



حل عددی تأثیر هدایت و جابه جایی انتقال حرارت ترکیبی سیال غیرنیوتنی در چهار گرادیان مختلف دمایی درون

محفظه

امیرحسین شکوهی بافقی^{۱*}، سید امیر عباس علومی^۲

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاداسلامی، یزد، ایران

amirkhansh@yahoo.com

چکیده:

در این نوشتار به مدل سازی جابجایی ترکیبی درون محفظه با دیواره متحرک پر شده از سیال غیر نیوتنی و بررسی تأثیر نوع چیدمان منابع گرمازا و سرمازا بر انتقال حرارت درون محفظه با نرم افزار فلوئنت می پردازد. سیال غیر نیوتنی مورد بررسی لزج خالص بوده و با قانون توانی مدل شده است. نتایج حل عددی تحقیق حاضر با نتایج حاصل از دو رابطه تحلیلی - تجربی و یک کار عددی انجام شده مقایسه شده است و نتایج، دقت بالای کار حاضر را نشان می دهند. هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر تغییر نوع چیدمان منابع گرمازا و سرمازا و نوع سیال غیر نیوتنی (۱/۴ و ۱/۶) با ثابت در نظر گرفتن عدد ریچاردسون ($Ri=1$)، رینولدز ($Re=1000$) و پرانتل ($Pr=0.7$) بر انتقال حرارت درون محفظه می باشد.

همچنین در این تحقیق به بررسی نقش هدایت و جابه جایی بر انتقال حرارت در چهار گرادیان مختلف دمایی و سه نوع سیال مختلف پرداخته می شود. در این تحقیق مشخص شد که کاهش شاخص سیال (n) در اکثر حالات (به جز حالت ۱) و ایجاد گرادیان دمایی روی دیواره های عمودی محفظه باعث افزایش انتقال حرارت درون محفظه می شود.

کلید واژگان: جابجایی ترکیبی، غیرنیوتنی، محفظه، مطالعه عددی

Numerical Investigation of influence conductivity and convection Heat Transfer Compound non-Newtonian fluid Different Gradient the temperature inside the chamber

A. *Shokoohi bafghi*^{1*}, S. A.A *Oloomi*²

1- Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

*Corresponding author: amirkhansh@yahoo.com

Abstract:

This article molding cavity displacement combined with movable walls filled with non-Newtonian fluid and the effect of heat sources Layout the heat transfer deals with Fluent software. Non-Newtonian fluids studied pure and slimy with power law model. Numerical results of this study with the results of two related analytical - experimental and numerical work has been done compared and the results show high accuracy work.

In this study was to investigate the effect of changing the layout of heating and cooling systems and fluid non-Newtonian ($n=0.6,1,1.4$) with constant consideration Richardson number ($Ri=1$), Reynolds ($Re=1000$) and Prandtl ($Pr=0.7$) is the heat transfer.

The study also examines the role of different thermal conductivity and convection where three different fluid types will be discussed. In this study, it was found that reducing fluid index (n) in most cases (except the first case) and vertical temperature gradients on the walls of the chamber increases the heat transfer.

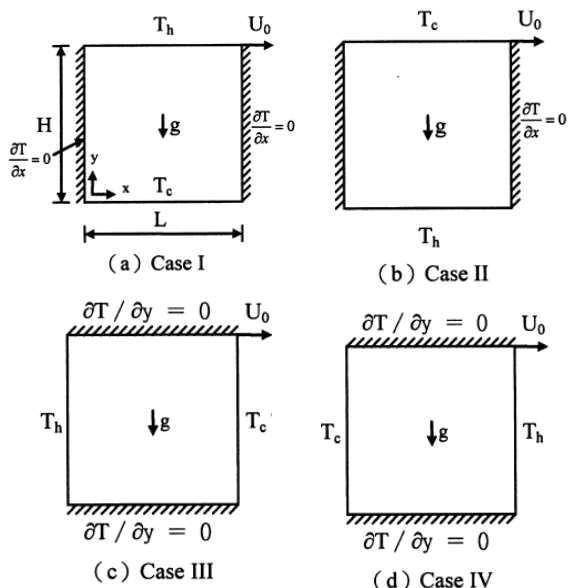
Keywords: Mixed convection, non-Newtonian, chamber, numerical study.

