



بررسی انحراف محیط و صدور سطح تابشی بر انتقال حرارت جابجایی ترکیبی یک محفظه با سطح عایق متحرک

نعیم مهرجوی بزی نسب، سمیرا پایان*

دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۳ فروردین ۱۳۹۶
بازنگری: ۲۸ تیر ۱۳۹۶
پذیرش: ۱۵ شهریور ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۱۶ شهریور ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

انتقال حرارت جابجایی ترکیبی
تابش محیط تأثیرگذار
روش طول‌های مجزا
محفظه مربعی

چکیده: در بسیاری از مواقع اثر تابش داخل محفظه‌های شامل جابجایی، در نظر گرفته نمی‌شود اما به دلیل کاربرد تابش در بسیاری از صنایع مانند طراحی راکتورهای هسته‌ای، کوره‌ها، خنک‌کننده‌های الکتریکی و کلکتورهای خورشیدی این موضوع نیاز به بررسی دارد. در این مقاله، انتقال حرارت جابجایی ترکیبی-تابش با یک سطح متحرک از محفظه مربعی با جریان آرام و محیط خاکستری جذب‌کننده، صادرکننده و منحرف شونده با انحراف ایزوتروپیک به روش حجم محدود حل شده است. اثر انحراف و اثر ضریب صدور دیوار سرد بر روی انتقال حرارت، خطوط جریان و خطوط دما مورد بررسی قرار گرفته است. تمام دیواره‌ها به‌جز دیواره سمت راست، سیاه در نظر گرفته شده است. مسئله تابش به روش طول‌های مجزا حل شده و ضریب جذب برابر $0/1$ ثابت فرض شده است. در مسئله جابجایی به دلیل همبستگی میدان سرعت و فشار از روش سیمپلر و برای جداسازی متغیرها از روش توان پیرو استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که اگرچه انحراف بر روی خطوط جریان و دمای محیط تأثیر چشمگیری ندارد، اما باعث کاهش شار حرارتی دیواره در نتیجه کاهش شار تابشی شده است. تفاوت عمده در تأثیر انعکاس سطوح و انحراف محیط، بر روی توزیع دما در مرکز محفظه و بدور از سطوح است که با وجود تغییر انعکاس بسیار مشهود است. همچنین تأثیر بیشتر انحراف محیط بر روی عدد ناسلت تابش و جابجایی محلی سطح عایق پایین نشان داده شده است، که حاکی از سرمایه‌ش سطح عایق با افزایش انحراف محیط در یک ضریب جذب ثابت آن است.

۱- مقدمه

جابجایی ترکیبی با حرکت سیال به‌وسیله سطح متحرک به همراه تابش در صنعت کاربردهای فراوانی از جمله ترموهیدرولیک راکتورهای هسته‌ای، طراحی مبدل‌های حرارتی، سرمایه‌ش تجهیزات الکتریکی، کوره‌ها، تکنولوژی روغنکاری، کلکتورهای خورشیدی، پیل سوختی و... دارد [۷-۵ و ۱۰]. به همین دلیل در سال‌های اخیر انتقال حرارت جابجایی و تابش درون محفظه‌ها نظر پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده است.

فایولند [۱] انتقال حرارت تابشی را برای محفظه‌های مستطیلی به روش طول‌های مجزا^۱ مورد بررسی قرارداد و به این نتیجه رسید که به‌طور کلی پیش‌بینی نرخ انتقال حرارت تابشی با استفاده از روش طول‌های مجزا نسبت به تقریب P3 و روش ناحیه^۲ به جواب دقیق نزدیک‌تر است. فایولند [۲] همچنین انتقال حرارت تابشی را با استفاده از روش طول‌های مجزا در حالت سه‌بعدی بررسی کرد. یوسل و همکاران [۳] انتقال حرارت جابجایی طبیعی همراه با تابش را درون محفظه مربعی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تابش مکانیزم غالب انتقال حرارت درون محفظه بوده و توزیع دما را به‌طور قابل‌توجهی تغییر می‌دهد و باعث افزایش دمای داخلی محفظه می‌شود. کمال و همکاران [۴] تابش محیط تأثیرگذار را درون محفظه‌های دوبعدی

بررسی کردند. سان و همکاران [۵] انتقال حرارت جابجایی ترکیبی با سطح متحرک، با اعمال یک پره مثلی در سطوح مختلف و بدون پره آن را در داخل محفظه‌های مربعی مورد بررسی قراردادند. ماهاپاترا و همکاران [۶] به بررسی اثر متقابل جابجایی ترکیبی درون محفظه‌های مربعی با دو سطح متحرک گرم و سرد همراه با تابش پرداختند و نتیجه گرفتند که اثرات تابش با افزایش ضریب صدور، کاهش ضریب انحراف و در ضخامت‌های اپتیکی پایین چشمگیر است. سیواکمار و همکاران [۷] اثرات اندازه و موقعیت گرم‌کن را روی جابجایی ترکیبی درون محفظه‌های با سطح متحرک مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که در ریچاردسون‌های پایین ($0/1$ و 1) در موقعیت‌های مختلف گرم‌کن، میدان جریان تغییر محسوسی نمی‌کند ولی در ریچاردسون‌های بالا (بزرگتر از 100 که جابجایی آزاد حاکم است) میدان جریان به‌شدت وابسته به مکان گرم‌کن است. مرزهاب و همکاران [۸] انتقال حرارت جابجایی طبیعی با تابش در محیط تأثیرگذار در یک حفره مربعی پر از گاز خاکستری را مورد بررسی قرار دادند. ولی در این تحقیق اثر انحراف را نادیده گرفتند. آنها برای حل مسئله تابش از روش طول‌های مجزا استفاده کردند. بلمیلود و چملول [۹] جابجایی ترکیبی و تابش محیط شفاف درون محفظه مربعی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش ضریب صدور، انتقال حرارت جابجایی کاهش می‌یابد. روی و همکاران [۱۰] انتقال حرارت جابجایی ترکیبی درون محفظه‌های مربعی و نقش دیواره‌های متحرک روی نرخ انتقال انرژی و توزیع جریان حرارتی را مورد بررسی قرار دادند.

1 Discrete Ordinates Method (DOM)

2 Zone Method

نویسنده عهده‌دار مکاتبات: s_payan_usb@eng.usb.ac.ir

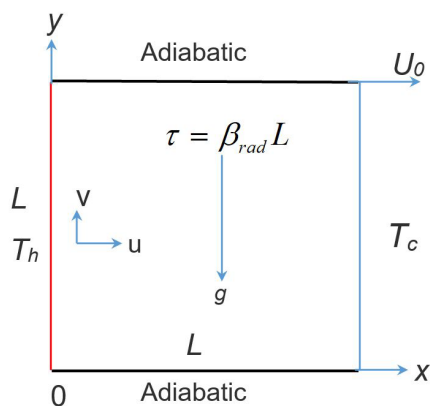


Fig. 1. The square cavity with combined radiation and mixed convection heat transfer

شکل ۱: محفظه مربعی همراه با جابجایی ترکیبی و تابش

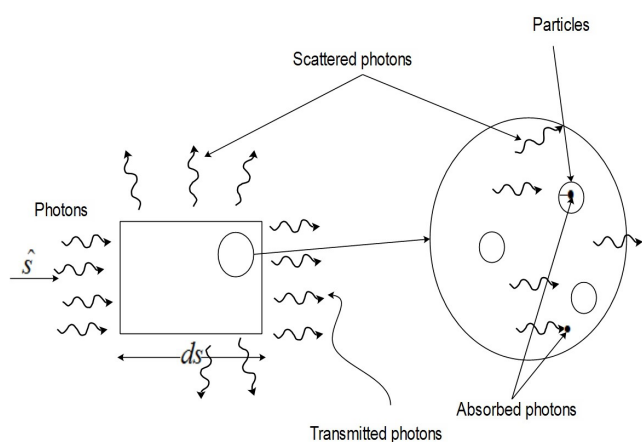


Fig. 2. The decrease of energy content using absorption and out scattering

شکل ۲: کاهش محتوای انرژی به وسیله جذب و انحراف خارج شونده

فرض سیال نیوتنی، تراکم ناپذیر، حالت دوبعدی و دائم با استفاده از تقریب بوزینسک در جریان آرام به صورت بدون بعد ارائه شده است. معادلات (۱-۴) به ترتیب معادله بقای جرم، معادله ممتوم در جهت X ، معادله ممتوم در جهت Y و معادله انرژی هستند.

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (2)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + Ri \times \theta \quad (3)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re} \times \text{Pr}} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) - \frac{1}{\text{Re} \times \text{Pr} \times Pl} \nabla^* \cdot \mathbf{Q}_{rad}^* \quad (4)$$

یانگ و همکاران [۱۱] به مطالعه آزمایشگاهی و ارزیابی مدل‌های عددی انتقال حرارت جابجایی ترکیبی جریان آشفته در یک محفظه باز عمودی پرداختند.

همانطور که دیده می‌شود کارهای اندکی در زمینه جابجایی ترکیبی-تابش با و بدون انحراف انجام شده است. در هیچ یک از پژوهش‌های قبلی اثر انحراف در مسائل جابجایی ترکیبی با یک سطح متحرک عایق توأم با تابش محیط تأثیرگذار در ضخامت‌های اپتیکی پایین بررسی نشده است. از طرفی در این پژوهش اثر ضریب صدور دیواره سرد بر روی انتقال حرارت محفظه مورد بررسی قرار گرفته است که این امر در مورد پژوهش‌های قبلی انجام نشده است. تأثیر انحراف بر روی عدد ناسلت محلی هر یک از دیوارهای محفظه نیز از موارد مورد بحث در این مقاله است. اگرچه در کار ماهاپاترا و همکاران [۶] اثر انحراف تابش در محفظه شامل سطوح متحرک بررسی شده است اما سطوح متحرک در کار او و همکارانش سطوح سرد و گرم بوده است نه سطوح عایق. همانطور که در کار روی و همکاران [۱۰] نیز بیان شده است حرکت هر یک از سطوح فعال و غیر فعال بر روی انتقال حرارت تأثیر متفاوتی خواهد گذاشت. در کار بلمیلود و چملول [۹] نیز تابش از نوع سطحی بوده و تأثیر حجمی تابش (محیط تأثیر گذار) و در نتیجه جذب و انحراف محیط مورد بررسی قرار نگرفته است.

