



شبیه‌سازی عددی دو رادیاتور تخت گرمایشی مستقر در کف یک اتاق به منظور ارزیابی عملکرد حرارتی آن‌ها

محمد مهدی کشتکار^{۱*}، سعید زید آبادی نژاد^۲

۱- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران.
 ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران.
 * کرمان، صندوق پستی ۷۶۳۵۱۳۱۱۶۷، mkeshtkar54@yahoo.com

چکیده

کار حاضر گزارشی از شبیه‌سازی عددی انتقال حرارت جابجایی طبیعی در یک اتاق با گرمایش موضعی از کف و سرمایش متقارن از طرفین است. این آنالیز به منظور بررسی انتقال حرارت صورت گرفته از دو رادیاتور تخت در کف یک اتاق مربعی شکل انجام شده‌است. میدان جریان و دما از شبیه‌سازی عددی معادلات بقا جرم، اندازه حرکت و انرژی در حالت جریان آرام، پایدار و دو بعدی به روش حجم محدود به دست آمده‌اند. درحالی که مقدار انرژی گرمایی وارد شده به اتاق ثابت است، تاثیر پارامتر بدون بعد عدد رایلی و توان حرارتی رادیاتورها و همچنین مکان قرارگیری آن‌ها بر میدان جریان و دما ارزیابی شده‌است. پس از آنالیز مساله مشخص شد که با افزایش عدد رایلی، جریان چرخشی درون اتاق افزایش یافته و انتقال حرارت جابجایی غالب می‌گردد.

کلیدواژگان: جابجایی طبیعی، محفظه بسته، روش حجم محدود، گرمایش موضعی، عدد رایلی.

Numerical simulation of two Floor-Flat-Radiators in a room in order to evaluating their thermal performance

Mohammad Mehdi Keshtkar^{1*}, Saeed Zaidabadi Nejad¹

1- Department of Mechanical Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran. .

* P.O.B. 7635131167, Kerman, Iran, mkeshtkar54@yahoo.com

Received: 18 June 2016

Accepted: 10 August 2017

Abstract

The present work reports of the numerical simulation of natural convection in a square enclosure with local heating of bottom and cooling from side walls. This simulation has been done to evaluate the thermal analysis of two floor radiator in a squares room. Flow and temperature fields were obtained by numerical simulation of mass, momentum and energy equations in laminar, steady and two-dimensional flows. While the amount of heat energy into room is constant, effect of parameter dimensionless Rayleigh number and strength of the heat source as well as the location of they, evaluated on flow and temperature fields. In the end, it was found that by increasing the Rayleigh number, rotational flow within the room increases and convective heat transfer is dominant.

Keywords: natural convection, room, finite volume method, local heating, Rayleigh number.



