بررسي تجربي اثر نرخ آتش و نسبت هم ارزي بر عملكرد مشعل متخلخل فلزي تابشي

سيد عبدالمهدي هاشمي[i]* ، مجيد نيكفر[ii]، روح اله معتقدي فرد [iii]

چكيده

در مقاله حاضر عملكرد يك مشعل متخلخل تابشي از نوع فلزي به طور تجربي بررسي شده است. براي بررسي اثر نرخ آتش و نسبت هم‌ارزي، آزمايش‌ها در پنج نرخ آتش متفاوت و در محدوده‌اي از نسبت‌هاي هم‌ارزي كه شعله در محيط متخلخل پايدار است انجام شده است. عوامل فوق بر روي سه محيط متخلخل تشكيل شده از توري‌هاي با شبكه ريز و درشت بررسي شده است. نتايج نشان مي‌دهند كه افزايش نرخ آتش در اكثر حالت‌ها موجب بالا رفتن دماي سطح مشعل مي‌شود. در هر نرخ آتش، مقدار نسبت هم‌ارزي كه دماي سطح در آن بيشينه است مشخص شده است. بيشترين دماي سطح در نسبت هم‌ارزي‌هاي كمتر از يک (۱-۰/۷) بوده و راندمان تابشي مشعل با افزايش نرخ آتش كاهش مي‌يابد. راندمان تابشي بيشينه در نسبت هم ارزي مربوط به دماي بيشينه سطح بدست مي‌آيد. در يک نرخ آتش معين، بيشينه دما براي محيط متخلخل تركيبي (دولايه توري ريز و يک لايه توري درشت) در نسبت هم‌ارزي كمتري نسبت به ديگر محيط‌هاي متخلخل رخ مي‌دهد. نتايج بدست آمده هم‌خواني خوبي با نتايج ديگر دارد.

كلمات كليدي : محيط متخلخل فلزي، احتراق، مشعل تابشي، راندمان تابشي، نرخ آتش، نسبت هم‌ارزي

Experimental Study of the Effect of Firing Rate and Equivalence Ratio on Performance of a Porous Metal Radiant Burner

S. A. Hashemi, M. Nikfar and R. Motaghedifard

ABSTRACT

In this paper, the performance of a metal porous radiant burner is investigated experimentally. To study the effect of firing rate and equivalence ratio, some tests have been carried out in five different firing rates and in a range of equivalence ratios which the flame is stable in the porous media. These parameters have been investigated on three porous media, which are formed from fine and coarse meshes. The results show that the surface temperature increases with increasing firing rate. In each firing rate, the equivalence ratio corresponding to the maximum temperature is determined. The maximum temperature occurs in equivalence ratios less than one (0.7-1) and Radiation efficiency of the burner decreases with increasing firing rate. The maximum radiation efficiency takes place in equivalence ratio corresponding to the maximum surface temperature. In a specific firing rate, the maximum temperature for the combined porous media (two layers of fine mesh and one layer of coarse mesh) occurs in an equivalence ratio less than that of the other porous media. The obtained results are in a good agreement with the other studies.

KEYWORDS :Metal porous media, combustion, radiant burner, Radiant efficiency, firing rate, equivalence ratio

---

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۹۰/۲/۲۶

تاريخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۷/۳

[i] * نويسنده مسئول و استاديار، دانشگاه كاشان، دانشكده مهندسي و پژوهشكده انرژي؛ hashemi@kashanu.ac.ir.

[ii] دانشجو كارشناسي ارشد، دانشگاه كاشان، دانشكده مهندسي و پژوهشكده انرژي؛ me.nikfar@yahoo.com.

[iii] كارشناس ارشد، دانشگاه كاشان، دانشكده مهندسي؛ motaghedrf@yahoo.com.

۱- مقدمه

فناوري مشعل‌هاي متخلخل يكي از روش‌هاي كاهش توليد آلودگي و مصرف انرژي است كه در سال‌هاي اخير توسط محققان و پژوهشگران معرفي شده است.

از جمله برتري‌هاي مشعل‌هاي متخلخل نسبت به مشعل‌هاي معمولي كاهش آلودگي، كاهش حجم، افزايش محدوده شعله‌وري، توزيع يكنواخت حرارت در مشعل، افزايش محدودة توان ديناميكي، كاهش سروصدا و غيره است [۱]. برتري‌هاي فوق در اين مشعل‌ها باعث كاربرد فراوان آنها در صنايع مختلف است. براي مثال مي‌توان به كاربرد اين مشعل‌ها در سامانه‌هاي گرمايش منازل، سامانه‌هاي احتراق با سوخت مايع (مانند نفت)، فرايندهاي توليد بخار، خشك‌كن‌ها، محفظة احتراق توربين‌هاي گازي، مشعل‌هاي تابشي، راكتورهاي شيميايي (به عنوان مولد حرارت)، صنعت شيشه‌گري، صنايع غذايي، صنعت سيمان و صنايع سراميک اشاره نمود [۲].

روش انتقال حرارت درمشعل‌هاي متخلخل نسبت به مشعل‌هاي معمولي متفاوت است. مهم‌ترين نوع انتقال حرارت در مشعل‌هاي معمولي جابجايي است كه از محصولات گازي احتراق به بدنه مبدل صورت مي‌گيرد. در حاليكه در مشعل‌هاي متخلخل، علاوه بر جابجايي، هدايت و تابش نيز نقش مهمي در انتقال حرارت مشعل دارند كه به دليل قابليت هدايت و تابش بالاي مواد متخلخل است. وجود تابش موجب افزايش ميزان انتقال حرارت در مشعل‌هاي متخلخل نسبت به مشعل‌هاي معمولي مي‌شود كه در نتيجه آن دماي ناحيه احتراق كاهش مي‌يابد. اين يكي از عوامل برتري مشعل‌هاي متخلخل نسبت به مشعل‌هاي معمولي است كه موجب كاهش توليد NO_x مي‌شود. بخشي از انرژي احتراق به قسمت ورودي مخلوط منتقل شده و موجب پيش‌گرمايش مخلوط سوخت و هوا مي‌شود. عمل پيش‌گرمايش، سرعت شعله را افزايش داده و در نتيجه محدودة شعله‌وري افزايش مي‌يابد. اين ويژگي در مشعل‌هاي متخلخل اين امكان را فراهم مي‌سازد كه بتوان نسبت تنظيم مشعل[۱] را افزايش داد. عمل پيش‌گرمايش هم‌چنين باعث افزايش پايداري احتراق مي‌شود.

به‌طور معمول ناحيه احتراق در مشعل‌هاي معمولي پيش مخلوط، بسيار كوچک است. از آنجا كه ضريب هدايت حرارتي گاز كوچک است، مخلوط از يک ناحيه كوچک به دماي احتراق رسيده و مشتعل مي‌شود. اجسام متخلخل به دليل داشتن ضريب هدايت حرارتي بالا، مي‌توانند موجب بزرگ شدن ناحيه احتراق شوند [۲]. وجود يک جسم متخلخل در مشعل باعث مي‌شود تا انتقال حرارت در خلاف جهت جريان مخلوط گاز و هوا، افزايش يافته و دماي مخلوط بالادست به دماي اشتعال برسد و در نتيجه طول ناحيه احتراق افزايش يابد. وسيع‌ترشدن ناحيه احتراق اين امكان را فراهم مي‌نمايد تا انتقال حرارت از جسم متخلخل بهتر انجام شده و دماي ناحيه احتراق كاهش يابد و در نتيجه ميزان توليد آلاينده‌هايي مانند NO كه در دماهاي بالا توليد مي‌شوند تا حد ممكن كاهش يابد.

گفتن اين مطلب لازم است كه بالا بودن ميزان انتقال حرارت در اجسام متخلخل فقط به دليل داشتن ضريب انتقال حرارت بالا نيست، بلكه وجود خلل و فرج‌هاي بسيار در اجسام متخلخل موجب افزايش سطح انتقال حرارت و در نتيجه ميزان انتقال حرارت جابجايي به همين نسبت مي‌شود.

