

ماهنامه علمى پژوهشى

مکانیک مدرس



اثر یک جفت مانع دما ثابت بر جابجایی طبیعی سیالات غیرنیوتنی در یک محفظه مربعی

افراسىياب رئيسىي

استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد * شهرکرد، صندوق پستی raisi@eng.sku.ac.ir ،115

چکیدہ	اطلاعات مقاله
در این تحقیق، انتقال حرارت جابجایی طبیعی در یک محفظه مربعی پر شده از سیال غیرنیوتنی مدل تابع نمایی با وجود یک جفت مانع دما ثابت که به صورت افقی بر روی دیوار عمودی محفظه نصب شدهاند، بررسی شده است. دیوار سمت چپ به همراه مانعهای نصب شده بر روی آن در دمای ثابت T _h و دیوار سمت راست در دمای ثابت T _c قرار دارند. دیوارهای افقی محفظه عایق شدهاند. معادلات حاکم برای سیال غیر نیوتنی	مقاله پژوهشی کامل دریافت: 15 مرداد 1394 پذیرش: 31 شهریور 1394 ارائه در سایت: 66 آبان 1394
مدل تابع نمایی به روش تفاضل محدود بر مبنای حجم کنترل جبری شده و با استفاده از الگوریتم سیمپل به طور همزمان حل شدهاند. تأثیر	کلید واژگان:
پارامترهای مربوطه مانند عدد رایلی $B^{\circ} \leq Ra \leq 10^{3}$ ، شاخص تابع نمایی $n \leq n \leq 1.4$ طول مانعها $B \leq 0.5 \leq B \leq 0$ و فاصلهی مانعها از	جابجايي طبيعي
یکدیگر D ≤ D ≤ D بر روی میدانهای جریان و دما و نرخ انتقال حرارت بررسی شده است. نتایج نشان میدهد که افزایش عدد رایلی، به	محفظه
ویژه برای مقادیر n < 1 ، باعث افزایش نرخ انتقال حرارت میشود و استفاده از سیالات غیر نیوتنی رقیق برشی، مخصوصا در اعداد رایلی بالا نیز	غير نيوتنى
عملکرد حرارتی محفظه را بهبود میبخشد. نتایج همچنین نشان میدهند که طول مانعها و فاصله آنها از یکدیگر، بسته به مقادیر عدد رایلی و	مانع
شاخص تابع نمایی تأثیرات قابل توجهی بر روی میدان جریان و عملکرد حرارتی محفظه دارند.	

The influence of **a** pair constant temperature baffles on power-law fluids natural convection in **a** square enclosure

Afrasiab Raisi

5.15

Department of Mechanical Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran * P.O.B.115, Shahrekord, Iran, raisi@eng.sku.ac.ir

ARTICLE INFORMATION	Abstract
Original Research Paper Received 06 August 2015 Accepted 22 September 2015 Available Online 28 October 2015	In this study, the natural convection heat transfer is numerically examined in a square enclosure filled with a non-Newtonia power-law fluid. Two fixed temperature baffles are mounted on the left wall of the enclosure. The left wall of the enclosure and the baffles installed on it, are at a constant temperature of T_h and the right wall of the enclosure is at a constant temperature of
<i>Keywords:</i> Natural convection Enclosure non-Newtonian Baffle	T_c, while its horizontal walls are thermally insulated. The governing equations for the power-law fluid flow are solved with the numerical finite difference method based on the control volume formulation and SIMPLE algorithm. The study investigates the effects of relevant parameters such as the Rayleigh number ($[10]^{-3} \le [10]^{-6}$), the power-law index ($0.8 \le n \le 1.4$), the baffles length ($0 \le B \le 0.5$) and the baffles distance from each other ($0.1 \le D \le 0.8$) on flow and temperature fields and the rate of heat transfer. The results show that an increase in Rayleigh number, particularly when n<1 improves the thermal performance of the enclosure. Furthermore, using non-Newtonian shear thinning fluids, especially at higher Rayleigh numbers, increases the rate of heat transfer. Results also show that, depending on the Rayleigh number and the power-law index, the length and position of the baffles have significant effects on the thermal performance of

مطالعهی جابجایی طبیعی سیالات غیرنیوتنی در محفظهها در کاربردهای	1 - مقدمه
مهندسی از اهمیت به سزایی برخوردار است. فرآوری مواد غذایی، حفاری	در محفظههای بسته جابجایی طبیعی مکانیزم اصلی انتقال حرارت محسوب
نفت، مهندسی پلیمر، سیستمهای ژئوفیزیکی، سیستمهای خنککننده	میشود. سیال موجود در محفظهها را گاهی اوقات میتوان نیوتنی در نظر
الکترونیکی و راکتورهای هستهای مثالهایی هستند که در آنها جابجایی	گرفت، اما در بسیاری از سیستمهای طبیعی یا مصنوعی، سیال رفتار غیر
طبیعی سیالات غیرنیوتنی مصداق پیدا میکند. جابجایی طبیعی سیالات	نیوتنی دارد. سیالات با اهمیت زیاد در کاربردهای مهندسی، از قبیل
نیوتنی در محفظههای ساده تحت شرایط مرزی مختلف به طور گستردهای	نانوسیالها، پلیمرهای مذاب، رنگها، مواد غذایی، جوهرها، مواد آلی، چسبها
بررسی شدہ است [1-4].	و غیره، همگی ممکن است قویا رفتار غیرنیوتنی از خود نشان دهند. از اینرو،

Please cite this article using: A. Raisi, The influence of a pair constant temperature baffles on power-law fluids natural convection in a square enclosure, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 11, pp. 215-224, 2015 (In Persian)

جابجایی طبیعی سیالات نیوتنی در محفظه های دارای مانع نیز در سالهای اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. نظری و رمضانی [5] انتقال حرارت جابجایی طبیعی در یک حفره مربعی شکل را با استفاده از روش عددی شبکه بولتزمن بررسی کردند. آنها در این بررسی سیال داخل حفره را هوا در نظر گرفتند. در داخل حفره یک مانع گرم دما ثابت قرار داشت و جابجایی طبیعی بر اثر اختلاف دمای مانع و دیوارهای کناری محفظه برقرار می شد. نتایج آنها نشان داد که با افزایش عدد گراشهف نرخ انتقال حرارت افزایش می یابد و موقعیت و طول مانع گرم، همچنین وضعیت عمودی یا افقی بودن آن تأثیرات قابل ملاحظه ی بر روی عملکرد حرارتی محفظه درانت. سان و امری [6] اثر وجود یک مانع هادی حرارت که به صورت یا داشت. سان و امری [6] اثر وجود یک مانع هادی حرارت که به صورت معودی در وسط یک محفظهی مربعی قرار داشت را بر روی میدان جریان و نرخ انتقال حرارت مطالعه کردند. آنها دریافتند که طول مانع و نسبت ضریب هدایت حرارتی آن به ضریب هدایت حرارتی سیال داخل محفظه (هوا)

