



حل عددی تاثیر چیدمان منابع حرارتی و ضریب پاور لابر انتقال حرارت جابه جایی طبیعی سیالات غیر نیوتنی

امیرحسین شکوهی بافقی^۱، امیرحسین نگهی^۲، محمدطاهر حرزاده^۳^۱کارشناس ارشد مکانیک/ دانشگاه یزد / amirkhansh@yahoo.com^۲کارشناس ارشد مکانیک / دانشگاه یزد / amir_ne69@yahoo.com^۳کارشناس ارشد نرم افزار/ دانشگاه بهمنیار کرمان / horzade@gmail.com

چکیده

در این تحقیق تاثیر چیدمان سه قطعه گرمای دما ثابت (T_h)، بر نرخ انتقال حرارت جابه جایی طبیعی از یک محفظه مربعی سرد (T_c) پر شده از سیال غیر نیوتنی مدل تابع نمایی، بررسی شده است. معادلات حاکم برای سیال غیر نیوتنی مدل تابع نمایی به روش تفاضل محدود بر مبنای حجم کنترل جبری شده و با استفاده از الگوریتم سیمپل به طور همزمان حل شده اند. با ثابت در نظر گرفتن ابعاد قطعات و محفظه، اثر تغییر آرایش قطعات گرمازا (F ، A ، B ، C ، D ، E) و ضریب پاور لابر ($0.6 \leq n \leq 1.4$) بر روی نرخ انتقال حرارت بررسی و نتایج در قالب نمودارهای ناسلت ارائه شده است. نتایج نشان می دهد با افزایش و ضریب پاور لابر (n) نرخ انتقال حرارت از قطعات گرمازا کاهش می یابد و برای افزایش انتقال حرارت از یک قطعه گرمازا در حضور سیالات دایلاتنت ($n > 1$) باید آن را دور از دیوارهای محفظه و در حضور سیالات نیوتنی ($n = 1$) و شبیه پلاستیک ($n < 1$) با دید در نزدیکی دیوارهای محفظه قرار داد. همچنین در بین شش آرایش بررسی شده برای سه قطعه گرمازا در این تحقیق، مشخص شد که آرایش های عمودی (A) و افقی (B) کمترین نرخ انتقال حرارت و آرایش E (دو قطعه پایین و یک قطعه مرکز محفظه) دارای بیشترین نرخ انتقال حرارت می باشد.

واژه های کلیدی

جابه جایی طبیعی، محفظه، غیر نیوتنی، قطعه گرمازا.

مقدمه

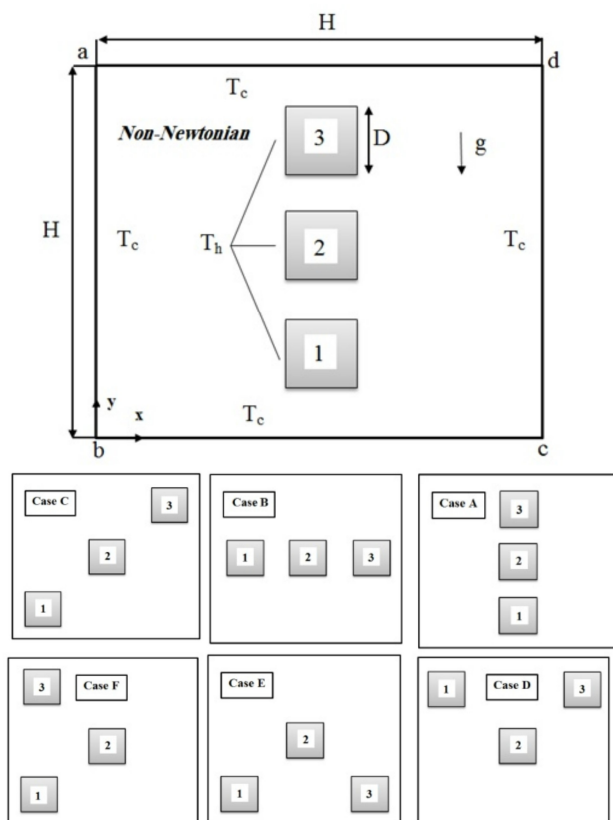
جابه جایی طبیعی یکی از مکانیزم های انتقال حرارت سیال است و زمانی روی می دهد که یک نیروی حجمی به واسطه وجود اختلاف چگالی ناشی از اختلاف دما در سیال به آن اعمال شود. اگر چه آهنگ انتقال گرمای جابه جایی طبیعی کمتر از میزان آن برای جابه جایی اجباری است ولی در محفظه های بسته جا به جایی طبیعی مکانیزم اصلی انتقال حرارت محسوب می شود.