بدليل بالا بودن دماي ناحيه‌ي احتراق و احتمال اكسيداسيون در مجاورت هوا، جنس ماده به كار رفته در متخلخل بايد مقاومت حرارتي و خوردگي بالايي داشته باشد. اجسام متخلخل بايد داراي خواص خوب انتقال حرارتي مانند ضريب هدايت بالا و ضريب صدور بالا باشند تا دما در ناحيه احتراق به صورت يكنواخت توزيع شده و دماي ناحيه احتراق به طور مؤثري كاهش يابد.

از آنجا كه در هنگام روشن و خاموش شدن دستگاه، جسم متخلخل دچار تغييرات دمايي و شيميايي شديد مي‌شود، بنابراين جنس مواد به كار رفته به گونه‌اي انتخاب مي‌شوند كه بتوانند در مقابل تنش‌هاي حرارتي و شيميايي از خود مقاومت نشان دهند.

به طور معمول اجسام متخلخل گوناگون با ساختارهاي دانه‌اي، شبكه‌اي سيمي، ايستاده، فوم‌هاي سراميكي و فيبرهاي سراميكي مورد استفاده قرار مي‌گيرند.

سراميک‌ها از جمله موادي هستند كه مقاومت بالايي در مقابل اكسيداسيون و حرارت از خود نشان مي‌دهند. آلومينا (AL_2O_3) كاربيد سيليكون (SIC) و اكسيد زيركونيوم (ZrO_2) مهم‌ترين سراميک‌هايي هستند كه در مشعل‌هاي با محفظة احتراق متخلخل كاربرد دارند [۲]. با توجه به اينكه دماي محفظة احتراق در اين نوع مشعل‌ها مي‌تواند بالاتر از ۱۳۰۰ درجه سلسيوس برود، فقط برخي از آلياژهاي خاص مانند آلياژهاي آهن،كروم، آلومينيوم و يا آلياژهاي نيكل در اين مشعل‌ها به كار رفته است [۳].

جدول (۱) خواص برخي از مواد مورد استفاده در مشعل‌ها را نشان مي‌دهد [۱]. بيش‌ترين دماي كاركرد براي آلياژهاي فلزي حدود ۱۲۵۰°C است. ضريب هدايت حرارتي در آلياژهاي فلزي حدود ۱۰W/mK در دماي ۲۰°C و ۲۸W/mK در دماي

۱۰۰۰°C است. انبساط حرارتي و مقاومت در برابر شوک‌هاي حرارتي در آلياژهاي فلزي بسيار بالا است. ضريب صدور در آلياژهاي فلزي با توجه به سطح آلياژ و نوع پرداخت سطح آن تغيير مي‌نمايد. محدوده تغييرات ضريب صدور براي آلياژهاي فلزي در دماي ۳۰۰K بين ۰/۰۴۵ تا ۰/۵ است [۱]. بديهي است اين مقادير زماني که از اين آلياژها به صورت يک محيط متخلخل استفاده مي‌شود، افزايش مي‌يابد. دليل اين افزايش نزديک شدن محيط متخلخل به يک جسم سياه بدليل داشتن حفره‌هاي متعدد و جذب تابش در اين حفره‌ها است [٤].

جدول (۱): خواص برخي مواد مورد استفاده در مشعل‌هاي متخلخل[۱]

جنس ماده متخلخل	مقاومت تا دماي °C	ضريب هدايت گرمايي W/mK	ضريب صدور	مقاومت در برابر شوك حرارتي
AL_2O_3	۱۷۰۰	۳۰- ۵	۰/۲۸	متوسط
SiC	۱۶۰۰	۱۵۰-۲۰	۰/۹-۰/۸	خيلي خوب
ZR (جامد)	۲۳۰۰	۵ -۲	۰/۳۱	خوب
فلزات آلياژي	۱۲۵۰	۲۸ -۱۰	۰/۵-۰/۰۴۵	فوق العاده

در زمينه مشعل‌هاي متخلخل فلزي تحقيقات کمتري نسبت به محيط‌هاي سراميکي [۵] - [۱۰] انجام شده است. آزمايش-هايي توسط کريستو و همکاران (۲۰۰۱) بر روي مشعل متخلخل آزمايشي با محيط متخلخل از جنس اينکنل ٦۰۱ انجام گرفت و مقادير دماي سطح و دماي گاز و ميزان تابش صادره اندازه‌گيري شدند [۱۱]. هم‌چنين لئوناردي و همکاران (۲۰۰۲) تحقيقات آزمايشگاهي بر روي مشعل متخلخل با محيط فلزي انجام دادند و مقادير دماي سطح مشعل و راندمان تابشي را اندازه‌گيري نمودند [۱۲]. ووگل و الزي (۲۰۰۵) يک مشعل فلزي از جنس فکرالوي را مورد مطالعه قرار دادند و روند شعله پايدار داخل آن را بررسي نمودند [۱۳]. کيو و هايدن ساختار شعله و راهكار پايداري احتراق را در محيط متخلخل سراميكي فيبري در يك مشعل با كاربرد خاص بررسي نمودند. در اين مشعل شعله در نزديكي پايين دست پايدار شده و داراي تابش گرمايي بالايي است. هم‌چنين اين مطالعه تجربي نشان مي‌دهد كه با افزايش هواي ورودي راندمان تابش افزايش مي‌يابد [١٤]. هاشمي و عطوف اثر تخلخل و ضخامت را بر عملكرد يک مشعل متخلخل فلزي به طور تجربي بررسي نمودند [۱۵]. آنها نشان دادند كه در محيط‌هاي با تخلخل يكنواخت با افزايش ضخامت محيط، دماي سطح و راندمان تابشي مشعل كاهش مي‌يابد.

در اين تحقيق با هدف دستيابي به دانش ساخت مشعل‌هاي تابشي با راندمان بالا، آزمايش‌هايي بر روي يک مشعل متخلخل فلزي انجام شده است. در اينجا برخلاف كارهاي قبلي [۱۵] و [١٦]، ضخامت‌هاي كم مورد بررسي قرار مي‌گيرند. هم‌چنين اثر نرخ آتش و نسبت هم‌ارزي بر روي دماي سطح مشعل و راندمان تابشي آن مورد ارزيابي قرار گرفته است.

۲- دستگاه آزمايش و عوامل مورد بررسي

نمايي از دستگاه آزمايش در شكل (۱) نشان داده شده است. براي مخلوط شدن بهتر گاز و هوا يك پيش‌مخلوط در نظر گرفته شده است كه قابليت تنظيم دبي‌هاي گاز و هوا را دارد. براي اندازه‌گيري دبي هوا و گاز با توجه به دامنه‌ي دبي‌هاي مورد استفاده از دو عدد روتامتر متناسب با دبي‌ها استفاده شده است كه در شكل (۱) نشان داده شده است. روتامترهاي استفاده شده براي هوا و گاز طبيعي در شرايط آزمون طراحي شده‌اند و نيازي به تصحيح مقادير با استفاده از روابط روتامتر نخواهد بود. خطاي اندازه‌گيري طبق اعلام شركت سازنده ۰/۲± حداكثر دبي عبوري است. هواي مورد نياز به‌وسيله كمپرسور تأمين مي‌شود. از گاز طبيعي به عنوان سوخت گازي استفاده مي‌شود. با توجه به اطلاعات دريافتي از شركت گاز منطقه مقدار چگالي گاز برابر با ۰/۷٤٤كيلوگرم برمترمكعب و ارزش حرارتي خالص آن ۸٤۰۰ كيلوكالري بر متر مكعب بوده و ۸۹ درصد آن را متان تشكيل مي‌دهد.

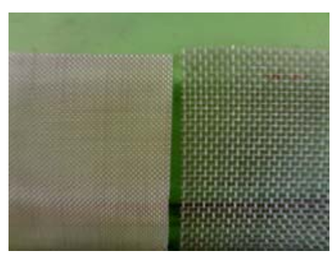
در اين تحقيق محفظة احتراق براي ايجاد يک محيط مطلوب براي توليد مشعل متخلخل طراحي و ساخته شده است. بدنه اصلي اين بخش از ورق‌هاي فولادي با ضخامت ۵ ميلي‌متر ساخته شده‌اند. از طرفي براي قرارگرفتن لايه‌هاي توري به شكل مناسب روي نشيمنگاه و جلوگيري از نشت مخلوط سوخت و هوا، بر روي محفظۀ احتراق فلنج‌هايي تعبيه شده است. ابعاد محفظه ۱۰ در ۱۲ سانتي‌متر است كه مساحت موثر

۰/۰۱۲ متر مربع را دارد. همان‌گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، توري‌ها توسط پيچ و مهره روي محفظه بسته مي‌شوند.

