



**EV TİPİ BİR OCAKTA ALEV VE SOĞUK AKIŞ KARAKTERİSTİĞİNİN
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Berkay ŞAHİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2022

ETİK BEYAN

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

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

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

Berkay ŞAHİN

16/08/2022

EV TİPİ BİR OCAKTA ALEV VE SOĞUK AKIŞ KARAKTERİSTİĞİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Berkay ŞAHİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2022

ÖZET

LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) renksiz, kokusuz, yanıcı bir gazdır ve havaya göre daha ağırdır. LPG belli bir basınç altında, ham petrolün rafinerilerde damıtılmasıyla, doğalgazdan ayrıştırılmasıyla veya sıvılaştırılmasıyla elde edilir. LPG propan (C_3H_8), bütan (C_4H_{10}) veya bunların izomerleri olan hidrokarbonların karışımından oluşmaktadır. Tez çalışmasında, ev tipi bir ocakta soğuk akış ve alev karakteristikleri deneysel olarak araştırılmıştır. İki farklı akış debisinde (maksimum ve minimum) LPG akışının laboratuvar şartlarında alev sıcaklıkları, gaz debisi, gaz akış hızı ve gaz yayınımları değerlendirilmiştir. Çalışmamızdaki LPG, %70 bütan ve %30 propan karışımından oluşmaktadır. Kullanılan ocak üç farklı büyüklüğe sahip olup, alevin çıkış yeri çap büyüklüklerine göre; Ocak 1, Ocak 2 ve Ocak 3 olarak adlandırılmıştır. Ocak 1'in alev çıkış yerinin çapı 8 cm, Ocak 2'nin çapı 7 cm ve Ocak 3'ün çapı 5 cm'dir. Her bir ocakta, sabit bir alev çıkış yeri referans noktası olarak belirlenmiş ve bu noktaya göre yatay, düşey ve diyagonal yönlerde 0,5 cm aralıklarla referans noktasından (0 cm) 3 cm'e kadar olan bölgede sıcaklık ve hız ölçümleri maksimum ve minimum debiler için yapılmıştır. Ocak 1 için yayılım ölçümleri diyagonal yönde maksimum debide ölçülmüştür. Ocak 1'in maksimum debisi 0,6 l/dak, minimum debisi 0,2 l/dak; Ocak 2'nin maksimum debisi 0,25 l/dak, minimum debisi 0,1 l/dak; Ocak 3'ün maksimum debisi 0,2 l/dak, minimum debisi 0,1 l/dak'dır. Yapılan ölçümler neticesinde, maksimum ve minimum debilerdeki alev sıcaklıkları belirgin derecede birbirinden farklılık göstermektedir. 1,5-3 cm arasındaki mesafelerde, yatay ve diyagonal yönlerdeki sıcaklıklar maksimum debide hemen hemen aynıdır. Ocak 1'in gaz çıkış yerinde maksimum debi için gaz akış hızı, havalandırma açık ve kapalı durumlarında sırasıyla 2,834 ve 2,915 m/s ölçülmüştür. Gaz yayılım sonuçlarına göre, CO_2 'in maksimum değeri 0-1,5 cm aralığında %12 ve 1,5-3 cm aralığında %11'dir. CO gazının maksimum değeri referans noktasında 7000 ppm olarak görülmüş, 0-1 cm aralığında lineer azalmış ve 6000 ppm'e düşmüştür. 1,5-3 cm aralığında CO değerlerinde ani bir azalma olmuş ve sıfır değerine ulaşmıştır.

Bilim Kodu : 91440

Anahtar Kelimeler : LPG, Alev Karakteristiği, Gaz Akış Hızı, Alev Sıcaklığı, Gaz Yayınımı

Sayfa Adedi : 88

Danışman : Doç. Dr. Nimeti DÖNER

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FLAME AND COLD FLOW
CHARACTERISTICS IN HOUSEHOLD COOKERS

(M. Sc. Thesis)

Berkay ŞAHİN

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2022

ABSTRACT

LPG (Liquefied Petroleum Gas) is a colorless, odorless, combustible gas heavier than air. It is obtained by distilling crude oil in refineries, separating it from natural gas, and liquefying it under a certain pressure. LPG consists of hydrocarbons such as propane (C_3H_8), butane (C_4H_{10}) and their isomers or mixtures. In this study, the combustion characteristics of the cold flow and flame in a household stove were experimentally investigated. The flame temperature, gas flow velocity, and combustion emissions of LPG in the household stoves were measured at two flow rates (maximum and minimum) under laboratory conditions. The LPG used in the study is a mixture of 70% butane and 30% propane. The household stove has three different sizes of cookers, and each cooker is named Cooker 1, Cooker 2, and Cooker 3, respectively, according to the outer diameter. The outer diameter of the Cooker 1 is 8 cm, Cooker 2 is 7 cm, and Cooker 3 is 5 cm. A fixed flame exit point was determined in each cooker as a reference point, and the temperatures, cold flow velocities, and emissions of the gas flows were measured using these reference points. The measurement range is from the point where the exit point is located (0 cm) to a range of 3 cm (including 3 cm) with 0.5 cm spacing. The horizontal, vertical and diagonal measurements, starting from the flame exit point were made at maximum and minimum flow rates. The flow rate of Cooker 1 is 0.6 l/min at maximum flow and 0.2 l/min at minimum flow. Cooker 2 has 0.25 l/min at maximum flow and 0.1 l/min at minimum flow; Cooker 3 has 0.2 l/min at maximum flow and 0.1 l/min at minimum flow. Temperatures between maximum and minimum flow rates showed significant differences for all cookers. At distances greater than 1.5 cm from the reference point, the measured temperatures at maximum flow were almost the same in the horizontal and diagonal directions. The gas velocity of the burner of Cooker 1 with the vent open and closed conditions was measured to be 2,834 and 2,915 m/s at maximum flow rate. According to the gas emission results, the CO_2 emission (%) between the reference point and 1.5 cm was 12% and decreased to 11% when measurements were taken between 1.5 and 3 cm. It was found that the maximum value of CO emissions occurred at the reference point and reached 7000 ppm, decreased linearly in the range of 0-1 cm, decreased to 6000 ppm and a sudden decrease occurred in the distance after 1,5 cm and reached 0.

Science Code : 91440

Key Words : LPG, flame characteristics, cold flow velocity, flame temperature, gas emissions

Page Number : 88

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Nimeti DÖNER

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca her zaman yanımda olan, desteklerini benden esirgemeyen, her türlü yardımı sağlayan ve bu çalışmamı bitirme konusunda beni motive eden değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Nimeti DÖNER hocama, bu çalışmada bana deneyimleriyle her türlü imkânı sağlayan ve yol gösteren Sayın Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ hocama ve çalışmamı sağlıklı bir şekilde yürütme konusunda bana her türlü katkıda bulunan Enerji Sistemleri Mühendisliği laboratuvar görevlisi Ergül HİÇYILMAZ Bey'e teşekkürlerimi sunarım. Tezi bitirmem konusunda benden maddi ve manevi desteğini asla esirgemeyen, beni her zaman destekleriyle ayakta tutan, bana moral ve güç veren ve her zaman yanımda olan Aileme ve Ezgi KARABAYIR'a teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. YANMA VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
3.1. Sıcaklık Ölçümleri	26
3.1.1. Ocak 1 ölçümleri	26
3.1.2. Ocak 2 ölçümleri	38
3.1.3. Ocak 3 ölçümleri	50
3.2. Hız Ölçümleri.....	62
3.2.1. Ocak 1 soğuk akış gaz hızı ölçümleri	63
3.2.3. Ocak 3 soğuk akış gaz hızı ölçümleri	67
3.2.4. Ocakların gaz çıkış yerlerinden yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri	69
3.3. Yayınım Ölçümleri.....	71
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE YORUMLAR	73
KAYNAKLAR	75
EKLER.....	79
EK-1. Akış Rejimi İçin Reynolds Sayısı Hesabı	80

Sayfa

EK-2. Ölçüm Sonuçları.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. LPG'nin termodinamik özellikleri.....	13
Çizelge 3.1. Portatif seramik uçlu 8855 AZ K,J,T,R,S,E termokuplın özellikleri	21
Çizelge 3.2. Termokupl çalışma genel özellikleri	22
Çizelge 3.3. Geratech markalı anemometrenin genel özellikleri.....	23
Çizelge 3.4. NOVApplus markalı emisyon ölçüm cihazının çalışma genel özellikleri....	24

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Alev jetindeki karakteristik bölgeler	4
Şekil 2.2. Karışimsız dairesel brülör ve sıcaklık-ısı akısı değişimi	5
Şekil 2.3. (a) görülebilir alevlerin fotoğrafı ve (b) $S/D_0=1$ de çoklu alev jetlerinin görüntülenmesi.	7
Şekil 2.4. Gözenekli dizayn edilmiş brülör.....	8
Şekil 2.5. Klasik brülör ve dönmeli iki tip brülör ve yanma testleri.....	10
Şekil 2.6. Dairesel ve çoklu port çıkışlı brülör ve dizayn modifikasyonları.....	11
Şekil 2.7. Üç farklı yakıtın alev karakteristiklerinin incelenmesi.....	12
Şekil 2.8. a) Ev tipi brülör ve b) mesh model resmi ve ayrıntılı şekilleri	13
Şekil 2.9. Basit bir ev tipi ocak brülöründe LPG yanması.....	14
Şekil 2.10. Çoklu nozul durumunda akış konfigürasyonu ve Reynolds sayısının değişimi	15
Şekil 2.11. Ev tipi ocaklarda (a) süt ve çay malzemeleri için tüketilen LPG miktarı ve (b) kullanılan kap türünün LPG tüketimine etkisi.....	17
Şekil 2.12. Alev davranışı ve ($H/d=5$) mesafede ölçülen platform sıcaklıkları.....	17
Şekil 3.1. Ocak 1’de minimum debide yatay ölçüm sıcaklık değerleri	28
Şekil 3.2. Ocak 1’de minimum debide dikey ölçüm sıcaklık değerleri	30
Şekil 3.3. Ocak 1’de minimum debide diyagonal ölçüm sıcaklık değerleri	32
Şekil 3.4. Ocak 1’de maksimum debide yatay yönde ölçüm sıcaklık değerleri	34
Şekil 3.5. Ocak 1’de maksimum debide dikey yönde ölçüm sıcaklık değerleri	36
Şekil 3.6. Ocak 1’de maksimum debide diyagonal yönde ölçüm sıcaklık değerleri	38
Şekil 3.7. Ocak 2’de minimum debide yatay yönde ölçüm sıcaklık değerleri	40
Şekil 3.8. Ocak 2’de minimum debide dikey yönde ölçüm sıcaklık değerleri	42
Şekil 3.9. Ocak 2’de minimum debide diyagonal yönde ölçüm sıcaklık değerleri	44

Şekil	Sayfa
Şekil 3.10. Ocak 2’de maksimum debide yatay yönde ölçüm sıcaklık değerleri	46
Şekil 3.11. Ocak 2’de maksimum debide dikey yönde ölçüm sıcaklık değerleri ..	48
Şekil 3.12. Ocak 2’de maksimum debide diyagonal yönde ölçüm sıcaklık değerleri	50
Şekil 3.13. Ocak 3’te minimum debide yatay yönde ölçüm sıcaklık değerleri	52
Şekil 3.14. Ocak 3’te minimum debide dikey yönde ölçüm sıcaklık değerleri	54
Şekil 3.15. Ocak 3’te minimum debide diyagonal yönde ölçüm sıcaklık değerleri	56
Şekil 3.16. Ocak 3’te maksimum debide yatay yönde ölçüm sıcaklık değerleri	58
Şekil 3.17. Ocak 3’te maksimum debide dikey yönde ölçüm sıcaklık değerleri..	60
Şekil 3.18. Ocak 3’te maksimum debide diyagonal yönde ölçüm sıcaklık değerleri	62
Şekil 3.19. Ocak 1’de minimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri.....	64
Şekil 3.20. Ocak 1’de maksimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri.....	64
Şekil 3.21. Ocak 2’de minimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri.....	66
Şekil 3.22. Ocak 2’de maksimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri.....	66
Şekil 3.23. Ocak 3’te minimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri.....	68
Şekil 3.24. Ocak 3’te maksimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri	68
Şekil 3.25. Ocak 1’de maksimum debide NO _x ölçüm değerleri	71
Şekil 3.26. Ocak 1’de maksimum debide CO (ppm) ölçüm değerleri.....	72
Şekil 3.27. Ocak 1’de maksimum debide CO ₂ (%) ölçüm değerleri	72

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Alevlerin çeşitleri.....	3
Resim 2.2. Farklı çıkış portlarına ve geometrilere sahip ev tipi ocak brülörleri	6
Resim 2.3. Gözenekli yapılar: (a) metal bilyalardan oluşturulmuş ve (b) metal ince çubuklar içeren ortam.....	7
Resim 3.1. Deney düzeneğinin resmi	19
Resim 3.2. Deneylerimizde kullanılan (a) ev tipi ocak ve (b) ölçülen ocaklar.....	20
Resim 3.3. Portatif seramik uçlu termokupl	22
Resim 3.4. Geratech markalı anemometre	23
Resim 3.5. NOVApplus markalı emisyon ölçüm cihazı.....	25
Resim 3.6. LPG tüpü ve gaz debimetresi.....	25
Resim 3.7. Ocak 1’de minimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri.....	27
Resim 3.8. Ocak 1’de minimum debide alev sıcaklık ölçümleri	29
Resim 3.9. Ocak 1’de minimum debide alev sıcaklık ölçümleri	31
Resim 3.10. Ocak 1’de maksimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri .	33
Resim 3.11. Ocak 1’de maksimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri .	35
Resim 3.12. Ocak 1’de maksimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri	37
Resim 3.13. Ocak 2’de minimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri.....	39
Resim 3.14. Ocak 2’de minimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri	41
Resim 3.15. Ocak 2’de minimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri.....	43
Resim 3.16. Ocak 2’de maksimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri .	45
Resim 3.17. Ocak 2’de maksimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri .	47
Resim 3.18. Ocak 2’de maksimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri ...	49
Resim 3.19. Ocak 3’te minimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri.....	51
Resim 3.20. Ocak 3’te minimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri	53
Resim 3.21. Ocak 3’te minimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri	55

Resim	Sayfa
Resim 3.22. Ocak 3'te maksimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri ...	57
Resim 3.23. Ocak 3'te maksimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri ...	59
Resim 3.24. Ocak 3'te maksimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri	61
Resim 3.25. Ocak 1'de soğuk akış gaz hızı ölçümleri	63
Resim 3.26. Ocak 2'de soğuk akış gaz hızı ölçümleri	65
Resim 3.27. Ocak 3'te soğuk akış gaz hızı ölçümleri	67
Resim 3.28. Ocak 1'de gaz çıkış yerinden yapılan ölçüm	69
Resim 3.29. Ocak 2'de gaz çıkış yerinden yapılan ölçüm	70
Resim 3.30. Ocak 3'te gaz çıkış yerinden yapılan ölçüm	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
a	Şerit çıkışın uzunluğu
Al₂O₃	Alüminyum Oksit
b	Şerit çıkışın uzunluğu
CH₄	Metan
CO	Karbonmonoksit
C₂H₆	Etan
C₃H₈	Propan
C₄H₁₀	Bütan
cm	Santimetre
d	Yuvarlak çıkışın çapı
D	Brülör başının çapı
d_f	Nozul çapı
H_s	Yakıt / Gaz kalorifik değeri
H/D	Isıtma Yüksekliği
kg	Kilogram
kW	Kilovat
kj	Kilojoule
l	Litre
M_c	Isıtma için gerekli gaz kütlesi
M_e	Ocak üstündeki kap ve suyun toplam ağırlığı
M_n	Yakıt akış miktarı
m_w	Suyun kütlesi
m_v	Kap içindeki suyun kütlesi
m_f	Deney esnasında tüketilen yakıtın kütlesi
mm	Milimetre
n	Port sayısı
NO_x	Nitrik oksit / Nitrojen dioksit

Simgeler**Açıklamalar** **Q_n**

Isı tüketimi

Re

Reynold

SiC

Silisyum Karbid

 T_f

Isıtılan suyun son sıcaklığı

 T_1

Suyun başlangıç sıcaklığı

 T_2

Isıtılan suyun ulaştığı sıcaklık

 η

Isıl verim

 ϕ

Eşdeğer Oran

 ϕ_{ht}

Alevden hedef yüzeye olan ısı transfer oranı

 $(\phi_f)_{\max}$

Yakıttan yayılan maksimum ısı transfer oranı

 $\dot{m}_f$

Yakıtın kütle akış miktarı

 ε

Yapı faktörü

Kısaltmalar**Açıklamalar****CV**

Kalorifik değer

DAK

Dakika

DME

Dimetil etilen

HHV

Yakıtın yüksek ısı değeri

Max

Maksimum

Min

Minimum

1. GİRİŞ

LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı); petrolün damıtılması veya parçalanması yoluyla elde edilen ve sonradan belirli bir basınç altında sıvılaştırılan; esas olarak Bütan (C_4H_{10}), Propan (C_3H_8) ve bunların izomerleri gibi hidrokarbonlardan ya da karışımlarından oluşan maddedir. Hem sıvı hem gaz halinde bulunabilen LPG; kokusuz, renksiz ve zehirsiz bir gaz özelliği göstermekle birlikte yanıcı ve havadan ağırdır. Güvenli, temiz ve çevreyle dost bir enerji kaynağı (düşük is ve yanma ürünü gaz yayınımlarına sahip) olması, kolay temin edilebilmesi ve erişimli olması, depolanabilmesi, taşınabilmesi gibi avantajları söz konusudur. Bu avantajlara sahip olması nedeniyle LPG; ev içi kullanımda, endüstride, taşımada vd. yaygın olarak kullanılan bir enerji kaynağı olup dünyada LPG tüketimi giderek artmaktadır.

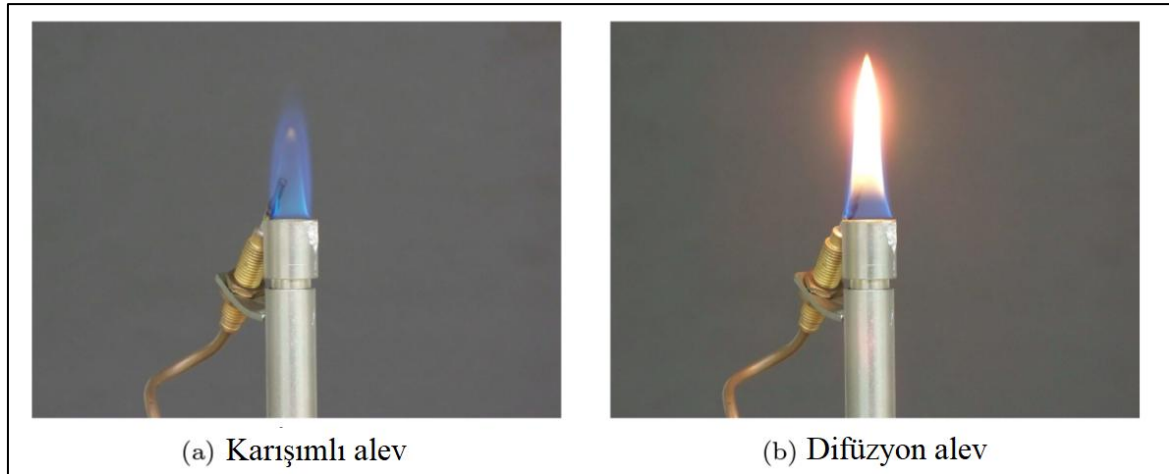
Yakıtların yanması, yakıt ve bir oksijen kaynağından sağlanan oksijen ile birlikte hızlı etkileşim sonucu gerçekleşen, ısı ve ışık saçılımı ile sonuçlanan, bir kimyasal reaksiyondur. Alev ile ısıtılacak, eritilecek ya da sıvılaştırılacak yüzeye alev çarpması (flame impingement) yöntemi uygulanır. Bu yöntemde ısı transferi, yakıt tipi, oksidizer ve alev tipi gibi pek çok parametreden etkilenir. Oksijenin kütle miktarı %23,1 olduğu için taze hava oksidizer olarak düşünülebilir. Oksidizerin kütle akış miktarı (debisi) yakıtın tamamen yanması için yanma işlemini besleyecek kadar olmalıdır. Tam yanma için önemli olan eşdeğer oran (ϕ)'dır. Bu oran gerçek hava-yakıt oranının yanma için gerekli hava-yakıt oranına bölümüdür. Tam yanma $\phi=1$ olduğu en yüksek alev sıcaklığının gerçekleştiği stokiyometrik şartlara yakın durumlarda gerçekleşir. Ancak bazı deneylerde stokiyometrik oranın 0,65 ile 1,83 arasında gerçekleştiği bulunmuştur. Örneğin; türbülanslı akış nedeniyle $\phi=0,85$ 'te maksimum ısı akısının olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Reynolds sayısı ile eşdeğer oranın iyileştirilmesinin daha iyi ısı verimi ürettiği bulunmuştur. Bu nedenle ısı transferini optimize etmek, tüm bu parametrelerin düşünülmesini gerektirmektedir.

Ev tipi brülörler, yanmanın kararlılığını etkileyen karmaşık üç boyutlu türbülanslı akış ve kimyasal reaksiyonlar ile karakterize edilir. Bu nedenle, kaldırma, geri tepme ve sarı uçuş gibi alev stabilitesi sorunları için iki işlem en kritik parametreler olarak görülmektedir; bunlar karışım hazırlama işlemi ve alevlerin nozullardan dağılımıdır.

Tez çalışması kapsamında, ev tipi bir ocakta alev ve soğuk akış karakteristikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla üç farklı büyüklükte, iki devirdeki (maksimum ve minimum debi) LPG gaz akışının laboratuvar şartlarında yanma durumu alev sıcaklıkları, gaz debisi, soğuk akış gaz hızı ve gaz yayılımı gibi parametreler ölçülmüştür. Deneyde kullanılan LPG gazının basıncı 2-3 bar olup gaz %70 bütan - %30 propan karışımından oluşmaktadır.

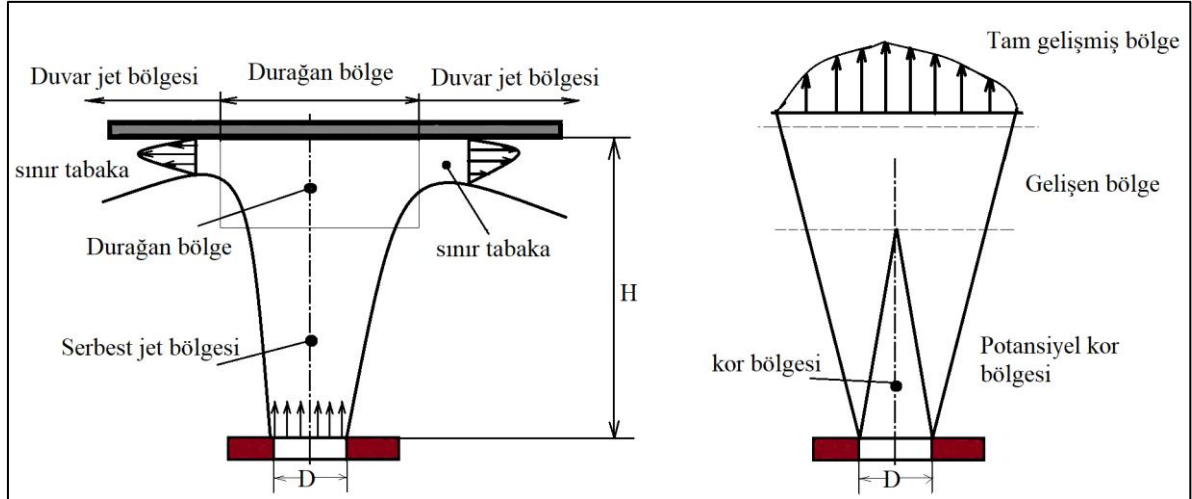
2. YANMA VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yanma olayı ve farklı uygulamalarını sınıflandırmak için ilk önce alev tiplerini tanımlamak gerekir. İki alev tipi vardır: biri ön karışım (premixed), diğeri difüzyon (diffusion) alevidir. Bu alevlerde hız ideal olarak duvar eksenine paraleldir ve duvardan uzaklığın bir fonksiyonu olarak parabolik bir fonksiyon ile ifade edilir ve basınç ise akış yönündeki mesafenin bir fonksiyonudur (Jones, 1990). Resim 2.1’de karışım alev ve difüzyon alevin resimleri verilmektedir. Karışım alevler mavimsi yeşil renkli görünür iken, difüzyon alevler parlak sarı ışınım yayarlar (Gattei, 2008). Difüzyon alevi, karışimsız yanmada gerçekleşir.



Resim 2.1. Alevlerin çeşitleri (Gattei, 2008).

Ev tipi ocak brülörlerinin nozulları ortaya çıkan basınçlı gazın potansiyel enerjisini kinetik enerjisine dönüştürür. Bu türbülanslı, eksenel simetrik yuvarlak jet, hareketsiz duran havaya yayılır. Alev kararlılığı (stabilitesi), bir alevin 3 m/s hızdaki rüzgar şiddetine karşı durabilme yeteneği olarak tanımlanır. Alev jetlerindeki akış alanı üç karakteristik rejimde incelenir ve ilgili bölgeler şematik olarak Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Alev bölgesi serbest, durağan ve duvar jet bölgeleri olarak incelenir. Durağan bölgede akışın eksenel doğrultuda durduğu ve radyal olarak dışa doğru dönmesini sağlayan basınç gradyanları ile karakterize edilir. Durağan bölgenin sınırı duvar bölgesine paraleldir. Duvar jet bölgesi ortalama basınç gradyanlarından bağımsızdır. Akış bu bölgede yavaşlar ve yayılır. Nozuldan çıkan akış, nozul tipine ve Reynolds sayısına bağlı olarak laminar veya türbülanslı olur. (Chander ve Ray, 2005).