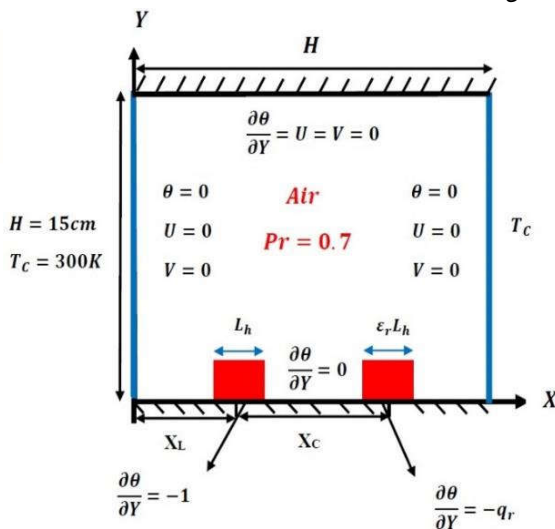
۱- مقدمه

یکی از کاربردهای مهم جابجایی طبیعی، گرمایش اتاق است؛ که در مباحث علمی به جابجایی طبیعی در محفظه‌های بسته مشهور است. در این حالت رادیاتورهای رفتاری شبیه به منابع حرارتی داشته و می‌توانند بر روی یک یا چند دیواره اتاق واقع شوند؛ همچنین ممکن است سرمایش نیز از طریق یک یا چند دیواره صورت پذیرد. به هر ترتیب در این محفظه‌ها انتقال حرارت از سطح رادیاتورها، توسط جابجایی طبیعی صورت می‌گیرد. در رادیاتورهای تخت دمای سطحی رادیاتورها به پارامترهایی از قبیل اندازه، توان حرارتی و مکان قرارگیری رادیاتورها و همچنین شرایط مرزی حرارتی دیواره‌ها و... وابسته می باشد. از جمله تحقیقات اولیه ای که در زمینه جابجایی طبیعی در اتاق انجام شده است، می‌توان به مطالعات سایتو و هیروس [۱] و دوهل دیویس [۲] اشاره نمود. این محققین، جابجایی آزاد در یک اتاق مربعی با دیواره‌های افقی عایق و دیواره‌های عمودی با دو دمای یکسان و متفاوت را به روش عددی بررسی نموده‌اند. در این مقالات با استفاده از روش‌های برون‌یابی جواب‌های دقیقی ارائه شده‌است که امروزه جهت اعتبارسنجی مسائل جابجایی آزاد در محفظه‌های بسته و اتاق‌ها استفاده می‌شوند. در سال‌های بعد، اتاق‌های که گرمایش در آن‌ها از دیواره پایین صورت می‌گرفت، مورد مطالعه قرار گرفتند. از آن جمله می‌توان به کارهای تورنس [۳] و فوزگی [۴] اشاره نمود. در این مطالعات جابجایی آزاد در اتاق‌های مربعی که از وجه پایین به صورت موضعی گرم می‌شدند، بررسی شده است. دنگ و همکارانش [۵] جابجایی آزاد آرام را در اتاق مستطیلی با منابع حرارتی مجزا مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که به طور کلی نقش منابع حرارتی دما ثابت از منابع شار ثابت، بیشتر است. در مطالعه‌ای دیگر به بررسی اثر منبع حرارتی گسسته بر جابجایی آزاد در محفظه متخلخل پرداخته شده‌است [۶]. در این تحقیق دیواره عمودی سمت چپ محفظه دارای دو منبع حرارتی گسسته بوده و سرمایش از دیواره سمت راست صورت می‌گرفته‌است. دیوار بالا و پایین، و بخش‌های گرمادهی نشده از دیوار سمت چپ، عایق در نظر گرفته شده‌اند. تابع جریان از معادلات حاکم، و به صورت عددی از روش تفاضل محدود به- دست آمده‌است. در این تحقیق اثر پارامترهای نسبت ابعاد، عدد دارسی، طول منبع حرارتی و عدد رایلی اصلاح شده بر میدان جریان و دما بررسی شد. نتایج عددی نشان می‌داد که با افزایش عدد رایلی اصلاح شده و عدد دارسی، نرخ انتقال حرارت افزایش می‌یابد. در بررسی انتقال حرارت و جریان سیال در محفظه‌هایی که از نانو سیال پر شده‌اند، می‌توان به تحقیق اوزتاپ و نادا [۷] اشاره کرد. در این تحقیق طول منبع حرارتی واقع بر دیوار سمت چپ محدود بوده، و همچنین درجه حرارت دیوار عمودی سمت راست پایین‌تر از منبع حرارتی است. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع هیتز، انتقال حرارت افزایش می‌یابد و محل منبع حرارتی بر روی توزیع دما اثر قابل توجهی دارد. تورکاگلو و همکارانش [۸] اثر مکان قرارگیری منبع حرارتی و خنک کننده را بر جابجایی طبیعی در یک اتاقک مکعبی را بررسی کردند. آن‌ها در حل مسئله از روش حجم محدود و الگوریتم سیمپل استفاده کردند. نتایج نشان می‌داد، با انتقال محل گرمایش به دیوار پایین عدد ناسلت افزایش می‌یابد. در تحقیقی دیگر باهوش و همکارانش [۹] به مطالعه عددی جابجایی طبیعی در یک اتاقک مربعی با دیواره‌های شیبدار پرداختند. برای بهبود عملکرد دیواره‌های سرد و گرم، این انحراف از ۹۰ درجه برای دیواره‌ها در نظر گرفته- شد. پس از محاسبه میدان جریان و دما، نتایج از بهترین حالت عملکرد در هفت درجه حاکمی بود. رحمان و شریف [۱۰] به مطالعه جابجایی آزاد در یک محفظه شیبدار با دیواره‌های عمودی با دمای متفاوت پرداختند. آن‌ها

در یافتند که در اعداد رایلی کم، تاثیر زاویه محفظه بر خطوط جریان و دما ناچیز است. همچنین در اعداد رایلی بزرگ، جابجایی آزاد در محفظه به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در تحقیقی دیگر با عنوان مطالعه عددی انتقال حرارت جابجایی آزاد در یک اتاقک مستطیلی با چند منبع حرارتی مجزا، در شرایط هندسی مختلف اثر عدد رایلی بر میدان جریان و دما، برای دو سیال هوا و fc-77 بررسی شد [۱۱]. در تحقیق حاضر با در نظر گرفتن این فرض که ابعاد اتاق و مقدار کل انرژی گرمای وارد شده به آن ثابت می‌باشند، به بررسی اثر پارامترهای بدون بعد عدد رایلی، نسبت طول و توان حرارتی رادیاتورها و همچنین مکان قرار گیری آن‌ها بر میدان جریان و دما در داخل اتاق پرداخته شده است. به منظور درک بهتر فیزیک مساله، نتایج در قالب نمودارهای خطوط جریان، خطوط دما ثابت و دمای سطح رادیاتورها در حالت‌های مختلف ارائه شده‌است.

۲- مدل فیزیکی

در مطالعه حاضر، شبیه‌سازی عددی جابجایی طبیعی در یک اتاق مربعی با دو رادیاتور گرمایشی مجزا واقع در کف اتاق انجام شده‌است. جریان سیال، آرام، پایدار و دو بعدی در نظر گرفته شده‌است. ارتفاع اتاق مورد نظر جهت شبیه سازی ۱۵ سانتی‌متر و سیال درون آن هوا با عدد پرنتل ۰/۷ است. با فرض اختلاف دمای کم، اثر شناوری توسط تقریب بویزنسک مدل شده است. خواص ترموفیزیکی سیال ثابت در نظر گرفته شده و از اثرات تشعشع نیز صرف نظر شده‌است. هندسه و جزئیات شرایط مرزی در شکل (۱) و جدول (۲) نشان داده شده‌اند.



