

V. Enerji Verimliliği Kongresi – Geleceğimiz Enerji

Bildiri Alanı: Binalarda Enerji Verimliliği

Yazarlar: Hatice Nüket AKINCI, Ahmet Saim PAKER, Cemil KOYUNOĞLU, Tülay BURSALIOĞLU

KAZANLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ DEĞERLENDİRMELERİNDE BACA GAZI SICAKLIĞININ
HAVA FAZLALIK KATSAYISI İLE İLİŞKİSİ: ENERJİ VERİMLİLİĞİ YAKLAŞIMI İLE İNCELENME

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE FLUE GAS TEMPERATURE AND THE AIR FLOW RATIO IN
ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT IN BOILERS: INVESTIGATION WITH THE ENERGY
EFFICIENCY APPROACH



Hatice Nüket Akıncı

Orcid : 0000-0002-7968-8367

MMO İstanbul Şubesi Enerji Komisyonu Üyesi

Çalışma komisyon etkinliği olarak hazırlanmıştır.



ÖZET

Çalışmamızın amacı baca gazı sıcaklığı ile hava fazlalık katsayısı arasında anlamlı ilişkinin varlığını belirlemektir. Kazanlarda yanma verimliliğinin en önemli araçlarından olan hava fazlalık katsayısı (HFK), uygulanan teknolojiye bağlı farklı yöntemlerle kontrol edilebilmektedir. Teknolojik yaklaşımlarla yanma kalitesini değerlendirmek HFK'nın belirlenmesinde en başarılı yöntem olmakla birlikte çoğu zaman pahalı ve oran büyüklüğünün gereğinden ne kadar fazla olduğu konusunda yeterli bilgi verememektedir. Verimlilikle doğrudan ilişkili olan fazlalığın baca gazı sıcaklığı kontrolü ile daha etkin yönetilmesi önemli bir teknolojik gelişim olacaktır.

Yöntemimiz; binalarda enerji verimliliği etütlerimiz sırasında kazan verimliliğine yönelik test verilerinin yeniden düzenlenmesi ve bu verilerin analizine dayanmaktadır. Baca gazı sıcaklığı ve HFK arasında anlamlı ilişki olduğu, kurulan hipotez ile test edilmiştir. İlişkinin anlamlı olma şartlarının doğrulanması için korelasyon analizleri ile modelleme yapılmıştır.

Elde edilen sonuçların enerji kullanımı ve tüketiminde verimlilik yaklaşımları ile kazan verimliliğinin yönetimine katkı sağlayacağı umulmaktadır.

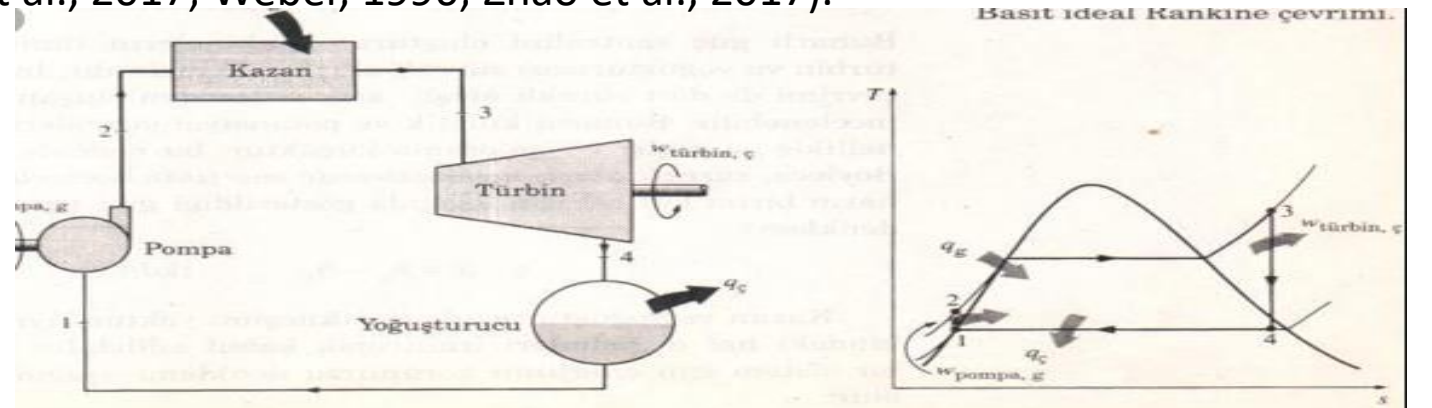


Anahtar Kelimeler: Enerji, Enerji Verimliliği, Hava fazlalık katsayısı, Baca Gazı

1. Giriş

Küresel çevre sorunlarının giderek daha belirgin hale gelmesiyle birlikte, ideal bir temiz enerji olarak görülse de, doğal gazda karbon ve hidrojenin yüksek oranda olduğu konusunda yaygın bir endişe vardır. Doğal gazı yakıt olarak kullanan kazanlar, endüstrilerde ve evlerde çok yaygınlaşmıştır. Doğal gazın ana bileşeni metan olduğundan, yanma ürünleri büyük miktarda su buharı içerir. *Sıcaklık çiy noktasına soğutulduğunda, baca gazı içerisindeki gizli su buharı ısısı şeklinde kayda değer miktarda bir ısı açığa çıkar. Yoğuşma sıcaklığı, yakıtın ve genel olarak 55 ila 65 °C arasındaki fazla hava katsayısının bileşimi ile belirlenir.* Yoğuşma meydana geldiğinde, baca gazı SOX ve NOX içerdiğinden, yoğuşma genellikle asitlidir bu ısı değişimi korozyona neden olur. Bu nedenle, korozyondan kaçınmak için, baca gazı sıcaklığı genellikle 150–200 oC aralığındadır, bu da doğal gaz kazanının ısı veriminin yalnızca % 70–80 olmasını sağlar (Bergamini, Jensen, & Elmegaard, 2019; Wang, Zhang, Han, & Li, 2017; Weber, 1996; Zhao, Wang, Ge, Li, & Liang, 2017). Korozyon önleyici malzemenin uygulanması ile yoğuşmalı kazanlar daha yaygın kullanılmaktadır. *Baca gazı sıcaklığının yoğuşma sıcaklığının altına düşürülmesiyle, baca gazının gizli ısısı geri kazanılabilir, öyle ki yoğuşmalı kazanın ısı verimi genellikle daha yüksektir.* Ek olarak, NOX, SOX, HCl, kurum ve benzeri çözümler nedeniyle, **yoğuşma kazanından tahliye edilen baca gazı temizleyicidir.** *Pratik uygulamalarda, baca gazı, geri suyu ısıtma sisteminden bir ısı değiştiriciden ısıtmak için kullanılır; bu arada, baca gazı yoğunlaşır ve gizli ısıyı serbest bırakır. Bu nedenle, geri kalan suyun durumu, baca gazının yoğunlaşma performansını doğrudan etkilemektedir.* Hesaplanan sonuçlarda

yenilenen kazanın yoğunlaşma verimliliğinin arttığını ve yatırım geri kazanım süresinin sadece 3-4,5 yıl olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, gerçek bir yoğunlaşma kazanını örnek olarak alarak, **Boeschen** yatırım geri kazanım sürecinin gerçekte 24 yıl olduğuna dikkat çekmektedir. Bunun nedeni, baca gazı sıcaklığının, fiili işlem sırasında, neredeyse baca gazının çığlenme noktası sıcaklığı kadar yüksek olan, 50-60 oC aralığında olmasıdır. **Sonuç olarak, yoğunlaşma gizli ısısı tam olarak kullanılamaz. Yüksek su sıcaklığı problemini çözmek için Q_u , baca gazı atık ısısını geri kazandıran bir emilim ısı pompası tasarlamıştır. Pompa, gerisu sıcaklığını 45 C'den 89.7–98.5 oC'ye yükseltebilir ve kazanın ısı verimini % 5-10 oranında artırır.** Ancak, baca gazı kullanımı mevsimsel ve bölgesel etkilerden ciddi şekilde etkilenmektedir. Isınmayan mevsimlerde ve ısıtmasız bölgelerde, bir endüstriyel gaz kazanının baca gazı etkin bir şekilde kullanılamaz. Sonuç olarak, **Maalouf enerji** üretimi için atık ısısının kullanılmasını önermiştir. Düşük sıcaklık nedeniyle, baca gazı doğrudan geleneksel su Rankine çevrimi ile kullanılamaz; Bununla birlikte, Organik Rankine Döngüsü (ORC), atık ısı geri kazanımının etkili bir yöntemi olarak kabul edilir. Zhou, çalışma sıvısı olarak R123'ü kullanarak düşük sıcaklıkta bir baca gazı ORC deney sistemi kurmuştur. Sistemdeki baca gazının sıcaklık aralığı 90-220 oC idi. Elde edilen deneysel sonuçlar, çıkış gücünün artan baca gazı sıcaklığıyla arttığını ve maksimum çıkış gücünün % 8,5 maksimum güç verimiyle 645 W olduğunu gösterdi. Bununla birlikte, bu sistemde, baca gazı sıcaklığı, yoğunlaşma sıcaklığına düşmemiştir; dolayısıyla, kullanılabilecek çok fazla yoğunlaşma gizli ısı **mevcuttu** (Bergamini et al., 2019; Wang et al., 2017; Weber, 1996; Zhao et al., 2017).