حسین و همکارانش [7] تأثیر وجود یک مانع مایل مرکزی بر جابجایی طبیعی در یک محفظه مربعی پر شده از هوا را بررسی کردند. آنها دیوارهای کناری محفظه را موجدار در نظر گرفتند. در این بررسی یک منبع حرارتی با شار حرارتی ثابت روی قسمتی از دیوار پایینی محفظه قرار داشت، در حالی که دیوارهای کناری در دمای ثابت و دیوار بالایی و مابقی قسمتهای دیوار پایینی عایق شده بودند و یک مانع آدیاباتیک مایل در مرکز محفظه قرار داشت. نتایج آنها نشان داد که وجود مانع مایل و افزایش فرکانس موج دیوارها، به ویژه برای **40% < Gr** یک اثر قابل ملاحظهای بر روی عدد نوسلت متوسط، خطوط جریان و خطوط همدما دارند. آنها همچنین نشان دادند که وقتى مانع مايل باشد، عدد نوسلت متوسط بيشتر از حالتى است كه مانع افقی باشد و کمتر از حالتی است که مانع عمودی باشد. سراوانان و ویدهیا کمار [8] انتقال حرارت جابجایی طبیعی در یک محفظه مربعی که از هوا پر شده بود و دو مانع گرمازا در وسط آن قرار گرفته بود را به روش عددی مطالعه كردند. در این تحقیق دیوارهای افقی محفظه عایق شده بودند و شرایط مرزی حرارتی مختلفی برای دیوارهای کناری محفظه در نظر شده بود. نتایج آنها نشان داد که بسته به شرایط مرزی حرارتی، فاصلهی دو مانع گرمازا از یکدیگر تأثیر متفاوتی بر روی نرخ انتقال حرارت کلی دارد. کانداس -وامی و همکارانش [9] جابجایی 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 دیوارهای محفظه پایین تر از دمای مانعها 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 پائین مرکز محفظه قرار داشته باشد، نرخ انتقال حرارت را افزایش میدهد.

با وجود این که نانوسیالها در محدودهی مشخصی از کسر حجمی

پایین که هدایت مکانیزم غالب انتقال حرارت است، با حرکت مانع به سمت خط میانی حفره، هدایت تعدیل میشود و عدد نوسلت متوسط کاهش می یابد و برای اعداد رایلی بالا که جابجایی مکانیزم اصلی انتقال حرارت است با حرکت مانع به سمت خط میانی محفظه، جابجایی تقویت میشود و عدد نوسلت متوسط افزایش می یابد. داودیان و رئیسی [11] اثر میدان مغناطیسی نازک در وسط آن را بررسی کردند. آنها در این تحقیق رفتار نانوسیال را نیوتنی در نظر گرفتند. نتایج آنها نشان داد که افزایش عدد رایلی و کاهش عدد هارتمن باعث افزایش عدد نوسلت متوسط میشوند و همچنین افزایش نتایج آنها همچنین نشان داد که افزایش عدد رایلی و کاهش نرخ انتقال حرارت میشود. رایلی پایین عملکرد حرارتی محفظه را بهبود می بخشد و در اعداد رایلی پایین عملکرد حرارتی محفظه را بهبود می بخشد و در اعداد رایلی بالا نرخ انتقال حرارت را کم می کند. در رابطه با جابجایی طبیعی نانوسیالها در محفظههای دارای مانع کارهای متعددی صورت گرفته است که در تمامی این پژوهش ها نانوسیال به عنوان یک سیال نیوتنی فرض شده است که در تمامی این پژوهش ها نانوسیال به عنوان یک سیال نیوتنی فرض شده است (13]

ازو و چرچیل [14] شاید اولین کسانی بودند که جابجایی طبیعی سیالات غیرنیوتونی محصور شده در یک محفظه را بررسی کردند. آنها هم از مدل تابع نمایی¹ و هم از مدل الیس² برای سیالات غیرنیوتنی استفاده کردند افقی کمعمق بررسی کردند. محفظه ی مورد نظر از طریق سطح پایینی گرم میشد و از طریق سطح بالای خنک میشد. نتایج آنها نشان داد که عدد میشد و از طریق سطح بالای خنک میشد. نتایج آنها نشان داد که عدد میشد و از طریق سطح بالای خنک میشد. نتایج آنها نشان داد که عدد میشد و از طریق سطح بایینی گرم میشد و از طریق سطح بالای خنک میشد. نتایج آنها نشان داد که عدد رایلی بحرانی برای شروع جابجایی طبیعی با افزایش شاخص تابع نمایی³ فزایش میابد. کیم و همکارانش [15] جابجایی طبیعی گذرای سیال دیوارهای افقی محفظه را عایق در نظر گرفتند و عامل ایجاد نیروی شناوری و جابجایی طبیعی در محفظه، تغییر همزمان دمای دیوارهای عمودی بود. آنها دریافتند که به ازای یک عدد رایلی مشخص، هم قدرت جابجایی و هم نرخ جابجایی و هم نرخ انتقال حرارت برای سیالات غیرنیوتنی نسبت به سیال نیوتنی تغییر میکند. دریا³ کاهش مییابند.

لامسادی و همکارانش [16] همرفت طبیعی گذرای سیال غیرنیوتنی مدل تابع نمایی را در یک محفظه کم عمق به روش عددی و تحلیلی بررسی کردند. محفظهای که آنها مطالعه کردند دارای دیوارهای افقی بلند و عایق و دیوارهای عمودی کوتاه بود که دیوارهای عمودی با شار حرارتی ثابت گرم و سرد میشدند. نتایج آنها نشان داد که چنانچه عدد پرانتل و نسبت منظری محفظه به اندازهی کافی بزرگ باشند، مشخصههای انتقال حرارت و جریان به این پارامترها حساس نیستند. بنابراین آنها دریافتند که برای سیالات غیر نیوتنی با عدد پرانتل بزرگ در محفظههای کم عمق، پارامترهای تأثیر گذار

در میدان جریان و انتقال حرارت شاخص تابع نمایی و عدد رایلی هستند.
لامسادی و همکارانش [17] در تحقیق دیگری جابجایی طبیعی پایای سیال
غیرنیوتنی مدل تابع نمایی را در یک شکاف مستطیلی مایل به روش عددی
مطالعه کردند. در این تحقیق دیوارهای کناری محفظه توسط یک شار
حرارتی ثابت گرم و سرد میشدند و دو دیوار دیگر عایق شده بودند. این

1- Ost-wald-de Waele (Power-law) fluids model

2- Ellis fluids model

3- Power-law index

4- Shear thinning fluids

5- Sheat thicking fluids

مهندسی مکانیک مدرس، بهمن 1394، دورہ 15، شمارہ 11

نانوذرات رفتار سیالات غیرنیوتنی را دارند، اما در سالهای اخیر محققان با فرض نیوتنی بودن آنها، جابجایی طبیعی نانوسیالات را در محفظههای دارای مانع بررسی کردهاند. خراسانیزاده و همکارانش [10] انتقال حرارت جابجایی آزاد و تولید انتروپی نانوسیال آب – مس در داخل یک حفره با یک مانع هادی حرارت که روی دیوار گرم پایینی محفظه قرار داشت را بررسی کردند. آنها از مدل نیوتنی برای نانوسیال استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که بدون توجه به موقعیت مانع، عدد نوسلت متوسط با افزایش عدد رایلی و کسر حجمی نانوذرات افزایش مییابد. آنها همچنین دریافتند که در اعداد رایلی

216

مطالعه در محدودهی عدد رایلی $\mathbf{r} = \mathbf{Ra} \ge \mathbf{10}^5$ و $\mathbf{r} \ge \mathbf{n} \ge \mathbf{n} \ge \mathbf{0}$ و $\mathbf{r} \ge \mathbf{n} \ge \mathbf{0}$ و زاویه پرخش $\mathbf{r} = \mathbf{10}^5$ انجام شده است. 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.