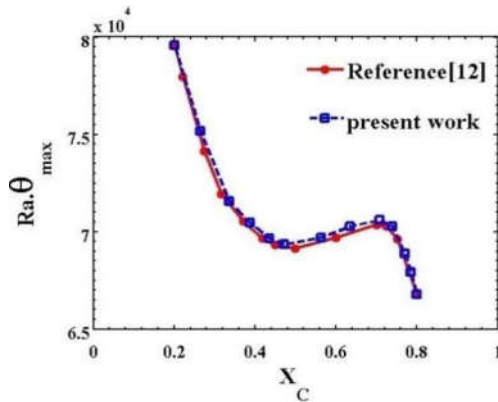
شکل (۱): هندسه و شرایط مرزی حاکم بر مسئله

معادلات حاکم برای بررسی جریان آرام، تراکم ناپذیر و دائم جابجایی طبیعی در یک اتاق، شامل معادلات بقاء جرم، اندازه حرکت و انرژی می باشند. شکل بقائی و بی‌بعد مجموعه معادلات حاکم به ترتیب به شرح زیر است:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$



شبکه‌بندی متفاوت به دست آمده است. نتایج این بررسی در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۲: مقایسه نتایج تحقیق با مرجع [۱۲]

خلاصه حالت‌های مورد بررسی در این تحقیق، و همچنین عنوان شکل مربوطه در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۱): نتایج استقلال از شبکه

اندازه شبکه	$Ra.\theta_{max}$	تغییر در مقدار $Ra.\theta_{max}$
50×50	1×10^5	۰/۱۹
100×100	$1/0.01 \times 10^5$	۰/۰۰۱

شکل (۳) چگونگی تغییر خطوط جریان و خطوط هم‌دما را با تغییر عدد رایلی نشان می‌دهد. در این حالت نسبت طول و توان رادیاتورهای ثابت بوده $(\epsilon_r = q_r = 1)$ ، و همچنین فاصله بین رادیاتورها و دیواره‌های جانبی نیز یکسان است. با توجه به شکل در اعداد رایلی کم ($Ra=10^3$ و $Ra=10^4$) از الگوی خطوط جریان می‌توان به این نتیجه رسید که جریان شناوری ضعیف بوده و انتقال حرارت هدایتی غالب است. در این حالت خطوط هم‌دما به صورت منحنی‌های تقریباً صاف است و عملاً نیمه بالایی محفظه تحت تاثیر منبع‌های حرارتی قرار نگرفته است. از الگوی خطوط هم‌دما می‌توان به شباهت هدایت ایجاد شده توسط رادیاتورهای پی برد. الگوهای خطوط جریان نشان می‌دهند که با افزایش عدد رایلی، هسته گردابه‌های ایجاد شده به سمت بالا حرکت می‌کنند؛ این مساله ناشی از تشکیل جریان چرخشی قوی‌تر و افزایش نیروی شناوری است. همچنین با افزایش عدد رایلی خطوط هم‌دما نسبت به حالتی که مربوط به هدایت خالص است انحراف یافته و حرکت سیال سبب انتقال هوای گرم تا نزدیکی دیواره بالا می‌شود. در تمامی حالات مربوط به شکل (۳) رادیاتورهای دارای نسبت طول و توان یکسان بوده و شرایط مرزی دیواره‌های جانبی نیز متقارن است، بنابراین اتلاف گرما مشابه‌ای از دیواره‌های سرد جانبی صورت می‌گیرد و انتظار می‌رود دمای سطح آن‌ها برابر شود. با توجه به اینکه مقدار انرژی گرمایی وارد شده به اتاق ثابت و مقدار آن وابسته به سایز و توان حرارتی رادیاتورها است، لذا در تحقیق حاضر در حالی که کل گرمای وارد شده به اتاق ثابت است، مقادیر نسبت بی‌بعد طول و توان رادیاتورها تغییر داده شده تا اثر این پارامترهای بی‌بعد بر میدان جریان و دما بررسی گردد. در حالت‌های مختلف این تحقیق اعداد رایلی به گونه‌ای محاسبه

که در آن، X و Y مختصه‌های بی‌بعد مکانی در جهات افقی و عمودی بوده و متغیرهای U و V مولفه‌های بی‌بعد سرعت افقی و عمودی می‌باشند. معادله اندازه حرکت در راستای افقی به شکل زیر است:

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

که در آن، Pr عدد بی‌بعد پرنتل، و P متغیر فشار بی‌بعد است. معادله اندازه حرکت در راستای عمودی نیز به شکل زیر است:

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \text{Pr} \left[\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right] + Ra \text{Pr} \theta \quad (3)$$

که در آن، Ra عدد بی‌بعد رایلی است و مقدار آن در کار حاضر برای حالت‌های مختلف متفاوت می‌باشد. در نهایت معادله بی‌بعد انرژی با متغیر دمای بی‌بعد θ به شکل زیر می‌باشد:

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad (4)$$

در حل معادلات بالا از شرایط مرزی زیر استفاده شده است:

- شرط مرزی عدم لغزش برای تمام دیواره‌ها. $U=V=0$
- شرط مرزی حرارتی $\theta=0$ برای دیواره‌های سرد جانبی.

شرط مرزی حرارتی $\frac{\partial \theta}{\partial Y} = 0$ برای دیواره بالا و بخش غیرگرم‌مازی کف. شرط مرزی حرارتی $\frac{\partial \theta}{\partial Y} = -1$ برای مکان قرارگیری رادیاتور سمت چپ و شرط مرزی حرارتی $\frac{\partial \theta}{\partial Y} = -q_r$ برای مکان قرارگیری رادیاتور سمت راست.

