

مقایسه تجربی احتراق در محیط متخلخل کربید سیلیسیم و آلومینا

سید عبدالمهدی هاشمی^{۱*}، محسن ناظمی^۲

دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مکانیک

Hashemi@kashanu.ac.ir*

چکیده

در مقاله حاضر احتراق در دو محیط متخلخل از جنس کربید سیلیسیم و آلومینا به طور تجربی بررسی و مقایسه شده است. مطالعه بر اساس اندازه گیری دمای جانبی محیط متخلخل و مقایسه توزیع دما در حالات مختلف صورت گرفته است. آزمایشات نشان می‌دهد که برای محیط با ضخامت ۴۴mm شعله در تمام حالات در قسمت تحتانی محیط تشکیل می‌شود. با افزایش نرخ آتش کلیه دماها در راستای محیط افزایش می‌یابند. مقایسه دو محیط نشان می‌دهد که رفتار شعله در هردو مشابه است اما به دلیل اتلاف بیشتر حرارت در محیط SiC که آنهم بدلیل ضریب هدایت و ضریب صدور بالاتر این محیط نسبت به آلومیناست، دما در محیط SiC کمتر است. افزایش نسبت هم ارزی ابتدا موجب افزایش دما و سپس موجب کاهش آن می‌شود. این تغییرات در آلومینا نسبت به SiC شدیدتر است.

واژه‌های کلیدی: محیط متخلخل - احتراق - پایداری شعله - نرخ آتش

۱- مقدمه

تکنولوژی مشعل متخلخل، بر پایه احتراق در داخل یک محیط متخلخل است. دامنه کارکرد وسیع همراه با توان حرارتی بالا، ابعاد کوچک و نشر کم گازهای آلاینده‌ها، این تکنولوژی را در صنایعی همچون نیروگاه‌ها و صنعت خودروسازی و همچنین کاربردهای خانگی گسترش داده است.

احتراق در محیط متخلخل نمونه‌ای از احتراق است که در آن شبکه‌ی جامد حرارت را از طریق تابش و هدایت از جبهه شعله به مخلوط اولیه احتراق انتقال می‌دهد [۱، ۲]. در مشعل‌های متخلخل به علت بالا بودن نرخ حرارت برگشتی فرایندهای متفاوتی نسبت به شعله‌های عادی می‌تواند رخ دهد. مثلاً تحت شرایطی به علت پیش گرم شدن مخلوط دمای ناحیه احتراق می‌تواند از دمای آدیاباتیک بیشتر شود و یا سرعت شعله می‌تواند بیش از شعله‌ی آرام شود [۳ و ۴].

در عمده‌ی سیستم‌های احتراقی از ساختار شعله آزاد استفاده می‌شود که در آن‌ها ضخامت شعله (خصوصاً در حالت پیش‌مخلوط) کوچک است. دلیل این ضخامت نازک ضریب انتقال حرارت هدایتی پایین مخلوط گاز است. گرادیان دمای بالا در منطقه باریک احتراق، باعث انتقال حرارت در خلاف جهت حرکت جریان و در نتیجه رساندن مخلوط احتراق به دمای شعله‌وری می‌گردد. به منظور افزایش توان حرارتی و افزایش سرعت شعله در شعله آزاد از روش ایجاد اغتشاش در بالا دست جریان گاز استفاده می‌شود. این امر باعث ضخیم‌تر شدن جبهه‌ی شعله و افزایش انتقال حرارت می‌گردد. اما در کنار این بهبود، افزایش اغتشاش باعث افزایش ناپایداری، تولید سر و صدا و افزایش افت فشار می‌گردد.

۱ - استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان

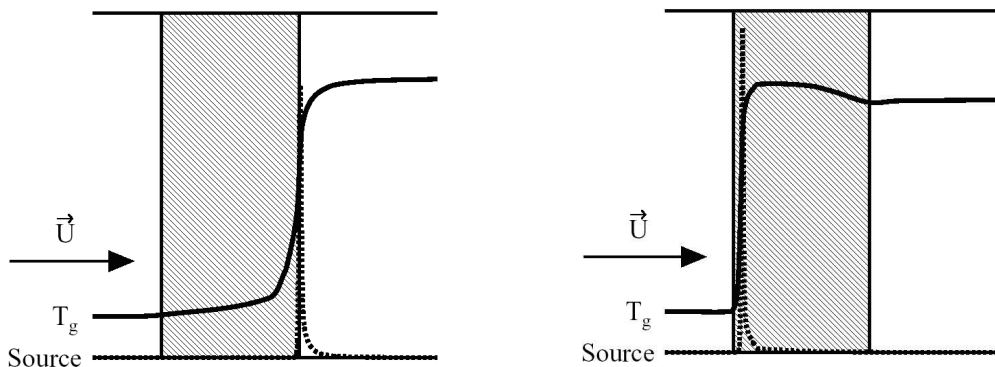
۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان

با توجه به خواص ضعیف انتقال حرارت تابشی و هدایت در مخلوط گاز، این ایده پیشنهاد شد که با استفاده از خصوصیات حرارتی مناسب مواد جامد می‌توان نرخ انتقال حرارت را افزایش داد. محیط‌های جامد متخلخل که توان عبور سیال را دارند برای این منظور مناسبند. در سال ۱۹۷۱ واینبرگ ایده گرفتن انرژی از شعله پیش‌مخلوط به منظور ایجاد تبادل حرارت درونی برای پیش‌گرمایش مخلوط هوا و سوخت را مطرح نمود [۳]. حدود شعله وری در این حالت از شعله‌های معمولی گسترده‌تر است. در حدود سالهای ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۱ تاکنو و ساتو نشان دادند که این ایده را می‌توان توسط هدایت حرارتی درون یک مشعل متخلخل برآورده نمود که این موجب آغاز تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه شد [۶]. در مواد متخلخل انتقال حرارت توسط هدایت و تابش به میزان قابل ملاحظه‌ای بیش از گازهاست. به همین دلیل مخلوط ورودی در بالا دست ناحیه احتراق توسط تابش صادر شده از ناحیه پایین دست احتراق و انتقال حرارت هدایتی داخل ماده متخلخل پیش‌گرم می‌شود. تابش صادر شده از ناحیه احتراق عمدتاً باعث گرم شدن قسمت جامد محیط متخلخل در بالادست جریان می‌شود و سپس قسمت جامد بواسطه انتقال حرارت جابجایی باعث گرم شدن مخلوط گاز می‌گردد. بخش ناچیزی از این تابش (به دلیل ضریب جذب پایین گاز) مستقیماً سبب گرمایش مخلوط می‌شود [۱].

عمده مواد و ترکیبات تشکیل دهنده محیط متخلخل در این مشعلها، سرامیکهای پایدار شده و یا الیاف فلزی هستند. مواد پایه سرامیکها عمدتاً شامل سلیکون کرباید (SiC)، آلومینا (Al_2O_3) و زیرکونیا (ZrO_2) می‌باشد. جنس الیاف فلزی نیز از آلیاژهایی استفاده می‌شود که مقاومت زیادی در مقابل اکسید شدن در دماهای بالا را داشته باشند [۸]. از نظر موقعیت ناحیه احتراق می‌توان طبقه بندی زیر را عنوان نمود:

- احتراق درون ماده متخلخل (Submerged Combustion)
- احتراق در نزدیکی سطح (Surface Combustion)

در شکل ۱ این دو نمونه احتراق نشان داده شده است. نوع اول برای مبدل‌های حرارتی و نوع دوم برای مشعل‌های تابشی مناسب هستند [۶].



ب- احتراق سطحی در محیط متخلخل

الف- احتراق درون محیط متخلخل

شکل ۱- دو نمونه متداول احتراق در مشعلهای متخلخل

آزمایشات انجام گرفته توسط بابکین و همکارانش در سال ۱۹۹۱ نشان می‌داد که برای ایجاد احتراق در ماده‌ی متخلخل عدد پکلت (Pe) باید بزرگتر از ۶۵ باشد. عدد پکلت از رابطه‌ی (۱) بدست می‌آید:

$$\left(Pe = \frac{S_l d_m C_p \rho}{\lambda} \right), \quad Pe \geq 65 \quad (1)$$

که در آن S_l سرعت شعله آرام، d_m قطر معادل حفره‌های ماده متخلخل، C_p ظرفیت حرارتی ویژه، ρ دانسیته و λ ضریب هدایت حرارتی مخلوط گاز است. چنانچه عدد پکلت کوچکتر از ۶۵ باشد شعله خاموش می‌گردد [۹]. در اکثر مشعل‌های متخلخل سرامیکی با پیش مخلوط سوخت و هوا، جهت پیش گرمایش مخلوط از محیط متخلخلی با قطر حفره‌های کوچک استفاده می‌شود، به گونه‌ای که عدد پکلت در آن کمتر از حالت بحرانی ($Pe < 65$) باشد. این منطقه علاوه بر پیش گرمایش مخلوط، باعث جلوگیری از برگشت شعله نیز می‌شود. پس از این ناحیه، ناحیه متخلخل دیگری با قطر حفره‌های بزرگتر قرار دارد که اجازه ایجاد فرآیند احتراق را می‌دهد. مشاهدات در این گونه آزمایشات نشان داده است که ناحیه شعله پس از ناحیه پیش گرم و در ابتدای ناحیه احتراق مستقر می‌شود. زمانی که از محیط متخلخل برای ایجاد تابش استفاده می‌شود، معمولاً ضخامت ناحیه کم بوده و از چینش دو ناحیه مجزا برای پیش گرم کردن و احتراق استفاده نمی‌شود [۱۰] و [۱۱].

ساث و همکاران [۱۲] مطالعه‌ای آزمایشگاهی و تئوری در زمینه‌ی کارکرد مشعل‌های تابشی انجام دادند. در این مطالعه پایداری و خواص حرارتی مخلوط رقیق متان- هوا بررسی گردید. محیط متخلخل از جنس سرامیک فومی لیتیم آلومینا سیلیکات (LAS) است. در این مطالعه ناحیه متخلخل دارای ضخامت ۵/۱cm و قطر محیط متخلخل سرامیکی بیش از ۱۲/۲cm و میزان تخلخل برحسب ppc^3 برابر ۳/۹۴ است. احتراق به دو صورت پایدار می‌شود. در یک نوع شعله در نیمه‌ی بالادست محیط متخلخل و در دیگری در لبه‌ی پایین دست محیط قرار می‌گیرد. مدلسازی عددی نیز همین نتیجه را پیش‌بینی می‌کند. سرعت سوزش در این آزمایش از سوختن شعله‌ی آرام بیشتر شده است. در دو حالت ذکر شده سرعت شعله بیش از حالتی است که شعله در وسط محیط قرار دارد. همچنین در نسبت هم‌ارزی ۰/۵ شعله در پایین دست جریان با سرعت شعله‌ی ۱۵/۲ تا ۱۷/۳cm/s پایدار می‌شود.

