# اثر ابعاد هندسی در انتقال گرمای جابه جایی توأم در محفظههای تهویه شونده

بهزاد قاسمی\*

دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد

(دریافت مقاله: ۸۰/۱/۲۷ – دریافت نسخه نهایی: ۸۱/٤/۲۳)

چکیده – در این مقاله انتقال گرمای جابه جایی توأم آزاد و اجباری در یک محفظه با مقطع مربعی به روش عددی بررسی شده است. محفظـه از یک دیوارهٔ تحت تابش یکنواخت گرما بوده وتوسط جریان یکنواخت خارجی تهویه می شود. این جریان از طرف دیواره گرم وارد شده و از دیـواره مقابل خارج می شود. به کمک حل معادلات دو بعدی پیوستگی، ممنتوم و انرژی، میدانهای سرعت و دما و میزان انتقال گرما پیـش بینـی شـده است. بررسیها به ازای عدد رینولدز ثابت، 100 = Re، و اعداد ریلی در محدودهٔ 201 ≥ Ra ≥ 0 در حالت دایم انجام شده است. سپس بـرای یـک برای محفظه ای با نسبت طول به از تفاع ثابت، 2 = RA، برای چهار موقعیت ورود و خروج جریان اجباری ارائه شـده است. سپس بـرای یـک وضعیت معین ورودی و خروجی نتایج برای محفظه هایی با نسبت طول به ارتفاع ۱۰/، ۲۵/، ۱۰، ۴و ۱۰ مقایسه شده است. نتایج دشان دهنــدهٔ اثـر ضعیف جابه جایی آزاد در انتقال گرما درون محفظه هایی است که مجاری ورود و خروج جریان در پایین محفظه بوده و یا نسبت طول بـه ارتفـاع داری انتقال کرما ضعیف جابه جایی آزاد در انتقال گرما درون محفظه هایی است که مجاری ورود و خروج جریان در پایین محفظه بوده و یا نسبت طول بـه ارتفـاع آنها کمتر از یک باشد. این بررسی برای هوا با عدد پرانتل ۷۱/. انجام شده است. نتایج دی انتایج در ایت از مقایسه شده است. موارد بـا نتـایج دران محفظه هایی است که مجاری ورود و خروج جریان در پایین محفظه بوده و یا نسبت طول بـه ارتفـاع ضعیف جابه جایی آزاد در انتقال گرما درون محفظه هایی است که مجاری ورود و خروج جریان در پایین محفظه بوده و یا نسبت طول بـه ار تفـاع مقیا کمتر از یک باشد. این بررسی برای هوا با عدد پرانتل ۷۱/. انجام شده است. نتایج عددی به دست آمده در پاره ای مـوارد بـا نتـایج دیـگران

واژگان كليدى : جا به جايى، آزاد، اجبارى، محفظه، ريلى، تهويه

## Effects of Geometrical Dimension on Mixed Convection Heat Transfer in

### Cavities

B. Ghasemi

Department of Mechanical Engineering, Shahrekord University

**Abstract:** In this paper, mixed forced and natural convection heat transfer in a rectangular cavity has been numerically studied. The cavity receives a uniform heat flux from one side and is ventilated with a uniform external flow. The external flow enters the cavity from the heated side and leaves the cavity from the opposite side. The velocity and temperature fields and heat transfer rate are determined by solving the two-dimensional continuity, momentum and energy equations. In this research, steady-state flow with constant Reynolds number, Re=100, is considered. Rayleigh number is in the range of  $0 \le Ra \le 10^7$ . First, the results are presented for a cavity with constant aspect ratio, AR=2, and four different inlet and exit opening positions. Then cases with a fixed opening position and different aspect ratios including 0.1, 0.25, 1, 4 and 10 are modeled. In the cavities with opening in the bottom or cavities with aspect ratios less than one, the results show weak effects of natural convection on heat transfer. This research has been done for air as a working fluid (Pr = 0.71). In some cases, the results are compared with those from previous studies.

