

مطالعه تاثیر نصب پره متخلخل درون یک محفظه بسته مربعی جهت افزایش میزان انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد

کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران
دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران

ریحانه نیشاپوری*
سیامک حسین‌پور

چکیده

در پژوهش حاضر به بررسی تاثیر نصب پره متخلخل درون محفظه بسته مربعی جهت تسريع انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد پرداخته شده است. سیستم مورد مطالعه، یک محفظه بسته مربعی می‌باشد که دیواره‌های عمودی آن یکی در دمای گرم و دیگری در دمای سرد نگه داشته شده‌اند و دیواره‌های افقی عایق هستند. پارامترهای مورد مطالعه در این پژوهش محل نصب پره متخلخل روی دیواره گرم، طول پره متخلخل، زاویه نصب پره و میزان تخلخل آن می‌باشد. بدین منظور از مدل‌سازی عددی با نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی استفاده شده است. برای مقایسه نتایج بدست آمده در هر مرحله از عدد بی‌بعد نوسلت استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که جاگذاری پره متخلخل روی دیواره گرم باعث افزایش عدد نوسلت نسبت به حالت پره صلب و محفظه بدون پره می‌شود. با توجه به نتایج بیشترین میزان انتقال گرمای زمانی حاصل می‌شود که پره در نزدیکی دیواره پایینی و یا در وسط دیواره گرم و با زاویه ۹۰ درجه نصب شده باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که افزایش طول پره متخلخل موجب افزایش میزان انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد و عدد نوسلت می‌شود. همچنین نتایج در خصوص تاثیر میزان تخلخل بر عدد نوسلت نشان می‌دهد که افزایش میزان تخلخل پره متخلخل موجب افزایش عدد نوسلت و بالا رفتن آهنگ انتقال گرما می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد، پره متخلخل، محفظه بسته مربعی.

A Study of Porous Fin Effect on Increasing Free Convection Heat Transfer Rate in a Square Enclosure

R. Neishapouri
S. Hossainpour

Department of Mechanical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran
Department of Mechanical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Abstract

In the present study the effect of porous fin on increasing free convection heat transfer rate in a square enclosure is studied numerically. The left wall of the cavity, to which the fin is attached, is assumed to be kept at higher temperature while the right wall is kept at a lower temperature. In addition, the horizontal walls of the cavity were considered insulated. Various pertinent parameters were employed, such as the Rayleigh number, Darcy number, fin inclination angle, porosity, length and position of the fin. CFD method is used to solve the governing equations of this problem. The results is reported in term of Nusselt number. The results of this investigation showed that the presence of a porous fin increases the average Nusselt number on hot wall when compared with the cavity without any fin, for various lengths, positions, and inclination angle of the fin. To achieve optimum heat transfer, the present results suggests that the porous fin should be placed either close to the bottom surface or in the middle of the vertical hot surface and an angle of 90 degree. The results also demonstrate that the increase in porous fin length will result in an increase in the average Nusselt number. It is also observed that increasing the porosity of the fin will increase the average Nusselt number of the hot wall.

Keywords: Free Convection Heat Transfer, Porous Fin, Square Enclosure.

۱- مقدمه

توجه به موثر بودن هر دو عامل پره و محیط متخلخل در افزایش میزان انتقال گرما، در پژوهش حاضر به بررسی ترکیب این دو عامل و استفاده از پره از جنس مواد متخلخل که کمتر مورد توجه مطالعات علمی قرار گرفته است، پرداخته خواهد شد.

در زمینه استفاده از پره‌ها، شی و خدادادی [۱] به مطالعه عددی انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد درون محفظه بسته مربعی در حالت جریان آرام و پایا، در حضور پره صلب پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها افزایش میزان انتقال گرما در حالتی که پره نازک در نزدیکی دیواره‌های

انتقال گرمای همرفت آزاد درون محفظه بسته مربعی از جمله مسائل مطرح در انتقال گرما می‌باشد که به دلیل کاربرد گسترده آن در مسائل مهندسی و صنایع مختلف مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است. در بیشتر کاربردهای صنعتی و مطالعات علمی صورت گرفته هدف افزایش میزان انتقال گرما به روش‌های مختلف از جمله استفاده از پره، استفاده از محیط متخلخل درون محفظه و سایر روش‌ها می‌باشد. با

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: neishapouri@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۸

عایق قرار داشت را نشان داد. بیلجن [۲] طی مطالعه‌ای به بررسی تاثیر نصب پرده صلب روی دیواره گرم درون محفظه بسته در انتقال گرمای همرفت آزاد پرداخت. در این مطالعه دیواره‌های افقی عایق بوده و دیواره‌های عمودی یکی در دمای گرم و دیگری در دمای سرد قرار داشتند. در این مطالعه تاثیر پارامترهایی چون طول پرده، محل آن و عدد رایی روی عدد نوسلت مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد عدد نوسلت با افزایش عدد رایی افزایش، و با افزایش طول پرده کاهش می‌یابد. آمباریتا و همکاران [۳] به مطالعه عددی تاثیر نصب پرده عایق در یک محفظه بسته مربعی در انتقال گرمای همرفت آزاد پرداختند. در این مطالعه پرده روی دیواره‌های افقی که عایق بودند نصب بود. آن‌ها تاثیر نصب پرده را در محبوس کردن گردابه‌ها و نیز تقسیم گردابه‌ها در اعداد رایی مختلف و برای طول‌های متفاوت پرده بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش عدد رایی موجب افزایش عدد نوسلت و افزایش طول پرده موجب کاهش عدد نوسلت می‌گردد. ناخی و کامخا [۴] به مطالعه عددی انتقال گرمای همرفت آزاد درون محفظه بسته مربعی با پره‌ای روی دیواره گرم، پرداختند. در این مطالعه تاثیر طول پرده و برخی پارامترهای دیگر نظیر زاویه نصب پرده روی دیواره بر عدد نوسلت محلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها در حالت کلی نشانگر کاهش عدد نوسلت با نصب پرده بود. حبیب‌زاده و همکاران [۵] به مطالعه عددی تاثیر نصب پرده عایق روی دیواره‌های عایق افقی محفظه بسته مربعی حاوی نانوسیال در انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که عدد نوسلت در این حالت تابع طول پرده و نیز عدد رایی می‌باشد، بدین صورت که افزایش طول پرده موجب کاهش عدد نوسلت می‌گردد که اثر این پدیده در اعداد رایی بالاتر بیشتر می‌گردد. حقیقی و وفایی [۶] به مطالعه عددی تاثیر نصب پرده عایق به صورت افقی و عمودی بر روی کاهش میزان انتقال گرمای گرمای آزاد درون محفظه بسته با دیواره‌های عایق بالایی و پایینی پرداختند. آن‌ها در این مطالعه به تاثیر طول و محل نصب پرده درون محفظه با نسبت‌های منظری ۱ تا ۴ و برای اعداد رایی در محدوده 10^3 تا 10^6 پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در بیشتر حالات پره‌های عمودی باعث کاهش بیشتر میزان انتقال گرما می‌شوند.