۲- شرح مسئله و معادلات حاکم

در پژوهش حاضر یک محفظه مربعی، مطابق شکل ۱ در نظر گرفته شده است که سطح بالا و پایین عایق، سطح سمت چپ و راست به ترتیب سطح گرم در دمای T_h و سطح سرد در دمای T_c در نظر گرفته شده است. سطح بالا به سمت راست حرکت کرده به همین دلیل محفظه شامل انتقال حرارت جابجایی ترکیبی است. در این مقاله محیط تابشی در نظر گرفته شده و تابش از نوع جهتی است (محیط تأثیرگذار است و ضریب جذب آن ثابت و برابر ۰/۱ در نظر گرفته شده است). اثر ضریب انحراف تابشی محیط و ضریب صدور سطح سرد بر روی انتقال حرارت از محفظه بررسی شده است. سطوح آدیاباتیک و سطح گرم به عنوان سطوح سیاه در نظر گرفته شده‌اند.

۲-۱- جذب تأثیر جذب و انحراف تابش

جذب و انحراف در یک محیط نیمه شفاف شامل انرژی تابشی باعث کاهش محتوای انرژی شده و تفاوت این دو در این است که انرژی جذب شده تبدیل به انرژی درونی می‌شود درحالی‌که انرژی منحرف شده به سادگی تغییر جهت داده و باعث افزایش انرژی یک پرتو دیگر می‌شود و به عنوان انحراف وارد شونده شناخته می‌شود. در شکل ۲ انحراف خارج شونده و جذب به صورت شماتیک نشان داده شده است.

۲-۲- معادلات حاکم و شرایط مرزی

معادلات حاکم بر جابجایی ترکیبی توأم با تابش محیط تأثیرگذار، با

معادله انرژی و معادله ممتوم با تقریب بوزینسک به همدیگر وصل خواهند شد.

$$\rho = \rho_0(1 - \beta(T - T_0)) \quad (5)$$

پارامترهای بدون بعد به صورت روابط (۶) تعریف می‌شوند.

$$\theta_0 = \frac{T_0}{T_h - T_c}, \theta = \frac{T - T_0}{T_h - T_c}, P = \frac{p}{\rho U_0^2}, V = \frac{v}{U_0}, \quad (6)$$

$$U = \frac{u}{U_0}, Y = \frac{y}{L}, X = \frac{x}{L}, Q_{rad}^* = \frac{Q_{rad}}{4\sigma T_0^4}, I^* = \frac{I}{4\sigma T_0^4}$$

که دمای مرجع به صورت $T_0 = (T_h + T_c)/2$ تعریف شده است. اعداد ریلی، رینولدز، پلانک، ریچاردسون و اعداد ناسلت به صورت معادله (۷) تعریف شده است.

$$Ra = \frac{g \beta (T_h - T_c) L^3}{\nu \alpha}, Re = \frac{U_0 L}{\nu}, Pl = \frac{k/L}{4\sigma T_0^3}, \quad (7)$$

$$Ri = \frac{Ra}{Pr \times Re^2}, Nu_{tot} = \frac{hL}{k}, Nu_{con} = n \cdot \nabla \theta,$$

$$Nu_{rad} = \frac{\theta_0}{Pl} \times Q_{rad}^*$$

اعداد پلانک، ریلی و پراتل هوا به ترتیب 0.71 و 10^4 ، 0.1845 ثابت در نظر گرفته شده‌اند. عدد ریچاردسون در سه حالت مختلف $Ri = 0.1$ (اثر جابجایی اجباری نسبت به جابجایی طبیعی بیشتر است)، $Ri = 10$ (اثر هر دو نوع جابجایی یکسان است) و $Ri = 100$ (اثر جابجایی طبیعی نسبت به جابجایی اجباری بیشتر است) بررسی شده است.

معادلات تابش به روش طول‌های مجزا حل شده‌اند، برای وزن دهی به حجم کنترل‌های همسایه از روش پله‌ای^۱ استفاده شده است، دلیل استفاده از این روش این است که جواب‌های غیر فیزیکی تولید نمی‌کند. معادله دیفرانسیل جزئی تابش محیط تأثیرگذار [۱۲] به صورت معادله (۸) بیان شده است. با توجه به بررسی حالت دائم تابش، ترم اول این معادله در نظر گرفته نخواهد شد.

$$\frac{1}{c} \frac{\partial I}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial s} = \kappa I_b - \kappa I - \sigma_s I + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_{4\pi} I(\delta_i) \Phi(\delta_i, \delta) d\Omega_i \quad (8)$$

معادله دو بعدی تابش در محیط تأثیرگذار خاکستری در حالت دائم و به روش طول‌های مجزا به صورت معادله (۹) بیان شده است در این معادله μ و μ' به ترتیب کسینوس‌های جهتی نسبت به محورهای x و y تعریف شده است. معادله (۱۰) بیان‌کننده تابع فاز انحراف در حالت دوبعدی است در این معادله $-1 \leq a \leq 1$ خواهد بود و مقادیر -1 ، 0 و 1 به ترتیب نشان‌دهنده انحراف پسرو، ایزوتروپیک و پیشرو است.

$$\mu^m \frac{\partial I^m}{\partial x} + \xi^m \frac{\partial I^m}{\partial y} = \beta_{rad} I^m + \kappa I_b + \frac{\sigma_s}{4\pi} \sum_{m'} w^{m'} \Phi^{mm'} I^{m'} \quad (9)$$

$$\Phi^{mm'} = 1 + a(\mu^m \mu^{m'} + \xi^m \xi^{m'}) \quad (10)$$

شدت تابش به روش طول‌های مجزا از معادله (۱۱) به دست آمده است.

$$I_p^m = \frac{\mu^m A_x I_W^m + \xi^m A_y I_S^m + (S_{bp} + S_p^m) V_p}{\mu^m A_x + \xi^m A_y + \gamma \beta_{rad} V_p} \quad (11)$$

در معادله (۱۱) ضریب استهلاک بوده و به صورت مجموع ضریب جذب و ضریب انحراف تعریف می‌شود و γ ضریب وزنی است.

$$\beta_{rad} = \sigma_s + \kappa \quad (12)$$

$$S_{bp} = \kappa I_{bp} \quad (13)$$

$$S_p^m = \frac{\sigma_s}{4\pi} \sum_{m'} w^{m'} \Phi^{mm'} I_p^{m'} \quad (14)$$

شرایط مرزی مسئله تابش در معادله (۱۵) نشان داده شده است.

$$X = 0: I^m = \varepsilon I_{bw} + \frac{(1-\varepsilon)}{\pi} \sum_{\mu^{m'} < 0} w^{m'} |\mu^{m'}| I^{m'}; \mu^m > 0$$

$$X = 1: I^m = \varepsilon I_{bw} + \frac{(1-\varepsilon)}{\pi} \sum_{\mu^{m'} > 0} w^{m'} |\mu^{m'}| I^{m'}; \mu^m < 0$$

$$Y = 0: I^m = \varepsilon I_{bw} + \frac{(1-\varepsilon)}{\pi} \sum_{\xi^{m'} < 0} w^{m'} |\xi^{m'}| I^{m'}; \xi^m > 0$$

$$Y = 1: I^m = \varepsilon I_{bw} + \frac{(1-\varepsilon)}{\pi} \sum_{\xi^{m'} > 0} w^{m'} |\xi^{m'}| I^{m'}; \xi^m < 0 \quad (15)$$

نرخ انرژی تابشی به صورت معادله (۱۶) بدون بعد شده است در این معادله G^* شار تابشی ورودی به صورت بدون بعد و τ ضخامت اپتیکی است.

$$\nabla^* \cdot Q_{rad}^* = \tau(1-\omega)((\theta/\theta_0 + 1)^4 - G^*) \quad (16)$$

$$G^* = \int_{4\pi} I^* d\Omega \quad (17)$$

$$\omega = \frac{\sigma_s}{\beta_{rad}} \quad (18)$$

شار حرارتی روی سطوح محفظه به صورت زیر بدون بعد شده است که مقدار آن روی صفحه متحرک و صفحه پایینی عایق، صفر است. همچنین θ روی دیوار گرم (دیوار سمت چپ) برابر 0.5 و روی دیوار سرد (سمت راست)

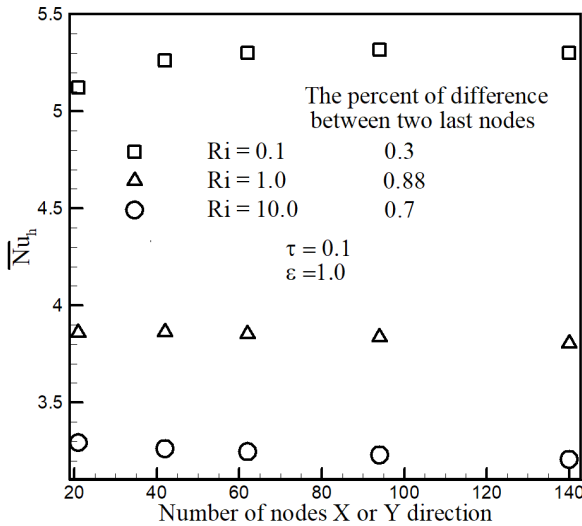


Fig. 3. The average Nusselt number on the hot wall according to the number of non-uniform grid

