

Ön Karışimsız ve Ön Karışımli Metan Alevlerinin Baca Yanma Parametrelerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Mustafa İLBAŞ*, Serhat KARYEYEN*, Kazım ÇİLİNGİR**

* Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

** Miçsan İnş. İml. Mon. San. ve Tic. Ltd. Şti.

(Geliş / Received : 14.01.2016 ; Kabul / Accepted : 15.02.2016)

ÖZ

Bu çalışmada, ön-karışimsız ve ön-karışımli metan alevlerinin yanma ürünleri sıcaklık ve emisyon değerleri, farklı ısı güçleri ve farklı hava fazlalıkları için deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma, 5 kW, 10 kW, 15 kW ve 20 kW'lık ısı güçlerinde ve $\lambda=1,2$, $\lambda=1,5$ ve $\lambda=1,7$ hava fazlalık katsayıları için gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlara göre, ön-karışımli metan alevinin yanma ürünleri sıcaklık ve CO emisyonları bakımından daha iyi durumda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ısı güç arttırıldıkça, yanma ürünlerinin sıcaklık ve NO_x emisyonlarının arttığı, buna karşın, hava fazlalık katsayısı artması neticesinde, yanma ürünlerinin sıcaklıkları ve NO_x değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metan, Emisyon, Yanma, Baca Gazı

Experimental Investigation of Flue Gas Combustion Parameters of Non-Premixed and Premixed Methane Flames

ABSTRACT

Flue gas temperature and emission values of non-premixed and premixed methane flames has been experimentally investigated under different thermal powers and excess air ratios in the present study. This study has been conducted for thermal powers of 5 kW, 10 kW, 15 kW and 20 kW and excess air ratios of $\lambda=1,2$, $\lambda=1,5$ and $\lambda=1,7$. The results show that the premixed methane flame is better than non-premixed methane flame in terms of flue gas temperature and CO emissions. It is concluded that flue gas temperatures and NO_x emissions increase as thermal powers are increased. It is also exhibited that flue gas temperatures and NO_x values decrease as excess air ratios are increased.

Keywords: Methane, Emission, Combustion, Flue Gas

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya'da enerjiye olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Günümüzde bu ihtiyacın % 80'inden fazlası hala fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtlar, mineral yakıtlar olarak da bilinir. Hidrokarbon ve yüksek oranlarda karbon içeren kömür, petrol ve doğal gaz gibi doğal enerji kaynaklarıdır ve bu kaynaklar, ölen canlı organizmaların oksijensiz ortamda milyonlarca yıl boyunca, çözülmesi ile oluşmaktadır. Bu kaynaklar içerisinde doğalgaz ayrı bir yerde bulunmaktadır. Doğalgaz, gaz yakıt olarak bir çok uygulamada rahatlıkla kullanılabilir ve zararlı emisyon oranı en düşük fosil yakıt olarak tarif edilmektedir. Çıkarıldığı yere göre değişmekle birlikte, içerisinde çok yüksek oranda metan gazı bulundurmaktadır. Bu açıdan değerlendirilecek olursa, doğalgazın yanma sonucu emisyonlarını incelemek için metan yakıtını

kullanmakta hiç bir sakınca bulunmamaktadır.

Doğalgazın evsel ve endüstriyel uygulamalarda çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle, elektrik üretimi, ısıtma sistemleri vb., doğalgazın yakılması neticesinde açığa çıkan enerji genellikle bir iş akışkanına verilmekte ve bu akışkan sayesinde güç üretimi veya ısıtma gerçekleştirilmektedir. Doğalgazın veya metanın yakılması neticesinde, gerek yanma odası bünyesinde gerekse baca gazı analizleri anlamında literatürde bulunan bazı çalışmalar değerlendirilecek olursa; Fackler vd. [1] tarafından yapılan çalışmada, zayıf ön-karışımli CH₄, CO₂ ve N₂ karışım yakıtın yanma sonucu NO_x oluşum seviyeleri deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Bu çalışmada, CH₄, farklı seviyelerde CO₂ ve N₂ ile seyreltilmiştir. Deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde, yakıt seyreltiminin NO_x emisyonlarını azaltabildiği belirlenmiştir. Littlejohn vd. [2] düşük girdap enjektörlü bir gaz türbininde, farklı yakıt tiplerinin ön karışımli türbülanslı alevleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla deneysel

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ilbas@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.3 357-365

çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yılmaz [3] tarafından yapılan bir çalışmada, girdap sayısının doğalgaz difüzyon alevi üzerindeki etkileri sayısal olarak araştırılmıştır. Yapılan modelleme sonuçları değerlendirildiğinde, girdap sayısının alev sıcaklığını, CO₂, H₂O ve O₂ gibi yanma sonu emisyonlarını ciddi derecede etkilediği ve yanma odası boyunca meydana gelen dağılımların oldukça farklı olduğu belirlenmiştir. Feyz vd. [4] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, brülör bünyesinde bulunan türbülötörün, brülörün ucuna olan uzaklığının yanma karakteristiğine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, türbülötör uzaklığının yanma performansını oldukça fazla etkilediği gözlemlenmektedir. Türbülötörün yanma odası girişine olan uzaklığı artırıldıkça, metan alevinin yanma odası içerisindeki etkisinin azaldığı belirlenmiş olup, bu durumda, yanmanın, brülör içerisinde daha fazla gerçekleştiği ortaya konulmuştur. Khalid Saqr vd. [5] tarafından yapılan bir çalışmada serbest akım türbülansının NO_x ve is oluşumuna olan etkileri metan alevi için sayısal olarak modellenmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlara göre, havanın serbest akım türbülans sıklığının artmasının alevdeki NO seviyelerinde büyük bir düşüşe sebep olduğu ortaya konulmuştur. Yegian ve Cheng [6] tarafından yürütülen bir çalışmada, düşük NO_x uygulamaları için zayıf ön karışimli düşük-girdaplı bir yakıcı geliştirilmiştir. Wang vd. [7] tarafından yürütülen bir çalışmada ise türbülanslı yanmanın NO oluşum seviyelerine olan etkileri araştırılmıştır.