Özetle, düşük sıcaklıktaki baca gazının ısı kullanımı iklimden ve mevsimsel ve coğrafi koşullardan ciddi şekilde etkilenir; bu nedenle, yoğuşma gizli ısısı tam olarak kullanılamaz. Enerji üretimi yukarıdaki faktörlerden etkilenmese de, ORC döngüsü, karmaşık yapı, uygun olmayan bakım, daha büyük ilk yatırım ve yalnızca bazı büyük gaz kazanlarını donatabilecek olması gibi birçok dezavantaja sahiptir. Yarı iletken termoelektrik jeneratör, uygun kurulum ve güvenilir çalışma gibi avantajlara sahiptir. Düşük sıcaklıktaki baca gazı atık ısını geri kazanmak için yarı iletken termoelektrik üretim teknolojisi kullanılırken, baca gazı ölçeğinden nadiren etkilenir. ***Islak baca gazı yoğunlaştığında, baca gazının ısı transfer katsayısının su buharı yoğuşması nedeniyle arttığına dikkat etmek önemlidir. Bu, yoğuşmasız yüksek sıcaklıktaki baca gazının üretim özelliklerinden farklıdır; Özellikle, gaz tarafında ısının serbest bırakılması işleminde iki aşama vardır: yüksek sıcaklık aşamasında küçük ısı transfer katsayısı ve düşük sıcaklık aşamasında büyük ısı transfer katsayısı.*** Yalnızca **TEG** oluşturma performansında iyileşme sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda daha önce bildirilmeyen maksimum çıkış gücünün konumunu da etkileyecektir. ***Bu yazıda, minimum doğal gaz tüketimi ile aynı enerjiyi elde edebilecek koşulların baca gazı analizleriyle belirlendiği bir yöntem ortaya konmaktadır. Ayrıca simülasyon uygulamasının temelleride verilecektir. Elde edilen sonuçlar, ıslak baca gazının termoelektrik üretim özelliklerinin ve termoelektrik jeneratörlerin tasarımının anlaşılmasını önemli ölçüde arttıracakıda düşünülmektedir (Bergamini et al., 2019; Wang et al., 2017; Weber, 1996; Zhao et al., 2017).***

Enerji bakanlığı'nın 5627 sayılı kanun kapsamında gerçekleştirilen bir lojmanın 3 kazanında periyodik dönemlerde alınan baca gazı analiz değerleri ile enerji verimliliği çalışmaları aşağıda verilmiştir.

1.1. Enerji Verimliliği Yönetmeliği

5627 sayılı kanun, enerjinin hem etkin kullanımı, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin yükünün hafifletilmesi ve en önemlisi düşük emisyonlar amaçlanarak çevrenin korunmasının hedeflenmesidir (Şekil 1). Bu kanun lojmanlar gibi enerjinin hem üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine yönelik uygulanacak usul ve esasları kapsar. Binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin artırılması yanında enerji verimliliğinin artırılması önemlidir.



Şekil 1. Enerji verimliliği binalarda enerji maliyetlerini düşürmektedir (Anonim, 2018).

2. Metodoloji

Yapılan çalışma Ankara ilinde yerleşik bulunan lojman binalarındaki 3 kazanla ilgili verilerin elde edilerek fazla hava katsayısı hesaplanmış, yıllara göre doğal gaz sarfiyatları belirlenmiştir. Baca gazı değerleri alınan her bir kazan için fazladan çıkan baca gazındaki ısıyı temin etmek için yakılması gereken doğalgaz miktarı hesaplandı. 1 Sm³ doğalgaz yandığı zaman fazladan çıkan baca gazı miktarı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarla elde edilen ısı kaybının maddi kaybı belirlenmiştir.

3. Hesaplamalar

3.1. 1-No'lu kazan:



Hava Fazlalık Katsayısı: $\lambda=1$ 'e göre, 1 Sm³ doğalgaz için gerekli hava 9,462 Sm³ (stokiyometrik karışım)

Kazan no:1

O₂ =14,6 % için fazla hava;

$$\frac{O_2}{21-O_2} \times 100 = \frac{14,6}{21-14,6} \times 100 = \frac{14,6}{6,4} \times 100 = 228 \%$$

$$\lambda=1+2,28=3,28$$

1 Sm³ doğalgaz yandığı zaman $\lambda=1$ 'e göre çıkan baca gazı miktarı=1+9,462=10,462 Sm³ dür.

$\lambda=3,28$ 'e göre

$$9,462 \times 3,28 = 31,04 \text{ Sm}^3$$

1 Sm³ doğalgaz ilavesi ile çıkan baca gazı miktarı;

$$1+31,04=32,04 \text{ Sm}^3 \text{ olur.}$$

1 Sm³ doğalgaz yandığı zaman fazladan çıkan baca gazı miktarı,

$$32,04 - 10,462 = 21,58 \text{ Sm}^3 \text{ olur.}$$

1 Nolu kazanın 2011 yılı aylara göre doğal gaz sarfiyatları Tablo 1'de verilmiştir. Lojmanlara ait Tablo 2'de kazan verileri verilmiştir.

Tablo 1. 2011 aylara göre Sm³/Ay değerleri (1 nolu kazan için).

Ay	Sm ³ /Ay
Ocak	180.389
Şubat	352.498
Mart	67.666
Nisan	80.207
Mayıs	50.836
Haziran	
Temmuz	
Ağustos	
Eylöl	
Ekim	
Kasım	132.311
Aralık	
Toplam	863.907

Tablo 2. $\lambda=3,28$ 'e göre fazla baca gazı değerleri (1 nolu kazan için).

	1 t ort Dış Sıcaklık °C	2 t °C baca gazı	3 $\Delta t^{\circ}\text{C}$ Sıcaklık Farkı	4 Doğalgaz tüketimi Sm^3	5 (V) Sm^3 Fazladan çıkan baca gazı (4)x21,58	6 Fazladan çıkan baca gazındaki ısı $Q=V \times C_p$ $\times \Delta t$ $C_p=0,33\text{Kcal/m}^3$
AYLAR						
OCAK	0,3	141,1	140,8	180.389	3.892.795	180.874.809
ŞUBAT	2,1	141,1	139	352.498	760.6907	348.928.817
MART	6,2	141,1	134,9	67.666	1.460.232	65.005.160
NİSAN	11,3	141,1	129,8	80.207	1.730.867	74.139.960
MAYIS	16,1	141,1	125	50.836	1.097.041	45.252.936
HAZİRAN	20,2	141,1	120,9	-	-	-
TEMMUZ	23,6	141,1	117,5	-	-	-
AĞUSTOS	23,3	141,1	117,8	-	-	-
EYLÜL	18,7	141,1	122,4	-	-	-
EKİM	13,0	141,1	128,1	-	-	-
KASIM	6,7	141,1	134,4	132.311	2.855.271	126.636.996
ARALIK	2,3	141,1	138,8	-	-	-
TOPLAM				863.907	18.643.113	840.838.678

C_{pm} =bacagazı spesifik ısı:0.3kcal/nm³ °C

V_a :hesaplanmış yanma havası miktarı nm³ /h

Teorik yanma havası miktarı:9,462 m³ / Sm³

Teorik bacagazı miktarı:12,96 m³ / Sm³

Fazladan çıkan baca gazındaki ısıyı temin etmek için yakılması gereken doğalgaz miktarı;

$\mu k = 0,859$

$m = \frac{840838678}{8250 \times 0,859} \cong 118649 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$



3.2. 2-No'lu kazan:

Hava Fazlalık Katsayısı: $\lambda=1$ 'e göre, 1 standart m^3 Doğalgaz için gerekli hava: $9,462 \text{ Sm}^3$ (stokiyometrik karışım)

Kazan no:2

$O_2 = 13,3 \%$ için fazla hava;

$$\frac{O_2}{21-O_2} \times 100 = \frac{13,3}{21-13,3} \times 100 = \frac{13,3}{7,7} \times 100 \cong 173 \%$$

$$\lambda = 1 + 1,73 = 2,73$$

1 Sm^3 doğalgaz yandığı zaman $\lambda=1$ 'e göre çıkan baca gazı miktarı $= 1 + 9,462 = 10,462 \text{ Sm}^3$ 'dür.

$\lambda=2,73$ 'e göre

$$9,462 \times 2,73 = 25,831 \text{ Sm}^3 \text{ hava}$$

1 Sm^3 doğalgaz ilavesi ile çıkan baca gazı miktarı;

$$1 + 25,831 = 26,831 \text{ Sm}^3 \text{ olur.}$$

1 Sm^3 doğalgaz yandığı zaman fazladan çıkan baca gazı miktarı,

$$26,831 - 10,462 = 16,369 \text{ Sm}^3 \text{ olur.}$$

Tablo 3. 2011 aylara göre Sm³/Ay değerleri (2 nolu kazan için).

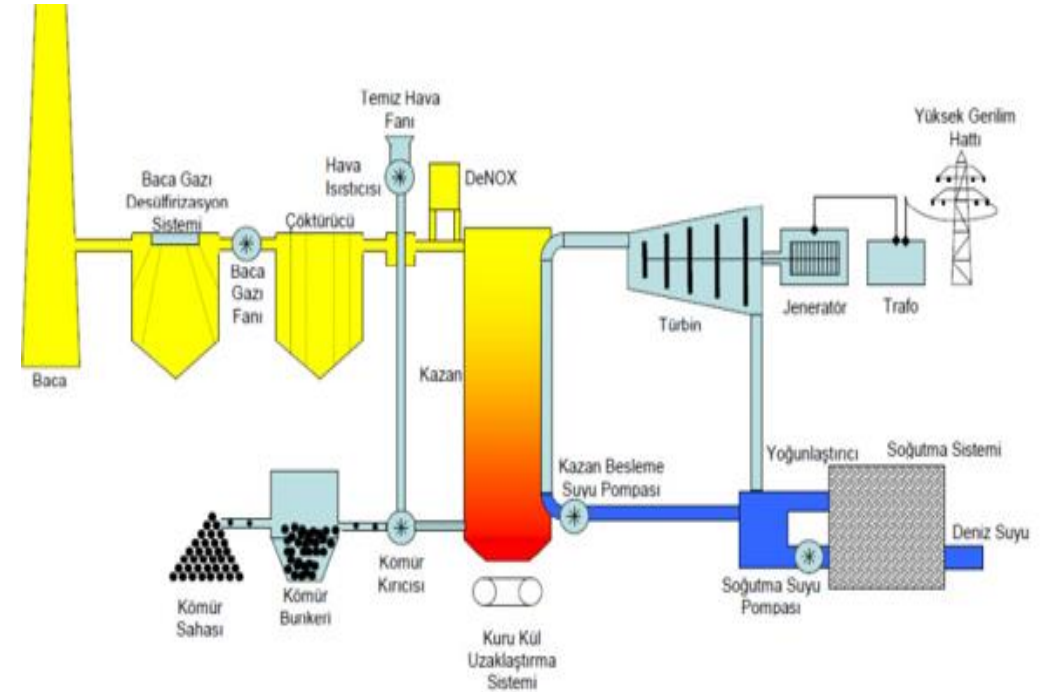
Ay	Sm³/Ay
Ocak	169.683
Şubat	287.134
Mart	180.788
Nisan	112.201
Mayıs	83.556
Haziran	
Temmuz	
Ağustos	
Eylöl	
Ekim	
Kasım	132.897
Aralık	204.082
Toplam	1,170.341

Tablo 4. $\lambda=2,73$ 'e göre fazla baca gazı değerleri (2 nolu kazan için).

