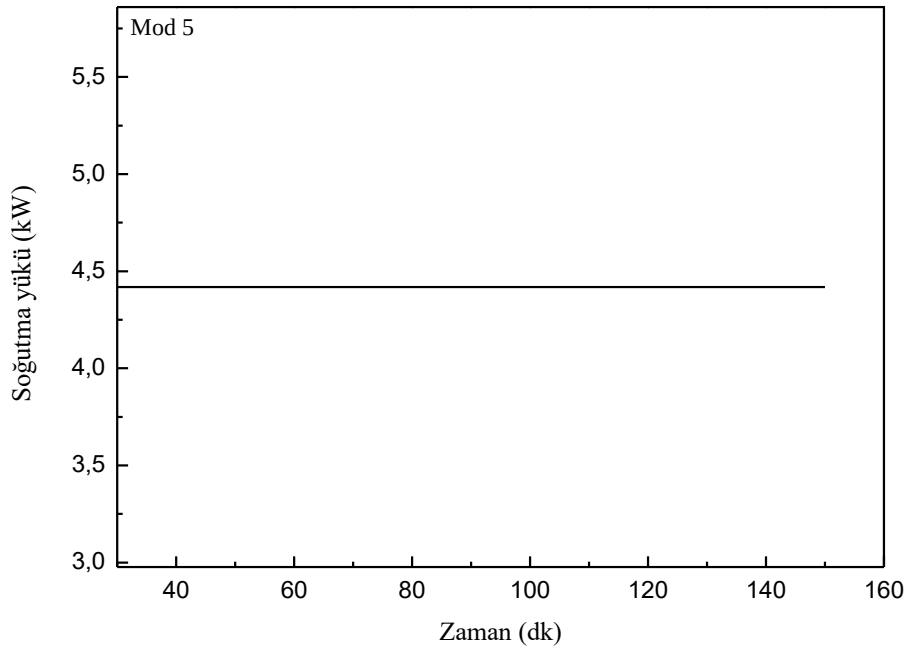
Deneysel Çalışma 5: Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ana taşıyıcı gaz olan kuru hava, argon ve azot gaz karışımı kullanılarak alınan ölçümler sonucunda grafikler oluşturuldu.

Şekil 54’te hava, argon ve azot gazları kullanılarak oluşturulan plazma kütleli debisinin artmasıyla soğutma yükü sabit kalmıştır. Soğutma yükünün sabit kalmasının nedeni ise doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun etkin soğutma yüküne sahip olmasıdır. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçuna sağlanan soğutma yükü kaynağının kapasitesinin maksimumunda çalıştırılıyor olması ve kapasitesi güce bağlı olarak değişmemektedir.



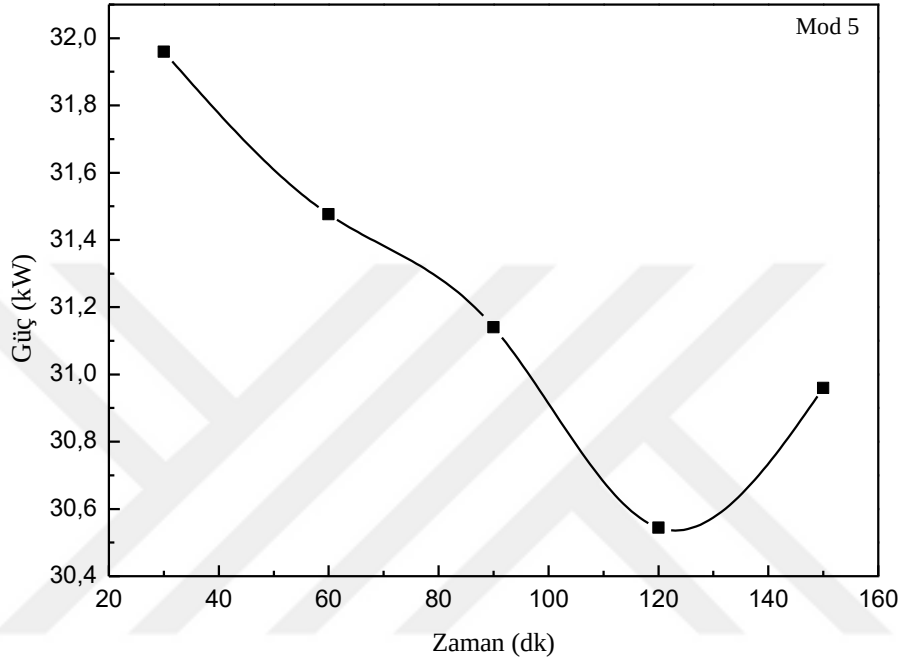
Şekil 54. Plazmanın kütleli debisine bağılı olarak soğutma yükü.