Yukarıda belirtilen çalışmalar değerlendirildiğinde ve yanma sonu emisyonlarına ilişkin kısıtlamalar göz önünde bulundurulduğunda, yanma işlemleri neticesinde ortaya çıkan yanma sonu emisyonlarının ve yanma ürün sıcaklıklarının ne durumda olduğunun bilinmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, deneysel bir sistem kullanılarak metan gazının yanma sonu yanma ürünlerinin sıcaklık ve emisyon parametreleri, farklı ısı güç ve farklı hava fazlalık katsayıları için araştırılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, farklı yanma şartları için ön-karışimli ve ön-karışimsız metan alevlerinin yanma ürünlerinin sıcaklık ve emisyon değerleri elde edilmiş ve karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Bu deneysel çalışma, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde bir proje kapsamında geliştirilmiş olarak bulunan ön-karışimli ve ön-karışimsız metan brülörleri kullanılarak, 1 m uzunluğunda ve 40 cm çapında bir yanma odasının aynı projeye ait sisteminin bacasından alınan deneysel sonuçlar kullanılarak ortaya konulmuştur [8]. Şekil 1 ve Şekil 2'de ilgili deney düzeneğinin genel bir görünümü ve kullanılan yanma odası ve baca sistemi gösterilmiştir. Şekil 1'de gösterilen yanma sisteminin sol tarafında, yüksek basınçta depolanmış metan tüpü ve sağ tarafında da kompresör bulunmaktadır. Bu tüpten ve

kompresörden elde edilen metan gazı ve hava, yakıt ve hava hatlarındaki regülötörler yardımıyla istenilen basınca (21 mbar) kadar getirilmektedir. Ayrıca, bu hatlar üzerinde bulunan debimetreler yardımıyla, istenilen yakıt ve hava debisi ayarlanmaktadır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin genel bir görünüşü (A general view of the experimental rig)



Şekil 2. Yanma odası (Combustion chamber)

Şekil 2'de ise, ön-karışimsız ve ön-karışimli metan alevlerinin elde edildiği yanma odası gösterilmiştir. Yanma odasının üst kısmında (daralan bölgesinde) bulunan ölçüm probu yardımıyla, bu çalışma kapsamında ölçülen sıcaklık ve emisyon değerleri elde edilmiştir. Bu ölçüm işlemlerinde, aynı proje kapsamında temin edilen MRU Tipi Baca Gazı Analizörü kullanılmıştır.



Şekil 3a.Ön-karışimsız (sol) ve ön-karışimli (sağ) metan brülörleri (Non-premixed (left) and premixed (right) methane burners)

Şekil 3a ve Şekil 3b’de, bu çalışmada kullanılan ön-karışimli ve ön-karışimsız metan brülörleri gösterilmiştir. Bu brülörler, 20 kW’lık ısı güce kadar metan yakıtını yakabilecek şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ön-karışimsız metan brülöründe iki tip hava çıkışı bulunmaktadır. İlk hava çıkışı (yakıt çıkışına yakın olan) dairesel olup 8 adettir ve herhangi bir türbülötör açısı bulundurmamaktadır. İkinci hava çıkışı ise (türbülötör gövdesine yakın olan), eğrisel bir çıkış olup, hava-yakıt karışımını daha iyi sağlamak için 15°’lik türbülötör açısı ile tasarlanmıştır. Bahsi geçen bu eğrisel çıkıştan 10 adet bulunmaktadır. Brülörlerin yakıt hattı ise, hava hattı ile eş merkezli olup brülörün ortasından yanma bölgesine doğru yönlendirilmekte ve yanma bölgesine girmeden önce, yakıtın yönü, aksel yönden radyal yöne doğru hareket ettirilerek daha iyi yakıt/hava karışımı ve alev kararlılığı sağlanmaktadır. Ön-karışimli metan brülöründe ise, yakıt ve hava, yanma bölgesine gelmeden önce, hat üzerinde bulunan bir karıştırıcıda karıştırılmakta ve brülörün Şekil 3a ve

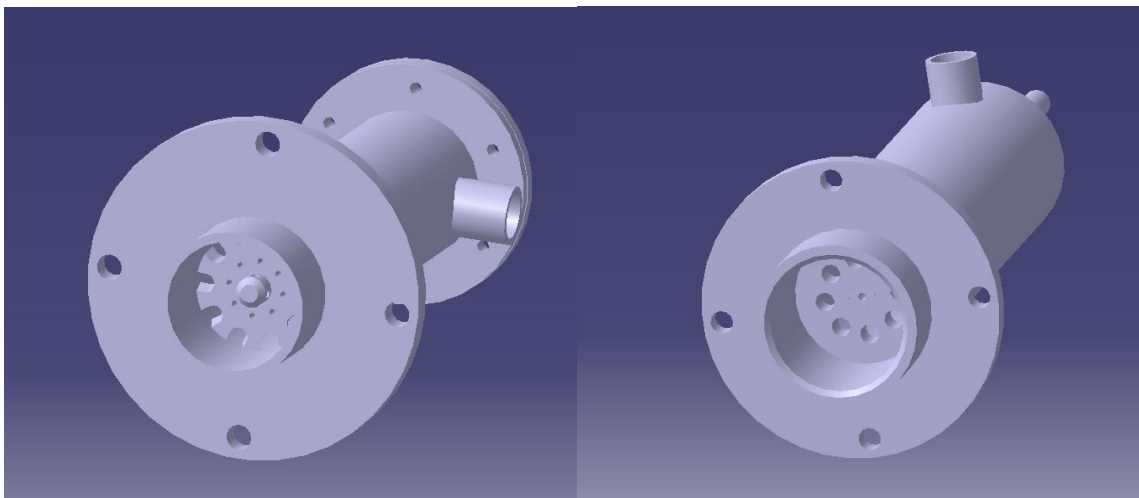
Şekil 3b’de gösterilen büyük delikli nozullardan geçerek yanma bölgesine ulaşmaktadır. Bahsi geçen deliklerden 8 adet bulunmaktadır.

