

Kok Fırını Gazının Model Bir Gaz Türbini Yanma Odasındaki Yanma Performansının Sayısal Olarak İncelenmesi

Mustafa LBA * ve Serhat KARYEYEN*

*Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü
Teknikokullar/Ankara/TÜRK YE

ÖZET

Bu çalışmada, kömürlerin kokla tırılması sonucunda açığa çıkan kok fırını gazının alternatif bir yakıt olarak model bir gaz türbini yanma odasındaki yanma performansı sayısal olarak incelenmiştir. Analizler, yanma analizleri için günümüzde yaygın olarak kullanılan Ansys Fluent paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Türbülanslı difüzyon alevi önkari ımsız olarak modellenmiştir. Çalışmada kullanılan yanma modeli Mixture Fraction/PDF yanma modeli olup seçilen türbülans modeli *k*-türbülans modelidir. Yanma odası sıcaklığı yüksek seviyelerde olduğundan P-1 radyasyon modeli de yanma odası için kullanılmıştır. Modelleme, 60 kW güçteki bir model yanma odası için $\phi=1.1$, $\phi=1.3$ ve $\phi=1.5$ hava fazlalık katsayılarında metan ve kok fırını gazı için yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde en yüksek yanma odası sıcaklığı metan yanmasında ve 60 kW ve $\phi=1.1$ yanma artlarında yaklaşık 2230 K olarak belirlenmiştir. Hava miktarı seyreltme ve ikincil hava ile birlikte artırıldıkça yanma odasının ve çıkış bölgesinin sıcaklık değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Benzer artlarda kok fırını gazı yanması için maksimum sıcaklık da ılımlı 60 kW ve $\phi=1.1$ yanma artlarında 2150 K olarak gözlemlenmiştir. Kok fırını gazı yanması ile elde edilen sıcaklık da ılımları metana göre daha düşük olmakla birlikte çok ciddi sıcaklık farklılıklarının olmadığı gözlemlenmiştir ve kok fırını gazının, gaz türbini yanma odaları için alternatif bir yakıt olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CFD Modelleme, Gaz Türbini, Kok fırını gazı, Yanma

Numerical Investigation of Combustion Performance of Coke Oven Gas in a Model Gas Turbine Combustor

ABSTRACT

In this study, the combustion performance of coke oven gas was investigated as an alternative fuel in a model gas turbine combustor. Coke oven gas released by carbonization may be an alternative fuel for gas turbine combustor. The non-premixed turbulent combustion in this combustor was modelled by using Ansys Fluent code. Numerical models used in this study involved the *k*- model of turbulent flow, the Mixture Fraction/PDF model of non-premixed combustion and P-1 radiation model. The modelling was performed for 60 kW heat input and $\phi=1.1$, $\phi=1.3$ and $\phi=1.5$ excess air ratios. According to the results, the maximum temperature for 60 kW and $\phi=1.1$ methane combustion condition was 2230 K and this temperature value was the maximum temperature for all combustion conditions. Temperature decreases in the combustor and combustor's exit zone were observed with increasing secondary air and with adding dilution air. In similar conditions, the maximum temperature distribution was observed of 2150 K for 60 kW and $\phi=1.1$ combustion condition for coke oven gas combustion. The temperature levels obtained for coke oven gas were slightly lower than temperature levels for methane combustion. Although slight difference between the temperature levels, temperature distributions for both fuels are very similar and coke oven gas may be an alternative to methane for gas turbine combustors.

Keywords: CFD Modelling, Gas Turbine, Coke Oven Gas, Combustion

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde farklı enerji kaynaklarına yönelim olmasına rağmen fosil kaynaklı yakıtlar hala en önemli enerji kaynağı olarak kullanılmaya devam edilmektedir. Bunun en temel nedeni ihtiva ettikleri yüksek enerjileridir. Bundan dolayıdır ki bir yandan çevreye verdikleri zararlar göz önünde bulundurulurken diğer yandan da fosil yakıtlar kullanılmadan insanların enerji ihtiyaçları karşılanamamaktadır. Bilindiği gibi 3 farklı

fosil kaynaklı yakıt vardır. Bunlar; kömür, petrol ve doğalgazdır. Bunlardan kömür ülkemiz için yerli bir kaynak iken petrol ve doğalgaz dışarıdan ithal edilmektedir. Bu yüzden ülkemizde kömür, enerji dönüşüm sistemlerinde daha aktif bir şekilde kullanılmalıdır.

