

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARK PLAZMA GAZLAŞTIRMA SİSTEMİNE ENTEGRE BİR GAZ
TEMİZLEME VE PARTİKÜL TUTMA ÜNİTESİNİN
TASARIMI, İMALATI VE ÖN DENEYLERİ

SONER TOKÇALAR

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. ADNAN MİDİLLİ
TEZ JÜRİLERİ
PROF. DR. ARİF HEPBAŞLI
PROF. DR. HAYATİ OLGUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RİZE-2019

Her Hakkı Saklıdır

T.C.

RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARK PLAZMA GAZLAŞTIRMA SİSTEMİNE ENTEGRE BİR GAZ
TEMİZLEME VE PARTİKÜL TUTMA ÜNİTESİNİN TASARIMI, İMALATI
VE ÖN DENEYLERİ

Prof.Dr. Adnan MİDİLLİ danışmanlığında, Soner TOKÇALAR tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 03/10/2019 tarihinde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmzası

Başkan :Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Üye :Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

Üye :Prof. Dr. Hayati OLGUN

(Handwritten signatures of Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ, Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI, and Prof. Dr. Hayati OLGUN)

(Handwritten signature of Doç. Dr. Ferhat KALAYCI)
Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



ÖNSÖZ

Ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarımı, imalatı ve ön deneyleri için yapılan bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında “Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında danışmanlığımı yürüten, beni yönlendiren, tüm bilgi ve deneyimlerini hoşgörüsüyle sunan değerli hocam Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ hocama en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım gerçekleştirdiğim ve imkanlarından yararlandığım Makine Mühendisliği Bölümü *İnovasyon, Dizayn ve Analiz Laboratuvarı* (İDEA-L)’nin yönetimine ve tez çalışmam esnasında katkılarını benden esirgemeyen laboratuvar araştırmacıları Öğr. Gör. Ahmet İSMAİLOĞLU’ na, M. Emin DİKİCİ, Efe DURMAZ, Handan DEMİRÇAY ve Merve MEHAN’ a çok teşekkür ederim.

TÜBİTAK 117M436 nolu projeye sağladığı finansal desteklerinden dolayı TÜBİTAK’ a teşekkür ederiz.

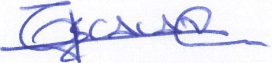
Ayrıca, tez çalışmam süresince bana büyük sabır gösteren ve her zaman yanımda olan aileme minnettarım.

Hazırlanan bu yüksek lisans tezi TÜBİTAK 117M436 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Soner TOKÇALAR

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Ark Plazma Gazlaştırma Sistemine Entegre Bir Gaz Temizleme ve Partikül Tutma Ünitesinin Tasarımı, İmalatı ve Ön Deneyle” 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. 03/10/2019.


Soner TOKÇALAR

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

ÖZET

ARK PLAZMA GAZLAŞTIRMA SİSTEMİNE ENTEGRE BİR GAZ TEMİZLEME VE PARTİKÜL TUTMA ÜNİTESİNİN TASARIMI, İMALATI VE ÖN DENEYLERİ

Soner TOKÇALAR

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

Bu tez çalışmasının temel amacı, ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarımını, imalatını yapmak ve ön deneylerini gerçekleştirmektir. Bu kapsamda, 50 m³/h gaz temizleme kapasiteli, modüler, geliştirilebilir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesi tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde el yapımı bir yakma ünitesinden elde edilen kömür egzoz gazı kullanılmıştır. Elde edilen verilere bağlı olarak gaz temizleme ve partikül tutma ünitesi iyileştirilmiş, akabinde ark plazma gazlaştırma sisteminde elde edilen sentez gazı kullanılarak ön deneyler tamamlanmış ve ünitenin gaz soğutma ve partikül tutma performansı araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında, üretilen gaz hızı, su giriş-çıkış sıcaklık değerleri, suyun debisi, gaz giriş-çıkış sıcaklıkları ve partikül değerleri ölçülmüştür. Ayrıca, her bir çalışma modunda (tek kademeli gaz yıkama ve soğutma modu ve çift kademeli gaz yıkama ve soğutma modu) gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin partikül tutma performansı hesaplanmıştır. Sonuç olarak; yapılan ön deneyler neticesinde, el yapımı yakma ünitesinden elde edilen egzoz gazı tek kademeli gaz yıkama ve soğutma sırasında sistemin partikül tutma performansı ortalama %90 iken, çift kademeli partikül tutmada ise %98 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, ark plazma gazlaştırma sisteminden elde edilen sentez gazının çift kademeli gaz temizleme üniteli partikül tutma verimi % 98 olduğu belirlenmiştir. Üretilen yüksek gaz debisinden dolayı tek kademeli gaz yıkama ve soğutma işlemi yetersiz kaldığından kullanılmamıştır. Dolayısıyla, çift kademeli gaz yıkama ve soğutma modu, işletim güvenliği ve performans yüksekliği bakımından modüler ve esnek olması nedeniyle gaz soğutma, temizleme ve partikül tutma sistemleri için uygulamada yeni bir alternatif oluşturabileceği beklenmektedir.

2019, 72 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sentez Gaz, Kömür Egzoz, Partikül Tutma, Soğutma, Temizleme

ABSTRACT

DESIGN, MANUFACTURING AND PRE-EXPERIMENTS OF THE INTEGRATED GAS CLEANING AND PARTICLE CAPTURE UNIT IN ARK PLASMA GASIFICATION SYSTEM

Soner TOKÇALAR

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

The main purpose of this thesis is to design, manufacture and conduct the pre-experiments of a gas cleaning and particle capture unit integrated in the arc plasma gasification system. In this regard, a modular and developable gas cleaning and particle capture unit was designed and manufactured, which has a gas cleaning capacity of 50 m³/h. In the pre-experiments, exhaust gases produced from coal samples by using a hand-made small combustion unit was used. In accordance with the data obtained from pre-experiments, the gas cleaning and particle capture unit was improved, and the pre-experiments were conducted by using the synthesis gas from the arc plasma gasification of plastic wastes. During the pre-experimental studies, the produced gas velocity, water inlet-outlet temperatures, water flow rate, gas inlet-outlet temperatures and particle values were measured. Additionally, the particle capture performance of the gas cleaning and particle capture unit was estimated for each operating mode (single-stage washing and cooling mode and dual-stage washing and cooling mode). Accordingly, in the pre-experiments, the particle capture performance of the system during single-stage washing and cooling in case of the use of the hand-made combustion unit was determined to be 90% while that of the dual-stage washing and cooling mode was estimated to be 98%. In addition, due to the high synthesis gas flow rate, the single stage gas washing and cooling mode was not applied. The particle capture performance of the dual-stage washing and cooling mode during the arc plasma gasification was designated to be 98%. Thus, it is considered that the dual-stage washing and cooling mode for the particle capture will be a new alternate in practice in terms of the operational safety, efficiency, modularity and flexibility.

2019, 72 pages

Keywords: Synthesis Gas, Coal Exhaust, Particulate Capturing, Cooling, Cleaning

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi	2
1.3. Çalışma Sistematiği	3
1.3.1. Gaz Temizleme Sistemleri.....	3
1.3.1.1. Islak Filtre Sistemleri.....	4
1.3.1.2. Kanatlı Islak Filtre Sistemi	4
1.3.1.3. Dinamik Islak Filtre Sistemi	5
1.3.1.4. Venturi Islak Filtre Sistemi.....	5
1.3.1.5. Orifis Islak Filtre Sistemi.....	6
1.3.1.6. Kuru Filtre Sistemleri	6
1.3.1.7. Elektrostatik Filtre Sistemleri	6
1.3.2. Literatür Taraması.....	7
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	15
2.1. Teorik Çalışmalar	15
2.1.1. Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi	15
2.1.2. Tasarım Metodolojisi	16
2.1.2.1. Gaz Temizleme ve Partikül Tutma Verimliliği	16
2.1.2.2. Tasarım Ölçülerinin Belirlenmesi ve Verimlilik Analizi	18
2.1.3. Sistem Mekanik Tasarımı	19
2.1.3.1. Bakır Sepeti Grubu	22
2.1.3.2. Damlama Sıvı Çıkış Grubu.....	23
2.1.3.3. Şemsiye Tipi Sıvı Çıkış Grubu	24

2.1.3.4.	Nem – Parçacık Tutucu Grubu	24
2.1.3.5.	Ana Bağlantı Grubu	25
2.1.3.6.	Ana Gövde	25
2.1.3.7.	Sistem Şasesi.....	26
2.1.3.8.	Sistem Montajı.....	27
2.1.4.	Sistem Akışkanlar Dinamiği Analizi	29
2.2.	DeneySEL ÇALIŞMALAR	30
2.2.1.	DeneySEL Kabuller.....	30
2.2.2.	Ölçülebilen Büyüklükler.....	30
2.2.3.	DeneySEL Sistem Verimliliği	31
2.2.4.	Belirsizlik Analizi	31
2.2.5.	Deney Verilerinin Kaydedilmesi	33
2.2.5.1.	Sıcaklık Ölçümü	34
2.2.5.2.	Soğutucu Akışkanın Debi Ölçümü	35
2.2.5.3.	Gaz Akış Hızı Ölçümü.....	36
2.2.5.4.	Gaz Partikül Ölçümü	36
2.2.6.	Partikül Üreticinin Hazırlanması	39
2.2.7.	Ön Deneme Ölçüm Çalışmaları	39
3.	BULGULAR.....	42
3.1.	Kömür Yanmalı Gaz Temizleme ve Partikül Tutma Ön Deneyleri	42
3.2.	Ark Plazma Gazlaştırmalı Gaz Temizleme ve Partikül Tutma Ön Deneyleri.....	59
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	62
5.	ÖNERİLER.....	66
	KAYNAKLAR	68
	EKLER	71
	ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Geliştirilecek olan gaz temizleme ve partikül tutma sistemi için şematik gösterimi	16
Şekil 2.	Ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesine ait tasarım görünümü.	20
Şekil 3.	Gaz temizleme ve partikül tutma işlemi için ovma sıvısı akış şeması.....	20
Şekil 4.	Gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarım görünümü.	22
Şekil 5.	Bakır sepeti grubu tasarım görünümü.	23
Şekil 6.	Yağmurlama- damlama sıvı çıkış grubu tasarım görünümü.	23
Şekil 7.	Şemsiye tipi sıvı çıkış grubu tasarım görünümü.	24
Şekil 8.	Nem – parçacık tutucu grubu tasarım görünümü.	25
Şekil 9.	Ana bağlantı grubu tasarım görüntüsü.	25
Şekil 10.	Tasarlanan sisteme ait a)ana gövde bölme b)ana gövde orta bölme c)ana gövde üst bölme görünümleri.	26
Şekil 11.	Tasarlanan sistemin kesit görünümü.	26
Şekil 12.	Gaz soğutma ve temizleme sistemine ait tasarım görünümü.	27
Şekil 13.	Tasarım montaj görünümü.	28
Şekil 14.	Montajı yapılmış yıkama ünitesine ait a)gaz giriş b)gaz çıkış görünümü. ..	28
Şekil 15.	Sonlu elemanlar akışkanlar dinamiği hesaplama sonrası akış görünümü....	29
Şekil 16.	Ön denemeler sırasında ölçüm alınacak noktaların şematik gösterimi.....	33
Şekil 17.	CHY marka sıcaklık ölçer görünümü.	35
Şekil 18.	Soğutucu akışkanın debi ölçümü.	35
Şekil 19.	Testo 435 anenometre gösterimi.	36
Şekil 20.	Bosch marka BEA 070 model emisyon ölçüm sistemi gösterimi.....	37
Şekil 21.	Gaz giriş partikül ölçüm noktası.	38
Şekil 22.	Gaz çıkış partikül ölçüm noktası.....	38
Şekil 23.	Sobada yakılacak kömürün gösterimi.	39
Şekil 24.	Yıkama ünitesi şaft borusu ve şemsiyesi görünümü.	40
Şekil 25.	Tek üniteli yıkama sistemi gösterimi.	40
Şekil 26.	Çift üniteli yıkama sistemi gösterimi.	41
Şekil 27.	Tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ünitesine ait su perdesi görünümü.	43

Şekil 28.	Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme gaz ovma sıvısı sıcaklık-zaman değişim grafiği.....	44
Şekil 29.	Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme egzoz gazı sıcaklık-zaman değişim grafiği.....	44
Şekil 30.	Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme egzoz gazı partikül miktarı-zaman değişim grafiği.	45
Şekil 31.	Düşük sıcaklık tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön denemelerinde periyodik olarak sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının sıcaklığı, egzoz gazının sıcaklık ve partikül indirgeme grafiği.	46
Şekil 32.	Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme gaz ovma sıvısı sıcaklık-zaman değişim grafiği.....	47
Şekil 33.	Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme egzoz gazı sıcaklık-zaman değişim grafiği.....	48
Şekil 34.	Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme egzoz gazı partikül miktarı-zaman değişim grafiği.	48
Şekil 35.	Yüksek sıcaklık tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön denemelerinde periyodik olarak sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının sıcaklığı, egzoz gazının sıcaklık ve partikül tutma grafiği.	50
Şekil 36.	Çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ünitesine ait su perdesi görünümü.	51
Şekil 37.	Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme gaz ovma sıvısı sıcaklık-zaman değişim grafiği.....	52
Şekil 38.	Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı sıcaklık-zaman değişim grafiği.....	52
Şekil 39.	Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı partikül miktarı-zaman değişim grafiği.	53
Şekil 40.	Çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön denemelerde periyodik olarak sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının sıcaklığı, egzoz gazının sıcaklık ve partikül indirgeme grafiği.	54
Şekil 41.	Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme gaz ovma sıvısı sıcaklık-zaman değişim grafiği.....	55
Şekil 42.	Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı sıcaklık-zaman değişim grafiği.....	56

Şekil 43.	Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı partikül miktarı-zaman değişim grafiği.	56
Şekil 44.	Yüksek Sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön denemelerde periyodik olarak sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının sıcaklığı, egzoz gazının sıcaklık ve partikül indirgeme grafiği.	58
Şekil 45.	Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme gaz ovma sıvısı sıcaklık-zaman değişim grafiği.	59
Şekil 46.	Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı sıcaklık-zaman değişim grafiği.	60
Şekil 47.	Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı partikül miktarı-zaman değişim grafiği.	60
Şekil 48.	Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın gaz temizleme ve partikül tutuma ön denemelerde periyodik olarak sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının sıcaklığı, egzoz gazının sıcaklık ve partikül indirgeme grafiği.	61
Şekil 49.	Düşük ve yüksek sıcaklık tek ve çift yıkama üniteli partikül tutma verimlilik grafiği.	63
Şekil 50.	Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın temizleme ve partikül tutma verimlilik grafiği.	64

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.	Literatürdeki çalışmaların özeti.	14
Tablo 2.	Ölçülebilen büyüklükler.....	31
Tablo 3.	Ölçüm esnasındaki belirsizlikler.....	32
Tablo 4.	İstasyonlardaki ölçüm alınacak birimleri.....	34
Tablo 5.	İstasyonlarda yapılan ölçümlerin toplam hata miktarı.....	34
Tablo 6.	Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz soğutma ve temizleme sistemine ait ölçüm sonuçları.....	43
Tablo 7.	Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz soğutma ve temizleme sistemine ait ölçüm sonuçları.....	47
Tablo 8.	Düşük sıcaklık çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ölçüm sonuçları.....	51
Tablo 9.	Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ölçüm sonuçları.....	55
Tablo 10.	Ark plazma gazlaştırıcıdan çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ölçüm sonuçları.....	59
Tablo 11.	Kömür yanmalı gaz temizleme ve partikül tutma verimliliği.....	63
Tablo 12.	Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın temizleme ve partikül tutma verimliliği.....	64

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AR-GE	Araştırma Geliştirme
A_{sc}	Gaz Temizleme Sistemi Gövde Alanı
C_2O	Karbondioksit
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
D	Ovma Sıvısı Damlacık Çapı
DLST	Çift Döngülü Püskürtme Kuleli Islak Yıkama
D_{sc}	Gaz Temizleme Sistemi Gövde Çapı
ESP	Elektrostatik Partikül Çöktürücü
H_2S	Hidrojen Sülfür
HC_1	Hidrokarbon
HF	Hidrojen florür
Hg	Cıva
L	Gaz Temizleme Sistemi Gövde Yüksekliği
N	Bir Grup Parçacık Tarafından Karşılaşılan Damlacıkların Sayısı
N_d	Ovma Sıvısının Damlacıklarının Saniyede Sayıca Düşüş Oluşumu
NH_3	Amonyak
NO	Azotmonoksit
O_2	Oksijen Gazı
pH	Hidrojen İyonlarının Eksi Logaritması
PM	Partikül Madde
RSP	Dönel Parçacık Ayırıcısı
Re_d	Reynolds Sayısı
S	Kükürt
SO_2	Kükürtdioksit
QCAT	Adsorpsiyon Teknolojisi İle Birleştirilmiş Su Verme
V_a	Singazın Akış Hızı
V_d	Damlacıkların Akış Hızı
V_∞	Ovma Sıvısının Damlaları İle Singazın Arasında Bağlı Akış Hızı
YÖM	Yıkayıcı Ölçek Modeli
ρ_d	Ovma Sıvısı Damlacık Yoğunluğu
ρ	Singazın Yoğunluğu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte insanlar, kendileri tarafından yaratılan çevresel tehditlerin daha fazla farkına varır hale gelmiştir. Yakılan maddenin çeşitliliği nedeniyle katı maddeden veya atıktan enerji dönüşümü yapan tesisler, hem otoriteler hem de toplumun sürekli gözetimi altında olduğundan baca gazı arıtma sistemlerinde yaşanan gelişmelere öncülük etmektedirler.

Asitli gazların, organik kirliliklerin ve ağır metallerin azaltılması, çevre ve insan hayatı üzerine önemli bir rol oynamaktadırlar. Özellikle atıktan enerjiye dönüşüm yapan tesislerde oluşan asit gazlarının etkisi ve korozyon problemleriyle bağlantısı iyi bilinmelidir. Daha önceki yüzyıllarda uygulanan vahşi depolama yöntemi son dönemlerde taşıdığı riskler sebebiyle geçerliliğini yitirmiştir. Bunun yerine daha modern ve daha verimli koşullar ile ilgili sürekli bir arayış devam etmekte sürekli yeni gelişmeler yaşanmaktadır.

Karar vericilerin toplum için yakma işleminin katı atık yönetimi seçeneği olarak kullanılıp kullanılmayacağına karar vermesi, ekonomik, sosyal ve halk sağlığı ile ilgili hususların göz önünde bulundurulmasını gerektiren zor bir süreci içerir. Yanma işlemi, sıcaklık ve oksijen kontrolü bakımından büyük ölçüde düzensizdir ve sonuç olarak, atıklar genellikle tamamen yanmaz. Bu da önemli miktarda hava kirletici emisyonu ve kül artığının kontrolsüz açığa çıkmasına neden olur. Atık yakma işleminin başlıca ürünleri, diğer tüm yakma işlemlerinde olduğu gibi, karbon dioksit (CO₂) ve su buharıdır, çünkü ortaya çıkan ana işlem atıktaki karbon ve hidrojenin oksidasyonudur. Aynı zamanda, yanma işlemlerinde artık (alt) kül ve uçucu kül (yakılamayan malzemeler) gibi yan ürünler üretilir ve egzoz gazında da organik ve inorganik bileşenler vardır. Bu kalıntıların bileşimi, yakılan atık akımının bileşimi, yanma işlemi ve yanma sonrası atık gazlarda meydana gelen reaksiyonlarla belirlenir. Çünkü girdi atıkları daha yüksek konsantrasyonlarda yakıt içermeyen bileşenlere sahip olabilir. Girdi atıkları, yakıt veya biyokütleden daha yüksek konsantrasyonlarda yakıt dışı bileşenlere (metaller, klor, kükürt ve azot bileşikleri) sahip olabileceğinden, yanma sonucu açığa çıkan atıklarda

daha fazla katı kalıntı (dip külü ve uçucu kül) ve atık gazda yanıcı veya biyokütleden daha yüksek miktarlarda eser bileşik konsantrasyonları bulunur.

Emisyonları kontrol etmedeki ilk adım, yakma fırınlarındaki oluşumlarını en aza indirmektir. Kirliliğin önlenmesi için ikinci adım, atık akışındaki kirletici öncüllerinin (örneğin, metaller, klor, kükürt ve azot) azaltılmasıdır. Bu tür tedbirler özellikle geri dönüşümü düşünülen ürünlerdeki kirliliklerden kurtulmayı sağlar.

Bu alanda baca gazı filtreleme sistemleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu alanda fiziksel ve kimyasal sorbsiyon çözümleri bulunmaktadır. Fiziksel sorbsiyon çözümleri katı ve sıvı olarak uygulanabilmektedir. İşletme ve bakım maliyetleri bakımından fiziksel sorbsiyon uygulamalarından olan ıslak gaz yıkama sistemleri, hem filtreleme hem de soğutma işlemleri olarak avantajlı çözüm sunmaktadır. Bu alanda yapılacak gelişmeler dünya ekolojisi üzerinde olumlu sonuçlar doğuracaktır.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi

Ark plazma gazlaştırıcıdan çıkan gazın elektrik üretiminde veya bir aracın yakıtı olarak kullanımından önce saflaştırılması gerekmektedir. Gazlaştırıcıdan çıkan gazın içerisindeki enerji içeriğini (metan içeriği) arttırmak için birçok yöntem geliştirilmiştir. Polietilen glikol ovma, kimyasal soğurma, basınç salınımlı soğurma, biyo damlatmalı filtreleme, kriyojenik ayırma, demir emme ortamı, biyolojik ovma ve en önemlisi su ovma teknolojisi bu işlemlerden bazılarıdır (Lantela, vd., 2012).

Bu tez çalışmasının temel amacı; ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarımı, imalatını ve ön deneylerini gerçekleştirmektir. Çalışma ürün odaklıdır. Ayrıca, bu tez çalışması ile üretimi gerçekleştirilmiş olan sistem sayesinde diğer araştırmacılara AR-GE yapabilecekleri temel bir ünite ortaya çıkacaktır.

Tez çalışmasının, aşağıda sıralanan bilimsel, akademik ve teknolojik yararları sağlayacağı beklenmektedir.

* Ark plazma gazlaştırma sisteminden çıkan gazın temizlenmesi ve partikül tutma ünitesi kapsamında yapılan çalışmaların literatüre katkı sunarak bilimsel nitelikli referans oluşturması,

* Ark plazma gazlaştırma sisteminden çıkan gazın temizlenmesi ve partikül tutması üzerinde yapılan bilimsel ve teknolojik çalışmalara yeni bir özellik katarak yeni nesil bir alternatif oluşturması,

* Ark plazma gazlaştırma sisteminden çıkan gazın temizlenmesi ve partikül tutması üzerinde geliştirilecek sistem ile bundan sonra bu alanda çalışacak akademisyenlere temel bir sistem oluşturması.

1.3. Çalışma Sistematiği

Bu tez çalışması kapsamında yapılan literatür araştırması; ark gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutması için kullanılan teknolojileri ve ıslak gaz yıkama sistemleri hakkında genel bilgileri ve yapılan çalışmalarını içermektedir.

1.3.1. Gaz Temizleme Sistemleri

Partikül temizleyiciler çevresel zararları azaltmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan partikül temizleyici tipleri elektrostatik çöktürücüler, venturi temizleyiciler, toz siklonlar, torba toplayıcılar ve ıslak santrifüj temizleyicilerdir. Temizleyici türü uygulamaya, maliyete, ortama göre seçilir. Yüksek toplama verimi gerekli değilse, o zaman toz siklonları normal olarak en ucuz seçenektir. Torba toplayıcıları ve elektrostatik çökeltme makineleri çok yüksek verimli partikül temizleme kabiliyetine sahiptir (URL-1, 2019).