در اين آزمايش‌ها توري با جنس فولاد ضد زنگ استفاده مي‌شود که خواص مکانيکي خوبي دارد. از دو نوع توري با شبکه‌بندي ريز و درشت که به ترتيب داراي ۲/۵ حفره در سانتي‌متر و ٦ حفره در سانتي‌متر هستند استفاده مي‌شود. ضخامت سيم‌هاي توري در نوع ريز ۰/۵ ميلي‌متر و براي توري درشت ۰/۷ ميلي‌متر است. نمونه‌اي از توري‌هاي مورد استفاده در شکل (۳) نشان داده شده است.

شکل (۱): نمايي از دستگاه آزمون مشعل متخلخل

شکل (۲): محفظه احتراق مشعل آزمايشي



شکل (۳): نمونه‌ي توري بکار رفته در آزمايش

دماي سطح مشعل به کمك يك دماسنج تابشي مادون قرمز (آذرسنج) اندازه‌گيري مي‌شود. استفاده از ترموکوپل براي اندازه‌گيري دماي سطح داغ بدليل اثر عبور گازهاي داغ احتراق خطاي زيادي دارد و قابل اعتماد نيست. بنابراين براي اندازه‌گيري دماي سطح، استفاده از روش‌هاي تابشي توصيه مي‌شود [۱۲].

در اين سري آزمايش‌ها از يک نمونه آذرسنج که بر مبناي اندازه‌گيري ميزان تابش خروجي از سطح دما را اندازه‌گيري مي‌نمايد استفاده شده است. اندازه‌گيري دماي سطح با استفاده از آذرسنج نيازمند داشتن مقدار ضريب صدور سطح مورد نظر است. در اصل محيطهاي متخلخل بدليل داشتن حفره‌هاي متعدد در سطح، رفتاري نزديک به يک جسم سياه داشته و مقدار ضريب صدور آنها به عدد يک نزديک است [٤]. البته بايد توجه داشت که با توجه به اينکه هدف نهايي بررسي تابش سطح است و دما را به کمک نرخ تابش سطح محاسبه مي‌نمايد، براي هر مقدار ضريب صدور داده شده به دستگاه ميزان تابش نهايي سطح يکسان خواهد بود. براي تعيين تجربي ضريب صدور آنها با توجه به وابستگي کم آن به دما [٤]، آزمون ساده‌اي در دماي محيط، بدون اثر خطاي گازهاي داغ مي‌توان انجام داد. در اين آزمون ميزان ضريب صدور به گونه‌اي براي دماسنج مادون قرمز تنظيم مي‌شود که مقدار دماي بدست آمده از آن با دماي بدست آمده از يک ترموکوپل برابر باشد. با اين توصيف مقدار ضريب صدور برابر با ۰/۸ درنظر گرفته شده است که البته برابر مقدار پيشنهادي توسط کريستو و همکارش [۱۱] است.

نسبت هم‌ارزي در احتراق سوخت عبارت است از نسبت سوخت به هوا بر پايه جرمي در حالت واقعي به نسبت سوخت به هواي استوکيومتري که به صورت رابطه (۱) نوشته مي‌شود:

$$\varphi = \frac{FAR}{FAR_S} \qquad (۱)$$

نرخ آتش عبارت است از حاصل‌ضرب ارزش حرارتي سوخت در دبي جرمي آن به واحد سطح مشعل که به صورت رابطه (۲) نوشته مي‌شود:

$$FR = \frac{LHV \times \dot{m}_f}{A} \qquad (۲)$$

۳- نتايج آزمايش

در اين آزمايش‌ها با توجه به روابط (۱) و (۲) با تغيير دبي سوخت نرخ آتش تغيير نموده و با تغيير دبي هوا نسبت هم ارزي کنترل مي‌شود. نمودارها در پنج نرخ آتش شامل kW/m^2 ۹۸، ۱۹٦kW/m^2، ۲۹٤kW/m^2، ۳۹۲ kW/m^2 و ٤۹۰kW/m^2 رسم مي‌شوند. گفتني است که محدوده دبي هواي ورودي بر اساس پايداري شعله داخل محيط متخلخل تعيين مي‌شود، بنابراين در دبي‌هاي هواي کمتر و بيشتر از محدوده نشان داده شده، ناپايداري در شعله متخلخل بروز مي‌نمايد، بدين معني که

يا شعله از سطح محيط متخلخل خارج مي‌شود و يا به سمت پايين مشعل باز مي‌گردد. آزمايش‌ها براي محيط‌هايي با سه لايه توري ريز، تركيب دو لايه توري ريز در زير و يک لايه توري درشت روي آن و سه لايه توري ريز به هم بافته شده انجام شده است. نتايج تجربي از نظر وابستگي به شرايط نيز آزمايش شده‌اند. برخي نمونه آزمون‌ها چندين بار تكرار شده و نتايج تغيير محسوسي نداشته‌اند.

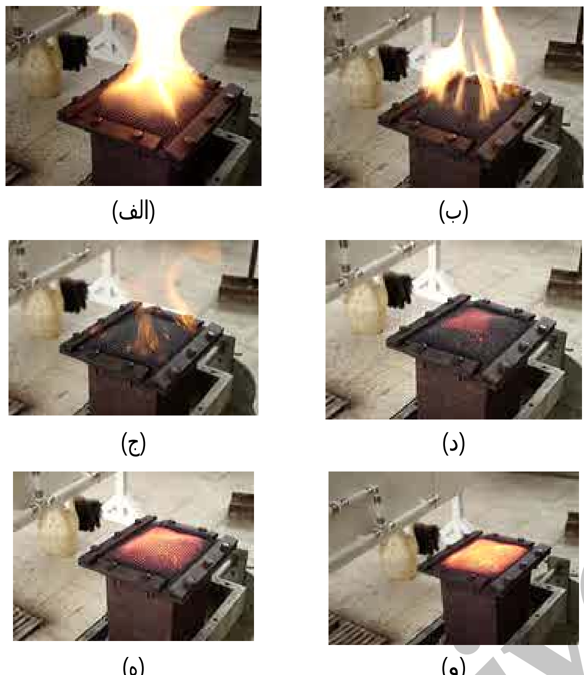
در آزمايش مشعل متخلخل به دليل بروز ناپايداري در تشكيل شعله، لازم است از راهكار خاصي براي انجام آزمايش و پايدارسازي شعله در محيط متخلخل استفاده شود. در شكل (٤) روند تشكيل شعله در محيط متخلخل متشكل از سه لايه توري ريز نشان داده شده است. بدين منظور ابتدا شير گاز به اندازه‌اي باز مي‌شود كه دبي گاز و نرخ آتش موردنظر بدست آيد پس از آن با ايجاد جرقه، احتراق روي سطح مشعل ايجاد مي‌شود. دراين حالت شعله آزاد نفوذي زرد رنگ روي مشعل ديده مي‌شود (شكل ٤- الف). سپس شير هواي ورودي باز مي‌شود. به تدريج كه دبي هواي ورودي افزايش مي‌يابد، ارتفاع شعله كاهش يافته و شعله همراه با تغيير رنگ از زرد به آبي، روي سطح قرار مي‌گيرد (شكل ٤-ب و ج). با افزايش بيشتر مقدار هواي ورودي، سطح مشعل به تدريج گداخته شده و شعله آزاد نيز ناپديد مي‌شود. (شكل ٤- د). با افزايش مقدار هواي اضافي، گداختگي در همه سطح توري منتشر شده و سطحي يكنواخت از نظر اشتعال را ايجاد مي‌نمايد (شكل ٤- ه). پس از آن با افزايش بيشتر هواي ورودي، گداختگي سطح مشعل افزايش يافته و در نتيجه دماي سطح افزايش مي‌يابد (شكل ٤- و). افزايش بيشتر هواي ورودي از حدي مشخص منجر به خاموشي شعله خواهد شد.

گفتني است كه در اصل شعله در محدوده‌اي كه نتايج نمايش داده مي‌شود پايدار است. بنابراين نتايج به نوعي بيانگر محدوده پايداري هستند.