۳- مراحل حل

معادلات حاکم به همراه شرایط مرزی نشان داده شده در شکل (۱) بر روی یک شبکه یکنواخت گسسته‌سازی و با روش حجم محدود حل شده‌اند. برای ذخیره سرعت‌ها و متغیرهای اسکالر از شبکه جابجا شده (استگر) استفاده شده است. معادلات گسسته با استفاده از الگوریتم سیمپلر حل شده و به منظور ارتباط بین ترم‌های جابجایی - نفوذ از تقریب پاولا استفاده شده است. در انتها، دستگاه معادلات جبری خطی به دست آمده با روش ماتریس معکوس حل شده است.

۴- نتایج

به منظور اعتبارسنجی کد محاسباتی، نتایج به دست آمده با نتایج مرجع [۱۲] مقایسه گردید و مشاهده شد که، در شرایط یکسان تطابق خوبی بین نتایج برقرار است. نتیجه این مقایسه در شکل (۲) آورده شده است. از آنجا که در شبیه‌سازی عددی، یکی از نکات مهم عدم وابستگی نتایج به تعداد نقاط شبکه است، در تحقیق حاضر به منظور بررسی استقلال از شبکه، مقدار پارامتر مهم مساله (دمای ماکزیمم بی‌بعد) در یک حالت خاص و برای دو



جانبی است. در حالتی که $\epsilon_r = 0.3$ است، طول رادیاتور سمت راست سی درصد رادیاتور سمت چپ است، لذا نرخ انرژی گرمایی وارد شده توسط رادیاتور سمت راست 0.3 رادیاتور سمت چپ می‌باشد. از سوی دیگر جریان جابجایی، سبب تشکیل گردابه قوی‌تر بر روی رادیاتور با طول کمتر می‌شود، در نتیجه اتلاف گرمای بیشتر از سطح رادیاتور و دیواره سمت راست صورت می‌گیرد. بنابراین به ازای هر نسبت توان حرارتی رادیاتورها، با افزایش ϵ_r دما سطح رادیاتور سمت چپ کاهش و دمای سطح رادیاتور سمت راست افزایش می‌یابد.

شکل (۸) نیز مطالب فوق را تأیید می‌نماید. جریان سیال درون اتاق از وجود دو اختلاف دما یعنی اختلاف دما بین جسم مولد گرما و سیال عامل و دیگری اختلاف دما بین سیال و دیواره‌های سرد محفظه منتج می‌شود. اختلاف دما به وجود آمده توسط جسم مولد گرما باعث ایجاد حرکت رو به بالای سیال در فضای مجاور خود شده و عامل تشکیل الگوی جریان در داخل اتاق است. این درحالی است که، اگر فاصله بین رادیاتورها از یک حد مشخص بیشتر شود، نیروی شناوری و جریان سیال به وجود آمده در اتاق ضعیف شده و انتقال حرارت کمتری از سطح رادیاتورها صورت گرفته و دمای سطح رادیاتورها افزایش می‌یابد. اما مجدداً با افزایش فاصله بین رادیاتورها به دیواره‌های سرد جانبی نزدیک شده و اتلاف حرارت بیشتری از سطح آن‌ها صورت می‌گیرد و دمای سطح آن‌ها مجدداً کاهش می‌یابد، تقابل این دو اثر در شکل (۹) نشان داده شده است. بنابراین از دید مدیریت گرمایی، واقع شدن رادیاتورها در نواحی نزدیک به خط مرکزی باعث می‌شود در این نواحی مقدار ماکزیمم دما زیاد شود. از سوی دیگر به منظور به حداقل رساندن حداکثر دما، رادیاتورها باید نزدیک به دیواره‌های سرد جانبی واقع شوند و با فاصله بین رادیاتورها تقریباً برابر با نصف عرض اتاق باشد.

۵- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، گزارشی از شبیه‌سازی عددی انتقال حرارت جابجایی طبیعی در حالت پایدار، آرام و دو بعدی در یک اتاق مربعی با دو رادیاتور گرمایشی تخت کفی است. با در نظر گرفتن این شرط که مقدار کل انرژی گرمایی وارد شده به اتاق ثابت است، تاثیر پارامترهای عدد رایلی، نسبت طول و توان حرارتی رادیاتورها و فاصله بین آن‌ها بر میدان جریان و دما ارزیابی شد. هدف از این کار، بررسی اثر پارامترهای حاکم بر جابجایی طبیعی در گرمایش یک اتاق با سیال عامل هوا است. نتایج نشان داد، در اعداد رایلی کم، مکانیزم غالب انتقال حرارت، هدایت صورت گرفته بین لایه‌های سیال است. با افزایش عدد رایلی، جریان چرخشی درون اتاق افزایش یافته و جابجایی غالب می‌گردد. به ازای هر ترکیب نامتقارن از توان حرارتی و نسبت طول رادیاتورها، نقش جابجایی، تحمل بار گرمایی بیشتر، به دیواره جانبی سمت رادیاتور ضعیف‌تر است. در حالتی که نسبت طول و توان رادیاتورها برابر است، نزدیک شدن بیش از حد رادیاتورها به دیواره‌های سرد جانبی، سبب دستیابی به کمترین دمای سطحی رادیاتور می‌شود.

شده است که، کل گرمای ورودی به سیستم معادل حالتی است که $\epsilon_r = 1$ و $q_r = 10^6$ Ra است. بدین منظور عدد رایلی در حالت‌های مختلف از رابطه $Ra = (2 \times 10^6) / (1 + \epsilon_r \times q_r)$ به دست آمده است. درحالتی که توانحرارتی رادیاتورها یکسان نیست، نقش جابجایی دریافت گرما از مکان‌هایی با شار چگالی بیشتر و اتلاف آن به طریق هدایت حرارتی از دیواره سمت منبع ضعیف‌تر است. به بیان دیگر در حالتی که توان حرارتی رادیاتورها برابر نیست، نقش دیواره های جانبی در ارتباط با اتلاف گرما، انحراف از حالت تقارن $q_r = 1$ است.

