



مطالعه عددی تأثیر و بهینه سازی زاویه چرخش محفظه مربعی و میدان مغناطیسی بر انتقال حرارت جابجایی طبیعی و تولید آنتروپی

کامل میلانی شیروان¹، مجتبی ماموریان^{2*}

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

*مشهد، صندوق پستی 91775-1111، mamourian@um.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 03 خرداد 1394

پذیرش: 13 خرداد 1394

ارائه در سایت: 30 خرداد 1394

کلید واژگان:

نانو سیال، میدان مغناطیسی

جابجایی طبیعی

تولید آنتروپی

بهینه سازی زاویه چرخش

چکیده

در این مقاله انتقال حرارت و تولید آنتروپی جابجایی ترکیبی نانوسیال آب-آلومینا در یک محفظه مربعی در حضور میدان مغناطیسی مورد بررسی عددی قرار گرفته است. دیواره‌های بالایی و پایینی محفظه عایق می‌باشند. معادلات حاکم به روش حجم کنترل جبری شده و توسط الگوریتم سیمپل بطور همزمان حل شده‌اند. در این مقاله اثر پارامترهایی چون عدد رایلی ($10^3 - 10^6$)، عدد هارتمن (0 - 100) و زاویه چرخش محفظه مربعی و میدان مغناطیسی ($0^\circ - 90^\circ$) بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند در حالت محفظه چرخانده شده، عدد ناسلت و تولید آنتروپی کل با افزایش عدد رایلی افزایش می‌یابد. در یک عدد هارتمن ثابت با افزایش زاویه چرخش تا زاویه 30° ، عدد ناسلت و تولید آنتروپی کل افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. در حالت میدان مغناطیسی چرخانده شده، عدد ناسلت متوسط با افزایش عدد هارتمن کاهش می‌یابد. مقدار عدد ناسلت متوسط در حالتی که محفظه مربعی تحت زوایای معین چرخانده شده است نسبت به حالتی که میدان مغناطیسی اعمالی بر محفظه ثابت در زوایای مختلف چرخانده شده است دارای مقادیر کوچک‌تری است. در ادامه برای بررسی حالت بهینه انتقال حرارت، از یک شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. نتیجه حاصل از بهینه سازی نشان می‌دهد با افزایش عدد رایلی، زاویه بهینه کاهش می‌یابد. این کاهش در زاویه بهینه با افزایش عدد رایلی شدت بیشتری می‌گیرد. از طرف دیگر در اعداد رایلی پایین با افزایش عدد هارتمن، زاویه بهینه ابتدا کاهش یافته و سپس افزایش می‌یابد. همچنین در اعداد رایلی بالا هر چه عدد هارتمن افزایش یابد زاویه بهینه نیز افزایش می‌یابد.

Numerical investigation of effect and optimization of Square Cavity inclination angle and magnetic field on heat transfer and Entropy Generation

Kamel Milani Shirvan, Mojtaba Mamourian*

Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*P.O.B. 91775-1111, Mashhad, Iran, mamourian@um.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper

Received 24 May 2015

Accepted 03 June 2015

Available Online 20 June 2015

Keywords:

Nanofluid, magnetic field

natural convection

entropy generation

optimization of inclination angel

ABSTRACT

In this paper the mixed convection and entropy generation in a square cavity filled with Al₂O₃-water nanofluid with the presence of a constant axial magnetic field, is analyzed. The upper and bottom walls are adiabatic. Discretization of the governing equations were achieved through a finite volume method and solved with SIMPLE algorithm. In this research the effects of the Rayleigh number ($10^3 - 10^6$), Hartmann number (0 - 100) and also inclination angle (0 - 90°) are investigated. When the cavity is rotated, it is observed that the mean Nusselt number and total entropy generation increase when the Rayleigh number increases in cavity. In square cavity, regardless of the Ha number, by increasing of the inclination angel, the mean Nusselt number and entropy generation rate, increase until inclination angel 30° , then decreases. Also when the magnetic field is rotated, it is observed that the mean Nusselt number decrease when the Hartmann number increases. The mean Nusselt number when the cavity rotates with specific inclination angel is less than state that the cavity rotates with specific magnetic field. For finding optimum condition of heat transfer, Artificial Neural networks (ANN) were used. The results from optimization show that as the Rayleigh number increases, the optimum angel decreases. Whatever the Rayleigh number more increases, the decrement in optimum angel more intensifies. Also in low the Rayleigh number, as the Hartmann number increases, the optimum angel decreases firstly then increases. In high Rayleigh number, as the Hartmann number increases, the optimum angel increases too.

Please cite this article using:

K. Milani Shirvan, M. Mamourian, Numerical investigation of effect and optimization of Square Cavity inclination angle and magnetic field on heat transfer and Entropy Generation, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 8, pp. 93-104, 2015 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

1- مقدمه

جابجایی آزاد و هیدرودینامیک مغناطیسی (MHD) که به اثر متقابل بین میدان مغناطیسی و سیال هادی در حال حرکت می‌پردازد، با توجه به کاربردهای گسترده‌ای که در صنایع مختلف دارد، بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است [1].

از جمله این کاربردها می‌توان به خنک کاری قطعات الکترونیکی، کلکتورهای خورشیدی، رآکتورهای هسته‌ای، پوشش دهی، صنایع غذایی و ... اشاره نمود [2-4].

معمولاً سیالاتی که در محفظه‌ها استفاده می‌شوند، دارای ضریب هدایت حرارتی پایینی می‌باشند. لذا اکثر محققین به دنبال راهکارهایی در جهت بهبود انتقال حرارت به وسیله این سیالات هستند. از جمله این تلاش‌ها می‌توان به افزودن نانوذرات فلزی به سیال پایه یا استفاده از میدان مغناطیسی اشاره نمود. به سیالی که از طریق افزودن نانوذراتی مانند مس، اکسید آلومینیوم و اکسید تیتانیوم به سیال پایه بدست می‌آید، اصطلاحاً نانوسیال گفته می‌شود [5].

از جمله تحقیقاتی که در زمینه جابجایی آزاد و هیدرودینامیک مغناطیسی در محفظه‌ها صورت گرفته است می‌توان به کار خانافر و همکاران [4] اشاره نمود. آن‌ها در بررسی یک محفظه دو بعدی پر شده با نانو سیال آب-مس به این نتیجه رسیده‌اند که در یک عدد گراشلف ثابت زمانی که کسر حجمی نانوذرات مس افزایش می‌یابد، نرخ انتقال حرارت افزایش می‌یابد.

وارول و اوزتوپ [6] بر روی نرخ انتقال حرارت جابجایی داخل یک کلکتور خورشیدی بحث کرده‌اند. آن‌ها جهت انجام این کار به بررسی عددی دو مدل کلکتور خورشیدی با دیواره جاذب موج دار و دیواره جاذب بدون موج پرداخته‌اند. آن‌ها جهت انجام محاسبات، جریان را آرام و دیواره‌ها را در دمای ثابت و محدوده عدد رایلی را از 103 تا 5×10^7 ، محدوده تغییرات طول موج از $1/33$ تا 4 و نسبت منظری را از 1 تا 4 فرض کرده‌اند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد نرخ انتقال حرارت در دیواره موجی بیشتر از دیواره جاذب صاف است.

رستمی [7] نرخ انتقال حرارت غیر پایا و ویژگی‌های جریان سیال داخل یک محفظه را بررسی نموده است. محفظه مورد بررسی دارای دو دیواره عمودی موجی با تابع کسینوسی و دو دیواره صاف افقی است. دیواره بالایی و پایینی آدیاباتیک و دیواره‌های موجی عمودی در دمای ثابت هستند. محدوده تغییرات عدد گراشلف از 103 تا 106 و نسبت موج (دامنه به طول موج) از 0 تا $0/35$ و نسبت منظری (عرض به طول موج) از $0/5$ تا 1 است.

اوزتوپ و همکاران [8] به بررسی نرخ انتقال حرارت جابجایی آزاد محفظه‌ای با منبع گرمایی حجمی و دیواره موجی پرداخته‌اند. در این محفظه دیواره‌های عمودی موج دار و در دمای متفاوت و دیواره‌های صاف افقی بالایی و پایینی آدیاباتیک فرض شده‌اند. هدف از این مقاله بررسی تأثیر اعداد رایلی داخلی و خارجی و اندازه طول موج دیواره بر نرخ انتقال حرارت بوده است.

تیمه و مغلانی [9] تأثیر میدان بر محفظه مربعی پر شده از نانو سیال را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در کار خود بر روی این محفظه که دارای تولید انرژی نیز است به این نتیجه رسیدند که در اعداد هارتمن پایین افزایش نانوذرات موجب بهبود انتقال حرارت می‌شود.

قاسمی و همکاران [10] به بررسی جریان جابجایی طبیعی در حضور میدان مغناطیسی در یک محفظه مربعی با دیواره‌های عمودی گرم و سرد و افقی عایق پرداخته‌اند. آن‌ها در بررسی خود به این نتیجه رسیده‌اند که با

افزایش عدد رایلی، نرخ انتقال حرارت بهبود می‌یابد. همچنین با افزایش عدد هارتمن، از میزان انتقال حرارت کاسته می‌شود.

ملک پور و قاسمی [11] به بررسی اثر میدان مغناطیسی بر انتقال حرارت جابجایی آزاد نانوسیال در یک محفظه مثلثی پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش عدد هارتمن میزان انتقال حرارت کاهش می‌یابد. الشهبای و همکاران [12] به بررسی عددی انتقال حرارت جابجایی طبیعی در یک محفظه ال شکل پر شده با نانو سیال آب-مس در حضور میدان مغناطیسی که چرخانده شده است، پرداخته‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که حضور میدان مغناطیسی باعث کاهش در میدان جریان و انتقال حرارت شده است.

برای نشان دادن میزان بازگشت ناپذیری‌ها در عملکرد یک فرآیند از مفهوم تولید آنتروپی استفاده می‌شود. تولید آنتروپی از عوامل کاهش‌دهنده میزان بازده ترمودینامیکی وسایل مهندسی است. تحلیل آنتروپی ابزاری قدرتمند در زمینه یافتن مکان‌هایی است که در آن‌ها اتلافات روی می‌دهد. بنابراین با توجه به ضرورت کاهش در اتلافات می‌توان از این ابزار جهت بررسی موقعیت اتلافات و تلاش در جهت کم کردن آن‌ها بهره برد [13].

در سال‌های اخیر برخی از مقالات به موضوع تولید آنتروپی برای یافتن شرایط بهینه پرداخته‌اند. از جمله این مقالات می‌توان به کار فاموری و هومن [14] اشاره نمود که در کاری عددی به بررسی تولید آنتروپی در یک محفظه مستطیلی پرداخته‌اند. نتیجه کار آن‌ها بیانگر افزایش تولید آنتروپی با افزایش عدد رایلی است. شاهی و همکاران [15] در کار خود تولید آنتروپی را در محفظه مربعی پر شده با نانوسیال مورد بررسی قرار دادند. چو و همکاران [16] در کاری عددی تولید آنتروپی را در نانوسیال‌های مختلف در یک محفظه موجدار مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها در بررسی خود به این نتیجه رسیده‌اند که نانوسیال آب-مس بیشینه انتقال حرارت و کمینه تولید آنتروپی را در بین نانوسیال‌های مورد بررسی دارد.

با توجه به کاربردهای گسترده محفظه‌های بسته در صنایع مختلف از جمله نفت و گاز، نگارندگان با بررسی مقالات متعدد که شماری از آن‌ها در این بخش آورده شده است، به این نتیجه رسیده‌اند که تا کنون بررسی‌های کمی در زمینه‌ی انتقال حرارت با دیدگاه تولید آنتروپی در محفظه‌های بسته صورت گرفته است. لذا هندسه مورد نظر، یک محفظه مربعی با دیواره‌های صاف افقی بالایی و پایینی عایق انتخاب شده است. همچنین در این محفظه دیواره عمودی سمت راست در دمای ثابت و دیواره عمودی سمت چپ در شار حرارتی ثابت فرض شده است.