۱- مقدمه

یکی از کاربردی ترین مسائل در علم انتقال حرارت، مسائل جابجایی ترکیبی می باشد که از جمله کاربردهای آن می توان به سیستم های گرمایشی از جمله تهویه کالکتورهای خورشیدی، تهیه و نگهداری مواد غذایی و همچنین خنک کاری قطعات الکترونیکی اشاره نمود. بیشتر تحقیقاتی که تاکنون در زمینه جابجایی ترکیبی انجام شده در مورد سیال نیوتنی بوده است. از جمله، محمد و ویسکانتا [۱] تأثیر حرکت دیواره افقی بر روی میدان جریان و دما در یک محفظه کشیده را مورد بررسی قرار دادند. ایواتسو و همکاران [۲] جابجایی ترکیبی در یک محفظه با دیواره متحرک با گرادیان دمایی افقی پایدار را مورد مطالعه قرار داده و دریافتند هنگامی که عدد ریچاردسون بسیار بالاست، بخش عمده ای از نواحی میانی و تحتانی محفظه ساکن هستند. در زمینه سیالات، غیرنیوتنی اکثر تحقیقات در مورد جابجایی طبیعی می باشد. از جمله کیم و همکاران [۳] جابجایی طبیعی گذرا را برای سیالات غیرنیوتنی با خاصیت توانی (n) کوچکتر از ۱ در یک محفظه مربعی بررسی کردند. در کار دیگری توران و همکاران [۴] با استفاده از نرم افزار تجاری فلونتت مطالعه کاملی بر فرآیند جابه جایی طبیعی سیالات غیرنیوتنی پیرو قانون توانی انجام داده و رابطه ای تحلیلی- تجربی را برای عددناسلت در گستره ای وسیعی از اعداد رایلی و پرائنتل ارائه نمودند. با مروری بر تحقیقات صورت گرفته واضح است که تاکنون هیچگونه تحقیقی در زمینه جابه جایی ترکیبی سیالات غیرنیوتنی صورت نگرفته است. همچنین بررسی نقش هدایت و جابجایی سیالات غیرنیوتنی در انتقال حرارت از محفظه از نوآوری های این تحقیق می باشد.

۲- بیان مسئله

هندسه مورد بررسی محفظه مربعی شکل به طول H می باشد که در چهار شرط مرزی مختلف دیواره های گرم و سرد مطابق شکل (۱) بررسی می شود. در همه ی حالات دیواره بالایی با سرعت U_0 به سمت راست حرکت می کند. شتاب گرانش g ، در امتداد قائم اعمال می شود و فرض شده که در تمام دیواره ها شرط عدم لغزش برقرار است. محفظه حاوی یک سیال غیرنیوتنی پیرو قانون توانی تراکم ناپذیر می باشد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر تغییر نوع چیدمان منابع گرمازا و سرمازا (حالت ۱، ۲، ۳، ۴) و نوع سیال غیرنیوتنی (شبه پلاستیک ($n = 0/6$)، نیوتنی ($n = 1$) و دایلاتانت ($n = 1/4$) با ثابت در نظر گرفتن عدد ریچاردسون ($Ri = 1$)، رینولدز ($Re = 1000$) و پرائنتل ($Pr = 0/7$) بر انتقال حرارت درون محفظه می باشد. همچنین در این تحقیق به بررسی نقش هدایت و جابجایی در انتقال حرارت سیال غیرنیوتنی درون محفظه پرداخته می شود.