سیال موجود در محفظه ها را گاهی اوقات می توان نیوتنی فرض کرد اما در بسیاری از سیستم های طبیعی یا مصنوعی، سیال رفتار

غیر نیوتنی دارد. سیالات با اهمیت زیاد در کاربردهای مهندسی، از قبیل نانو سیال ها، پلیمرهای جذاب، رنگ ها، مواد غذایی، جوهرها، مواد آلی، چسب ها و غیره، همگی ممکن است قویا رفتار غیر نیوتنی از خود نشان دهند. از این رو مطالعه جابه جایی طبیعی سیالات غیر نیوتنی به دلیل کاربرد وسیع در فرآوری مواد غذایی، حفاری نفت، تهویه مطبوع، کالکتورهای خورشیدی رشد کریستال، انتقال حرارت در مبدل های گرمایی، ذخیره سازی حبوبات و غلات، ذخیره سازی زباله های هسته ای و طراحی بهینه کوره ها از اهمیت به سزایی برخوردار است. در سال های اخیر مطالعه در مورد انتقال حرارت طبیعی در محفظه های دارای مانع مورد توجه محققان واقع شده است. به عنوان مثال، برای رفع گرمای تولید شده از المان های یک برد مدار الکترونیک می توان از جابه جایی طبیعی بهره برد و با بررسی چیدمان های مختلف المان ها میزان انتقال حرارت آنها را افزایش داد.

یوسل وازدم [1] مطالعاتی را بر روی جابه جایی طبیعی در محفظه های مربعی دارای مانع انجام داده اند. بدین منظور محفظه ای با دیواره های افقی عایق، و دیواره های جانبی در دو دمای مختلف با چند مانع بر روی دیواره پایینی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که تغییر عدد رایلی و افزایش ارتفاع و تعداد مانع ها، منجر به تغییرات قابل ملاحظه ای در عدد ناسلت متوسط می شود. فردریک [2] جابه جایی طبیعی در یک محفظه مربعی مورب دارای یک مانع روی دیواره سرد را بررسی نمود. وی نشان داد که مانع، انتقال حرارت در محفظه را نسبت به محفظه ساده در یک عدد رایلی ثابت، به میزان 47% کاهش می دهد. کانداس - وامی و همکارانش [3] جابه جایی طبیعی هوا در یک محفظه مربعی را به روش عددی بررسی کردند. درون محفظه دو مانع گرم نازک عمود بر هم قرار داشت و دمای دیواره های محفظه پایین تر از دمای مانع ها بود. نتایج آنها نشان داد که افزایش طول مانع عمودی سبب افزایش نرخ انتقال حرارت می شود و افزایش طول مانع افقی فقط در صورتی که این مانع در پایین مرکز محفظه قرار داشته باشد، نرخ انتقال حرارت را افزایش می دهد. نعمت الهی و قاسمی [4] در تحقیقی دیگر به بررسی اثر آرایش چهار قطعه گرمای دما ثابت بر نرخ انتقال حرارت

نمایی باشد. درون محفظه سه قطعه گرمازا در دمای ثابت T_h (گرم) قرار گرفته است. می توان مطابق شکل (1)، شش آرایش مختلف قطعات گرمازا یعنی عمودی (A)، افقی (B)، قطری (C)، مثلثی قاعده بالا (D)، مثلثی قاعده پایین (E)، مثلثی قاعده سمت چپ (F) را در نظر گرفت. در همه آرایش ها نسبت H/D (نسبت ارتفاع محفظه به ضلع قطعه گرمازا) برابر 5 است و فاصله مابین قطعات گرم و فاصله قطعات نزدیک به دیواره های محفظه تا دیواره برابر $0.1H$ می باشد. به غیر از دانسیته سیال که با دما تغییر می کند و با استفاده از تقریب بوزینسک مدل می شود و لزجت سیال که تابع نرخ برش است، مابقی خواص سیال ثابت فرض شده اند. با توجه به این که لزجت سیالات غیرنیوتنی تابع نرخ برش است و محدوده تغییرات آن وسیع است، عدد پرانتل نیز، مقدار ثابتی نیست. با توجه به اینکه سیالات غیرنیوتنی مورد استفاده در صنعت معمولاً دارای عدد پرانتل بزرگی هستند در این تحقیق عدد پرانتل 100 فرض شده است. جریان جابه جایی آزاد ایجاد شده در داخل محفظه آرام، دائمی و تراکم ناپذیر فرض می شود و هدف این تحقیق بررسی عددی انتقال حرارت ناشی از جابه جایی طبیعی سیال غیرنیوتنی درون محفظه می باشد و اثر نوع چیدمان منابع گرمازا و ضریب پاورلا بر روی نرخ انتقال حرارت بررسی می شود. در این تحقیق برای بررسی همزمان تأثیر مکانیزم هدایت و جابه جایی سیال غیرنیوتنی عدد رایلی ثابت و برابر $Ra = 10^5$ فرض شده است.