Şekil 2.1. Alev jetindeki karakteristik bölgeleri

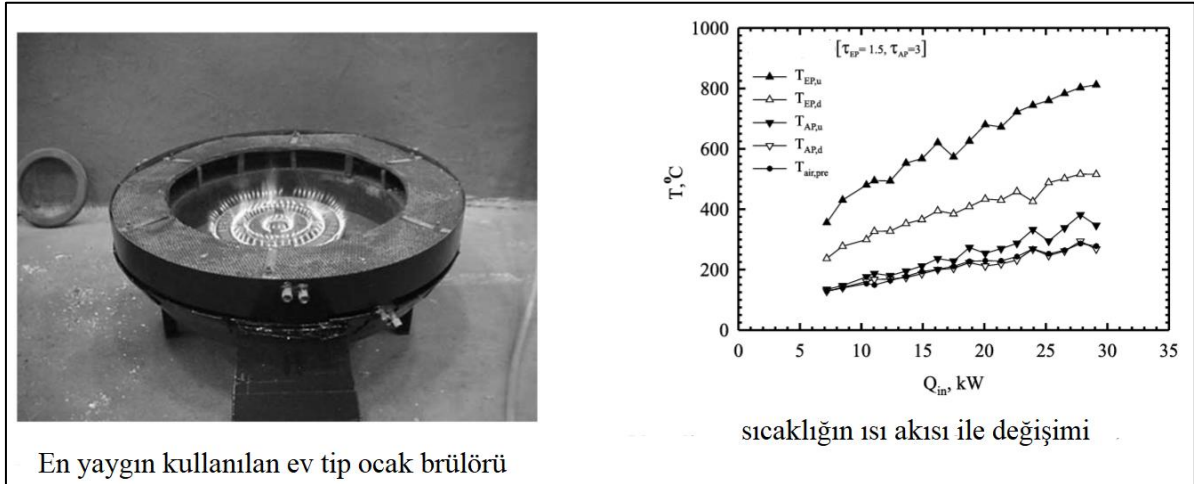
LPG doğal gaz tesislerinde üretilen etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) ve bütan (C_4H_{10}) gazlarından oluşmaktadır. Ayrıca sıvılaştırılmış rafineri gazlar (etilen, propilen ve butilen) da içermektedir. Yakıtın yanması ile yayılan ısı yakıttaki suyun fazına bağlıdır. Eğer su yakıtta gaz halindeyse, toplam yayılan ısının değeri en düşük ısı değeri (LHV) olarak gösterilir. Su buharı yoğunlaşarak sıvı olduğunda (buharlaşma gizli ısıya eşit olarak) daha fazla enerji yayımı olur ve dolayısıyla toplam yayılan enerjiye yüksek ısı değeri (HHV) denir (McAllister vd., 2011; Winterbone ve Turan, 2015).

LPG ev tipi ocaklarda kullanılan en popüler temiz yakıttır. LPG yakıtının karışımli olarak alev çarpmasının ısı transferi etkilerini inceleyen Dong vd., (2001) 14 termokupulun kullanıldığı deney düzeneğinde nozul ve üst plaka arasındaki mesafenin değişmesine bağlı olarak, akış hızlarının değişmesi durumundaki Reynolds Sayıları (600-2500) bakımından ısı transferi etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada yüksek Reynolds sayılarında ve düşük eşdeğer oranlarda (0,7; 0,85 gibi) ısı transferinin arttığı tespit edilmiştir.

Yanma özelliklerini ayrıntılı inceleyen ilk çalışmalardan birisi de Jugjai ve Rungsimuntuchart (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada LPG (hacimce %40 propan- C_3H_8 ve %60 bütan- C_4H_{10} karışım) gazı, aynı ebatlardaki karışimsız (self-aspirating) ocak brülörü ve dönen alevli ocak brülöründe deneysel çalışmalar ile sıcaklık, ısı verim ve CO yayımı bakımından değerlendirilmiştir. Karışimsız ev tipi ocak brülöründeki LPG yanması ve ölçülen sıcaklık ısı akısı değişimleri Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Bu brülörde içteki dairede 54 ve dıştaki dairede 117 port olmak üzere,

toplam 974 mm² lik bir alandan gaz çıkışı gerçekleştirilmiştir. Isıl verimde dönen alevli brülörde %60 artış görülürken, bu brülörde %12’lik bir artış sağlanmıştır. Ev tipi ocakta 160 mm çapındaki dairesel brülör ve üzerindeki 3 mm çaplı küçük dairesel portların olduğu bir klasik brülördeki ısı verim ve CO gaz yayılımını, Reynolds Sayısı 200 ile 500 arasında değişme durumu için Li vd. (2006) tarafından hem deneysel hemde istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu çalışmalarda yakıtla zenginleştirilmiş alevler için eşdeğer oran (ϕ) 1.4, 1.7 ve 2 olarak alınmıştır. Deneylerde LPG (%70 bütan ve %30 propan) gazı karışimsız ve hava ile karışimli olarak kullanılmıştır. Reynolds sayısının hem ısı verimliliğe hem de CO yayılımına oldukça etkilediği tespit edilmiştir.

Lee, Hwang ve Lee (2008) çeşitli gazların (Landfill gas-LFG çöp gazı, farklı metan oranlarına sahip gazlar ile LNG-sıvılaştırılmış doğal gaz) ev tipi ocakta yanma performanslarını incelemişler ve LPG (propan ağırlıklı)’nin yanma ortamında eşdeğer oran 1,1’de en yüksek alev hızına sahip olduğunu deneysel çalışmalar ile tespit etmişlerdir.



Şekil 2.2. Karışimsız dairesel brülör ve sıcaklık-ısı akısı değişimi (Jugjai ve Rungsimuntuchart, 2002)

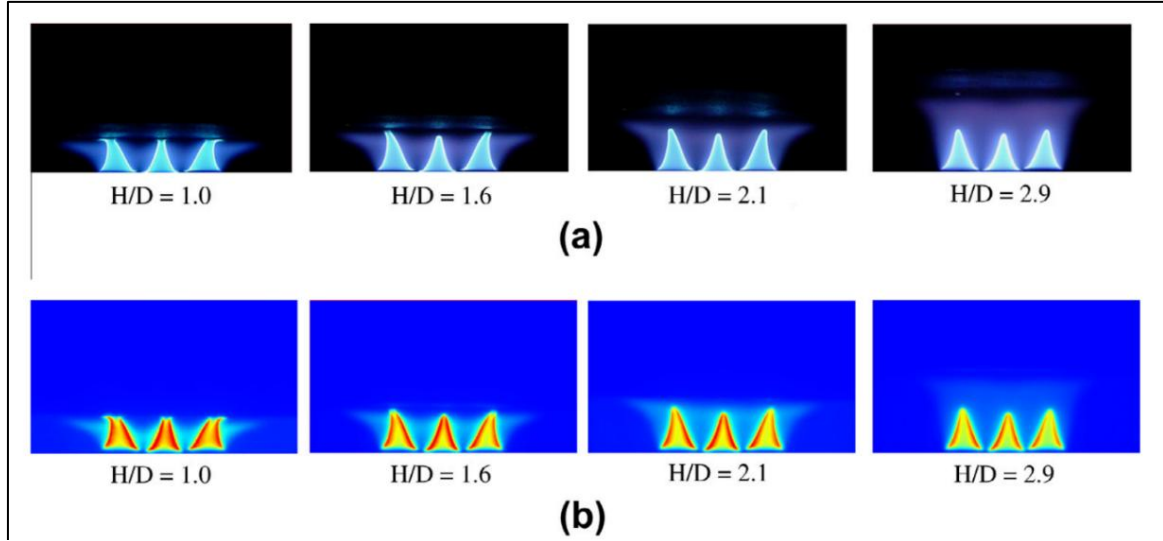
Daha sonraki yıllarda geniş kapsamlı LPG gazının ev tipi ocaklarda kullanımı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, ev tipi ocaklarda Hindistan’da 2014-2015 yıllarında Access to Clean Cooking Energy and Electricity– Survey of States (ACCESS) başlıklı bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında 51 bölgede 8568 ev ve 714 köyde ev tipi ocak ve yakıtları incelenmiştir. İlgili bölgelerin %22’sindeki evlerde LPG kullanıldığı tespit edilmiştir (Gould and Urpelainen, 2018). Bu çalışmanın dışında yine kapsamlı bir araştırma ile ev tipi ocakta LPG kullanımının sağlık, iklim, çevresel etkilerin korunumu,

sera gazı salınımının azaltılması, yerel ve kadın sağlığının korunumu gibi parametreler arasındaki ilişki açısından da önemli olduğu gösterilmiştir (Goldemberg vd., 2018). Başka bir çalışmada, Endonezya’da 2007’den itibaren beş yıllık bir sürede 50 milyondan fazla evde mutfakta kullanım için yakıtın LPG’ye dönüştürülmesi projesi uygulanmıştır (Budya ve Arofat, 2011).

Ev tipi ocak brülörleri çoklu laminar karışimli alev jetleri ile ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. Genellikle dairesel brülör ve çevresinde çoklu küçük portların olduğu modeller, en yaygın kullanılan ve en bilinen çeşididir ve Reynolds sayısı 300-800 arasında olan ince kalınlıkta düşük hızlı jetler üretirler. Dünyada en genel kullanılan ev tipi dairesel ocak çeşitlerinin resimleri Resim 2.2’de verilmektedir. Bu alev jetleri yanmayı tamamlamak için ikincil hava akımını kolayca oluşturabilirler. Böylece bu dizayn CO gazının düşük kirlilik yayılımını sağlar iken düşük ısı etkenliğe de neden olmaktadır (Makmool vd. 2007). Üç farklı görüntüleme tekniği ile LPG-hava karışimli alev jetleri Makmool, Jugjai ve Tia (2013) tarafından incelenmiştir. Çalışmalarında ısıtma yüksekliği (H/D) and çıkış portları arasındaki mesafenin (S/D_0) alev yüksekliği ve yapısı üzerine etkilerini ayrıntılı değerlendirmişlerdir. Şekil 2.3’te ısıtma yüksekliği (H/D) artışıdaki alevler ve görüntü inceleme resimleri görülmektedir. Aynı çalışmada, CO yayılımı ve ısı verimlilik bakımından brülör performansını da karşılaştırmışlardır. Bu çalışma ile H/D parametresinin çoklu alev yapısını ve brülörün yanma verimliliği ve ısı verimliliğini kontrol etmede önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir. S/D_0 parametresinin yanma verimliliği (CO yayılımı) ve ısı verimliliği üzerine çok az etkili olduğu görülmüştür.



Resim 2.2. Farklı çıkış portlarına ve geometrilere sahip ev tipi ocak brülörleri (Pantangi, 2010)



Şekil 2.3. (a) görülebilir alevlerin fotoğrafı ve (b) $S/D_0=1$ de çoklu alev jetlerinin görüntülenmesi (Makmool, Jugjai ve Tia; 2013).

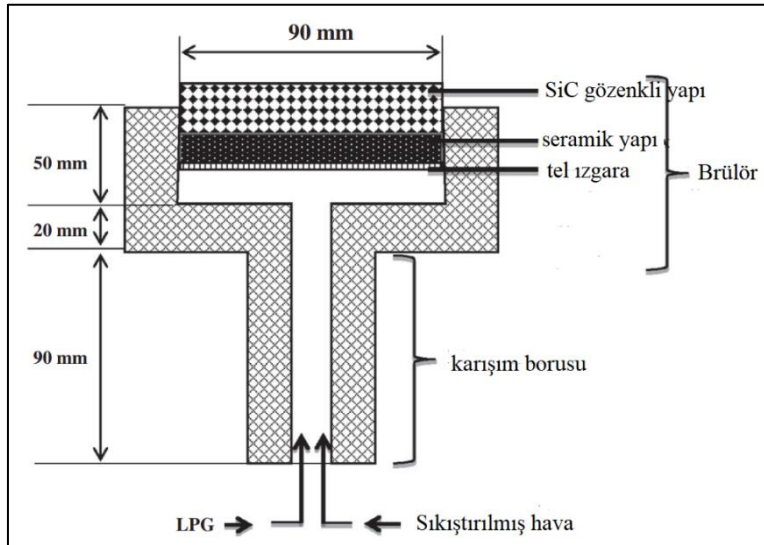
LPG ile çalışan gözenekli ocak brülörlerinin alev hızı, sıcaklık profili ve NO_x ve CO gaz emisyonları gibi yanma özellikleri Liu ve Hsieh (2004) tarafından ayrıntılı incelenmiştir. Ev tipi gözenekli ocak brülörlerinin alev hızının, gözenekli brülör uzunluğunun artmasıyla azaldığını gördüler. Bu ocak tipindeki yanma, düşük alev sıcaklığında ($1050\text{--}1250^\circ\text{C}$ aralığında), genişletilmiş reaksiyon bölgesi, yüksek ön ısıtma sıcaklığı ve NO_x ve CO düşük emisyon özelliklerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Yeni dizayn gözenekli ev tipi ocaklar için Pantangi (2010) doktora çalışmasında gözenekli ortam yanması ve gözenekli yüzey yanması teknolojilerini uygulayarak, ısıl verim ve gaz yayılım özelliklerini iyileştirme çalışmaları yapmıştır. Gözenekli ortamda yanma örnekleri Resim 2.3'te gösterilmiştir. Gözenekli ortam yanmasında alev yayılımı Peclet sayısı ile değerlendirilmektedir.



Resim 2.3. gözenekli yapılar: (a) metal bilyalardan oluşturulmuş ve (b) metal ince çubuklar içeren ortam (Pantangi, 2010)

Muthukumar vd. (2011) de iki tabakalı gözenekli yapı oluşturdular. Alttaki ilk tabakada 5 mm çaplı Al_2O_3 malzemeden hazırlanmış bilyalar kullanıldı. İkinci katman olarak silisyum karbid (SiC)'den yapılmış 20 mm kalınlıklı gözenekli malzeme kullanıldı. Alt katman ile SiC katmanı arasına 10 mm kalınlıklı seramik blok malzeme kullanarak farklı eşdeğer oranlarda (0,5-0,8) yanma performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Ev tipi ocaklarda yeni tip (gözenekli) dizayn edilmiş bir ocakta LPG-hava karışımının yanma performans testleri Muthukumar ve Shyamkumar (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.4'te görülen ön karışımli brülör sistemi için SiC gözenekli yapısı %80, 85 ve %90 olacak şekilde üretilmiş ve testlerde kullanılmıştır. Elde edilen maksimum etkenlik %75 civarında olmuştur. Bu değerin Hindistan'da en yaygın olarak kullanılan ev tipi ocak ve LPG kullanılan yakma sisteminin maksimum ısı veriminden %10 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, CO ve NO_x gaz yayılım değerleri de en yaygın brülör tipinin gaz yayılım değerlerinden daha düşüktür.



Şekil 2.4. Gözenekli dizayn edilmiş brülör (Muthukumar ve Shyamkumar, 2013)

Isıl verim, ocak üstüne yerleştirilen ve kütlesi bilinen su dolu bir kabın ısıtılması esasına göre (alınan ısı/verilen ısı) ile değerlendirilmektedir. Buna göre kullanılan ısı verim formülü Eşitlik 2.1 ile verilmiştir.

$$\eta = \frac{(m_w c_{pw} + m_v c_{pv})(T_2 - T_1)}{m_f CV} \quad (2.1)$$

Burada m_w ve m_v su ve kap (kapak ve karıştırıcı dahil) içindeki suyun kütleleri ve m_f deney esnasında tüketilen yakıtın kütlesini göstermektedir. T_2 ısıtılan suyun ulaştığı sıcaklığı ve T_1 suyun başlangıç sıcaklığını ifade etmektedir. Yakıtın LPG kalorifik değeri (CV) olarak 45780 kJ/kg alınmıştır.

Aynı gözenekli ev tipi ocak ile iki katmanlı gözenekli yapı durumunu Mishra ve Muthukumar (2018) deneysel çalışmalar ile incelemişlerdir. LPG basıncı 1,2 bar ve çıkış port büyüklükleri 17, 19 ve 21 mm'dir. Bu ocakta gaz çıkışının olduğu nozul çapları $D=0,35$ mm ve $D=0,50$ mm olarak değiştirildiğinde, ısı verimliliğin küçük çaplı nozul ve çıkış portlarının daha büyük olması durumlarında yüksek değerlere (%72-75) ulaştığını tespit etmişlerdir. Örneğin, çıkış port büyüklüğü 21 mm ve nozul çapı 0,35 mm iken brülör ekseninde 10-15 mm mesafedeki sıcaklıkların 1100 °C civarında olduğu ölçülmüştür.

Anggarania vd. (2014) tarafından ev tipi ocak uygulamalarında LPG yerine uygulanabilecek alternatif yakıt araştırmasında, dimetil etilen (DME) ile farklı hacimsel oranlarda karıştırılan (%5, %10, %15, %20, %25, %30 ve %50) LPG yanması incelenmiş ve LPG ısı veriminin karışım durumundan etkilendiği görülmüştür. Bu çalışmada ısı tüketimi analizi de yapılmıştır. Isı tüketimi bir saatlik bir periyotta yüksüz maksimum çalışma şartlarında ısıtma işlemi için kullanılan yakıt miktarının ölçülmesi ile elde edilir. Eşitlik 2.2 ile formülü yazılmıştır.

$$Q_n = \frac{1000 \times M_n \times H_s}{3600} \quad (2.2)$$

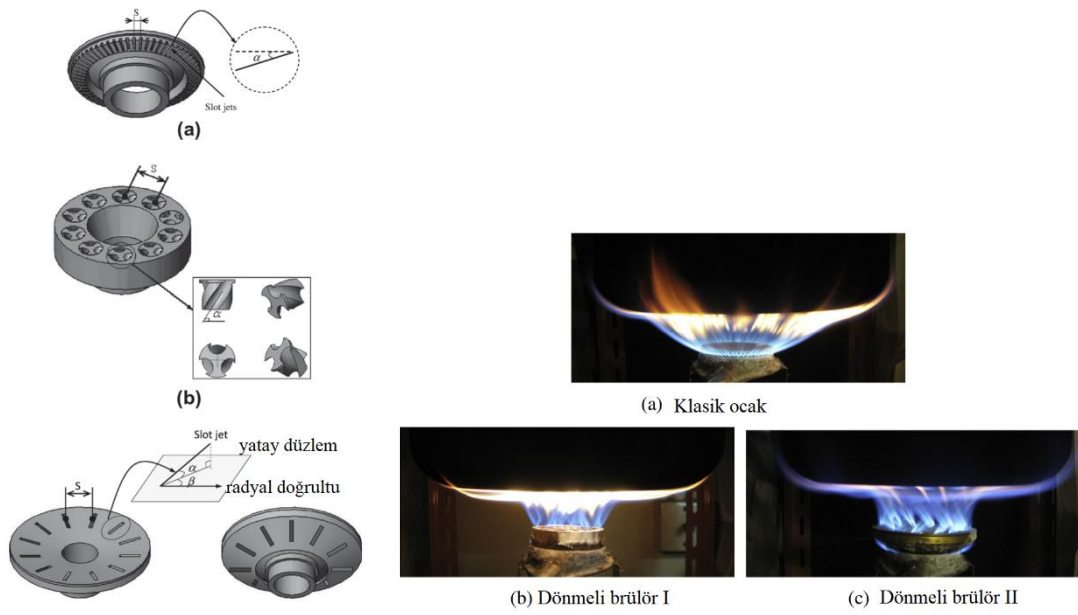
Burada Q_n ısı tüketimini (kW), M_n yakıt akış miktarını (kg/s), H_s yakıt kalorifik değerini (MJ/kg) olarak göstermektedir. LPG'nin kalorifik değeri 11960 kcal/kg olarak analizlerde kullanılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalardan, ısı tüketiminin ocak dizaynına göre değiştiği görülmüştür. Yakıt verimliliği için Eşitlik 2.3 ifadesi tanımlanmıştır.

$$\eta = \frac{4.186 \times 10^{-3} \times M_e (T_f - T_i) \times 100}{(M_c \times H_s)} \quad (2.3)$$

Bu ifadede, M_e ocak üstündeki kap ve suyun toplam ağırlığı (kg), T_f ısıtılan suyun son sıcaklığı (°C), T_i suyun ilk sıcaklığı (°C), M_c ısıtma için gerekli gaz kütlesi (kg), H_s gazın

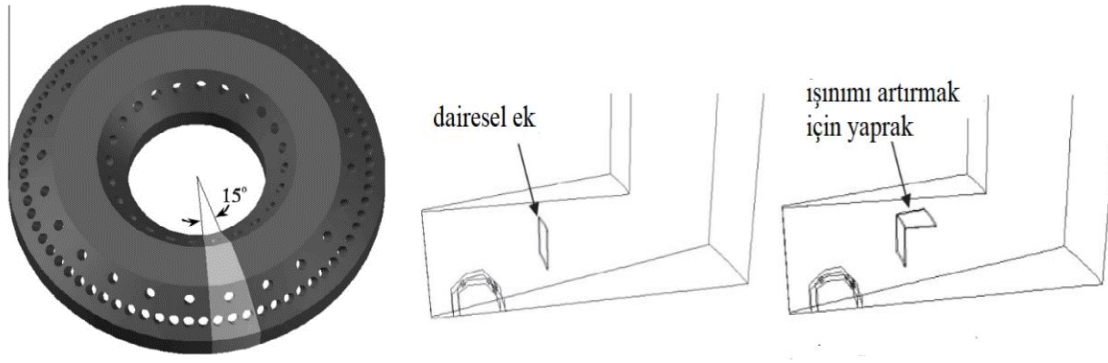
kalorifik değeri (MJ/kg)'dır. Bu deneysel çalışmada, DME konsantrasyonu arttıkça, LPG yanma ısı veriminin azaldığı ve maksimum %5,26'lık azalma değeri olduğu tespit edilmiştir.

Zhen vd. (2014) LPG-hava karışımı yakıt basit brülör ve iki çeşit dönmeli brülörde yanma testleri gerçekleştirmişlerdir. Şekil 2.8'de görülen yanma testlerinde Reynolds sayısındaki artış, CO yayılımını da artırmıştır. Klasik brülörde $Re=1500$ iken en yüksek ısıtma etkinliği elde edilmiş iken, dönmeli brülörlerde $Re=1000$ olduğunda en yüksek ısıtma etkinliği elde edilmektedir. CO yayılımı $500 \leq Re \leq 200$ aralığında sabit olduğu, $Re \geq 2000$ olduğunda önemli artışın olduğu deneylerden tespit edilmiştir. Klasik brülörün CO yayılımı dönmeli brülörlerin değerlerinden daha yüksektir. Şekil 2.5'te klasik brülör ve dönmeli brülör I'de görülen sarımsı alevler, ağır is oluşumlarını göstermektedir.



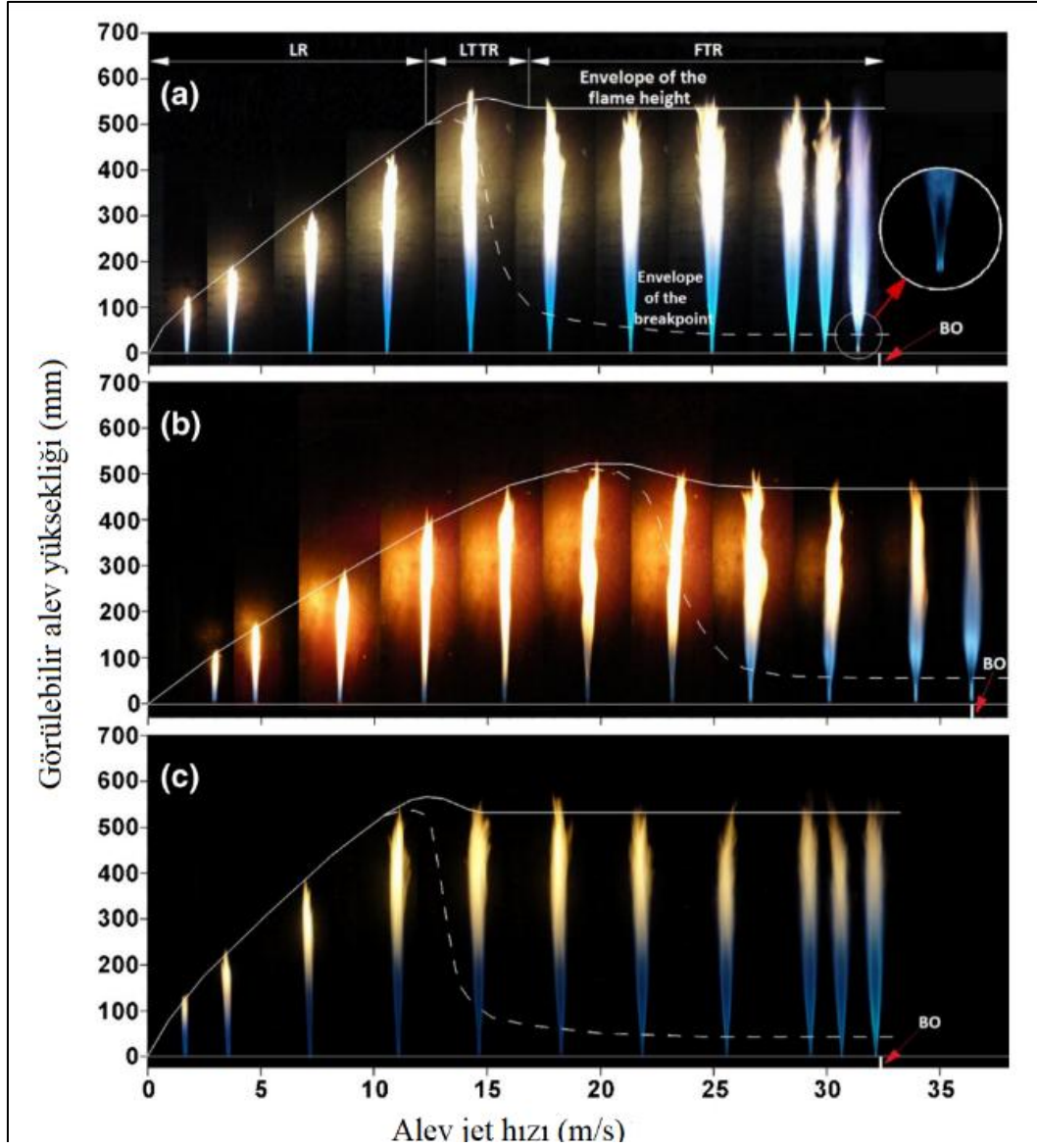
Şekil 2.5. Klasik brülör ve dönmeli iki tip brülör ve yanma testleri (Zhen vd., 2014)

LPG ve PNG (Piped Naturel Gas) yakan ev tipi ocak brülörlerinin ısı verimleri hem deneysel hem sayısal metotlar ile Boggavarapu vd. (2014) tarafından çalışılmış ve LPG yakıtın ısı verimliliğini artırmak için brülör içine yerleştirilen Şekil 2.6'da görüldüğü gibi dairesel ek ve radyal yaprak uygulanması şeklinde dizayn modifikasyonları önermişlerdir. Isıl verimde %2,5'luk bir iyileşme gerçekleşmiştir. Tekerlek şeklindeki bir brülörde ilk defa üç boyutlu ANSYS Fluent analizleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ile elde edilen kararlı hal sonuçları, sayısal modelleme ile elde edilen sonuçları teyit etmiştir.



