

مطالعه بعد دار پارامترهای حرارتی در انتقال حرارت جابجایی طبیعی در یک حفره مربعی دوبعدی حاوی چشمه حرارتی دایره ای

میثم محمودی^۱

^۱ گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، m.mahmoudi@velayat.ac.ir

چکیده

بالاتر انرژی نیازمند تمرکز بر کوچک سازی تجهیزات از یک سو و افزایش انتقال حرارت به ازای واحد سطح از سوی دیگر است. [۱] شبیه سازی جابجایی اجباری و طبیعی در هندسه های مختلف کاربردهای گسترده ای در زمینه های مهندسی و صنعتی دارد. از جمله این کاربردها می توان به افزایش میزان انتقال حرارت، خنک کاری قطعات الکترونیکی، تکنولوژی های مربوط به روان کاری، تولید شیشه شناور، انتقال حرارت در حوضچه های خورشیدی، راکتورهای هسته ای، صنایع غذایی و ... اشاره نمود. [۲-۴]

جابجایی طبیعی به دلیل کاربرد های وسیع آن بسیاری از تحقیقات را به خود اختصاص داده است. از جمله این کاربرد ها می توان به عایق کاری ساختمان ها، انبار نگه داری غلات، کلکتورهای خورشیدی، ذخیره انرژی در مبدل های زیرزمینی، خنک کاری قطعات الکترونیکی و بازیابی و کنترل دمای راکتورها اشاره نمود [۵-۸]. با توجه به اهمیت موضوع مورد بررسی در ادامه به مرور برخی از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می پردازیم.

مهدی شادان و همکارانش در سال ۱۳۹۶ به بررسی عددی جابجایی طبیعی یک استوانه گرم داخل یک محفظه مربعی پر شده با نانوسیال آب و اکسید مس پرداختند. سیال داخل محفظه نانو سیال بود، بررسی آن ها نشان داد که با افزایش عدد رایلی، مقدار ناسلت متوسط دیواره ها افزایش می یابد. [۹]

ابوندا و همکارانش در سال ۲۰۱۰ انتقال حرارت جابجایی آزاد را در یک محفظه ی انتقال حرارت مستطیلی شکل که دیواره ی سمت چپ آن در دمای بالا (T_h) و دیواره ی سمت راست آن در دمای پایین (T_c) قرار داشت و دیواره های بالا و پایین آن عایق بودند، را بررسی نمودند. از جمله نتایج این مطالعه افزایش انتقال حرارت جابجایی با افزایش عدد رایلی بود. [۱۰]

علی پناهی و همکارانش در سال ۲۰۱۵ جابجایی آزاد و تولید آنتروپی در یک محفظه مربعی که دیواره چپ آن گرم، دیواره راست آن سرد و دیواره های بالا و پایین عایق بودند، را مورد مطالعه قرار دادند. آن ها نتیجه گرفتند با افزایش عدد رایلی، ناسلت متوسط افزایش می یابد [۱۱]

شیخ الاسلامی و همکارانش در سال ۲۰۱۲ جابجایی آزاد داخل یک محفظه بسته مربعی که یک استوانه داخل آن قرار گرفته

در کار حاضر به بررسی پارامترهای حرارتی در انتقال حرارت جابجایی طبیعی در یک حفره مربعی شکل بسته با وجود یک چشمه حرارتی دایره ای به صورت بعد دار پرداخته شده است. محل چشمه حرارتی دایره ای و دیواره ها ثابت فرض شده است. معادلات حاکم به روش حجم محدود و با استفاده از الگوریتم سیمپل حل شده است. در این کار بررسی بعد دار تغییرات ابعاد چشمه حرارتی دایره ای و میزان دمای سطح چشمه و همچنین نوع سیال داخل محفظه بر روی مقادیر دمای کل سیال و شار حرارتی در امتداد دیواره های حفره پرداخته شده است. مهمترین نتایج حاصل نشان داد با افزایش ابعاد چشمه حرارتی دایره ای و مقادیر دمای سطح، شارهای حرارتی روی دیواره ها و مقادیر دمای سیال محفظه افزایش یافته اند و انتخاب نوع سیال منجر به سهولت انتقال حرارت جابجایی طبیعی سیال می شود.