شکل ۱- نمای شماتیک و شرایط مرزی مسئله حاضر

۳- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان سیال غیرنیوتنی در حالت دایم و آرام همان معادلات مومنتم همراه با جمله غیرخطی تنش برشی خواهد بود. این معادلات با فرض تراکم ناپذیری به صورت (۱) است.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{k}{\rho c_p} \frac{\partial^2 T}{\partial x_i \partial x_i}$$

بررسی سیستماتیک مسئله حاضر نیازمند تعریف اعداد بدون بعدی است که به قرار زیرند:

$$Pr = \frac{c_p m}{k} \left(\frac{U_0}{H}\right)^{n-1}, Re = \frac{\rho H^n U_0^{(n-1)}}{m}, Ri = \frac{g \beta (T_h - T_c) H}{U_0^n}$$

در روابط بالا ρ چگالی، U_0 سرعت حرکت دیواره، H طول محفظه، K ضریب هدایت حرارتی، C_p گرمای ویژه، m ضریب همناختی (با فرض عدم وابستگی به دما)، n اندیس رفتار جریان (شاخص سیال)، g شتاب گرانش، T_h دمای دیواره گرم، T_c دمای دیواره سرد و β ضریب انبساط دمایی می باشد.

۴- استقلال نتایج از شبکه

برای بدست آوردن نتایج نهایی مستقل از تعداد گره های شبکه، برای تعداد متفاوت نقاط شبکه برنامه اجرا و پارامترهای مختلف مسئله بررسی شد. شکل ۲ عددناسلت دیواره گرم محفظه برای سیال شبکه پلاستیک ($n = 0/6$)، حالت ۳ و سیال دایلاتانت ($n = 1/4$)، حالت ۴ در چهار شبکه 60×60 ، 80×80 ، 100×100 ، 120×120 نشان داده شده است. با توجه به بررسی های فوق شبکه بندی 100×100 برای اجرای برنامه انتخاب شده است.

جدول ۱- مقایسه ناسلت متوسط برنامه حاضر با نتایج کارهای صورت گرفته

n	کیم [۱]	رابطه توران [۲]	کار عددی توران [۲]	تحقیق حاضر
۰.۱۶	۶/۶۲	۵/۵۱	۵/۴۳	۵/۴۴
۱	۲/۹۱	۲/۷۳	۲/۶۸	۲/۷۵
۱/۴	۲/۲۵	۱/۸	۱/۷۷	۱/۸۵

۶- ناسلت موضعی

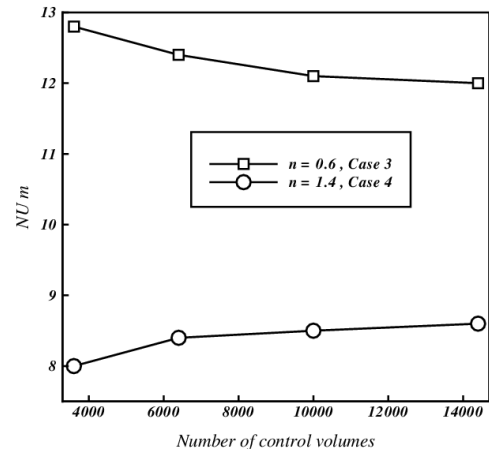
شکل ۴ مقدار ناسلت موضعی دیواره های سرد و گرم را برای سه سیال با شاخص های ۱/۴ و ۱ و $n = 0.6$ و در چهار حالت چیدمان منابع گرمای و سرمازا نشان می دهد.

در حالت اول انتقال حرارت از دیواره های سرد تقریباً در همه نقاط یکسان می باشد اما در دیواره های گرم بیشترین انتقال حرارت در هر سه سیال در نقطه انتهایی دیواره رخ می دهد. در دیواره سرد با افزایش شاخص سیال (n) مقدار انتقال حرارت افزایش می یابد اما در دیواره گرم در نیمه اول دیواره تأثیر نوع سیال ناچیز می باشد ولی در نیمه دوم دیواره با افزایش n میزان انتقال حرارت افزایش می یابد.