شکل (۴) تاثیر نابرابر بودن توان حرارتی رادیاتورها را بر میدان جریان و دما نشان می‌دهد. در تمامی حالت‌های مربوط به این شکل، رادیاتورهای کفی دارای طول یکسان می‌باشند ($\epsilon_r = 1$). در حالتی که $q_r = 0.25$ است، توان حرارتی رادیاتور سمت راست بیست و پنج درصد رادیاتور سمت چپ است، به عبارت دیگر گرمای وارد شده از رادیاتور سمت راست حدود بیست درصد از کل گرمای ورودی به اتاق است. در این حالت گردابه غالب در بالای رادیاتور سمت راست قرار دارد و در سرتاسر اتاق انتشار یافته است. این محیط، محیط غالب در اتلاف گرما به حساب می‌آید و منجر به اتلاف گرمای بیشتر از دیواره سمت راست در مقایسه با دیواره سمت چپ می‌شود. برای حالت‌های مرتبط با $q_r > 1$ سهم گرمای فراهم شده توسط رادیاتور سمت راست از رادیاتور سمت چپ بیشتر است، نتیجه این عمل، افزایش سهم دیواره سمت چپ در اتلاف حرارتی کل و پایین آمدن دمای متوسط رادیاتور سمت چپ نسبت به رادیاتور سمت راست است. این موضوع را از شکل (۷) نیز می‌توان استنتاج نمود. پس در کل با افزایش q_r ، ماکزیمم دمای رادیاتور سمت چپ کاهش یافته در حالی که ماکزیمم دمای رادیاتور سمت راست افزایش می‌یابد. از سوی دیگر در حالت‌هایی که $q_r < 1$ ، جود گردابه غالب بر روی رادیاتور سمت راست نشان دهنده اتلاف گرمای بیشتر از سطح این رادیاتور در مقایسه با رادیاتور سمت چپ است. بنابراین برای تمام وضعیت های مرتبط با $q_r < 1$ ، دیواره سمت راست سهم بیشتری در اتلاف گرما دارد، در نتیجه دمای متوسط رادیاتور سمت راست در مقایسه با رادیاتور سمت چپ کمتر است. همچنین انتظار می‌رود، دما ماکزیمم نیز روند مشابه‌ای نسبت به دما متوسط داشته باشد. برای حالت‌های مرتبط با $q_r > 1$ سهم گرمای فراهم شده توسط رادیاتور سمت راست از مقدار گرمای فراهم شده توسط رادیاتور سمت چپ بیشتر است. نتیجه این عمل، افزایش سهم دیواره سمت چپ در اتلاف حرارتی کل و پایین آمدن دما متوسط رادیاتور سمت چپ نسبت به رادیاتور سمت راست است.

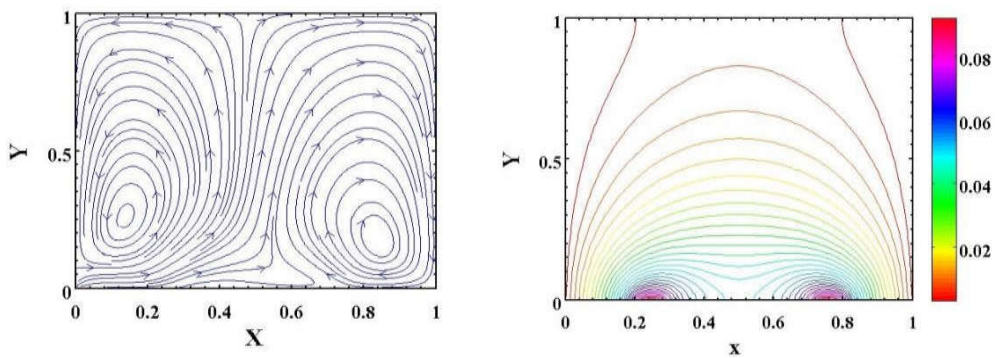
شکل (۷) علاوه بر تأیید مطالب بیان شده، چگونگی تغییر دمای سطح رادیاتورها را با نسبت توان حرارتی نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش نسبت توان حرارتی رادیاتورها، ماکزیمم دمای رادیاتور سمت چپ کاهش و ماکزیمم دمای رادیاتور سمت راست افزایش می‌یابد. از مقایسه حالت‌های مختلف این شکل می‌توان به این نتیجه رسید که، در حالتی که طول رادیاتورها نابرابر است، نسبت توان حرارتی بهینه مربوط به حالتی است که دمای پیک دو رادیاتور یکسان شود. این موضوع تضمین کننده حداقل مقدار ماکزیمم دما در اتاق است. شکل (۵) تاثیر نابرابر بودن طول رادیاتورها را بر میدان جریان و دما نشان می‌دهد، در تمامی حالت‌های مربوط به این شکل، نسبت توان حرارتی رادیاتورها ثابت است ($q_r = 1$) و تنها نسبت طول آنها تغییر می‌کند. نتیجه این عمل، تغییر در اندازه طولی گردابه‌های تشکیل شده بر روی رادیاتورها، و انجام اتلاف حرارتی نامتقارن از دیواره‌های سرد