	1 t ort Dış Sıcaklık °C	2 t °C baca gazı	3 $\Delta t^{\circ}\text{C}$ Sıcaklık Farkı	4 Doğalgaz tüketimi Sm^3	5 (V) Sm^3 Fazladan çıkan baca gazı (4)x16,369	6 Fazladan çıkan baca gazındaki ısı $Q=V \times C_p$ $\times \Delta t$ $C_p=0,33\text{Kcal/m}^3$
AYLAR						
OCAK	0,3	155,4	155,1	169.683	2.777.541	142.162.882
ŞUBAT	2,1	155,4	153,3	287.134	4.700.097	237.773.179
MART	6,2	155,4	149,2	180.788	2.959.319	145.705.019
NİSAN	11,3	155,4	144,1	112.201	1.836.618	87.336.704
MAYIS	16,1	155,4	139,3	83.556	1.367.728	62.873.096
HAZİRAN	20,2	155,4	135,2	-	-	-
TEMMUZ	23,6	155,4	131,8	-	-	-
AĞUSTOS	23,3	155,4	132,1	-	-	-
EYLÜL	18,7	155,4	136,7	-	-	-
EKİM	13,0	155,4	142,4	-	-	-
KASIM	6,7	155,4	148,7	132.897	2.175.391	106.748.611
ARALIK	2,3	155,4	153,1	204.082	3.340.618	168.778.056
TOPLAM				1.170.341	1.915.312	951.377.547

Fazladan çıkan baca gazındaki ısıyı temin etmek için yakılması gereken doğalgaz miktarı;
 $\mu_k = 0,872$

$$M = \frac{951377547}{8250 \times 0,872} \approx 132246 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$$



3.3. 3-No'lu kazan:

Hava Fazlalık Katsayısı: $\lambda=1$ 'e göre, 1 standart m^3 Doğalgaz için gerekli hava: $9,462 \text{ Sm}^3$ (stokiyometrik karışım)

Kazan no:3

$O_2 = 13,5 \%$ için fazla hava;

$$\frac{O_2}{21-O_2} \times 100 = \frac{13,5}{21-13,5} \times 100 = \frac{13,5}{7,5} \times 100 = 180 \%$$

$$\lambda = 1 + 1,80 = 2,80$$

1 Sm^3 doğalgaz yandığı zaman $\lambda=1$ 'e göre çıkan baca gazı miktarı $= 1 + 9,462 = 10,462 \text{ Sm}^3$ dür.

$\lambda=2,80$ 'e göre

$9,462 \times 2,80 \cong 26,494 \text{ Sm}^3$ hava

1 Sm^3 doğalgaz ilavesi ile çıkan baca gazı miktarı;

$$1 + 26,494 = 27,494 \text{ Sm}^3 \text{ olur.}$$

1 Sm^3 doğalgaz yandığı zaman fazladan çıkan baca gazı miktarı,

$$27,494 - 10,462 = 17,032 \text{ Sm}^3 \text{ olur.}$$



Tablo 5. 2011 aylara göre Sm³/Ay değerleri (3 nolu kazan için).

Ay	Sm ³ /Ay
Ocak	169.683
Şubat	329.435
Mart	129.452
Nisan	39.066
Mayıs	70.787
Haziran	
Temmuz	
Ağustos	
Eylül	
Ekim	
Kasım	137.384
Aralık	205.593
Toplam	1,081.400

Tablo 6. $\lambda=2,80$ 'e göre fazla baca gazı değerleri (kazan 3 için).

	1 t ort Dış Sıcaklık °C	2 t °C baca gazı	3 $\Delta t^{\circ}\text{C}$ Sıcaklık Farkı	4 Doğalgaz tüketimi Sm^3	5 (V) Sm^3 Fazladan çıkan baca gazı (4)x17,032	6 Fazladan çıkan baca gazındaki ısı $Q=V \times C_p$ $\times \Delta t$ $C_p=0,33\text{Kcal/m}^3$
AYLAR						
OCAK	0,3	136,2	135,9	169.683	2.890.041	129.609.662
ŞUBAT	2,1	136,2	134,1	329.435	5.610.937	248.300.791
MART	6,2	136,2	130	129.452	2.204.827	94.587.055
NİSAN	11,3	136,2	124,9	39.066	665.372	27.424.642
MAYIS	16,1	136,2	120,1	70.787	1.205.644	47.783.296
HAZİRAN	20,2	136,2	116	-	-	-
TEMMUZ	23,6	136,2	112,6	-	-	-
AĞUSTOS	23,3	136,2	112,9	-	-	-
EYLÜL	18,7	136,2	117,5	-	-	-
EKİM	13,0	136,2	123,2	-	-	-
KASIM	6,7	136,2	129,5	137.384	2.339.924	99.996.664
ARALIK	2,3	136,2	133,9	205.593	3.501.660	154.727.849
TOPLAM				1.081.400	18.418.40 5	802.429.959

Fazladan çıkan baca gazındaki ısıyı temin etmek için yakılması gereken doğalgaz miktarı;

$$\mu_k = 0,889$$

$$M = \frac{802429959}{8250 \times 0,889} = 109409 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$$



4. SONUÇLAR:

Ek 4'te görüldüğü gibi 2011 yılı ABD Dolar kuru 1.84 TL'dir.

Ek 5'de ise 03/09/2019 tarihi itibarıyla ABD Dolar kuru 5.79 TL'dir.

Buna göre; 2011 yılı hava fazlalık katsayısı nedeniyle fazladan çıkan baca gazı miktarları ve tutarı aşağıdaki gibidir.

1 no P=118.649 Sm³ /Yıl x 0,60 TL/ Sm³ = 71.190 TL/Yıl

2 no P=132.246 Sm³ /Yıl x 0,60 TL/ Sm³ = 79.348 TL/Yıl

3 no P=109.409 Sm³ /Yıl x 0,60 TL/ Sm³ = 65.645 TL/Yıl

2011 yılı döviz kuruna göre toplam kaybın parasal değeri: 216.183 TL/yıl'dır.

2019 yılı itibarı ile kayıp edilen para değeri ise ek 5'te yer alan fiyatlara göre;

2011 yılında doğalgaz: 0,32\$/Sm³'tür.

2019 yılı için doğalgaz fiyatı: 5.79x0,32=1,85 TL/Sm³'tür.

1 no lu P=118.649 Sm³ /Yıl x 1,85 TL/ Sm³ = 219.501 TL/Yıl



2 no P=132.246 Sm³ /Yıl x 1,85 TL/ Sm³ = 244.655 TL/Yıl

3 no P=109.409 Sm³ /Yıl x 1,85 TL/ Sm³ = 202.407 TL/Yıl

2019 yılı döviz kuruna göre toplam kaybın parasal değeri: 666.563 TL/yıl'dır.

Bu çalışmamızın simülasyon edilmesi için gerekli koşullar literatürden alınan örnek bir çalışma ile Ek 10'da açıklanmıştır (Gómez, Calleja, Fernández, Kiedrzyńska, & Lewtak, 2019). Simulasyon uygulamaları izleyiciye görsellik kazandırma ve doğru yanmanın önemi konusunda önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

5. KAYNAKÇA

- Anonim. (2018). Binlarda enerji verimliliğini sağlayacak yeni kanun. Retrieved 10.09.2019, 2019, from <https://images.app.goo.gl/Fsp31kdzLsvJMwdL9>
- Bergamini, R., Jensen, J. K., & Elmegaard, B. (2019). Thermodynamic competitiveness of high temperature vapor compression heat pumps for boiler substitution. *Energy*, 182, 110-121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.187>
- Gómez, H. O., Calleja, M. C., Fernández, L. A., Kiedrzyńska, A., & Lewtak, R. (2019). Application of the CFD simulation to the evaluation of natural gas replacement by syngas in burners of the ceramic sector. *Energy*, 185, 15-27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.064>
- Wang, Z., Zhang, X., Han, J., & Li, Z. (2017). Waste heat and water recovery from natural gas boilers: Parametric analysis and optimization of a flue-gas-driven open absorption system. *Energy Conversion and Management*, 154, 526-537. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.042>
- Weber, R. (1996). Scaling characteristics of aerodynamics, heat transfer, and pollutant emissions in industrial flames. *Symposium (International) on Combustion*, 26(2), 3343-3354. doi: [https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(96\)80182-2](https://doi.org/10.1016/S0082-0784(96)80182-2)
- Zhao, Y., Wang, S., Ge, M., Li, Y., & Liang, Z. (2017). Analysis of thermoelectric generation characteristics of flue gas waste heat from natural gas boiler. *Energy Conversion and Management*, 148, 820-829. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.029>

ÖZGEÇMİŞ

Hatice Nüket AKINCI

Mesleğinin ilk yıllarında ağır sanayide ticari araçlara makas imalatı yapan bir fabrika kurulumunda yüksek fırınların projelerinde, daha sonra üretim ve işletme, kalite konularında çeliğin işlenişi nasıl kullanılır hale 2 geldiğinin aşamalarındaki proseslerin oluşturulduğu bir şirkette görev yapmıştır. DSI teşkilatının çalışmalarının en üst dönemde olduğu Karakaya- Atatürk barajının yapımı yıllarında DSI' de çalışma imkânı bulmuştur. İstanbul Kadıköy belediyesinden emekli olmuştur. Mekanik proje müellifliklerinin ardından Enerji verimliliği EVD firmasında Genel Müdür olarak çalışmıştır. Sanayi ve bina etüt proje çalışmalarının yanı sıra, JICA ve UNIDO ile de enerji verimliliği konularındaki faaliyetlerde bulunmuştur. Ardından sahip olduğu EVD şirketi vasıtasıyla enerji konularında iş hayatına devam etmektedir.