Bilindiği gibi kömür, ihtiva ettiği elementler nedeniyle yandığı zaman çevreyi kirletmekte ve ısı değerinin çok yüksek olmamasından dolayı diğer fosil yakıtlara nazaran ciddi bir enerji kaynağı olamamaktadır. Bundan dolayı kömürlerde kokla tırma (karbonizasyon) işlemi yapılmaktadır. Karbonizasyon, tepkimesiz bir ortamda, karbon içerikli katı yakıt

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ilbas@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2012.15.4, 171-176.

üretmek için organik maddelerin parçalandığı bir kimyasal süreçtir ve bu proses sonucunda yan ürünler olarak sıvı ve gaz ürünler elde edilmektedir [1]. Bu yan ürünlerden bir tanesi de yüksek ısıl değere sahip bir gaz olan kok fırını gazıdır. Kok fırını gazı, koklama sonrasında açığa çıkmakta ve ürün fabrikalarında genellikle kullanılabılır duruma getirilmektedir.

Kok fırını gazı bünyesinde koklama prosesine bağlı olarak temelde 5 element barındırmaktadır. Bunlar hidrojen (H_2), metan (CH_4), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2) ve azot (N_2)'dir. Bu gaz, genellikle yanabilir gazlardan yüksek oranda hidrojen ve metan içerirken daha düşük bir yüzdede karbonmonoksit ihtiva etmektedir. Çalıma mada kullanılan kok fırını gazına benzer şekilde gaz karışımlarının enerji dönüşüm sistemlerinin yanma odalarında kullanıldığı çalımalarda da bahsedilmiştir.

Martinez ve ark. [2] 4 farklı yakıt tipinin (saf H_2 ve $H_2 + CO$ karışımı biçiminde) çarpmalı jet alevinin dinamiğine olan etkisini sayısal olarak incelemiştir. Yaptıkları çalıma göre maksimum sıcaklık değerlerine saf H_2 ve % 80 $H_2 +$ % 20 CO kullandıkları yakıt değerlerinde ulaşılmıştır. Kim ve ark.[3] doğalgaz yakıtı için tasarlanmış bir gaz türbininde sentetik gaz yanmasının performansına olan etkisini araştırmıştır. Yaptıkları çalıma dört farklı sentetik gaz tipi denemiştir. Bu gaz türbini için denedikleri sentetik gazlardan en iyi güç üretimini ve sistem verimini A tipi (0.88 % Ar, 0.06 % CH_4 , 35.12 % CO , 13.1 % CO_2 , 31.42 % H_2 , 16.39 % H_2O) sentetik gazdan elde etmiştir. Konuya benzer yapılan bir çalışmada Haugen ve ark. [4] yüksek oranda hidrojen içeren sentetik gaz beslemeli bir sistem tasarımları ve bu sistemde farklı bileşimli sentetik gazların tutma limitlerini araştırmıştır. Lee ve ark. [5]'nin yaptığı bir çalıma metan ve % 0'dan % 100'e kadar % 20 oranında değişim sağlanarak H_2 ve CO karışımı sentetik gazların yanma performansları deneysel olarak araştırılmıştır. Çalımanın çıktıları incelendiğinde maksimum çıkış sıcaklığı $850^\circ C$ olarak metan yanması sonucunda oluşan minimum çıkış sıcaklığı da % 100 CO yanması sonucu yaklaşık $700^\circ C$ olarak belirlenmiştir [5]. Lee ve ark. [6]'nın yaptığı bir çalışmada ise yanmanın N_2 , CO_2 ve buhar ile seyreltilmesi sonrasında yanma sonucu emisyonları araştırılmıştır. Lee ve ark. [6] bu çalıma sonrasında NO_x emisyonlarına en ciddi katkıyı buhar ile seyreltmenin sağladığını tespit etmiştir. İba ve ark. model bir yanma odası tasarımları ve bu yanma odasında H_2 ve $H_2 + CH_4$ yakıtlarının yanma performanslarını ve emisyon karakteristiklerini araştırmıştır [7]. Yapılan çalımanın sonuçları değerlendirildiğinde, kompozit yakıttaki hidrojen miktarı arttıkça alev sıcaklığının da arttığı ve buna bağlı olarak da NO_x emisyonlarında artış olduğu gözlemlenmiştir [7]. Bhoi ve Chinniwala'nın yaptığı çalışmada üretici ya da jeneratör gazı yanmalı ön karışımı bir brülörün emisyon karakteristiği ve eksenel alev sıcaklık dağılımı araştırılmıştır [8].