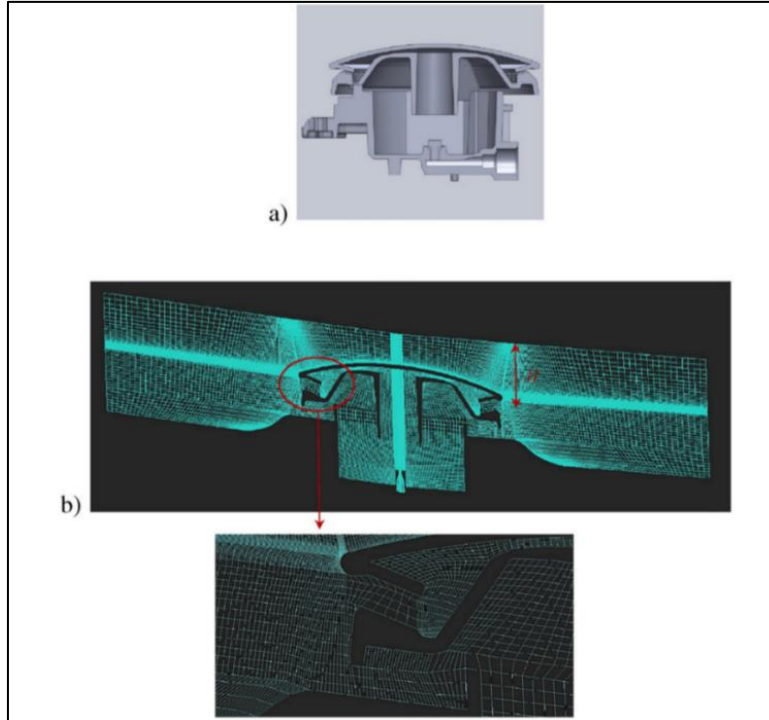
Şekil 2.6. Dairesel ve çoklu port çıkışlı brülör ve dizayn modifikasyonları

Kang vd. (2015) ev tipi bir ocakta üç farklı yakıt (dimetil eter, metan ve LPG) kullanıldığında alev jetlerinin yanma karakteristiklerini deneysel ve teorik analizleri şeklinde gerçekleştirmişlerdir. Beş farklı yakıt nozul çapında $d_f = 1,12; 1,98; 3,30; 4,20$ ve $6,11$ mm, yakıtların farklı alev hızlarını ve bunların alev yapılarındaki etkilerini incelediler. Her yakıt alevi için, nozul çapındaki artış Reynolds sayılarını artırmaktadır. Laminer rejimde alev yüksekliği Reynolds Sayısı ile orantılı iken, tam gelişmiş rejimde alev yüksekliğinin sabit kaldığı görülmüştür. Alev genişliğinin alev jet hızıyla çok değişmediği tespit edilmiştir. Dimetil alevlerinin alev hızı ve Reynolds sayılarının LPG alevininkinden daha küçük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 2.7 üç farklı yakıt için alev jetlerinin yapısal incelemeleri karşılaştırmalı olarak görülmektedir.



Şekil 2.7. Üç farklı yakıtın alev karakteristiklerinin incelenmesi (Kang vd., 2015)

Ev tipi ocakta metan/hava alevinin çalışma şartları, dizayn karakteristikleri ve yanma üzerine etkilerini hız, türbülans ve sıcaklık bakımından Özdemir ve Kantaş (2016) ANSYS fluent paket programını kullanarak sayısal yöntemler ile modellemiş ve analiz etmişlerdir. Şekil 2.8’de incelen ev tipi ocağın teknik resmi ve sayısal modelleme için hazırlanan geometri ve mesh özellikleri görülmektedir. Bu çalışma ile alevin şekli ve özellikleri olduğu kadar, türbülanslı yanma modellemesinin reaksiyon bölgesi konumunun bilinmesinde başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 2.8. a) Ev tipi brülör ve b) mesh model resmi ve ayrıntılı şekilleri (Özdemir ve Kantaş, 2016)

Arabalarda spark ateşlemeli motorda gerçek sürüş şartlarında ortalama 100 km/s lik bir hızda kullanım için alternatif yakıtlar olarak Gasoline 95 ve LPG yakıt olarak test edilmiştir. Bu çalışmada LPG alev hız oranının Gasoline 95 den daha hızlı olduğunu ve gaz fazında enjekte edildiğinde çok daha iyi bir karışım elde edilebildiğini göstermişlerdir. Bu nedenle yanma odasında yüksek basınç elde edildiği ve kısmi yükte çalışırken Gasoline 95’den daha fazla enerji üretebildiğini belirlemişlerdir (Suyabodha, 2017). LPG’nin termodinamik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1. LPG’nin termodinamik özellikleri (Suyabodha, 2017; Mamidi ve Suryawnshi, 2012; Dhakar vd., 2016).

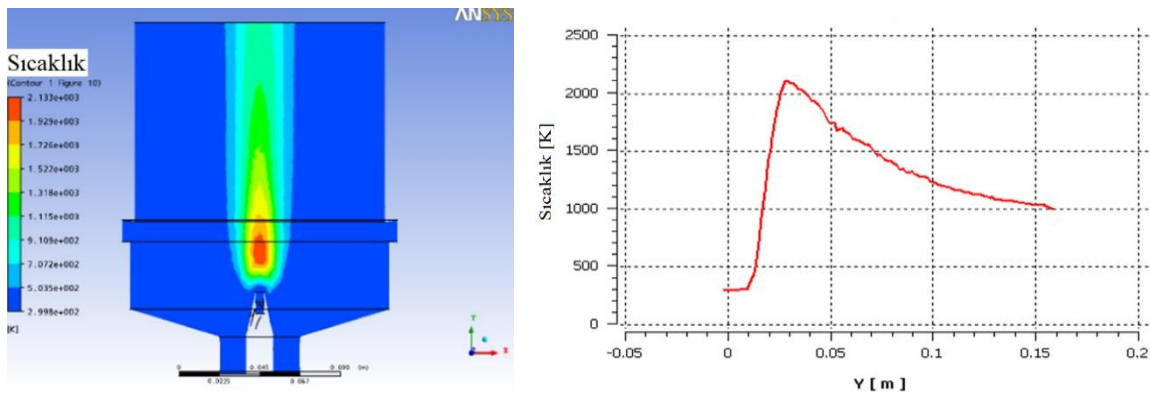
Özellikler	LPG
Stokiometrik oran	15,6:1
Düşük ısıtma oranı [MJ/lt]	28,06
Enjeksiyon fazı	Buhar
Alev yayılım hızı (m/s)	0,5
Oktan sayısı	106-111
Otomatik ateşleme sıcaklığı (°C)	405-470

Hava jeti ve metan–hava alev jetinin karışımları ve bir yüzeye çarpmaları üzerine deneysel çalışma yapan Kuntikana ve Prabhu (2016) boru nozulun ısı verimliliğini Eşitlik 2.4 ile değerlendirmişlerdir.

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{ht}}{(\dot{Q}_f)_{\max}} = \frac{(\pi q_f'' R^2 / a)[e^b - e^{(b-a)}] + ((4 - \pi) R^2 q_{jj}''(R))}{\dot{m}_f (HHV)} \quad (2.4)$$

Burada $\dot{Q}_{ht}$ alevden hedef yüzeye olan ısı transfer oranı, $(\dot{Q}_f)_{\max}$ yakıttan yayılan maksimum ısı transfer oranı, $\dot{m}_f$ yakıtın kütle akış miktarı, HHV yakıtın yüksek ısı değeri. Alevden düz plakaya olan ısı transferini belirlemek için bir Gauss eğrisi $q_{jj}''(r) = q_{jj0}'' \exp(-a[r/R]^2 + b)$ ile ayarlanır. Ayrıca yazarlar çalışmalarında Nusselt sayısı ve boru burnerin etkenlik dağılımlarını incelemişler ve iki bilinmeyenin aynı anda çözüldüğü iki-denklemlilik bir teknik önermişlerdir. Önceden karıştırılmış koni alevleri için, Reynolds sayısı ve eşdeğerlik oranı ile ısı verimin arttığı ve brülör ucu-plaka aralığı ile azaldığı gözlemlenmiştir. Analizleri sonucunda oksidizer boru çapının 6 katı bir mesafeye yerleştirilmiş nozulun Reynolds sayısı 1500 iken maksimum ısı verimliliğe de sahip olduğu belirlenmiştir.

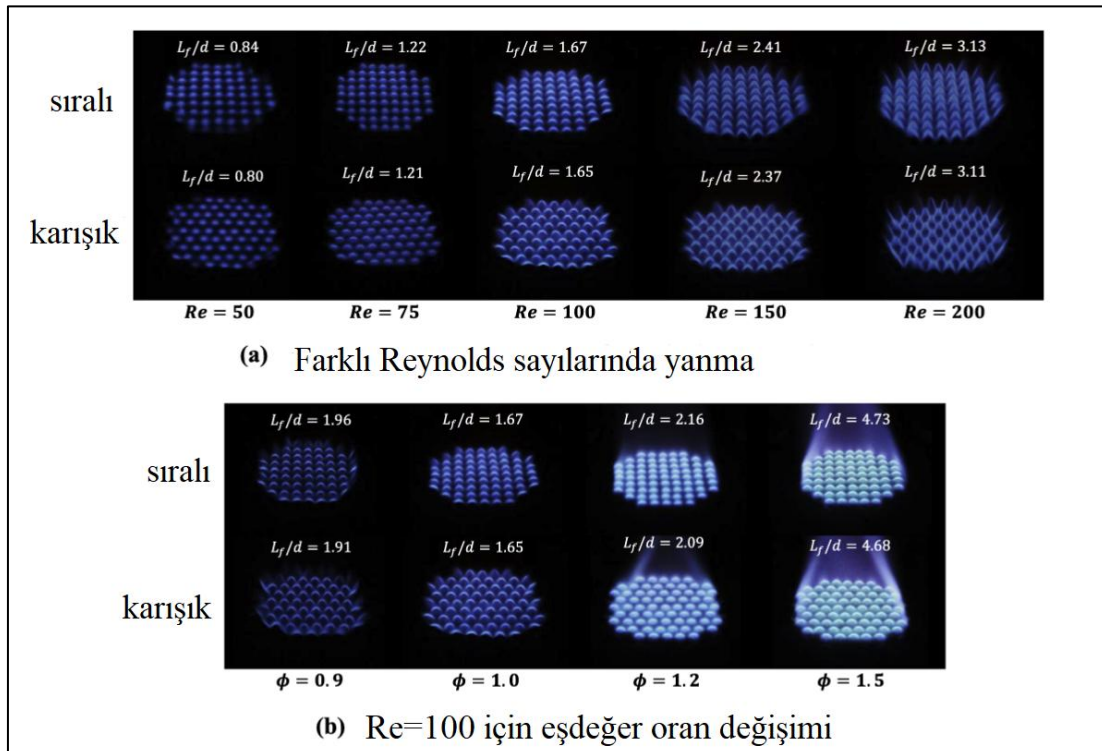
Arya vd. (2016) tarafından yapılan LPG ve Dimetil Ether (DME) yakıtların Hindistan genelinde kullanımları, yanma özellikleri ve karakteristikleri derleme çalışması kapsamında değerlendirilmiştir. Şekil 2.9’da ev tipi ocak brülöründe LPG yanma durumunda oluşan sıcaklıkları göstermektedir.



Şekil 2.9. Basit bir ev tipi ocak brülöründe LPG yanması (Arya vd., 2016)

Tayland'da seramik üretim (550 den fazla) fabrikalarında üretim maliyetinin %15 ile %40 nı enerji maliyeti olarak LPG maliyetinin oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu amaçla, seramik üretim fırınlarında yakıcı olarak kullanılmak üzere önkarışimli gaz burner test düzeneği hazırlanmıştır. Bu yakıcıdaki eşdeğer oran 0,8 ile 1,2 olup, üretilen gaz akış debisi 21, 24 ve 27 Nm³/s değerlerindedir. Bu modifiye edilmiş ön karışimli gaz yakıcıda %84–91 aralığında yüksek ısı verim ve düşük CO ve NO_x emisyonları elde edilmiştir (Punnarapong vd., 2017).

Kuntikana ve Prabhu (2017) ikinci çalışmalarında metan-hava karışimli alev jetinin çok çıkışlı brülörlerdeki ısı özelliklerini incelemişlerdir. Çok çıkışlı brülörler genellikle endüstriyel ve ev ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. Delik çapı 3mm olan 69 deliğin düzgün sıralı ve karışık sıralı yerleştirildiği ve nozul çapının 50 mm olduğu deney düzeneğinde farklı çalışma şartları için alev jetinin alev ısı akısı, ısı verimliliği gibi ısı analizleri yapılmıştır. Şekil 2.10'da görülen düzenleme ve analiz sonuçlarına göre, sıralı düzenleme daha iyi Nusselt sayısı ve etkenlik değerleri vermiştir. Sıralı düzenlemede, alev jetleri arasındaki etkileşim daha az olduğundan hedef düzlem boyunca yanma ürünlerinin sorunsuz akışı gerçekleşmektedir.



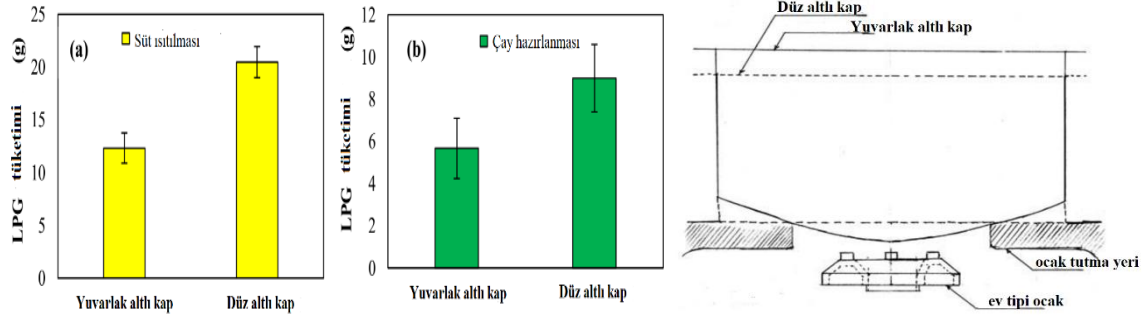
Şekil 2.10. Çoklu nozul durumunda akış konfigürasyonu ve Reynolds sayısının değişimi (Kuntikana ve Prabhu, 2017)

Son yapılan bir araştırmada ev tipi ocak üzerindeki çıkış (port) şeklinin farklı yapılarının (dönen şerit yada yuvarlak şekilli portlar gibi) çeşitli gazların yanma performansı üzerine etkileri incelenmiştir (Chen vd., 2019). Bu çalışmada ilgili port şekillerinin deneysel sonuçlarına dayanarak yapısal dizayn parametresi önerilmiştir. Yazarlar tarafından “yapı faktörü (ε)” olarak adlandırılan formülasyon Eşitlik 2.5’te verilmektedir.

$$\varepsilon = \frac{A_1}{A_2} \frac{A_{\text{brülörbaşsalanı}}}{\sum A_{\text{portalanı}}} \quad (2.5)$$

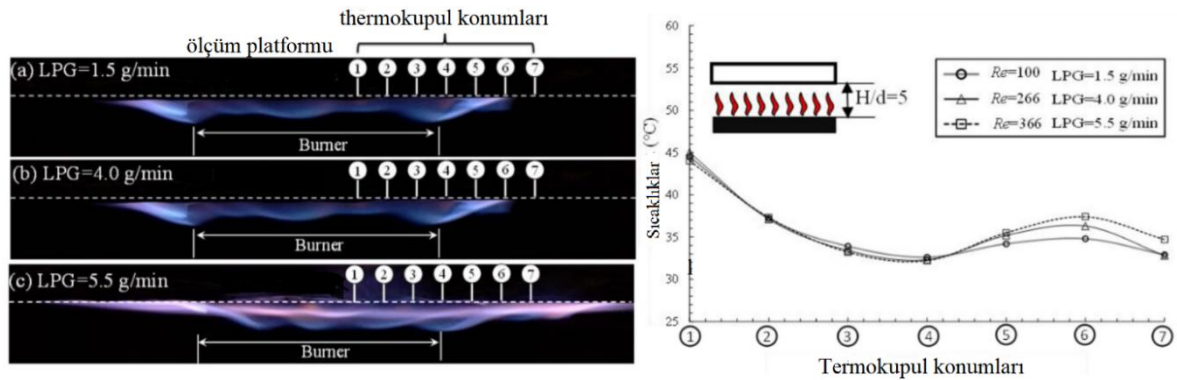
Burada $A_1 = \pi D^2/4$ ve $A_2 = n\pi d^2/4$ (yuvarlak port) veya $A_2 = n \times a \times b$ (şerit port) olarak tanımlanır. Burada D brülör başının çapı, d yuvarlak çıkışın çapı, a ve b şerit çıkışın uzunluğu ve genişliği ve n port sayısıdır. Bu çalışmada, yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında normal yuvarlak çıkışlı ocağın ısı verim ve CO yayılımı bakımından şerit çıkışlı ocaktan daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Şerit çıkışlı ocak ile yapılan deneyler sonucunda daha yüksek CO gas yayılımı ve daha düşük ısı verime sahip olduğu görülmüştür. Her iki port çıkışlı ocak brülör başlıkları doğalgaz yakma işlemine kolayca dönüştürülebilmektedir. Şerit çıkışlı ocak brülörünün yapısal faktörü, normal yuvarlak başlıklı brülörün yapısal faktöründen biraz yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Başka bir çalışmada çoklu çıkışlı ve farklı çıkış (port) çaplı ve farklı malzemelerden yapılmış ocakların yanma ürünü gaz yayılım değerleri ve ısı verim değerleri değerlendirilmiştir (Shen vd., 2018; Fakinle vd., 2019). Ev tipi ocak brülörlerinin ticari beş yaygın tipinde 2,8 bar basınçlı LPG (kütlesel butan/propan oranı: %40:60; %20:80 veya %60:40) gazının yanma sonucunda yayılan gazlar ve parçaçıklar Shen vd. (2018) tarafından değerlendirilmiştir. Bu testlerde ocakların ortalama ısı verimlilikleri $\%51 \pm \%6$ olduğu görülmüştür. Ayrıca aynı çalışmada, beş ocak yanma ürünü CO_2 , CO, CH_4 , NO_x ve $\text{PM}_{2.5}$ değerlerinin Dünya Sağlık Örgütü’nün gaz yayılım şartlarını sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Fakinle vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada incelenen ocak tiplerinin %25’nin, CO gaz yayılımında standart değerin altında ve HC yayılımında standart değerin üstünde kaldığı ve brülör malzeme seçiminin ocak ısı veriminde etkili olduğu tespit edilmiştir. LPG tüketimini azaltmak üzere Sutar vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, çeşitli sıvıların ev tipi ocakta ısıtılması test edilmiş ve ocak üstüne yerleştirilen kapların da LPG tüketimine etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Örneğin süt ısıtılmasında harcanan

LPG miktarının çay yapımında tüketilen LPG miktarından fazla olduğu Şekil 2.11 (a)'daki grafiklerden görülmüştür.



Şekil 2.11. Ev tipi ocaklarda (a) süt ve çay malzemeleri için tüketilen LPG miktarı ve (b) kullanılan kap türünün LPG tüketimine etkisi (Sutar vd., 2020)

LPG'nin yakıt olarak kullanıldığı nozul ile üst plaka arasındaki mesafenin ev tipi ocağın ısı transferine etkilerini inceleyen Wae-hayee vd. (2021) en yüksek ısı geçişinin nozul üzerinde en uzun mesafede oluştuğunu tespit ettiler. Bu çalışmada hava ile LPG gazının karışım hali yakıt olarak kullanılmıştır. Çalışmada LPG debisi 1,5; 4,5 ve 5,5 gr/dakika şeklinde üç ayrı akış miktarı için ölçümler yapılmıştır. Isı transferi enerjinin korunumu kanununa göre hesaplanmıştır. Ev tipi ocakta belirli miktardaki su (0,0417 kg/dakika) belirli saatte ısıtılarak $Q = mC_p(T_o - T_i)$ formülasyonu ile hesaplanmaktadır. Şekil 2.12'de görüldüğü gibi deneysel çalışmada nozul üzerindeki plakada 7 noktada termokupullar ile sıcaklıklar ölçülmektedir. Nozul ile üst plaka arasındaki mesafe $H/d=5$, 10, 15, 25, 35 ve 45 için Reynolds sayılarına göre analizler yapılmıştır. En yüksek ısı geçişinin alev yüzeye çarpmasında oluştuğu ve toplam alev yüksekliğinin kendi uzunluğunun %70 kadarında elde edilebileceği de belirtilmiştir.



Şekil 2.12. Alev davranışı ve ($H/d=5$) mesafede ölçülen platform sıcaklıkları (Wae-hayee vd., 2021)

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ev tipi ocaklarda LPG yakıtın kullanılmasını incelediğimiz deney düzeneği Gazi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümü Yanma laboratuvarında bir 12 kg LPG tüpü, bir set üstü ocak, bir sıcaklık ölçümü için termokupl, bir anemometre ve yayınım ölçümü için bir NOVApplus cihazı kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Bahsedilen deney düzeneğinin resmi Resim 3.1’de verilmektedir.



Resim 3.1. Deney düzeneğinin resmi

Yanma deneylerinde kullandığımız, üç farklı büyüklükte ve iki gaz debi ayarı olan, en yaygın ocak tipi kullanılmıştır. Resim 3.3’te görülen ocakta gaz çıkış nozulları her üç ocak için aynı olup 1 cm çapındadır. Ocak 1 dış çapı 8 cm, Ocak 2 dış çapı 7 cm, Ocak 3 dış çapı 5 cm dir. Numaralı olarak gösterimde, en büyük ocaktan en küçük ocağa doğru sırasıyla 1,2 ve 3 numarası verilmiştir. Ocak 1’in maksimum gaz akış debisi 0,6 l/dk, minimum gaz akış debisi 0,25 l/dk olarak tespit edilmiştir. Orta büyüklükteki ocak olan Ocak 2’nin maksimum debisi 0,25 l/dk ve minimum debisi 0,1 l/dk olarak ölçülmüştür. Ocak 3’ün maksimum debisi 0,2 l/dk ve minimum debisi 0,1 l/dk olduğu görülmüştür. Alevin karakteristiği sabit bir noktadan incelenmiş ve referans nokta ocakta mavi renkle gösterilmiştir.



