



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Türbülanslı metan alevinde mikrojet destekli seyreltici kullanımının NO_x emisyonlarına olan etkisinin sayısal olarak incelenmesi

Numerical investigation of microjet assisted diluents usage on effect of NO_x emissions in turbulent methane flame

Yazar(lar) (Author(s)): Serhat KARYEYEN¹, Mustafa ILBAS²

ORCID¹: 0000-0002-8383-5518

ORCID²: 0000-0001-6668-1484

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karyeyen S. ve Ilbas M., "Türbülanslı metan alevinde mikrojet destekli seyreltici kullanımının NO_x emisyonlarına olan etkisinin sayısal olarak incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 715-721, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.403983

Türbülanslı Metan Alevinde Mikrojet Destekli Seyreltici Kullanımının NO_x Emisyonlarına Olan Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Serhat KARYEYEN¹, Mustafa ILBAS^{1*}

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 27.10.2017 ; Kabul/Accepted : 09.02.2018)

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, mikrojet destekli metan alevinin yanma ve emisyon karakteristikleri sayısal olarak araştırılmıştır. Yapılan modellemelerde, metan alevinin merkezinden mikrojet olarak seyreltici beslenmiş ve böylece metan alevinde NO_x emisyonlarına olan etkileri araştırılmıştır. Seyreltici olarak, CO₂, N₂ ve H₂O (su buharı), farklı Reynolds (Re) sayılarında mikrojet olarak alev bölgesine beslenmiştir. Çalışmada, bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı (Ansys Fluent) kullanılmış ve modellemeler bu program ile gerçekleştirilmiştir. The PDF/Mixture Fraction yanma modeli, P-1 radyasyon modeli ile birlikte, farklı türbülans modelleri de yanma modellemesinde kullanılarak en uygun türbülans modeli belirlenmiştir. Yanma modellemesi neticesinde, bu HAD programına ait yanma-sonrası NO_x işlemcisi ile metan alevinin ısı ve ani NO_x oluşum mekanizmalarına göre tahminler yapılmış ve seyrelticilerin etkileri sayısal olarak araştırılmıştır. Gerçekleştirilen yanma modellemeleri neticesinde elde edilen sonuçlara göre, yanma odası merkezinden beslenen seyrelticilerin metan alevinde oluşan NO_x emisyonlarının bastırılmasına bir miktar katkı sağladığı görülmüştür. Seyrelticiler kendi içerisinde değerlendirilecek olursa, mikrojet şeklinde seyreltici olarak su buharı kullanımının CO₂ ve N₂'ye göre metan alevindeki NO_x seviyelerini daha fazla düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu değer 45 ppm'den 30 ppm dolaylarına kadar azaltılabilmektedir. Yapılan bu sayısal çalışma ile birlikte, metan alevinin merkezinden mikrojet şeklinde seyreltici beslenmesinin alev stabilizasyonuna etkisi olduğu gibi NO_x emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikrojet, seyreltme, metan, NO_x.

Numerical Investigation of Microjet Assisted Diluents Usage on Effect of NO_x Emissions in Turbulent Methane Flame

ABSTRACT

Combustion and emission characteristics of microjet assisted methane flame have been investigated numerically in the present study. Diluents have been supplied as microjet from the center of the methane flame and therefore, their effects on NO_x emissions have been investigated in methane flame. CO₂, N₂ and steam have been supplied into the flame zone as diluents for different Reynolds (Re) numbers. A computational fluid dynamics (CFD) code (Ansys Fluent) has been used and modellings have been performed by it in the present study. The PDF/Mixture Fraction combustion model and P-1 Radiation model have been used. Different turbulence models have also been used in combustion modellings and the best turbulence model has been determined. After combustion modellings have been carried out, NO_x predictions have been taken place with NO_x post processor in this CFD code based on thermal and prompt NO_x mechanisms and the effects of the diluents have been investigated numerically. According to the results, It has been seen that center-fed diluents have contributed suppression of NO_x emissions forming in the methane flame. When the diluents are evaluated each other, it has been determined that steam enables more reduction of NO_x emissions forming in the methane flame in comparison to CO₂ and N₂. This reduction has been provided from 45 ppm to 30 ppm. It can be concluded from the present study that supplying diluents as microjet has also contributed reduction of NO_x emissions as well as it affects flame stabilization.

Keywords: Microjet, dilution, methane, NO_x

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fosil yakıtlar, günümüzün vazgeçilmez enerji kaynakları olmaya devam etmektedirler. Günümüzdeki bir çok uygulamada, özellikle de elektrik üretiminde fosil

yakıtlar kullanımdaki yerini korumaktadırlar. Ancak bu durum, tüm Dünya için iki büyük problem yaratmaktadır. Birincisi, fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. İkinci ve en önemlisi ise, yarattıkları çevre tahribatlarıdır. Günümüzün en büyük problemi küresel ısınmaya neden olan CO₂ gazı da bu yakıtların yakılması neticesinde açığa çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, gerek havanın

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : ilbas@gazi.edu.tr

bünyesinde bulunan serbest azottan gerek, özellikle katı yakıtların bünyesinde bağlı olarak bulunan azottan kaynaklı NOX emisyonları da diğer önemli bir kirletici olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kirletici, fosil yakıtların yakılması neticesinde oluşmakta, ya yanma sonu ürünlerinden olan su buharı ile doğrudan ya da atmosferdeki nem ile dolaylı olarak reaksiyona girmekte ve nitrik asit oluşturmakta, bu şekilde de asit yağmuru olarak Dünya'ya yağmaktadır. Bu nedenle, yanma işlemlerinde NOX emisyonunun azaltılmasına yönelik çalışmalar bilim adamlarının başlıca konuları arasında olmaya devam etmektedir.