Keywords: Convection, Natural, Forced, Cavity, Rayleigh, Ventilate

\* - استاديار

فهرست علائم

متناسب با کل انتقال گرمای محفظه	Q	نسبت طول به ارتفاع محفظه، L/H	AR
متناسب با کل انتقال گرما از طریق جابه جایی اجباری	$Q_{\mathrm{f}}$	ارتفاع بی بعد دریچه، h/H	В
$g\beta H^4 q/ \alpha v k$ عدد ریلی، $g\beta H^4 q/ \alpha v k$	Ra	ارتفاع دریچه	h
عدد رینولدز، u <sub>0</sub> H/v	Re	ارتفاع محفظه	Н
زمان	t	ضريب هدايت سيال	k
دما	Т	طول محفظه	L
سرعت جريان ورودي	<b>u</b> <sub>0</sub>	عدد نوسلت موضعي	Nu
مؤلفههای x و y سرعت	v,u	عدد نوسلت متوسط نرمالايزه شده	Nu
سرعتهای بیبعد، u/u و v/u	V,U	فشار	р
مختصات بیبعد، x/H و y/H	Y,X	فشار اصلاح شده، p+pgh	p'
ضریب پخش گرمایی سیال	α	فشار بی بعد، p'/pu <sub>0</sub> <sup>2</sup>	Р
ضريب انبساط حجمي گرمايي سيال	β	عدد پرانتل، ν/α	Pr
دمای ب <i>ی</i> بعد ماکزیمم	θ <sub>max</sub>	شدت گرمای رسیده به دیوار	q
زمان بی بعد، u <sub>0</sub> t/H	τ	دانسيتهٔ سيال	ρ
ضريب لزجت سينماتيكي	v	دمای بی بعد، k(T-T <sub>C</sub> )/qH	θ
		دمای بیبعد متوسط	$\theta_{m}$

#### ۱- مقدمه

در دو دههٔ گذشته به علت کاربردهای فراوان محققان توجه زیادی به جابه جایی توأم آزاد واجباری داشته اند. یکی از این کاربردها در خنک شدن تجهیزات الکترونیکی است. کنترل دمای قطعات داخلی این دستگاهها از پارامترهای مهم در طراحی و ساخت آنهاست. گرمای تولید شده در این قطعات ممکن است به صورت جابه جایی آزاد به خارج از دستگاه منتقل شده ویا علاوه بر آن نیاز به برقراری جریان اجباری باشد. به عنوان ساده ترین حالت می توان به بررسی جریان آزاد بین دو صفحهٔ موازی عمودی برای پیش بینی سرمایش طبیعی اشاره اجباری در کانال عمودی توسط هابچی و اشاریا [۲] بررسی شده است. تحقیقات زیادی نیز بر روی جابه جایی توأم در شده است. شده است.

این منبعهای گرمایی که می توانند مدلی از المانهای الکترونیکی باشند عامل ایجاد جابه جایی آزادند. هدف اصلی اکثر این مقالات بررسی اثر سرعت جریان اجباری بر میدان دما ونرخ انتقال گرماست [۳-٥].

کاربرد مسهم دیگر جابه جایی توأم در طراحی گرمایی ساختمانهاست. در محاسبات تهویه ساختمان علاوه بر لزوم تعیین مشخصات سیستمهای مکانیکی تولید کنندهٔ جریان هوا مانند فن و کمپرسور، لازم است که ابعاد اتاق ومکانهای ورودی و خروجی هوا نیز به گونه ای مناسب انتخاب شوند. با مروری بر مقالات نوشته شده در این زمینه به نظر می رسد که کارهای زیادی در ارتباط با محفظه های تهویه شونده، حتی در سالهای اخیر انجام گرفته است. هامفری و تو [7] جابه جایی ایجاد شده در محفظه ای با دماهای دیواره متفاوت را در حالی که یک

محاسبات برای جریان مغشوش انجام شده است و اثر متقابل جابه جایی آزاد و اجباری بررسی شده است. بررسی عددی مشابهی توسط سافی و لـوک [۷] بـر جریان تـوأم در محفظهٔ مربعی که توسط جریان هوای گرم تهویه می شـود انجام شـده است. در این مقاله نیز اثر جابه جایی آزاد در میزان نفوذ جریان گرم خارجی در کل محفظه پیش بینی شـده است. راجی و هاسنایویی [۸] جریان توأم در داخل محفظه مربعی کـه از یک طرف تحت تابش انرژی است را به طریق عددی حل کرده اند. اعداد Ra متغیر، میدان سرعت و دما و شدت انتقال گرما محاسبه شده است. محاسبات بـرای دو وضعیت قرار گرفتن دریچه های ورودی و خروجی انجام گرفته است و در هر حالت بر اساس اعداد Ra و Ra مکانیزم حاکم بر جریان جابه جایی پیش بینی شده است.

با توجه به مقالات بررسی شده به نظر می رسد علی رغم کارهای زیاد انجام شده در این زمینه همچنان کاستیهایی در آن دیده می شود که تحقیقات بیشتری را طلب می کند. از جمله می توان به اثر ابعاد هندسی محفظه اشاره کرد که کمتر مورد توجه محققان بوده است. این در حالی است که ابعاد محفظه می تواند نقش مهمی در تهویه مناسب آن داشته باشد. با توجه به این مطلب، هدف اصلی این مقاله بررسی اثر طول محفظه در قالب عدد بی بعد AR در میدان سرعت و دما و میزان انتقال گرماست. علاوه بر اینکه در ابتدا بررسی بر روی موقعیت مجاری ورود و خروج هوا می شود. در هر مورد از این بررسیها تاثیر جریانهای جابه جایی آزاد و جریانهای اجباری بر یکدیگر پیش بینی خواهد شد.