همچنین پدیده انتقال گرمای همرفت درون محفظه بسته و در حضور ماده متخلخل به دلیل افزایش میزان انتقال گرما و توانایی آن در حل مشکلات مربوط به خنک‌کاری قطعات الکترونیکی [۷]، اثر تولید گرمای متابولیک در بافت‌ها [۸]، واکنش‌های گرمای درون راکتورها با بستر متخلخل [۹] و غیره مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است. بکرم و همکارانش [۱۰] مدلی از محفظه که با لایه‌ای از ماده متخلخل پر شده بود را مورد آزمایش قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که اگر سیال بتواند وارد لایه متخلخل شود میدان سرعت و دما را به طور کلی تحت تاثیر قرار خواهد داد. همچنین، نفوذ سیال به درون ماده متخلخل بشدت به حاصلضرب اعداد رایی و داری بستگی دارد. میالی و میرکین [۱۱] به بررسی تولید گرمای وابسته به دمای محلی در محفظه متخلخل پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در اعداد رایی پایین فقط یک گردابه درون محفظه تشکیل می‌شود و با افزایش مختصر عدد رایی گردابه‌ها به سمت وسط دیواره‌های عمودی منحرف می‌شوند. طهماسبی و همکارانش [۱۲] به بررسی محفظه پر شده با

ماده متخلخل با تولید گرما پرداختند. دیواره‌های عمودی بصورت دما ثابت، با دماهای مختلف و دیواره‌های افقی بصورت عایق در نظر گرفته شد. آن‌ها نشان دادند که افزایش تولید گرمای درون محفظه و افزایش عدد رایی، گردابه‌های ایجاد شده درون محفظه را به ترتیب متقارن و غیرمتقارن می‌کند. از طرفی افزایش هر دو عامل سبب افزایش مقدار عدد نوسلت خواهد شد. زهفروش و حسین‌پور [۱۳] به مطالعه اثر خواص ماتریس متخلخل بر تولید گرمای داخلی درون محفظه اشباع شده با نانوسیال آب-مس پرداختند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد تغییرات نسبت رسانایی ماتریس متخلخل تنها در تخلخل‌های پایین اثرگذار بوده و سبب هدایت سریع گرمای تولید شده و افزایش دو برابری نوسلت خواهد شد.

جعفری و همکارانش [۱۴] انتقال گرمای همرفت طبیعی نانوسیال در محیط متخلخل بین محفظه مربعی و سیلندر داخلی را به صورت عددی با استفاده از روش شبکه بولتزمن مورد بررسی قرار دادند. دیواره‌های محفظه مربعی در دمای ثابت سرد و سیلندر داخلی در دمای ثابت گرم قرار دارند. تاثیر اعداد رایی، داری، ضریب تخلخل محیط، کسر حجمی نانو ذرات بر روی ویژگیهای جریان و انتقال گرما مورد بررسی واقع شده است. نتایج نشان داد با افزایش عدد رایی، ضریب تخلخل و کسر حجمی نانو ذرات انتقال گرما افزایش می‌یابد. افزایش عدد داری باعث کاهش نفوذپذیری محیط متخلخل و در نتیجه باعث کاهش انتقال گرما می‌شود.

یکی از راه‌های افزایش میزان انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد درون یک محفظه بسته استفاده از محیط متخلخل می‌باشد. علی‌رغم مطالعات گسترده انجام شده در زمینه کاربرد محیط متخلخل در افزایش میزان انتقال گرمای درون محفظه بسته، استفاده از پرده از جنس مواد متخلخل مورد مطالعه چندانی قرار نگرفته است. بنابراین در مطالعه حاضر به بررسی تاثیر نصب پرده متخلخل روی دیواره گرم درون محفظه بسته مربعی، روی میزان انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد و عدد نوسلت پرداخته شده است. بدین منظور پارامترهای مختلفی نظیر طول پرده متخلخل 0.5 و 0.4 ، $L = 0.3$ ، محل قرارگیری پرده متخلخل 0.75 و 0.5 ، $S = 0.25$ روی دیواره گرم، زاویه نصب پرده متخلخل 135° و 90° ، $\alpha = 45^\circ$ و میزان تخلخل پرده متخلخل 0.99 ، 0.9 ، 0.6 ، 0.4 در اعداد رایی 10^3 تا 10^6 مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مدل‌سازی عددی