Gaz temizleme sistemleri aşağıdaki gibi bölünebilir:

- Parçacıkların veya tozların giderilmesi.
- Suda çözünür gazların uzaklaştırılması: SO₂, HC₁, HF ve NH₃.
- NO_x emisyonlarının azaltılması
- Dioksin ve Cıva (Hg) gibi toksik maddelerin kaldırılması

Partikül temizleme sistemleri belirli bir kirleticiye özgü çözüm sunabilir. Bazen gerekli ilavelerle tüm gaz temizliği için uygun hale getirilebilir. Gerçek bir tesiste filtrasyon sistemleri emisyon limitleri, performans, güvenilirlik, maliyetler vb. parametrelere göre belirlenir. Kapsamlı bir değerlendirme yapıldıktan sonra, gerçek bir tesis için optimum bir kombinasyon sağlanır.

Islak yıkayıcılar, yüksek toplama verimliliğinin gerekli olduğu uygulamalarda kullanılır. Fosil yakıtla çalışan kazanların ürettiği zararlı gazların emisyonlarını ve tozlarını toplamak için kullanılan teçhizatlardır (Mussatti ve Hemmer, 2002).

1.3.1.1. Islak Filtre Sistemleri

1.3.1.2. Kanatlı Islak Filtre Sistemi

En basit yıkayıcı tipi sprej kulesidir. Bir püskürtme kulesinde, partikül yüklü hava, püskürtme memeleri tarafından üretilen bir sıvı sprej ile temas ettiği bir odaya geçer. Kuleler dikey veya yatay atık gaz akış yollarına yerleştirilebilir. Sıvı sprej, gaz akışına karşı, gaz akışıyla aynı yönde veya gaz akışına dik olarak yönlendirilebilir. Gaz akışı kulenin alt tarafından girmekte ve yukarı doğru akmaktadır. Su, kulenin duvarlarına monte edilmiş veya kulenin merkezindeki bir diziyeye monte edilmiş nozullardan aşağıya doğru püskürtülür. Su damlacıkları, çarpma, durdurma ve difüzyon yoluyla gaz akışında asılı parçacıkları yakalar. Büyük damlacıklar yerçekimi etkisiyle partikülleri kulenin dibinde toplar. Gaz akışında tutulan kalan damlacıklar, nozulların yukarısındaki bir sis giderici üzerinde toplanır (Davis, 2000).

Püskürtme kuleleri, özellikle çarpma yoluyla parçacık toplamaya dayanır; Bu nedenle, kaba PM için yüksek toplama etkinlikleri vardır. Bir püskürtme kulesi için tipik temizleme verimleri, 5 µm'den daha büyük parçacıklar için % 90 kadar büyük olabilir. Çapı 3 ila 5 µm arasında olan partiküller için temizleme verimleri % 60 ila 80 arasındadır. 3 mikronun altında, tutma verimleri % 50'nin altına düşer. Püskürtme kuleleri, asfalt tesisi agrega kurutucularından PM kontrolüne de uygulanabilir (Schiffner ve Hesketh, 1996).

Püskürtme kuleleri diğer ıslak temizleyicilerden daha düşük sermaye maliyetlerine sahiptir. Ayrıca, püskürtme kuleleri genellikle daha düşük güç tüketimine sahiptir ve kirlenmeye eğilimli değildir, bu nedenle işletme maliyetleri de daha düşüktür (Cooper ve Alley, 1994).

1.3.1.3. Dinamik Islak Filtre Sistemi

Dinamik temizleyiciler ayrıca mekanik destekli temizleyiciler veya parçalayıcı temizleyiciler olarak da bilinir. Bu tip temizleyici sprey kulelerine benzer, ancak temizleme sıvısını ince dağılmış damlacıklara ayıran rotor eklenmiştir. Rotor, bir kulenin içinde veya kulenin dışında bulunan kanala bağlanmış olarak, yerleştirilmiştir. Bir sis giderici veya siklonik ayırıcı, sıvıyı uzaklaştırır ve PM' yi yakalar. Çoğu dinamik yıkama sistemi, rotor alanındaki buharlaşmayı ve partikül birikimini azaltmak için rotorun önündeki atık gazı nemlendirir (Schiffner ve Hesketh, 1996).

Dinamik temizleyiciler ince PM' yi verimli bir şekilde temizler, ancak temizleyici sistemine bir rotor eklenmesi, belirsizlik maliyetlerini artırır. Nemli gaz akışı rotorları aşındırır ve onları paslandırır. Siklon gibi bir ön arıtma cihazı, büyük PM' yi atık gaz akışından çıkarmak için genellikle dinamik bir temizleyiciden önce gelir. Bu tür bir temizleyici için güç tüketimi de yüksektir, her 1000 acfm için 4 ila 10 kilowatt (kW)' tır (Avallone ve Baumeister, 1996).

1.3.1.4. Venturi Islak Filtre Sistemi

Bir venturi yıkayıcısının "sıvı karışım ayırıcısı" bir akış kanalı vardır. Bu tip bir sistemde kanalın kesit alanı azalır ve daha sonra kanal uzunluğu boyunca artar. En dar alan "boğaz" olarak adlandırılır. Yakınsak kısımda, alandaki düşüş atık gaz hızının ve türbülansın artmasına neden olur. Ovma sıvısı temizleyiciye ait boğazın biraz yukarısında veya doğrudan boğaz kısmına enjekte edilir. Ovma sıvısı, boğazdaki türbülansla atomize edilerek gaz-sıvı temasını artırır. Daha sonra gaz-sıvı karışımı, ayırıştırma bölümünden geçerken yavaşlar. Bu ise parçacık damlacığı etkilerine ve damlaların topaklanmasına neden olur. Sıvı damlacıklar daha sonra genellikle bir siklonik ayırıcı ve buğu giderici içeren bir sürüklenme bölümünde gaz akışından ayrılır (EPA, 1997).

Venturi yıkayıcıları püskürtme kulesi, siklonik veya tepsi kulesi yıkayıcılarından daha pahalıdır. Ancak ince PM için toplama verimliliği daha yüksektir. Venturi boğazındaki yüksek gaz hızları ve türbülans, çapı 1 µm'den daha büyük partiküller için % 70 ila % 99 arasında değişen yüksek toplama verimi sağlar (EPA, 1990).

1.3.1.5. Orifis Islak Filtre Sistemi

Darbe temizleyici olarak da adlandırılan bir delikli temizleyicide, gaz akımı, temizleyici bir sıvı havuzunun yüzeyinden akar. Gaz su yüzeyine çarptıkça, sıvı damlacıklarını sürükler. Atık gaz daha sonra yukarı doğru akar ve kanaldan daha dar bir açıklığa sahip bir deliğe girer. Delik, sürüklenen damlacıkları atomize eden akışta türbülansa neden olur. Atomize damlacıklar, PM' yi gaz akışında yakalar. Bir dizi bölme daha sonra aşağıdaki sıvı havuzuna düşen damlacıkları çıkarır. Bazı delik temizleyiciler gaz hızını kontrol etmek için ayarlanabilir deliklere sahiptir. Orifis yıkayıcılar, 50.000 scfm' ye kadar gaz akış hızları ve 23 g/m³ e kadar partikül yüklemeleri (scf başına 10 tane) barındırmaktadır. Bu tip temizleyicinin birincil avantajı, temizleyici sıvısı için yeni bir sirkülasyon pompasının ortadan kaldırılmasıdır. Bu çoğu temizleyici tasarımı için işletme maliyetlerine önemli bir katkı sağlamaktadır (EPA, 1990). Birincil dezavantaj, atık çamurun giderilmesinin zorluğudur. Çoğu yıkayıcı tasarımında, atık sürekli olarak alttan boşalır. Orifis yıkayıcılar statik bir ovma sıvısı havuzu kullanır, böylece atık çamur bir taşıma bandı gibi çalışan bir çamur ejektörüyle temizlenir (The Scrubber Manual, 1995).

1.3.1.6. Kuru Filtre Sistemleri

1.3.1.7. Elektrostatik Filtre Sistemleri

ESP (Elektrostatik Partikül Çöktürücü), toz parçacıklarını gidermek için elektrostatik yük kullanan bir hava filtreleme cihazıdır. ESP elektrotlara yüksek voltaj uygulayarak havayı iyonize eder. Toz parçacıkları iyonize hava ile doldurulur ve karşılıklı yüklü toplama plakaları üzerinde toplanır. Toz parçacıklarıyla hava akımı, birkaç kilovolttan on kilovolta kadar değişen negatif elektrik potansiyeli ile yüklü elektrotlar arasından geçer. Parçacıklar negatif olarak yüklenir ve ardından birkaç ila on kilovoltluk pozitif elektrik potansiyeli olan kolektör plakalara tutturulur. ESP, tozu ve

dumanı gazdan aktif olarak uzaklaştırdığından, sistem, çok miktarda duman üreten odun, dışkı ve düşük kaliteli kömür dahil olmak üzere çok çeşitli biyokütle için oldukça verimlidir. ESP' lerin toplama verimliliği (filtreye giren ve çıkan partikül sayım oranı) genellikle % 99' dan daha yüksektir (Mizuno, 2000).

Doğru tasarım yaklaşımının benimsenmesi koşuluyla, çok yönlü bir düşük güç ESP hava temizleyicisini uygulamak mümkündür. Ancak, mevcut tasarımlar büyük yer kaplar ve / veya güvenilir ve bol miktarda elektrik gücü kaynağına erişim gerektirir, çünkü bunlar büyük ölçüde fabrikalar ve elektrik santralleri için büyük ölçekli endüstri uygulamalarına odaklanarak geliştirilmişlerdir (Fisher, 2012).

1.3.2. Literatür Taraması

Ark plazma gazlaştırma sisteminden elde edilen gazın temizleme ve partikül tutma üniteleri hakkında detaylı bir literatür araştırması yapılarak, yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Ancak bu tez çalışmasının temel amacını oluşturan “ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarımı, imalatını ve ön deneyleri” konusunda tez teslimi itibariyle konuyu tamamen yansıtan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Hasler ve Nussbaumer (1999) yılında yaptıkları bir çalışmada sabit yataklı gazlaştırıcılarla yapılan farklı test çalışmalarında bir kum yatağı filtresinde, bir yıkama kulesinde, iki farklı kumaş filtresinde ve bir dönel parçacık ayırıcısında (RPS) katran ve parçacık toplama etkinlikleri belirlenmiştir. Sonuçlar, içten yanmalı motorlar için öngörülen gaz kalitesi gerekliliklerinin, en gelişmiş gaz temizleme teknikleriyle güvenli bir şekilde sağlanamayacağını ve % 90'lık partikül temizlemesinin, % 90 katran giderimi elde edilmesinden daha kolay olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmada birkaç MW' ın üzerindeki uygulamalar ve yüksek katran seviyesine sahip gazlar için kullanılabilen katalitik katran krakerleri dışında, araştırılan gaz temizleme sistemlerinin hiçbirinin % 90' ı aşan katran azaltımını güvenli bir şekilde karşılayamadıkları görülmüştür. Bu nedenle, küçük ölçekli gazlaştırıcılardan elde edilen biyokütle gazının başarılı bir şekilde

uygulanması için kilit konulardan birinin, daha fazla geliştirmeye ihtiyaç duyulan katran giderimi olduğu ileri sürülmüştür.

Jaworek vd. (2006), İnce parçacıklarla kontamine olmuş bir gazı temizlemek için yüklü bir damlacık kaynağı olarak çoklu nozullu elektrosprey sistemi geliştirilmiştir. Deneylerde parçacıklarının kaynağı olarak sigara dumanı kullanılmıştır. Sigara dumanı içindeki partiküllerin gazdan ayrılma etkinliği, damlacıklar elektriksel olarak yüklendiğinde, yüklenmemiş spreylere kıyasla, önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Diaz-Somoano vd. (2007), kömürle çalışan tesislerde cıva emisyon kontrolü için Islak yıkayıcıların temizleyici parametrelerinin cıva kontrolü için etkili tedbirler oluşturmak için cıva temizleme etkinliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. En kritik parametre ovma sıvısına at Ph ve konsantrasyonu etkili olduğu belirlenmiştir.

Bhave vd. (2008), gazlaştırıcıdan elde edilen gazların yakıt olarak kullanımına ilişkin yapılan bir çalışmada bu gazların kullanımdan önce soğutulmaları ve temizlenmesi problemi üzerinde durulmuştur. Çalışmada üretilen yakıt gazın soğutulması ve temizlenmesi için küçük uygulamalarda kullanılacak yeni ve kompakt bir ıslak yıkayıcı geliştirilmiştir. Bu yıkayıcı benzerlerindeki çok bölümlü sistemlerden farklı olarak tek parçalı bir dikey bir kuleden meydana gelmektedir. Kulede bulunan ıslak bölgenin üst kısmında 3 kademeli granül filtre kullanmışlardır. Granül olarak kum tercih edilmiştir. Kademelerde bulunan kum boyutları aşağıdan yukarıya doğru azalmaktadır. Bu sayede geliştirilen yıkayıcının giriş partikül seviyesini 600 mg/nm^3 'ten 150 mg/nm^3 'e düşürdüğü görülmüştür.

Carotenutoa vd. (2010)'ı, ıslak elektrostatik temizleyicilerdeki partikül temizleme verimliliğini değerlendirmek için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Literatürde bulunan farklı deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulanmışlardır.

Ryckebosch vd. (2011) biyogaz temizliği ve iyileştirilmesi için işleyiş, çalışma koşulları, verimlilik ve darboğazları ile ilgili çeşitli teknikleri gözden geçirmişlerdir.

Ali vd. (2012), yaptıkları bir çalışmada farklı yıkayıcı boyutlarının ve akış parametrelerinin, düşük yüklerde düşük verim, yüksek yüklerde ise damlacık taşınımı problemleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada hesaplamalı akış dinamikleri bulguları ile birlikte, çalışma, yüksek performans için çok önemli olan ve tasarım iyileştirmelerini gerçekleştirmek için temel olarak kullanılan yıkayıcı sıvısı akış düzeninin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Çalışma ile olası zayıf yıkayıcı performansının nedenleri belirlenmiş ve damlacık taşıma sorunu için düzeltici önlemler önerilmiştir. Daha sonra YÖM' de (Yıkayıcı Ölçek Modeli) uygulanan bu düzeltici önlemleri değerlendirmek için CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) modellenmesi kullanılmıştır. Hem CFD modellenmesi hem de ölçek modeli testleri, bu önlemlerin damlacık taşınmasını azaltacağını göstermiştir.

Akış görselleştirme deneyleri, çalkalama kanatlarının üzerindeki hareketlendirilmiş su banyosunun varlığı ve boyutunun YÖM' den geçen hava akışını doğrudan etkilediğini göstermiştir. Düşük hava akışında su banyosunun yokluğu, düşük toplama performansına sebep olurken, büyük bir su banyosunun varlığında buğu giderme kanatçıklarından geçen yüksek hava akışı, yüksek damlacık taşınmasını sağlamıştır. Bu durum, tam ölçekli ıslak santrifüj yıkayıcıların düşük ve yüksek gaz akışlarındaki davranışları ile tutarlıdır.

Omine vd., (2012) yaptıkları bir çalışmada kömür yakıtlı elektrik santrallerinde cıvanın uzaklaştırılmasında temel parametrelerin cıvanın uzaklaştırılmasını engelleyen elementel cıva oluşumu üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma, sulu iyonik yıkama çözeltilerinin indirgenen iyonik cıvayı elementel cıvaya indirgediğini bunun neticesinde cıva artıma veriminin düştüğünü göstermiştir. Deneyler laboratuvar ölçeğinde bir sıkıştırılmış kireç taşı yükseltgeme reaktöründe gerçekleştirilmiş ve yıkama sıcaklığı, pH, iyonik cıva konsantrasyonu, çözeltideki sülfür, klorür, bromür konsantrasyonu, O₂ ve CO₂ konsantrasyonunun cıvanın geri emisyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre oksitlenmiş cıva çözeltideki S(IV) tarafından indirgenir. Daha yüksek konsantrasyonlardaki sülfür, klorür ve bromür oksitlenmiş cıvanın elementel cıvaya dönüşümünü engellediği görülmüştür. Artan iyonik cıva konsantrasyonunun ve artan yıkayıcı, sıcaklık ve pH' ının daha fazla elementel cıvanın geri emülsiyonuna sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca yıkama çözeltisi ile temas halinde bulunan baca gazındaki

yüksek oksijen içeriğinin iyonik cıvanın elementel cıvaya dönüşümünü engellediği ancak CO₂ varlığının bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür.

Rameshkumar ve Mayilsamy (2012) yaptıkları bir çalışmada 50-70 °C gibi düşük sıcaklıklarda yüksek verimle çalışabilecek kompakt bir filtreyi tasarlamış ve performansını incelemiştir. Geliştirilen kompakt filtrenin performansı 20 kW'lık TNAU-SPRERI'nin gazlaştırıcısında incelenmiştir. Sonuçlar, tasarlanan filtre sisteminin katran kirliliğini % 93-97 aralığında düşürdüğü ve bu nedenle benzerlerinden önemli bir üstünlüğe sahip olduğunu göstermiştir. Bunun yanında deneysel sonuçlar katran ve partikül içeriğinin 1680 mg/nm³'ten 52 mg/nm³'e düştüğünü göstermiştir.

Bauer vd. (2013) biyogazın iyileştirilmesi için pazar durumunun son yıllarda, basınç salımlı tutma yönteminin baskın olduğu durumdan su ile ovmaya doğru dengelendiğini ortaya koymuşlardır.

D'Addio vd. (2013), ıslak mikrostatik fırçalamada mikron altı parçacıkların azaltılmasını incelemek için yeni laboratuvar ölçekli cihaz ve metodolojiler tasarlamış ve optimize etmiştir. Tasarladıkları sistemde, Bir tütsü çubuğunun yakılmasıyla bir yanma gazı üretilmekte ve parçacıklar bilinen bir düzeye kadar bir "wirecylinder" korona deşarj ünitesi ile doldurulmaktadır. Ölçülen parçacık büyüklüğü dağılımı 100 ila 450 nm arasında değişmekte olup, ortalama 230 nm civarındadır. Ölçülen parçacık yükü-kütle oranı, P-CMR, 75 ila 100 mC / kg arasında değişmiştir.

Lien vd.,(2014), domuz çiftliklerinden elde edilen biyogazdan H₂S'i gidermeye yönelik yaptıkları çalışmada şeffaf akrilik silindir kolonlu su ovma sistemi kullanmışlardır . Su içerisinde kolay çözünen H₂S'in biyogazdan uzaklaştırılma veriminin su seviye yüksekliği ile arttığı ancak biyogaz akış oranı ile azaldığını tespit etmişlerdir. Yazarlar ayrıca, suda çözünen H₂S miktarını arttırmak için suyun devir daim ettirilmesinin zorunluluğuna dair bulgularını da paylaşmışlardır.

Chien vd. (2015), çözünür gaz kirletici maddelerini kontrol etmek için paralel plakalı bir ıslak yıkama cihazı tasarlamışlardır. Tasarlanan sistemde partikülleri

indirmek için paralel bir plaka modülü geliştirmişlerdir. Sistemin verimliliği denemelerden elde edilen verilerle matematiksel modelin uyumlu olduğu görülmüştür

De Filippis vd. (2015) yapılan bir çalışmada zeytin kabuğu ile beslenen ve 250kWt kapasiteli orta ölçekli endüstriyel tesislerin deneysel sonuçları incelenmiştir. Tasarlanan gazlaştırıcı, katran dönüşüm reaksiyonları için tasarlanmış yüksek gözenekliliğe sahip alüminyum oksit küreler ile doldurulmuş ikincil sabit yataklı bir reaktör ve bir yukarı-çekme reaktöründen oluşur. Elde edilen singaz, 60 kWe'lık içten yanmalı bir motoru beslemek için kullanılmıştır. Sonuç olarak ikinci reaktör katran gideriminde % 50' den fazla bir azalma ile yüksek bir verimlilik izlenmiştir. Bir sonraki temizleme bölümünde, katranın daha da azaltılması gerçekleştirilebilmiştir. Singaz içindeki katran içeriği 100 mg/nm³ ten az olarak tespit edilmiştir. Bu durum tasarlanan reaktörün daha pahalı ve enerji tüketen saflaştırma işlemlerine gerek kalmadan birçok singaz uygulamasında doğrudan kullanımının mümkün olduğunu göstermiştir.

Olugasa ve Oyesile, (2015) inek gübresinden elde edilen biyogaza demir yünü dolgu yataklı su ovma işlemi uygulamışlar ve CO₂ oranını % 31 'den % 14 'e H₂S oranını da % 1 'den %0.4 'e düşürmeyi başarmışlardır. Böylelikle saflaştırılmamış gazdan elde edilen kg başına enerji miktarını 29 MJ 'den 41 MJ 'e çıkarmayı başarmışlardır.

Partikül maddelerinin yakıt gazından ayrılma teknikleri temel olarak üç kategoriye, yani ataletsel ayrıştırmaya, bariyer filtrasyonuna ve elektrostatik ayırmaya dayanır (Prabhansu, vd., 2015).

Sharifzadeh vd. (2015), CO₂ kullanımı ile biyokütle üretimi arasındaki sinerjiyi sağlamak için biyo-yağın biyokütle hızlı pirolizinden yükseltilmesinin önemini vurgulamışlardır.

Wu, vd. (2016), heterojen çekirdeklenme teorisi kullanılarak, ince parçacıkların kükürt giderilmiş baca gazından ayrılma performansını arttırmak için yeni bir işlem önermiştir. Önerilen sistemde gerekli olan aşırı doymuş atmosfer, kükürt giderme temizleyicisinin tepesinde bulunan büyüme bölgesine nemli hava eklenerek oluşturulur. İnce partiküllerin boyutu, heterojen yoğunlaşma genişler ve daha sonra yoğunlaşma ile

büyüyen damlacıklar, büyüme bölgesinin tepesine yerleştirilmiş bir tel örgü buğu çözücü tarafından yakalanır. Süper doygunluk derecesi ve nemli havanın ve kükürt giderilmiş baca gazının karıştırılmasından kaynaklanan yoğunlaşabilir buharın miktarı sayısal olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, ince tanecik giderme performansının kükürtlü baca gazından heterojen yoğuşma yoluyla iyileştirilmesi deneysel olarak incelenmiştir ve eklenen nemli havanın miktarı, nemli havanın ve kükürtlü baca gazının sıcaklığı ve bağlı nemi gibi bazı parametrelerin etkileri, analiz edilmiştir. Sonuçlar, ince parçacıkların ayrılma performansının bu işlemle arttırılabileceğini göstermiştir. İnce parçacık giderme performansının geliştirilmesi, büyüme bölgesinde oluşan aşırı doymamış atmosfer ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Tipik çalışma koşulları altında, süper doyma derecesi 1.1-1.2'ye ulaşabilir ve yoğuşabilir buhar 20 gNm^3 veya daha fazlasına ulaşabileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, kükürt giderilmiş baca gazı sıcaklığı göreceli olarak yüksek olduğunda (55-60 °C) bu işlemin kullanılması daha uygun olacağı gösterilmiştir.