از یک محفظه مربعی پرداخته اند. آنها با ثابت در نظر گرفتن ابعاد قطعات و محفظه اثر تغییر آرایش قطعات گرمازا بر روی پارامترهای میدان جریان و دما و میزان انتقال حرارت در اعداد رایلی مختلف مورد مطالعه قرار داده اند. در بین پنج آرایش بررسی شده در این تحقیق مشخص شد که آرایش های افقی و عمودی، کمترین نرخ انتقال حرارت و آرایش مربعی دارای بیشترین نرخ انتقال حرارت می باشد. تعدادی از محققین به بررسی انتقال حرارت سیالات غیرنیوتنی درون محفظه های بسته پرداخته اند که در هیچ کدام از آن ها اثر قطعه گرمازا بررسی نشده است. از جمله کیم و همکارانش [5] انتقال حرارت طبیعی سیال غیرنیوتنی را در محفظه دو بعدی مربعی بررسی کردند. سیال غیرنیوتنی با اندیس n و ضریب همسانی k اختیار شده بود. جریان از حالت ساکن و دمای اولیه T_0 با افزایش ناگهانی دما در یکی از دیواره های عمودی و کاهش دما در دیواره عمودی مقابل شروع می شود. دیواره های افقی عایق بودند. مطالعه آنها برای محدوده ای از عدد رایلی 10^5 تا 10^7 و برای عددهای پرانتل بزرگ حاکی از آن بود که میانگین عدد ناسلت با کاهش توان n برای مقادیر مشخص رایلی و پرانتل، افزایش پیدا می کند. لام سادی و همکارانش [6] به بررسی جابه جایی طبیعی پایای سیال غیرنیوتنی مدل تابع نمایی در یک شکاف مستطیلی مایل به روش عددی پرداخته اند. در این تحقیق دیواره های کناری محفظه توسط یک شار حرارتی ثابت گرم و سرد می شدند و دو دیواره دیگر عایق شده بودند. آن ها دریافتند که به ازای یک عدد رایلی مشخص، چرخش محفظه اثر چشمگیری روی نرخ انتقال حرارت دارد. بیشترین مقدار انتقال حرارت وقتی روی داد که محفظه از زیر گرم می شد. اثر چرخش محفظه با کاهش شاخص تابع نمایی بیشتر می شد. با مروری بر تحقیقات صورت گرفته مشخص شد که تاکنون هیچ گونه تحقیقی در زمینه بررسی تأثیر چیدمان منابع گرمازا بر انتقال حرارت سیال غیرنیوتنی داخل محفظه صورت نگرفته است. در تحقیقات گذشته تأثیر چیدمان منابع گرمازا برای سیالات نیوتنی انجام شده و در تحقیقات در زمینه سیالات غیرنیوتنی محفظه تأثیر چیدمان منابع گرمازا بررسی نشده است که در تحقیق حاضر این خلأها پر شده است. نتایج حاصله از این مطالعه می تواند در طراحی بهینه آرایش قطعات الکترونیکی (منابع گرمازا تحقیق حاضر) مانند میکروپروسسورها، آی - سی ها و قطعات گرما ساز در کامپیوترهای قابل حمل برای بهتر خنک شدن با استفاده از سیال خنک کننده غیرنیوتنی که لزجت آن تابع نرخ برش است، در فضای محفظه دستگاه راه گشا باشد.