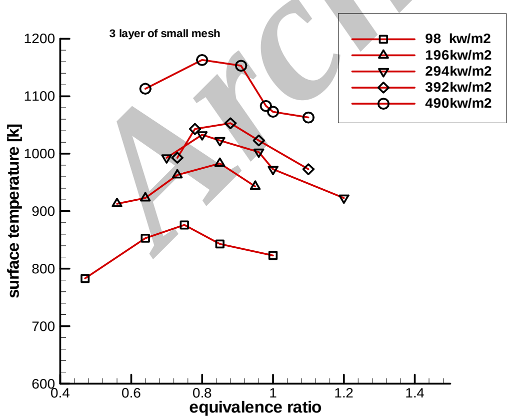
نمودار دماي سطح براي محيطي با سه لايه توري ريز در شكل (٥) در نرخ‌هاي آتش مختلف براي نسبت‌هاي هم‌ارزي از ٠/٥ تا ١/٢ ارائه شده است. همانطور كه در اين شكل ديده مي‌شود با افزايش نرخ آتش دماي سطح افزايش مي‌يابد.

افزايش نرخ آتش (افزايش دبي سوخت) در يک نسبت هم‌ارزي ثابت به معني افزايش ميزان انرژي ورودي به مشعل است و موجب افزايش انرژي آزاد شده در ناحيه متخلخل فلزي شده كه منجر به افزايش دماي آن مي‌شود.

به طور تقريب تغييرات دماي سطح در اثر تغيير نسبت هم‌ارزي نيز در نرخ آتش‌هاي مختلف مشابه است. در كم‌ترين نرخ آتش (٩٨ kW/m^2)، مقدار دماي سطح در نسبت هم‌ارزي ٠/٧٥ بيش‌ترين مقدار را دارد. به تدريج با افزايش نرخ آتش به ٤٩٠ kW/m^2، مقادير دماي سطح در نسبت‌هاي هم‌ارزي مختلف به بالاتر از ١٠٠٠K افزايش پيدا مي‌كند. همان‌گونه كه ديده مي‌شود در نرخ آتش بيشينه مقدار دما در نسبت هم‌ارزي ٠/٨ به ١١٦٣K مي‌رسد. در تمام نرخ آتش‌ها بيشينه دماي سطح در نسبت هم ارزي بين ٠/٧٥ تا ٠/٨٥ است.



شكل (٤): روند تشكيل شعله در مشعل متخلخل با سه لايه توري ريز

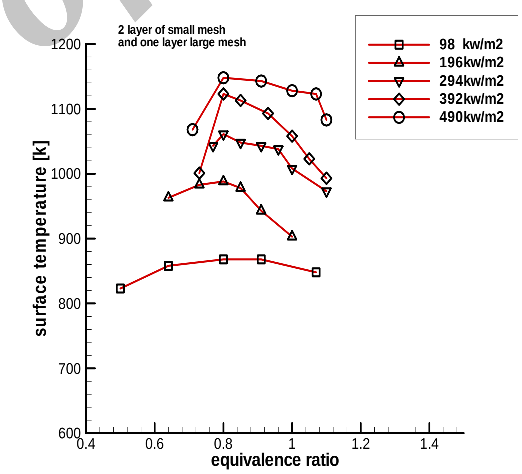


شكل (٥): دماي سطح مشعل با سه لايه توري

در شكل (٦) نمودار دماي سطح براي دو لايه توري با شبكه ريز در زير سطح و يک لايه توري با شبكه درشت در روي سطح در نرخ‌هاي آتش مختلف براي نسبت‌هاي هم‌ارزي از ٠/٥

تا ۱/۱ ارائه شده است. همان‌گونه که ديده مي‌شود در نرخ آتش ۹۸ kW/m^2، بيش‌ترين دماي سطح در نسبت همارزي ۰/۹۱ برابر با ۸٦۸K بدست آمده است. به همين صورت در نرخ آتش ۱۹٦kW/m^2، مقدار دماي سطح در مخلوط استوکيومتري برابر با ۹۰۳K بوده که با افزايش ميزان هواي اضافي اين مقدار در نسبت همارزي ۰/۸ به ۹۹۳K خواهد رسيد. سپس به تدريج با افزايش هوا، دماي سطح در نسبت همارزي ۰/٦٤ به ۹٦۳K کاهش خواهد يافت. در نرخ آتش ۲۹٤ kW/m^2 مقادير دماي سطح به بالاتر از ۱۰۰۰K در مقادير مختلف نسبت همارزي افزايش مي‌يابد. پس دماي بيشينه در اين حالت ۱۰٦۱K بوده و در نسبت همارزي ۰/۸ بدست آمده است. در نرخ آتش kW/m^2 ۳۹۲ نيز اين روند ادامه يافته تا در بالاترين نرخ آتش دماي سطح به ۱۱۲۳K مي‌رسد. بالاترين نرخ آتش در اين حالت نيز بيشترين دماي سطح را دارد. مقدار دماي بيشينه سطح در نسبت همارزي ۰/۸ برابر ۱۱٤۳K نشان داده شده است.

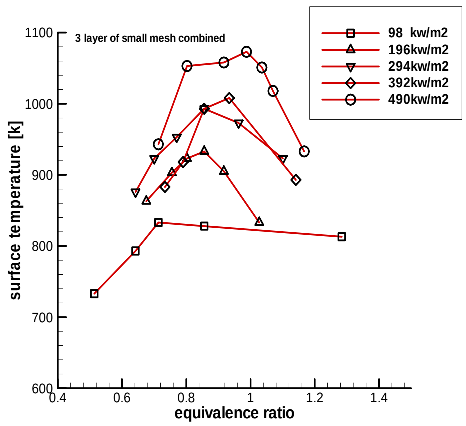
در حالت‌هايي که از توري با شبکه درشت به صورت تنها استفاده شده است به دليل ناپايداري ايجاد شده در شعله متخلخل، جمع‌آوري نتايج امکان‌پذير نيست. بنابراين محيط ترکيبي از شبکه‌بندي ريز و درشت آزمايش مي‌شود.



شکل (٦): نمودار دماي سطح براي محيط ترکيبي

يکي از پيامدهاي استفاده از لايه‌هاي توري براي ايجاد محيط متخلخل، انبساط لايه‌ها و جدا شدن آنها از يکديگر است. اين پديده موجب انتقال شعله بين لايه‌ها شده و موجب افزايش راندمان مشعل مي‌شود.

براي بررسي شرايطي که در آن لايه‌هاي توري امکان جدا شدن از يکديگر را نداشته و شعله نتواند در بين لايه‌ها قرار گيرد؛ يک محيط متخلخل يکنواخت با بافت سه لايه توري توسط سيم‌هايي از همان جنس توري‌ها ساخته شد و آزمايش‌ها بر روي اين نمونه انجام گرفت. نتايج بدست آمده در شکل (۷) براي نرخ‌هاي آتش و بر حسب نسبت همارزي‌هاي مختلف رسم شده است. در اين حالت برخلاف حالت سه لايه توري که در بخش قبلي به آن اشاره شد به دليل نبود فاصله بين لايه اول و دوم، شعله در سطح مشعل تشکيل مي‌شود. بنابراين دماهاي سطح اندازه‌گيري شده از حالت سه لايه توري ريز کمتر هستند.



شکل (۷): نمودار دماي سطح مشعل با سه لايه توري بافته شده

۳-۱- اثر نرخ آتش

با مقايسه نمودار دماي سطح براي تمام حالت‌ها به روشني ديده مي‌شود که با افزايش نرخ آتش دماي سطح مشعل افزايش مي‌يابد. همان‌طور که در شکل (٤) ديده مي‌شود، دماي بيشينه سطح در اولين نرخ آتش ۸۷۳K بوده که اين مقدار در نرخ آتش ٤۹۰ kW/m^2 به ۱۱٦۳K افزايش مي‌يابد. اين روند براي نمودارهاي ديگر نيز تکرار مي‌شود. اين بدان معني است که دماي سطح مشعل رابطه مستقيم با نرخ آتش دارد. براي نشان دادن اثر نرخ آتش بر روي دماي بيشينه سطح، مقادير دماي سطح براي نمودارهاي مختلف در جدول (۲) داده شده است.