در سالهای اخیر جابجایی طبیعی سیالات غیرنیوتنی در محفظههای مربعی و مستطیلی با دیوار های افقی عایق و دیوارهای عمودی با دمای ثابت به خوبی مورد بررسی قرار گرفته است [18-20]. یافتههای مشترک این تحقیقات نشان از آن دارد که میدان جریان و انتقال حرارت متأثر از عدد رایلی و شاخص تابع نمایی(n) هستند. ولی چنانچه عدد پرانتل بزرگ باشد، به ازای یک n و Ra داده شده عدد نوسلت متوسط تحت تأثیر عدد پرانتل قرار نمی گیرد. همچنین برای محفظههای مستطیلی با شرط مرزی دما ثابت روی دیوارهای عمودی، تغییرات عدد ناسلت با افزایش نسبت منظری، روند یکنواختی ندارد در حالی که وقتی شرط مرزی شار حرارتی ثابت به دیوارهای عمودی اعمال شود، تغییرات مذکور روند یکنواختی دارد.

کفایتی [22،21] جابجایی طبیعی سیال غیرنیوتنی مدل تابع نمایی را با وجود میدان مغناطیسی و همچنین انتقال حرارت جابجایی توام نانوسیال غیرنیوتنی را با استفاده از شبکهی بولتزمن در محفظهای مربعی با دایوارهای افقی عایق و دیوار عمودی سمت چپ در دمای ثابت و دیوار سمت راست در یک دمای سینوسی بررسی کرد. افزایش انتقال حرارت با افزایش عدد رایلی، عدد ریچاردسون و کاهش n در این مطالعات نیز تأیید شد و همچنین کاهش نرخ انتقال حرارت با افزایش عدد هارتمن از دیگر نتایج آن بود. افزودن نانوذرات نیز نرخ انتقال حرارت را بهبود بخشید.

جابجایی طبیعی یک سیال غیرنیوتنی رقیق برشی با استفاده از مدل کارئو-یاسودا در یک محفظهی عمودی توسط الوای و واسهآر [23] به طور عددی بررسی شد. آنها نشان دادند که با کاهش **n** قدرت جابجایی و نرخ انتقال حرارت هر دو افزایش مییابند و با افزایش **n** قدرت جابجایی و نرخ انتقال حرارت کاهش مییابند و هنگامی که عدد رایلی کوچک است، تغییر **n** تأثیر چندانی روی نرخ انتقال حرارت ندارد.

در تحقیقات قبلی جابجایی طبیعی در محفظههای دارای مانع برای سیالات نیوتنی و همچنین نانوسیالاتی که نیوتنی فرض شده بودند بررسی شده است و محفظههای حاوی سیال غیر نیوتنی بدون در نظر گرفتن مانعی در داخل آنها مطالعه شدهاند. در مطالعه حاضر، جابجایی طبیعی سیال غیرنیوتنی در یک محفظه مربعی با وجود دو مانع دما ثابت که به صورت افقی بر روی دیوار عمودی سمت چپ محفظه نصب شدهاند به روش عددی بررسی میشود. این مسئله که در تحقیقات قبلی به آن پرداخته نشده است میتواند مدلی از یک محفظه حاوی یک مدار مجتمع الکترونیکی باشد. وقتی قطعات مدلی از یک محفظه حاوی یک مدار مجتمع الکترونیکی باشد. وقتی قطعات طرف مانعی بر سر راه جریان طبیعی سیال خواهند بود و از طرف دیگر سیال با سطح بیشتری از منبع حرارتی در تماس خواهد بود. بنابراین به نظر میرسد بررسی رفتار حرارتی چنین محفظهای با سیال خنک کننده غیر نیوتنی که لزجت آن تابع نرخ برش است، حائز اهمیت باشد.

طوری که $T_{\rm c} < T_{\rm h}$ ست. دیوارهای افقی محفظه از نظر حرارتی کاملا عایق شدهاند و محفظه از سیال غیرنیوتنی مدل تابع نمایی پر شده است. بر اثر شدهاند و محفظه از سیال غیرنیوتنی مدل تابع نمایی پر شده است. بر اثر می شود. به غیر از دانسیته سیال که با دما تغییر می کند و با استفاده از تقریب می شود. 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 شدهاند. با توجه به این که لزجت سیالات غیرنیوتنی تابع نرخ برش است. مابقی خواص می از ثابت فرض شدهاند. با توجه به این که لزجت سیالات غیرنیوتنی تابع نرخ برش است، مابقی خواص نرخ برش است و محدودهی تغییرات آن وسیع است، عدد پرانتل نیز مقدار استان نیز مقدار استان نیست. در بررسیهای عددی از پرانتل اسمی مطابق رابطهی (7) معمولا دارای عدد پرانتل بزرگی هستند در این تحقیق عدد پرانتل 100 فرض شدهاست [24]. جریان جابجایی آزاد ایجاد شده در داخل محفظه آرام، معمولا دارای عدد پرانتل بابحایی آزاد ایجاد شده در داخل محفظه آرام، مرض شدهاست از جابجایی طبیعی سیال غیرنیوتنی درون محفظه میباشد و ارت این اسمی مطابق رابطهی (7) فرض شدهاست در برایتل اسمی مورد استفاد در صنعت ثابتی نیست. در برای می می این می محفظه آرام، معمولا دارای عدد پرانتل بازگی هستند در این تحقیق عدد پرانتل ارم، است و محدوده می میاند و این تحقیق عدد پرانتل اسمی مطابق رام، معمولا دارای عدد پرانتل بزرگی هستند در این تحقیق عدد پرانتل رام، ارم، بوزی می می فرض می شود. ها و نرخ انتقال مرارت و می می می شود. می و می این و مال و فاصله مانعها را بر بر روی میدانهای جریان و دما و نرخ انتقال حرارت برسی می شود.

3- معادلات حاكم

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

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} = \mathbf{0} \tag{1}$$

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

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

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

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

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

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

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

سازگاری و n شاخص تابع نمایی است. برای سیالات شبه پلاستیکn>1 و

در این تحقیق مطابق شکل 1 جابجایی آزاد در یک محفظهی مربعی دو $T_{
m h}$ بعدی بررسی شده است. دیوار سمت چپ محفظه و مانعها در دمای ثابت $T_{
m h}$ قرار دارند و دیوار سمت راست محفظه در دمای ثابت $T_{
m c}$ قرار گرفته است به

مهندسی مکانیک مدرس، بهمن 1394، دوره 15، شماره 11



217

برای سیالات دایلاتنت¹ n<1 است در حالی که n = 1 معرف سیالات نیوتنی است.