## ۲- صورت مسئله و معادلات حاکم

تصویر شماتیک محفظه با چهار آرایش مجاری ورود و خروج هوا در شکل (۱) نشان داده شده است. این محفظه از یک طرف تحت تابش انرژی با شدت ثابت است و از جهات دیگر عایق فرض می شود. جریان ثابت هوای خنک از سمت

ديواره گرم وارد شده و از ديواره روبرو خارج مي شود. عـرض مجراي ورود وخروج هوا برابر بوده ويك چهارم ارتفاع محفظه است. معادلات بی بعد حاکم بر رفتار سیستم با فـرض جریـان دو بعدی آرام و تقریب بوزینسک عبارتاند از :  $\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0$ ۱- ييوستگي  $\frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right)$ ۲- ممنتوم X  $\frac{\partial V}{\partial \tau} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \frac{Ra}{Pr Re^2} \theta$ ۳– ممنتوم Y  $\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{\Pr Re} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right)$ ٤- انرژي در معادلات فوق خواص سیال بــه جـز چگالـی آن در تقریـب بوزینسک ثابت فرض شده است. شرایط U=V=0 روی V=0 و V=0 در ورودی و  $0=V_{AV}$  و V=0در خروجی به عنوان شرایط مرزی هیدرودینامیکی و مؤلفه عمرود ( n مؤلفه عمرود ( n مؤلفه عمرود  $\partial \theta_{n} = 0$ بر سطح )،  $\theta = 0$  در ورودی و  $1 = \frac{\partial \theta}{\partial X}$  روی دیوارهٔ تحت تابش گرما به عنوان شرایط مرزی گرمایی در حل معادلات استفاده می شوند.گفتنی است که در خصوص شرط مرزی سرعت در خروجی، علاوه بر فرض جریان توسعه یافته کـه در اینجا منظور شده است، می توان پروفیل سرعت در خروجـی را با ورودی یکسان گرفت. اثر دو شرط مرزی فوق توسط پاپانیکولا و جالوریا [0] در مقاله ای در خصوص سرمایش قطعات الكترونيكي واقع در محفظه مربعيي با جريان تهويه بررسی شده است. نتایج آنها نشان دهندهٔ تغییر جزیمی میدان سرعت نزدیک خروجی در دو حالت است. این در حالی است که در میزان انتقال گرما تغییر محسوسی دیده نشده است.

از حل معادلات فوق میدان سرعت و دما معین می شود. میزان انتقال گرما در قالب عدد نوسلت قابل بیان است. نوسلت موضعی روی دیوار عبارت است از :

دیوارهٔ گرم است. با انتگرال گیری از معادلهٔ فوق نوسلت متوسط، که معیاری ازکل انتقال گرماست، به دست می آید. عدد نوسلت متوسط نرمالایزه شده روی دیوارهٔ گرم را به صورت زیر تعریف می کنیم :

$$\overline{\mathrm{Nu}} = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{Q}_{\mathrm{f}}} = \frac{1}{\mathrm{Q}_{\mathrm{f}}} \int_{\mathrm{B}}^{1} \frac{1}{\theta_{(\mathrm{X}=0)}} \,\mathrm{d}\mathrm{Y}$$

که Q<sub>f</sub> متناسب با کل انتقال گرما در غیاب جابه جایی آزاد وتنها توسط جابه جایی اجباری است ومانند Q به ازای Ra =0 به دست می آید.

#### ۳- روش عددی

معادلات دیفرانسیل حاکم به یکدیگر مرتبط بوده و باید بــه طور همزمان حل شوند. برای حل عددی این معادلات از روش اختلاف محدود مبتنی بر حجم معیار و الگوریتم سیمپل استفاده شده است. فرمولبندی به صورت کاملا" ضمنی در زمان بـوده و جملات جابه جایی و پخش به صورت توانی مدل شده اند [۹].

برای اجرای روش عددی فوق برنامه ای به زبان فرترن نوشته شد و اجراهای زیادی برای کنترل برنامه انجام گرفت. شکل (۲) اثر تعداد نقاط شبکه را بر روی ماکزیمم دما در محفظه ای با ورود جریان از پایین و خروج آن از بالا برای محفظه ای با ورود جریان از پایین و خروج آن از بالا برای امواعای انجام شده، در محاسبات نظر به ابعاد محفظه از شدن ماکزیمم باقیمانده جرمی در هر حجم کنترل از <sup>۹</sup> – ۱۰ به عنوان شرط همگرایی در نظر گرفته شده است. محاسبات بر روی رایانه شخصی پنتیوم (۲) با سرعت ۳۳۰ مگا هرتر انجام گرفته و ماکزیمم زمان سی پی یو در هر اجرا ۲ ساعت است.

