انتقال حرارت ترکیبی جابهجایی آزاد و هدایت در محفظه مربعی متخلخل، حاوی قطعه جامد گرمازا

مجيد طهماسبي كهياني'، بهزاد قاسمي'، افراسياب رئيسي'

دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه شهرکرد (تاریخ دریافت:۹۲/۱۰/۲۵؛ تاریخ پذیرش:۹۳/۰۳/۲۹)

چکیدہ

در مقاله حاضر، انتقال حرارت ترکیبی جابهجایی آزاد و هدایت در یک محفظه مربعی متخلخل حاوی جسم جامد دارای تولید انرژی که در آن انرژی یک در مقاله حاضر، انتقال حرارت ترکیبی جابهجایی آزاد و هدایت در یک محفظه مربعی متخلخل حاوی جسم جامد دارای تولید انرژی که در آن انرژی یک در معادخت بر واحد حجم تولید می شود، به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته است. دیوارههای افقی این محفظه عایق و دیوارههای عمودی چپ و راست به ترتیب در دماهای T_h و T_h می باشند. با وجود این شرایط مرزی در معادلات بی بعد شده دو پارامتر مؤثر وجود خواه د داشت که شامل Ra و می است. په ترتیب در دماهای T_h و T_h می باشند. با وجود این شرایط مرزی در معادلات بی بعد شده دو پارامتر مؤثر وجود خواه د داشت که شامل Ra و م₈ می باشند. پارامتر مقاد و تعلی از اختلاف دما در مرزهای گرم و سرد می باشد و مراه می واسته به تولید انرژی در جسم جامد است. معادلات بی معادلات بی معادلات و ایم پر امتری وابسته به تولید انرژی در جسم جامد است. معادلات بی معادلات بی معادلات و ماه می باشند. پارامتر مود و تابعی از اختلاف دما در مرزهای گرم و سرد می باشد و م⁴ پارامتری وابسته به تولید انرژی در جسم جامد است. معادلات از روش حجم کنترل استفاده شده است. اثر تغییر است. معادلات بی معادلات بی بعد حاکم بر اساس مدل دارسی به دست آمده اند و برای حل این معادلات از روش حجم کنترل استفاده شده است. اثر تغییر پارامترهای Ra و م⁴ پر میدان جریان و دما و نرخ انتقال حرارت و غیره بررسی شده است. نتایج نشان دهنده کاهش بیشینه دمای دامنه حل با افزایش عده Ra و یا کاهش م⁴₈ است.

واژههای کلیدی: محیط متخلخل، انتقال حرارت ترکیبی، جسم جامد، تولید انرژی

Conjugated Natural Convection and Conduction Heat Transfer in a Square Cavity Containing a Porous Medium and a Solid Body Heat Source

M. Tahmasebi-kohyani, B. Ghasemi, A. Raisi

Mechanical Engineering Department Shahrekord University (Received:15 January, 2014; Accepted:19 June, 2014)

ABSTRACT

Conjugated natural convection and conduction in a square cavity containing a porous medium with a solid body subjected to a uniform energy generation per unit volume is studied numerically in this paper. The vertical walls of the cavity are assumed to have constant temperatures (T_h and T_c) and the horizontal walls to be adiabatic. The effective parameters in this case are Ra and λ_{sb} which appear in the nondimensionalized equations. Ra is a function of temperature difference between hot and cold walls, and λ_{sb} is a parameter that depends on the energy generation in the porous medium. Nondimensionalized governing equations in both cases are obtained based on the darcy model; a control volume approach is used for solving these equations. The effect of the variation of two parameters, Ra and λ_{sb} , on the heat transfer rate, fluid flow and isotherms are investigated. The results show that the maximum temperature decreases as Ra increases or λ_{sb} decreases.

Keywords: Porous Medium, Conjugated Natural Convection, Heat Generation, Solid Body

۳- استادیار: raisi@eng.sku.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری: matkoh@yahoo.com

۲- استاد (نویسنده پاسخگو): behzadgh@yahoo.com

علائم	ست	فرب
10		~~

تفاع محفظه H
لول ضلع بدون بعد جسم جامد مربعی D
لول های بدون بعد در جهتهای ۲ و ۲
یتاب حاذبه زمین بتاب حاذبه زمین
یدد رایلے بید
$\lambda_{}$ بدد به بعد واسته به تولید جرارت در قطعه جامد $\lambda_{}$
.ی. را بر را بر را بر این
ومات موجبتی
h, ۲ _c مرد درم و سرد ا
مرعت در جهت y
سریب نفودپدیری محیط متحلحل
سريب رسانش حرارتي
وليد انرژی بر واحد حجم
ىلائم يونانى
سریب پخش حرارتی 🛛 🖉
مای بدون بعد 🕴 🔴
زجت سینماتیکی ۵
سریب انبساط گرمایی β
ابع جريان Ψ
ابع جريان بدون بعد Ψ
يرنويسها
حبط متخلخل
sb هعه جامد
طعه جامد و محیط متخلخل sbp