مین و همکاران [۱۳] مطالعه‌ای تئوری و تجربی در زمینه‌ی احتراق در محیط‌های متخلخل انجام دادند. آنها در این تحلیل از سرامیک‌های لانه زنبوری استفاده کردند. این محیط‌ها بصورت استوانه‌ای و دارای قطر ۷/۶cm و طول ۱/۹cm و دارای تخلخل ۷۵٪ است. جنس محیط‌ها از منیزیم آلومینا سیلیکات می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که بازه‌ی شعله‌پذیری و پایداری شعله در مقایسه با شعله‌ی آزاد بیشتر شده است. همچنین تحلیل عددی نشان می‌دهد شعله در پایین‌دست جریان پایدار می‌شود اما دلیل وجود تلفات حرارتی آزمایشات این رفتار را نشان نمی‌دهد. همچنین در نسبت هم‌ارزی ۰/۴۹ و ۰/۶۶ سرعت شعله‌ی پایدار از سرعت شعله‌ی آرام بیشتر است.

برنز و همکاران [۱۴] بررسی عددی و آزمایشگاهی بر شعله‌ی پایدار در داخل محیط متخلخل انجام دادند. در مدل عددی آنها انتقال حرارت و الگوی جریان نسبتاً همگن برای محیط متخلخل ایجاد شده است. دستگاه آزمایشگاهی آنها مشعلی ۱۰kW با مقطع مستطیلی است که مبدل حرارتی در دیواره‌ی آن بکار رفته است و توسط آن شعله را در محلی خاص پایدار می‌کنند. جنس محیط متخلخل پایین دست از ساختار لایه‌ای Al_2O_3 و SiC می‌باشد. آنها پروفیل دما و میزان آلاینده‌ها را در مبدل بدست آوردند و با نتایج عددی مقایسه نمودند. نتایج آنها نشان می‌دهد که با کاهش نسبت هم‌ارزی در حالت رقیق، هم دمای گاز و هم دمای جامد کاهش می‌یابد.

دیامانتیس و همکاران [۱۵] شعله‌ی پیش مخلوط را در داخل محیط متخلخل مدل‌سازی کردند. مدل آنها ساختار شعله را در محیط تک لایه و دولایه بررسی می‌کرد. آنها مدل تابشی داخل محیط را بدون هیچ ساده‌سازی حل کردند. نتایج نشان داد که در شعله‌ی پایدار شده‌ی سطحی سرعت کمتر از سرعت شعله‌ی آرام است. در مقابل در شعله‌های

³ Pores Per Centimeters

مدفون، سرعت شعله بیش از سرعت شعله‌ی آرام خواهد بود. بنابراین در شعله‌ی مدفون در یک نسبت هم‌ارزی ضریب انتقال حرارت حجمی کمتر از شعله‌ی آزاد می‌باشد.

در این تحقیق دما و رفتار شعله در دو نوع محیط متخلخل سرامیکی آلومینا و کربید سیلیسیم بررسی شده است. در مورد هر کدام از محیط‌ها، آزمایش با ترکیب سنگ‌هایی با تخلخل ۱۰ppc و ۲۰ppc انجام گرفته است. ضخامت هر کدام از سنگ‌های سرامیکی ۲۲ mm است. این سنگ‌ها در نشیمنگاه مخصوصی که طراحی و ساخته شده است، قرار می‌گیرند. تمامی آزمایش‌ها با سوخت گاز طبیعی انجام شده و نرخ آتش (firing rate) در محدوده ۱۸۲.۹ kW/m^2 تا ۳۶۵ kW/m^2 می‌باشد.

۲- شرح دستگاه آزمایش

دستگاه ساخته شده برای این منظور از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است. برای اختلاط بهتر گاز و هوا یک پیش‌مخلوط در نظر گرفته شده است که قابلیت تنظیم دبی‌های گاز و هوا را دارد. شکل ۱ دستگاه ساخته شده را به همراه پیش‌مخلوط کن نمایش می‌دهد.



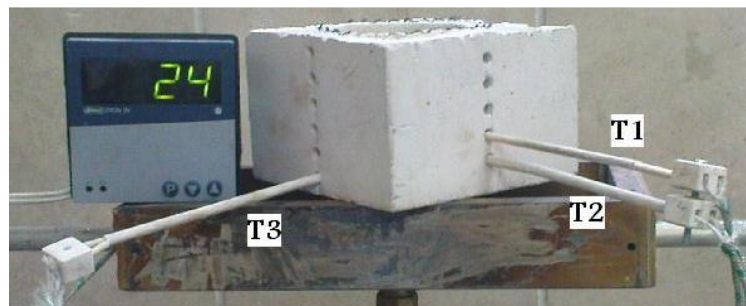
شکل ۲- تصویر دستگاه آزمایش

برای اندازه‌گیری دبی هوا و گاز با توجه به دامن‌های دبی‌های مورد استفاده از دو عدد روتامتر متناسب با دبی‌ها استفاده شده است. هوای مورد نیاز توسط کمپرسور تأمین می‌شود و گاز مصرفی همان طور که قبلاً ذکر شد، گاز طبیعی است. بر سر راه هوای ورودی از کمپرسور به روتامتر یک فیلتر هوا نصب شده است تا حتی الامکان از راه یافتن قطرات آب به داخل روتامتر جلوگیری شود. نحوه اتصال روتامترها و کمپرسور و همچنین قرار گرفتن فیلتر هوا در شکل ۳ به طور کامل نشان داده شده است.