#### ٤- نتايج

به عنوان اولین قدم، کد رایانهای نوشته شده با مقایسهٔ نتایج حالت سادهٔ جابه جایی آزاد در محفظــهٔ مربعـی بـا حـل دقیـق دوهل دیویس [۱۰] کنـترل شـد. جـدول (۱) بـرای Ra = 10<sup>5</sup>

مقادیر نوسلت روی دیواره، Nu<sub>o</sub>، نوسلت روی صفحه میانی، Nu<sub>m</sub>، و تابع جریان در مرکز محفظه، Ψ<sub>mid</sub> به دست آمده از برنامه حاضر را با نتایج مرجع فوق مقایسه کرده است. با کمک برونیابی ریچاردسون جوابهای دقیقتر محاسبه شده و مرتبهٔ خطا پیش بینی شده است. روش فوق تقریبا" از مرتبهٔ ۲ بوده و جوابها از دقت مناسبی برخوردارند.

در مرحلهٔ بعد جریان جابه جایی اجباری در یک کانال عمودی با منبع گرمایی روی یکی از دیواره ها بررسی شده است. تغییرات عدد نوسلت متوسط بر حسب عدد رینولدز در شکل (۳) نشان داده شده و با نتایج الپیدرو و همکارانش [۳] مقایسه شده است. توافق خوب مقادیر نقطه قوتی برای برنامه حاضر است.

به عنوان آخرین کنترل، نتایج حاصل از برنامهٔ موجود با نتایج ارائه شده در مرجع [۸] مقایسه شده است. در مقالهٔ فوق جابه جایی توأم در محفظهٔ مربعی با شرایط مشابه با مسئلهٔ حاضر ولی با ابعاد هندسی ثابت ( 2 = AR) بررسی شده است. شکل (٤) تغییرات کل گرمای منتقل شده به محفظه را در غیاب شکل (٤) تغییرات کل گرمای منتقل شده به محفظه را در غیاب جابه جایی آزاد ( 0 = Ra) بر حسب عدد رینولدز نشان می دهد. شکل (٥) نیز مربوط به اثر تغییرات Re در دمای متوسط سیال به ازای <sup>5</sup>01 = Ra است. اختلافها در حد قابل قبول بوده و به نظر می رسد این تفاوتها در اثر استفاده از روشهای عددی متفاوت است.

نتایج مسئلهٔ حاضر در دو بخش ارائه می شود. در بخش اول برای محفظه ای با ابعاد هندسی ثابت بررسیها در چهار آرایش مختلف مجاری ورود و خروج هوا انجام خواهد شد. با توجه به شکل (۱) در اینجا به این چهار وضعیت با علائم اختصاریBB ورود از پایین و خروج از بالا، BB ورود و خروج از پایین، TT ورود و خروج از بالا و TB ورود از بالا و خروج از پایین، اشاره خواهد شد. در بخش بعدی اثر ابعاد هندسی را در محفظه BT بررسی خواهیم کرد.

**الف – اثر موقعیت ورودی و خروجی** شکلهای (٦) الی (۹) برای محفظه ای با نسبت طول به



جدول ۱- بررسی برنامهٔ رایانهای و تعیین مرتبهٔ خطا با مسئلهٔ جا به جایی آزاد (Ra=10<sup>5</sup>)



استقلال، سال ۲۱، شمارهٔ ۱، شهریور ۱۳۸۱





استقلال، سال ۲۱، شمارهٔ ۱، شهریور ۱۳۸۱

107

www.SID.ir

0.01 -

10<sup>3</sup>

10<sup>4</sup>

10<sup>5</sup>

Ra شکل ۸- اثر عدد ریلی و موقعیت ورود و خروج هوا در دمای متوسط سیال (AR=2)

10<sup>6</sup>



شکل ۹- اثر عدد ریلی و موقعیت ورود و خروج هوا در نوسلت متوسط نرمالایزه شده (AR=2)

طوری که در Ra = 10<sup>7</sup> عملا" این گردابه ها از جریان اجباری ورودی به محفظه جدا می شوند. دو شکل (۲-ج) و (۲-د) مربوط به وضعیتهای TT و TB است که در آن جریان هوای سرد از بالای دیوارهٔ گرم وارد محفظه می شوند. در این دو حالت با افزایش عدد ریلی جریانهای طبیعی باعث ایجاد گردابههایی در ناحیه پایینی محفظه شده و قسمت اعظم جریان هوای سرد از بالای این گردابه ها حرکت می کند.