در حالت دوم با قرار گرفتن دیواره گرم در پایین محفظه، و با توجه به جهت حرکت دیواره بالایی انتقال حرارت بیشتری نسبت به حالت اول رخ می دهد. در این حالت بیشترین انتقال حرارت از دیواره های سرد در هر سه نوع سیال در ناحیه انتهایی دیواره و در دیواره های گرم به جز سیال شبه پلاستیک ($n = 0.6$) در ابتدای دیواره روی می دهد. نکته جالب در این حالت این است که بیشترین انتقال حرارت در سیال شبه پلاستیک ($n = 0.6$) در هر دو دیواره سرد و گرم در یک نقطه ($x \approx 0.8$) روی می دهد.

در حالت سوم با توجه به قرار گرفتن دیواره گرم در سمت چپ محفظه سیال مجاور دیواره گرم شده و به سمت بالا حرکت می کند حرکت دیواره بالایی به سمت راست باعث جابجایی سیال به طرف دیواره سرد می شود این عامل باعث می شود انتقال حرارت به خوبی در محفظه انجام گیرد و همان طور که از مقدار عدد ناسلت موضعی مشخص است، در این حالت بیشترین انتقال حرارت را در همه حالات شاهد هستیم. در هر دو دیواره سرد و گرم بیشترین انتقال حرارت در انتهای دیواره ها و در نزدیکی دیواره متحرک بالایی می باشد. با افزایش n مقدار انتقال حرارت کاهش می یابد زیرا سیال غلیظ تر شده و جابجایی کمتری در محفظه دارد.

در حالت چهارم بیشترین انتقال حرارت از دیواره های سرد در ابتدای دیواره یعنی نواحی دور از دیواره متحرک بالایی و از دیواره های گرم در نواحی نزدیک به دیواره متحرک بالایی محفظه رخ می دهد. افزایش n باعث افزایش انتقال حرارت در نواحی پایینی دیواره سرد و کاهش انتقال حرارت در نواحی بالایی دیواره سرد می شود که این اثر در دیواره گرم دقیقاً برعکس می باشد.



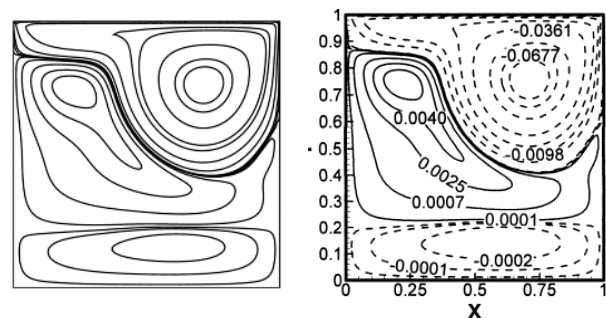
شکل ۲- تغییرات عدد ناسلت برای چهار شبکه مختلف

۵- اعتبارسنجی

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

در مسأله اول جابجایی ترکیبی در محفظه مربعی پر شده با هوا مطابق هندسه شکل (۱- حالت ۱) شبیه سازی شده و خطوط جریان برنامه حاضر با نتیجه چنگ ولی [۵] مقایسه شده است (شکل ۳). مشاهده می شود که برنامه حاضر از دقت بالایی در شبیه سازی مسائل جابه جایی ترکیبی برخوردار است.

در مسأله دوم عملکرد برنامه حاضر در مسائل جابجایی آزاد سیال غیرنیوتنی کنترل شده است. در این بررسی جابجایی طبیعی در محفظه مربعی پر شده از سیال غیرنیوتنی که دیواره های بالایی و پایینی عایق و دیواره های راست و چپ دما ثابت می باشند در $Ra = 10^4$ شبیه سازی شده است. نتایج حاصل از کار حاضر با نتایج تحلیلی - تجربی کیم و همکاران [۳] و رابطه تجربی و کار عددی توران [۴] مقایسه شده است. نتایج از تطابق مناسبی برخوردارند.



شکل ۳- مقایسه خطوط جریان برنامه حاضر با نتیجه چنگ ولی [۵].