برای بیبعد کردن معادلات حاکم از پارامترهای بیبعد ارائه شده در
رابطه (7) استفاده میشود.
$$\mathbf{X} = \frac{x}{L}, \quad \mathbf{Y} = \frac{y}{L}, \quad \mathbf{U} = \frac{uL}{\alpha}, \quad \mathbf{V} = \frac{vL}{\alpha}, \quad \mathbf{P} = \frac{pL^2}{\rho\alpha^2}$$
$$\boldsymbol{\theta} = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, \quad \mathbf{Ra} = \frac{g\beta(T_h - T_c)L^{2n+1}}{\alpha^n K/\rho}, \quad \mathbf{Pr} = \frac{KL^{2n-1}}{\rho\alpha^{2-n}}$$
(7)

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

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}} + \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \mathbf{y}} = \mathbf{0} \tag{8}$$

$$\mathbf{U} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{X}} + \mathbf{V} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{Y}} = -\frac{\partial \mathbf{P}}{\partial \mathbf{X}} + 2\mathbf{Pr} \frac{\partial}{\partial \mathbf{X}} \left(\mu_{a}^{*} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{X}} \right)$$

$$+ \mathbf{Pr} \left[\frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \left(\mu_{a}^{*} \left(\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}} + \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \mathbf{x}} \right) \right) \right]$$

$$(9)$$

$$\mathbf{U}\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{X}} + \mathbf{V}\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{Y}} = -\frac{\partial \mathbf{P}}{\partial \mathbf{X}} + \mathbf{Pr}\frac{\partial}{\partial \mathbf{X}}\left[\mu_{a}^{*}\left(\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{Y}} + \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \mathbf{X}}\right)\right] + 2\mathbf{Pr}\frac{\partial}{\partial \mathbf{U}}\left(\mu_{a}^{*}\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \mathbf{Y}}\right) + \mathbf{RaPr}\theta$$
(10)

$$+ 2\mathbf{Pr} \frac{\partial \mathbf{Y}}{\partial \mathbf{Y}} \left(\mu_{a}^{*} \frac{\partial \mathbf{Y}}{\partial \mathbf{Y}} \right) + \mathbf{RaPr}\theta$$
(10)

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

در معادلات بیبعد مومنتوم، μ_{a}^{*} لزجت ظاهری بیبعد است که با استفاده از رابطه (12) محاسبه می شود

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

با توجه به شکل *I* و پارامترهای بیبعد شرایط مرزی هیدرودینامیکی شامل شرط عدم لغزش برای کلیه دیوارها **(U = V = 0)** و شرایط مرزی حرارتی نیز به صورت **O = \frac{\partial \theta}{\partial Y}** برای دیوارهای عایق، **I = \theta** برای دیوار گرم سمت چپ و **O = \theta** برای دیوار سرد سمت راست 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.

$$\mathbf{Nu} = \frac{hL}{k} \tag{13}$$

در رابطه (13) h ضریب انتقال حرارت جابجایی است و برابر است با: (*a*t) د

$$h = \frac{q^{\prime\prime}}{(T_{\rm h} - T_{\rm c})} = \frac{-k \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=L}}{(T_{\rm h} - T_{\rm c})}$$
(14)

پس از استفاده از پارامترهای بیبعد و ساده سازی، عدد نوسلت موضعی دیوار سرد از رابطه (15) به دست میآید.

$$\mathbf{Nu} = -\left(\frac{\partial \theta}{\partial \mathbf{x}}\right) \tag{15}$$

تبدیل شوند. برای این منظور معادلات بیبعد (8) تا (11) به همراه شرایط مرزی مربوطه به روش اختلاف محدود بر مبنای حجم کنترل گسستهسازی شدند و جملات جابجایی- نفوذ با استفاده از روش توان پیرو تقریب زده شدند. میدان حل با استفاده از یک شبکه یکنواخت جابجا شده شبکه بندی شد. در شکل 2 حجم کنترل در شبکهی جابجاشده برای معادلهی مومنتوم در جهت *x* نشان داده شده است. برای حل همزمان معادلات جبری شده از الگوریتم سیمپل [25] و یک برنامه که به زبان فرترن نوشته شد، استفاده شده است. با توجه به اینکه الگوریتم حل بر روش تکرار استوار است از معیار همگرایی رابطه (17) استفاده شده است.

$$\sum_{j}\sum_{i}\left|\frac{\varphi^{m+1}-\varphi^{m}}{\varphi^{m}}\right|_{i,j} \le \mathbf{10}^{-7} \tag{17}$$

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

5- مطالعه استقلال شبكه و اعتبار سنجى

از آنجائی که نتایج حاصل از حل عددی نباید وابسته به تعداد نقاط شبکه باشد، مطالعه استقلال حل از شبکه برای $\mathbf{n} = \mathbf{0.8} = \mathbf{10^6}$, $\mathbf{n} = \mathbf{0.8} = \mathbf{0.2}$, $\mathbf{Ra} = \mathbf{10^6}$, $\mathbf{n} = \mathbf{0.8}$, \mathbf{n} by the second second

برای اطمینان از درستی نتایج حل عددی، نتایج به دست آمده با نتایج ارائه شده در مرجع [18] مقایسه شد. برای این منظور یک محفظه مربعی پر شده از سیال غیرنیوتنی مدل تابع نمایی، که دیوارهای افقی آن عایق بودند و دیوارهای کناری آن در دو دمای ثابت و متفاوت از هم قرار داشتند در نظر گرفته شد. عدد نوسلت متوسط دیوار گرم محفظه در مقادیر مختلف عدد رایلی و شاخص تابع نمایی محاسبه شد. در شکل 4 نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج ارائه شده در مرجع [18] مقایسه شده است که مطابقت خوبی با هم دارند.

6- نتايج

نتايج اين تحقيق در قالب اثرات عدد رايلى $10^6 \leq Ra \leq 10^6$ ، شاخص تابع نتايج اين تحقيق د $n \leq 10^3 \leq Ra \leq 10^6$ و فاصله مانعها از نمايى 1.4 $n \leq n \leq 1.4$ و فاصله مانعها از







شکل 2 حجم کنترل در شبکهی جابجا شده در جهت X

 $(\partial \mathbf{X})_{X=1}$ عدد نوسلت متوسط با انتگرال گیری از عدد نوسلت موضعی بر روی دیوار سرد از رابطه (16) قابل محاسبه است. $\mathbf{Nu}_{m} = -\int_{0}^{1} \left(\frac{\partial \theta}{\partial \mathbf{X}}\right)_{X=1} \mathbf{dX}$ (16)

4- **روش عددی** برای انجام حل عددی، معادلات دیفرانسیل حاکم باید به معادلات جبری

1- Dilatant fluids

218

مہندسی مکانیک مدرس، بہمن 1394، دورہ 15، شمارہ 11







شکل 4 اعتبار سنجی برنامه حاضر با نتایج مرجع [18]

یکدیگر $D \ge D \ge D$ ای اروی میدانهای جریان و دما، پروفیلهای سرعت و دما و نرخ انتقال حرارت ارائه شده است. در سراسر این تحقیق عدد پرانتل ثابت و برابر 100 و ضخامت بیبعد مانعها 0.04 = W در نظر گرفته شدهاست.

6-1- اثر عدد رایلی و شاخص تابع نمایی
در این قسمت طول مانعها ثابت و برابر B = 0.2 و فاصله آنها از یکدیگر نیز
ثابت و برابر D = 0.3 منظور شده است و اثر تغییرات عدد رایلی و شاخص
تابع نمایی n، بررسی می شود.