در این مقاله به بررسی انتقال حرارت جابجایی طبیعی در محفظه مربعی با دیواره تحت شار حرارتی ثابت (دیواره گرم) از دیدگاه تولید آنتروپی پرداخته شده و نیز تأثیر چرخش محفظه و اعمال میدان مغناطیسی به طور همزمان در محفظه دیده شده است.

مقایسه تأثیر چرخش محفظه و تأثیر چرخش میدان بر نرخ انتقال حرارت از دیگر موارد مهم مورد بررسی است. به عبارت دیگر در این مقاله ابتدا محفظه مربعی تحت یک میدان مغناطیسی ثابت افقی در زوایای مختلف چرخانده شده و نرخ انتقال حرارت در این زوایا بدست آمده است. سپس محفظه مربعی در حالت افقی در معرض میدان مغناطیسی تحت زوایای مشخص قرار می‌گیرد. این زوایا همان زوایایی هستند که محفظه مربعی تحت آن زوایا قبلاً چرخانده شده است. در انتها نرخ انتقال حرارت بین این دو حالت با هم مقایسه می‌گردد.

و Y و همچنین معادله انرژی می‌باشند. این معادلات از اعمال روابط (1) در معادلات حاکم بعد دار بدست آمده‌اند [17]:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (2)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_{bf}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) + \frac{(\rho\beta)_{nf}}{\rho_{nf} \beta_{bf}} Ra \cdot Pr \cdot \theta \cdot \sin \alpha - Ha^2 \cdot Pr \cdot (V \sin \alpha \cos \alpha - U \sin^2 \alpha) \quad (3)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_{bf}} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \frac{(\rho\beta)_{nf}}{\rho_{nf} \beta_{bf}} Ra \cdot Pr \cdot \theta \cdot \cos \alpha + Ha^2 \cdot Pr \cdot (U \sin \alpha \cos \alpha - V \cos^2 \alpha) \quad (4)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\alpha_{nf}}{\alpha_{bf}} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (5)$$

Pr در روابط بالا بیانگر عدد پرانتل است که از رابطه (6) بدست می‌آید:

$$Pr = \frac{\nu_{bf}}{\alpha_{bf}} \quad (6)$$

Ra ، بیانگر عدد رایلی بوده و برابر است با:

$$Ra = \frac{g \beta_{bf} W^3 (q'' W) / k_{bf}}{\nu_{bf} \alpha_{bf}} \quad (7)$$

Ha ، عدد هارتمن است که طبق تعریف برابر است با:

$$Ha = B_0 H \sqrt{\frac{\sigma_{nf}}{\nu_{bf} \rho_{nf}}} \quad (8)$$

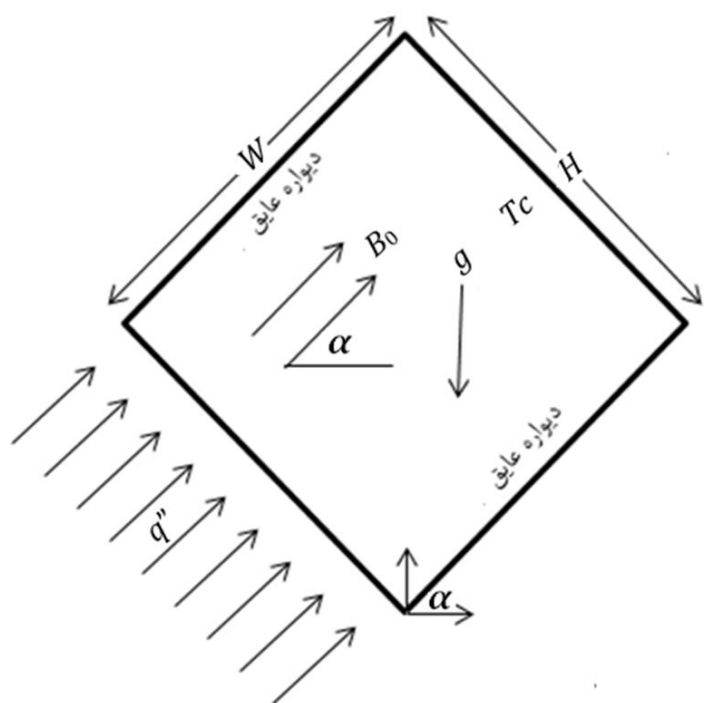
3-1- شرایط مرزی

در بیان شرایط مرزی برای حل معادلات حاکم، فرض شده است که دیواره سمت چپ تحت شار حرارتی ثابت q'' قرار دارد و دیواره سمت راست در دمای ثابت T_c قرار گرفته است. دیواره‌های بالایی و پایینی محفظه مربعی عایق می‌باشند. همچنین محفظه مربعی تحت زوایای مشخص α چرخانده می‌شود و تحت میدان مغناطیسی با اندازه B_0 در راستای مثبت محور X قرار گرفته است.

شرایط مرزی عبارت‌اند از:

دیواره سمت چپ:

$$U=V=0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} = \frac{k_{bf}}{k_{nf}} \quad (9)$$



شکل 1 شماتیک محفظه مربعی

از نوآوری‌های این مقاله می‌توان به بهینه سازی در زاویه چرخش محفظه در حالتی که میدان مغناطیسی ثابت اعمال می‌شود؛ اشاره کرد. به عبارت دیگر پس از محاسبه نرخ انتقال حرارت در حالت‌های مختلف یاد شده با استفاده از تعلیم یک شبکه عصبی مصنوعی، شبکه‌ای به دست آمده است که به ازای هر عدد رایلی و میدان مغناطیسی، نقطه بهینه را برای زاویه چرخش به دست می‌دهد. همچنین تأثیر هریک از پارامترهای عدد رایلی و میدان مغناطیسی بر روی زاویه چرخش بهینه مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله اثر پارامترهایی چون عدد رایلی (103-106)، عدد هارتمن (0-100) و زاویه چرخش محفظه مربعی و میدان مغناطیسی (0-90°) بررسی شده است. همچنین با توجه به میدان سرعت و دما، تولید آنتروپی در این هندسه با توجه به شرایط موجود مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر آن مشخص شده است.

2- بیان مسئله

هندسده مورد مطالعه در مقاله حاضر در شکل 1 مشاهده می‌شود. این هندسه شامل یک محفظه مربعی دو بعدی با دیواره گرم تحت شار حرارتی ثابت و دیواره سرد تحت دمای ثابت است. دو دیواره بالایی و پایینی محفظه، عایق شده و محفظه مربعی در زوایای مختلف α چرخانده شده است. این محفظه با نانو سیال آب-آلومینا پر شده است و نیروی گرانش به سمت پایین عمل می‌کند. محفظه تحت میدان مغناطیسی با اندازه B_0 و در جهت مثبت X محور مختصاتی قرار گرفته است.

3- معادلات اساسی حاکم

در این مطالعه رفتار سیال و ویژگی‌های انتقال حرارت سیال پایه و نانو سیال در محفظه مربعی شکل 1، توسط معادلات پیوستگی، ناویر استوکس و انرژی بدست می‌آیند. لذا جهت ساده سازی معادلات حاکم از فرضیات زیر استفاده شده است:

- نانو سیال نیوتنی و تراکم ناپذیر است.
- تمامی خواص ترموفیزیکی نانوسیال ثابت بوده بجز چگالی که بر اساس تقریب بوزینسک تغییر می‌نماید.
- سیال پایه (آب) و نانوذرات آلومینا در تعادل گرمایی بوده و بین آن‌ها حرکت نسبی اتفاق نمی‌افتد.
- میدان‌های سرعت و دما بصورت دوبعدی، آرام و دائم و بدون تولید و ذخیره انرژی در نظر گرفته شده‌اند.
- از اثرات تشعشع و همچنین از گرمایش ناشی از میدان مغناطیسی صرف‌نظر شده است.
- از تغییرات میدان مغناطیسی در اثر گرادیان‌های دمایی در قیاس با گرادیان‌های میدان مغناطیسی صرف‌نظر می‌شود.

معادلات حاکم بر مسئله با استفاده از روابط معادله (1) بی بعد خواهند شد.

$$X = \frac{x}{H}, \quad Y = \frac{y}{H}, \quad U = \frac{uH}{\alpha_{bf}}, \quad V = \frac{vH}{\alpha_{bf}}, \quad \theta = \frac{(T - T_c)k_{bf}}{q''H}, \quad P = \frac{p}{\rho_{nf} \alpha_{bf}^2} \frac{H^2}{H^2}, \quad T^* = \frac{T_c k_{bf}}{q''H}, \quad S^* = S \frac{H^2}{k_{bf}}, \quad Ec = \frac{\alpha_{bf}^2 k_{bf}}{H^3 (C_p)_{bf} q''} \quad (1)$$

معادلات حاکم بدون بعد با اعمال تقریب بوزینسک به صورت روابط (2)

تا (5) خواهند بود که به ترتیب شامل روابط پیوستگی، مومنتوم در جهت X

دیواره سمت راست:

$$U=V=0, \quad \theta = 0 \quad (10)$$

دیواره بالایی:

$$U=V=0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0 \quad (11)$$

دیواره پایینی:

$$U=V=0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0 \quad (12)$$

عدد ناسلت (Nu) موضعی بر روی دیواره گرم برابر است با:

$$Nu = \frac{hW}{k_{bf}} \quad (13)$$

در این معادله h بیانگر ضریب انتقال حرارت جابجایی است که می توان

آن را از قانون سرمایش نیوتن به صورت زیر تخمین زد:

$$h = \frac{q''}{T_s - T_c} \quad (14)$$

زیر نویس S بیانگر دمای سطح است.

با جایگذاری روابط (1) و (14) در رابطه (13) داریم:

$$Nu = \frac{1}{\theta_s} \quad (15)$$

نهایتاً مقدار ناسلت متوسط بر روی دیواره گرم طبق رابطه زیر بدست

می آید:

$$Nu_m = \frac{\int Nu dn}{\int dn} \quad (16)$$

3-2- تولید آنتروپی

نرخ تولید آنتروپی بی بعد محلی در میدان دو بعدی جریان طبق رابطه زیر

بدست می آید [18]:

$$S^* = \frac{k_{nf}}{k_{bf}} \cdot \frac{1}{(\theta + T^*)^2} \left[\left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)^2 \right] + \frac{1}{\theta + T^*} \frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} \cdot Ec \cdot Pr \cdot \left[2 \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right\} + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right] + \frac{1}{\theta + T^*} \frac{\sigma_{nf}}{\sigma_{bf}} \cdot Ec \cdot Pr \cdot Ha^2 \cdot U^2 \quad (17)$$

تولید آنتروپی کلی بر واحد حجم بی بعد طبق رابطه زیر بدست می آید:

$$S_t = \frac{1}{V^*} \int S^* dV^* \quad (18)$$

3-3- روابط مربوط به خواص نانوسیال

خواص ترموفیزیکی نانوسیال برای حل معادلات حاکم (2) تا (5) از روابط

(19-23) بدست می آیند [19,20]. معادلات (21) و (22) به ترتیب مربوط

به ویسکوزیته موثر نانوسیال (رابطه برینکمن) و ضریب هدایت گرمایی موثر

نانوسیال (مدل ماکسول-گارتس) می باشند.

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_p \quad (19)$$

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho c_p)_{bf} + \phi(\rho c_p)_p \quad (20)$$

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_{bf}}{(1 - \phi)^{2.5}} \quad (21)$$

$$\frac{k_{nf}}{k_{bf}} = \frac{(k_p + 2k_{bf}) - 2\phi(k_{bf} - k_p)}{(k_p + 2k_{bf}) + \phi(k_{bf} - k_p)} \quad (22)$$

$$\alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{(\rho c_p)_{nf}} \quad (23)$$

4- بررسی استقلال شبکه و صحت سنجی عددی

در مطالعه حاضر معادلات حاکم بی بعد مسئله با استفاده از روش حجم محدود به صورت عددی حل شده است. ترم جابجایی در معادلات حاکم از روش تقریب بالادست مرتبه دوم، گسسته سازی شده است و میدان های سرعت-فشار با استفاده از الگوریتم سیمپل با یکدیگر کوپل شده اند. شرط همگرایی، مجموع باقیمانده تمامی نقاط شبکه مربوط به معادله پیوستگی کمتر از 10^{-6} لحاظ شده است.

