

## ORGANİK ATIKLARIN FERMANTASYONU SONUCU ELDE EDİLEN BİYOGAZLARIN YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Murat ŞAHİN<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-1478-3221)\*

<sup>1</sup>Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye

**Geliş / Received:** 04.04.2018

**Kabul / Accepted:** 30.07.2018

### ÖZ

Bu çalışmada, tasarlanıp imal edilmiş bir biyogaz reaktöründen elde edilen biyogazın yanma karakteristikleri hakkında sayısal çalışmalar yürütülmüştür. Biyogaz reaktöründen elde edilen gaz, sisteme uyumlu yakma sisteminde yakılarak, yanma sonu emisyon değerleri ve sıcaklık dağılımları sayısal olarak araştırılmıştır. Yapılan araştırmalarda elde edilen deneysel sonuçlar, sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış olup sıcaklık dağılımı bakımından önemli derecede uyum olduğu tespit edilmiştir. Sayısal modellemelerde k-ε standard turbülans modeli, P-1 radyasyon modeli ve PDF/Mixture Fraction yanma modeli kullanılmıştır. Modellemelerde, hacimce % 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> ve % 45 CH<sub>4</sub> - % 55 CO<sub>2</sub> karışımli biyogazlar modellenmiş, sıcaklık ve emisyon dağılımları Ansys Fluent ticari kodu ile tahmin edilmiştir. Elde edilen tahmin sonuçları, % 45 CH<sub>4</sub> - % 55 CO<sub>2</sub> karışımli biyogazın sıcaklık seviyelerinin yanma odası giriş bölgelerinde daha düşük, yanma odası çıkışına doğru daha yüksek olduğunu göstermiştir. CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O tahminlerinde ise, bünyesinde daha fazla miktarda CO<sub>2</sub> bulunduran biyogaz için CO<sub>2</sub> seviyeleri ve H<sub>2</sub>O seviyeleri daha yüksek olarak belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Biyogaz, Yanma, Emisyon

## INVESTIGATION OF COMBUSTION CHARACTERISTICS OF BIOGASES OBTAINED FROM FERMENTATION OF ORGANIC WASTES

### ABSTRACT

In this study, numerical studies have been carried out on the combustion characteristics of the biogas obtained from a designed and manufactured biogas reactor. Gaseous fuel mixtures obtained from the biogas reactor have been burned in the system integrated a combustion system. Emission and temperature distributions have been investigated throughout the combustion chamber. Experimental results obtained from the experimental study have been compared with numerical results and it has been determined that the predicted results are in agreement with the experimental results considerably in terms of temperature distributions. In the numerical modelling, k-ε standard turbulence model, P-1 radiation model and PDF / Mixture Fraction combustion model have been used. In the modelling, biogases mixed with 55% CH<sub>4</sub> - 45% CO<sub>2</sub> and 45% CH<sub>4</sub> - 55% CO<sub>2</sub> by volume have been modelled and the temperature and emission distributions have been predicted by Ansys Fluent commercial code. The predicted results show that the temperature levels of 45% CH<sub>4</sub> - 55% CO<sub>2</sub> biogas mixture are lower in the combustion chamber inlet regions and higher towards the combustion chamber outlet. In CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O predictions, CO<sub>2</sub> levels and H<sub>2</sub>O levels are higher for the biogas with more CO<sub>2</sub>.

**Keywords:** Biogas, Combustion, Emission

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: 0386 280 60 65; e-mail / e-posta: murat.sahin@ahievran.edu.tr

## ORGANİK ATIKLARIN FERMANTASYONU SONUCU ELDE EDİLEN BİYOGAZLARIN YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

### 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi fosil yakıtlar Dünya enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılamaya devam etmektedir. Bir çok uygulamada, özellikle de elektrik üretimi, ısınma vb. ihtiyaçların karşılanmasında fosil kökenli yakıtların kullanımı önemli yer teşkil etmektedir. Ancak, orta ve uzun vadede fosil kökenli yakıtların tükenmesine yönelik önemli bilimsel veriler de bulunmaktadır. Petrol ve doğalgaz kaynaklarının 100 yıldan, kömürün ise 300 yıldan daha fazla süre yetmeyeceği düşünülmektedir. Bu veriler, bilim adamlarını, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmekte, bu durum da yeni kaynaklara olan ilgiyi giderek artırmaktadır.

Biyogaz, bileşiminin büyük çoğunluğu metan ve karbondioksitten oluşan, tarımsal, hayvansal ve evsel atıklardan elde edilebilen önemli bir enerji kaynağı türüdür. Temel olarak bu atıkların fermantasyonu sonucu farklı aşamalar sonrasında elde edilmektedir. Her bir aşamada farklı bakteri türleri faaliyet göstermektedir. Proseslerde aktif olan sakrofilik, mezofilik ve termofilik bakteriler için çalışma ortam sıcaklıkları hayati önem taşımaktadır. Böylece, farklı içeriklere sahip ve gaz yakıt olan biyogazlar elde edilmektedir. Elde edilen biyogazlar ise enerji eldesi için yakma sistemlerinde kullanılmakta ve böylece atıktan enerji eldesi sağlanmaktadır.

