http://mjmec.ir



# در المكلم تربيت مرس

# سی مکانیک مارسی درداد ۱۳۹۲، دوره ۱۲ شماره ۲ مرم ۱-۲

# بررسی اثر میدان مغناطیسی بر انتقال حرارت جابجایی آزاد نانوسیال در محفظه مثلثی

على ملكپور ٰ، بهزاد قاسمى ٚ

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد ۲- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد \* شهرکرد، صندوق پستی ۱۱۵، behzadgh@yahoo.com

بجله علمى پژوهشر

چکیده – در این مقاله انتقال حرارت جابجایی آزاد نانوسیال در یک محفظه مثلثی شکل به روش عددی بررسی شده است. نانوسیال استفاده شده آب و مس بوده و محفظه تحت تأثیر میدان مغناطیسی ثابت میباشد. دیوار مورب محفظه در دمای سرد و سایر دیوارهها عایق میباشند. یک منبع حرارتی با دمای ثابت در کف محفظه تعبیه شده است. معادلات حاکم به روش حجم کنترل جبری شده و توسط الگوریتم سیمپل به طور همزمان حل میشود. اثر اعداد ریلی، هارتمن، درصد حجمی نانوذرات، طول و موقعیت منبع حرارتی بر میدان جریان و دما و نرخ انتقال حرارت بررسی شده است. نتایج نشان میدهند که افزایش عدد هارتمن باعث کاهش سرعت جریان داخل محفظه شده و انتقال حرارت را کاهش میدهد و افزایش درصد حجمی نانوذرات عموماً باعث افزایش انتقال حرارت میشود ولی تغییرات آن در اعداد ریلی و هارتمن متفاوت، یکسان نیست. علاوه بر آن، موقعیت منبع حرارتی در کف محفظه بر نرخ انتقال حرارت از محفظه تأثیر بسزایی دارد.

# Magnetic field effect on natural convection in a nanofluidfilled triangular enclosure

A. Malekpour<sup>1</sup>, B. Ghasemi<sup>2\*</sup>

MSc. Student, Mech. Eng., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.
 Assoc. Prof., Mech. Eng., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.
 P. O. B. 115 Shahrekord, Iran. behzadgh@yahoo.com

**Abstract-** This paper presents the results of a numerical study on the natural convection in a right triangular enclosure filled with a water- Cu nanofluid in presence of a constant magnetic field. A heat source embedded on the bottom wall of enclosure, the inclined wall is cold and the other walls are adiabatic. Discretization of the governing equations are achieved through a finite volume method and solved with SIMPLE algorithm. The effects of parameters such as the Reyleigh number, the solid volume fraction, the Hartman number, length and location of heat source on flow and temperature fields and the heat transfer rate have been examined. The results show that increasing of Hartman number caused decreasing velocity of flow and heat transfer. Also, increase in solid volume fraction causes increase in heat transfer but its change in different Reyleigh number and Hartman number is not same. Therefore, the location of heat source in bottom of enclosure affects on the rate of heat transfer from enclosure.

Keywords: Natural Convection, Triangular Enclosure, Nanofluid, Magnetic Field.

#### ۱– مقدمه

مسأله كلاسيك انتقال حرارت جابجایی آزاد در یک محفظه بسته بدلیل کاربردهای فراوان آن در مهندسی مانند خنككارى قطعات الكترونيكي ، تهويه ساختمآنها، كلكتورهاي خورشیدی و راکتورهای هستهای همیشه مورد توجه محققان بوده است. اگرچه بررسیهای انجام شده عموماً در محفظههای مربعی بوده است، اما هندسههای دیگر از جمله محفظههای مثلثی نیز مد نظر برخی محققان قرار گرفته است. به عنوان مثال در مورد کارهای عددی انجام شده در زمینه جابجایی آزاد می توان به کار باساک و همکارانش [۱] اشاره کرد که یک محفظه مثلثی را به روش المان محدود مطالعه کردند، این محققان، عدد ریلی و عدد پرانتل را تغییر داده و به این نتیجه رسیدند که در اعداد ریلی کوچک رژیم انتقال حرارت به صورت هدایتی بوده و با افزایش ریلی انتقال حرارت به رژیم جابجایی تبدیل می شود. با افزایش عدد پرانتل نیز مقادیر تابع جریان و خطوط همدما در مرکز مثلث افزایش می یابد. وارول و همکاران [۲] نیز تأثیر حضور مانع در کف محفظه مثلثی به کمک روش اختلاف محدود را تحقیق کردند و تأثیر شرایط مرزی متفاوت بر خطوط جریان و همدما را مشاهده نمودند.

با روی کار آمدن ابررایانه ها و میکروچیپهای الکترونیکی، انتقال حرارت از مدارهای الکترونیکی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفت. مقدار حرارت توليد شده در اين وسايل زياد بوده و فضای زیادی نیز برای خنککاری آنها در دسترس نیست. از طرفى سيالهاى عامل انتقال حرارت ضريب هدايت حرارتي پایینی داشتند همین امر راه را برای ورود به عرصه جدیدی از تكنولوژى تحت عنوان نانوسيال هموار كرده است. نانوسيال توانایی انتقال حجم بالای حرارت در فضای کم را دارا می باشد. در زمینه جابجایی آزاد نانوسیال و کاربردهای آن مي توان به تحقيقات امين الساداتي و قاسمي [٣]، افرامنش و همکاران [۴] وجهانشاهی و همکارانش [۵] اشاره کرد. عمدتاً در این تحقیقات مشاهده شده است که افزایش درصد حجمی نانو ذرات به سیال یایه انتقال حرارت را تقویت می کند. از توب و ابونادا [۶] نیز محفظه مربعی با یک گرمکن روی دیوار را به روش المان محدود بررسی کردند و مشاهده کردند که تأثیر ذرات نانو بر افزایش عدد نوسلت گرمکن در نسبت طول به عرضهای کمتر، بیشتر خواهد بود.

همراه با پیشرفت تکنولوژی در زمینههایی مثل رشد بلور، ریخته گری فلزات، راکتورهای هسته ای و استخراج انرژی زمین گرمایی، تأثیر میدان مغناطیسی بر انتقال حرارت جابجایی آزاد پا به عرصه پژوهشهای جدید گذاشت. تیماه و مغلانی [۷] تأثیر میدان بر محفظه مربعی پرشده از نانوسیال را مطالعه کردند. در این محفظه که تولید و جذب انرژی نیز وجود داشت به این نتیجه رسیدند که زمانی که میدان مغناطیسی ضعيفى اعمال مىشود اضافه كردن درصد ذرات نانو براى افزایش انتقال حرارت لازم است ولی تحت میدان قوی این کار مناسب نیست. شیخ الاسلامی و همکاران [۸] نیز برای یک محفظه استوانه ای شکل به نتیجه مشابه رسیدند. حامد و همکارانش [۹] و گیویل و همکارانش [۱۰] در کارهای تجربی تأثیر میدان بر انتقال حرارت روی صفحه عمودی را سنجیدند ونانو سیالهای متفاوت با قطر ذرات گوناگون را مورد آزمایش قرار دادند، نتایج نشان داد افزایش میدان مغناطیسی باعث کاهش سرعت و شبیه شدن پروفیل سرعت و دمای نانوذرات متفاوت به یک دیگر میشود.

در مطالعه حاضر اثر میدان مغناطیسی در محفظه مثلثی شکل پر شده از نانوسیال آب و مس با دو نیروی حجمی بویانسی و نیروی لورنس بررسی میشود. این مسأله که در تحقیقات قبلی به چشم نمیخورد میتواند شبیهسازی خنککاری یک قطعه الکترونیکی در فضای محدود یک مثلث باشد که تحت میدان مغناطیسی ناخواستهای قرار دارد. در این بررسی برای بهبود انتقال حرارت از نانوسیال استفاده شده است تا بتوان تأثیر میدان مغناطیسی بر کاهش انتقال حرارت را جبران کرده و بیشترین نرخ انتقال حرارت در کمترین حجم پارامترهایی مانند اعداد ریلی، هارتمن و درصد حجمی نانوذرات بر خطوط جریان، دما و نرخ انتقال حرارت بررسی شده است تا بتوان بهترین طراحی ممکن را انجام داد.

# ۲- بیان مسأله

در مسأله حاضر، یک محفظه مثلثی شکل مطابق شکل ۱ در  $T_c$  نظر گرفته میشود. دیواره مورب این محفظه در دمای سرد است، در کف محفظه یک منبع حرارتی با ضخامت ناچیز در دمای گرم  $T_h$  قرار داشته و دیگر دیوارهها عایق میباشند.

$$-\operatorname{Ha}^{2}.\operatorname{Pr}V + \operatorname{Ra}.\operatorname{Pr}\frac{\left(\rho\beta\right)_{nf}}{\rho_{nf}\beta_{nf}}\theta \tag{(7)}$$

انرژى:

$$U\frac{\partial\theta}{\partial X} + V\frac{\partial\theta}{\partial Y} = \frac{\alpha_{nf}}{\alpha_f} \left(\frac{\partial^2\theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2\theta}{\partial Y^2}\right) \tag{(f)}$$

متغیرهای بیبعد استفاده شده در معادلات به شرح زیرند:

$$X = \frac{x}{L}, \quad Y = \frac{y}{L}, \quad D = \frac{d}{L}, \quad W = \frac{w}{L}$$
$$U = \frac{uL}{\alpha_f}, \quad V = \frac{vL}{\alpha_f}, \quad \theta = \frac{(T - T_c)}{(T_h - T_c)}, \quad P = \frac{\overline{p}L^2}{\rho_{nf} {\alpha_f}^2}$$
$$\tag{(a)}$$

در این روابط L طول ضلع محفظه میباشد، اعداد بدون بعد ریلی، پرانتل و هارتمن نیز به صورت زیر تعریف میشوند:  $Ra = \frac{g \beta_f L^3 (T_h - T_c)}{v_f \alpha_f} \quad Ha = B_0 L \sqrt{\frac{\sigma_{nf}}{\rho_{nf} v_f}} \quad \Pr = \frac{v_f}{\alpha_f}$ (۶)

$$\mathbf{F}$$
 - شرایط مرزی  
شرط مرزی هیدرودینامیکی مسأله حاضر شرط عدم لغزش و  
شرط عدم نفوذ بر روی دیوارهها ( $U, V=0$ ) میباشد. شرط  
مرزی حرارتی نیز به این صورت میباشد که برای دیوار  
گرمکن ( $I=\theta$ )، پر روی دیوار مورب با دمای سرد ( $0=\theta$ ) و  
بر روی دیوارههای عایق شرط مرزی به این صورت خواهد بود:  
 $\frac{\partial \theta}{\partial N} = 0$  (Y)  
 $\chi$  (Y)  
 $\Delta R$  مؤلفهٔ عمود برسطح ( $x$  یا  $y$ ) میباشد.  
که  $N$  مؤلفهٔ عمود برسطح ( $x$  یا  $y$ ) میباشد.  
 $\chi$  ( $\chi$ )  
 $\chi$  میزان انتقال حرارت در قالب عدد نوسلت قابل بیان است  
که عدد نوسلت موضعی روی منبع گرم به صورت رابطهٔ ( $\Lambda$ )  
 $x_{2}$ یف میشود.  
( $\Lambda$ )  
 $\chi$  ( $\chi$ )  
 $\chi$  ( $\chi$ )  $= -\frac{k_{nf}}{k_{f}} \left(\frac{\partial \theta}{\partial Y}\right)_{Y=0}$   
 $\chi$  ( $\chi$ )  
 $\chi$  منبع  $\mathcal{Z}$ م به دست میآید:

$$Nu_{m} = \frac{1}{W} \int_{\frac{W}{2}}^{\frac{4}{2}} Nu(X) dX$$
(9)

بررسی اثر میدان مغناطیسی بر انتقال حرارت ...



نسبت طول منبع حرارتی به ضلع محفظه ۰/۴ میباشد. درون محفظه از نانوسیال آب و مس پر شده و محفظه تحت میدان مغناطیسی ثابت *B* در جهت محور *x* قرار دارد. بر روی تمام دیوارهها شرط عدم لغزش وجود دارد.

هدف بررسی انتقال حرارت نانوسیال و سیال خالص در حضور میدان مغناطیسی با شدتهای متفاوت است و به این منظور اثر پارامترهایی مثل عدد ریلی، عدد هارتمن و درصد حجمی نانوذرات بر عدد نوسلت منبع گرم پیشبینی میشود.

#### ۳- معادلات اساسی حاکم

در این مطالعه فرض می شود که جریان به صورت آرام و پایدار بوده، تولید و ذخیره انرژی صفر است و اتلاف حرارت لزجتی وجود ندارد. همچنین نانوسیال به عنوان یک محیط پیوسته با تعادل گرمایی بین سیال پایه و ذرات جامد در نظر گرفته می شود. سیال به صورت سیال نیوتنی تراکم ناپذیر در نظر گرفته می شود. معادلات بدون بعد حاکم به صورت دو بعدی و با اعمال تقریب بوزینسک به صورت زیر خواهند بود:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \tag{1}$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_{nf}} \left( \frac{\partial^2 U}{\partial^2 X} + \frac{\partial^2 U}{\partial^2 Y} \right)$$
(Y)

:Y مومنتوم  
 
$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_{nf}} \left( \frac{\partial^2 V}{\partial^2 X} + \frac{\partial^2 V}{\partial^2 Y} \right)$$

مهندسی مکانیک مدرس خرداد ۱۳۹۲، دورهٔ ۱۳ شمارهٔ ۳

۱۲ www.SID.ir

ىيەستگى:

### ۵- خواص نانوسیال

همان طور که مشاهده شد برای حل معادلات حاکم، احتیاج به خواص ترموفیزیکی نانوسیال میباشد. خواصی مانند چگالی، ضریب انبساط حجمی، ظرفیت حرارتی ، ضریب پخش حرارتی و ضریب هدایت الکتریکی نانوسیال که به کمک روابط و با دسترسی به خواص سیال خالص و ذرات جامد به صورت زیر محاسبه می شوند [۳]:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_s \tag{(1)}$$

$$(\rho\beta)_{nf} = (1-\phi)(\rho\beta)_f + \phi(\rho\beta)_s \tag{11}$$

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_s \tag{11}$$

$$\alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}} \tag{17}$$

$$\sigma_{nf} = (1 - \phi)\sigma_f + \phi\sigma_s \tag{14}$$

برای مدل کردن ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال هم از رابطه بریکمن [۱۱] و برای ضریب هدایت حرارتی آن از مدل ماکسول [۱۲] استفاده شده است.

$$\mu_{nf} = \mu_f \left(1 - \phi\right)^{-2.5} \tag{10}$$

$$k_{nf} = k_f \left[ \frac{\left(k_s + 2k_f\right) - 2\phi\left(k_f - k_s\right)}{\left(k_p + 2k_f\right) + \phi\left(k_f - k_s\right)} \right]$$
(19)

خواص ترموفیزیکی آب و مس در جدول ۱ آورده شده است.

# ۶- روش عددی

معادلات بی بعد و شرایط مرزی گفته شده با روش اختلاف محدود مبتنی بر حجم کنترل جبری شدهاند. میدان حل با شبکه جابجا شده شبکهبندی شده تا تأثیر گرادیان فشار به خوبی روشن شود. ترمهای جابجایی و پخش با روش توان پیرو گسسته سازی شده و برای حل همزمان معادلات از الگوریتم سیمپل [۱۳] استفاده شده است. به منظور ایجاد دامنه حل مثلثی شکل مانند شکل ۲، یک محفظه مربعی را در نظر گرفته، دیوار مورب مثلث را به صورت زیگزاگ فرض کرده، سلولهایی که خارج از دامنه مثلث میباشند غیر فعال شدهاند. همچنین معیار همگرایی زیر در نظر گرفته شده است:

$$\sum_{j} \sum_{i} \sqrt{\left(\frac{\gamma^{n+1} - \gamma^{n}}{\gamma^{n+1}}\right)^{2}} \le 10^{-7}$$
 (1Y)

که n تعداد تکرار و  $\gamma$  متغیر عمومی (U,V,~ heta را نشان

مهندسی مکانیک مدرس خرداد ۱۳۹۲. دورهٔ ۱۳ شمارهٔ ۳ www.SID.ir

میدهد. در مرحله بعد یک محفظه مربعی با یک منبع گرم بر روی دیوار، با سیال عامل نانوسیال آب و مس [۱۵]مدل شد. نتایج این مقایسه در شکل ۳ آورده شده است.

علی ملک پور و همکار

|--|

آب خالص	نانو ذرات مس	خواص
99V/1	۸۹۳۳	$\rho$ (kgm <sup>-3</sup> )
4179	۳۸۵	$C_p(\mathrm{Jkg}^{-1}\mathrm{K}^{-1})$
•/۶١٣	4.1	$k (\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1})$
۲۱	١/۶٧	$\beta \times 10^{+5}  (\text{K}^{-1})$



# ۷- کنترل برنامه

برای مدل کردن هندسه مورد نظر برنامهای به زبان فرترن نوشته شد. به منظور بررسی روش حل و اطمینان از صحت کد نوشته شده، نتایج عددی حاصل از آن با کارهای مشابه انجام شده توسط دیگران مقایسه گردید. ابتدا یک محفظه مربعی شکل مانند مرجع [1۴] در نظر گرفته شده که دیوارهای افقی علیق و دیوارهای عمودی یکی در دمای گرم و دیگری در دمای سرد قرار داشته و سیال عامل هوا است. به ازای اعداد ریلی مختلف عدد نوسلت دیوار گرم اندازه گرفته شد که در جدول ۲ مشاهده می شود.

**جدول۲** اعتبارسنجی برنامه حاضر با محفظه مربعی شکل [۱۴]

درصد اختلاف	Nu <sub>m</sub> ديويس	Nu <sub>m</sub> تحقيق حاضر	عدد ریلی
۰/۵۴	1/118	۱/۱۱۰	۱۰۳
١/٢	۲/۲۳۴	۲/۲ • ۷	۴ ۱۰
۰/۵۳	۴/۵۰۳	4/221	۱۰۵
•/• ١	٨/٧٩٨	٨/٧٩٩	۱۰۶

همچنین در شکل ۴ نوسلت متوسط، در یک محفظه مربعی شکل با دو دیوار عایق و دو دیوار در دمای سرد و گرم [۱۶] را رسم کرده که سیال عامل هوا بوده و محفظه تحت میدان مغناطیسی قرار دارد.

همان گونه که از نتایج مشاهده می شود اطلاعات به دست آمده از برنامه حاضر تطابق مناسبی با کارهای انجام شده دارد. در مرحله بعد استقلال شبکه بررسی شده و شبکه بندی مناسب انتخاب گردید. بدین منظور تأثیر تعداد نقاط شبکه بر عدد نوسلت منبع گرم در اعداد ریلی، اعداد هارتمن و درصد حجمی متفاوت نانو ذرات بررسی شد که یک نمونه آن در شکل ۵ آورده شده است.

همین طور که در شکل ۵ مشاهده می شود از شبکه ۱۰۰×۱۰۰ به بعد با افزایش تعداد شبکه عدد نوسلت متوسط تقریباً ثابت می ماند. بنابراین به منظور صرفهجویی در زمان و هزینه، شبکه یکنواخت ۱۰۰×۱۰۰ به عنوان شبکه حل انتخاب شد.







مغناطیسی با زوایای چرخش متفاوت [۱۶]

6.2 6.0 5.8 Ra=10<sup>5</sup> 100 x 100 5.6 5.4 Num 5.2 5.0 Ra=10<sup>4</sup> 4.8 4.6 4.4 0 20 60 80 100 120 140 160 تعداد نقاط شبکه در هر محور مختصات

شکل ۵ تأثیر نقاط شبکه بر عدد نوسلت متوسط منبع گرم در Ra =  $10^5, \phi = 0.05, Ha = 40, Pr = 6.2$ 

#### ۸- نتايج

پس از اطمینان از عملکرد برنامه کامپیوتری، اثر پارامترهای مختلف مسأله حاضر بررسی میشود. به این منظور محفظه شکل ۱ را در نظر گرفته و ابتدا اثر میدان مغناطیسی در قالب عدد هارتمن در اعداد ریلی مختلف بررسی میشود. در این بررسیها طول منبع حرارتی ثابت و برابر W=w/L و موقعیت آن در مرکز ضلع پایین یعنی D=d/L میباشد. خطوط جریان و همدما برای سیال خالص آب و نانوسیال (۵–۰۰  $\phi)$  به ازای اعداد ریلی و هارتمن مختلف رسم شده است.

از خطوط جریان در شکل ۶ مشاهده می شود که در حضور میدان مناطیسی و در عدد ریلی <sup>۱</sup>۰۴ گردابه های کوچکی در گوشه سمت چپ محفظه ایجاد شده ولی با افزایش عدد ریلی و در نتیجه آن افزایش نیروی گرانش، این گردابه ها حذف شده و جریان به صورت یک گردابه کلی و اصلی در می آید. با افزایش عدد هارتمن مشاهده می شود اندازه بیشینه تابع جریان کاهش می بابد که نشان دهنده این امر است که سرعت جریان کاهش می بابد که نشان دهنده این امر است که سرعت افزایش عدد هارتمن مشاهده می شود اندازه می شود بریان کاهش می بابد که نشان دهنده این امر است که سرعت افزایش میدان کاهش یافته است. از طرفی با افزایش نیروی ناحیه کف محفظه فشردگی خطوط جریان پدیدار می شود. افزایش میدان مغناطیسی، خطوط جریان را وادار می کند از حالت پیچیده به سمت خطوط موازی با دیوارههای محفظه متمایل شوند.

همان طور که شکل ۲ نشان میدهد با افزایش عدد ریلی خطوط همدما حالت پیچیده تری پیدا می کند و نشان از افزایش جابجایی دارد.



شکل ۶ تأثیر تغییرات عدد هارتمن و عدد ریلی بر خطوط جریان برای سیال خالص ( ) و نانو سیال ۱۰۵ $\phi$  (----)

با افزایش عدد هارتمن خطوط همدما به حالت موازی با دیوارههای محفظه در میآید و بیان کننده آن است که افزایش عدد هارتمن باعث میشود سهم انتقال حرارت جابجایی کاهش یافته و انتقال حرارت هدایتی غالب شود. ضمن آنکه با افزایش عدد هارتمن تراکم خطوط همدما و یا به عبارتی گرادیان دما روی منبع گرم کاهش مییابد. در عدد ریلی <sup>۱</sup>۰۴ میدان مغناطیسی تأثیر زیادی بر خطوط همدما ندارد ولی با افزایش عدد ریلی به مراتب تأثیر میدان مغناطیسی بیشتر میشود. در عدد ریلی <sup>۱</sup>۰۴ خطوط همدما برای سیال خالص و نانو سیال یکسان بوده ولی با افزایش ریلی تفاوت این دو آشکار میشود.

برای بهتر مشخص شدن رفتار جریان در حضور میدان مغناطیسی، سرعت عمودی جریان در مقطع 1.4 + Y در اعداد ریلی 1.4 + 0 + 100 یانوسیال ۵ درصد در شکل ۸ و ۹ رسم شده است. مشاهده می شود افزایش میدان مغناطیسی باعث کاهش بیشینه سرعت عمودی می شود و حتی در عدد ریلی کاهش بیشینه سرعت در عدد هارتمن ۸۰ به صورت کاملاً افقی 1.4 + 100 یروفیل سرعت در عدد هارتمن ۸۰ به صورت کاملاً افقی تبدیل می شود ولی در عدد ریلی 1.4 + 100 تری نشان می دهد.

۱۰<sup>۶</sup> به ازای اعداد هارتمن مختلف در شکلهای ۱۰ و ۱۱ رسم شده است.

> هپندسی مکائیک مدرس خرداد ۱۳۹۲. دورهٔ ۱۳ شمارهٔ ۳ www.SID.ir



مهندسی مکانیک مدرس خرداد ۱۳۹۲، دورهٔ ۱۳ شمارهٔ ۳

۱۶ www.SID.ir



افزایش درصد حجمی نانوذرات در اعداد ریلی پایین (<sup>۱</sup>۰۲ و  $(1 \cdot 1)$  تأثیر بیشتری بر عدد نوسلت دارد. از طرفی در عـدد ریلی <sup>۱</sup>۰۲ و هارتمن ۴۰ دیده میشود کـه افـزایش  $\phi$ ، باعث کاهش نوسلت شده و همین طور در ریلی <sup>۱</sup>۰۲ و هـارتمن ۸۰ نیز افزایش  $\phi$  تأثیری بر افزایش نوسلت نـدارد. در شـکل ۱۲ تأثیر میدان مغناطیسی بر عـدد نوسلت متوسط در درصد حجمیهای مختلف نانو ذرات نمایش داده شـده است. در این شکل نسبت نوسلت متوسط بـه نوسلت متوسط بـدون ( $Nu_m * = Nu_m/Nu_m$ , Ha = 0)



در شکل ۱۰ دیده می شود که در ریلی <sup>۳</sup>۰۰ نمودار نوسلت موضعی در اعداد هارتمن متفاوت بر روی هم منطبق شده و نشان از بی تأثیر بودن میدان مغناطیسی در اعداد ریلی کم دارد. برعکس در ریلی <sup>۲</sup>۰۴ تأثیر میدان مغناطیسی در شکل ۱۱ کاملاً مشهود بوده که با افزایش عدد هارتمن، نوسلت موضعی کاهش مییابد.

در جدول ۳ مقادیر نوسلت متوسط منبع حرارتی در اعداد ریلی، هارتمن و درصد نانوذرات متفاوت آورده شده است. مشاهده میشود که عموماً با افزایش درصد حجمی نانوذرات، نوسلت متوسط افزایش مییابد ولی میزان افزایش شدیداً به مقادیر عدد ریلی و عدد هارتمن وابسته است.

		0,, 0, ,	,		
 $\phi = \cdot / \cdot \delta$	$\phi = \cdot / \cdot r$	$\phi = \cdot / \cdot \cdot$	$\phi = \cdot$		
 ۵/۲۶۶	4/971	۴/۶۸۸	۴/۵۵۱	Ha≡∙	
۵/۲۶۶	4/971	۴/۶۸۸	4/201	Ha≡۴∙	Ra=1. <sup>r</sup>
۵/۲۶۶	4/911	۴/۶۸۸	4/201	На≡∧∙	
 ۵/۳۳۵	۵/۰۵۸	۴/۸۰۱	۴/۶۸۰	Ha≡∙	
۵/۲۶۸	4/974	4/892	۴/۵۵۵	Ha=۴.	Ra=1. <sup>*</sup>
۵/۲۶۶	4/911	۴/۶۸۹	4/201	На≡∧∙	
٩/١١٢	۸/۷۵۴	۸/۴۰۵	۸/۲۳۳	Ha≡∙	
۶/۰۲۳	۶/• ۲۶	۶/•۵٩	۶/۰۷۹	Ha≡۴∙	Ra=1. <sup>△</sup>
۵/۳۱۴	۵/۰۳۶	۴/۷۸۱	41880	На≡∧∙	
18/441	۱۵/۶۸۹	۱۴/۹۵۸	14/187	Ha≡∙	
14/	18/818	17/77 •	۱۳/۰۱۸	Ha=۴.	Ra=1. <sup>6</sup>
11/141	11/144	11/117	۱ ۱/۰ ۸۶	На≡∧∙	

**جدول ۳** نوسلت متوسط منبع حرارتی

نتایج نشان میدهد افزایش عدد هارتمن عدد نوسلت متوسط را کاهش میدهد دلیل این امر این است که میدان مغناطیسی باعث کند شدن سرعت جریان و در نتیجه کاهش انتقال حرارت جابجایی و در نهایت کاهش عدد نوسلت متوسط میشود.

در درصد نانوذرات متفاوت در عدد ریلی  $10^{7}$  ، میدان مغناطیسی بدون تأثیر است، در ریلی  $10^{7}$  تأثیر اندکی قابل مشاهده است که در نانوسیالهای با  $\phi$  بیشتر این تأثیر رو به کاهش میگذارد. با افزایش عدد هارتمن بیش از  $10^{7}$  ، نمودار نوسلت افقی بوده و تقویت میدان مغناطیسی بیش از این، تأثیری بر انتقال حرارت نخواهد گذاشت دلیل این امر آن است که در هارتمن  $10^{7}$  انتقال حرارت هدایتی غالب شده و افزایش عدد هارتمن تأثیری بر کاهش سرعت جریان سیال نخواهد

داشت. در ریلی <sup>۵</sup> ۱۰ و <sup>۱</sup> ۱۰ اثر افزایش عدد هارتمن به خوبی قابل مشاهده است که از بین آن دو، عدد ریلی <sup>۱</sup> ۱۰ با حدود ۴۵ درصد کاهش در عدد نوسلت تأثیر گذارتر از ریلی <sup>۱</sup> ۱۰ با حدود ۳۰ درصد کاهش میباشد. از طرفی در ریلی <sup>۱</sup> ۱۰ با افزایش عدد هارتمن از ۶۰ به بعد شیب نمودار به سمت صفر میرود که بیان کننده این ادعا است که تأثیر میدان بسیار کم میشود که با افزایش  $\phi$ ، این مطلب بیشتر پدیدار میشود. در میشود که با افزایش  $\phi$ ، این مطلب بیشتر پدیدار میشود. در هارتمن، نوسلت کاهش مییابد، نمودار به صورت خطی است و بود و انتقال حرارت جابجایی غالب است. از طرفی با افزایش بوده و انتقال حرارت جابجایی غالب است. از طرفی با افزایش ریشاین میشود.



شکل ۱۲ تأثیر عدد هارتمن بر نوسلت متوسط برای درصد نانوذرات متفاوت

پس از بررسی اثر عدد هارتمن، ریلی و درصد حجمی نانوذرات در ادامه به بررسی طول و موقعیت منبع حرارتی بر رفتار گرمایی سیال پرداخته میشود. در این بررسی عدد هارتمن را ۴۰، نانوسیال را ۵ درصد حجمی و ریلی در دوحالت ۱۰<sup>۳</sup> و ۱۰<sup>۵</sup> در نظر گرفته میشود.

در شکل ۱۳ دیده می شود که با افزایش طول منبع گرم، نوسلت متوسط کاهش می یابد که دور از انتظار هم نبود زیرا با افزایش طول منبع گرم، سطح انتقال حرارت افزایش می یابد و مقدار متوسط نوسلت روی آن کاهش خواهد یافت. در طول منبع ۰/۹ نمودار به صورت صعودی در آمده که دلیل آن نزدیکی بیش از اندازه منبع گرم به دیوار سرد می باشد که مقدار نوسلت را افزایش داده است.

در مرحله بعد مکان منبع حرارتی در سرتاسر کف محفظه تغییر داده میشود. خطوط جریان و خطوط همدما در شکل ۱۴ رسم شده است. مشاهده میشود زمانی که منبع حرارتی سمت چپ محفظه قرار دارد یک گردابه کل محفظه را پوشش میدهد ولی با انتقال منبع به گوشه سمت راست، علاوه بر گردابهای با اندازه متوسط در سمت چپ، گردابه کوچکی به

صورت ساعت گرد در گوشه سمت راست ایجاد می شود.



خطوط همدما نیز در این حالت تراکم زیادی را در گوشه سمت راست نشان میدهد که حاکی از اختلاف شدید دما ، به دلیل نزدیکی منبع با دیوار سرد و در نتیجه آن انتقال حرارت بیشتر است.



 $Ra = 10^5, \phi = 0.05, W = 0.4, Ha = 40$ ، (سمت راست)، و خطوط هم دما (سمت راست)،  $Pa = 10^5, \phi = 0.05, W = 0.4, Ha = 40$ 

در شکل ۱۵ نوسلت موضعی منبع حرارتی در موقعیتهای مختلف قابل مشاهده است. در لبه منبع حرارتی نمودارها شیب تندی دارند که دلیل آن تغییر ناگهانی نوسلت از صفر بر روی دیوار عایق تا مقداری بر روی لبه منبع میباشد. ضمن آنکه مقدار بیشینه نمودار به دلیل نزدیکی لبه سمت راست با دیوار سرد در سمت راست آنها قرار دارد.

در شکل ۱۶ به طور واضح دیده میشود که با نزدیک شدن منبع حرارتی به دیواره سرد در سمت راست محفظه، نوسلت متوسط افزایش پیدا میکند.



Ra =  $10^5$ ,  $\phi = 0.05$ , W = 0.4, Ha = 40



۹- نتیجهگیری

در این تحقیق انتقال حرارت آزاد داخل محفظه مثلثی پر شده از نانوسیال، تحت میدان مغناطیسی بررسی شد. معادلات

حاکم توسط الگوریتم سیمپل حل شده، اعداد هارتمن، ریلی، درصد حجمی نانوذرات، طول و مکان منبع حرارتی تغییر داده شد و نتایج زیر حاصل شدند:

افزایش عدد هارتمن باعث کاهش سرعت جریان داخل محفظه شده و همین امر انتقال حرارت جابجایی را کاهش میدهد.

در اعداد ریلی پایین (<sup>۳</sup> و ۱۰<sup>۴</sup>) به دلیل آنکه انتقال حرارت هدایتی غالب است میدان مغناطیسی تأثیر بسیار ناچیزی دارد.

تأثیر افزایش عدد هارتمن بر کاهش نوسلت در اعداد ریلی متوسط (۱۰<sup>۵</sup>) بیشتر از اعداد ریلی بزرگ (۱۰<sup>۶</sup>) میباشد.

با توجه به عدد ریلی، عدد هارتمن متناظری وجود دارد که در آن انتقال حرارت هدایتی غالب میشود و دیگر افزایش شدت میدان مغناطیسی تأثیری بر نوسلت متوسط ندارد. این عدد برای عدد ریلی <sup>۳</sup>۱۰، برابر هارتمن صفر، برای ریلی <sup>۴</sup>۱۰ حدوداً برابر ۲۰، برای ریلی <sup>۵</sup>۱۰ حدوداً برابر ۶۰ و در مورد ریلی <sup>۴</sup>۰۱ عدد بزرگتری خواهد بود. ضمن آنکه افزایش درصد حجمی نانوذرات باعث میشود این پدیده در عدد هارتمن کمتری اتفاق بیافتد.

افزایش درصد حجمی نانوذرات عموماً باعث افزایش نوسلت متوسط و در نتیجه افزایش انتقال حرارت میشود ولی در اعداد ریلی و میدان مغناطیسی با شدتهای متفاوت رفتار یکسانی مشاهده نمیشود. با افزایش طول منبع حرارتی، به دلیل افزایش سطح انتقال حرارت نوسلت متوسط کاهش مییابد.

با تغییر مکان منبع حرارتی و نزدیک شدن آن به دیوار سرد نوسلت متوسط افزایش مییابد.

#### ۱۰- فهرست علايم

- (m) فاصله مرکز منبع حرارتی تا مبدا مختصات Dشتاب گرانش (ms<sup>-2</sup>) شتاب گرانش (WK<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>) فریب هدایت گرمایی (WK<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>) طول و ارتفاع محفظه (m) فشار (Pa)
  - ۲ قسار (۲۵) ۲ دما (K)

V

- (K) دما
- سرعت در جهت x (ms<sup>-1</sup>) x سرعت u
- $(U=uL/\alpha_f) x$  سرعت بدون بعد در جهت U
  - $(ms^{-1}) y$  سرعت در جهت v
- سرعت بدون بعد در جهت y (*V=vL/a<sub>f</sub>*) y سرعت بدون بعد در

#### علی ملکپور و همکار

*European Journal of Mechanics B/Fluids*, No. 33, 2012, pp. 95-104.

- [5] Jahanshahi M., Hosseinizade S. F., Alipanah A., Dehghani A., Vakilinejad G. R., "Numerical Simulation of Free Convection Based on Experimental Measured Conductivity in a Square Cavity Using Water/Sio2 Nanofluid", *International Communication in Heat and Mass Transfer*, Vol. 37, 2010, pp. 687-694.
- [6] Oztop H. F., Abu-Nada E., "Numerical Study of Natural Convection in Partially Heated Rectangular Enclosures Filled with Nanofluids", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, No. 29, 2008, pp. 1326-1336.
- [7] Teamah M. A., El-Maghlany W. M., "Augmentation of Natural Convective Heat Transfer in Square Cavity by Utilizing Nanofluids in the Presence of Magnetic Field and Uniform Heat Generation/Absorption", *International Journal of Thermal Sciences*, No. 58, 2012, pp. 130-142.
- [8] Sheikholeslami M., Gorji-Bandpay M., Ganji D., "Magnetic Field Effects on Natural Convection Around a Horizontal Circular Cylinder 2 Iinside a Square Enclosure Filled with Nanofluid", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, No. 31, 2012, pp. 211-220.
- [9] Hamad M. A. A., Pop I., Ismail A. I. M., "Magnetic Field Effects on Free Convection Flow of a Nanofluid Past a Vertical Semi-Infinite Flat Plate", *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, No. 12, 2011, pp. 1338-1346.
- [10] Gavili A., Zabihi F., Isfahani T. D., Sabbaghzadeh J., "The Thermal Conductivity of Water Base Ferrofluids Under Magnetic Field", *Experimental Thermal and Fluid Science*, No. 41, 2012, pp. 94-98.
- [11] Brinkman H. C., "The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solution", *Chem. Phys.*, No. 20, 1952, pp. 571-581.
- [12] Maxwell J., *A Treatise on Electricity and Magnetism*, second ed. Oxford University Press, Cambridge, UK, 1904.
- [13] Patankar S. V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere, Washington D. C., 1980.
- [14] Davis G. D. V., "Natural Convection of Air in a Square Cavity, a Benchmark Numerical Solution", *Int. J. Numer. Meth. Fluid*, No. 3 1983, pp. 249-264.
- [15] Oztop H. F., Abu-Nada E., "Numerical Study of Natural Convection in Partially Heated Rectangular Enclosures Filled with Nanofluids", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, No. 29, 2008, pp. 1326-1336.
- [16] Pirmohammadi M., Ghassemi M., "Effect of Magnetic Field on Convection Heat Transfer Inside a Tilted Square Enclosure", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, No. 36, 2009, pp. 776-780.

#### بررسی اثر میدان مغناطیسی بر انتقال حرارت...

(m) عرض منبع حرارتی 
$$W$$

(X=x/L) مختصه افقی بدون بعد X

(m) مختصه عمودی y

$$(Y=y/L)$$
 مختصه عمودی بدون بعد  $(Y=y/L)$ 

Nu =*hL/k*) عدد نوسلت Nu

(Nu<sub>m</sub>\* =Nu<sub>m</sub>/(Nu<sub>m</sub>, <sub>Ha =0</sub>)) نوسلت متوسط نسبی Nu<sub>m</sub>\* عدد برانتا (Pr=v/ac) عدد برانتا Pr

$$(Ra = g\beta d_{a}^{3}(T_{b} - T_{c})/v_{a}t)$$
 as Ra

$$H_{2} = R_{1} I \left( \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} \right)^{0.5} \right)^{0.5}$$

$$\Pi a - D_0 L(O_{nf'} p_{nfV_f})$$
 ε  $\Pi a$ 

 $\alpha$   $(m^2 s^{-1})$   $\omega_c (r^2 s^{-1})$ 
 $(K^{-1})$   $\omega_c (r^2 s^{-1})$   $\beta$ 
 $\theta$   $\omega_c (r^2 s^{-1})$   $\theta$ 
 $e^{-1}$   $e^{-1}$   $\omega_c (r^2 s^{-1})$ 
 $\omega_c (r^2 s^{-1})$   $\omega_c (r^2 s^{-1})$ </td

زيرنويسها:

#### 11-مراجع

- [1] Basak H., Roy S., Thirumalesha Ch., "Finite Element Analysis of Natural Convection in a Triangular Enclosure: Effects of Various Thermal Boundary Conditions", *Chemical Engineering Science*, No. 62, 2007, pp. 2623-2640.
- [2] Varol Y., Oztop H. F., Yilmaz T., "Natural Convection in Triangular Enclosures With Protruding Isothermal Heater", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, No. 50, 2007, pp. 2451-2462.
- [3] Aminossadati S. M., Ghasemi B., "Natural Convection Cooling of a Localised Heat Source at the Bottom of a Nanofluid-Filled Enclosure", *European Journal of Mechanics B/Fluids*, No. 28, 2009, pp. 630-640.
- [4] Arefmanesh A., Amini M., Mahmoodi M., Najafi M., "Buoyancy-Driven Heat Transfer Analysis in Two-Square Duct Annuli Filled with a Nanofluid",