دامنه حل در محفظه مربعی همانطور که در شکل شماره 2 مشاهده می شود، مش بندی شده و جهت بررسی استقلال شبکه، مقدار ناسلت متوسط بر روی دیواره گرم ملاک عمل قرار گرفته است.

همان گونه که در جدول شماره 1 مشاهده می شود، نتایج عدد ناسلت بر روی دیواره گرم با شار ثابت مربوط به بررسی استقلال شبکه آورده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده شبکه با تعداد 100×100 جهت حل معادلات انتخاب شده است.

جهت اعتبار سنجی، نتیجه کار حاضر با نتیجه مرجع [19] مقایسه شده است. در مرجع [19] جریان سیال و انتقال حرارت جابجایی طبیعی در یک محفظه مستطیلی پر شده با نانو سیال مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه دیواره های افقی محفظه مستطیلی عایق بوده و دیواره های عمودی آن در دمای ثابت قرار گرفته اند. همچنین در کار از توپ و ابونادا [19] عدد رایلی برحسب اختلاف دما محاسبه شده ولی در کار حاضر برحسب شار حرارتی محاسبه شده است. همان گونه که در جدول 2 مشهود است، نتایج دارای انطباق خوبی هستند.

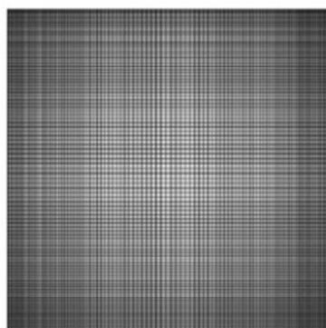
همچنین جهت اعتبار سنجی، نتایج حاصل از کار حاضر با نتایج کار مرجع [21] که به بررسی جابجایی طبیعی در یک محفظه مستطیلی در حضور میدان مغناطیسی پرداخته است، مقایسه شده است. دیواره های افقی محفظه مرجع [21] آدیاباتیک بوده و دیواره های عمودی آن در دمای ثابت قرار دارند و عدد رایلی برحسب اختلاف دما محاسبه شده ولی در کار حاضر برحسب شار حرارتی معادل با دمای ثابت منظور شده در مراجع فوق محاسبه شده است. این نتایج در جدول شماره 3 مشاهده می شوند.

5- بحث و نتایج

همان گونه که در بخش مقدمه نیز توضیح داده شد، در مطالعه حاضر به بررسی انتقال حرارت جابجایی طبیعی در محفظه مربعی پر شده با نانو سیال آب-آلومینا در دو حالت مختلف از دیدگاه تولید آنتروپی پرداخته شده است و نهایتاً زاویه بهینه برای انتقال حرارت به کمک شبکه عصبی محاسبه می شود.

5-1- تأثیر چرخش محفظه در میدان مغناطیسی ثابت بر انتقال حرارت

در این بخش انتقال حرارت جابجایی طبیعی در محفظه مربعی پر شده با نانو سیال آب-آلومینا که در زوایای معینی چرخانده می شود؛ مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل 2 شبکه بندی میدان حل

خواص ترمودینامیکی آب به عنوان سیال پایه و نانوذرات آلومینا در جدول شماره 4 آورده شده است.

پارامترهای بی بعد استفاده شده در این شبیه سازی عبارت اند از:

- کسر حجمی نانوذرات : مقدار ثابت 5 % است.
- عدد رایلی: عدد رایلی از 10^3 تا 10^6 تغییر می کند.
- عدد هارتمن: از 0 تا 100 تغییر می کند.
- زاویه چرخش محفظه مربعی: بین 0° تا 90° است.
- عدد بی بعد پرانتل: در این مطالعه برابر با 6/8 در نظر گرفته شده است.

شکل های 3 تا 8 به ترتیب کانتورهای خطوط جریان، خطوط هم دما و تولید آنتروپی در هندسه مربعی با زوایای مختلف چرخش، در اعداد رایلی 10^3 و 10^6 و در کسر حجمی نانوذره آلومینا 5 % را نشان می دهند. از آنجا که در اعداد رایلی پایین، نیروهای شناوری ضعیف می باشند؛ لذا انتقال حرارت هدایت نقش غالب را دارد بنابراین همان گونه که در شکل های 3 و 5 مشاهده می شود، جریان بصورت تقریباً متقارن شروع به چرخش در جهت ساعتگرد می نماید و از طرف دیگر کانتور دما از هندسه سطح پیروی کرده و به فرم آن در می آید.

همچنین همان گونه که در شکل های 3 و 4 مشاهده می شود، با افزایش عدد رایلی، خطوط جریان باز می شود و محور خطوط جریان با توجه به اثر کاهنده نیروی لرننس تغییر می یابد.

در شکل 4 مشاهده می شود که کشیدگی خطوط جریان در زاویه 0° بیشترین میزان خود را دارد و با افزایش زاویه انحراف از میزان آن کاسته می شود. که این موضوع بیانگر یک برهم کنش قابل توجه بین نیروهای شناوری و میدان مغناطیسی است.

همان گونه که در شکل های 4 و 6 مشهود است، با افزایش عدد رایلی و در نتیجه افزایش نیروهای شناوری، خطوط جریان و همچنین خطوط همدمای شروع به چرخش می نمایند. هر چه عدد رایلی بیشتر افزایش می یابد، میدان های سرعت و دما بیشتر تحت تأثیر جابجایی اجباری قرار می گیرند.

جدول 1 نتایج عدد ناسلت متوسط بر روی دیواره گرم مربوط به استقلال شبکه

ناسلت متوسط	تعداد شبکه در X-Y
5/2018	40×40
5/2448	60×60
5/2395	80×80
5/237	100×100
5/2363	120×120

جدول 2 مقایسه عدد ناسلت متوسط کار حاضر با کار مرجع [19]

از توپ و ابونادا [19]	کار حاضر	رایلی
1/004	1/009	10^3
3/983	3/995	10^5

جدول 3 مقایسه عدد ناسلت متوسط کار حاضر با کار مرجع [21]

مرجع [21]	کار حاضر	هارتمن	گراشهف
2/5188	2/5296	0	2×10^4
2/2234	2/2378	10	2×10^4
4/9198	5/0587	0	2×10^5
4/8053	4/9780	10	2×10^5

شکل های 4 و 6، کانتورهای خطوط جریان و همدمای را برای زوایای چرخش مختلف محفظه مربعی در هارتمن های مختلف نشان می دهند. همان گونه که در شکل 4 مشاهده می شود در ابتدا زمانی که زاویه محفظه برابر با 0° است، یک سلول چرخان در مرکز وجود دارد که با افزایش زاویه چرخش محفظه، این سلول چرخان بزرگتر و قویتر می شود. همچنین در شکل 6 مشاهده می شود، در زاویه 0° خطوط همدمای ناحیه مرکزی محفظه بصورت لایه ای بر روی یکدیگر قرار گرفته اند که با افزایش زاویه چرخش محفظه از این تمایل کاسته شده و نظم آن ها به هم می ریزد.

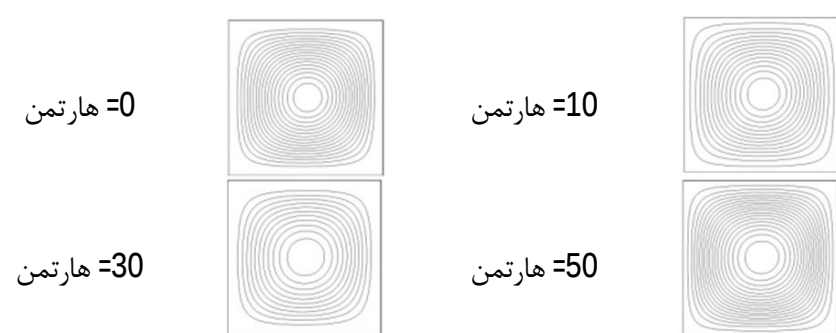
شکل 9 مؤلفه عمودی سرعت و همچنین دمای بی بعد را در $Y=0/5$ ، در عدد رایلی 10^6 ، برای حالت $\alpha=30^\circ$ و در هارتمن های مختلف نشان می دهد. همان گونه که در شکل 9 مشهود است، با افزایش عدد هارتمن، مؤلفه عمودی سرعت تمایل به مسطح شدن دارد. به عبارت دیگر، با افزایش عدد هارتمن و تحت اثر نیروی لرننس، از سرعت سیال کاسته می شود و در نتیجه دمای سیال افزایش می یابد و با توجه به رابطه 15، عدد ناسلت کاهش می یابد.

همان گونه که در جداول 5 و 6 مشاهده می شود، عدد ناسلت متوسط در عدد رایلی 10^6 ، با افزایش زاویه انحراف ابتدا تا زاویه 30° افزایش یافته و سپس کاهش می یابد.

آن چنانکه در شکل 5 و 6 مشاهده می شود، کانتورهای همدمای در نزدیکی دیواره گرم تحت شار حرارتی ثابت و همچنین گوشه بالا و سمت راست محفظه به یکدیگر نزدیک تر می باشند. به عبارت دیگر گرادیان های دما در این مناطق از محفظه دارای مقادیر بیشتری است. در نتیجه با توجه به رابطه

جدول 4 خواص ترمودینامیکی سیال پایه (آب) و نانوذرات [20,21]

نانوذرات آلومینا	آب خالص	خواص ترموفیزیکی
765	4179	$C_p (J/kg \cdot K^{-1})$
40	0/613	$K (W/m \cdot K^{-1})$
$0/85 \times 10^{-5}$	21×10^{-5}	$\beta (K^{-1})$
3970	997/1	$\rho (kg/m^3)$