Ra = در شکل 5 خطوط جریان در اعداد رایلی مختلف **Ra** = $10^3, 10^4, 10^5, 10^6$ و در سه مقدار مختلف شاخص تابع نمایی **n** = $10^3, 10^4, 10^5, 10^6$ و در سه مقدار مختلف شاخص تابع نمایی **n** = 0.8, 1, 1.4 **0.8, 1, 1.4** درون محفظه تشکیل شده است. اعداد نوشته شده در مرکز گردابه بیانگر بیشترین مقدار تابع جریان هستند. با توجه به شکل 5 دیده می شود که با افزایش نیروی شناوری ناشی از افزایش عدد رایلی، جابجایی طبیعی تشکیل شده در در کنار دیوارها منده در در داخل محفظه تقویت می شود و خطوط جریان در کنار دیوارها متراکم تر می شوند. با افزایش عدد رایلی سرعت جریان در کنار دیوارها متراکم تر می شوند. بنابراین با افزایش عدد رایلی سرعت جریان در کنار دیوارها متراکم تر می شوند. بنابراین با افزایش عدد رایلی می معد که با افزایش شاخص متراکم تر می شود. نتایج همچنین نشان می دهد که با افزایش شاخص تابع نمایی، به دلیل افزایش لزجت ظاهری سیال غیرنیوتنی، جابجایی آزاد تضعیف می شود. تقویت جابجایی آزاد ناشی از افزایش عدد رایلی در مقادیر تابع کوچکتر شاخص تابع نمایی چشمگیرتر است و همچنین تضعیف جابجایی آزاد ناشی از افزایش است.

شکل 6 خطوط همدما را در اعداد رایلی مختلف و به ازای سه مقدار مختلف شاخص تابع نمایی نشان میدهد. در **Ra = 10**³ خطوط همدما تقریبا به موازات دیوارهای سرد و گرم تشکیل شدهاند و این بیانگر آن است که در این حالت، هدایت مکانیزم غالب انتقال حرارت است. با افزایش عدد رایلی، جابجایی طبیعی نقش مهمتری در انتقال حرارت ایفا می کند، به طوری که در اعداد رایلی بالا جابجایی طبیعی مکانیزم اصلی انتقال حرارت است. با افزایش عدد رایلی، تراکم خطوط همدما در کنار دیوارها افزایش می یابد و سبب می شود که نرخ انتقال حرارت افزایش یابد. افزایش شاخص تابع نمایی

سبب کند شدن جریان می شود و جابجایی آزاد را تضعیف می کند. بنابراین با افزایش شاخص تابع نمایی بر سهم هدایت در انتقال حرارت افزوده می شود و از سهم جابجایی طبیعی در انتقال حرارت کاسته می شود.

در شکل 7 الف و ب پروفیل مؤلفه عمودی سرعت در مقطع میانی محفظه به ترتیب برای **8.0 = n** و **1.4 = n** نشان داده شدهاست. در شکل الف که لزجت ظاهری سیال کم است در اعداد رایلی بالا در کنار دیوارها سرعت جریان زیاد است و در قسمت میانی محفظه سیال تقریبا در حال سکون است. همانطور که از شکل 5 نیز پیداست در ⁶**01 = Ra** و **8.0 = n**. گردابه چرخشی به خوبی فضای بین دو مانع را اشغال کردهاست و این سبب میشود که مولفه عمودی سرعت در بین دو مانع (20 ≥ 8) مقدار قابل توجهی داشته باشد، هرچند به دلیل وجود مانعها مولفه عمودی سرعت در کنار دیوار گرم کمتر از مولفه عمودی آن در کنار دیوار سرد است. در اعداد رایلی کم از مقدار سرعت در کنار دیوارها به مقدار قابل توجهی کاسته شده است و منطقه میانی محفظه نیز اندکی از حالت سکون خارج شدهاست. برای



219



شکل 5 خطوط جریان در اعداد رایلی و شاخص تابع نمایی مختلف (B = 0.2, D = 0.3)

مهندسی مکانیک مدرس، بهمن 1394، دورہ 15، شمارہ 11





شکل 6 خطوط هم دما در اعداد رایلی و شاخص تابع نمایی مختلف (B = 0.2, D = 0.3)

و نقاط بیشینه و کمینه آن نیز از دیوارها فاصله گرفته است. در این حالت به دلیل لزجت ظاهری بالا، سیال در حال چرخش به خوبی از فضای بین دو مانع عبور نمی کند و سرعت جریان در خارج از فضای بین دو مانع به بیشترین مقدار خود می رسد.

در شکل 8 الف و ب تغییرات دمای بی بعد در مقطع میانی محفظه n = 1.4 و n = 0.8 در اعداد رایلی مختلف و به ترتیب برای N = 0.8 و n = 1.4 نشان داده شده است.

در شکل 8 الف برای **Ra = 10**³ تغییرات دما در عرض محفظه تقریبا خطی است که بیانگر آن است که حرارت توسط مکانیزم هدایت از دیوار گرم به دیوار سرد منتقل میشود. با افزایش عدد رایلی سرعت سیال در کنار دیوارهای گرم و سرد یبشتر میشود و سبب افزایش گرادیان دما در این نواحی میشود. در شکل 8 ب، چون لزجت ظاهری سیال بیشتر شده است، برای **Ra = 10³,10**⁴ هدایت مکانیزم اصلی انتقال حرارت است و با افزایش عدد رایلی جابجایی طبیعی نیز حائز اهمیت میشود.

شکل 9 الف و ب عدد نوسلت موضعی دیوار سرد را در اعداد رایلی

افزایش مییابد.

با افزایش شاخص تابع نمایی، به دلیل افزایش لزجت ظاهری سیال غیرنیوتنی، جابجایی طبیعی تضعیف میشود و عدد نوسلت موضعی کاهش مییابد. در شکل 8 ب دیده میشود که در قسمت پایینی دیوار سرد، عدد نوسلت موضعی در 10³ = Ra بیشتر از عدد نوسلت موضعی در رایلیهای بالاتر است. این به آن دلیل است که با افزایش عدد رایلی، گردابه چرخشی گوشههای محفظه را در بر نمی گیرد.