۲-۱- تعریف مسأله

شکل هندسه مورد مطالعه، محفظه‌ای مربعی به طول ضلع H می‌باشد که پره‌ای از جنس مواد متخلخل به طول بی‌بعد L ($L = l_f/H$) در محل بی‌بعد S ($S = s/H$) با زاویه اتصال α روی دیواره گرم نصب است. دیواره چپ در دمای بالا T_H و دیواره راست در دمای پایین T_C نگه داشته شده است و دیواره‌های بالا و پایین عایق هستند. محفظه به اندازه کافی عمیق است به طوری که بتوان مسئله را دو بعدی فرض کرد. فضای محفظه توسط سیالی با عدد پراگند 0.7 پر شده است. نمایی از مسأله مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. در مطالعه حاضر جریان لایه‌ای و غیر قابل تراکم در نظر گرفته شده است و از جملات اتلاف به دلیل نوع جریان همرفت، که همرفت طبیعی بوده

$$U = V = 0, \quad \theta = 0 \quad (8)$$

روی دیواره‌های عایق بالایی و پایینی

$$U = V = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial Y} = 0 \quad (9)$$

همچنین بدلیل استفاده از سیال با سرعت حرکت بسیار پایین، می‌توان از شرط عدم لغزش در مرز مشترک سیال و ماتریس متخلخل با استفاده از روابط (۱۰) تا (۱۵) استفاده کرد.

$$U_f = U_{\text{Porous}} \quad (10)$$

$$V_f = V_{\text{Porous}} \quad (11)$$

$$\mu_f \frac{\partial U}{\partial n} \Big|_{\text{Fluid}} = \mu_{\text{eff}} \frac{\partial U}{\partial n} \Big|_{\text{Porous}} \quad (12)$$

$$\mu_f \frac{\partial V}{\partial n} \Big|_{\text{Fluid}} = \mu_{\text{eff}} \frac{\partial V}{\partial n} \Big|_{\text{Porous}} \quad (13)$$

$$\theta_f = \theta_{\text{Porous}} \quad (14)$$

$$k_f \frac{\partial \theta}{\partial n} \Big|_{\text{Fluid}} = k_{\text{eff}} \frac{\partial \theta}{\partial n} \Big|_{\text{Porous}} \quad (15)$$

برای مقایسه نتایج از عدد نوسلت میانگین روی دیواره گرم استفاده شده است که به صورت معادله (۱۶) تعریف شده است.

$$\begin{aligned} \overline{Nu} = & - \int_0^{S_1} \frac{\partial \theta / \partial X|_{x=0}}{(\theta_h - \theta_c)} dy - \int_0^L \frac{\partial \theta / \partial Y|_{y=S_1}}{(\theta_h - \theta_c)} dx \\ & - \int_{S_1}^{S_2} \frac{\partial \theta / \partial X|_{x=L}}{(\theta_h - \theta_c)} dy - \int_L^0 \frac{\partial \theta / \partial Y|_{y=S_2}}{(\theta_h - \theta_c)} dx \\ & - \int_{S_2}^1 \frac{\partial \theta / \partial X|_{x=0}}{(\theta_h - \theta_c)} dy \end{aligned} \quad (16)$$

۳-۲- روش حل عددی

برای حل عددی مسأله از نرم‌افزار Fluent استفاده شده است. معادلات بر اساس روش حجم محدود و روش SIMPLE جداسازی شده‌اند. حل معادلات تا رسیدن تمامی باقیمانده‌ها تا 10^{-6} ادامه یافته است. بدین منظور از سیستم با CPU Intel Core i5 و Memory 6GB استفاده شده است. مدت زمان رسیدن به نتایج بسته به مقادیر اعداد داری و رابلی بین ۱۵ تا ۳۰ دقیقه متفاوت بود.

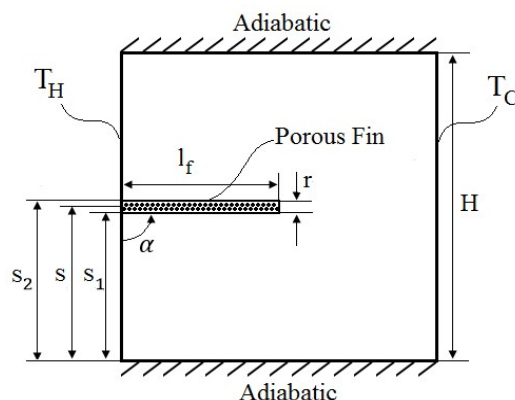
۴-۲- بررسی استقلال از شبکه

جهت بررسی استقلال از شبکه چهار شبکه بندی مطابق جدول ۱، در شرایط $Da = 10^{-6}$ و $Ra = 10^6$ و درحالتی که $L = 0.5$ و $S = 0.5$ و $\alpha = 90^\circ$ و $\varepsilon = 0.9$ می‌باشد مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. بدین منظور از عدد نوسلت میانگین روی دیواره گرم استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد شبکه بندی‌ها با تعداد مش‌های ۱۵۶۰۰ و ۲۴۴۴۰ مقادیر نزدیکی را برای عدد نوسلت ارائه می‌دهند که با توجه به هر دو مساله دقت محاسبات و سرعت آن، شبکه بندی با تعداد مش ۱۵۶۰۰ مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱- بررسی استقلال از شبکه

تعداد مش	عدد نوسلت میانگین	درصد خطا
۵۷۰۰	۴/۳	-
۸۸۱۴	۴/۸۷	۱۳
۱۵۶۰۰	۴/۸۲	۱
۲۴۴۴۰	۴/۷۷	۱

و در آن سیال از سرعت پایینی برخوردار می‌باشد، صرف نظر شده است. به عبارتی از کار نیروی برشی در مقابل نیروی شناوری بدلیل لایه‌ای بودن جریان و پایین بودن سرعت سیال صرف نظر می‌گردد. تمامی خواص سیال به غیر از چگالی آن هم در جمله نیروی شناوری ثابت فرض شده است که آن نیز با تقریب بوزینسک تغییر می‌نماید.