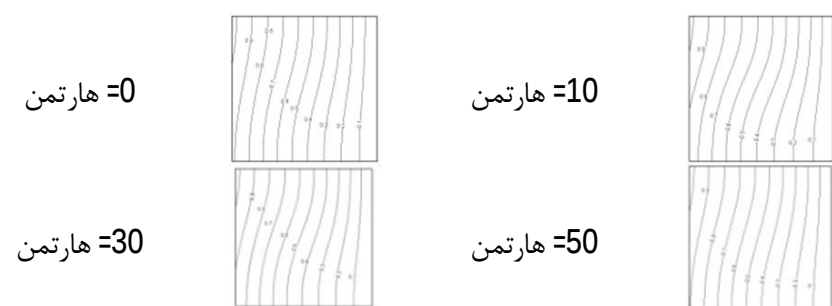


شکل 3 کانتورهای خطوط جریان در عدد رایلی 10^3 ، زاویه انحراف 0°

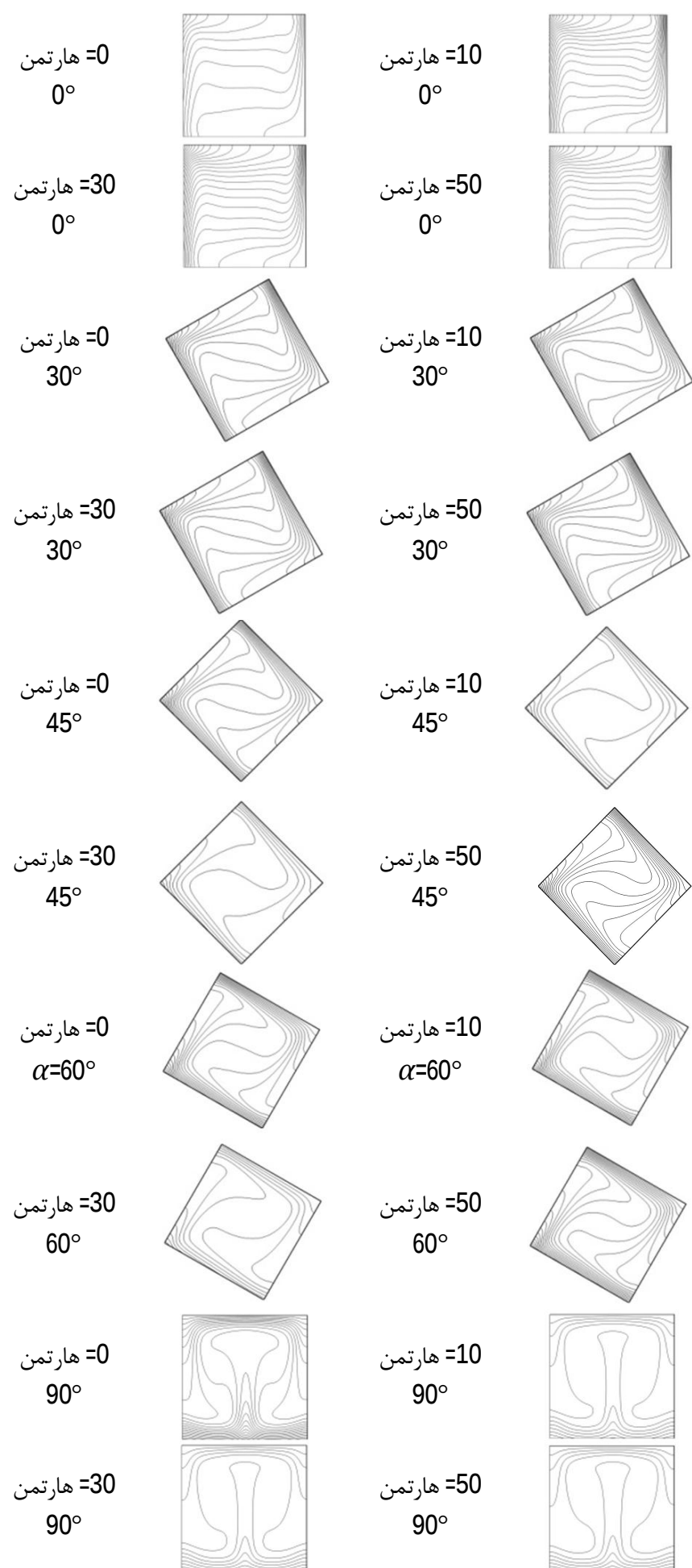
و اعداد هارتمن مختلف (نانوسیال آب - آلومینا، 5%).

جدول 5 تغییرات عدد ناسلت در زاویه 0°

رایلی	0	10	30	50	100
10^3	1/030685	1/06975	1/054799	0/765905	1/015373
10^4	1/577442	1/723585	1/673415	1/491913	1/019658
10^5	3/10821	3/422747	3/374005	3/085038	3/083863
10^6	6/301217	6/266738	6/245799	6/278056	6/087729



شکل 5 کانتورهای خطوط همدم در عدد رایلی 10^3 ، زاویه انحراف 0° و اعداد هارتمن مختلف (نانوسیال آب - آلومینا، 5%).



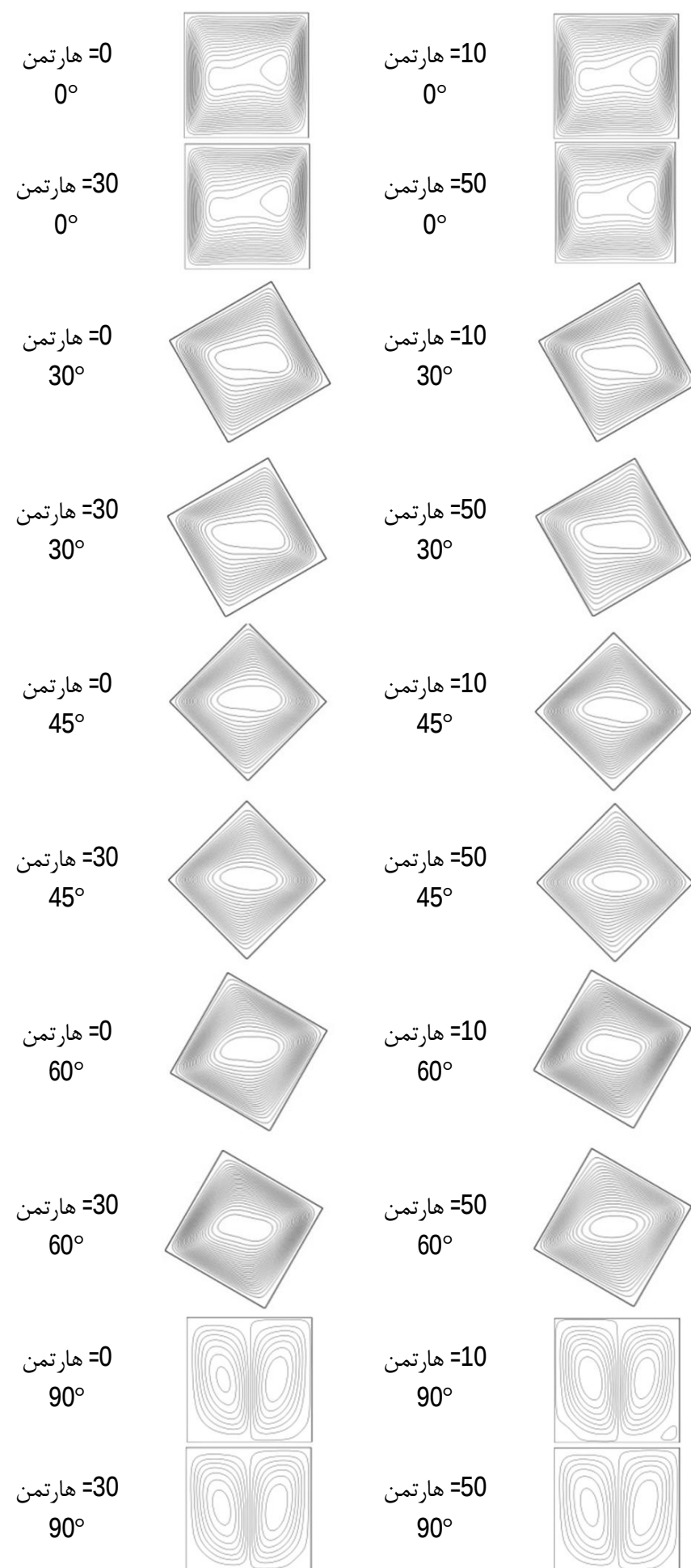
شکل 6 کانتورهای خطوط همدم در عدد رایلی 10^6 ، زوایای انحراف مختلف و اعداد هارتمن مختلف (نانوسیال آب - آلومینا، 5%).

مشاهده می‌شود، تمرکز تولید آنتروپی در نواحی ذکر شده (ناحیه دیواره گرم و

جدول 6 تغییرات عدد ناسلت با زوایای چرخش محفظه، $Ra = 10^6$

زاویه	ناسلت متوسط				
	0	10	30	50	100
30°	6/501134	6/494798	6/333533	6/052436	5/148624
45°	6/271339	6/222488	5/991116	5/626095	4/711303
60°	5/91173	5/893505	5/695884	5/380137	4/525484
90°	4/804494	4/750216	4/83001	4/946398	4/564686

(17) تولید آنتروپی محلی بیشتری در این مناطق وجود دارد. این موضوع در شکل 7 و 8 قابل مشاهده است. همان‌گونه که در شکل‌های مذکور نیز



شکل 4 کانتورهای خطوط جریان در عدد رایلی 10^6 ، زوایای انحراف مختلف و اعداد هارتمن مختلف (نانوسیال آب - آلومینا، 5%).

هارتمن در اعداد رایلی پایین، عدد ناسلت متوسط تا عدد هارتمن 10 افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد.

در عدد رایلی برابر با 10^6 با افزایش عدد هارتمن از مقدار ناسلت متوسط کاسته می‌شود. به عبارت دیگر از اثرات انتقال حرارت جابجایی اجباری کاسته می‌شود که این کاهش در جابجایی اجباری ناشی از اثرات کاهشی نیروی لرنس است.

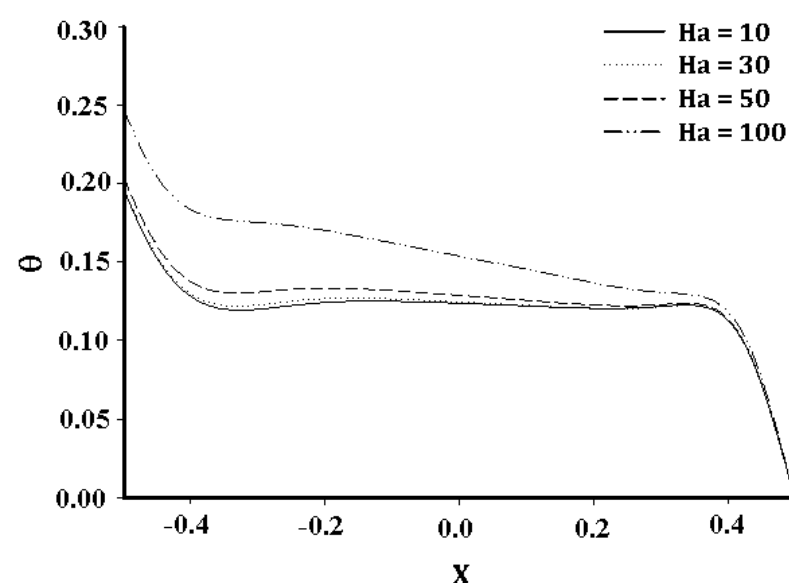
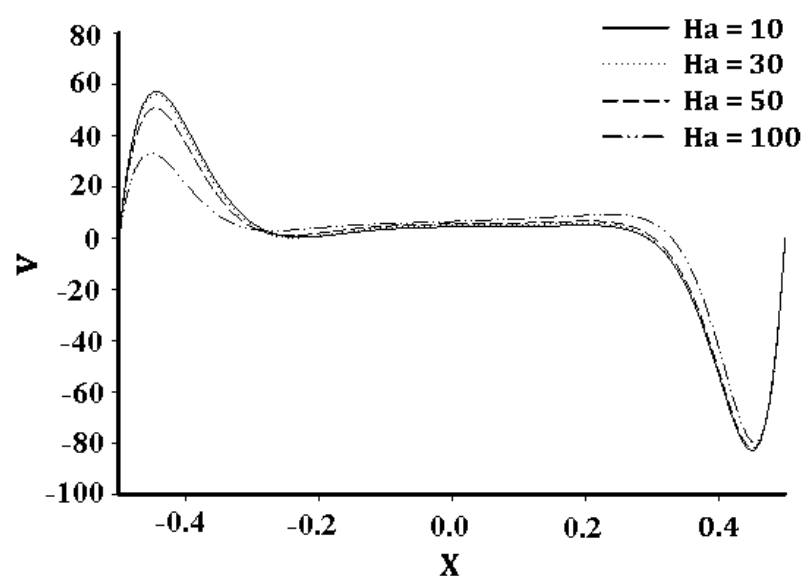
همانطور که قبلاً نیز گفته شد و در جدول شماره 5 نیز مشاهده می‌شود با افزایش عدد رایلی از آنجا که اثرات جابجایی اجباری افزایش می‌یابد، لذا با افزایش عدد رایلی، عدد ناسلت متوسط افزایش می‌یابد.

همان گونه که در شکل 10 مشاهده می‌شود، با افزایش عدد هارتمن در عدد رایلی برابر با 10^3 ، ضخامت لایه مرزی گرمایی بر روی دیواره گرم کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر کاهش ضخامت لایه مرزی گرمایی، مسئول بیشتر شدن دما در سطح گرم محفظه (سطح گرما دهنده) است و در نتیجه عدد ناسلت با توجه به رابطه (15) کاهش می‌یابد.