Şekil 55’te ise zamana bağılı olarak soğutma yükü karşılaştırılması verilmiştir. Soğutma yükünde zamana bağılı olarak değişim gerçekleşmemiştir.



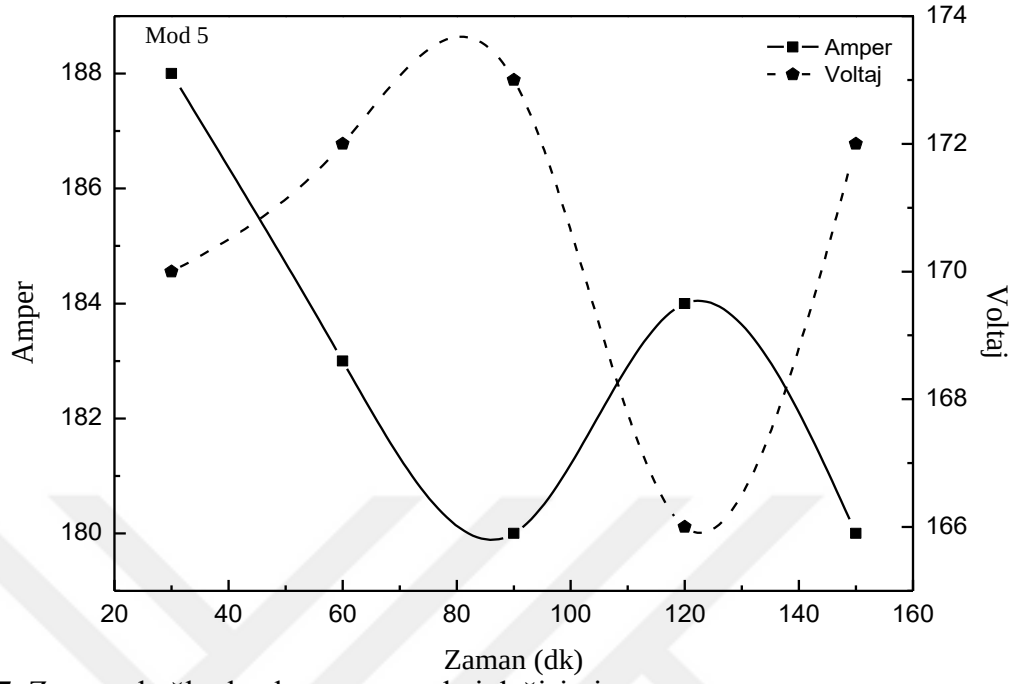
Şekil 55. Soğutma yükü – zaman ilişkisi.

Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu hava, argon ve azot gaz karışımları ile çalıştırıldığında sistemden ölçülen güç değerinin zaman ile ilişkisi Şekil 56’da sunulmuştur. Deneysel çalışma 5’te sistemde zamana bağlı olarak ilk dört ölçümde güç değerinde azalma olduğu ve son ölçümde tekrar arttığı görülmektedir.