NOX emisyonları genel olarak üç farklı emisyon olarak oluşmaktadır. Bunlar, N₂O, NO ve NO₂'dir. N₂O, inert bir gaz olup anestezik (uyuşturucu) karakteristiği gösterir. NOX oluşumuna bağlı olmaksızın çevresel çevrimlerde genellikle dengeli bir yapıya sahiptir. NO, renksiz bir gazdır ve 0.50 ppm'den daha az konsantrasyonlarında, insan sağlığı için zehirleyici etkisi oldukça azdır. Bunun yanında, NO, fotokimyasal duman oluşumunda aktif rol oynamaktadır. Ayrıca NO emisyonları bulunduğu zaman, sinir sistemini doğrudan etkilemekte, kandaki hemoglobine yapışmaktadır. NO₂, NO'nun, atmosferde hızlıca NO₂'ye dönüşmesi neticesinde ortaya çıkar ve göz ve burnun tahrişine yol açar. Ayrıca, NO₂ seviyesi, 15 ppm'in üzerine çıkacak olursa, akciğer rahatsızlıklarına neden olabilir [1].

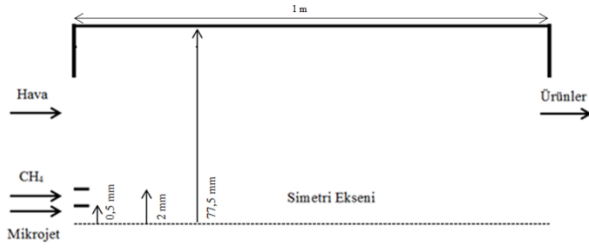
Mikrojet, en basit tanımı ile, ön-karışimsız bir metan-hava alevinde yakıt ve havanın merkezinde bulunan çok küçük kesitli bir delikten herhangi bir gazın alev bölgesine doğru hızlı bir şekilde püskürtülmesi işlemidir. Özellikle, türbülanslı metan alevlerinde alev kararlılığını arttırmak, yüksek sıcaklık bölgelerini yanma odasının girişine taşımak ve böylece içte yeni bir alev oluşturmak için sıklıkla kullanılmakta olan bir yöntemdir. Örneğin, Chouaieb vd. [2] tarafından yapılan bir çalışmada, ön-karışimsız bir metan alevi mikrojet desteği ile sayısal olarak yakılmış ve yanma sonu parametreleri araştırılmıştır. Bahsi geçen çalışmada mikrojet olarak hava kullanılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, özellikle yüksek Re sayıları için alev bölgesinin gerisinde yeni iç bir alev oluştuğu ve böylece yüksek sıcaklık bölgelerinin yanma odası girişine doğru hareket ettiği anlaşılmıştır. Chouaieb vd. [3] yaptıkları bir başka çalışmada ise CH₄-H₂ alevini mikrojet ile desteklemişler ve yanma sonu sıcaklık ve is oluşumlarını sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışmanın ilk bölümünde "Eddy Dissipation Concept (Girdap Dağılım Kavramı)" ile "Presumed PDF-Probability Density Function (Farzedilmiş Olasılıklı Yoğunluk Fonksiyonu)" modellerini karşılaştırmışlar ve "Presumed PDF" modelin daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Çalışmanın ikinci kısmında ise mikrojet destekli (hava) CH₄-H₂ alevinin yanma sonu karakteristiklerini ortaya koymuşlardır. Bu bölümden elde edilen sonuçlara göre de H₂ ilavesinin reaksiyonu hızlandırdığı bunun da bir sonucu olarak is oluşumunu azalttığı yönündedir. Ganguly ve Puri [4] yaptıkları bir çalışma ile mikrojet desteğinin alev üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Yapılan çalışma neticesinde elde edilen bulgulara göre, mikrojet desteği arttıkça alevin boyu lineer bir şekilde kısalmış ve alevin ışıltama seviyesi de azalmıştır. Sinha vd. [5] ön-karışimsız bir metan alevinde mikrojet desteği kullanmışlar ve bunun yanma sonu karakteristiklerine olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışma ile birlikte, mikrojetin hızının değiştirilmesi ile alevin kontrol edilebildiği belirlenmiştir. Daha önce bahsi geçen çalışmalarda olduğu gibi, yüksek sıcaklık bölgeleri, bu çalışmada da girişe yaklaşmıştır. NOX ve CO emisyonları açısından değerlendirilecek olursa, mikrojet hızının 20 m/s'yi aştığı ve alevin kontrol altında tutulmadığı bölgelerde NOX emisyonları azalırken CO emisyonlarında artış olduğu saptanmıştır. Yuchun vd. [6] yanma odası girişindeki brülörün kenarlarından alev doğru mikrojet olarak hava beslemesi gerçekleştirmişler ve alev karakteristiği üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Yandan beslenen bu mikrojetlerin kullanımı, alev yapısının (alev kopma sınırları gibi) kontrolünü sağlamıştır. Ayrıca, hava ile yapılan mikrojet beslemesi, alev uzunluğunu, beslenen mikrojet debisine bağlı olarak % 5 - % 40 arasında azaltmıştır. Kanchi vd. [7] tarafından yürütülen başka bir çalışmada ise, iki farklı geometrideki yanma odasında mikrojet desteği ile yanma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, 45°'lik açı ile yerleştirilen mikrojet girişi ısı salınımını % 140'a kadar önemli ölçüde arttırmıştır.