با توجه به رابطه (17) مشخص می‌شود که تولید آنتروپی تابعی از سه پارامتر انتقال حرارت (گرادیان‌های دمایی)، اصطکاک سیال و میدان مغناطیسی است.

در جداول 7 و 8 تولید آنتروپی کل در محفظه مربعی بر حسب زاویه چرخش و عدد هارتمن آورده شده است.

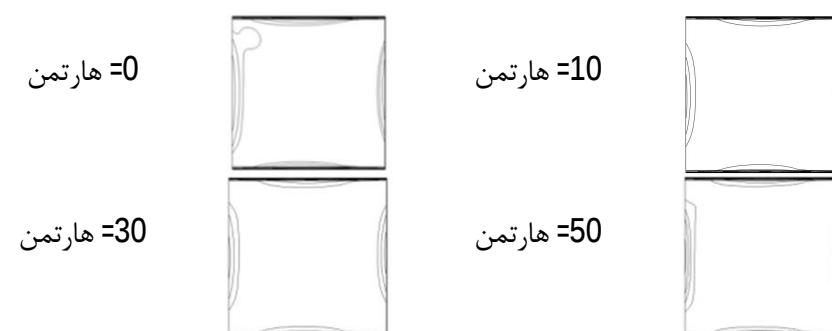
همان گونه که در جداول گفته شده مشاهده می‌شود، روند تغییرات تولید آنتروپی با روند تغییرات عدد ناسلت مشابه است. به عبارت دیگر در اعداد رایلی پایین، همان گونه که در شکل 11 نیز مشاهده می‌شود، جریان سرعت



شکل 9 (الف) تغییرات مؤلفه عمودی سرعت (ب) دمای بی بعد در $Y=0/5$ ، در $Ra=10^6$ ، $\alpha=30^\circ$ و اعداد هارتمن مختلف، (نانوسیال آب - آلومینا، 5%)

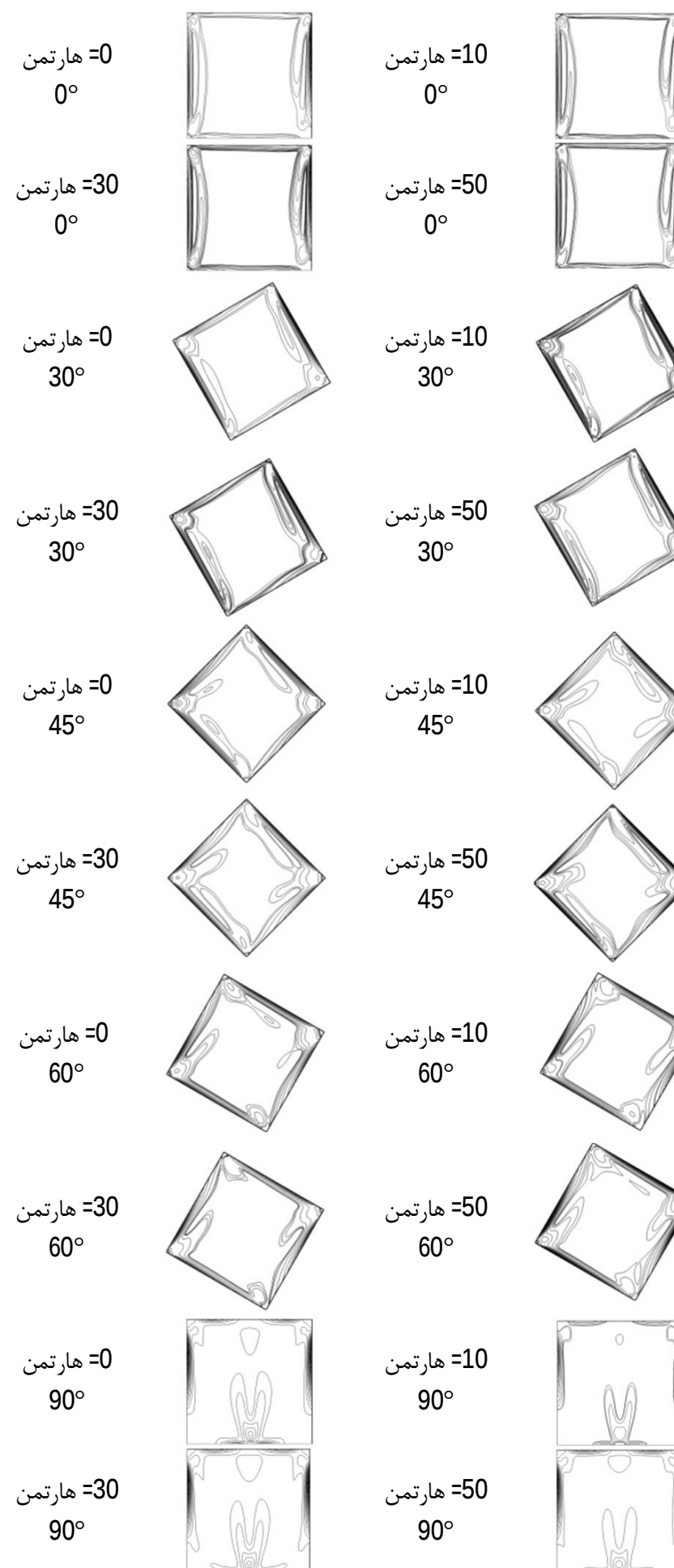
سمت راست محفظه) بیشتر است.

همچنین با توجه به جداول 5 و 6 مشخص می‌شود، با افزایش عدد



شکل 7 کانتورهای تولید آنتروپی کل در عدد رایلی 10^3 ، زاویه انحراف 0°

و اعداد هارتمن مختلف (نانوسیال آب - آلومینا، 5%).



شکل 8 کانتورهای تولید آنتروپی کل در عدد رایلی 10^6 ، زوایای انحراف مختلف و اعداد هارتمن مختلف (نانوسیال آب - آلومینا، 5%).

جدول 7 تغییرات تولید آنتروپی کل در اعداد هارتمن مختلف، زاویه 0°

تولید آنتروپی کل					
هارتمن					رایلی
100	50	30	10	0	
$5/45 \times 10^{-9}$	$7/49 \times 10^{-9}$	$7/81 \times 10^{-9}$	$7/95 \times 10^{-9}$	$5/74 \times 10^{-9}$	10^3
$1/07 \times 10^{-7}$	$1/61 \times 10^{-7}$	$1/58 \times 10^{-7}$	$1/56 \times 10^{-7}$	$1/32 \times 10^{-7}$	10^4
$3/20 \times 10^{-6}$	$2/93 \times 10^{-6}$	$3/08 \times 10^{-6}$	$3/18 \times 10^{-6}$	$2/66 \times 10^{-6}$	10^5
$5/05 \times 10^{-5}$	$5/34 \times 10^{-5}$	$5/25 \times 10^{-5}$	$5/33 \times 10^{-5}$	$5/40 \times 10^{-5}$	10^6

جدول 8 تغییرات تولید آنتروپی کل در زوایای مختلف چرخش محفظه،

$$Ra = 10^6$$

تولید آنتروپی کل					زاویه
هارتمن					
100	50	30	10	0	
$4/74 \times 10^{-5}$	$6/55 \times 10^{-5}$	$7/32 \times 10^{-5}$	$7/86 \times 10^{-5}$	$7/64 \times 10^{-5}$	30°
$3/69 \times 10^{-5}$	$5/51 \times 10^{-5}$	$6/45 \times 10^{-5}$	$7/17 \times 10^{-5}$	$7/07 \times 10^{-5}$	45°
$2/83 \times 10^{-5}$	$4/34 \times 10^{-5}$	$5/10 \times 10^{-5}$	$5/65 \times 10^{-5}$	$5/60 \times 10^{-5}$	60°
$1/18 \times 10^{-5}$	$1/24 \times 10^{-5}$	$1/09 \times 10^{-5}$	$9/98 \times 10^{-5}$	$1/08 \times 10^{-5}$	90°

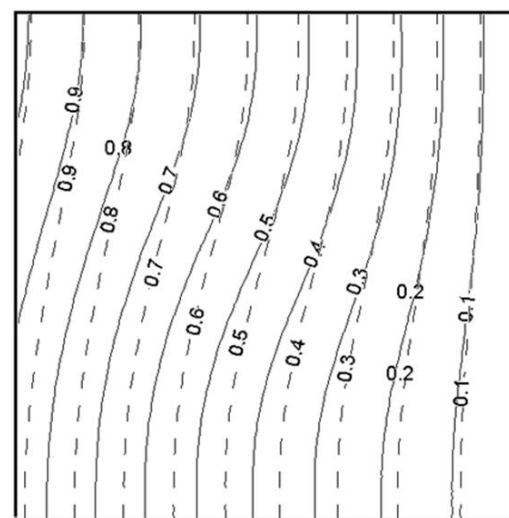
می‌شود؛ زمانی که محفظه در زوایای مختلف چرخانده شده است و تحت میدان مغناطیسی ثابت قرار دارد، با افزایش عدد هارتمن تا 30، عدد ناسلت متوسط افزایش می‌یابد و سپس با افزایش عدد هارتمن این مقدار کاهش می‌یابد. درحالی‌که زمانی که میدان مغناطیسی تحت همین زوایا چرخانده می‌شود و بر یک محفظه مربعی افقی ثابت اعمال می‌گردد، عدد ناسلت متوسط با افزایش عدد هارتمن کاهش می‌یابد. علت این موضوع را می‌توان در شکل 12 مشاهده نمود. شکل 12، تغییرات مؤلفه عمودی سرعت در $Y=0/5$ را برای دو حالت محفظه چرخانده شده و میدان چرخانده شده در $Ra = 10^6$ ، $\alpha = 30^\circ$ و در اعداد هارتمن 0 تا 100 نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در شکل 12 مشهود است، مؤلفه سرعت عمودی بی بعد در حالتی که محفظه مربعی تحت میدان ثابت چرخانده شده است، با افزایش عدد هارتمن کاهش یافته و دمای بی بعد آن افزایش می‌یابد که با توجه به رابطه (15) منجر به کاهش در عدد ناسلت متوسط می‌شود.

از طرف دیگر همان‌گونه که در شکل 12 (ج) مشاهده می‌شود سرعت عمودی بی بعد بر روی دیواره گرم در حالتی که میدان مغناطیسی چرخانده شده است بیشتر از حالتی است که محفظه مربعی چرخانده شده است. در نتیجه دما بر روی دیواره گرم نسبت به حالت محفظه چرخان همان‌گونه که در شکل 13 مشاهده می‌شود، کمتر بوده و در نتیجه عدد ناسلت متوسط آن بیشتر است. از طرف دیگر زمانی که محفظه مربعی در زوایای مختلف تحت میدان مغناطیسی ثابت افقی چرخانده شده است، با افزایش زاویه انحراف محفظه تا 30° ، عدد ناسلت متوسط افزایش یافته و سپس با افزایش زاویه انحراف کاهش می‌یابد. درحالی‌که زمانی که محفظه در حالت افقی قرار دارد و میدان در زوایای مختلف چرخانده شده است، عدد ناسلت متوسط تا زاویه 45° افزایش می‌یابد و سپس کاهش می‌یابد. همچنین مقدار عدد ناسلت متوسط در حالتی که محفظه مربعی تحت زوایای معین چرخانده شده است نسبت به حالتی که میدان مغناطیسی اعمالی بر محفظه ثابت در زوایای مختلف چرخانده شده است دارای مقادیر کوچک‌تری است.

