

مدل سازی عددی تاثیرات انتقال حرارت تشعشع در دیواره ضخامت دار ریز محفظه برای احتراق پیش‌امیخته متان- هوا

سید ابودر فنائی

استادیار مهندسی مکانیک - دانشگاه بیرجند
sab.famech@birjand.ac.ir

سارونه سبحانی

دانشجوی مقطع کارشناسی - دانشگاه بیرجند
Saroonesobhani@yahoo.com

جواد رجبی

دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد - دانشگاه بیرجند
Javadrajabimourkani70@birjand.ac.ir

چکیده

در این کار تاثیر شرط مرزی دیواره ضخامت دار در مدل عددی دوبعدی برای احتراق متان - هوا درون ریز محفظه برای جریان احتراقی بررسی شده است. در حل این مسئله می‌توان مدل فیزیکی سیال با جامد را به صورت کوپل مدل سازی عددی کرده و مدل سازی پارامتریک چند فیزیکیه برای فرایند احتراق متان- هوا انجام شد. این حل امکان واقعی تر بررسی ضخامت دیواره محفظه را با بررسی اثر ضخامت دیواره بر توزیع دمایی آن و نیز تاثیر افت جابه جایی از روی آن به محیط ایجاد می‌کند. نتایج این کار برای احتراق پیش‌امیخته متان - هوا در حالت دو بعدی همراه با شرایط مرزی جریان تراکم پذیر بودن، حالت پایا، شرط عدم لغزش در دیواره برای یک ریز محفظه نشان می‌دهد که توزیع دمایی دیواره برای حالت بدون تشعشع سطح به سطح بیشتر از تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا بیشتر از حالات تشعشع سطح به سطح دو جهته و تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین خواهد بود. همچنین انتقال حرارت تشعشعی تاثیر خود را به صورت اختلاف قابل ملاحظه نسبت به حالت بدون تشعشع در توزیع دمایی دیواره ریز محفظه نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: مدل سازی عددی، تشعشع، احتراق، ریز محفظه، متان - هوا.

مقدمه

در میان پدیده های موجود در طبیعت مسأله انتقال حرارت و مکانیک سیالات از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و اغلب کوره های صنعتی و محفظه های احتراقی های با اشکال گوناگون بر اساس قوانین حاکم بر این پدیده ها کار می‌کنند. در حال حاضر تحقیقات وسیعی برای توسعه مدل های جامع محفظه ها و کوره ها صورت می‌گیرد، تا به خواسته هایی نظیر افزایش ظرفیت کوره، بهبود کارایی حرارتی، کاهش مصرف سوخت و کاهش آلودگی های حاصل از احتراق پاسخ داده شود. در طی سال های اخیر ساخت کامپیوترهای با حافظه و سرعت بالا، تجزیه و تحلیل پدیده های پیچیده جریان سیال و احتراق و فرآیندهای تشعشعی را تا حدودی ممکن ساخته است. انتقال حرارت به سه روش هدایت، جابه جایی و تشعشع انجام می‌گیرد. انتقال حرارت تشعشعی در محیط های غیرمادی نیز انجام می‌گیرد. همچنین این نوع روش انتقال حرارت در حرارت های بالا چشمگیر است و نمی‌توان از آن صرف نظر کرد.