Literatürde, farklı yöntemlerle elde edilmiş biyogazların kullanımına dair bazı çalışmalar bulunmaktadır. Hosseini ark. [1] alevsiz yanma koşulları altında biyogazın yanma karakteristiklerini araştırmışlardır. Elde edilen bulgular, özellikle düşük kalorili olan biyogazların yanma odalarında yakılmasının çok da uygun olamayacağı yönündedir. Leung ve Wierzba [2], hidrojenin ilavesinin ön-karışimsız biyogaz alevlerin kararlılık sınırlarına olan etkilerini araştırmışlar ve hidrojen ilavesinin biyogaz alev kararlılık sınırlarını önemli derecede etkilediği sonucuna varmışlardır. Somehsaraei ark. [3] mikro bir gaz türbininin yanma odasında biyogaz yakmışlar ve performansını incelemişlerdir. Chen ve Zheng [4], hidrojenle zenginleştirilmiş biyogazı, orta ve yoğun, düşük oksijenli seyreltme yöntemi ile yakmışlar ve biyogaz alevinin bu yanma şartlarında sürdürülebilir olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır. Nikpey ark. [5], bir mikro gaz türbininin yanma odasında doğalgaz ve metan kullanmışlardır. Lafay ark. [6], metan ve biyogaz alevlerini, kararlılık, alev yapısı ve dinamikleri bakımından karşılaştırmışlar ve yakıt kompozisyonlarının alev bu özellikleri önemli derecede etkilediği sonucuna varmışlardır. Jahangirian ark. [7] biyogaz bünyesinde bulunan CO<sub>2</sub>'nin kimyasal ve ısı etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, yanma sonu NO<sub>x</sub> emisyonlarını etkilediği şeklindedir. Ilbas ark. tarafından yapılan bazı çalışmalarda ise, farklı içeriklere sahip biyogazların yanma ve emisyon karakteristikleri araştırılmıştır [8,9].

Elde edilen biyogazın yanma karakteristikleri üzerine yapılan çalışmaların yanı sıra, biyogazın elde edilme sürecine dair de bazı çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Teng ark. [10] çalışmalarında, kimya mühendisliği açısından biyogaz reaktörlerinin geliştirilmesi, biyogaz reaktörü tasarımı ve optimizasyonunun sayısal modellemesi üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Lindmark ark. [11] ise anaerobik çürütücü karıştırmada katıların ayrıştırılarak tutulması ve çürütme içeriği aktif mikrobiyal topluluğu ile gelen yem homojenleştirilmesi üzerine hem deneysel, hem de sayısal çalışmalar yürütmüşlerdir. Şarapatka [12] çalışmalarında, çiftlik gübresini yaklaşık 30 gün boyunca hava geçirmez bir çürütücüde anaerobik fermantasyon işlemine tabi tutmuşlar ve biyogaz eldesi sağlamışlardır.

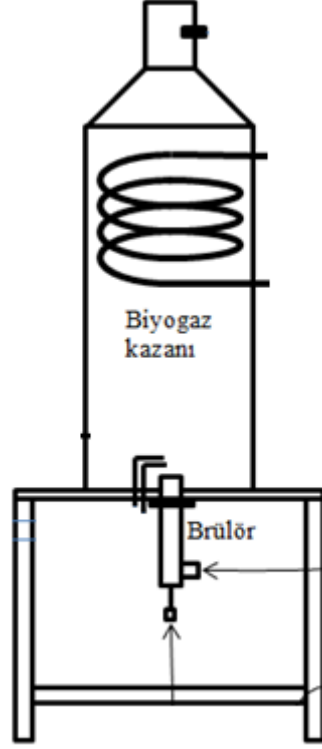
Biyogazın eldesi ve kullanımına dair bazı çalışmalar yukarıda sunulmuştur. Yapılan literatür çalışmasında, biyogazın elde edildiği ve elde edilen biyogazın kullanıldığı entegre sistemlerin oldukça az olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile birlikte, entegre bir biyogaz üretim ve yakma sistemi kullanılmakta ve burada elde edilen biyogazın yanma karakteristikleri araştırılmaktadır. Böylece, belediyeler, organize sanayi bölgeleri, yerel yönetimler (köy, belde ve kasaba vb.) ve özel sektör tarafından tarımsal, hayvansal ve evsel organik atıkların kullanımıyla, çeşitli tür ve özellikteki mikroorganizma gruplarının aktif çalışabilmeleri için uygun çevre şartları sağlanarak, elde edilen biyogazın konvansiyonel yakıcılardaki yanma davranışları belirlenmesi üzerine araştırmalar yapılmış ve bu sayede de, mevcut yakma sistemlerinde gerekli iyileştirmeler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

### 2. MATERYAL VE METOT

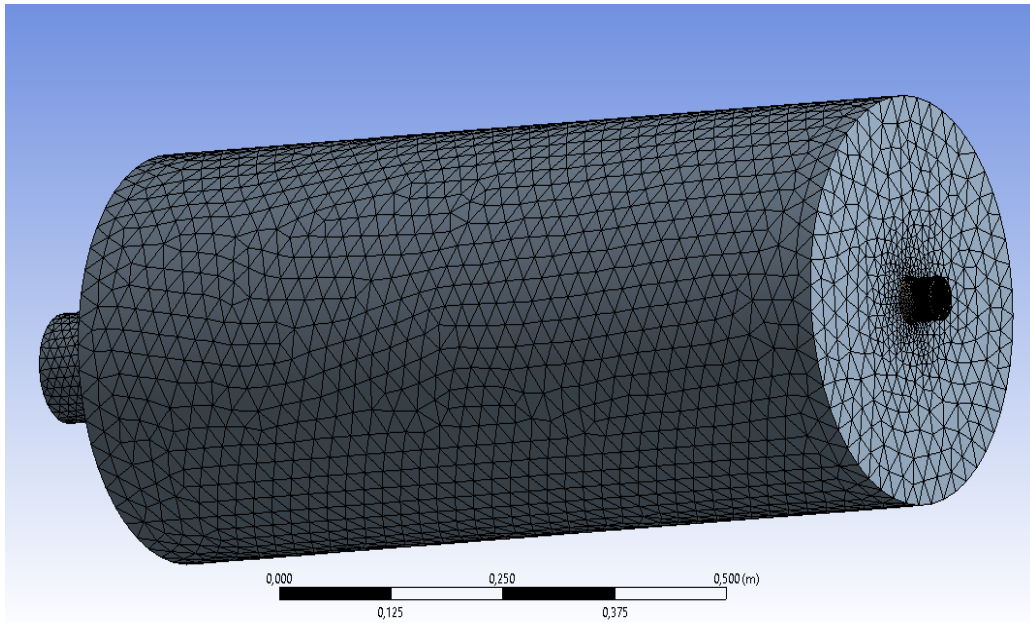
Biyogaz sisteminde bulunan ve üretilen biyogazın yakılmasında kullanılan entegre biyogaz yakma sistemi Şekil 1a'da şematik olarak gösterilmiştir. Biyogaz reaktöründe üretilen biyogazlar, biyogaz kazanına boru sistemleri ile iletilmekte ve burada bir brülör yardımıyla ön-karışimsız olarak yakılmaktadır. Yanma sırasında yakıcı olarak hava kullanılmakta ve bu hava da sisteme entegre bir kompresör yardımıyla sağlanmaktadır. Hava ve biyogaz girişi ön-karışimsız olarak brülöre girişinde basınç 21 mbar olarak tasarlanmış ve sayısal çalışmalar bu şartlar altında yapılmıştır. Sayısal modellemede, yanma odası üzerinde 5 ayrı ölçüm noktası bulunmaktadır. Bu ölçüm noktaları, yanma odası girişinden itibaren 10 cm, 30 cm, 50 cm, 70 cm ve 90 cm uzaklıklara