تغییرات ماکزیمم دمای سیال (  $\theta_{max}$ ) که در مجاور دیـوارهٔ گرم شونده اتفاق می افتد، بـا عـدد ریلی در شـکل (۷) دیـده می شود. این شـکل نـیز یـرای چـهار وضعیـت ورود و خـروج مریان هوای سرد رسم شده است. رفتـار منحنیـها بـرای اعـداد ریلی کمتر از ۲۰۰ تقریبا" یکسان بوده وبنابر این در شکل رسم نشده است. رفتـار منحنیـها بـرای اعـداد نشده است. می مود در حالتی ریلی کمتر از ۲۰۰ تقریبا" یکسان بوده وبنابر این در شکل رسم نشده است. می می مود در حالتی ریلی کمتر از تر ۲۰۰ تقریبا" یکسان بوده وبنابر این در شکل رسم نشده است. می می مود در حالتی ریلی کمتر از تر ۲۰۰ تقریبا" یکسان بوده وبنابر این در شکل در مع ریلی کمتر از تر ۲۰۰ تقریبا" یکسان بوده وبنابر این در شکل رسم نشده است. همان طور که در این شکل دیده می شود در حالتی که هوا از بالا وارد شود دمای ماکزیمم کمتر خواهد بود. عـلاوه تغییرات یکسانی به چشم می خورد. علت این امر را می توان با توجه به نمودارهای خطوط جریان که در شکلهای قبل ارائه شد توجه به نمودارهای خطوط جریان که در شکلهای قبل ارائه شد آزاد، سیال مجاور دیوارهٔ گرم بـه سـمت بـالا حرکت کـرده و توسط هوای سرد ورودی از دیـواره دور می شود و ایـن امر ا

ارتفاع ۲ و عدد ریلی برابر ۱۰۰ در چهار وضعیت مجاری ورود وخروج جریان هوا رسم شده اند. در شکل (٦) خطوط جریان این وضعیتها آورده شده است. هر دسته از نمودارهای این شکل برای چهار مقدار عدد ریلی، به ترتیب از بالا به پایین برابر •, ۱۰<sup>۴</sup>, ۱۰<sup>۴</sup>, رسم شده است. شکل (۲ – الف) حالت BT را نشان می دهد. به ازای Ra = 0 یعنی در غیاب جاب ه جایی آزاد خطوط جریان به صورت خطوطی باز از ورودی تا خروجی امتداد یافته اند و تنها نفوذ نا چیزی از جریان اجباری به گوشه محفظه به چشم می خورد. با افزایش عدد Ra ، در اثر سبک شدن سیال مجاور دیوارهٔ گرم، جریانهای جابه جایی آزاد به سمت بالا ایجاد می شود. در نتیجه سیال از دور دست جایگزین آن می شود. این امر در خطوط جریان کشیده شده به سمت دیوارهٔ گرم به چشم می خورد. به طوری که در اعداد Ra بالا جریان قوی جابه جایی آزاد باعث می شود که قسمت چشمگیری از جریان سرد ورودی به دیواره گرم محفظه برگشت کند. شکل (٦-ب) برای محفظهٔ BB رسم شده است. در Ra = 0 نفوذ جریان سرد ورودی به ناحیه بالای محفظه کم بوده ولى با افزايش Ra ، اين جريان به قسمتهاى بالايي محفظه کشیده می شود. با افزایش بیشتر عدد ریلی در اثر جابه جایی طبیعی گردابه های بسته ای در بالای محفظه ایجاد شده به

باعث کاهش دمای مجاور دیواره می شود. این در حالی است که در حالتهایی که هوای ورودی از زیر دیواره گرم وارد شود جریانهای جابه جایی آزاد باعث دور شدن سیال گرم از جریان هوای سرد می شود. به همین دلیل حتی کمی افزایش شهر با افزایش ریلی در دو حالت BT و BB دیده می شود. البته با افزایش ریلی در دو حالت BT و BB دیده می شود. البته با مجاور دیواره گرم کشیده شده و این امر باعث کاهش ماکزیمم دمای سیال مجاور دیواره گرم می شود. این پدیده به خصوص در حالت BT ، همان طور که از خطوط جریان در شکل (Γ-الف) دیده می شود، نقش مهمی در کاهش مهر دارد.

در شکل (۸) اثر عدد ریلی و وضعیت ورود و خروج هوا بر روی دمای متوسط سیال ( $\theta_m$ ) درون محفظه رسم شده است. در این شکل نیز در دو حالت TT و TB با افزایش ریلی  $\theta_m$  کاهش می یابد که البته شیب تغییرات آن نسبت به شکل قبل که محm<sup>0</sup> را نشان می داد کمتر است. علاوه بر اینکه تفاوت دو منحنی مشهود است. همان طور که از این شکل دیده می شود آرایش BT در اعداد ریلی متوسط و بالا دارای بهترین وضعیت ورود و خروج هوا برای کاهش دمای متوسط محفظـه است. این در حالی است که در آرایش BB عدد ریلی اثر عکس داشته و  $m^0$  را افزایش می دهد. دلیل این امر همان طور که در شکل (-ب) دیده می شود ایجاد گردابه های مجزای جابهجایی آزاد از جریان اجباری هوای سرد در اعداد ریلی بالا

شکل (۹) برای بهتر مشخص شدن اثر جابه جایی آزاد در جریان داخل محفظه رسم شده است. در این شکل تغییرات میزان انتقال گرما نسبت به حالتی که فقط جابه جایی اجباری در محفظه باشد ( Ra = 0) در قالب عدد نوسلت دیده می شود.