افزايش دماي سطح بواسطه افزايش مقادير نرخ آتش، به‌دليل افزايش ميزان سوخت ورودي به محل شعله و در نتيجه بالاتر رفتن ارزش حرارتي احتراق خواهد بود. بنابراين براي اکثر نمودارها روند افزايشي دماي سطح تکرار مي‌شود.

با دقت در نمودارها ديده مي‌شود که روند افزايش دماي بيشينه سطح، بواسطه افزايش نرخ آتش به طور تقريب در دو حالت توري ريز و ترکيبي يکسان است و ميزان تخلخل اثر چنداني نداشته است ولي در حالاتي که توري‌هاي ريز بهم بافته شده‌اند اين روند افزايشي کمتر از دو محيط ديگر است. بنابراين در شرايطي که شعله امکان نفوذ بين لايه‌ها را دارد اثر افزايش نرخ آتش روي دماي بيشينه سطح نيز افزايش مي‌يابد.

۳-۲- اثر نسبت هم ارزي

چنانچه در اکثر نمودارها ديده مي‌شود بيش‌ترين دماي سطح در حالت استوکيومتري روي نمي‌دهد. اين نسبت هم‌ارزي کمتر از يک (بين ۰/۷ تا ۱) خواهد بود. در نمودارهاي ديگر نيز مقدار نسبت هم‌ارزي تا کمتر از ۰/۸۵ براي نرخ آتش ۹۸kW/m^2 و ۱۹٦ kW/m^2 کاهش مي‌يابد. در جدول (۳) مقادير نسبت هم‌ارزي که در آن بيشترين دماي سطح بدست مي‌آيد براي محيط‌هاي مختلف ارائه شده است. کمتر شدن نسبت هم‌ارزي از حالت استوکيومتري نشان دهنده راهکار انتقال حرارت هدايتي و تابشي ناشي از فاز جامد محيط متخلخل در منطقه احتراق است که موجب کاهش ميزان مصرف سوخت خواهد شد.

از طرف ديگر نسبت‌هاي هم‌ارزي که بيش‌ترين دماي سطح در آنها بدست مي‌آيد در مقادير مختلف نرخ‌آتش متفاوت هستند. هم‌چنين ديده مي‌شود که نسبت‌هاي هم‌ارزي مربوط به دماهاي بيشينه در نمونه ترکيبي بطور کلي کمتر از مقادير مشابه در نمونه‌هاي ديگر هستند. دليل اين رويداد کامل‌تر بودن احتراق در نمونه‌و کاهش ميزان سوخت مصرفي خواهد بود.

نکته قابل توجه در جدول (۳) ثابت بودن نسبت هم‌ارزي براي حالت ترکيبي است. اين امر نشان مي‌دهد که در اين محيط نرخ آتش اثري در نسبت هم‌ارزي مربوط به بيش‌ترين دماي سطح ندارد.

جدول (۲): مقاديردماي بيشينه سطح مشعل بر حسب کلوين

محيط متخلخل	نرخ آتش kW/m^2				
	۹۸	۱۹۶	۲۹۴	۳۹۲	۴۹۰
۳لايه ريز	۸۷۳	۹۸۳	۱۰۳۳	۱۰۵۳	۱۱۶۳
ترکيبي	۸۶۸	۹۸۸	۱۰۶۱	۱۱۲۳	۱۱۴۸
۳لايه بافته	۸۳۷	۹۳۲	۹۹۵	۱۰۰۸	۱۰۷۸

۳-۳- اثر تخلخل

همان‌طور که در جدول (۲) ديده مي‌شود مقادير دماي سطح براي محيط متخلخل ترکيبي در نرخ آتش‌هاي مياني حدود ۵ % بيشتر از محيط متخلخل با سه لايه توري ريز است اما در دو نرخ آتش ابتدا و انتهايي دماي سطح محيط متخلخل توري ريز بيشتر است. مي‌توان گفت در پايين‌ترين نرخ آتش هنوز شعله بين لايه‌ها نفوذ نکرده بنابراين دماي محيط با قطر حفره کمتر در نتيجه جذب حرارت بالاتر، بيشتر است. در بالاترين نرخ آتش نيز اثر افزايش دما در اثر افزايش نرخ آتش بيشتر است و محيطي که قطر حفره کمتر و فلز بيشتر در واحد سطح دارد دماي بالاتري نيز دارد. براي سه نرخ آتش مياني در جدول (۳) مشاهده مي‌شود که نسبت هم ارزي براي محيط متخلخل ترکيبي کمتر از محيط متخلخل سه لايه توري ريز است. بنابراين در اين سه نرخ آتش مياني با استفاده از محيط متخلخل ترکيبي مي‌توان در نسبت هم ارزي‌هاي پايين‌تر (درصد سوخت کمتر) به دماي بالاتري رسيد که از نظر راندمان تابشي اهميت دارد.

۳-٤- راندمان تابشي

مهم‌ترين ويژگي مشعل‌هاي تابشي، راندمان تابشي آنهاست. بنابراين در اين بخش ميزان راندمان تابشي براي سطوح مختلف بر اساس نرخ آتش و نسبت هم‌ارزي محاسبه و نمودارهاي مربوطه ارائه مي‌شود. راندمان تابشي عبارت است از ميزان انرژي تابشي صادر شده از سطح مشعل به کل انرژي حاصل از احتراق سوخت که به صورت زير تعريف مي‌شود:

$$\eta_{rad} = \frac{Q_{rad}}{FR} \qquad (۳)$$

که در اين رابطه، Q_{rad}، نرخ تابش بر واحد سطح است که مقدار آن از رابطه استفان- بولتزمن بدست مي‌آيد:

$$Q_{rad} = \varepsilon\sigma(T^4_{surf} - T^4_{surr}) \qquad (٤)$$

جدول (۳): مقادير نسبت هم‌ارزي مربوط به دماهاي سطح بيشينه

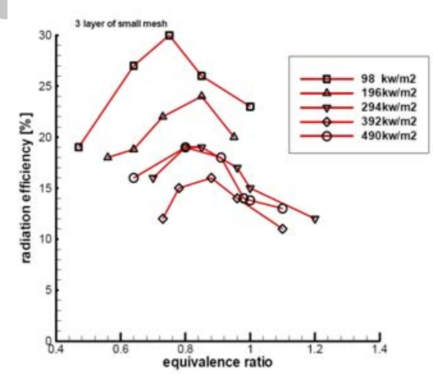
محيط متخلخل	نرخ آتش kW/m^2				
	۹۸	۱۹۶	۲۹۴	۳۹۲	۴۹۰
۳لايه ريز	۰/۷۵	۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۸
ترکيبي	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸
۳لايه بافته	۰/۷۱	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۹۳	۱

در رابطه (۴) ε، ضريب صدور، σ، ثابت استفان بولتزمن (σ=۵/۶۶۹۷×۱۰$^{-۸}$ w/M^{2}k^4) و T_{surf} و T_{surr} به ترتيب دماي سطح مشعل و دماي محيط هستند. مقادير دماي سطح اندازه‌گيري شده توسط آذرسنج و دماي محيط برابر با ۳۰۰کلوين در نظر گرفته مي‌شود. هم‌چنين مقدار ضريب صدور سطح برابر با ۰/۸ که همان مقدار ورودي آذرسنج است در نظر گرفته مي‌شود. پس مقادير راندمان تابشي براي سطوح مختلف با استفاده از رابطه (۳) بدست آمده و نمودار آنها بر اساس نرخ

آتش و نسبت هم‌ارزي ترسيم مي‌شود. در شكل (۸) راندمان تابشي مشعل سه لايه به ازاي نرخ آتش‌هاي مختلف برحسب نسبت هم ارزي رسم شده است.

در اين نمودار بيش‌ترين ميزان راندمان تابشي در نرخ آتش ۹۸ kW/m^2 و نسبت هم‌ارزي ۰/۷۵ به ميزان ۳۰ درصد بدست آمده است. اين مقدار براي نرخ آتش هاي بالاتر افت قابل توجهي دارد، چنانكه در نرخ آتش ۱۹۶ kW/m^2 به ۲۴ درصد و براي ۲۹۴ kW/m^2 به ۱۹ درصد و در نرخ آتش ۳۹۲ kW/m^2 به ۱۶ درصد تقليل پيدا كرده است. با توجه به رابطه (۳) افزايش نرخ آتش موجب كاهش راندمان تابشي مي شود، از طرف ديگر افزايش نرخ آتش موجب افزايش دماي سطح و نرخ تابش مي‌شود كه اثر افزاينده بر راندمان تابشي دارد، ولي ميزان اين افزايش كمتر از اثر افزايش نرخ آتش است و اثر خالص كاهش راندمان تابشي است. در نرخ آتش ۴۹۰ kW/m^2 مقدار راندمان تابشي بيشينه، اندكي بيش از اين مقدار در نرخ ۳۹۲ kW/m^2 است. علت اين مسئله افزايش قابل ملاحظه دماي سطح در اين حالت نسبت به بقيه حالت‌ها است.