(a)



(b)

Resim 3.2. Deneylerimizde kullanılan (a) ev tipi ocak ve (b) ölçülen ocaklar

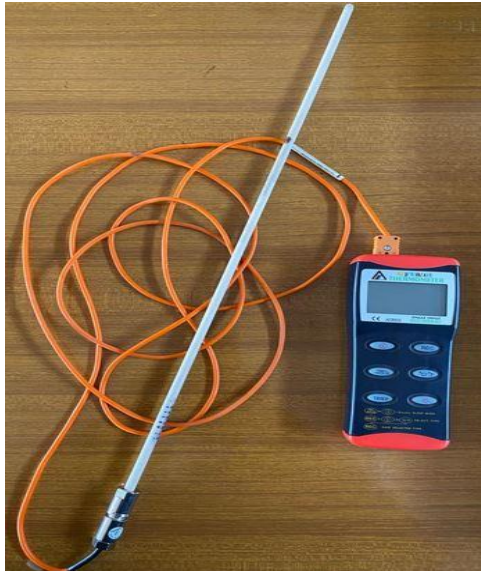
Deneyler laboratuvar şartlarında, birkaç kez tekrarlanarak yapılmıştır. Sıcaklık ölçümünde portatif seramik uçlu 8855 AZ K,J,T,R,S,E termokupl cihazı kullanılmıştır, kullanılan termokuplın özellikleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de gösterilmiş olup resmi Resim 3.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Portatif Seramik Uçlu 8855 AZ K,J,T,R,S,E Termokupl Termometrenin Özellikleri

TERMOKUPL TİPİ	ÖZELLİKLERİ	DEĞERLER
K TİPİ	Sıcaklık Aralığı	-200~1370°C, -328~2498°F (18~28°C Ortam Sıcaklığı Şartları Altında)
	Sıcaklık Doğruluğu	±(0,1% okunan değer +0,7°C), ±(0,1% okunan değer +1,4°F)
	Sıcaklık Çözünürlüğü	0,1°C, 0,1°F
J TİPİ	Sıcaklık Aralığı	-200~760°C, -328~1400°F (18~28°C Ortam Sıcaklığı Şartları Altında)
	Sıcaklık Doğruluğu	±(0,1% okunan değer +0,7°C), ±(0,1% okunan değer +1,4°F)
	Sıcaklık Çözünürlüğü	0,1°C, 0,1°F
T TİPİ	Sıcaklık Aralığı	-200~390°C, -328~730°F (18~28°C Ortam Sıcaklığı Şartları Altında)
	Sıcaklık Doğruluğu	±(0,1% okunan değer +0,7°C), ±(0,1% okunan değer +1,4°F)
	Sıcaklık Çözünürlüğü	0,1°C, 0,1°F
R TİPİ	Sıcaklık Aralığı	0~1760°C, 32~3200°F (18~28°C Ortam Sıcaklığı Şartları Altında)
	Sıcaklık Doğruluğu	±(0,3% okunan değer +0,7°C), ±(0,3% okunan değer +1,4°F)
	Sıcaklık Çözünürlüğü	0,1°C, 0,1°F
S TİPİ	Sıcaklık Aralığı	0~1760°C, 32~3200°F (18~28 °C Ortam Sıcaklığı Şartları Altında)
	Sıcaklık Doğruluğu	±(0,3% okunan değer + 0,7°C), ±(0,3% okunan değer + 1,4°F)
	Sıcaklık Çözünürlüğü	0,1°C, 0,1°F
E TİPİ	Sıcaklık Aralığı	-200~736°C, -328~1356°F (18~28°C Ortam Sıcaklığı Şartları Altında)
	Sıcaklık Doğruluğu	±(0,1% okunan değer + 0,7°C), ±(0,1% okunan değer + 1,4°F)
	Sıcaklık Çözünürlüğü	0,1°C, 0,1°F

Çizelge 3.2. Termokupl Çalışma Genel Özellikleri

LCD Boyutu	51 mm Uzunluk * 30 mm Genişlik
Çalışma Bağlı Nemi (%)	Nem <80%
Depolama Sıcaklığı	-20 ~ 50°C
Depolama Bağlı Nemi (%)	Nem <90%
Metre Boyutu	182 mm Uzunluk * 72 mm Genişlik * 30 mm Yükseklik
Ağırlık	~ 150 gram
Pil	9 Volt * 1 PC veya Adaptör



Resim 3.3. Sıcaklık ölçüm cihazı

Deneylerde soğuk akış gaz hızı ölçümleri için kullanılan Geratech markalı anemometre kullanılmıştır. Anemometrenin teknik özellikleri Çizelge 3.3'te ve resmi Resim 3.4'te verilmektedir.

Çizelge 3.3. Geratech markalı anemometrenin genel özellikleri

Hava Hızı Ölçüm Birimi	Hava Hızı Ölçüm Aralığı	Hava Hızı Çözünürlük	Hava Hızı Hassasiyet
m/s	0,1 ~ 25	0,01	±(5%+1d) okuma veya ±(1%+1d) tam ölçek
km/h	0,3 ~ 90	0,1	
ft/min	20 ~ 4925	1	
mph	0,2 ~ 55,8	0,1	
knots	0,2 ~ 48,5	0,1	
Hava Sıcaklığı Ölçüm Aralığı		0°C ile 50°C	
Hava Sıcaklığı Hassasiyeti		±1°C /1,8°F	
Hava Sıcaklığı Çözünürlüğü		0,1°C / 0,1°F	
Hava Sıcaklığı Ölçtüğü Birimler		°C, °F	
Prob Ucu Kalınlığı		9,5 mm	
Prob Uzunluğu		Tutma sapı hariç 1 metre	
Ekran		46.7 mm x 60 mm genişlikte LCD ekran	
Ekran Işığı		Var	
Ağırlık		280 gr.	
Çalışma Sıcaklığı		0°C ile 50°C	



Resim 3.4. Geratech markalı anemometre

Çizelge 3.4. NOVAplus markalı yayının ölçüm cihazının çalışma genel özellikleri

Çalışma Sıcaklığı	+5°C ... +45 °C 41 °F ... 113 °F
Pil ve çalışma süresi	Lityum İyon (Li – Ion) / 10 saat
Ağırlık	7,4 kg
Hacim	470 x 314 x 235 mm ³
Malzeme	Alüminyum
CO Nominal Ölçüm Aralığı	0 – 4000 ppm
CO Aşırı Yükleme Durumunda Aralığı	< 10000 ppm
CO Hassasiyet / Doğruluk	± 10 ppm/ 5% (0 .. 4000 ppm) 10% (> 4000 ppm)
CO (Yüksek) Nominal Ölçüm Aralığı	0 – 4000 ppm
CO (Yüksek) Aşırı Yükleme Durumunda Aralığı	< 20000 ppm
CO (Yüksek) Hassasiyet / Doğruluk	± 100 ppm/ 5% (0 .. 4000 ppm) 10% (> 4000 ppm)
NO Nominal Ölçüm Aralığı	0 - 1000 ppm
NO Aşırı Yükleme Durumunda Aralığı	< 5000 ppm
NO Hassasiyet / Doğruluk	± 5ppm / 5% (0 ... 1000 ppm) 10% (> 1000 ppm)
Ölçüm Aralığı	300 ppm
NO ₂ Nominal Ölçüm Aralığı	0 – 200 ppm
NO ₂ Aşırı Yükleme Durumunda Aralığı	< 1000 ppm
NO ₂ Hassasiyet / Doğruluk	± 5ppm / 5% (0 ... 200 ppm) 10% (> 200 ppm)
CO ₂ Nominal Ölçüm Aralığı	0 – 40 Vol%
CO ₂ Hassasiyet / Doğruluk	± 0,3 Vol% / 5%

Deneysel çalışmada Ocak 1’de maksimum debide diyagonal yönde yayının ölçümleri yapılmış olup yayının ölçümü için kullandığımız NOVAplus markalı cihaza ilişkin genel özellikler yukarıda Çizelge 3.4’te; cihazın resmi ise aşağıda Resim 3.5’te gösterilmiştir.



Resim 3.5. NOVApplus markalı yayının ölçüm cihazı

Deneysel çalışmamızda kullanılan 12 kg LPG tüpü ve gaz akışını ölçen debimetre Resim 3.6'da gösterilmektedir.



Resim 3.6. LPG tüpü ve gaz debimetresi

3.1. Sıcaklık Ölçümleri

3.1.1. Ocak 1 ölçümleri

Ocak 1'in dış çapı 8 cm, gaz çıkış çapı 1 cm olup 40 dişten oluşmaktadır. Yaptığımız çalışmada ölçüm için Resim 3.2'de gösterilen mavi renkli referans çizgilerinden ölçümler alınmıştır. Gaz akış debisi minimum ve maksimumda iken 10 dakikalık süreler ile sırasıyla 0,5 cm aralıklarla referans noktasından 0, 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 ve 3 cm uzaklıklarda yatay, düşey ve diyagonal yönlerde sıcaklık ölçümü yapılmış, elde edilen değerler grafikler halinde sunulmuştur.

Yatay ölçüm

Minimum debide yapılan ölçümler

Minimum debide Ocak 1'de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.7'de verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

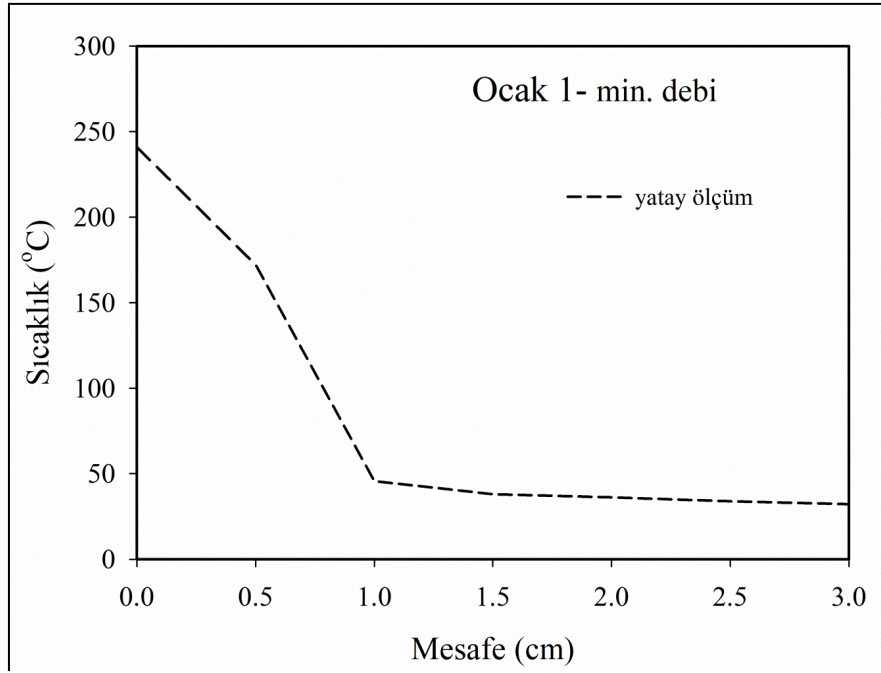


2,5 cm



3 cm

Resim 3.7. Ocak 1'de minimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri

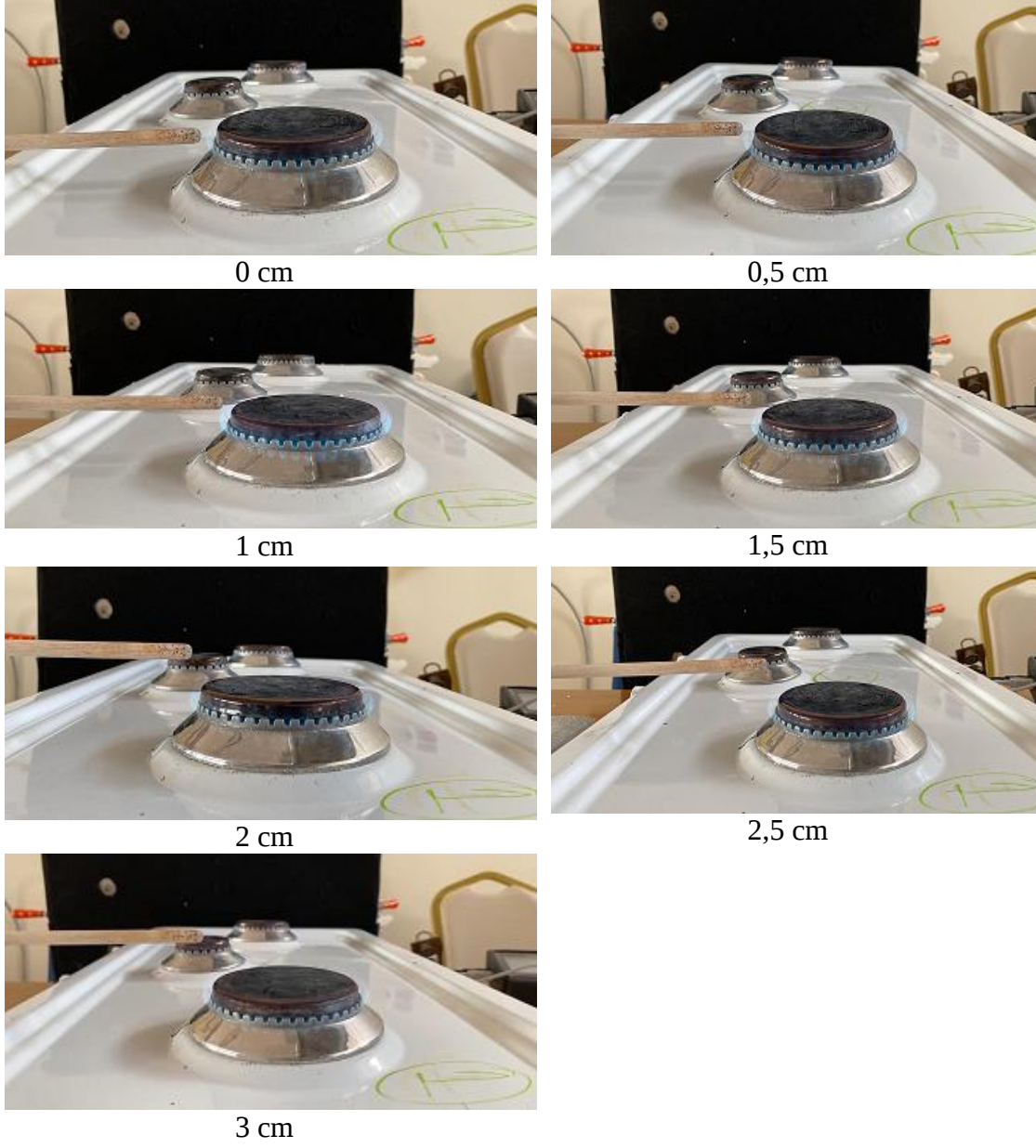


Şekil 3.1. Ocak 1’de minimum debide yatay ölçüm sıcaklık değerleri

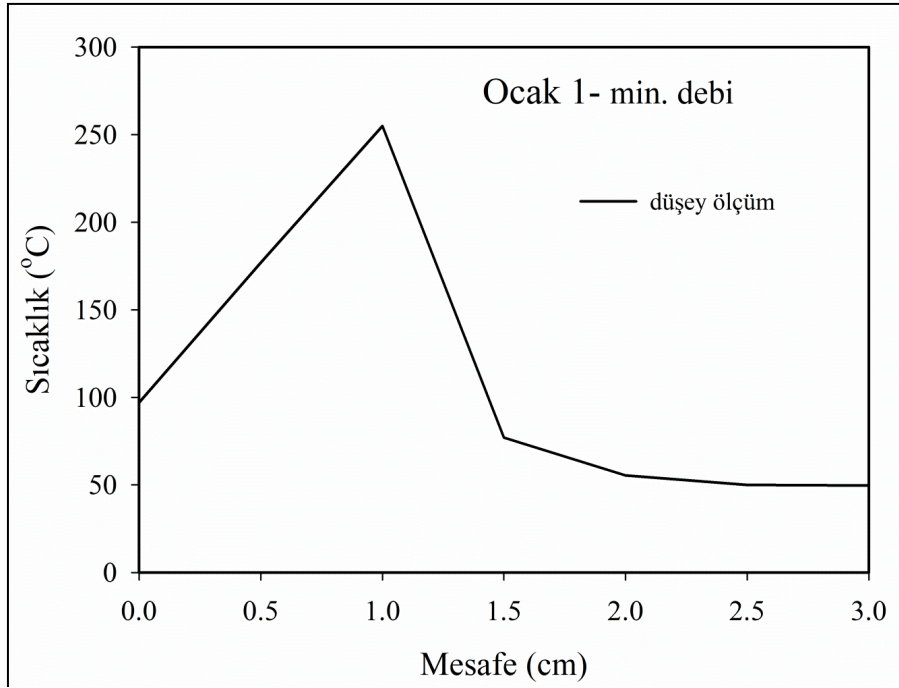
Dikey ölçüm

Minimum Debide Yapılan Ölçümler

Minimum debide Ocak 1’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.8’de verilmiştir.



Resim 3.8. Ocak 1’de minimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.2. Ocak 1’de minimum debide dikey ölçüm sıcaklık değerleri

Diyagonal ölçüm

Minimum debide yapılan ölçümler

Minimum debide Ocak 1’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.9’da verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

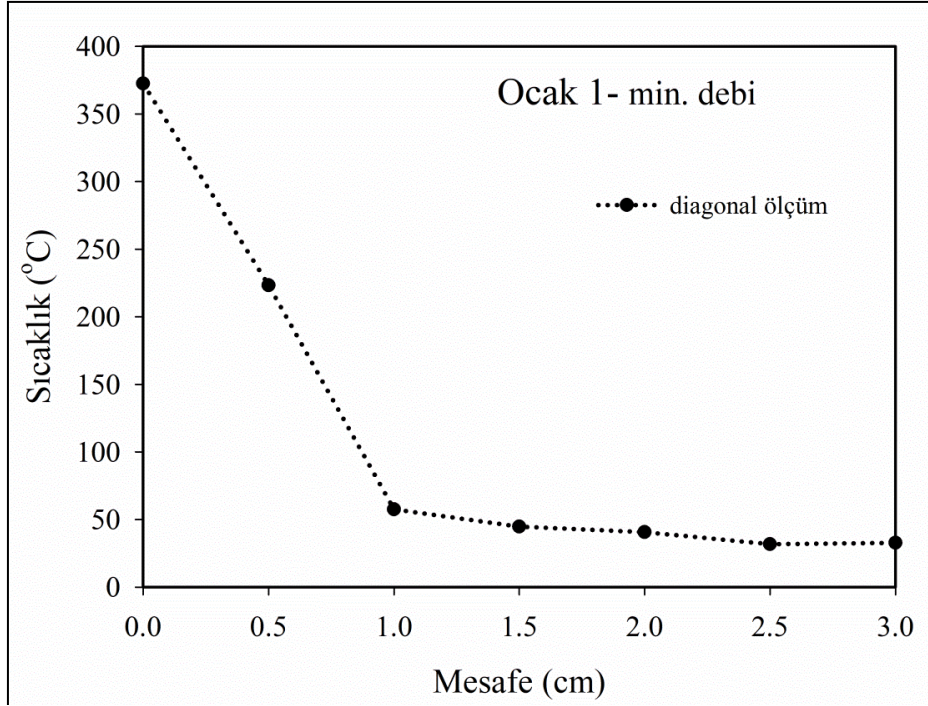


2,5 cm



3 cm

Resim 3.9. Ocak 1'de minimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.3. Ocak 1’de minimum debide diyagonal ölçüm sıcaklık değerleri

Minimum debi için Ocak 1’deki sıcaklık değerlerine bakıldığında en yüksek sıcaklık diyagonal doğrultuda referans noktasında 372,5 °C olarak ölçülmüştür. Dikey doğrultuda 1 cm’den 3 cm’ye kadar olan mesafelerdeki sıcaklıkların ölçüm değerleri diğer doğrultulara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Yatay ölçüm

Maksimum debide yapılan ölçümler

Maksimum debide Ocak 1’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.10’da verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

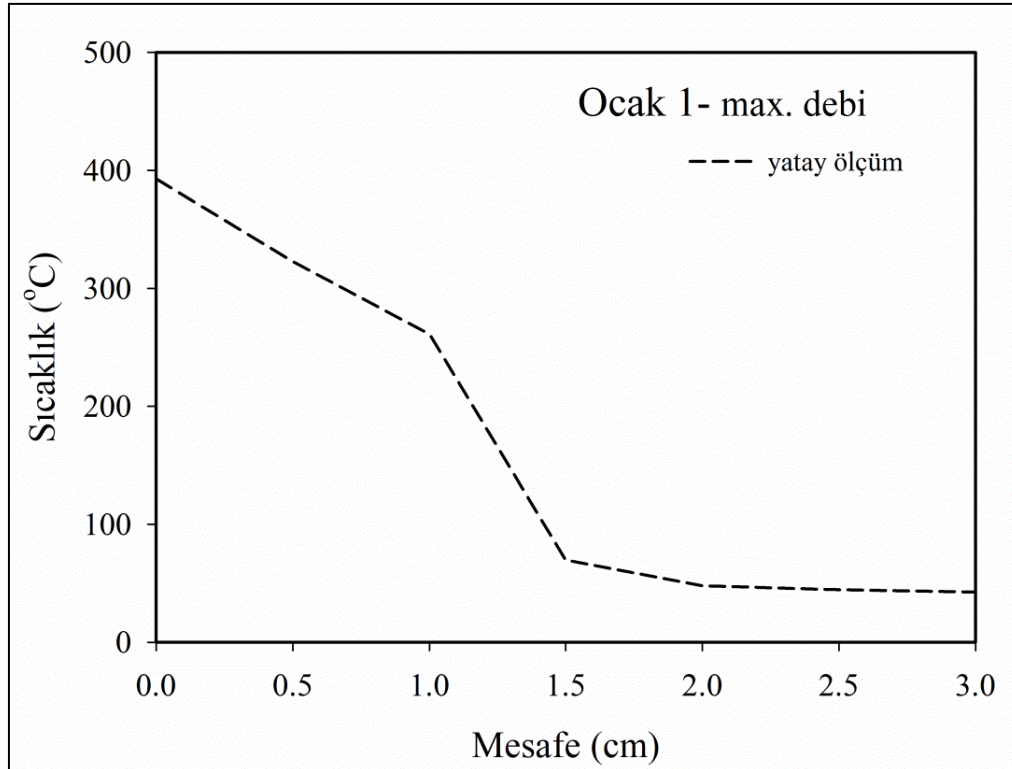


2,5 cm



3 cm

Resim 3.10. Ocak 1’de maksimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.4. Ocağ 1’de maksimum debide yatay yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Dikey ölçüm

Maksimum debide yapılan ölçümler

Maksimum debide Ocağ 1’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.11’de verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

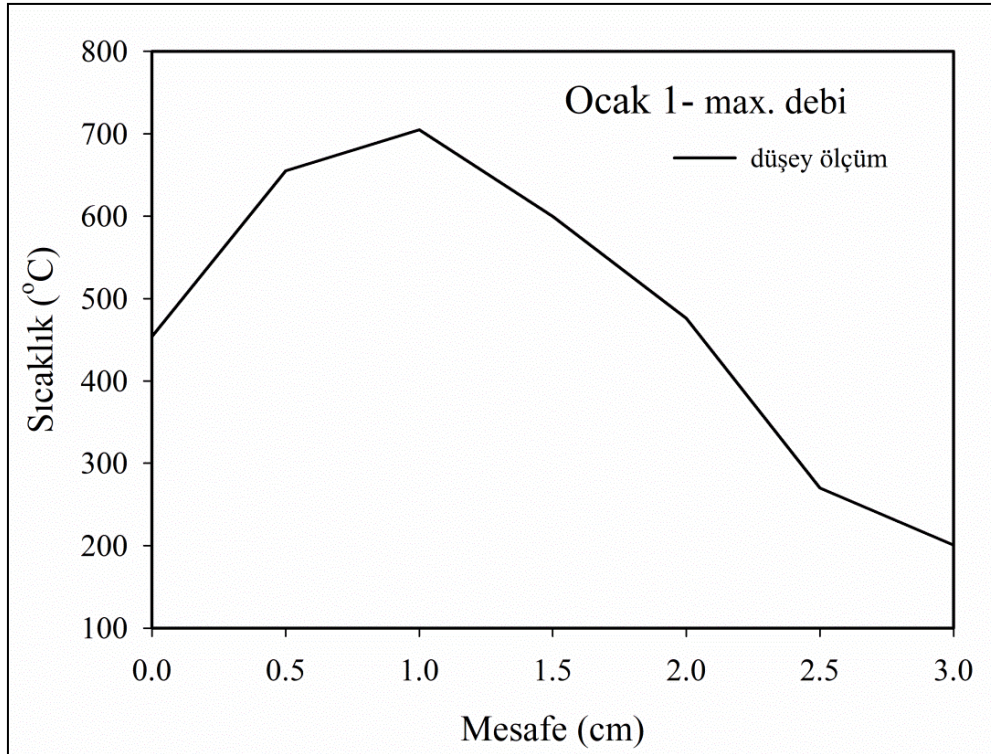


2,5 cm



3 cm

Resim 3.11. Ocak 1’de maksimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.5. Ocağ 1’de maksimum debide dikey yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Diyagonal

Maksimum debide yapılan ölçümler

Maksimum debide Ocağ 1’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.12’de verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

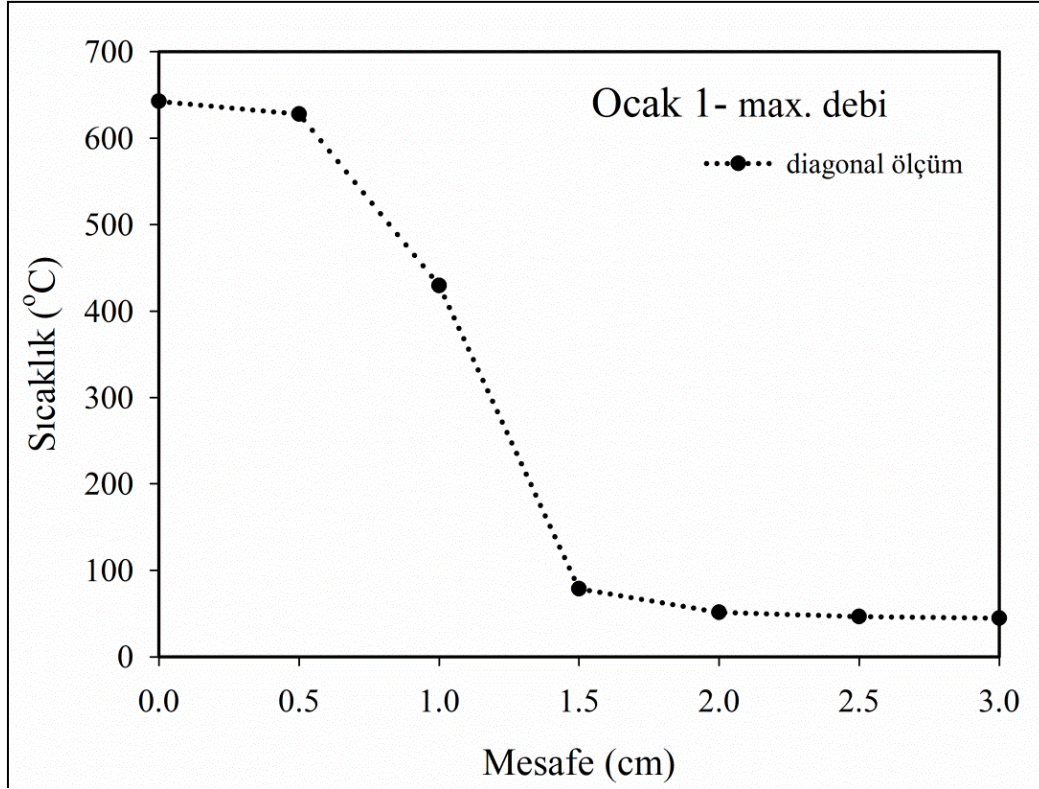


2,5 cm



3 cm

Resim 3.12. Ocak 1'de maksimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.6. Ocak 1’de maksimum debide diyagonal yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Maksimum debi için Ocak 1’deki sıcaklık değerlerine bakıldığında en yüksek sıcaklık dikey doğrultuda referans noktasından 1 cm uzaklıkta ~705 °C olarak ölçülmüştür. Dikey doğrultuda 1,5 cm ile 3 cm arasındaki mesafelerde sıcaklıkların diğer doğrultulara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Örneğin; her üç doğrultudaki ölçümlerde 1,5 cm’deki sıcaklıklara bakıldığında dikey doğrultudaki ~600 °C iken diğer iki doğrultudaki ~70-80 °C civarında olduğu görülür.