Çalışmada kullanılan metan alevleri için yanma şartları; 5 kW, 10 kW, 15 kW ve 20 kW ısı güçleri için 1,2, 1,5 ve 1,7 hava fazlalıklarında, ön-karışimli ve ön-karışimsız olarak gerçekleştirilmiştir. Bahsi geçen ısı güçleri belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$\text{Isıl Güç} = \text{LHV} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{Nm}^3} \right) \times Q \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \right) \times \frac{1(\text{h})}{3600(\text{s})} \quad (1)$$

Bu eşitlikte gösterilen LHV değeri, metanın alt ısı değerini, Q değeri de, çalışılan ısı gücü için yanma odasına beslenmesi gereken yakıt miktarını göstermektedir.

Yakıt ve hava debilerini, yanma ürünlerinin sıcaklık ve emisyon değerlerini belirleyebilmek için kullanılan debimetreler ve baca gazı analizörünün özellikleri Çizelge 1’de gösterilmiştir



Şekil 3b. Ön-karışimsız (sol) ve ön-karışimli (sağ) metan brülörlerinin 3D modelleri (3D modelling of non-premixed (left) and premixed (right) methane burners)

Çizelge 1. Debimetre ve baca gazı analizörünü özellikleri (Properties of flowmeter and flue gas analyzer)

<i>Debimetre</i>	<i>Baca Gazı Analizörü</i>
<i>Şamandıralı Cam Tüplü Paslanmaz Çelik Debimetre, Hassasiyet % 1</i>	<i>MRU Tipi Baca Gazı Analizörü, O₂ (%) 0-21, Hassasiyet: ±0,2 (%) CO (ppm) 0-10000 ppm, Hassasiyet: ±10 ppm NO ve NO₂ (ppm), 0-1000 ve 0-200 ppm, Hassasiyet: ±5 ppm SO₂ (ppm) 0-2000 ppm, Hassasiyet: ±10 ppm CO₂ (%) 0-40, Hassasiyet: ±0,3 (%) Yanma Ürünlerinin Sıcaklığı (°C) 0-1100°C, Hassasiyet: ±2°C</i>

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Bu çalışmada, ön-karışimsız ve ön-karışimli metan alevlerinin yanma ürünlerinin sıcaklık ve emisyon değerleri, farklı ısı güçleri ve farklı hava fazlalıkları için deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma, 5 kW, 10 kW, 15 kW ve 20 kW'lık ısı güçlerinde ve $\lambda=1,2$, $\lambda=1,5$ ve $\lambda=1,7$ hava fazlalık katsayıları için gerçekleştirilmiş ve deneysel sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Çalışmada herhangi bir geri tepme veya alev kopması yaşanmamış olup, metan alevleri, ön-karışimsız ve ön-karışimli olarak sorunsuz bir şekilde yakılmıştır.

Çizelge 2, 10 kW ısı güç ve $\lambda=1,2$ hava fazlalığı için ön-karışimli ve ön-karışimsız metan alevlerinin yanma ürünlerinin sıcaklık ve emisyon değerlerini göstermektedir. Burada seçilen 10 kW ve $\lambda=1,2$ yanma şartları, Çizelge 2'de gösterilen ön-karışimli ve ön-karışimsız metan alevlerinin alev tipi olarak etkilerini gözlemlemek için her iki durumda da aynı olması hedeflenerek gelişigüzel seçilmiştir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi, ön-karışimli metan alevinin yanma ürünlerinin sıcaklığı 565,3°C olarak ölçülmüş olup, ön-karışimsız metan alevinin yanma ürünlerinin sıcaklığından (560,6°C) daha yüksektir. Ön-karışimli yanmada, yakıt ve hava, yanma odasına girmeden önce karıştıkları için, daha iyi bir yanma gerçekleşmektedir. Bu durum, baca gazı emisyonlarından da anlaşılmaktadır. Çizelge 2'de görüldüğü gibi, ön-karışimsız metan alevi için elde edilen CO₂ değeri % 7,0 iken ön-karışimli metan alevi için bu değer % 7,7 olarak belirlenmiştir. CO emisyonları da değerlendirilecek olursa, ön-karışimli metan alevi için yanmanın daha iyi olduğu (daha fazla C atomunun CO₂'ye dönüştüğü) ölçülen 30 ppm değeri ile anlaşılmaktadır. Aynı emisyon değeri, ön-karışimsız metan alevi için 270 ppm olarak belirlenmiştir.

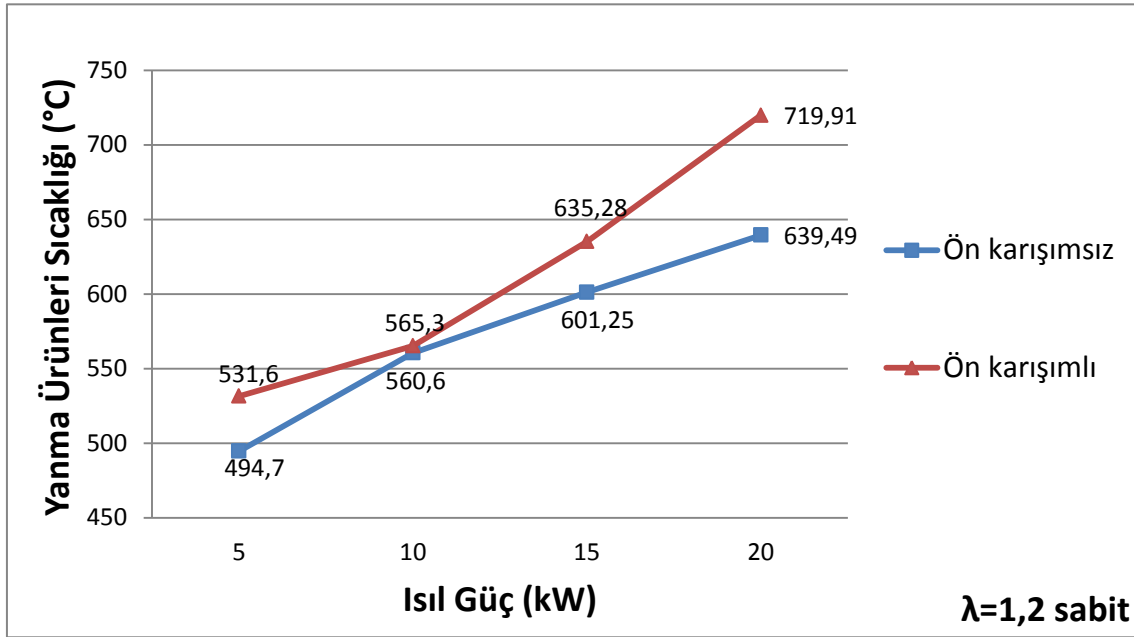
Çizelge 2: Ölçülen yanma ürünlerinin sıcaklık ve emisyon değerleri (Measured flue gas temperature and emission values)