در شكل 10 تغييرات عدد نوسلت متوسط ديوار سرد بر حسب تغييرات عدد رايلی در مقادير مختلف شاخص تابع نمايی نشان داده شدهاست. در **Ra = 10**³ كه اساسا جابجايی طبيعی ضعيف است و هدايت مكانيزم اصلی انتقال حرارت است، شاخص تابع نمايی تاثيری بر روی عدد نوسلت متوسط ندارد. افزايش عدد رايلی سبب تقويت جابجايی طبيعی میشود. بنابراين با افزايش عدد رايلی عدد نوسلت متوسط افزايش میيابد. هرچقدر سيال دارای لزجت كمتری باشد افزايش عدد رايلی سبب تقويت بيشتر جابجايی طبيعی میشود. بتابراين وقتی جابجايی طبيعی درون محفظه شكل می گيرد، سيالهای با **n** كوچكتر دارای عدد نوسلت متوسط بيشتری هستند. با توجه میشود. بتابراين وقتی جابجايی طبيعی درون محفظه شكل می گيرد، میالهای با **n** كوچكتر دارای عدد نوسلت متوسط بيشتری هستند. با توجه می مدور ايلی، برای سيالات غير نيوتنی رقيق برشی **(1 > n)** بيشتر به چشم می آيد. همچنين بهبود عملكرد حرارتی محفظه ناشی از افزايش می آيد. همچنين بهبود عملكرد حرارتی محفظه ناشی از كاهش شاخص تابع





Ra = 10³ مختلف و به ترتیب برای **8.0** = **n** و **4.4** = **n** نشان می دهد. در Ra = 10³ که هدایت مکانیزم اصلی انتقال حرارت است عدد نوسلت موضعی روی دیوار سرد مقدار ثابتی است. با افزایش عدد رایلی و تقویت جابجایی طبیعی در داخل محفظه، عدد نوسلت موضعی افزایش می بد. با توجه به جهت چرخش گردابه تشکیل شده در داخل محفظه، جهت حرکت سیال روی دیوار سرد از بالا به سمت پایین است و همانطور که در شکل 6 نشان داده شده است گرادیان دما در قسمتهای بالایی دیوار سرد زیاد است و با کاهش **۲** گرادیان دما کم می شود. بنابراین عدد نوسلت موضعی روی دیوار سرد از ا

مہندسی مکانیک مدرس، بہمن 1394، دورہ 15، شمارہ 11



n = 1.4 (ب







کل ٥ تعییرات درجه حرارت بی بعد در مفطع میانی محفظه U.5 = ۲ الف (B = 0.2, D = 0.3) n = 1.4 (، n = 0.8)

6-2- اثر طول مانعها

در شكل 11 خطوط جريان در $\mathbf{Ra} = \mathbf{10}^5$ و $\mathbf{Ra} = \mathbf{0}$ (بالا) و $\mathbf{B} = \mathbf{0.1}, \, \mathbf{0.3}, \, \mathbf{0}$ مانع ها محتلف برای مانع ها $\mathbf{0.5}, \, \mathbf{n} = \mathbf{1.4}$ (پايين) برای سه طول مختلف برای مانع ها قدرت گردابه $\mathbf{0.5}$ رسم شده است. افزايش طول مانع ها سبب كاهش قدرت گردابه پرخشی می شود. در $\mathbf{Ra} = \mathbf{0.8}$ كه لزجت ظاهری سيال كم است گردابه تشكيل شده فضای بين و اطراف مانع ها را نيز در بر می گيرد. بنابراين در اين حالت كاهش معمی است و اطراف مانع ها را نيز در بر می گيرد. بنابراين در اين \mathbf{I} حالت كاهش محمی است و اطراف مانع ها را نيز در بر می گيرد. بنابراين در اين مالت كاهش معمی است و اطراف مانع ها را نيز در بر می گيرد. بنابراين در اين \mathbf{I} مانع ما خيلی قابل توجه نيست. در \mathbf{I} مالت و منگامی كه طول مانع ها افزايش می يابد، گردابه نمی تواند مانع ما افزايش می يابد، گردابه نمی تواند \mathbf{I} به فضای بين و اطراف مانع ها وارد شود. در اين حالت با زياد شدن طول مانع ها گردابه به سمت راست منتقل می شود و \mathbf{Ma} به مقدار قابل توجهی كم

مىشود.

در شکل 12 خطوط همدما در $\mathbf{Ra} = \mathbf{10}^5$ و (بالا) و $\mathbf{B} = \mathbf{0.1}$, $\mathbf{0.3}$, $\mathbf{0.5}$ ها عام العالي المالي النالي النالي العالي ا

شکل 10 تغییرات عدد نوسلت متوسط دیوار سرد بر حسب عدد رایلی و شاخص تابع نمایی **(B = 0.2, D = 0.3)**

در جدول 1 نسبت عدد نوسلت متوسط به عدد نوسلت متوسط در حالت $Ra = 10^3, 10^5$ و Ra = $10^3, 10^5$ مختلف مانعها و $\frac{Nu_m}{Nu_{m,B=0}}$ در طولهای مختلف مانعها و n = 0.8, 1.4 ارائه شده است.

در **Ra = 10**³ که جابجایی طبیعی در داخل محفظه ضعیف است و هدایت مکانیزم اصلی انتقال حرارت است، برای هر دو مقدار شاخص تابع

مهندسی مکانیک مدرس، بهمن 1394، دوره 15، شماره 11





(بالا) **n = 0.8** شکل 11 خطوط جریان در سه طول مختلف برای مانعها و در (**n = 0.8** (بالا) و **n = 1.4** (بایین)، (**n = 1.4**



(بالا) و در **n = 0.8** شکل 12 خطوط همدما در سه طول مختلف برای مانعها و در (**Ra = 10**⁵,**D = 0.3**) (یایین)، **n = 1.4**

نمایی با افزایش طول مانعها با وجود اینکه جابجایی طبیعی ضعیفتر می شود اما نسبت عدد نوسلت متوسط افزایش می یابد. در این حالت با افزایش طول مانعها خطوط هم دما به سمت راست منتقل می شوند و دمای سیالی که در فضای بین و اطراف مانعها قرار گرفته است تقریبا با دمای دیوار گرم برابر است. با این توضیحات این طور می توان تصور کرد که با افزایش طول مانعها فاصله بین دیوار سرد و ناحیه ای که سیال گرم در آن قرار دارد کاهش می یابد و با توجه به اینکه قسمت قابل توجه حرارت توسط هدایت از دیوار گرم به دیوار سرد منتقل می شود، بنابراین با افزایش طول مانعها عدد نوسلت متوسط افزایش می یابد.

در $\mathbf{Ra} = \mathbf{10}^5$ جابجایی طبیعی نسبتا قوی است. در این حالت وجود مانعها، به ویژه برای $\mathbf{n} = \mathbf{1.4}$ ، جابجایی طبیعی را به مقدار قابل ملاحظهای تضعیف می کند. بنابراین نسبت عدد نوسلت متوسط کوچک تر از یک است. از آر ما م

جدول 1 نسبت عدد نوسلت متوسط به عدد نوسلت متوسط در حالت بدون مانع

D = 0.3 _و n = 0.8, 1.4 ، Ra = 10³ , 10 ⁵ و. Nu _{m,B=0}						
		B=0/1	B=0/2	B=0/3	B=0/4	B=0/5
10 ³	n=0/8	1/020	1/165	1/245	1/419	1/645
Ra =	n=1/4	1/033	1/119	1/247	1/420	1/653
10 ⁵	n=0/8	0/971	0/996	1/017	1/028	1/036
Ra =	n=1/4	0/946	0/993	0/942	0/952	0/956



شکل 13 خطوط جریان در سه موقعیت مختلف برای مانعها و در **n = 0.8** (بالا) و (Ra = 10⁵,B = 0.2) (پایین)، **n = 1.4**

هستند و این به معنای سرعت بالای جریان در کنار این دیوارها است. در حالی که برای **1.4 = n** خطوط جریان با تراکم یکنواخت تری در محفظه توزیع شدهاند و تغییرات سرعت در محفظه کمتر است. برای هر دو مقدار **n**، با افزایش فاصله مانعها از یکدیگر، مقدار بیشینه تابع جریان افزایش یافته است. وقتی که فاصله مانعها از هم کم است، گردابه تشکیل شده در درون محفظه نمی تواند فضای بین دو مانع را در بر بگیرد. اما با افزایش فاصله مانعها، گردابه فضای بین مانعها را نیز در بر می گیرد و مقدار بیشینه تابع جریان افزایش می یابد. وقتی که مانعها به دیوارهای عایق افقی خیلی نزدیک می شوند، اصولا دیگر به عنوان مانع در برابر جریان عمل نمی کنند، بلکه در این حالت شبیه آن است که قسمتی از دیوارهای عایق افقی به دیوار دما ثابت می شوند، اصولا دیگر به عنوان مانع در برابر جریان عمل نمی کنند، بلکه در این حالت شبیه آن است که قسمتی از دیوارهای عایق افقی به دیوار دما ثابت نبدیل شدهاند و انتظار می رود که هم به دلیل تقویت جابجایی طبیعی و هم به دلیل تغییر شرط مرزی روی قسمتی از دیوارهای افقی، نرخ انتقال حرارت افزایش یابد.