علاوه بر محفظه های احتراق که به آن اشاره شد، کوره های صنعتی نیز از جمله مواردی است که انتقال تشعشعی در آن باید در نظر گرفته شود. افزایش ظرفیت کوره، بهبودی کارایی حرارتی، کاهش مصرف سوخت و کاهش آلودگی های حاصل از احتراق از مسائل مهمی هستند که تحقیقات گسترده ای بر روی آن انجام می‌پذیرد. مدل سازی فرآیند انتقال حرارت تشعشعی به روش های گوناگونی انجام می‌شود و هر یک از آنها دارای قابلیت ها و دقت های متفاوتی می‌باشند. دقیق ترین روش برای شبیه سازی تشعشع در محفظه های احتراق، روش ناحیه ای^۱ و مونت کارلو^۲ می‌باشد [۱]. در سال ۱۹۹۲، سیگل^۳ و هاو^۴ انتقال حرارت را برای گاز شفاف در لوله ای نازک با شار انرژی یکنواخت، مطالعه کردند و توزیع دمایی یکنواخت را به دست آوردند [۲]. در سال ۱۹۸۲، فرانسیس^۵ و فرناندز^۶، مسئله ای را در زمینه انتقال حرارت ترکیبی هدایت و تشعشع در یک محیط فعال برای هندسه ای استوانه ای شکل حل کردند [۳]. ویسکانتا^۷ در سال ۱۹۶۳ تحقیقات گسترده ای را در زمینه تاثیرات متقابل مکانیزم های انتقال حرارت انجام داد [۴]. با کاهش سریع ذخایر منابع انرژی فسیلی، نیاز فوری به افزایش راندمان سیستم های مربوط به آن ها به وجود آمده است. یکی از موارد مهم برای ایجاد راندمان مطلوب در این نوع از سیستم ها استفاده از دستگاه های ترموفتوولتاییک است. این دستگاه ها انرژی خارج شده از محفظه احتراق و یا گرمای به وجود آمده از منابع انرژی دیگر را برای تولید برق استفاده می‌کنند. تولید برق به کمک تابش حرارتی از دیواره های گرم به سطح سلول فتوولتاییک ایجاد می‌شود [۵]. جاکوبسن و اپستین به بررسی سیستم های میکرو طراحی شده برای- تولید برق و یا کار مکانیکی پرداختند و ابراز داشتند که این زمینه می‌تواند به طور موثر برای بهبود کارایی سیستم های

- 1-Zone Method
- 2-Monte Carlo
- 3-Siegle
- 4-Howell
- 5-Francis
- 6-Fernandes
- 7-Viskanta

واکنش احتراق متان - هوا شامل انتقال حرارت و جریان سیال برای مخلوط هو او سوخت ورودی و مصرف جرم مخلوط درون ریز محفظه با هندسه مستطیلی شکل می باشد. بنابراین معادلات اصلی حاکم بر این مسئله با در نظر گرفتن فرضیاتی شامل حالت پایا، جریان تراکم پذیر، جریان مخلوط ورودی آرام، شرط عدم لغزش در دیواره ها، دمای ورودی ثابت مخلوط، سرعت ورودی ثابت مخلوط و انتقال حرارت جابجایی - تشعشع در مرز ریز محفظه بدست آمده است.

$$\nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (1)$$

$$\rho(u \cdot \nabla)u = \nabla[-PI + \mu \nabla u - \frac{2}{3} \mu(\nabla u) \cdot I] + F \quad (2)$$

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p (u \cdot \nabla T) = \nabla \cdot (K \nabla T) + Q \quad (3)$$

$$\nabla \cdot (-D_i \nabla C_i) + (u \cdot \nabla C_i) = R_i \quad (4)$$

$$Q = \varepsilon^* \sigma^* (T_0^4 - T_w^4) + h^* (T_0 - T_w) \quad (5)$$

هم چنین معادلات مربوط به انتقال حرارت تشعشعی بصورت زیر می باشد:

$$(1 - \varepsilon)G = J - \varepsilon e_b(T) \quad (6)$$

$$G = G_m(J) + G_{amb} + G_{ext} \quad (7)$$

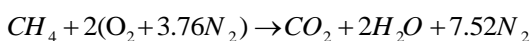
$$G_{amb} = F_{amb} e_b(T_{amb}) \quad (8)$$

$$e_b(T) = n^2 \sigma T^4 \quad (9)$$

برای احتراق متان - هوا از رابطه احتراق ارنیوسی که در زیر آمده است، استفاده شده است:

$$k^f = A^f (T / T_{ref})^{n^f} \exp(-E^f / R_g T) \quad (10)$$

واکنش تک مرحله ای (سینتیک شیمیایی) احتراق متان - هوا:

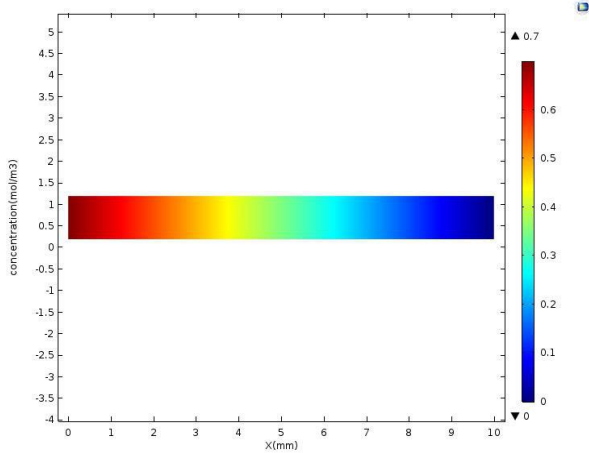


در رابطه (10) مقادیر برای احتراق متان - هوا به صورت زیر محاسبه شده اند:

$$A^f = 1.32 * 10^8 (m^6 / mol^2 s)$$

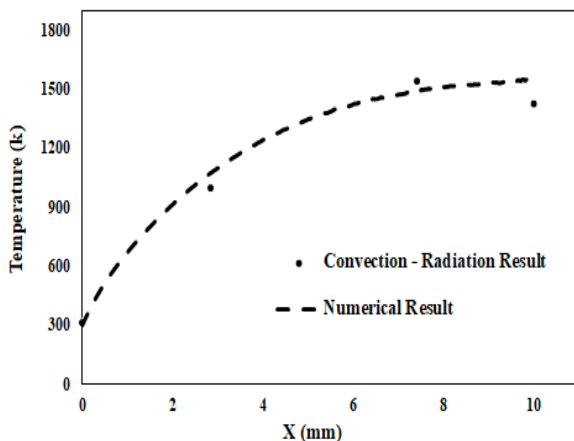
$$E^f = 2.57 * 10^5 (j / mol)$$

حرارتی موجود مورد توجه قرار گیرد [۶]. در نوع دیگر این سیستمها از محفظه احتراق به عنوان یکی از مهم ترین اجزای سیستم ترموفوتولتاییک استفاده می شود. برای دریافت توان الکتریکی خروجی بالا، توزیع دمای یکنواخت روی دیواره های جامد در تماس با جریان واکنشی مورد نیاز است. با این حال ایجاد احتراق در ابعاد کوچک باعث خواهد شد تا افزایش تلفات حرارتی به دلیل نسبت سطح به حجم بالا که تمایل به فرو نشاندن واکنش دارد آن را تحت تأثیر قرار دهد [۷]. احمد و همکاران به بررسی محدوده پایداری شعله هیدروژن در محفظه های احتراقی در مقیاس میلیمتری که به صورت کانال مستطیلی شکل هستند، پرداختند. نتایج این کار نشان داد که طول و عرض محفظه احتراق از پارامترهای مهم برای پایداری یا ثبات احتراق بوده که عرض محفظه نسبت به طول اهمیت بیشتری دارد [۸]. فنایی و ابوالفضل اصفهانی در یک روش تحلیلی یک بعدی به بررسی انتقال حرارت جریان غیر واکنشی - هیدروژن - هوا در یک کانال کوچک پرداختند. در این مدل، یک کانال ساده - در مقیاس میکرو که متشکل از دو صفحه موازی که در آن سوخت پیش - مخلوط شده و هوا وارد کانال می شود، در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از این کار نشان داد که در طول یک محفظه کوچک با جریان غیر واکنشی، درجه حرارت بی بعد افزایش می یابد در حالی که عدد پکلت کاهش می یابد [۹]. در پژوهش دیگر فنایی و همکاران یک مدل انتقال - حرارت یک بعدی تحلیلی در میکروکانال مستطیلی ارائه داده اند. در این مدل، یک کانال ساده در مقیاس میکرو تشکیل شده از دو صفحه موازی در نظر گرفته شده که سوخت و هوای پیش مخلوط شده وارد کانال می شوند. نتایج این کار نشان می دهد که کوچک شدن محفظه می تواند روی عدم پایداری شعله موجود در محفظه تأثیر داشته باشد [۱۰]. برای تکمیل - کردن این کار فنایی و همکاران یک مدل دوبعدی برای انتقال حرارت ناشی از جریان واکنشی داخل کانال با درجه حرارت دیواره ثابت را با تحلیل جرم و حرارت ارائه داده اند که نتایج این کار نشان دهنده تأثیر بالای نسبت سطح به حجم بر خاموش سازی شعله درون یک محفظه بسته است [۱۱ و ۱۲]. در کارهای مرور شده بررسی همزمان جرم، حرارت و حل سیالی با در نظر گرفتن جابجایی در مرز به صورت واقعی مورد بررسی قرار نگرفته اند که نرم افزار کامسول به دلیل چند فیزیکی بودن قابلیت بررسی تأثیرات ذکر شده را دارد و بنابراین هدف این کار این است که به بررسی تأثیر حالت های با در نظر گرفتن تشعشع و حالت بدون تشعشع بر توزیع دمای دیواره ریز محفظه برای حالت مرزی شار حرارتی ترکیبی جابجایی - تشعشع، تغییرات دما در دیواره ریز محفظه بر حسب طول محفظه در چهار حالات مختلف تشعشع سطح به سطح دو جهته، تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا، تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین و حالت بدون تشعشع سطح به سطح، تأثیرات تغییرات سرعت و غلظت برای چهار حالات مختلف تشعشع ذکر شده در بالا پرداخته شود.