Chen vd., (2017), Quench Coupled with Adsorption Technology (QCAT) geliştirilmişlerdir. QCAT' nin gerçek katran çıkartma mekanizması ve davranışı incelenmiştir. QCAT' nin yıkılma "quench" sütünü ağır katranları uzaklaştırmak için seramik bir halka ile sarılmıştır; 1. emme sütünü antrasen, fenantren ve pinen gibi hafif PAH ları uzaklaştırmak için AD-1 ile, 2. emme sütünü ise küçük molekülü katranları uzaklaştırmak için AD-2 ile sarılmıştır. Ayrıca 2. emme sütununun çıkış katran konsantrasyonu 20 mg/Nm^3 ' ten daha düşük seviyeye indirgenebilir. Bu çalışma toplam sistemin katran uzaklaştırma hızı deneyin etkin süresi boyunca % 99.9 civarında olduğu gösterilmiştir. 2. emme sütununun çıkış gazı uygulama gereksinimine ulaşmıştır. Sonuç olarak QCAT yöntemi biyokütle katran uzaklaştırma için gelecek vaat eden bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Beghi vd., (2018), elementel iyot tutma, hafifçe sadeleştirilmiş iç kısımları olan, ticari olarak filtrelenmiş bir havalandırma sisteminin bir modelini temsil eden küçük ölçekli bir ıslak temizleyicide araştırılmıştır. Bu çalışmanın amacı, bir kimyasal reaktörde iyotla yıkama işleminin, azaltılmış bir ölçekte ıslak yıkayıcıda yapılan deneylerle anlaşılmasıdır. Bu amaca ulaşmak için akış rejiminin ve gazın ıslak temizleyicideki ve

besleme gazı içindeki iyot konsantrasyonunun iyot tutma üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Bianchini vd. (2018) yaptıkları bir çalışmada, bir ıslak yıkama cihazının PM temizleme verimliliğini öngörebilen bir matematiksel modelin geliştirmiş ve denemişlerdir. Bu kapsamda küçük boy kazanlarda biyokütle yanması sonucu üretilen baca gazı için PM ayırma sisteminden oluşan yeni bir ıslak temizleyici yapılandırması için bir ön tasarım sunulmuştur.

Amerika ve Polonya laboratuvarlarında geliştirilen bir cıva yakalama yöntemi açıklanmakta (Krzyżyńska vd., 2018) ve herhangi bir reaktif içeren ve içermeyen durum için bulamaçtaki cıva davranışına vurgu yaparak pilot ölçekli bir araştırma gerçekleştirilmiştir.

Lotfi vd. (2019), gazlaştırıcıdan çıkan katranı ahşap talaşları kullanarak laboratuvar ölçekli ıslak paketlenmiş yatak yıkayıcının performansını incelemişlerdir. Katranı indirgemek için ovma sıvısı olarak atık pişirme yağı kullanmışlardır. Yapılan deneylerde yağ sıcaklığı katranın indirgemesinde düşük etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Qin vd. (2019), baca gazındaki kükürtün indirgenme etkisini incelemek için pilot ölçekli çift döngülü püskürtme kuleli (DLST) ıslak gaz yıkayıcı sistemi geliştirmişlerdir. Konuyla ilgili sayısal modellerle deney sistemi karşılaştırılmıştır. Sayısal sonuçlar ve deneysel veriler, % 3'ten daha az bir hatayla iyi bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Ark plazma gazlaştırma sisteminden elde edilen gazın temizleme ve partikül tutuma üniteleri hakkında literatür çalışmaları incelenerek, Tablo 1' de özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatürdeki çalışmaların özeti.

Çalışma konusu	Referans	Çalışmanın amacı
Partikül İndirgeme	Bhave vd., (2008)	Farklı bölümlerden oluşan gaz soğutma ve yıkama ünitesi geliştirmiştir.
	Ryckebosch vd., (2011)	Biyogaz temizliği için çeşitli teknikler geliştirmişlerdir.
	Ali vd., (2012)	Gaz soğutma ve temizleme ünitesi geliştirmiş. Bilgisayar ortamında CFD' le karşılaştırma yapmıştır.
	Bauer vd., (2013)	Biyogazın iyileştirilmesi için basınçlı salımlı tutma yönteminin baskın olduğu durumdan su ile ovmaya doğru dengelendiğini ortaya koymuşlardır
	Lien vd., (2014)	Biogazdan elde edilen gazın temizleme sistemi geliştirmişlerdir. Su seviye yüksekliği arttıkça H ₂ S indirgeme kabiliyeti artmıştır.
	Vijay (2014)	Partikül temizlemede suyun avantajını araştırmışlardır.
	Chien vd., (2015)	Paralel plakalı ıslak yıkama sistemi geliştirmişlerdir.
	Oluga ve Ovesile (2015)	Gazlaştırmadan çıkan gazı demir yünlü yıkama sistemiyle, saflaşan gazdan elde ettiği enerjiyi 29MJ' den 41MJ'le çıkarmışlardır.
	Prabhansu (2015)	Partikül temizleme teknikleri üzerine araştırma yapmışlardır.
	Bianchini vd. (2018)	Gaz içindeki partikül indirgeme işlemi için matematiksel model geliştirmiş. Deney sistemiyle karşılaştırmışlardır.
Cıva İndirgeme	Beghi vd., (2018)	Küçük ölçekli ıslak yıkamalı havalandırma sistemi gerçekleştirmişlerdir.
	Qin vd., (2019)	Çift döngülü püskürtme kuleli gaz temizleme sistemi geliştirmişlerdir.
	Diaz-Somoano vd. (2007)	Kömürle çalışan tesislerde cıva emisyon temizlemede ıslak yıkayıcının verimliliğini etkileyen parametreleri incelemiştir.
	Omine vd. (2012)	Kömür yakıtlı termik santrallerin bacalarından çıkan cıva emisyonu için çözüm geliştirmiştir.
Katran İndirgeme	Wu vd., (2016)	Sulu iyonik yıkama çözeltilerinin indirgenen iyonik cıvayı elementel cıvaya indirgediğini araştırmıştır.
	Krzyżńska vd., (2018)	Cıva indirgemesi üzerine pilot ölçekli bir araştırma geliştirmiştir.
	Hasler ve Nussbaumer (1999)	İki kademeli kum yataklı gaz soğutma ve yıkama sistemi geliştirmişlerdir.
	Rameshkumar ve Mayilsamy (2012)	Katran giderimi için filtre tasarlamışlardır. Katran ve partikül giderimi 52 mg/nm ³ 'e düşüğünü gözlemlemişlerdir.
	De Filippis vd., (2015)	Gazlaştırıcıdan çıkan katranın giderimi için alüminyum oksit küreler kullanılmışlardır. Singaz içindeki katran miktarı 100mg/nm ³ ' dan aşağı çekilmiştir.
Elektrostatik Yıkama	Lotfi vd., (2019)	Gazlaştırıcıdan çıkan katranı temizlemek için laboratuvar ölçekli bir yıkama sistemi geliştirmişlerdir.
	Jaworek vd.,(2006)	Elektrosprey yıkama sistemi geliştirmişlerdir. Yüklenmiş gazın temizlenme veriminin arttığı gözlemlemiştir.
	Carotenutoa vd. (2010)	Islak elektrostatik temizleyiciler için matematiksel model geliştirmişlerdir.
	D'Addio vd., (2013)	Islak mikrostatik fırçalamada mikron altı parçacıkların azaltulmasını incelemek için yeni laboratuvar ölçekli cihaz geliştirmişlerdir.
	Chen vd., (2017)	Geliştirdikleri QCAT' teki katran çıkışını incelemişlerdir. Katran miktarı 20 mg/Nm ³ ten aşağı seviyelere inmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında literatür çalışmaları neticesinde sistem için gerekli fiziki ve alt yapı çalışmaları araştırılarak gaz temizleme ve partikül tutma ünitesi için tasarım çalışmaları, imalat çalışmalarının yanında sistem aktif hale getirilerek ön deneme çalışmaları yapılmış olup, buradan elde edilen veriler çerçevesinde belirsizlik analizleri yapılmıştır.

2.1. Teorik Çalışmalar

2.1.1. Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi

Ark plazma gazlaştırma ünitesinden çıkan sıcak gazın soğutulması ve temizlenmesi için geliştirilecek olan sistem aşağıdaki kriterlere ;

- Minimum tasarım ve imalat maliyetine,
- Minimum bakım ve sarf maliyetine,
- Kolay montaj edilebilirliğine,
- Düşük enerji tüketimli olmasına,
- Demonte durumunda yer kaplamamasına
- Hızlı revizyon çözümlerine,
- Uzun ömürlü olmasına,

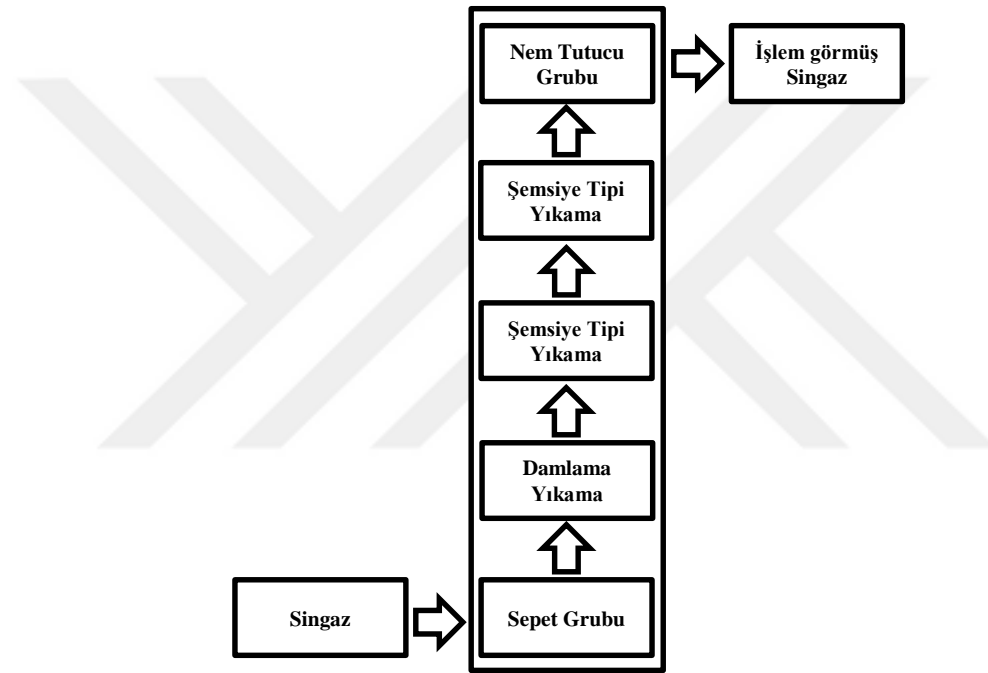
sahip olmalıdır.

Islak temizleyicinin genel performansını aşağıdaki parametreler etkilemektedir.

- Parçacık büyüklüğü dağılımı ve yükleme
- Atık gaz debisi, sıcaklık ve nem
- Gaz hızı ve basınç düşüşü
- Sıvının gaza (L / G) oranı
- Damlacık boyutu
- Kalış süresi

2.1.2. Tasarım Metodolojisi

Ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarımı için gerekli literatür araştırmaları sonucu tasarlanacak sistem Şekil 1’ de gibi kurgulanacaktır. Sistem içeriğinde sisteme giren gazın soğutma işlemini ve kaba temizliğini gerçekleştirecek bakır topçukların konduğu sepet, damlama tipi yıkama işlemi gerçekleştirecek ünite, iki adet su perdesini oluşturan şemsiye tipi yıkama ünitesi ve yıkanan gazın nemini ve son temizliğini yapacak nem tutucu grubundan oluşacaktır.



Şekil 1. Geliştirilecek olan gaz temizleme ve partikül tutma sistemi için şematik gösterimi

2.1.2.1. Gaz Temizleme ve Partikül Tutma Verimliliği

Geliştirilecek olan gaz partikül temizleme ünitesinin tasarımı verimini genel olarak Reynolds sayısı, damla oluşum oranları, sistemin şekli, çarpma süresi ve bunların yanında difüzyon ile ilgili olarak temizleme haznesinde gaz akışının yönü ile gaz akış hızı etkilemektedir.

Gaz partikül temizleme verimliliği aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır (Bhargava, 2016);

Gaz partikül temizleme ünitesinin alanı (A_{sc}) denklem 2.1 de hesaplanmaktadır. Burada D_{sc} ; gaz temizleme sisteminin gövde çapını belirtmektedir.

$$A_{sc} = \pi * D_{sc}^2 / 4 \quad (2.1)$$

Gaz partikül temizleme ünitesinde yukarı doğru hareket eden kirli gazın hızı V_a denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır (Bhargava, 2016). Burada Q ; sisteme giren gazın debisini belirtmektedir.

$$V_a = Q / A_{sc} \quad (2.2)$$

Gaz partikül temizleme ünitesinde ovma sıvısının damlaları ile kirli gaz arasında bağıl akış hızı V_∞ denklem 2.3'de belirtilmektedir (Bhargava, 2016). Burada D ; ovma sıvısının damla çapını, ρ ; sisteme giren kirli gazın yoğunluğunu, ρ_d ; ovma sıvısının damlacık yoğunluğunu, g ; yerçekimi katsayısını belirtmektedir.

$$V_\infty = \left(\frac{4,87}{\rho} * D \right) * \sqrt{\left((447 * \mu^2) + \left(\rho * \rho_d * D^3 * \frac{g}{6} \right) \right)} - 20,4 * \mu \quad (2.3)$$

Reynolds sayısı denklem 2.4' te hesaplanmaktadır (Bhargava, 2016).

$$Re_d = V_\infty * \frac{D}{\nu} = 11,50 * 10^6 * \sqrt{(D^3 * 0,7814 * 10^{-10})} - 98,06 \quad (2.4)$$

Reynolds sayısı 700' den büyükse denklem 2.5 kullanılmaktadır (Bhargava, 2016).

$$Re_d = 1,020 * 10^7 * D^{3/2} \quad (2.5)$$

Gaz partikül temizleme ünitesinde ovma sıvısının damlacıkları düşüş hızı (V_d) denklem 2.6' te belirtilmektedir (Bhargava, 2016).

$$V_d = V_\infty - V_a \quad (2.6)$$

Gaz partikül temizleme ünitesinde ovma sıvısının damlacıklarının tutundurduğu parçacık sayısı (n) denklem 2.7' de belirtilmektedir (Bhargava, 2016). Burada m_s ; ovma sıvısının debisini, L ; partikül tutma ünitesinin boyunu belirtmektedir.

$$n = (1,5 * m_s * L * \rho_d * D) * \left(\frac{1}{Q} + \frac{1}{A_{sc} * (V_\infty - V_a)} \right) \quad (2.7)$$

Her bir damlacığın yakalama ve atalet etkisinin birleşiminden kaynaklanan toplanan verimi, n_{di} y_1 yarıçapına sahip olan daire alanının damlacık için öngörülen alana oranı olarak denklem 2.8'de belirtilmektedir. (Bhargava, 2016). Burada σ ; düzeltme katsayısıdır.

$$n_{di} = \frac{\pi * y_1^2 * \sigma}{\pi * \frac{D^2}{4}} = 4 * \sigma * \frac{y_1^2}{D^2} \quad (2.8)$$

Sınır tabaka koşullarını göz önüne alarak, her bir damlacığın yakalama ve atalet etkisinin bileşiminde kaynaklanan toplam verim (n_{di}) denklem 2.9'de hesaplanmaktadır.

$$n_{di} = 7,342 * \sigma * \sqrt{\left(\frac{V}{V_\infty * D} \right)} \quad (2.9)$$

Sistem verimliliği (η) denklem 2.10' de belirtilmektedir (Bhargava, 2016).

$$\eta = 1 - (1 - n_{di})^n \quad (2.10)$$

2.1.2.2. Tasarım Ölçülerinin Belirlenmesi ve Verimlilik Analizi

Geliştirilecek olan ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarımında uluslararası standartlara uygunluğu önem arz etmektedir. Buna göre uluslararası sistem tasarlayan ve üreten firmaların katalogları incelendiğinde gaz giriş debi kapasitesine standart ölçülere sahip olduğu belirlenmiştir. 50 m³/h kapasiteli bir gaz temizleme sisteminin ölçüleri ortalama olarak gövde çapı

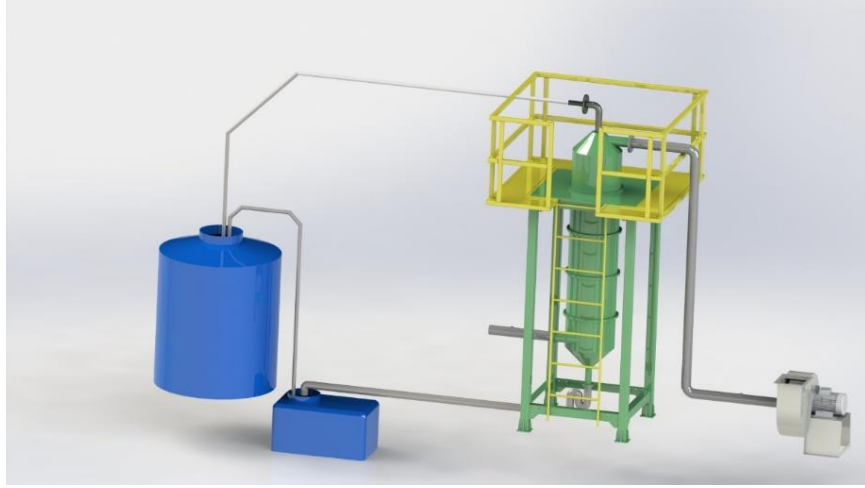
280 mm ile 450 mm arasında değiştiği, gaz yıkma boyu ise 800 mm ile 1400 mm arasında değiştiği görölmüştür.

Uluslararası standartlara göre belirlediğimiz geometrik ölçülere göre tasarlanacak olan 50 m³/h kapasiteli gaz temizleme ve partikül tutma sistemine ait gövde çapı 450 mm olarak seçilmiştir. Sistem diğer araştırmacıların çalışmalarına temel oluşturacağı için gaz yıkama boyu 800 mm' den büyük seçilip, 1200 mm olarak kabul edilmiştir. Burada denklem 2.1 kullanılarak yıkama ünitesi alanı 0,158 m² hesaplanır. Gaz debisi 50 m³/h kabul edilmiştir. Buna göre gaz akış hızı ise denklem 2.2 kullanılarak 0,08 m/s olarak hesaplanır. Ovma sıvısı olarak su kullanılacaktır. Yoğunluğu 1 kg/m³, vizkozitesi 1,55x10⁻⁵ m²/s, akış hızı 0,001 m³/sn ve ovma sıvısının damlacık çapı 0,002 mm olarak kabul edilmiştir. Burada damlacıkları düşme hareketine ait Re_{ed} (reynolds katsayısı) denklem 2.5 kullanılarak 4740,5 olarak hesaplanır. Ovma sıvısının damlaları ile kirli gaz arasındaki bağıl hız denklem 2.3 kullanılarak 12,24 m/sn olarak hesaplanır. Ovma sıvısının oluşturduğu damlaların hızı denklem 2.6 kullanılarak 12,15 m/sn olarak hesaplanır. Ovma sıvısının damlacıklarının saniyede sayıca düşüş oluşumu denklem 2.7 kullanılarak 34,56 olarak hesaplanmıştır. Sistemin partikül tutma verimliliği denklem 2.10 kullanılarak %96 olarak hesaplanmıştır.

Ark plazma gazlaştırma sisteminden elde edilen gazın temizlenmesi ve partikül tutma ünitesinin tasarımı için sistem gövdesinin çapı 450 mm seçilmiştir. Gaz yıkama boyu 1200 mm olacaktır. Yıkanan gazın geri dönüşümü sırasında birikmeye karşı 400 mm yüksekliğinde ek hazne konacaktır. Ayrıca sisteme giren gazın üzerindeki partikülleri kuru filtre ile temizleme işlemi için 400 mm yüksekliğinde ek hazne ilave edilecektir. Bu kriterlere göre tasarlanacak sistemin toplam boyu 2200 mm olacak şekilde tasarım çalışmaları yapılacaktır.

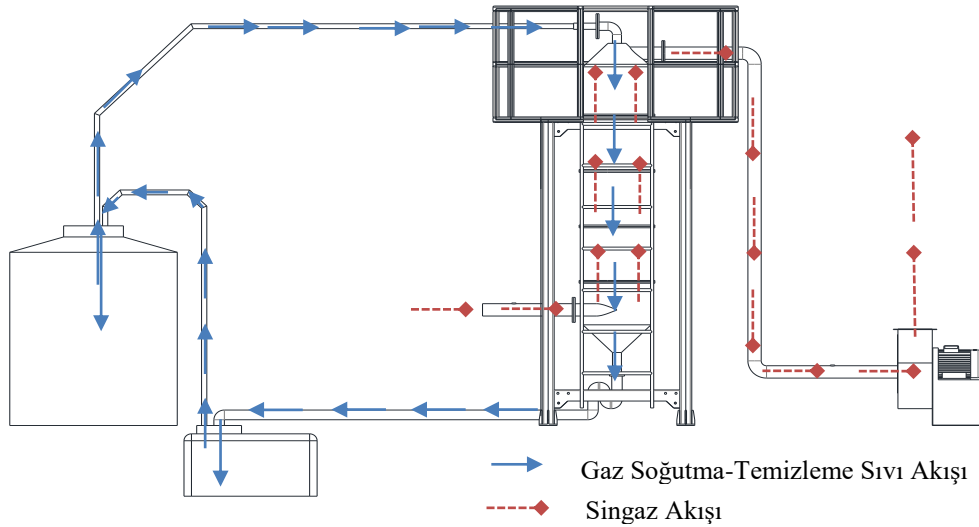
2.1.3. Sistem Mekanik Tasarımı

Tasarım kriterleri belirlenmiş ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarımı için Solidworks programı kullanılmıştır (şekil 2).



Şekil 2. Ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesine ait tasarım görünümü.

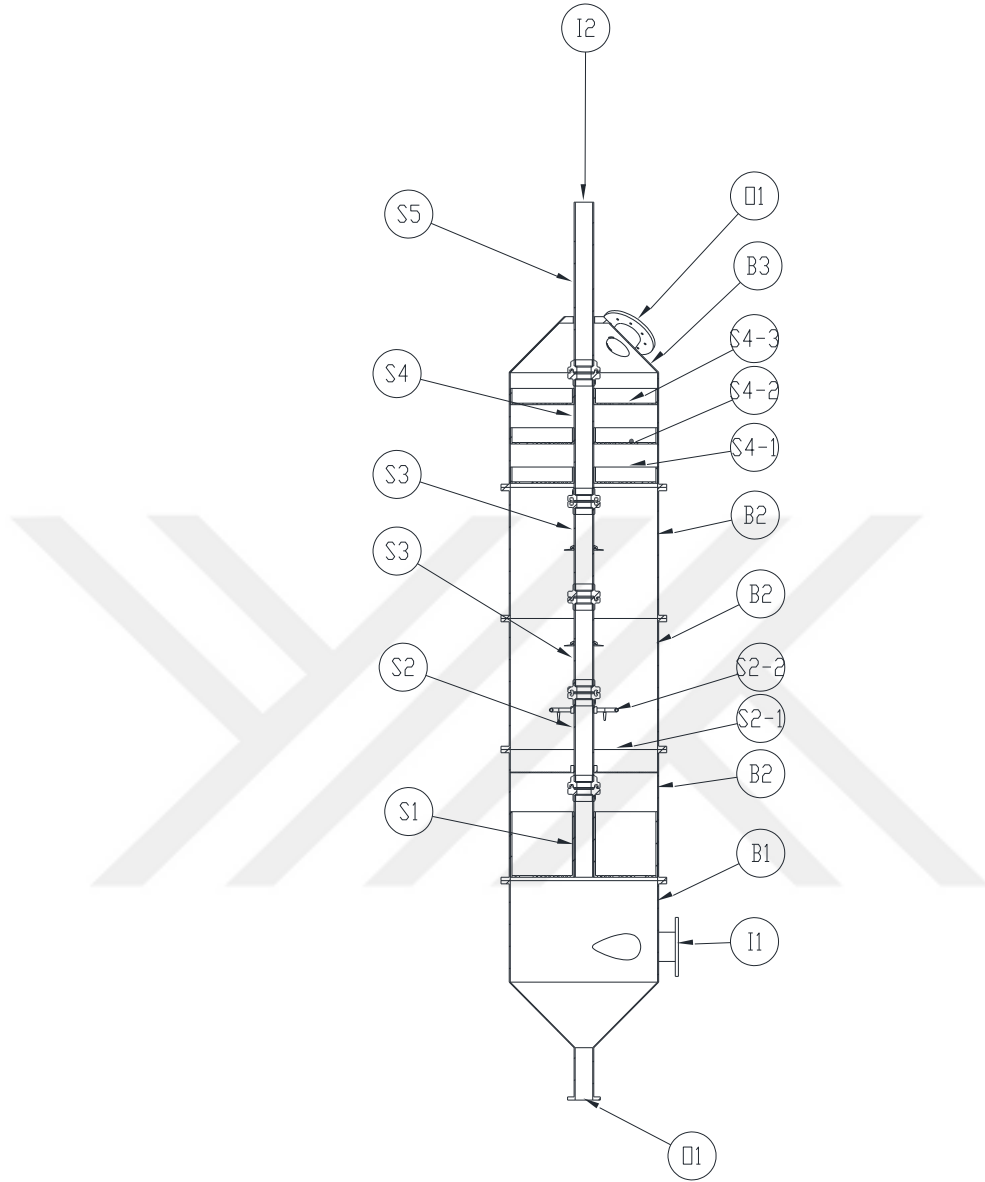
Tasarlanan sistemde gazın temizlenmesi ve partikül tutmasında kullanılacak su kapalı çevrim olarak dizayn edilmiştir. Böylelikle su sarfiyatı minimum hale getirilmiştir. Ayrıca bu sayede gazlaştırma sırasında oluşabilecek SO₂ veya diğer gazların temizlenmesi için ovma sıvısına kimyasallar katılarak desülfürizasyon işlemi gerçekleştirilebilecektir. Böylelikle çok fonksiyonlu temizleme sistemi tasarlanmıştır. Bunun için 1500 lt ana sıvı tankı kullanılmıştır. Burada kullanılan pompa aracılığı ile sisteme ovma sıvısı basınçlı olarak gönderilmektedir. Soğutma ve temizleme işlemini tamamlayan ovma sıvısı, 200 lt' lik dönüş tankına serbest akmaktadır. Burada biriken sıvı debisi yüksek dalgıç pompa aracılığıyla ana tanka pompalanmaktadır. Şekil 3' de ovma sıvısının çevrimi ve gazın akışı gösterilmiştir.