Cemil KOYUNOĞLU

Cemil Koyunoğlu 1980 yılında Malatya'da doğdu. Birinci sınıfı bitirdikten sonra ailesi Malatya'dan Antalya'ya taşındı. Üniversiteye kadar Antalya'da öğrenimini tamamladı. İnönü Üniversitesi Kimya Mühendisliği mezunudur. Lisans derecesinden mezun olduktan sonra İnönü-Pal uluslararası analiz geçerliliği bulunan akredite akaryakıt laboratuvarını kuran ekibin başında olan insanlardan biriydi. Daha sonra, Uluslararası akreditasyon için gerekli SGS Netherland ile İnönü Üniversitesi arasındaki yeterlilik testini sağlayarak kurum yöneticisinden referans mektubu aldı. Bu görevi ile birlikte başladığı yüksek lisans derecesini aynı bölümde tamamladı. Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak akademik hayatına başlayan Cemil Koyunoğlu. 2011 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü'nde doktora eğitimine başladıktan sonra, 2013 yılında akademik çalışmalarını sürdürmek için kadrosu İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü'ne aktarıldı.

Burada online “Petrol ürünleri ve yağlama ürünleri test & sertifika” dersini kurdu. Ders 21 Ağustos 2014 tarihinde Temel Bilim ve Mühendislik derslerinde Amerika’nın Virginia Eyaletinde bulunan Technology ED platformunda yayımlanmaya başladı. Kurumun ABD’de onaylı 13 akredite üniversite ile işbirliği vardır. Yurtdışında doktora sırası araştırma bursu ile 2015-2016 tarihleri arasında bulunan Cemil Koyunoğlu SAE International havacılık mühendisleri ile hazırladığı “New Advancements in fuels and lubricants for the aerospace industry: Part-1.: Introduction” kitabını türkiyeye döndüğü zaman Hiperlink Yayınevi aracılığı ile okuyucularına sundu. Cemil Koyunoğlu, literatüre geçen Cml, CmlK ve CmlY yanma denklemleri ile enerji verimliliği ve endüstri 4.0 uygulamalarına ışık tutacak katkılar sunmuştur. 3 Nobelli akademisyenin bulunduğu Intechopen akademik yazar editörleri arasındadır. Halen Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde akademik çalışmalarına devam etmektedir. Nature Scientific Reports ve Energy gibi önemli yurt dışı ve ulusal dergilerde yayımlanan yayınlarının yanında enerji teknolojileri konularında akademik yayın çalışmalarına devam etmektedir. Uluslararası Journal of Dynamics and Machines, International Journal of Endocrinology and Diabetes, Frontiers in Biomedical Nanoscience & Nanotechnology (FBNN) dergi editörlüğünün yanında, Intechopen ve Bentham kitap editörlüklerine devam etmektedir. TMMOB İstanbul MMO Enerji Komisyonu ve TMMOB İstanbul Kazan ve Basınçlı Kaplar komisyonu akademik üyesidir.

Tablo 4: Son üç yıla ait enerji tüketimleri ve maliyetleri.



	<u>doğalgaz</u> (tep)	<u>elektrik</u> (tep)	<u>toplam</u> (tep)	<u>dgaz</u> %	<u>elektrik</u> %
2009	-	632,9	-	-	-
2010	3.318,5	646,9	3.965,4	84	16
2011	4.521,7	671,8	5.193,5	87	13
Toplam	-	1.951,6	-	-	-
Ortalama	-	650,5	-	-	-
	<u>doğal gaz</u> (kwh)	<u>elektrik</u> (kwh)	<u>Toplam</u> (kwh)	<u>dgaz</u> %	<u>elektrik</u> %
2009	-	7.359.892	-	-	-
2010	38.587.209	7.523.132	46.110.341	84	16
2011	52.577.906	7.812.343	60.390.249	87	13
Toplam	-	22.695.367	-	-	-
Ortalama	-	7.565.122	-	-	-
	<u>doğal gaz</u> (TL)	<u>elektrik</u> (TL)	<u>toplam</u> (TL)	<u>dgaz</u> %	<u>elektrik</u> %
2009	-	1.805.299	-	-	-
2010	2.362.419	1.980.867	4.343.286	54	46
2011	3.320.636	2.062.274	5.382.910	62	38



Bu hizmeti kullanarak Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası tarafından yayınlanan günlük döviz kurlarını görüntüleyebilirsiniz.

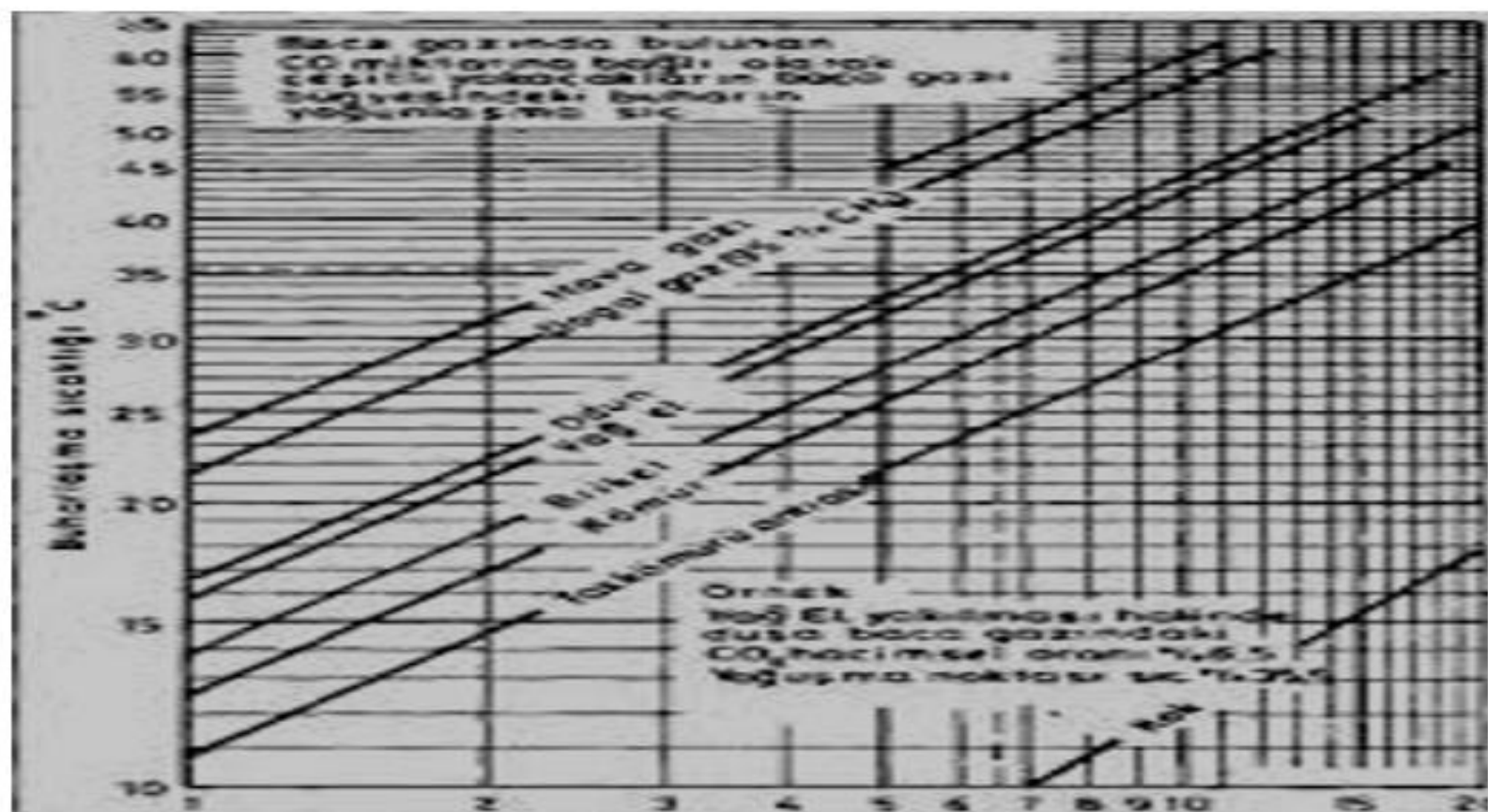


Bugüne ait gösterge niteliğindeki kurlar saat 15:30 sonrasında güncellenmektedir. Lütfen tarihi kontrol ediniz.