شکل ۳: نمایش تغییرات غلظت فرایند احتراق در مدل سازی عددی

در شکل (۴) مقایسه نتایج عددی با نتایج شرط مرزی ترکیبی جابجایی - تشعشع برای تغییرات دمای مرکز ریز محفظه تحت تاثیر جریان احتراقی در قطر هیدرولیکی ۱ میلی متر گزارش شده است. همان طور که در این شکل دیده می شود، مدل توافق قابل قبولی با میزان خطای بسیار پایین، با داده های گزارش شده [۱۲] دارد.

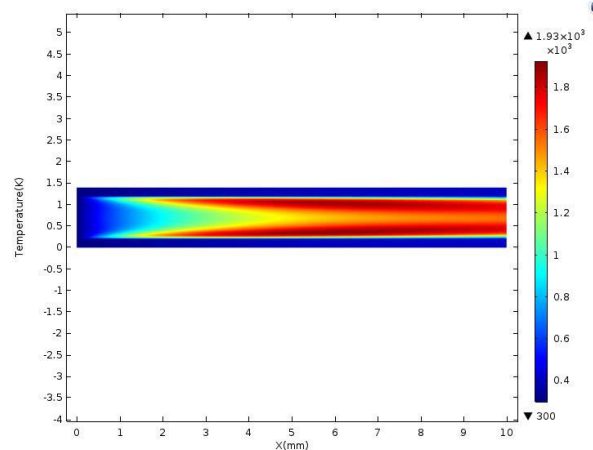


شکل ۴: مقایسه نتایج عددی با شرط مرزی ترکیبی جابجایی - تشعشع در جریان احتراقی گزارش شده در [۱۲] در قطر هیدرولیکی ۱ میلی متر

در شکل (۵) تاثیر حالت های با در نظر گرفتن تشعشع و حالت بدون تشعشع بر توزیع دمای دیواره ریز محفظه برای حالت مرزی شارحرارتی ترکیبی جابجایی - تشعشع را نشان می دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می شود انتقال حرارت تشعشعی تاثیر خود را بصورت اختلاف دمایی با حالت بدون تشعشع نشان می دهد.

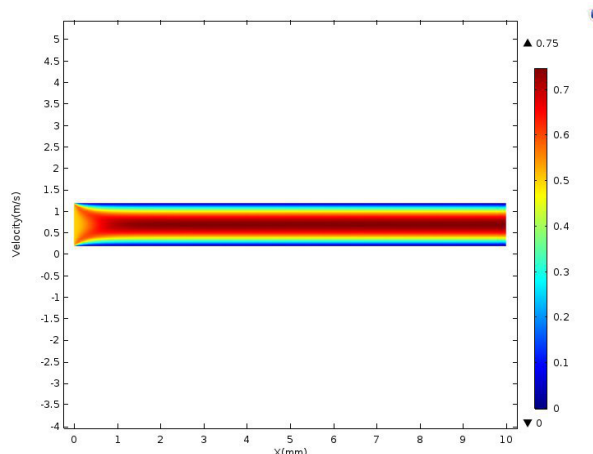
بحث و نتیجه گیری

در شکل (۱) کانتور تغییرات دما بر حسب طول ریز محفظه که توسط مدل سازی عددی انجام شده با نرم افزار کامسول نشان داده شده است. این شکل با توجه به اعمال هندسه و شرایط مرزی مطابق با مقاله [۱۲] انجام گرفته است. همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود دمای داخل ریز محفظه در اثر اعمال فرایند احتراق پیش امیخته متان - هوا افزایش یافته است.