(الف) چنگ ولی، (ب) برنامه حاضر

در جدول ۲ مقدار عدد ناسلت متوسط دیواره گرم در چهار حالت چیدمان منابع گرمازا و سرمازا و در ۱/۴ و ۱ و ۰/۶ آورده شده است. به جز حالت ۱ در بقیه حالات کاهش شاخص سیال (n) باعث افزایش عدد ناسلت می شود و علت آن افزایش جابجایی به علت رقیق تر شدن سیال می باشد. همانطور که از نتایج مشاهده می شود همدمای بودن دیواره های عمودی (حالت ۳ و ۴) نسبت به دیواره های افقی (حالت ۱ و ۲) تأثیر بیشتری بر انتقال حرارت می گذارد و باعث افزایش میزان انتقال حرارت می شود که علت آن هم راستا بودن نیروهای برشی حاصل از حرکت دیواره بالایی محفظه و شناوری حاصل از اختلاف دمای دیواره ها می باشد. کمترین عدد ناسلت مربوط به حالت ۱ و ۰/۶ n و بیشترین عدد ناسلت مربوط به حالت ۳ و ۰/۶ n می باشد.

جدول ۲ - عدد ناسلت دیواره گرم در حالات مختلف

n	حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳	حالت ۴
۰/۶	۱/۳۱	۱۱/۵۴	۱۲/۰۰	۱۰/۳۷
۱	۱/۷۵	۵/۷۳	۹/۳۳	۹/۳۰
۱/۴	۲/۱	۵/۲۸	۸/۰۶	۸/۶۴

۷- نقش و تأثیر هدایت و جابجایی بر انتقال حرارت

برای پی بردن به نقش و تأثیر هدایت و جابه جایی بر انتقال حرارت درون محفظه برای حالت های ۱ و ۲ طبق رابطه (۲):

$$NU = \frac{\partial \theta}{\partial Y} - Pr Re V \theta$$

که ترم $\frac{\partial \theta}{\partial Y}$ بیانگر نقش هدایت و رسانایی و ترم $-Pr Re V \theta$

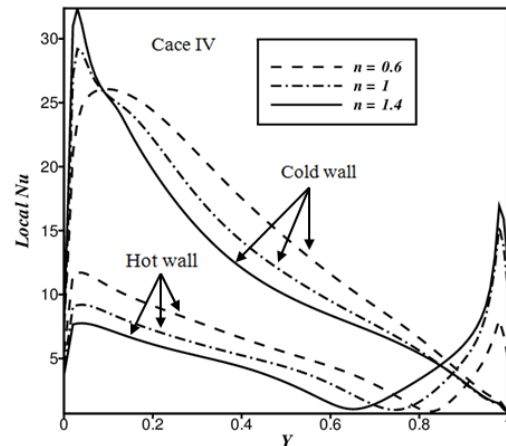
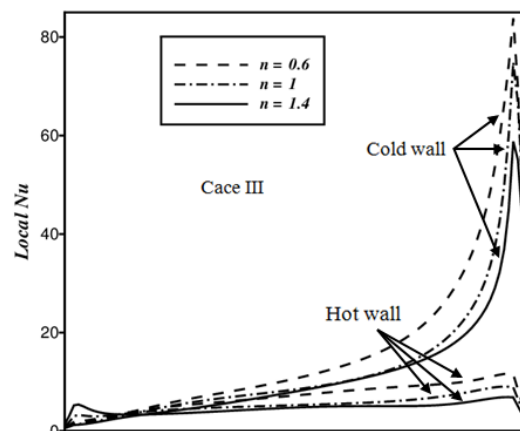
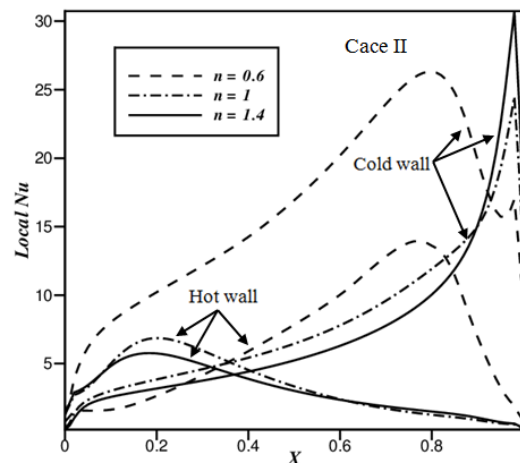
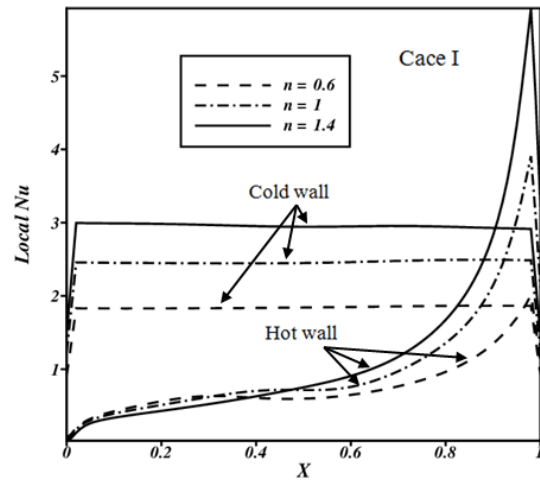
بیانگر نقش جابجایی سیال بر انتقال حرارت درون محفظه می باشد [۵]. شکل ۵ توزیع تأثیر هدایت و جابه جایی را روی خط $X = 0$ برای حالت های ۱ و ۲ نشان می دهد.