شکل ۳: ناسلت متوسط روی دیوار گرم بر حسب تعداد شبکه غیر یکنواخت

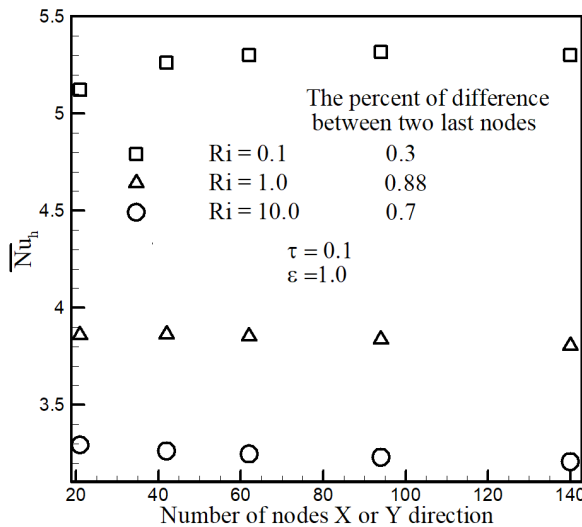


Fig. 4. The average Nusselt number on the cold wall according to the number of non-uniform grid

شکل ۴: ناسلت متوسط روی دیوار سرد بر حسب تعداد شبکه غیر یکنواخت

محلی روی دیوار سرد نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، تقریب S_8 به عنوان تقریب طول مجزا در نظر گرفته خواهد شد. برای اعتبارسنجی کد کامپیوتری جابجایی ترکیبی با سطح متحرک محفظه، توأم با تابش از مقاله بلمیلود و چملول [۹] $Pl=(k/L)/(4\sigma T^3)=0/21$ و $Ra=10^4$ استفاده شده است در این مسئله یک محفظه مربعی با محیط شفاف و سطوح خاکستری با ضریب صدور $0/5$ در نظر گرفته شده است. همچنین به دلیل استفاده از مقاله بلمیلود و چملول [۹] بخاطر همخوانی بهتر و تطبیق با نتایج مقاله در این قسمت از شبکه یکنواخت استفاده شده است. در جدول ۲، متوسط عدد ناسلت روی دیواره سمت چپ در ضریب صدور $0/5$ ، عدد ریلی 10^4 ، عدد پرانتل $0/71$ و محیط شفاف نشان داده شده است و با مقاله بلمیلود و چملول [۹] مقایسه شده است. خطا در ریچارلسون $0/1$ اندکی

برابر $0/5-$ به دست خواهد آمد.

$$Q_{tot}^* = -\nabla^* \theta + \frac{\theta_0}{Pl} Q_{rad}^* \quad (19)$$

۳- الگوریتم حل مسئله

در حل مسئله انتقال حرارت جابجایی ترکیبی با سطح متحرک به دلیل وابسته بودن میدان سرعت و فشار از الگوریتم سیمپلر [۱۶] استفاده شده است. همچنین در ترکیب عبارات جابجایی و دیفیوژن روش توان پیرو^۲ مورد استفاده قرار گرفته است. کد نویسی با استفاده از زبان برنامه‌نویسی فورترن ۹۰ انجام شده است.

به منظور حل مسئله جابجایی ترکیبی- تابش با سطح متحرک دیواره عایق از الگوریتم زیر استفاده شده است.

۱. ابتدا دمای محیط و همچنین دمای نامعلوم دیواره‌های مرزی (سطوح عایق بالا و پایین) حدس زده شود.
۲. مسئله تابش حل شده و $\nabla^* \cdot Q_{rad}^*$ داخل محیط و Q_{rad}^* روی هر دیواره عایق به دست آورده شود.
۳. با استفاده از شرایط مرزی و $\nabla^* \cdot Q_{rad}^*$ محیط، مسئله جابجایی ترکیبی حل شود.
۴. توزیع دمای به دست آمده از جابجایی ترکیبی در مسئله تابش قرار داده شده و به مرحله ۲ بروید.
۵. مسئله تا همگرایی توزیع دما، سرعت و غیره ادامه دهید. در این مقاله، معیار همگرایی از مرتبه 10^{-5} در نظر گرفته شده است. برای جلوگیری از واگرایی، ضرایب زیر تخفیف همگرایی سرعت $0/3$ و ضرایب همگرایی دما و فشار به ترتیب $0/8$ و $0/2$ در نظر گرفته شده است.

۴- استقلال شبکه و اعتبارسنجی

محفظة مربعی نشان داده شده در شکل ۱ را در نظر بگیرید. محفظه حاوی گازهای خاکستری با ضریب جذب ثابت $0/1$ است. تمام سطوح محفظه سیاه می‌باشند و سطوح دو طرف گرم و سرد هستند. سطح بالا و پایین عایق هستند. برای استقلال شبکه از عدد ناسلت متوسط روی دیوار گرم استفاده شده است و شبکه‌های غیریکنواخت با ضریب تراکم $1/05$ از 10×10 تا 140×140 بررسی شده است نتایج به دست آمده که در شکل ۳ نشان داده شده است حاکی از آن است که از شبکه 94×94 به بعد شبکه مستقل شده و عدد ناسلت متوسط روی دیواره گرم تغییر محسوسی نخواهد کرد. بنابراین نتایج مسئله جابجایی ترکیبی توأم با تابش در شبکه 94×94 ارائه شده است.

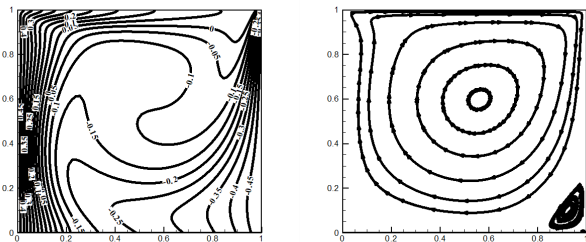
در شکل ۴ بررسی شبکه فضایی تابش محیط تاثیر گذار بر عدد ناسلت

- 1 SIMPLER
- 2 Power-Low scheme
- 3 Fortran 90

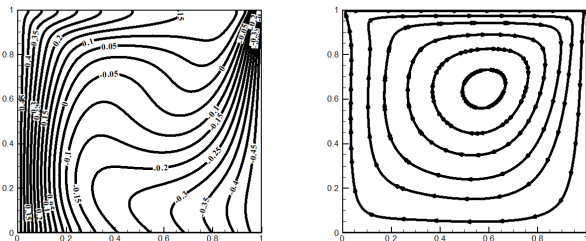
جدول ۱: مقایسه کار حا ضر با مرجع [۹] برای انتقال حرارت جابجایی-تابش در یک محفظه درب متحرک

Table 1. The comparison of present work with Ref.[9] for the convection-radiation heat transfer in to the lid driven cavity for $T_h=298.5K$ and $T_c=288.5K$

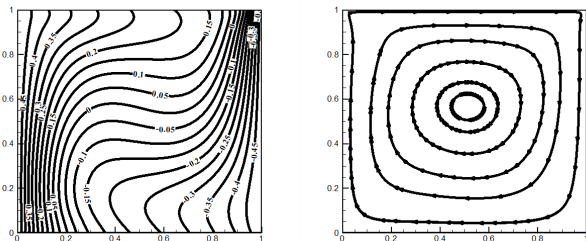
درصد خطا Nu_T	$Nu_{T, Belmilod} - Nu_{T, present work}$	$Nu_{c, Belmilod} - Nu_{c, present work}$	ضریب صدور	عدد ریچاردسون
۱/۰۲	۵/۸۸-۵/۸۲	۴/۵۳-۴/۴۷	۰/۵	۰/۱
۰/۰	۴/۴۴-۴/۴۴	۳/۱۴-۳/۰۶	۰/۵	۱
۰/۰۷۸	۳/۸۵۷-۳/۸۶	۲/۴۷-۲/۵۲	۰/۵	۱۰



(الف)



(ب)



(ج)

Fig. 5. Stream lines (the left side) and isotherms lines (the right side) for $\tau=0.5$ and $\varepsilon=0.8$, a) $Ri=0.1$, b) $Ri=1.0$, C) $Ri=10.0$

شکل ۵: خطوط جریان سمت راست و خطوط همدمای سمت چپ در $\tau=0/5$ و $\varepsilon=0/8$ (الف) $Ri=0/1$ (ب) $Ri=1/0$ (ج) $Ri=10/0$

است. به همین دلیل کاهش اعداد منفی در این سطح نشان دهنده کاهش دریافت انرژی و همین طور کاهش دمای این سطح است که به وضوح در کنار سطح سرد مشاهده می شود. به طور دقیق تر می توان سطوح عایق را به دو بخش یکی نزدیک دیوار سرد و دیگری نزدیک دیوار گرم تقسیم کرد. در هر ضریب انحراف، روی سطح عایق از چپ به راست از میزان دریافت و خروج تابش کاسته می شود زیرا دمای سطح عایق نزدیک دیوار سرد بیشتر از محیط اطرافش است.

بیشتر از ۱ درصد به دست آمده است دلیل این خطا روش حل متفاوت مسئله جابجایی ترکیبی (روش گسسته سازی معادلات حاکم) و همچنین تفاوت در روش حل کد تابش (روش طول های مجزا که در آن، وزن دهی به جملات صورت می گیرد) است.

۵- نتایج و بحث

محفظة ای مربعی مطابق شکل ۱ در نظر گرفته شده است سطوح بالا و پایین آدیاباتیک هستند. سطح سرد دارای ضریب صدور متفاوت و بقیه سطوح، سیاه در نظر گرفته شده اند. دیواره آدیاباتیک بالایی با سرعت ثابت U_0 از چپ به راست حرکت می کند. در این محفظه اثر جابجایی ترکیبی توأم با انحراف تابش محیط تأثیر گذار بررسی شده است.