3-5- بهینه سازی زاویه چرخش محفظه به کمک شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی از عناصر عملیاتی ساده به صورت موازی ساخته



شکل 10 کانتورهای خطوط همدم در دو هارتمن مختلف 0 (خط چین) و 10 (خط ممتد) در عدد رایلی 10^3

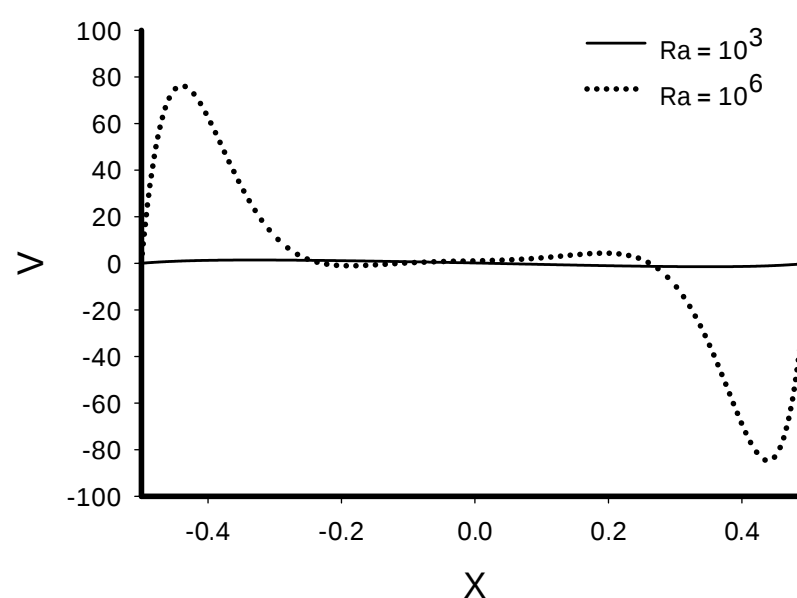
پایینی دارد و انتقال حرارت هدایتی مکانیزم اصلی انتقال حرارت است. در نتیجه نرخ تولید آنتروپی پایین است. به عبارت بهتر باید گفت که در اعداد رایلی پایین بازگشت‌ناپذیری‌های گرمایی، اصطکاکی و ناشی از میدان مغناطیسی، هر سه مقادیر کمی دارند.

5-2- تأثیر چرخش میدان مغناطیسی در محفظه ثابت بر انتقال حرارت

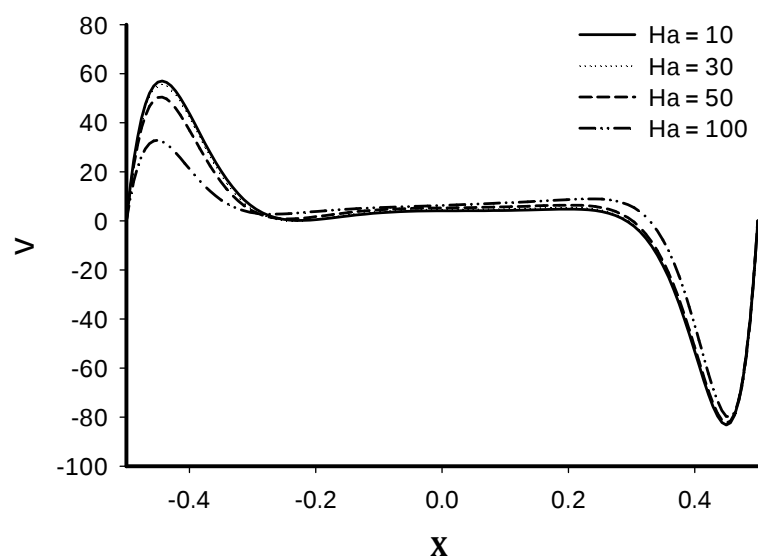
در این بخش میدان مغناطیسی اعمالی بر روی محفظه در زوایای معینی چرخانده می‌شود. همان‌گونه که در جدول 9 مشاهده می‌شود، عدد ناسلت متوسط در عدد رایلی 10^6 ، با افزایش عدد هارتمن با توجه به توضیحاتی که در بخش 5-1 نیز داده شد و به خاطر تأثیرات کاهنده سرعت که از طرف نیروی لرنس وارد می‌شود، دچار کاهش می‌شود. همچنین عدد ناسلت در عدد هارتمن 10، با افزایش زاویه انحراف میدان مغناطیسی، تا زاویه 45° افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. در عدد هارتمن 30، تا زاویه 30° عدد ناسلت متوسط افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد و در اعداد هارتمن بالا با افزایش زاویه انحراف میدان، عدد ناسلت متوسط دچار کاهش می‌شود.

این روند در مورد جدول شماره 10 که تغییرات تولید آنتروپی کل را بر حسب تغییرات زاویه میدان مغناطیسی نشان می‌دهد نیز صادق است. به عبارت دیگر تغییرات آنتروپی کل با تغییرات عدد ناسلت دارای روند مشابهی است.

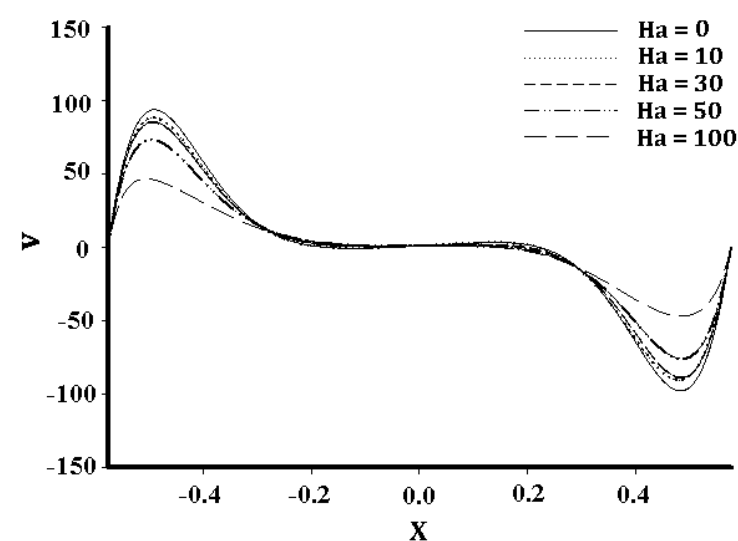
جداول 6 و 9، به ترتیب عدد ناسلت متوسط را برای دو حالت محفظه چرخان و میدان چرخان نشان می‌دهند. همان‌گونه که در این جداول مشاهده



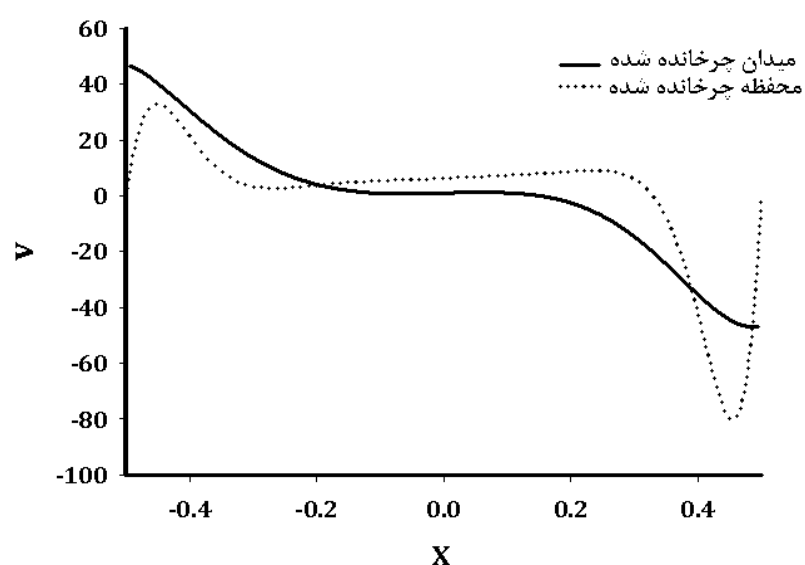
شکل 11 تغییرات مؤلفه عمودی سرعت در $Y=0/5$ ، در دو عدد رایلی و عدد هارتمن 0 $\alpha = 0$ (نانوسیال آب - آلومینا، 5%)



(الف)



(ب)



(ج)

شکل 12 (الف) تغییرات مؤلفه عمودی سرعت در حالت محفظه چرخان در اعداد هارتمن مختلف (ب) تغییرات مؤلفه عمودی سرعت در حالت میدان چرخان در اعداد هارتمن مختلف (ج) مقایسه سرعت بی بعد در دو حالت در $Ha = 100$ در $Y = 0/5$ ، در $Ra = 10^6$ ، $\alpha = 30^\circ$ ، (نانوسیال آب - آلومینا، 5%)

اعداد هارتمن مختلف مقایسه می‌گردد. نتایج این کار در شکل 15 نشان داده شده است. همانطور که از شکل معلوم است تغییر عدد هارتمن تأثیر زیادی در نقطه بهینه نمودار عدد ناسلت نمی‌گذارد و تأثیرش در مقایسه با تغییر عدد رایلی یعنی نمودار شکل 14 بسیار ناچیز است.

در ادامه به بررسی تأثیر تغییر زاویه بر تولید آنتروپی خواهیم پرداخت. برای این منظور عدد هارتمن برابر 100 در نظر گرفته شده و تغییرات زاویه چرخش با تولید آنتروپی در شکل 16 برای مقادیر مختلف عدد رایلی نشان داده شده است.

می‌شوند. این عناصر از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند. در طبیعت ساختار شبکه‌های عصبی از طریق نحوه اتصال بین اجزا تعیین می‌شود. بنابراین ما می‌توانیم یک ساختار مصنوعی به تبعیت از شبکه‌های طبیعی بسازیم و با تنظیم مقادیر هر اتصال تحت عنوان وزن اتصال نحوه ارتباط بین اجزای آن را تعیین نماییم.

نحوه عملکرد شبکه‌های عصبی بسیار شبیه عملکرد مغز انسان است به این گونه که اساس آن یادگیری و آموزش است. همان‌گونه که انسان معمولی پس از مدتی کار با یک وسیله یا ابزار بدون این‌که اطلاعاتی از فیزیک یا قوانین طبیعی حاکم بر آن داشته باشد قادر به پیش‌بینی رفتار و عملکرد آن وسیله است، یک شبکه عصبی هم بعد از آموزش شبکه قادر به پیش‌بینی مسئله‌های مشابه خواهد بود.

در چنین سیستمی داده‌های موجود به ورودی شبکه اعمال می‌شوند، عملیاتی روی آن‌ها صورت می‌گیرد و خروجی مشخصی را نتیجه می‌دهد. در سیناپس‌ها¹، پتانسیل‌های ذخیره‌شده‌ای وجود دارد که در شبکه‌های عصبی وزن ارتباط² نامیده می‌شوند. این وزن‌ها با توجه به نحوه آموزش شبکه دائماً تغییر می‌کنند و شبکه به طور خودکار پس از گرفتن ورودی با توجه به وزن‌ها، خروجی را محاسبه می‌کند [22].

در این تحقیق از یک شبکه عصبی 3 لایه با 20 نرون در لایه مخفی برای به دست آوردن مدلی از عملکرد سیستم مذکور استفاده شده است که ورودی‌های شبکه عصبی زاویه چرخش، عدد رایلی و عدد هارتمن می‌باشند. همچنین خروجی‌های شبکه عصبی هدف ما در این تحقیق یعنی عدد ناسلت و میزان آنتروپی تولیدی است.

برای آموزش شبکه از داده‌های ارائه شده در قسمت قبلی استفاده شده است. در نهایت شبکه عصبی‌ای به دست آمده است که با دقت خوبی می‌تواند نتایج مربوط به این سیستم را به دست دهد. بدین منظور، در حالت محفظه مربعی چرخانده شده در زوایای مختلف تحت میدان مغناطیسی ثابت، تغییرات عدد ناسلت و تولید آنتروپی رسم شده است و زاویه بهینه برای انتقال حرارت بهتر بر حسب عدد رایلی به کمک نرم افزار متلب محاسبه گردیده است.