در شکل 14، خطوط همدما برای 5 (D = 0.1 و 2 (JV) و موقعیت مختلف برای مانعها (D = 0.1, 0.4,0.7) برای **n = 0.8** (بالا) و **n = 1.4** (پایین) نشان داده شدهاند. با توجه به این شکل دیده میشود که وقتی فاصله مانعها از هم کم است دمای سیالی که در فضای بین دو مانع قرار گرفته است با دمای مانعها برابر است. همچنین با توجه به شکل خطوط همدما برای **8 = n** جابجایی بیشترین نقش را در انتقال حرارت دارد، در حالی که برای که برای **14** مانعها از و جابجایی بیشترین نقش از در انتقال حرارت دارد، در میکند. میکند. میکند و مانع مانعها برابر است. همچنین با توجه به شکل خطوط می داد گرفته است با دمای مانعها برابر است. همچنین با توجه به شکل خطوط می دار گرفته است با دمای مانعها برابر است. همچنین با توجه به شکل خطوط می در گرفته است با دمای مانعها برابر است. همچنین با توجه به شکل خطوط می داده در ای گرفته است با دمای مانعها برابر است. همچنین با توجه به شکل خطوط می در گرفته است با دمای مانعها برابر است. همچنین با توجه به شکل خطوط می داده در ای گرفته است با دمای مانعها برابر است. همچنین با توجه به شکل خطوط می در گرفته است با دمای مانعها برابر است. همچنین با توجه به شکل خطوط می در گرفته است با دمای مانعها برابر است. همچنین با توجه به شکل دارد، در می کند در در گرفته این و جابجایی تواما در انتقال حرارت نقش ایفا می کند. در شکل 15 تغییرات عدد نوسلت متوسط بر حسب فاصلهی مانعها از شده است. همان طور که از شکل 13 نیز پیداست، افزایش فاصله مانعها

ُنجاییکه در این عدد رایلی نیز بخشی از حرارت توسط مکانیزم هدایت منتقل
میشود، بنابراین با افزایش طول مانعها، نسبت عدد نوسلت متوسط افزایش
مىيابد.
6-3-1 اثر فاصله مانعها از یکدیگر
در شکل 13، خطوط جریان برای R a = 10⁵ و B = 0.2 B د ر سه موقعیت
مختلف برای مانعها (D = 0.1, 0.4, 0.7) برای n = 0.8 (بالا) و
n = 1.4 (پایین) نشان داده شدهاند.

222

مہندسی مکانیک مدرس، بہمن 1394، دورہ 15، شمارہ 11



m = 0.8 (بالا) و در n = 0.8 شکل 14 خطوط هم دما در سه موقعیت مختلف برای مانعها و در n = 0.8 $(Ra = 10^5, B = 0.2)$ (يايين) n = 1.4





جابجایی طبیعی را تقویت میکند. بنابراین با افزایش فاصلهی مانعها از یکدیگر، روند کلی تغییرات عدد نوسلت متوسط افزایشی است. وقتی که فاصلهی مانعها از هم کم است، گردابه به فصای بین مانعها راه پیدا نمیکند. با افزایش فاصلهی مانعها از یکدیگر، گردابه هم فضای بین مانعها و هم فضای اطراف مانعها را در بر می گیرد. چنانچه فاصلهی مانعها از یک مقداری بیشتر شود، گردابه به فضای بالای مانع بالایی و زیر مانع پایینی راه پیدا نمی کند. بنابراین برای n = 0.8 که جابجایی طبیعی در داخل محفظه قابل ملاحظه است، با افزایش فاصلهی مانعها از یکدیگر تغییرات عدد نوسلت پریودیک است ولي روند کلي آن افزايش است.

محفظه میشود و این سبب میشود که نرخ انتقال حرارت افزایش یابد. تقویت جابجایی طبیعی ناشی از افزایش عدد رایلی در مقادير **n < 1** چشمگيرتر بود.

- 2. كاهش شاخص تابع نمايي، سبب كاهش لزجت ظاهري سيال می شود و جابجایی طبیعی در داخل محفظه را تقویت می کند. این سبب افزایش سرعت جریان و نرخ انتقال حرارت می شود. تقویت جابجایی طبیعی در داخل محفظه ناشی از کاهش 🖪، در اعداد رایلی بالا قابل ملاحظه است.
- عدد نوسلت متوسط برای سیالات رقیق برشی نسبت به سیال .3 نیوتنی افزایش و برای سیالات غلیظ برشی نسبت به سیال نيوتني كاهش مييابد. تغييرات عدد نوسلت متوسط در محدوده-ی **n < 1**، بیشتر متاثر از تغییرات**n** میشود.
- افزایش طول مانع ها از یک طرف جابجایی طبیعی را تضعیف می -کند و از طرف دیگر انتقال حرارت هدایتی را افزایش میدهد. بنابر این در اعداد رایلی پایین افزایش طول مانعها باعث بهبود عملکرد حرارتی می شود و در اعداد رایلی بالا و جود مانعها، به ویژه برای سیالات غلیظ برشی سبب می شود که عدد نوسلت متوسط نسبت به حالت بدون مانع کمتر شود
- با افزایش فاصله مانعها از یکدیگر، گردابه تولید شده در داخل .5 محفظه تقویت می شود و به طور کلی نرخ انتقال حرارت با افزایش فاصلهی مانعها از یکدیگر بهبود می یابد.