 $\overline{Nu}$  تا  $\overline{Ra} = 10^3$  برای تمامی محفظه ها تقریبا" یک بوده وبا افزایش عدد ریلی شروع به تغییر می کند. منحنیهای محفظههای با ورودی از بالا (TB و TT) بر هم منطبق بوده وبا افزایش Ra جریانهای جابه جایی آزاد موجب تقویت نرخ انتقال گرما و افزایش نوسلت در آنها می شود. منحنیهای مربوط به

استقلال، سال ۲۱، شمارهٔ ۱، شهریور ۱۳۸۱

محفظه های با ورودی پایین (BT و BB) نیز تا حوالی Ra = 10<sup>5</sup> بر هم منطبق بوده و پس از آن از یکدیگر جدا می شوند. همان طور که از این شکل دیده می شوددر ابتدا افزایش عدد ریلی باعث کاهش عدد نوسلت شده که این بیانگر نقش منفی جابه جایی آزاد در انتقال گرماست. در حالتهایی که ورود هوا از بالای محفظه است، کوچکترین جریان جابه جایی آزاد باعث ملحق شدن هوای گرم با جریان خارجی و افزایش انتقال گرما از محفظه می شود. به همین دلیل از ابتدا افزایش آسم دیده می شود. این در حالی است که اگر ورودی افزایش آسم دیده می شود. این در حالی است که اگر ورودی هوا از پایین باشد، جابه جایی های آزاد ضعیف باعث دور شدن جایی های آزاد قوی شده و بر جریان خارجی اثر می گذارد و باعث افزایش انتقال گرما و در نتیجه عدد نوسلت می شود، ب خصوص در حالت BT که جریانهای جابه جایی آزاد تاثیر چشمگیری در انتقال گرما خواهد داشت.

ب- اثر ابعاد هندسی:

بررسیهای قسمت قبل نشان داد که ورود هوا از پایین و خروج آن از بالای محفظه (حالت BT ) از لحاظ انتقال گرمای مؤثرتر است. حال در این قسمت برای ایان محفظه اثر ابعاد هندسی بررسی می شود. شکلهای (۱۰) الی (۱۵) به ازای عدد رینولدز ثابت، 100 = Re ، برای پنج محفظه با طولهای متفاوت و اعداد ریلی تا ۲۰<sup>۹</sup> رسم شده است. شکل (۱۰) اثر عدد ریلی را در خطوط جریان و خطوط همدمای محفظه ای با طول و ارتفاع مساوی (1 = AR) نشان می دهد. این شکل برای چهار را مم شده است. در اینجا نیز اثرات جریانهای جابه جایی آزاد با افزایش عدد ریلی در منحنیهای خطوط جریان مشخص است. رسم شده است در اینجا نیز اثرات جریانهای جابه جایی آزاد با افزایش ریلی در خطوط همدما نیز که در زیر خطوط جریان افزایش ریلی در خطوط همدما نیز که در زیر خطوط جریان رسم شده است دیده می شود. خطوط همدما در غیاب جابه افزایش ایازه ( Ra = 9) بیانگر انتقال گرمای هدایتی در جهت رسم قدی دیوارهٔ گرم شده تا اواسط محفظه وسپس ترکیب



شکل ۱۰– اثر جابه جایی آزاد در خطوط جریان (بالا) و خطوط همدما (پایین) در محفظه با طول و ارتفاع برابر (از راست به چپ عدد ریلی برابر ۰، °۱۰، <sup>۱</sup>۰۰ و <sup>۱</sup>۱۰)



شکل ۱۱– تغییرات دمای سیال مجاور دیواره گرم با فاصله از کف (محفظهٔ BT و AR=1)



شکل ۱۲- اثر جابه جایی آزاد در خطوط جریان در محفظه های: الف) AR=0.25 و ب) AR=4



شکل ۱۵– اثر عدد ریلی و ابعاد محفظه (BT) در عدد نوسلت متوسط نرمالایزه شده

استقلال، سال ۲۱، شمارهٔ ۱، شهریور ۱۳۸۱

آن با انتقال گرمای جابه جایی حاصل از حرکت سیال است. این در حالی است که در اعداد ریلی بالا حرکت سیال از نزدیک دیوارهٔ گرم باعث شده که خطوط همدما فقط مجاور دیوار به صورت عمودی بوده و سریعا افقی می شوند.

شکل (۱۱) برای بهتر مشخص شدن تغییرات دمای سیال مجاور دیوارهٔ گرم با عدد ریلی بر حسب فاصله از کف محفظ ه رسم شده است. همان طور که از این منحنیها دیده می شود، با دور شدن از محل ورود هوای سرد دما افزایش می یابد. هر چه عدد ریلی بزرگتر باشد و جاب جایی های آزاد قویتر شوند میزان این افزایش کمتر است. به عبارتی جابه جایی های آزاد، با دور کردن سیال گرم مجاور دیوار، باعث جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای دیواره می شود.