M. ŞAHİN

konumlandırılmıştır. Ayrıca, sisteme entegre ve kazan iç kısmının etrafında dolaşan bir su serpantini de bulunmaktadır. Şekil 1a'da gösterilen yanma odasının boyutları uzunluk olarak 1 m ve çap olarak da 0,4 m'dir. Şekil 1b. Yanma Odası grid ağ yapısı görünüşü sunulmaktadır. Biyogaz yanma odası ve brülörün uyumlu çalışması, bir kontrol panosu yardımıyla sağlanmaktadır.



Şekil 1a. Yanma odasının şematik görünümü



Şekil 1b. Yanma Odası grid ağ yapısı görünüşü

**ORGANİK ATIKLARIN FERMANTASYONU SONUCU ELDE EDİLEN BİYOGAZLARIN YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**2.1. Sayısal Modelleme**

Gaz karışımı yakıt yakma işlemi için tanımlanan matematiksel modeller, kararlı durum koşulu, üç-boyutlu olarak süreklilik, momentum, enerji ve tür denklemlerine dayanmaktadır. Taşıma denkleminin genel formu şöyledir [13]:

$$\frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial x} + \text{div}(\rho\Phi u) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\Phi) + S_\Phi \tag{2.1}$$

Burada  $\Phi$  bağımlı değişkenleri temsil eder.  $\Gamma$ ,  $\Phi$  değişkeni için taşıma katsayısını,  $S_\Phi$  ise  $\Phi$  için taşıma denkleminin kaynak terimini belirtir.

Bu çalışmada, yanma modeli olarak Mixture Fraction / PDF Modeli kullanılmıştır. Bu yanma modelinde, her bir tür için taşıma denklemleri çözülmez. Onun yerine ilgili her bir türün konsantrasyonu, tahmin edilen karışım oranı alanlarından türetilir. Türbülans ve kimyanın etkileşimi, olasılıkla yoğunluk fonksiyonuyla (PDF) hesaplanır [14].

PDF model yaklaşımı, özellikle türbülanslı difüzyon alevlerinin simülasyonu için geliştirilmiştir. Yakıt/Oksitleyici sistemi için, karışım oranı  $f$ , yerel yakıt kütlesi oranı olarak şöyle ifade edilebilir:

$$f = \frac{m_F}{m_F + m_O} \tag{2.2}$$

Burada  $m_F$  ve  $m_O$ , yakıt ve oksitleyici kütle oranlarını göstermektedir.

Karışım oranı  $f$ , akış alanındaki her noktadaki değeri, türbülanslı akış alanının ortalama zaman değeri için aşağıdaki koruma denkleminin çözümü ile hesaplanan ve korunan bir miktardır [14].

$$\frac{\partial(\rho f)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i f)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) + S_m \tag{2.3}$$

Burada  $S_m$ , yalnızca kütlelenin, sıvı yakıt damlacıklarından gaz fazına transferi ile ilgili bir kaynak terimidir.

Ortalama karışım oranı için çözüme ek olarak, karışım oranı değişkeni için bir koruma denklemi çözülür.  $f'^2$  türbülans-kimya etkileşimlerini tanımlayan kapanma modelinde kullanılır.

$$\frac{\partial(\rho f'^2)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i f'^2)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial f'^2}{\partial x_i} \right) + C_g \mu_t \left( \frac{\partial f'^2}{\partial x_i} \right)^2 - C_d \rho \frac{\epsilon}{k} f'^2 \tag{2.4}$$

burada  $\sigma_t$ ,  $C_g$  ve  $C_d$  Mixture Fraction / PDF modelinde kullanılan sabitlerdir.