03.09.2019 tarihinde belirlenen gösterge niteliğindeki TCMB kurları

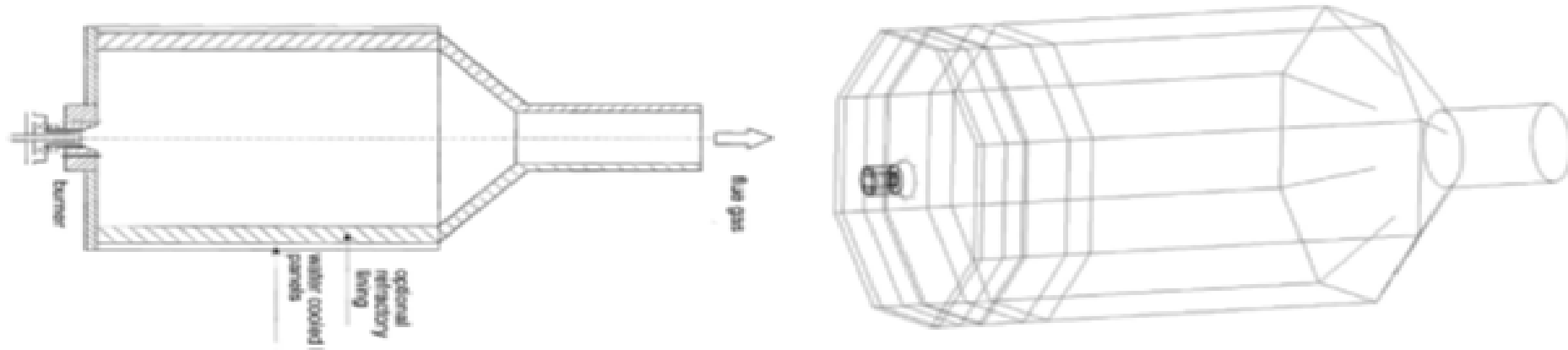
Döviz Cinsi	Döviz Alış	Döviz Satış	Efektif Alış	Efektif Satış
1 ABD DOLARI	5.7726	5.783	5.7686	5.7917
1 AVUSTRALYA DOLARI	3.8729	3.8982	3.8551	3.9216
1 DANI MARKA KRONU	0.84574	0.84989	0.84514	0.85185
1 EURO	6.316	6.3273	6.3115	6.3368
1 INGİLİZ STERLİNİ	6.9159	6.952	6.9111	6.9624
1 İSVİÇRE FRANGI	5.8129	5.8502	5.8042	5.859
1 İSVEÇ KRONU	0.58184	0.58787	0.58144	0.58922

2011 yılı oran doğalgaz birim fiyatları				
Sayaç No	TOPLAM TÜKETİM (M3/YIL)	TOPLAM TUTAR (TL/YIL)	ORTALAMA BİRİM FİYAT (TL/M3)	ORTALAMA BİRİM FİYATI (TL/M3)
100900713	1288423	780033,27	0,605417064	0,601537729
1009000711	863907	497571,49	0,575954923	
75086361	183367	106220,62	0,579278823	
1009000714	1081400	664669,03	0,614637535	
1009000548	1170341	717041,86	0,612677724	
1009000723	893507	555100,43	0,621260304	

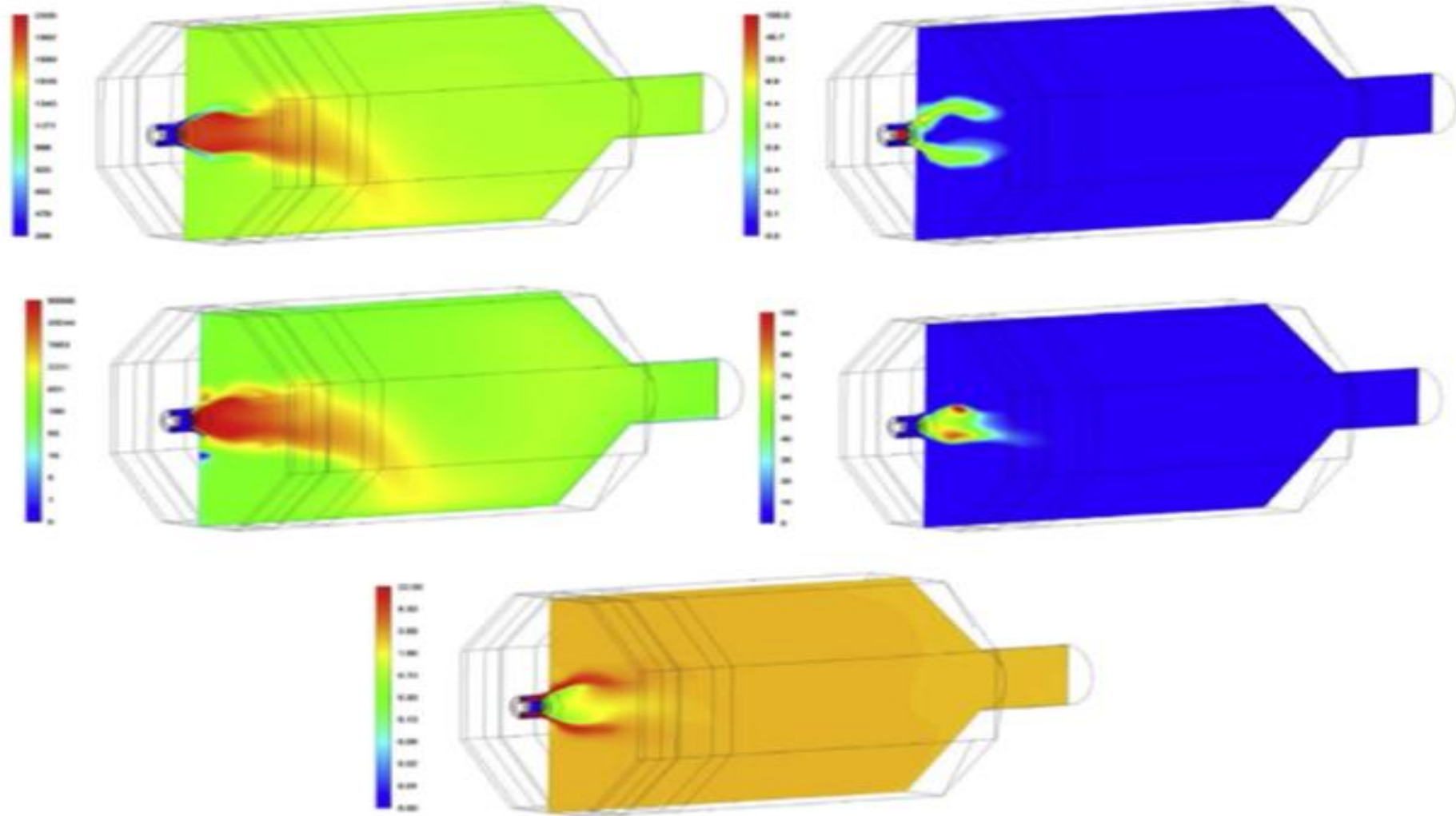


Ek 10: Doğal gaz kazanları için nümerik yöntemler: Simulasyon uygulamalarına örnek bir çalışma

Yakma modelini doğrulayan sayısal simülasyonlar, Brülör Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda (BERL) gerçekleştirilen NG yanmasının iyi belgelenmiş deneysel sonuçları için gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları IFRF raporuna dahil edilmiştir (IFRF F40 / y / 11). Doğrulama modelinin fırın geometrisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Fırın simetri düzleminde metan, karbon monoksit, hidrojen ve oksijen profillerinin sıcaklık ve molar oranı simülasyonlara göre Şekil 2'de toplanmıştır. Ele alınan CFD modelleri şunlar olmuştur: k-e türbülans modeli; ölçeklenebilir duvar fonksiyonları; ayrık koordinatlar radyasyon modeli; P-V ile birleştirilmiş model ikinci dereceden uzamsal mekânsal arttırımı.



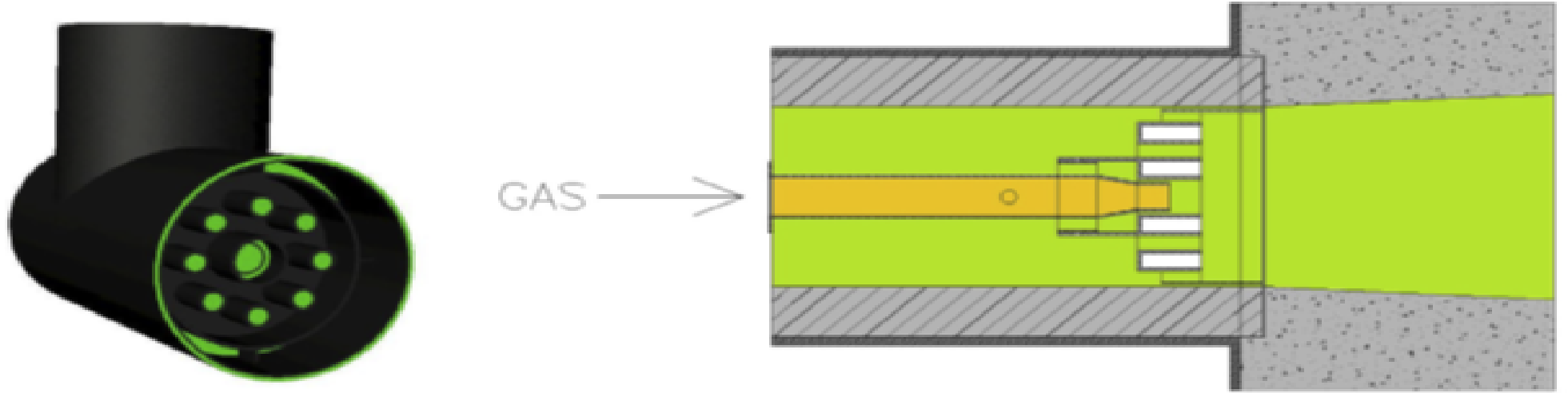
Şekil 1. The BERL experimental scheme.



Şekil 2. Sıcaklık ve CO, CH₄, H₂ ve O₂ için CFD çözümlmeleri.

1. Modifiye edilmemiş brülörlerin CFD simülasyonları

Ortak ateşlemeli CFD simülasyonlarını gerçekleştirmek için, seramik sektörü fırınına uygulanan bir brülör düşünülmüştür: Kuzey Amerika 4820-10B marklı brülörün modifiye edilmemiş geometrisi Şekil 3'te sunulmuştur. Yeşil bölge brülöre hava girişlerini temsil ederken, NG girişi turuncu renkte gösterilmiştir. Geçerli brülörün nominal gücü 2500 kW'dır. Bu gücü elde etmek için, NG tüketimi $180\text{Nm}^3/\text{sa}$ (0.347 kg/s) olmalıdır. Mevcut brülör gazı girişi, Şekil 3'ün (soldaki) yeşil bölgesinde çok yüksek ve mümkün olmayan (Tablo 1.) syngas/NG için bir hız oluşturur.