در صورتي كه از توري با شبكه‌بندي ريز و درشت به صورت تركيبي استفاده شود، در اكثر نرخ آتش‌ها راندمان تا ۲% نسبت به حالت قبلي افزايش خواهد داشت (شكل ۹).



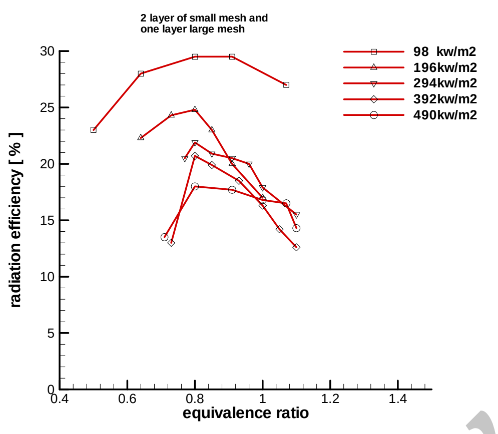
شكل (۸): راندمان تابشي مشعل با سه لايه توري ريز

همانگونه كه در شكل (۹) ديده مي‌شود، براي مشعل با دو لايه توري ريز و يک لايه توري با شبكه درشت مقادير راندمان تابشي به ويژه براي نرخ آتش‌هاي بالاتر نسبت به مشعل با لايه توري ريز اندكي افزايش خواهد داشت. هم‌چنين ديده مي‌شود كه با افزايش نرخ آتش، ميزان راندمان تابشي مشعل كاهش مي‌يابد و در نرخ آتش ۹۸ kW/m^2 بيشترين ميزان راندمان تابشي را خواهيم داشت.

در تحليلي ديگر راندمان تابشي براي مشعل با سه لايه توري ريز در نرخ آتش‌هاي پايين در مقايسه با نرخ‌هاي بالاتر تا ۱۵% كاهش مي‌يابد. اين مقدار اختلاف براي حالت تركيبي به ۹% تقليل مي‌يابد.

در پايان نكته‌اي قابل توجه آن است كه درحالت سه لايه توري ريز نسبت هم‌ارزي كه بيش‌ترين راندمان تابشي در آن روي مي‌دهد به نرخ آتش وابسته است. چنانكه براي نمودار (۸) مقدار بيشينه راندمان براي نرخ آتش ۹۸ kW/m^2 در نسبت هم‌ارزي ۰/۷۵ و براي نرخ آتش ٤۹۰ kW/m^2 در نسبت هم‌ارزي ۰/۸ بدست آمده است. در حالت تركيبي اين نسبت هم ارزي تابع نرخ آتش نيست.

با دقت در نمودارهاي (۸) و (۹) ديده مي‌شود كه بيش‌ترين مقدار راندمان براي يک نرخ آتش ثابت مربوط به نسبت هم‌ارزي است كه دماي بيشينه سطح نيز بدست مي‌آيد.



شكل (۹): نمودار راندمان تابشي مشعل با محيط تركيبي

۴- مقايسه تحقيق حاضر با مطالعات ديگر

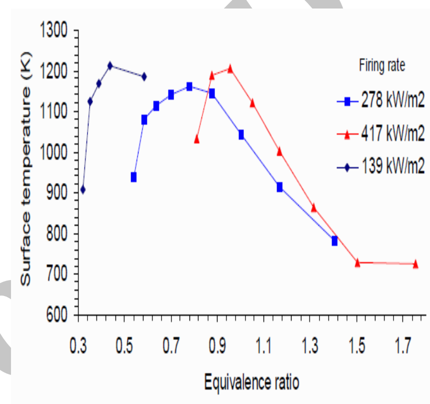
در اين بخش با ارائه‌نتايج تحقيقات قبلي در زمينه مشعل‌هاي متخلخل فلزي، به مقايسه نتايج تحقيق حاضر با آنها پرداخته مي‌شود. با توجه به تحقيقات آزمايشگاهي انجام شده در زمينه مشعل‌هاي متخلخل فلزي، دو مورد از آنها شامل تحقيق كريستو [۱۱] و تحقيق لئوناردي [۱۲] مورد بحث و بررسي قرار مي‌گيرد و نمودارهاي دماي سطح و ميزان راندمان تابشي مطالعه حاضر با آنها مقايسه مي‌شوند.

در شكل (۱۰) نمودار دماي سطح مربوط به آزمايش كريستو نشان داده شده است. محيط متخلخل در مشعل آزمايشي كريستو از سه لايه توري فشرده شده به هم با ضخامت مؤثر ۳ ميلي‌متر ساخته شده است.

با مقايسه نمودار (۱۰) با نمودار شكل (۵) مي‌توان دريافت كه در هر دو تحقيق با افزايش ميزان نرخ آتش، دماي سطح مشعل افزايش يافته است. در نمودار (۱۰) مقدار دماي سطح در

نرخ آتش ٤١٧ kW/m^2 به بالاترين مقدار خود به ميزان ١٢٠٥K مي‌رسد. از طرف ديگر براي نرخ آتش ٢٧٨ kW/m^2 دماي بيشينه سطح ١١٦٢K بوده و در نرخ ١٣٩ kW/m^2 به ١١١٢K تقليل مي‌يابد. همچنين حداكثر دماي سطح مانند تحقيق حاضر، در نسبت هم‌ارزي كمتر از يک رخ مي‌دهد.

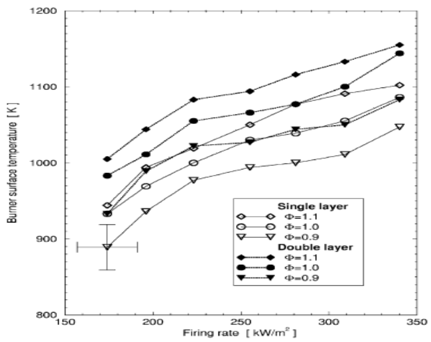
از طرف ديگر ديده مي‌شود كه دماي سطح بدست آمده در نمونه آزمايشي كريستو حدود ٥٠ درجه كلوين در حالت بيشينه، بيشتر از دماي سطح در اين تحقيق است. اين موضوع در حالي است كه نرخ آتش حداكثر در آزمايش كريستو ٤١٧kW/m^2 است و در تحقيق حاضر نرخ آتش به ٤٩٠kW/m^2 مي‌رسد.



شكل (١٠): نمودار دماي سطح آزمايش كريستو [١١]

البته بايد گفت كه در آزمايش كريستو از LPG (گاز مايع) به عنوان سوخت استفاده شده است در حاليكه در اين تحقيق از گاز شهري استفاده مي‌شود.

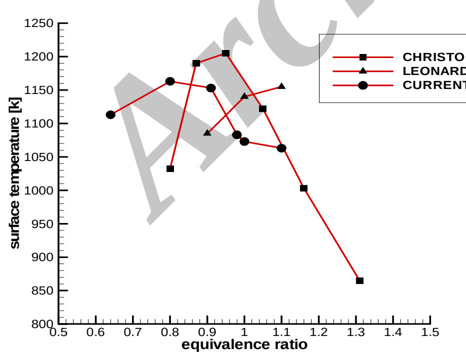
در شكل (١١) نمودار دماي سطح مربوط به مشعل آزمايشي لئوناردي ارائه شده است. اين تحقيق روي مشعل يک لايه و دو لايه الياف فلزي انجام شده است. همانطور كه در شكل ديده مي‌شود؛ مقادير دماي بيشينه سطح در هر دو نمودار (لئوناردي و تحقيق حاضر) وابسته به نرخ آتش بوده و با افزايش نرخ آتش مقادير دماي سطح افزايش مي‌يابد. با مقايسه نمودارهاي (٥) و (٧) مشخص مي‌شود كه هنگامي كه شعله امكان قرارگيري بين لايه‌ها را داشته باشد دماي سطح بالاتري بدست مي‌آيد.