شکل ۱- هندسه مورد مطالعه

۲-۲- معادلات حاکم

جهت ارائه معادلات حاکم بر سیال و ماتریس متخلخل از پارامتر دو مقداری δ استفاده شده که به ترتیب در بررسی سیال و ماتریس متخلخل مقادیر صفر و یک را می‌گیرد. پارامترهای بدون بعد استفاده شده در بی‌بعد سازی معادلات عبارتند از [۱۳] و [۱۵]:

$$\begin{aligned} X &= \frac{x}{H}, \quad Y = \frac{y}{H}, \quad U = \frac{uH}{\alpha_f}, \quad V = \frac{vH}{\alpha_f}, \quad P = \frac{pH^2}{\rho_f \alpha_f^2} \\ \theta &= \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, \quad Da = \frac{K}{H^2}, \quad Pr_f = \frac{\nu_f}{\alpha_f}, \quad R_k = \frac{k_{\text{eff}}}{k_f} \\ Ra_f &= \frac{g \beta_f H^3 (T_h - T_c)}{\nu_f \alpha_f} \end{aligned} \quad (1)$$

همچنین رسانایی گرمایی موثر به صورت معادله (۲) تعریف شده است.

$$k_{\text{eff}} = \varepsilon k_f + (1 - \varepsilon) k_s \quad (2)$$

معادلات بی‌بعد پیوستگی، مومنوم و انرژی به صورت روابط (۳) تا (۶) می‌باشند [۱۳] و [۱۵].

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (3)$$

$$\left(\frac{\delta}{\varepsilon^2} - (\delta - 1) \right) \left[U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} \right] = - \frac{\partial P}{\partial X} + Pr_f \left[\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right] + \delta \frac{Pr_f}{Da} U \quad (4)$$

$$\left(\frac{\delta}{\varepsilon^2} - (\delta - 1) \right) \left[U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} \right] = - \frac{\partial P}{\partial Y} + Pr_f \left[\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right] + \delta \frac{Pr_f}{Da} V + Ra_f Pr_f \theta \quad (5)$$

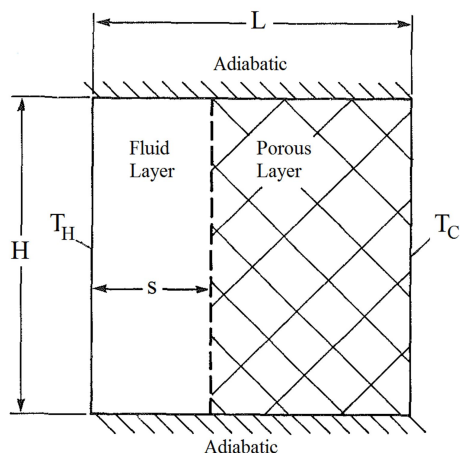
$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = (\delta (R_k - 1) + 1) \left[\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right] \quad (6)$$

شرایط مرزی حاکم بر مساله عبارتند از روابط (۷) تا (۹).

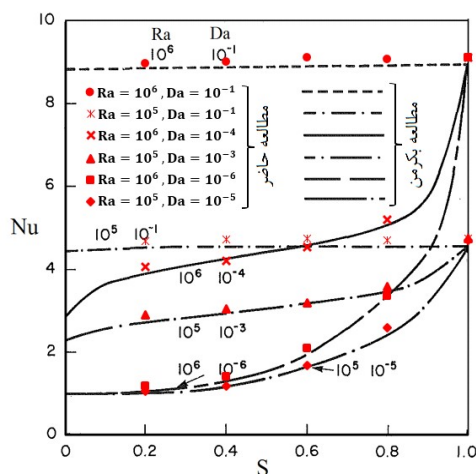
روی دیواره سمت چپ

$$U = V = 0, \quad \theta = 1 \quad (7)$$

روی دیواره سمت راست



شکل ۲- شکل طرحواره سیستم مورد مطالعه بکرمین [۱۵]



شکل ۳- اعتبارسنجی با نتایج محفظه قسمتی پر شده با ماده متخلخل

۳-۲- تاثیر طول پره متخلخل بر عدد نوسلت

در شکل ۵ تاثیر طول پره متخلخل بر عدد نوسلت، در عدد دارسی $Da = 10^{-3}$ و اعداد رایلی مختلف نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که افزایش طول پره موجب افزایش میزان انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد و عدد نوسلت می‌شود. دلیل این پدیده افزایش سطح تماس جسم و سیال عامل، با افزایش طول پره متخلخل و نیز افزایش میزان اختلاط درون پره متخلخل می‌باشد که در نتیجه منجر به افزایش میزان انتقال گرما می‌شود. تاثیر افزایش عدد نوسلت با افزایش طول پره، در اعداد رایلی بزرگتر بیشتر مشهود است تا جایی که در اعداد رایلی پایین تغییر طول پره عملاً تاثیری بر میزان انتقال گرما و عدد نوسلت ندارد. این امر ناشی از تقویت گردابه‌ها با افزایش عدد رایلی و در نتیجه افزایش تاثیر تغییرات روی آن‌ها می‌باشد.