بیان مسئله

محفظه دو بعدی شکل "1" را در نظر می گیریم که دمای کلیه سطوح آن T_c ثابت (سرد) و پر شده از سیال غیرنیوتنی مدل تابع



$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + 2Pr \frac{\partial}{\partial X} \left(\mu_a^* \left(\frac{\partial U}{\partial X} \right) \right) + Pr \left[\frac{\partial}{\partial Y} \left(\mu_a^* \left(\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right) \right] \quad (9)$$

شکل ۱ هندسه تحقیق حاضر برای آرایش های مختلف (حالت های A,B,C,D,E,F)

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + Pr \frac{\partial}{\partial X} \left(\mu_a^* \left(\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right) + 2Pr \frac{\partial}{\partial Y} \left(\mu_a^* \frac{\partial V}{\partial Y} \right) + RaPr\theta \quad (10)$$

معادلات حاکم

با توجه به فرضیات بیان شدن معادلات بقای جرم، مومنتوم و انرژی برای مسئله ی مورد نظر به صورت روابط (1) تا (4) خواهند بود.

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad (11)$$

در معادلات بی بعد مومنتوم، μ_a^* لزجت ظاهری بی بعد که با استفاده از رابطه (12) محاسبه می شود.

$$\mu_a^* = \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial U}{\partial X} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial Y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial V}{\partial X} + \frac{\partial U}{\partial Y} \right)^2 \right\}^{\frac{n-1}{2}} \quad (12)$$

پارامترهای بی بعد شرایط مرزی هیدرودینامیک شامل شرط عدم لغزش برای کلیه دیوارها ($U = V = 0$)، $\theta = 1$ ، برای قطعات گرمزا و $\theta = 0$ برای دیوارهای محفظه قابل بیان هستند. پس از حل معادلات حاکم به همراه شرایط مرزی، عدد نوسلت موضعی روی دیوار را به عنوان معیاری از نرخ انتقال حرارت به صورت رابطه (13) می توان تعریف کرد.

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (13)$$

در رابطه (13) ضریب انتقال حرارت جابجایی است و برابر است با:

$$h = \frac{q''}{(T_h - T_c)} = \frac{-k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=1}}{(T_h - T_c)} \quad (14)$$

پس از استفاده از پارامترهای بی بعد و ساده سازی به عنوان مثال، عدد ناسلت موضعی روی دیواره پایینی محفظه از رابطه (15) به دست می آید.

$$Nu = - \left(\frac{\partial \theta}{\partial Y} \right)_{Y=0} \quad (15)$$

عدد نوسلت متوسط با انتگرال گیری از عدد نوسلت موضعی بر روی دیوار از رابطه (16) قابل محاسبه است.

$$Nu_m = - \int_0^1 \left(\frac{\partial \theta}{\partial Y} \right)_{Y=0} dX \quad (16)$$

روش عددی

برای انجام حل عددی، معادلات دیفراسل حاکم باید به معادلات جبری تبدیل شوند. برای این منظور معادلات بی بعد (8) تا (11) به همراه شرایط مرزی مربوط به روش اختلاف محدود بر مبنای حجم کنترل گسسته سازی شدند. و جملات جابه جایی نفوذ با استفاده از روش توان پیرو تقریب زده شدند. میدان حل با استفاده از یک شبکه یکنواخت جا به جا شده شبکه بندی شد. برای حل هم زمان معادلات جبری شده از الگوریتم سیمپل استفاده شده است.

با توجه به الگوریتم حل بر روش تکرار استوار است از معیار همگرایی رابطه (17) استفاده شده است.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \right) + g\beta[T - T_c] \quad (3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

برای سیال غیر نیوتنی که از مدل تابع نمایی پیروی می کند، تانسور تنش برشی توسط رابطه (5) بیان می شود.

$$\tau_{ij} = 2\mu_a D_{ij} = \mu_a \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (5)$$

در رابطه (5) D_{ij} نرخ تانسور برشی در مختصات کارتزین دو بعدی است و μ_a لزجت ظاهری سیال غیرنیوتنی است که در مختصات کارتزین دو بعدی از رابطه (6) به دست می آید.

$$\mu_a = K \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right\}^{\frac{n-1}{2}} \quad (6)$$

در رابطه (6)، K و n ثابت های مدل تابع نمایی هستند. K ضریب سازگاری و n شاخص تابع نمایی است. برای سیالات دایلاننت $n > 1$ و برای سیالات شبه پلاستیک $n < 1$ است در حالی که $n = 1$ معرف سیالات نیوتنی است.