فصلنامه مکانیک هوافضا (انتقال حرارت و پیشرانش)، جلد ۱۰، شماره۲، تابستان ۱۳۹۳

سالهای اخیر محققان توجهی ویژه به بررسی پارامترهای تأثیر گذار بر انتقال حرارت در محیطهای متخلخل داشته باشند. بهعنوان مثال کاربردی در زمینه استفاده از محیطهای متخلخل، می توان به مبدل های زیرزمینی برای ذخیره انرژی، بازیابی و كنترل دماى راكتورها، خنككارى قطعات الكترونيكي، عايق هاى حرارتی، انرژیهای زمین گرمایی و غیره اشاره کرد. این موارد و کاربردهای بیشتر را میتوان در مراجع [۴–۱] یافت. بررسی انتقال حرارت در محیطهای متخلخل با شرایط مرزی مختلف یکے از موضوعات مهم در این زمینه بهشمار می رود و مقالات زیادی در این زمینه به ثبت رسیده است. اندرسن و لاریت ([۵] جابـهجـایی طبیعی در یک محفظه که دارای دیوارههای عمودی سرد و دیواره کف گرم در دمای یکنواخت میباشد را بررسی کردهاند. کیمورا و بیجن [۶] جابهجایی طبیعی را بهصورت عددی در یک محفظه مستطیلی که سطح کف آن خنک نگهداشته شده است و به یکے از دیوارههای عمودی نیز شار وارد می شود را بررسی نمودهاند. پپ و سعید [۷] در زمینه محیطهای متخلخل ساده مقالهای ارائه كردند كه با افزایش عدد رایلی، زمان رسیدن به عدد نوسلت ثابت کمتر و با کاهش عدد دارسی، اختلاف بین دو مدل میکروسکیی و ماکروسکیی زیاد می شود. چائو و اوزی ٔ [۸] بهبررسی جابه جایی 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، یرداختهاند. گرانزارولی و میلانز ^۵ [۹] بهبررسی محفظهای که دارای دیوارههای عمودی سرد در دمای یکنواخت بوده و شار حرارتی نیز از کف محفظه وارد می شود، پرداختهاند. به تازگی سعید [۱۰] انتقال حرارت جابهجایی در یک محیط متخلخل که توسط دو لایه با ضخامت محدود احاطه شده است را مورد بررسی قرار داده است که از جمله نتایج آن میتوان به افزایش مقدار جریان گردشی با دو عامل کاهش ضخامت دیوارهها و افزایش نسبت ضریب رسانش دیوارهها به ضریب رسانش محیط متخلخل (Kr) اشاره کرد. در این مقاله همچنین نشان داده شده است که با افزایش Kr عدد نوسلت و گرادیان دمای افقی افزایش مے پابنـد. چمخا و همکارانش [۱۱] یک محفظه متخلخل در معرض

4- Chao and Ozoe

۱– مقدمه

ديواره گرم

ديواره سرد

بيشينه

محیطهای متخلخل و بررسی پدیده انتقال در آنها جایگاه ویژهای در فناوری و صنعت دارد. این اهمیت باعث شده که در

h

с

max

¹⁻ Anderson and Lauriat

²⁻ Kimura and Bejan

³⁻ Pop and Saeid

⁵⁻ Granzarolli and Milanez

⁶⁻ Chamkha

۲ – بیان مسئله و روش حل شماتیک مسئله مورد بررسی در شکل **۱** نمایش داده شده است. محفظه مربعی بوده و دیوارهای عمودی آن در دو دمای T_c T_c T_c نگاه داشته میشوند. دیوارهای افقی آن نیز آدیاباتیک می باشند. جسم جامد با تولید انرژی یکنواخت در مرکز محفظه قرار دارد. فرض میشود که محیط متخلخل همسانگرد و همگن است و در حالت کاملاً اشباع قرار دارد. سیال و محیط در شرایط تعادل دمای محلی قرار دارند و از اثرات اتلاف اصطکاکی و ترم اینرسی در معادلات انرژی و مومنتوم صرفنظر می شود. خواص در معادلات انرژی و مومنتوم صرفنظر می شود. خواص شناوری، طی بررسی ثابت فرض می شوند. فرض می شود که چگلی سیل مطلق بافرضیه مشهور بوزینسک $[(-T_{0}, T_{0}, -T_{0})]$