واژه های کلیدی

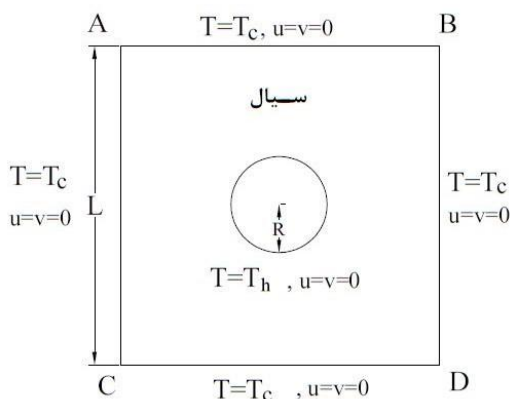
جابجایی طبیعی، مطالعه بعد دار، حفره مربعی، چشمه حرارتی دایره ای

مقدمه

یکی از صورت های انتقال حرارت جابجایی، انتقال گرمای جابجایی طبیعی است، در این نوع انتقال گرما که بین یک جسم ساکن و یک سیال صورت می گیرد، سیال حرکت بسیار آرامی دارد. بر خلاف انتقال گرمای جابجایی اجباری عامل حرکت سیال نیروی خارجی از قبیل پمپ و یا فن نیست، بلکه به واسطه نیروهای شناوری به تدریج انتقال حرارت با سطح انجام می شود. [۱]

جابجایی طبیعی در سال های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است و این توجه به دلیل وجود این نوع جابجایی در طبیعت و نیز کاربردهای آن در مهندسی می باشد. در طبیعت سلول های جابجایی از طلوع آفتاب و نور خورشید، زمین و آب را گرم کرده و این اصلی ترین صورت سیستم آب و هوایی می باشد. همچنین این انتقال حرارت در جریان های اقیانوسی و نیز در جریان هوای گرم روی آتش و همچنین شکل گیری بادهای اقیانوسی دیده می شود [۱]. علم انتقال حرارت یکی از مهم ترین و پر کاربرد ترین علوم مهندسی است که با توجه به لزوم مدیریت انرژی و صرفه جویی در مصرف انرژی اهمیت آن چندین برابر می شود. بهینه سازی تجهیزات انتقال حرارت جهت رسیدن به راندمان

اثر تغییرات ابعاد چشمه و دمای سطح آن بر انتقال حرارت جابجایی طبیعی سیال می باشد.



شکل ۱. طرحی از هندسه مساله

معادلات حاکم، شرایط مرزی و روش حل عددی

در این بررسی تعادل حرارتی بین سیال پایه و نانوذرات برای نانوسیال در نظر گرفته می شود. با صرف نظر از تلفات حرارتی اصطکاکی و با استفاده از تقریب بوزینسک برای چگالی سیال معادلات بدون بعد حاکم برای جریان آرام، دائمی و دوبعدی معادلات حاکم برای جریان داخل محفظه عبارتند از:

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

معادله مومنوم در راستای X:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

معادله مومنوم در راستای y:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = g_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

معادله انرژی:

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

شرط مرزی جریان برای مرزهای بیرونی AB و CD:

شرط مرزی جریان برای مرزهای بالا و پایین به صورت زیر

است:

$$u = 0, \quad v = 0 \quad (5)$$

شرط مرزی برای مرزهای بیرونی AC و BD:

شرط مرزی جریان برای مرزهای چپ و راست به صورت زیر است:

بود، را مورد مطالعه قرار دادند. که استوانه داخلی در دمای بالای T_h و دیواره های اطراف در دمای پایین T_c قرار دارند با افزایش عدد رایلی و نسبت ذرات نانو، نوسلت میانگین افزایش می یابد. [۱۲]

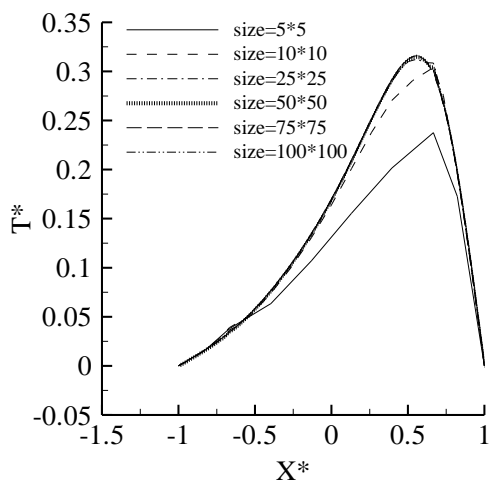
همتی و همکارانش در سال ۲۰۱۴ اثر جابجایی طبیعی یک استوانه واقع در داخل یک محفظه بسته مربعی با شرایط مرزی استوانه گرم و دیواره های بالا و پایین عایق و دیواره چپ و راست سرد را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نتایج را به صورت کانتور دما و ناسلت متوسط ارائه دادند و نتایج نشان داد، که افزایش عدد رایلی باعث افزایش عدد ناسلت متوسط می شود. همچنین با افزایش شعاع سیلندر مقدار عدد ناسلت متوسط افزایش می یابد. [۱۳]