برای بی بعد کردن معادلات حاکم از پارامترهای بی بعد ارائه شده در رابطه (7) استفاده می شود.

$$X = \frac{x}{L}, Y = \frac{y}{L}, U = \frac{uL}{\alpha}, V = \frac{vL}{\alpha}, P = \frac{\rho L^2}{\rho \alpha^2} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \\ \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, Ra = \frac{g\beta(T_h - T_c)L^{2n+1}}{\alpha^n K / \rho}, Pr = \frac{KL^{2n-1}}{\rho \alpha^{2-n}} \quad (7)$$

با استفاده از پارامترهای بی بعد ارائه شده در رابطه (7)، معادلات بدون بعد حاکم بر مسئله عبارتند از:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (8)$$

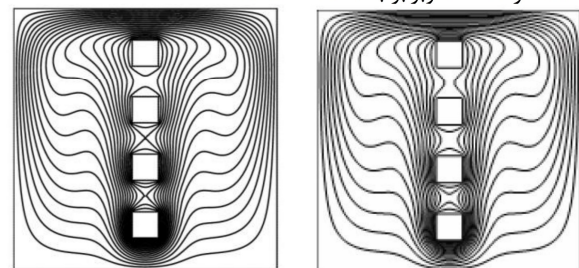
(17)

$$\sum_j \sum_i \left| \frac{\varphi^{m+1} - \varphi^m}{\varphi^m} \right|_{i,j} \leq 10^{-7}$$

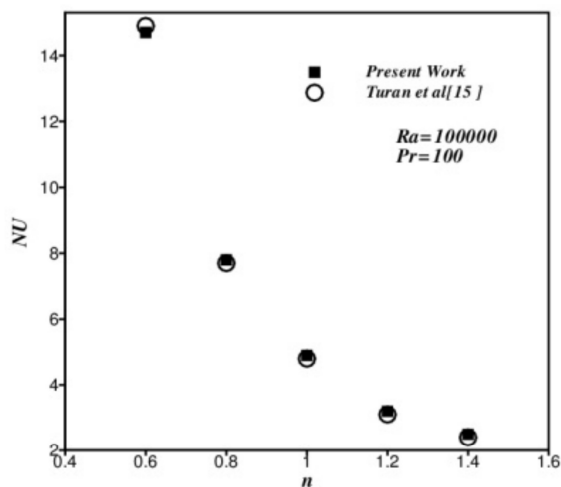
در رابطه (17) φ معرف متغیر عمومی (U, V, θ) است و m تعداد تکرارها است.

استقلال شبکه

از آنجائی که نتایج حاصل از حل نباید وابسته به تعداد نقاط شبکه باشد، به عنوان نمونه مطالعه استقلال حل از شبکه برای چیدمان $n = 0.8$ ، F است. با توجه به شکل "2" دیده می شود که برای شبکه با تعداد نقاط بیشتر از 100×100 مقادیر سرعت عمودی بی بعد جریان روی خط $Y=0.5$ تغییر قابل ملاحظه ای نمی کند. بنابراین برای حل عددی از شبکه 100×100 استفاده شد.



شکل ۳ مقایسه کانتوردمای تحقیق حاضر (چپ) و مرجع [7] (راست)

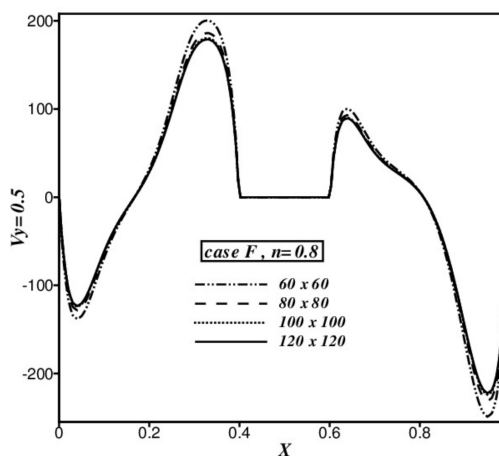


شکل ۴ مقایسه عددناستل تحقیق حاضر و مرجع [4]

نمودارهای ناسلت موضعی

برای درک بهتر چگونگی انتقال حرارت دیوارهای محفظه سرد نمودارهای ناسلت موضعی دیوارهای محفظه برای چیدمان های مختلف منابع گرمازا و شاخص های تابع نمایی متفاوت در شکل "5" نشان داده شده است.

(۱) در همه ی چیدمان ها میزان انتقال حرارت دیوارهای محفظه با افزایش ضریب پاورلا (n) به علت افزایش لزجت ظاهری سیال و کاهش سرعت جریان سیال، کاهش می یابد.