شكل (١١): نمودار دماي سطح آزمايش لئوناردي [١٢]

در شكل (١١) نيز ديده مي‌شود كه با افزايش لايه‌ها دماي سطح افزايش يافته است. از طرف ديگر در نمودار لئوناردي برخلاف آزمايش كريستو و تحقيق حاضر مقدار بيشينه دماي سطح در نسبت هم‌ارزي ١/١ روي مي‌دهد، در حاليكه در اين تحقيق اين ميزان براي برخي نرخ‌هاي آتش به ٠/٨ كاهش مي‌يابد. اين اختلاف مي‌تواند ناشي از اختلاف ساختار محيط‌هاي متخلخل در تحقيق لئوناردي و مطالعه حاضر باشد. همانطور كه گفته شد در تحقيق لئوناردي از الياف بافته شده استفاده شده است.

در شكل (١٢) مقايسه‌اي بين دماي سطح بدست آمده در اين تحقيق با نتايج ديگر براي حالت سه لايه در بالاترين نرخ آتش ارائه شده است. حداكثر دماي بدست آمده در هر سه مطالعه نزديک به هم است. همچنين تغييرات دما در اين مطالعه با تغييرات دماي گزارش شده توسط كريستو نزديک هستند با اين تفاوت كه تغييرات در تحقيق كريستو مقداري شديدتر است كه با توجه به تفاوت ويژگي محيط‌ها، طبيعي است.

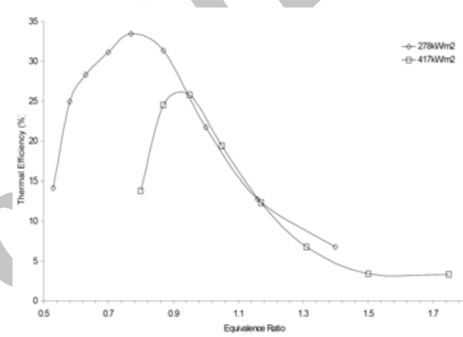


شكل (١٢): مقايسه دماي سطح بدست آمده از اين تحقيق با نتايج مراجع [١١] و [١٢]

در شكل (١٣) راندمان تابشي مشعل متخلخل فلزي كريستو و همكاران ارائه شده است. با مقايسه اين نمودار با شكل (٨)

مربوط به راندمان تابشي مشعل سه لايه در تحقيق حاضر ديده مي‌شود كه با افزايش نرخ آتش در هر دو تحقيق ميزان راندمان تابشي كاهش مي‌يابد. چنانكه ديده مي‌شود، در نمودار راندمان تابشي كريستو بيشترين مقدار راندمان تابشي در نرخ آتش ۲۷۸kW/m^2، ۳۳% بدست مي‌آيد كه اين مقدار براي نرخ آتش ٤۱۷kW/m^2 به ۲۵% تقليل مي‌يابد.

از طرف ديگر كاهش راندمان تابشي در مشعل اين تحقيق در اثر افزايش نسبت هم‌ارزي به مراتب كمتر از مشعل كريستو است. در نمودار راندمان تابشي اين تحقيق نيز اين روند كاهشي راندمان ديده مي‌شود و بيشينه راندمان تابشي دركم‌ترين نرخ آتش به ميزان۳۰% بدست آمده است. هم‌چنين در هر دو آزمايش ميزان بيشينه راندمان تابشي در يک نرخ آتش ثابت، در نسبت هم‌ارزي كمتر از يک روي مي‌دهد كه بيشينه دماي سطح نيز در اين مقدار حاصل مي‌شود.

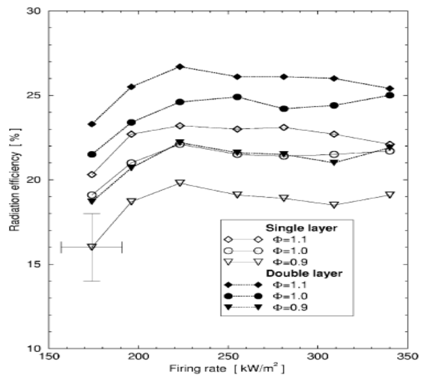


شكل (۱۳): راندمان تابشي مشعل متخلخل تابشي [۱۱]

در نمودار كريستو، بيشينه راندمان تابشي در نسبت هم‌ارزي ۰/۷۷ بدست مي‌آيد كه نزديک به مقدار بدست آمده در اين تحقيق است.

در آزمايش لئوناردي ميزان راندمان تابشي مشعل براي هفت نرخ آتش از ۱۷۰kW/m^2 تا ۳٤۰ kW/m^2 و در سه نسبت هم‌ارزي ۰/۹ و ۱و۱/۱ بدست آمده است. همانطور كه در شكل (١٤) ديده مي‌شود در اين نمودار برخلاف نتايج داده شده در دو آزمايش كريستو و تحقيق حاضر مقادير راندمان تابشي در يک نرخ آتش بهينه بدست آمده است. با توجه به اين نمودار مقدار بيشينه راندمان تابشي براي نرخ آتش ۲۲۰kW/m^2 بدست آمده است. البته به اين نكته نيز بايد توجه شود كه مقادير راندمان تابشي براي نرخ آتش‌هاي بيشتر از اين مقدار به تدريج كاهش مي‌يابد. اين موضوع براي دو نمونه مشعل يک لايه و دو لايه به وضوح ديده مي‌شود.

مقادير بيشينه راندمان تابشي در تحقيق لئوناردي بر خلاف نتايج تحقيق كريستو و تحقيق حاضر، نه تنها در مخلوط رقيق سوخت و هوا روي نمي‌دهد، بلكه در مخلوطي غني با نسبت هم‌ارزي ۱/۱ بدست آمده است. اين اختلاف در نمودار دماي سطح نيز مشهود است.



شكل (١٤): نمودار راندمان تابشي ازمايش لئوناردي [۱۲]

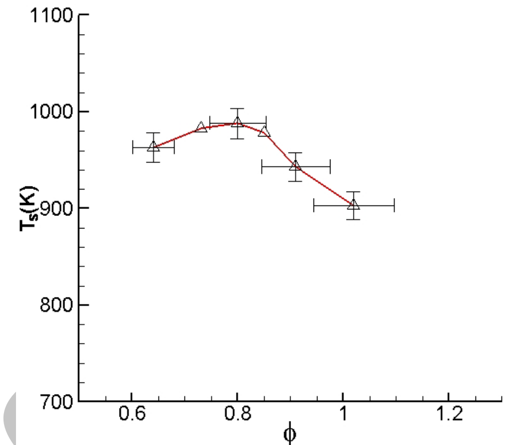
۵- تحليل خطا

يكي از مباحث مهمي كه در انجام مطالعات آزمايشگاهي مطرح مي‌شود، برآورد ميزان خطاي موجود و يا عدم قطعيت در نتايج به‌دست آمده از آزمايش‌هاست. در اين تحقيق از روشي كه توسط هولمن [۱۷] براي برآورد ميزان خطاي موجود در نتايج تجربي ارائه شده است، استفاده مي‌شود. در روش مورد-نظر ميزان عدم قطعيت يك كميت وابسته از رابطه (۵) به دست مي‌آيد:

$$W_R = \left(\sum \left(\frac{\partial R}{\partial X_i} \times w_i \right)^2 \right)^{0.5} \tag{۵}$$

كه در آن W_R عدم قطعيت كميت وابستة مورد نظر و w_i عدم قطعيت كميت مستقل X_i است. خطاهاي موجود در ابزارهاي اندازه‌گيري با توجه به مشخصات ارائه شده از سوي سازندگان عبارت است از: ۱- خطاي روتامتر گاز برابر ۰/۲ ليتر بر دقيقه ۲- خطاي روتامتر هوا برابر با ۰/١٤ مترمكعب بر ساعت ۳- خطاي اندازه گيري توسط آذرسنج برابر ۰/۱ كلوين و ٤- خطاي مربوط به محاسبه ضريب صدور ۰/۱ در نظر گرفته مي‌شود. از آنجا كه آذرسنج دماي سطح را با استفاده از تابش صورت گرفته از سطح محاسبه مي‌نمايد، در نتيجه در محاسبه تابش صدوري، خطاي محاسبه ضريب صدور خود به خود حذف مي‌شود. هم‌چنين فرض شده است كه عدم قطعيت مربوط به ارزش گرمايي گاز و ابعاد ناچيز باشد. با توجه به نتايج اصلي موجود در اين تحقيق، متغيرهاي متأثر از خطا شامل دما، نرخ آتش، راندمان تابشي و نسبت هم‌ارزي مي‌شود. با استفاده از روابط (۲) و (۵) عدم قطعيت نرخ آتش برابر ۹/۷۵ kW/m^2 است. عدم قطعيت راندمان تابشي در كار قبلي مرجع [۱۵] به