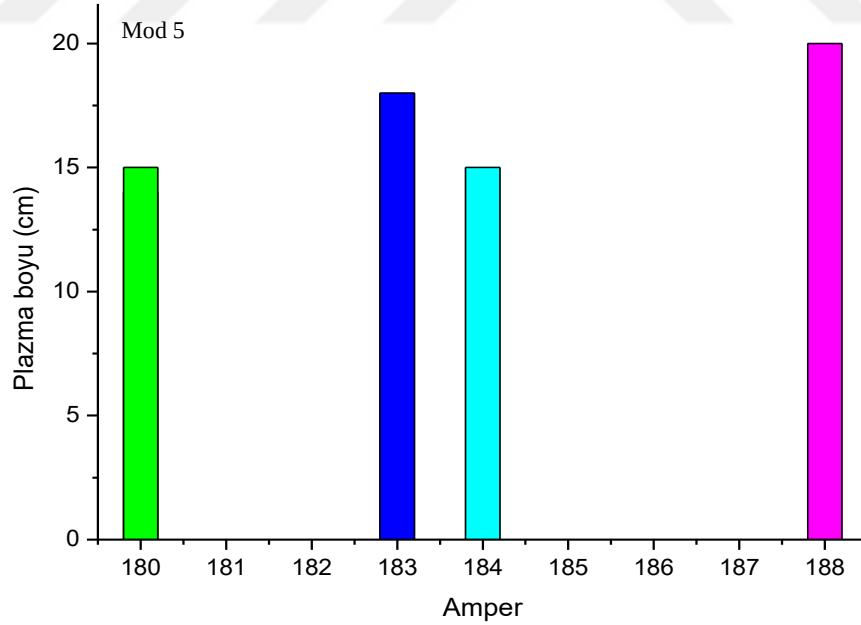


Şekil 56. Güç değerinin zamana göre değişimi.

Şekil 57’de doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, hava, argon ve azot gaz karışımları ile çalıştırıldığında sistemden ölçülen amper ve voltaj değerinin zaman ile ilişkisi sunulmuştur. Amper ve voltaj değerleri birbirlerine zıt olarak artış ve azalış olduğu görülmektedir. Şekil 58’de ise amper değerine bağlı olarak ölçülen plazma boyunun karşılaştırılması sunulmaktadır.



Şekil 57. Zamana bağlı olarak amper – voltaj değişimi.



Şekil 58. Amper değeri ile plazma boyu karşılaştırılması.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, bir ön karışım odalı doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun termodinamik modelinin performans analizi yapıldı ve deneysel çalışmalar ile deneysel performansı araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma verilerinden yararlanılarak analizler beş farklı mod için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, ön karışım odalı doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ile elde edilen temel sonuçlar aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun soğutma yükü yapılan analiz sonucunda 4,418 kW olarak hesaplanmıştır. Sistemde soğutma yükü zamana ve plazma debi artışına bağlı olarak değişmemektedir. Bu durum, çiller cihazının yükünün devamlı sabit olması ve çalışma basıncının sabit tutulması sonucunda sistemde sürekli aynı soğutma gerçekleşmektedir.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, Mod 1 durumunda ana taşıyıcı gaz olan kuru hava kullanıldı. Sisteme sağlanan 30,8 kW elektrik gücü ve kuru hava kütleli debisinin 0,0091 kg/s olması durumunda, oluşan plazma entalpi değeri 2891,452 kJ/kg, plazma enerji değeri 26,427 kW ve verimi %85,6 olarak hesaplanmıştır.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, Mod 1 durumunda ana taşıyıcı gaz olan kuru hava kullanıldı. Sisteme sağlanan 30,8 kW elektrik gücü ve kuru hava kütleli debisinin 0,0036 kg/s olması durumunda, oluşan plazma entalpi değeri 7333,285 kJ/kg, plazma enerji akımı 26,39 kW olarak hesaplanmıştır.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, Mod 2 durumunda ana taşıyıcı gaz olan kuru havanın kütleli debisi 0,0091 kg/s ile birlikte kızgın buharın kütleli debisi 0,00091 kg/s kullanılması sonucu oluşan plazmanın oluşturduğu enerji akımı 28,12 kW, plazma entalpi değeri 2796,777 kJ/kg ve verimi %86,4 olarak hesaplanmıştır.

- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, Mod 2 durumunda ana taşıyıcı gaz olan kuru hava kütleli debisi 0,0036 kg/s ile birlikte kızgın buhar kütleli debisinin 0,00036 kg/s kullanılması sonucu oluşan plazmanın oluşturduğu enerji akımı 26,58 kW, plazma entalpi değeri 6712,357 kJ/kg olarak hesaplanmıştır.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, Mod 3 durumunda ana taşıyıcı gaz olan kuru hava kütleli debisi 0,0091 kg/s ile birlikte argon gazının kütleli debisi 0,00091 kg/s kullanılması durumunda sisteme sağlanan 30 kW elektrik gücü ile oluşan plazmanın entalpi değeri 2562,83 kJ/kg, plazma enerji akımı 25,76 kW ve verimi %85,3 olarak performans analizi ile hesaplanmıştır.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, Mod 3 durumunda ana taşıyıcı gaz olan kuru hava kütleli debisi 0,0036 kg/s ile birlikte argon gazı kütleli debisinin 0,00036 kg/s kullanılması durumunda sisteme sağlanan 30 kW elektrik gücü ile oluşan plazmanın entalpi değeri 6478,41 kJ/kg, plazma enerji akımı 25,65 kW olarak performans analizi ile hesaplanmıştır.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, Mod 4 durumunda ana taşıyıcı gaz olan kuru hava kütleli debisi 0,0091 kg/s ile birlikte azot gazı kütleli debisinin 0,00091 kg/s kullanılması durumunda sisteme sağlanan 30 kW elektrik gücü ile oluşan plazmanın entalpi değeri 2576,62 kJ/kg, plazma enerji akımı 25,905 kW ve verimi %85,4 olarak hesaplanmıştır.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, Mod 4 durumunda ana taşıyıcı gaz olan kuru hava kütleli debisi 0,0036 kg/s ile birlikte azot gazı kütleli debisinin 0,00036 kg/s kullanılması durumunda sisteme sağlanan 30 kW elektrik gücü ile oluşan plazmanın entalpi değeri 6492,20 kJ/kg, plazma enerji akımı 25,70 kW olarak hesaplanmıştır.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, Mod 5 durumunda ana taşıyıcı gaz olan hava ile birlikte azot ve argon gazları karışımının oluşturduğu plazmanın kütleli debisi 0,010968 kg/s kullanılmıştır. Bu durumda sisteme sağlanan 32 kW

elektrik gücü ile oluşan plazmanın entalpi değeri 2556,913 kJ/kg, plazma enerji akımı ise 28,044 kW ve verimi %86,3 olarak hesaplanmıştır.

- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu, Mod 5 durumunda ana taşıyıcı gaz olan hava ile birlikte azot ve argon gazları karışımının oluşturduğu plazmanın kütleli debisi 0,00432 kg/s kullanılmıştır. Bu durumda sisteme sağlanan 32 kW elektrik gücü ile oluşan plazmanın entalpi değeri 6426,809 kJ/kg, plazma enerji akımı 27,763 kW olarak hesaplanmıştır.
- Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; zamana bağlı olarak amper – voltaj değerleri, plazma uzunluğu, soğutma yükü için ölçümler yapılmıştır.

Yapılan çalışmada hesaplanan verim değeri, literatürde bulunan, (Tamošiūnas vd. (2011), Selvan vd. (2010)) çalışmalardaki verim değerinden daha yüksektir. Bunun nedeni ise, doğru akım ark plazma gazlaştırma torçu içerisinde gazların daha iyi karışabilmesi için ön karışım odası bulunmaktadır. Doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun ön karışım odasının bulunması sistemde daha iyi verim elde edilmesini sağlamaktadır. Literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırıldığında bu doğru akım ark plazma gazlaştırma torçunun daha verimli olduğu görülmektedir.

5. ÖNERİLER

- Sistemin farklı güçlerde ve soğutma yüklerinde test edilerek optimum işletme koşullarının belirlenmesi,
- Sistemin ekserji, eksergoekonomik, çevresel ve sürdürülebilirlik analizinin yapılması,
- Sistemin plazma kinetiğinin araştırılması,
- Sistemin sayısal modelinin geliştirilmesi,
- Sistemin daha büyük ölçekte endüstriyel boyutunun geliştirilmesi önerilir.