همانطور که در شکل 14 نشان داده شده است، به ازای یک میدان مغناطیسی ثابت (عدد هارتمن برابر با 100)، در اعداد رایلی مختلف با افزایش زاویه چرخش، ابتدا عدد ناسلت افزایش می‌یابد و بعد از یک زاویه معین برای هر عدد رایلی، میزان انتقال حرارت (عدد ناسلت) کاهش می‌یابد. با دقت در نمودار متوجه می‌شویم که این زاویه که در آن مقدار حداکثر عدد ناسلت به دست آمده است با افزایش عدد رایلی کاهش می‌یابد. سپس عدد رایلی، ثابت در نظر گرفته شده (برابر 10^6) و تغییرات عدد ناسلت با زاویه چرخش در

جدول 9 تغییرات عدد ناسلت با زوایای چرخش میدان، $Ra = 10^6$

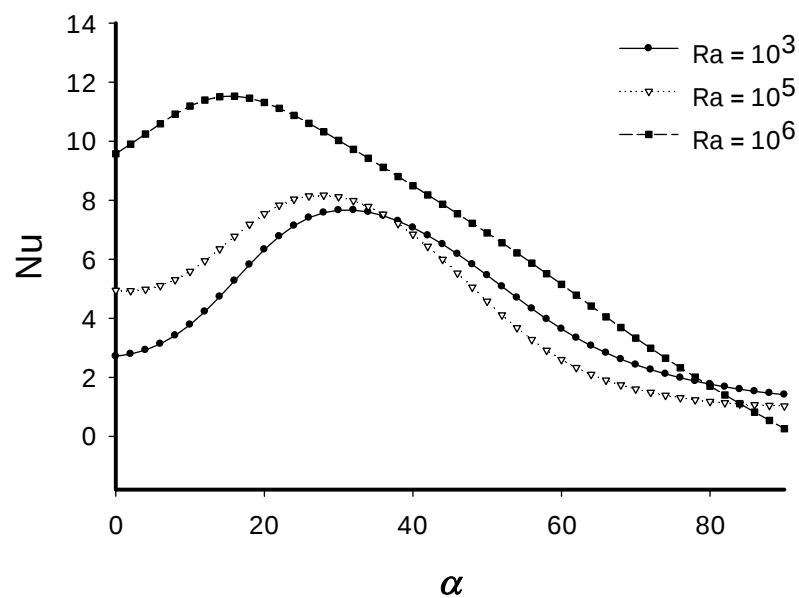
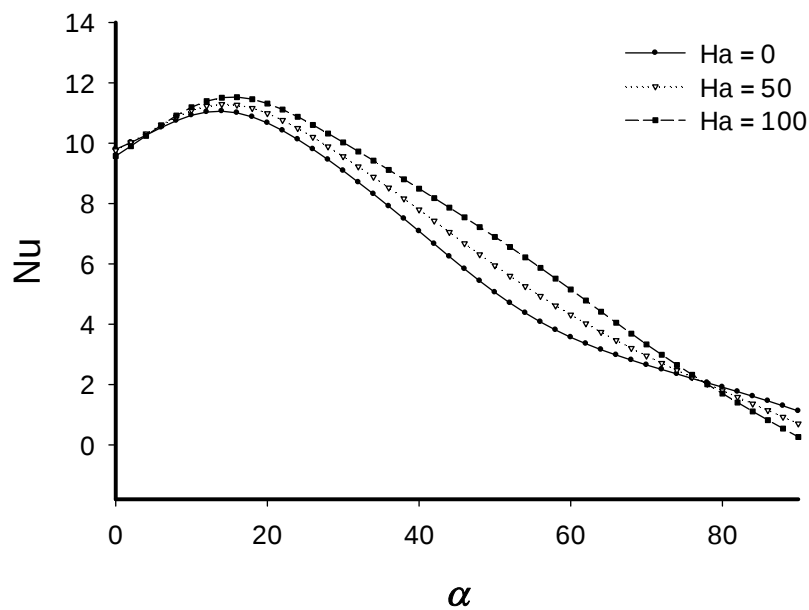
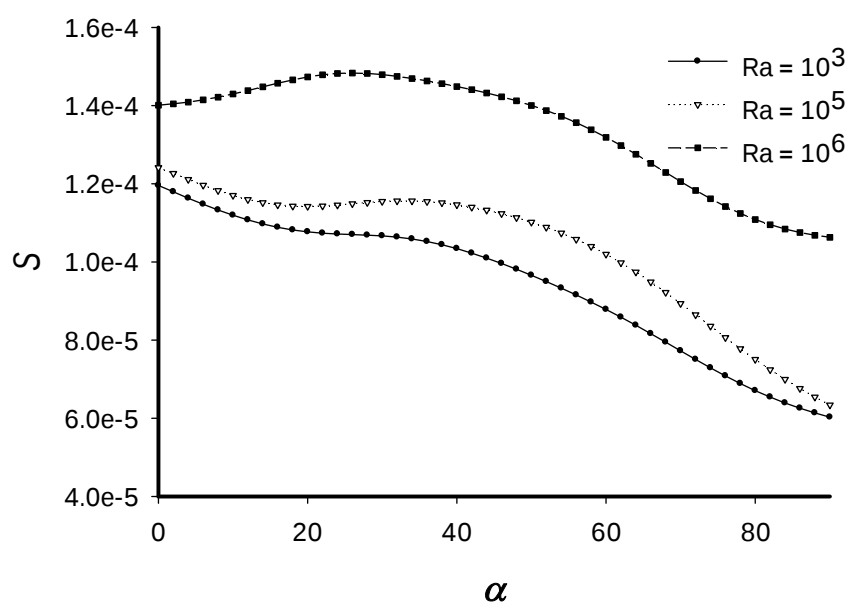
ناسلت متوسط					
زاویه	هارتمن				
	100	50	30	10	0
0°	6/087729	6/278056	6/245799	6/266738	6/301217
30°	5/635448	6/192679	6/29059	6/290836	-
45°	5/187026	6/034906	6/210201	6/338888	-
60°	4/741085	5/860648	6/168876	6/288661	-
90°	3/013266	5/654252	6/206144	6/236144	-

1- synapses

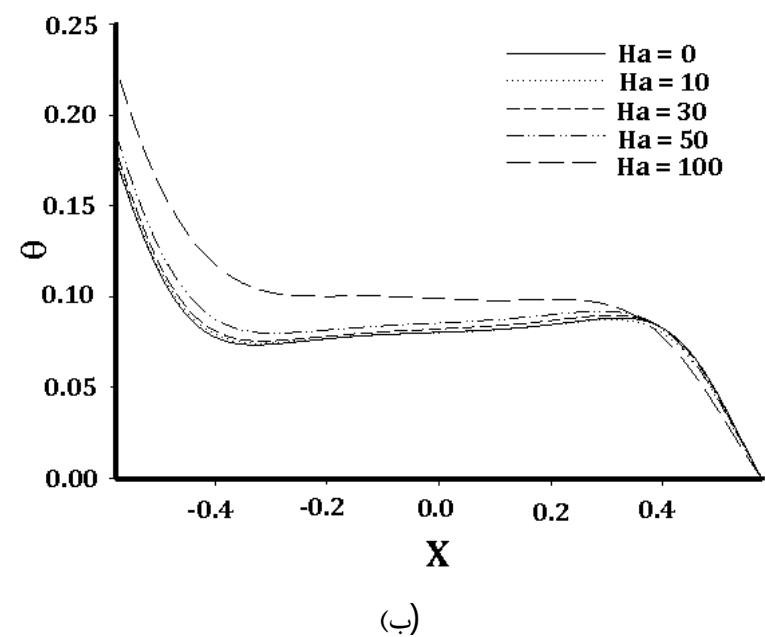
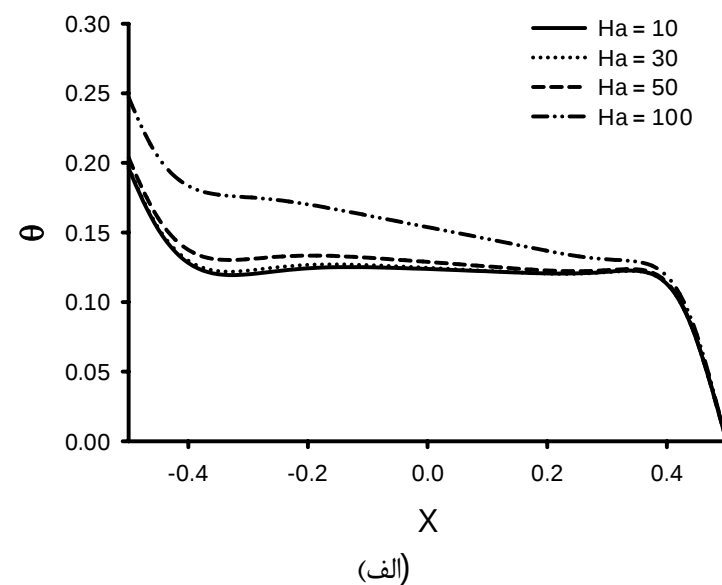
2- connection weight

جدول 11 تغییرات زاویه بهینه برای عدد ناسلت با اعداد هارتمن و رایلی

هارتمن	عدد رایلی	10^3	10^4	10^5	10^6
0		32°	30°	26°	11°
10		30°	29°	23°	12°
50		32°	30°	27°	14°
100		34°	32°	28°	16°

شکل 14 تغییرات عدد ناسلت با زاویه چرخش در اعداد رایلی مختلف و $Ha=100$ شکل 15 تغییرات عدد ناسلت با زاویه چرخش در اعداد هارتمن مختلف و $Ra=10^6$ شکل 16 تغییرات تولید آنتروپی با زاویه چرخش در اعداد رایلی مختلف و $Ha=100$

با دقت در نمودار شکل های 14 و 15 مشخص می شود که مقدار زاویه بهینه بیشتر تابع عدد رایلی بوده و با تغییر عدد رایلی تغییر می کند و وابستگی خیلی کمتری به عدد هارتمن دارد. در جدول 11 زاویه بهینه برای اعداد هارتمن و رایلی مختلف نشان داده شده است. همانطور که در شکل 16 مشهود است، تولید آنتروپی با افزایش زاویه چرخش کاهش می یابد. همچنین مشخص می کند که با افزایش عدد رایلی میزان تولید آنتروپی افزایش می یابد. همان گونه که در جدول 11 نیز مشاهده می شود، با افزایش عدد رایلی، زاویه بهینه کاهش می یابد. همان گونه که مشهود است، این کاهش در زاویه بهینه با افزایش عدد رایلی شدت بیشتری می گیرد. از طرف دیگر در اعداد رایلی پایین با افزایش عدد هارتمن، زاویه بهینه ابتدا کاهش یافته و سپس افزایش می یابد. همچنین در اعداد رایلی بالا هر چه عدد هارتمن افزایش یابد



شکل 13 (الف) تغییرات دمای بی بعد در حالت محفظه چرخان در اعداد هارتمن مختلف (ب) تغییرات دمای بی بعد در حالت میدان چرخان در اعداد هارتمن مختلف در $Y=0/5$ ، در $Ra=10^6$ ، $\alpha=30^\circ$ ، (نانوسیال آب - آلومینا، 5%)

جدول 10 تغییرات تولید آنتروپی کل با زوایای چرخش میدان، $Ra=10^6$

تولید آنتروپی کل					زاویه
100	50	30	10	0	
$5/05 \times 10^{-5}$	$5/34 \times 10^{-5}$	$5/28 \times 10^{-5}$	$5/33 \times 10^{-5}$	$5/40 \times 10^{-5}$	0°
$4/30 \times 10^{-5}$	$5/10 \times 10^{-5}$	$5/33 \times 10^{-5}$	$5/37 \times 10^{-5}$	-	30°
$3/47 \times 10^{-5}$	$4/66 \times 10^{-5}$	$5/12 \times 10^{-5}$	$5/46 \times 10^{-5}$	-	45°
$2/86 \times 10^{-5}$	$4/24 \times 10^{-5}$	$5/00 \times 10^{-5}$	$5/36 \times 10^{-5}$	-	60°
$2/57 \times 10^{-6}$	$3/87 \times 10^{-5}$	$5/06 \times 10^{-5}$	$5/26 \times 10^{-5}$	-	90°

زاویه بهینه نیز افزایش می‌یابد.