3.1.2. Ocak 2 ölçümleri

Ocak 2’nin dış çapı 7 cm, gaz çıkış çapı 1 cm olup, 35 dişten oluşmaktadır. Yaptığımız çalışmada ölçüm için Resim 3.2’de gösterilen mavi renkli referans çizgilerinden ölçümler alınmıştır. Gaz çıkış debisi minimum ve maksimumda iken 10 dakikalık süreler ile sırasıyla 0,5 cm aralıklarla referans yerinden 0, 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 ve 3 cm mesafeler için diyagonal, yatay ve düşey yönlerde sıcaklık ölçümü yapılmış, değerler elde edilmiş ve grafikleri çizilmiştir.

Yatay ölçüm

Minimum debide yapılan ölçümler

Minimum debide Ocak 2’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.13’te verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

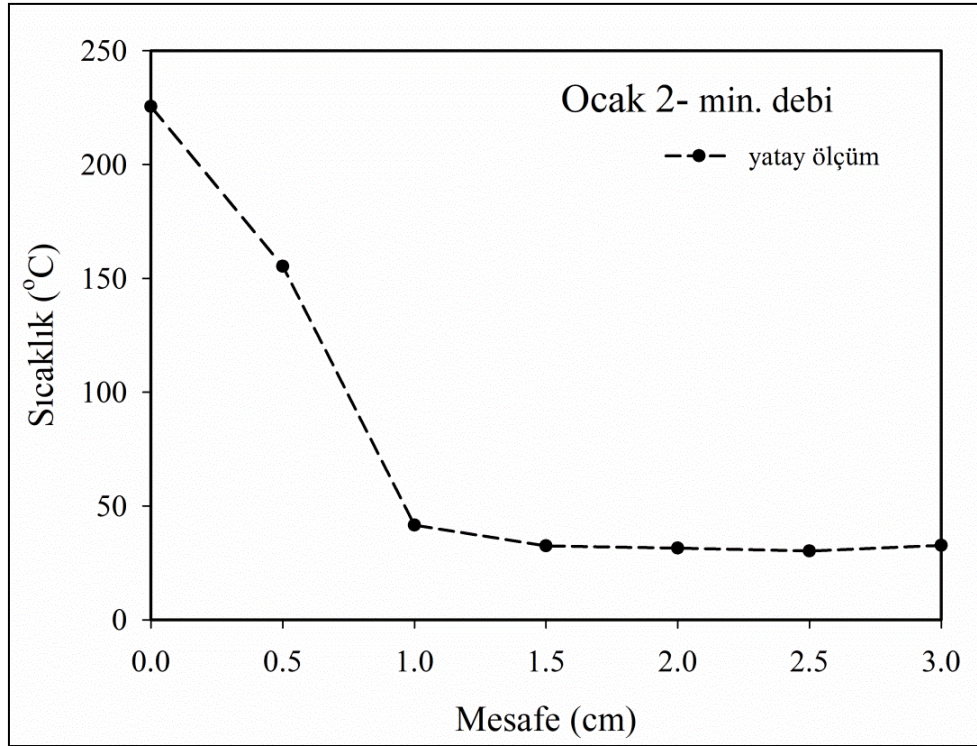


2,5 cm



3 cm

Resim 3.13 Ocak 2’de minimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri

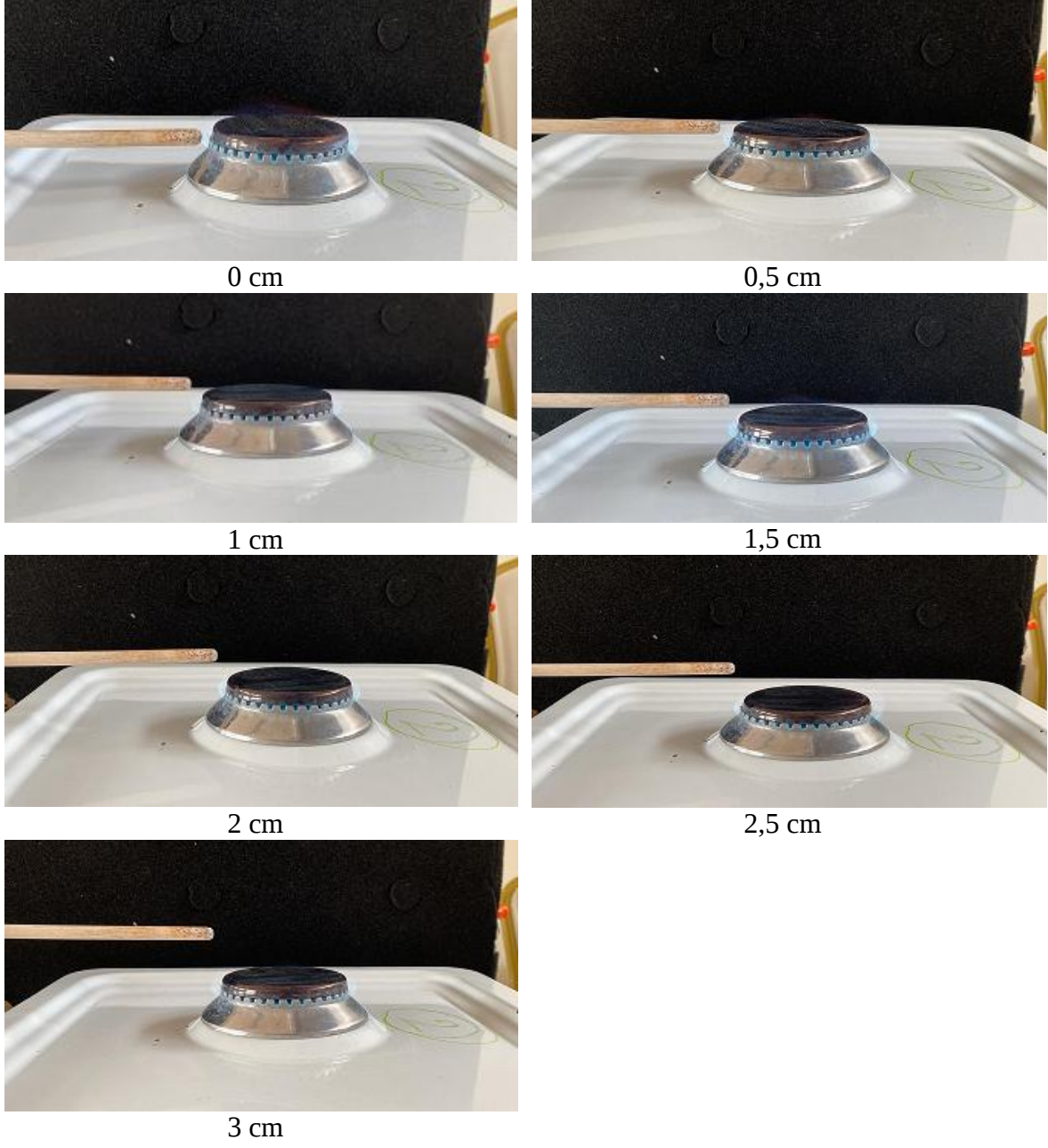


Şekil 3.7. Ocağ 2’de minimum debide yatay yönde ölçüm sıcaklık değerleri

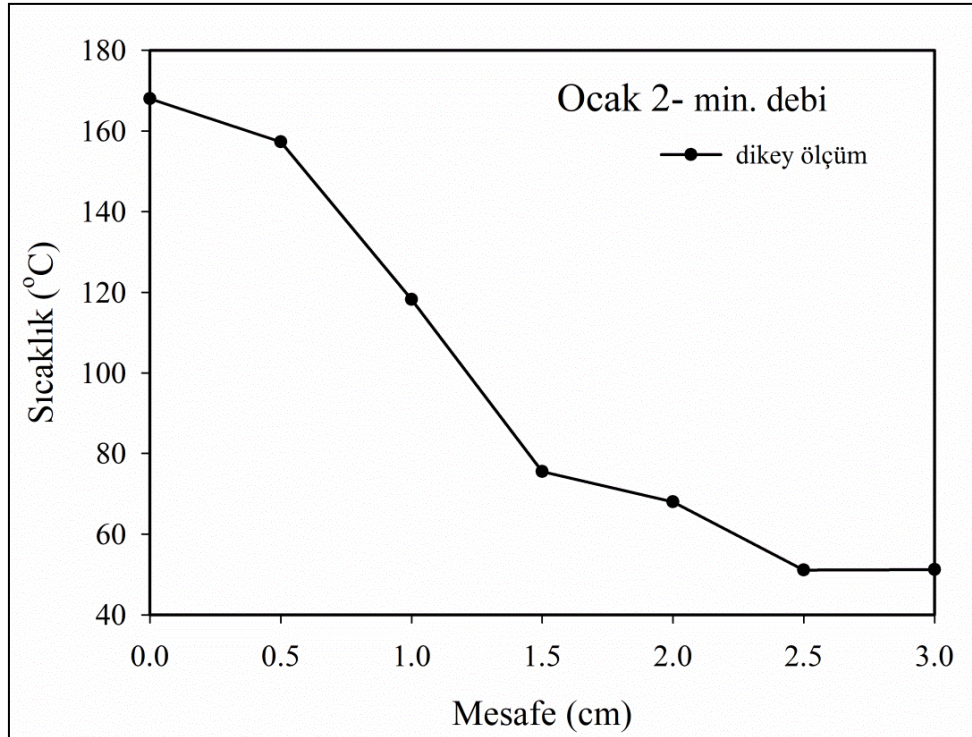
Dikey ölçüm

Minimum debide yapılan ölçümler

Minimum debide Ocağ 2’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.14’te verilmiştir.



Resim 3.14. Ocak 2’de minimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.8. Ocak 2’de minimum debide dikey yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Diyagonal

Minimum debide yapılan ölçümler

Minimum debide Ocak 2’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.15’te verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

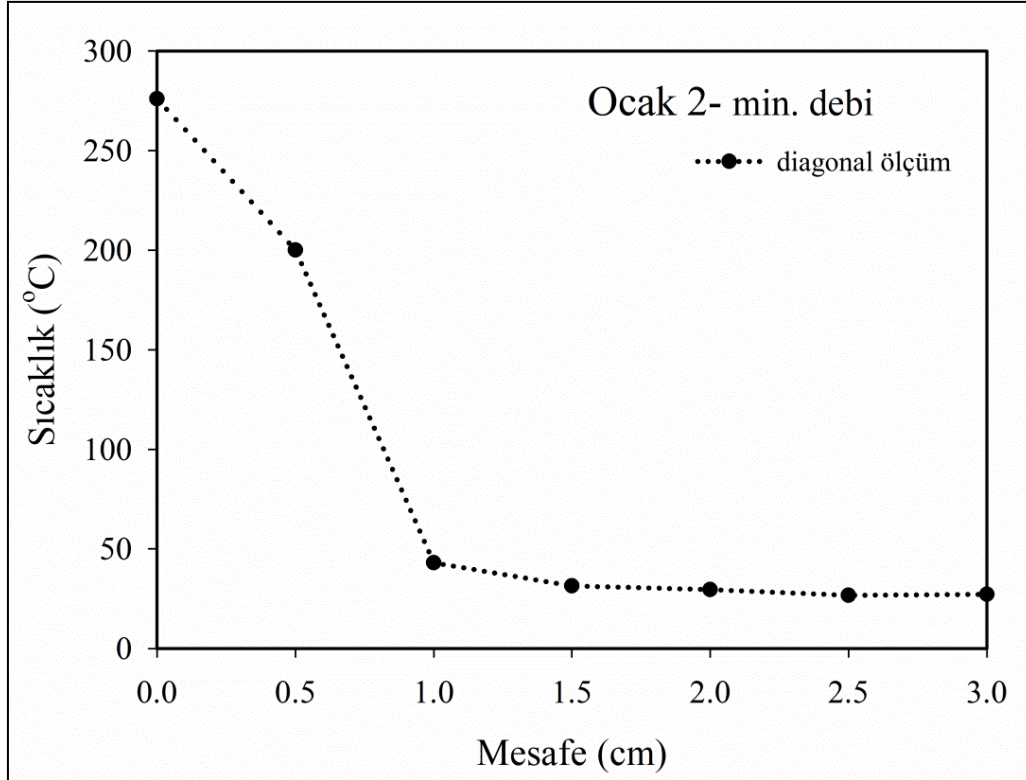


2,5 cm



3 cm

Resim 3.15. Ocak 2’de minimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.9. Ocağ 2’de minimum debide diyagonal yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Yatay ölçüm

Maksimum debide yapılan ölçümler

Maksimum debide Ocağ 2’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.16’da verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



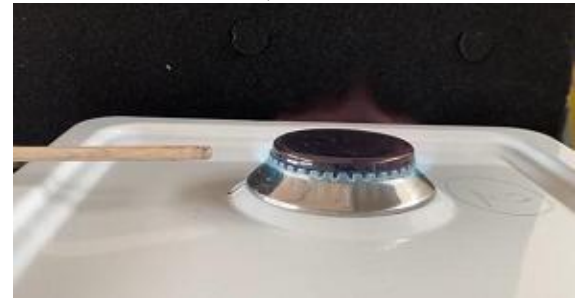
1 cm



1,5 cm



2 cm

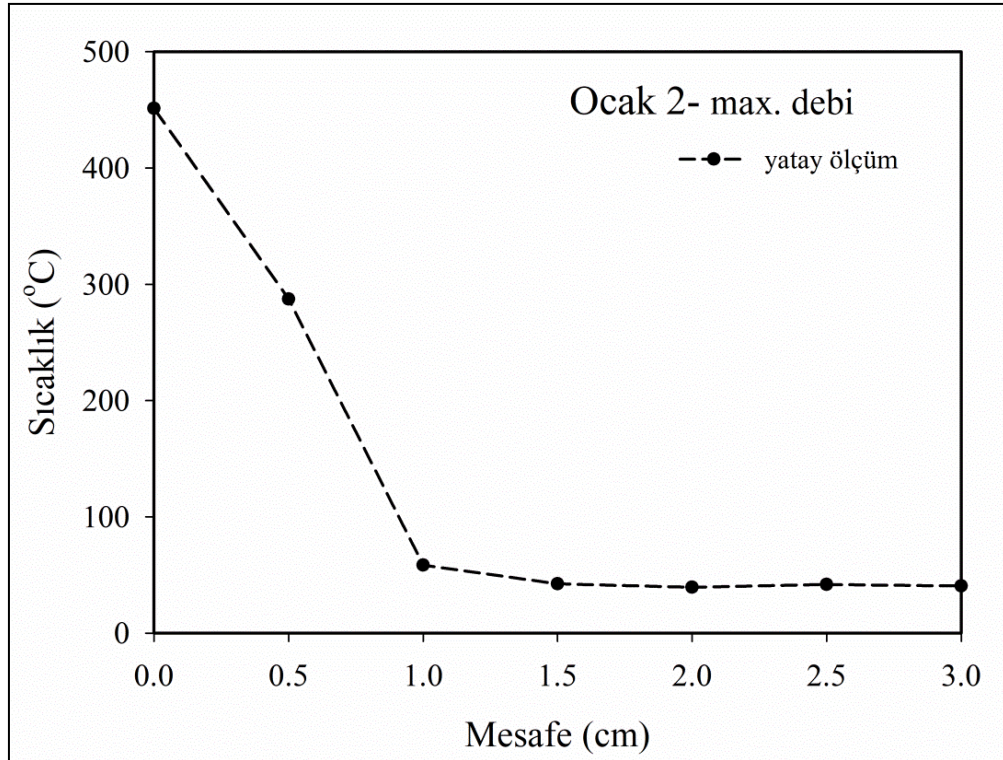


2,5 cm



3 cm

Resim 3.16. Ocak 2’de maksimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.10. Ocak 2’de maksimum debide yatay yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Dikey ölçüm

Maksimum debide yapılan ölçümler

Maksimum debide Ocak 2’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.17’de verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

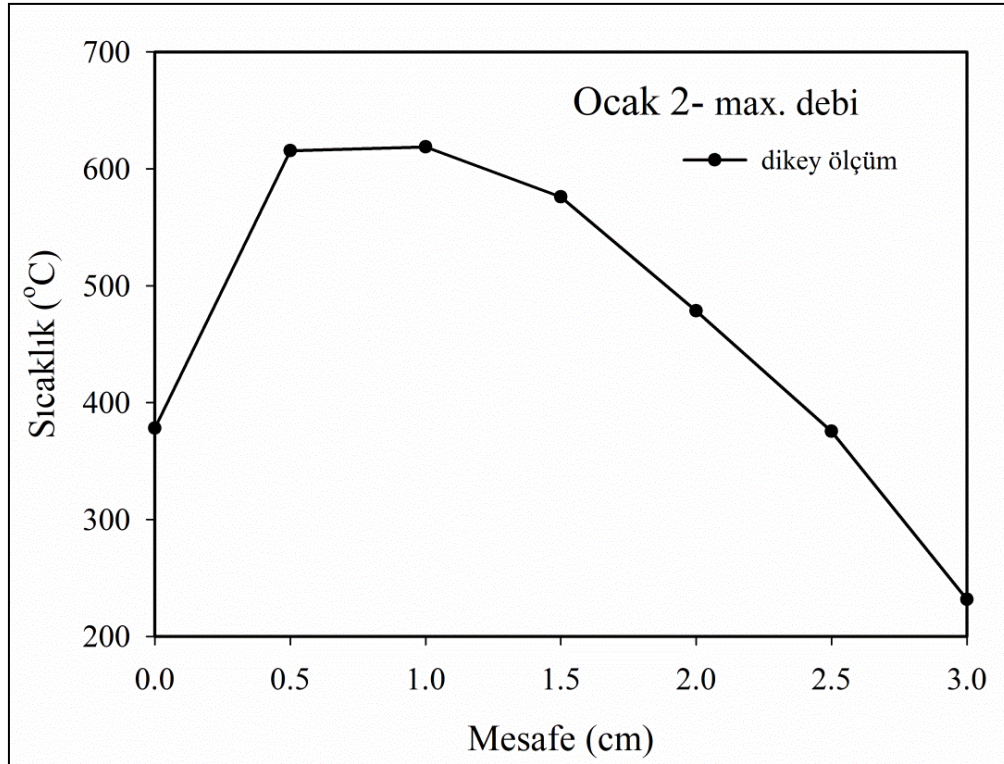


2,5 cm



3 cm

Resim 3.17. Ocak 2’de maksimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.11. Ocak 2’de maksimum debide dikey yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Diyagonal ölçüm

Maksimum debide yapılan ölçümler

Maksimum debide Ocak 2’de alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.18’de verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

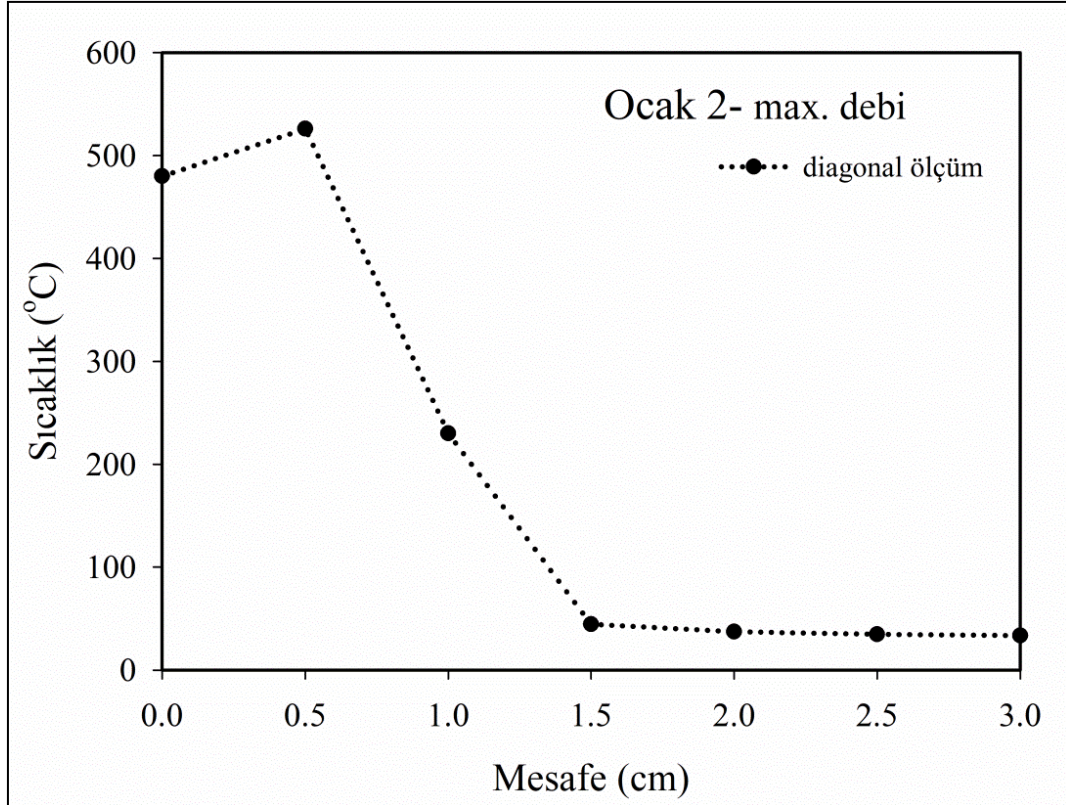


2,5 cm



3 cm

Resim 3.18. Ocak 2’de maksimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.12. Ocak 2’de maksimum debide diyagonal yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Minimum debideki en yüksek sıcaklık diyagonal yönde 276 °C olup, maksimum debideki en yüksek sıcaklığın dikey yönde ~619 °C olduğu görülmüştür.

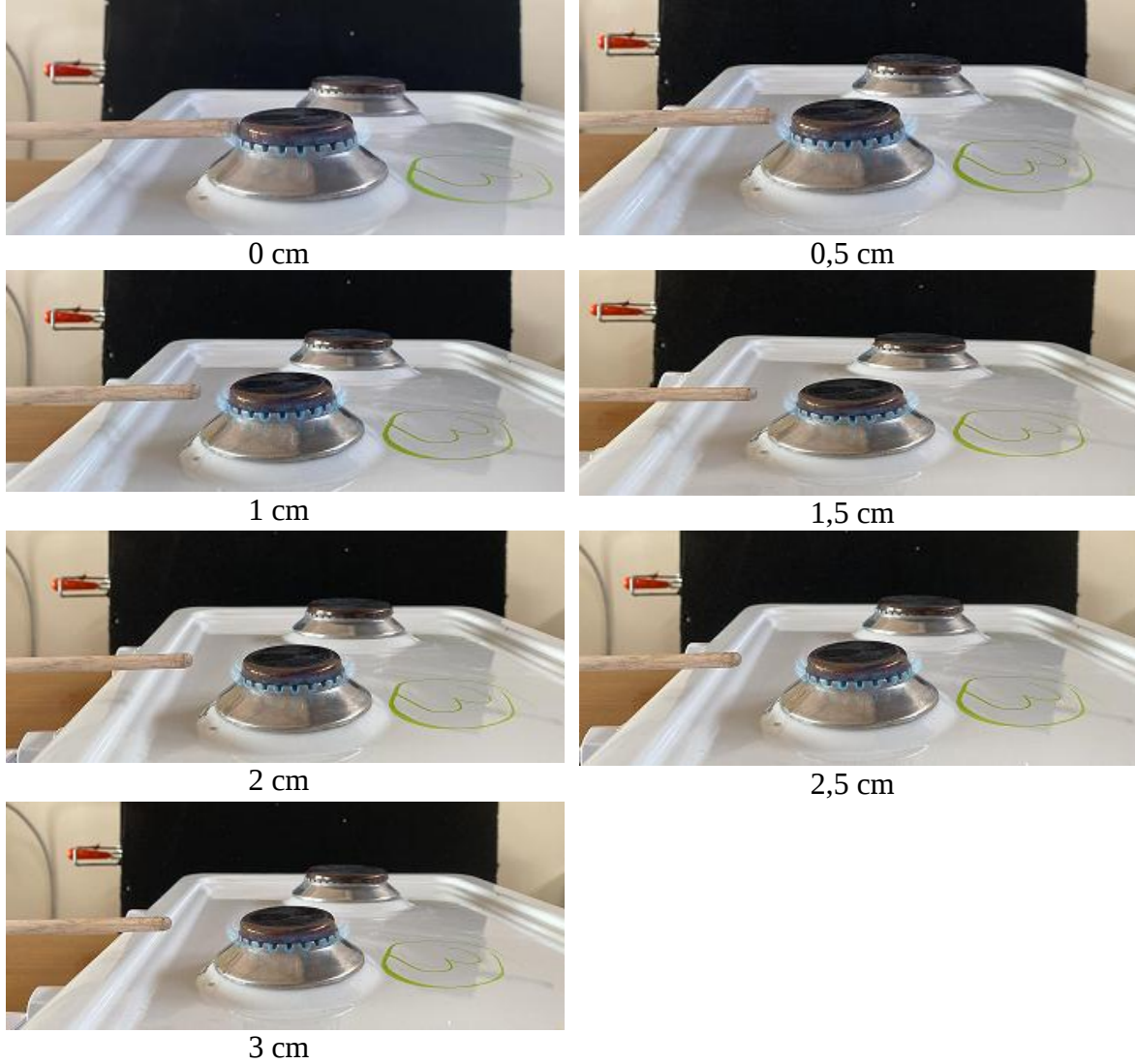
3.1.3. Ocak 3 ölçümleri

Ocak 3’ün dış çapı 5 cm, gaz çıkış çapı 1 cm olup, 23 dişten oluşmaktadır. Yaptığımız çalışmada ölçüm için Resim 3.2’de gösterilen mavi renkli referans çizgilerinden ölçümler alınmıştır. Gaz çıkış debisi minimum ve maksimumda iken 10 dakikalık süreler ile sırasıyla 0,5 cm aralıklarla referans yerinden 0, 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 ve 3 cm mesafeler için diyagonal, yatay ve düşey yönlerde sıcaklık ölçümü yapılmış, değerler elde edilmiş ve grafikleri çizilmiştir.