KAYNAKLAR

- Agon, N., 2015.** Development and Study of Different Numerical Plasma Jet Models and Experimental Study of Plasma Gasification of Waste. Doctoral Thesis. Ghent University, Faculty of Engineering and Architecture. Belgium. p: 210.
- Boulos, M.I., Fauchais, P. and Pfender, E., 1994.** Thermal Plasmas: Fundamentals and Applications. Plenum Press, New York.
- Boulos, M.I., Fauchais, P. and Pfender, E., 2017.** DC Plasma Torch Design and Performance. Handbook of Thermal Plasmas. Springer International Publishing.
- Chen, K. and Eddy, T.L., 1998.** A Thermodynamic Analysis of Nonequilibrium Argon Plasma Torches. Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 18, No. 1, 29-52.
- Chinè, B., 2017.** A Plasma Torch Model. Excerpt from the Proceedings of the 2017 COMSOL Conference in Rotterdam, Holland, 1-7.
- Çengel, Y.A. ve Boles, M.A., 2013.** Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla. Palme Yayıncılık, 7. Baskı, ISBN: 9786053551621.
- Djebarni, L., Mebdoua, Y. and Lahmar, H., 2013.** Calculation of DC arc plasma Torch current-voltage characteristics. Centre de Développement des Technologies Avancée, Algérie. ISBN 978-1-4673-5168-3/13. Pulsed Power Conference (PPC) 19th IEEE. 1-5.
- Fukanuma H., Huang R., Uesugi Y. and Tanaka Y., 2011.** An Improved Local Thermal Equilibrium Model of DC Arc Plasma Torch, IEEE Transactions on Plasma Science, Volume: 39 (10), 1974-1982.
- Gnedenko, V.G., Ivanov, A.A., Pereslavitsev, A.V. and Tresviatsky, S.S., 2006.** Calculation of DC Arc Plasma Torch Voltage-Current Characteristics Based On Steenbeck Model. Russian Research Center “Kurchatov Institute”, Russia, 75-80.
- Gomez, E., Rani, D.A., Cheeseman, C.R., Deegan, D., Wise, M. and Boccaccini, A.R., 2009.** Thermal plasma technology for the treatment of wastes: a critical review. Journal of Hazardous Materials 161, 614-626.
- Grigaitienė, V., Snapkauskienė, V., Valatkevičius, P., Tamošiūnas, A. and Valinčius, V., 2011.** Water vapor plasma technology for biomass conversion to synthetic gas. Catalysis Today 167, 135-140.
- Guo, Z., Yin, S., Qian, Z., Liao, H. and Gu, S., 2015.** Effect of the deviation of the current density profile center on the three-dimensional non-transferred arc plasma torch. Computers & Fluids 114 163-171.

- Hlína, J., Šonský, J., Něnička, V. and Zachar, A., 2005.** Statistics of Turbulent Structures in a Thermal Plasma Jet. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 38, 1760-1768.
- Hrabovský, M., 2002.** Generation of thermal plasmas in liquid-stabilized and hybrid DC-arc torches. *Pure Applied Chemistry*, 74(3):429-433.
- Hrabovský, M., Konrád, M., Kopecký, V., Hlína, J., Beneš, J. and Veselý, E., 1997.** Motion of Anode Attachment and Fluctuations of Plasma Jet in DC Arc Plasma Torches, *High Temperature Material Processes*, No. 1, 167-178.
- Hrabovský, M., Kopecký, V., Sember, V., Kavka, T., Chumak, O. and Konrad, M., 2005.** Properties of Hybrid Water/Gas DC Arc Plasma Torch. *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 34, 1-10.
- Janssens, S., 2007.** Modeling of heat and mass transfer in a reactor for plasma gasification using a hybrid gas-water torch. Thesis, Universiteit Gent. p: 90.
- Jie, M., Guang-Dong, W., Bao-Gen, S., Yi-Wen, Y. and Qi-Long, R., 2015.** Current-voltage characteristics of hydrogen DC plasma torches with different sizes in an external axial magnetic field. *Zhejiang University. Chin. Phys. B* Vol.24, No.6 065205. 1-4.
- Kline, S.J. and McClintock, F.A., 1953.** Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, *Mechanical Engineering*, p:3.
- Levitan, Y.S., 1996.** Electric Fluctuations Caused by Gasdynamic Turbulence in Electric-Arc Devices, *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 24, No. 1, 137-142.
- Mašláni, A., Sember, V. and Hrabovský, M., 2017.** Spectroscopic determination of temperatures in plasmas generated by arc torches. *Spectrochimica Acta Part B* 133, 14-20.
- Matveev, I.B., Tropina, A.A., Serbin, S.I. and Kostyuk, V.Y., 2008.** Arc Modeling in a Plasmatron Channel. *IEEE Transactions On Plasma Science*, Vol. 36, No. 1, 293-298.
- Midilli, A., 2001.** Doğal Vakum Tekniği ile Atıksuların Damıtılması. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 244 s.
- Midilli, A., Doğru, M. and Howarth, C.R., 2002.** Gasification of sewage sludge using a throatied downdraft gasifier and uncertainty analysis. *Fuel Processing Technology* 75, 55-82.
- Murphy, A.B. and Kovitya, P., 1993.** Mathematical model and laser scattering temperature measurements of a direct-current plasma torch discharging into air. *Journal of Applied Physics*, 73, 4759-4769.