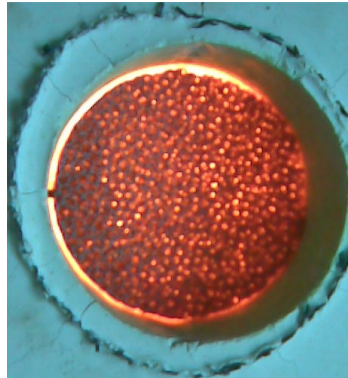
شکل ۳- نحوه اتصال فیلتر هوا و روتامترها

در این کار دمای جانبی محیط اندازه گیری می شود. برای این منظور از ترموکوپل های نوع k استفاده شده و سر فلزی ترموکوپل دقیقاً با سنگ سرامیکی در تماس است. دمایی که به عنوان دمای محیط متخلخل اندازه گیری می شوند باید در حالت پایدار شعله خوانده شوند. یکی از ویژگی های مشعل متخلخل این است که شعله برای رسیدن به حالت پایدار زمان زیادی می خواهد. این زمان بین ۱۵ تا ۳۰ دقیقه و یا و در برخی موارد بیشتر می باشد. در این کار برای بررسی موقعیت شعله، دما در سه نقطه از محیط اندازه گیری می شود. فاصله ترموکوپل ها از کف محیط به ترتیب برابر ۲۸mm، ۴۳mm و ۳ mm می باشد. موقعیت ترموکوپل ها در شکل ۴ نشان داده شده است. قابل ذکر است که دمای خوانده شده دمای سطح جانبی محیط متخلخل است که با دمای مرکز آن به دلیل اتلاف حرارت جانبی متفاوت است (چنانچه پیرامون مشعل عایق باشد و اتلاف حرارت جانبی وجود نداشته باشد دما در پیرامون و مرکز محیط یکی است). با توجه به این موضوع توزیع دمای پیرامون بیانگر توزیع دما در مرکز محیط نیز خواهد بود.



شکل ۴- نحوه قرار گرفتن ترموکوپل ها

با توجه به زمان طولانی برای پایداری شعله دمای هر ترموکوپل در هر ۱۰ دقیقه یادداشت شده است. زمانی که دماها ثابت می مانند یا این که تغییرات خیلی کمی دارند پایداری شعله در محیط بدست آمده است. با این کار زمان پایداری شعله نیز مشخص می شود که فعلاً خارج از بحث این تحقیق است. نمونه ای از سطح خروجی یک محیط متخلخل در حالت پایداری شعله در یک آزمایش در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵- تصویر سطح خروجی مشعل متخلخل در یک نمونه آزمون

۳- نتایج آزمایش

پارامترهایی که در این مجموعه آزمون‌ها تغییر می‌کنند دبی گاز طبیعی و دبی هوای ورودی می‌باشند. ضخامت و تخلخل بستر سرامیکی در طول آزمایش، برای هر دو نوع محیط ثابت است.

نتایج مربوط به چنین آزمایش‌هایی در منابع مختلف یا بر حسب نرخ آتش [۱] (Firing Rate) یا بر حسب نسبت هم‌ارزی [۶] (Equivalence Ratio) ارائه می‌شوند که بستگی به نحوه آزمایش دارند. در این تحقیق با توجه به اینکه آزمایشات بر حسب تغییر دبی جرمی سوخت و تنظیم دبی هوا است، لذا نتایج بر حسب نرخ آتش بیان می‌شوند. نرخ آتش بیانگر میزان انرژی شیمیایی سوخت بر واحد سطح بوده و از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$FR = \frac{LHV \times \dot{m}_f}{A} \quad (2)$$

در رابطه‌ی (۲)، LHV ارزش حرارتی پایین سوخت، \dot{m}_f دبی جرمی سوخت و A سطح مقطع مشعل می‌باشد. سطح مقطع مشعل دستگاه مورد آزمایش 63.62 cm^2 می‌باشد.