فرض می شود که سیال درون محیط متخلخل از مدل دارسی تبعیت می کند. با در نظر گرفتن فرضیه های ذکر شده، معادلات حاکم بر رفتار سیال و فاز جامد در حالت دوبعدی به صورت زیر می شود: $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0,$ (۱)

$$\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{gK\beta}{v} \frac{\partial T_p}{\partial x},\tag{(7)}$$

$$u\frac{\partial T_p}{\partial x} + v\frac{\partial T_p}{\partial y} = \alpha(\frac{\partial^2 T_p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_p}{\partial y^2}),\tag{(7)}$$

$$\frac{\partial^2 T_{sb}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_{sb}}{\partial y^2} + \frac{q^*}{k_{sb}} = 0.$$
 (*)

تشعشع را مورد بررسی قرار دادند. علاوه بر تحقیقات فوق که در آنها انرژی گرمایی بر روی مرزهای محفظه اعمال میشود، در برخی تحقیقات نیز منبع انرژی در داخل محفظه در نظر گرفته شده است. پپ و سعید [۱۲] به بررسی انتقال حرارت جابه جایی در یک محیط متخلخل عمودی با دو منبع حرارتی پرداختهاند که در آن، تغییرات پارامترهایی از جمله اعداد رایلی و پکلت و فاصله میان منابع گرمایی بر نرخ انتقال حرارت مورد توجه واقع شده است. گروسان (و همکارانش [۱۳] به بررسی اثرات تولید حرارت داخلی و میدان مغناطیسی در یک محیط متخلخل پرداختهاند و نشان دادهاند که میزان انتقال حرارت جابه جایی به شدت به پارامترهایی از جمله عـدد رایلی و عـدد هـارتمن، (Ha تـابعی از شدت میدان مغناطیسی) وابسته است. همچنین نشان دادهاند که عدد نوسلت موضعی در دیوارههای افقی با تغییر زاویه میدان مغناطیسی از حالت افقی به عمودی تغییر قابل ملاحظهای دارد. میلی و مرکین [۱۴] انتقال حرارت جابه جایی در محیط متخلخل با تولید انرژی داخلی را مورد مطالعه قرار دادهاند. آنها نشان دادهاند که در اعداد رایلی بزرگ لایههای مرزی با گردابههای Eddy، در نواحی مرکزی دیوارههای عمودی ایجاد می شود. از دیگر نتایج آن میتوان به دستیابی به دمایی بالاتر از دمای دیوار گرم توسط تولید انرژی داخلی درون محیط متخلخل اشاره کرد. طیبی و عباسی [۱۵] اثر آرایشهای مختلف قرارگیری و تغییر ضخامت ماده متخلخل در یک لوله پهن شده را مورد بررسی قرار دادند که ازجمله نتایج آن استفاده از آرایش مرکزی برای افزایش انتقال حرارت و آرایش مرزی برای عایق می باشد. کیهانی و محبی [۱۶] به بررسی عددی جریان سیال و انتقال حرارت در محیط متخلخل بین دو صفحه موازی پرداختهاند و نشان دادند که وجود موانع ثابت در دامنه محاسباتی به عنوان محیط متخلخل، موجب افزایش عدد نوسلت متوسط می شود. هر چند تحقیقات فراوانی در رابطه با محیطهای متخلخل انجام شده، اما کمتر به مسائلی که در آنها علاوه بر تولید انرژی در داخل محفظه دیواره آن نیز گرم می باشد، پرداخته شده است. در این راستا تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر پارامترهای مختلف بر انتقال حرارت از محیط متخلخل حاوی جسم جامد گرمازا با دیوارههای گرم و سرد انجام شده است که در بررسی شبیهسازی انتقال حرارت از قطعات نصب شده در مدارهای الکترونیکی کاربرد دارد.

¹⁻ Grosan

²⁻ Mealey and Merkin

روابط (۳–۱) به ترتیب مربوط به پیوستگی، ممنتوم و انرژی در جسم جامد در محیط متخلخل و رابطه (۴) معادله انرژی در جسم جامد است. U و V مؤلفههای سرعت در جهتهای X و Y, T_p و T_s دمای محیط متخلخل و قطعه جامد و K ضریب نفوذپذیری محیط متخلخل میباشند. بقیه پارامترها در فهرست علائم آورده شدهاند. معادلههای فوق را میتوان برحسب تابع جریان، که به صورت $\frac{\psi}{\partial y} = u \ e \ \frac{\partial \psi}{\partial y} - = v$ تعریف می شود، نوشت. ابتدا پارامترهای بدون بعد زیر تعریف می شود:

$$\Psi = \frac{\Psi}{\alpha}, \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, X = \frac{x}{H}, Y = \frac{y}{H}.$$
 (d)