Şekil 3. Gaz temizleme ve partikül tutma işlemi için ovma sıvısı akış şeması.

Tasarlanan sistem, gazlaştırma işleminden sonra çıkan gazın temizliğini ve partikül tutma işlemini yapan şaft grubundan gelen ovalama sıvısı ile temizlenmektedir (Şekil 4). Tasarlanan şaft grubu, sistemin merkezinde bulunmaktadır. Bu şaft grubu, küresel bakır sepeti grubu (S1), Damlama sıvı çıkış grubu (S2), Şemsiye tipi sıvı çıkış grubu (S3), Nem – parçacık tutucu grubu (S4) ve şaft ana bağlantı grubu (S5) ten oluşmaktadır. Bu grup ekipmanları hızlı geçme kaplinleri sayesinde hızlı bir şekilde sökülüp takılabilmektedir. Bu özellik hızlı sökülüp takılması hem bakım, hem revizyon işlemleri için avantajlar sağlamaktadır.

Tasarlanmış olan ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin çalışma prensibi; şaft gurubunun içine temizleme işlemi için ovalama sıvı girişi (I2) bölgesinden yapılmaktadır. Şaft grubunun içinde oluşan basınç sayesinde, şemsiye tipi sıvı grubu (S3), damlama tipi sıvı (S2) inden ovalama sıvısı çıkışı olmaktadır. Buradan çıkan ovalama sıvısı damlama siperliğinden (S2) geçerek küresel bakır sepetinde dolmaktadır. Burada bakır kürecikleri soğutarak, ovalama sıvısı çıkışı (O2) bölgesinden sağlanmaktadır. Ayrıca gazlaştırma işleminden çıkan gaz, sistemin gaz girişi (I1) bölmesinden filtre alt bölgesine(B1) girmektedir. Gazlaştırma işlemi sayesinde yeni oluşan gaz sistemde basınç oluşturmaktadır. Bu basınç sayesinde gaz, ilk olarak küresel bakır sepetine soğumaktadır. Buradan yükselen gaz, damlama siperliğinden gelen ovalama sıvısı ile kaba temizliği yapılmaktadır. Bu bölgeden yükselen gaz yağmurlama tipi su fiskiyesi (S2-2) ile daha temizlenerek, şemsiye tipi su fiskiyesinin (S3) oluşturduğu sıvı perdesi ile tam temizlik yapılmaktadır. Ovalama sıvısı ile yıkanan gaz, üzerindeki nemi almak üzere nem – parçacık tutucu grubuna (S4) gelerek üzerindeki nem absorpsiyon yöntemi ile kurutulmaktadır. Nemi bırakılmış filtrelenmiş gaz, gaz çıkışı(O1) bölgesinden çıkarak kullanıma hazırdır.



Şekil 4. Gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarım görünümü.

2.1.3.1. Bakır Sepeti Grubu

Şekil 5' te görüldüğü üzere shaft grubunda bulunan küresel bakır sepeti grubu çelik kaynaklı konstrüksiyona sahip olup alt kısmında elek bulunmaktadır. Ayrıca üst kısmında bulunan kolay bağlantı rakorları aracılığı ile bir üst bölgeye kolay bir şekilde takılıp sökülmesini sağlamaktadır. Bu sistem giren gazın soğutulmasında ve büyük partiküllerin tutundurulmasında işlem görmektedir. Sepet içerisinde bakır kürecikler bulunmaktadır. Bu sayede yüzey alanı genişlemektedir. Filtre işleminde kullanılan ovalama sıvısı bu

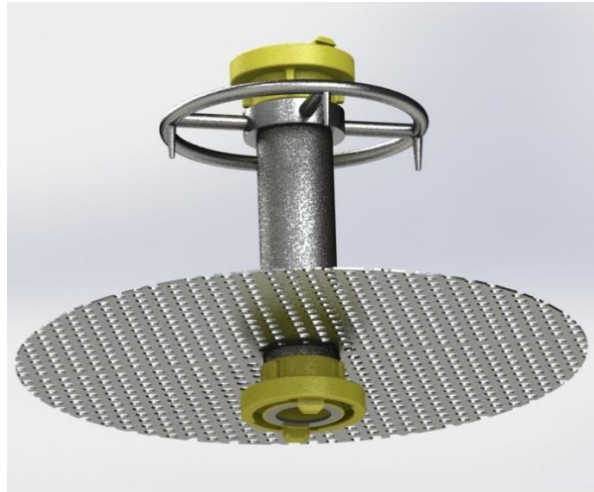
bölgede birikerek bakır kürecikleri içinden geçen gazı soğutmak ayrıca büyük partikülleri bu bölgede hapsederek bir üst aşamaya geçmesi engellenmektedir.



Şekil 5. Bakır sepeti grubu tasarım görünümü.

2.1.3.2. Damlama Sıvı Çıkış Grubu

Şekil 6' da görüldüğü üzere damlama sıvı çıkış grubu iki ucunda kolay sökülüp takılabilen rakor bulunan şaft borusunun üzerinde delikli mazgal bulunmaktadır. Bu rakorlar aracılığıyla bir üst sisteme kolay montajı yapılabilmektedir. Aynı şekilde altındaki ekipmanın kolay bir şekilde takılabilmesini sağlamaktadır. Bu tasarım sisteme giren gazın temizliği için işlem görmektedir. Damlama siperliği yukarıdan gelen ovalama sıvısı küresel bakır sepetine, damlama şeklinde akmasını sağlayarak gazın kaba temizliğini yapmaktadır. Bu sayede daha ince partiküllerin tutundurulması sağlamaktadır.



Şekil 6. Yağmurlama- damlama sıvı çıkış grubu tasarım görünümü.

2.1.3.3. Şemsiye Tipi Sıvı Çıkış Grubu

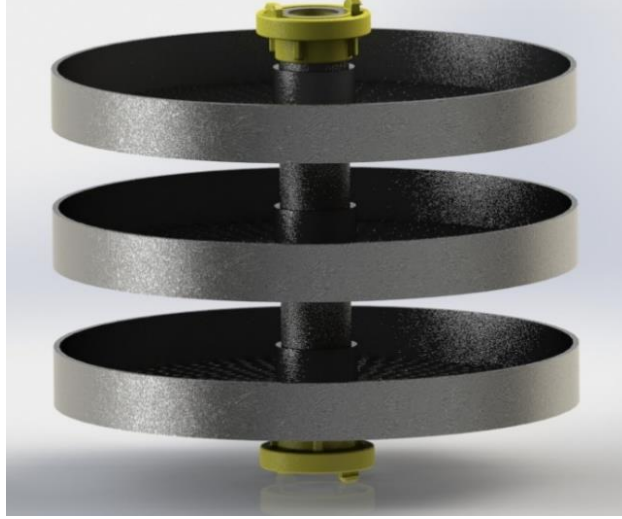
Şekil 7’ de görüldüğü üzere şemsiye tipi sıvı çıkış grubu, şaft borusunun iki ucunda kolay sökülüp takılması için rakor bulunmaktadır. Ayrıca, şaft borusunun ortasında akışı yönlendirmek için ara açıklıkları ayarlanabilir iki adet flanş bulunmaktadır. Bu tasarım sayesinde merkezden gelen ovalama sıvısı homojen olarak şemsiye şeklinde sağılması sağlamaktadır. Bu akış sonucunda boşluksuz ovalama sıvı perdesi oluşmaktadır. Sisteme giren gazın tam temizliği bu bölgede yapılmaktadır.



Şekil 7. Şemsiye tipi sıvı çıkış grubu tasarım görünümü.

2.1.3.4. Nem – Parçacık Tutucu Grubu

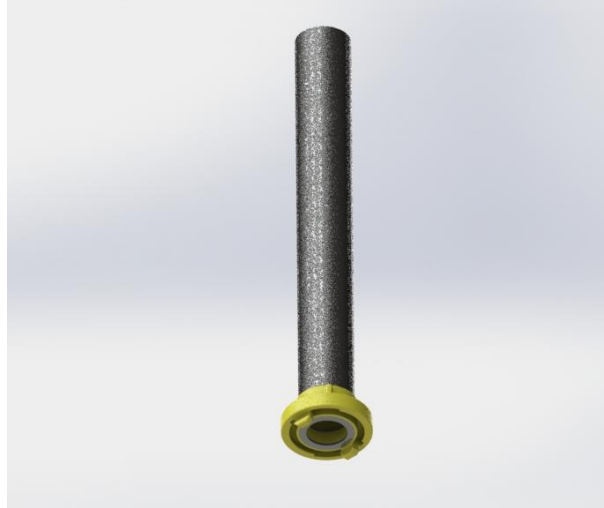
Şekil 8’ de görüldüğü üzere Nem – parçacık tutucu grubu, iki ucunda kolay montajı için rakorlu şaft borusundan oluşmaktadır. Şaft borusunun üzerinde filtre ve nem tutucu elemanları koymak için 3 adet fileli sepet bulunmaktadır. Bu fileli sepetlerin içine ağaç talaşı, keçe ve silika jel konarak nem alma işlemi yapılmaktadır.



Şekil 8. Nem – parçacık tutucu grubu tasarım görünümü.

2.1.3.5. Ana Bağlantı Grubu

Şekil 9’ da gösterildiği gibi şaft ana bağlantı grubu bir adet şaft borusundan ve bir ucunda kolay montaj rekoru bulunmaktadır. Tüm filtreleme sistemini taşımaktadır. Şaft borusunun bir tarafından ovalama sıvısı geçmektedir. Diğer tarafından ise diğer filtreleme organlarına sıvıyı aktarmaya sağlamaktadır.

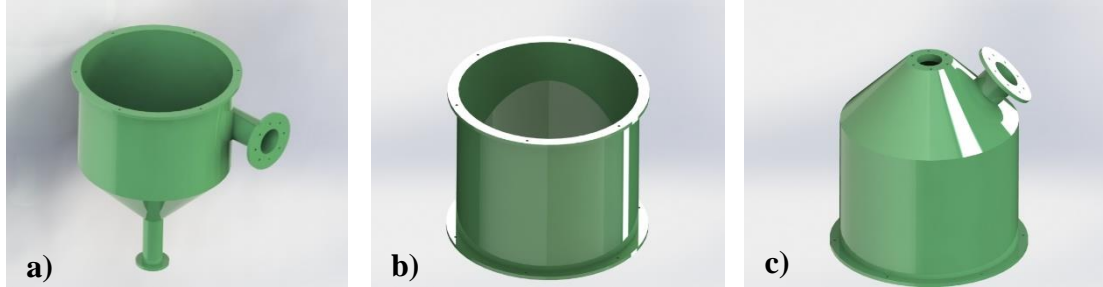


Şekil 9. Ana bağlantı grubu tasarım görüntüsü.

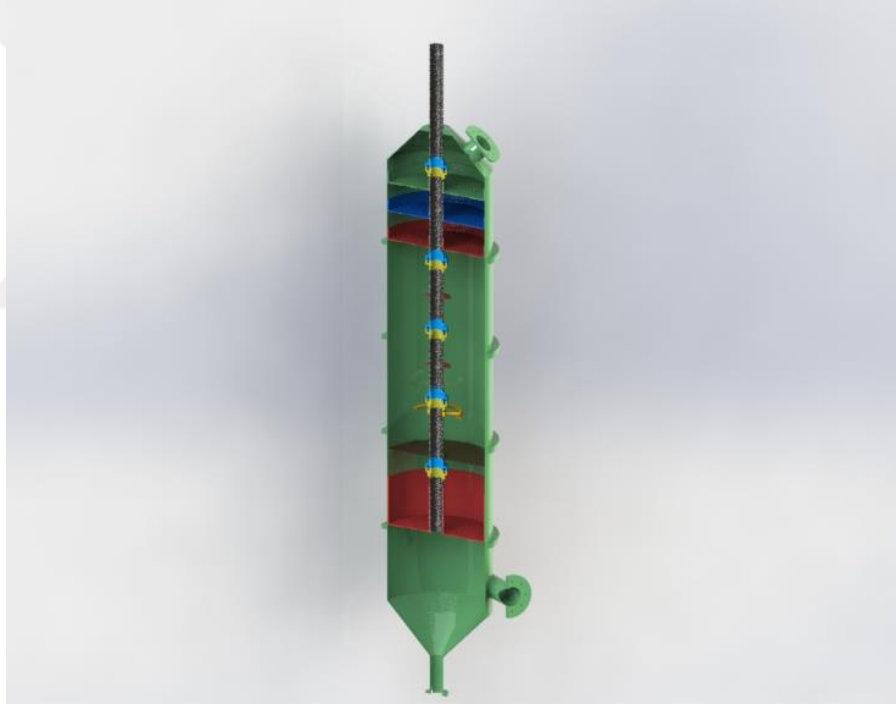
2.1.3.6. Ana Gövde

Belirlenen kriterlere göre gazlaştırma sisteminden gelen gazın soğutulması, temizlenmesi ve kurutucu özelliği olup (Şekil 11); sistem gövde olarak filtre alt bölümü

(Şekil 10a), filtreleme için kullanılan tüm ekipmanları yatakladığı filtre orta bölmesi (Şekil 10b) ve temizlenen gazın çıkış bölmesi filtre üst bölgesinden (Şekil 10c) oluşmaktadır.



Şekil 10. Tasarlanan sisteme ait a)ana gövde bölme b)ana gövde orta bölme c)ana gövde üst bölme görünüşleri.



Şekil 11. Tasarlanan sistemin kesit görünümü.

2.1.3.7. Sistem Şasesi

Ark plazma gazlaştırma sisteminden gelen gazın temizlenmesi ve partikül tutma ünitesinde kullanılacak sistem çelik konstrüksiyon olacak şekilde tasarlanmıştır ve üretilmiştir (Şekil 12). Tasarım kriterleri arasında olan modülerlik özelliğinden dolayı sistem cıvata bağlantılı olarak tasarlanmıştır. Böylelikle istenildiği zaman sökülüp başka

yere kolay bir şekilde kurulabilecektir. Ayrıca iş güvenliği açısından üst kısmında koruma oluşturulmuştur.



Şekil 12. Gaz soğutma ve temizleme sistemine ait tasarım görünümü.

2.1.3.8. Sistem Montajı

Ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesi Şekil 13' te görüldüğü üzere montajlanması planlanmıştır. Sistemi cıvata bağlantılı olarak montajlanmıştır. Böylelikle sistem istenildiği zaman sökülüp tekrar kurulabilecektir. Tasarım aşamasında her bir parçanın ağırlığı 30 Kg geçmeyerek, parçaları bir kişinin rahatlıkla taşıyabileceği şekilde üretilmiştir. Sistem Şekil 14' te görüldüğü üzere montajlanıp gerekli temizleme ve partikül tutma işlemini yerine getirecek şekilde gazlaştırma ünitenin yanına kurulmuştur.



Şekil 13. Tasarım montaj görünümü.



a)

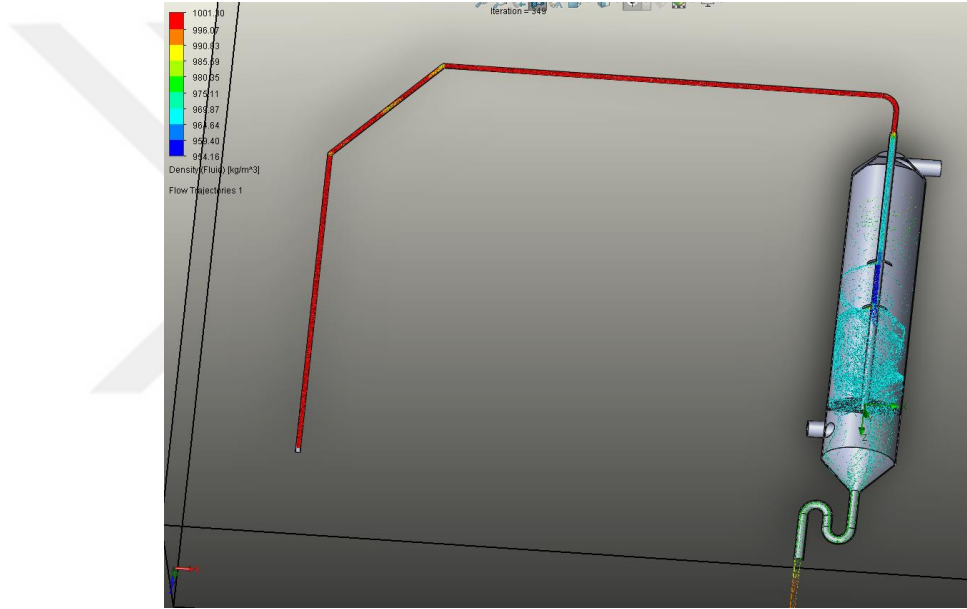


b)

Şekil 14. Montajı yapılmış yıkama ünitesine ait a)gaz giriş b)gaz çıkış görünümü.

2.1.4. Sistem Akışkanlar Dinamiği Analizi

Bu tez çalışmasında geliştirilen gaz temizleme ve partikül tutma ünitesi için 1500 lt su tankından, yıkama ünitesine akışkanın transfer edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sistemin içerisinde oluşan akış hakkında ön bilgi oluşturmak için akışkanlar dinamiği hesaplamaları yapan simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Şekil 15’ te gösterildiği üzere sistemde bulunan su perdelerini oluşturacak minimum akış debisini ve akış durumları incelenmiştir. Hesaplamalar sırasında yazılım yer çekimini kuvveti etkisini dikkate almıştır.



Şekil 15. Sonlu elemanlar akışkanlar dinamiği hesaplama sonrası akış görünümü

Simülasyon, çalışmalar sırasında yıkama kademelerinde ideal su perdesi oluşması için akış debisine göre incelenmiştir. Programın hazırlamış olduğu akışkanlar dinamiği sonuçlarına göre en düşük (2,19 m³/h) debide en düşük perdeleme debisi elde edilmiştir. İleriki aşamalarda sistemin daha farklı yıkama varyasyonlarını karşılaması için 1,1 kW motor gücüne sahip 10 m³'lük 20 mSS kapasitede bir dalgıç pompa seçilmiştir. Aynı şekilde yıkama işlemini tamamlamış sıvının ana tanka tahliyesi için 0,45 kW motor gücüne sahip 10 m³ kapasiteli ikinci bir dalgıç pompa kullanılmıştır. Bu sistemde pompaların hava yapması, su seviyesinin kontrolü olmadığı için pompanın boşa çalışıp aşınma risklerinden dolayı pompa tipi olarak dalgıç pompa seçilmiştir.

2.2. Deneysel Çalışmalar

Bu tez çalışmasının deneysel çalışmalar kısmında; çalışmayla ilgili deneysel kabulleri, deney verilerinin kaydedilmesi, ön deneme ölçüm çalışmaları detaylı olarak anlatılmıştır.

2.2.1. Deneysel Kabuller

Bu tez çalışması kapsamında, sistemlerde gerekli kıyaslamaların yapılıp gaz temizleme ve partikül tutma işlemi için uygun kabuller yapılmıştır. Bu kabuller aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Ön denemeler esnasında sistem performansının ölçülmesi için, yoğun gaz üreten yanmış kömür egzoz gazı kullanılmıştır.
2. Sistem boyunca meydana gelen su kaçakları ihmal edilmiştir.
3. Sistem boyunca meydana gelen gaz kaçakları ihmal edilmiştir.
4. Sisteme ait iletim borularında meydana gelen ısı kayıpları ihmal edilmiştir.
5. Sistem performansı sadece partikül tutma performansına göre belirlenmiştir.

Sistem modüler olup, aynı anda gaz soğutma, partikül tutma, gaz temizleme ve katran tutma proseslerini gerçekleştirmektedir. Ancak bu tez çalışması kapsamında gaz temizleme ve partikül tutma çalışmaları incelenmiştir.

2.2.2. Ölçülebilen Büyüklükler

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirmiş olduğumuz çalışmalarda kullanılan, ölçülebilen büyüklükler Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Ölçülebilir büyüklükler.

Ölçüm Büyüklük	Birim
Gaz Soğutma Suyu Debisi	m ³ /sn
Gaz Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı	°C
Giriş Gazı Sıcaklığı	°C
Giriş Partikül Miktarı	mg/m ³
Çıkış Partikül Miktarı	mg/m ³
Çıkış Gazı Sıcaklığı	°C
Çıkış Suyu Sıcaklığı	°C
Emiş Fan Hızı	m/sn

2.2.3. Deneysel Sistem Verimliliği

Bu tez çalışması ile geliştirilip üretilen sistem ile gaz temizleme ve partikül tutma işleminde sadece partikül miktarı ölçülmüştür. Bu nedenle sistemin verimi partikül miktarına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Mohan vd., 2019).

$$\mu = \frac{M_i - M_e}{M_i} \times 100\% \quad (2.11)$$

μ = Sistem partikül indirgeneme verimliliği

M_i = Sisteme giren partikül miktarı (mg/m³)

M_e = Sistemden temizlenmiş partikül miktarı (mg/m³)

2.2.4. Belirsizlik Analizi

Tüm enstrümantal ölçüm sistemleri belirli karakteristik özelliklere sahiptir. Ölçüm sistemleri kendisine ait tekrarlanabilirlik, dedeksiyon limiti, laboratuvar şartları, okuma süresi, okuma adetleri ölçümün yanlış yapılmasına sebep olan özelliklerden bazılarıdır. Deneylerdeki hatalar ve belirsizlikler, cihaz seçimi, kullanımı, kalibrasyonu ve çevre şartlarından kaynaklanabilir (Doğru vd., 2002).

Gaz soğutma ve temizleme deneylerinde debi, sıcaklık, partikül miktarı, akış hızı uygun aletlerle ölçülmüştür.

Ölçüm işlemi esnasında toplam belirsizlik, formül 2.12' den hesaplanmaktadır (Doğru vd., 2002).

$$\omega_A = [(a_1)^2 + (a_2)^2 + (a_3)^2 + \dots + (a_n)^2]^{1/2} \quad (2.12)$$

Ölçüm işlemleri esnasındaki belirsizlik nedenleri ve miktarları Tablo 3' te verilmiştir.

Tablo 3. Ölçüm esnasındaki belirsizlikler.