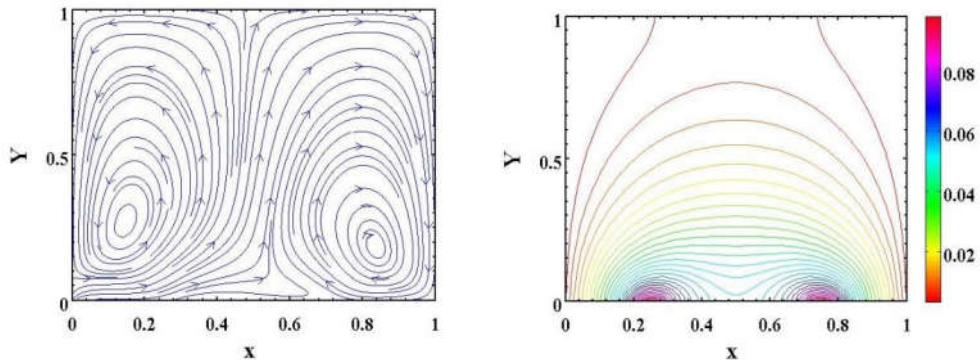
جدول (۲): حالت های بررسی شده در کار حاضر

حالت	Ra	X_i	X_c	l_h	q_f	ε_f
حالت ۳(a)	10^3	۰/۲۵	۰/۵	۰/۱	۱	۱
حالت ۳(b)	10^4	۰/۲۵	۰/۵	۰/۱	۱	۱
حالت ۴(a)	$1/2 \times 10^6$	۰/۲۵	۰/۵	۰/۱	۰/۲۵	۱
حالت ۴(b)	$1/43 \times 10^6$	۰/۲۵	۰/۵	۰/۱	۰/۷۵	۱
حالت ۵(a)	$1/53 \times 10^6$	۰/۲۵	۰/۵	۰/۱	۱	۰/۳
حالت ۵(b)	$1/25 \times 10^6$	۰/۲۵	۰/۵	۰/۱	۱	۰/۶
حالت ۶(a)	10^6	۰/۴۵	۰/۱	۰/۱	۱	۱
حالت ۶(b)	10^6	۰/۳۵	۰/۳	۰/۱	۱	۱
حالت ۷(a)	$2 \times 10^6 / (1 + \varepsilon_f \times q_f)$	۰/۲۵	۱/۰۵	۰/۱	$0.2 \leq q_f \leq 0.7$	۰/۵
حالت ۷(b)	$2 \times 10^6 / (1 + \varepsilon_f \times q_f)$	۰/۲۵	۰/۵	۰/۱	$0.2 \leq q_f \leq 0.7$	۱
حالت ۸(a)	$2 \times 10^6 / (1 + \varepsilon_f \times q_f)$	۰/۲۵	۰/۵	۰/۱	۰/۵	$1/7 \leq \varepsilon_f \leq 0.73$
حالت ۸(b)	$2 \times 10^6 / (1 + \varepsilon_f \times q_f)$	۰/۲۵	۰/۵	۰/۱	۱	$1/7 \leq \varepsilon_f \leq 0.73$
حالت ۹	10^6	$0.15 - X_c / 2$	$1/7 \leq X_c \leq 0.73$	۰/۱	۱	۱

حالت (a): $Ra=10^3$



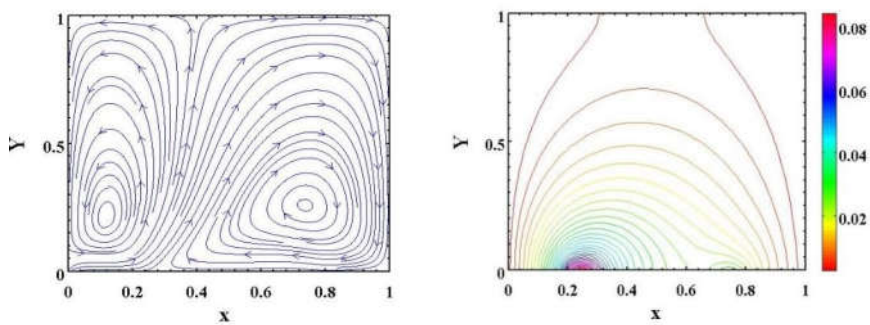
حالت (b): $Ra=10^4$



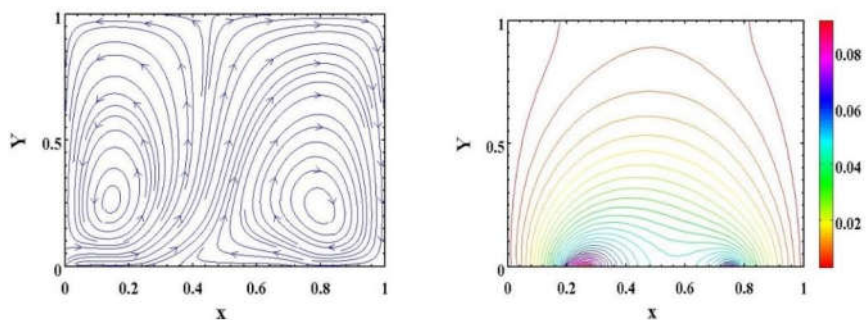
شکل (۳): نمودارهای تغییر خطوط جریان (ستون سمت چپ) و خطوط دما ثابت (ستون سمت راست) با تغییر عدد رایلی