با استفاده از پارامترهای رابطه (۵) معادله های حاکم بر مسئله به شرح زیر می باشد:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = -R \, a \, \frac{\partial \theta_p}{\partial X},\tag{9}$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial Y} \frac{\partial \theta_p}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X} \frac{\partial \theta_p}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta_p}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta_p}{\partial Y^2},\tag{V}$$

$$\frac{\partial^2 \theta_{sb}}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta_{sb}}{\partial Y^2} + \lambda_{sb} = 0. \tag{A}$$

در روابط فوق، Ra عدد ریلی است و به می ورث

$$\lambda_{sb} = (g eta K(q^m H^2/k)L)/(v lpha))$$
 تعریف می شود و λ_{sb}
پارامتری مربوط به تولید انرژی در جسم جامد و به صورت
 $\lambda_{sb} = \frac{q^m H^2}{k(T_h - T_c)}$

$$\Psi(0,Y) = \Psi(1,Y) = \Psi(X,0) = \Psi(X,1) = 0,$$
(9)

$$\theta(0,Y) = 0, \theta(1,Y) = 1,$$
 (1.)

$$\frac{\partial \theta(X,0)}{\partial Y} = \frac{\partial \theta(X,1)}{\partial Y} = 0. \tag{11}$$

لازم بهذکر است در رابطه با مسئله مذکور برای شرط مرزی سطح مشترک قطعه جامد و محیط متخلخل، ابتـدا بایـد بـا توجـه بـه برابری دما و شار حرارتی قطعه جامد و محیط متخلخل روی ایـن مرز، رابطه (۱۲) دمای سطح مشترک را بهدست آورد:

$$k_{sb} \frac{\partial \theta}{\partial X}\Big|_{sbp,sb} = k_p \frac{\partial \theta}{\partial X}\Big|_{sbp,P}$$
(17)

با استفاده از تقریب تفاضل پیشرو مرتبه اول، معادله (۱۲) بـ مصورت زیر خواهد شد:

$$k_{sb} \frac{\theta_{sbp} - \theta_{sb}}{\delta X_{sb}} = k_p \frac{\theta_p - \theta_{sbp}}{\delta X_p}.$$
 (17)

www.SID.ir

در این رابطه، θ_p دمای گره داخل محیط متخلخل، θ_{sb} دمای گره داخل قطعه و σ_{sbp} دمای سطح مشترک قطعه و محیط متخلخل است. با برابر درنظر گرفتن δX_{sb} و δX_s ، معادله (۱۳) را می توان به صورت ساده شده زیر نوشت:

$$\theta_{\rm Sbp} = \frac{\Gamma \theta_{\rm sb} + \theta_{\rm p}}{1 + \Gamma}, \ \Gamma = \frac{k_{\rm sb}}{k_{\rm p}}.$$
 (14)

رابطه (۱۴) شرط مرزی جبری شده در سطح مشترک قطعه جامد و محیط متخلخل میباشد. مقدار تابع جریان Ψ ، درون قطعه جامد برابر صفر قرار داده می شود. در این بررسی عدد نوسلت موضعی Nu، و متوسط $\overline{\text{Nu}}$ ، روی دیوارههای سرد و گرم به صورت زیر تعریف می شوند:

$$Nu = -\frac{\partial \theta}{\partial X}, \ \overline{Nu} = \int_0^1 Nu dY$$
 (1)

۳- روش حل عددی

برای جبری کردن معادلات بیبعد شده از روش حجم کنترل استفاده شده است. همان طور که از روابط (۶ و ۲) پیدا است، معادلات مذكور به يكديگر مرتبط بوده و بايد بهصورت همزمان حل شوند. برای تقریب جملات یخش، از تقریب تفاضل مرکزی و در رابطه با جملات جابهجایی پخش، از روش پاورلا استفاده شده است [۱۷]. برای بهدست آوردن جوابهایی دقیق باید از شبکهبندی متناسب با شرایط مرزی و هندسه مسئله استفاده نمود. زیـرا در غير اين صورت جوابها واگرا شده و يا غير دقيق بهدست ميآيند. برای شبکهسازی از روشهای گوناگونی استفاده می شود. در مرجع [۱۸] در این مورد توضیحات کافی آمده است. در مقاله حاضر از روش جبری برای شبکهسازی استفاده شده است. برای شبکهبندی از شبکه غیر یکنواخت به گونهای استفاده شده که در نزدیکی مرزهای محفظه و قطعه جامد اندازه شبکه ریزتر باشد، چون در آنجا تغییرات شدیدتر است. نمونهای از شبکهبندی استفاده شده در شکل ۲ آورده شده است. در حلهای عددی یکی از نكات مهم عدم وابستكي جوابها به تعداد نقاط شبكه است، با توجه به بررسیهایی که روی پارامترهای مهم مسئله، برای نشان دادن عدم وابستگی حل به تعداد نقاط شبکه انجام گرفت، از شبکه بهینه در حل استفاده شده است. نمونهای از این بررسیها در شکل ۳ مشاهده می شود. با توجه به این شکل دیـده مـے،شـود که تغییرات بیشینه دمای دامنه حل، θ_{\max} ، از شبکه ۶۱ × ۶۱ تا ۱۲۱ × ۱۲۱ بسیار کم است و از شبکه ۱۰۱ ×۱۰۱ به بعد تقریباً تغييراتي ندارد.



