

ارائه مدل جدیدی از مبدل حرارتی گاز به گاز بر پایه تبدیل بین انتالپی و انرژی تشعشعی توسط محیط متخلخل

سید عبدالرضا گنجعلیخان نسب

چکیده: در این مقاله یک مدل جدید از مبدل حرارتی گاز به گاز ارائه شده که اصول کارکرد آن بر اساس تبدیل انتالپی گاز به انرژی تابشی و بالعکس، می باشد. این مبدل شامل یک بخش مرکزی با درجه حرارت بالا و دو بخش بازیاب بوده که در هر کدام از این بخشها یک لایه متخلخل موجود می باشد. گاز داغ ورودی به مبدل حرارتی از درون لایه متخلخل در بخش مرکزی گذشته و انتالپی گاز به انرژی تابشی تبدیل می گردد. این انرژی تابشی به سمت بخشهای بازیاب گسیل داشته شده جایی که انرژی تابشی جذب شده بصورت افزایش انتالپی گاز ظاهر می شود. جهت آنالیز حرارتی این مبدل با در نظر گرفتن یک سیستم یک بعدی، معادلات انرژی مربوط به جریان گاز و محیط متخلخل بصورت همزمان حل عددی شده است. در این راستا جهت محاسبه توزیع شار حرارتی تابشی از مدل دو شار حرارتی (Two-flux model) استفاده شده است. در عین سادگی ساختمان داخلی این مبدل، نتایج محاسبات عملکرد بالایی را برای این سیستم پیش بینی می نماید بخصوص در شرایطی که از لایه های متخلخل با ضخامت اپتیکی زیاد و ضریب پخش تابشی کم استفاده شود. جهت بررسی صحت محاسبات انجام شده، در مورد یک سیستم بازیاب ساده شامل جریان گاز از داخل یک لایه متخلخل، مقایسه ای با نتایج تئوریک دیگر محققین صورت پذیرفته که انطباق موجود رضایت بخش بوده است.

واژه های کلیدی: مبدل حرارتی، انتالپی، انرژی تشعشعی، محیط متخلخل

۱. مقدمه

یکی از موضوعات نسبتاً جدیدی که در دو دهه اخیر مورد مطالعه بسیاری از محققین قرار گرفته است تکنیک تبدیل انتالپی جریان گاز به انرژی تابشی با استفاده از محیط متخلخل می باشد. این تبدیل بر پایه دو فرآیند استوار است. فرآیند اول انتقال حرارت جابجایی بین جریان گاز و محیط متخلخل با توجه ضریب انتقال حرارت بالا و سطح انتقال حرارت زیاد می باشد و دیگری شار تشعشعی صادر شده از محیط متخلخل بوده محیطی که قدرت صدور انرژی تشعشعی آن بمراتب بیشتر از گاز می باشد. تا به حال از این تکنیک جهت بازیابی انرژی از گازهای داغ خروجی از آگزوز بسیاری از دستگاههای حرارتی استفاده شده است. تحقیق بعمل آمده توسط Echigo [1] نشان می دهد که با نصب یک لایه متخلخل مناسب در مسیر عبور گازهای داغ خروجی از آگزوز، می توان در حدود ۶۰ درصد از انرژی حرارتی جریان را بصورت انرژی تشعشعی بداخل سیستم بازگرداند. لذا به این ترتیب افزایش چشم-

گیری در راندمان حرارتی دستگاههایی که با درجه حرارت بالا سروکار دارند ایجاد می شود [2-5]. شکل ۱ نمایی ساده از این سیستم بازیاب را نشان می دهد. در سال ۱۹۸۴ دو تن از محققین به نامهای Tien و Wang [6] یک سیستم بازیاب را با استفاده از مدل دو شار حرارتی (Two-flux model) مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در این مطالعه اثرات پخش تشعشعی محیط متخلخل نیز در نظر گرفته شده بود. در ادامه [7] Yoshida et al. در سال ۱۹۹۰ رفتار حرارتی سیستم بازیاب را در شروع راه اندازی (حالت گذرا) و با استفاده از روش انتگرالی مورد بررسی قرار دادند. در سال ۲۰۰۲ کار مشابهی توسط Gandjalikhan Nassab [8] با بکارگیری مدل دو شار حرارتی انجام گرفت. لازم به ذکر است که مدل دو شار حرارتی در عین سادگی از دقت قابل قبولی برخوردار می باشد.

در تمامی موارد ذکر شده فوق، مطلب مورد مطالعه تبدیل انتالپی به انرژی تشعشعی توسط محیط متخلخل بوده است. بدیهی است که می توان از این محیط جهت انجام عکس این عمل نیز استفاده نمود. [9] Tomimura et al. در سال ۲۰۰۲ با استفاده از این ایده موفق به طراحی یک نمونه جدید از مبدل حرارتی گاز به گاز شدند. این دستگاه شامل یک قسمت مرکزی و دو قسمت بازیاب بوده که در هر قسمت یک لایه متخلخل تعبیه شده است. این لایه ها توسط دو

مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۷/۹ دریافت شده و در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۷ به تصویب نهایی رسیده است.

سید عبدالرضا گنجعلیخان نسب استادیار بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شهید باهنر کرمان، ganj110@mail.uk.ac.ir

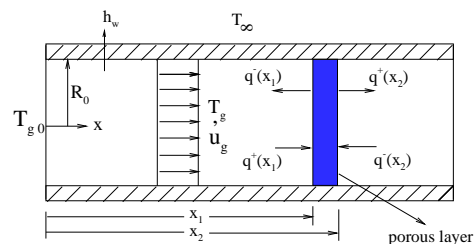
کم گاز تنها مکانیزم انتقال حرارت جابجایی می‌باشد. جهت بررسی صحت آنالیز انجام شده در چند مورد مقایسه‌ای با نتایج تئوریک دیگر محققین صورت گرفته که نتیجه رضایت بخش بوده است.

۲. تئوری

۲-۱. لایه متخلخل در داخل کانال

جریان یک بعدی گاز داغ از داخل کانال سیستم بازیاب به شعاع R_0 در شکل ۱ نشان داده شده است. گاز در درجه حرارت T_{g0} و از مقطع $x=0$ با سرعت یکنواخت u_g وارد کانال شده در حالیکه دمای سیال T_g در هر مقطعی ثابت فرض می‌شود. لایه متخلخل موجود در کانال بین دو مقطع x_1 و x_2 واقع شده است و ضخامت لایه به مراتب کوچکتر از شعاع کانال می‌باشد که در این صورت آنالیز یک بعدی از دقت بیشتری برخوردار می‌شود. گاز عبوری از داخل کانال غیر تابشی (nonradiating) بوده و انتقال حرارت تشعشعی فقط از طریق محیط متخلخل انجام می‌گیرد. ضریب انتقال حرارت کلی از طریق دیواره کانال با محیط اطراف h_w بوده و به این ترتیب مقدار انتقال حرارت بر واحد سطح بین جریان گاز و محیط اطراف برابر با $h_w(T - T_\infty)$ می‌باشد. شارهای تشعشعی B_1 و B_2 به ترتیب از بالا دست و پایین دست جریان به سمت لایه متخلخل تابیده می‌شود.

صفحه جاذب تشعشع از یکدیگر جدا شده اند. عبور جریان گاز داغ از داخل لایه متخلخل در قسمت مرکزی، تبدیل انتالپی به انرژی تابشی را به دنبال دارد. بطوری که شار تشعشعی صادر شده از ابتدا و انتهای این لایه به سمت صفحات جدا کننده هدایت می‌گردد. جذب انرژی تشعشعی توسط این صفحات باعث افزایش دمای آنها و نهایتاً صدور انرژی تشعشعی به سمت لایه های موجود در قسمت‌های بازیاب می‌شود و سرانجام در این قسمت‌ها انرژی تشعشعی جذب شده توسط محیط متخلخل باعث افزایش دمای جریان گاز عبوری می‌گردد. بدیهی است در صورتی که جریان گاز داغ ورودی به مبدل، از آگزوز یک دستگاه حرارتی بمانند توربین گاز تامین گردد. این گونه مبدلهای حرارتی می‌توانند به صورت یک سیستم بازیافت انرژی عمل نمایند.



شکل ۱. نمایی از یک سیستم بازیافت انرژی

۲-۱-۱. معادلات حاکم

معادلات حاکم در ناحیه $x_1 \leq x \leq x_2$ شامل معادلات انرژی برای جریان گاز و لایه متخلخل و همچنین معادلات انتقال حرارت تشعشعی بر اساس مدل دو شار حرارتی بوده که به صورت زیر نوشته می‌شوند:

$$\rho_g c_g u_g (\pi R_0^2) \frac{dT_g}{dx} + h_w (2R_0 \pi) (T_g - T_\infty) \quad (1)$$

$$+ h_s N_s A_s (\pi R_0^2) (T_g - T_p) = 0$$

$$h_s N_s A_s (\pi R_0^2) (T_p - T_g) + \frac{dq_n}{dx} (\pi R_0^2) = 0 \quad (2)$$

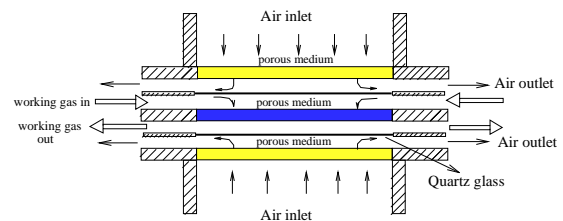
$$\frac{dq^+}{dx} = -2\sigma_a q^+ - 2b\sigma_s q^+ + 2\sigma_a \sigma T_p^4 + 2b\sigma_s q^- \quad (3)$$

$$-\frac{dq^-}{dx} = -2\sigma_a q^- - 2b\sigma_s q^- + 2\sigma_a \sigma T_p^4 \quad (4)$$

$$+ 2b\sigma_s q^+ \quad (5)$$

$$q_n = q^+ - q^-$$

در معادلات فوق N_s تعداد ذرات تشکیل دهنده محیط متخلخل در واحد حجم و A_s مقدار سطح هر کدام از این ذرات می‌باشد. قابل ذکر است که با حذف ترم انتقال حرارت جابجایی از معادله (۱)، معادله انرژی در نواحی خارج از محیط متخلخل بدست می‌آید. جهت بدست آوردن فرم بدون بعد معادلات حاکم، گروه‌های بدون بعد بصورت زیر معرفی می‌شوند:



شکل ۲. اجزاء اصلی مبدل حرارتی گاز به گاز

در کار حاضر یک طرح جدید از مبدل حرارتی گاز به گاز که شبیه به مبدل حرارتی در مرجع [9] می‌باشد ارائه شده است (شکل ۲). همانطور که در شکل دیده می‌شود لایه های متخلخل توسط دو صفحه شیشه‌ای کوارتز که کاملاً عبور دهنده شار تشعشعی می‌باشند از یکدیگر جدا شده اند. در آنالیز این سیستم از مدل دو شار حرارتی بجای روش انتگرالی که در مرجع [9] بکار گرفته شده بود جهت محاسبه توزیع شار تشعشعی استفاده شده است.

در محاسبات انجام گرفته بواسطه ضریب تخلخل زیاد لایه ها و نتیجتاً کوچک بودن ضریب هدایت حرارتی، فرض بر آن است که مکانیزم انتقال حرارت در محیط متخلخل تشعشعی و جابجایی بوده و در جریان گاز با فرض غیر تابشی بودن و نظر به هدایت حرارتی

۳-۱-۲. **طریقه حل عددی**

در محاسبات عددی صورت گرفته، معادلات (۶) تا (۹) به روش تکرار (iterative) حل شده که مراحل حل عددی را می توان بصورت زیر خلاصه نمود.

۱- تخمین اولیه ای برای پارامترهای وابسته Q^+ , Q^- و θ_p در هر کدام از نقاط محاسباتی در نظر گرفته میشود.

۲- معادلات شماره (۶)، (۸) و (۹) با بکارگیری روش رانج کوتا (Runge-Kutta) حل شده و مقادیر محاسبه شده پارامترهای Q^+ , Q^- و θ_g در هر کدام از نقاط محاسباتی بدست می آید.

۳- با استفاده از معادله جبری شماره (۷) توزیع دمای محیط متخلخل θ_p محاسبه می گردد.

۴- مراحل ۲ و ۳ تکرار شده تا اینکه شرایط همگرایی برقرار گردد. قابل ذکر است که بسته به ضخامت اپتیکی (optical thickness) لایه متخلخل، از میدانهای محاسباتی شامل ۱۰۰ تا ۲۰۰ نقطه به منظور حل عددی معادلات حاکم استفاده شده است.

۲-۲. **مبدل حرارتی گاز به گاز**

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است مبدل حرارتی مورد مطالعه دارای یک قسمت مرکزی با درجه حرارت بالا می باشد که در میان دو بخش بازیاب قرار گرفته است. لایه متخلخل تعبیه شده در قسمت مرکزی، انتالی جریان گاز داغ را به انرژی تشعشعی مبدل نموده و انجام معکوس این فرآیند در بخشهای بازیاب ازدیاد دمای جریانهای عبوری از این قسمتها را به همراه دارد. در کار حاضر جهت تشخیص دو قسمت بازیاب از یکدیگر چنین عمل شده که قسمتی که در نزدیکی جریان گاز داغ ورودی به مبدل حرارتی قرار گرفته و شار تشعشعی صادر شده از ابتدای لایه متخلخل در بخش مرکزی را دریافت می نماید بنام بازیاب اولیه و دیگری بنام بازیاب ثانویه نامگذاری شده است. بدیهی است که دمای بازیاب اولیه بالاتر خواهد بود.

جهت آنالیز مبدل حرارتی از روش ارائه شده در بخش ۱-۲ استفاده شده است بدین ترتیب که هر کدام از سه لایه موجود در مبدل حرارتی بر اساس سیستم نشان داده شده در شکل ۱ بطور مجزا شبیه سازی شده و حل عددی معادلات حاکم بدست آمده است. در این راستا ملاحظات زیر در نظر گرفته شده است.

۱- هر کدام از لایه ها بطور مجزا آنالیز شده بدین گونه که در هر مورد با فرض سیستم یک بعدی، محور x در ناحیه داخل لایه متخلخل و در جهت موازی جریان در نظر گرفته شده است.

۲- دمای گاز داغ ورودی به قسمت مرکزی T_{g0} به عنوان درجه حرارت مرجع برای تمامی قسمتهای مبدل لحاظ شده است.

۳- با توجه به چگونگی استقرار لایه های متخلخل در هر قسمت از مبدل حرارتی و مقایسه با سیستم بازیاب ساده نشان داده شده در

$$\tau_0 = \sigma_e \delta, R = \frac{h_s N_s A_s}{2 \sigma_e \sigma T_{g0}^3} = \frac{\rho_g c_g u_g}{2 \sigma T_{g0}^3} \times \frac{Q}{\tau_0} \times \frac{\delta}{R_0}$$

$$\tau = \sigma_e (x - x_1), \omega = \frac{\sigma_s}{\sigma_e}, P = \frac{h_w}{\rho_g c_g u_g}$$

$$Q = \frac{h_s N_s A_s R_0}{\rho_g c_g u_g}, X = \frac{x}{R_0}, Q^+ = \frac{q^+}{\sigma T_{g0}^4}$$

$$Q^- = \frac{q^-}{\sigma T_{g0}^4}, \theta_g, p = \frac{T_{g,p}}{T_{g0}}, B'_{1,2} = \frac{B_{1,2}}{\sigma T_{g0}^4}$$

با استفاده از پارامترهای فوق، فرم بدون بعد معادلات حاکم را می توان بصورت زیر بدست آورد.

$$\frac{d\theta_g}{dX} + P(\theta_g - \theta_\infty) + Q(\theta_g - \theta_p) = 0 \quad (۶)$$

$$R(\theta_g - \theta_p) = 2(1-\omega)\theta_p^4 - (1-\omega)(Q^+ + Q^-) \quad (۷)$$

$$\frac{dQ^+}{d\tau} = -2(1-\omega)Q^+ - 2b\omega Q^+ + 2(1-\omega)\theta_p^4 + 2b\omega Q^- \quad (۸)$$

$$-\frac{dQ^-}{d\tau} = -2(1-\omega)Q^- - 2b\omega Q^- + 2(1-\omega)\theta_p^4 + 2b\omega Q^+ \quad (۹)$$

و در نواحی خارج از محیط متخلخل فرم بدون بعد معادله انرژی بصورت زیر است.

$$\frac{d\theta_g}{dX} + P(\theta_g - \theta_\infty) = 0 \quad (۱۰)$$

که این معادله بصورت تحلیلی قابل حل می باشد.

۲-۱-۲. **شرایط مرزی**

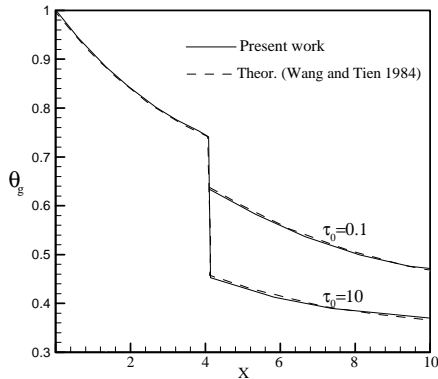
جهت حل معادله انرژی در خارج از محیط متخلخل شرایط مرزی زیر اعمال شده است.

$$\theta = \theta_{g0} \text{ at } x=0 \text{ for } x < x_1 \text{ and}$$

$$\theta = \theta_{g2} \text{ at } x=x_2 \text{ for } x > x_2$$

که دمای بدون بعد θ_{g2} در مقطع $x = x_2$ از حل معادله انرژی در داخل لایه متخلخل بدست آمده و دمای بدون بعد θ_{g1} در مقطع $x = x_1$ که با حل معادله شماره (۱۰) قابل محاسبه است بعنوان شرط مرزی جهت حل معادله شماره (۶) اعمال می گردد و نهایتاً برای محاسبه مقادیر Q^+ و Q^- شرایط مرزی زیر در نظر گرفته شده اند.

$$Q^+(x_1) = B'_1 \text{ and } Q^-(x_2) = B'_2$$

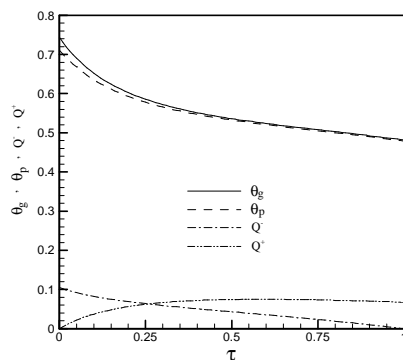


شکل ۳. توزیع درجه حرارت گاز در داخل کانال

$$\theta_{\infty} = 0.3, \delta/R_0 = 0.05, P = 0.114, Q = 952.4, \omega = 0$$

$$X_1 = 4, B_1 = B_2 = 0, \rho_g c_g u_g / 2\sigma T_{g_0}^3 = 0.263$$

جهت تعیین رفتار حرارتی لایه متخلخل در یک سیستم بازیاب، در شکل ۴ چگونگی تغییرات پارامترهای وابسته θ_g, θ_p, Q^+ و Q^- در راستای ضخامت لایه متخلخل نمایش داده شده است. افت دمایی قابل ملاحظه‌ای در گاز بخصوص در ابتدای لایه متخلخل دیده می‌شود که این امر باعث صدور شار تشعشعی زیادی از ابتدای لایه به سمت داخل سیستم شده و به این ترتیب عمل بازیابی انرژی انجام می‌پذیرد. بعلاوه بیشترین مقدار پارامترهای Q^+ و Q^- به ترتیب در ابتدا و انتهای لایه اتفاق می‌افتد که در واقع انرژی‌هایی هستند که توسط لایه متخلخل در پی افت انتالپی گاز تولید شده‌اند. جهت اطمینان از صحت روش عددی بکارگرفته شده، توزیع دمایی گاز در داخل لایه متخلخل در شکل ۵ با نتایج دو تن از محققین دیگر مقایسه شده است. ذکر این نکته ضروری است که محاسبات تشعشعی انجام شده توسط Echigo [1]، بر اساس روش انتگرالی و در مورد Wang و Tien [6] بر پایه مدل دو شار حرارتی بوده است. بهر حال انطباق بین نتایج رضایت بخش می‌باشد.



شکل ۴. توزیع درجه حرارت و شار تشعشعی در داخل لایه متخلخل

$$\theta_{\infty} = 0.3, \delta/R_0 = 0.05, P = 0.114, Q = 952.4, X_1 = 4$$

$$\omega = 0, \tau_0 = 1, B_1 = B_2 = 0, \rho_g c_g u_g / 2\sigma T_{g_0}^3 = 0.263$$

شکل ۱، مقدار پارامتر X_1 برای هر سه لایه برابر با صفر در نظر گرفته شده است.

از آنجایی که شارهای تشعشعی $Q^-(\tau=0)$ و $Q^+(\tau=\tau_0)$ صادر شده از ابتدا و انتهای لایه متخلخل در قسمت مرکزی بعنوان انرژیهای تابیده شده به دو لایه بازیاب عمل می‌نمایند و بهمین ترتیب دو شار تشعشعی $Q^+(\tau=\tau_0)$ صادر شده از انتهای دو لایه بازیاب از دو طرف به سمت دو سطح لایه مرکزی تابیده می‌شوند و با توجه به اینکه معلوم بودن مقادیر شارهای تشعشعی مذکور به عنوان شرط مرزی جهت حل معادلات حاکم برای هر لایه مورد نیاز می‌باشد. لذا از روش تکرار جهت حل معادلات حاکم برای سه لایه که لازم است بصورت همزمان انجام گیرد استفاده شده است. مراحل انجام این عملیات را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:

- ۱- در مورد لایه مرکزی، تخمین اولیه ای برای پارامترهای B_1 و B_2 در نظر گرفته می‌شود.
- ۲- معادلات حاکم در مورد لایه مرکزی بطریق عددی حل شده و مقادیر محاسبه شده پارامترهای θ_g, θ_p, Q^+ و Q^- در تمامی نقاط محاسباتی بدست می‌آید.
- ۳- با داشتن مقدار $Q^-(\tau=0)$ محاسبه شده از مرحله قبل و اعمال ضریب شکل بین دو لایه مقدار پارامتر B_2 برای لایه بازیاب اولیه محاسبه شده و معادلات حاکم برای این لایه حل می‌شوند. بهمین ترتیب برای لایه بازیاب ثانویه می‌توان عملیات مشابهی انجام داد. با محاسبات انجام گرفته مقادیر جدید پارامترهای حدس زده شده در مرحله شماره ۱ تعیین می‌گردند.
- ۴- مراحل ۲ و ۳ تا رسیدن به شرایط همگرایی تکرار می‌شوند.

۳. مقایسه با نتایج دیگران

ابتدا جهت بررسی صحت روش بکارگرفته شده، سیستم بازیاب نشان داده شده در شکل ۱ مورد آنالیز قرار گرفته و نتایج عددی بدست آمده با نتایج ذکر شده در مرجع [6] مقایسه شده است. توزیع درجه حرارت گاز در داخل کانال در شکل ۳ نمایش داده شده است. افت ناگهانی درجه حرارت در اثر عبور گاز از داخل لایه متخلخل کاملاً مشهود می‌باشد. در نواحی خارج از لایه متخلخل نیز درجه حرارت گاز کاهش پیدا نموده که بدلیل انتقال حرارت با محیط از طریق دیواره کانال می‌باشد. بعلاوه با مقایسه منحنی‌های مربوط به دو ضخامت اپتیکی $\tau_0 = 0.1$ و $\tau_0 = 10$ دیده می‌شود که لایه‌هایی با ضخامت اپتیکی بیشتر افت انتالپی زیادتری را در جریان گاز ایجاد می‌نمایند. بهر حال انطباق قابل قبولی بین نتایج در شکل ۳ دیده می‌شود.

کلوین خواهد بود. به عبارت دیگر جریانهای ورودی به بازیاب اولیه و ثانویه که در دمای محیط و معادل ۳۰۰ درجه کلوین می باشند به ترتیب به دماهای ۴۶۰ و ۳۸۵ درجه کلوین خواهند رسید. قابل ذکر است که می توان دو جریان خروجی از لایه های بازیاب را به منظور دستیابی به یک جریان واحد با هم مخلوط نمود که در صورتی که عمل اختلاط بصورت آدیاباتیک انجام شود گاز داغ خروجی از مبدل دمایی حدود ۴۲۰ درجه کلوین پیدا خواهد کرد که این افزایش دما نشان دهنده عملکرد مطلوب این نوع مبدل می باشد.

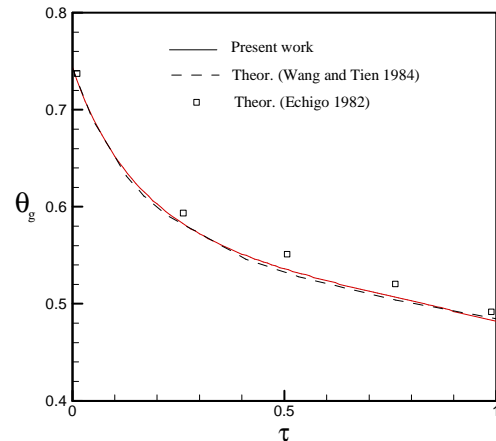
۵. اثر ضخامت اپتیکی و پخش تشعشعی بر عملکرد مبدل

حرارتی

جهت مطالعه اثر ضخامت اپتیکی (optical thickness) و پخش تشعشع (scattering) لایه های متخلخل بکار رفته در مبدل حرارتی، در شکل ۷ مقدار افت درجه حرارت گاز در طی عبور از لایه متخلخل مرکزی بر حسب ضخامت اپتیکی و بازای ضرایب پخش متفاوت رسم شده است. دیده می شود که با بکارگیری لایه هایی با ضخامت اپتیکی بیشتر می توان افت انتالپی زیادتری را در جریان گاز ایجاد نمود بخصوص در حالتی که محیط متخلخل دارای ضریب پخش کمتری می باشد. بررسی مشابهی در خصوص مقدار ازدیاد دما در لایه های بازیاب صورت گرفته که نتایج مربوطه را می توان در شکل ۸ مشاهده نمود. همانطور که دیده می شود استفاده از لایه هایی با ضخامت اپتیکی زیاد و پخش تشعشعی کم، انرژی حرارتی بیشتری را به درون جریان گاز سرد تزریق خواهد کرد و ازدیاد دمای زیادتری را به همراه خواهد داشت.

۶ نتیجه گیری

در کار حاضر بر اساس تبدیل انتالپی به انرژی تشعشعی و بالعکس، مدل جدیدی از مبدل حرارتی گاز به گاز ارائه گردیده و از مدل دو شار حرارتی جهت تعیین توزیع شار تشعشعی استفاده شده است. نتایج نشان می دهند که با نصب لایه متخلخل در مسیر عبور جریان گاز داغ می توان افت انتالپی قابل ملاحظه ای را در جریان ایجاد نمود و این انرژی اخذ شده را به انرژی تشعشعی تبدیل کرد. گسیل این انرژی تشعشعی به سمت لایه متخلخل دیگر در پی تبدیل انرژی تشعشعی به انتالپی، افزایش دمای جریان گاز عبوری را به همراه خواهد داشت. به این ترتیب می توان یک نوع مبدل حرارتی را طراحی نمود که در عین سادگی ساختمان داخلی، عملکرد بسیار خوبی را از خود نشان می دهد. بر اساس بررسی های انجام شده، استفاده از لایه های متخلخلی با ضخامت اپتیکی زیاد و پخش تشعشعی کم در ساختمان این نوع مبدل، عملکرد سیستم را بهبود می بخشد.



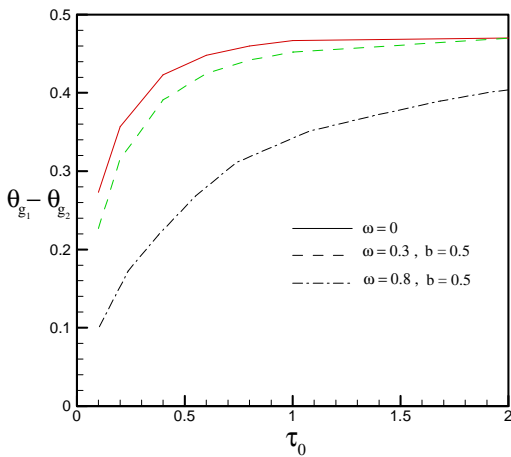
شکل ۵. توزیع دمای گاز در داخل لایه متخلخل

$$\theta_{\infty} = 0.3, \delta/R_0 = 0.05, P = 0.114, Q = 952.4, X_1 = 4$$

$$\omega = 0, \tau_0 = 1, B_1 = B_2 = 0, \rho_g c_{p,g} u_g / 2\sigma T_{g_0}^3 = 0.263$$

۴. نتایج

مدل جدید مبدل حرارتی ارائه شده در کار حاضر با استفاده از روش حل ذکر شده در قسمت ۲-۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مشخصات حرارتی آن بدست آمده است. در طول محاسبات درجه حرارت هوای سرد ورودی به مبدل برابر با دمای محیط در نظر گرفته شده و فرض بر آن بوده که سه لایه متخلخل بکار رفته در مبدل دارای اندازه یکنواخت و به شعاع R_0 می باشند. فاصله بین هر دو لایه مجاور برابر با یک چهارم شعاع بوده که به این ترتیب ضریب شکل بین هر دو لایه معادل با ۸/۱ محاسبه می گردد. و در نهایت مقادیر پارامترهای بدون بعد مانند P, Q, τ_0 و غیره برای هر سه قسمت یکسان در نظر گرفته شده است. در شکل ۶ توزیع پارامترهای θ_p, θ_g, Q^+ و Q^- در راستای ضخامت لایه متخلخل در قسمت مرکزی و در دو قسمت بازیاب نشان داده شده است. در لایه متخلخل مرکزی افت درجه حرارت گاز بخصوص در نواحی ابتدایی لایه اتفاق افتاده و باعث تولید شارهای تشعشعی $Q^-(\tau=0)$ و $Q^+(\tau=\tau_0)$ شده که بسمت لایه های بازیاب گسیل داشته می شود. این انرژی های تابشی توسط لایه های بازیاب جذب می شوند. افت مقدار Q^- در جهت عکس جریان در داخل لایه های بازیاب موید صحت این مطلب می باشد. جذب انرژی توسط محیط متخلخل باعث افزایش درجه حرارت آن شده و در اثر انتقال حرارت جابجایی با جریان گاز سرد، افزایش درجه حرارت جریان گاز را در هر دو بازیاب اولیه و ثانویه به همراه خواهد داشت. در این حالت بررسی شده اگر بعنوان مثال دمای گاز داغ ورودی به مبدل ۱۰۰۰ درجه کلوین باشد در آن صورت افزایش دمای جریان در بازیاب اولیه و ثانویه بترتیب ۱۶۰ و ۸۵ درجه

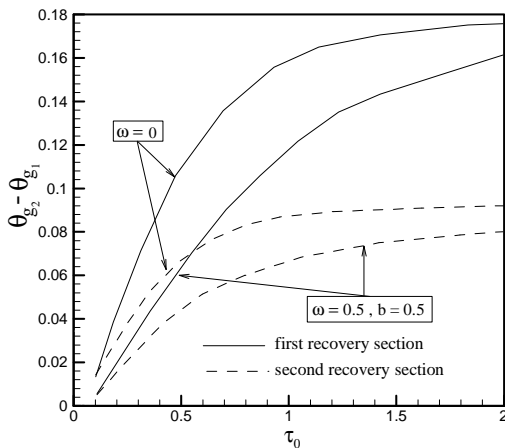


شکل ۷. تاثیر ضخامت اپتیکی و ضریب پخش تشعشع بر افت

درجه حرارت در طی عبور از لایه مرکزی

$$\theta_{\infty} = 0.3, \delta/R_0 = 0.05, P = 0.114, Q = 952.4$$

$$\rho_g c_g u_g / 2\sigma T_{g_0}^3 = 0.263$$



شکل ۸. تاثیر ضخامت اپتیکی و ضریب پخش تشعشع بر افزایش

درجه حرارت در طی عبور از لایه های بازیاب

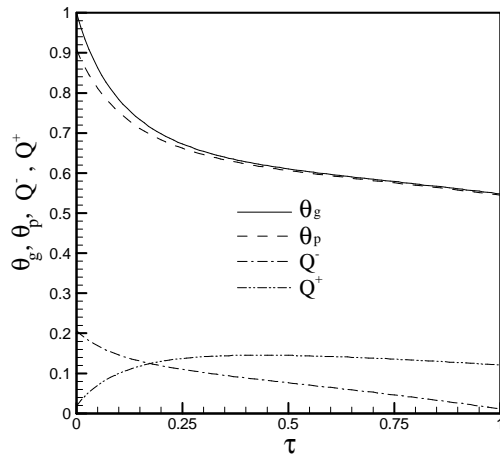
$$\theta_{\infty} = 0.3, \delta/R_0 = 0.05, P = 0.114, Q = 952.4$$

$$\rho_g c_g u_g / 2\sigma T_{g_0}^3 = 0.263$$

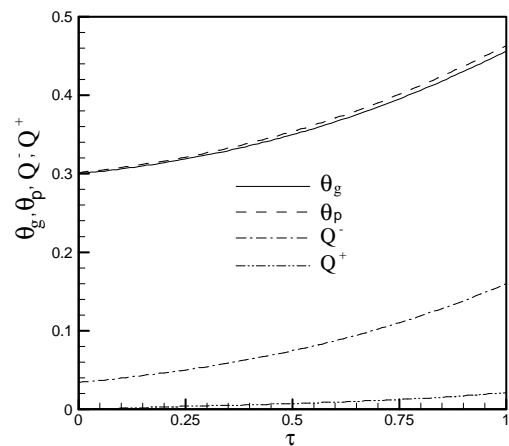
مراجع

[1] Echigo R., "Effective energy conversion method between gas enthalpy and thermal radiation and application to industrial furnaces". Proc. 7th Int. Heat Transfer Conf., München, No.6, 1982, pp. 361-366.

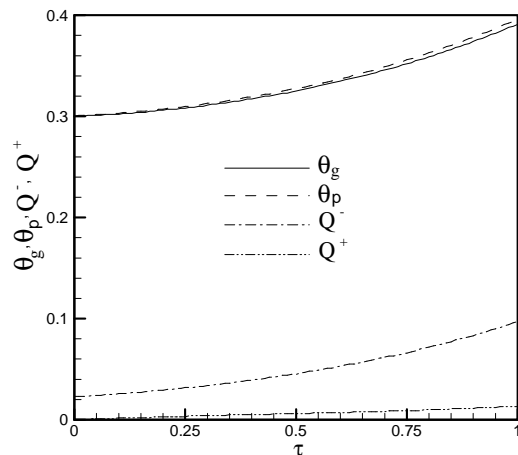
[2] Echigo R., Kurusa M., Ichimaya K. and Youshizawa Y., "Combustion augmentation of extremely low calorific gases (application of the effective energy conversion method from gas enthalpy to thermal radiation)". Proc. ASME - JSME



الف: لایه مرکزی



ب: لایه بازیاب اولیه



ج: لایه بازیاب ثانویه

شکل ۹. تغییرات θ_g ، θ_p ، Q^- و Q^+ در داخل لایه های متخلخل

$$\theta_{\infty} = 0.3, \delta/R_0 = 0.05, P = 0.114, Q = 952.4$$

$$\omega = 0, \tau_0 = 1, \rho_g c_g u_g / 2\sigma T_{g_0}^3 = 0.263$$

تعداد ذرات بر واحد حجم	N_s
پارامتر بدون بعد	P
شار تشعشعی در جهت پایین دست	q^+
شار تشعشعی در جهت بالا دست	q^-
شار تشعشعی بدون بعد در جهت پایین دست	Q^+
شار تشعشعی بدون بعد در جهت بالا دست	Q^-
پارامتر بدون بعد	Q
پارامتر بدون بعد	R
شعاع لایه متخلخل	R_0
درجه حرارت	T
سرعت	u
محور مختصات در جهت جریان	x

علائم یونانی

ضخامت لایه متخلخل	δ
دمای بدون بعد	θ
دانسیته	ρ
ثابت استفن - بولتزمن	σ
ضریب پخش تشعشعی	σ_s
ضریب جذب تشعشعی	σ_a
مجموع ضرایب پخش و جذب	σ_e
عمق اپتیکی	τ
ضخامت اپتیکی	τ_0

زیر نویس ها

گاز	g
محیط متخلخل	p
دیواره کانال	w
مقطع ورودی لایه متخلخل	1
مقطع خروجی لایه متخلخل	2
جمع جبری	n

فهرست علائم

مساحت	A
ضریب پخش معکوس	b
شار تشعشعی ورودی	B
ظرفیت حرارتی	c
ضریب انتقال حرارت جابجایی	h
ضریب هدایت حرارتی	k
شار تشعشعی ورودی بدون بعد	B'

Thermal Engng Joint Conf ., Honolulu, Vol. IV, 1983, pp. 99-103.

[3] Yoshizawa Y., Echigo R. and Tomimura T. A., "Study on a high performance radiant heater". Proc. 1987 ASME-JSME Thermal Engng Joint Conf., Honolulu, Vol.5, 1987, pp. 317-323.

[4] Yoshizawa Y., Sasaki K. and Echigo R., "Analytical study of the structure of radiation controlled flame", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 31, 1988, pp. 311-319.

[5] Echigo R., Yoshida H. and Mochizuki T., "Temperature equalization by the radiative converter for a slab in continuous casting direct rolling". ISME Int. J. Ser. II, Vol.31, No. 3,1988, pp. 542-552.

[6] Wang K. Y. and Tien C. L., "Thermal insulation in flow systems combined radiation and convection through a porous segment". J. Heat Transfer, Vol. 106, 1984, pp. 453-459.

[7] Yoshida H., Yung J. H., Echigo R. and Tomimura T., "Transient characteristics of combined conduction, convection and radiation heat transfer in porous media", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 33, No.5, 1990, pp. 847-857.

[8] Gandjalikhan Nassab S. A., "Transient heat transfer characteristics of an energy recovery system using a porous medium", Proc. Instn. Mech. Engrs., J. Power and Energy, Vo. 216, Part A, 2002, pp. 387-394.

[9] Tomimura T., Unisia A., Hamano K. and Echigo R., "Application of effective energy conversion method by porous media to multi-layered type of gas-to-gas heat exchanger", The 2nd Japan-Korea Joint Symposium on Energy and Environment program, October 15, 2002.