پارامتر دیگری که در این جا مورد استفاده قرار می‌گیرد، نسبت هم‌ارزی است و به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\phi = \frac{FA_a}{FA_s} \quad (3)$$

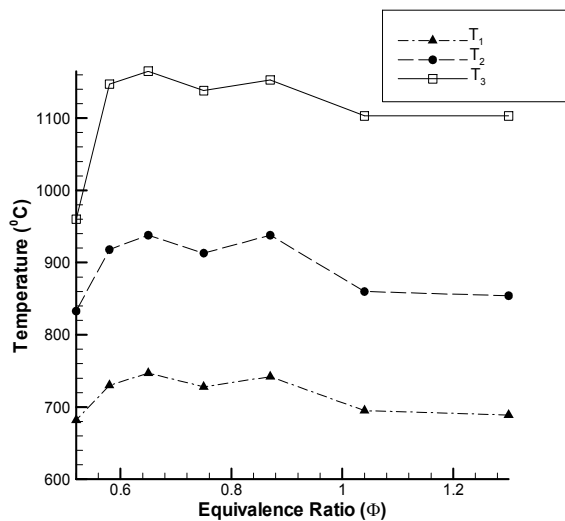
در رابطه (۳) منظور از FA_a نسبت سوخت به هوای واقعی که در واکنش حضور دارد می‌باشد و منظور از FA_s نسبت سوخت به هوای استوکیومتری است.

آزمایش‌ها در هر دو محیط متخلخل برای دو نرخ آتش 275 kW/m^2 و 365 kW/m^2 (متناظر با دبی‌های سوخت $4.5 \times 10^{-5} \text{ kg/sec}$ و $6 \times 10^{-5} \text{ kg/sec}$) صورت گرفته است. به این ترتیب که در یک دبی مشخص گاز دبی هوا را تغییر داده و تا رسیدن به پایداری شعله هر ده دقیقه دما در سه نقطه مورد نظر ثبت شده است.

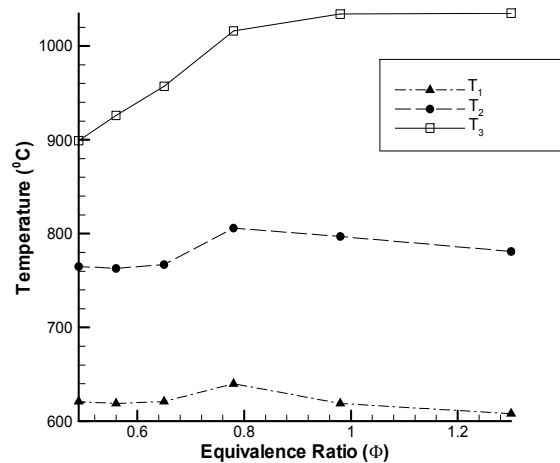
۳-۱- مقایسه نتایج در محیط کربید سیلیسیم و آلومینا

در محیط متخلخل با جنس کربید سیلیسیم برای نرخ آتش‌های 275 kW/m^2 و 365 kW/m^2 محدوده شعله‌وری در نسبت هم‌ارزی 0.49 تا 1.3 ($0.49 < \phi < 1.3$) می‌باشد. نسبت هم‌ارزی با تغییر دبی هوای ورودی تغییر داده می‌شود. شکل ۶ نحوه تغییرات دما را در سه نقطه (که موقعیت آنها در شکل ۵ نشان داده شده)، با تغییر نسبت هم‌ارزی در نرخ آتش‌های 275 kW/m^2 و 365 kW/m^2 نشان می‌دهد.

شکل (۶- الف) تغییرات دما بر حسب نسبت هم ارزی در محیط کربید سیلیسیم برای نرخ آتش 275 kW/m^2 را نشان می دهد. در این نرخ آتش در هر سه ترموکوپل ابتدا دما افزایش یافته و سپس تقریباً ثابت می ماند. دما به طور متوسط در نقاط ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب 600°C ، 800°C و 1000°C می باشد و اختلاف دما در این نقاط در حدود 200°C است. همان گونه که در شکل (۶- ب) مشخص است در نرخ آتش 365 kW/m^2 روند تغییرات دمایی در هر سه نقطه مشابه است. در هر سه نقطه تا $\phi=0.65$ دما افزایش می یابد و از این نسبت هم ارزی به بعد دما با کاهش جزئی یک روند تقریباً ثابت را طی می کند. در این نرخ آتش دمای ترموکوپل ۳ به طور متوسط 1100°C می باشد، این دما در نقاط ۱ و ۲ به ترتیب برابر 700°C و 900°C می باشد. به عبارتی اختلاف دمای متوسط در این نقاط تقریباً ثابت و برابر 200°C می باشد که مشابه حالت قبل می باشد. افزایش دمای محیط با توجه به افزایش نرخ آتش کاملاً منطقی می باشد. از مقایسه بین شکل های (۶- الف) و (۶- ب) مشاهده می شود که در نسبت هم ارزی یکسان بین دو نرخ آتش متفاوت حدود 100°C اختلاف دما وجود دارد. همچنین در نرخ آتش 365 kW/m^2 بیشترین دما در نسبت هم ارزی 0.65 اتفاق می افتد در حالی که برای نرخ آتش 275 kW/m^2 بیشترین دما در نسبت هم ارزی 0.98 رخ می دهد. در محیط متخلخل با جنس آلومینا محدوده شعله وری در نرخ آتش 275 kW/m^2 و 365 kW/m^2 متفاوت است. نرخ آتش 275 kW/m^2 محدوده شعله وری در نسبت هم ارزی $0.49 < \phi < 1.3$ می باشد و در نرخ آتش 365 kW/m^2 این محدوده بزرگتر شده و در نسبت هم ارزی $0.5 < \phi < 1.74$ می باشد. در محیط متخلخل با جنس آلومینا محدوده شعله وری در نرخ آتش 275 kW/m^2 و 365 kW/m^2 متفاوت است. در نرخ آتش بیشتر محدوده شعله وری در نسبت هم ارزی $0.5 < \phi < 1.74$ می باشد و در نرخ آتش کمتر این محدوده کوچکتر شده و همانند محیط کربید سیلیسیم، در نسبت هم ارزی $0.49 < \phi < 1.3$ می باشد.