	<i>Ön-karışimsız</i>	<i>Ön-karışimli</i>
<i>Sıcaklık (°C)</i>	560,6	565,3
<i>CO₂ (%)</i>	7,0	7,7
<i>CO (ppm)</i>	270	30
<i>NO_x (ppm)</i>	29	45

NO_x emisyonlarını doğru değerlendirebilmek için, öncelikle NO_x oluşum mekanizmalarını ortaya koymak gerekmektedir. Bilinen 3 tip NO_x oluşum mekanizması bulunmaktadır. Bunlar, yakıt (fuel) NO_x, ısı (thermal) NO_x ve ani (prompt) NO_x oluşum mekanizmalarıdır. Yakıt NO_x, yakıtta bağlı bulunan azot atomlarından kaynaklanmaktadır (HCN, NH₃ gibi). Isıl NO_x, yakma havasında serbest halde bulunan azotun yüksek sıcaklıklardaki oksidasyonu neticesinde ortaya çıkmaktadır. Ani NO_x ise, alev bölgesinde bulunan yakıtta ait çok küçük parçacıklarla serbest azotun reaksiyonu neticesinde ortaya çıkmaktadır [9]. Bu çalışmada kullanılan metan yakıtı, bağlı azot içermediğinden, oluşan NO_x seviyelerinde yakıt NO_x katkısı bulunmamaktadır. Ayrıca, sıcaklık yükseldikçe, NO_x oluşumlarında baskın mekanizmanın da ısı NO_x olduğu bilinmektedir. Bu tanımlardan hareketle, yüksek sıcaklık bölgelerinde daha yüksek NO_x miktarları beklenmekte olup, ön-karışimli metan alevi için ölçülen NO_x değeri 45 ppm olurken, ön-karışimsız metan alevi için bu değer 29 ppm olarak belirlenmiştir. Bahsi geçen tanımla bu sonuçlar da oldukça uyum içerisindedir.

3. 1. Isıl Gücün Etkisi (Effect of Thermal Power)

Ön-karışimsız ve ön-karışimli metan alevleri için, 5 kW, 10 kW, 15 kW ve 20 kW'lık farklı ısı güçlerinde $\lambda=1,2$ hava fazlalığı için yanma ürünlerinin sıcaklık değerlerinin değişim grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir.

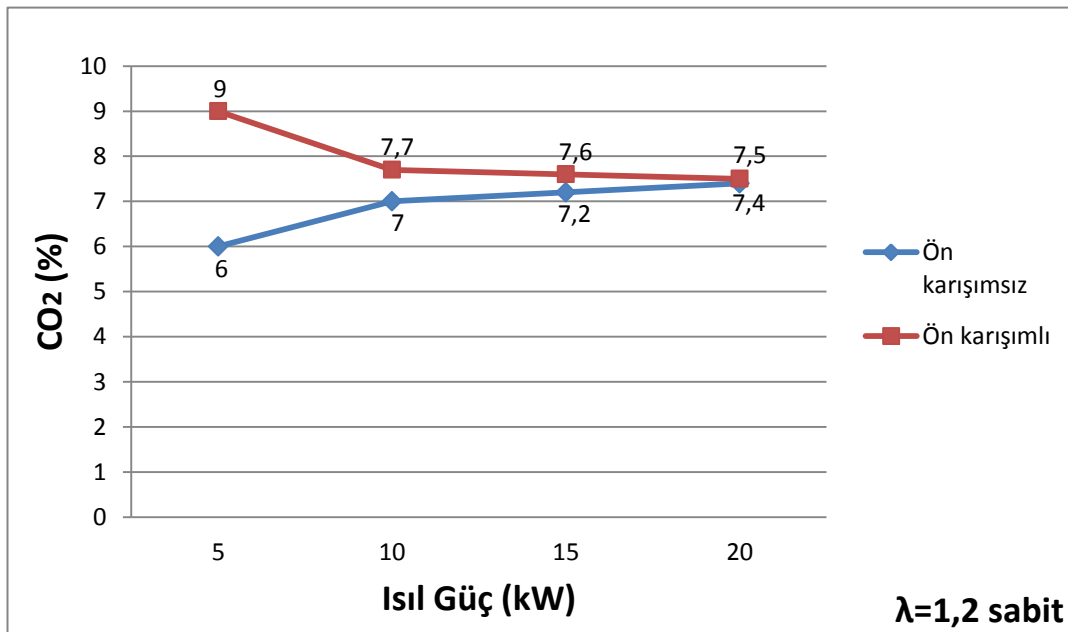


Şekil 4. Isıl gücün yanma ürünlerinin sıcaklıklarına etkisi (Effect of thermal power on flue gas temperatures)

Şekil 4'te görüldüğü üzere ön-karışimli yanma şartlarında hava ile yakıt, yanma bölgesine gelmeden önce karıştığı için yanmanın daha iyi gerçekleştiği ve yanma ürünlerinin sıcaklık değerlerinin daha yüksek olduğu, ancak aynı yanma şartlarında ön-karışimsız durum için ön- karışimli yanmaya göre nispeten daha düşük yanma ürünü sıcaklık değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Ayrıca, yanma şartlarından ısıl güç arttırıldıkça, yanma ürünlerinin sıcaklıklarının her iki alev tipi için de yükseldiği gözlemlenmiştir.

fazlalığı için baca gazı emisyon değerlerinin değişim grafikleri sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de (CO_2 , CO ve NO_x) gösterilmiştir.