Yukarıda bahsi geçen çalışmalar değerlendirildiğinde, mikrojet olarak genellikle hava kullanıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, mikrojet desteğinin hava ile sağlandığı çalışmalarda ana hedefin alev kararlılığı olduğu, önemli bir yanma sonu ürünü olan NOX üzerine olan etkileri üzerinde çok durulmadığı da görülmektedir. Bu çalışmada, yanma sonu ürünlerinden olan NOX kirletici emisyonunun azaltılmasına için bu seyrelticilerin etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. CO₂, N₂ ve su buharı, literatürde yapılan bir çalışmada [2] kullanılan yanma odasına benzer bir yanma odası için mikrojet şeklinde yanma odasına beslenmiş ve bu seyrelticilerin yanma sonu NOX emisyonlarına olan etkileri sayısal olarak araştırılmıştır.

2. MODELİN ve SINIR ŞARTLARININ TANIMLANMASI (DESCRIPTION of MODEL and BOUNDARY CONDITIONS)

Bu çalışmada, Chouaieb vd. [2] tarafından gerçekleştirilen modellemede kullanılan yanma odası geometrisi referans geometri ve sınır şartları (metan ve hava için) olarak da Brookes ve Moss [8] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmadaki veriler (modelin doğrulanması için) alınmış olup kullanılan yanma odasına ilişkin detaylar Şekil 1'de gösterilmiştir. Modellemeler 2-boyutlu ve eksenel simetrik olarak gerçekleştirildiği için yanma odası 2-boyutlu olarak gösterilmiştir. Şekil 1'de gösterilen yanma odasının uzunluğu 1m, çapı 155 mm, yakıtın çapı 4 mm'dir. Mikrojet girişinin çapı ise 1 mm şeklindedir.



Şekil 1. Yanma Odası (The Combustion Chamber)

Yanmanın modellenmesinde kullanılan hava ve yakıtın debileri, Chouaieb vd. tarafından gerçekleştirilen modellemelerde kullanılan debilerle aynı seçilmiştir. Bu değerler, sayısal modellemenin doğrulanabilmesi için Chouaieb vd. tarafından da Brookes ve Moss [8] tarafından yürütülen deneysel çalışma ile aynı seçilmiş olup sırasıyla, hava için 118×10^{-4} kg/s ve yakıt için $1,72 \times 10^{-4}$ kg/s'dir. Mikrojet olarak beslenen CO₂, N₂ ve su buharı için 3 farklı Re sayısı için (10, 100, 1000) mikrojet olarak besleme gerçekleştirilmiştir. Yakıt ve hava sıcaklıkları 293 K ve seyrelticilerin sıcaklıkları da 393 K olarak belirlenmiştir.

3. SAYISAL MODELLEME (NUMERICAL MODELLING)

Gaz karışımı yakıt yakma işlemi için tanımlanan matematiksel modellemeler, kararlı durum koşulu, üç-boyutlu olarak süreklilik, momentum, enerji ve tür denklemlerine dayanmaktadır. Taşıma denkleminin genel formu şöyledir [9]:

$$\frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial x} + \text{div}(\rho\Phi u) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\Phi) + S_\Phi \quad (1)$$

Burada Φ bağımlı değişkenleri temsil eder. Γ , Φ değişkeni için taşıma katsayısını, S_Φ ise Φ 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, olasılıklı yoğunluk fonksiyonuyla (PDF) hesaplanır [1].

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:

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

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 [1].