۵-۲- اعتبارسنجی

جهت اطمینان از صحت کد مورد استفاده، نتایج بدست آمده از کد مورد استفاده با مقادیر بدست آمده از محفظه قسمتی پر شده با ماده متخلخل و سیال خالص که شکل طرحواره آن در شکل ۲ نشان داده شده است، مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. بدین منظور از مقایسه اعداد نوسلت میانگین دیواره گرم با استفاده از کد حاضر و نیز مطالعه انجام شده توسط بکرمین [۱۵] استفاده شده است. مقادیر نوسلت در $Pr = 1$ و $\varepsilon = 0.4$ بدست آمده است و S نشان دهنده فضای پر نشده با ماده متخلخل در راستای محور افقی است. نتایج اعتبارسنجی در شکل ۳ نشان داده شده است. بدین ترتیب که نتایج حاصل از کد حاضر به صورت نقاط گسسته بر روی نمودار بدست آمده از مطالعه بکرمین رسم شده‌اند تا امکان مقایسه نتایج را فراهم آورند. همان گونه که در این شکل مشهود است نتایج نمایانگر تطابق خوبی هستند که این امر صحت کد مورد استفاده را تایید می‌کند.

۳-۳- نتایج

در این بخش تاثیر پارامترهای مختلف نصب پره متخلخل روی دیواره گرم بر عدد نوسلت میانگین دیواره گرم و میزان انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد مورد مطالعه قرار گرفته است. پارامترهای مورد مطالعه عبارتند از طول پره متخلخل، محل نصب پره متخلخل روی دیواره گرم، زاویه نصب پره متخلخل، میزان تخلخل پره و عدد دارسی پره متخلخل. این تاثیرات در اعداد رایلی مختلف و برای سیال با عدد پرانتل 0.7 و نسبت رسانایی گرمایی جامد به سیال $k_{eff} = 100$ مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳-۱- تاثیر محل نصب پره متخلخل روی دیواره گرم بر

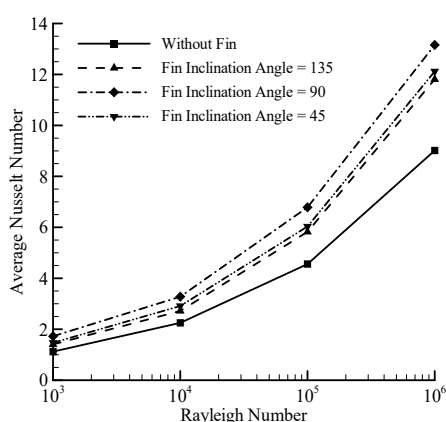
عدد نوسلت

شکل ۴ تاثیر محل نصب پره متخلخل روی دیواره گرم را بر عدد نوسلت و میزان انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد در عدد دارسی $Da = 10^{-3}$ و اعداد رایلی مختلف نشان می‌دهد. همان گونه که در این شکل مشهود است با نصب پره متخلخل در نزدیکی دیواره پایین عدد نوسلت نسبت به حالتی که پره در وسط دیواره نصب باشد، افزایش می‌یابد اما نصب آن در نزدیکی دیواره بالایی باعث کاهش عدد نوسلت می‌گردد که این تاثیر ناشی از جهت گرانش زمین و در نتیجه جهت حرکت گردابه‌ها می‌باشد. بدین صورت که هوای در تماس با دیواره سرد در اثر حرکت گردابه‌ها به صورت ساعت‌گرد، در حالت $S = 0.25$ زودتر با پره متخلخل تماس یافته و انتقال گرمای بیشتری، نسبت به حالت $S = 0.5$ که این تماس دیرتر رخ می‌دهد، صورت می‌گیرد. همین تاثیر در مقایسه دو حالت نصب پره در $S = 0.5$ و $S = 0.75$ نیز برقرار است و بنابه آنچه توضیح داده شد عدد نوسلت در حالتی که پره در $S = 0.5$ نصب است بیشتر از حالت $S = 0.75$ می‌باشد. این اثر با افزایش عدد رایلی افزایش می‌یابد. زیرا در این حالت گردابه‌ها تقویت شده و در نتیجه تاثیر تغییرات روی آن‌ها بیشتر خواهد بود.

حالت زاویه نصب ۴۵ درجه اعداد نوسلت بالاتری نسبت به حالت زاویه نصب ۱۳۵ بدست می‌آید. توجیه این پدیده کاملاً مشابه توجیه تاثیر محل نصب پره متخلخل روی دیواره گرم می‌باشد. بدین صورت که هوای در تماس با دیواره سرد در اثر حرکت گردابه‌ها به صورت ساعت‌گرد، در حالت $\alpha = 45^\circ$ زودتر با پره متخلخل تماس یافته و انتقال گرمای بیشتری، نسبت به حالت $\alpha = 135^\circ$ که این تماس دیرتر رخ می‌دهد، صورت می‌گیرد. این اثر با افزایش عدد رایلی افزایش می‌یابد. زیرا در این حالت گردابه‌ها تقویت شده و در نتیجه تاثیر تغییرات روی آن‌ها بیشتر خواهد بود.

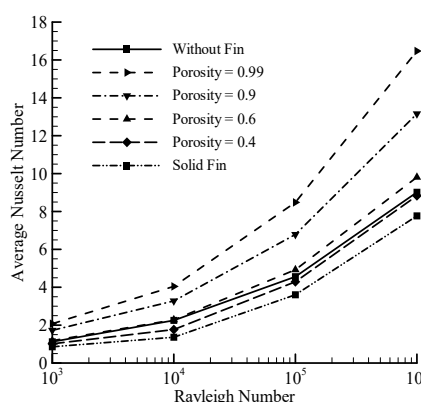
۳-۴- تاثیر میزان تخلخل پره متخلخل بر عدد نوسلت