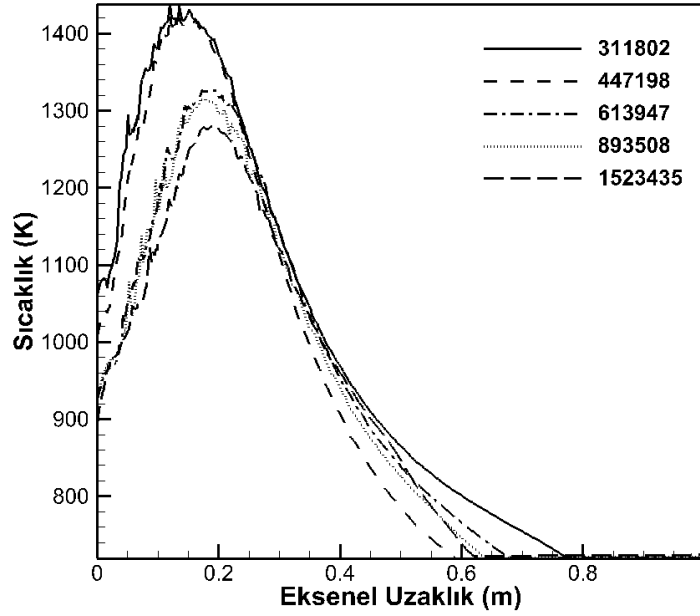
Radyasyonla ısı transferi genellikle yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Yanma odalarındaki alev sıcaklığı, stokiyometrik yanma koşullarında genellikle yüksektir (1000-1600°C). Bundan dolayı, yanma modellerinde radyasyon modelinin dahil edilmesi sıcaklık dağılımlarının daha doğru ve iyi tahmin edilebilmesine olanak sağlamaktadır [14]. P-1 modeli, daha genel P-N modelinin en basit örneğidir ve diğer radyasyon modellerine göre bazı avantajları vardır. Örneğin; P-1 modeli ile daha az bilgisayarlı işlemi ile daha etkin sonuçlar elde edilebilir. P-1 modeli, eğrisel koordinatlar içeren karmaşık geometrilere kolayca uygulanabilir [15]. Bu nedenle, bu çalışmada metan gazının sayısal modellemesi ile yapılan sıcaklık ve emisyon tahmininin daha doğru sonuç vermesi için P-1 radyasyon modeli tercih edilmiştir.

**3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

**3.1. Ağ Yapısından Bağımsızlaştırma**

Sayısal çözümler yapılırken bilgisayar yetersizliği, fazla zaman problemi vb. bazı sorunlardan kaçınmak için, kullanılan ağ yapısındaki hücre sayısından bağımsızlaştırma işlemi yapmak, sayısal çalışmalarda bilinen bir yöntemdir. Bu nedenle, bu çalışmada da hücre sayısından bağımsızlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Eksenel sıcaklık dağılımına göre doğru hücre sayısının seçilmesine ilişkin şekil, Şekil 2’de gösterilmiştir. 311802, 447198, 613947, 893508 ve 1523435 adet hücre sayısının bulunduğu 5 farklı ağ yapısı ile gerçekleştirilen modeller neticesinde elde edilen aksel sıcaklık dağılımları Şekil 2’de sunulmuştur. 613947 hücre sayılı ağ yapısından sonraki modellerde kullanılan ağ yapıları ile elde edilen dağılım, 613947 hücre sayılı ağ yapısı ile elde edilen dağılıma benzer olup, bu ağ yapısındaki hücre sayısından daha fazla hücre sayısı kullanmak, çözüm için gerekli zamanı uzatacağından, sonraki modeller için en uygun ağ yapısı olarak 613947 hücre sayılı ağ yapısı seçilmiştir.

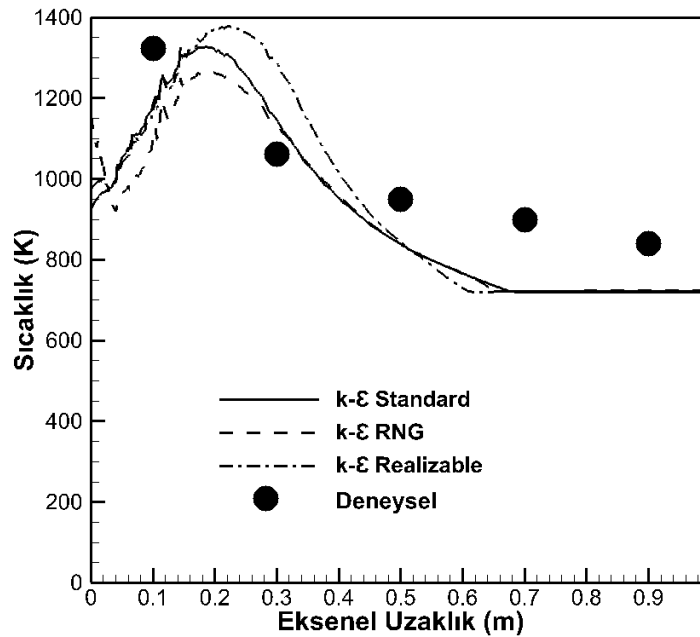
M. ŞAHİN



Şekil 2. Farklı ağ yapıları için eksenel sıcaklık dağılımları

### 3.2. Modelin Doğrulaması ve Türbülans Modelinin Etkisi

Fermantasyon sonucu elde edilen ve yaklaşık olarak % 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> içeriğe sahip biyogaz, bir yakıcı kullanılarak yanma odası içerisinde yakılmış ve sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sıcaklık ölçümleri, radyasyonla ısı kaybına karşı düzeltilmiş ve eksenel sıcaklık dağılımı, farklı türbülans modelleri için gerçekleştirilen modelleme sonuçları ile birlikte Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu doğrulama işlemi yapılırken aynı zamanda, bu çalışmaya da esas teşkil edecek olan türbülans modeli de seçilmiştir. Yapılan doğrulamalar neticesinde deneysel verilerle en iyi uyum gösteren türbülans modelinin k-ε standard türbülans modeli olduğu belirlenmiş olup bundan sonraki modellemelerde de türbülans modeli olarak bu model kullanılmıştır.