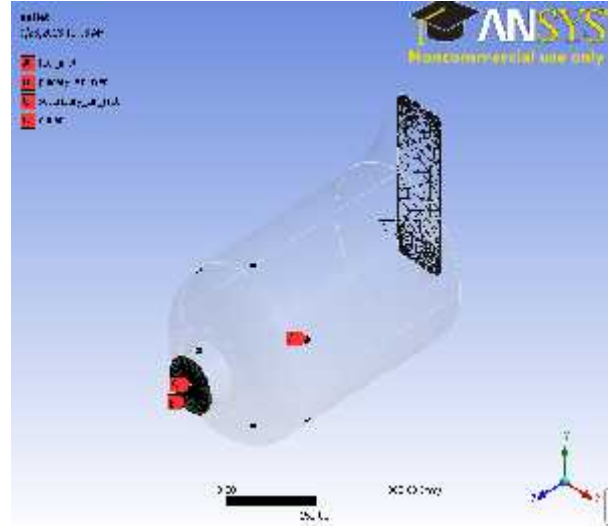
Hava fazlalık katsayısının 1.0 olması durumunda adyabatik alev sıcaklığı $1653^\circ C$ olarak saptanmış olup, minimum CO ve NO_x emisyon seviyeleri de sırasıyla % 0.167 ve 384 ppm olarak belirlenmiştir [8]. Lewis ve ark. [9] yaptıkları bir çalıma mayla döngüsü sabit üretici ya da jeneratör gazı yanma odasında çeşitli yakıt bileşiminin alev hızına olan etkisini araştırmıştır. Ayrıca çalımalarında bu gaz için adyabatik alev sıcaklığını belirlemiştir ve bu değer yaklaşık olarak $1550^\circ C$ civarındadır. İba ve Özkan, kapatılmış ve kapatılmamış olarak tasarladıkları iki farklı model yanma odalarında hidrojen yanmasını sayısal olarak incelemiştir ve kapatılmış model için maksimum sıcaklığı $2135 K$ ve kapatılmamış model için maksimum sıcaklığı $2088 K$ olarak belirlemiştir [10].

Bu çalıma da ise, model bir gaz türbini yanma odasında günümüzde kullanılan metanın yanı sıra alternatif yakıt olarak kok fırını gazı kullanımının yanma performansına olan etkileri sayısal olarak incelenmiştir.

2. NÜMERİK MODELLEME (NUMERICAL MODELLING)

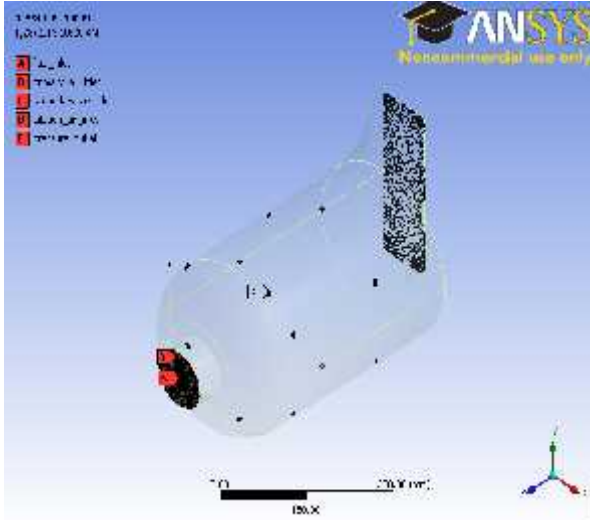
2.1. Model Yanma Odası (Model Combustor)