شکل (۲): نمایی از شبکهبندی استفاده شده در روند حل.



بنابراین برای داشتن سرعت و دقت بالاتر در روند حل، از شبکه ۱۰۱×۱۰۱ استفاده شده است. معادلات جبری بهدست آمده بهوسیله روش تکرار خط به خط و با استفاده از الگوریتم ماتریس سه قطری حل شدهاند. همگرایی فرآیند تکرار تا رسیدن به محدودیت زیر ادامه مییابد:

$$\left[\sum_{i,j} \left| \phi_{i,j}^{n} - \phi_{i,j}^{n-1} \right| / \sum_{i,j} \left| \phi_{i,j}^{n} \right| \right] \le 10^{-8}$$
(19)

که در آن، ϕ معرف θ و یا Ψ است و n شمارنده تکرار است.

۴– بحث در نتایج

برای اطمینان از صحت کد رایانهای نوشته شده، نتایج مقایسه با مرجع [۱۹] برای حالتی که قطعه جامد بدون تولید انرژی به دیواری با ضخامت متغییر در سمت منبع دما بالا تبدیل شده باشد، آمده است. در شکل ۴ خطوط جریان و دما ثابت و در جدول ۱ تغییرات عدد نوسلت در سه ضخامت مختلف برای دیوار جامد مشاهده می شود. با توجه به جدول ۱ و شکل ۴ مشاهده www.SID.ir

می شود که نتایج به دست آمده با مرجع [۱۹] به خوبی مطابقت دارد. اختلاف موجود بین نتایج، ناشی از تقریب های مختلف و یا معیارهای همگرایی متفاوت استفاده شده در زمان حل می باشد.

$\cdot \Gamma = k_{sb} / k_p = 1$	[۱۹] د,	Nu با مرجع	(۱): مقایسه	مدول
-----------------------------------	---------	------------	-------------	------

نویسنده	Saeid [19]	This study	
D	Nu		
•/• ٢	۱۰/۴۱	۱۰/۳۸	
•/1	۵/۰۴۴	۵/۰۱۳	
• / ۵	1/588	۱/۵۶۰	





قابل ذکر است در شکلهای ۴– الف و ب ۱۰۰۰ = Ra و Ra = ۱۰۰۰ و قابل ذکر است. بعد از $\Gamma = k_{sb}/k_p = 1$ است. بعد از اطمینان از عملکرد برنامه رایانهای به بررسی مسئله حاضر پرداخته می شود. لازم به ذکر است که در این تحقیق کلیه

بررسی ها در حالت $\Gamma = k_{sb}/k_p = 1$ و ابعاد قطعه جامد $\Gamma = k_{sb}/k_p$. $D^2 = \cdot/1 \times \cdot/1$

 $\mathbf{A} = \mathbf{I} - \mathbf{I}$ اثر تغییر λ_{sb} در Ra ثابت در این قسمت، در عدد رایلی ثابت $\mathbf{Ra} = \mathbf{Irr}$ ، اثر تغییر نرخ تولید انرژی در قطعه جامد مربعی در قالب پارامتر λ_{sb} بررسی میشود. در شکل **۵** خطوط دما ثابت (چپ) و جریان (راست) در حالتی که Ra ثابت است باری چهار مقادار λ_{sb} متفاوت آمده است.

در این شکل می توان به تشکیل گردابه های مثبت در گوشه بالا و سمت راست محفظه و نیز شکل گرفتن خطوط هم دما با تراکم بالا درون قطعه جامد که نشان دهنده افزایش تغییرات دما در اثر افزایش انرژی درون قطعه می باشد، با افزایش $\lambda_{\rm sb}$ اشاره کرد. افقی شدن خطوط هم دما با افزایش $\lambda_{\rm sb}$ را می توان ناشی از افزایش قدرت سازو کار انتقال حرارت جابه جایی از محفظه دانست.

همان طور که در شکل **۵** مشاهده میشود، به ازای λ_{sb} کوچک (۱۰۰،۱۰) به دمای بالاتر از دمای مرز گرم دست آمده نیافته و مقدار بیشینه تابع جریان، Ψ_{max} صفر به دست آمده است، یعنی فقط گردابه های هم جهت وجود دارند. این در حالی است که برای λ_{sb} های بزرگ گردابه هایی با جهت های چرخش متفاوت ایجاد می شوند. همچنین با توجه به اعداد آورده شده در زیر شکل ها دیده می شود که با افزایش λ_{sb} به بیشینه دمای زیر شکط ها دیده می شود. می و خرخشی افزوده می شوند.

در شکل R تغییرات دما در محور عمودی مرکزی محفظه (X = -1/2) در حالت Ra ثابت و λ_{sb} متغیر مشاهده می شود. با توجه به شکل R افزایش دما با حرکت از پایین محفظه (Y = Y) به سمت بالا (Y = 1) ملموس است. دلیل آن را می توان در قرار گرفتن سیال گرمتر در بالای محفظه به علت دارا بودن چگالی کمتر دانست.

 λ_{sb} با دقت در شکل θ همچنین مشخص است که به ازای λ_{sb} با دقت در شکل θ همچنین مشخص است که به ازای جسم جامد و به $\lambda_{sb} < 0.1 > \frac{\lambda_{sb}}{Ra}$) دمای بیشینه در خارج از جسم جامد و به ازای λ_{sb} های بزرگ $(1.0 < \frac{\lambda_{sb}}{Ra})$ در مرکز قطعه جامد حاصل میشود. برای نشان دادن برقراری موازنه انرژی تولید شده در قطعه جامد و انرژی بیرون رفته از مرزها، نمودار تغییرات $\overline{\mathrm{Nu}_{\mathrm{h}}}$ و $\overline{\mathrm{Nu}_{\mathrm{c}}}$ در شکل Ψ آمده است.

3 0.06

(الف)



(ب)

1.13



0.53



(ج)

شکل (۵): خطوط جریان (راست) و همدما (چپ) Ra = ۱۰۰۰ به ازای λ_{sb} متغیر و ۲۰۰۰ λ_{sb} $\lambda_{sb} = 10 \ \Psi_{max} = 0, \ \Psi_{min} = -17.34, \ \theta_{max} = 1$ (الف) $\lambda_{sb} = 100 \ \Psi_{max} = 0, \ \Psi_{min} = -18.84, \ \theta_{max} = 1 ($ ب $\lambda_{sb} = 1000 \ \Psi_{max} = 6.44, \ \Psi_{min} = -21.49, \ \theta_{max} = 2.24 ($ ج $\lambda_{sb} = 5000 \ \Psi_{max} = 21.12, \ \Psi_{min} = -29.22, \ \theta_{max} = 6.69$ (c)

(د)



از شکل **۷** می توان مشاهده کرد که با افزایش $\lambda_{\rm Sb}$ ، که نشان از افزایش تولید انرژی در قطعه است، تبادل حرارت از دیواره سرد افزایش و از دیواره گرم کاهش مییابد، به گونهای که در $\lambda_{\rm Sb}$ های بالاتر از حدود ۳۰۰۰ هر دو دیواره حرارت از دست می دهند. همچنین موازنه انرژی تولید شده بر واحد حجم درون قطعه جامد همچنین موازنه انرژی تولید شده بر واحد حجم درون قطعه جامد و حرارت انتقال یافته از مرزها به صورت رابطه زیر برقرار است: $\overline{\rm Nu}_{\rm c} - \overline{\rm Nu}_{\rm h} = \lambda_{\rm Sb} \times D^2$. (۱۷)

در λ_{sb} ثابت Ra اثر تغییر λ_{sb} در λ_{sb}

در ادامه، حالتی که λ_{sb} ثابت و برابر ۵۰۰۰ باشد و عـدد Ra تغییـر کند، مورد بررسی قرار می گیرد. با دقت در شکل Λ مشاهده مـیشـود که با افزایش Ra گردابههای منفی (پادساعت گرد) فضای بیشـتری از محفظه را اشغال خواهند کرد و گردابههای مثبـت محـدود بـه گوشه بالا و سمت راست محفظـه مـیشـوند. همچنـین مشـخص است با تغییرات Ra از ۱۰ به ۲۰۰۰ گردابههای قوی تـری تشـکیل مده است و مقادیر قدر مطلق Ψ_{min} و افزایش یافته است. همچنین پیداست، مقادیر θ_{max} با افزایش عدد Ra کـاهش یافتـه است که به علت افزایش قدرت سازوکار جابهجایی درون محفظه است. **www.SID.ir**

این امر باعث خنک شدن قطعه شده و دمای بیشینه آن را کاهش میدهد.

-3.51

-9.60

-26.07

-2.13

13 49

2.13





7.84

-0.88

17.98



(ب)





شكل (٨): خطوط جريان (راست) و همدما (چپ) به ازاى Ra متغيرو $\Delta_{sb} = \Delta \cdots$ به ازاى Ra متغيرو $Ra_{ab} = 0$... Ra=10 $\Psi_{max} = 3.61, \Psi_{min} = -3.98, \theta_{max} = 15.67$ (الف) Ra=10² $\Psi_{max} = 9.08, \Psi_{min} = -10.84, \theta_{max} = 9.25$ (ب Ra=10³ $\Psi_{max} = 21.12, \Psi_{min} = -29.22, \theta_{max} = 6.69$ (ج Ra=2×10³ $\Psi_{max} = 27.52, \Psi_{min} = -40.51, \theta_{max} = 6.26$ (s) در شـکل ۱۰ بـا افـزایش عـدد Ra و تقویـت حرکـتهـای جابهجایی آزاد به نرخ انتقال حرارت از هر دو دیـواره سـرد و گـرم افزوده میشود. در این قسمت نیز اخـتلاف میـان مقـادیر نوسـلت میانگین در مرزهای سـرد و گـرم بـا افـزایش Ra تقریبـاً ثابت و متناسب با $\lambda_{\rm sb}$ میاشدو بالانس انرژی بـهصورت $\overline{\rm Nu}_{\rm c} - \overline{\rm Nu}_{\rm h} = \lambda_{\rm sb} imes D^2$ متناسب با برقرار است. برقرار است.

۵- نتیجهگیری

در مقاله حاضر انتقال حرارت ترکیبی جابهجایی آزاد و هـدایت در یک محفظه مربعی متخلخل حاوی جسم جامد دارای تولید انرژی که در آن انرژی یکنواخت بر واحد حجم تولید می شود، به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسیها نشان داد بهطور کلی در معادلههای بیبعد شده دو پارامتر مؤثر خواهند داشت که عبارت از Ra و λ_{sb} می باشد. Ra تابعی از اختلاف دما در مرزهای گرم و سرد و λ_{sb} پارامتری وابسته به تولید انرژی در قطعه جامـد است. معادلات بی بعد حاکم بر اساس مدل دارسی به دست آمدهاند و برای حل این معادلات از روش حجم کنترل استفاده شده است. اثر تغيير پارامترهای Ra و $\lambda_{
m sb}$ بر ميزان انتقال حرارت، ميدان جريان و دما بررسی شده است. در مجموع نتایج نشان میدهند که در یک $heta_{sb}$ خاص با افزایش Ra کاهش $heta_{max}$ و افزایش قدرت گردابه ها ψ را خواهند داشت. در Ra ثابت افزایش λ_{sb} هـر چنـد ψ افزایش قدرت گردابهها ۷٫۱ در یے خواهد داشت، اما بهعلت θ_{\max} افزایش تولید انرژی محفظه را گرمتر کرده و موجب افزایش می شود. همچنین نشان داده شد که بهازای نسبت های کوچک به Ra ($\lambda_{sb} \leq 0.1$) Ra به Ra ($\lambda_{sb} \leq 0.1$) Ra به λ_{sb} و به ازای نسبتهای بزرگتر در مرکز قطعه جامد حاصل میشود. اثرات تغییر در $\lambda_{\rm sh}$ و Ra بر یارامتر $\overline{\mathrm{Nu}}$ نیز بررسی شد و مشخص شد کـه افـزایش $\lambda_{
m sb}$ و Ra باعـث افـزایش نـرخ انتقـال حرارت از محفظه خواهد شد.

8- مراجع

- 1. Nield, D.A. and Bejan, A. "Convection in Porous Media", Third Ed., 2006.
- Ingham, D.B., Bejan, A., Mamut, E., and Pop., I. "Emerging Technologies Techniques in Porous Media, Kluwer Academic, Dordrecht", 2004.
- Ingham, D.B. and pop., I., "Transport Phenomena in Porous Media", Book, Vol. 1 and 2, Pergamon, Oxford, 2005.

با دقت در شکل **۹** که نشان دهنده تغییرات دما در خط تقارن عمودی محفظ ه میباشد، مشخص است که به ازای مهر که در اعداد Ra کوچک ($Ra \ge 0.01$) تفاوت چشم گیری بین منحنیهای توزیع دما با حالت اعداد Ra بزرگتر مشاهده میشود و دلیل آن را میتوان عدم حرکت قوی سیال درون محفظه در این حالت دانست که اختلاف دمای زیاد بین بالا و پایین محفظه را در پی خواهد داشت. zncر این حالت بهعلت بزرگ بودن مقدار تولید انرژی در جسم، $0.1 < \frac{\lambda_{sb}}{R_a}$ ، دمای بزرگ بودن مقدار تولید انرژی در جسم، $0.1 < \frac{\lambda_{sb}}{R_a}$ ، دمای

همچنین در شکل **۹** نیز برای نشان دادن برقراری موازنه انرژی تولید شده در قطعه جامد و انرژی بیرون رفته از مرزها، $\lambda_{sb} =$ همچنیرات Ra و $\overline{\mathrm{Nu}_{\mathrm{c}}}$ و $\overline{\mathrm{Nu}_{\mathrm{b}}}$ به ازای ۵۰۰۰ در شکل ۱۰ در شکل ۱۰ آورده شده است.



شکل (۹): تغییرات دما در خط تقارن عمودی محفظه با تغییر (۹): تغییرات در λ_{cb} ثابت (۵۰۰۰).



- Grosan, A.T., Revnic, B.C., pop, I., and Ingham, D.B. "Magnetic Field and Internal Heat Generation Effects on the Free Convection in a Rectangular Cavity Filled with a Porous Medium", Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 52, No's. 5-6, pp. 1525-1533, 2009.
- Mealey, L.R. and Merkin, J.H. "Steady Finite Rayleigh Number Convective Flows in a Porous Medium with Internal Heat Generation", Int. J. Thermal Sci., Vol. 48, No. 6, pp. 1068-1080, 2009.
- 15. Taeibi-Rahni, M., Khayat, M., and Aliabbasi, R. "Numerical Simulation of Forced Convection Flow through a Flattened Pipe Using Porous Material in the Central and Boundary Arrangement", Aerospace Mech. J., Thermal Sci., Vol. 9, No. 1, pp. 77-85, 2013 (In Persian).
- 16. Kayhani, M.M. and Mohebi, R. "Numerical Investigation of Fluid Flow and Heat Transfer on the Porous Media Between Two Parallel Plates Using the Lattice Boltzmann Method", Aerospace Mech. J., Thermal Sci, Vol. 9, No. 1, pp. 63-76, 2013, (In Persian).
- 17. Patankar, S.V. "Computation of Conduction and Duct FlowHeat Transfer", Innovative Research, Inc. USA, 1996.
- Hoffmann, K.A. and Chiang, S.T. "Computational Fluid Dynamics For Engineers", Book, 1993.
- Saeid, N.H. "Conjugate Natural Convection in a Porous Enclosure: Effect of Conduction in one of the Vertical Walls", Int. J. Thermal Sci., Vol. 46, No. 6, pp. 531-539, 2007.

- 4. Vafai, K.A. "Hand Book of Porous Media", New York, 2000.
- Anderson, R. and Lauriat, G. "The Horizontal Natural Convection Boundary Layer Regime in a Closed Cavity", In Proc.8th, Int. Heat Transfer Conf. San Francisco USA, Vol. 98, pp. 1453-1458, 1986.
- Kimura, S. and Bejan, A. "Natural Convection in Defferentially Heatedcorner Region", Phys. Fluids Vol. 28, No. 10, pp. 2980-2989, 1985.
- pop, I. and Saeid, N.H. "Transient Free Convection in a Square Cavity Filled with a Porous Mediom", Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 47, No's. 8-9, pp. 1917-1924, 2004.
- Chao, P. and Ozoe, H. "Laminar Natural Convection in an Inclined Rectangular Box with Lower Surface Half Heaten and Half Insulated", AZME J. Heat and Masstransfer, Vol. 105, No. 3, pp. 425-432, 1983.
- Granzarolli, M.M. and Milanez, L.F. "Natural Convectionin Rectangular Enclosures Heated from Below and Symmetrically Cooled from the Sides", Int J. Heat Mass Transfer, Vol. 38, No. 6, pp. 1063-1073, 1995.
- Saeid, N.H. "Conjugate Natural Convection Inavertical Porous Layer Sandwiched by Finite Thickness Walls", Int. Heat Transfer Conf., Vol. 34, pp. 200-216, 2007.
- 11. Chamkha, A.J. and Khalil Khanafer, I.C. "Natural Convection From an Inclined plate Embedded in a Variable Porosity Porus Medium Due to Solar Radiation", Int. J. Therm Sci., Vol. 41, No. 1, pp. 73-81, 2002.
- pop, I. and Saeid, N.H. "Mixed Convection From two Thermal Sources in a Vertical Porous Layer", Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 48, No's. 19-20, pp.4150-4160, 2005.