در شکل ۷ تاثیر میزان تخلخل پره متخلخل بر عدد نوسلت، در عدد



شکل ۶- تاثیر زاویه نصب پره متخلخل روی دیواره گرم بر عدد نوسلت در اعداد رایلی مختلف ($\varepsilon = 0.9$, $S = 0.5$, $L = 0.5$) و

$$(Da = \square \square^{-\square})$$



شکل ۷- تاثیر میزان تخلخل پره متخلخل بر عدد نوسلت در اعداد

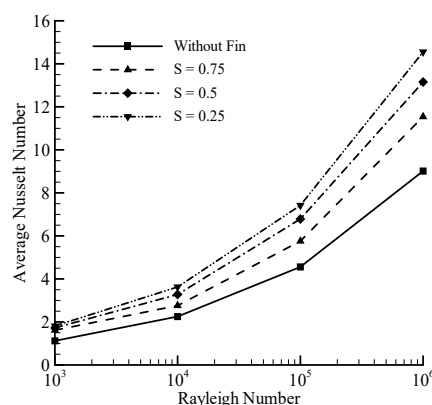
رایلی مختلف ($\alpha = 90^\circ$, $S = 0.5$, $L = 0.5$) و $(Da = \square \square^{-\square})$

دارسی $Da = 10^{-3}$ و اعداد رایلی مختلف نشان داده شده است. بدین منظور میزان تخلخل‌های ۰/۹۹ و ۰/۹ و ۰/۶ و ۰/۴ مورد مطالعه قرار

۳-۳- تاثیر زاویه نصب پره متخلخل روی دیواره گرم بر

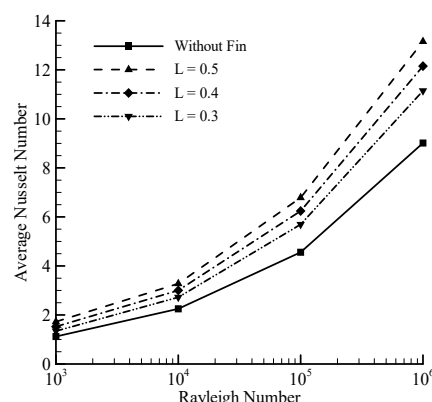
عدد نوسلت

شکل ۶ تاثیر زاویه نصب پره متخلخل روی دیواره گرم بر عدد نوسلت را در عدد دارسی $Da = 10^{-3}$ و اعداد رایلی مختلف نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که بیشترین عدد نوسلت زمانی قابل حصول است که زاویه نصب پره ۹۰ درجه باشد و هر دو حالت زاویه نصب ۴۵ و ۱۳۵ درجه اعداد نوسلت پایین‌تری را موجب می‌شوند. این پدیده با توجه به محبوس شدن گردابه کوچکتر در نزدیکی دیواره گرم و ممانعت از اختلاط گردابه‌ها و در نتیجه محبوس کردن هوای گرم در نزدیکی دیواره گرم، در حالتی که پره با زاویه ۴۵ یا ۱۳۵ درجه نصب می‌شود قابل توجیه می‌باشد. حال آنکه با نصب پره متخلخل با زاویه ۹۰ درجه چنین



شکل ۴- تاثیر محل نصب پره متخلخل روی دیواره گرم بر عدد نوسلت در اعداد رایلی مختلف ($\varepsilon = 0.9$, $\alpha = 90^\circ$, $L = 0.5$) و

$$(Da = \square \square^{-\square})$$



شکل ۵- تاثیر طول پره متخلخل بر عدد نوسلت در اعداد رایلی

مختلف ($\varepsilon = 0.9$, $\alpha = 90^\circ$, $S = 0.5$) و $(Da = \square \square^{-\square})$

موردی در گردابه‌ها مشاهده نشده و در نتیجه اختلاط بهتری صورت می‌گیرد که نتیجه آن حصول عدد نوسلت بالاتر می‌باشد. حال با مقایسه دو حالت زاویه نصب ۴۵ و ۱۳۵ درجه مشاهده می‌شود که در

گرفته اند و نتایج با حالت پره صلب و نیز محفظه بدون پره مقایسه شده است. با توجه به شکل مشاهده می شود که با افزایش میزان تخلخل، عدد نوسلت و در نتیجه میزان انتقال گرما افزایش می یابد. این پدیده بدلیل افزایش سطح تماس سیال عامل و سطح، بدلیل افزایش میزان تخلخل توجیه می شود. زیرا در تخلخل های بالا وجود پره متخلخل مانعی بر مسیر

حرکت جریان ایجاد نمی کند و امکان حرکت جریان را در تمام محفظه فراهم می کند. حال آنکه در تخلخل های پایین وجود پره متخلخل می تواند حتی باعث کمتر شدن عدد نوسلت به میزان کمتر از عدد نوسلت محفظه بدون پره باشد. زیرا در تخلخل های پایین نفوذ سیال درون سطح متخلخل کاهش یافته و منجر به کاهش عدد نوسلت می شود. این حالت در میزان تخلخل $\varepsilon = 0.4$ مشاهده می شود. بدیهی است در میزان تخلخل های کمتر از این مقدار نیز این اثر مشاهده خواهد شد تا جایی که در پره صلب که می توان آن را پره ای متخلخل با میزان تخلخل 0.1 فرض کرد کمترین میزان انتقال گرما و عدد نوسلت را شاهد می باشیم. همچنین مقایسه کلی بین حالت محفظه بدون پره و محفظه با پره صلب نشان می دهد نصب پره صلب باعث کاهش عدد نوسلت دیواره گرم می شود زیرا از طرفی مانعی در جهت حرکت گردابه ها ایجاد کرده و از اختلاط مناسب جلوگیری می کند و از طرف دیگر بدلیل نداشتن تخلخل

از مزیت سطح تماس بیشتر سیال عامل و سطح که موجب افزایش میزان انتقال گرما می شود نیز محروم می باشد. شکل ۸ و شکل ۹ به ترتیب خطوط جریان و خطوط هم دمای مربوط به نصب پره متخلخل با میزان تخلخل های مختلف در عدد دارسی $Da = 10^{-3}$ و عدد رایلی $Ra = 10^6$ را نشان می دهند. با توجه به این شکل ها نیز افزایش میزان انتقال گرما با افزایش میزان تخلخل قابل توجیه است. همان گونه که در این شکل ها نیز مشاهده می شود در تخلخل های بالا وجود پره متخلخل مانعی بر مسیر حرکت جریان ایجاد نمی کند و بدلیل وجود تخلخل درون پره، امکان حرکت جریان را در تمام محفظه فراهم می کند و به همین دلیل سبب اختلاط کامل جریان و در نتیجه افزایش میزان انتقال گرما می شود. در حالی که در تخلخل های پایین، پره متخلخل با ایجاد مانع در مسیر حرکت جریان و جلوگیری از اختلاط مناسب جریان و نیز جلوگیری از نفوذ جریان درون پره بدلیل تخلخل پایین، باعث کاهش میزان انتقال حرارت و عدد نوسلت می گردد.