Bu çalıma da 2 tip model gaz türbini yanma odası çalışılmıştır. Birinci tip model yanma odasında hava fazlalığının 1.1 olduğu yanma şartları için çalışılırken ikinci model yanma odası, 1.3 ve 1.5 hava fazlalık katsayısı yanma şartları için tasarlanmıştır. Geliştirilen bu yanma odası modelleri ekil 1 ve ekil 2'de gösterilmiştir.



ekil 1.1. Model gaz türbini yanma odası [11]

ekil 1 ve 2'de her iki model gaz türbini yanma odası için de sınır şartları gösterilmiştir. Çalıma mada kullanılan tüm yakıt ve hava için sınır şartları 1 atm ve $293 K$ olarak alınmıştır.



ekil 2. 2. Model gaz türbini yanma odası [11]

2. 2. Model ve E itlikler (Models and Equations)

Silindirik koordinatlar için genel form a a ıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \text{div}(\rho v\Phi - \Gamma_0 \text{grad}\Phi) = S_\Phi \quad (1)$$

Burada Φ ba ım lı de i kenleri temsil etmekte Γ_0 ise, Φ için ta ıyıcı e itli inin kaynak terimini ifade eden Φ ve S_Φ de i kenleri için ta ıyıcı sabiti göstermektedir [7].

Çalı mada kullanılan Mixture Fraction/PDF yanma modeli skaler korunumlu tek bir karı m için ta ıyıcı e itliklerin çözümünden meydana gelir [12]. Bu yanma modelinde ayrı ayrı türler için ta ıyıcı e itlikler çözülmez. Onun yerine, ilgili tür için tek tek bile im konsantrasyonu, karı m oran da ılımı tahmin edilen formda türetilmi tir. Kimya ve türbülansın etkile imi, imkan dahilindeki yo unluk fonksiyonunun yardımı ile açıklanabilir [12].

PDF model yakla ımı türbülanslı difüzyon alevlerinin simülasyonu için özel olarak geli tirilmi tir. Yakıt/Oksitleyici bir sistem için, karı m oranı f , yerel yakıt kütlele oranı bakımından öyle yazılabilir [12]:

$$f = \frac{m_F}{m_F + m_O} \quad (2)$$

Burada m_F ve m_O yakıt ve havanın kütle oranlarını göstermektedir. Karı m oranı f , türbülanslı akı alanının zaman ortalamalı de eri için korunum denklemlerinin çözüldü ü akı alanındaki her noktada korunan bir nicelik de eridir [12].

$$\frac{\partial(\rho f)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i f)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) + S_\eta \quad (3)$$

S_η , sıvı yakıt damlacı ından gaz fazına, yalnızca zamanı gelmi kütleinin transferinin kaynak terimidir.

Anlam lı karı m oranı için çözüme ek olarak, bir korunum denklemi karı m oranı de i imi için çözülür. f'^2 türbülans-kimya etkile imini tanımlayan kapama modelinde kullanılır [12].

$$\frac{\partial(\rho f'^2)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i f'^2)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial f'^2}{\partial x_i} \right) + C_g \mu_t \left(\frac{\partial f'^2}{\partial x_i} \right)^2 - C_d \rho \frac{\epsilon}{k} f'^2 \quad (4)$$

σ_t , C_g ve C_d Mixture Fraction/PDF modelde kullanılan sabitlerdir.

Radyasyonla ısı transferi yüksek sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Yanma odalarındaki gaz alevi sıcaklı ı, özellikle de stokiometrik yanma artlarında 1000-1600 °C'nin üzerine çıkmaktadır. Bunun sonucunda girdaplı yanma odalarından olan ısı transferi belirlidir. Sonuç olarak, yanma odalarındaki sıcaklık da ılımlarını daha iyi belirleyebilmek için radyasyon modelini kullanmaya ihtiya ç vardır [12].