شکل ۲ بررسی استقلال شبکه برای چیدمان $n=0.8, F$

اعتبار سنجی

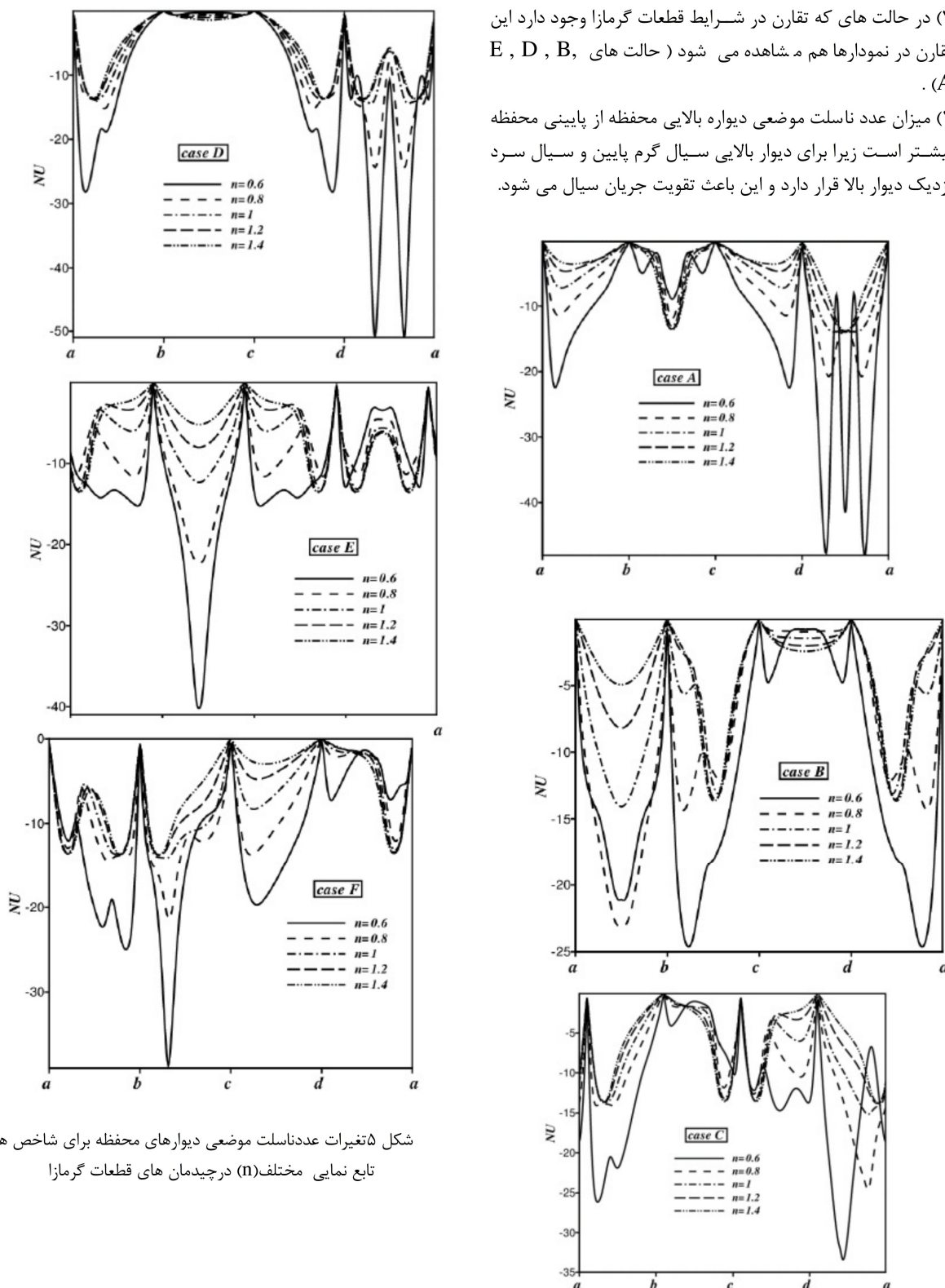
به منظور اعتبار سنجی نتایج برنامه کامپیوتری تهیه شده، دو شبیه سازی انجام و نتایج حاصل از آن با نتایج ارائه شده در مراجع مقایسه شد.

در مسأله اول، جابه جایی طبیعی درون محفظه مربعی شکل با حضور چهار قطعه گرمازا شبیه سازی شده است. محفظه دارای دمای سرد (T_c) و چهار قطعه گرمازا در دمای گرم (T_h) قرار گرفته و درون محفظه سیال نیوتنی با $Pr = 0.71$ پر شده است. در شکل "3" خطوط دمای برنامه حاضر با مقاله نعمت الهی و قاسمی [4] برای $Ra = 10^5$ مقایسه شده است. مشاهده می شود که برنامه حاضر از دقت بالایی در شبیه سازی مسائل جابه جایی طبیعی در حضور قطعات گرمازا دارد.