Şekil 3. Modelin doğrulanması ve türbülans modelinin belirlenmesi

## ORGANİK ATIKLARIN FERMANTASYONU SONUCU ELDE EDİLEN BİYOGAZLARIN YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

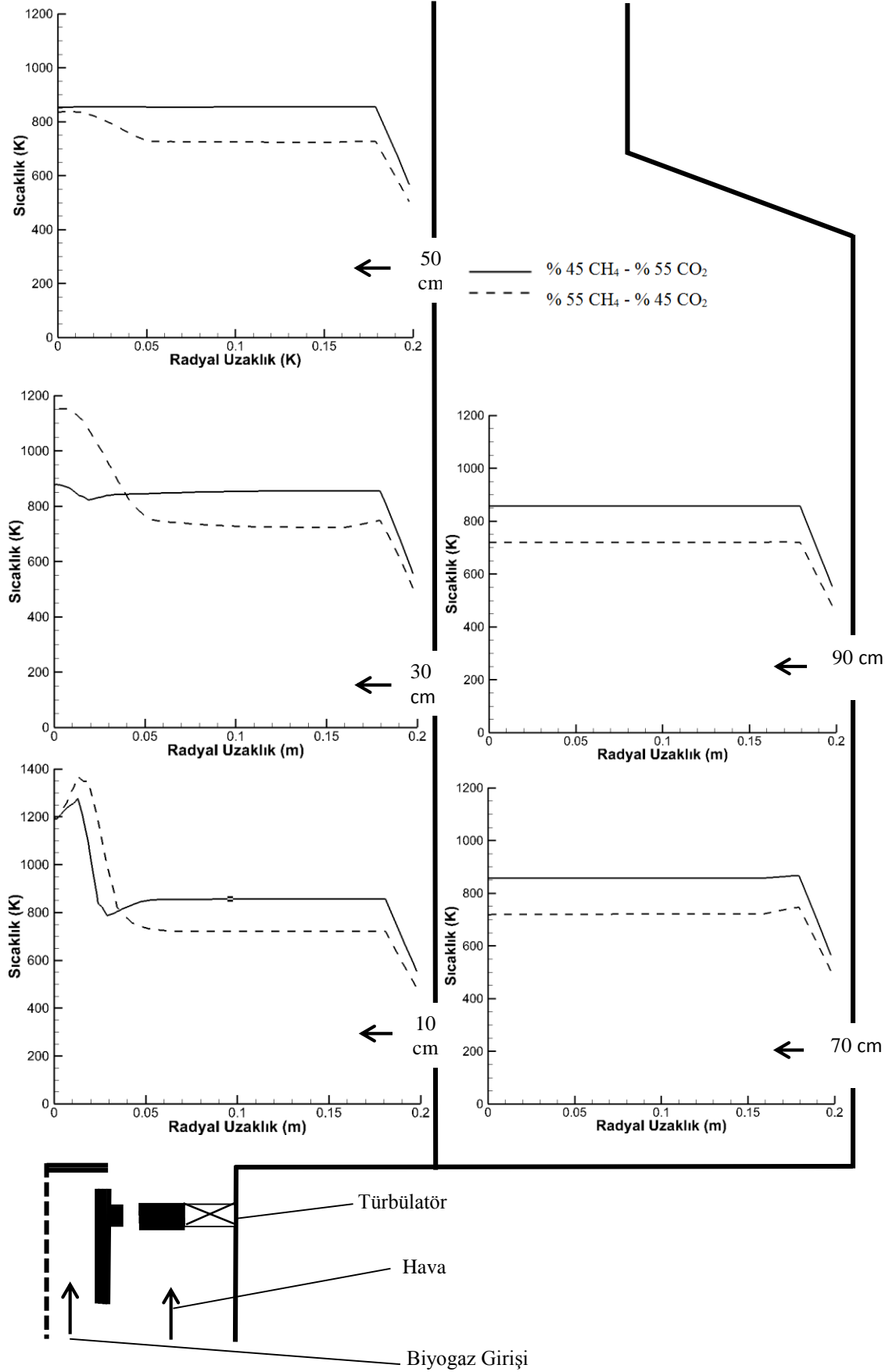
### 3.3. Sıcaklık ve Emisyon Dağılımları

Çalışmanın bu bölümünde, biyogaz üreticinden elde edilen farklı içeriklere sahip biyogazların yanma ve emisyon karakteristiklerinin sayısal sonuçları sunulmuştur. İlk olarak % 45 CH<sub>4</sub> - % 55 CO<sub>2</sub> ve % 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> içerikli biyogazların yanma sonu tahmin edilen radyal sıcaklık dağılımları Şekil 4'te gösterilmiştir. Yanma odası girişinden itibaren 10 cm uzaklıktan elde edilen radyal sıcaklık dağılımlarına göre, her iki biyogaz için de alev sıcaklıkları 1200 K üzerinde tespit edilmiştir. 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> içerikli biyogazın alev sıcaklığı ise 1400 K'ne yakın değerlere ulaşmıştır. Burada, biyogaz bünyesinde bulunan yanıcı bileşen CH<sub>4</sub>'ün etkisi önemli derecede rol oynamıştır. Yanma odası boyunca elde edilen radyal sıcaklık dağılımları dikkate alındığında, özellikle yanma odasının ortalarından sonra % 45 CH<sub>4</sub> - % 55 CO<sub>2</sub> içerikli biyogazın sıcaklık seviyelerinin biraz daha fazla olduğu da elde edilen sayısal tahmin sonuçları ile ortaya konulmuştur. Buradaki temel neden de, biyogaz bünyesinde bulunan CO<sub>2</sub>'nin, yanıcı bileşeni daha fazla olan biyogazın reaksiyon hızını daha fazla yavaşlattığı, başka bir deyişle alevsiz yanma (dağıtılmış yanma) şartlarına daha fazla yaklaştırdığı sonucu ile açıklanabilir. Benzer sonuçlar, alevsiz ya da dağıtılmış yanma üzerinde yapılmış ve literatürde bulunan bazı çalışmalarda da tespit edilmiştir [16,17]. Yanma odası çıkışına doğru ise sıcaklık seviyeleri 800 K dolaylarında seyretmiştir. Literatürde bulunan ve metan için yapılan yanma sonu sıcaklık dağılımları dikkate alındığında [18], sıcaklık seviyelerinin metana göre biraz daha düşük olduğu, ancak çok yüksek sıcaklık farklılıklarının da (özellikle yanma odası çıkışında) olmadığı saptanmıştır.