Gaz karı m lı yakıtların yakılmasında kullanılan matematiksel modelleme bazı öngörüler üzerine gerçekte tirilmektedir. Akı kararlı durumda de erlendirilmekte olup, 3-D çözümleme yapılmı , süreklilik, momentum, enerji ve türlerin korunumu öngörülmi tür. Çalı mada k - türbülans modeli kullanılmı tir. Yanma modeli olarak önkarı ımsız yanma modellerinden Mixture Fraction/PDF yanma modeli tercih edilmi tir. Ayrıca çalı mada radyasyon modeli de kullanılarak çözüme gidilmi ve burada literatürde yapılan ba ka çalı malar da göz önüne alınarak P-1 radyasyon modeli tercih edilmi tir.

2. 3. Çalı mada Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri (Fuels and Properties used in study)

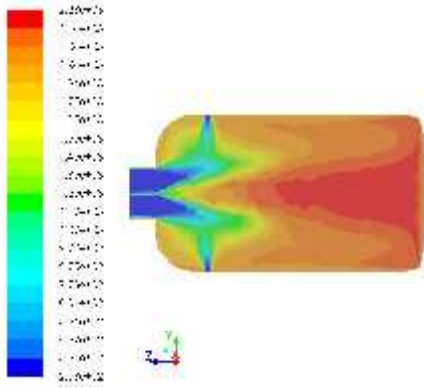
Bu çalı mada yanma performansı incelenen yakıt kok fırını gazıdır. Gaz türbinlerinde genellikle do algaz kullanıldı ı ve do algazın da büyük bir bölümünün metandan olu masından dolayı yanma analizi metan için de yapılmı ve bu çalı mada kok fırını gazının metana göre yanma performansı kar ıla tirilmi tir. Yanma performansı incelenen yakıtların temel özellikleri Tablo 1'de verilmi tir.

Tablo 1. Kullanılan yakıtların temel özellikleri [13]

(%)	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂	LHV (MJ/kg)	Yo unluk (kg/m ³)	Stokiometrik Hava-Yakıt Oranı
Metan	-	100	-	-	-	50	0,67148	17
Kok Fırını Gazı	55	27	6	2	10	33,97	0,452	10,82

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

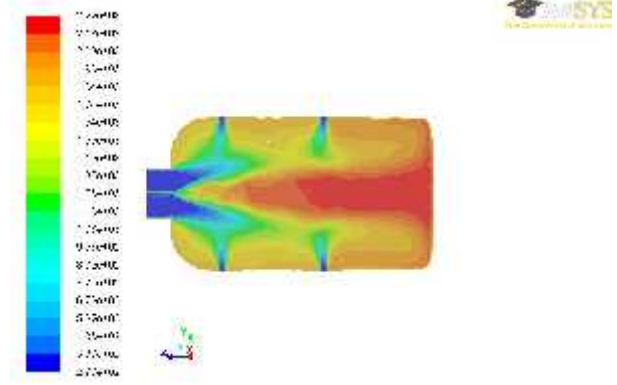
Analizi yapılan model gaz türbini yanma odası için nümerik analize başlamadan önce çalışma hacminin grid yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu grid yapısına göre hava fazlalık katsayısı =1.1 için kullanılan çözüm hacminde 771259 grid ve 143280 düğüm noktası kullanılmıştır. Bu grid yapısının maksimum mesh metri 0.94'tür. Diğer çözüm hacmi ise, hava fazlalık katsayısı =1.3 ve =1.5 olan çözümler için kullanılmıştır ve bu çözüm hacminde 628229 grid ve 112663 düğüm noktası kullanılmıştır. Bu grid yapısında ise maksimum mesh metri 0.88 olarak belirlenmiştir. Oluşturulan bu çözüm hacimleri ve grid yapılarına göre 60 kW ve =1.1 yanma artlarında metan için sıcaklık dağılımı ekil 3'de gösterilmiştir.