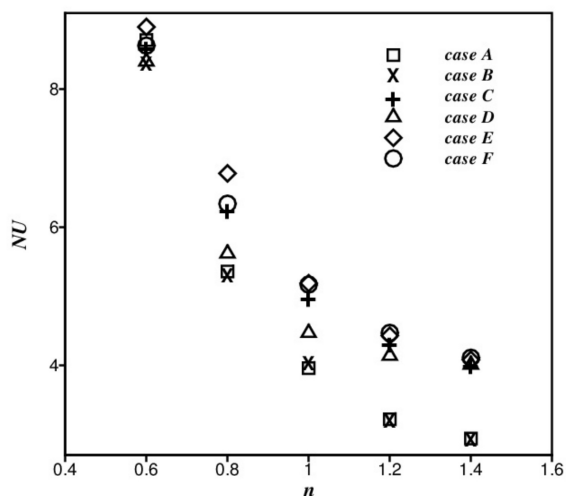
۲) در نقاطی از نمودارها که عدد ناسلت افزایش ناگهانی دارد از نزدیکی قطعات گرمازا به دیوارهای محفظه و غالب شدن مکانیزم انتقال حرارت هدایت، حکایت می کند.

۳) در حالت های که تقارن در شرایط قطعات گرمازا وجود دارد این تقارن در نمودارها هم مشاهده می شود (حالت های E, D, B, A).

۴) میزان عدد ناسلت موضعی دیواره بالایی محفظه از پایینی محفظه بیشتر است زیرا برای دیوار بالایی سیال گرم پایین و سیال سرد نزدیک دیوار بالا قرار دارد و این باعث تقویت جریان سیال می شود.



شکل ۵ تغییرات عدد ناسلت موضعی دیوارهای محفظه برای شاخص های تابع نمایی مختلف (n) در چیدمان های قطعات گرمازا



شکل ۶ عدد ناسلت مقاطع گرم‌مازا (بالا) و دیوارهای محفظه (پایین) برای ضرایب پورلا مختلف (n) در چیدمان‌های مقاطع گرم‌مازا

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر آرایش سه قطعه گرم‌مازا ثابت (T_h) (حالت های A, B, C, D, E, F) و ضرایب پورلا $0.6 \leq n \leq 1.4$ بر روی میدان‌های جریان و دما و نرخ انتقال حرارت جابه‌جایی طبیعی از یک محفظه مربعی سرد (T_c) پر شده از سیال غیرنیوتنی مدل تابع نمایی بررسی و نتایج در قالب نمودارهای ناسلت متوسط و موضعی ارائه شد. براساس نتایج بدست آمده، نتیجه‌گیری می‌شود که:

(۱) برای افزایش انتقال حرارت از یک قطعه گرم‌مازا در حضور سیالات دایلاتنت ($n > 1$) باید آن را دور از دیوارهای محفظه و در حضور سیالات نیوتنی ($n = 1$) و شبه پلاستیک ($n < 1$) باید در نزدیکی دیوارهای محفظه قرار داد.

(۲) کاهش ضریب پورلا (n)، سبب کاهش لزجت ظاهری سیال شده و جابه‌جایی طبیعی در داخل محفظه را تقویت می‌کند. این سبب افزایش سرعت جریان و نرخ انتقال حرارت از مقاطع گرم‌مازا می‌شود.

(۳) عدد ناسلت متوسط برای سیالات شبه پلاستیک نسبت به سیال نیوتنی افزایش و برای سیالات دایلاتنت نسبت به سیال نیوتنی کاهش می‌یابد.

(۴) آرایش‌های عمودی (A) و افقی (B) دارای کمترین نرخ انتقال حرارت و در مقابل آرایش E (دو قطعه پایین و یک قطعه مرکز محفظه) دارای بیشترین نرخ انتقال حرارت می‌باشد.