Biyogaz üreticinden elde edilen biyogazlar için yanma sonu CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O seviyeleri de tespit edilmiş ve Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 5'de sunulan radyal CO<sub>2</sub> dağılımlarına göre, yanma odası boyunca % 45 CH<sub>4</sub> - % 55 CO<sub>2</sub> içerikli biyogazın yanma sonu CO<sub>2</sub> emisyonları, % 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> karışımli biyogaza göre hep daha yüksek seyretmiştir. Bunun temel nedeninin, % 45 CH<sub>4</sub> - % 55 CO<sub>2</sub> içerikli biyogazın bünyesinde bulunan CO<sub>2</sub>'nin % 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> içerikli biyogaza göre daha yüksek olduğu rahatlıkla söylenebilir. Aslında, % 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> içerikli biyogazın bünyesinde daha fazla bulunan CH<sub>4</sub>'ün, reaksiyon sonrası CO<sub>2</sub>'ye katkı vermesi ve CO<sub>2</sub> seviyelerini artırması da beklenen bir sonuçtur. Ancak, % 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> içerikli biyogazın bünyesinde bulunan ve yanıcı bir bileşenin yanmasını, olumsuz anlamda ve önemli derecede etkileyen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>'ün reaksiyon hızını daha da yavaşlatmakta ve beklendiği gibi hızlı bir reaksiyon olmasına engel olmaktadır. Bu durum, elde edilecek CO dağılımları ile de açıklanabilmektedir. Çalışma kapsamında, CO emisyonları da elde edilmiş olup, alev bölgesi ve 30 cm'lik eksenel uzaklık haricinde, her iki biyogaz için de CO seviyeleri neredeyse sıfır olarak tahmin edildiğinden, bir grafik olarak sunulmamıştır. Yine de, % 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> içerikli biyogaz için elde edilen CO emisyon tahminleri (alev bölgesi ve devamında yaklaşık 200-300 ppm), özellikle yanma odası ortalarına kadar reaksiyonun tamamlanamadığını, bu durumun da yanma sonu sıcaklık ve emisyon dağılımlarını önemli derecede etkilediğini göstermektedir.

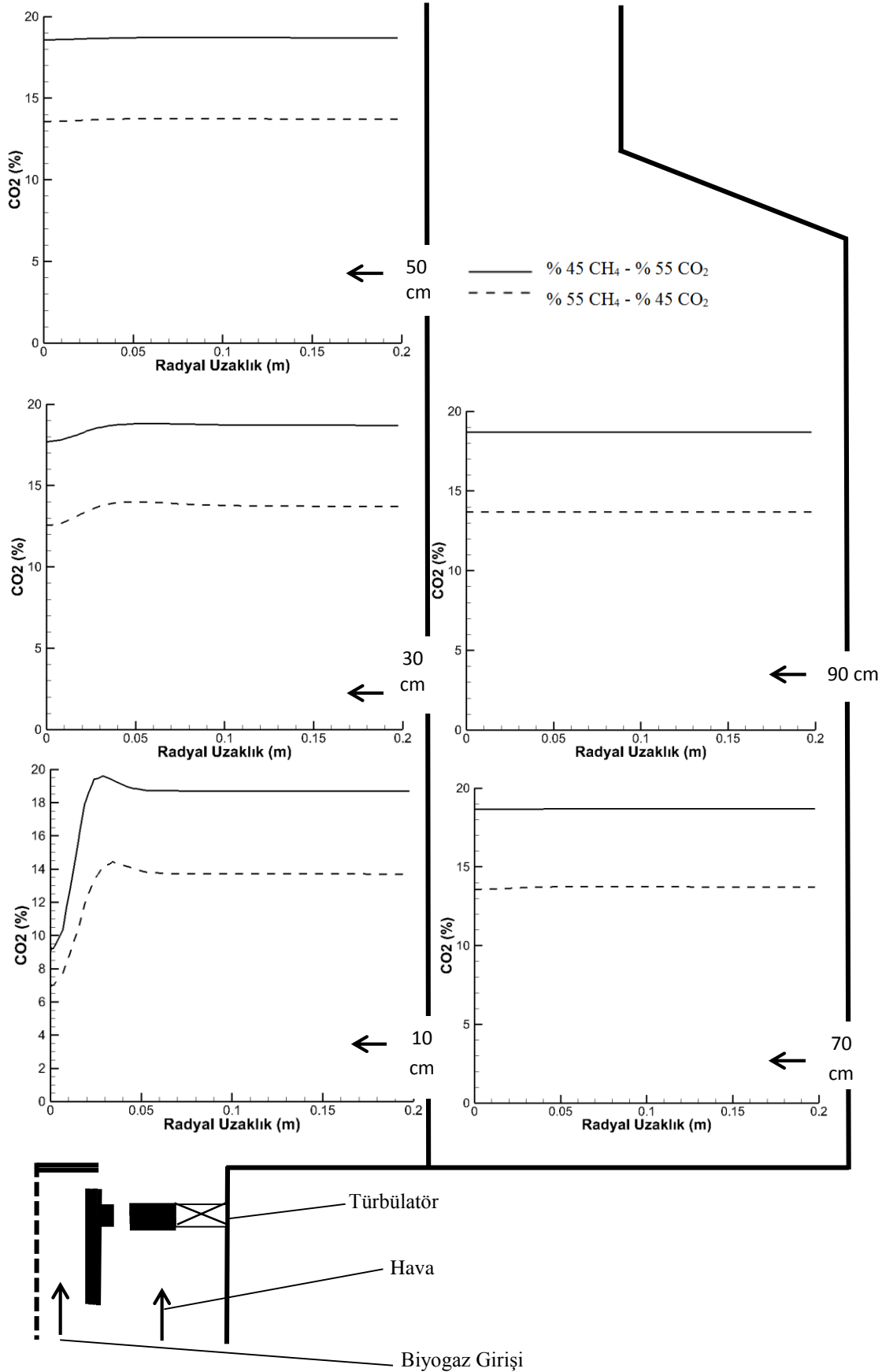
Yanma sonu emisyonlarında tahmini yapılan diğer bir emisyon da H<sub>2</sub>O olup, yanma odası boyunca tahmini yapılan radyal H<sub>2</sub>O dağılımları Şekil 6'da sunulmuştur. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, her ne kadar % 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> içerikli biyogazın bünyesinde daha fazla hidrojen bulursa da, CO<sub>2</sub>'nin reaksiyon yavaşlatması daha baskın geldiğinden, bu biyogazlar için elde edilen H<sub>2</sub>O dağılımlarında, % 45 CH<sub>4</sub> - % 55 CO<sub>2</sub> içerikli biyogaz için H<sub>2</sub>O seviyelerinin az da olsa daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