ekil 3.60 kW ve =1.1 için metan yanmasının sıcaklık dağılımı

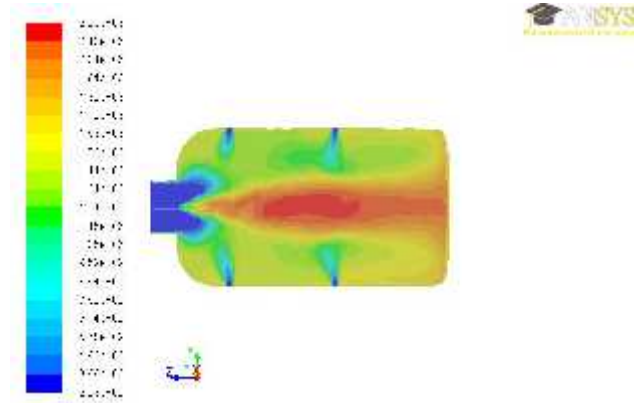
ekil 3'e göre metanın adyabatik alev sıcaklığı 2232 K olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, metan yanması için teorik adyabatik alev sıcaklığı değeri ile karşılaştırılmıştır (2233 K) ve sonucun son derece uyumlu olduğu görülmüştür [11]. ekil 3 de değerlendirildiğinde maksimum sıcaklık bölgesinin yanma odasının ortalarından itibaren çıkış bölgesine kadar yüksek sıcaklıklarda seyrettiği görülmektedir. Bu durum da gaz türbinleri yanma odaları için uygun bir sonuç olup, türbine geçen yanma sonu gazlarının sıcak olması beklenmektedir.

Hava fazlalık katsayısı birincil ve ikincil hava için değerlendirilmeden, birincil havanın %20'si oranında seyreltme havası ile 60 kW ve =1.3 yanma artları için metan yanması ekil 4'te görülmektedir. Buradaki seyreltme havası ile yanma odası sıcaklığı bir miktar düşmektedir. Bunun temel nedeni hava fazlalık katsayısının artırılmasıdır. Seyreltme havasının gaz türbinlerinin yanma odalarında kullanılmasındaki neden, yanma odası yüzeylerindeki yüksek sıcaklık değerlerine azaltmak ve ısı artırımının yanma odası gövdesine vereceği zararı en aza indirmektir. ekil 4'ten de anlaşılacağı gibi 60 kW ve =1.3 yanma artlarında yanma odasının maksimum sıcaklığı 2220 K dolaylarındadır.



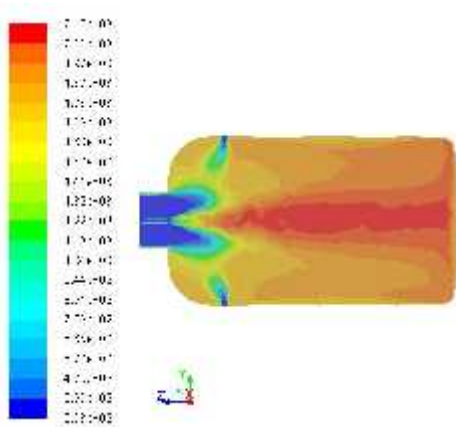
ekil 4. 60 kW ve =1.3 için metan yanmasının sıcaklık dağılımı

Benzer şekilde hava fazlalık katsayısı birincil hava için değerlendirilmeden, ikincil hava için birincil havanın %20'si ve seyreltme havası için de %30'u oranında hava fazlalık katsayısı artırılarak 60 kW ve =1.5 yanma artlarında metan yanması ekil 5'te görülmektedir. 60 kW ve =1.3 yanma artlarındaki yanma odası maksimum sıcaklığı ile kıyaslandığında 60 kW ve =1.5 yanma artlarındaki maksimum sıcaklık bir miktar daha düşmüştür ve yaklaşık olarak 2200 K olarak belirlenmiştir. Ayrıca yanma odası çıkışında da maksimum sıcaklık seviyelerinde de azalmalar olduğu gözlemlenmiştir.