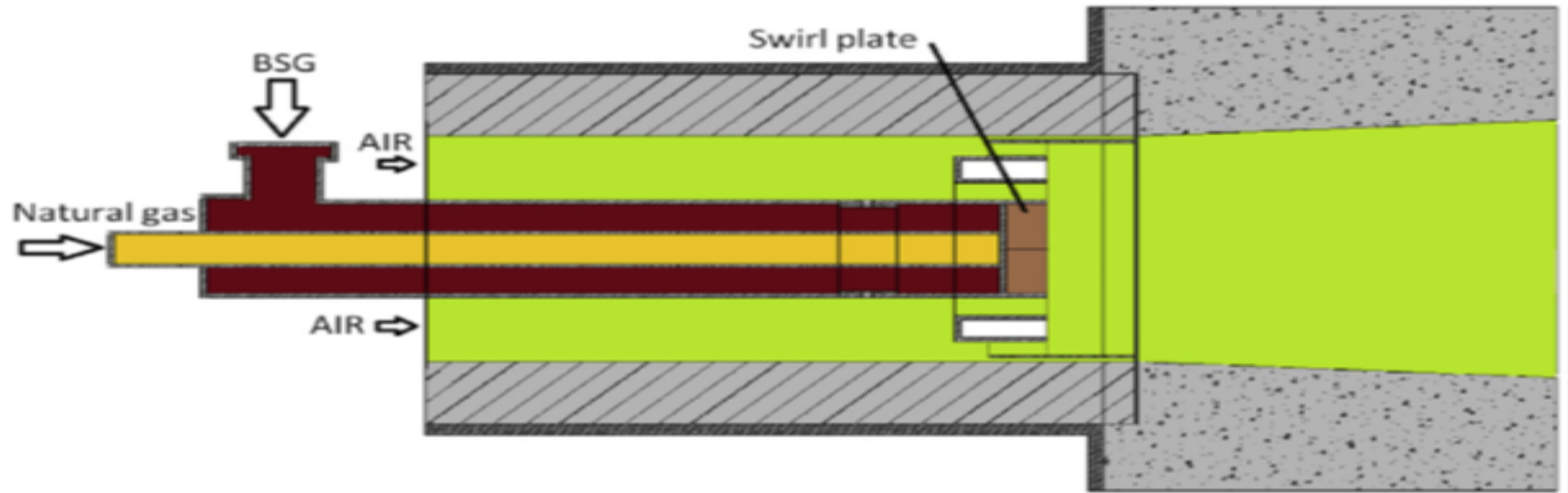
Şekil 3. Modifiye olmayan kazanlar için 2 (soldaki) ve 3 (sağdaki) boyutlu CFD çizimleri.

Tablo 1. NG/Syngas karışımının modifiye olmayan kazanlar için CFD girdileri (NG: Doğalgaz, Syngas: Sentez gazı).

Yakıt	hız, m/s
NG 100 %	42.17
BSG1 10 % + NG 90 %	134.71
BSG1 40 % + NG 60 %	418.71
BSG3 10 % + NG 90 %	95.11
BSG3 40 % + NG 60 %	248.36
POG2 10 % + NG 90 %	92.70
POG2 40 % + NG 60 %	241.70

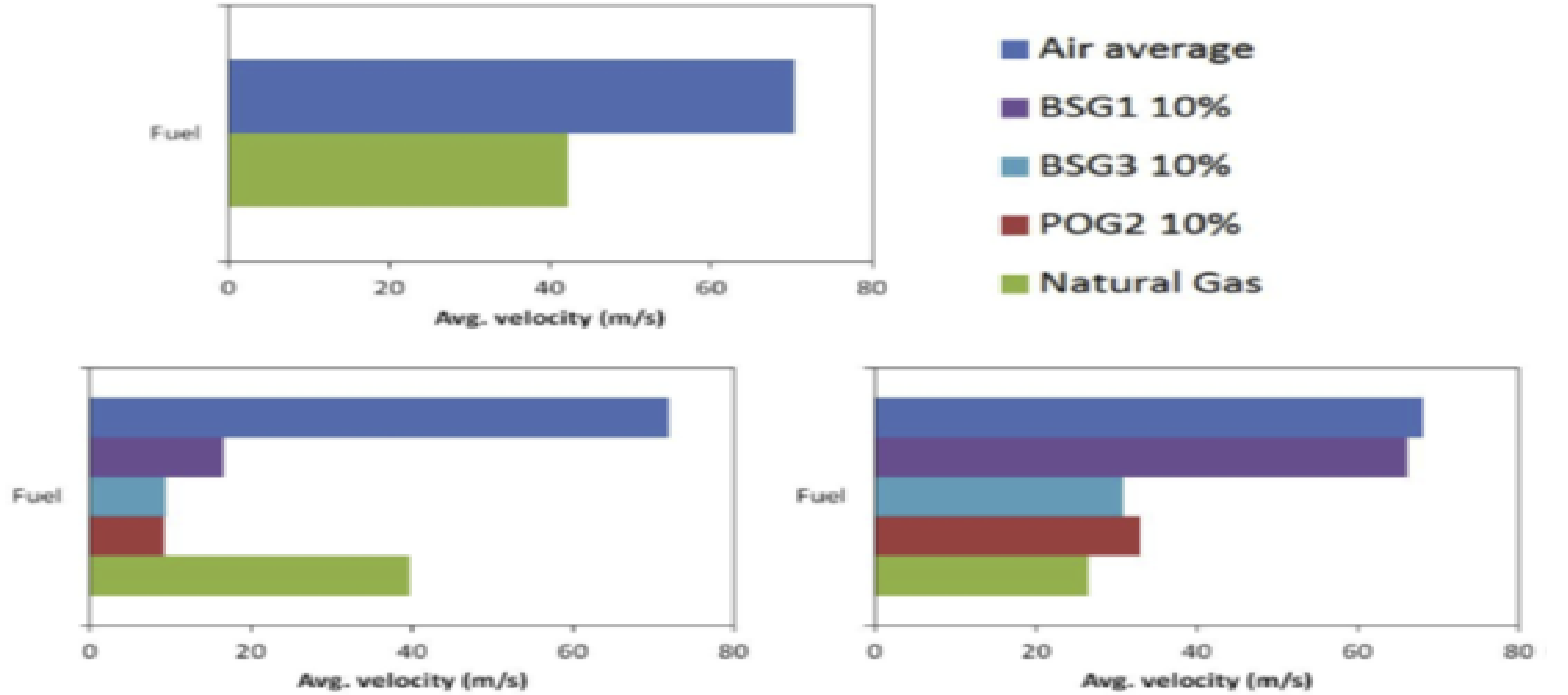
2. Uyarlanmış brülörlerin CFD simülasyonları

Brülörün şu andaki tasarımı, Tablo 1'deki hızlara göre syngas ikamesi gerçekleştirememiştir. Bu nedenle, brülörün geometrisinden faydalanarak, doğal gazın girişine dairesel bir şekilde yapılandıran bir konfigürasyona sahip bir tasarım önerilmektedir (Şekil 4). Farklı karışımlar için akış girişleri ortalama hızı değerlendirildi (Şekil 4) ve tüm türlerin karışmasını sağlayan bir karıştırıcı kullanımını değerlendirmeye karar verildi. Not: Her gazın benzer olmasına rağmen kendi hava gereksinimi vardır. Şekil 5'e göre, farklı akışlar (NG, SG ve hava) arasındaki hız gradyanının, süstitüsyonun % 40'ındaki NG 100% referans durumu kadar yüksek olmadığı bilinmektedir. Bu, gazlar ve hava arasında bir karışım problemi doğurabilir. SG, NG ile hava arasındaki karışımı sınırlayan "film" görevi görür. Bu sorunu önlemek için, brülör çıkışına bir girdap plakası yerleştirilir. İki farklı girdap plakası geometrisi önerilmiştir (Şekil 6). Her iki geometri de 22,5 açıda bıçaklara sahiptir. İki tasarım arasındaki temel fark, ilkinde, syngas'ın bıçaklar grubundan akması ve doğal gazın düz eksenel kanaldan geçmesi, ikincisinde ise gelen tüm yakıt akışlarının kanatlar ve difüzyon konisinden geçmesidir. İkinci geometride, gaz karışımını arttırmak için kanatların içinden doğal gaz akışını kolaylaştırmak için konik bir eleman yerleştirilmiştir. Yakıt-hava oranı (FR) parametresi, stokiyometrik hava gereksinimi ve hava gereksinimi oranını ifade eden, doğru hava-gaz-doğal gaz karışım derecesini belirlemek için anahtar parametredir ve şöyle tanımlanır:



Şekil 4. Önerilen değişimleri içeren bir yakıcı.

$FR > 1$ yakıt fazlalığı (hava arızası) ve $FR \approx 1$ stokiyometrik hava ve $FR < 1$ hava fazlalığı anlamına gelir. Yakıtın havaya oranı, özellikle 0,5 ile 1,2 arasında olmak üzere üniteye yakın olması durumunda daha iyidir. Karışımın uygunluğunu hesaplamak için, brülöre yakın dört ölçüm yüzeyi seçilmiştir: girdap plakasının (y koordinatı) sona ermesinden bu yana 125, 250, 375 ve 450 mm. Tablo 2 ve Tablo 3'de elde edilen sonuçları göstermektedir. Her iki tablo da iki farklı geometri için dört ölçüm yüzeyinde yakıtın hava oranını göstermektedir. Sonuçlar her iki durumda da oldukça benzerdir ancak yanma ürünleri ilk (değiştirilmemiş) brülöre göre daha düzgün dağılmıştır. BSG1% 40 için geometri 2 ve 450 mm'de POG 2% 40 olduğunda, hava-hava oranının daha yüksek olduğu belli bir fark gözlenebilir. Bu etki geometri için daha az belirgindir. Bu her iki girdap konfigürasyonu, doğru bir yanma elde etmek için bileşiklerin uygun bir şekilde karıştırılmasını ve değerler arasında yakıtın hava oranını sağlar. Önerilen döngü (swirl), üç akışın olmasına izin verir: hava, doğal gaz ve syngas (BSG veya POG), düşünülen altı yanma durumunda da uygun şekilde karıştırılmasını sağlar.