اندرسن و لاریت در سال ۱۹۸۶ جا بجایی آزاد در یک محفظه که دارای دیواره های عمودی سرد و دیواره کف گرم در دمای یکنواخت می باشد، را بررسی کرده اند [۱۴]. کیمور و بیجن در سال ۱۹۸۶ به صورت عددی جابجایی آزاد را در یک محفظه مستطیلی که سطح کف آن خنک نگه داشته شده بود و به یکی از دیواره های عمودی نیز شار وارد می شد، بررسی نمودند. [۱۵] چائو و اوزید در سال ۱۹۸۳ به بررسی جابجایی طبیعی در یک محفظه مورب که نیمی از کف آن عایق و به نیم دیگر شار گرمایی وارد شده و دیوار بالایی نیز خنک شده است، پرداخته اند [۱۶]. گرانزاولی و میلانز در سال ۱۹۹۵ به بررسی محفظه های که دارای دیواره های عمودی سرد در دمای یکنواخت بوده و شار حرارتی نیز از کف محفظه وارد می شود، پرداخته اند [۱۷].

مرور برخی از مقالات و تحقیقات صورت گرفته در زمینه انتقال حرارت جابجایی طبیعی با وجود موانع و چشمه های حرارتی را نشان داد، کارهای زیادی با شرایط مرزی مختلف حرارتی صورت گرفته است. با توجه به اهمیت موضوع و کاربردهای بیان شده کار حاضر تحت عنوان بررسی عددی بعد دار برخی از پارامترهای حرارتی جریان و انتقال حرارت جابجایی طبیعی حفره مربعی حاوی چشمه حرارتی دایره ای با شرایط سطوح دما ثابت با هدف کاربردهای صنعتی مورد بررسی و مطالعه قرار می گیرد.

معرفی مساله

هندسه ی در نظر گرفته شده برای مسئله ی حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مسئله حفره مربعی شکل دو بعدی دارای اضلاعی به طول L و یک چشمه حرارتی دایره ای شکل دما ثابت به شعاع R می باشد. و دیواره های عمودی (چپ و راست) و دیواره های افقی (بالا و پایین) در دمای ثابت سرد T_c می باشند. همچنین سطوح این چشمه حرارتی دایره ای دما ثابت در دمای گرم T_h قرار دارد. داخل این محفظه با سیال آب فضای بین محفظه و چشمه حرارتی دما ثابت پر شده است. هدف بررسی عددی جریان و انتقال حرارت جابجایی طبیعی با قرارگیری یک چشمه دایره ای دما ثابت گرم داخل محفظه



شکل ۲. تغییرات دما بر حسب x در $y = 0.66$ درشش شبکه بندی متفاوت

برای بررسی تغییرات پارامترهای حرارتی این محفظه، که یک محفظه مربعی به طول $L=3$ cm، چشمه حرارتی دما ثابت به شعاع $R=0.3$ cm و دمای دیواره‌های محفظه در دمای ثابت سرد $T_c=300$ k و جریان سیال هوا را برای دماهای T_h های مختلف ($T_h=302$ k، $T_h=304$ k، $T_h=306$ k) نمایش داده می‌شود. بررسی تغییرات دمای سطح چشمه حرارتی دما ثابت روی دما، پروفیل سرعت و شارهای حرارتی انجام می‌شود.