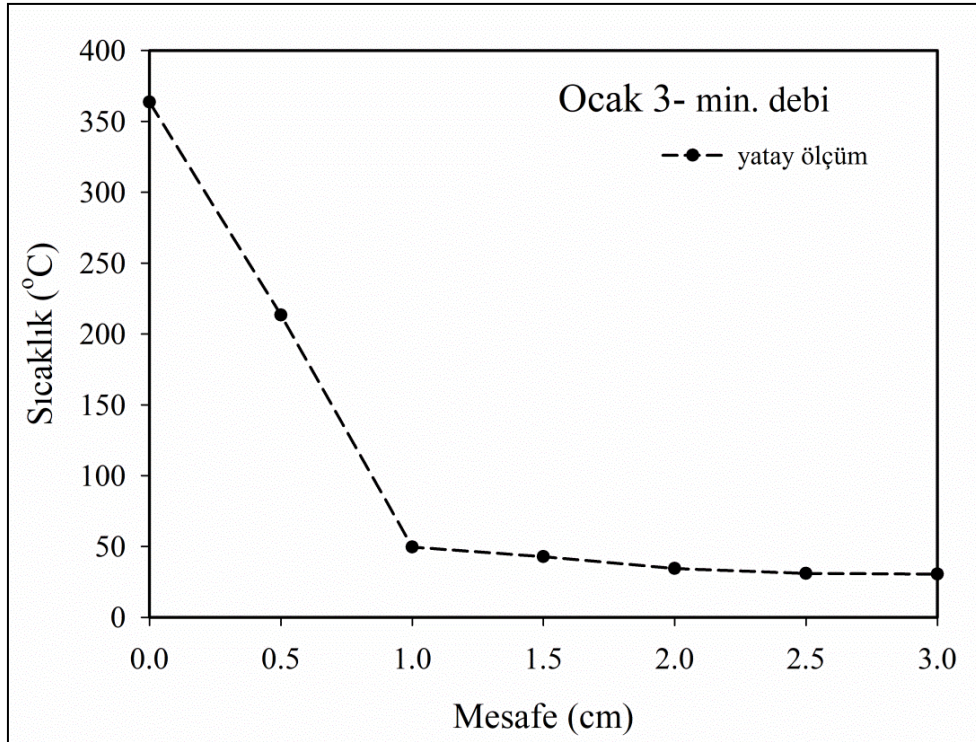
Yatay ölçüm

Minimum debide yapılan ölçümler

Minimum debide Ocak 3'te alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.19'da verilmiştir.



Resim 3.19. Ocak 3'te minimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.13. Ocağ 3'te minimum debide yatay yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Dikey ölçüm

Minimum debide yapılan ölçümler

Minimum debide Ocağ 3'te alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Şekil 3.20'de verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

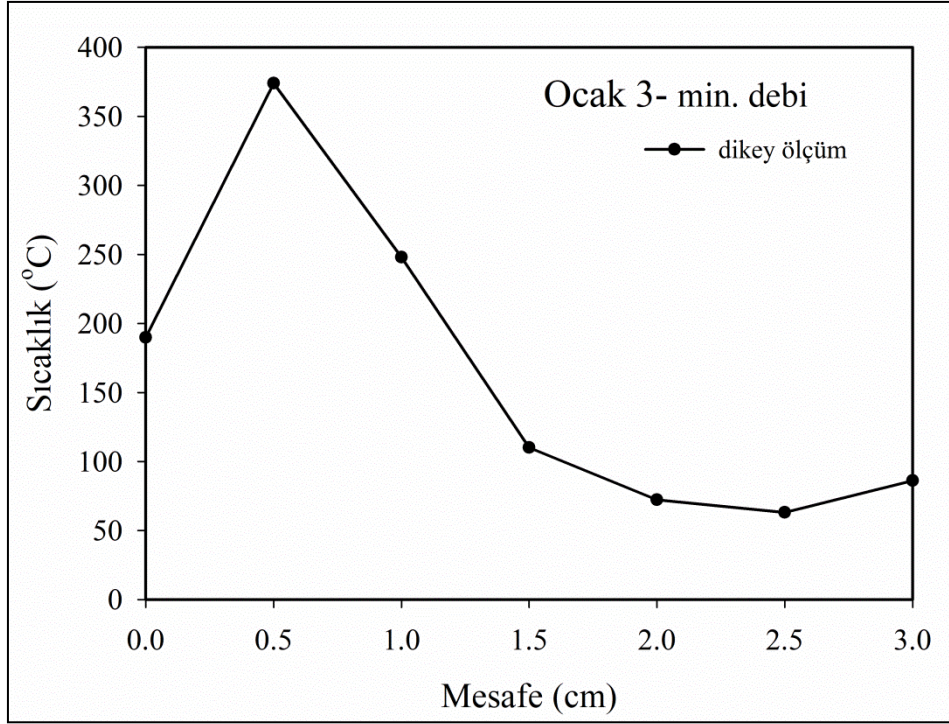


2,5 cm



3 cm

Resim 3.20. Ocak 3'te minimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri



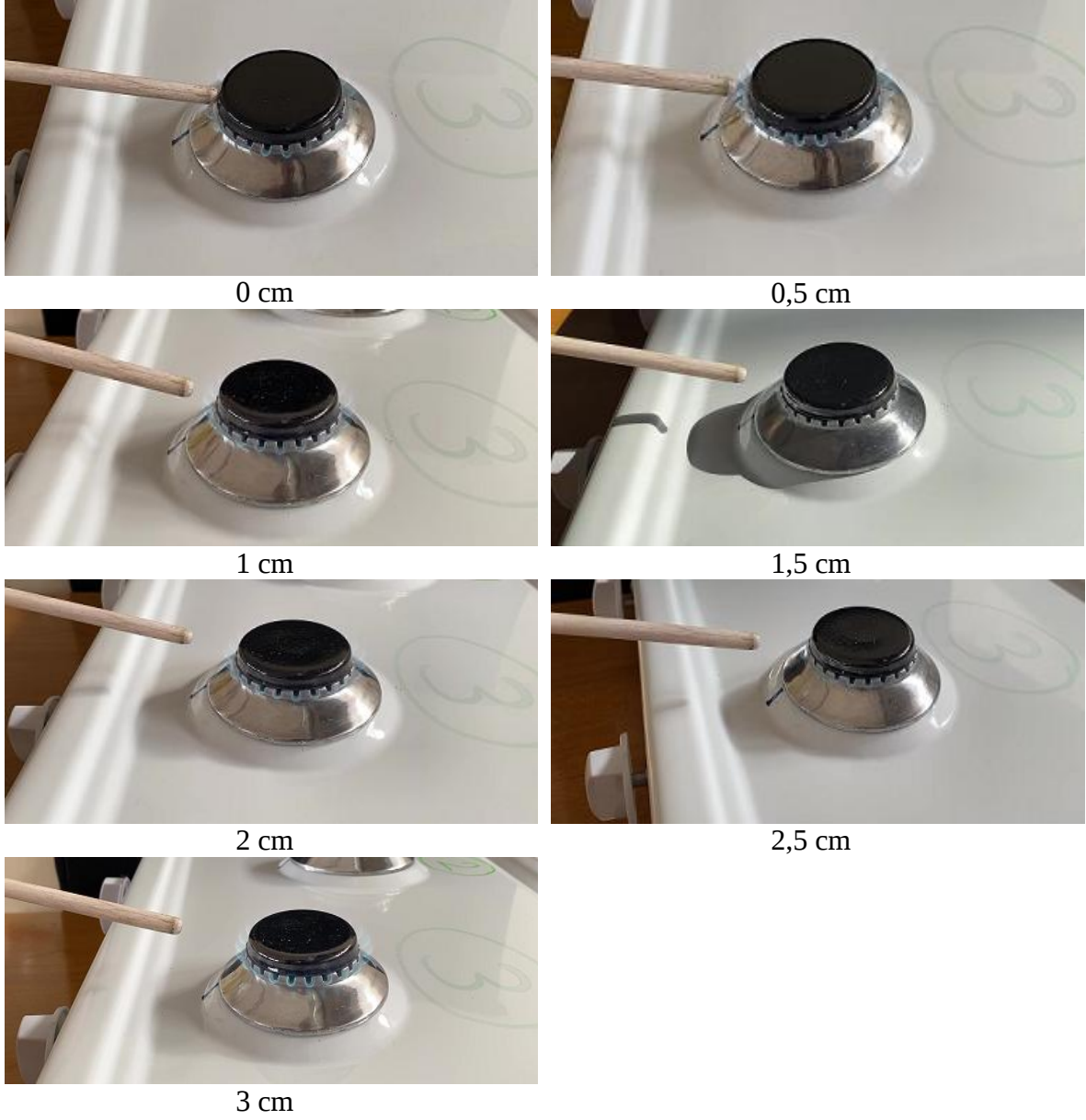
Şekil 3.14. Ocak 3'te minimum debide dikey yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Ocak 3 için minimum debideki alev sıcaklıkları ölçümlerinde, yatay yönde $\sim 364^{\circ}\text{C}$ olarak maksimum sıcaklık değeri referans noktasında görülmüştür ve bu sıcaklık değeri 0 ile 1,5 cm aralığında hızla azalmıştır. Dikey yöndeki sıcaklık ölçümlerinde sıfır noktasındaki değer $\sim 190^{\circ}\text{C}$ ölçülmüştür. Aynı yöndeki ölçümlerde maksimum sıcaklık değeri, yatay yöndeki ölçümün aksine referans noktasında değil 0,5 cm'de 374°C olarak görülmüştür. Bu doğrultuda 1,5 cm ile 3 cm aralığındaki sıcaklık değerleri yatay doğrultudaki sıcaklık değerlerinden bir miktar yüksektir.

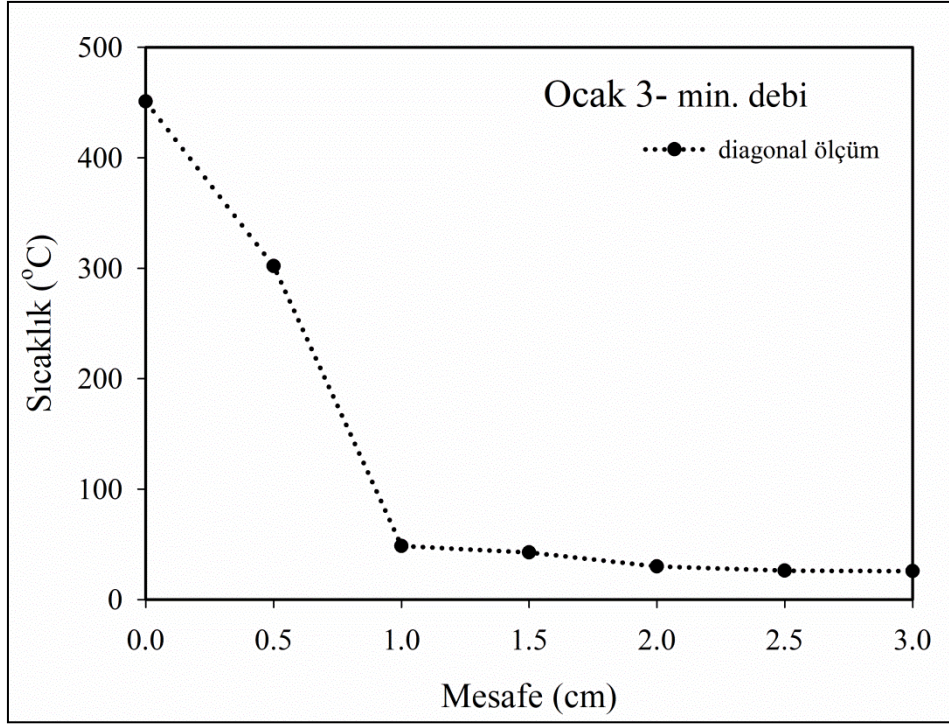
Diagonal ölçüm

Minimum debide yapılan ölçümler

Minimum debide Ocak 3'te alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.21'de verilmiştir.



Resim 3.21. Ocak 3'te minimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.15. Ocak 3'te minimum debide diyagonal yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Bu ocak için minimum debideki en yüksek sıcaklık Şekil 3.15'ten bakıldığında diyagonal doğrultuda olup $\sim 451^{\circ}\text{C}$ olarak referans noktasından ölçülmüştür. Yine diyagonal yöndeki sıcaklık değişimleri yatay doğrultudaki sıcaklıklar ile paralellik göstermektedir. Her iki yönün, 1 ile 3 cm aralığındaki sıcaklık değerleri de hemen hemen aynıdır.

Yatay ölçüm

Maksimum debide yapılan ölçümler

Maksimum debide Ocak 3'te alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.22'de verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



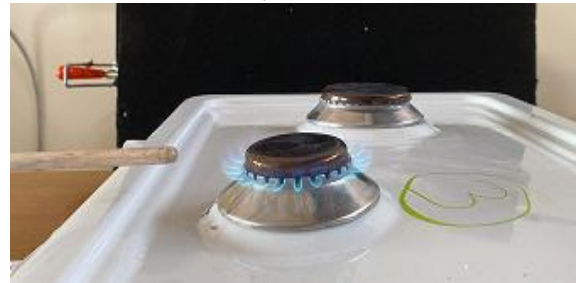
1 cm



1,5 cm



2 cm

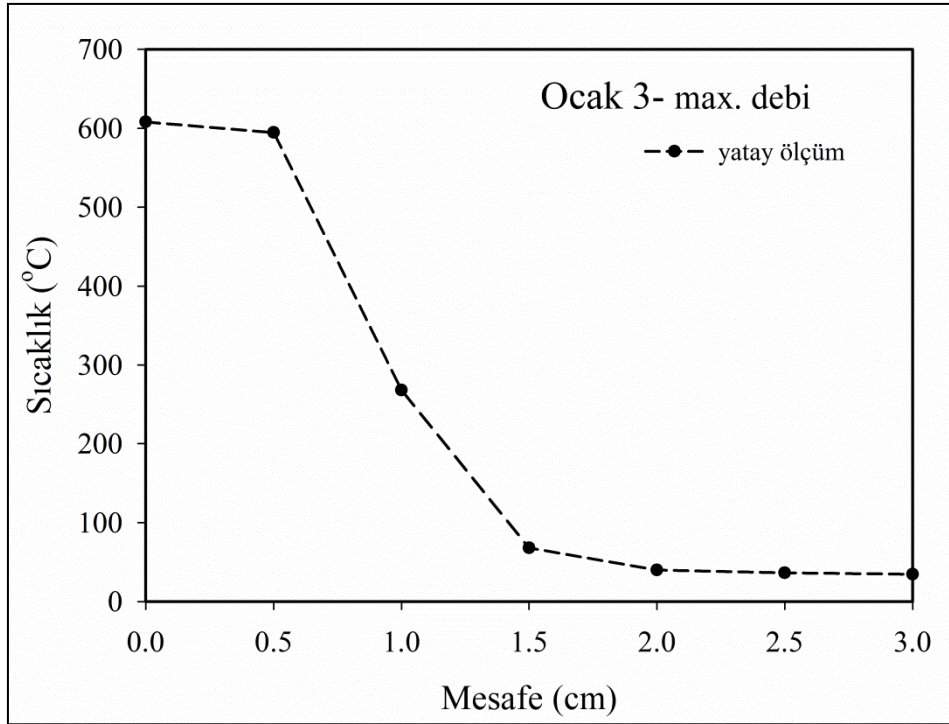


2,5 cm



3 cm

Resim 3.22. Ocak 3'te maksimum debide yatay yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.16. Ocak 3'te maksimum debide yatay yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Dikey ölçüm

Maksimum debide yapılan ölçümler

Maksimum debide Ocak 3'te alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.23'te verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

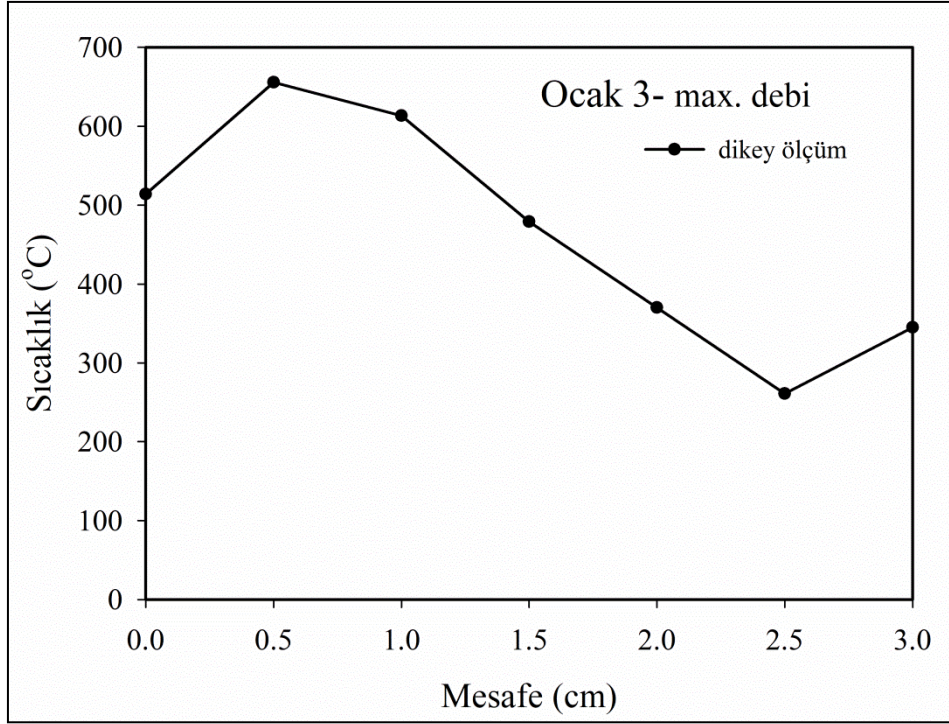


2,5 cm



3 cm

Resim 3.23. Ocak 3'te maksimum debide dikey yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.17. Ocak 3'te maksimum debide dikey yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Şekil 3.17'den görüldüğü üzere, Ocak 3 için maksimum debide alev sıcaklığının en yüksek olduğu değer 1 cm de $\sim 656^{\circ}\text{C}$ 'dir. Şekil 3.16'da verilen sonuçlara göre, yatay ölçümde ise en yüksek sıcaklık referans noktasında 608°C olup 0 ile 0,5 cm aralığında hafif bir azalma eğilimi göstererek $\sim 595^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmüştür. Yatay ölçümdeki sıcaklıklar bu noktadan sonra 1,5 cm'ye kadar olan mesafe içinde ani düşüş göstermiştir ve 1 cm noktasında 268°C , 1,5 cm noktasında ise $\sim 68^{\circ}\text{C}$ ölçülmüştür.

Diyagonal ölçüm

Maksimum debide yapılan ölçümler

Maksimum debide Ocak 3'te alevin ve termokuplın resimleri mesafelere göre gruplandırılarak Resim 3.24'te verilmiştir.



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

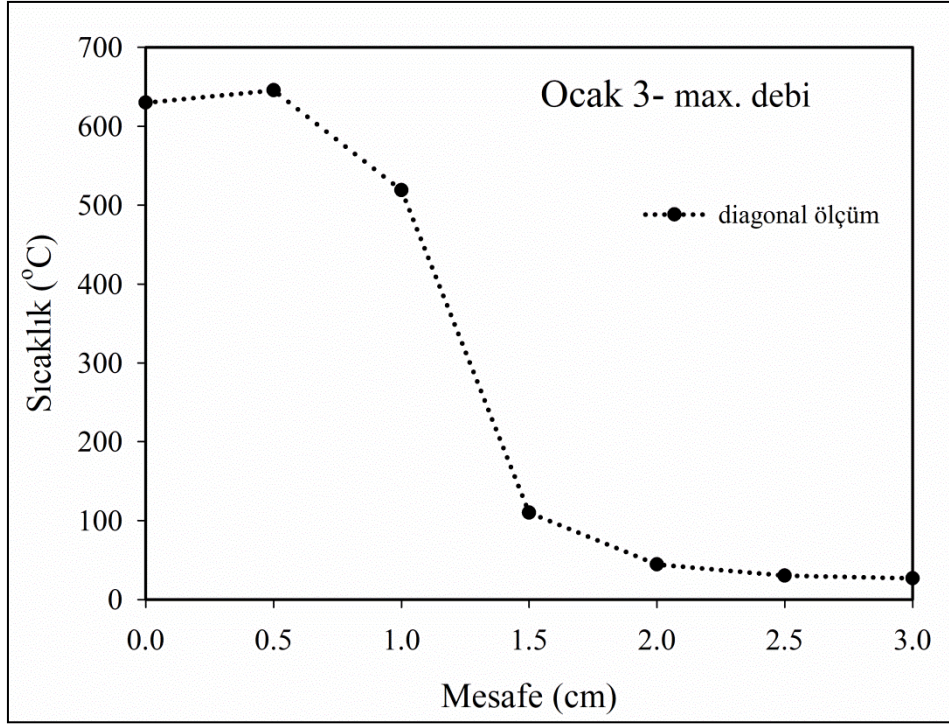


2,5 cm



3 cm

Resim 3.24. Ocak 3'te maksimum debide diyagonal yönde alev sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.18. Ocak 3'te maksimum debide diyagonal yönde ölçüm sıcaklık değerleri

Maksimum debideki en yüksek sıcaklık Şekil 3.18'den görüldüğü üzere, 0,5 cm mesafede ~646 °C ölçülmüştür. Yine bu debide referans noktasında yatay ve diyagonal doğrultudaki sıcaklıkların yakın olduğu görülmüştür. (Yatay yönde sıcaklık değeri 608 °C, diyagonal yönde sıcaklık değeri 630 °C)

3.2. Hız Ölçümleri

Soğuk akış gaz hızının yanma karakteristiğine önemli etkisi olduğu literatürdeki (Lee vd. 2008; G. Shen vd. 2018) çalışmalardan görülmüştür. Bu sebeple her ocak için diyagonal yönde referans noktasına göre soğuk akış gaz hızı ölçümleri havalandırma açık ve kapalı durumlar için maksimum ve minimum debilerinde ölçülmüştür. Aslında Dong, Cheung ve Leung (2001) ile Li vd. (2006)'nin yaptıkları çalışmalarda LPG aynı karışım özelliklerine sahip olmasına rağmen çalışmamız ocak tipi, şekli, akış özellikleri ve gaz basıncı bakımından farklılıklar göstermektedir.