شکل (۱۲) خطوط جریان را برای محفظ مهای با نسبت طول به ارتفاع ۲۵٪. و ٤ نشان مي دهند. همان طور كه در شکل (۱۲-الف) دیدہ می شود برای محفظهٔ بلند افزایےش عدد ریلی به راحتی نمی تواند بر ساختار جریان اثر گذارد. به همین دلیل در Ra = 10<sup>6</sup> هنـوز تغییرات چشـمگیری در منحنیــها مشاهده نمی شود. به نظر می رسد علت این امر عبور جریان هوای سرد ورودی از حوالی دیوارهٔ گرم و در نتیجه جلوگیری از رشد جریانهای جابه جایی آزاد است. البته با تقویت جریانهای آزاد در حالت Ra = 10<sup>7</sup> جریان هوای ورودی به سمت دیوارهٔ گرم کشیده شده و سـپس از محفظـه خـارج مـی شود. این در حالی است که این تغییرات تأثیر چندانی بر شکل کلی جریان نگذاشته و انتظار می رود در میزان انتقال گرما نیز اثر چندانی نداشته باشد. شـکل (۱۲–ب) مربـوط بـه AR = 4 است. در این حالت حرکتهای جابه جایی آزاد تاثیر زیادتری بـر ساختار جریان دارد. به طوری که در  $Ra = 10^5$  خطوط جریان بالایی به خوبی به سمت دیواره گرم کشیده شده است. در Ra = 10<sup>7</sup> تقريبا" تمامي خطوط جريان به سمت اين ديواره تمایل پیدا کرده اند. به عبارتی در این حالت تمامی جریان هوای سرد به سمت دیواره گرم رفته و سپس از محفظه خرارج مي شود.

تغییرات ماکزیمم دمای سیال، که در مجاور دیوارهٔ گرم شونده اتفاق می افتد، با عدد ریلی در شکل (۱۳) دیده می شود. این شکل برای پنج محفظه مختلف رسم شده است. برای محفظههایی که طول آنها برابر یا بزرگتر از ارتفاعشان است ( AR = 1,4,10 ) منحنيها رفتار مشابهي را نشان مي دهنـد. θ<sub>max</sub> با افزایـش Ra ابتـدا کمـی زیـاد شـده وسـیس کـاهش می یابد. این نشان دهندهٔ نقش ناچیز وحتمی تما حمدودی منفی جابه جایی آزاد در اعداد ریلی کوچک است. در اعداد ریلی بالا، همان طور که در شکلهای خطوط جریان دیده شد، جریان هوای سرد ورودی به طرف دیـوارهٔ گرم کشیده شـده وباعث کاهش دمای سیال مجاور دیواره و در نتیجه  $heta_{
m max}$ می شود. در مورد محفظه های بلند ( AR = 0.1, 0.25 ) با توجه به اینکه جریان هوای ورودی مجبور است از نزدیک دیـوارهٔ گرم عبـور کند  $heta_{\max}$  نسبت به حالتهای قبل کاهش دارد. ایــن کـاهش در AR=0.1 چشمگیرتر است. در این حالتها، همان گونـه کـه در شکل (۱۲-لف) نیز دیدہ شد، جابہ جایی آزاد کمتر مے تواند در رفتار سیستم مؤثر باشد. به طوری که در AR=0.1 منحنی θ<sub>max</sub> تقریبا" افقی است.

در شکل (۱٤) اثر اعداد Ra و AR بر روی دمای متوسط سیال در محفظه رسم شده است. اثر Ra بر روی  $\theta_m$  تقریبا" مشابه اثر آن بر  $\theta_{max}$  است. با این تفاوت که در اینجا برای محفظههای با نسبت طول به ارتفاع ۱، ٤ و ۱۰ مقادیر  $\theta_m$ اختلاف مشهودی دارند. عدد ریلی در محفظه با طول وارتفاع مساوی بیشترین اثر را روی کاهش دمای متوسط سیال دارد. این امر نشان دهندهٔ تاثیرپذیری زیاد حریان در این محفظه از جابه جایی آزاد است. این در حالی است که در محفظه های خیلی طویل ( AR = 10 ) و خیلی بلند ( AR = 0.1 ) اثر جابه جایی آزاد در میزان دمای متوسط جزیی است.

شکل (۱۵) تغییرات عدد نوسلت متوسط نرمالایزه شده را با عدد ریلی برای محفظه های مختلف نشان میدهد. Nu در ابتدا برای تمامی محفظه ها تقریبا" یک بوده و تغییرات آن بسته به ابعاد محفظه در اعداد ریلی مختلفی آغاز می شود. با توجه به

www.SID.ir

این منحنی می توان مکانیزم حاکم بر انتقال گرمای توأم را برای هر محفظه در اعداد ریلی مختلف پیش بینی کرد.