Ölçüm Sistemi	Belirsizlik Nedenleri	±%Belirsizlik Miktarı
Akışkan Debi Ölçeri	Su saatinden kaynaklanan hata	0,001
	Zaman ölçerin titreşiminden kaynaklanan hata	0,03
Sıcaklık Ölçer	Zaman ölçerin okuma işleminden kaynaklanan hata	0,03
	Termoeleman çiftlerinden kaynaklanan hata	0,25
	Dijital termometreden kaynaklanan hata	0,1
	Bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan hata	0,1
	Yıkama suyu giriş sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata	0,25
	Egzoz gazı giriş sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata	0,2
	Egzoz gazı çıkış sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata	0,2
	Yıkama Suyu çıkış sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata	0,5
Partikül Ölçer	Partikül ölçer probundan kaynaklanan hata	0,025
	Partikül ölçer sensöründen kaynaklanan hata	0,005
	Bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan hata	0,001
	Egzoz gazı giriş partikül miktarı ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata	0,004
Egzoz Hızı Ölçer	Egzoz gazı çıkış partikül miktarı ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata	0,002
	Anemometrenin hata payı	0,001
	Debi kaçaklarından kaynaklanan hata	0,01

Ölçülen değerleri dikkate alarak bu değerlerden kaynaklanan toplam hataların hesaplanması gerekir. Bir parametrenin değerinin ölçülmesinde, sabit hatalar, rastgele

hatalar ve imalat hataları nedeniyle ortaya çıkan hatalar dikkate alınarak toplam hata hesabı aşağıdaki denklemindeki gibi hesaplanır. Farklı bağımsız değişkenlerden dolayı ortaya çıkan W_R belirsizliği aşağıdaki eşitlikten elde edilmiştir (Holman, 1971)

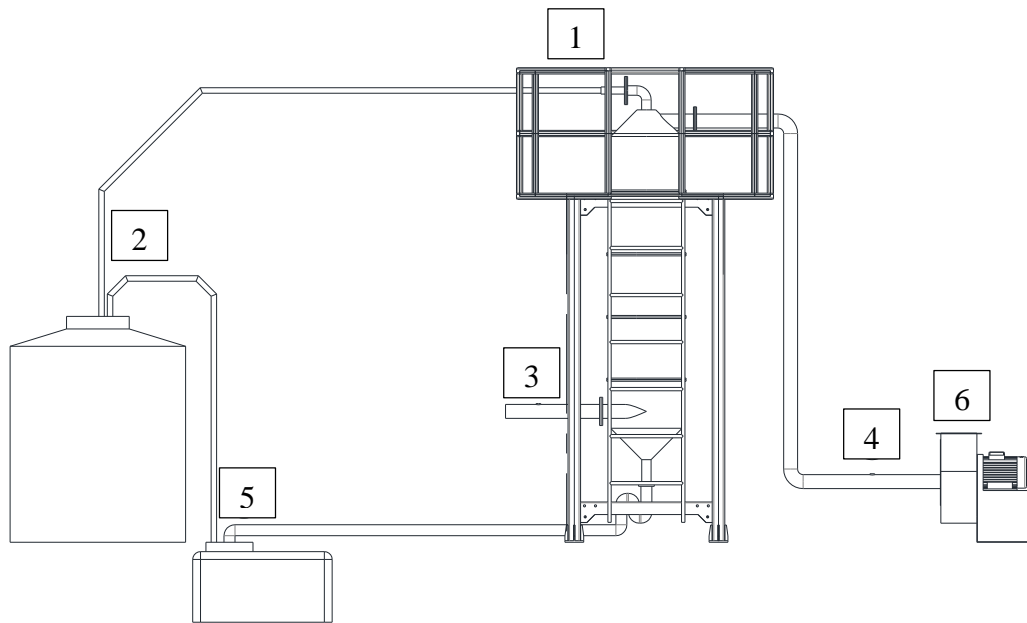
$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.13)$$

n adet bağımsız değişkeni olan bir ölçmede;

- W_R ; Toplam hata oranı
- R : Ölçülecek boyut
- $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$: ölçümü etkileyen değişkenler
- $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$: bağımsız değişkenle ilgili hata oranı

2.2.5. Deney Verilerinin Kaydedilmesi

İmalatı tamamlanmış gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin ön denemeleri yapılmıştır. Şekil 16' da gösterildiği üzere 1 numaralı noktadan ovma sıvısının debisi, 2 numaralı noktadan ovma sıvısı giriş sıcaklığı, 3 numaralı noktadan gaz giriş sıcaklık ve partikül miktarı, 4 numaralı noktadan gaz çıkış sıcaklık ve partikül miktarı, 5 numaralı noktadan ovma sıvısı çıkış sıcaklığı, 6 numaralı noktadan gaz emiş fan değeri ölçülecektir. Ölçüm değerleri buna göre listelenecektir.



Şekil 16. Ön denemeler sırasında ölçüm alınacak noktaların şematik gösterimi.

Ön denemeler sırasında sistem üzerinden ölçüm alınacak istasyonlar noktaları Tablo 4' te gösterilmiştir.

Tablo 4. İstasyonlardaki ölçüm alınacak birimleri.

Ölçülecek Birim	Ölçüm istasyonları					
	1	2	3	4	5	6
Debi (m ³ /sn)	+					
Sıcaklık (°C)		+	+	+	+	
Giriş Partikül Miktarı (mg/m ³)			+	+		
Emiş Hızı (m/sn)						+

Ön denemeler esnasında yapılacak ölçümlerin toplam belirsizlik hesapları formül 2.12 kullanarak Tablo 3' te belirtilen hata oranlarına göre istasyonlardaki yapılacak ölçümlerde toplam belirsizlik miktarları hesaplanarak Tablo 5' te belirtilmiştir.

Tablo 5. İstasyonlarda yapılan ölçümlerin toplam hata miktarı.

Ölçülecek Birim	Ölçüm istasyonları					
	1	2	3	4	5	6
Debi (m ³ /sn)	±0,0424					
Sıcaklık (°C)		±0,380	±0,350	±0,350	±0,576	
Giriş Partikül Miktarı (mg/m ³)			±0,028	±0,022		
Emiş Hızı (m/sn)						±0,01

2.2.5.1. Sıcaklık Ölçümü

Gaz temizleme ve partikül tutma ünitesine ait ovma sıvısının giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek ve sisteme giren gazın giriş ve çıkış sıcaklığını ölçmek için CHY 500 K model sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Sıcaklık ölçerin ölçüm probunun ince ve uzun olması sayesinde gaz giriş borusunun giriş ve çıkışın ortasından ölçüm almaya elverişlidir. Şekil 17' de gösterilen sıcaklık ölçer K tipi termokouple sahip olup, maksimum 1300 °C dereceye kadar ölçüm alabilmektedir.



Şekil 17. CHY marka sıcaklık ölçer görünümü.

2.2.5.2. Soğutucu Akışkanın Debi Ölçümü

Soğutucu ve temizleyici ovma sıvısının debisini ölçmek için ünitenin sıvı girişinin önüne 25 m³/h kapasiteli CEM marka su saati kullanılmıştır (Şekil 18).



Şekil 18. Soğutucu akışkanın debi ölçümü.

2.2.5.3. Gaz Akış Hızı Ölçümü

Gaz temizleme ve partikül tutma ünitesine ait gazın çıkış debisi ölçmek için TESTO marka 435 model anemometre kullanılmıştır. Sisteme giren sıcak gaz anemometrenin ölçüm probuna zarar vereceği için ölçüm alınmamıştır. Şekil 19' de gösterildiği üzere gaz emiş motorunun çıkışına yerleştirilmiştir. Deney süresince ölçüm alınacağı zaman prob gaz emiş motorunun çıkışındaki yatağına yerleştirilerek ölçüm alınmıştır.



Şekil 19. Testo 435 anemometre gösterimi.

2.2.5.4. Gaz Partikül Ölçümü

Gaz temizleme ve partikül tutma ünitesine ait gazın girişindeki ve çıkışındaki barındırdığı partikül miktarını ölçmek için BOSH marka BEA070 model dizel egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 20). Şekil 21 ve şekil 22' de gösterildiği üzere gaz giriş ve çıkış borularının üzerindeki vanaların içine prob takılarak ölçüm alınmıştır.



Şekil 20. Bosch marka BEA 070 model emisyon ölçüm sistemi gösterimi.

Ölçüm sistemi, partikül miktarı sonucu olarak firmanın absorpsiyon katsayısı (1/m) olarak ölçümler göstermektedir.

Absorpsiyon kat sayısının kütle konsantrasyonuna dönüştürülmesiyle ilgili British Motor Industry Research Association (MIRA) tarafından oluşturulan dönüştürme tablosu EK-1' de belirtilmiştir (MIRA, 1965)



Şekil 21. Gaz giriş partikül ölçüm noktası.



Şekil 22. Gaz çıkış partikül ölçüm noktası.

2.2.6. Partikül Üreticinin Hazırlanması

Gaz temizleme ve partikül tutma ünitesi TÜBİTAK 117M436 Nolu Ark Plazma Gazlaştırma projesini destekleyen bir çalışmadır. Ark plazma gazlaştırma sistemi kurulum ön deneme aşamasında olduğu için tez çalışması esnasında çalışmamaktadır. Bu yüzden gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin performansını ölçmek için kömür sobası kullanılmıştır. Buradaki amaç gazlaştırma işlemi sırasında çıkan gazı simüle edebilmektir. Soba sayesinde sıcak gaz üretilecek ve ayrıca baca gazı içerisindeki partiküller oluşturulabilecektir.

Sobanın içinde yanıcı olarak fındık kömürü kullanılmıştır(Şekil 23). Yanma işlemi için 2,6 kg kömür olarak hazırlanmıştır.



Şekil 23. Sobada yakılacak kömürün gösterimi.

2.2.7. Ön Deneme Ölçüm Çalışmaları

Deney sistemi için teki üniteli ve çift üniteli gaz soğutma ve yıkama kombinasyonu belirlenmiştir. Her yıkama ünitesine ait şaft borusu üzerinde 42 adet 2,5mm çapında delik

bulunmaktadır (Şekil 24). Bunlar Şekil 25 ve Şekil 26’ de belirtilmiştir. Tüm deneysel ölçümler bu kombinasyonlara göre tekrarlanacaktır. Her ölçüm 1 saat olarak belirlenmiştir. Her 15 dakika da bir ölçüm alınarak, kaydedilecektir.



Şekil 24. Yıkama ünitesi şaft borusu ve şemsiyesi görünümü.



Şekil 25. Tek üniteli yıkama sistemi gösterimi.



Şekil 26. Çift üniteli yıkama sistemi gösterimi.

3. BULGULAR

Yapılan bu tez çalışmasında “Ark Plazma Gazlaştırma Sistemine Entegre Bir Gaz Temizleme Ve Partikül Tutma Ünitesinin Tasarımı, İmalatı ve Ön Deneyleri ” konusunu incelemiş bulunmaktayız. Bu kısımda yapılan ön denemeler sırasında elde edilen ölçümlerle ilgili bulgular sunulmuştur.

Ön denemeler sırasında sistem içerisinde sistemin esnasında kömürün yanmasıyla katran oluşmaktadır. Bu katran yıkama bölgesinin altında gövdeyi kirletmektedir. Akış hareketlerini görmek için imalatını yaptırmış olduğumuz şeffaf gövde parçasını her 3 saatte bir temizlenmiştir.

Üretimi gerçekleştirilmiş gazın temizleme ve partikül tutma ünitesinde bulunan yıkama sıvısını çevrimini yapan birer adet 1,1 kW’ lık dalgıç motor, 0,45 kW’ lık dalgıç motor ve bir adet frekans kontrollü 0,75 kW egzoz emiş motoru bulunmaktadır. Ön denemeler sırasında, her bir deney varyasyonunda toplam enerji tüketimi 2,3 kWh olduğu tespit edilmiştir.

Ön denemeler sırasında egzoz emiş motorunun devrinin ayarlanmak suretiyle egzoz gazının tahliye hızı ayarlanmaktadır. Bu ayarlama sırasında yüksek emiş hızı, su perdesini bozmaktadır. Ayrıca yüksek egzoz emiş hızı, deneyde kullanılan partikül miktarını algılayan ölçüm aletine ait proba partikül gitmesini engellemektedir. Bu yüzden egzoz emiş motorunun devri çok düşük tutulmuştur. Diğer bir ihtimal ise, emiş hızı artınca sobada kömür tam yanmaktadır. Egzoz gazındaki partikül miktarı, partikül okuyucunun okuma limitlerinin altına düşmesine sebep olmaktadır.

3.1. Kömür Yanmalı Gaz Temizleme ve Partikül Tutma Ön Deneyleri

Ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin verimlilik çalışmalarında ön deneyler için kömür sobası kullanılmıştır. Kömür sobasından çıkan gaz üzerindeki partikülleri düşük ve yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme sisteminin Şekil 27’ de gösterildiği üzere tam perdeleme için su hızı ayarlanmıştır. Su perdesinin oluşabilmesi için $8,8 \times 10^{-4}$ m³/sn lik bir debiye ihtiyaç

olmuştur. Belirlenen optimum su akış debisine ait gaz emiş hızı, su giriş-çıkış sıcaklığı, gaz giriş-çıkış sıcaklığı ve partikül miktarı ölçülerek Tablo 7’de verilmiştir.



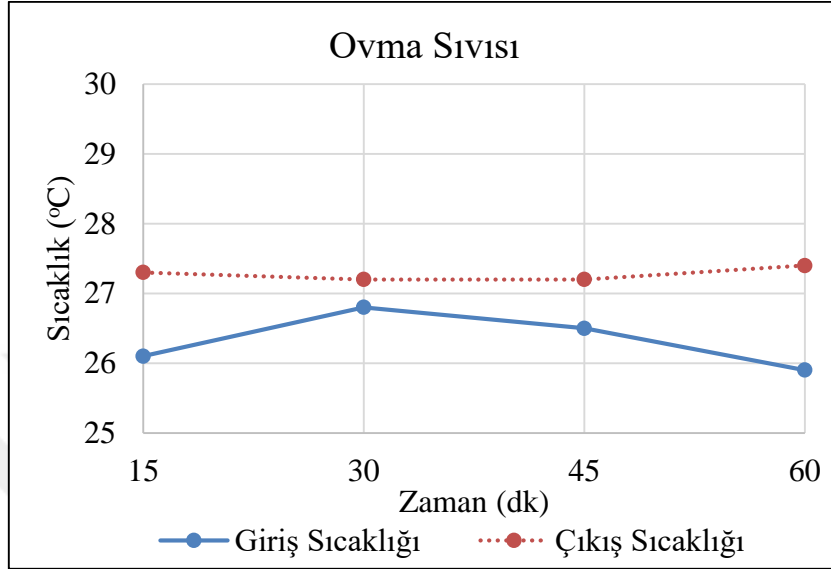
Şekil 27. Tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ünitesine ait su perdesi görünümü.

Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait düşük sıcaklık ön deneme ölçüm sonuçları Tablo 6’ da verilmiştir.

Tablo 6. Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz soğutma ve temizleme sistemine ait ölçüm sonuçları.

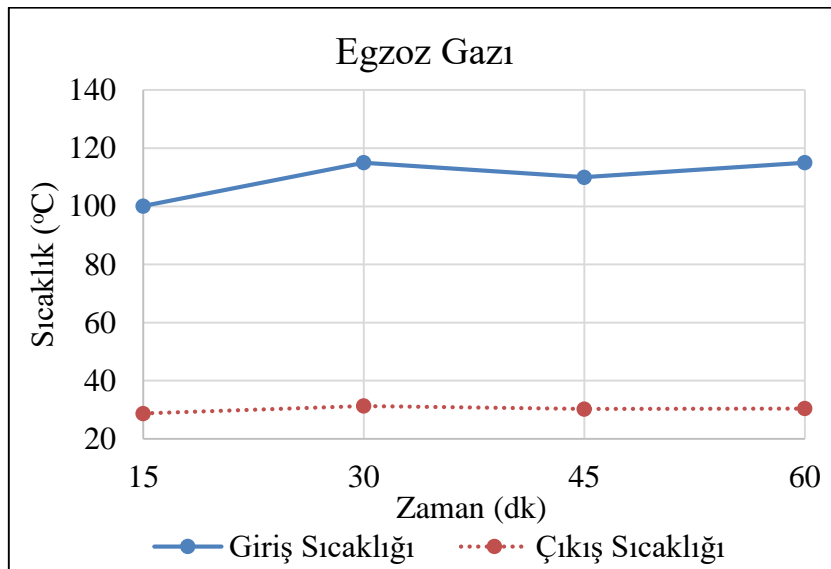
Zaman (dk)	Su Debisi (m ³ /sn)	Giriş Suyu Sıcaklığı (°C)	Giriş Gazı Sıcaklığı (°C)	Giriş Partikül Miktarı (mg/m ³)	Çıkış Partikül Miktarı (mg/m ³)	Çıkış Gazı Sıcaklığı (°C)	Çıkış Suyu Sıcaklığı (°C)	Gaz Emiş Fan Hızı (m/sn)
15	8,8x10 ⁻⁴ ±0,0424	26,1 ±0,380	100,1 ±0,350	298,16 ±0,039	26,89 ±0,027	28,70 ±0,350	27,3 ±0,570	0,32 ±0,010
30	8,8x10 ⁻⁴ ±0,0424	26,8 ±0,380	115,0 ±0,350	130,09 ±0,039	21,59 ±0,027	31,31 ±0,350	27,2 ±0,570	0,30 ±0,010
45	8,8x10 ⁻⁴ ±0,0424	26,5 ±0,380	110,0 ±0,350	159,40 ±0,039	9,18 ±0,027	30,27 ±0,350	27,2 ±0,570	0,28 ±0,010
60	8,8x10 ⁻⁴ ±0,0424	25,9 ±0,380	115,0 ±0,350	179,98 ±0,039	16,27 ±0,027	30,43 ±0,350	27,4 ±0,570	0,31 ±0,010

Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan gaz ovma sıvısının sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 28’ de gösterilmiştir.



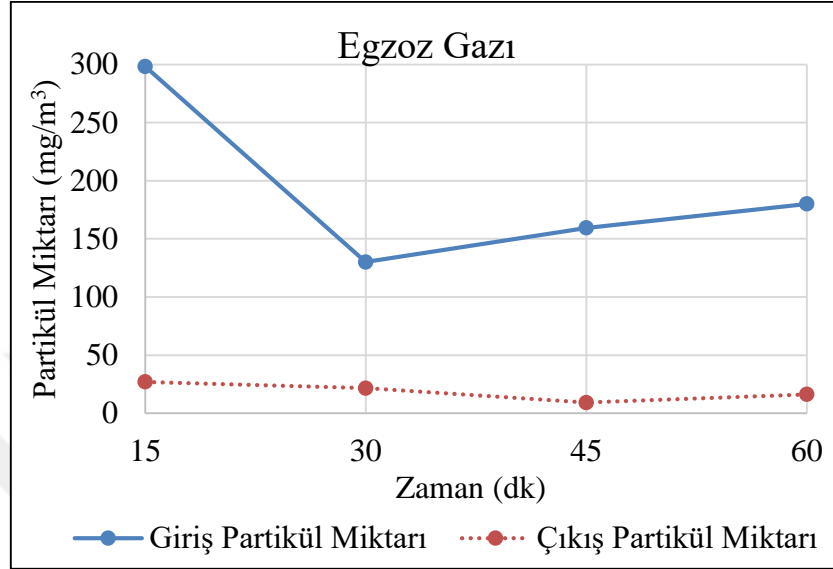
Şekil 28. Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme gaz ovma sıvısı sıcaklık-zaman değişim grafiği.

Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan egzoz gazı sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 29’ de gösterilmiştir.



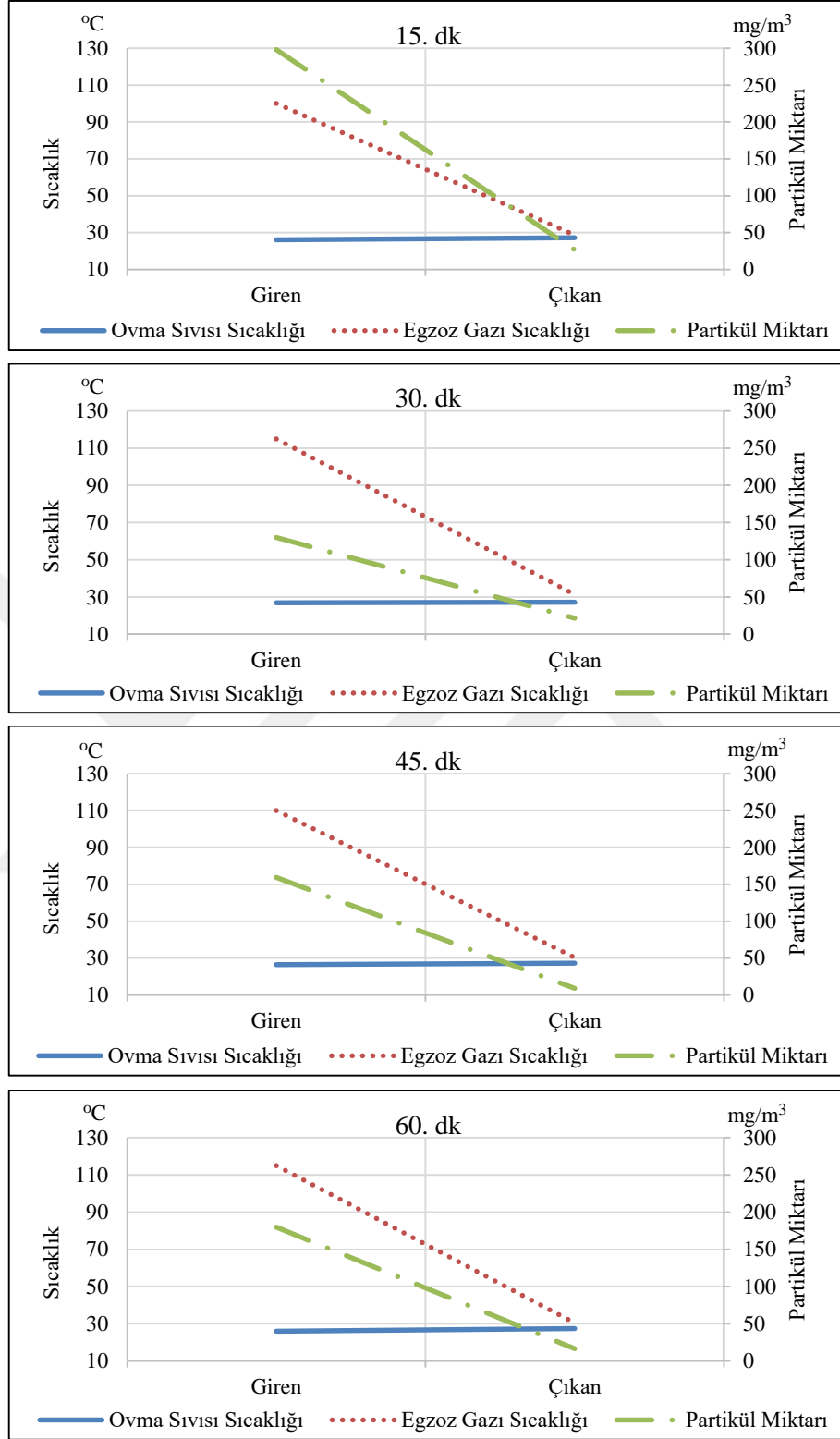
Şekil 29. Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme egzoz gazı sıcaklık-zaman değişim grafiği.

Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan partikül miktarı değişimi zamana bağlı olarak Şekil 30' da gösterilmiştir.



Şekil 30. Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme egzoz gazı partikül miktarı-zaman değişim grafiği.