برای بررسی تغییرات ابعاد چشمه حرارتی گرم در حفره بر انتقال حرارت جابجایی طبیعی محفظه مورد بررسی با دمای سطح دما ثابت گرم در دمای $T_h=302$ k، و برای سه شعاع متفاوت ($R=0.15$ cm، $R=0.3$ cm، $R=0.6$ cm)، مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. شکل ۳ اثر تغییرات ابعاد چشمه حرارتی (دما ثابت) بر کانتهای دما را در سه شعاع مختلف نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقادیر کانتهای دما در محفظه با افزایش شعاع مانع دایره ای دما ثابت گرم، زیاد می‌شوند. هر چه شعاع بیشتر شده، سیال روی سطح بیشتری در تماس قرار می‌گیرد. که در نتیجه سیال بیشتری می‌تواند حرارت دریافت کند، پس چگالی کم و سبک می‌شود و به سمت بالا می‌رود. سیال سنگین تر پایین می‌آید و جای سیال سبک تر را می‌گیرد. و این امر بر انتقال حرارت جابجایی تاثیر مثبتی دارد. جدول ۱ تغییرات ابعاد چشمه حرارتی دایره ای (دما ثابت) گرم بر شار حرارتی روی دیواره های محفظه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود با افزایش ابعاد چشمه حرارتی دایره ای در محفظه مقادیر کل شارهای حرارتی افزایش می‌یابند.

$$u = 0, \quad v = 0 \quad (6)$$

شرایط مرزی برای مرزهای داخل محفظه :

شرط مرزی برای سطوح چشمه حرارتی دما ثابت به صورت زیر است:

$$u = 0, \quad v = 0 \quad (7)$$

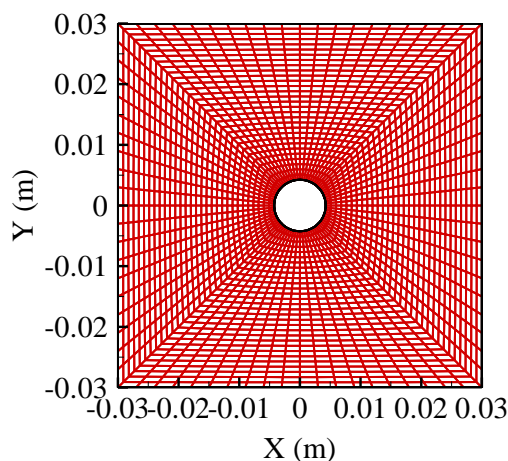
شرایط مرزی حرارتی

مرزهای AB و BD و CD و AC در دمای ثابت T_c قرار

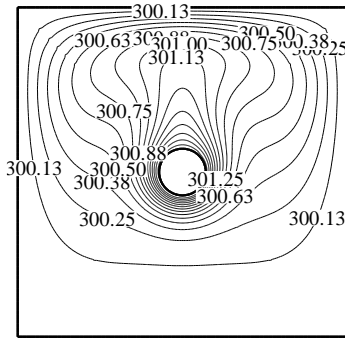
دارند و همچنین چشمه حرارتی دما ثابت در دمای ثابت گرم T_h است.

نتایج و بحث

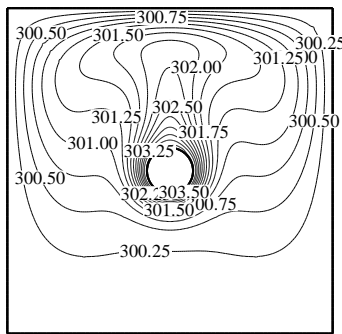
معادلات حاکم و شرایط مرزی با استفاده از روش عددی حجم محدود حل شده و برای کوپل سرعت و فشار الگوریتم SIMPLE استفاده شده است. برای حصول مش اقتصادی و بررسی استقلال شبکه چهار نوع شبکه در درون یک محفظه ای مربعی شکل دو بعدی برای بررسی میزان وابستگی نتایج به شبکه انتخاب شده، شکل ۲ نمایی از مش بندی محفظه را نشان می‌دهد. آزمون استقلال شبکه بر روی مدل نمونه با چندین شبکه مختلف انجام شده است. شش شبکه یکنواخت (5×5 ، 10×10 ، 25×25 ، 50×50 ، 75×75 و 100×100) به این منظور مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۳ بررسی استقلال شبکه تغییرات دما T بر حسب x در امتداد طولی $y = 0.66$ برای شش شبکه مختلف برای محفظه را نشان می‌دهد مشاهده می‌شود در سه شبکه آخر خطای RMS کمتر از ۰/۱ درصد است. لذا شبکه ۵ به عنوان شبکه مناسب برای ادامه بررسی های عددی انتخاب شده است.