در شکل ۵ اثر عدد ریچاردسون به ترتیب روی خطوط جریان و خطوط همدمای در ضریب صدور ۰/۸، ضخامت اپتیکی ۰/۵، عدد ریلی 10^4 و عدد پرانتل ۰/۷۱ و عدد پلانک ۰/۸۴۵ نشان داده شده است. با توجه به ثابت بودن عدد ریلی و پرانتل با افزایش عدد ریچاردسون ($Ri=Ra/(Pr \times Re^2)$)، عدد رینولدز کاهش می یابد. در شکل ۵ سطح متحرک آدیاباتیک در ریچاردسون ۰/۱ باعث ایجاد گردایان همدمای شدیدی در نزدیکی این سطح شده است و گردایان دما به ترتیب در ریچاردسون ۱/۰ و ۱۰/۰ کمتر شده است. سمت راست و گوشه بالایی این شکل دارای گردایان شدیدی در تمام ریچاردسون ها (۱۰/۰-۰/۱) است و با افزایش ریچاردسون گردایان دما در این منطقه کاهش خواهد یافت.

در $Ri=0/1$ گردابه ای در پایین و سمت راست محفظه در خلاف جهت سایر خطوط جریان به وجود خواهد آمد. این گردابه به علت تغییر جهت سرعت سیال در این قسمت به وجود آمده است. در شکل به وضوح دیده می شود که با افزایش ریچاردسون اثر سطح متحرک کاهش خواهد یافت و در ریچاردسون ۱۰/۰ خطوط جریان تقریباً هم مرکز هستند. بنابراین می توان ادعا کرد در این ریچاردسون جابجایی طبیعی حاکم است. تمام خطوط جریان هم جهت با عقربه های ساعت حرکت می کنند.

در شکل ۶ نمودار تاثیر انحراف روی شارهای حرارتی دیوار آدیاباتیک پایین در ریچاردسون های مختلف در ضریب صدور ثابت ۰/۸ سطح سرد نشان داده شده است. با افزایش انحراف، شار حرارتی جابجایی ترکیبی در هر سه حالت کاهش و خالص شار حرارتی تابشی نیز کاهش می یابد. علامت منفی برای تابش تنها جهت تابش را نشان می دهد که بر روی سطح پایین علامت منفی به منزله دریافت و علامت مثبت به منزله خروج تابش از سطح

در شکل ۷ تاثیر انحراف روی شارهای حرارتی سطح متحرک در ریچاردسون‌های مختلف بررسی شده است. با افزایش انحراف شار حرارتی جابجایی ترکیبی روی سطح آدیاباتیک متحرک کاهش و شار حرارتی خالص تابشی نیز کاهش می‌یابد. همانطور که انتظار می‌رفت مجموع شارهای حرارتی روی سطوح آدیاباتیک صفر خواهد شد. در این سطح کاهش مقدار منفی به منزله افزایش فرود تابش و افزایش دمای سطح و افزایش صدور تابش است. البته بررسی بیشتر نشان داد که تاثیر انحراف بر روی دمای این سطح به قدری ناچیز است که قابل چشم پوشی است. به طور دقیق‌تر می‌توان سطوح عایق متحرک را نیز مانند سطح عایق ساکن، به دو بخش یکی نزدیک دیوار سرد و دیگری نزدیک دیوار گرم تقسیم کرد. قسمت نزدیک دیوار گرم از محیط اطراف سردتر و در نتیجه شار تابشی دریافت می‌کند و افزایش انحراف به این شدت دریافت، می‌افزاید و قسمت سردتر از محیط اطراف گرمتر است و لذا دریافت انرژی آن کاهش می‌یابد و افزایش انحراف نیز به این کاهش کمک می‌کند. در هر ضریب انحراف روی سطح عایق از چپ به راست از میزان دریافت و خروج انرژی کاسته می‌شود. حال با افزایش انحراف دریافت انرژی توسط گوشه سمت چپ (گوشه گرم) افزایش و دریافت انرژی توسط گوشه سمت راست (گوشه سرد) کاهش می‌یابد. ایجاد نقطه تلاقی بر روی نمودار ۷ در اثر تغییرات جذب انرژی اتفاق افتاده است که در نزدیکی سطح سرد به واسطه کاهش دمای آن انرژی دریافتی هم کاهش یافته است.

تفاوت سطح عایق بالا و پایین در توزیع دمای دو سطح است که باعث شده است که بیشتر سطح عایق بالا به عنوان سطح گرم و گوشه کوچکی در سمت راست آن سرد تلقی گردد این توزیع دما برای دو سطح در شکل ۸ الف برای سه عدد رینولدز مشاهده می‌شود در شکل ۸ ب تغییرات دریافت انرژی در دو ضخامت اپتیکی برای ریچاردسون ۰/۱ برای دو سطح نشان داده شده است در شکل ۸ ج تغییرات خروج انرژی برای دو سطح در ریچاردسون ۰/۱ نشان داده شده است و در شکل ۸ د تغییرات چشمه تابشی در دو ضخامت اپتیکی و عدد ریچاردسون ۰/۱ نشان داده شده است. در کل همانطور که مشخص است با افزایش انحراف چاهها در نزدیکی دیوارهای گرم و چشمه‌ها (یا چاهها با قدرت کمتر) در نزدیکی دیوارهای سرد گسترش یافته‌اند که حاکی از کاهش تبادل حرارت در محفظه است. اگرچه ضریب انحراف در جمله چشمه تابشی ظاهر نمی‌شود اما به علت تاثیر انحراف در شدت تابش و حضور شار تابش فرودی در جمله چشمه تابشی، در این خطوط همتراز، تاثیر آن مشهود است. در واقع انحراف مانند یک سپر تابشی در مقابل سطوح گرم عمل کرده و باعث برگشت انرژی به آنها و یا دریافت انرژی بیشتر توسط آنها و کاهش دریافت انرژی توسط سطوح سرد شده و در کل، خالص انرژی کل تابشی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

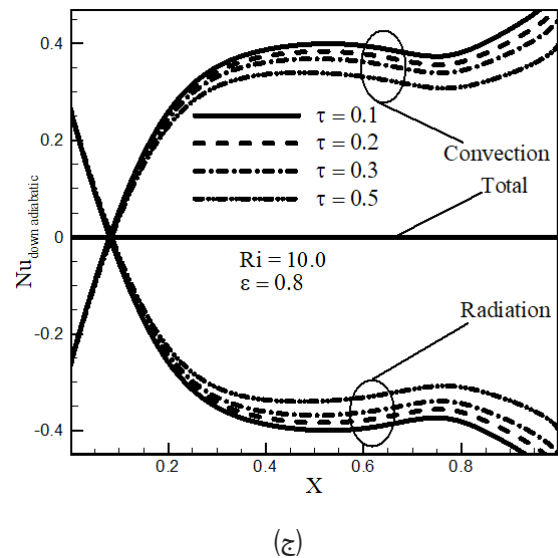
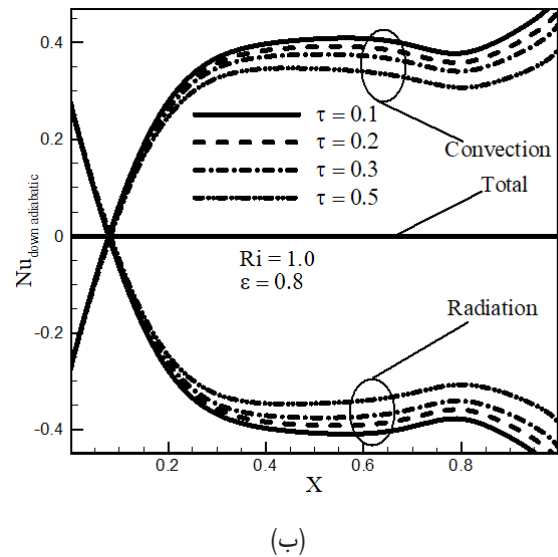
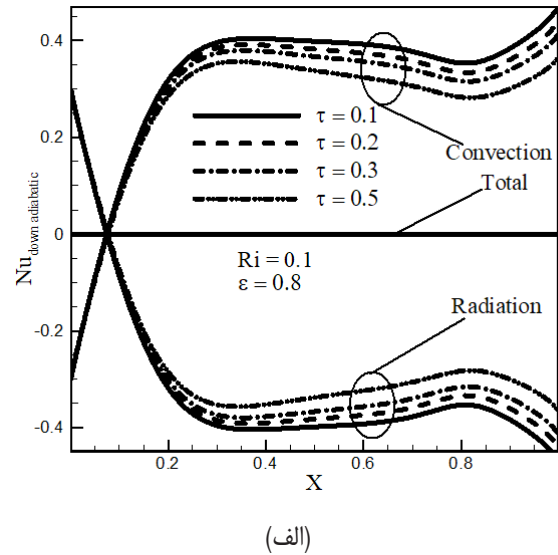
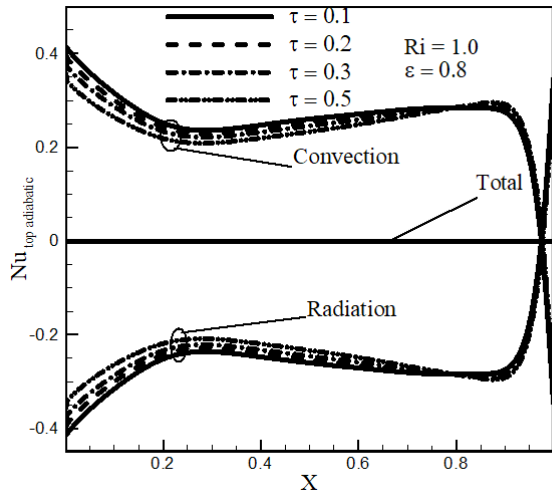
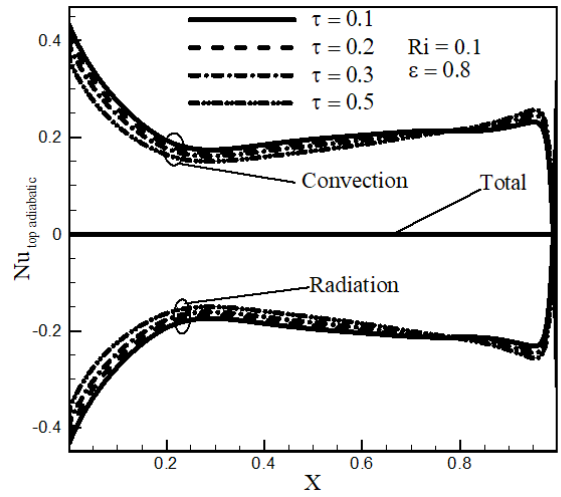