Düşük sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında 15., 30., 45. ve 60. dakikalara ait sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının, egzoz gazının sıcaklığı ve partikül miktarı değişimi Şekil 31' de gösterilmiştir. Burada her bir ölçüm periyodunda egzoz gazının çıkış partikül miktarı, giriş partikül miktarına göre düştüğü görülmektedir. Ayrıca egzoz çıkış sıcaklığının, giriş sıcaklığına göre düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde ovma sıvısının çıkış sıcaklığı, giriş sıcaklığına göre arttığı görülmektedir. Sistem partikül tutmanın yanında gaz soğutma işlemini de gerçekleştirmektedir.



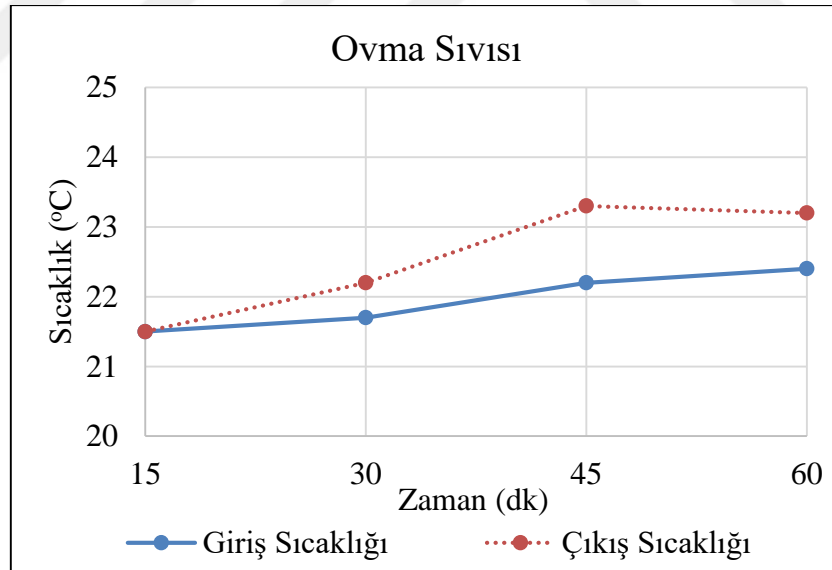
Şekil 31. Düşük sıcaklık tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön denemelerinde periyodik olarak sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının sıcaklığı, egzoz gazının sıcaklık ve partikül indirgeme grafiği.

Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait yüksek sıcaklık ön deneme ölçüm sonuçları Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 7. Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz soğutma ve temizleme sistemine ait ölçüm sonuçları.

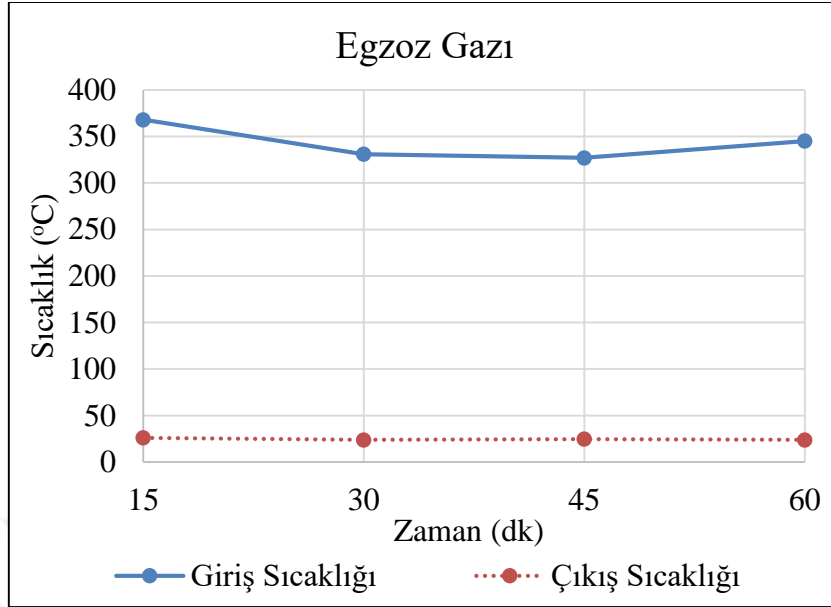
Zaman (dk)	Su Debisi (m ³ /sn)	Giriş Suyu Sıcaklığı (°C)	Giriş Gazı Sıcaklığı (°C)	Giriş Partikül Miktarı (mg/m ³)	Çıkış Partikül Miktarı (mg/m ³)	Çıkış Gazı Sıcaklığı (°C)	Çıkış Suyu Sıcaklığı (°C)	Gaz Emiş Fan Hızı (m/sn)
15	8,8x10 ⁻⁴ ±0,0424	21,5 ±0,380	368 ±0,350	477,44 ±0,039	42,78 ±0,027	26 ±0,350	21,9 ±0,570	0,51 ±0,010
30	7,8x10 ⁻⁴ ±0,0424	21,7 ±0,380	331 ±0,350	396,93 ±0,039	35,73 ±0,027	23,9 ±0,350	22,2 ±0,570	0,41 ±0,010
45	8,1x10 ⁻⁴ ±0,0424	22,2 ±0,380	327 ±0,350	429,33 ±0,039	46,31 ±0,027	24,7 ±0,350	23,3 ±0,570	0,31 ±0,010
60	8,5x10 ⁻⁴ ±0,0424	22,4 ±0,380	345 ±0,350	461,47 ±0,039	51,59 ±0,027	23,9 ±0,350	23,2 ±0,570	0,34 ±0,010

Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan gaz ovma sıvısının sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 32’ de gösterilmiştir.



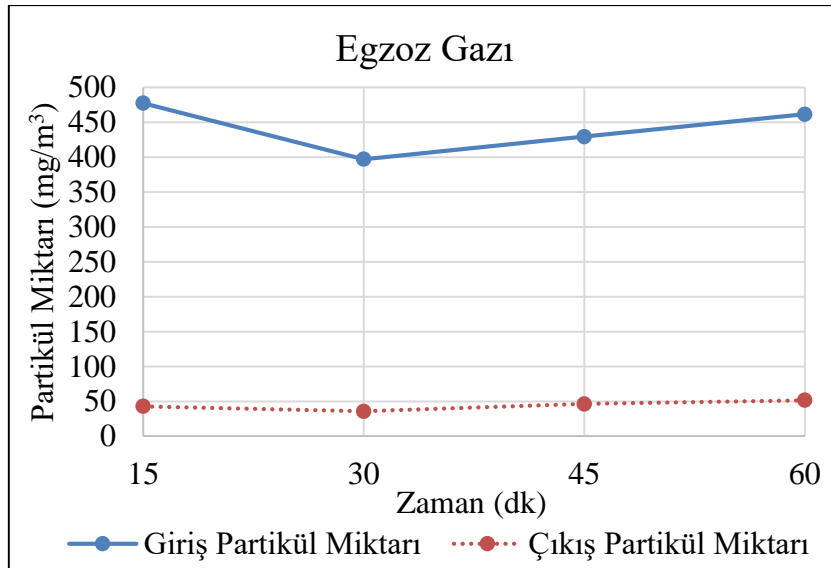
Şekil 32. Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme gaz ovma sıvısı sıcaklık-zaman değişim grafiği.

Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan egzoz gazı sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 33’ te gösterilmiştir.



Şekil 33. Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme egzoz gazı sıcaklık-zaman değişim grafiği.

Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan partikül miktarı değişimi zamana bağlı olarak Şekil 34' te gösterilmiştir.

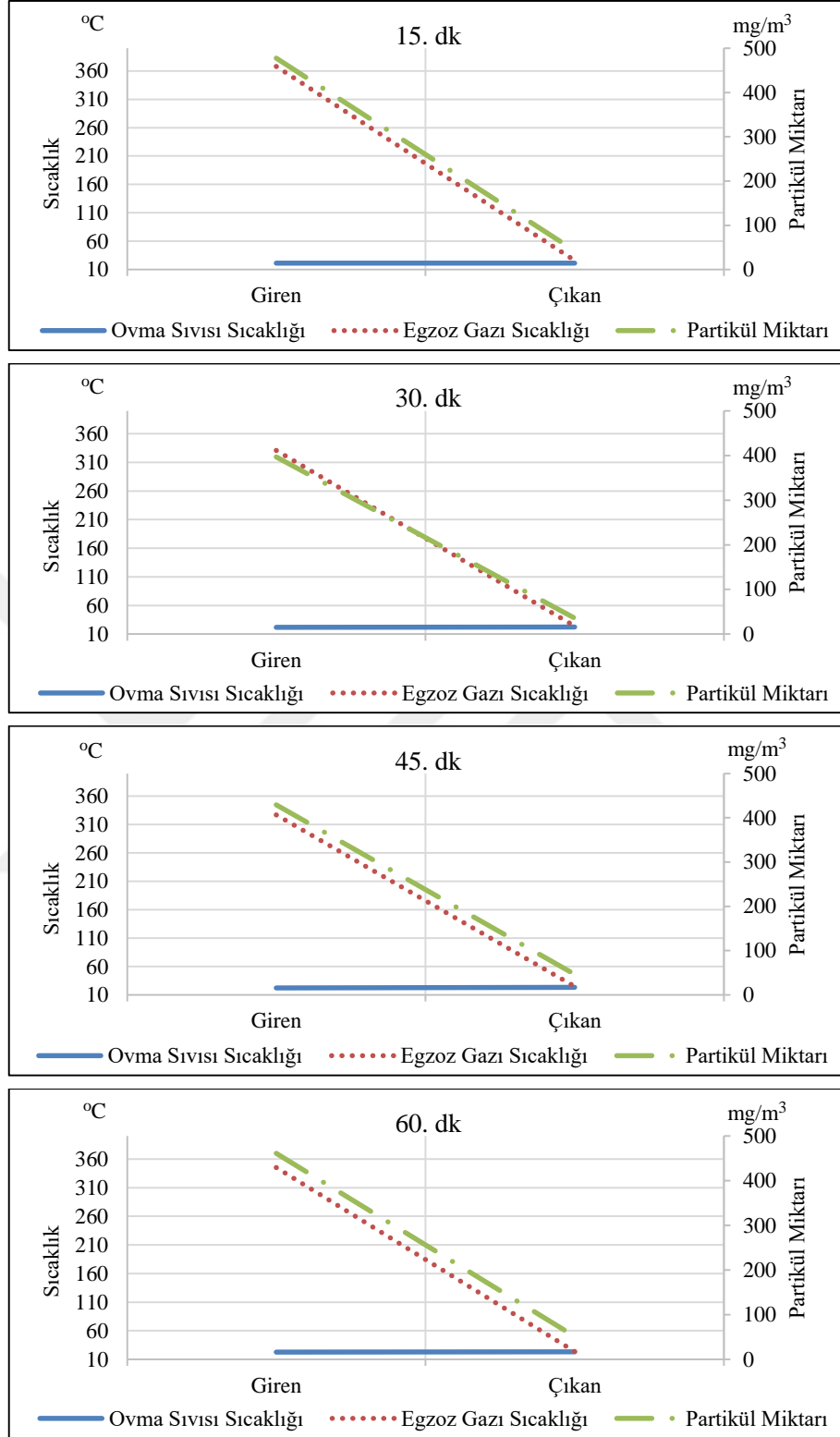


Şekil 34. Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme egzoz gazı partikül miktarı-zaman değişim grafiği.

Yüksek sıcaklıkta tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında 15., 30., 45. ve 60. dakikalara ait sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının,

egzoz gazının sıcaklığı ve partikül miktarı değişimi Şekil 35' te gösterilmiştir. Burada her bir ölçüm periyodunda egzoz gazının çıkış partikül miktarı, giriş partikül miktarına göre düştüğü görülmektedir. Ayrıca egzoz çıkış sıcaklığının, giriş sıcaklığına göre düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde ovma sıvısının çıkış sıcaklığı, giriş sıcaklığına göre arttığı görülmektedir. Sistem partikül tutmanın yanında gaz soğutma işlemini de gerçekleştirmektedir.

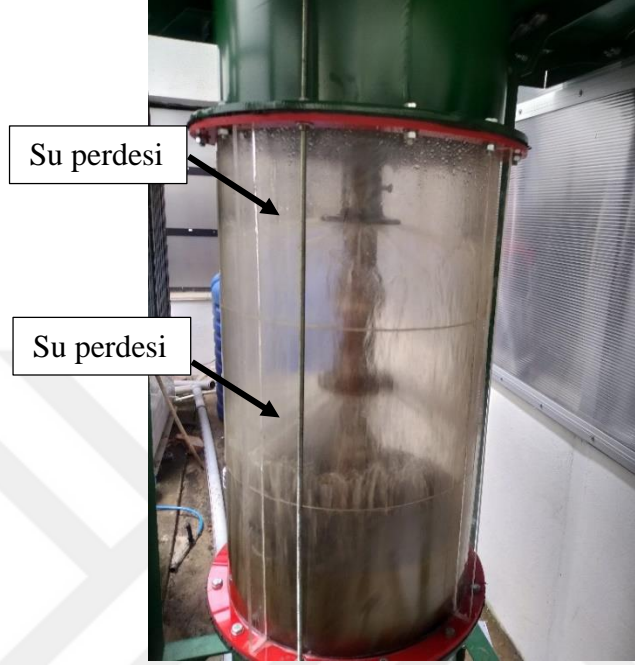




Şekil 35. Yüksek sıcaklık tek kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön denemelerinde periyodik olarak sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının sıcaklığı, egzoz gazının sıcaklık ve partikül tutma grafiği.

Çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma sisteminde Şekil 36' da gösterildiği üzere tam perdeleme için su hızı ayarlanmıştır. Su perdesinin oluşabilmesi için

$1,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sn}$ lik bir debiye ihtiyaç olmuştur. Belirlenen optimum su akış debisine ait gaz emiş hızı, su giriş-çıkış sıcaklığı, gaz giriş-çıkış sıcaklığı ve partikül miktarı ölçülerek Tablo 8' de verilmiştir.



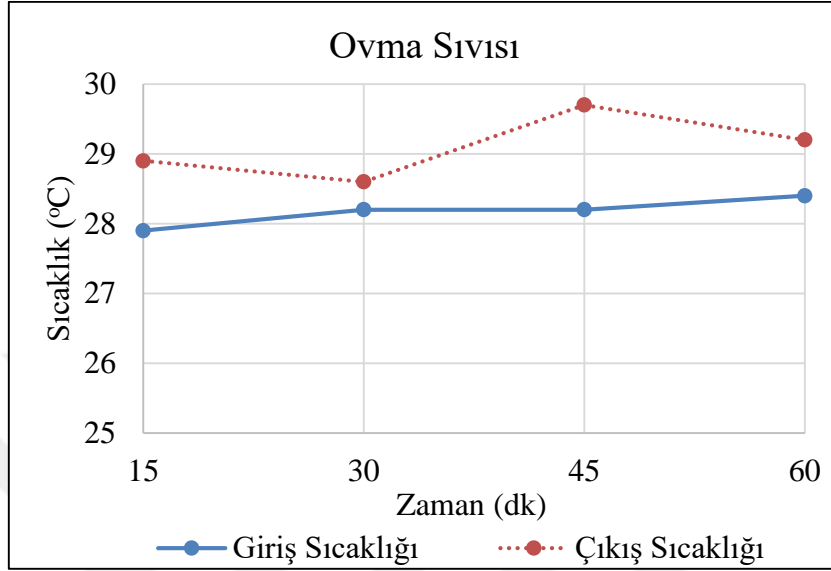
Şekil 36. Çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ünitesine ait su perdesi görünümü.

Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme ölçüm sonuçları Tablo 8' de verilmiştir.

Tablo 8. Düşük sıcaklık çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ölçüm sonuçları.

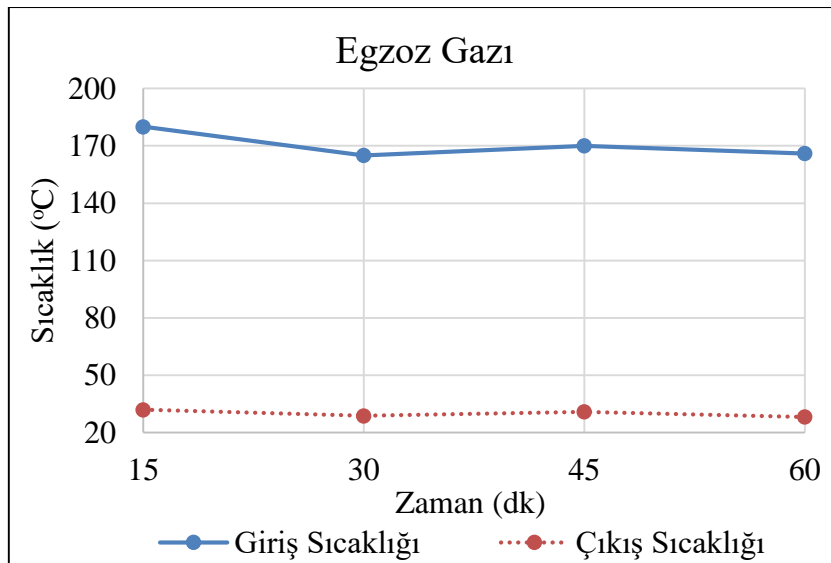
Zaman (dk)	Su Debisi (m^3/sn)	Giriş Suyu Sıcaklığı (°C)	Giriş Gazı Sıcaklığı (°C)	Giriş Partikül Miktarı (mg/m^3)	Çıkış Partikül Miktarı (mg/m^3)	Çıkış Gazı Sıcaklığı (°C)	Çıkış Suyu Sıcaklığı (°C)	Gaz Emiş Fan Hızı (m/sn)
15	$1,4 \times 10^{-3}$ $\pm 0,0424$	27,9 $\pm 0,380$	180 $\pm 0,350$	524,97 $\pm 0,039$	26,89 $\pm 0,027$	32,00 $\pm 0,350$	28,90 $\pm 0,570$	0,25 $\pm 0,010$
30	$1,4 \times 10^{-3}$ $\pm 0,0424$	28,2 $\pm 0,380$	165 $\pm 0,350$	469,46 $\pm 0,039$	2,08 $\pm 0,027$	28,80 $\pm 0,350$	28,60 $\pm 0,570$	0,29 $\pm 0,010$
45	$1,4 \times 10^{-3}$ $\pm 0,0424$	28,2 $\pm 0,380$	170 $\pm 0,350$	513,93 $\pm 0,039$	18,05 $\pm 0,027$	30,90 $\pm 0,350$	29,70 $\pm 0,570$	0,27 $\pm 0,010$
60	$1,4 \times 10^{-3}$ $\pm 0,0424$	28,4 $\pm 0,380$	166 $\pm 0,350$	474,25 $\pm 0,039$	41,02 $\pm 0,027$	28,20 $\pm 0,350$	29,20 $\pm 0,570$	0,29 $\pm 0,010$

Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan gaz ovma sıvısının sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 37’ de gösterilmiştir.



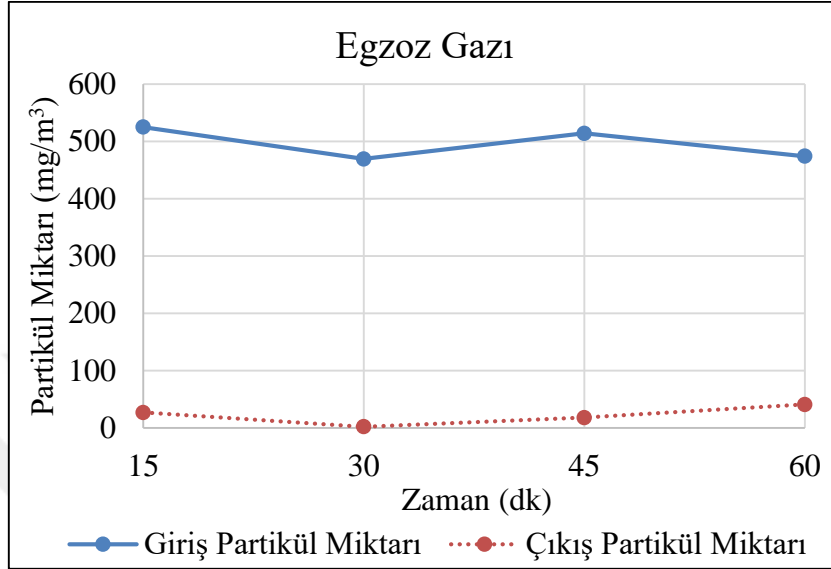
Şekil 37. Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme gaz ovma sıvısı sıcaklık-zaman değişim grafiği.

Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan egzoz gazı sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 38’ de gösterilmiştir.



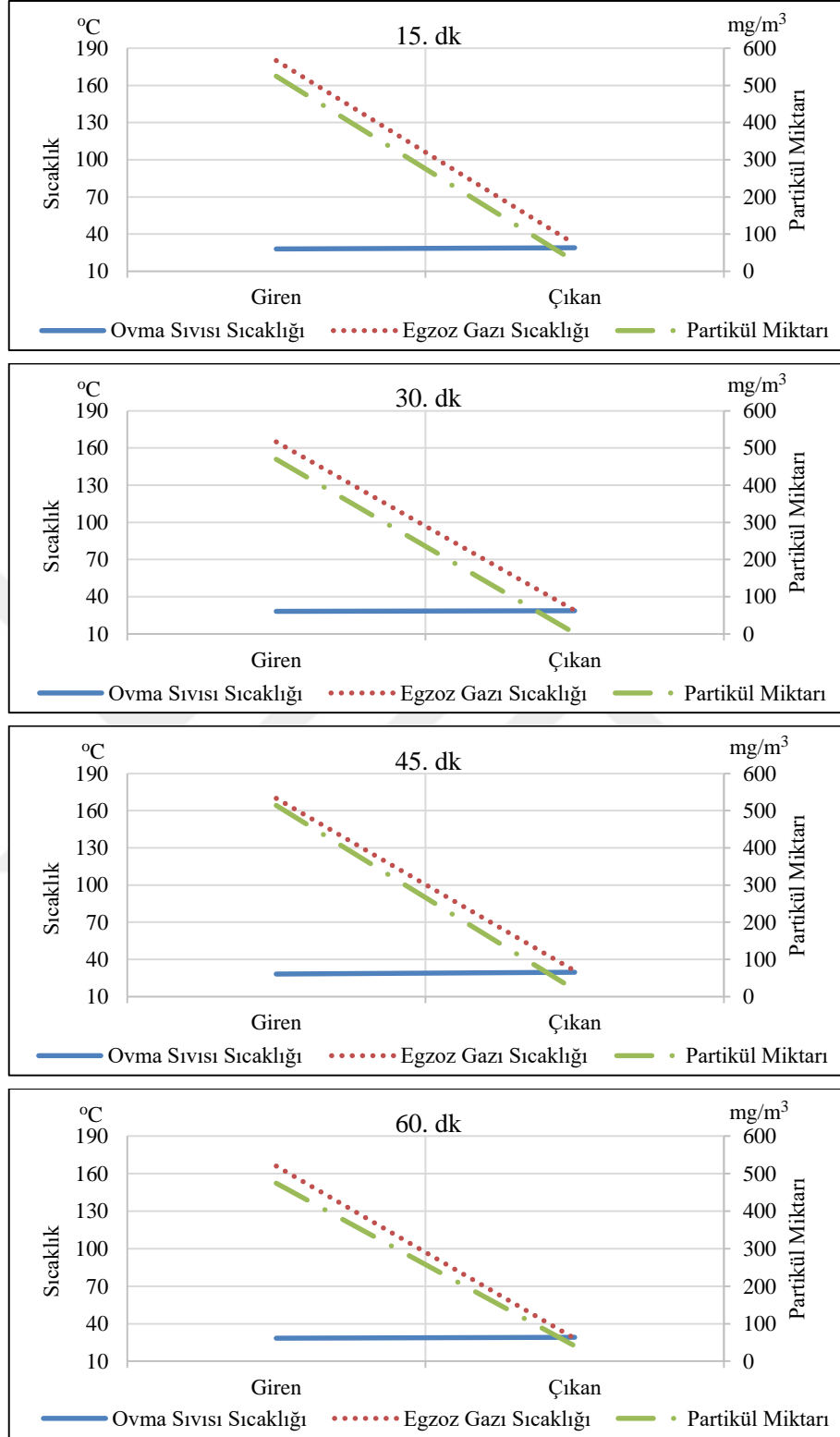
Şekil 38. Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı sıcaklık-zaman değişim grafiği.

Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan partikül miktarı değişimi zamana bağlı olarak Şekil 39' da gösterilmiştir.



Şekil 39. Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı partikül miktarı-zaman değişim grafiği.

Düşük sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma işlemine ait ön deneme sırasında 15., 30., 45. ve 60. dakikalara ait sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının, egzoz gazının sıcaklığı ve partikül miktarı değişimi Şekil 40' ta gösterilmiştir. Burada her bir ölçüm periyodunda egzoz gazının çıkış partikül miktarı, giriş partikül miktarına göre düştüğü görülmektedir. Ayrıca egzoz çıkış sıcaklığının, giriş sıcaklığına göre düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde ovma sıvısının çıkış sıcaklığı, giriş sıcaklığına göre arttığı görülmektedir. Sistem partikül indirgemenin yanında gaz soğutma işlemini de gerçekleştirmektedir.



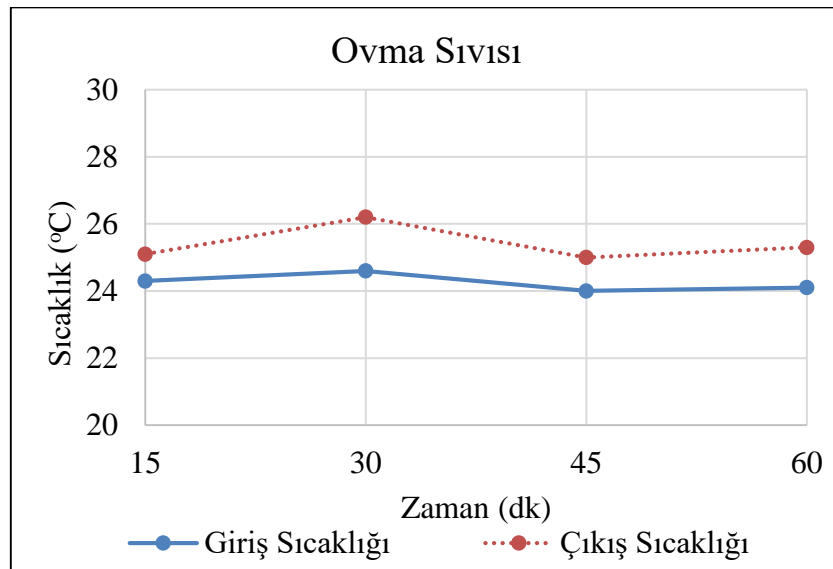
Şekil 40. Çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön denemelerde periyodik olarak sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının sıcaklığı, egzoz gazının sıcaklık ve partikül indirgeme grafiği.

Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme ölçüm sonuçları Tablo 9’ da verilmiştir.

Tablo 9. Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ölçüm sonuçları.

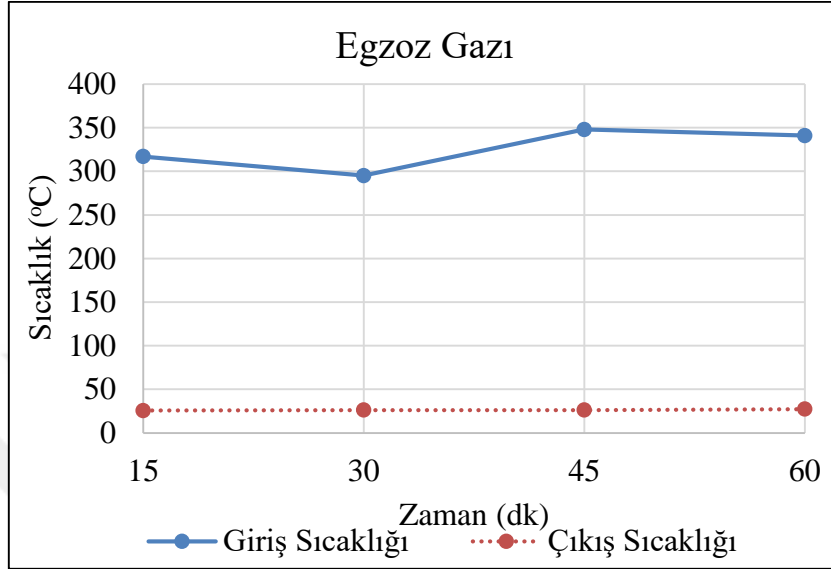
Zaman (dk)	Su Debisi (m ³ /sn)	Giriş Suyu Sıcaklığı (°C)	Giriş Gazı Sıcaklığı (°C)	Giriş Partikül Miktarı (mg/m ³)	Çıkış Partikül Miktarı (mg/m ³)	Çıkış Gazı Sıcaklığı (°C)	Çıkış Suyu Sıcaklığı (°C)	Gaz Emiş Fan Hızı (m/sn)
15	1,6x10 ⁻³ ±0,0424	24,3 ±0,380	317 ±0,350	618,28 ±0,039	25,13 ±0,027	25,6 ±0,350	25,10 ±0,570	0,35 ±0,010
30	1,7x10 ⁻³ ±0,0424	24,6 ±0,380	295 ±0,350	509,19 ±0,039	0,3 ±0,027	26,10 ±0,350	26,20 ±0,570	0,37 ±0,010
45	1,7x10 ⁻³ ±0,0424	24,0 ±0,380	348 ±0,350	445,43 ±0,039	7,41 ±0,027	26,2 ±0,350	25,10 ±0,570	0,37 ±0,010
60	1,7x10 ⁻³ ±0,0424	24,1 ±0,380	341 ±0,350	509,19 ±0,039	16,27 ±0,027	27,30 ±0,350	25,30 ±0,570	0,41 ±0,010

Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan gaz ovma sıvısının sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 41’ de gösterilmiştir.



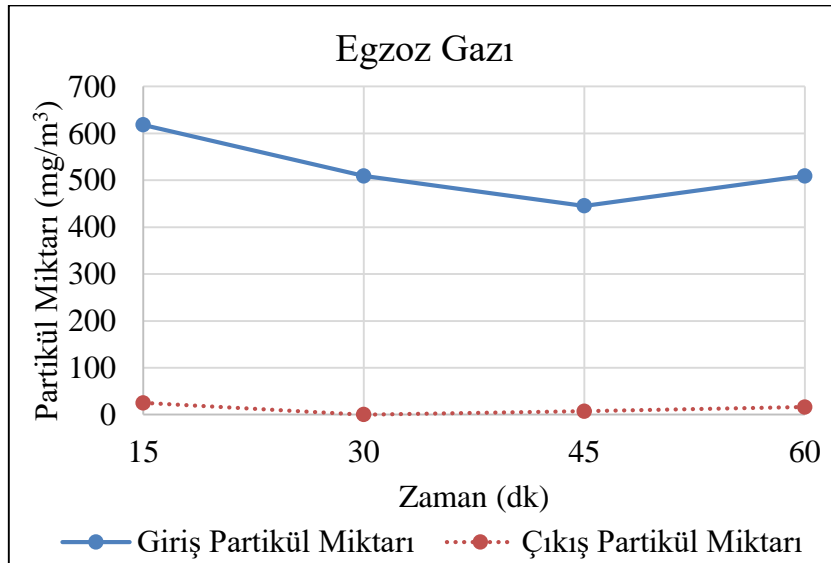
Şekil 41. Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme gaz ovma sıvısı sıcaklık-zaman değişim grafiği.

Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan egzoz gazı sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 42’ de gösterilmiştir.



Şekil 42. Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı sıcaklık-zaman değişim grafiği.

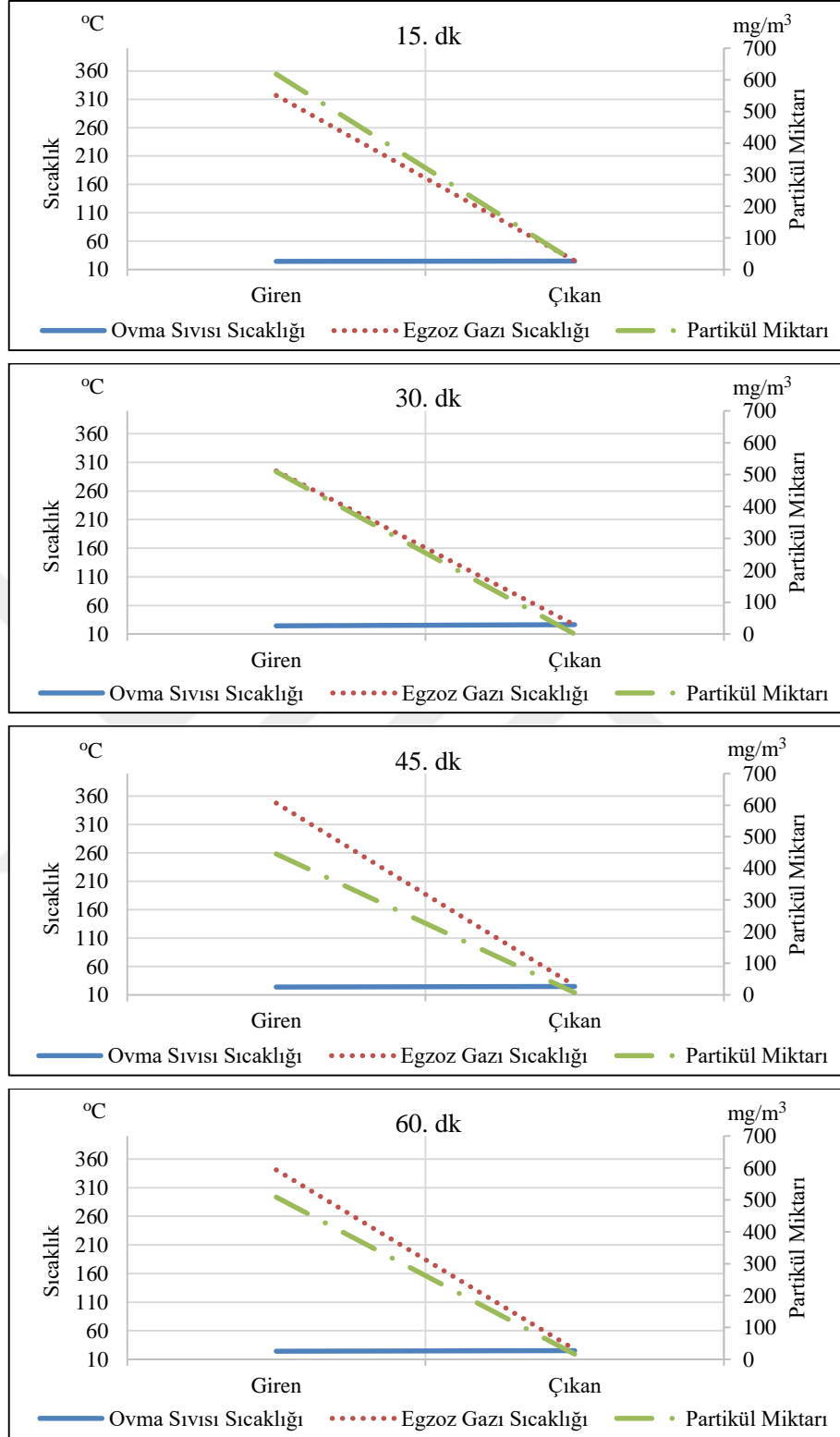
Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan partikül miktarı değişimi zamana bağlı olarak Şekil 43’ te gösterilmiştir.



Şekil 43. Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı partikül miktarı-zaman değişim grafiği.

Yüksek sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma işlemine ait ön deneme sırasında 15., 30., 45. ve 60. dakikalara ait sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının, egzoz gazının sıcaklığı ve partikül miktarı değişimi Şekil 44' te gösterilmiştir. Burada her bir ölçüm periyodunda egzoz gazının çıkış partikül miktarı, giriş partikül miktarına göre düştüğü görülmektedir. Ayrıca egzoz çıkış sıcaklığının, giriş sıcaklığına göre düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde ovma sıvısının çıkış sıcaklığı, giriş sıcaklığına göre arttığı görülmektedir. Sistem partikül indirgemenin yanında gaz soğutma işlemini de gerçekleştirmektedir.





Şekil 44. Yüksek Sıcaklıkta çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön denemelerde periyodik olarak sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının sıcaklığı, egzoz gazının sıcaklık ve partikül indirgeme grafiği.

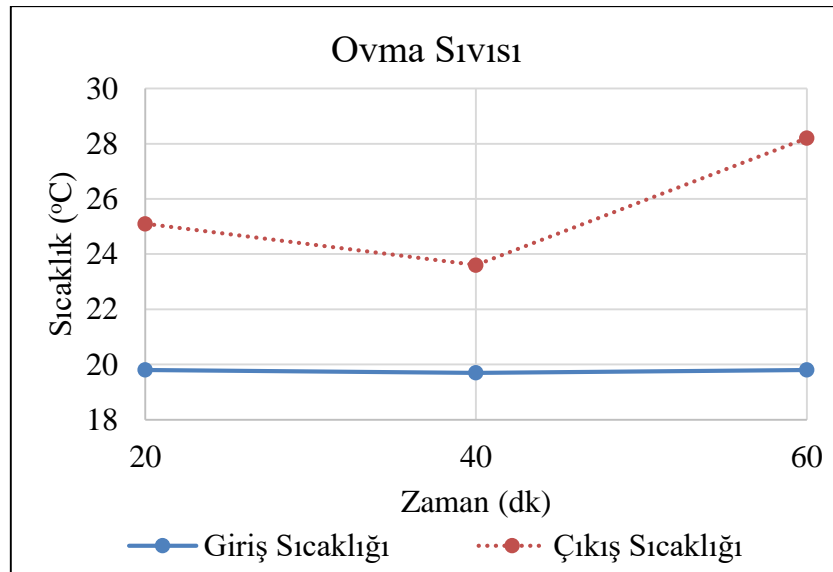
3.2. Ark Plazma Gazlaştırmalı Gaz Temizleme ve Partikül Tutma Ön Deneyleri

Ark plazma gazlaştırmacısından çıkan gazın (Singaz) çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme ölçüm sonuçları Tablo 10' da verilmiştir.

Tablo 10. Ark plazma gazlaştırmacısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ölçüm sonuçları.

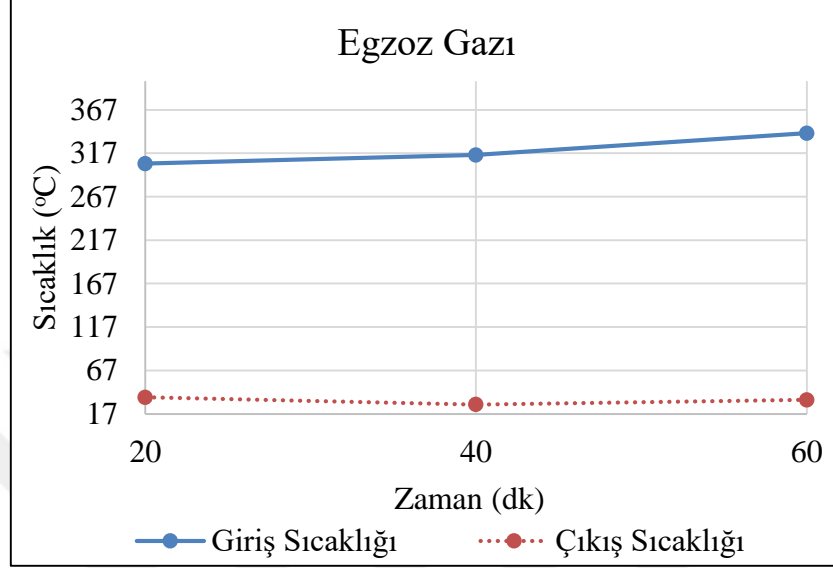
Zaman (dk)	Su Debisi (m ³ /sn)	Giriş Suyu Sıcaklığı (°C)	Giriş Gazı Sıcaklığı (°C)	Giriş Partikül Miktarı (mg/m ³)	Çıkış Partikül Miktarı (mg/m ³)	Çıkış Gazı Sıcaklığı (°C)	Çıkış Suyu Sıcaklığı (°C)	Gaz Emiş Fan Hızı (m/sn)
20	1,3x10 ⁻³ ±0,0424	19,8 ±0,380	305 ±0,350	1434,1 ±0,039	26,89 ±0,027	36,10 ±0,350	25,10 ±0,570	3,4 ±0,010
40	1,4x10 ⁻³ ±0,0424	19,7 ±0,380	315 ±0,350	1411,2 ±0,039	25,13 ±0,027	27,80 ±0,350	23,60 ±0,570	3,5 ±0,010
60	1,5x10 ⁻³ ±0,0424	19,7 ±0,380	340 ±0,350	1490,2 ±0,039	23,36 ±0,027	33,20 ±0,350	28,20 ±0,570	3,5 ±0,010

Ark plazma gazlaştırmacısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma işlemine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan gaz ovma sıvısının sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 45' te gösterilmiştir.



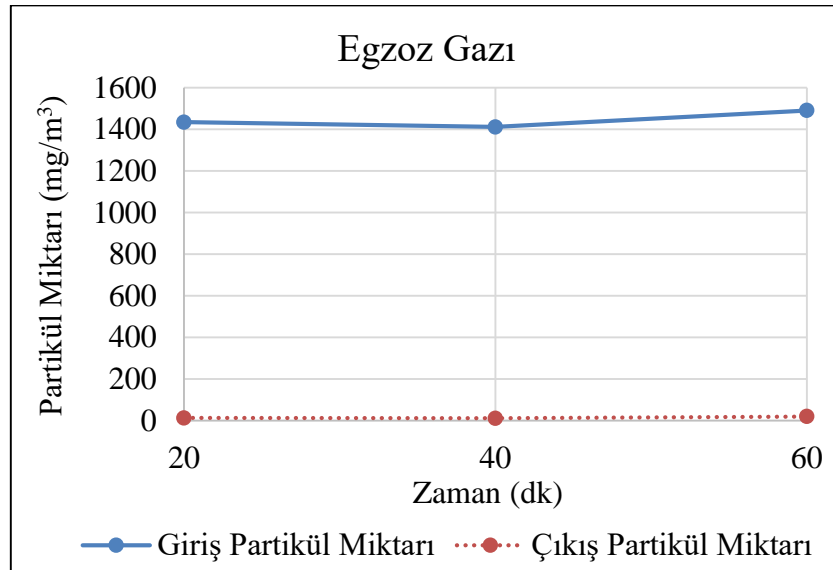
Şekil 45. Ark plazma gazlaştırmacısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutma ön deneme gaz ovma sıvısı sıcaklık-zaman değişim grafiği.

Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma işlemeine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan egzoz gazı sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 46’ da gösterilmiştir.



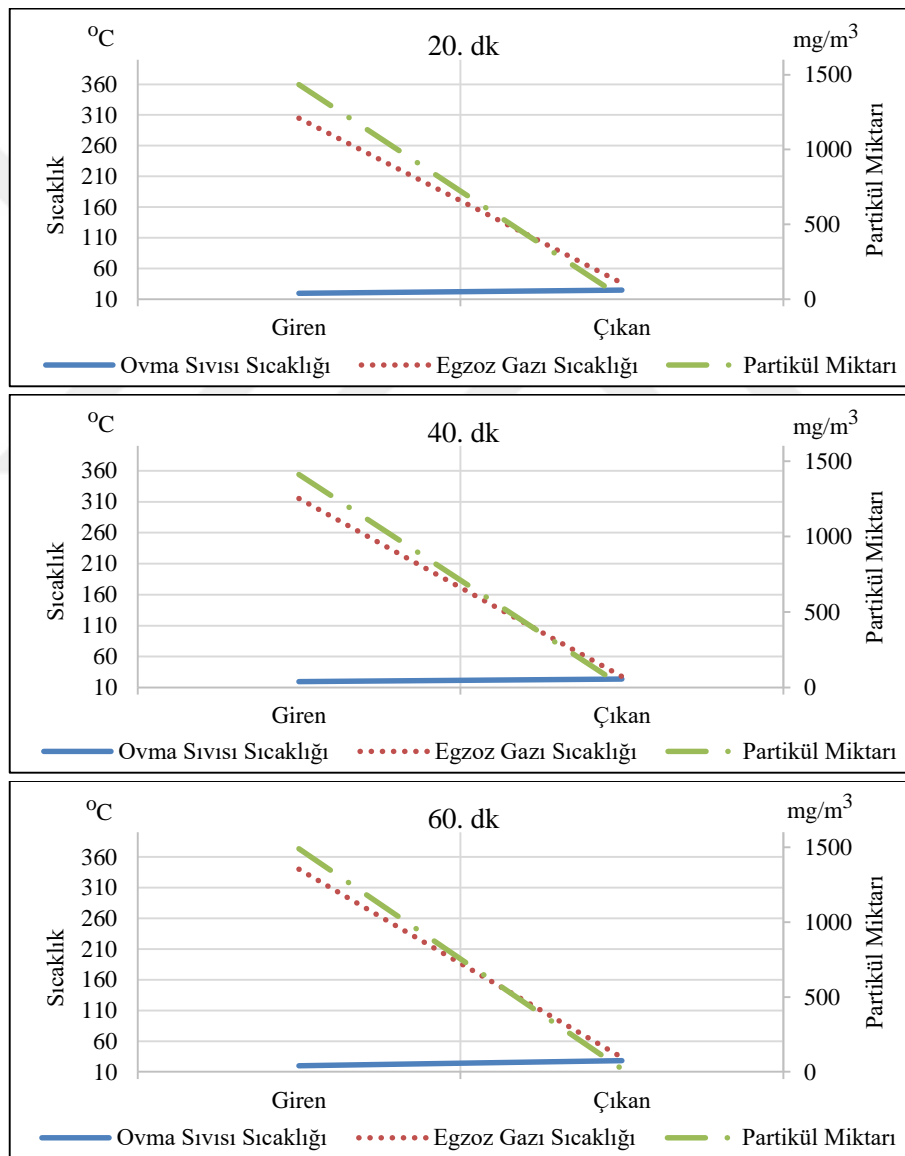
Şekil 46. Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı sıcaklık-zaman değişim grafiği.

Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma işlemeine ait ön deneme sırasında sisteme giren ve çıkan partikül miktarı değişimi zamana bağlı olarak Şekil 47’ de gösterilmiştir.



Şekil 47. Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma ön deneme egzoz gazı partikül miktarı-zaman değişim grafiği.

Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın çift kademeli gaz temizleme ve partikül tutuma işleme ait ön deneyleri sırasında 20., 40. ve 60. dakikalara ait sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının, egzoz gazının sıcaklığı ve partikül miktarı değişimi Şekil 48’ de gösterilmiştir. Burada her bir ölçüm periyodunda egzoz gazının çıkış partikül miktarı, giriş partikül miktarına göre düştüğü görülmektedir. Ayrıca egzoz çıkış sıcaklığının, giriş sıcaklığına göre düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde ovma sıvısının çıkış sıcaklığı, giriş sıcaklığına göre arttığı görülmektedir. Sistem partikül indirgemenin yanında gaz soğutma işlemini de gerçekleştirmektedir.



Şekil 48. Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın gaz temizleme ve partikül tutuma ön denemelerde periyodik olarak sisteme giren ve çıkan ovma sıvısının sıcaklığı, egzoz gazının sıcaklık ve partikül indirgeme grafiği.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarımı, imalatı ve ön deneyleri için gerekli literatür taramaları yapılmıştır. Gerekli incelemeler sonucu üç boyutlu tasarım programlarında tasarım çalışmaları yapılmıştır. Tasarlanan sistem bölge sanayisinden destek alınarak kaynaklı ve talaşlı imatları teknik resimlere göre üretilmiştir. Sistem, Recep Tayyip ERDOĞAN Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde bulunan İDEA-L laboratuvarında kurulmuştur.