M. ŞAHİN



Şekil 4. Yanma odası boyunca tahmin edilen sıcaklık dağılımları

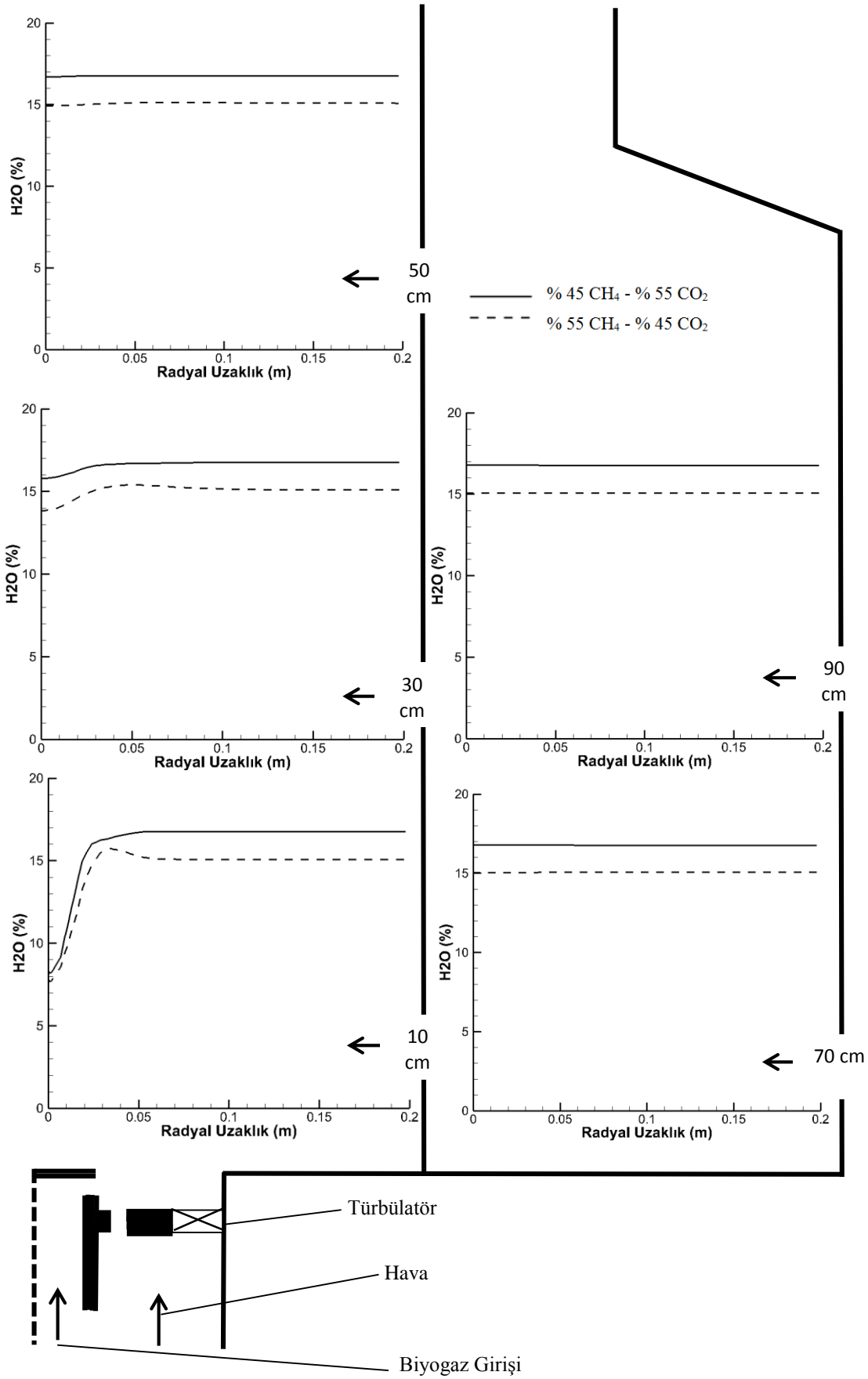
ORGANİK ATIKLARIN FERMANTASYONU SONUCU ELDE EDİLEN BİYOGAZLARIN YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ



Şekil 5. Yanma odası boyunca tahmin edilen CO<sub>2</sub> dağılımları



M. ŞAHİN



Şekil 6. Yanma odası boyunca tahmin edilen H<sub>2</sub>O dağılımları

## ORGANİK ATIKLARIN FERMANTASYONU SONUCU ELDE EDİLEN BİYOGAZLARIN YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, biyogaz sistemine entegre bir biyogaz yakma sistemi ve biyogaz reaktörü tasarlanmış, imalatı yapılmış ve sistemden elde edilen biyogazların yanma ve emisyon karakteristikleri araştırılmıştır. Yapılan çalışma ile birlikte, % 55 CH<sub>4</sub> - % 45 CO<sub>2</sub> ve % 45 CH<sub>4</sub> - % 55 CO<sub>2</sub> karışımli biyogazlar için sıcaklık ve emisyon dağılımları elde edilmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, CH<sub>4</sub> oranı daha yüksek olan biyogaz için alev bölgesi sıcaklık seviyeleri daha yüksek olsa da yanma odası sonlarına doğru bu durumun değiştiği, böylece dağıtılmış yanma şartlarına daha yakın bir yanma odası dağılımının olduğu belirlenmiştir. Emisyon dağılımlarında da bu durumu destekleyici bulgular olduğu ortaya konulmuştur. Böylece, biyogaz reaktöründe elde edilen biyogazların yanma odalarında kullanılabilceği, biyogazların, doğalgazın ana bileşeni olan metanın yanma performansına göre çok da kötü durumda olmadığı saptanmıştır. Sonuç olarak, biyogazın, Dünya’da ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan doğalgaza iyi bir alternatif yakıt olabileceği sonucuna varılmıştır.

### TEŞEKKÜR

Yazar, deney sisteminin kurulması için 2170053 nolu projeye sağladığı destek için TÜBİTAK’a ve Ansys R18.0 akademik bilgisayar yazılımının kullanımına verdiği izinden dolayı Gazi Üniversitesi’ne teşekkür eder.

### KAYNAKLAR

- [1] HOSSEINI, S.E., BAGHERI, G., WAHID, M.A., “Numerical investigation of biogas flameless combustion”, Energy Conversion and Management, 81, 41-50, 2014.
- [2] LEUNG, T., WIERZBA, I., “The effect of hydrogen addition on biogas non-premixed jet flame stability in a coflowing air stream”, International Journal of Hydrogen Energy, 33, 856–3862, 2008.
- [3] SOMEHSARAEI, H.N., MAJOURMERDA, M.M., BREUHAUSB, P., ASSADIA, M., “Performance analysis of a biogas-fueled micro gas turbine using a validated thermodynamic model”, Applied Thermal Engineering, 66, 181-190, 2014.
- [4] CHEN, S., ZHENG, C., “Counterflow diffusion flame of hydrogen-enriched biogas under MILD oxy-fuel condition”, International Journal of Hydrogen Energy, 36, 15403-15413, 2011.
- [5] NIKPEY, H., ASSADI, M., BREUHAUS, P., MØRKVED, P.T., “Experimental evaluation and ANN modeling of a recuperative micro gas turbine burning mixtures of natural gas and biogas”, Applied Energy, 117, 30- 41, 2014.
- [6] LAFAY, Y., TAUPIN, B., MARTINS, G., CABOT, G., RENO, B., BOUKHALFA, A., “Experimental study of biogas combustion using a gas turbine configuration”, Experimental in Fluids, 43, 395-410, 2007.
- [7] JAHANGIRIAN, S., ENGEDA, A., WICHMAN, I.S., “Thermal and Chemical Structure of Biogas Counterflow Diffusion Flames”, Energy&Fuels, 23, 5312-5321, 2009.
- [8] ILBAS, M., SAHIN, M., KARYEYEN, S., “Combustion Behaviours of Different Biogases in an Existing Conventional Natural Gas Burner: An Experimental Study”, International Journal of Renewable Energy Research, 6, 1178-1188, 2016.
- [9] ILBAS, M., SAHIN, M., KARYEYEN, S., “3D numerical modelling of turbulent biogas combustion in a newly generated 10 KW burner”, Journal of the Energy Institute, 91, 87-99, 2018.
- [10] TENG, Z., HUA, J., WANG, C., LU, X. “Reactor and Process Design in Sustainable Energy Technology”, (First Edition) USA: Elsevier, 99-110, 2014.
- [11] LINDMARK, J., THORIN, E., FDHILA, R. B., DAHLQUIST, E. “Effects of mixing on the result of anaerobic digestion: Review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40, 1030-1047, 2014.
- [12] ŠARAPATKA, B., “Factors influencing biogas production during full-scale anaerobic fermentation of farmyard manure”, Bioresource Technology, 49, 17-23, 2003.
- [13] VERSTEEG, H.K., MALALASEKERA, W., “An introduction to computational fluid dynamics” Second Edition, PEARSON Prentice Hall, 2007.
- [14] ILBAS, M., “Studies of Ultra Low NOX Burners”, PhD Thesis, University of Cardiff, 1997.
- [15] ILBAS, M., “The effect of thermal radiation and radiation models on hydrogen– hydrocarbon combustion modelling”, International Journal of Hydrogen Energy, 30, 1113-1126, 2005.
- [16] KHALIL, A.E.E., GUPTA, A.K., “Flame fluctuations in Oxy-CO<sub>2</sub>-methane mixtures in swirl assisted distributed combustion”, Applied Energy, 204, 303-317, 2017.

*M. ŞAHİN*

- [17] KHALIL, A.E.E., GUPTA, A.K., “Thermal field investigation under distributed combustion conditions”, *Applied Energy*, 160, 477-488, 2015.
- [18] ILBAS, M., KARYEYEN, S., “Experimental analysis of premixed and non-premixed methane flames by using a new combustion system”, *Research on Engineering Structures & Materials*, 4(1), 1-14, 2018.