در حالت ۱ برای سیال غیر نیوتونی شبه پلاستیک ($n = 0.6$) در اکثر نقاط $-Pr Re V \theta \approx 1$ و $\frac{\partial \theta}{\partial Y}$ می باشد که بیانگر نقش

غالب هدایت بر جابجایی است. با افزایش n و غلیظ تر شدن جریان از طول نقاطی که در آنها $-Pr Re V \theta \approx 1$ می باشد کم می شود که بیانگر افزایش تأثیر جابجایی با افزایش n می باشد و همان طور که از نمودارهای ناسلت مشخص شد در حالت ۱ با افزایش n مقدار عدد ناسلت افزایش می یابد. برای سیال غیر نیوتونی دایلاتانتی ($n = 1/4$) در $0.5 \leq Y \leq 0.95$ می باشد که بیانگر انتقال حرارت غالب

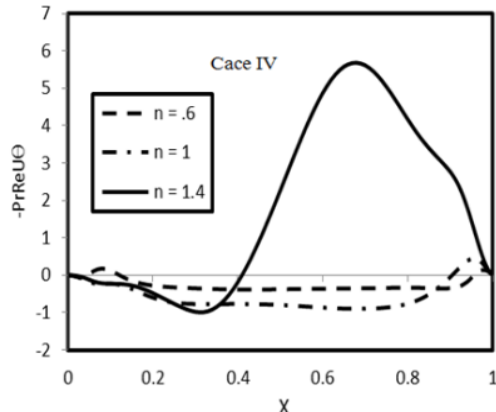
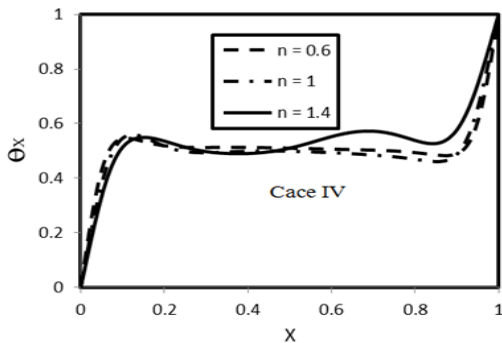
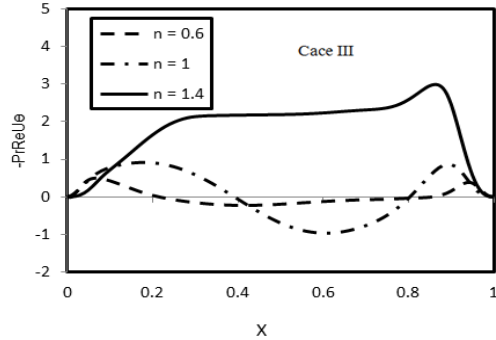
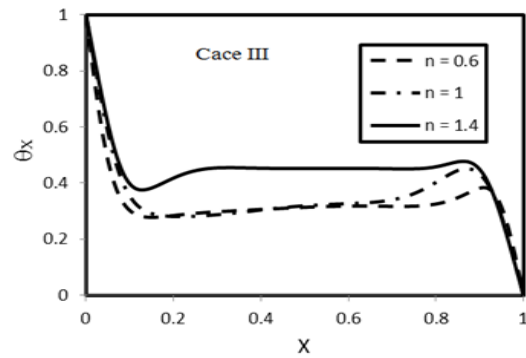
جابجایی است. در حالت (۲) برای $n = 0.6$ در $0.2 \leq Y \leq 0.8$ برای $n = 1$ در $0.55 \leq Y \leq 0.95$ و $0.2 \leq Y \leq 0.35$ و برای $n = 1/4$ در $0.55 \leq Y \leq 0.95$ می باشد که بیانگر این است که در این