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

Burada S_m , yalnızca kütle, 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. \bar{f}^2 , türbülans-kimya etkileşimlerini tanımlayan kapanma modelinde kullanılır.

$$\frac{\partial(\rho\bar{f}^2)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i \bar{f}^2)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial \bar{f}^2}{\partial x_i} \right) + C_g \mu_t \left(\frac{\partial \bar{f}^2}{\partial x_i} \right)^2 - C_d \rho \frac{\epsilon}{k} \bar{f}^2 \quad (4)$$

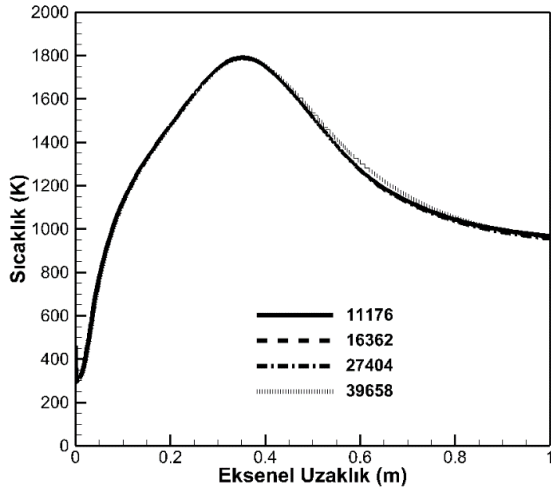
burada σ_t , C_g ve C_d Mixture Fraction/PDF modelinde kullanılan sabitlerdir.

Radyasyonla ısı transferi genellikle yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Yanma odalarındaki alev sıcaklığı, stokiometrik yanma koşullarında genellikle yüksektir (1000-1600°C). Bundan dolayı, yanma modellemelerinde radyasyon modelinin dahil edilmesi sıcaklık dağılımlarının daha doğru ve iyi tahmin edilebilmesine olanak sağlamaktadır [1]. 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 bilgisayar işlemi ile daha etkin sonuçlar elde edilebilir. P-1 modeli, eğrisel koordinatlar içeren karmaşık geometrilere kolayca uygulanabilir [10]. 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.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (CONCLUSIONS and DISCUSSION)

4.1. Ağ Yapısından Bağımsızlaştırma (Mesh Independence)

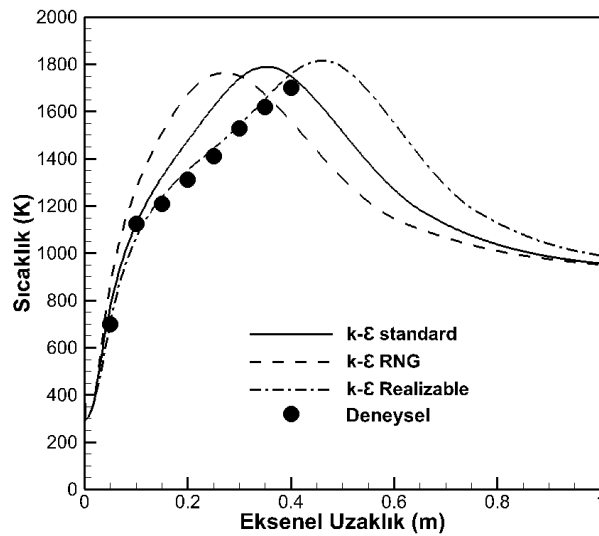
Sayısal çözümler yapılırken bilgisayar yetersizliği, fazla zaman problemi vb. bazı sorunlardan kaçınmak için kullanılan ağ yapısındaki hücre sayısından bağımsızlaştırma yapılması bilinen bir yöntemdir. Bu nedenle, bu çalışmada da hücre sayısından bağımsızlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ağ yapısından bağımsızlaştırma yapılırken mikrojet desteği yapılmamıştır. Eksenel sıcaklık dağılımına göre doğru hücre sayısının seçilmesine ilişkin şekil, Şekil 2'de gösterilmiştir. 11176, 16362, 27404 ve 39658 adet hücre sayısının bulunduğu 4 farklı ağ yapısı ile gerçekleştirilen modellemeler neticesinde elde edilen eksenel sıcaklık dağılımları arasında ciddi farklılıklar olmadığı Şekil 2'den anlaşılmaktadır. Sonraki modellemelerde mikrojet desteğinin kullanılacak olması da göz önünde bulundurularak 27404 adet hücre içeren ağ yapısı uygun ap yağı olarak seçilmiş ve bundan sonraki modellemelerde bu ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 2. Farklı ağ yapıları için eksenel sıcaklık dağılımları (Axial temperature distributions for different mesh structure)