شکل ۱: نمایش تغییرات دمای فرایند احتراق در مدل سازی عددی

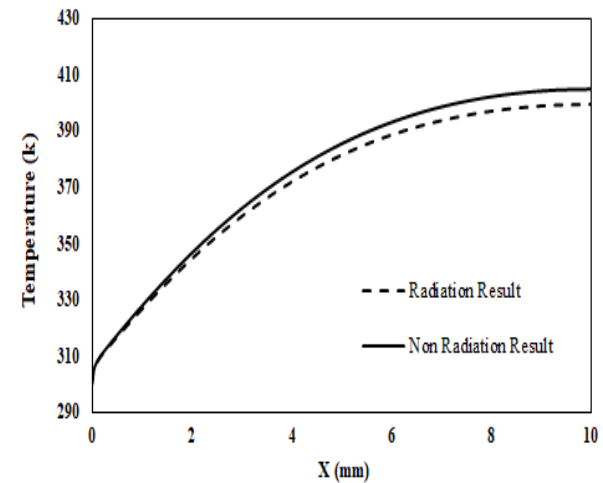
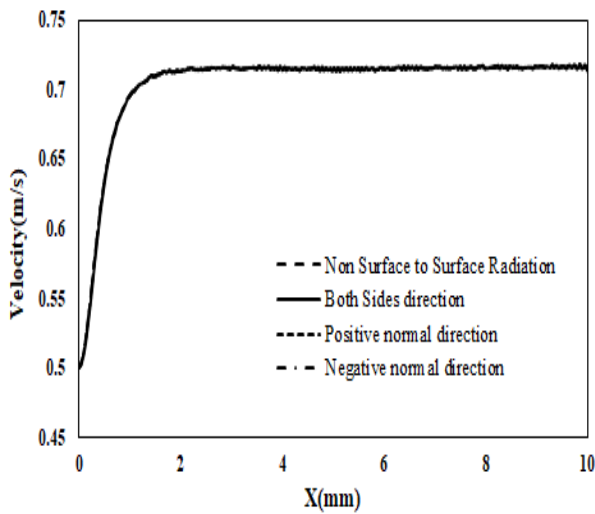
در شکل (۲) کانتور تغییرات سرعت بر حسب طول ریز محفظه توسط مدل سازی عددی انجام شده با نرم افزار کامسول نشان داده شده است. در شکل (۲) مشاهده می شود که در نتیجه فرایند احتراق، سرعت مخلوط متان - هوا در جهت افزایش پیش رفته است تا اینکه در نهایت مقدار آن به ۰/۷۵ متر بر ثانیه می رسد.



شکل ۲: نمایش تغییرات سرعت فرایند احتراق در مدل سازی عددی

در شکل (۳) کانتور تغییرات غلظت بر حسب طول ریز محفظه توسط مدل سازی عددی انجام شده با نرم افزار کامسول نشان داده شده است. در شکل (۳) مشاهده می شود که در نتیجه فرایند احتراق، غلظت مخلوط متان - هوا در جهت کاهش پیش رفته است تا اینکه در نهایت مقدار آن به صفر می رسد.

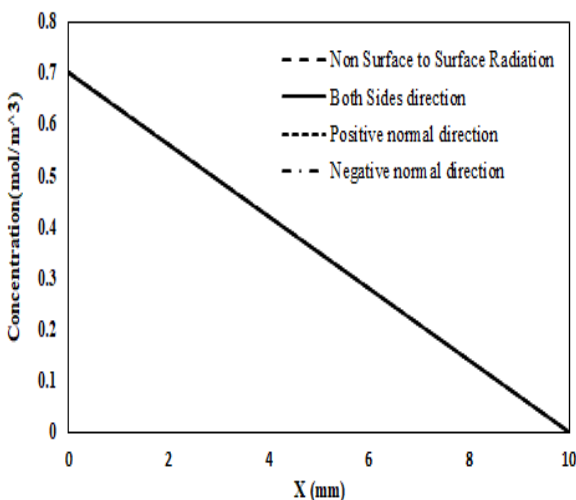
مقادیر سرعت در این چهار حالت ذکر شده نسبت به یکدیگر تغییری نداشته و نمودارهایشان بر هم منطبق است.