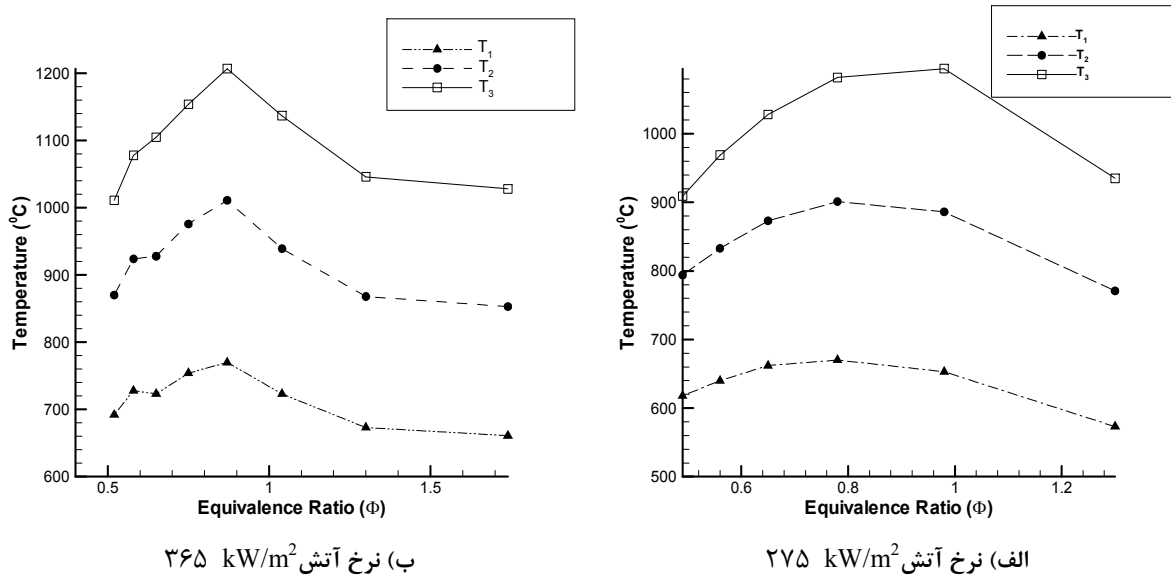


ب) نرخ آتش 365 kW/m^2



الف) نرخ آتش 275 kW/m^2

شکل ۶- تغییرات دما در محیط کربید سیلیسیم



شکل ۷- تغییرات دما در محیط آلومینا

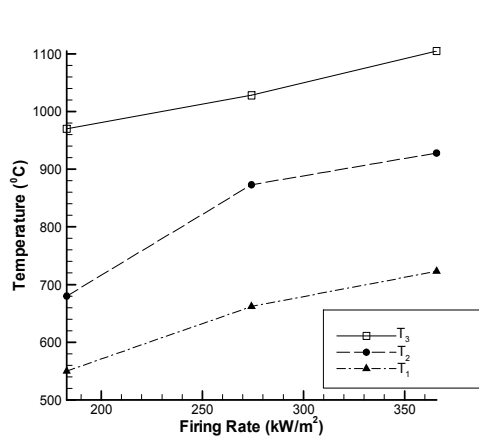
تغییرات دمای اندازه گیری شده برای محیط آلومینا در نرخ آتش ۲۷۵ kW/m² و ۳۶۵ kW/m² بر حسب نسبت هم ارزی در شکل ۷ ارائه شده است.

همان طور که در شکل (الف-۷) مشخص است، روند تغییرات دمایی برای نرخ آتش ۲۷۵ kW/m² در هر سه نقطه مشابه است. با افزایش نسبت هم ارزی در ابتدا با افزایش سریع دما روبرو هستیم و در ادامه این روند افزایشی کندتر شده تا به بیشترین دما در نسبت هم ارزی ۰.۹۸ می‌رسد و بعد از آن روند تغییرات دما کاهش می‌یابد. در شکل (ب-۷) تغییرات دمایی برای نرخ آتش ۳۶۵ kW/m² نشان داده شده است. در این جا نیز تغییرات دمایی در هر سه ترموکوپل کاملاً مشابه بوده و با افزایش نسبت هم ارزی تا $\phi=0.87$ دما افزایش می‌یابد و بعد از آن با افزایش نسبت هم ارزی دما کاهش می‌یابد.