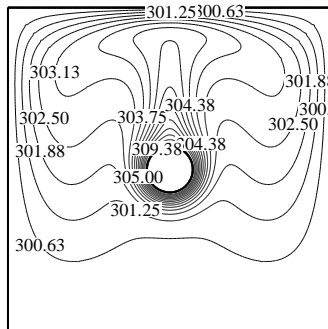
شکل ۳. نمایش مش بندی در محفظه مورد مطالعه



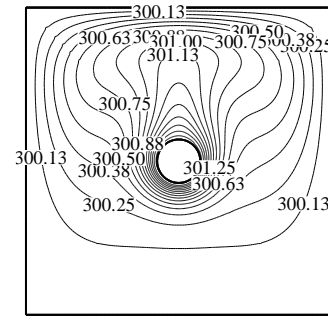
(الف)



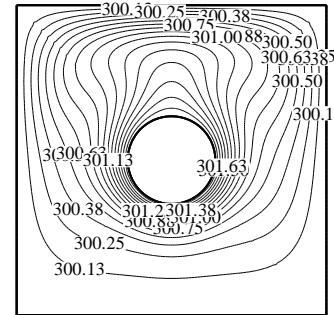
(ب)



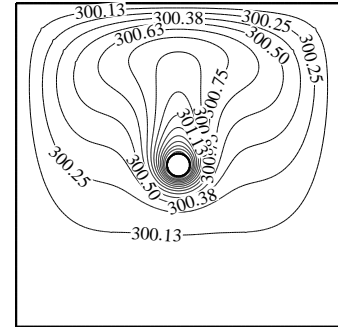
(ج)



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۳. نمایش کانتورهای دما با چشمه حرارتی دایره ای دما ثابت گرم به شعاع های مختلف (الف) $R=0.3 \text{ cm}$ ، (ب) $R=0.6 \text{ cm}$ و (ج) $R=0.15 \text{ cm}$

شکل ۴. نمایش کانتورهای دما برای حالت های (الف) $T_h=302 \text{ k}$ ، (ب) $T_h=306 \text{ k}$ و (ج) $T_h=310 \text{ k}$ برای تغییرات سطح چشمه حرارتی دما ثابت

شکل ۴ نشان می دهد دمای سطح چشمه حرارتی دما ثابت زیاد شده و مقادیر کانتورهای دما نیز افزایش پیدا کرده است. طبق انتقال حرارت جابجایی آزاد زمانی که سیال در معرض دیواره ی گرم قرار می گیرد، گرم می شود که در این صورت یک گرادیان چگالی در آن به وجود می آید. این گرادیان باعث تغییرات چگالی با دما می شود. تغییرات چگالی موجب سبک شدن سیال می شود که این تغییرات وزن موجب حرکت سیال شده به گونه ای که سیال سبک تر به سمت بالا و سیال سنگین به سمت پایین حرکت می کند. سیال سنگین که همان هوای سرد می باشد، از کنار دیواره های سرد پایین آمده است. جابجایی ما در این جا از نوع جابجایی آزاد می باشد.

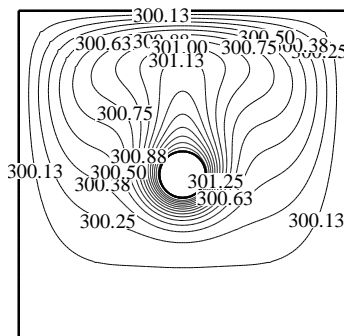
جدول ۱. نمایش شار حرارتی روی دیواره های محفظه با شعاع مختلف چشمه حرارتی دایره ای دما ثابت	
ابعاد چشمه حرارتی (R)	شار حرارتی کل دیواره های محفظه (w)
0.15	-8.9427783e-07
0.3	-1.3232100e-05
0.6	-1.3057793e-06

شکل ۴ بررسی تغییرات دمای سطح چشمه حرارتی دما ثابت بر کانتورهای دما را در سه دمای مختلف نشان می دهد.