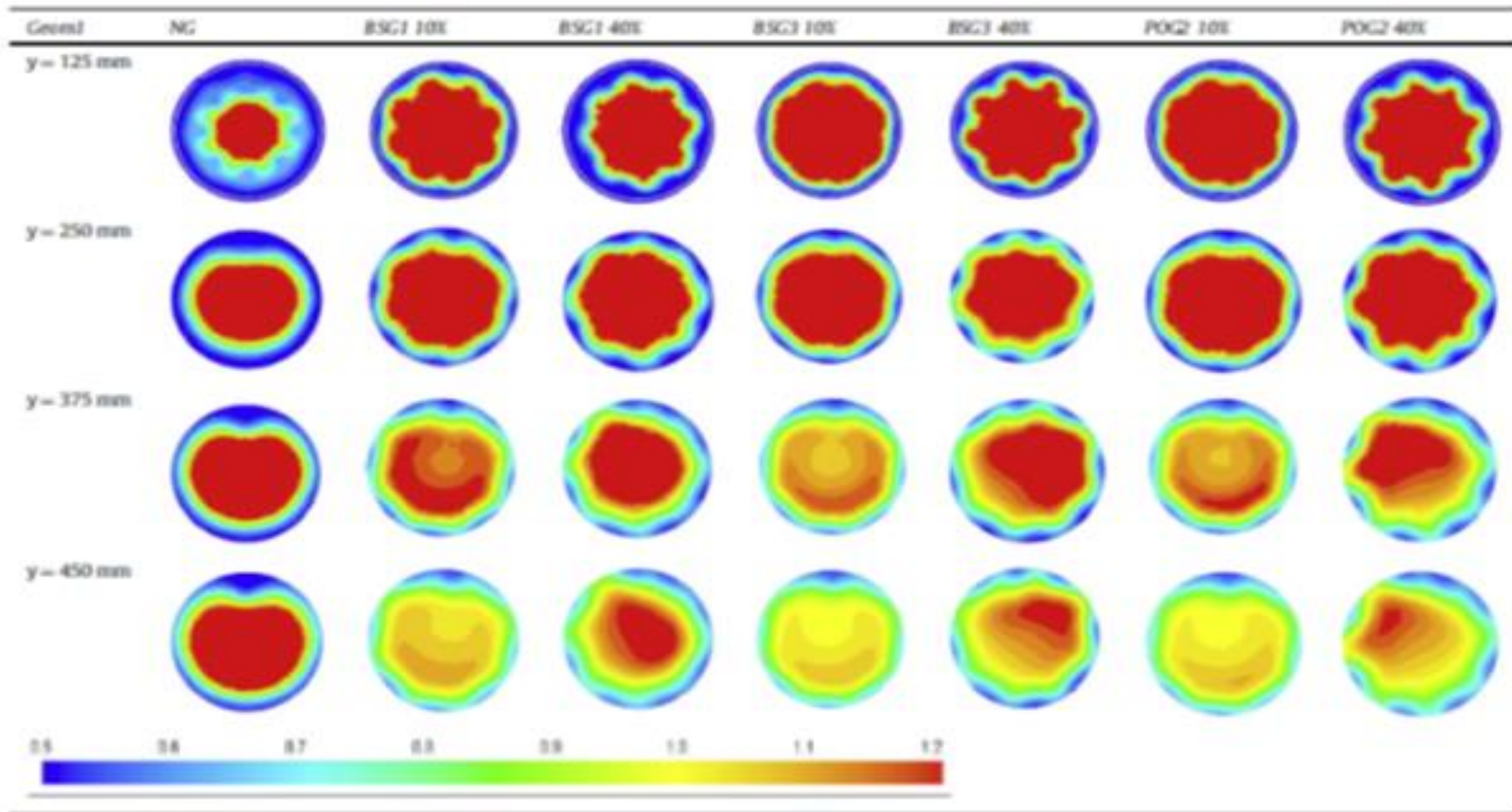
Şekil 5. SG/NG karışımı için ortalama hız a) NG b) NG 90 % + SG 10 % c) NG 60 % + SG 40 %.



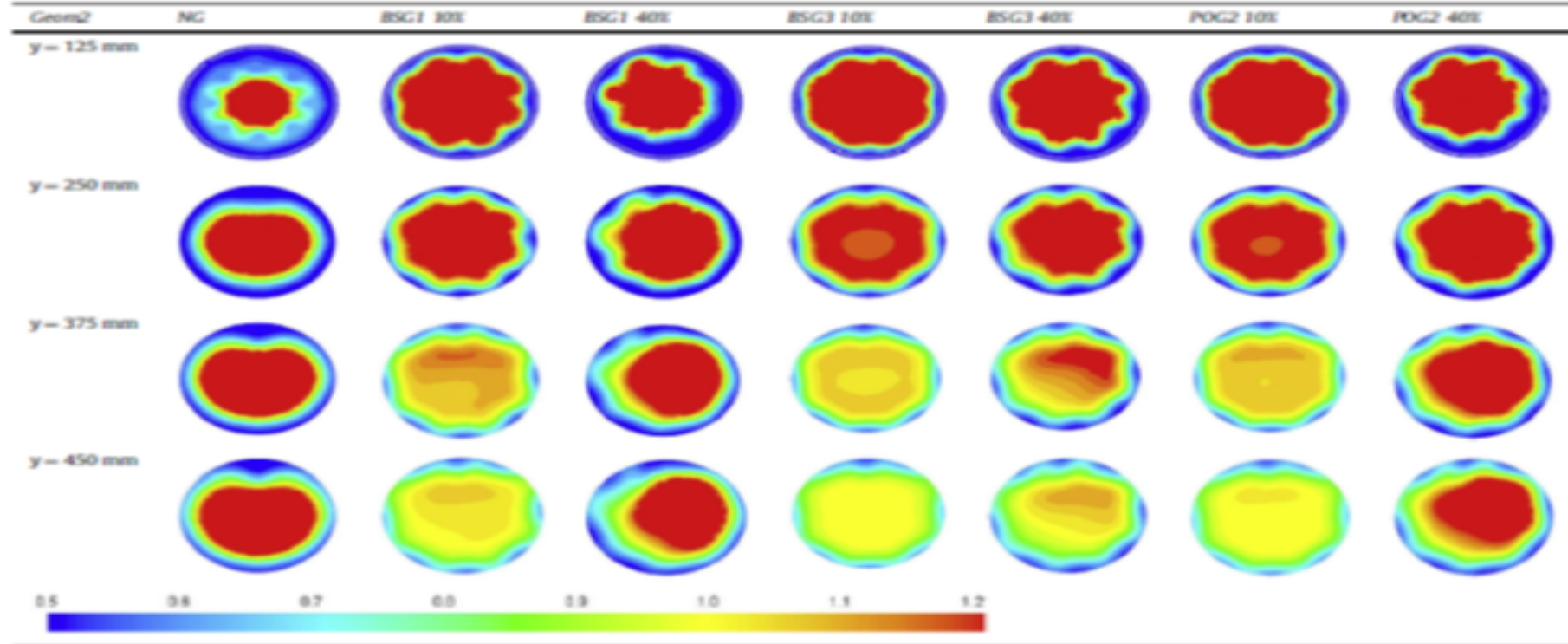
Şekil 6. Döner tabaka modifikasyonu yapılan yakıcı a) geometri 1 b) geometri 2.

Tablo 2. Hava yakıt oranı (stokiyometrik hava gereksinimi/hava gereksinimi) değişik syngas/NG bileşimleri için ve 4 yakıcı pozisyonu için.

Tablo 2. Hava yakıt oranı (stokiyometrik hava gereksinimi/hava gereksinimi) değişik syngas/NG bileşimleri için ve 4 yakıcı pozisyonu için.



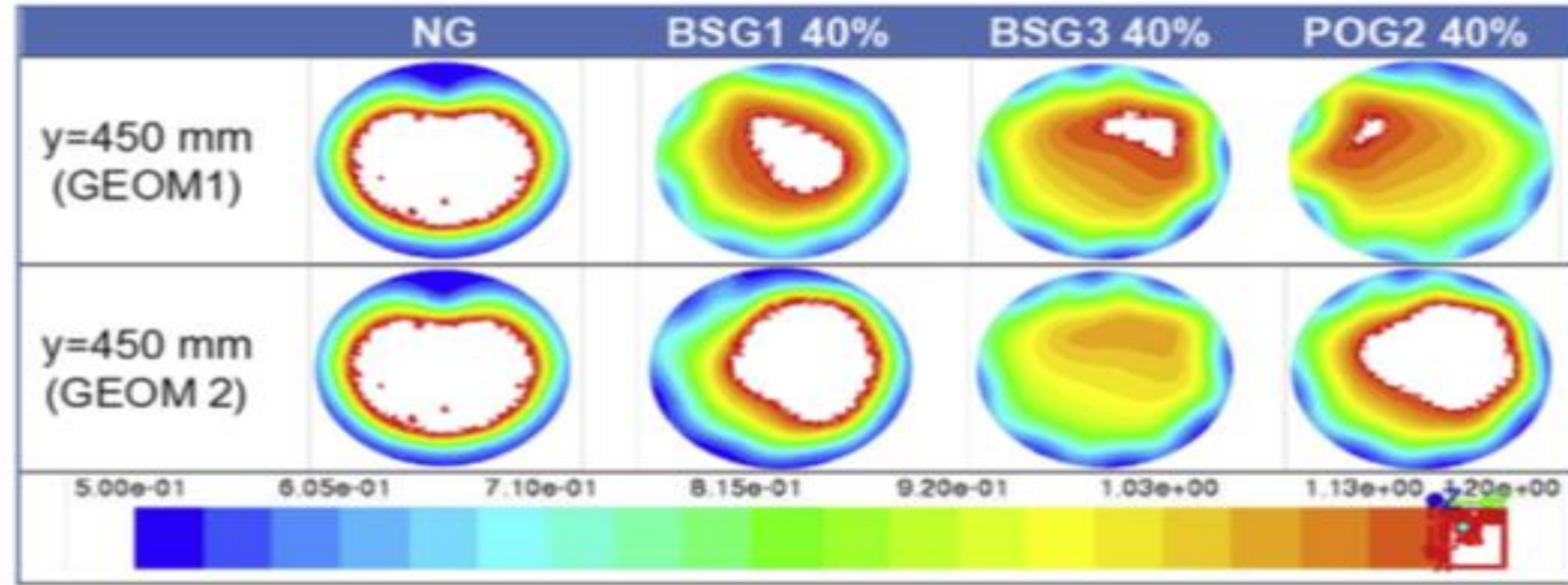
Tablo 3. Hava yakıt oranı (stokiyometrik hava gereksinimi/hava gereksinimi) değişik syngas/NG bileşimleri için ve 4 yakıcı pozisyonu için.