3.2.1. Ocak 1 soğuk akış gaz hızı ölçümleri



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

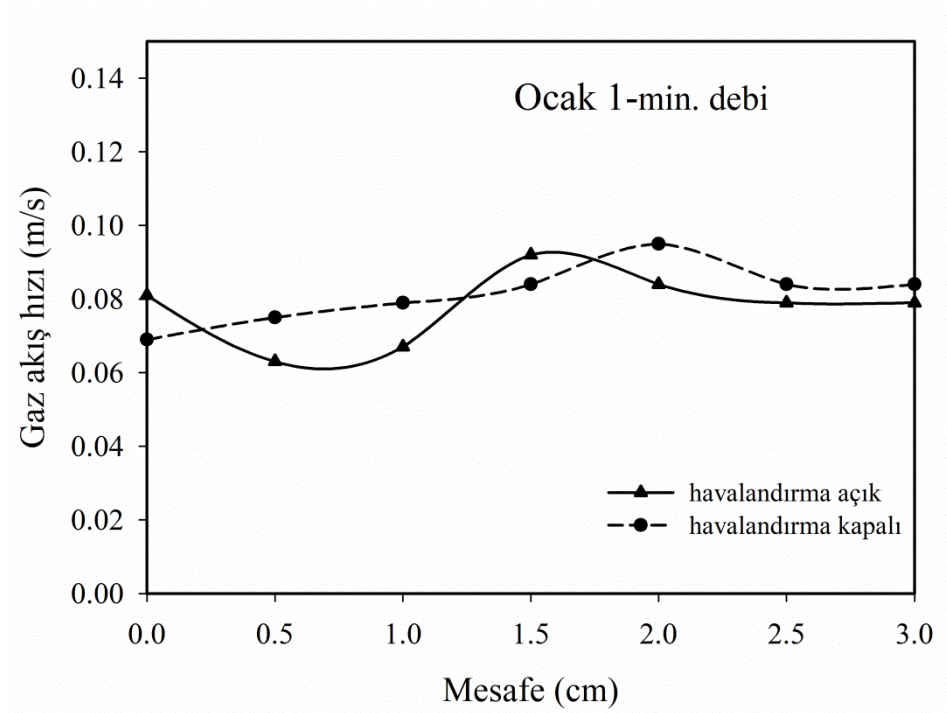


2,5 cm

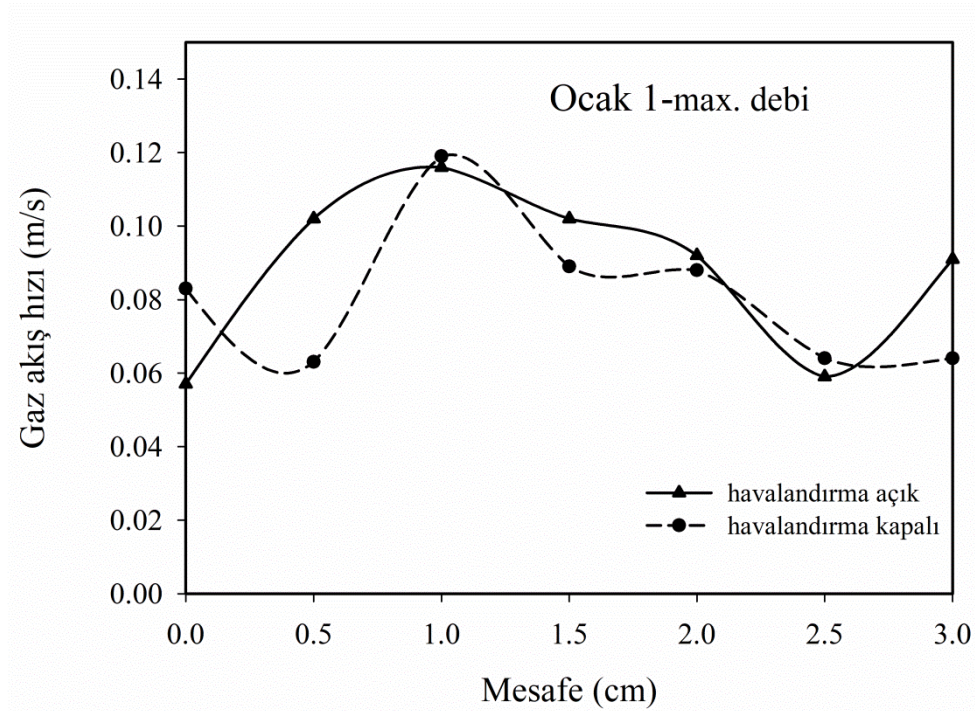


3 cm

Resim 3.25. Ocak 1’de soğuk akış gaz hızı ölçümleri



Şekil 3.19 Ocak 1’de minimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri



Şekil 3.20. Ocak 1’de maksimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri

Ocak 1 için Şekil 3.19’a bakıldığında minimum debide maksimum hız değerleri havalandırma açık durumunda 1,5 cm’de; havalandırma kapalı iken ise 2 cm de

görülmüştür. Şekil 3.20'ye bakıldığında ise maksimum debide havalandırma açık ve kapalı durumlarında en yüksek değer 1 cm'de elde edilmiştir.

3.2.2. Ocak 2 soğuk akış gaz hızı ölçümleri



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

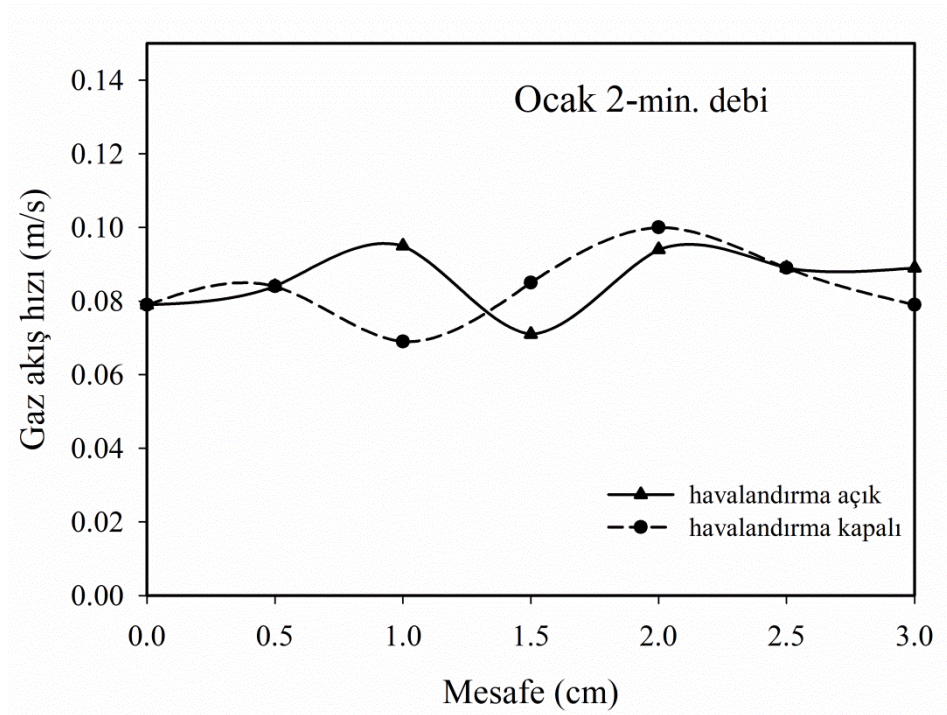


2,5 cm

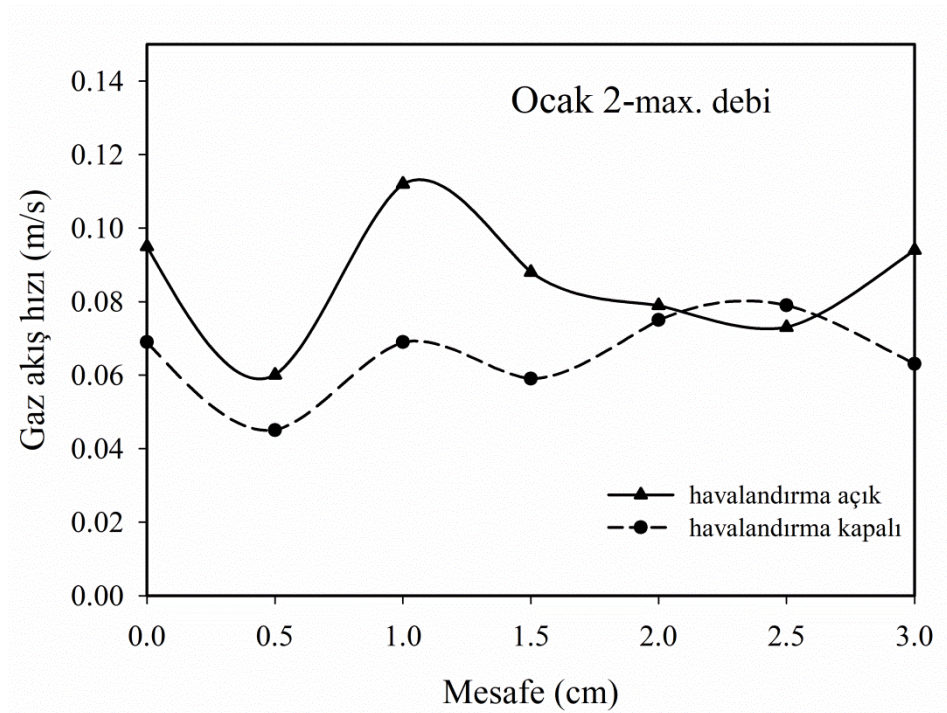


3 cm

Resim 3.26. Ocak 2'de soğuk akış gaz hızı ölçümleri



Şekil 3.21. Ocak 2’de minimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri



Şekil 3.22. Ocak 2’de maksimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri

Şekil 3.21’e bakıldığında, minimum debide üç ayrı ölçüm noktasında (0 cm, 0,5 cm ve 2,5 cm) havalandırmanın durumundan bağımsız olarak aynı değerler elde edilmiştir. (0 cm’de

$\sim 0,08$ m/s; 0,5 cm’de $\sim 0,084$; 2,5 cm’de $\sim 0,09$ m/s). Şekil 3.22’ye bakıldığında ise 0 ile 1,5 cm aralığındaki hız değişimleri dalgalı davranışlar göstermektedir.

3.2.3. Ocak 3 soğuk akış gaz hızı ölçümleri



0 cm



0,5 cm



1 cm



1,5 cm



2 cm

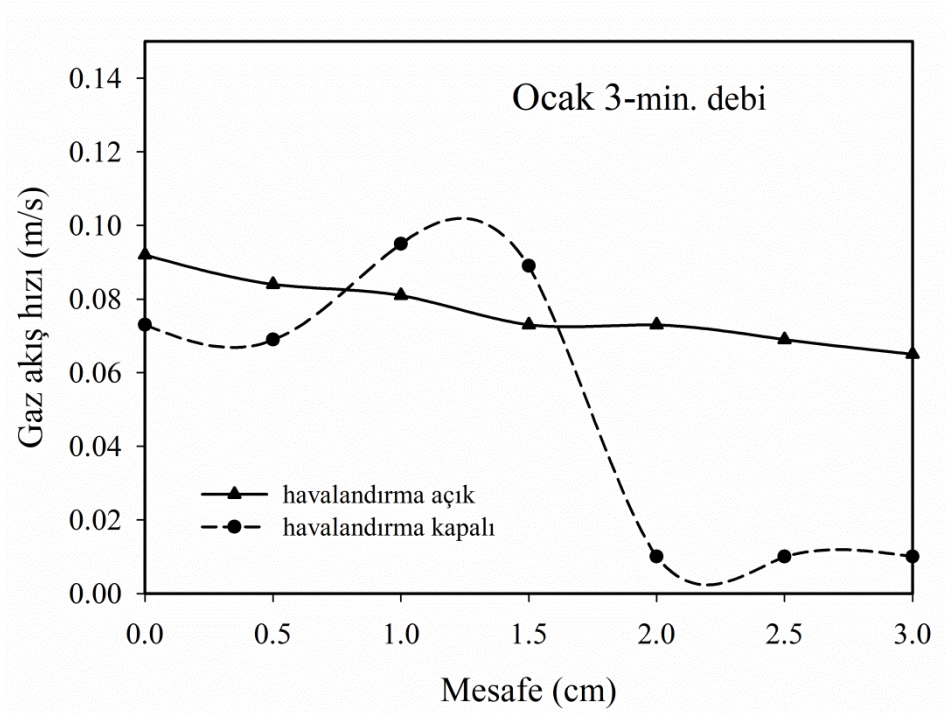


2,5 cm

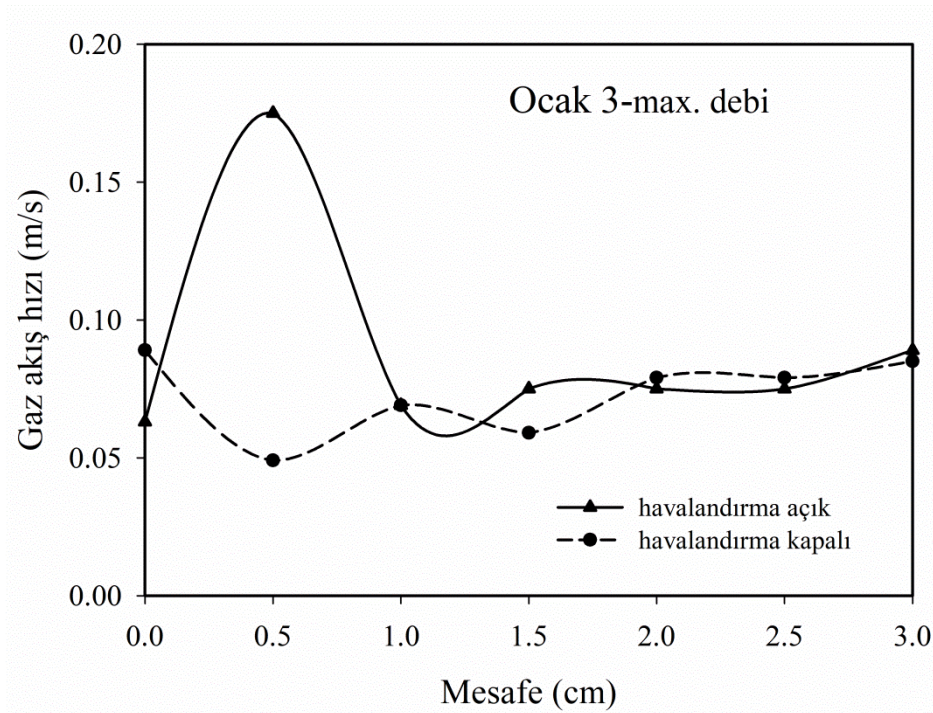


3 cm

Resim 3.27. Ocak 3’te soğuk akış gaz hızı ölçümleri



Şekil 3.23. Ocak 3'te minimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri



Şekil 3.24. Ocak 3'te maksimum debide soğuk akış gaz hızı ölçüm değerleri

Şekil 3.23'te görüldüğü üzere; havalandırmanın açık iken hız değişimi stabildir. Aynı şekilde görüldüğü üzere havalandırmanın kapalı olması durumunda, maksimum hız değeri 1 cm ile 1,5 cm aralığında elde edilmiştir. Aynı havalandırma durumu için 2 ile 2,5 cm

aralığında sıfır değerine çok yaklaşmaktadır. Şekil 3.24'e baktığımızda ise maksimum hız değeri havalandırma açık iken 0,5 cm konumunda $\sim 0,18$ m/s olarak elde edilmiştir.

3.2.4. Ocakların gaz çıkış yerlerinden yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri

Ocakların gaz çıkış yerlerinden yapılan ölçümlerin resimleri aşağıda gösterilmiş olup her bir ocakta minimum ve maksimum debilerde havalandırmanın açık ve kapalı olma durumuna göre anemometre kullanılarak soğuk akış gaz hızı 1,5 dakika süre sonunda ölçülmüştür.

Ocak 1'de gaz çıkış yerinden yapılan ölçüm

Ocak 1'de, anemometre kullanılarak minimum debide yapılan ölçümler neticesinde havalandırmanın açık olduğu durumda oda sıcaklığı $13,7^{\circ}\text{C}$, soğuk akış gaz hızı ise $0,924$ m/s olarak ölçülmüştür. Aynı debide, havalandırmanın kapalı olduğu durumda yapılan ölçümler neticesinde ise oda sıcaklığı $13,9^{\circ}\text{C}$, soğuk akış gaz hızı ise $1,015$ m/s olarak ölçülmüştür.

Maksimum debide yapılan ölçümlerde; havalandırmanın açık olduğu durumda oda sıcaklığı $13,7^{\circ}\text{C}$, soğuk akış gaz hızı ise $2,834$ m/s olarak ölçülmüştür. Havalandırmanın kapalı olduğu durumda ise oda sıcaklığı 14°C , soğuk akış gaz hızı ise $2,915$ m/s olarak ölçülmüştür.

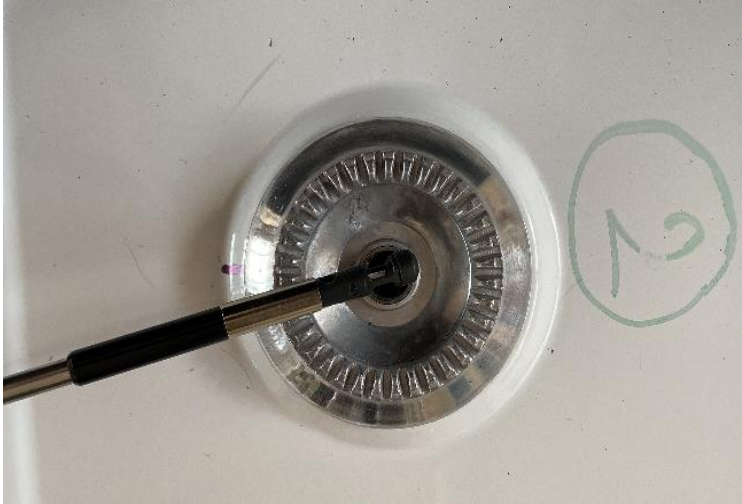


Resim 3.28. Ocak 1'de gaz çıkış yerinden yapılan ölçüm

Ocak 2’de gaz çıkış yerinden yapılan ölçüm

Ocak 2’de ise minimum debide yapılan ölçümler neticesinde havalandırmanın açık olduğu durumda oda sıcaklığı 14,7 °C, soğuk akış gaz hızı ise 1,22 m/s olarak ölçülmüştür. Minimum debide, havalandırmanın kapalı olduğu durumda yapılan ölçümler neticesinde ise oda sıcaklığı 14,4 °C, soğuk akış gaz hızı ise 1,18 m/s olarak ölçülmüştür.

Maksimum debide yapılan ölçümlerde; havalandırmanın açık olduğu durumda oda sıcaklığı 15,3°C, soğuk akış gaz hızı ise 2,04 m/s olarak ölçülmüştür. Havalandırmanın kapalı olduğu durumda ise oda sıcaklığı 15°C, soğuk akış gaz hızı ise 2,25 m/s olarak ölçülmüştür.



Resim 3.29. 2 numaralı ocakta gaz çıkış yerinden yapılan ölçüm

Ocak 3’te gaz çıkış yerinden yapılan ölçüm

3 numaralı ocakta ise minimum debide yapılan ölçümler neticesinde havalandırmanın açık olduğu durumda oda sıcaklığı 12,8 °C, soğuk akış gaz hızı ise 0,78 m/s olarak ölçülmüştür. Minimum debide, havalandırmanın kapalı olduğu durumda yapılan ölçümler neticesinde ise oda sıcaklığı 12,5 °C, soğuk akış gaz hızı ise 1,105 m/s olarak ölçülmüştür.

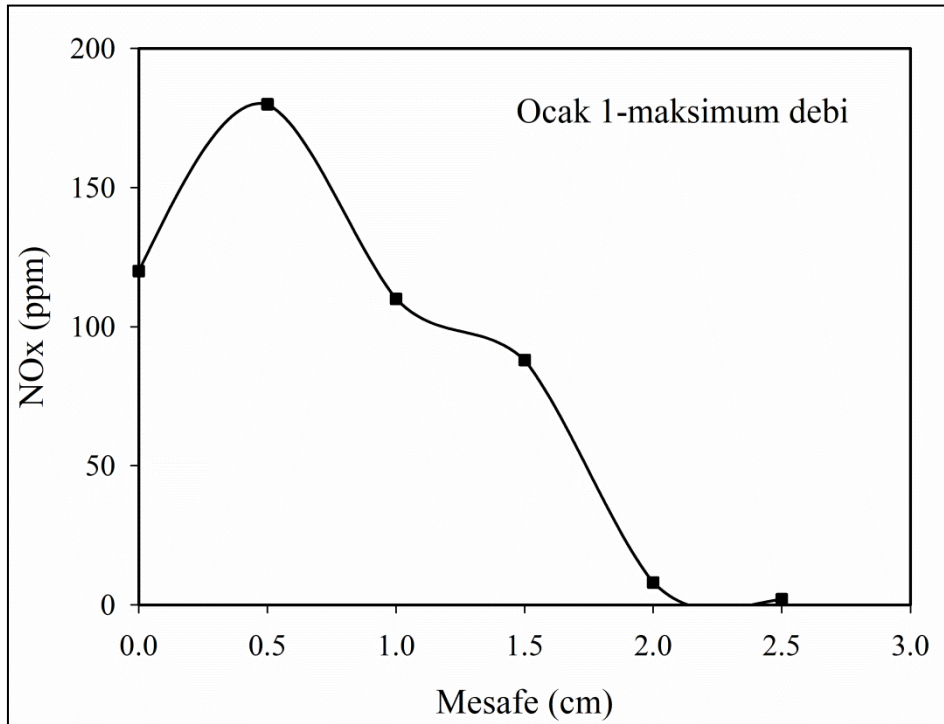
Maksimum debide yapılan ölçümlerde; havalandırmanın açık olduğu durumda oda sıcaklığı 13,2°C, soğuk akış gaz hızı ise 1,7 m/s olarak ölçülmüştür. Havalandırmanın kapalı olduğu durumda ise oda sıcaklığı 12,7°C, soğuk akış gaz hızı ise 2,42 m/s olarak ölçülmüştür.



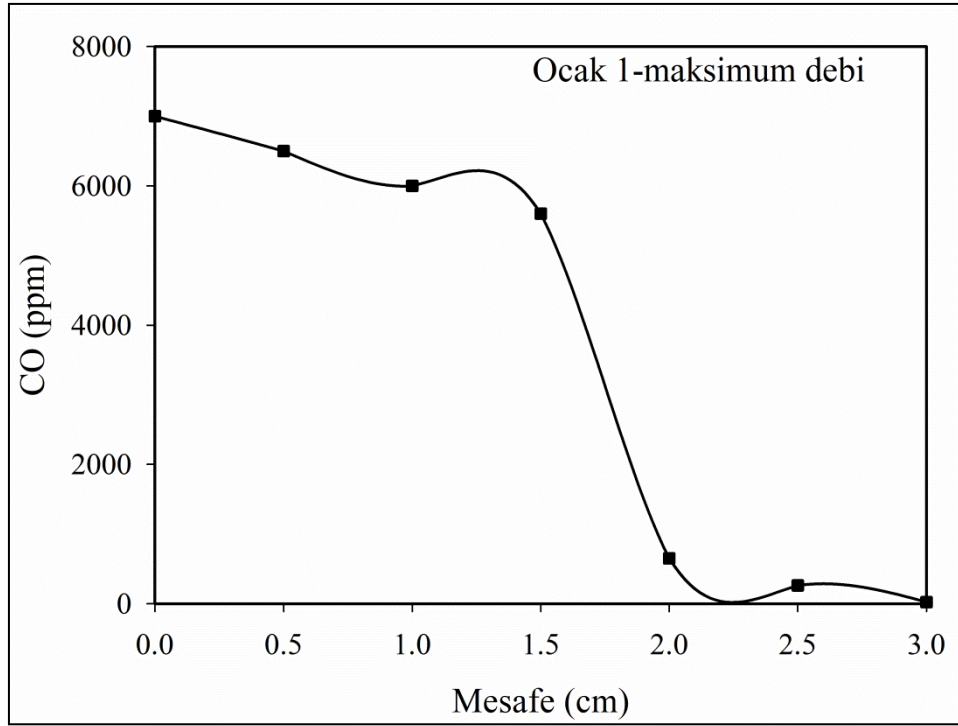
Resim 3.30. Ocak 3’te gaz çıkış yerinden yapılan ölçüm

3.3. Yayınım Ölçümleri

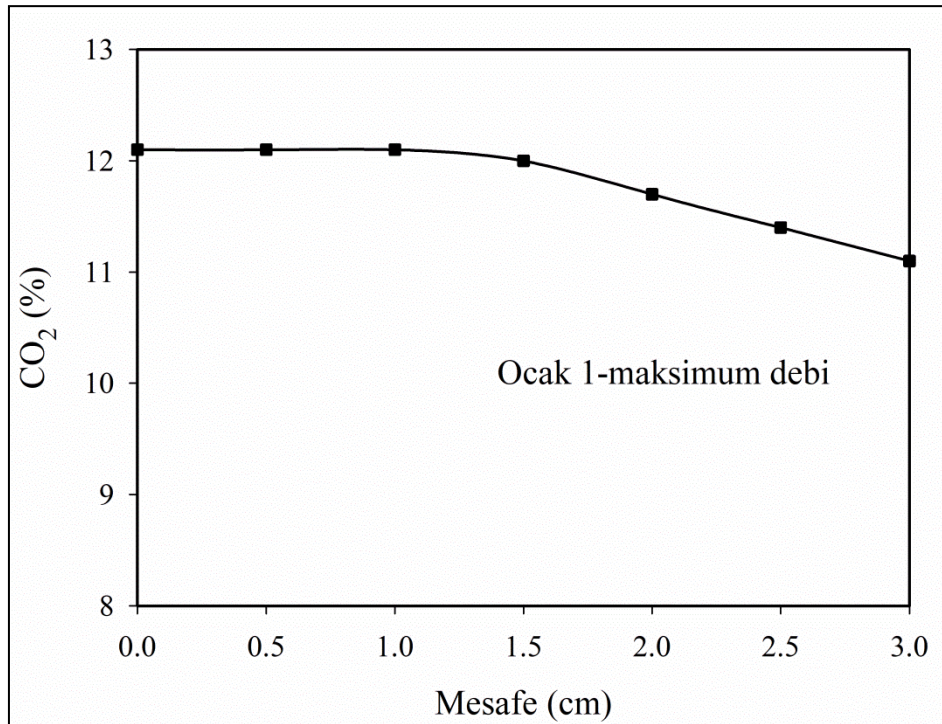
Ocak 1’de maksimum debide gaz yayılım ölçümleri yapılmıştır. Aşağıda ölçülen değerler grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Ocak 1’de maksimum debide NO_x ölçüm değerleri



Şekil 3.26. Ocak 1’de maksimum debide CO ölçüm değerleri



Şekil 3.27. Ocak 1’de maksimum debide CO₂ ölçüm değerleri

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE YORUMLAR

Ev tipi bir ocakta, LPG yakıtının normal yanma şartlarında alev karakteristikleri incelenmiştir. Üç farklı büyüklükteki ocaklar için yatay, dikey ve diyagonal yönlerde alev sıcaklıkları ölçülmüştür. Üç ocağın diyagonal yönde soğuk akış gaz hızları da ölçülmüştür. Deneysel ölçümler birkaç kez tekrarlanarak teyit edilmiştir. Büyük ocakta (1 numaralı ocak) diyagonal yönde NO_x , CO (ppm) ve CO_2 (%) ölçümü yapılmıştır. Elde edilen önemli sonuçlarımız aşağıda verilmektedir.