Şekil 5'ten de anlaşılacağı gibi, ön-karışimli metan alevinde daha yüksek oranlarda CO_2 oluşumu gerçekleşmiştir. Ön-karışimli alev şartları için, karışımın daha iyi olması, metan bünyesinde bulunan C atomlarının daha iyi yanmasına ve daha fazla miktarda CO_2 oluşuma sebep olmuştur. Ayrıca, ısıl gücün artması



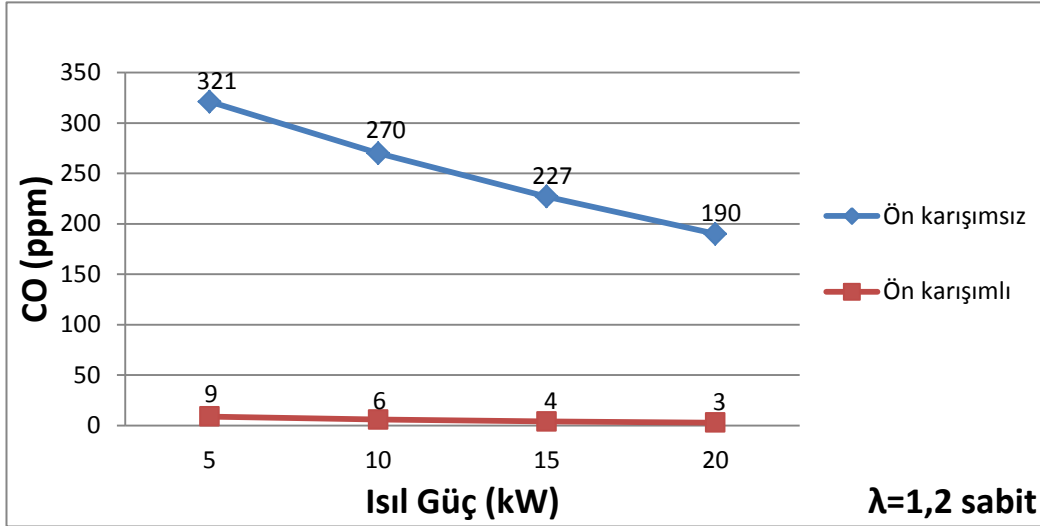
Şekil 5. Isıl gücün CO_2 emisyonlarına etkisi (Effect of thermal power on CO_2 emissions)

Ön-karışimsız ve ön-karışimli metan alevleri için, 5 kW, 10 kW, 15 kW ve 20 kW ısıl güçlerde $\lambda=1,2$ hava

ile birlikte, ön-karışimli metan alevi için CO_2 değerleri düşerken, ön-karışimsız alev şartlarında bu durumun

tam aksi yaşanmıştır. Bu sonuç, ön-karışimsız metan alevi için, ısı gücü arttırıldıkça (yani beslenen yakıt miktarı arttırıldıkça) yanmamış C atomlarının da yanabildiğini göstermekte ve anlık ve % olarak ölçülen CO₂ değerinde artışa neden olmaktadır. Bunun tam aksine, ön-karışimli metan alev şartları için, ısı gücü arttırıldıkça anlık ve % olarak ölçülen CO₂ değeri azalmaktadır. Yapılan anlık ölçüm esnasında, başka bir

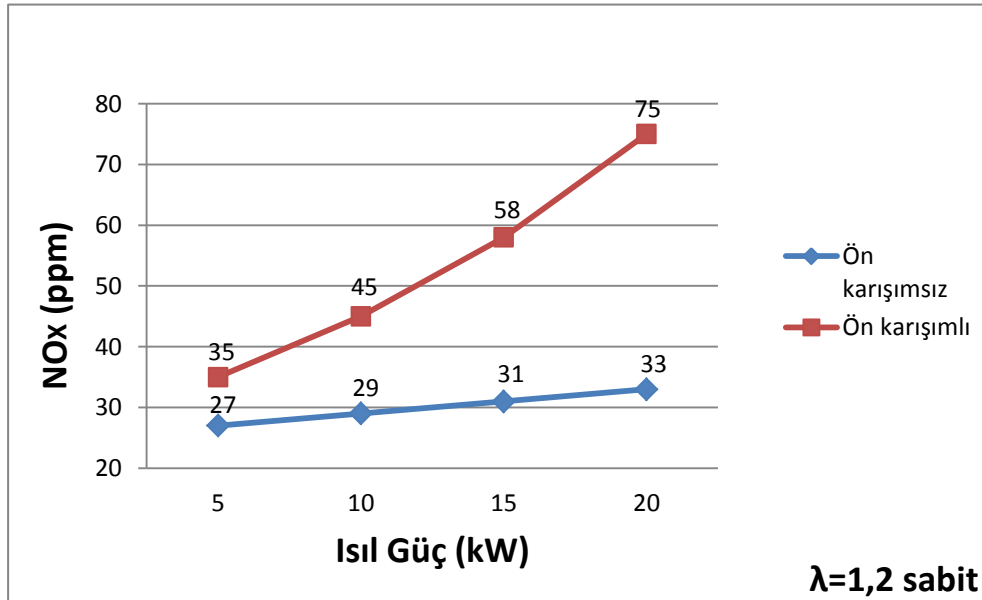
ortaya konulmuştur. Şekil 6'ya göre, ön-karışimsız metan alevi şartlarında yanma tam gerçekleşmemiş ve eksik yanma ürünü CO ortaya çıkmıştır. Ön-karışimli metan alevi için bu durum değerlendirilecek olursa, hemen hemen tam yanma sağlanmış olarak görülmektedir. Ayrıca, ısı gücü arttıktça, Şekil 5'te gösterilen CO₂ sonuçları ile uyumlu olarak CO emisyon değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Isıl gücün CO emisyonlarına etkisi (Effect of thermal power on CO emissions)

emisyonun hızla artması (örneğin, NO_x, Şekil 7 veya bu çalışmada sunulmayan bir başka emisyon) o anda ölçülen CO₂ emisyonlarında miktar olarak bir azalma

Şekil 7, ön-karışimli ve ön-karışimsız metan alevleri için bacadan ölçülen NO_x emisyonlarını göstermektedir. Bilindiği gibi, NO_x oluşumundaki en baskın mekanizma



Şekil 7. Isıl gücün NO_x emisyonlarına etkisi (Effect of thermal power on NO_x emissions)

olmasa da, tüm emisyonlar içerisinde % olarak belirtildiği için azalma şeklinde görülmektedir.