۴- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر تاثیر نصب پره متخلخل بر روی دیواره گرم درون محفظه بسته مربعی بر روی انتقال گرمای جابه جایی آزاد مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می دهد که نصب پره متخلخل روی دیواره گرم باعث افزایش عدد نوسلت نسبت به حالت پره صلب و محفظه بدون پره می شود. مطالعات در مورد محل نصب پره متخلخل روی دیواره گرم نشان می دهد که نصب پره در نزدیکی دیواره پایینی باعث افزایش بیشتر عدد نوسلت نسبت به نصب آن در نزدیکی دیواره بالایی می شود. همچنین نتایج نشان می دهد که افزایش طول پره متخلخل در محدوده مورد مطالعه، موجب افزایش میزان انتقال گرما و در نتیجه افزایش عدد نوسلت می گردد. در خصوص زاویه نصب پره

بیشترین عدد نوسلت زمانی قابل حصول است که پره به صورت عمود روی دیواره گرم نصب باشد. همچنین نتایج در خصوص تاثیر میزان تخلخل بر عدد نوسلت، نشان می دهد که افزایش میزان تخلخل پره متخلخل موجب افزایش عدد نوسلت و بالا رفتن آهنگ انتقال حرارت می گردد.

۵- نمادها

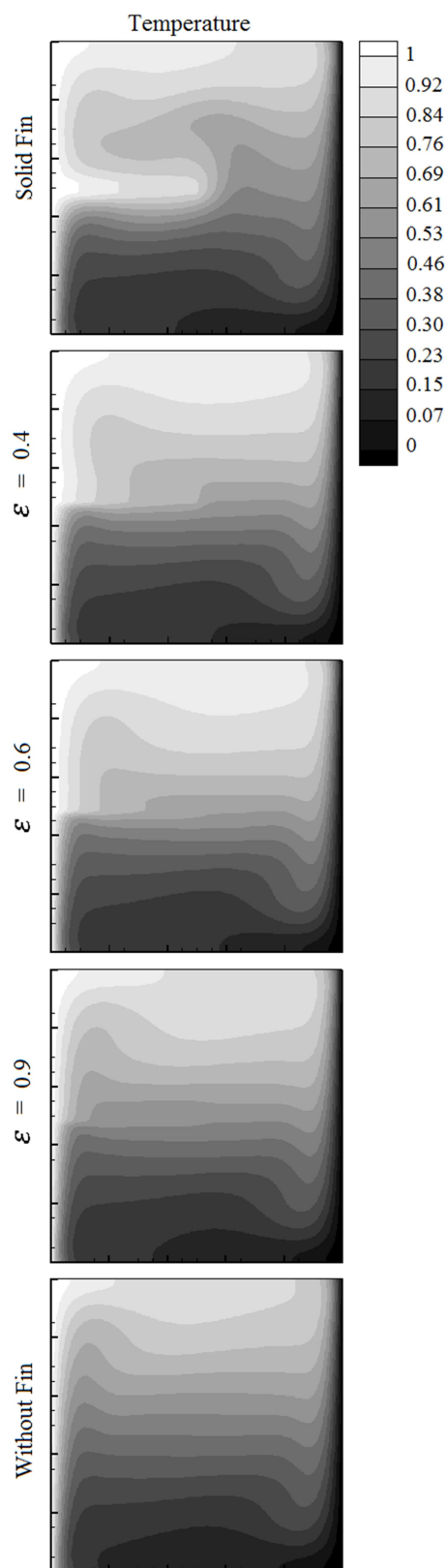
C	گرمایی در فشار ثابت ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
Da	عدد دارسی
H	ارتفاع محفظه (m)
K	رسانندگی گرمایی ($Wm^{-1}K^{-1}$)
L	طول بی بعد پره متخلخل
l_f	طول پره متخلخل (m)
Nu	عدد نوسلت
P	فشار ($kgm^{-1}s^{-2}$)
Pr	عدد پرانتل
Ra	عدد رایلی
s	فاصله عمودی محل نصب پره متخلخل روی دیواره گرم (m)
S	فاصله عمودی بی بعد محل نصب پره متخلخل روی دیواره گرم
T	دما (K)
u	مولفه سرعت در جهت x (ms^{-1})
v	مولفه سرعت در جهت y (ms^{-1})