4.2. Modelin Doğrulanması ve Türbülans Modelinin Etkisi (Model Validation and Effect of Turbulence Model)

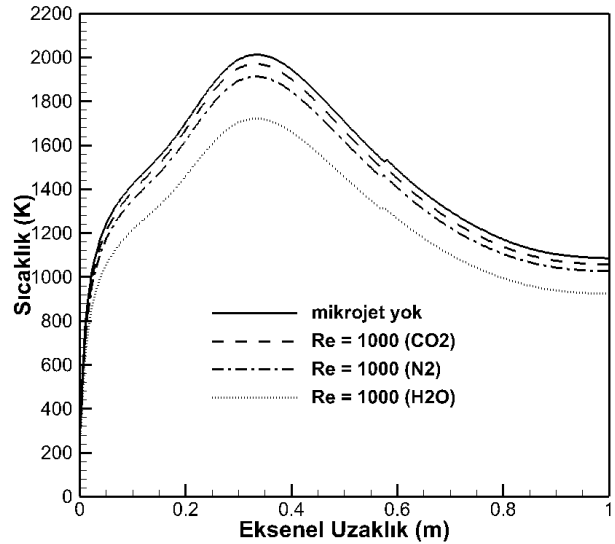
Yanma modellerine geçilmeden önce, ilgili çalışma, literatürde bulunan deneysel bir çalışma ile doğrulanmıştır [8]. Bu doğrulama işleminde kullanılan yakıt metandır ve bahsi geçen çalışmadaki yanma şartları esas alınarak eksenel yöndeki sıcaklık dağılımlarına göre doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrulama işlemi yapılırken aynı zamanda, bu çalışmaya da esas teşkil edecek olan türbülans modeli de seçilmiştir. Karşılaştırmaya ilişkin grafik Şekil 3'te gösterilmiştir. Yapılan doğrulamalar neticesinde deneysel verilerle en iyi uyum gösteren türbülans modelinin k- ϵ Realizable türbülans modeli olduğu belirlenmiş olup bundan sonraki modellemelerde de türbülans modeli olarak bu model kullanılmıştır.



Şekil 3. Modelin doğrulanması ve türbülans modelinin belirlenmesi (Model validation and determination of turbulence model)

4.3. Seyrelticinin Etkisi (Effect of Diluent)

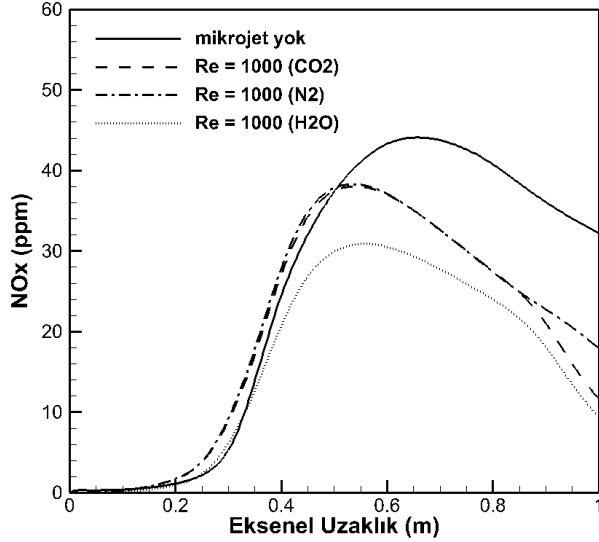
Çalışmanın bu bölümünde, kullanılan 3 farklı seyrelticinin sıcaklık ve NOX dağılımları üzerine olan etkilerini gösteren Şekil 4 ve Şekil 5 sunulmuştur. İlk olarak Şekil 4'te mikrojet olarak kullanılan seyrelticilerin eksenel sıcaklık dağılımlarına olan etkileri gösterilmiştir. Mikrojet şeklinde yanma odası merkezinden seyreltici gönderilmesi durumunda tüm seyrelticiler için en yüksek sıcaklık değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Yanma odasının eksen boyunca da bu durumun devam ettiği anlaşılmaktadır. Seyrelticilerin birbirleriyle karşılaştırılması durumunda, en yüksek sıcaklık düşüşünün su buharı ile yapılan seyreltme ile başarıldığı, ardından ise N₂'nin sıcaklık düşüşünde etkin bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Bu durum, kullanılan seyrelticilerin özgül ısılarının farklı olması ile açıklanabilir. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda, mikrojet kullanımının yanma odasının girişinde yeni bir sıcaklık bölgesi oluşturduğu da bilinmektedir. Bu çalışma için değerlendirilecek olursa, mikrojet olarak seyreltici gönderiminin yanma performansını bir miktar azalttığı Şekil 4'ten anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Mikrojet olarak kullanılan seyrelticilerin eksenel sıcaklık dağılımlarına olan etkisi (Effect of diluents used as microjet on axial temperature distributions)

Şekil 5'te gösterilen NOX dağılımları incelenecek olursa, mikrojet olarak seyreltici gönderiminin NOX oluşumlarını tüm seyrelticiler için bir miktar azalttığı görülmektedir. Mikrojetin olmadığı durumda, yanma odası içerisindeki NOX seviyeleri 40 ppm'nin üzerine çıkarırken, CO₂ ve N₂ ile yapılan mikrojet desteği neticesinde en yüksek NOX seviyelerinin 40 ppm'i aşmadığı, su buharı ile yapılan mikrojet destekli seyreltme durumunda ise bu miktarların yanma odası boyunca en yüksek 30 ppm civarında olduğu yapılan modellemeler neticesinde belirlenmiştir. Bilindiği gibi, NOX oluşumlarında en etkin rolü ısı NOX mekanizması oynamaktadır. Bu mekanizmaya göre de yüksek sıcaklık bölgelerinde NOX emisyonları daha yüksek olmaktadır. Elde edilen bulgular bilinen bu durumu da desteklemektedir. Bu sonuçlar