## ٥- نتيجه گيرى

جريان آرام جابه جايي توأم در محفظه ها به طريق عددي حل شد. اثر محلهای ورود و خروج جریان اجباری، ابعاد محفظه وعدد ریلی بر روی میدان سرعت ودما و میزان انتقال گرما بررسی شد. بررسی انجام شده بر روی موقعیتهای مجاری ورود و خروج هوا نشان داد که در حالتی که ورودی جریان از بالاي محفظه باشد محل خروجي جريان نمي تواند تاثير چندانی بر میزان انتقال گرما و نیز دمای ماکزیمم و متوسط سیال داشته باشد. در عوض در حالتی کـه جریان اجباری از پایین محفظه وارد شود، محل خروجمي جريان مي تواند تاثير 🗛 سزایی در پارامترهای مسئله داشته باشد. در این حالت، اگر ه وا از بالای محفظه خارج شود (BT ) با افزایش عدد ریلی جابهجایی آزاد باعث تهویه مناسبتر محفظه خواهد شد. به عبارتی در این حالت دمای متوسط سیال کاهش قرابل توجیهی داشته و نوسلت متوسط افزایش چشمگیری از خود نشان میدهد. بنابر این به نظر می رسد که ورود هوا از پایین و خروج آن از بالای محفظه در بین وضعیتهای بررسی شده باعث

مراجع

Channel," International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 33, No. 6, pp. 1233-1245, 1990.

- Papanicolaou, E., Jaluria, Y., "Mixed Convection From Simulated Electronic Components at Varying Relative Positions in a Cavity," *ASME, Journal of Heat Transfer*, Vol. 116, pp. 960-970, 1994.
- Humphrey, J. A. C., and To, W. M., "Numerical Simulation of Buoyant Turbulent Flow, I: Free Convection Along a Heated, Vertical, Flat Plate; II: Free and Mixed Convection in a Heated Cavity," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 29, No. 4, pp. 513-610, 1986.
- Safi M. J., and Loc, T. P., "Development of Thermal Stratification in a Two-Dimensional Cavity: A Numerical Study," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 37, No. 14, pp. 2017-2024, 1994.

تهویه مناسبتر هوای داخل محفظه است. بررسیهای انجام شده بر روى ابعاد محفظه در حالت فوق نشان دهنـدهٔ رفتـار تقريبـا" مشابه در محفظه های با نسبت طول به ارتفاع یک و بیشتر بر روی ماکزیمم دما وانتقال گرمای محفظه است. در این محفظه ها حرکتهای جابه جایی آزاد از اعداد ریلی پایین بر روی جریان کلی اثر می گذارد. به طروری که از اعداد ریلی حدود ۱۰<sup>۵</sup> عملا" مكانيزم حاكم بر انتقال گرما، جابه جايي آزاد است. اين حرکتها نقش چشمگیری در تهویه بهتر محفظه دارد. در محفظههای با نسبت طول به ارتفاع کوچکتر از یک تهویه توسط جریان خارجی به خوبی انجام شده و نقش جابه جایی آزاد ناچیز است. به طوری که برای محفظه با AR=0.1 عمالا" افزایش عدد ریلی تا ۲۰<sup>۷</sup> هم تاثیر قابل توجیهی بر دماومیزان انتقال گرما ندارد. به طور کلی به نظر می رسد که برای تهویه محفظه ها توسط هوای سرد خارجی استفاده از محفظه های ب نسبت طول به ارتفاع کمتر از یک با مجرای ورودی در یایین و خروجی در بالا مناسبتر است. البته نتیجه گیری فـوق در چـهار چوب محاسبات انجام شده است و برای مطالعهٔ دقیقتر لازم است حالتهای دیگر ورود و خروج هوا و پارامترهـایی از قبیـل نوع جریان ورودی و شرایط مرزی محفظه نیز بررسی شود.

- 1. Nakamura, H., Asoko, Y., and Naitou, T., "Heat Transfer by Free Convection Between two Parallel Flat Plates," *Numerical Heat Transfer*, Vol. 5, pp. 39-58, 1982.
- 2. Habchi, S., and Acharya, S., "Laminar Mixed Convection in a Partially Blocked, Vertical Channel," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 29, No. 11, pp. 1711-1722, 1986.
- Elpidorou, D., Prasad V., and Modi, V., "Convection in a Vertical Channel with a Finite Wall Heat Source," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 34, No. 2, pp. 573-578, 1991.
- Mahaney, H. V., Incropera F. P., and Ramadhyani, S., "Comparison of Predicted and Measured Mixed Convection Heat Transfer From an Array of Discrete Sources in a Horizontal Rectangular

- 8. Raji, A., and Hasnaoui, M., "Mixed Convection Heat Transfer in a Rectangular Cavity Ventilated and Heated From the Side," *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol. 33, pp. 533-548, 1998.
- 9. Patankar, S. V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere, Washington, D. C., 1980.
- 10. De Vahl Davis, G., "Natural Convection of Air in a Square Cavity: A Benchmark Numerical Solution," *International Journal of Numerical Methods in fluids*, Vol. 3, pp. 249-264, 1983.

استقلال، سال ۲۱، شمارهٔ ۱، شهریور ۱۳۸۱