نواحی حرارت فقط از طریق جابجایی سیال انتقال می یابد و هدایت هیچ نقشی ندارد ولی در قسمت های دیگر هم هدایت و هم جابجایی ایفای نقش می کنند.

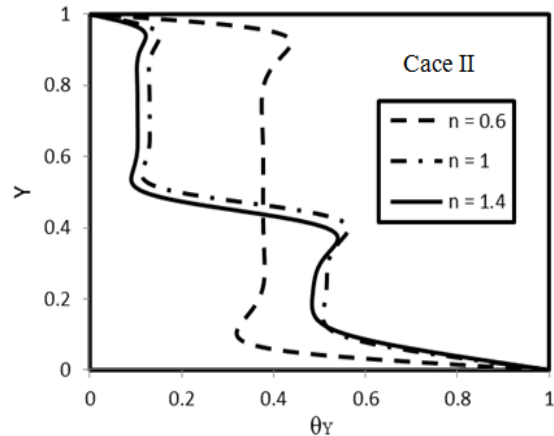
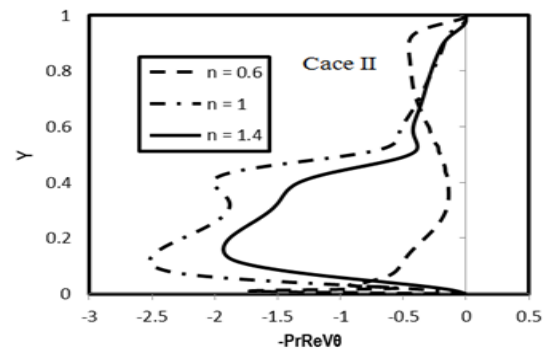
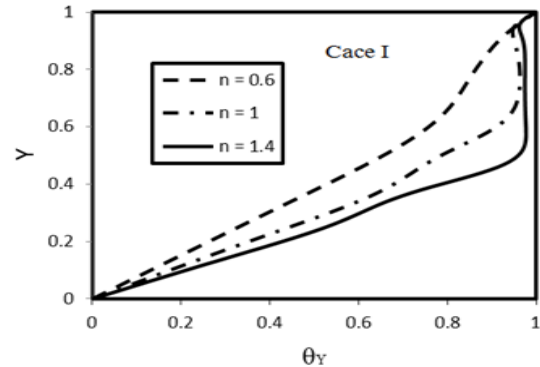
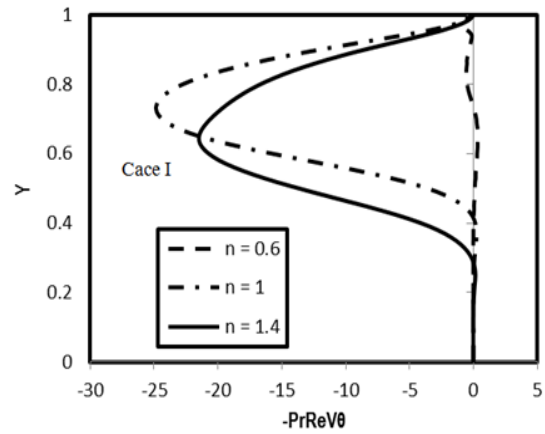