Şekil 6'da ise, farklı ısı güçleri için, ön-karışimsız ve ön-karışimli metan alevlerinin yanma sonu CO değerleri

ısı NO_x mekanizmasıdır ve NO_x oluşumları genellikle yüksek sıcaklık bölgelerinde daha fazla olmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde, Şekil 7'de gösterilen NO_x değerleri, Şekil 4'te gösterilen sıcaklık seviyelerine uygun olarak ön-karışimli metan alev şartları için daha

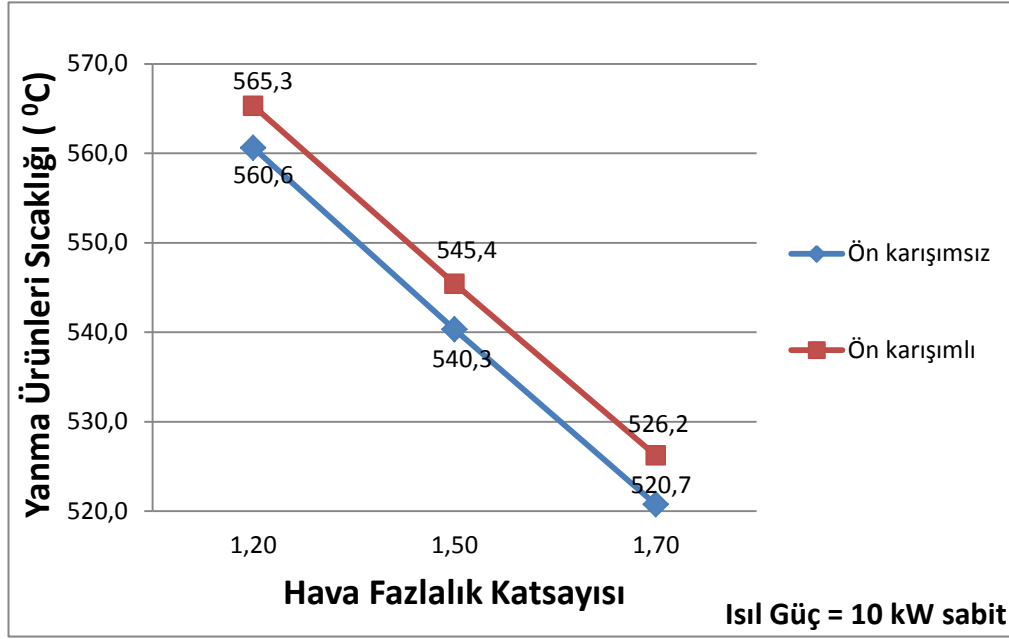
fazla oluşmuştur. Ayrıca, ısı gücü arttıkça, NO_x oluşum miktarlarının her iki alev durumu için de arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, ısı gücü arttırıldıkça sıcaklık seviyelerindeki yükselmedir.

3. 2. Hava Fazlalık Katsayısının Etkisi

Ön-karışimsız ve ön-karışimli metan alevleri için, 10 kW ısı gücüte $\lambda=1,2$, $\lambda=1,5$ ve $\lambda=1,7$ hava fazlalık

azaldığı görülmektedir. Bunun ana nedeni, yanma için gereken miktardan daha fazla gönderilen havanın, yanma sonu ürünlerinin sıcaklığı düşürmesi ve bir önceki hava fazlalık katsayısı durumu için ortaya çıkan yanma ürünlerinin sıcaklıklarından daha düşük seviyelerde yanma ürünü sıcaklıklarına neden olmasıdır.

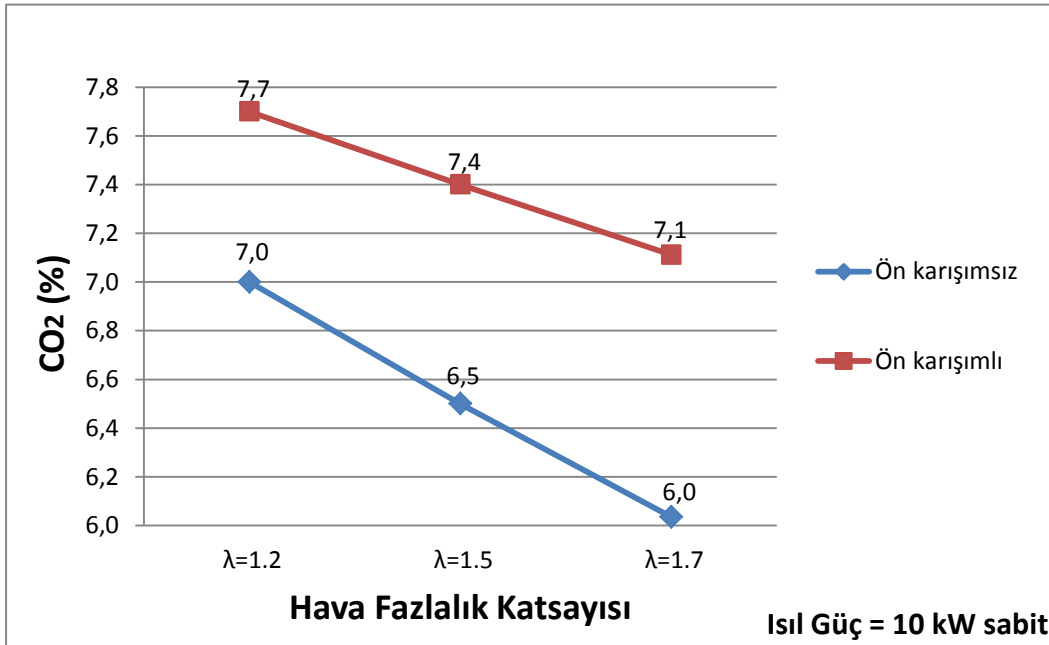
Ön-karışimsız ve ön-karışimli metan alevleri için, 10 kW ısı gücüte $\lambda=1,2$, $\lambda=1,5$ ve $\lambda=1,7$ hava fazlalık