حالت (a): $q_f = 0.25$

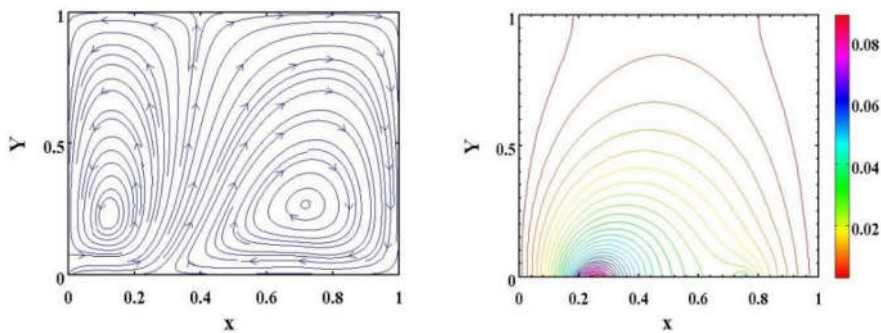


حالت (b): $q_f = 0.75$

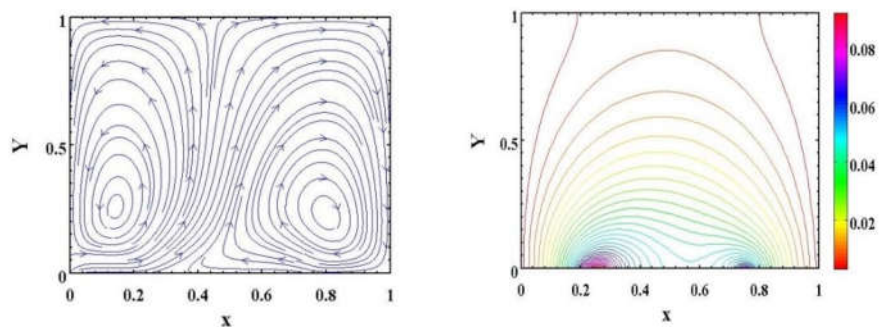


شکل (۴): نمودارهای تغییر خطوط جریان (ستون سمت چپ) و خطوط دما ثابت (ستون سمت راست) با تغییر نسبت شار رادیاتورها

حالت (a): $\varepsilon_f = 0.3$



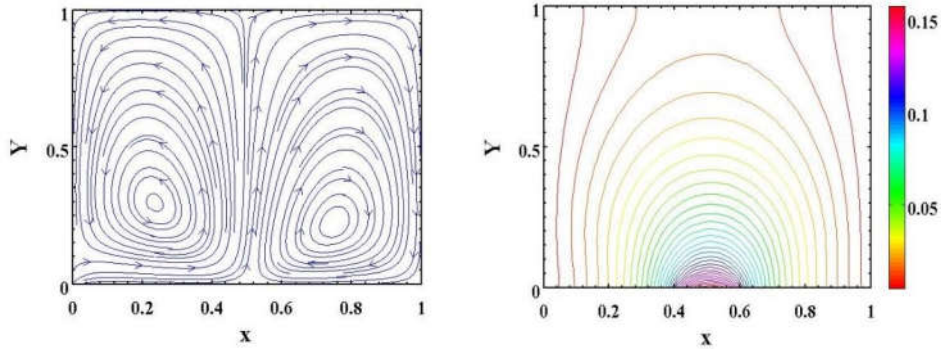
حالت (b): $\varepsilon_f = 0.6$



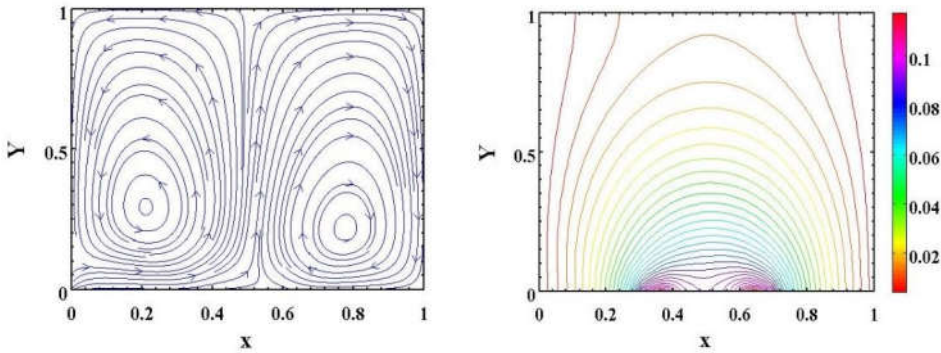
شکل (۵): نمودارهای تغییر خطوط جریان (ستون سمت چپ) و خطوط دما ثابت (ستون سمت راست) با تغییر نسبت طول رادیاتورها



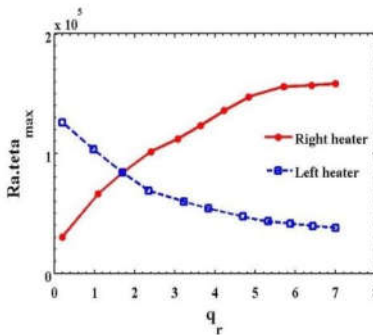
حالت (a): $X_c = 0/1$



حالت (b): $X_c = 0/3$

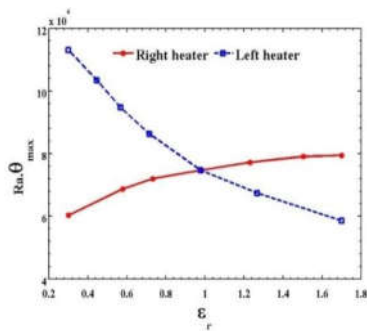


شکل (۶): نمودارهای تغییر خطوط جریان (ستون سمت چپ) و خطوط دما ثابت (ستون سمت راست) با تغییر فاصله بین رادیاتورها