شکل 17 به بررسی تأثیر تغییرات زاویه چرخش با تغییر عدد هارتمن در عدد رایلی ثابت 10^6 ، بروی تغییرات آنتروپی می‌پردازد.

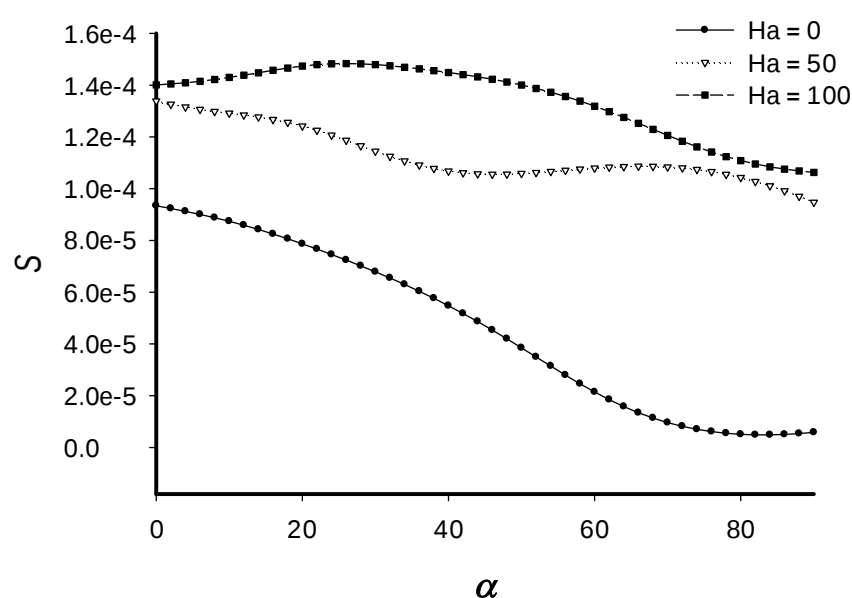
همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش عدد هارتمن تولید آنتروپی افزایش می‌یابد.

6- نتیجه گیری

در این مطالعه، عملکرد جابجایی طبیعی نانوسیال آب-آلومینا در یک محفظه مربعی با دیواره گرم تحت شار حرارتی ثابت بررسی شد. در این هندسه دیواره‌های بالایی و پایینی آن عایق بوده و هندسه مورد مطالعه بصورت عددی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه عددی معادلات حاکم به روش حجم کنترل جبری شده و توسط الگوریتم سیمپل به طور همزمان حل می‌شوند. در این مقاله اثر پارامترهایی چون عدد رایلی ($10^3 - 10^6$)، عدد هارتمن (0-100) و زاویه چرخش محفظه مربعی و میدان مغناطیسی (0-90) بررسی شده است. همچنین با توجه به میدان سرعت و دما آنتروپی تولیدی در محفظه با توجه به شرایط موجود مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر آن مشخص شده است. جهت تکمیل بررسی‌های صورت گرفته در انتهای مقاله با استفاده از شبکه عصبی به محاسبه زاویه چرخش بهینه برای انتقال حرارت بهتر، در حالتی که محفظه مربعی تحت میدان مغناطیسی ثابت چرخانده شده است؛ پرداخته می‌شود. نتایج بدست آمده از کار عددی به طور خلاصه عبارت‌اند از:

در حالت محفظه مربعی چرخانده شده با زاویه مشخص:

- با افزایش عدد رایلی، عدد ناسلت متوسط و تولید آنتروپی افزایش می‌یابد.
- کشیدگی خطوط جریان در زاویه 0° بیشترین میزان خود را دارد و با افزایش زاویه انحراف از میزان آن کاسته می‌شود.
- با افزایش عدد رایلی، خطوط جریان باز می‌شود و محور خطوط جریان با توجه به اثر کاهنده نیروی لرننس تغییر می‌یابد.
- با افزایش عدد رایلی و در نتیجه افزایش نیروهای شناوری، خطوط جریان و همچنین خطوط همدمما شروع به چرخش می‌نمایند. هر چه عدد رایلی بیشتر افزایش می‌یابد، میدان‌های سرعت و دما بیشتر تحت تأثیر جابجایی اجباری قرار می‌گیرند. بنابراین ساختارهای چرخشی ایجاد می‌شوند که مرکز این ساختارها تمایل به حرکت به سمت گوشه بالا و سمت راست محفظه را دارند.



شکل 17 تغییرات تولید آنتروپی با زاویه چرخش در اعداد هارتمن مختلف و $Ra=10^6$

- عدد ناسلت متوسط با افزایش زاویه انحراف ابتدا تا زاویه 30° افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد.
- با افزایش عدد هارتمن در اعداد رایلی پایین، عدد ناسلت متوسط تا عدد هارتمن 10 افزایش می‌یابد، سپس کاهش می‌یابد.

در حالت محفظه مربعی تحت میدان مغناطیسی چرخانده شده:

- زمانی که میدان مغناطیسی تحت زوایای مشخص چرخانده می‌شود و بر یک محفظه مربعی افقی ثابت اعمال می‌گردد، عدد ناسلت متوسط با افزایش عدد هارتمن کاهش می‌یابد.
- عدد ناسلت متوسط تا زاویه 45° افزایش می‌یابد و سپس کاهش می‌یابد.
- مقدار عدد ناسلت متوسط در حالتیکه محفظه مربعی تحت زوایای معین چرخانده شده است نسبت به حالتی که میدان مغناطیسی اعمالی بر محفظه ثابت در زوایای مختلف چرخانده شده است دارای مقادیر کوچک‌تری است.

بهینه سازی:

- با افزایش عدد رایلی، زاویه بهینه کاهش می‌یابد. همان‌گونه که مشهود است، این کاهش در زاویه بهینه با افزایش عدد رایلی شدت بیشتری می‌گیرد.
- از طرف دیگر در اعداد رایلی پایین با افزایش عدد هارتمن، زاویه بهینه ابتدا کاهش یافته و سپس افزایش می‌یابد. همچنین در اعداد رایلی بالا هر چه عدد هارتمن افزایش یابد زاویه بهینه نیز افزایش می‌یابد.

7- فهرست علائم

B_0	شدت میدان مغناطیسی (Wbm^{-2})
C_p	گرمای ویژه ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
g	شتاب جاذبه ($m\ s^{-2}$)
H	ارتفاع محفظه (m)
Ha	عدد هارتمن
k	ضریب هدایت حرارتی ($Wm^{-1}K^{-1}$)
p	فشار (Pa)
T	دما (K)
W	عرض محفظه (m)
u	مؤلفه سرعت در راستای X
v	مؤلفه سرعت در راستای Y
U	مؤلفه سرعت بی بعد در راستای X
V	مؤلفه سرعت بی بعد در راستای Y

علائم یونانی

α	ضریب پخش حرارتی سیال (m^2s^{-1})
β	ضریب انبساط حرارتی سیال (K^{-1})
θ	دمای بی بعد
ϑ	لزجت سینماتیکی سیال (m^2s^{-1})
ρ	چگالی (kgm^{-3})
μ	لزجت دینامیکی ($kgm^{-1}s^{-1}$)
σ	ضریب رسانایی الکتریکی سیال
Φ	کسر حجمی نانوذرات

زیر نویس ها

f	سیال پایه
Nf	نانو سیال
p	نانوذرات

8- مراجع

- heat transfer of nanofluid in a triangular enclosure, *Modares Mechanical Engineering*, Vol.13, No.3, pp. 10-21, 2013. (In persian)
- [12] H. M. Elshehabey, F.M. Hady, S.E. Ahmed, R.A. Mohamed, Numerical investigation for natural convection of a nanofluid in an inclined L-shaped cavity in the presence of an inclined magnetic field, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 57, pp. 228-238, 2014.
- [13] A. Aghaei, H. Khorasanizadeh, G.H.A. sheikhzadeh, effects of magnetic field on mixed covection heat transfer and entropy generation of Cu-water nanofluid in trapezoidal enclosure, *Engineering material Journal*, Vol.14, No. 9, pp. 183-194, 2014. (In persian)
- [14] M. Famouri, K. Hooman, Entropy generation for natural convection by heated partitions in a cavity, *International Communications in Heat and Mass Ttransfer*, Vol. 35, no.4, pp.492-502, 2008.
- [15] M. Shahi, A.H. Mahmoudi, A. Honarbakhsh Raouf, Entropy generation due to natural convection cooling of a nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 37, No.7, pp. 972-983, 2011
- [16] C. Cho, C. Chen, K. Chen, Natural convection heat transfer and entropy generation in Wavy-wall enclosure containing water-based nanofluid, *International Journal of Heat and Mass Ttransfer*. Vol. 61, pp. 749-758, 2013.
- [17] G. A. Sheikhzadeh, M. Babaei, V. Rahmani, Numerical study of effect of applying a magnetic field on natural convection in a tilted square cavity with constant temperature sidewalls, *Engineering material Journal*, Vol.2, No. 3, pp. 249-265, 2010. (In persian)
- [18] A.E. Jery, N., Hidouri, M., Magherbi, A.B., Brahim, Effect of an external oriented magnetic field on entropy generation in natural convection, *Entropy*, Vol. 12, pp.1391-417, 2010.
- [19] H. Oztop, E. Abu-Nada, Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids, *International Journal of Heat Fluid Flow*, Vol. 29, pp. 1326-1336, 2008.
- [20] C.C. Cho, C.L. Chen, C.K., Chen, Natural convection heat transfer performance in complex-wavy wall enclosed cavity filled with nanofluid", *International Journal of Thermal Science*, Vol. 60, pp.255-263, 2012.
- [21] N. Rudraiah, R.M. Barron, M. Venkatachalappa, C.K. Subbaraya, Effect of a Magnetic Field on Free Convection in a Rectangular Enclosure, *International Journal of Engineering Science*, Vol. 33, No. 8, pp. 1075-1084, 1995.
- [22] H. Demuth, , M. Beale, *Neural Network toolbox For use With MATLAB*, Users guied, version.4, 2002.
- [1] A. Kasaeipoor, B. Ghasemi, A. Raisi, Magnetic field on nanofluid water-Cu natural convection in an inclined T shape cavity, *Modares Mechanical Engineering Journal*, 2014. (In Persian)
- [2] C.K. Cha, Y. Jaluria, Recirculating mixed convection flow for energy extraction, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 27, No. 10, pp. 1801-1812, 1984.
- [3] L.A.B. Pilkington, Review lecture: the float glass process, *Proceedings of the Royal Society of London A*, Vol. 314, pp. 1-25, 1969.
- [4] K., Khanafer, K. Vafai, M. Lightstone, Buoyancy driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 46, No. 19, pp. 3639-3653, 2003.
- [5] S.U.S. Choi, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. FED- 231/MD-66, in: D.A. Siginer, H.P. Wang (Eds.), *Developments and Applications of Non-newtonian Flows*, ASME, pp. 99-105, 1995 .
- [6] Y. Varol, H.F. Oztop, A comparative numerical study on natural convection in inclined wavy and flat-plate solar collectors, *Build. Environ.*, Vol. 43, pp. 1535-1544, 2008.
- [7] J. Rostami, Unsteady natural convection in an enclosure with vertical wavy walls, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 44 , pp. 1079-1087, 2008.
- [8] H.F. Oztop, E. Abu-Nada, Y. Varol, A. Chmkha, Natural convection in wavy enclosures with volumetric heat sources, *International Journal of thermal science.*, Vol. 50, pp. 502-514, 2011.
- [9] M.A. Teamah, W.M. El-Maghlany, Augmentation of natural convection heat transfer in Square cavity by utilizing nanofluids in the presence of magneticfield and uniform heat generation/absorbition, *International Journal of thermal science*, No. 58, pp. 130-142, 2012.
- [10] B. Ghasemi, S.M. Aminossadati, A. Raisi, Magnetic field effect on natural convection in a Nanofluid-filled square enclosure, *International Journal of Thermal sciences*, Vol. 50, No. 9, pp. 1748-1756, 2013.
- [11] A. Malekpoor, B. Ghasem, Effect of Magnetic field on free convection