Şekil 8. Hava fazlalık katsayısının yanma ürünlerinin sıcaklıklarına etkisi (Effect of excess air ratio on flue gas temperatures)

değerlerinde yanma ürünlerinin sıcaklık değerlerinin değişim grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'den de görüleceği gibi hava fazlalık değeri arttıkça, yanma ürünlerinin sıcaklık değerlerinin her iki durum için de

değerlerinde baca gazı emisyon değerlerinin değişim grafikleri sırasıyla Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmektedir. Şekil 9'da görüldüğü gibi, hava fazlalık katsayısı arttırıldıkça, baca gazı CO_2

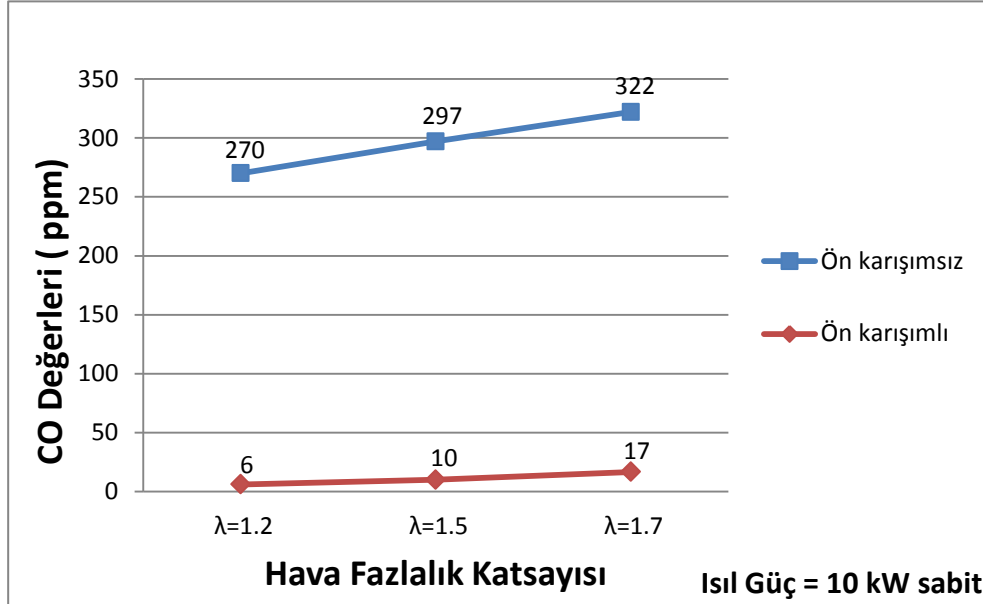


Şekil 9. Hava fazlalık katsayısının CO_2 emisyonlarına etkisi (Effect of excess air ratio on CO_2 emissions)

emisyonda kademeli olarak düşüş gözlemlenmektedir. Bunun nedeninin, % olarak O_2 emisyonlarının artması ve % olarak CO_2 emisyonlarının düşmesinin yanında sıcaklık düştükçe yanma sonu CO_2 emisyonlarının da düşmesi olduğu düşünülmektedir.

Şekil 9'da farklı hava fazlalık katsayıları için baca gazı CO_2 değerlerinin değişim grafiği gösterilmiştir. Şekil

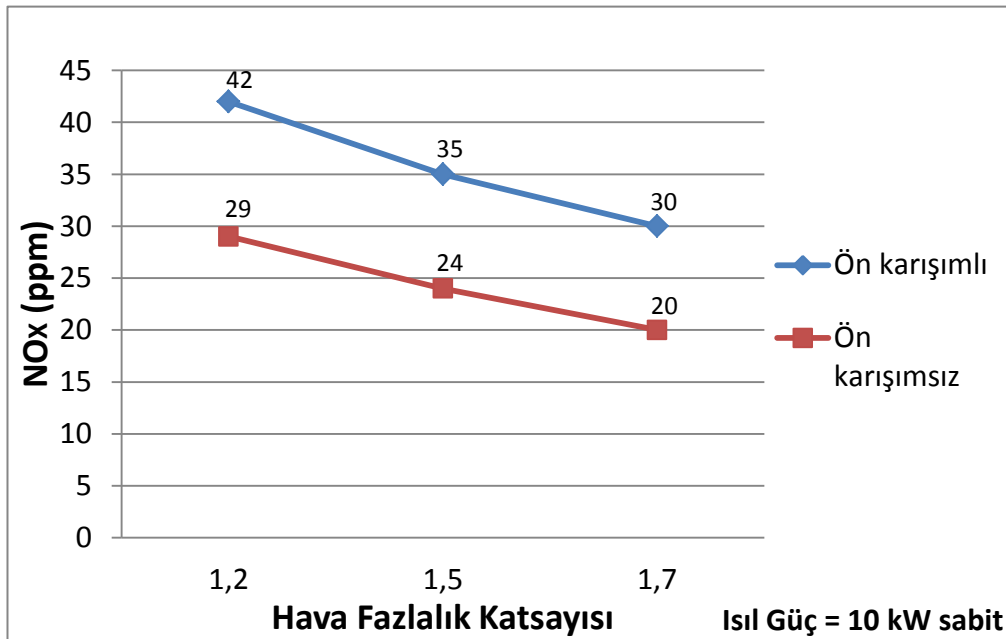
Şekil 10, ön-karışimsız ve ön-karışimli metan alevleri için hava fazlalık katsayısının CO emisyonlarına olan etkileri gösterilmiştir. Şekil 10'da gösterildiği gibi hava fazlalık katsayısı arttırıldıkça ön-karışimsız metan alevi için CO emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. 1,2 hava fazlalık katsayısı için, ön-karışimli metan alevinin CO emisyonu 6 ppm, ön-karışimsız metan alevinin CO