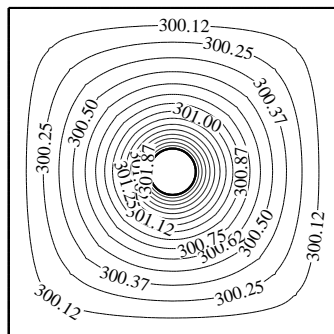


C_p	1.007 [kJ/kg.k]	4.179 [kJ/kg.k]
Pr	0.707	5.83
T_h	302 [k]	302 [k]
T_c	300 [k]	300 [k]

شکل ۶ بررسی تغییر نوع سیال داخل محفظه بر کانتورهای دما را یکی برای سیال هوا و دیگری برای سیال آب نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۵. نمایش کانتور دما برای حالت‌های (الف) سیال هوا و (ب) سیال آب

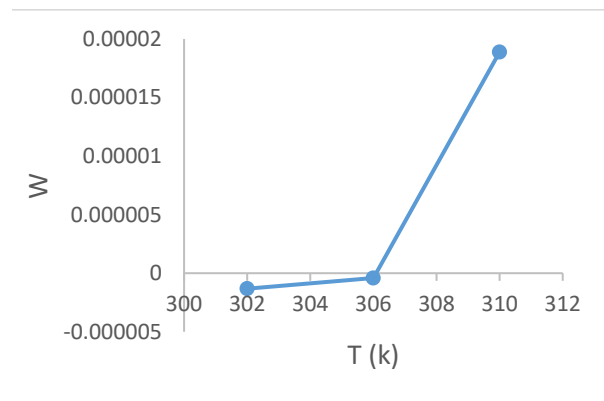
در شکل ۵ مشاهده می‌شود که تغییرات دما با سیال هوا بیشتر است چون چگالی آن سبک تر است و همچنین جابجایی آزاد داریم.

نتیجه گیری

نتایج بعد دار حاصل از افزایش ابعاد چشمه حرارتی دایره ای گرم دما ثابت، بر مقادیر کانتورهای دما و شارهای حرارتی دیواره های محفظه نشان داد ذبا افزایش ابعاد چشمه حرارتی گرم دما ثابت مقادیر کانتورهای دما، شارهای حرارتی دیواره های محفظه افزایش پیدا کرده است. زیرا زمانی که سیال در معرض دیواره ی گرم قرار می گیرد همچنین هر چه شعاع چشمه حرارتی دایره ای بیشتر شده، سطح چشمه حرارتی دما ثابت ما بیشتر و سیال روی سطح بیشتری در تماس قرار می گیرد. که در نتیجه سیال بیشتری می تواند حرارت دریافت کند، گرم می شود که در این صورت یک گرادیان چگالی در آن به وجود می آید. این

جدول ۲ و شکل ۵ بررسی شارهای حرارتی روی کل دیواره های محفظه در سه دمای مختلف را نشان می دهد.

جدول ۲. نمایش شار حرارتی روی دیواره های محفظه در سه دمای مختلف	
شار حرارتی کل دیواره های محفظه (w)	دما چشمه حرارتی T_h (k)
-1.323216e-06	302
-4.143992e-07	306
1.888142e-05	310



شکل ۵. نمودار تغییرات شار حرارتی با تغییر دمای چشمه حرارتی

از شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش دمای سطح چشمه حرارتی دما ثابت، شارهای حرارتی روی دیواره ها افزایش پیدا می کند. برای بررسی تغییرات بعددار اثر نوع سیال این محفظه، محفظه مربعی به طول $L=3$ cm، چشمه حرارتی دما ثابت به شعاع $R=0.3$ cm و دمای دیواره های محفظه در دمای ثابت سرد $T_c=300$ k و دمای چشمه حرارتی در دمای ثابت گرم $T_h=302$ k، و برای بررسی خصوصیات سیال ما دو سیال یکی آب و یکی هوا را انتخاب می کنیم و تحلیل ها را روی کانتور دما و شار حرارتی نشان می دهیم. برای بررسی از دوتا سیال استفاده می کنیم، که در جدول ۳ خصوصیات فیزیکی برای هر دو سیال آورده شده است.

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی سیال ها		
خواص فیزیکی	هوا	آب
ρ	1.225 [kg/m ³]	998.2 [kg/m ³]
μ	184.6*10 ⁻⁷ [N.s/m ²]	885*10 ⁻⁶ [N.s/m ²]
β	0.0033 [1/k]	276.1*10 ⁻⁶ [1/k]