شکل ۴- ناسلت موضعی دیواره های سرد و گرم در چهار حالت چیدمان

حالت ۳ برای تمامی سیالات در نواحی میانی $\rightarrow \frac{\partial \theta}{\partial X}$ می باشد که بیانگر نقش غالب جابجایی بر هدایت در این حالت می باشد. برای $n = 1/4$ در بعضی از نقاط $-\text{Pr Re } U \theta \approx 0$ می باشد که بیانگر نقش هدایت غالب است ولی در $n = 1/4$ نقش جابجایی سیال در انتقال حرارت در تمامی نقاط مشاهده می شود. در حالت ۴ کمتر نواحی مشاهده می شود که شاهد هدایت یا جابه جایی غالب باشیم و در اکثر نواحی هم هدایت و هم جابجایی نقش ایفا می کنند.



شکل ۶- توزیع هدایت و جابه جایی روی خط $Y = 0$ برای حالت های ۳ و ۴



شکل ۵- توزیع هدایت و جابه جایی روی خط $X = 0$ برای حالت های ۱ و ۲ برای حالت های ۳ و ۴ داریم (رابطه ۳):

$$NU = \frac{\partial \theta}{\partial X} - \text{Pr Re } U \theta$$

شکل ۶ توزیع نقش روش های انتقال حرارت هدایت و جابه جایی را روی خط $Y=0$ برای حالت های ۳ و ۴ نشان می دهد. در

۸- جمع بندی

در این تحقیق به بررسی تاثیر نوع سیال غیر نیوتونی و نوع چیدمان منابع گرمازا و سرمازا بر روی میزان انتقال حرارت درون محفظه مربعی شکل پرداخته شد. نتایج زیر قابل جمع بندی می باشد:

- ۱- کاهش شاخص سیال (n) در اکثر حالات (به جز حالت ۱) باعث افزایش انتقال حرارت درون محفظه می شود.
- ۲- در گرادینان دمایی بر روی دیواره های عمودی محفظه (حالات ۳ و ۴) نسبت به دیواره های افقی (حالات ۱ و ۲) انتقال حرارت بیشتری منتقل می شود.
- ۳- کمترین عدد ناسلت مربوط به حالت ۱ و $n=0.6$ و بیشترین مربوط به حالت ۳ و $n=0.6$ می باشد.

۹- مراجع

- [1] A.A Mohamad, R and Viskanta. "Stability of Lid-driven Shallow Cavity Heated from below", Int. J. Heat Mass Trans., Vol. 32, No. 11, pp.2155-2166, 1989.
- [2] R. Iwatsu, J Hyun, and K Kuwahara. "Mixed Convection in a Driven Cavity with a Stable Vertical Temperature Gradient", Int. J. Heat Mass Trans., Vol. 36, pp. 1601-1608, 1993.
- [3]. Bin Kim, G., J. Min Hyun, and H. Sang Kwak, Transient buoyant convection of a power-law non-Newtonian fluid in an enclosure. International journal of heat and mass transfer, 2113. 46(19): p.3615-3617.
- [4] Turan, O., et al., 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, 2111. 166(17): p. 1149-1163.
- [5] T.S.Cheng and W.H.Liu, " Effect of temperature gradient orientation on the characteristics of mixed convection flow in a lid-driven square cavity", Computers & Fluids, Vol.39, pp.965-978, 2010.