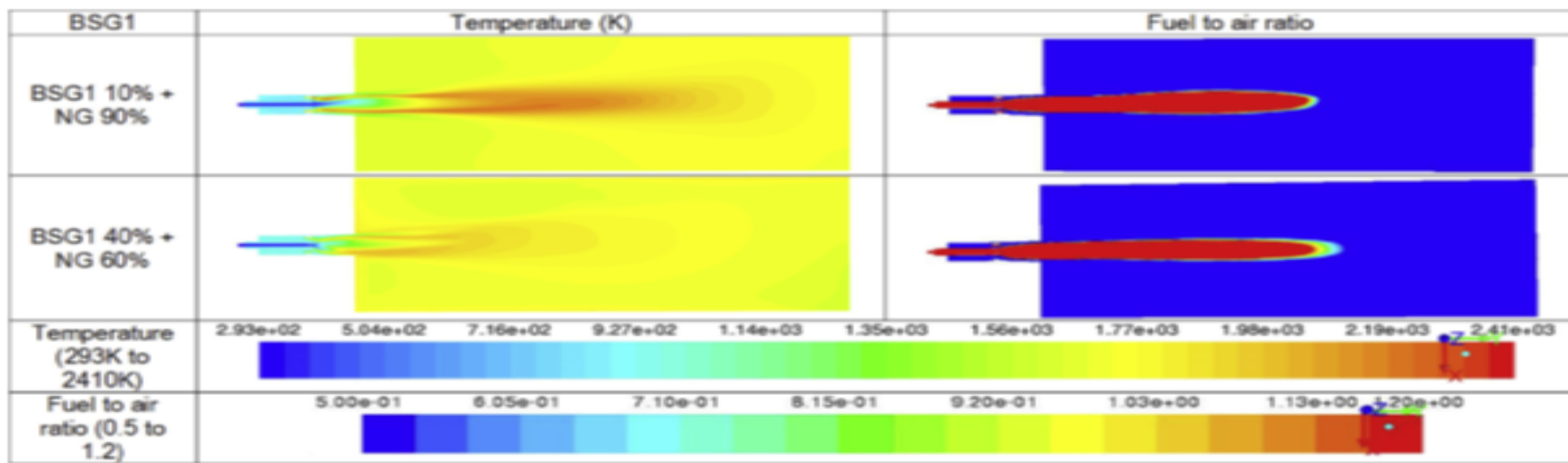
Bu parametre, SG değişiminin% 10'u ve% 40'ı için farklı yüzeylerde değerlendirildi, ancak en önemli profiller Tablo 4'te gösterildi. Burada en uygun karışım bölgesinin (0,5 - 1,2 arası yakıt oranı) gösterdiği görülüyor. Tüm doğal gaz ve syngas karışımları için geometri 1'de geometri 2'den daha büyük bir yüzey kaplar. Bu, daha kolay brülör adaptasyonu ve daha yüksek mekanik dirençle birlikte kullanıldığında, geometriyi 1 eşleştirme için daha iyi bir seçenek haline getirir. Optimize edilmiş geometri (Geometri 1) ve doğrulanmış yanma modelleri dikkate alındığında, farklı karışımlar için yanmanın bir termo-akışkan dinamik bakış açısıyla değerlendirilmesi önemlidir. Tablo 5, GNG'nin% 10 ve% 40'ının enerji ikamesi için BSG1 (hava ile gazlaşmadan gelen singaz) için sıcaklık ve yakıt/hava oranı profillerini göstermektedir. Bu simülasyonlarda, Tablo 4'te gösterilen onaylanmış yanma modeli tanıtılmıştır.

Ayrıca, türbülans modelleri (k-e türbülans modeli) de dahil edilmiştir. Bu iki model ile, simülasyon yazılımı bu tür problemlerin çalkantılı yanmasını tahmin edebilmektedir.

Tablo 4. Fg'ye göre iki geometrinin 40 % bileşimi için optimim karışma bölgesi.

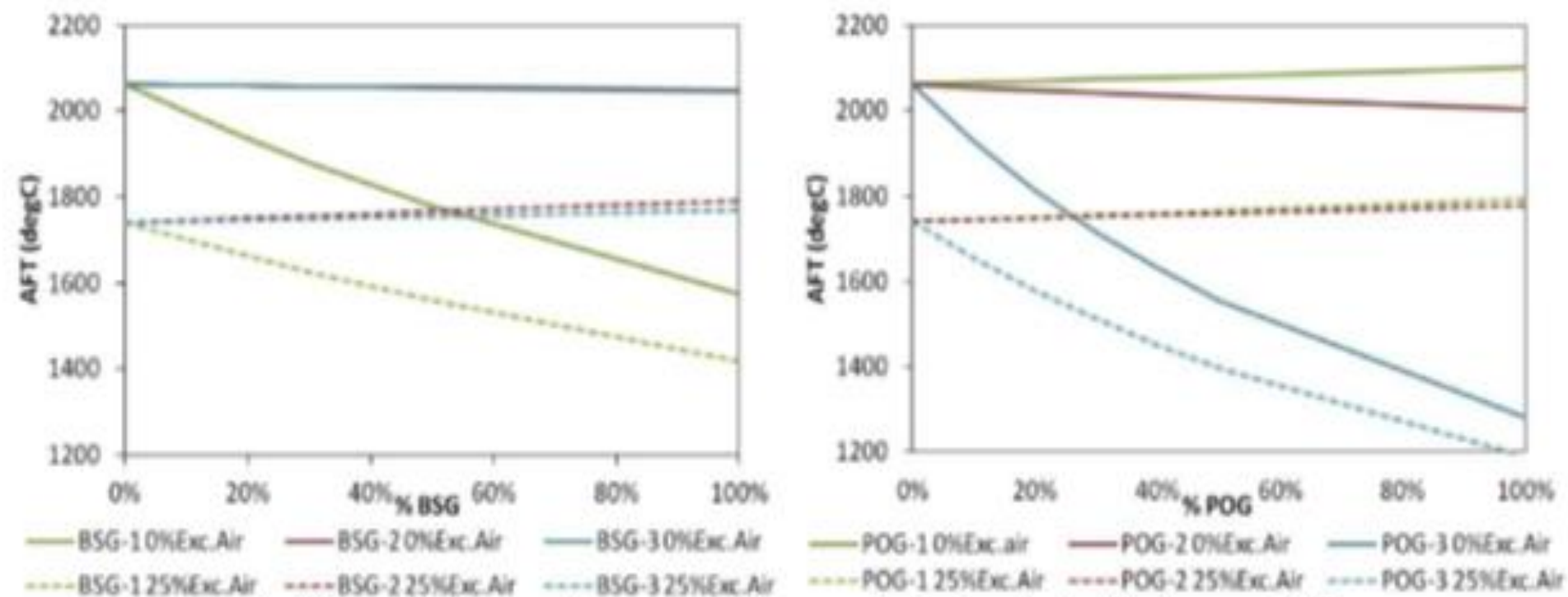


Tablo 5. BSG1 10 % ve 40 % için sıcaklık ve yakıt oranı.



% 40 ikame durumunda, karışımın düşük kalorifik değeri nedeniyle alev profilinin % 10'dan daha uzun olduğu görülebilir. Alev çok daha uzun değildir (10-15 cm), bu da referans durumuna mümkün olduğunca benzer bir davranış sergilemek için iyidir. Fırının çalışmasını göz önünde bulundurarak, alevin referans durumu ile aynı şekilde freleri etkilemesi önemlidir. Her iki durumda da ortalama fırın sıcaklığı benzerdir (-10°C), bu tüm yanma türlerinin yakıldığına bir göstergesidir. İkamenin % 40'ı için, alev profili, karışımın düşük kalorifik değeri nedeniyle de daha yaygındır. Alev içindeki maksimum sıcaklık, karışımın LHV'sinin ve sentez gazındaki düşük nitrojen konsantrasyonunun (% 40'a göre süstitüsyonunun % 10'unda % 15) nedeniyle % 10 ikamede daha yüksektir. Ek olarak, bu değerler adyabatik alev sıcaklığının, AET'nin değerlendirildiği bölüm 2.4'te yapılan teorik çalışmalara çok benzerdir (Şekil 7). % 10 ikame durumunda, maksimum sıcaklık, teorik çalışmada elde edilenlerle neredeyse aynı değerlerde olan 2000°C 'ye ulaşır. Benzer şekilde, % 40 durumunda, maksimum sıcaklık 1750°C 'ye yakındır, bu teorik profillerde elde edilen sonuçlara çok benzer. Tablo 10, her iki durumda da fırının çıkışındaki baca gazı kompozisyonunu göstermektedir. BSG1% 10 ve BSG1% 40. Her iki baca gazı, havadaki

içeriğinden dolayı çoğunlukla üçte ikisi civarında azottan oluşur. Her iki durumda da, çıkışta tüm yakıtın fırına yakılmasını gerektiren metan, etan ve hidrojen yoktur. CO ve CO₂ emisyonları, bileşimindeki daha yüksek CO içeriği nedeniyle SG ikame oranı arttıkça artar.



Şekil 7. BSG karışımları ve POG karışımları için adyabatik alev sıcaklığı