- Communications in Heat and Mass Transfer. Vol. 37, No. 2, pp. 182–191.
- [11] M. Alipanah, A.A., E. Farnad and F. (2015) "Entropy Generation of Natural Convection Heat Transfer in a Square Cavity Using Al 2O₃–Water Nanofluid," Heat Transfer—Asian Research, 44 (7), pp
- [12] M. Sheikholeslami and M., D.D. (2012) "Magnetic field effects on natural convection around a horizontal circular cylinder inside a square enclosure filled with nanofluid," International Communications in Heat and Mass Transfer, 39, pp 978–986, .
- [13] Mohammad Hemmat Esfe, Ali Akbar Abbasian Arani, Arash Karimipour and Seyed Sadegh Mirtalebi Esforjani. (2014) "NUMERICAL SIMULATION OF NATURAL CONVECTION AROUND AN OBSTACLE PLACED IN AN ENCLOSURE FILLED WITH DIFFERENT TYPES OF NANOFLUIDS," Heat Transfer Research 45(3), pp279–292.
- [14] Anderson, R. and Lauriat, G. (1986) "The Horizontal Natural Convection Boundary Layer Regime in a Closed Cavity", In Proc.8th, Int. Heat Transfer Conf. Vol. 98, pp. 1453-1458, San Francisco USA.
- [15] Kimura, S. and Bejan, A. (1985) "Natural Convection in a Differentially Heated Corner Region", Phys. Fluids Vol. 28, No. 10, pp. 2980-2989,
- [16] Chao, P. and Ozoe, H. (1983) "Laminar Natural Convection in an Inclined Rectangular Box with Lower Surface Half Heated and Half Insulated", AZME J. Heat and Mass Transfer, Vol. 105, pp. 425-432.
- [17] Granzarolli, M.M. and Milanez, L.F. (1995) "Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from Below and Symmetrically Cooled from the Sides", Int J. Heat Mass Transfer, Vol. 38, No. 6, pp. 1063- 1073.
- [18] Mahmud, S., (2002), "Free convection inside an L-shaped enclosure", Heat Mass Transfer 29 1005-1013.
- [19] F. Moukalled. (1996), "Natural Convection in the Annulus Between Concentric Horizontal Circular and Square Cylinders," Journal of thermophysics and heat transfer, Vol. 10, No. 3

گردایان باعث تغییرات چگالی با دما می‌شود. تغییرات چگالی موجب سبک شدن سیال می‌شود که این تغییرات وزن موجب حرکت سیال شده به گونه ای که سیال سبک تر به سمت بالا و سیال سنگین به سمت پایین حرکت می‌کند. سیال سنگین که همان هوای سرد می‌باشد، از کنار دیواره های سرد پایین آمده است. بنابراین این امر منجر به سهولت انتقال حرارت جابجایی آزاد سیال می‌گردد. همچنین نتایج حاصل بعددار ناشی از بررسی نوع سیال نشان داد هوا بدلیل سبک تر بودن تغییرات بیشتری دارد.

مراجع و منابع

- [1] اینکروپرا-دویت-برگمن-لاوین، (۱۳۹۰)، "مقدمه ای بر انتقال حرارت"، ویراست پنجم، ترجمه بهرام پوستی، تهران، نشر کتاب دانشگاهی،
- [2] Cha, C.K. and Jaluria, Y. (1984) Recirculating mixed convection flow for energy extraction, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 27, No. 10, pp. 1801–1812,
- [3] Pilkington, L.A.B. Review lecture: the float glass process, Proceedings of the Royal Society of London A, Vol. 314, pp. 1–25, 1969.
- [4] Khanafer, K., Vafai, K., Lightstone, M. Buoyancy driven heat transfer enhancement in a twodimensional enclosure utilizing nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 46, No. 19, pp. 3639–3653, 2003.
- [5] D. A. Nield and A. Bejan, "convection in porous media", Third Edition , spinger, 2006.
- [6] D.B.Ingham, A.Bejan, E.Mamut, I.Pop, "Emerging Technologies Techniques in porous media", Kluwer Academic, Dordrecht, 2004.
- [7] D.B.Ingham, I.Pop, "Transport phenomena in porous media" , pergamon, Oxford, Vol.1, 2002, vol.2, 2005.
- [8] K.Vafai, "Hand Book of porous Media" , New York, 2000.
- [9] مهدی ش، الشن س، ولی انجیل ا، (۱۳۹۶) " بررسی عددی جابجایی طبیعی یک استوانه گرم داخل یک محفظه مربعی پر شده با نانوسیال آب و اکسید مس"، دومین کنفرانس بین المللی مهندسی مکانیک و هوافضا، تهران،
- [10] Y. Varol, H. F. Oztop, A. Koca, (2010) "Effects of inclination angle on conduction—natural convection in divided enclosures filled with different fluids. International