8- فهرست علائم

- طول مانعها (m) b طول بيبعد مانعها В فاصله مانعها از یکدیگر (m) d فاصله بیبعد مانعها از یکدیگر D نرخ تانسور کرنش (s^{-1}) D_{ij} شتاب جاذبه **(ms**⁻²) g $(Wm^{-2}K^{-1})$ ضريب انتقال حرارت جابجايي h $(Wm^{-1}K^{-1})$ ضريب انتقال حرارت هدايتي k ضریب ساز گاری (Pasⁿ) Κ طول محفظه (m) L
 - شاخص تابع نمايي n
 - عدد نوسلت موضعى Nu
 - عدد نوسلت متوسط Num

p

 \bar{p}

- فشار سيال (Pa)
- فشار تعدیل شده (p + $\rho g y$

فشار بیبعد	P	7- نتيجەگىرى
عدد پرانتل	Pr	در این تحقیق جابجایی آزاد سیال غیرنیوتنی در یک محفظه مربعی شکل با
عدد رایلی	Ra	وجود دو مانع بر روی دیوار گرم سمت چپ محفظه به روش عددی بررسی
دما (K) دما	Т	شد. سیال غیرنیوتنی در نظر گرفته شده از نوع مدل توانی بود. با حل عددی
مؤلفههای افقی و عمودی سرعت (ms⁻¹)	<i>u</i> , <i>v</i>	معادلات حاکم، تأثیر پارامترهای عدد رایلی، شاخص تابع توانی، طول مانعها
مؤلفههای افقی و عمودی سرعت بیبعد	U,V	و فاصلهی مانعها از یکدیگر بر روی میدانهای جریان و دما و نرخ انتقال
ضخامت مانعها (m)	w	حرارت بررسی شد. بر اساس نتایج بدست آمده، نتیجه گیری میشود که:
ضخامت بىبعد مانعها	W	. افزایش اعداد رایلی باعث تقویت جابجایی طبیعی در درون
مختصات کارتزین (m)	<i>x</i> , <i>y</i>	

مهندسی مکانیک مدرس، بهمن 1394، دوره 15، شماره 11

orthogonal heated baffles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, pp. 1830–1837, 2008.

- [10] H. Khorasanizadeh, J. Amani, M. Nikfar, Numerical investigation of Cuwater nanofluid natural convectionand entropy generation within a cavity with an embeddedconductive baffle, *Scientia Iranica F*, Vol. 19, No. 6, pp. 1996-2003, 2012.
- [11] M. Davoodian, A. Raisi, The effect of magnetic field on the natural convection of a nanofluid in a square enclosure with a membrane separator in the middle, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 5, pp. 111-120, 2014. (In Persian فارسي)
- [12] F. Garoosi, G. Bagheri , F. Talebi, Numerical simulation of natural convection of nanofluids in a square cavity with several pairs of heaters and coolers (HACs) inside, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 67, pp. 362–376, 2013.
- [13] M. Davoudian, A. Arab Solghar, Natural convection heat transfer in a square cavity containing a nanfluid with a baffle under a magnetic field, *Heat Transfer Research*,Vol. 45, pp. 725-748, 2014
- [14]H. Ozoe, S.W. Churchill, Hydrodynamic stability and natural convection in Ostwald–de Waele and Ellis fluids: the development of a numerical solution, *AIChE Journal.*, Vol. 18, pp. 1196-1207, 1972.
- [15] G.B. Kim, J. M. Hyun, H. S. Kwak, Transient buoyant convection of a power-law non-Newtonian fluid in an enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 46, pp. 3605–3617, 2003.
- [16] M. Lamsaadi, M. Naimi, M. Hasnaoui, Natural convection heat transfer in shallow horizontal rectangular enclosures uniformly heated from the side and filled with non-Newtonian power law fluids, *Energy Conversion Management*, Vol. 47, pp. 2535-2551, 2006.
- [17] M. Lamsaadi, M. Naimi, M. Hasnaoui, M. Mamou, Natural Convection in a Tilted Rectangular Slot Containing Non-Newtonian Power-Law Fluids and Subject to a Longitudinal Thermal Gradient, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, Vol. 50, pp. 561–583 2006.
- [18] O.Turan, A.Sachdeva, N.Chakraborty, R. J. Poole, Laminar natural convection of power-law fluids in a square enclosure with differentially heated side walls subjected to constant temperatures, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, Vol. 166, pp. 1049–1063, 2011.
- [19] P. Ternik, R. Radolf, Laminar natural convection of non-Newtonian nanofluid in a square enclosure whit differentially heated side walls, *International Journal of Simulation Modelling*, Vol. 12, pp. 5-16, 2013.
- [20] O. Turan, A. Sachdeva, R.J. Poole, N. Chakraborty, Aspect ratio and boundary conditions effects on laminar natural convection of power-law fluids in a rectangular enclosure with differentially heated side walls, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 60, pp. 722–738, 2013.
- [21] GH.R. Kefayati, Simulation of magnetic field effect on natural convection of non-Newtonian power-law fluids in a sinusoidal heated cavity using FDLBM, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 53,pp. 139–153, 2014.
- [22] GH.R. Kefayati, Mesoscopic simulation of mixed convection on non-Newtonian nanofluids in a two sided lid-driven enclosure, *Advanced Powder Technology*, Vol. 26, pp. 576–588, 2015.
- [23] Z. Alloui, P. Vasseur, Natural convection of Carreau–Yasuda non-Newtonian fluids in a vertical cavity heated from the sides, *International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.* 84, pp. 912–924, 2015.
- [24] R.P. Chhabra, J.F. Richardson, *Non-Newtonian Flow and Applied Rheology: Engineering Applications*, second ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2008.
- [25] S.V. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere Publishing Corporation, Taylor and Francis Group, New York, 1980.

X,Y مختصات بیبعد

علائم يونانى

- (m²s⁻¹) ضریب نفوذ حرارتی α (K⁻¹) ضریب انبساط حرارتی β
 - $egin{array}{ccc} eta & e$
 - ۵۰ دمای بی بعد ۲۰
 - (Nsm⁻²) لزجت دینامیکی μ
 - لزجت ظاهری بیبعد μ_a^*
 - (**kgm**⁻³) چگالی سیال (β

ψ تابع جريان بيبعد

زیر نویسها

- **a** ظاهری **c** سرد
 - سرد **C h** گرم
- **m** متوسط

9- مراجع

- [1] G. de Vahl Davis, Natural convection of air in a square cavity: a bench mark numerical solution, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 3, No. 3, pp.249-264, 1983.
- [2] S. Ostrach, Natural convection in enclosures, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 110, pp. 1175-1190, 1988.
- [3] O. Aydın, A. Unal, T. Ayhan, Natural convection in rectangular enclosures heated from one side and cooled from above, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 42, pp. 2345–2355, 1999.
- [4] T. Saitoh, K. Hirose, High-accuracy bench mark solutions to naturalconvection in a square cavity, *Computational Mechanics*, Vol. 4, pp. 417-427, 1989.
- [5] M. Nazari, S. Ramzani, Natural Convection in a Square Cavity with a HeatedObstacle Using Lattice Boltzmann Method, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 119-133, 2011. (In Persian فارسى)
- [6] Y. S. SUN, A. F. EMERY, Effects of wall conduction, internal heat sourcesand an internal baffle on natural convection heattransfer in a rectangular enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 40, No. 4. pp. 915-929, 1997.
- [7] S. H. Hussain, M. Y. Jabbar, A S. Mohamad, Influence of presence of inclined centered baffle and corrugation frequencyon natural convection heat transfer flow of air inside a square enclosure with corrugated side walls, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 50, pp. 1799-1808, 2011.
- [8] S. Saravanan, A.R. Vidhya kumar, Natural convection in square cavity with heat generating baffles, *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 244, pp. 1-9, 2014.
- [9] P. Kandaswamy, J. Lee, A.K. Abdul Hakeem, S. Saravanan, Effect of bafflecavity ratios on buoyancy convection in a cavity with mutually

مهندسی مکانیک مدرس، بهمن 1394، دوره 15، شماره 11

224