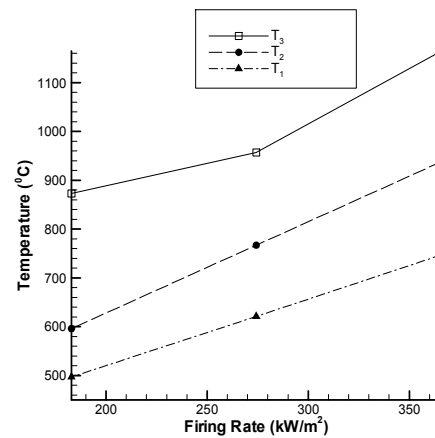
از مقایسه بین شکل‌های (الف-۷) و (ب-۷) می‌توان دریافت که با افزایش نسبت هم ارزی در هر دو نرخ آتش اختلاف دماها در سه نقطه حدوداً ثابت می‌ماند و این اختلاف دما حدود ۲۰۰°C می‌باشد. یکی از تفاوت‌های این دو شکل در بیشترین دمای اندازه گیری شده است که در نرخ آتش بالاتر به علت مقدار سوخت ورودی بیشتر و انرژی آزاد شده بیشتر، دما بیشتر خواهد بود. تفاوت دیگر در نسبت هم ارزی است که در آن بیشترین دما را داریم.

منحنی تغییرات دما بر حسب نرخ آتش در نسبت هم ارزی ۰.۶۵ برای محیط کربید سیلیسیم در شکل ۸ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشخص است با افزایش نرخ آتش، دما در محیط افزایش می‌یابد و این افزایش دما به صورت خطی اتفاق می‌افتد. برای نرخ آتش‌های ۳۶۵ kW/m² و ۲۷۵ kW/m² در دماهای بالاتر (نسبت T_3 به T_2 و همچنین T_2 نسبت به T_1) این افزایش شدیدتر می‌باشد.

تغییرات دما در محیط آلومینا بر حسب نرخ آتش در نسبت هم ارزی ۰.۶۵ در شکل ۹ نشان داده شده است. مشخص است که با افزایش نرخ آتش دما نیز افزایش می‌یابد. تغییرات دما در این شکل تقریباً خطی می‌باشد.



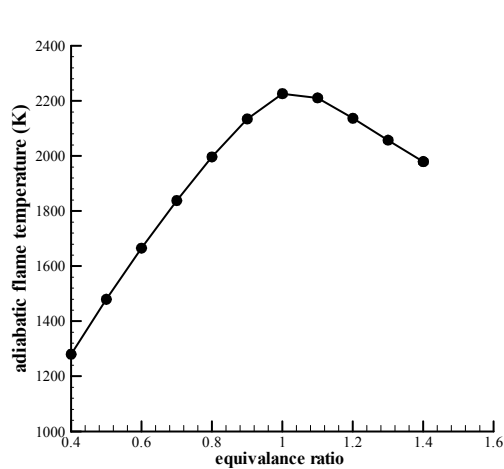
شکل ۹- تغییرات دما بر حسب نرخ آتش در $\phi=0.65$ در محیط آلومینا



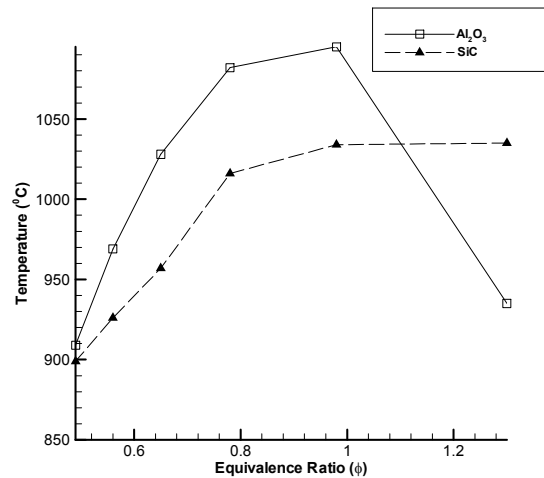
شکل ۸- تغییرات دما بر حسب نرخ آتش در $\phi=0.65$ در محیط کربید سیلیسیم

شکل ۱۰ مقایسه بین دمای اندازه گیری شده در نقطه ۳ برای محیط آلومینا و محیط کربید سیلیسیم در نرخ آتش 365 kW/m^2 است. ضریب انتقال حرارت هدایتی محیط کربید سیلیسیم و همچنین ضریب صدور آن بیشتر از ضریب انتقال حرارت هدایتی و ضریب صدور محیط آلومینا است، بنابراین اتلاف حرارت در محیط کربید سیلیسیم بیشتر می باشد و باعث می شود که دمای کمتری در این محیط نسبت به محیط آلومینا بدست آید. نتایج بدست آمده و ارائه شده در شکل ۱۰ نیز این مطلب را تایید می کنند.

در حالتی که مشعل آدیاباتیک است نمودار تغییرات دما بر حسب نسبت هم ارزی به صورت نمودار ارائه شده در شکل ۱۱ می باشد. در حالت واقعی مشعل آدیاباتیک نمی باشد، بنابراین نمودارها در این حالت با شکل ۱۱ متفاوت است که این موضوع در نمودارهای ۶ و ۷ نیز مشخص است. در حالت واقعی دو اتلاف تابشی از پایین و بالا و اتلاف هدایتی از سطح جانبی مشعل وجود دارد. همان طور که قبلاً ذکر شد، اتلاف حرارت در محیط کربیدسیلیسیم بیشتر از اتلاف در محیط آلومینا است، بنابراین نمودار تغییرات دما بر حسب نسبت هم ارزی برای محیط کربیدسیلیسیم تفاوت بیشتری با شکل ۱۱ خواهد داشت و هموارتر خواهد بود. ولی چون اتلاف در محیط آلومینا کمتر است، نمودار تغییرات دما در این محیط شباهت بیشتری به شکل ۱۱ دارد. بنابراین تفاوت اصلی در نمودارهای ۶ و ۷ و این که در محیط کربید سیلیسیم تغییرات دما کمتر است را می توان مستقیماً به اتلاف حرارتی مشعل مربوط کرد.