Maksimum debilerde her üç ocakta dikey yöndeki sıcaklıklar, yatay ve diyagonal yöndeki sıcaklıklardan belirgin farklılıklar göstermiştir. Bu debide; dikey doğrultuda maksimum sıcaklıklar Ocak 1’de $\sim 705^\circ\text{C}$, Ocak 2’de $\sim 619^\circ\text{C}$, Ocak 3’te $\sim 656^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Bu akış debisinde 1,5 cm’den sonraki ölçümlerde yatay ve diyagonal yöndeki sıcaklıkların hemen hemen yakın değerler aldığı görülmüştür. Dikey yönde maksimum debideki sıcaklık ölçümlerinde, 1,5 cm’den sonraki mesafelerde sıcaklıkların yavaş azaldığı tespit edilmiştir.

Minimum debide, her üç ocak için diyagonal yönde referans noktasında maksimum sıcaklıklar elde edilmiştir. Bu debide; 0-1 cm aralığında yatay ve diyagonal yönlerdeki sıcaklıklarda keskin bir değişim gözlemlenmiş ancak 1-3 cm aralığı itibarıyla bu değişimlerin durağan olduğu görülmüştür. Minimum debide Ocak 1’de maksimum sıcaklık diyagonal yönde $\sim 373^\circ\text{C}$, Ocak 2’de 276°C ve Ocak 3’te 451°C olarak ölçülmüştür. Dikey yöndeki sıcaklık ölçümleri için maksimum sıcaklık değerleri, aynı debi için diğer doğrultularda ölçülen değerlerin aksine hepsi referans noktasında değil, 0 ile 1 cm aralığında ölçülmüştür. Ocak 1’de dikey yöndeki maksimum sıcaklık 1 cm’de yaklaşık $\sim 250^\circ\text{C}$, Ocak 2’de $\sim 160^\circ\text{C}$ ve Ocak 3’te 0,5 cm’de $\sim 390^\circ\text{C}$ olarak tespit edilmiştir.

Gaz akış hızı ölçümleri; soğuk akış durumunda anemometre kullanılarak havalandırma açık ve kapalı şartlar için değerlendirilmiştir. Ocak 1 ve Ocak 2’nin minimum debideki havalandırma açık ve kapalı olduğu durumlardaki değişim aralığı birbirine paralellik göstermekte ve değerler $\sim 0,06$ ile $\sim 0,09$ m/s aralığında olmaktadır. Ocak 3’ün minimum debideki havalandırma açık durumunda değişimi durağan olup, değer aralığı $\sim 0,08$ ile $\sim 0,09$ m/s’dir. Aynı ocağın aynı debi şartlarında havalandırmanın kapalı durumunda değişimi ise belirgin farklılık göstermektedir. Bu kapsamda, 0 ile 1,5 cm aralığındaki gaz

hızı değişimi $\sim 0,08$ ile $\sim 0,1$ aralığında değişim gösterirken 2 cm'den sonraki mesafelerde yapılan ölçümlerde değer sıfıra yaklaşmaktadır. Ocak 1'de maksimum akışta havalandırma açık ve kapalı olması durumunda gaz akış hızı, ölçüm noktası 1 cm'de en yüksek değer olan 0,12 m/s'ye ulaşmıştır. Ocak 2'de aynı noktada havalandırma açık iken bu değere yaklaşılmaktadır. 2 numaralı ocakta havalandırma kapalı iken hızları 0,05-0,08 m/s arasında dalgalı bir değişim göstermektedir. Ocak 3'te, maksimum akışta havalandırma açıkken gaz akış hızının 0,5 cm noktasında yaklaşık 0,18 m/s'ye ulaştığı ve tüm ocakların ölçülen değerleri arasında en yüksek değer olduğu görülmüştür. Bu ocakta minimum akışta havalandırma kapalı iken gaz akış hızının referans noktasından 2 cm uzaklıktan itibaren azaldığı ve 0,01 m/s değerine kadar düştüğü gözlenmiştir.

Gaz yayılım ölçümleri, NOVApplus cihazı ile Ocak 1'de maksimum debide diyagonal yönde yapılmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlara göre, CO₂ salınımı referans noktası ile 1,5 cm aralığında 12% değerinde olup 1,5 cm ile 3 cm aralığındaki ölçümlerde azalarak 11%'e yaklaştığı görülmüştür. CO yayılımında maksimum değer referans noktasında olduğu ve 7000 ppm'e ulaştığı, 0-1 cm aralığında ise lineer olarak azaldığı 6000 ppm'e indiği, 1,5 cm'den sonraki ölçümlerde ani bir düşüş gerçekleştiği ve sıfıra ulaştığı görülmüştür. NO_x ölçümlerinde maksimum değere 0,5 cm mesafede ulaşılmış olup 180 ppm değeri okunmuştur. 0,5 cm'den sonra NO_x değerinde azalma eğilimini görülmüş olup 2 cm'den sonra CO grafiği ile benzerlik göstermiş olup sıfır değerine yaklaşmıştır.

KAYNAKLAR

- Anggarania,R., Wibowo, C.S., Rulianto, D. (2014). Application of dimethyl ether as LPG substitution for household stove. *Energy Procedia*, 47, 227 – 234.
- Arya, P.K., Tupkari, S., Satish, K., Thakre, G.D., Shukla, B.M. (2016). DME blended LPG as a cooking fuel option for Indian household: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1591–1601.
- Boggavarapu, P., Ray, B., Ravikrishna, R.V. (2014). Thermal Efficiency of LPG and PNG-fired burners: Experimental and numerical studies. *Fuel*, 116, 709–715.
- Budya, H., Arofat, M. (2011). Providing cleaner energy access in Indonesia through the megaproject of kerosene conversion to LPG. *Energy Policy*, 39, 7575–7586.
- Carr, N.L., Kobayashi, R., and Burrows, D.B, (1954). Viscosity of hydrocarbon gases under pressure, *Journal of Petrol Technology*, 6 (10), 47-55. SPE-297-G.
- Chander, S., Ray, A. (2005). Flame impingement heat transfer: a review. *Energy Conversion Management*, 46 (18–19), 2803–2837.
- Chen, Z., Zhang, Y., Qin, C., Duan, P. (2019). Combustion performance of domestic gas cookers with swirling strip-port and normal round-port on various natural gas compositions. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100366.
- Dhakar, R., Tripathi, A., Raj, J. (2016). Use of LPG in internal combustion engines – a state of art review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 3 (8).
- Dong, L.L., Cheung, C.S., Leung, C.W. (2001). Heat transfer characteristics of an impinging butane/air flame jet of low Reynolds number. *Experimental Heat Transfer*, 14 (4), 265–282.
- Fakinle, B.S., Oke, O.D., Odunlami, O.A., Sonibare, J.A., Akeredolu, F. A., Oni, O.S. (2019). Emission characterization and performance of conventional liquefied petroleum gas cookstove burners. *Cogent Engineering*, 6, 1652228.
- Gattei, L., (2008). *A study on the fluid dynamics of domestic gas burners*, Doktora Tezi, University of Bologna, Bologna, Italy, 9-10.
- Goldemberg, J., Martinez-Gomez, J., Sagar, A., Smith, K.R. (2018). Household air pollution, health, and climate change: cleaning the air, *Environmental Research Letters*, 13 (3), 030201.
- Gould, C.F., Urpelainen, J. (2018). LPG as a clean cooking fuel: adoption, use, and impact in rural India. *Energy Policy*, 122, 395–408.
- İnternet: Anemometre URL: <https://akyol.net/anemometre-ruzgar-olcerler/dt-8880-teleskobik-problu-kizgin-tel-hava-hizi-ve-sicaklik-olcer.html>, Son Erişim Tarihi: 14.03.2022.

İnternet: Termokupl URL: <https://www.az-instrument.com.tw/en/product-616479/Single-K-J-T-R-S-E-Thermometer-8855-AZ.html>, Son Erişim Tarihi: 14.03.2022.

İnternet: User Manual NOVApplus URL: https://www.mru.eu/fileadmin/user_upload/files/bedienungsanleitungen-en/62851EN_USER_MANUAL_NOVAplus.pdf, Son Erişim Tarihi: 14.03.2022.

Jones, H.R.N., (1990). The applications of combustion principles to domestic gas burner design. Taylor & Francis Books Ltd.

Jugjai, S., Rungsimuntuchart, N. (2002). High efficiency heat-recirculating domestic gas burners. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 26, 581–592.

Kang, Y.H., Wang, Q.H., Lu, X.F., Ji, X.Y., Miao, S.S., Wang, H., Guo, Q., He, H.H., Xu J. (2015). Experimental and theoretical study on the flow, mixing, and combustion characteristics of dimethyl ether, methane, and LPG jet diffusion flames. *Fuel Processing Technology*, 129, 98-112.

Kuntikana, P., Prabhu, S.V. (2016). Air jet impingement technique for thermal characterisation of premixed methane-air impinging flame jets. *Applied Thermal Engineering*, 99, 905–918.

Kuntikana, P., Prabhu, S.V. (2017). Thermal investigations on methane-air premixed flame jets of multi-port burners. *Energy*, 123, 218–228.

Lee, C.E., Hwang, C.H., Lee, H.Y. (2008). A study on the interchangeability of LFG–LPG mixed fuels with LFG quality in domestic combustion appliances. *Fuel*, 87, 297-303.

Li, H.B., Wong, T.T., Leung, C.W., Probert, S.D. (2006). Thermal performances and CO emissions of gas-fired cooker-top burners. *Applied Energy*, 83, 1326-1338.

Liu, F.J., Hsieh, W.H. (2004). Experimental investigation of combustion in porous heating burners. *Combustion Flame*, 138, 295–303.

Makmool, U., Jugjai, S., Tia, S. (2013). Structures and performances of laminar impinging multiple premixed LPG–air flames. *Fuel*, 112, 254–262.

Makmool, U., Jugjai, S., Tia, S., Vallikul, P., Fungtammasan, B. (2007)., Performance and analysis by particle image velocimetry (PIV) of cooker-top burners in Thailand, *Energy*, 32 (10), 1986–1995.

Mamidi, T., Suryawnshi, J.G. (2012). Investigations on S.I. Engine Using Liquefied Petroleum Gas (LPG) As an Alternative Fuel. *International Journal of Engineering Research*, 2 (1), 362–367.

McAllister, S., Chen, J.-Y., Fernandez-Pello, A.C. (2011). Fundamentals of combustion process, Springer, 10–17.

- Mishra, N.K., Muthukumar, P. (2018). Development and testing of energy efficient and environment friendly porous radiant burner operating on liquefied petroleum gas. *Applied Thermal Engineering*, 129, 482–489.
- Muthukumar, P., Anand, P., Sachdeva, P. (2011). Performance analysis of porous radiant burners used in LPG cooking stove. *International Journal Energy Environment*, 2, 367–374.
- Muthukumar, P., Shyamkumar, P.I. (2013). Development of novel porous radiant burners for LPG cooking applications, *Fuel*, 112, 562–566.
- Özdemir, İ.B., Kantaş, M. (2016). Investigation of partially-premixed combustion in a household cooker-top burner. *Fuel Processing Technology*, 151, 107–116.
- Pantangi, VK., Development and performance analysis of porous radiant burners for cooking applications. Ph.D Thesis. Department of Mechanical Engineering, IIT Guwahati; Hindistan 2010.
- Patel, V., Shah, R. (2019). Analysis of LPG diffusion flame in tube burner. *Universiti Malaysia Pahang, Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 13 (3) 5278–5293.
- Punnarapong, P., Sucharitakul, T., Tippayawong, N. (2017). Performance evaluation of premixed burner fueled with biomass derived producer gas. *Case Studies Thermal Engineering*, 9, 40–46.
- Shen, G., Hays, M.D., Smith, K.R., Williams, C., Faircloth, J.W., Jetter, J.J. (2018). Evaluating the Performance of Household Liquefied Petroleum Gas Cookstoves. *Environmental Science and Technology*, 52, 904–915.
- Sutar, K.B., Kumar, M., Patel, M. K., Kumar, A., Mokashi, S.R. (2020). Experimental investigation on pot design and efficiency of LPG utilization for some domestic cooking processes. *Energy for Sustainable Development*, 56, 67–72.
- Suyabodha, A. (2017). Comparison the rate of energy consumption between gasoline95 and LPG in spark ignition engine under real driving conditions. *Energy Procedia*, 118, 164–171.
- Wae-hayee, M., Yeranee, K., Sukswan, W., Nuntadusit, C. (2021). Effect of burner-to-plate distance on heat transfer rate in a domestic stove using LPG. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101418.
- Winterbone, D.E., Turan, A. (2015). Advanced thermodynamics for engineers. *Combustion and flames*, Elsevier, 323–344.
- Zhen, H.S., Leung, C.W., Wong, T.T., (2014). Improvement of domestic cooking flames by utilizing swirling flows. *Fuel*, 119, 153–156.

EKLER

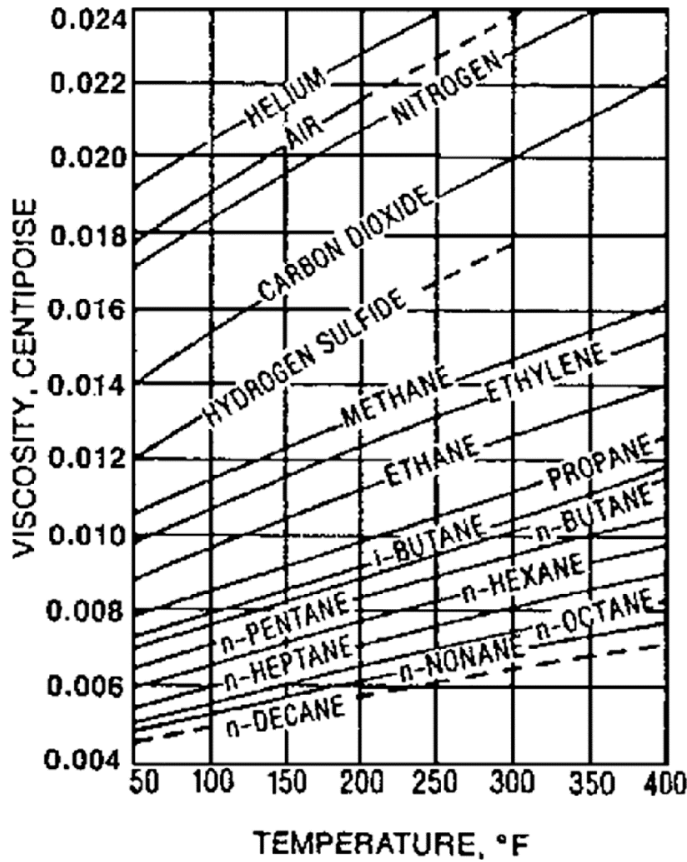
EK-1. Akış rejimi için Reynolds sayısı hesabı

1. Kay's Rule viskosite hesabı:

1 atm basınç altındaki gas karışımının vizkositesi Denklem (1) ile tanımlanan Kay Rule formülü ile hesaplanabilir.

$$\mu_{gas} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \mu_i \sqrt{M_{gi}}}{\sum_{i=1}^N y_i \sqrt{M_i}} \quad (1)$$

Burada μ_{gas} gas karışımının dinamik viskositesi, y_i gas karışımındaki i .ci gas bileşeninin mole oranı, μ_i i .ci gas bileşeninin viskositesi, M_{gi} i .ci gas bileşeninin moleküler ağırlığı ve N gas karışımındaki bileşen sayısıdır. Bütan ve propan gazlarının sıcaklığa göre viskosite değerleri aşağıdaki grafikte gösterilmektedir (Carr vd., 1954). Şekilde 400 F deki (yaklaşık 204, 4 C) bütan ve propan viskoziteleri sırasıyla 0,0115 ve 0,0135 cP olarak okunmuştur. Gazların mol ağırlıkları bütan için 58,12 ve propan için 44.097 alınmıştır.



Şekil 1.1. Bütan ve Propan gazlarının sıcaklık ve viskozite değerleri (Carr vd, 1954)

EK-1.(devam) Akış rejimi için Reynolds sayısı hesabı

200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar için Kay Rule formülüne göre LPG gazının viskozitesi $\mu_{\text{gas}}=0,012 \text{ cP} \sim 0,012 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Gaz akış hızı 2,95 m/s olan gaz çıkış noktası için Reynolds sayısı hesaplandığında $Re=2458,33$ bulunmuştur. Dairesel borulardaki akış $Re=2300$ 'den küçük olduğunda laminar olması nedeniyle, Ocak 1'in maksimum gaz akışındaki akış rejimi türbülanslı olarak tespit edilmiştir. Aynı ocak minimum gaz akış debisine göre değerlendirildiğinde Reynolds sayısı $Re=845,83$ olarak hesaplanır ve laminar rejimde olduğu görülür.

2. Sutherland Formülüne göre viskozite hesabı:

Bir gazın sıcaklığa bağlı olarak viskozitesi Eşitlik (2)'de verilen Sutherland formülü ile hesaplanabilir.

$$\mu = \mu_o \frac{T_o + C}{T + C} \left(\frac{T}{T_o} \right)^{3/2} \quad (2)$$

Buraca C gazın Sutherland sabiti (K), T_o referans sıcaklık (K), μ_o referans sıcaklıktaki gazın viskozitesi olup, μ gazın T sıcaklığındaki viskozitesidir.

LPG gazının %70 i bütan olduğu için, bu gazın verileri kullanılarak Sutherland formülü ile hesaplama yapılmıştır. Bu duruma göre dikey doğrultudaki gaz sıcaklıkları ile yapılan hesaplamada Reynolds sayısının 2300'den küçük olması sebebiyle laminar akış olduğu görülmüştür.

EK-2. Ölçüm sonuçları

1. Sıcaklık ölçümleri:

- Ocak 1’de yapılan sıcaklık ölçümleri:

Çizelge 2.2. Ocak 1’de minimum debide yapılan sıcaklık ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Yatay yönde sıcaklık değerleri (°C)	Dikey yönde sıcaklık değerleri (°C)	Diyagonal yönde sıcaklık değerleri (°C)
0	241	97	372,5
0,5	172,2	177	223,3
1	45,6	255	57,4
1,5	38	77	44,7
2	36,1	55,4	40,6
2,5	33,8	50	31,7
3	32,1	49,7	32,7

Çizelge 2.3. Ocak 1’de maksimum debide yapılan sıcaklık ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Yatay yönde sıcaklık değerleri (°C)	Dikey yönde sıcaklık değerleri (°C)	Diyagonal yönde sıcaklık değerleri (°C)
0	393	454	642,6
0,5	322,8	655	627,8
1	261,3	704,8	429,5
1,5	69,5	599,8	78,6
2	47,8	476	51,3
2,5	44,4	270	46,4
3	42,4	200,7	44,6

- Ocak 2’de yapılan sıcaklık ölçümleri:

Çizelge 2.4. Ocak 2’de minimum debide yapılan sıcaklık ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Yatay yönde sıcaklık değerleri (°C)	Dikey yönde sıcaklık değerleri (°C)	Diyagonal yönde sıcaklık değerleri (°C)
0	225,5	168	276
0,5	155,3	157,3	200
1	41,5	118,2	43
1,5	32,4	75,5	31,3
2	31,4	68	29,5
2,5	30,2	51,1	26,6
3	32,6	51,2	27,1

EK-2. (devam) Ölçüm sonuçları

Çizelge 2.5. Ocak 2’de maksimum debide yapılan sıcaklık ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Yatay yönde sıcaklık değerleri (°C)	Dikey yönde sıcaklık değerleri (°C)	Diyagonal yönde sıcaklık değerleri (°C)
0	451,2	378,1	480
0,5	287,3	615,5	526
1	58,3	618,8	230
1,5	42,3	576	44,5
2	39,3	478,5	37,2
2,5	41,7	375,5	34,6
3	40,5	231,5	33,4

- Ocak 3’te yapılan sıcaklık ölçümleri:

Çizelge 2.6. Ocak 3’te minimum debide yapılan sıcaklık ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Yatay yönde sıcaklık değerleri (°C)	Dikey yönde sıcaklık değerleri (°C)	Diyagonal yönde sıcaklık değerleri (°C)
0	363,6	189,8	450,9
0,5	213,3	374	302
1	49,5	248	48,3
1,5	42,7	110	42,5
2	34,4	72,2	29,8
2,5	30,9	63,1	26,1
3	30,4	86,1	25,6

Çizelge 2.7. Ocak 3’te maksimum debide yapılan sıcaklık ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Yatay yönde sıcaklık değerleri (°C)	Dikey yönde sıcaklık değerleri (°C)	Diyagonal yönde sıcaklık değerleri (°C)
0	608	513,9	630
0,5	594,5	655,6	645,6
1	268	613,3	519
1,5	67,8	479	110
2	39,8	370,1	44,4
2,5	36,3	261	30,2
3	34,4	345	26,7

EK-2.(devam) Ölçüm sonuçları

2. Hız ölçümleri:

- Ocak 1’de yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri:

Çizelge 2.8. Minimum debide yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma açık durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma açık durumu)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma kapalı durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma Kapalı Durumu)
0	0,081	12,7	0,069	15,5
0,5	0,063	12,6	0,075	14,9
1	0,067	13,8	0,079	14,8
1,5	0,092	13	0,084	14,9
2	0,084	14,2	0,095	15,1
2,5	0,079	13,9	0,084	15,3
3	0,079	14,2	0,084	15,3

Çizelge 2.9. Maksimum debide yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma açık durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma açık durumu)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma kapalı durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma kapalı durumu)
0	0,057	12,6	0,083	16
0,5	0,102	12,7	0,063	15
1	0,116	13,1	0,119	14,8
1,5	0,102	12,5	0,089	14,7
2	0,092	13,1	0,088	14,9
2,5	0,059	14	0,064	15,2
3	0,091	14,4	0,064	15,2

EK-2.(devam) Ölçüm sonuçları

- Ocak 2’de yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri:

Çizelge 2.10. Minimum debide yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma açık durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma açık durumu)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma kapalı durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma kapalı durumu)
0	0,079	14,6	0,079	14,9
0,5	0,084	13,8	0,084	14
1	0,095	13,8	0,069	14
1,5	0,071	13,3	0,085	13
2	0,094	14,2	0,1	14
2,5	0,089	13,8	0,089	13
3	0,089	13	0,079	12,3

Çizelge 2.11. Maksimum debide yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma açık durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma açık durumu)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma kapalı durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma kapalı durumu)
0	0,095	14,9	0,069	14,8
0,5	0,06	14,1	0,045	13,6
1	0,112	14	0,069	13,7
1,5	0,088	13	0,059	12,8
2	0,079	14,6	0,075	13,8
2,5	0,073	13,6	0,079	13,5
3	0,094	13,3	0,063	11,5

EK-2.(devam) Ölçüm sonuçları

- Ocak 3'te yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri:

Çizelge 2.12. Minimum debide yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma açık durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma açık durumu)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma kapalı durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma kapalı durumu)
0	0,092	13,4	0,073	13,3
0,5	0,084	13,3	0,069	13,6
1	0,081	13,4	0,095	14
1,5	0,073	13,2	0,089	15
2	0,073	12,6	0,01	15,1
2,5	0,069	12,9	0,01	15,3
3	0,065	13	0,01	15,5

Çizelge 2.13. Maksimum debide yapılan soğuk akış gaz hızı ölçümleri değerleri

Mesafe (cm)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma açık durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma açık durumu)	Hız değerleri (m/s) (Havalandırma kapalı durumu)	Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C) (Havalandırma kapalı durumu)
0	13,9	0,063	0,089	14,4
0,5	13,6	0,175	0,049	12,9
1	14,4	0,069	0,069	14,3
1,5	14,4	0,075	0,059	14,2
2	13,7	0,075	0,079	14,7
2,5	13,4	0,075	0,079	13,7
3	14	0,089	0,085	14,2

- Her bir ocak için akışın çıktığı merkezden yapılan ölçümler:

Çizelge 2.14. Ocakların merkezden yapılan ölçümlerine ilişkin soğuk akış gaz hızı değerleri

Ocak	Debi (l/dak)	Hız (m/s)		Ölçüm esnasında oda sıcaklığı (°C)	
		Havalandırma açık durumu	Havalandırma kapalı durumu	Havalandırma açık durumu	Havalandırma kapalı durumu
Ocak 1	Minimum	0,924	1,015	13,7	13,9
	Maksimum	2,834	2,915	13,7	14
Ocak 2	Minimum	1,22	1,18	14,7	14,4
	Maksimum	2,04	2,25	15,3	15
Ocak 3	Minimum	0,78	1,105	12,8	12,5
	Maksimum	1,7	2,42	13,2	13,7

EK-2.(devam) Ölçüm sonuçları

3. Yayınım ölçümleri:

Çizelge 2.15. Ocak 1’de maksimum debide diyagonal yönde elde edilen yayınım ölçümlerinin değerleri

Mesafe (cm)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)
0	12,1	7000	120
0,5	12,1	6500	180
1	12,1	6000	110
1,5	12	5600	88
2	11,7	650	8
2,5	11,4	260	2
3	11,1	22	0



GAZİ GELECEKTİR..