علائم یونانی

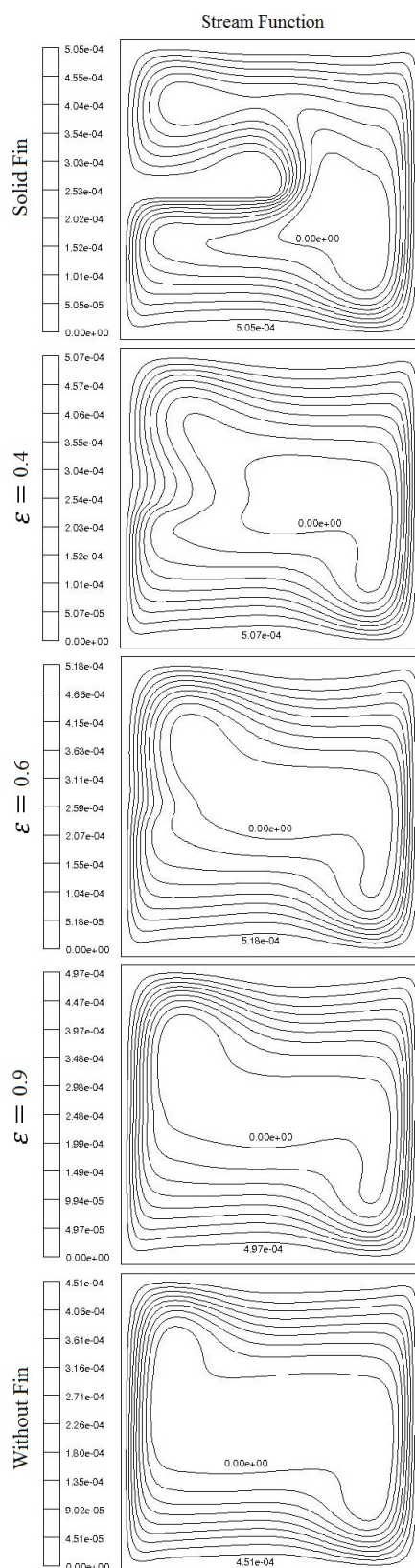
α	زاویه نصب پره متخلخل
β	انبساط حرارتی (K^{-1})
ε	تخلخل
θ	دمای بی بعد
μ	لزجت دینامیکی ($kgm^{-1}s^{-1}$)
ρ	چگالی (kgm^{-3})

زیر نویس ها

c	سرد
eff	موثر
f	سیال
h	گرم
s	جامد



شكل ٩- خطوط همدمای پره متخلخل با میزان تخلخل‌های مختلف
($Ra = 10^4$ و $Da = 10^{-2}$ ، $\alpha = 90^\circ$ ، $S = 0.5$ ، $L = 0.5$)



شكل ٨- خطوط جریان، پره متخلخل با میزان تخلخل‌های مختلف
($Ra = 10^4$ و $Da = 10^{-2}$ ، $\alpha = 90^\circ$ ، $S = 0.5$ ، $L = 0.5$)

۶- مراجع

- [1] Shi X., Khodadadi J.M., Laminar natural convection heat transfer in a differentially heated square cavity due to a thin fin on the hot wall, *ASME Journal of Heat Transfer* 125 , pp. 623-634, 2003.
- [2] Bilgen E., Natural Convection in Cavities with a Thin Fin on the Hot Wall, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 48, pp. 3493-3505, 2005.
- [3] Ambarita H., Kishinami K., Daimaruya M., Saitoh T., H. Takahashi, J. Suzuki, Laminar Natural Convection Heat Transfer in an Air Filled Square Cavity with Two Insulated Baffles Attached to its Horizontal Walls, *Thermal Science & Engineering*, Vol. 14 No. 3, pp. 35-46, 2006.
- [4] Ben-Nakhi A., Chamkha A.J., Conjugate Natural Convection in a Square Enclosure with Inclined Thin Fin of Arbitrary Length, *International Journal of Thermal Sciences* 46, pp. 467-478, 2007.
- [5] Habibzadeh A., Zehforoosh A., Khojaste A., Study of Heat Transfer in a Baffled Cavity Using Nanofluid, *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 7 (3): 16-20, 2013.
- [6] Haghighi A., Vafai K., Optimal positioning of strips for heat transfer reduction within an enclosure, *Numerical Heat Transfer Part A*, Vol. 66, pp. 17-40, 2014.
- [7] Nield D., Bejan A., *Convection in Porous Media*, Third Edition, New York: Springer, 2006.
- [8] Vafai K., *Porous Media: Applications in Biological Systems and Biotechnology*, New York CRC Press, 2010.
- [9] Youchison D. L., Williams B. E., Benander R. E., *Porous nuclear fuel element for high-temperature gas-cooled nuclear reactors*, Patent No.: US 7,889,146 B1, Date of Patent: Mar. 1, 2011.
- [10] Beckermann C., Ramadhyani S., Viskanta R., Natural Convection Flow and Heat Transfer Between a Fluid Layer and a Porous Layer Inside a Rectangular Enclosure, *ASME, Journal of Heat Transfer*, Vol. 109, pp. 363-370, 1987.
- [11] Mealey L. R., Merkin J. H., Steady finite Rayleigh number convective flows in a porous medium with internal heat generation, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 48, Issue 6, pp. 1068-1080, 2009.
- [12] Tahmasebi Kohyani M., Ghasemi B., Pasandideh Fard A., Heat generation effects on natural convection in porous cavity with different walls temperature, *Frontiers in Heat and Mass Transfer (FHMT)*, Vol. 3, pp. 274-287, 2012.

[۱۳] زهفروش آ، حسین پور س، اثر خواص ماتریس متخلخل بر تولید حرارت داخلی درون محفظه اشباع شده با نانو سیال آب-مس، *مجله مهندسی مکانیک مدرس*، دوره ۱۴، شماره ۱۶، ص ۳۴-۴۴، ۱۳۹۳.

[۱۴] یاسر جعفری، محمد طیبی رهنی، آرمن آدامیان، بررسی انتقال گرمای جابجایی طبیعی نانوسیال در محیط متخلخل با شبیه‌سازی عددی شبکه بولتزمن، *چهاردهمین کنفرانس بین المللی انجمن هوافضای ایران*، تهران، ایران، اسفند ۱۳۹۳.

Bin Kim G., Min Hyun J., Sang Kwak H., Buoyant convection in a square cavity partially filled with a heat-generating porous medium, *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol. 40, pp. 601- 618, 2001.