- Ondac, P., Maslani, A., Hrabovský, M. and Jenista, J., 2018.** Measurement of Anode Arc Attachment Movement in DC Arc Plasma Torch at Atmospheric Pressure. Plasma Chem Plasma Process, DOI: 10.1007/s11090-018-9888-0.
- Pfender, E., Fincke, J. and Spores, R., 1991.** Entrainment of Cold Gas into Thermal Plasma Jet. Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 11, No. 4, 529-543.
- Ramachandran, K., Marques, J.L., Vaßen, R. and Stöver, D., 2006.** Modelling of arc behavior inside a F4 APS torch. Institute of Physics Publishing. J. Phys. D: Appl. Phys. 39, 3323–3331.
- Rutberg, P., Safronov, A., Popov, S., Surov, A. and Nakonechny, G., 2004.** Investigation of Voltage and Current Variations in a Multiphase AC Electric Arc System. Institute of Problems of Electrophysics of Russian Academy of Sciences. St.-Petersburg, Russia, 1-24.
- Selvan, B., Ramachandran, K., Sreekumar, K.P., Thiyagarajan, T.K. and Ananthapadmanabhan, P.V., 2010.** Numerical and experimental studies on DC plasma spray torch. Vacuum 84, 444-452.
- Shanmugavelayutham, G. and Selvarajan, V., 2003.** Electrothermal efficiency, temperature and thermal conductivity of plasma jet in a DC plasma spray torch. Vol. 61, No. 6, 1109–1119.
- Sunjuq W.K., 2016.** Argon DC Taşınımsız Ark Plazma Torçunun Üç Boyutlu Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 89 s.
- Szafański, A., Kamińska, A. and Bialek A., 2006.** Arc plasma torch modelling. Poznan University of Technology, Institute of Electric Power Engineering, Poland, 1-9.
- Tamošiūnas, A., Grigaitienė, V. and Valatkevičius, P., 2011.** Creation of linear DC plasma generator for pyrolysis/gasification of organic materials. Nukleonika, 56(2), 131-135.
- Trelles, J. and Chazelas, C., 2009.** Arc plasma torch modeling. Journal of Thermal Spray Technology, 18(5-6), 728-752.
- Trelles, J., Pfender, E. and Heberlein, J., 2006.** Multiscale Finite Element Modeling of Arc Dynamics in a DC Plasma Torch. Plasma Chemistry and Plasma Processing 26(6), 557-575.
- Venkatramani, N., 2002.** Industrial plasma torches and applications. Current Science, Vol. 83, NO. 3, 254-262.
- Zhukov, M.F. and Zasytkin, I.M., 2007.** Thermal Plasma Torches: Design, Characteristics, Applications. Cambridge International Science Publishing Ltd, Cambridge, United Kingdom, 384-426.

ÖZGEÇMİŞ

Handan DEMİRÇAY, 25/09/1993 tarihinde Rize’de doğdu. İlköğretimini 2008 yılında Rize/Merkez Kurtuluş İlköğretim Okulu’nda ve Ortaöğretimini 17/06/2011 yılında Rize/Merkez Fener Lisesi’nde tamamladı. 2012 tarihinde Bozok Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitime başladı. 2013 yılında yatay geçiş yaparak Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitime devam ederek 09/06/2016 tarihinde lisans eğitimini tamamladı. 2016 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir.