http://mjmec.ir

مجله علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

فروردین ۱۳۹۲، دوره ۱۳ شماره ۱ ص ص ۸۵-۹۴

مقاله پژوهشی کامل
تاریخ دریافت ۹۱/۳/۳۱
تاریخ پذیرش ۹۱/۸/۲
ارائه‌در سایت ۹۱/۱۰/۳۰

بررسی جابجایی آزاد همراه با تشعشع در محفظه متخلخل چهار گوش در شرط عدم تعادل حرارتی

قارن درستی حسنکیاده[۱]، داود رحیم یار هریس[۱]، مصطفی خسروی الحسینی[۲*]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، پژوهنده ارشد پژوهشگاه صنعت نفت، تهران
۲- استادیار مهندسی مکانیک، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران
* تهران صندوق پستی ۳۳۱۱۱- ۱۴۸۵، khosravym@ripi.ir

چکیده- در این مقاله مسأله انتقال حرارت مرکب جابجایی آزاد و تشعشع در محفظه متخلخل چهار گوش در شرط عدم تعادل حرارتی بررسی شده است. در این تحقیق برای حل معادله انتقال تشعشع از روش راستاهای مجزا و برای حل معادلات مومنتم و انرژی از روش حجم محدود استفاده شده است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر با مراجع پیشین که از مدل‌های دیگر جهت حل معادله انتقال تشعشع استفاده کرده‌اند مقایسه شده است. اثر پارامترهای حاکم بر مسأله از قبیل عدد پلانک، ضریب انتقال حرارت بی‌بعد و نسبت پراکنش بر رفتار جریان و انتقال حرارت مورد بررسی قرار گرفته و نتایج به صورت گروه اعداد بی بعد ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد افزایش عدد پلانک سبب افزایش دمای محیط متخلخل و سرعت سیال می‌شود. با افزایش نسبت پراکنش توزیع دما هموارتر و افزایش ضریب انتقال حرارت بدون بعد سبب افزایش سرعت جریان در محفظه می‌شود.

کلیدواژگان: جابجایی آزاد، محیط متخلخل، شرط عدم تعادل حرارتی، انتقال حرارت تشعشع، روش راستاهای مجزا.

Study of coupled radiation and natural convection in a square porous cavity using non-equilibrium model

Q. Dorosti Hassankiadeh[1], D. Rahimyar Heris[1], M. Khosravy el-Hossaini[2*]

1- MSc. of Mech. Eng., Senior Researcher, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran.
2- Assis. Prof., Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran.
* P. O. B. 14857-23111 Tehran, Iran. khosravym@ripi.ir

Abstract- In this paper the problem of coupled radiation and natural convection is investigated in a square porous cavity using local thermal non-equilibrium model. The radiative transfer equation (RTE) is solved by the discrete ordinates method (DOM) and the energy and momentum equations are solved using finite volume method. The results of the present study are compared with that of the other investigations which have used another method to solve radiative transfer equation. Effective parameters on heat transfer and fluid flow characteristics such as Planck number, inter-phase heat transfer coefficient and scattering albedo are studied and the results are presented in the group of dimensionless parameters.

Keywords: Natural Convection, Porous Media, Local Thermal Non-Equilibrium Model, RTE, Discrete Ordinates Method (DOM).

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-14]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.1.7.9]

۱- مقدمه

انتقال حرارت در محیط متخلخل یکی از عنوان‌های مهم و حائز اهمیت است که در ده‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. انگیزه اصلی انجام تحقیقات در زمینه انتقال حرارت در محیط متخلخل در واقع کاربرد وسیع آن از جمله فرایند فیلتراسیون، عایق‌های حرارتی ساختمان، مبدل‌های حرارتی، خنک‌کاری تجهیزات الکترونیکی، کلکتورهای خورشیدی و غیره می‌باشد. هدف از انجام این تحقیقات پی بردن به رفتار انتقال حرارت در محیط متخلخل است. در مراجع [۱-۴] اطلاعات ارزشمندی در این رابطه ارائه شده‌اند. برای مدل‌سازی انتقال حرارت در محیط متخلخل دو روش وجود دارد؛ روش تعادل حرارت محلی[1] و عدم تعادل حرارتی محلی[2]. اکثر تحقیقات به عمل آمده با فرض تعادل حرارتی محلی بین محیط متخلخل و سیال انجام شده است، ولی در بسیاری از کاربردها که شرط عدم تعادل حرارتی موضعی بر فیزیک مسأله حاکم است، این فرض نتایج قابل قبولی ارائه نمی‌دهد. به همین دلیل اخیراً این مسأله بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است و تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه در حال انجام است. محمد [۵] مسأله انتقال حرارت جابجایی آزاد را در محفظه‌ای که در شرایط دمایی مختلف روی دیواره ها قرار دارد را با فرض عدم تعادلی حرارتی محلی بررسی کرده است و رفتار انتقال حرارت و حرکت سیال را در ضریب انتقال حرارت داخلی بین محیط متخلخل و سیال را مطالعه کرده است. ریس و همکارانش [۶] مسأله انتقال حرارت اجباری را در امتداد سیلندر داغ متخلخل با فرض عدم تعادل حرارتی محلی مورد مطالعه قرار دادند و متوجه شدند در زمانی که تعادل حرارتی برقرار است ضریب انتقال حرارت در جهت مماسی تغییر چندانی نمی کند ولی در حالت عدم تعادل حرارتی تغییرات ضریب انتقال حرارت در این راستا قابل ملاحظه است. ژیانگ و رن [۷] نیز مطالعه عددی جهت بررسی انتقال حرارت اجباری در محیط متخلخل با فرض عدم تعادل حرارت محلی انجام داده‌اند. در این تحقیق اثر پارامترهای مختلف از جمله شرایط مرزی مورد مطالعه قرار گرفته شده است و نتایج نشان می دهد با اعمال شرط مرزی شار حرارتی ثابت روی دیوارها و فرض عدم تعادل حرارتی حل عددی تطابق خوبی نتایج تجربی دارد. مرجع [۸] با فرض عدم تعادل حرارتی محلی مسأله انتقال حرارت مختلط را مطالعه کرده است. نتیجه این تحقیق حاکی از آن است که در اعداد رایلی پایین عدد ناسلت میانگین بیشتر می‌شود. همچنین مرافی و وفایی [۹] اثر غیر دارسی را با مدل دو دما در محیط متخلخل بررسی کرده‌اند که بنا به نتایج این تحقیق، اختلاف دمای بین سیال و محیط متخلخل با افزایش عدد بیو کاهش می‌یابد. در مرجع [۱۰] اثر انتقال حرارت اجباری در کانالی که محیط متخلخل به صورت موضعی در آن قرار گرفته با استفاده از حل تحلیلی تحقیق شده است. بنا به این تحقیق انتقال حرارت داخلی محیط متخلخل بر روی عدد ناسلت تأثیر می گذارد. مرجع [۱۱] تحقیقی بر روی انتقال حرارت در محیط متخلخل حلقوی مستطیلی انجام داده است. نتیجه تحقیق نشان می دهد عدد ناسلت با افزایش ارتفاع حلقه افزایش می‌یابد. مرجع [۱۲] نیز اثر عدم تعادل حرارتی محلی را بر جریان لایه مرزی انتقال حرارت جابجایی اجباری از روی صفحه گرم بررسی کرده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد اثر عدم تعادل حرارتی در نزدیکی لبه اثر قابل ملاحظه‌ای بر توزیع دما می‌گذارد ولی با زیاد شدن فاصله این اثر کم شده و در فواصل خیلی دور اثر تعادل حرارتی محلی غالب می‌شود.

یکی از مکانیزم‌های انتقال حرارت که بر روی رفتار جریان و انتقال حرارت در محیط متخلخل تأثیر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد مکانیزم انتقال حرارت تشعشع است که عدم احتساب آن در بعضی از کاربردها نتایج قابل قبولی را ارائه نمی‌دهد. با این وجود تحقیقات محدودی موجود است که پدیده انتقال حرارت تشعشع را با فرض عدم تعادل حرارتی برای معادله بقای انرژی در محیط متخلخل مورد مطالعه قرار داده‌اند. شریف و همکارانش [۱۳] پدیده انتقال حرارت تشعشع را در محیط متخلخل نیمه شفاف در حالت گذرا برای محیط چارگوش به صورت عددی مطالعه کردند و درادامه، تحقیقاتشان را برای هندسه‌های کروی و استوانه‌ای توسعه و در شرایط تشعشعی مختلف ارائه داده‌اند [۱۴-۱۷]. اخیراً بدرودین [۱۸] مسأله انتقال حرارت تشعشع را به همراه جابجایی آزاد به صورت عددی در محفظهٔ مستطیلی بررسی کرده است. در این تحقیق واگرایی شار تشعشعی در معادله انرژی جامد با تقریب رزلند

1. LTE
2. LTNE

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-14]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.1.7.9]

مدل شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش عدد تشعشع سبب موازی شدن خطوط هم‌دما یا به عبارتی خطی شدن توزیع دما ماتریس جامد می‌شود.

همان‌طور که پیشتر ذکر شده است با وجود نقش قابل ملاحظه انتقال حرارت تشعشع در محیط متخلخل، تحقیقات محدودی در این زمینه وجود دارد. تحقیق بدرودین [۱۸] نشان داده است که انتقال حرارت تشعشع در محیط متخلخلی که دارای مکانیزم انتقال حرارت جابجایی آزاد است تأثیر قابل توجه‌ای دارد. از آنجا که این مدل‌سازی بر پایهٔ تقریب رزلند بوده و این نوع مدل‌سازی را نمی‌توان برای هر ضخامت نورانی به کار برد، در نتیجه در تحقیق حاضر از مدل جهت‌های مجزا[1] که در محدوده وسیعی از خواص تشعشعی کاربرد دارد، برای تعیین رفتار انتقال حرارت و جریان در محفظه متخلخل چهارگوش در شرط عدم تعادلی حرارتی استفاده شده است. بنا به اطلاعات نویسندگان و گزارش ارائه شده در مرجع [۱۸] تاکنون تحقیقی که رفتار انتقال حرارت تشعشع را با استفاده از روش جهت‌های مجزا که در محدوده وسیعی از خواص تشعشعی کاربرد دارد، انجام نشده است.

۲- معادلات حاکم و روش حل

طرح هندسی مسأله شامل محفظه‌ای با طول و عرض یکسان به ابعاد $L \times L$ به صورت شکل ۱ است. یک سمت آن در دمای T_h و طرف دیگر آن در دمای T_c ثابت نگه داشته شده است. بالا و پایین مسأله نیز عایق است و هیچ گونه تبادل حرارتی با محیط اطراف ندارد.

فرضیات بکار رفته در مسأله حاضر عبارتند از:

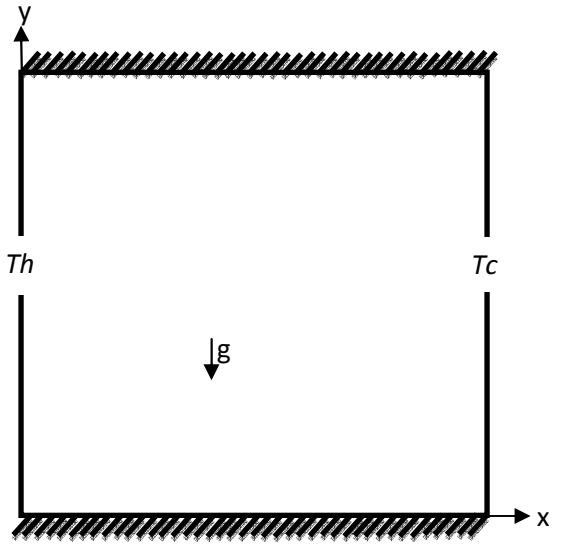
۱- جریان سیال داخل محیط متخلخل از قوانین دارسی پیروی میکند.

۲- سیال و محیط متخلخل در شرایط عدم تعادل حرارتی محلی (LTNE) قرار دارند. این بدان معنی است که دمای سیال و محیط متخلخل میتواند متفاوت باشد.

۳- خواص سیال و محیط متخلخل یکنواخت و یکسان جهت هستند.

۴- محیط متخلخل از لحاظ تابش خاکستری و دیوارها دیفیوز (پخشی) است.

1. Discrete Ordinate Method



شکل ۱ طرح مسأله

۵- تمام خواص ترموفیزیکی سیال ثابت است و برای تقریب جمله شناوری از تقریب بوزینسک[2] استفاده شده است.

۶- جریان آرام، دو بعدی، تراکم ناپذیر و پایدار فرض می‌شود.

۷- سیال نسبت به تابش شفاف است.

با توجه به فرضیات مذکور معادلات حاکم به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$\frac{\partial U}{\partial X}+\frac{\partial V}{\partial Y}=0.0 \qquad (۱)$$

$$U\frac{\partial U}{\partial X}+V\frac{\partial U}{\partial Y}= -\frac{\partial P}{\partial X}+\Pr\left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial Y^2}\right)-\frac{\Pr}{Da}U \qquad (۲)$$

$$U\frac{\partial V}{\partial X}+V\frac{\partial V}{\partial Y}=-\frac{\partial P}{\partial Y} +\Pr\left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial Y^2}\right)-\frac{\Pr}{Da}V+\mathrm{Ra}\Pr\theta_f \qquad (۳)$$

معادله انرژی برای سیال:

$$U\frac{\partial \theta_f}{\partial X}+V\frac{\partial \theta_f}{\partial Y}=\left(\frac{\partial^2 \theta_f}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 \theta_f}{\partial Y^2}\right)+H(\theta_s-\theta_f) \qquad (۴)$$

معادله انرژی برای محیط متخلخل:

$$\frac{\partial^2 \theta_s}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 \theta_s}{\partial Y^2}=H\gamma(\theta_s-\theta_f)+\frac{1}{Pl}\nabla \overset{*}{Q}_{rad} \qquad (۵)$$

2 . Boussinesq Approximation

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-14]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.1.7.9]

$$\xi \frac{\partial I^*}{\partial X} + \eta \frac{\partial I^*}{\partial Y} + \tau I^* = \tau S^*$$

$$S^* = (1-\omega) I_b^* + \frac{\omega}{4\pi} \int_{4\pi} I^*(\tau_r, \hat{s}') \Phi(\tau_r, \hat{s}', \hat{s}) d\Omega' \quad (۶)$$

$$\nabla \overset{*}{Q}_{rad} = (1-\omega)(4\pi I_b^*(\tau_r) - \int_{4\pi} I^*(\tau_r, \hat{s}') \hat{s} d\Omega') \quad (۷)$$

که در آن:

$$X = \frac{x}{l}, Y = \frac{y}{l}, U = \frac{u\,l}{\varphi \alpha_f}, V = \frac{v\,l}{\varphi \alpha_f},$$

$$Da = \frac{K}{l^2}, P = \frac{p\,l^2}{\rho \varphi \alpha_f}, \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c},$$

$$\Pr = \frac{\upsilon}{\alpha_f}, \overset{*}{Q}_r = \frac{q_r}{\sigma_B T_0^4}, I^* = \frac{I}{\sigma_B T_0^4} \quad (۸)$$

در معادلات بالا شرایط مرزی به صورت زیر اعمال می‌شود:

$$X = 0,\ U = 0,\ V = 0,\ \theta_f = \theta_s = \theta_h,$$

$$\Rightarrow I^*(\tau_r, \hat{s}) = \varepsilon I_b^* + \frac{\rho}{\pi} \int_{s'.n<0} I^*(\tau_r, \hat{s}') |\hat{s}' \cdot \hat{n}| d\Omega'$$

$$X = 1,\ U = 0,\ V = 0,\ \theta_f = \theta_s = \theta_c,$$

$$\Rightarrow I^*(\tau_r, \hat{s}) = \varepsilon I_b^* + \frac{\rho}{\pi} \int_{s'.n<0} I^*(\tau_r, \hat{s}') |\hat{s}' \cdot \hat{n}| d\Omega'$$

$$Y = 0,1,\ U = 0,\ V = 0,\ \frac{\partial \theta_f}{\partial Y} = \frac{\partial \theta_s}{\partial Y} = 0,$$

$$\Rightarrow I^*(\tau_w, \hat{s}) = I^*(\tau_w, \hat{s}'),\ \hat{s} \cdot \hat{n}_w = -\hat{s}' \cdot \hat{n}_w,\ \hat{s} \cdot \hat{n} > 0 \quad (۹)$$

همچنین پارامترهای بدون بعد مسأله به صورت روابط (۱۰) تا (۱۵) خلاصه می‌شوند:

$$\mathrm{Ra} = \frac{g\,\beta \Delta T\, K\, L}{\varphi \upsilon \alpha_f} \quad (۱۰)$$

$$pl = \frac{k_s \Delta T}{\sigma_B L T_0^4} \quad (۱۱)$$

$$H = \frac{hL^2}{\varphi k_f} \quad (۱۲)$$

$$\gamma = \frac{\varphi k_f}{(1-\varphi) k_s} \quad (۱۳)$$

$$\omega = \frac{\sigma_s}{k + \sigma_s} \quad (۱۴)$$

$$\tau = (k + \sigma_s).L \quad (۱۵)$$

برای حل معادلات مومنتم و انرژی از روش حجم محدود و جهت منفصل‌سازی معادلات از روش بادبالا[1] مرتبه دو استفاده شده و برای بر طرف کردن کوپلینگ فشار و سرعت در معادلات مومنتم الگوریتم سیمپل بکار رفته است. برای حل عددی معادله انتقال تشعشع از روش جهت‌های مجزا استفاده شده و روش حاضر با روش تقریب رزلند مقایسه شده است.

در روش جهت‌های مجزا برای حل معادله تبادل حرارت تشعشع آن را به n معادله که هر کدام برای جهت $\hat{s}_i$ نوشته شده تبدیل شده است، با توجه به شکل ۲ معادله تبادل حرارت تشعشعی تبدیل به دستگاه معادلات n معادله و n مجهول می‌شود. جهات $\hat{s}_i$ انتخاب شده در این روش انتگرال است به مجموع تبدیل می‌شوند.

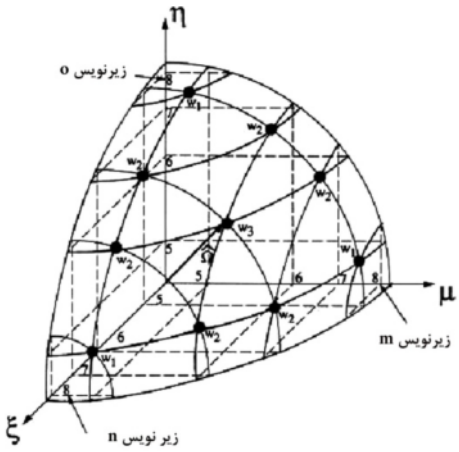
در نهایت برای تبدیل هر یک از معادلات دستگاه n معادله و n مجهول تشکیل شده به یک معادله جبری به کمک روش حجم-محدود از هر یک از معادلات روی المان سطح انتگرال گرفته می شود و از تقریب خطی برای مربوط کردن مقدار شدت تشعشع روی سطوح حجم کنترل با مقدار داخل حجم کنترل استفاده شده است.

در روش تقریب رزلند جمله انتقال حرارت تشعشع در معادله (۵) به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۹]:

$$q_{rad} = -\frac{4\sigma_B}{3\beta} \frac{\partial T^4}{\partial x} \quad (۱۶)$$

که در جمله غیرخطی آن به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$T^4 \approx 4TT_0^3 - 3T_0^4 \quad (۱۷)$$



شکل ۲ شماتیک جهات و حجم کنترل مکانی در روش جهات مجزا

1. Upwind

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-14]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.1.7.9]

۳- نتایج و بحث

در تحقیق حاضر سیال محبوس در محفظه، هوا با عدد پرانتل[1] $Pr = 0.707$ است و تحلیل عددی برای دامنه وسیعی از نسبت پراکنش (0.1-0.9)، ضریب انتقال حرارت بدون بعد ($H = 1-100$) و عدد پلانک ($Pl = 0.1-2$) انجام شده است. همان‌طور که ذکر شد تنها تحقیق انجام شده در رابطه با مسأله حاضر توسط بدرودین [۱۸] انجام شده که جمله شار انتقال تشعشعی در معادله انرژی را به کمک تقریب رزلند مدل کرده است. از آنجا که تقریب رزلند در محدوده کمی از شرایط تشعشعی (ضخیم نورانی) کاربرد دارد، به همین منظور در این تحقیق از مدل جهت‌های مجزا که از دقت قابل قبولی در محدوده وسیعی از شرایط تشعشعی برخوردارند، استفاده شده است.

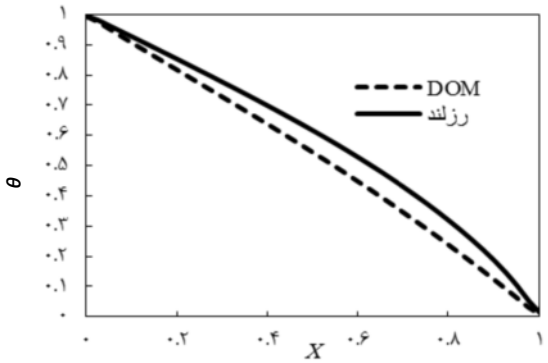
۳-۱- اثر عدد پلانک

شکل ۳ نشان دهنده تأثیر عدد پلانک بر توزیع دمای سطح بالایی محفظه فاز جامد در راستای محور x است. برای انجام این مقایسه عدد $\mathrm{Ra} = 100$، $H = 10$، $T_0 = 350\ \mathrm{K}$، $\gamma = 0.86$، $\omega = 0.5$ و $Da = 0.00076$، $\tau = 1.7$ انتخاب شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش عدد پلانک انحراف توزیع دما محاسبه شده توسط روش تقریب رزلند از روش جهت‌های مجزا به مراتب بیشتر می‌شود. در حقیقت علت این امر را باید در تأثیر مدل‌سازی تشعشع بر روی رفتار جریان و توزیع دما بررسی کرد. با توجه به اینکه اعتبار تقریب روزلند در شرایط $\tau \gg 1$ صادق است بنابراین در مسأله حاضر شار تشعشعی محاسبه شده توسط این روش از دقت بالایی برخوردار نیست و از آنجا که افزایش عدد Pl نشان دهنده افزایش سهم تشعشع است درنتیجه در اعداد Pl بالاتر به دلیل افزایش سهم تشعشع توزیع دما، بیشتر تحت تأثیر تشعشع قرار می‌گیرید و توزیع دما بدست آمده به کمک روش تقریب روزلند انحراف بیشتری نسبت به جهت‌های مجزا پیدا می‌کند.

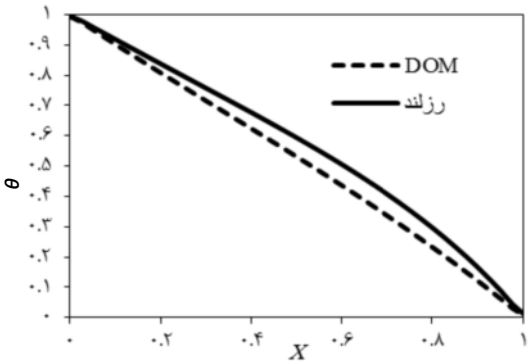
شکل ۴ نشان دهنده اثر عدد پلانک بر توزیع دمای بدون بعد سطح پایینی محفظه است که جمله تشعشعی معادله (۵) آن به کمک روش جهت‌های مجزا بدست آمده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش عدد پلانک دمای محیط متخلخل در قسمت‌های میانی محفظه افزایش می‌یابد.

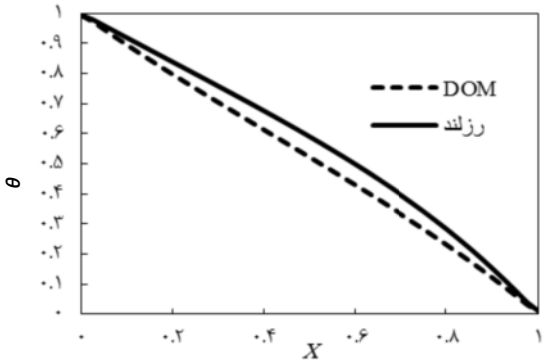
1. Prandtl



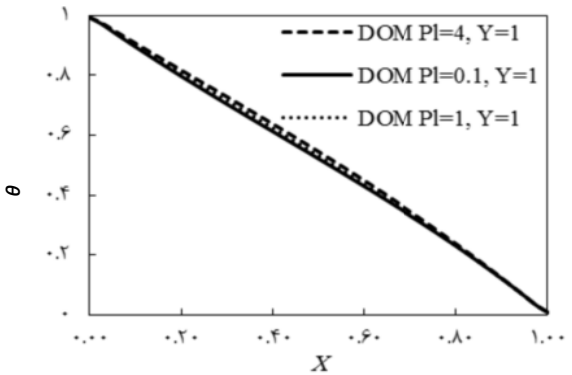
شکل ۳-الف توزیع دمای سطح بالایی فاز جامد در $Pl = 4.0$



شکل ۳-ب توزیع دمای سطح بالایی فاز جامد در $Pl = 1.0$



شکل ۳-ج توزیع دمای سطح بالایی فاز جامد در $Pl = 0.1$



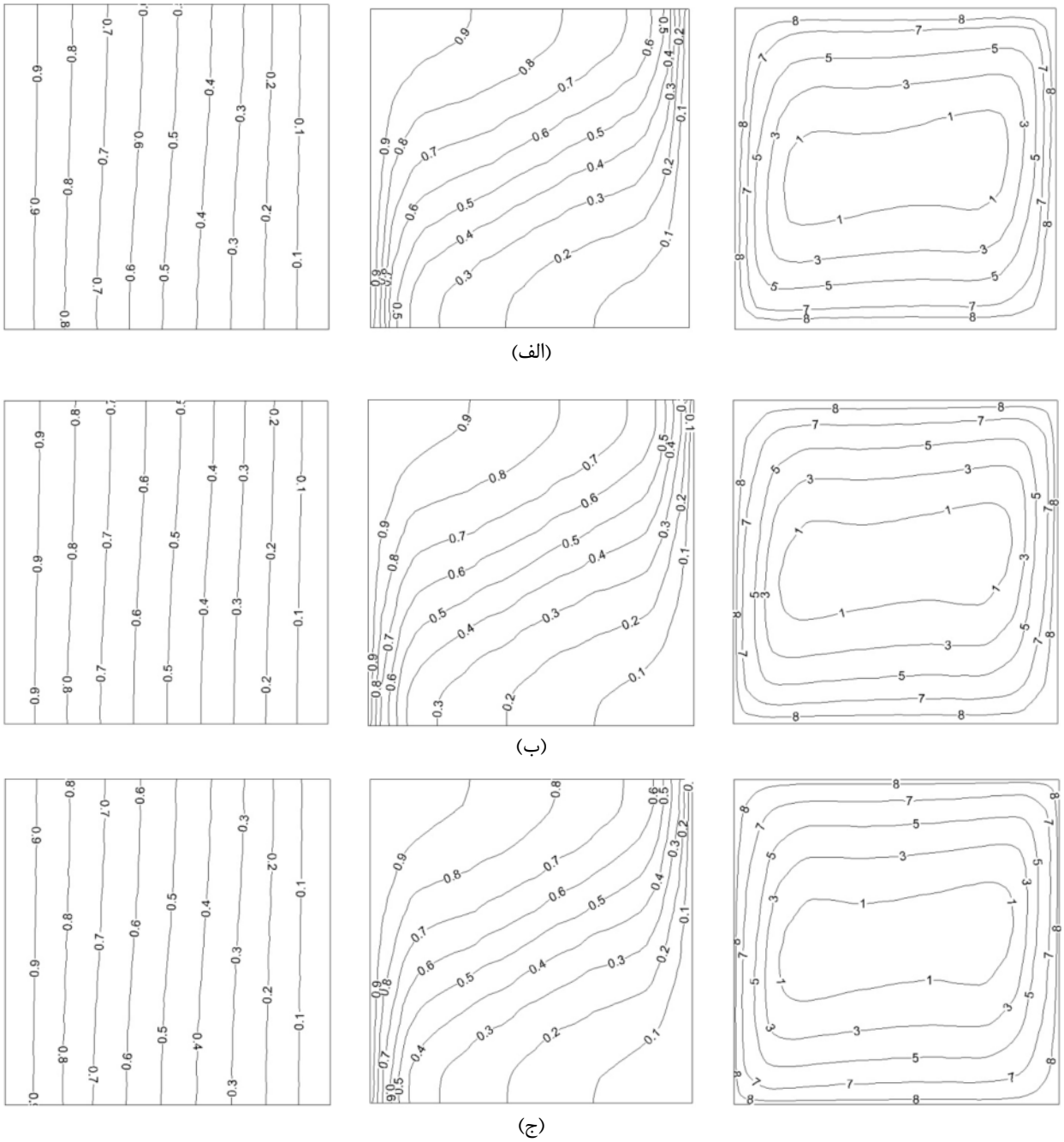
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-14]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.1.7.9]

شکل ۴ تأثیر عدد پلانک بر توزیع دما

در حقیقت افزایش عدد پلانک به معنی افزایش سهم انتقال حرارت هدایت نسبت به سهم صدور است. با افزایش سهم انتقال حرارت هدایت، دما نفوذ بیشتری در جامد دارد در نتیجه دما در محیط متخلخل افزایش می‌یابد.

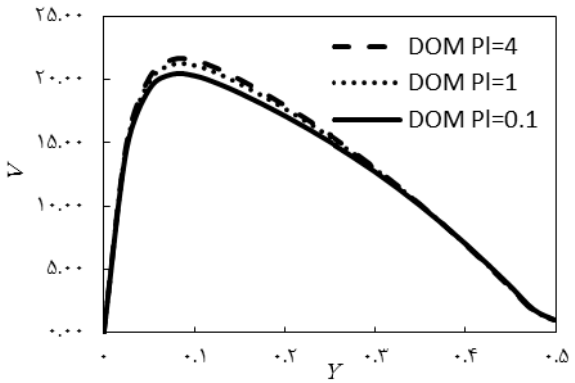
شکل ۵ اثر عدد پلانک را بر خطوط هم‌دما جامد، سیال و جریان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش عدد پلانک خطوط جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

برای بهتر مشخص شدن اثر عدد پلانک بر رفتار جریان، در شکل ۶ اندازه سرعت در فاصله $X = 0.5$ در راستای Y نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش عدد پلانک سبب افزایش سرعت می‌شود. علت اصلی این پدیده را می‌توان در توزیع دما جامد جستجو کرد.

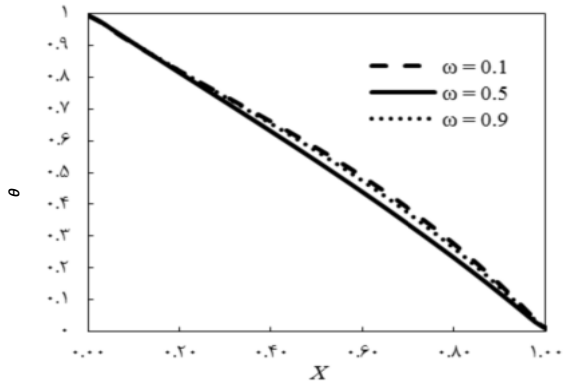


شکل ۵ خطوط هم‌دما جامد، سیال و جریان برای 4 و $Pl = 0.1, 1$ به ترتیب برای شکل‌های الف، ب و ج

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-14]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.1.7.9]



شکل ۶ تأثیر عدد پلانک بر سرعت سیال در راستای Y در $X = 0.5$



شکل ۷ اثر نسبت پراکنش بر توزیع دمای سطح بالایی محفظه

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، افزایش عدد پلانک سبب افزایش دمای محیط متخلخل می‌شود. با توجه به ثابت ماندن دیگر پارامترهای بدون بعد از قبیل T_0 که نشان دهنده دمای مرجع سیال است، این افزایش دما می‌تواند سبب افزایش جابجایی آزاد و در نتیجه افزایش سرعت شود.

۳-۲- اثر نسبت پراکنش

یکی از پارامترهای مهمی که بر رفتار انتقال حرارت تشعشع تأثیر می‌گذارد نسبت پراکنش[1] است. از آنجا که در مدل رزلند جمله تشعشع با ضریب انتقال حرارت هدایت معادل مدل سازی شده است (معادله (۱۶)) در نتیجه اثر این پارامتر از این روش قابل حصول نیست و باید جمله انتقال حرارت تشعشع معادله (۵) از روش جهت‌های مجزا حل شود.

شکل ۷ اثر نسبت پراکنش بر توزیع دمای بدون بعد در سطح بالایی محفظه را نشان می‌دهد. این توزیع دما به ازای $\mathrm{Ra} = 100$، $H = 10$، $T_0 = 500\ \mathrm{K}$، $\gamma = 0.86$، $Pl = 1$ و $Da = 0.00076$، $\tau = 1.1$ بدست آمده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت پراکنش توزیع دما هموارتر می‌شود. علت اصلی این پدیده افزایش ضریب پراکنش به ضریب جذب است. در حقیقت با افزایش ضریب پراکنش دسته تشعشع ساطع شده از مسیر حرکت خود بار ها منحرف شده و این امر باعث جذب آن در محیط می‌شود. پس از جذب انرژی مکانیزم اصلی تبادل حرارت هدایت می‌باشد که باعث هموار شدن توزیع دما می‌شود.

1. Scattering Albedo

۳-۳- اثر ضریب انتقال حرارت بدون بعد

در شکل ۸ اثر ضریب انتقال حرارت بدون بعد (H) بر خطوط هم‌دما بخش جامد، سیال و جریان در $\mathrm{Ra} = 100$، $Pl = 1$، $T_0 = 350\ \mathrm{K}$، $\gamma = 0.86$، $\omega = 0.5$ و $Da = 0.00076$، $\tau = 1.7$ نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در Hهای پایین توزیع دمای بخش جامد تقریبا یکنواخت و خطی است که کاملاً اثر عدم تعادل حرارتی محلی را نشان می‌دهد. با افزایش آن توزیع دمای جامد به علت افزایش ضریب انتقال حرارت داخلی بین جامد و سیال، دمای آن به دمای سیال نزدیکتر شده و خود را با حرکت جریان منطبق می‌کند.

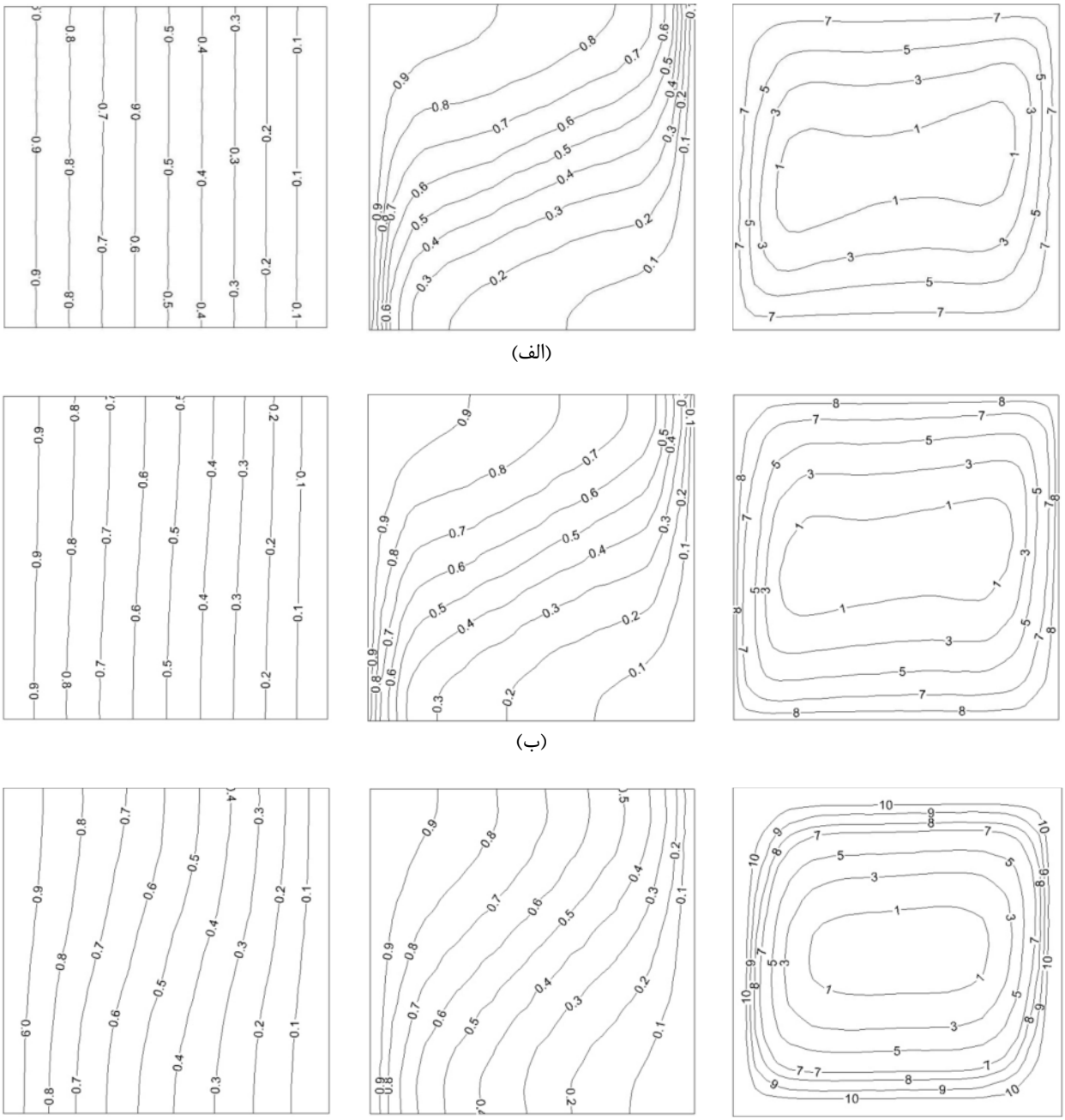
همچنین با توجه به شکل ۸ افزایش ضریب انتقال حرارت سبب کم شدن فواصل خطوط جریان از هم و درنتیجه افزایش سرعت جریان می‌شود. دلیل این امر را باید در تأثیر ضریب انتقال حرارت بی‌بعد بر توزیع دمای سیال در نواحی نزدیک به دیواره گرم جستجو کرد. به همین دلیل برای درک بهتر از پدیده توزیع دمای سیال در فاصله $X = 0.125$ در امتداد دیواره گرم در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش ضریب انتقال حرارت بدون بعد، نفوذ حرارت فاز جامد بیشتر می‌شود و این نفوذ حرارت باعث گرم شدن سیال در نزدیک دیواره می‌شود. از آنجایی که گرم شدن سیال سبب افزایش نیروی شناوری می‌شود، در نتیجه سرعت سیال افزایش می‌یابد.

۴- جمع‌بندی

در این تحقیق مسأله انتقال حرارت مرکب جابجایی آزاد و

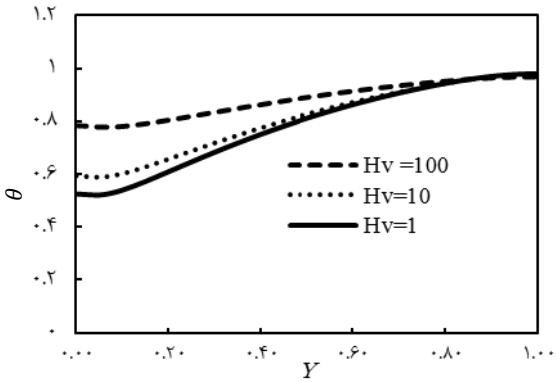
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-14]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.1.7.9]

تشعشع در محفظه متخلخل چهارگوش در شـرط عـدم تعـادل حرارتی بررسی شده است. ابتدا تأثیر روش حل معادلـه انتقـال تشعشع بر رفتار جریان و انتقال حرارت مطالعه شده است. نتایج حاکی از آن است که روش تقریب رزلند که در مراجع پیشین برای مدل‌سازی تشعشع برای این نوع مسائل استفاده شده است نمی‌تواند پدیده انتقال حرارت را به درستی در ضخامت‌های نورانی کوچکتر از مرتبه ۱ پیش‌بینی کند. در ادامه همچنین تأثیر پارامترهایی از قبیل عدد پلانک، نسبت پراکنش، ضریب انتقال حرارت بی‌بعد بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش عدد پلانک سبب افزایش دما محیط متخلخل و سرعت سیال می‌شود.



شکل ۸ خطوط هم‌دما جامد، سیال و جریان برای 100 و $H = 1, 10$ به ترتیب برای شکل‌های الف، ب و ج

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-14]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.1.7.9]



شکل ۹ اثر ضریب انتقال حرارت بدون بعد بر توزیع دمای سیال در $X = 0.125$

با افزایش نسبت پراکنش توزیع دما به علت جذب و بهبود انتقال حرارت هدایت هموارتر می‌شود و افزایش ضریب انتقال حرارت بدون بعد (H) به علت نفوذ بیشتر حرارت در ماتریس جامد سبب افزایش سرعت جریان در محفظه می‌شود.

۵- فهرست علایم

Da	ظرفیت حرارت ویژه
H	ضریب انتقال حرارت جابجایی بی‌بعد
I	شدت تشعشع ($Wm^{-2}sr^{-1}$)
K	ضریب نفوذ پذیری (m)
k	ضریب انتقال حرارت هدایت ($Wm^{-1}K^{-1}$)
k_a	ضریب جذب محیط فعال تشعشعی (m^{-1})
l	طول (m)
p	فشار سیال (Pa)
Pr	عدد پرانتل
q_r	شار تشعشعی (Wm^{-2})
Ra	عدد رایلی
T	دما (K)
T_0	دمای متوسط (K)
u	سرعت در راستای محور x (ms^{-1})
v	سرعت در راستای محور y (ms^{-1})
x	محور طولی
y	محور عرضی

علایم یونانی:

α	ضریب نفوذ حرارتی (m^2s^{-1})
ε	ضریب صدور
φ	نسبت تخلخل
Φ	تابع فاز پراکنش
μ	کسینوس زاویه شار تشعشعی
ρ	جرم حجمی (kgm^{-3})
υ	ویسکوزیته سینماتیکی
σ_B	ثابت استفان بولتزمن ($Wm^{-2}K^{-4}$)
ω	نسبت پراکنش (آلبدو)
τ	ضخامت خاموشی
σ_s	ضریب پراکنش محیط فعال تشعشعی (m^{-1})
β	ضریب خاموشی (m^{-1})
Ω	زاویه فضایی (sr)
θ	دمای بی‌بعد

زیرنویس‌ها:

c	سرد
f	سیال
h	گرم
s	ماتریس جامد

۶- مراجع

[1] Nield D. A., Bejan A., *Convection in Porous Media*, New York, Springer, 1999
[2] Vafai K., *Hand Book of Porous Media* New York, Marcel Dekker, 2000.
[3] Vafai K., *Handbook of Porous Media*, Boca Raton, Taylor & Francis Group, 2005.
[4] Pop I., Ingham D. B., *Convective Heat Transfer: Mathematical and Computational Modeling of Viscous Fluids and Porous Media*, Oxford, Pergamon, 2001.
[5] Mohamad A., "Nonequilibrium Natural Convection in a Differentially Heated Cavity Filled With a Saturated Porous Media", *ASME J Heat Transfer*., Vol. 122, No. 2, 2000, pp. 380-384.
[6] Rees D. A. S., Bassom AP, Pop I., "Forced Convection Past a Heated Cylinder in a Porous Medium Using a Thermal Non-Equilibrium Model: Boundary Layer Analysis", *Eur J Mech B/Fluids*., Vol. 22, No. 5, 2003, pp. 473-486.
[7] Jiang P. X. , Ren Z. P., "Numerical Investigation of Forced Convection Heat Transfer in Porous Media Using a Thermal Non-Equilibrium Model", *Int J Heat Fluid Flow*, Vol. 22, No.1, 2001, pp. 102–110.
[8] Saeid N. H., "Analysis of Mixed Convection in a Vertical Porous Layer Using Non-Equilibrium

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-14]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.1.7.9]

[9] Marafie A., Vafai K., "Analysis of Non-Darcian Effects on Temperature Differentials in Porous Media", *Int J Heat Mass Transfer*, Vol. 44, No. 23, 2001, pp. 4401-4411.

[10] Mahmoudi Y., Maerefat M., "Analytical Investigation of Heat Transfer Enhancement in a Channel Partially Filled With a Porous Material Under Local Thermal Non-Equilibrium Condition", *Int J of Thermal Sci*. Vol. 50, No. 12, 2011, pp. 2386-2401.

[11] Badruddin I. A., Al-Rashed A.A.A.A., Ahmed N. J. S., Kamangar S., "Investigation of Heat Transfer in Square Porous-Annulus", *Int J of H & M Transfer*. Vol. 55, No. 7-8, 2012, pp. 2184–2192.

[12] Celli M., Rees D. A. S., Barletta A., "The Effect of Local Thermal Non-Equilibrium on Forced Convection Boundary Layer Flow From a Heated Surface in Porous Media", *Int J of H & M Transfer*., Vol. 53, No. 17-18, 2010, pp. 3533-3539

[13] Kheder C. B., Cherif B., Sifaoui M. S., "Numerical Study of Transient Heat Transfer in Semitransparent Porous Medium", *Renewable Energy,* Vol. 27, No. 4, 2002, pp. 543-560.

[14] Sghaier T., Cherif B., Sifaoui M. S., "Theoretical Study of Combined Radiative, Conductive and Convective Heat Transfer in a Semi-transparent Porous Medium in a Spherical Enclosure", *J QSRT* Vol. 45, No. 3, 2002, pp. 751-765.

[15] Cherif B., Sifaoui M. S., "Modeling Heat Transfer by Conduction Radiation and Convection in a Semi-transparent Porous Medium in a Cylindrical Enclosure", SFT2001 Comm no 48 Nantes France, May 2001.

[16] Cherif B., Sifaoui M. S., "Theoretical Study of Heat Transfer by Radiation Conduction and Convection in a Semi-transparent Porous Medium in a Cylindrical Enclosure", *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. Vol. 83, No. 3-4, 2004, pp. 519-527.

[17] CherifB., Sifaoui M. S., "Numerical Study of Heat Transfer in an Optically Thick Semi-transparent Spherical Porous Medium", *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer.* Vol. 91, No. 3, 2005, pp. 363-372.

[18] Badruddin I. A., Zainal Z. A., Narayana P. A. A., Seetharamu K. N., "Numerical Analysis of Convection Conduction and Radiation Using a Non-Equilibrium Model in a Square Porous Cavity", *Int J of Thermal Sci*. Vol. 46, No. 1, 2007, pp. 20-29.

[19] Modest M. F., *Radiative Heat Transfer*, New York, McGraw-Hill, 1993.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-14]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.1.7.9]