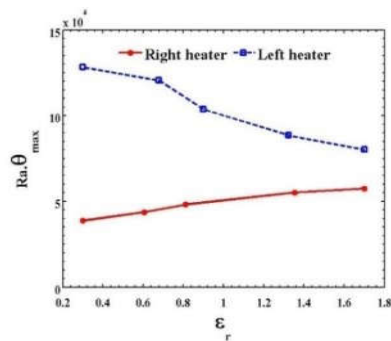


شکل (۷): نمودارهای تغییر دمای ماکزیمم رادیاتور سمت چپ و راست با تغییر نسبت توان حرارتی آنها

حالت (b): $q_r = 1$



حالت (a): $q_r = 0/5$



شکل (۸): نمودارهای تغییر دمای ماکزیمم رادیاتور سمت چپ و راست با تغییر نسبت طول رادیاتورها



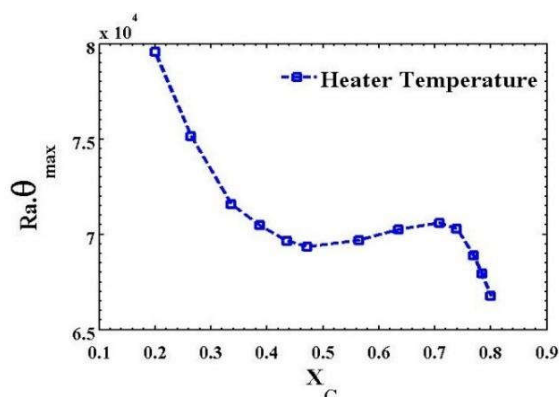
علایم یونانی

ϑ دمای بی بعد

ε_r نسبت طول رادیاتور سمت راست به رادیاتور سمت چپ

۷- مراجع

- [1] Saitoh T. and Hirose K., "High-accuracy benchmark solutions to natural convection in a square cavity", Comput Mech, Vol. 4, 1989, pp. 417-427.
- [2] De Vahl Davis, G., "Natural convection of air in a square cavity: a Benchmark solution", Int J Numer Meth Fluids, No. 3, 1983, pp. 249-264.
- [3] Torrance, K. E., "Natural convection in thermally stratified enclosures with localized heating from below", J Fluid Mech, No.95, 1979, pp. 477-495.
- [4] Fusegi T. and Farouk B., "Natural convection in a thermally stratified square cavity with localized heating from below", In: 23rd AICHE national heat transfer conference, Denver, CO, 1985, pp. 85-HT-34.
- [5] Deng Q. H., Tang G. F., Li Y., "A combined temperature scale for analyzing natural convection in rectangular enclosures with discrete wall heat sources", Int J Heat Mass Transfer, No. 45, 2002, pp. 3437-3446.
- [6] Sivasankaran S. Y., Do L. and Sankar M., "Effect of discrete heating on natural convection in a rectangular porous enclosure", Transport in porous media, vol. 86, pp. 261-281, 2011.
- [7] Oztop H. F. and Abu-Nada E., "Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids", International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 29, pp. 1326-1336, 2008.
- [8] Türkoglu H. and Yücel N., "Effect of heater and cooler locations on natural convection in square cavities", Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, vol. 27, pp. 351-358, 1995.
- [9] Bahoosh R., Mohamadi F., Karimi M., "Numerical Investigation of Natural Convection in a Square Cavity with Tilting Walls", Journal of Thermophysics and Heat Transfer, pp. 1-7, 2014.
- [10] Rahman M. and Sharif, M. A. R., "Numerical study of laminar natural convection in inclined rectangular enclosures of various aspect ratios", J Numerical Heat Transfer, part A, No. 44, 2003, pp 355-373.
- [11] Gdhaidh F. A., " Numerical Investigation of Conjugate Natural Convection Heat Transfer from Discrete Heat Sources in Rectangular Enclosure", Proceedings of the World Congress on Engineering 2014 Vol II, WCE 2014, July 2 - 4, 2014, London, U.K.
- [12] Mukhopadhyay, A. "Analysis of entropy generation due to natural convection in square enclosures with multiple discrete heat sources". International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 37, 2010, pp. 867-872.



شکل (۹): نمودار تغییر دمای سطح رادیاتورها با تغییر فاصله بین آن‌ها

۶- فهرست علایم

h	ارتفاع اتاق (m)
k	ضریب رسانش گرمایی ($Wm^{-1}K^{-1}$)
$l_{h,1}$	طول رادیاتور سمت چپ (m)
$l_{h,2}$	طول رادیاتور سمت راست (m)
$L_{h,1}$	طول بی‌بعد رادیاتور سمت چپ
$L_{h,2}$	طول بی‌بعد رادیاتور سمت راست
q_1	شار حرارتی رادیاتور سمت چپ (Wm^{-2})
q_2	شار حرارتی رادیاتور سمت راست (Wm^{-2})
q_r	نسبت شار حرارتی رادیاتور سمت راست به رادیاتور سمت چپ
Ra	عدد رایلی
T_c	دمای دیواره سرد (K)
T_∞	دمای بی‌بعد محیط
U^*	مولفه افقی سرعت، بی‌بعد
V	مولفه عمودی سرعت، بی‌بعد
X	مختصه طولی بی‌بعد
Y	مختصه عرضی بی‌بعد