Şekil 10. Hava fazlalık katsayısının CO emisyonlarına etkisi (Effect of excess air ratio on CO emissions)

9'a bakıldığı zaman, hava fazlalık katsayısı arttırıldıkça, baca gazındaki CO_2 değerlerindeki azalma görülmektedir. Bunun temel nedeni, daha fazla miktarda gönderilen hava (dolayısıyla O_2 ve N_2), baca gazındaki toplam emisyon miktarlarını arttırmakta ve % olarak değerlendirildiğinde CO_2 miktarını azaltmaktadır.

emisyonu 270 ppm iken, 1,7 hava fazlalık katsayısı değeri için bu değerler sırasıyla, 17 ppm ve 322 ppm olarak ölçülmüştür. Hava fazlalık katsayısındaki değişimin her iki alev tipi için de CO emisyonları üzerinde kayda değer bir değişime neden olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 11. Hava fazlalık katsayısının NO_x emisyonlarına etkisi (Effect of excess air ratio on NO_x emissions)

Şekil 11’de ise hava fazlalık katsayısının yanma sonu NO_x emisyonlarına olan etkisi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, hava fazlalık katsayısı arttıkça, yanma sonu NO_x emisyonlarının azaldığı gözlemlenmiştir. NO_x büyük ölçüde sıcaklığa bağlı olup (ısı NO_x mekanizması) yanma sonu yanma ürünlerinin sıcaklıkları, hava fazlalık katsayısı arttıkça azaldığı için rağmen (Şekil 8) NO_x değerleri de beklediği gibi azalmıştır. 1,2 hava fazlalık katsayısı yanma şartlarında, ön-karışimsız metan alevinin baca NO_x değeri 29 ppm iken, 1,7 hava fazlalık katsayısında bu değer 20 ppm’e kadar gerilemiştir.

4. BULGULAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, ön-karışimli ve ön-karışimsız metan alevlerinde, mevcut bir yanma odasının baca gazından alınan yanma ürünlerinin sıcaklık ve emisyon değerleri, farklı ısı güç ve farklı hava fazlalık katsayıları için deneysel olarak araştırılmış ve aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Ön-karışimli metan alevi neticesine ölçülen yanma ürünlerinin sıcaklık değerleri, yanma öncesi karışımın daha iyi olması neticesinde, ön-karışimsız metan alevine göre daha yüksek olmuştur. Ayrıca bu durumda, CO₂ değerleri de, C atomlarının CO₂’e daha iyi dönüşmesi neticesinde daha yüksek ve CO emisyonları da buna bağlı olarak daha düşük olmuştur. NO_x emisyon değerleri de sıcaklığa bağlı olarak, ön-karışimli metan alevi bacasında nispeten daha yüksek olmuştur (Çizelge 2).
- Metan brülörlerinin ısı güçü arttırıldıkça (beslenen yakıt miktarı arttırıldıkça), yanma sonu ürün sıcaklıklarının her iki alev tipi için de arttığı, CO emisyonlarının azaldığı ve sıcaklığa bağlı olarak NO_x emisyonlarında da artış olduğu ortaya konulmuştur.
- Hava fazlalık değerlerinin arttırılması neticesinde, her iki alev tipi için de yanma sonu ürünlerinin sıcaklıklarında, CO₂ ve NO_x emisyonlarında kayda değer düşüşler olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, “114M668” kodlu TÜBİTAK projesi kapsamında kurulan deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazarlar olarak, katkılarından dolayı TÜBİTAK’a teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Fackler, K. B., Karalus, M. F., Novosselov, I. V., Kramlich, J. C. and Malte, P. C., “Experimental and numerical study of NO_x formation from the lean premixed combustion of CH₄ mixed with CO₂ and N₂”, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 133, 121502, 1-7 (2011).
2. Littlejohn, D. and Cheng, R. K., “Fuel effects on a low swirl injector for lean premixed gas turbines”, *Proceedings of the Combustion Institute*, 31, 3155-3162 (2007).
3. Yılmaz, I. “Effect of Swirl Number on Combustion Characteristics in a Natural Gas Diffusion Flame” *Journal of Energy Resources Technology*, 135 (4), 042204 (2013).
4. Feyz, M. E, Esfahani, J.A., Pishbin, I. and Modarres Razavi, S. M. R. “Effect of recess length on the flame parameters and combustion performance of a low swirl burner” *Applied Thermal Engineering*, 89, 609-617 (2015).
5. Khalid Saqr, M. A., Hossam Aly, S. B., Mohsin Sies, M. A. and Mazlan Wahid, A. “ Effect of free stream turbulence on NOx and soot formation in turbulent diffusion CH₄-air flames” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 611–617 (2010).
6. Yegian, D.T. and Cheng, R.K. ” Development of a Lean Premixed Low-Swirl Burner for Low NOx Practical Applications” *Combustion Science and Technology*, 139:1,207-227, (2007)
7. Wang, F., Xie, X., Jiang, Q and Zhou, L. “Effect of turbulence on NO formation in swirling combustion” *Chinese Journal of Aeronautics*, 27 ,797–804 (2014).
8. Çilingir, K., “Ön-karışimsız ve ön-karışimli doğal gaz alevlerinin baca gazı emisyonlarının karşılaştırılması”, *Lisans Bitirme Tezi*, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 2016, ANKARA.
9. Lieuwen, T. C., Yang, V., Yetter, R. “Synthesis Gas Combustion Fundamentals and Applications” *Taylor & Francis Group*, Boca Raton, USA, 2010.