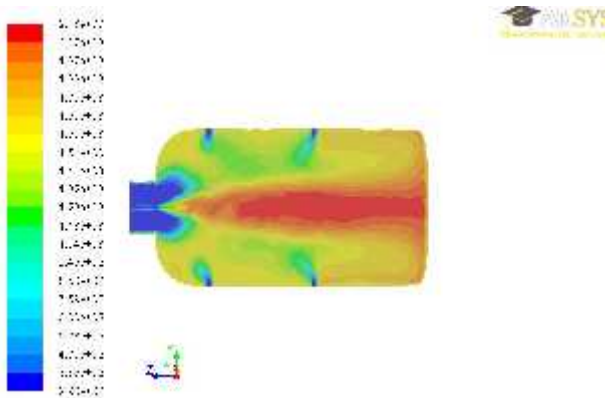
ekil 5.60 kW ve =1.5 için metan yanmasının sıcaklık dağılımı

Kok fırını gazının yanma performansı, geliştirilmiş iki tip gaz türbini yanma odası için incelendiğinde 60 kW ve =1.1 yanma artlarındaki kok fırını gaz yanmasının sıcaklık dağılımı ekil 6'da gösterilmiştir. ekil 6'ya göre kok fırını gazının yanma odasındaki maksimum sıcaklığı yaklaşık olarak 2150 K dolaylarındadır. Ayrıca çıkış bölgesindeki sıcaklık dağılımı radyal olarak homojenlik göstermemektedir. Yanma odasının çıkışında, yanma odası merkezinden gövdesine doğru gidildikçe sıcaklık değerleri azalmaya ve yanma odası yüzeyinde minimum seviyeye gelmektedir. Bu sonuç aynı yanma artları için metan yanması ile karşılaştırıldığında, sıcaklık seviyesinin ve alev boyunun bir miktar düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bunun en temel nedeni kok fırını gazının ısıtılma derecesi olarak metandan düşük olmasıdır.



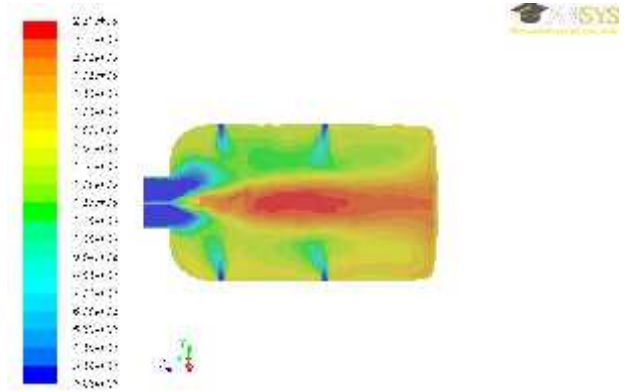
ekil 6. 60 kW ve $\phi=1.1$ için kok fırını gazının yanmasının sıcaklık dağılımı

60 kW ve $\phi=1.3$ yanma şartları için kok fırını gazı yanması sonucu yanma odasının sıcaklık dağılımı ekil 7.'de gösterilmiştir. Bu yanma şartları metan yanmasında olduğu gibi %20'lik bir seyreltme havası ile gerçekleştirilmiştir. ekil 7'ye göre yanma odasındaki maksimum sıcaklık, 60 kW ve $\phi=1.1$ yanma şartlarındaki kok fırını gazı yanmasına göre ciddi bir şekilde artmış göstermektedir. Sıcaklık dağılımı, yanma odasının merkezinde daha fazla, yüzeylere gidildikçe daha da azalmaktadır. Ayrıca yanma odası çıkışı bölgesinde sıcaklık dağılımı, 60 kW ve $\phi=1.1$ yanma şartlarındaki kok fırını gazı yanmasına kıyasla daha düşük bir dağılım göstermektedir. Benzer yanma şartlarında kok fırını gazı yanması metan yanması ile karşılaştırıldığında daha düşük sıcaklık dağılımı görülmektedir.



ekil 7. 60 kW ve $\phi=1.3$ için kok fırını gazının yanmasının sıcaklık dağılımı

ekil 8'de ise 60 kW ve $\phi=1.5$ 'lik yanma şartları için kok fırını gazı yanması sonucu meydana gelen sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, maksimum sıcaklığın diğer yanma şartlarına göre bir miktar yükseldiği sonucuna varılmakla birlikte alev boyunun kısaldığı ve yanma odasının çıkışı bölgesindeki sıcaklık dağılımının giderek azaldığı belirlenmiştir. Benzer yanma şartları için bu sıcaklık dağılımı metan yanması ile karşılaştırıldığında ise, sıcaklık biraz daha az olduğu tespit edilmiştir.



4. BULGULAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, geliştirilen model bir gaz türbini yanma odasında doğaya alternatif olarak kömürlerin kullanılması sonucu açığa çıkan kok fırını gazının gaz türbinlerinin yanma odalarında kullanımının sayısal olarak analizi yapılmıştır. Çalışmada, metan yanması sonucunda gaz türbini yanma odası çıkışında beklenen yüksek sıcaklıktaki yanma ürünlerine kok fırını gazı yanması sonucunda da ulaşılabildiği gösterilmiştir. Böylelikle çok büyük oranda güç üretim farklılıklarına yol açmadan, gaz türbinlerinin konfigürasyonlarında gerçekleştirilebilecek bazı iyileştirmeler ile birlikte, gaz türbinlerinin yanma odalarında alternatif yakıt olarak kok fırını gazının kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 1) Çakır, A. M., "Kok Fırını Gazı Prosesleri ve Ek Tesisleri", Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2006
- 2) Martinez, D. M., Jiang, X., Moulinec, C. ve Emerson, D. R., "Numerical investigation of the effects of fuel variability on the dynamics of syngas impinging jet flames", *FUEL*, 103 (2013) 646-662
- 3) Kim, Y. S., Lee, J. J., Kim, T., S. ve Sohn J. L., "Effects of syngas type on the operation and performance of a gas turbine in integrated gasification combined cycle", *Energy Conversion and Management*, 52 (2011) 2262-2271
- 4) Haugen, N., E., L., Brunhuber, C. ve Bysveen, M., "Hydrogen Fuel Supply System and Re-heat Gas Turbine Combustion", *Energy Procedia*, 23 (2012) 151-160
- 5) Lee, M., C., Seo, S., B., Chung, J., H., Kim, S., M., Joo, Y., J. ve Ahn, D., H., "Gas Turbine Combustion Performance Test of Hydrogen and Carbon Monoxide Synthetic Gas", *FUEL*, 89 (2010) 1485-1491
- 6) Lee, M., C., Seo, S., B., Yoon, J., Kim, M. ve Yoon, Y., "Experimental Study on the Effect of N₂, CO₂ and Steam Dilution on the Combustion Performance of H₂ and CO Synthetic Gas in an Industrial Gas Turbine", *FUEL*, 102 (2012) 431-438
- 7) İlbas, M., Yılmaz, I. ve Kaplan, Y., "Investigation of hydrogen and hydrogen-hydrocarbon composite fuel combustion and NO_x emission characteristics in a model combustor", *International Journal of Hydrogen Energy*, 30 (2005) 1139-1147
- 8) Bhoi, P. R. ve Chinniwala, S. A., "Emission characteristics and axial flame temperature distribution of producer gas fired premixed burner", *Biomass and Bioenergy*, 33 (2009) 469-477

- 9) Lewis, J., Marsh, R., Sevcenco, Y., Morris, S., Griffiths, A. ve Bowen, P., "The effect of variable fuel composition on a swirl-stabilised producer gas combustor", *Energy Conversion and Management*, 64 (2012) 52-61
- 10) Ilbas, M. ve Ozkan, M., "Numerical analysis of confined and unconfined hydrogen turbulent flames", *International Journal of Energy Research*, 36 (2012) 1326-1330
- 11) Ghenai, C., "Combustion of Syngas Fuel in Gas Turbine Can Combustor", *Advanced in Mechanical Engineering*, Article ID 342357 (2010)
- 12) Ilbas, M., "Studies of Ultra Low NO_x Burner", PhD Thesis, Cardiff, UK: University of Wales, 1997
- 13) Telli, Z., K., "Yakıtlar ve Yanma", Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Yayınları, Isparta, 1984