Fig. 6. The effect of radiation scattering coefficient on the local Nusselt number of down adiabatic wall a) $Ri=0.1$, b) $Ri=1.0$, C) $Ri=10.0$

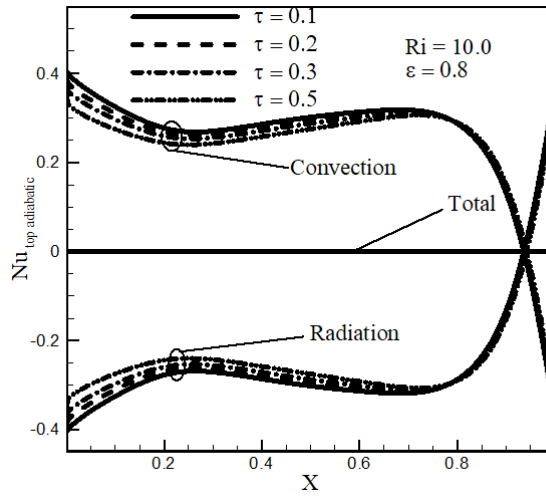
شکل ۶: اثر ضریب انحراف تابش روی عدد ناسلت محلی دیوار آدیاباتیک پایین الف) $Ri=0.1$ ب) $Ri=1.0$ ج) $Ri=10.0$



(ب)



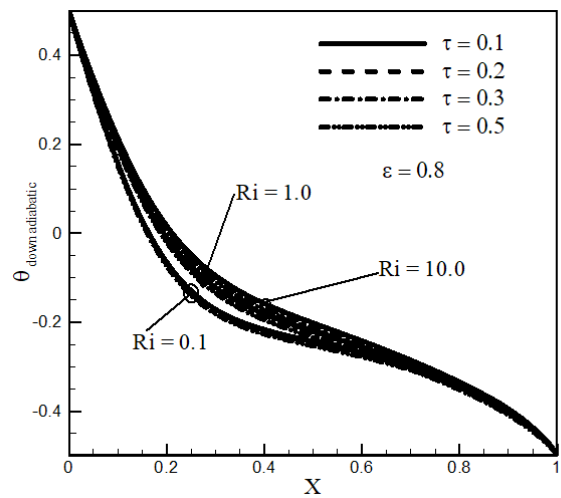
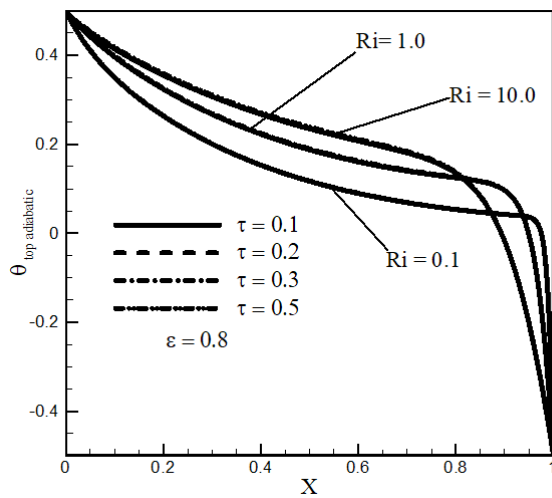
(ف)



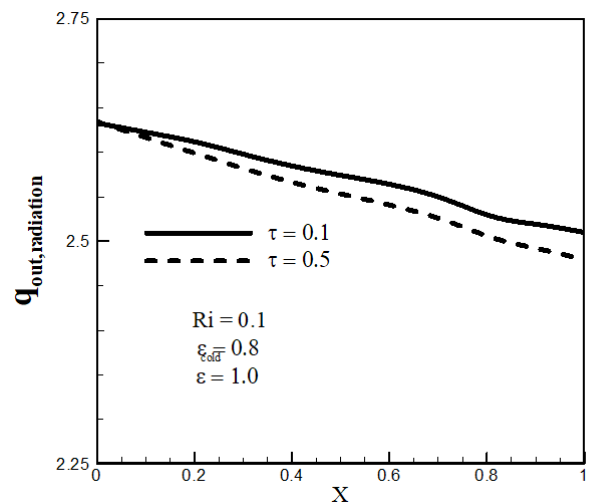
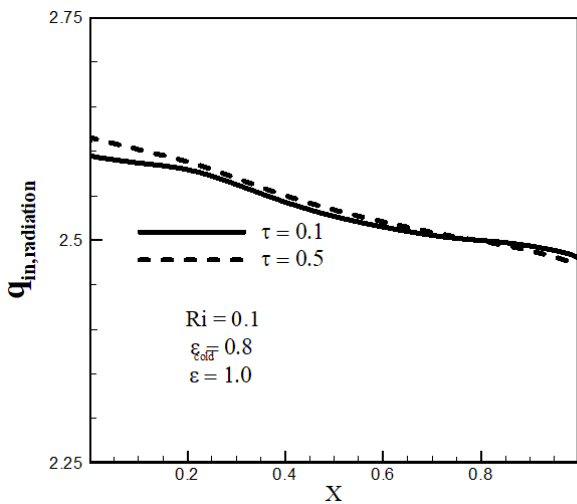
(ج)

Fig. 7. The effect of radiation scattering coefficient on the local Nusselt number of top adiabatic wall a) $Ri=0.1$, b) $Ri=1.0$, c) $Ri=10.0$

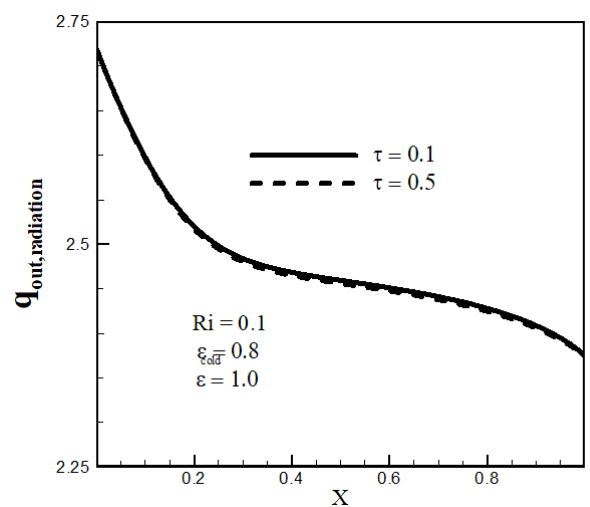
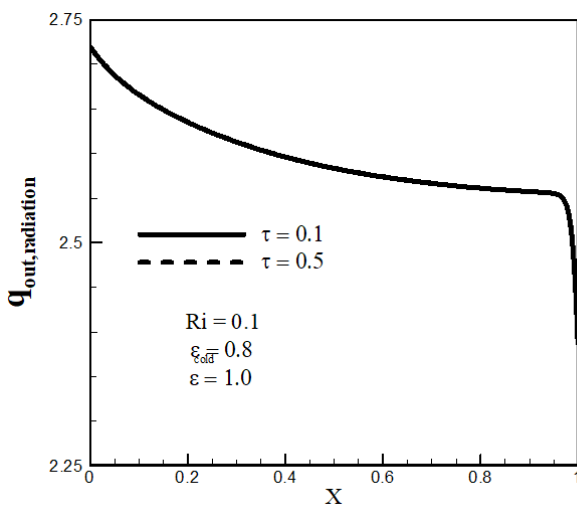
شکل ۷: اثر ضریب انحراف تابش روی عدد ناسلت محلی دیوار آدیاباتیک بالا (سطح متحرک الف) (ب) $Ri=1.0$ (ج) $Ri=10.0$



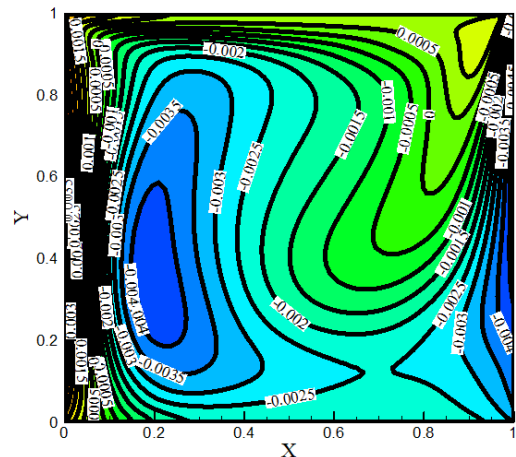
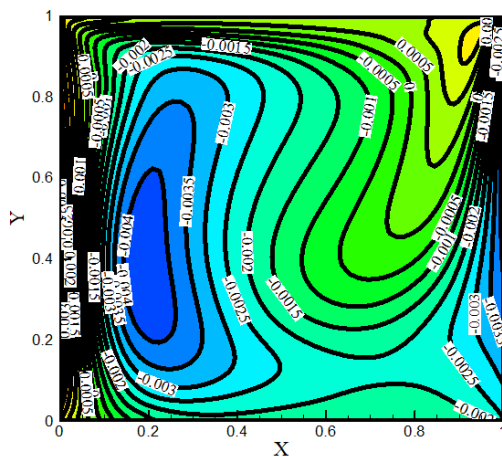
الف) تاثیر انحراف در توزیع دمای سطح عایق متحرک در سمت چپ و سطح عایق ساکن در سمت راست



ب) تاثیر انحراف در شار تابش فرودی از سطح عایق متحرک در سمت چپ و سطح عایق ساکن در سمت راست