شکل ۵: نتایج تغییرات دمای دیواره با در نظر گرفتن تشعشع و بدون تشعشع برای حالت مرزی شارحرارتی ترکیبی جابجایی - تشعشع

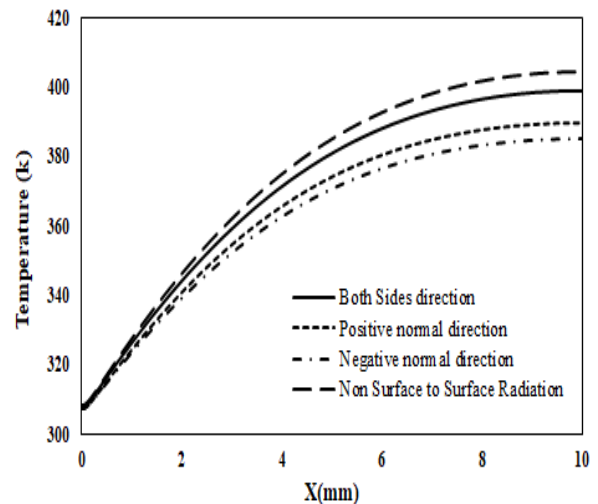
شکل ۷: نتایج تغییرات سرعت برحسب طول محفظه در چهارحالات مختلف تشعشع سطح به سطح دو جهته، تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا، تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین و حالت بدون تشعشع سطح به سطح در قطر هیدرولیکی ۱ میلی متر برای شرط مرزی ترکیبی جابجایی - تشعشع

در شکل (۸) نتایج تغییرات غلظت برحسب طول محفظه در چهارحالات مختلف تشعشع سطح به سطح دو جهته، تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا، تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین و حالت بدون تشعشع سطح به سطح در قطر هیدرولیکی ۱ میلی متر نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، مقادیر غلظت در این چهار حالت ذکر شده نسبت به یکدیگر تغییری نداشته و نمودارهایشان بر هم منطبق است.



شکل ۸: نتایج تاثیر تغییرات غلظت متان در ریز محفظه برحسب طول محفظه در چهارحالات مختلف تشعشع سطح به سطح دو جهته، تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا، تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین و حالت بدون تشعشع سطح به سطح در قطر هیدرولیکی ۱ میلی متر برای شرط مرزی ترکیبی جابجایی - تشعشع

در شکل (۶) تغییرات دما در دیواره ریز محفظه برحسب طول محفظه در چهارحالات مختلف تشعشع سطح به سطح دو جهته، تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا، تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین و حالت بدون تشعشع سطح به سطح در قطر هیدرولیکی ۱ میلی متر نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، توزیع دمای دیواره برای حالت بدون تشعشع سطح به سطح بیشتر از تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا بیشتر از حالات تشعشع سطح به سطح دو جهته و تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین خواهد بود.



شکل ۶: نتایج تاثیر تغییرات دما در دیواره ریز محفظه برحسب طول محفظه در چهارحالات مختلف تشعشع سطح به سطح دو جهته، تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا، تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین و حالت بدون تشعشع سطح به سطح در قطر هیدرولیکی ۱ میلی متر برای شرط مرزی ترکیبی جابجایی - تشعشع

در شکل (۷) قسمت اول نتایج تغییرات سرعت برحسب طول محفظه در چهارحالات مختلف تشعشع سطح به سطح دو جهته، تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا، تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین و

حالت بدون تشعشع سطح به سطح در قطر هیدرولیکی ۱ میلی متر نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود،

نتیجه گیری

در این کار تاثیرات انتقال حرارت تشعشعی در دیواره ضخامت دار ریز محفظه برای احتراق پیش آمیخته متان- هوا در مدل عددی دوبعدی برای احتراق متان - هوا درون ریز محفظه برای جریان احتراقی با فشار اتمسفری پرداخته شده است. مهم ترین نتایج کار عبارتند از:

- مقایسه نتایج عددی با نتایج شرط مرزی ترکیبی جابجایی - تشعشع برای تغییرات دمای مرکز ریز محفظه تحت تاثیر جریان احتراقی به دست آمده در مدل حاضر توافق قابل قبولی با داده های گزارش شده [۱۲] با خطای بسیار پایین دارد.
- با مقایسه تغییرات سرعت بر حسب طول محفظه در چهار حالت مختلف تشعشع سطح به سطح دو جهته، تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا، تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین و حالت بدون تشعشع سطح به سطح مشاهده می شود که مقادیر سرعت و غلظت در این چهار حالت ذکر شده نسبت به یکدیگر تغییری نداشته و نمودارهایشان بر هم منطبق است.
- انتقال حرارت تشعشعی تاثیر خود را بصورت اختلاف دمایی نسبت به حالت بدون تشعشع به صورت قابل ملاحظه نشان می دهد.
- توزیع دمای دیواره برای حالت بدون تشعشع سطح به سطح بیشتر از تشعشع سطحی تک جهته رو به بالا بیشتر از حالات تشعشع سطح به سطح دو جهته و تشعشع سطحی تک جهته رو به پایین خواهد بود.

فهرست علائم

P	فشار، pa
u	سرعت، m/s
F	نیروی حجمی، N/m^3
T	دما، k
K	ضریب هدایت حرارتی، w/m.k
R_i	نرخ واکنش، $mol/m^3.s$
C_i	غلظت گونه، mol/m^3
D_i	نفوذ گونه، m^2/s
Q	شار حرارتی، w/m^2
C_p	گرمای ویژه در فشار ثابت، J/kgK
h	ضریب انتقال حرارت جابجایی، $w/m^2.k$
ε	ضریب صدور سطح
T_{amb}	دمای محیط، k
J	رادپوسیتی سطح، w/m^2
σ	ثابت استفان - بولتزمن

"فهرست علائم یونانی"

ρ	چگالی، kg/m^3
μ	ضریب لزجت دینامیکی، pa.s

مراجع

- 1- J.M.Rhine and R.J.Tucker, ۱۹۹۱ "Modeling of Gas-Fired Furnace and boiler", Mc Graw Hill.
- 2- Robert Siegel and John R. Howell, ۱۹۹۲ "Thermal radiation Heat Transfer", Hemisphere Publishing Corporation, Washington D.C.
- 3-Fernandes and Francis, 1982 "Combined conductive and radiative heat transfer in an absorbing, emitting and scattering cylindrical medium", J. of heat transfer, vol. 104.
- 4-Viskanta, 1963 "Interaction of heat transfer by conduction, convection and radiation in a radiating fluid", J. of heat transfer.
- 5- S. Basu, Y. B. Chen, and Z. M. Zhang, 2007, Microscale radiation in thermophotovoltaic devices - A review, International Journal of Energy Research, Vol. 31, no. 6-7, pp. 689-716.
- 6-S.A.Jacobson and A.H. Epstein, 2003, An Informal Survey of Power MEMS, The 18th International Symposium on Micro-Mechanical Engineering, Tsuchiura and Tsukuba, Japan.
- 7- W.M. Yang, S.K. Chou, C. Shu, H. Xue, Z.W. Li, D.T. Li and J.F. Pan, 2003, "Microscale combustion research for application to micro thermophotovoltaic systems", Energy Conversion Management, 44, 2625-2634.
- 8-- M. Ahmed, A. Choudhuri, V. Shirsats, and M. Rahman, 2011, "An Investigation of Lean Limits of Hydrogen Flame at Meso-Scale", 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Exposition, Horizons Forum and Aerospace Orlando, Florida.
- 9- J.A. Esfahani, and S.A. Fanaee, 2015, Analytical Modeling of Hydrogen-Air Mixture in a Catalytic Microchannel, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, vol. 22, pp. 274-280
- 10- S.A. Fanaee, and J.A. Esfahani, 2014, The analytical modeling of propane-oxygen mixture at catalytic micro-channel, Heat and Mass Transfer, vol. 50, pp. 1365-1373.
- 11- M. Bidabadi, S. Montazerinejad, and S.A. Fanaee, 2010, An Analytical Study of Radiation Effect on the Ignition of Magnesium Particles Using Perturbation Theory, Latin American Applied Research, vol. 40, pp. 351-357.
- 12- P. BalaMurali, 2014, Simulation studies of premixed CH_4 /air Microcombustion, International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 4, pp. 96-102.