Sistemi devreye alma çalışmalarında su tankının uzakta olması su perde oluşumunu olumsuz etkilemiştir. Su aktarım hattındaki dönüşler basınç düşümüne sebep olmuştur. Bu yüzden su tankı sistemin yerleşimi değiştirilmiştir.

Tasarım parametreleri arasında bulunan modüler yapıda ve geliştirilebilir kriterlerine göre imalatı yapılmış gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinde bulunan kolay geçme montaj ekipmanı sayesinde sisteme piyasadaki muadillerinde bulunmayan bir özellik kazandırılmıştır. Bu sayede sistem iki, üç üniteli veya delik çapları ve sayıları değiştirilerek her bir değişikliğin ölçülebilir ve gözlemlenebilir bir konstrüksiyon elde edilmiştir. Bu özellik için ayrıca üniversitemiz adına patent başvurusu yapılacaktır.

Geliştirilen sistemde ön denemeler yapılmıştır. Yapılan denemelerde düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık olmak üzere tek üniteli yıkama ve çift üniteli temizleme sistemi olarak farklı parametrelerin ölçümü alınmıştır. Ünite sayısının artırılması ile gerekli su perdesinin oluşabilmesi için sisteme giren su debisi artırılmıştır. Su miktarı artışıyla suyun partikül tutma oranı arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklıktaki gaz ortam sıcaklığına düştüğü gözlemlenmiştir.

Kömür yanmalı gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinde düşük ve yüksek sıcaklıkta, tek ve çift kademeli olarak farklı sürelerde alınan ölçüm sonuçları Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9' da gösterilmiştir. Buradaki giriş ve çıkış partikül değerlerinden bulunan partikül tutma verimliliği denklem 2.10 kullanılarak hesaplanmıştır. Düşük ve yüksek sıcaklıkta, tek ve çift kademeli olarak gaz temizleme ve partikül tutma verimliliği Tablo 11' de gösterilmektedir. Düşük ve yüksek sıcaklıkta çift

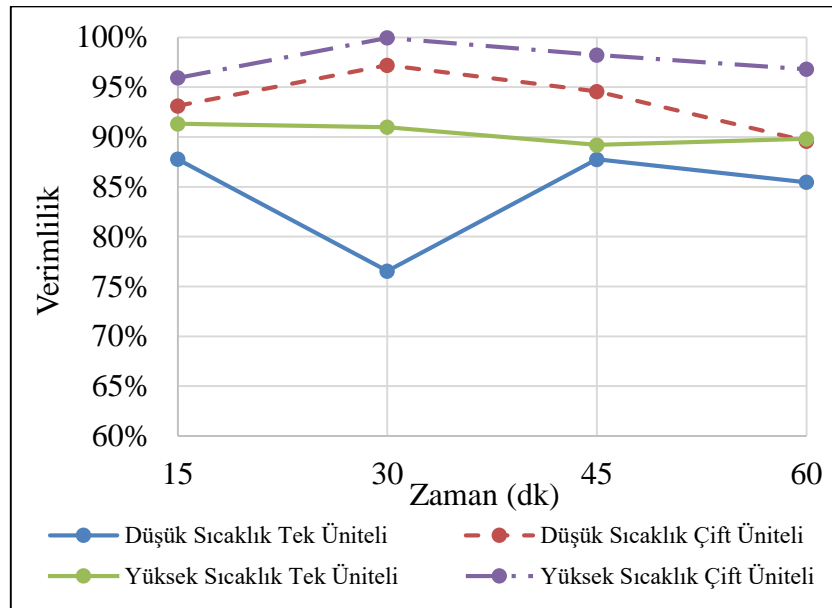
üniteli yıkama sisteminden alınan partikül tutma verimi %97 civarında tespit edilmiştir. Düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklıkta tek üniteli yıkama sisteminde ise bu verim yaklaşık %90 civarında bulunmuştur.

Ayrıca verimlilik hesabında denklem 2.13 kullanılarak toplam hata miktarı hesaplanmıştır. Tablo 11’ de belirtilmiştir.

Tablo 11. Kömür yanmalı gaz temizleme ve partikül tutma verimliliği.

Zaman	Düşük Sıcaklık		Yüksek Sıcaklık	
	Tek Kademeli	Çift Kademeli	Tek Kademeli	Çift Kademeli
15 dk	%90,97 ±0,053	%94,87 ±0,029	%91,33 ±0,053	%95,93 ±0,028
30 dk	%83,40 ±0,058	%99,55 ±0,028	%90,99 ±0,052	%99,94 ±0,027
45 dk	%94,23 ±0,051	%96,48 ±0,028	%89,21 ±0,054	%98,33 ±0,028
60 dk	%90,95 ±0,053	%91,34 ±0,030	%89,82 ±0,053	%96,80 ±0,028

Çift üniteli yıkama sisteminden alınan partikül tutma verimi %97 civarında tespit edilmiştir. Tek üniteli yıkama sisteminde ise bu verim yaklaşık %90 civarında bulunmuştur (Şekil 49).



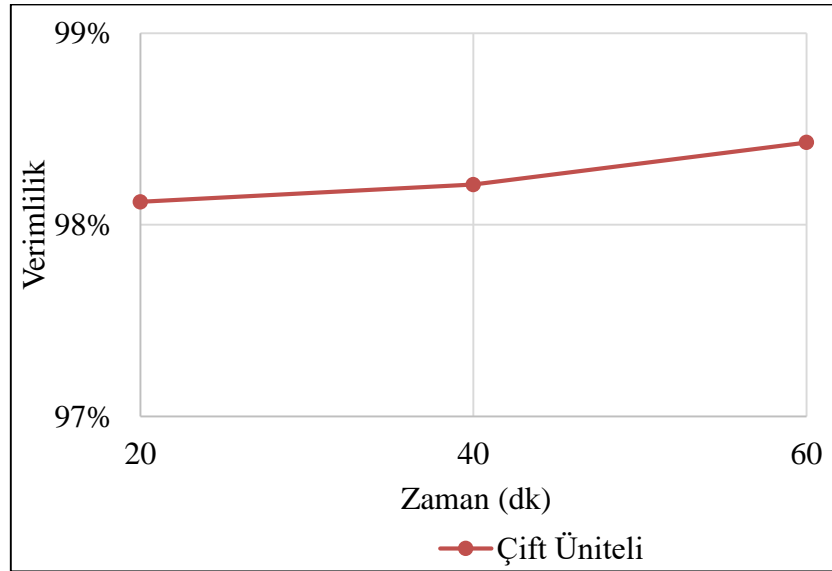
Şekil 49. Düşük ve yüksek sıcaklık tek ve çift yıkama üniteli partikül tutma verimlilik grafiği.

Şekil 49’ da görüldüğü üzere kademe sayısı arttıkça partikül tutma kabiliyetinde iyileşme olduğu görülmektedir. Bu sebeple değişik kademe tipleri geliştirilerek partikül tutma işlemi daha iyi hale getirilebilir.

Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın, temizleme ve partikül tutma ünitesinde çift kademeli olarak farklı sürelerde alınan ölçüm sonuçları Tablo 10’ da gösterilmiştir. Buradaki giriş ve çıkış partikül değerlerinden bulunan partikül tutma verimliliği denklem 2.10 kullanılarak hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın temizleme ve partikül tutma verimliliği Tablo 12’ de gösterilmektedir. Burada ortalama partikül tutma verimi %98 olarak tespit edilmiştir (Şekil 50).

Tablo 12. Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın temizleme ve partikül tutma verimliliği.

Zaman	Çift Kademeli
20 dk	%98,12 ±0,0277
40 dk	%98,21 ±0,0277
60 dk	%98,43 ±0,0277



Şekil 50. Ark plazma gazlaştırıcısından çıkan gazın temizleme ve partikül tutma verimlilik grafiği.

Ark plazma gazlaştırma sistemine entegre bir gaz temizleme ve partikül tutma ünitesinin tasarımı, imalatı ve ön deneyleri konulu tez çalışması için 50 m³/h kirli gaz

kapasitesini karşılayacak sistem için 450 mm gövde çapına sahip, 1200 mm gaz yıkama boyuna sahip sistem dizayn edilmiştir. Sistemde kömür yanmalı ve ark plazma gazlaştırmalı olarak ön deneyler yapılmıştır. Kömür yanmalı deneylerde düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklıkta olmak üzere tek kademeli yıkma ünitesi ve çift kademe yıkama üniteli olarak ön deneyler yapılmıştır. Ark plazma gazlaştırmalı deneylerde ise çift kademe yıkama üniteli olarak ön deneyler yapılmıştır. Ön deneyler sonucunda tek üniteli sistem için en ideal ovma sıvısının debisi $0,00088\text{m}^3/\text{sn}$ olarak belirlenmiştir. Bu akış debisinde ortalama %93 verimle partikül temizliği gerçekleştirmiştir. Aynı şekilde çift kademeli sistem için en ideal ovma sıvısının debisi $0,0015\text{m}^3/\text{sn}$ olarak belirlenmiştir. Bu akış debisinde ortalama %98 verimle partikül temizliği gerçekleştirmiştir.

Bhargava, (2016), da ıslak yıkama gaz temizleme sistemine ait yapmış olduğu çalışmada kullanılan hesaplamalar kullanılarak, geliştirdiğimiz sistemin ölçülerine göre ve gaz akış hızına ve ovma sıvısının debi değerleri kullanılarak teorik olarak tek kademeli yıkama sisteminin verimi %92,9 ve çift kademeli yıkama sisteminin verimi %98,5 olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamalardaki verimlilik değerleri ile uygulama esnasındaki verimlilik değerlerinin uyduğu gözlemlenmiştir.

5. ÖNERİLER

Ark plazma gazlaştırma sisteminden elde edilen gazın temizlenmesi ve partikül tutma ünitesi için tasarım ve imalatı yapılmış bu çalışmanın, bundan sonra bu sistemde çalışacak araştırmacıların aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir;

- Tasarlanan ve üretilen gaz temizleme ve partikül tutuma ünitesinin yıkama kademelerindeki delik adetleri ve çapları değiştirilip performans analizleri yapılarak ideal kontrüksiyon değerleri incelenebilir.
- Püskürtme, damlama veya değişik yıkama ünitelerinin tipleri geliştirilerek değiştirilerek sistemin soğutma ve temizleme performansına etkisi araştırılabilir.
- Ovma sıvısına kimyasal katkılarla sistemin kimyasal indirgemesi hakkında da bilgiler elde edinilebilir. Ayrıca gaz soğutma ve temizleme sisteminin üst kısmında bulunan filtre sepetlerine kum, aktif karbon vb. materyaller kullanarak, gazın fiziksel ve kimyasal indirgemesi incelenebilir.
- Sisteme partikül miktarının ölçülmesinin yanında gaz tiplerini ölçebilecek ölçüm sistemi adapte edilerek, ovma sıvısının gaz üzerindeki fiziksel indirgemesi incelenebilir.
- Ön denemeler sırasında kullanılmış olan kömür sobasında yanmanın homojen olmamasından dolayı çıkan baca gazının sıcaklığının ve oluşan miktarı değişkenlik göstermektedir. Bu yüzden sistem performansının ölçümünde zorluklar yaşanmıştır. Bu yüzden sabit egzoz gazı üreteçleri (dizel motor vb.) kullanılması önerilir. Bu sayede sistemin performansının değerlendirilmesi çok daha doğru sonuç verecektir.
- Ön denemeler sırasında sistemin içerisindeki şaft borusunu değiştirmek için ana gövdeye ait alt ve orta bölmelerinin sökülmesi gerekmektedir. Bu yüzden sistemin bakım ve değişim kabiliyetini arttırmak için sistemi oluşturan üç adet orta bölmeden ikisinin birleştirilerek kapaklı hale getirilmesi önerilir.

- Ön denemeler sırasında sistemin içerisindeki basınç kayıpları ölçülemedi. Bu yüzden basınç kayıplarının ölçülmesi ayrı bir çalışma olarak önerilir.



KAYNAKLAR

- Ali, H., Plaza, F. and Mann, A., 2017.** Flow visualization and modelling of scrubbing liquid flow patterns inside a centrifugal wet scrubber for improved design. *Chemical Engineering Science*, 173, 98-109. DOI:10.1016/j.ces.2017.06.047.
- Avallone, E. and Baumeister T., 1996.** *Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers*, McGraw Hill, New York,
- Bhargava A., 2016.** Wet Scrubbers – Desing of Spray Tower to Control Air Pollutants. *International Journal of Environmental Planing and Development*, 2, 68-73.
- Bauer, F., Persson, T., Hulteberg, C., Tamm D., 2013.** Biogas upgrading–technology overview, comparison and perspectives for the future. *Biofuels Bioprod Biorefining*, 499-511.
- Beghi, I., Lind, T. and Prasser, H.M., 2018.** Experimental studies on retention of iodine in a wet scrubber. *Nuclear Engineering and Design*, 326, 234-243. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2017.11.025.
- Bhave, A.G., Vyas, D.K. and Patel, J.B., 2008.** A wet packed bed scrubber-based producer gas cooling–cleaning system. *Renewable Energy*, 33, 1716-1720.
- Bianchini, A., Pellegrini, M., Rossi, J. and Saccani, C., 2018.** Theoretical model and preliminary design of an innovative wet scrubber fort he seperation of fine particulate matter produced by biomass combustion in small size boilers. *Biomass and Bioenergy*, 116, 60-71.
- Chen, Z., Chen, H., Cheng, Y.Z., Cui, Q., Wan, L. and Cheng, R., 2017.** Experimental performance of tar removal by a Quench coupled with adsorption technology. *Energy Procedia*, 105, 576-582. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.359.
- Chien, C., Tsai, C., Sheu, S., Cheng, Y., Starik, A.M., 2015.** High-efficiency parallel-plate wet scrubber (PPWS) for soluble gas removal. *Separation and Purification Technology*, 142, 189–195
- Carotenutoa, C., Natale, F., Lancia, A., 2010.** Wet electrostatic scrubbers for the abatement of submicronic particulate. *Chemical Engineering Journal*, 165, 35–45.
- Cooper, C.D. and Alley, F.C., 2010.** *Air pollution control: A design approach*. Waveland Press, Inc., Prospect Heights, IL.
- Davis, W.T., 2000.** *Air Pollution Engineering Manual (2nd Edition)*. Air and Waste Management, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- De Filippis, P., Scarsella, M., De Caprariis, B. And Uccellari, R., 2015.** Biomass gasification plant and syngas clean-up system. *Energy Procedia*, 75, 240-245. DOI:10.1016/j.egypro.2015.07.318.

- Díaz-Somoano, M., Unterberger, S., Hein, K.R., 2007.** Mercury emission control in coal-fired plants: The role of wet scrubbers. *Fuel Processing Technology*, 88, 259–263.
- D’Addio, L., Di Natale, F., Carotenuto, C., Balachandran, W. and Lancia, A., 2013.** A lab-scale system to study submicron particles removal in wet electrostatic scrubbers. *Chemical engineering science*, 97, 176-185. DOI: 10.1016/j.ces.2013.04.006.
- Doğru, M., Midilli, A. and Howarth, C.R., 2002.** Gasification of sewage sludge using a throated downdraft gasifier and uncertainty analysis. *Fuel Processing Technology*, 75(1), 55-82.
- Environmental Protection Agency, U.S. (EPA), 1990.** Air Pollution Technology Fact Sheet, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC.
- Environmental Protection Agency, U.S. (EPA), 1997.** Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate. EPA Document No. EPA-452/R-97-001, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, September 30.
- Fisher, T., Zouzou, N., Greil, R. and Hopf, N., 2012.** Smart home precipitator for biomass-furnaces. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 50(3), 2219 – 2224. DOI: 10.1109/IAS.2012.6373987
- Hasler, P. And Nussbaumer, Th., 1999.** Gas cleaning for IC engine application from fixed bed biomass gasification. *Biomass and Bioenergy*, 16, 385-395.
- Holman. J.P.,1971.** *Experimental Methods for Engineers*. McGrawHill Book Company.
- Krzyżyńska, R., Hotson, N.D., Zhao, Y., Szeliga, Z. And Regucki, P., 2018.** Mercury removal and its fate in oxidant enhanced wet flue gas desulfurization slurry. *Fuel*, 211, 876-882. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.10.004.
- Lantela, J., Rasi, S., Lehtinen, J. and Rintala, J., 2012.** Landfill Gas Upgrading with Pilot-Scale Water Scrubber: Performance Assessment with Absorption Water Recycling. *Applied Energy*, 92, 307-314.
- Lien, C.-C., Lin, J.-L. and Ting ,C.-H., 2014.** Water Scrubbing for Removal of Hydrogen Sulfide (H₂S) Inbiogas from Hog Farms. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 3, 1-6.
- Lotfi, S., Ma, W., Austin, K., Kumar, A., 2019.** A wet packed-bed scrubber for removing tar from biomass producer gas. *Fuel Processing Technology*, 193, 197-203.
- Jaworek, A., Balachandran, W., Lackowski, M., Kulon, J., Krupa, A., 2006.** Multi-nozzle electrospray system for gaz cleaning processes. *Journal of Electrostatics*, 64, 194–202.

- Mizuno, A., 2000.** Electrostatic precipitation. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 7(5), 615-624.
- Mussatti, D. and Hemmer P., 2002.** Wet Scrubbers for Particulate Matter. EPA Document No. EPA-452/B-02-001.
- Mohan, A. , Chidambaram, P.K., Suryan, A., Kim H.D., 2019.** Energy efficiency analysis of wet compression systems through thermo-fluid dynamic considerations. *Journal of Cleaner Production*, 214, 132-144.
- Omine, N., Romero, C.E., Kikkawa, H., Wu S. and Eswaran S., 2012.** Study of elemental mercury Re-emission in a simulated wet scrubber. *Fuel*, 91, 93-101. DOI:10.1016/j.fuel.2011.06.018.
- Olugasa, T.T., and Oyesile, O., 2015.** Design and Construction of a Water Scrubber for the Upgrading of Biogas. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy J and Applications*, 5, 5, DOI: 10.4172/2090-4541.1000190.
- Parabhansu, Kr. Malay, M., Chandra, P. and Kr. Chatterjee, P., 2015.** A review on the fuel gas cleaning Technologies in gasification process. *Journal of Environmental Engineering*, 3, 689-702.
- Rameshkumar, R. and Mayilsamy, K., 2012.** A novel compact bio-filter system for a down-draft gasifier: An experimental study. *AAASRI Procedia*, 3, 700-706. DOI:10.1016/j.aasri.2012.11.111.
- Ryckebosch, E., Drouillon, M., Vervaeren, H., 2011.** Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass Bioenergy*, 35, 1633-1645.
- Qin, M., Dong, Y., Cui, L., Yao, J., Ma, C., 2019.** Pilot-scale experiment and simulation optimization of dual-loop wet flue gas desulfurization spray scrubbers. *Chemical Engineering Research and Design*.
- Schiffner, K.C. and Hesketh, H.E., 1996.** *Wet Scrubbers* (2nd Edition). Technomic Publishing, Lancaster, PA.
- Sharifzadeh, M., Lei Wang, N., 2015.** Integrated biorefineries: CO₂ utilisation for maximum biomass conversion. *Renew Sustain Energy Reviews*, 47, 151-161.
- The Scrubber Manual (Revised), 1995.** The McIlvaine Company. Northbrook, IL.
- URL-1, 2019.** www.plastep.eu/fileadmin/dateien/Downloads/Presentation_Final_Conference_1/05_Main_results_of_work_package_3_Prof._Vasarevicius.pdf (5 May 2019)
- Wu, H., Pan, D., Jiang, Y., Huang, R., Hong, G., Yang, B., Peng, Z. and Yang, L., 2016.** Improving the removal of fine particles from desulfurized flue gas by adding humid air. *Fuel*, 184, 153-161. DOI:10.1016/j.fuel.016.07.024.

EKLER

EK 1. MIRA 1965/10 Raporu

k coefficient of Light Absorption	Hartridge Smoke Units	Filter Smoke Number	mg/m ³	Cal %*	K coefficient of Light Absorption	Hartridge Smoke Units	Filter Smoke Number	mg/m ³	Cal %*
m ⁻¹	HSU	FSN	mg/m ₃	Cal %*	m ⁻¹	HSU	FSN	mg/m ³	Cal %*
0,25	10	1,10	33	6,10	1,66	51	3,96	272	34,00
0,27	11	1,20	38	6,50	1,71	52	4,01	281	34,80
0,30	12	1,30	42	7,20	1,76	53	4,07	290	35,60
0,32	13	1,40	47	7,70	1,81	54	4,12	299	36,40
0,35	14	1,48	52	8,40	1,86	55	4,17	308	37,20
0,38	15	1,57	57	9,10	1,91	56	4,22	317	38,00
0,41	16	1,67	62	9,70	1,96	57	4,27	326	38,70
0,43	17	1,75	66	10,20	2,02	58	4,32	335	39,60
0,46	18	1,84	71	10,90	2,07	59	4,37	345	40,40
0,49	19	1,93	76	11,50	2,13	60	4,42	355	41,30
0,52	20	2,02	81	12,20	2,19	61	4,47	365	42,20
0,55	21	2,10	86	12,80	2,25	62	4,52	375	43,00
0,58	22	2,18	91	13,50	2,31	63	4,57	385	43,90
0,61	23	2,26	96	14,10	2,38	64	4,62	395	44,80
0,64	24	2,34	101	14,80	2,44	65	4,67	406	45,70
0,67	25	2,42	106	15,40	2,51	66	4,72	416	46,60
0,70	26	2,50	111	16,10	2,58	67	4,76	428	47,50
0,73	27	2,57	117	16,70	2,65	68	4,81	439	48,40
0,76	28	2,64	122	17,30	2,72	69	4,86	450	49,30
0,80	29	2,71	127	18,10	2,80	70	4,91	462	50,30
0,83	30	2,77	133	18,70	2,88	71	4,96	475	51,30
0,86	31	2,83	138	19,30	2,96	72	5,01	489	52,30
0,90	32	2,89	144	20,10	3,04	73	5,07	501	53,20
0,93	33	2,96	150	20,70	3,13	74	5,12	514	54,30
0,97	34	3,02	156	21,50	3,22	75	5,17	529	55,30
1,00	35	3,08	162	22,10	3,32	76	5,23	544	56,40
1,04	36	3,14	168	22,90	3,42	77	5,28	559	57,50
1,07	37	3,20	174	23,50	3,52	78	5,34	575	58,50
1,11	38	3,26	181	24,20	3,63	79	5,40	591	59,60
1,15	39	3,31	187	25,00	3,74	80	5,45	609	60,70
1,19	40	3,37	193	25,70	3,86	81	5,51	626	61,90
1,23	41	3,42	199	26,50	3,99	82	5,57	648	63,10
1,27	42	3,47	206	27,20	4,12	83	5,65	669	64,30
1,31	43	3,53	213	27,90	4,26	84	5,72	691	65,50
1,35	44	3,59	220	28,60	4,41	85	5,80	712	66,80
1,39	45	3,64	227	29,40	4,57	86	5,87	737	68,10
1,43	46	3,70	234	30,10	4,74	87	5,95	760	69,40
1,48	47	3,75	241	30,90	4,93	88	6,04	786	70,80
1,52	48	3,80	248	31,60	5,13	89	6,13	815	72,30
1,57	49	3,86	256	32,50	5,35	90	6,22	844	73,70
1,61	50	3,91	264	33,10					

ÖZGEÇMİŞ

Soner TOKÇALAR, 28/03/1982 tarihinde Bursa'da doğdu. 1999 yılı güz döneminde başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2003 yılı bahar döneminde mezun oldu. 2003 yılında özel sektörde makine imalatı ve otomatik kontrol alanlarında proje firmalarında çalışmıştır. 2014 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimine halen devam ettirmektedir. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu'nda öğretim görevlisi olup, 2012 yılı itibariyle üniversitenin Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinde görev yapmaktadır. Orta seviyede İngilizce bilen Soner TOKÇALAR, evli ve 2 çocuk babasıdır.