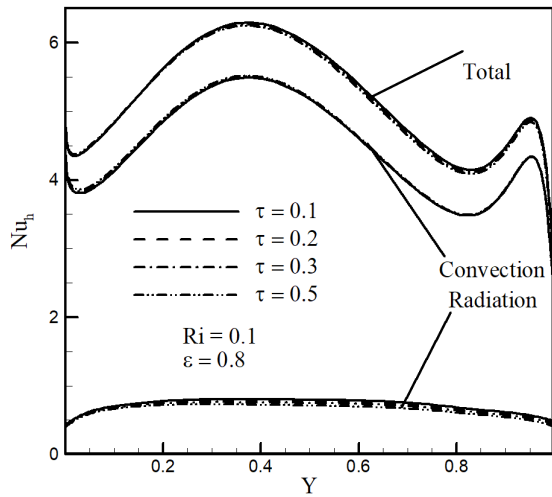
ج) تاثیر انحراف در شار تابش خروجی از سطح عایق متحرک در سمت چپ و سطح عایق ساکن در سمت راست



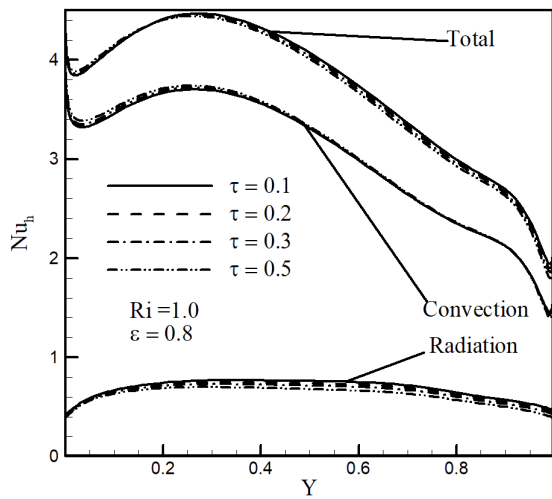
د) توزیع چشمه حرارتی تابشی در دو ضخامت اپتیکی شکل راست ضخامت اپتیکی ۰/۱ و شکل چپ ضخامت اپتیکی ۰/۵

Fig. 8. The effect of scattering on the temperature, input and output heat fluxes on the adiabatic walls and differences in the power and distribution of the radiation source for two optical thicknesses 0.1 and 0.5 a) The effect of scattering on the adiabatic temperature b) The effect of scattering on the input radiation heat flux for adiabatic walls c) The effect of scattering on the output radiation heat flux for adiabatic walls d) difference distribution of the radiation source for two optical thicknesses 0.1 (right side) and 0.5 (left side)

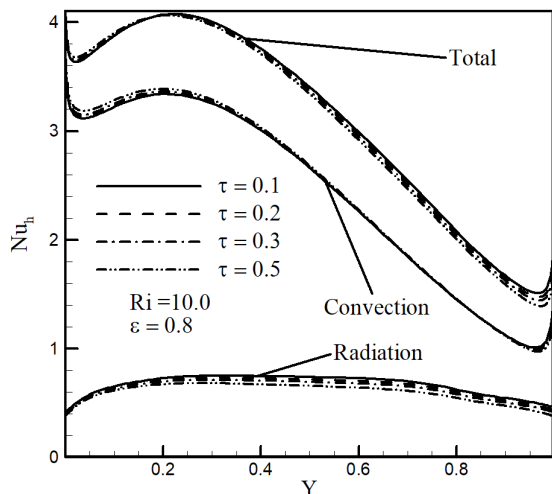
شکل ۸: بررسی اثر انحراف بر روی دما و شار دریافتی و خروجی تابش در دو سطح عایق و تفاوت قدرت و توزیع چشمه حرارتی تابشی در دو حالت ضخامت اپتیکی ۰/۱ و ۰/۵



(الف)



(ب)



(ج)

Fig. 9. The investigation of local Nusselt number and the effect of radiation scattering on the hot wall a) $Ri=0.1$, b) $Ri=1.0$, c) $Ri=10.0$

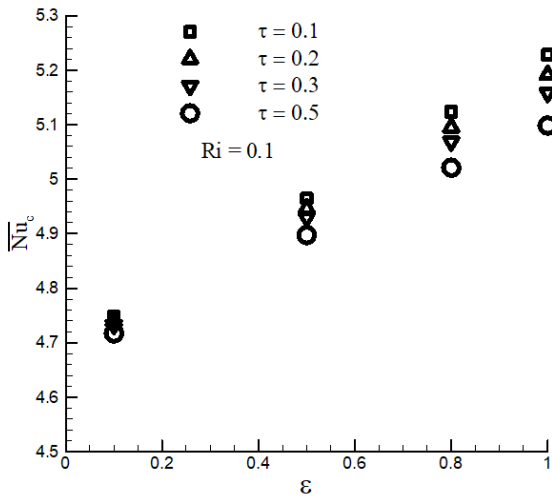
شکل ۹: بررسی عدد ناسلت محلی و تأثیر اثر انحراف روی دیوار گرم (الف) $Ri=0.1$ (ب) $Ri=1.0$ (ج) $Ri=10.0$

همچنین مشاهده می‌شود تأثیر انحراف بر روی عدد ناسلت محلی سطوح عایق در نواحی با گرادیان‌های کمتر بیشتر است این نواحی در منطقه رشد لایه مرزی بر روی سطح سرد و گرم قرار دارند. همانطور که از نتایج به دست آمده از این قسمت مشخص است، انحراف سبب خنک شدن سطح عایق پایینی شده است، در صورتی که تأثیر چندانی بر روی دمای سطح بالایی ندارد.

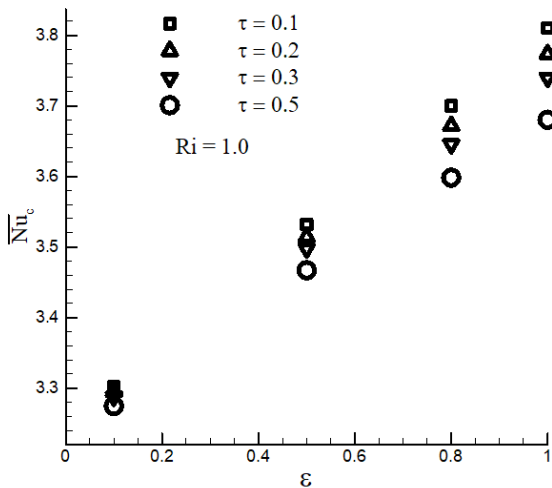
در شکل ۹ تأثیر انحراف بر روی عدد ناسلت محلی تابش، جابجایی و کل سطح گرم نشان داده شده است. تأثیر انحراف اگر چه بر روی عدد ناسلت تابشی بیشتر است و انحراف محیط مانند یک سپر تابشی در مقابل سطح گرم عمل کرده و تابش را به آن برگردانده است لذا با صدور ثابت، جذب (تابش فرودی) افزایش یافته و تفاوت صدور و جذب یا خالص انرژی تابشی کاهش یافته است که نهایتاً منجر به کاهش عدد ناسلت کلی شده است، اما انحراف بخصوص بر روی سطح گرم در نیمه پایین (ناحیه بیشینه مقادیر عدد ناسلت جابجایی) آن منجر به افزایش عدد ناسلت جابجایی شده است همچنین این تأثیر با افزایش عدد ریچاردسون اهمیت بیشتری پیدا کرده است. این موضوع می‌تواند در اثر فاصله گرفتن از دیوار متحرک و در نتیجه تأثیر بیشتر تابش بر روی جابجایی آزاد توضیح داده شود.

در شکل ۱۰ تأثیر انحراف بر روی عدد ناسلت محلی تابش، جابجایی و کل سطح سرد نشان داده شده است. تأثیر انحراف اگر چه بر روی عدد ناسلت تابشی بیشتر است و باعث کاهش آن و نهایتاً کاهش عدد ناسلت کلی شده است، این موضوع به علت انحراف محیط است که مانند یک سپر تابشی در مقابل سطح گرم عمل کرده و تابش را به آن برگردانده است لذا با صدور ثابت، جذب (تابش فرودی) به سطح سرد کاهش یافته و تفاوت صدور و جذب یا خالص انرژی تابشی کاهش یافته است. اما بخصوص بر روی سطح سرد در نیمه پایین (ناحیه کمینه مقادیر عدد ناسلت جابجایی) آن منجر به کاهش عدد ناسلت جابجایی شده است همچنین این تأثیر با افزایش عدد ریچاردسون اهمیت بیشتری پیدا کرده است. این موضوع می‌تواند در اثر فاصله گرفتن از دیوار متحرک و در نتیجه تأثیر بیشتر تابش بر روی جابجایی آزاد توضیح داده شود.

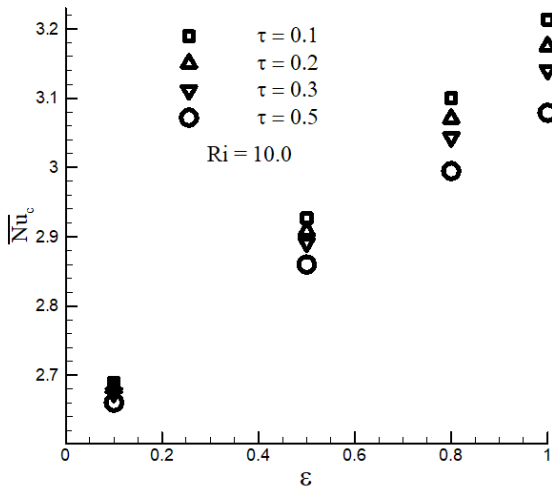
در شکل ۱۱ تأثیر ضریب صدور و ضریب انحراف روی عدد ناسلت متوسط دیواره سرد نشان داده شده است. با افزایش ضریب صدور از ۰/۱ تا ۱/۰ و کاهش انحراف از ۰/۴ تا ۰، عدد ناسلت متوسط روی دیواره سرد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش عدد ریچاردسون (افزایش اثر جابجایی طبیعی)، عدد ناسلت متوسط روی دیواره سرد کاهش چشمگیری دارد. همانطور که از اعداد شکل ۱۰ مشخص است، انحراف تأثیر زیادی بر روی عدد ناسلت متوسط دیواره در ضرایب صدور پایین ندارد اما با افزایش ضریب صدور یا کاهش انعکاس از سطح و افزایش جذب انرژی توسط سطح سرد، تأثیر انحراف مشهود شده است و این اثر با افزایش نسبت جابجایی آزاد بر جابجایی اجباری و اهمیت عامل ایجاد جریان که گرادیان‌های دما است اهمیت بیشتری یافته است.