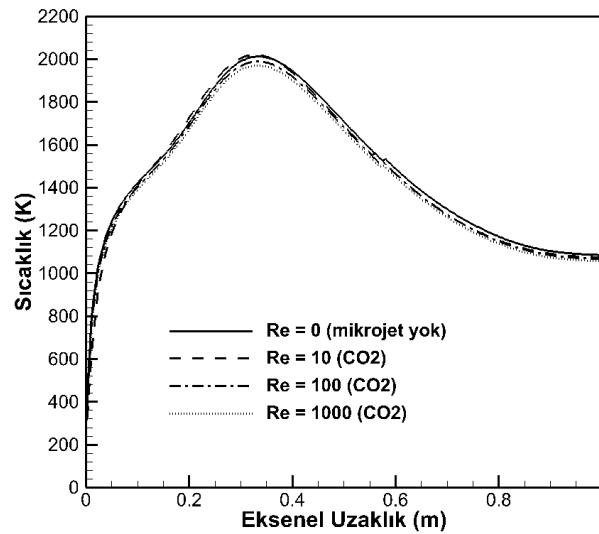
doğrultusunda, mikrojet desteği ile en etkin seyreltmenin su buharı ile sağlandığı sonucuna varılmıştır. Benzer bir bulguya Lee vd. [11] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada da rastlanmıştır. Lee vd. tarafından yürütülen deneysel çalışmada, yakıtta uygulanan seyreltmeler neticesinde (ancak bu seyreltme işlemi mikrojet olarak yapılmamıştır), su buharı ile % 95'e kadar NOX emisyonu bastırılabilmiştir.



Şekil 5. Mikrojet olarak kullanılan seyrelticilerin aksel NO_x dağılımlarına olan etkisi (Effect of diluents used as microjet on axial NO_x distributions)

4.4. Re Sayısının Etkisi (Effect of Re number)

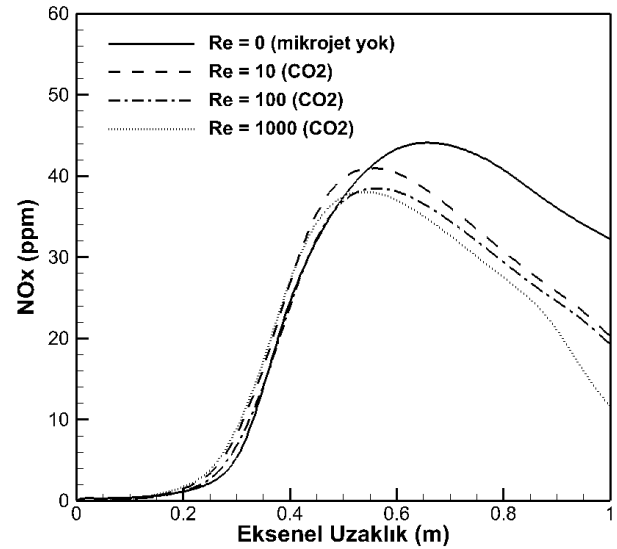
Farklı Re sayıları ile beslenen CO₂ seyrelticisinin aksel sıcaklık dağılımı üzerine olan etkisi Şekil 6'da sunulmuştur. Şekil 6'dan da anlaşılacağı üzere, mikrojet olarak farklı Re sayılarında seyreltici beslenmesinin sıcaklık seviyelerini bir miktar değiştirdiği, Re sayısı arttırıldıkça sıcaklık seviyelerinin bir miktar azaldığı, yapılan modellemeler neticesinde belirlenmiştir.



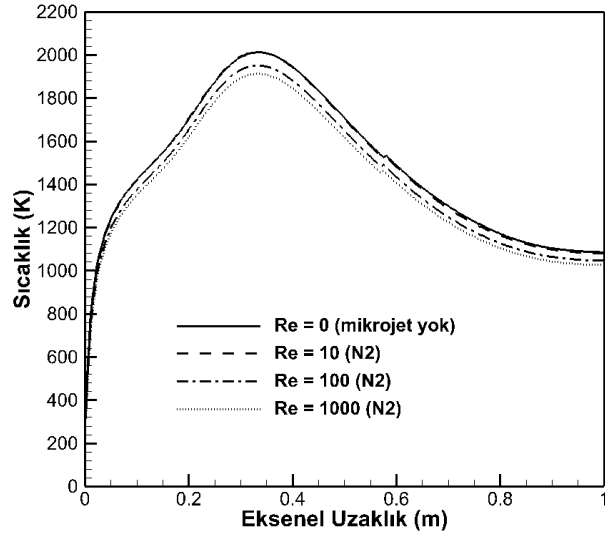
Şekil 6. Farklı Re sayıları için kullanılan CO₂ mikrojetinin aksel sıcaklık dağılımları üzerine etkisi (Effect of CO₂ microjet used for different Re numbers on axial temperature distributions)

Şekil 7'de ise, farklı Re sayıları ile mikrojet olarak yanma odasına gönderilen CO₂ seyrelticisinin NOX emisyonları üzerine olan etkileri gösterilmiştir. Re sayısı arttırıldıkça, en yüksek NOX seviyelerinin bir miktar yer değiştirdiği ve kaydadeğer şekilde azalma gösterdiği Şekil 7'den anlaşılmaktadır. Re = 10 sınır şartı için yapılan modelleme neticesinde en yüksek NOX seviyesi 40 ppm'e gerilerken, Re = 100 ve Re = 1000 sınır şartları için bu değer yaklaşık 38 ppm dolaylarında kalmıştır. Sonuç olarak, mikrojetin Re sayısının arttırılması, bir miktar da olsa NOX seviyesinin azaltılmasına katkı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