شکل ۱۱- دمای آدیاباتیک شعله بر حسب نسبت هم ارزی



شکل ۱۰- مقایسه دمای T_3 در دو محیط آلومینا و کربید سیلیسیم در $\phi=0.65$

در هر دو محیط آلومینا و کربید سیلیسیم بیشترین دما در نقطه ۳ بدست می آید. بنابراین می توان این گونه بیان کرد که شعله در پایین محیط متخلخل قرار دارد زیرا بیشترین دما در این ناحیه است. این نتیجه با نتایجی که سات و همکارانش [17] به صورت عددی و تجربی بدست آوردند همخوانی دارد، نتایج سات بیان می کرد که در نسبت هم ارزی ۰.۵ شعله در پایین دست جریان پایدار می شود همچنین تحلیل عددی مین و همکارانش موید نتایج بدست آمده در این تحقیق می باشد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله اثر جنس محیط بر روی یک مشعل متخلخل سرامیکی به طور تجربی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بدست آمده از آزمایش ها به طور خلاصه عبارتند از :

- ۱- برای محیط با ضخامت ۴۴mm در تمام حالات در هر دو محیط شعله در قسمت تحتانی محیط مستقر می شود.
- ۲- افزایش نرخ آتش (دبی سوخت) موجب افزایش دما در نقاط اندازه گیری می شود.
- ۳- نحوه رفتار شعله در محیط آلومینا و محیط کربید سیلیسیم مشابه است ولی به طور متوسط، دمای اندازه گیری شده در محیط آلومینا بیشتر است.
- ۴- در یک نرخ آتش مشخص با افزایش نسبت هم ارزی دمای اندازه گیری شده ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد.
- ۵- عامل اصلی اختلاف دماها در محیط آلومینا و محیط کربید سیلیسیم اتلاف حرارتی بیشتر در محیط کربید سیلیسیم می باشد.



FCCI2010-2143

سومین کنفرانس سوخت و احتراق ایران
تهران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - اسفند ماه ۱۳۸۸



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دانشکده مهندسی هوافضا

مراجع

- 1- Howell, J.R., Hall, M.J., Ellzey, J.L., "Combustion of Hydrocarbon Fuels within Porous Inert Media", Progress Energy Combustion Science, Vol. 22 (2), PP. 121-145, 1996.
- 2- Barra, A.J., Ellzey, J.L., "Heat recirculation and heat transfer in porous burners", Combustion and Flame, 137 (1-2), pp 230-241.2004.
- 3- Weinberg, F. J., "Combustion temperatures: the future?" Nature, vol. 233 (5317), pp 239-241, 1971.
- 4- Hardesty, D.R., Weinberg, F.J., "Burners producing large excess enthalpies", Combustion Science Technology, Vol. 8 (5-6), pp 201-214, 1974.
- 5- Takeno, T., Sato, K., "A theoretical and experimental study on an excess enthalpy flame, combustion in reactive systems. ", In Proceedings of the Seventh International Colloquium on Gas dynamics, Honolulu (Ed. J. P. Boris), Vol. 76 pp 596-610, 1981.
- 6- Mößbauer, S., Pickenäcker, O., Pickenäcker, K., Trimis, D., "Application of the Porous Burner Technology in Energy and Heat Engineering", Fifth International Conference on Technologies and Combustion for a Clean Environment (Clean Air V), Lisbon (Portugal), Volume I, pp. 519-523, 12-15 July 1999.
- 7- Babkin, S. V., Korzhavin, A.A., Bunev, A.V., "Propagation of premixed gaseous explosion flames in porous media." Combustion and Flame, Vol. 87, pp. 182-190, 1991.
- 8- Christo, F.C., Krishnamoorthy, L.V., "An Experimental and Numerical Study of Infrared (IR) Emission from a Porous Radiant Burner.", Published by DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory 506 Australia, 2001.
- 9- Leonardi, A.S., Viskanta, R., Gore, P.J., "Radiation and thermal performance measurements of a metal fiber burner.", Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, Vol. 73, pp 491-501, 2002.
- 10- Sathe, S.B., Kulkarni, M.R., Peck, R.E., Tong, T.W., "An experimental and theoretical study of porous radiant burner performance", Twenty-Third Symposium (International) on Combustion/The Combustion Institute, Vol. 23, pp. 1014-1018, 1990.
- 11- Min, D.K., Shin, H.D., "Laminar premixed flame stabilized inside a honeycomb ceramic", International Journal Heat and Mass Transfer, Vol. 34 (2), pp. 341-356, 1991.
- 12- Brenner, G., Pickenäcker, K., Pickenäcker, O., Trimis, D., Wawrzinek, K., Weber, T., "Numerical and experimental investigation of matrix-stabilized methan/air combustion in porous inert media", Combustion and Flame, 123: 201-213, 2000.
- 13- Diamantis, D.J., Mastorakos, E., Goussis, D.A., "Simulation of premixed combustion in porous media", Combustion Theory Modeling, Vol. 6, 383-411, 2002.