(۵) با مقایسه آرایش‌های مختلف چیدمان منابع گرم‌مازا در حضور سه قطعه می‌توان به این نکته عمومی رسید (برای تعداد بیشتر مقاطع گرم‌مازا) صرف نظر از نوع سیال هرچقدر تعداد مقاطع گرم‌مازا پایین

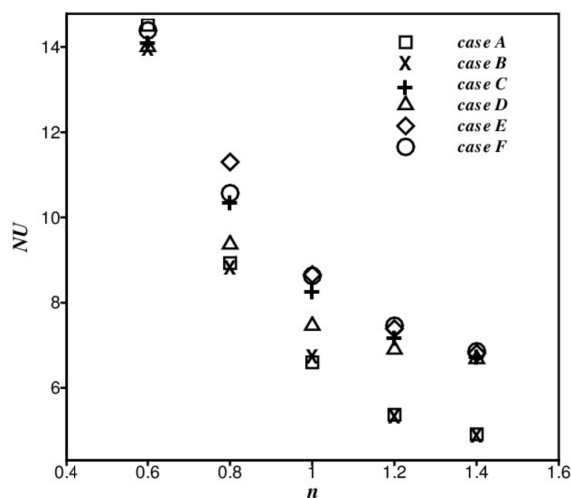
عدد ناسلت متوسط مقاطع گرم‌مازا و دیوارهای محفظه

برای مقایسه میزان انتقال حرارت از مقاطع گرم‌مازا و دیوارهای محفظه در چیدمان‌های مختلف، عدد ناسلت متوسط آنها به ترتیب در شکل‌های " 6- بالا و 6- پایین " نشان داده شده است.

(۱) چیدمان‌های عمودی (A) و افقی (B) منابع گرم‌مازا به علت قرار نگرفتن مقاطع در گوشه‌های محفظه، در قسمت‌هایی از محفظه سیال تقریباً ساکن مانده است به همین دلیل حرارت به خوبی از مقاطع به دیوارها منتقل نمی‌شود بنابراین دارای کمترین عدد ناسلت در ضرایب پورلا (n) مختلف هستند.

(۲) با مقایسه چیدمان‌های C, D, E, F می‌توان به این نکته رسید که هرچقدر تعداد مقاطع گرم‌مازا پایین محفظه بیشتر باشد سیال اطراف آن چیدمان راحت‌تر جریان یافته و حرارت بیشتری منتقل می‌شود مثلاً چیدمان E دارای دو قطعه گرم‌مازا در پایین دارای بیشترین عدد ناسلت و چیدمان‌های C, F دارای یک قطعه گرم‌مازا در پایین در مرتبه بعدی و در چیدمان D که هیچ قطعه‌ای در پایین محفظه قرار ندارد، دارای کمترین انتقال حرارت است.

(۳) در همه‌ی چیدمان‌های مقاطع با افزایش n میزان انتقال حرارت برای مقاطع گرم‌مازا و دیوارهای محفظه کاهش می‌یابد و علت آن افزایش لزجت ظاهری سیال غیرنیوتنی و کاهش سرعت جریان سیال است.





محفظه، بیشتر باشد سیال در اطراف آن چیدمان بهتر جریان می یابد در نتیجه انتقال حرارت افزایش می یابد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق را تقدیم میکنم به همسرم سرکار خانم دکترایاز و فرزندانم سروش و سلما.

مراجع

- [1] Yucel, N., Ozdem A., 2003. *Natural convection in partially divided square enclosures*, *Heat and Mass Transfer*, Vol. 40, issue. 1, pp. 167-175.
- [2] Fredrick, R., 1989. "Natural convection in an inclined square enclosure with a partition attached to its cold wall", *International Journal of Heat and Mass*, Vol. 32, issue .1, pp. 87-94.
- [3] Kandaswamy, P., Lee, J., AbdulHakeem, A.K., Saravanan, S., 2008. "Effect of baffle-Cavity ratios on buoyancy convection in cavity with mutually orthogonal heated baffles", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, pp. 1830-183.
- [4] Nematollahi, M.S., Ghasemi, B., 2008., "The impact of arrangement of four heat sources on natural convection in a cavity", *In the 16th Annual International Conference on Mechanical Engineering-ISME, kerman, iran.*
- [5] Kim, G., Hyun, J. M. Kwak, H. S., 2003. , "Transient buoyant convection of a power-law non-Newtonian fluid in an enclosure", *Heat and Mass Transfer*, vol. 46, issue. 19, pp. 3605-3617.
- [6] Lamsaadi, M., Naimi, M., Hasnaoui, M., 2006. "Natural Convection in Tilted Rectangular Slot Containing Non-Newtonian Power-Law Fluids And Subject to Longitudinal Thermal Gradient", *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, Vol. 50, pp. 561-583.
- [7] Turan, O., Sachdeva, A., N., Chakraborty, R., Poole, J., 2011. "Laminar natural Convection of power-law fluid in square enclosure with differentially Heated side walls subjected to constant temperatures", *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, Vol. 166, pp. 1049-1063.