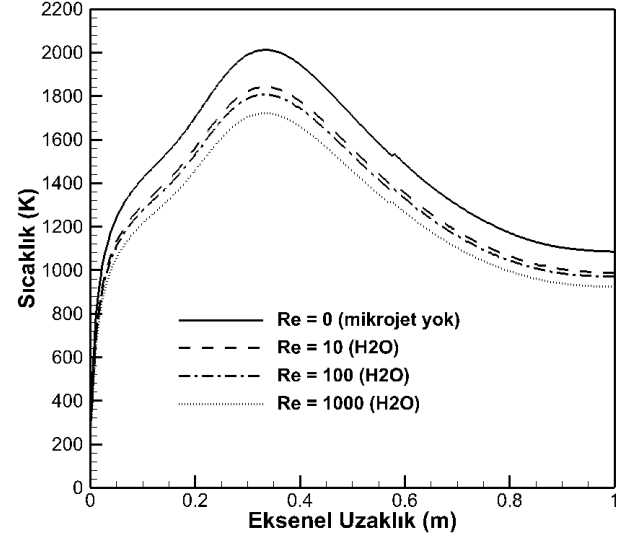
Farklı Re sayıları ile beslenen N₂ seyrelticisinin aksel sıcaklık dağılımı üzerine olan etkisi de Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'den, mikrojet olarak beslenen N₂'nin miktarı arttırıldıkça sıcaklık seviyelerinin bir miktar azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 9'da ise farklı Re sayıları ile mikrojet olarak yanma odasına gönderilen N₂ seyrelticisinin NOX emisyonları üzerine olan etkileri gösterilmiştir. Re sayısı arttırıldıkça, en yüksek NOX seviyelerinin bir miktar yer değiştirdiği ve kaydadeğer şekilde azalma gösterdiği Şekil 9'dan anlaşılmaktadır.



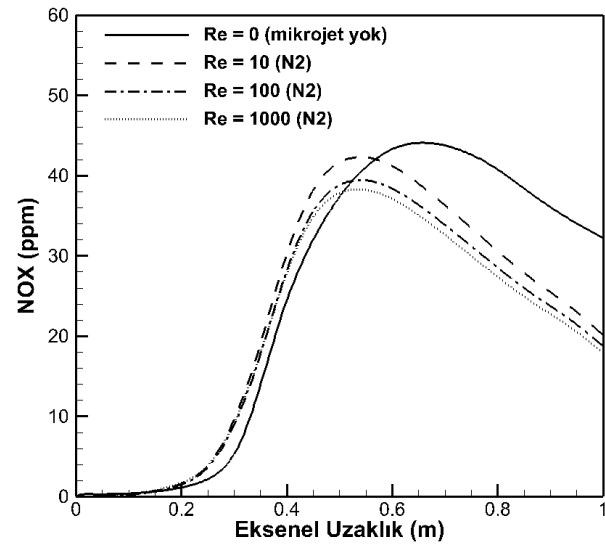
Şekil 7. Farklı Re sayıları için kullanılan CO₂ mikrojetinin aksel NO_x dağılımlarına olan etkisi (Effect of CO₂ microjet used for different Re numbers on axial NO_x distributions)



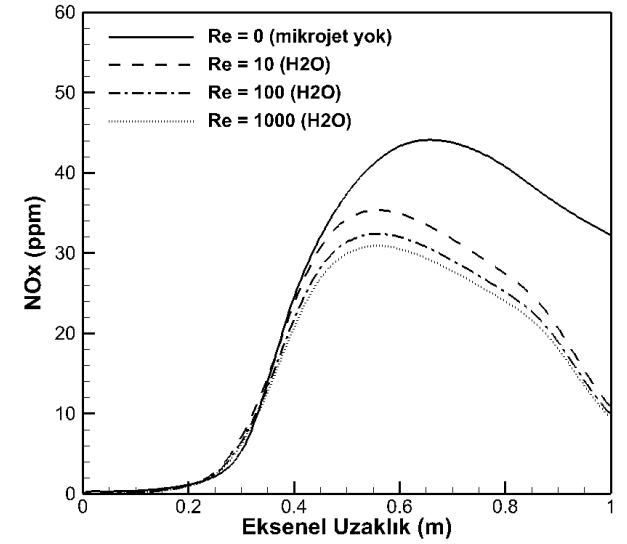
Şekil 8. Farklı Re sayıları için kullanılan N_2 mikrojetinin eksenel sıcaklık dağılımlarına olan etkisi (Effect of N_2 microjet used for different Re numbers on axial temperature distributions)



Şekil 10. Farklı Re sayıları için kullanılan H_2O mikrojetinin eksenel sıcaklık dağılımlarına olan etkisi (Effect of H_2O microjet used for different Re numbers on axial temperature distributions)



Şekil 9. Farklı Re sayıları için kullanılan N_2 mikrojetinin eksenel NO_x dağılımlarına olan etkisi (Effect of N_2 microjet used for different Re numbers on axial NO_x distributions)



Şekil 11. Farklı Re sayıları için kullanılan H_2O mikrojetinin eksenel NO_x dağılımlarına olan etkisi (Effect of H_2O microjet used for different Re numbers on axial NO_x distributions)

Farklı Re sayıları için seyreltici olarak kullanılan H_2O için tahmin edilen eksenel sıcaklık dağılımları Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10'dan, mikrojet olarak beslenen H_2O 'nın miktarı arttırıldıkça sıcaklık seviyelerinin önemli derecede azaldığı belirlenmiştir. Şekil 11'de ise farklı Re sayıları ile mikrojet olarak yanma odasına gönderilen H_2O seyrelticisinin NO_x emisyonları üzerine olan etkileri sunulmuştur. Re sayısı arttırıldıkça, en yüksek NO_x seviyelerinin önemli derecede azalma gösterdiği belirlenmiştir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu sayısal çalışmada, yanma odası merkezinden ön-karışimsız bir şekilde CO_2 , N_2 ve su buharı, mikrojet şeklinde seyreltici olarak metan-hava alevinin içerisine püskürtülmüş ve bu seyrelticilerin NO_x emisyonlarına olan etkileri araştırılmıştır. Yapılan sayısal çalışma neticesinde elde edilen bazı bulgular şöyledir:

- Mikrojet olarak seyreltici beslenmesi, en yüksek sıcaklık değerlerinin bir miktar düşürülmesine neden olmuştur.

- Mikrojet olarak seyreltici beslenmesi, NOX emisyonlarının önemli derecede azaltılmasına katkıda bulunmuştur. Çalışma neticesinde, aynı Re sayısı ile seyreltici beslenmesi durumunda en iyi seyreltici su buharı olduğu sonucuna varılmıştır.

- Su buharı, diğer seyrelticiler ile karşılaştırıldığında su buharının ısı kapasitesinin daha yüksek olduğu, bu durumun da sıcaklık seviyesinin azaltılmasına katkı sağladığı, böylece de ısı NOX'un en iyi su buharı ile bastırılabilirdiği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

- Su buharının mikrojet olarak beslenmesi ile yapılan seyreltme neticesinde yanma odası içerisindeki en yüksek NOX seviyeleri yaklaşık 45 ppm dolaylarında iken $Re = 1000$ için yapılan tahminlerde bu değer yaklaşık 30 ppm'e düştüğü, bu azalmanın da çalışma kapsamında gerçekleştirilen en iyi sonuç olduğu ortaya konulmuştur.

- Mikrojet şeklinde seyreltici beslenmesinde Re sayısının değiştirilmesinin aksel sıcaklık dağılımını da önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir.

- Re sayısı arttırıldıkça, seyreltici NOX emisyonlarını azaltmaya yönelik etkisinin de kaydadeğer şekilde arttığı belirlenmiştir.

Tüm bu bulgular ışığında, metan alevlerindeki NOX emisyonlarının, mikrojet şeklinde seyreltici beslenmesi yoluyla da azaltılabileceği, bu durumda da seyreltici olarak su buharının kullanılmasının daha faydalı olacağı, bu işlem neticesinde de yanma performansında önemli sayılabilecek ölçüde kayıp olmayacağı sonucuna varılmıştır. Bundan sonra yapılabilecek çalışmalar gözönüne alındığında mikrojet olarak yapılan seyreltici beslenmesinin farklı yakıtlar için de uygulanabileceği öneri olarak sunulabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, Ansys R18.0. akademik bilgisayar yazılımının kullanımından dolayı Gazi Üniversitesi'ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ilbas M., "Studies of Ultra Low NO_x Burners", *PhD Thesis*, University of Cardiff, 1997.
- [2] Chouaieb S., Kriaa W., Mhiri H. and Bournot. P., "A parametric study of microjet assisted methane/air turbulent flames", *Energy Conversion and Management*, 140: 121-132, (2017).
- [3] Chouaieb S., Kriaa W., Mhiri H. and Bournot. P., "Presumed PDF modeling of microjet assisted CH₄-H₂/air turbulent flames", *Energy Conversion and Management*, 120: 412-421, (2016).
- [4] Ganguly R. and Puri I. K., "Nonpremixed flame control with microjets", *Experiments in Fluids*, 36: 635-641, (2004).
- [5] Sinha A., Ganguly R. and Puri I. K., "Control of confined nonpremixed flames using a microjet", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 26: 431-439, (2005).
- [6] Yuchun C., Jinxing W., Jianchun M. and Yu Z., "Flame Structure of a Jet Flame with Penetration of Side Microjets", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16: 861-866, (2008).
- [7] Kanchi H., Russell K., Anderson M. J., Beard S. P., Strykowski P. J. and Mashayek F., "Fluidic control with microjets in dump combustors", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54: 5395-5405, (2011).