(الف)



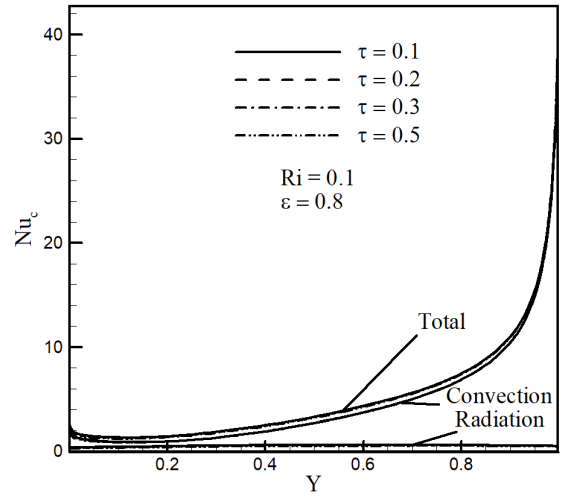
(ب)



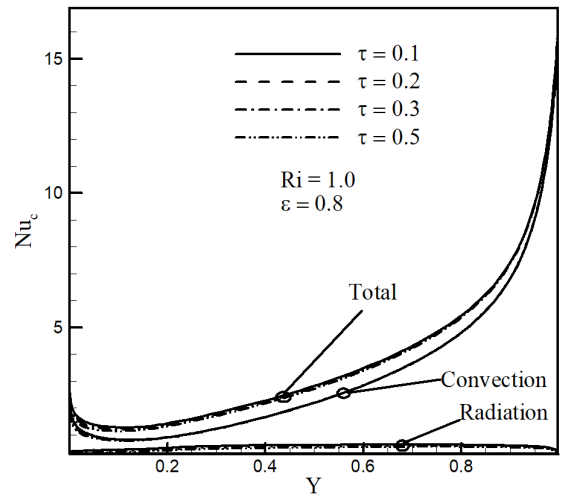
(ج)

Fig. 11. The effect of scattering and emissivity on average cold Nusselt number

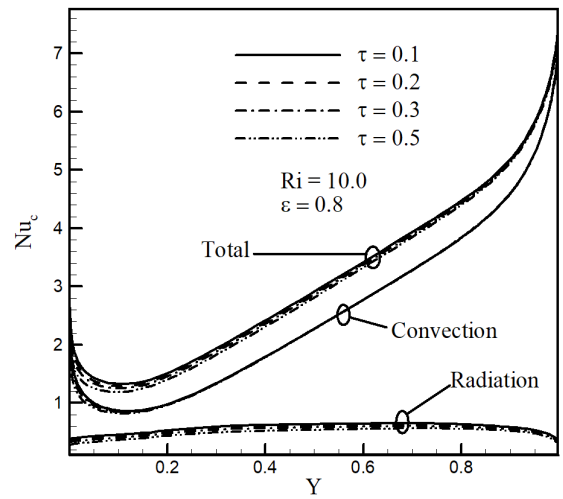
شکل ۱۱: تأثیر اثر انحراف و ضریب صدور دیوار سرد روی عدد ناسلت متوسط دیوار سرد (الف) $Ri=0.1$ (ب) $Ri=1.0$ (ج) $Ri=10.0$



(الف)



(ب)

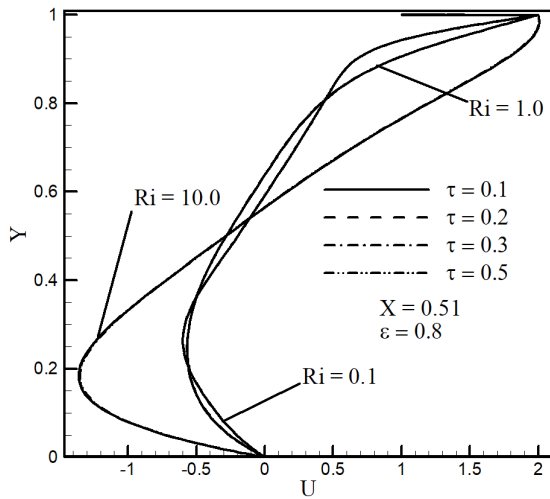


(ج)

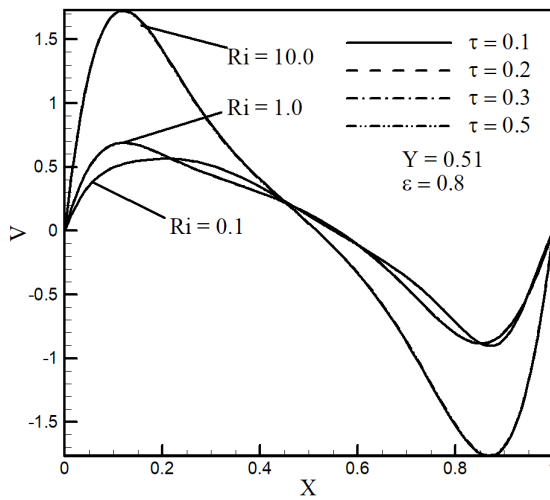
Fig. 10. The investigation of local Nusselt number and the effect of radiation scattering on the cold wall a) $Ri=0.1$, b) $Ri=1.0$, c) $Ri=10.0$

شکل ۱۰: بررسی عدد ناسلت محلی و تأثیر اثر انحراف روی دیوار سرد (الف) $Ri=0.1$ (ب) $Ri=1.0$ (ج) $Ri=10.0$

در شکل ۱۳ تأثیر جابجایی ترکیبی و ضریب انحراف روی مؤلفه افقی سرعت در ضریب صدور ۰/۸ دیواره سرد و $X=۰/۵۱$ در جهت افقی نشان داده شده است. در عدد ریچاردسون ۱۰/۰ (اثر زیاد جابجایی طبیعی نسبت به جابجایی اجباری) نسبت به ریچاردسون‌های ۰/۱ و ۱/۰ مؤلفه اندازه سرعت افقی بسیار بزرگتر است درحالی که بین ریچاردسون ۱/۰ و ۰/۱ مؤلفه سرعت افقی در بعضی از نقاط بسیار نزدیک به هم هستند و نمی‌توان گفت اندازه سرعت افقی کدام حالت نسبت به دیگری بیشتر یا کمتر است.



(الف)



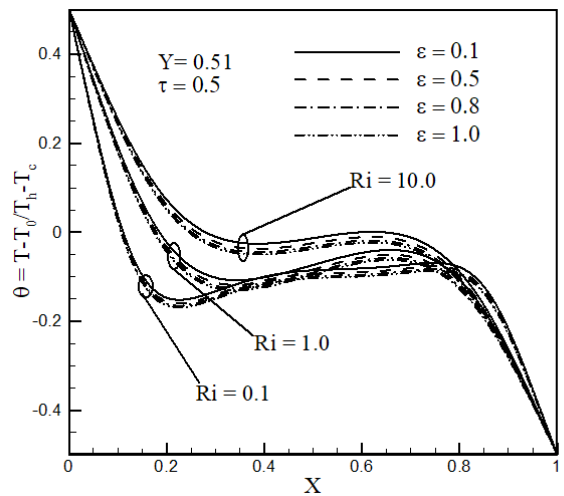
(ب)

Fig. 13. a) The effect of mixed convection and scattering on the horizontal velocity component in Y direction, b) The effect of mixed convection and scattering on the vertical velocity component in the X direction

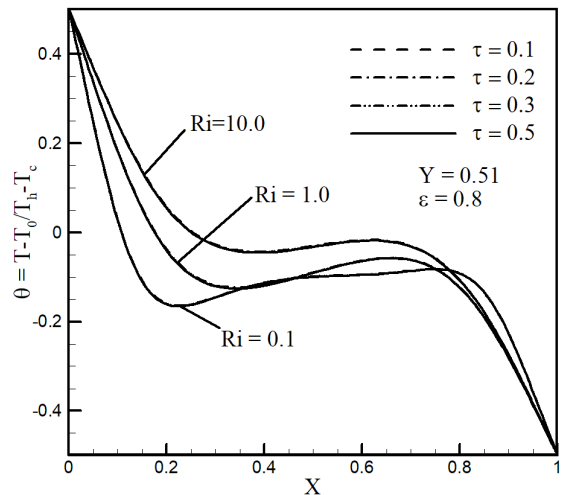
شکل ۱۳: الف) تأثیر جابجایی ترکیبی و انحراف تابشی روی مؤلفه سرعت افقی در جهت Y، ب) تأثیر جابجایی ترکیبی و ضریب انحراف تابشی روی مؤلفه سرعت عمودی در جهت X

در شکل ۱۳ ب) تأثیر جابجایی ترکیبی و انحراف تابشی روی مؤلفه عمودی سرعت در ضریب صدور ۰/۸ دیواره سرد و $Y=۰/۵۱$ نشان داده

با مقایسه تأثیر انعکاس سطح و انحراف محیط تفاوت عمده در تأثیر ضریب انعکاس سطوح بر روی توزیع دمای محیط در مرکز محفظه و بدور از سطوح است که در شکل ۱۲ الف مشهود است. علت این موضوع را می‌توان برگشت انرژی توسط دیواره‌ها و جذب آن توسط محیط بیان نمود. بنابراین با افزایش ضریب صدور یا کاهش انعکاس پذیری سطح جذب انرژی توسط سطوح بیشتر شده و دمای محیط نسبت به سطوح با صدور کمتر کاهش می‌یابد. شکل ۱۲ ب) تأثیر ضریب انحراف در $Y=۰/۵۱$ روی پروفیل دما در ضریب انحراف ۰/۸ و ریچاردسون‌های ۰/۱ تا ۱۰/۰ را نشان می‌دهد. روشن است که ضریب انحراف تأثیری چندانی روی خطوط درون محفظه نخواهد داشت.