طور کامل بررسي شده است. بـا اسـتفاده از روابـط (۱) و (۵) عدم قطعيت مربوط به نسبت هـمارزي بـه شـکل تـابعي از دبـي سوخت، هوا و نسبت هم ارزي بدست مي‌آيـد. شـکل (۸) ميـزان عدم قطعيت دماي T_s را بـر حـسب نـسبت هـمارزي در kW/m^2 FR=۱۹۶ براي محيط متخلخل ترکيبي نشان داده است. با توجه به شکل، با افزايش نسبت همارزي مقدار عدم قطعيت ايـن عامـل افزايش مي‌يابد.



شکل (۱۵): عدم قطعيت دما و نسبت همارزي

۶- نتيجه‌گيري

در اين مقاله اثر نرخ آتش و نسبت همارزي مخلوط ورودي بر عملکرد مشعل متخلخل فلزي (سه محيط متخلخل تشکيل شده از توري‌هاي با شبکه ريز و درشت) به طور تجربي مورد مطالعه قرار گرفت. نتايج بدست آمده از آزمايش‌ها به طور خلاصه عبارتند از:

۱- به طور کلي با افزايش نرخ آتش دماي سطح افزايش مي‌يابد.

۲- حداکثر دماي سطح در نسبت همارزي کمتر از يک بدست مي‌آيد. بنابراين حداکثر تابش از مشعل در حداکثر نرخ آتش و در اين محدوده نسبت همارزي بدست مي‌آيد.

۳- بالاترين راندمان تابشي در مشعل با سه لايه توري با شبکه ريز در کم‌ترين نرخ آتش حاصل مي‌شود. راندمان اندازه‌گيري شده ۳۰% است و در نسبت همارزي ۰/۷۵ روي مي‌دهد. اين حالت بهينه به لحاظ مصرف سوخت خواهد بود.

٤- مشعل مورد تحقيق حساسيت کم‌تري در مورد بازده تابشي در اثر تغييرات نسبت هم ارزي نسبت به مشعل‌هاي مشابه در تحقيقات ديگر دارد.

٥- در محيط متخلخل ترکيبي، شعله در نسبت همارزي کمتري نسبت به محيط متخلخل با شبکه ريز پايدار مي‌شود. هم‌چنين به طور متوسط دماي سطح نيز براي محيط متخلخل ترکيبي بيشتر است. بنابراين محيط متخلخل ترکيبي در نسبت همارزي کمتر به دماي بالاتري مي‌رسد که از نظر راندمان تابشي اهميت دارد.

٦- در صورتي که از توري با شبکه‌بندي ريز و درشت به صورت ترکيبي استفاده شود، در اکثر نرخ آتش‌ها راندمان تا ۲% نسبت به توري با شبکه ريز افزايش خواهد داشت.

٧- هنگامي که شعله امکان قرارگيري بين لايه‌هاي توري-هاي فلزي را داشته باشد دماي سطح بالاتري بدست مي‌آيد. پس در حالت سه لايه توري بافته شده به دليل نبود فضا در بين لايه‌هاي توري، دماي سطح کمتري نسبت به سه لايه توري شبکه ريز بدون بافت دارد. اين موضوع با افزايش تعداد لايه‌ها از يک لايه به دو لايه و در نتيجه افزايش دماي سطح در آزمايش ديگران نيز ديده مي‌شود.

٨- در شرايطي که شعله امکان نفوذ بين دولايه اول سطح را دارد اثر افزايش نرخ آتش روي افزايش دماي بيشينه سطح نيز بيشتر مي‌شود.

٩- در حالت سه لايه توري ريز (تخلخل کمتر) نسبت همارزي که بيش‌ترين راندمان تابشي در آن روي مي‌دهد به نرخ آتش وابسته است. در حالت ترکيبي نرخ آتش اثري در نسبت همارزي مربوط به بيش‌ترين دماي سطح ندارد.

۷- مراجع

[۱] Trimis, D., Durst, F., Picknacker, O. and Picknacker, K., "Porous Medium Combustor Versus Combustion Systems with Free Flames", University Erlangen Nuremburg, Germany, 2002.

[۲] Mobbauer S., Pickenacker O., Pickenacker K. and Trimis D., "Application of the Porous Burner Technology in Energy-and Heat-Engineering", Proceeding of 5th Int. Conf. on Technologies and Combustion for a Clean Enviro.: Lisbon, pp. 519-523, 1999.

[۳] Christo, F. C., "A Parametric Analysis of a Coupled Chemistry-Radiation Model in Porous Media", DSTO – Research Report RR-0188, 2000.

[۴] Howell J. R., communication via email, jhowell@mail.utexas.edu.

[۵] Viskanta R, Gore JP, "Overview of cellular ceramics based porous radiant burners for supporting combustion", Environ Combust Technol;1: 167e203, 2000.

[۶] Mao-Zhao Xie, Jun-Rui Shi, Yang-Bo Deng, Hong Liu, Lei Zhou, You-Ning Xu, "Experimental and numerical investigation on performance of a porous medium burner with reciprocating flow", Fuel 88, pp. 206–213, 2009.

[۷] Ayman Bakry a, Ahmed Al-Salaymeh, Ala H. Al-Muhtaseb, Ahmad Abu-Jrai, D. Trimis, "Adiabatic premixed combustion in a gaseous fuel porous inert media under high pressure and temperature": Novel flame stabilization technique, Fuel, 2010.

[۸] H. Davarzani, M.Marcoux, P.Costeseque, M.Quintard, "Experimental measurement of the effective diffusion and thermodiffusion coefficients for binary gas mixture in porous media", Chemical Engineering Science 65, pp.5092–5104, 2010.

[۹] M. Abdul Mujeebu, M. Zulkifly Abdullah, A.A. Mohamad, M.Z. Abu Bakar, "Trends in modeling of porous media combustion", Progress in Energy and Combustion Science 36 , pp. 627-650, 2010.

[۱۰] R.C. Catapan, A.A.M. Oliveira, M. Costa, "Non-uniform velocity profile mechanism for flame stabilization in a porous radiant burner", Experimental Thermal and Fluid Science 35, pp.172–179, 2011.

[۱۱] Farid C. Christo, Lakshmanan V. Krishnamoorthy, "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.

[۱۲] Leonardi, A. S., Viskanta, R. and 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.

[۱۳] Vogel BJ, Ellzey JL, "Subadiabatic and superadiabatic performance of a twosection porous burner", Combust Sci Technol 177: pp1323–38. 2005.

[۱۴] Qiu K, Hayden ACS., "Thermophotovoltaic power generation systems using natural gas-fired radiant burners", Sol Energy Mat Sol C;91: pp588–96, 2007.

[۱۵] هاشمي، سيد عبدالمهدي، عطوف، حسين؛ بررسي تجربي اثر ضخامت و تخلخل بر عملکرد مشعل تابشي متخلخل فلزي، سوخت و احتراق، سال دوم، شماره اول، ۱۳۸۸.

[۱۶] هاشمي، سيد عبدالمهدي، اماني، جعفر، عطوف، حسين؛ بررسي تجربي پايداري شعله در محيط متخلخل کاربيد سيليسيمي، مجله علمي پژوهشي اميرکبير، سال ۴۳، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۰.

[۱۷] هولمن، جي .آر؛ روش هاي اندازه گيري در مهندسي، ترجمه ملکي و ديبايي نيا، انتشارات جهاد دانشگاهي دانشگاه صنعتي اصفهان، اصفهان، صفحات ۹۷-۷۹، ۱۳۶۹.

۸- زیر نویس‌ها

[1] turn down ratio