(الف)



(ب)

Fig. 12. a) The effect of mixed convection and emissivity on the temperature profile in the center of cavity, b) The effect of mixed convection and scattering on the temperature profile in the center of cavity

شکل ۱۲: الف) تأثیر جابجایی ترکیبی و ضریب صدور سطوح تابشی روی پروفیل دما در مرکز محفظه، ب) تأثیر جابجایی ترکیبی و ضریب انحراف تابشی روی پروفیل دما در مرکز محفظه

بالای سطح با افزایش انحراف محیط، میزان انتقال حرارت از محفظه کاهش می‌یابد در نتیجه مقاله حاضر نشان می‌دهد که انحراف و ضریب صدور سطوح می‌توانند در کنترل دما و انتقال حرارت محفظه نقش داشته باشند. همچنین انحراف بر روی توزیع محلی عدد ناسلت جابجایی تاثیر گذار بوده و می‌تواند بر روی ضخامت لایه مرزی اثر گذارد.

همانطور که مشاهده گردید انحراف بیشترین تاثیر (بیشترین تغییرات) را بر روی سطح عایق پایین داشت. اگرچه در این مقاله یک پلانک نسبتا بالا 0.845 در نظر گرفته شده است و به سبب آن تغییرات چشمگیری بر روی عدد ناسلت محلی سطوح فعال دیده نمی‌شود اما مشخص است با کاهش عدد پلانک و در نتیجه افزایش اثر تابش تغییرات بحث شده مشهودتر است و تمام توضیحات داده شده برای آن صادق می‌باشد.

فهرست علائم

شتاب گرانش، m/s^2	g
عدد بدون بعد گراشف	Gr
ضریب انتقال حرارت جابجایی، W/m^2K	h
شدت تابش، $W/m^2.sr$	I
ضریب هدایت حرارتی، W/mK	k
طول محفظه، m	L
عدد ناسلت	Nu
فشار گاز، N/m^2	P
عدد بدون بعد پلانک	Pl
عدد پراتل	Pr
شار حرارتی	Q
عدد بدون بعد ریلی	Ra
عدد بدون بعد رینولدز	Re
عدد بدون ریچاردسون	Ri
دما، K	T
مؤلفه‌های سرعت در جهت x, y ، m/s	u, v
مختصات دکارتی	x, y

علامت یونانی

پخش حرارتی، m^2/s	α
ضریب انبساط حرارتی، K^{-1}	β
ضریب استهلاک	β_{rad}
فاکتور همگرایی تابش	γ
ضریب صدور تابشی	ε

شده است. در ریچاردسون 0.1 و 10 مؤلفه سرعت عمودی در بعضی از نقاط نزدیک به هم هستند. اما در ریچاردسون 10 به دلیل اثر جابجایی طبیعی اندازه مؤلفه سرعت عمودی نسبت به ریچاردسون 0.1 و 10 بزرگتر است. در شکل ۱۴ عدد ناسلت محلی و تأثیر اثر انحراف روی دیوار گرم در عدد پلانک 0.387 و عدد ریچاردسون 10 نشان داده شده است. با کاهش عدد پلانک (افزایش اثر تابش) تاثیر انحراف تابشی افزایش خواهد یافت.

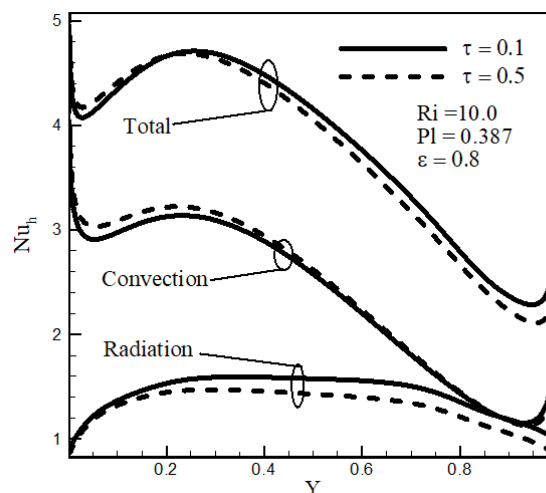


Fig. 14. The investigation of local Nusselt number and effect of radiation scattering on the hot wall for $Ri=10$ and $Pl=0.387$

شکل ۱۴: بررسی عدد ناسلت محلی و تأثیر اثر انحراف روی دیوار گرم در $Pl=0.387$ و $Ri=10$

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، اثر تابش با محیط تاثیر گذار همراه انحراف بر روی جابجایی ترکیبی در یک محفظه مربعی با یک سطح غیر فعال متحرک (سطح عایق بالا) مورد تحلیل قرار گرفت. از روش طول‌های مجزا برای حل مسئله تابش و از روش حجم کنترل به همراه الگوریتم سیمپلر برای حل مسئله جابجایی استفاده شده است. معادلات تابش و جابجایی ترکیبی توسط معادله انرژی و شرایط مرزی عایق به هم متصل شدند. نتایج به دست آمده نشان داد که:

۱. با افزایش عدد ریچاردسون، کاهش ضریب صدور و افزایش ضریب انحراف عدد ناسلت متوسط محفظه کاهش خواهد یافت.
۲. تأثیر انحراف در ریچاردسون 10 نسبت به ریچاردسون 0.1 و 10 بیشتر است. با افزایش ضریب صدور تأثیر انحراف، بر روی شار حرارتی سطوح بیشتر خواهد شد.
۳. انعکاس سطوح در مقایسه با انحراف محیط بر روی توزیع دمای مرکز محفظه تاثیر گذارتر است.
۴. افزایش انحراف محیط باعث سرمایش سطح عایق پایینی یا غیر متحرک شده است.
۵. بر خلاف تصور که گمان می‌شود حرکت سطوح غیر فعال بر تابش و جابجایی تاثیر چندانی ندارد، مشاهده شد که در ضرایب صدور

- [4] K.A. Ismail, C.S. Salinas, Application of multidimensional scheme and the discrete ordinate method to radiative heat transfer in a two-dimensional enclosure with diffusely emitting and reflecting boundary walls, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 88(4) (2004) 407-42.
- [5] C. Sun, B. Yu, H.F. Oztop, Y. Wang, J. Wei, Control of mixed convection in lid-driven enclosures using conductive triangular fins, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(4) (2011) 894-909.
- [6] S. Mahapatra, P. Nanda, A. Sarkar, Interaction of mixed convection in two-sided lid driven differentially heated square enclosure with radiation in presence of participating medium, *Heat and Mass Transfer*, 42(8) (2006) 739-757.
- [7] Sivakumar, S. Sivasankaran, P. Prakash, J. Lee, Effect of heating location and size on mixed convection in lid-driven cavities, *Computers & Mathematics with Applications*, 59(9) (2010) 3053-3065.
- [8] A. Mezrhab, D. Lemonnier, S. Meftah, A. Benbrik, Numerical study of double-diffusion convection coupled to radiation in a square cavity filled with a participating grey gas, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 41(19) (2008) 195501-195517.
- [9] M.A. Belmiloud, N.E.S. Chemloul, Numerical Study of Mixed Convection Coupled to Radiation in a Square Cavity with a Lid-Driven, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 9(10) (2015) 1815-1821.
- [10] M. Roy, S. Roy, T. Basak, Role of various moving walls on energy transfer rates via heat flow visualization during mixed convection in square cavities, *Energy*, 82 (2015) 1-22.
- [11] G. Yang, Y. Huang, J. Wu, L. Zhang, G. Chen, R. Lv, A. Cai, Experimental study and numerical models assessment of turbulent mixed convection heat transfer in a vertical open cavity, *Building and Environment*, 115 (2017) 91-103.
- [12] M.F. Modest, *Radiative transfer*, McGraw-Hill, USA: Elsevier, 1993.

κ ضریب جذب تابشی، m^{-1}

θ عدد بدون بعد دما

μ کسینوس جهتی نسبت به محور X

ν لزجت سینماتیکی، m^2/s

ζ کسینوس جهتی نسبت به محور Y

ρ چگالی، kg/m^3

σ_s ضریب انحراف، m^{-1}

τ ضخامت اپتیکی

زیرنویس

0 مرجع

b سیاه

c سرد

h گرم

s انحراف

p مرکز حجم کنترل

rad تابش

0 فضای آزاد

بالانویس

* بدون بعد

m جهت خروجی

m' جهت ورودی

منابع

- [1] W. Fiveland, Discrete-ordinates solutions of the radiative transport equation for rectangular enclosures, *Journal of heat transfer*, 106(4) (1984) 699-706.
- [2] W. Fiveland, Three-dimensional radiative heat-transfer solutions by the discrete-ordinates method, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 2(4) (1988) 309-316.
- [3] A. Yücel, S. Acharya, M. Williams, Natural convection and radiation in a square enclosure, *Numerical Heat Transfer*, 15(2) (1989) 261-278

Please cite this article using:

N. M. Bazi Nasab and S. Payan, Investigating the Effect of Radiation Scattering and Surface Emission on Combined Convection Heat Transfer in an Enclosure with Moving Insulation Surface, *Amirkabir J. Mech. Eng.*, 50(6) (2018) 1289-1302.

DOI: 10.22060/mej.2017.12686.5396

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:



