



کمینه‌سازی میزان انتقال حرارت از محفظه‌های مستطیلی با جابه‌جایی آزاد در نسبت‌های منظری مختلف با یافتن مشخصات آرایه‌ای از پره‌های نازک عایق به وسیله الگوریتم کوچ پرندگان

سمیرا پایان*، آرمان عظیمی فر

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۵ تیر ۱۳۹۵
بازنگری: ۲ اسفند ۱۳۹۵
پذیرش: ۱۵ اسفند ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۲۳ اسفند ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:

جابه‌جایی آزاد
الگوریتم کوچ پرندگان
پره‌های نازک عایق
نسبت‌های منظری

چکیده: در این مقاله محاسبه مشخصات بهینه پره‌های نازک متصل به دیوار گرم در محفظه‌های بسته با جابه‌جایی آزاد در نسبت‌های منظری مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. معادلات پیوستگی، ممتوم و انرژی به‌وسیله روش حجم محدود، گسسته می‌شوند و معادلات به‌وسیله الگوریتم سیمپلر حل می‌شوند. پره‌ها روی دیوار گرم متصل می‌شوند و از الگوریتم بهینه‌سازی کوچ پرندگان برای بهینه‌سازی مکان و طول پره‌ها استفاده شده است. برای مدل‌سازی پره‌های با هدایت حرارتی بالا، ضرایب بدون بعد دیفیوژن معادلات ممتوم و انرژی بی‌نهایت، و برای مدل‌سازی پره‌های عایق ضرایب دیفیوژن معادلات ممتوم و انرژی به ترتیب بی‌نهایت و بسیار کوچک قرار داده شده است. هدف، یافتن مشخصات بهینه آرایه پره‌های متصل شده به دیوار گرم محفظه‌های مستطیلی است به نحوی که انتقال حرارت از دیوار سرد کمینه شود. برای این کار نتایج الگوریتم کوچ پرندگان با مقادیر مرجع مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم کوچ پرندگان قادر به پیدا کردن مشخصات بهینه آرایه‌ای از پره‌ها است که تا به حال با استفاده از روش‌های دیگر محاسبه نشده است. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش نسبت منظری و افزایش تعداد پره‌ها (افزایش تعداد متغیرها) ممکن است الگوریتم کوچ پرندگان توانایی لازم جهت یافتن بهینه کلی را نداشته باشد. این موضوع با چند تست عددی مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب با کاهش تعداد متغیرها (ثابت نگه داشتن مکان) و یافتن تنها طول هر یک از پره‌ها و همچنین افزایش تعداد ذرات در فضای نمونه مشخص شد دقت الگوریتم را می‌توان افزایش داد.

۱- مقدمه

مطالعه محفظه‌های با جابه‌جایی آزاد با دیواره‌های عمودی فعال به دلیل کاربرد فراوان این محفظه‌ها در صنعت، یکی از موضوعات جذاب برای محققین علوم گرمایی در دهه‌های اخیر بوده است. در بسیاری از کاربردها باید انتقال حرارت جابه‌جایی آزاد از محفظه را کاهش داد مانند فاصله بین دو شیشه در پنجره‌های دو جداره و یا بین پوشش شیشه‌ای و صفحه جذب در کلکتورهای خورشیدی که این مسئله در پژوهش پیش‌رو مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

تحقیقات زیادی در زمینه بهبود انتقال حرارت در محفظه‌های بسته با نسبت‌های منظری مختلف انجام شده است که اکثراً شامل اتصال پره نازک به دیواره گرم بوده است. در سال ۱۹۹۲ هسنایی و همکاران [۱] انتقال حرارت به‌وسیله جابه‌جایی آزاد در محفظه مستطیلی زاویه‌دار و عمودی با پره‌های عایق متصل شده به دیوار گرم را بررسی کردند. در مطالعه آن‌ها اعداد ریلی از 10^4 تا 2×10^5 ، نسبت طول به عرض از $2/5$ تا بی‌نهایت، طول بدون بعد پره از صفر تا ۱، فاصله بدون بعد پره‌ها از یکدیگر از $0/25$ تا ۲ و زاویه محفظه از صفر تا 60° تغییر می‌کرد. عدد پرانتل نیز $0/72$ بود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که طول بدون بعد پره تأثیر زیادی بر انتقال حرارت از محفظه دارد، و با کاهش فاصله بدون بعد پره‌ها، انتقال حرارت کاهش می‌یابد. آن‌ها همچنین نتیجه گرفتند با تغییرات مناسب پارامترهای هندسی

می‌توان انتقال حرارت از محفظه را نسبت به حالت بدون پره کاهش داد. در سال ۱۹۹۳ نگ و همکاران [۲] اثر یک پره ضخیم (با ضخامت $0/5$ تا 10 درصد عرض محفظه) با طولی معادل 20 درصد عرض محفظه را بررسی نمودند. در این تحقیق اثر رسانایی نسبی پره، از مقادیر خیلی کم (پره عایق) تا مقادیر بالا (پره کاملاً رسانا) مطالعه شد. نتایج حاصل نشان دهنده وجود یک مقدار خاص از ضخامت نسبی (حدود 2 درصد) بود که به ازای آن میزان انتقال حرارت حداقل می‌شد. نتایج این تحقیق اثر پره عایق در کاهش نرخ انتقال حرارت را نشان می‌داد. در سال ۱۹۹۷ لاخال و همکاران [۳] انتقال حرارت جابه‌جایی آزاد در محفظه‌های مستطیلی زاویه‌دار با پره‌های با هدایت حرارتی بالا، متصل شده به دیوار گرم را بررسی کردند. در مطالعه آن‌ها اعداد ریلی از 10^2 تا 2×10^5 ، نسبت طول به عرض از $2/5$ تا بی‌نهایت، طول بدون بعد پره از صفر تا ۱ و فاصله بدون بعد پره‌ها از یکدیگر از نسبت منظری تا $0/33$ و زاویه محفظه از صفر تا 60° تغییر می‌کرد. عدد پرانتل نیز $0/72$ بود. آن‌ها نتیجه گرفتند انتقال حرارت در محفظه متأثر از وجود پره‌ها است و در اعداد ریلی کم، انتقال حرارت هدایت حاکم است و زمانی که طول بدون بعد پره‌ها $0/75$ و فاصله بدون بعد پره‌ها از یکدیگر $0/33$ باشد، مقدار انتقال حرارت کاهش می‌یابد و این موضوع با افزایش زاویه نیز ادامه می‌یابد. در سال ۲۰۰۲ ادجالات و همکاران [۴] تأثیر دیوار گرم موج‌دار و زاویه شیب را روی اعداد ناسلت متوسط و محلی در یک محفظه موج‌دار مطالعه کردند. در سال ۲۰۰۳ شی و خدادادی [۵] اثر حضور یک پره نازک با رسانایی بی‌نهایت

عدد ناسلت متأثر از نسبت منظری است. در سال ۲۰۱۶ الاتار و همکاران [۱۱] اثر یک پره ضخیم با نسبت‌های هدایت حرارتی مختلف، روی عدد ناسلت متوسط از یک محفظه مربعی با دیوار عمودی فعال را در نظر گرفتند. نتایج به‌دست آمده از کار آن‌ها نشان داد، برخی عوامل مانند ضخامت پره برای نسبت هدایت حرارتی ۱۰ تا ۱۰۰ اثر کمی بر روی انتقال حرارت دارد و در نسبت هدایت حرارتی ۱۰۰۰ هیچ اثری ندارد. اما با افزایش طول پره و نسبت هدایت حرارتی انتقال حرارت افزایش می‌یابد.

برخی از کارها نیز در زمینه بهینه‌سازی محفظه‌های همراه با جابه‌جایی آزاد انجام شده است. در سال ۲۰۰۴ کولاکو و اورلاند [۱۲] روش گرادیان مزدوج را با مسئله الحاقی برای تشخیص همزمان شرایط مرزی در حفره‌های نامنظم دوبعدی همراه با جابه‌جایی آزاد اعمال کردند. در سال ۲۰۰۵ داسیلوا و جاسلین [۱۳] هندسه کانال‌های C و L شکل، در جابه‌جایی آزاد لایه‌ای را بهینه‌سازی کردند تا محدودیت‌های کلی را به‌دست آورند. هدف کمینه کردن آهنگ انتقال حرارت از دیوار گرم به دیوار سرد بود. آن‌ها ارتفاع، طول‌ها و فاصله را بهینه‌سازی کردند و نشان دادند برای شرایط مرزی خاص و اعداد ریلی کم، هدف مسئله که کاهش آهنگ انتقال حرارت است، ارضا خواهد شد. در سال ۲۰۰۹ پایان و همکاران [۱۴] از روش گرادیان مزدوج برای ارزیابی توزیع شار حرارتی روی دیوار گرم به منظور بهینه‌سازی انتقال حرارت روی دیوار سرد استفاده کردند. در سال ۲۰۱۰ آذرکیش و همکاران [۱۵] هندسه یک پره طولانی با تولید گرمای حجمی را بهینه‌سازی کردند. آن‌ها تأثیر دمای پایه، متغیرهای ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، صدور سطح و تولید گرمای حجمی را بر پروفیل پره، توزیع دما در طول پره و بازده پره به صورت عددی بررسی کردند. در سال ۲۰۱۰ آذرکیش و همکاران [۱۶] هندسه بهینه آرایه‌ای از پره‌های طولانی را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبود یافته با هدف بیشینه کردن آهنگ انتقال حرارت از آرایه پره‌ها به‌دست آوردند. در سال ۲۰۱۳ آیونال و همکاران [۱۷] یک محفظه زاویه‌دار با دیوارهای بالا و پایین عایق و دیوار راست گرم و دیوار چپ سرد را در نظر گرفتند. در سال ۲۰۱۶ عظیمی‌فر و پایان [۱۸] شکل بهینه محفظه‌های دو بعدی همراه با جابه‌جایی آزاد را با استفاده از بلوک‌های مشابه و با استفاده از الگوریتم کوچ پرنندگان در شرایط مرزی مختلف به‌دست آوردند. آنها به این نتیجه رسیدند که برای محفظه دوبعدی با شرایط مرزی دیوار بالا سرد و سه دیوار دیگر گرم با تغییر شکل میلی‌متری در دیوارهای گرم می‌توان انتقال حرارت از دیوار سرد را به میزان قابل توجهی افزایش داد.

با جستجوی گسترده در منابع و مآخذ مشاهده شد تا به حال هیچ الگوریتم بهینه‌سازی برای محاسبه موقعیت و طول پره‌های نصب شده بر روی دیوار گرم یک محفظه مستطیلی بسته با جابه‌جایی آزاد در نسبت‌های منظری مختلف انجام نشده است. با توجه به این‌که تا به حال تمامی تحقیقات انجام شده به روش سعی و خطا انجام شده است به نظر می‌رسد برخی از حالات ممکن، مورد بررسی قرار نگرفته باشد بنابراین لزوم استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در این موارد احساس می‌شود. به منظور ترکیب

را بر پدیده انتقال حرارت جابه‌جایی طبیعی در یک محفظه مربعی بررسی نمودند. در کار آن‌ها اثر یک پره با طول‌های مختلف ۲۰، ۳۵ و ۵۰ درصد عرض محفظه در مقادیر مختلف عدد ریلی و در هفت موقعیت مختلف روی دیوار گرم بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش نرخ انتقال حرارت در مقادیر بالای عدد ریلی، به صورت مستقل از طول و مکان پره است. همچنین نتایج بیانگر افزایش بیشتر در نرخ انتقال حرارت، در صورت قرارگیری پره در نزدیکی دیواره‌های عایق بوده است. در سال ۲۰۰۵ بیلگن [۶] اثر یک پره نازک با طول‌های مختلف (۱۰ تا ۹۰ درصد ارتفاع محفظه) را در موقعیت‌های مختلف روی دیواره گرم (۰ تا ۹۰ درصد ارتفاع محفظه) بررسی کرد. در تحقیق مذکور مقادیر مختلف رسانایی نسبی (۰ تا ۶۰) بررسی شده‌اند. نتایج بیانگر کاهش عدد ناسلت با افزایش طول پره و رسانایی نسبی بوده است. همچنین مشاهده شد که به ازای یک موقعیت خاص پره که اغلب نزدیک به مرکز محفظه است، نرخ انتقال حرارت جابه‌جایی کمینه می‌شود. در سال ۲۰۰۵ داسیلوا و جاسلین [۷] اثر پره کاملاً رسانا بر انتقال حرارت جابه‌جایی در یک محفظه مکعبی را بررسی نمودند. هدف آن‌ها بررسی اثر حجم پره و نسبت منظری پره بود. نتایج این تحقیق بیان کرد که در نسبت حجمی بالا (۱۰ درصد حجم محفظه)، نسبت منظری تأثیری در نرخ انتقال حرارت نخواهد داشت و نرخ انتقال حرارت به صورت یکنواخت با طول پره افزایش خواهد یافت. اما در نسبت حجمی کم (۰/۱ درصد حجم محفظه)، نرخ انتقال حرارت با نسبت منظری و طول افقی پره افزایش خواهد یافت. در سال ۲۰۰۶ آمباریتا و همکاران [۸] اثر دو پره عایق را بررسی کردند که به طور متقارن روی دیواره‌های افقی عایق نصب شده بودند. طول نسبی پره‌ها از ۰/۶ تا ۰/۷ و محل نصب آن‌ها از ۰/۲ تا ۰/۸ عرض محفظه تغییر می‌کرد. نکته قابل توجه در نتایج این تحقیق آن بود که آرایش پیشنهاد شده در یک جهت خاص تا ۹۸ درصد و در جهت دیگر تا ۴۲ درصد نسبت به حالت بدون پره، باعث افزایش انتقال حرارت شد. در سال ۲۰۰۷ بن ناخی و چامخا [۹] اثر پره با طول‌ها و زوایای نصب مختلف روی دیواره گرم محفظه را بررسی کردند. در مسأله مورد بررسی یکی از دیواره‌های عمودی که پره روی آن نصب شده بود، دارای ضخامتی ناچیز و دمای بالای آن ثابت بود و سه دیوار دیگر آن رسانایی و ضخامتی متناهی داشتند و سطح بیرونی آنها در یک دمای سرد ثابت قرار داشت. پره مورد بررسی کاملاً رسانا بوده و در وسط دیواره گرم نصب شده بود. بر اساس نتایج ارائه شده در کار آن‌ها می‌توان نتیجه گرفت که برای پره‌هایی با طول کم و به ازای رسانایی کم دیواره‌ها، کمترین میزان انتقال حرارت روی دیواره سرد به ازای زاویه نصب ۹۰ درجه حاصل خواهد شد. در سال ۲۰۱۱ نوگوارا و همکاران [۱۰] جابه‌جایی آزاد در محفظه‌های مستطیلی با نسبت طول به عرض مختلف را بررسی کردند. آنها محفظه‌ای با دیواره عمودی فعال و دیواره‌های افقی عایق را در نظر گرفتند. هدف آنها بررسی تأثیر نسبت منظری و عدد ریلی روی میدان جریان و انتقال حرارت در محفظه بود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که عدد ریلی تأثیر زیادی بر روی میدان جریان و انتقال حرارت و ضخامت لایه‌مرزی حرارتی دارد و همچنین

۲- تعریف مسأله

شکل ۱ یک محفظه دو بعدی که شامل سیال تراکم‌ناپذیر است را نشان می‌دهد. انتقال حرارت جابه‌جایی آزاد در محفظه غالب است و تقریب بوزینسک در آن به کار رفته است. دیوارهای بالا و پایین عایق هستند. دیوار سمت چپ در دمای t_h و دیوار سمت راست در دمای t_c قرار دارد. عرض محفظه L و ارتفاع آن H است. تعداد پره‌ها m طول بی‌پره‌ها A و B نسبت منظری (نسبت ارتفاع به عرض) محفظه است و به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شوند:

$$A = \frac{H}{L}, B_{fi} = \frac{x_{fi}}{L} \quad (1)$$

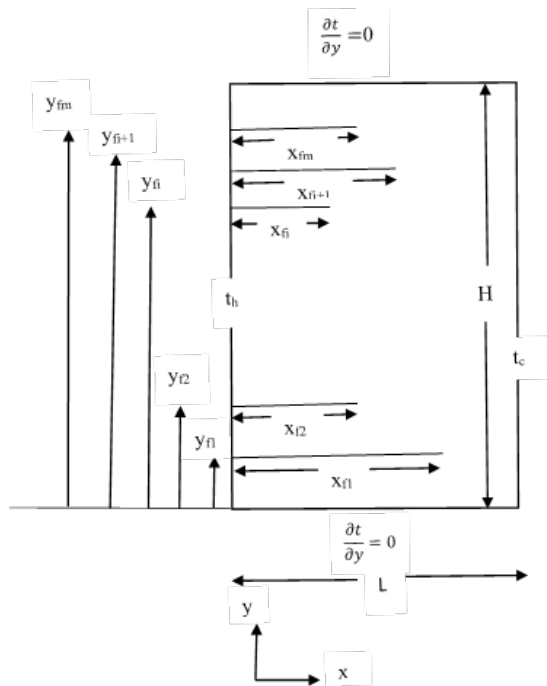


Fig. 1. Schematic of the rectangular cavity with optimal characteristics of array fins attached to the hot wall

شکل ۱: طرح‌واره محفظه مستطیلی با مشخصات بهینه آرایه پره‌ها متصل شده به دیوار گرم

هر پره نازک شامل یک طول و یک موقعیت است که از پایین محفظه اندازه‌گیری می‌شود. این دو پارامتر مشخصه‌های یک پره نامیده می‌شوند. هدف، پیدا کردن مشخصه‌های بهینه آرایه‌ای از پره‌های نازک متصل شده به دیوار گرم یک محفظه با جابه‌جایی آزاد است به طوری که مقدار انتقال حرارت از دیواره سرد کمینه شود. پره‌های داخل محفظه قادر به کنترل مقدار انتقال حرارت از محفظه هستند. این کنترل به واسطه تأثیر پره‌ها بر روی حرکت جریان جابه‌جایی آزاد و همین‌طور افزایش سطح در صورت وجود ضریب هدایت حرارتی مشخص پره‌ها است. همان‌طور که در شکل ۲(الف) مشاهده می‌شود، ابتدا الگوریتم کوچ پرندگان یک جفت مختصات (x, y) برای هر پره در بازه مورد نظر طراح انتخاب می‌کند که x طول هر پره و y موقعیت آن می‌باشد. سپس این متغیرها را از فضای پیوسته بین مقادیر کمینه

الگوریتم بهینه‌سازی با جابه‌جایی آزاد از یک مدل ساده استفاده شده است. ابتدا یک سری پره با هدایت حرارتی بالا بر روی دیوار گرم نصب شد به طوری که میزان انتقال حرارت از محفظه کاهش یابد. نتایج به دست آمده حاکی از به دست آوردن شرایطی بود که تا به حال با استفاده از روش سعی و خطا به دست نیامده است. در ادامه از آن‌جا که هدف از این مقاله کاهش میزان انتقال حرارت است، ۴ پره عایق در دو نسبت منظری ۲ و ۴ به دیوار عایق متصل شدند. نتایج الگوریتم بهینه‌سازی در نسبت منظری ۲ در هر دو عدد ریلی، پره‌های با طول یکسان 0.5 را به دست آورد. همچنین در هر دو عدد ریلی، پره‌ها در فواصل تقریباً مساوی 0.4 از هم قرار گرفتند. نتایج الگوریتم بهینه‌سازی در نسبت منظری ۴ در عدد ریلی 10^4 ، پره‌های با طول تقریباً یکسان در بازه $(0.33-0.4)$ و در عدد ریلی 10^5 اندکی بیشتر از عدد ریلی 10^4 در بازه $(0.36-0.44)$ را به دست آورد. همچنین در هر دو عدد ریلی، پره‌ها در فواصل تقریباً مساوی 0.8 قرار گرفتند. سپس برای کاربردی شدن مسئله، مسئله بهینه‌سازی در نسبت منظری 10 به کار گرفته شد. در این مسئله به واسطه افزایش نسبت منظری، تعداد متغیرهای بیشتر برای دست یافتن به کاهش بیشتر انتقال حرارت در نظر گرفته شد. اما افزایش دامنه حل و افزایش تعداد متغیرها (افزایش تعداد پره‌ها) از دقت الگوریتم کوچ پرندگان می‌کاهد، بنابراین تعدادی تست با کاهش تعداد متغیرها (با ثابت نگه داشتن مکان آن‌ها و تنها یافتن طول) و افزایش تعداد ذرات فضای نمونه بر روی نتایج الگوریتم انجام شد. ابتدا با افزایش تعداد ذرات از 40 به 100 با 18 متغیر (۹ مکان و ۹ طول برای پره‌ها) دیده شد که میزان تابع هدف و در نتیجه آن میزان ناسلت تغییر کرده است اما تابع هدف حتی با وجود 100 ذره تا تکرار آخر تغییر می‌کرد. بنابراین اطمینان از بهینه بودن آن معقول نبود، لذا با توجه به نتایج قسمت قبل که دیده شد الگوریتم کوچ پرندگان در دو نسبت منظری ۲ و ۴ تعدادی پره را با فواصل مساوی از هم قرار داده است، در نسبت منظری 10 نیز با ثابت نگه داشتن ۹ پره در فواصل ۱ از هم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی، طول هر پره محاسبه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که کاهش دامنه حل حتی با تعداد 40 ذره، تأثیر بیشتری بر درصد کاهش دارد (هنگامی که طول پره‌ها متغیر باشند دامنه تغییرات نهایتاً از صفر تا ۱ است، البته در این مقاله در بیشتر موارد حداکثر طول مورد بررسی 0.5 است). همچنین می‌توان برای سادگی در اعمال و نصب پره‌ها، علاوه بر ثابت نگه داشتن مکان آن‌ها، تنها یک طول بهینه برای تمامی آن‌ها با استفاده از الگوریتم کوچ پرندگان به دست آورد. که این بررسی نیز انجام شده است. در این بررسی مشاهده شد که نتایج از حالت ۹ متغیر بدتر و از حالت ۱۸ متغیر بهتر است. طبق نتایج به دست آمده، توصیه می‌شود الگوریتم مورد استفاده در نسبت‌های منظری بزرگ‌تر تغییر کند یا برای سادگی، تنها طول آن‌ها به عنوان مجهول محاسبه شود.

به این ترتیب حل ارائه شده در این مقاله می‌تواند جایگزین مناسبی برای حل به روش سعی و خطا در این گونه مسائل برای کاهش انتقال حرارت در محفظه‌های بسته با جابه‌جایی آزاد باشد.

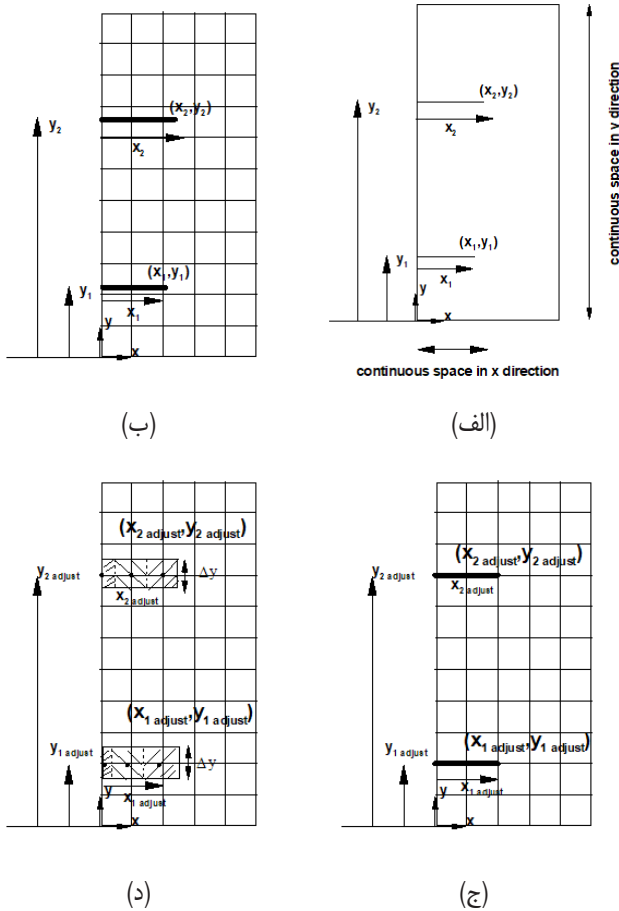


Fig. 2. a) finding of coordinates (x,y) for each fin by PSO b) different between PSO and Natural convection grids c) adjustment of fins location on the nearest grids d) set of infinite value for non-dimensional diffusion parameter in momentum equation and R_k/pr value in energy equation for control volumes inside the fin

شکل ۲: الف) پیدا کردن جفت مختصات (x,y) برای هر پره بوسیله الگوریتم کوچ پرندگان ب) اختلاف شبکه الگوریتم کوچ پرندگان با شبکه جابجایی آزاد ج) قرار دادن پره های به دست آمده روی نزدیک ترین نقاط شبکه دامنه فیزیکی د) قرار دادن مقادیر بی نهایت بدون بعد دیفیوژن در معادله ممنتوم و R_k/pr برای پره های با هدایت حرارتی مشخص در معادله انرژی برای حجم های کنترل در برگرفته نقاط داخل پره

سرعت صفر در سیال شده و یک جامد را ایجاد می کند و با برابر قرار دادن انرژی حرارتی هدایتی در سطح مشترک جامد با سیال عبارتی ظاهر می شود که با اعمال آن در معادله انرژی شرط تعادل گرمایی در سطح مشترک جامد-سیال برقرار می گردد. این پارامتر R_k نام دارد. این پارامتر که در معادله انرژی ظاهر شده است، به صورت $R_k = k_f / k_{air}$ تعریف می شود که در آن k_f ضریب هدایت حرارتی پره و k_{air} ضریب هدایت حرارتی هوا است. در واقع تنها با تعریف دو ضریب دیفیوژن در معادلات، لازم نیست معادلات حاکم بر سیال و جامد جداگانه حل گردد و سپس با شرایط مرزی مشترک به هم متصل شوند. بلکه هر کجا سیال وجود داشته باشد ضرایب دیفیوژن در معادله ممنتوم برابر یک و در معادله انرژی $1/pr$ قرار داده می شوند و هر کجا پره ایجاد گردد ضرایب دیفیوژن در معادلات ممنتوم بی نهایت و در معادله انرژی

و بیشینه محفظه و البته طبق دستور طراح انتخاب می کند. شکل ۲(ب) نشان می دهد که پره های انتخاب شده توسط الگوریتم کوچ پرندگان ممکن است روی شبکه برنامه جابه جایی آزاد قرار نگیرند. این پره ها توسط یک زیر برنامه به نزدیک ترین نقاط شبکه متصل می شوند (شکل ۲(ج)). در زیر برنامه نوشته شده مختصات x_{grid} تمامی شبکه برای حل جابه جایی آزاد با x انتخاب شده توسط الگوریتم کوچ پرندگان و مختصات y_{grid} تمامی شبکه برای حل جابجایی آزاد با y انتخاب شده توسط الگوریتم کوچ پرندگان مقایسه می شوند و کمینه این مقادیر نشان دهنده نزدیکی بیشتر x با یک x_{grid} و y با یک y_{grid} است. سپس موقعیت x و y به ترتیب به موقعیت نزدیک ترین شبکه جابه جایی آزاد که x_{adjust} و y_{adjust} نامیده می شوند تغییر می کند. در آخر به این نقاط شبکه، ضرایب بدون بعد فوق العاده بزرگ لزجت (در جریان سیال به حجم کنترل اطراف هر گره در ناحیه ایجاد پره یک ضریب لزجت بزرگ) و ضریب هدایت حرارتی R_k/pr برای برقراری شرط تعادل گرمایی در سطح مشترک جامد-سیال تخصیص داده می شود تا به این وسیله پره های نازک با ضریب هدایت حرارتی مشخص در جریان سیال مدل گردند (شکل ۲(د)). همچنین برای پره های جامد عایق داخل جریان سیال، از ضریب هدایت حرارتی بسیار پایین علاوه بر ضریب بدون بعد فوق العاده بزرگ لزجت استفاده شده است.

۲-۱- مسئله مستقیم

معادلات حاکم بر جابه جایی آزاد، شامل یک مجموعه ای از معادلات دیفرانسیل جزئی غیر خطی است. این معادلات شامل معادلات پیوستگی، ممنتوم و انرژی می شود. برای مسئله خاص جابه جایی آزاد، معادله انرژی با معادله ممنتوم بوسیله تقریب بوزینسک ترکیب می شود.

$$\tilde{n} = \tilde{n}_0 [1 - \hat{a}(t - t_0)] \quad , \quad t_0 = \frac{t_h + t_c}{2} \quad (2)$$

شکل بی بعد معادلات حاکم به شکل زیر است:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (3)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \tilde{A} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (4)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \tilde{A} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + GrT \quad (5)$$

$$U \frac{\partial T}{\partial X} + V \frac{\partial T}{\partial Y} = \frac{R_k}{pr} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} \right) \quad (6)$$

که مقدار Γ برای سیال یک و برای جامد برابر بی نهایت می باشد. بی نهایت قرار دادن ضریب بی بعد دیفیوژن در این معادلات موجب تولید

در زیربرنامه، جابه‌جایی برای پره‌های اعمال شده مقدار بدون بعد لزجت بی‌نهایت و ضریب هدایت حرارتی بی‌بعد، برای پره‌های عایق ناچیز قرار داده می‌شود و مسئله جابه‌جایی همان‌طور که به طور مفصل در حل مسئله مستقیم توضیح داده شد، برای تعامل بین سیال و جامد حل می‌شود.

$$X_{f,m} = \{X_{f,1}, X_{f,2}, \dots, X_{f,i}, X_{f,M_f}\}, \quad (16)$$

$$0.0 \leq X_{f,m} \leq 0.4937$$

$$Y_{f,m} = \{Y_{f,1}, Y_{f,2}, \dots, Y_{f,i}, Y_{f,M_f}\}, \quad (17)$$

$$0.0125 \leq Y_{f,m} \leq A - 0.0125$$

در اینجا X_{fi} و Y_{fi} به ترتیب اندازه‌ها و موقعیت پره‌ها پارامترهای مجهول هستند که بازه تغییرات مکان پره‌ها (Y_{fi}) و طول آن‌ها (X_{fi}) در معادلات (۱۶) و (۱۷) آورده شده است.

$$\overline{Nu}_c = \frac{1}{H} \sum_{nd=1}^R Nu_{d,nd} \Delta Y \quad (18)$$

$$\overline{Nu}_e = \frac{1}{H} \sum_{nd=1}^R Nu_{e,nd} \Delta Y \quad (19)$$

در معادلات (۱۸) و (۱۹)، $Nu_{e,nd}$ و $Nu_{d,nd}$ به ترتیب اعداد ناسلت مطلوب و ارزیابی شده بر روی هر گره موجود بر روی دیوار سرد هستند. \overline{Nu}_c متوسط مقدار ناسلت بر روی دیوار سرد در حالت بدون پره است. همچنین \overline{Nu}_e میزان متوسط ناسلت محاسبه شده در هنگام نصب پره‌ها با مشخصات تعیین شده توسط الگوریتم بهینه‌سازی است.

در اینجا R تعداد گره‌ها روی دیوار سرد است و nd نشان‌دهنده شماره گره‌ها روی دیوار سرد است.

پاسخ این مسئله براساس کمینه کردن یک تابع هدف است که بوسیله رابطه (۲۰) بیان می‌شود.

$$G((X_{f,m}, Y_{f,m})) = |B \overline{Nu}_c - \overline{Nu}_e(X_{f,m}, Y_{f,m})| \quad (20)$$

که \overline{Nu}_c عدد ناسلت متوسط روی دیوار سرد است و B یک مقدار ثابت است که برای هدف کاهش انتقال حرارت کوچک‌تر از یک است به طوری که $B \overline{Nu}_c$ برابر ۱ گردد.

۳- الگوریتم کوچ پرندهگان

در دهه‌های اخیر الگوریتم کوچ پرندهگان در سراسر جهان به‌خاطر توانایی جستجوی بالا و سادگی، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. الگوریتم کوچ پرندهگان رفتار هجوم انبوه پرندهگان و هوش ماهی‌ها را شبیه‌سازی می‌کند که هر دو در شیوه‌ای مشترک کار می‌کنند تا برای جستجوی غذا به صورت سریع و مؤثر عمل کنند. الگوریتم کوچ پرندهگان یک جمعیت تصادفی

R_k/pr قرار می‌گیرد.

متغیرهای بدون بعد عبارتند از:

$$X = (x / L); Y = (y / L) \quad \square U = \frac{u}{(\delta/L)}; V = \frac{v}{(\delta/L)} \quad (7)$$

$$P = \frac{\tilde{p} - p_0}{\tilde{n}_0 (\delta/L)^2}; T = \frac{t - t_c}{t_H - t_c} \quad (8)$$

و گروه‌های بدون بعد Pr ، Gr و Ra که به ترتیب اعداد گرافش، پراتل و ریلی نام دارند به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$Gr = \frac{\tilde{g} t (t_H - t_c)^3}{\delta^2} \quad (9)$$

$$Pr = \frac{\delta}{a} \quad (10)$$

$$Ra = Gr Pr \quad (11)$$

شرایط مرزی عبارتند از:

$$U = 0, V = 0, T(Y) = I \quad (12) \quad \text{روی دیوار گرم}$$

$$U = 0, V = 0, T(Y) = 0 \quad (13) \quad \text{روی دیوار سرد}$$

$$U = 0, V = 0, Q(X) = 0 \quad (14) \quad \text{روی بقیه دیوارها}$$

$$Q = \partial T / \partial Y \quad (15) \quad \text{روی دیوارهای فعال}$$

مجموعه معادلات (۳)، (۴)، (۵) و (۶) به‌وسیله روش حجم محدود حل می‌شوند. یک شبکه جابه‌جا شده برای گسسته‌سازی معادلات سرعت استفاده شده است تا اثر میدان سرعت در نظر گرفته شود. روش توان پیرو برای جداسازی معادلات استفاده شده است. معادلات وابسته سرعت-فشار با استفاده از الگوریتم تکراری سیمپلر حل شده است.

۲-۲- مسئله بهینه‌سازی

برای مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده، مکان پره‌ها Y_{fi} و طول پره‌ها X_{fi} مجهول است و عدد ناسلت متوسط روی دیواره سرد $B \overline{Nu}_c$ در دسترس است.

برای حل کردن چنین مسئله‌ای مختصات مجهول (X_{fi} ، Y_{fi}) برای i امین پره روی دیوار گرم از یک فضای پیوسته انتخاب می‌شود. این پره‌ها در نزدیکترین مکان مطابق با شبکه موجود، طبق زیربرنامه توضیح داده شده (شبکه برای حل معادلات حاکم به وسیله روش حجم محدود) در مسئله جابه‌جایی آزاد، متصل می‌شوند.

$$\omega(t) = \frac{(t_{max} - t)(\omega_{start} - \omega_{end})}{t_{max}} + \omega_{end}(t) \quad (29)$$

که t_{max} بیشینه شمارنده است.

عموماً مقادیر $VI_i(t)$ و $XI_i(t)$ باید به ترتیب در بازه‌های $[XI_{min}, XI_{max}]$ و $[VI_{max}, -VI_{max}]$ قرار می‌گیرند. VI_{max} و XI_{min} به ترتیب حد بالای متغیرهای طراحی و بیشینه سرعت ذرات هستند. در این مقاله VI_{max} به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$VI_{max}(t) = 0.1 \times (XI_{max} - XI_{min}) \quad (30)$$

طبق الگوریتم کوچ پرندگان مراحل حل روش بهینه‌سازی به صورت زیر است:

۱. تنظیم مقادیر اولیه موقعیت و سرعت ذرات، در سراسر دامنه امکان پذیر طبق قیود گفته شده در معادلات (۱۶) و (۱۷)
۲. تنظیم پرها در نزدیک ترین شبکه برنامه جابه‌جایی آزاد طبق زیربرنامه بیان شده
۳. به دست آوردن مقدار تابع هدف با استفاده از موقعیت ذرات از معادله (۲۰)
۴. به روز کردن موقعیت بهینه هر ذره $PI_i(ite)$ و مقدار بهینه عمومی موقعیت ذرات $PI_g(ite)$ در هر تکرار
۵. به روز کردن موقعیت سرعت هر ذره با استفاده از مقادیر قبلی
۶. کاهش دادن مقدار ω همانطور که شرح داده شد.
۷. تکرار گام ۲ تا ۶ تا رسیدن به معیار توقف که در این مقاله مقدار 0.000001 برای تابع هدف در نظر گرفته شده است، می باشد. همچنین بیشینه تکرار در این الگوریتم ۱۰۰ تکرار به منظور کمینه‌سازی استفاده شده است.
۸. چاپ مقدار بهینه $PI_g(ite)$ (مکان و طول بهینه پره)

۴- نتایج و بحث

۴-۱- اعتبارسنجی یک مدل ساده

برای مدل کردن پره‌های با هدایت حرارتی بالا، ضرایب بدون بعد دیفیوژن در معادله ممتوم و انرژی بی‌نهایت قرار داده می‌شود. برای اعتبارسنجی مدل‌سازی پرها داخل جریان سیال همراه با جابه‌جایی آزاد، از مقاله لاخل و همکاران [۳] استفاده شده است.

در شکل ۳ یک محفظه با دیواره‌های عمودی فعال و دیواره افقی عایق در نظر گرفته شده است. عرض محفظه L و ارتفاع محفظه H ، دمای دیوار سمت چپ t_h و دمای دیوار سمت راست t_c طول پره‌ها L' و فاصله پرها از یکدیگر H' است. طول و فاصله پرها برابر است. در این مقاله طول بدون بعد پرها (B) به صورت 0 ، 0.25 ، 0.5 ، 0.75 و 1 ، تعداد حفره‌های کوچک ایجاد شده (n) (تعریف شده در معادلات (۳۱) و (۳۲)) به صورت ۵،

از جواب‌ها را تولید می‌کنند که این جمعیت مقدار بهینه را جستجو می‌کند. هر پرنده یک ذره نامیده می‌شود. ذرات اکثراً در سرعت ثابت پرواز می‌کنند و در طول فرایند بهینه‌سازی بهترین مکان جمعی را پیدا می‌کنند. در هر تکرار، سرعت هر ذره براساس سرعت فعلی، بهترین موقعیت تجربه شخصی و بهترین موقعیت تجربه عمومی به روز می‌شود [۱۹].

به ترتیب موقعیت ذره i ام، سرعت و بهترین موقعیت هر ذره به صورت زیر بیان می‌شود.

$$XI_i(ite) = [xi_{i1}(ite), xi_{i2}(ite), \dots, xi_{iN}(ite)] \quad (21)$$

$$VI_i(ite) = [vi_{i1}(ite), vi_{i2}(ite), \dots, vi_{iN}(ite)] \quad (22)$$

$$PI_i(ite) = [pi_{i1}(ite), pi_{i2}(ite), \dots, pi_{iN}(ite)] \quad (23)$$

همچنین بهترین موقعیت عمومی ذرات در هر تکرار به صورت زیر بیان می‌شود:

$$PI_g(ite) = [pi_{g1}(ite), pi_{g2}(ite), \dots, pi_{gN}(ite)] \quad (24)$$

موقعیت ذره و سرعت به صورت زیر تغییر می‌کند [۲۱-۲۰]:

$$vi_{ij}(t+1) = \omega(t)vi_{ij}(t) + C_1r_1[pi_{ij}(t) - xi_{ij}(t)] + C_2r_2[pi_{gj}(t) - xi_{ij}(t)] \quad (25)$$

$$xi_{ij}(ite+1) = xi_{ij}(ite) + vi_{ij}(ite) \quad (26)$$

ثابت‌های C_1 و C_2 ثابت‌های شتاب با مقدار مثبت هستند که به ترتیب پارامترهای شناختی و اجتماعی نامیده می‌شوند. r_1 و r_2 به ترتیب اعداد تصادفی بین صفر و یک هستند و دامنه Nt و C_1 و C_2 به صورت زیر است [۲۲]:

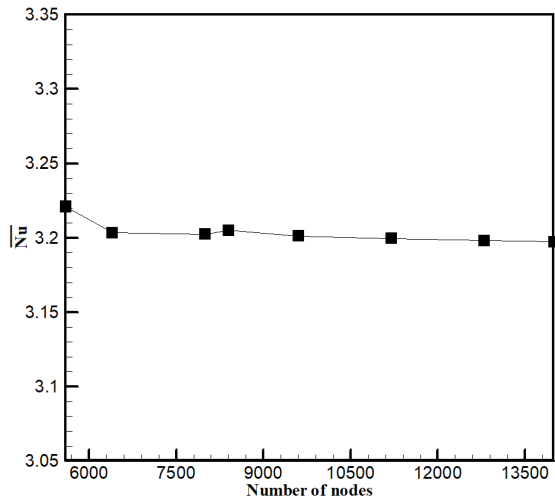
$$C_1 + C_2 \leq 4 \quad (27)$$

$$20 \leq Nt \leq 100 \quad (28)$$

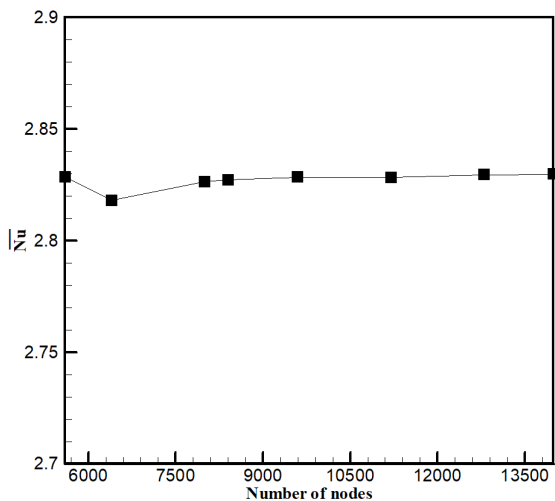
که N و Nt به ترتیب تعداد متغیرها و ذرات هستند.

ضریب وزنی اینرسی ω یک پارامتر کنترلی است که برای کنترل تأثیر سرعت قبلی بر روی سرعت جدید استفاده می‌شود. بهترین دیدگاه این است که ابتدا مقدار ω بزرگ در نظر گرفته شود تا جستجوی عمومی بزرگی انجام گیرد و رفته رفته مقدار آن را کاهش داده تا به مقادیر محلی بهتری نزدیک پایان فرآیند بهینه‌سازی دست یابد. به منظور جلوگیری از نوسان در نزدیک بهترین مکان عمومی، ω به صورت کاهشی و خطی در بازه $[0.7, 1.0]$ یا $[0.4, 0.9]$ انتخاب می‌شود.

است. نتایج به دست آمده از این حالت نیز شبکه 80×120 را از نظر دقت و زمان انجام محاسبات تأیید نمود.



(الف)



(ب)

Fig. 4. a) Results of grid independence for aspect ratio 10 and Rayleigh number 10^5 and without fin b) results of grid independence for aspect ratio 10 and Rayleigh number 10^5 and 4 fins

شکل ۴: الف) نتایج استقلال شبکه برای نسبت منظری 10 و عدد ریلی 10^5 و حالت بدون پره ب) نتایج استقلال شبکه برای نسبت منظری 10 و عدد ریلی 10^5 و حالت 4 پره

در اشکال ۵ (الف) تا ۵ (ج) اعداد ناسلت متوسط دیوار سرد برای اعداد ریلی مختلف و تعداد حفره‌های کوچک ایجاد شده (n) با کار لاخال و همکاران [۳] مقایسه شده است. با توجه به شکل ۳ نسبت منظری میکرو حفره‌ها (C) و تعداد حفره‌های کوچک (n) ایجاد شده به صورت زیر تعریف شده است:

$$C = \frac{H'}{L}, n = \frac{A}{C} = m + 1, B = \frac{L'}{L} \quad (31)$$

10 و 20 و عدد ریلی از 100 تا 10^5 تغییر می‌کند. نسبت منظری میکرو حفره‌ها (حفره‌های کوچک) (C) 0.5 است.

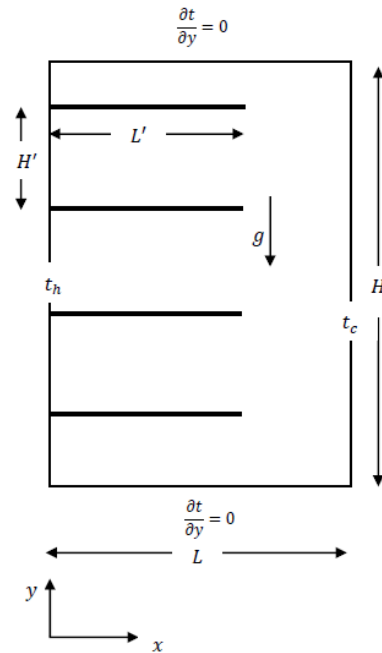


Fig. 3. Schematic of used cavity for validation of the simple model
شکل ۳: طرح‌واره محفظه به کار رفته برای اعتبارسنجی مدل ساده

برای بررسی استقلال شبکه، شبکه‌های مختلف برای محفظه با مشخصات ($Pr=0.72$, $Ra=10^4$, $A=10/10$) و بدون پره امتحان گردید. نتایج بدست آمده در شکل ۴ (الف) که بیان کننده ناسلت متوسط دیواره سرد است نشان داد که شبکه 80×120 که متناسب با 9600 گره است، از نظر دقت و زمان محاسبات، شبکه مناسبی برای حل می‌باشد. استقلال شبکه با ثابت در نظر گرفتن تعداد گره‌ها در جهت y که در اینجا 140 گره در نظر گرفته شده است شروع شده و تعداد نقاط در جهت x از 40 تا 100 با گام 20 گره (40×140 و 60×140 و 80×140 و 100×140) افزایش یافت در این حالت تعداد گره 80 با مقایسه عدد ناسلت دیوار سرد نسبت به شبکه‌های دیگر، برای جهت x انتخاب شده و با ثابت نگه داشتن آن و این بار افزایش تعداد گره‌ها در جهت y از 80 تا 160 با گام 20 شبکه (80×80 و 80×100 و 80×120 و 80×140) به جز دو شبکه نهایی که گام آن‌ها 40 شبکه جهت اطمینان از نتایج استقلال شبکه در نظر گرفته شده است، مورد بررسی قرار گرفت. انتخاب 120 گره با مقایسه ناسلت متوسط دیوار سرد تأیید گردید و نهایتاً شبکه 80×120 از نظر دقت و زمان انجام محاسبات برگزیده شد. این بررسی در شکل ۴ (الف) نشان داده شده است. همچنین این شبکه برای محفظه با پره نیز مناسب است. استقلال شبکه با وجود پره با در نظر گرفتن 4 پره با طول برابر 0.75 و فواصل مساوی از هم که بر روی دیوار گرم متصل شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی همانند حالت بدون پره که توضیح داده شد، صورت گرفت که در شکل ۴ (ب) نشان داده شده

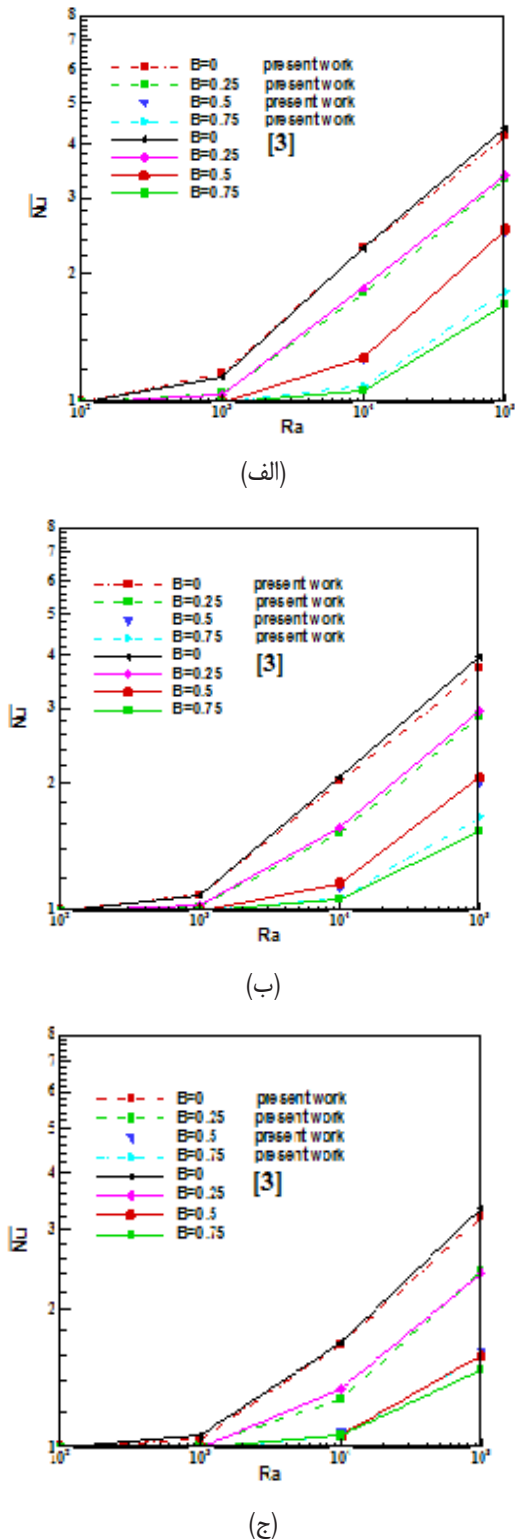


Fig. 5. The comparison of average Nusselt numbers on the cold wall as a function of Rayleigh number using present model and Lakhali et al. [3] work for $C=0.5$ and various B a) $n=5$ b) $n=10$ c) $n=20$

شکل ۵: مقایسه عدد ناسلت متوسط روی سطح سرد به عنوان تابعی از عدد ریلی با استفاده از مدل حاضر و کار لاخال و همکاران [۳] برای $C=0.5$ و B های مختلف (الف) $n=5$ (ب) $n=10$ (ج) $n=20$

$$A = \frac{H}{L} \quad (32)$$

همانطور که از اشکال ۵(الف) تا ۵(ج) مشخص است مدل اعمال شده تطابق خوبی با کار لاخال و همکاران [۳] دارد. بنابراین این روش قابل اعمال برای ایجاد تعامل بین جامد و سیال می‌باشد.

۴-۲- اهمیت الگوریتم کوچ پرندگان در کمینه‌سازی انتقال حرارت جابه‌جایی آزاد محفظه‌های مستطیلی با اعمال پره
برای لزوم استفاده از روش بهینه‌سازی در محفظه‌های با جابه‌جایی آزاد نتایج به دست آمده از الگوریتم کوچ پرندگان به منظور کاهش انتقال حرارت از محفظه با مرجع [۳] مقایسه شده است. در مرجع [۳] عدد ناسلت متوسط دیوار سرد به صورت زیر محاسبه شده است. نتایج الگوریتم کوچ پرندگان و مرجع [۳] در جدول ۱ مقایسه شده اند.

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{h}L}{k} = \frac{1}{A} \int_0^A \frac{\partial T}{\partial x} dy \quad (33)$$

که Q_c انتقال حرارت بدون بعد با وجود پرها و حاکم بودن انتقال حرارت هدایت خالص است.

نتایج نشان می‌دهد که روش سعی و خطا که توسط مرجع [۳] استفاده شده است قادر به پیدا کردن مکان‌های بهینه پرها برای هدف کاهش انتقال حرارت نیست و باید از الگوریتم بهینه‌سازی کوچ پرندگان برای یافتن مشخصات آرایه پرها استفاده کرد. اگرچه در این قسمت به منظور مقایسه نتایج الگوریتم کوچ پرندگان با روش‌های قدیمی از تعریف ناسلت در مرجع [۳] با رابطه (۳۳) استفاده شده است، اما باید خاطر نشان کرد که برای درک بهتر و واقعی از میزان کاهش باید میزان ناسلت در حالت با پره و بدون پره را با یکدیگر مقایسه نمود. بنابراین در دیگر مسائل ذکر شده، از این پس، این هدف مورد نظر قرار گرفته است.

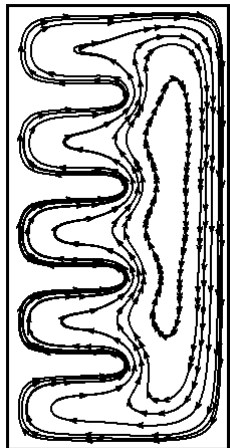
۴-۳- مسئله نمونه ۱

در شکل ۶ محفظه با دیواره‌های عمودی فعال و دیوارهای افقی عایق که چهار پره عایق به دیوار گرم آن متصل شده است در نظر گرفته شده است. هدف مسئله به دست آوردن مشخصات بهینه آرایه‌ای از پرها است طوری که نرخ انتقال حرارت از دیوار سرد کمینه شود. بیشینه طول پره ۰/۵ در نظر گرفته شده است. این بررسی برای اعداد ریلی 10^4 و 10^5 و نسبت منظری ۲ و ۴ انجام شده است. در ستون آخر جدول ۲ مقادیر عدد ناسلت در محفظه بدون پره با مرجع [۲۵] مقایسه شده است. همچنین خطوط هم‌تراز دما و جریان برای حالت بهینه‌سازی شده به ترتیب برای نسبت‌های منظری ۲ و ۴ و در اشکال ۷ و ۸ نمایش داده شده است. درصد کاهش به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

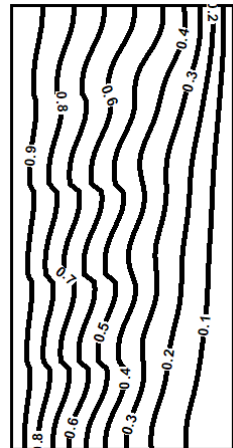
جدول ۱: مقایسه نتایج الگوریتم کوچ پرندگان و مرجع [۳]

Table 1. The comparison of particle swarm algorithm and reference [10] results

درصد کاهش کار حاضر	عدد ناسلت کار حاضر	درصد کاهش [۳]	عدد ناسلت [۳]	تعداد پره‌ها	Ra	A
۳۰/۶	۱/۱۶۹	۲/۴	۱/۶۴۴	۴	10^4	۱۰
۶۷/۷	۱/۰۳۳	۱۱/۶	۲/۸۲۹	۴	10^5	۱۰

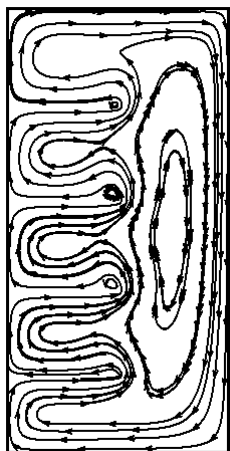


خطوط هم‌تراز جریان

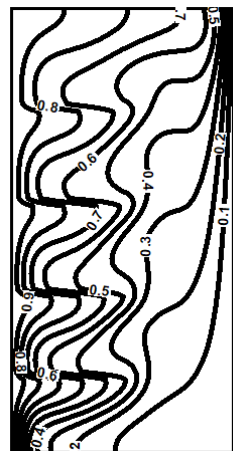


خطوط هم‌تراز دما

عدد ریلی 10^4



خطوط هم‌تراز جریان



خطوط هم‌تراز دما

عدد ریلی 10^5

Fig. 7. Isothermal and stream lines at Rayleigh numbers 10^4 and 10^5 and $A=2$

شکل ۷: خطوط هم‌تراز دما و جریان در اعداد ریلی 10^4 و 10^5 و $A=2$

(۰/۳۶-۰/۴۴) را به‌دست آورد.

اما تفاوت در دو نسبت منطقی مربوط به طول پره‌ها است. این موضوع می‌تواند با افزایش ضخامت لایه مرزی سرد توضیح داده شود. به این ترتیب که با افزایش نسبت منطقی، توده سیال سرد از دیوارها فاصله می‌گیرد و این امکان وجود دارد که هنگامی که جریان در اثر برخورد با پره عایق شروع به حرکت موازی بر روی آن می‌کند، اگر امتداد پره در داخل جریان

$$err\% = \frac{\overline{Nu}_{e, optimization} - \overline{Nu}_c}{\overline{Nu}_c} \quad (34)$$

که ناسلت در این روابط به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{h}L}{k} = \frac{1}{A} \int \frac{\partial T}{\partial x} dy \quad (35)$$

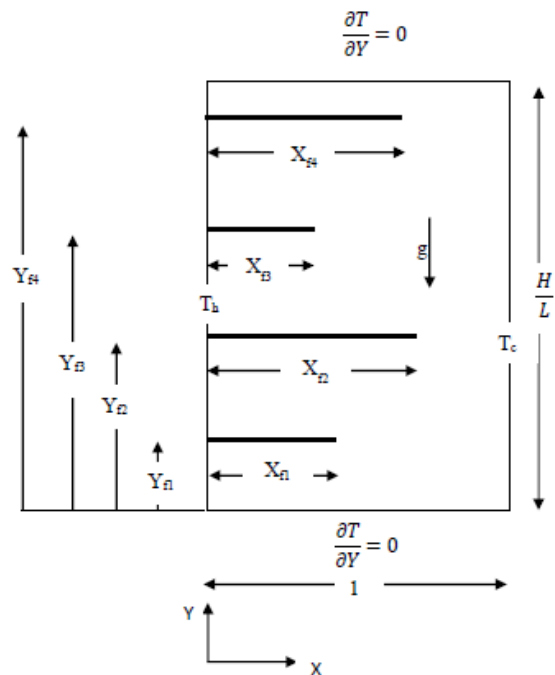


Fig. 6. Schematic illustration of the rectangular cavity with optimal characteristics of 4 fins attached to the hot wall

شکل ۶: شکل شماتیک محفظه مستطیلی با مشخصات بهینه چهار پره متصل شده به دیوار گرم

همانطور که از اشکال ۷ مشخص است، نتایج الگوریتم بهینه‌سازی در نسبت منطقی ۲ در هر دو عدد ریلی، پره‌های با طول یکسان ۰/۵ را بدست می‌آورد. همچنین در هر دو عدد ریلی، پره‌ها در فواصل تقریباً مساوی ۰/۴ از هم قرار گرفتند.

همان‌طور که از اشکال ۸ مشخص است، نتایج الگوریتم بهینه‌سازی در نسبت منطقی ۴ در عدد ریلی 10^4 ، پره‌های با طول تقریباً یکسان در بازه (۰/۳۳-۰/۴) و در عدد ریلی 10^5 اندکی بیشتر از عدد ریلی 10^4 در بازه

کاهش کمتری را ایجاد می‌نماید. همچنین با مشاهده خطوط هم‌تراز دما در شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود جریان گرم نزدیک دیوار گرم باقی مانده است و پره‌های عایق از انتقال حرارت در محفظه جلوگیری نموده‌اند. همچنین از مقایسه خطوط جریان در دو عدد ریلی 10^4 و 10^5 در دو نسبت منظری (در اشکال ۷ و ۸) مشاهده می‌شود که به علت سرعت بالاتر سیال در عدد ریلی 10^5 گردابه‌های کوچک مشخصی پشت پره‌ها و در نزدیکی سر آن‌ها ایجاد شده است که موجب استهلاک جریان می‌شوند و باعث کاهش انتقال حرارت می‌گردند.

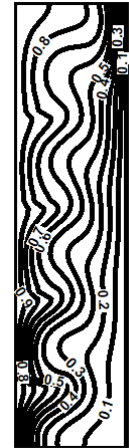
درصد کاهش انتقال حرارت در هر یک از نسبت‌های منظری ۲ برای دو عدد ریلی و در نسبت منظری ۴ برای دو عدد ریلی در جدول ۲ خلاصه شده است. درصد کاهش در کار حاضر به صورت اختلاف ناسلت متوسط محفظه در حالت بدون پره و با پره تقسیم بر ناسلت متوسط بدون پره به دست آمده است. میزان ناسلت نیز در دو نسبت منظری ۲ و ۴ و دو عدد ریلی 10^4 و 10^5 در حالت بی پره با مرجع [۲۵] مقایسه شده است. همچنین در حالت اعمال پره نیز عدد ناسلت متوسط در چهار حالت گفته شده در جدول نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، درصد کاهش با ثابت نگه داشتن تعداد پره‌ها و افزایش نسبت منظری به نصف کاهش یافته است. از جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود که در عدد ریلی 10^4 و نسبت منظری ۲ به واسطه غالب بودن هدایت، وجود چهار پره مانع انتقال حرارت از دیوار گرم شده و کاهش قابل توجهی در این حالت مشاهده شده است.

۴-۴- مسئله نمونه ۲

در این قسمت الگوریتم کوچ پرندگان در نسبت منظری 10^4 برای یافتن مشخصات بهینه پره‌های عایق مورد استفاده قرار گرفته است. برای به دست آوردن مقدار قابل قبولی از کاهش انتقال حرارت با افزایش نسبت منظری باید تعداد متغیرها را افزایش داد. به این منظور در این نسبت منظری، ۹ پره (۹ متغیر طول و ۹ متغیر مکان) عایق در نظر گرفته شد. اما با توجه به اینکه با افزایش دامنه متغیرها (افزایش نسبت منظری) و افزایش تعداد متغیرها از دقت الگوریتم کوچ پرندگان کاسته می‌شود، به بهینه بودن این الگوریتم ساده با شکل مورد استفاده در این مقاله نمی‌توان اعتماد کرد. به منظور تأیید حدس بیان شده سه تست ساده برای بررسی دقت این الگوریتم انجام شده است: ۱- با افزایش تعداد ذرات در فضای نمونه، الگوریتم کوچ پرندگان برای

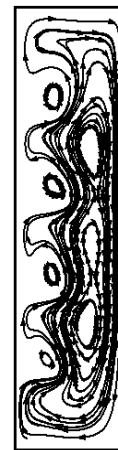


خطوط هم‌تراز جریان



خطوط هم‌تراز دما

عدد ریلی 10^4



خطوط هم‌تراز جریان



خطوط هم‌تراز دما

عدد ریلی 10^5

Fig. 8. Isothermal and stream lines in Rayleigh numbers 10^4 and 10^5 and $A=4$

شکل ۸: خطوط هم‌تراز دما و جریان در اعداد ریلی 10^4 و 10^5 و $A=4$

از مقدار مشخصی بیشتر گردد، به جای تغییر جهت و حرکت نزدیک دیوار گرم، به توده سرد برخورد کرده و به سمت پایین تغییر جهت دهد. به این ترتیب گردابه‌های بزرگ ایجاد کرده و نسبت به حالت با طول پره کوتاه‌تر،

جدول ۲: بررسی کاهش انتقال حرارت روی دیوار سرد برای نسبت‌های منظری مختلف

Table 2. Investigation of heat transfer reduction on the cold wall for various

Nu_{no-fin} [۲۵]	\bar{Nu}_c	% کاهش	\bar{Nu}_e	Ra	A
۲/۲۷۸	۲/۳۵۵	۵۳/۵۸۸	۱/۰۹۳	10^4	۲
۴/۳۳۹	۴/۳۲۱	۴۰/۹۰۰	۲/۵۵۴	10^5	
۱/۹۱۵	۲/۱۱۶	۲۴/۳۰۰	۱/۶۰۲	10^4	۴
۳/۶۴۸	۳/۸۷۹	۲۴/۳۰۰	۲/۹۳۶	10^5	

جدول ۳: بررسی کاهش انتقال حرارت روی دیوار سرد برای نسبت منظری ۱۰ و اعداد ریلی ۱۰^۴ و ۱۰^۵ برای فضای نمونه

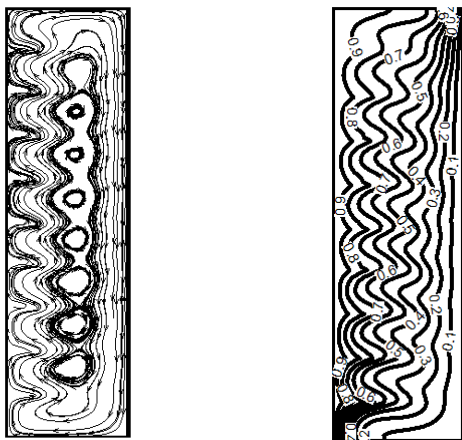
Table 3. Investigation of heat transfer reduction on the cold wall for aspect ratio 10 and Rayleigh numbers 10⁴ and 10⁵ for two sample spaces

\overline{Nu}_c	% کاهش	\overline{Nu}_e	Nt-n	Ra
۱/۶۸۵	۸/۶	۱/۵۴	۴۰-۱۸	۱۰ ^۴
۱/۶۸۵	۹/۸	۱/۵۲	۱۰۰-۱۸	۱۰ ^۴
۳/۲۰۱	۱۸/۶۸	۲/۶۰	۴۰-۱۸	۱۰ ^۵
۳/۲۰۱	۲۰/۰۲	۲/۵۶	۱۰۰-۱۸	۱۰ ^۵

جدول ۴: بررسی کاهش انتقال حرارت روی دیوار سرد برای نسبت منظری ۱۰ و اعداد ریلی ۱۰^۴ و ۱۰^۵ با مکان ثابت پره‌ها

Table 4. Investigation of heat transfer reduction on the cold wall for aspect ratio 10 and Rayleigh number 10⁴ and 10⁵ with fixed location of fins

\overline{Nu}_c	% کاهش	\overline{Nu}_e	$X_{fms} - N$	Ra
۱/۶۸۵	۱۴/۵۴	۱/۴۴۰	--۹	۱۰ ^۴
۱/۶۸۵	۱۳/۹۴	۱/۴۵	-۰/۳۴-۱	۱۰ ^۴
۳/۲۰۱	۲۳/۷۷	۲/۴۴	--۹	۱۰ ^۵
۳/۲۰۱	۲۳/۱۴	۲/۴۶	-۰/۳۴-۱	۱۰ ^۵



برداریهای سرعت

کانتور دما

عدد ریلی ۱۰^۴

Fig. 9. Isothermal and stream lines in Rayleigh number 10⁴ and 9 insulated fins with optimal length 0.24

شکل ۹: خطوط هم‌تراز دما و جریان در عدد ریلی ۱۰^۴ و تعداد ۹ پره عایق با طول بهینه ۰/۲۴

بهینه پره‌ها در هر دو عدد ریلی کاهش یافته است و این موضوع به دلیل افزایش توده سیال سرد داخل محفظه بوده که در این حالت طول کوتاه‌تر، از ایجاد گردابه‌های تقویت کننده سیال جلوگیری می‌کند. همچنین مشاهده شد با افزایش نسبت منظری، پره‌های با طول بزرگ‌تر بالای محفظه قرار

یافتن همزمان طول و مکان بهینه متغیرها مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه مقدار ناسلت متوسط در دو عدد ریلی با دو فضای نمونه ۴۰ و ۱۰۰ ذره برای اعداد ریلی ۱۰^۴ و ۱۰^۵ در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است با افزایش تعداد ذرات از ۴۰ به ۱۰۰ در عدد ریلی ۱۰^۴ میزان کاهش از ۸/۶ به ۹/۸ با میزان ۱/۲ واحد افزایش داشته است که با توجه به زمان جستجو در فضای نمونه بزرگ‌تر، این میزان کاهش بیشتر، ارزشمند نمی‌باشد به همین ترتیب با مقایسه در اعداد به دست آمده برای عدد ریلی ۱۰^۵ در دو فضای نمونه، دیده می‌شود این میزان از ۱۸/۶۸ به ۲۰/۰۲ با ۱/۴ واحد افزایش رسیده است که این مقدار نیز قابل ملاحظه نیست؛ ۲- با ثابت نگه‌داشتن مکان پره‌ها با توجه به نتایج مسئله قبل که الگوریتم بهینه‌سازی، پره‌ها را در مکان‌های نسبتاً مساوی از هم بر روی دیوار گرم متصل کرد، ۹ پره به فاصله ۱ از هم بر روی دیوار گرم قرار گرفت و تنها طول آن‌ها (۹ متغیر) توسط بهینه‌سازی به دست آمد. تعداد متغیرها و طول آن‌ها در جدول ۴ آورده شده است. در حالت‌هایی که در قسمت طول، عددی مشاهده نمی‌شود و علامت خط تیره لحاظ شده است، به این معنی است که طول تمام پره‌ها با هم متفاوت بوده است، بنابراین ۹ متغیر که طول هر یک از پره‌ها جزء آن است توسط الگوریتم بهینه‌سازی به دست می‌آید. در این حالت (حالت ۲) تعداد ذرات ۴۰ در نظر گرفته شد؛ ۳- نهایتاً برای کاربردی شدن مسئله با ثابت نگه‌داشتن پره‌ها در مکان‌های با فاصله مساوی از هم، مانند تست قبل، تنها یک طول بهینه برای همه آن‌ها به دست آمد. در حالتی که در ستون دوم در کنار تعداد متغیرها یک عدد ذکر شده است، بدان معنا است که به عنوان یک فرض، طول تمام پره‌ها با یکدیگر برابر قرار داده شده و الگوریتم تنها یک متغیر را که همان طول برابر تمام پره‌ها است به دست آورده است. در این حالت نیز تعداد ذرات ۴۰ ذره انتخاب شد. نتایج این بررسی در جدول ۴ خلاصه شده است. تحلیل نتایج این قسمت نشان می‌دهد که با کاهش تعداد متغیرها از ۹ به ۱، درصد کاهش که در جدول ۴ آورده شده است، تغییر چندانی ندارد. لذا افزایش هزینه محاسباتی که برای محاسبه ۹ متغیر انجام می‌شود قابل دفاع نخواهد بود.

نتایج به دست آمده از دو جدول ۳ و ۴ نشان می‌دهد که با افزایش تعداد متغیرها و افزایش دامنه حل، فضای نمونه نیز برای افزایش دقت الگوریتم باید افزایش یابد. باید اضافه نمود که در این مسئله (مسئله نمونه ۲) بازه تغییرات طول پره $(0 \leq X_{fm} \leq 0.4937)$ ، کمتر از بازه تغییرات مکان قرارگیری آن‌ها $(0.125 \leq Y_{fm} \leq 0.987)$ است. بنابراین اگر مکان پره‌ها ثابت در نظر گرفته شود، فضای جستجوی متغیرها کوچک‌تر و لذا با تعداد ذرات کمتر احتمال پیدا کردن حالت بهینه بیشتر است.

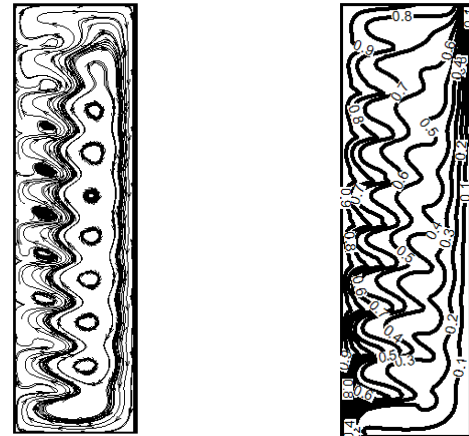
به طور نمونه نتایج خطوط دما و جریان برای نصب ۹ پره با فاصله مساوی در دو طول بهینه ۰/۲۴ و ۰/۳۴ که توسط الگوریتم کوچ پرنندگان به ترتیب برای اعداد ریلی ۱۰^۴ و ۱۰^۵ به دست آمده در اشکال ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

نکته مشخص آن است که با افزایش نسبت منظری از ۲ به ۱۰ طول

محفظه توسط این گونه الگوریتم‌ها کاهش یابد تا صرفه جویی وقت را در پی داشته باشد.

فهرست علائم

نسبت منظری	A
طول بی بعد پره	B
پارامتر شناختی	C_1
پارامتر اجتماعی	C_2
فاصله بی بعد پره‌ها از هم	C
تابع هدف	G
شتاب گرانش، (m/s^2)	g
ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، (W/m^2K)	h
ارتفاع محفظه، (m)	H
عرض محفظه، (m)	L
طول پره، (m)	L'
ضریب هدایت حرارتی، (W/m^2K)	k
تعداد متغیرها	N
تعداد میکرو کویتی	n
عدد ناسلت	Nu
تعداد ذرات	N_t
فشار گاز	P
بهترین موقعیت همه ذرات در تکرار t	$PI_g(iter)$
بهترین موقعیت ذره i در تکرار t	$PI_i(iter)$
عدد پراتل	Pr
شار حرارتی بی بعد	Q
تعداد نقاط روی سطح سرد	R
اعداد تصادفی	r_1, r_2
عدد بدون بعد ریلی	Ra
دما، (K)	t
مولفه های سرعت در جهت x, y ، (m/s)	u, v
سرعت ذره l	$VI_l(iter)$
موقعیت ذره l	$XI_l(iter)$
مختصات دکارتی	x, y
علامت یونانی	
پخش حرارتی، (m^2/s)	α
ضریب انبساط حرارتی، (K^{-1})	β



برداریهای سرعت

کاتوردما

عدد ریلی 10^5

Fig. 10. Isothermal and stream lines in Rayleigh number 10^5 and 9 insulated fins with optimal length 0.34

شکل ۱۰: خطوط هم‌تراز دما و جریان در عدد ریلی 10^5 و تعداد ۹ پره عایق با طول بهینه 0.34

می‌گیرند که به واسطه افزایش سرعت عمودی سیال گرم به داخل محفظه است.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به بهینه‌سازی موقعیت و اندازه پره‌های عایق متصل بر روی دیوار گرم به منظور کاهش انتقال حرارت از محفظه مستطیلی با نسبت‌های منظری بالاتر از ۱ پرداخته شده است. از الگوریتم کوچ پرندگان برای بهینه‌سازی موقعیت و مکان پره‌ها استفاده شده است. برای مدل کردن پره‌های جامد در جریان سیال از یک مدل ساده استفاده شد و از یک زیر برنامه برای اتصال پره‌های به دست آمده از الگوریتم کوچ پرندگان با برنامه جابه‌جایی استفاده شد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی مشخص کرد:

۱. در حالتی که روش سعی و خطا قادر به یافتن مکان و اندازه‌ی

تعداد پره‌های معلوم به منظور کاهش انتقال حرارت نیست، مسئله بهینه‌سازی با همان تعداد پره تنها با یافتن موقعیت و اندازه بهینه پره‌ها می‌تواند به کاهش قابل ملاحظه‌ای انتقال حرارت دست یابد.

۲. با افزایش نسبت منظری و افزایش تعداد متغیرها دقت الگوریتم کاهش می‌یابد.

۳. با افزایش ذرات در فضای نمونه و همچنین کاهش تعداد متغیرها با بررسی چند حالت در مکان‌های ثابت و تنها یافتن طول پره‌ها، می‌توان دقت الگوریتم را افزایش داد.

اما شاید اعمال ۹ پره با ابعاد و مکان‌های متفاوت بسیار هزینه‌بر و از نظر عملی غیر کاربردی باشد. لذا جهت کاربردی شدن نتایج به دست آمده از این مقاله در نسبت‌های منظری بالا توصیه می‌شود با ثابت نگه داشتن مکان پره‌ها و تنها یک طول بهینه برای تمامی آن‌ها مقدار انتقال حرارت از

on the hot wall, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(17) (2005) 3493-3505.

- [7] A. Da Silva, L. Gosselin, On the thermal performance of an internally finned three-dimensional cubic enclosure in natural convection, *International Journal of Thermal Sciences*, 44(6) (2005) 540-546.
- [8] H. Ambarita, K. Kishinami, M. Daimaruya, T. Saitoh, H. Takahashi, J. Suzuki, Laminar natural convection heat transfer in an air filled square cavity with two insulated baffles attached to its horizontal walls, *Thermal Science and Engineering*, 14(3) (2006) 35-46.
- [9] A. Ben-Nakhi, A.J. Chamkha, Conjugate natural convection in a square enclosure with inclined thin fin of arbitrary length, *International Journal of Thermal Sciences*, 46(5) (2007) 467-478.
- [10] R. Nogueira, M. Martins, F. Ampessan, Natural convection in rectangular cavities with different aspect ratios, *Thermal Engineering*, 10(1-2) (2011) 44-49.
- [11] A. Elatar, M.A. Teamah, M.A. Hassab, Numerical study of laminar natural convection inside square enclosure with single horizontal fin, *International Journal of Thermal Sciences*, 99 (2016) 41-51.
- [12] M.J. Colaço, H.R. Orlande, Inverse natural convection problem of simultaneous estimation of two boundary heat fluxes in irregular cavities, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(6-7) (2004) 1201-1215.
- [13] A. Da Silva, L. Gosselin, Optimal geometry of L and C-shaped channels for maximum heat transfer rate in natural convection, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(3-4) (2005) 609-620.
- [14] S. Payan, S.H. Sarvari, H. Ajam, Inverse boundary design of square enclosures with natural convection, *International Journal of Thermal Sciences*, 48(4) (2009) 682-690.
- [15] H. Azarkish, S. Sarvari, A. Behzadmehr, Optimum geometry design of a longitudinal fin with volumetric heat generation under the influences of natural convection and radiation, *Energy Conversion and Management*, 51(10) (2010) 1938-1946.
- [16] H. Azarkish, S. Sarvari, A. Behzadmehr, Optimum design of a longitudinal fin array with convection and radiation heat transfer using a genetic algorithm, *International Journal of Thermal Sciences*, 49(11) (2010) 2222-2229.
- [17] M. Aounallah, M. Belkadi, L. Adjlout, O. Imine, Numerical shape optimization of a confined cavity in natural convection regime, *Computers & Fluids*, 75 (2013) 11-21.
- [18] A. Azimifar, S. Payan, Enhancement of heat transfer of

γ موقعیت گره روی دامنه محاسباتی

v لزجت سینماتیکی، (m²/s)

ρ چگالی، (Kg/m³)

Γ ترم دیفیوژن

زیرنویس

0 مرجع

c سرد

d ایده ال

e ارزیابی شده

end پایان

f پره

h گرم

m تعداد پره ها

Max مقدار بیشینه

Min مقدار کمینه

New جدید

Old قدیم

$start$ شروع

منابع

- [1] M. Hasnaoui, P. Vasseur, E. Bilgen, Natural convection in rectangular enclosures with adiabatic fins attached on the heated wall, *Wärme-und Stoffübertragung*, 27(6) (1992) 357-368.
- [2] A. Nag, A. Sarkar, V. Sastri, Natural convection in a differentially heated square cavity with a horizontal partition plate on the hot wall, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 110(1-2) (1993) 143-156.
- [3] E. Lakhali, M. Hasnaoui, E. Bilgen, P. Vasseur, Natural convection in inclined rectangular enclosures with perfectly conducting fins attached on the heated wall, *Heat and Mass Transfer*, 32(5) (1997) 365-373.
- [4] L. Adjlout, O. Imine, A. Azzi, M. Belkadi, Laminar natural convection in an inclined cavity with a wavy wall, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45(10) (2002) 2141-2152.
- [5] X. Shi, J. Khodadadi, Laminar natural convection heat transfer in a differentially heated square cavity due to a thin fin on the hot wall, *Journal of Heat Transfer*, 125(4) (2003) 624-634.
- [6] E. Bilgen, Natural convection in cavities with a thin fin

- [22] F. van den Bergh, A.P. Engelbrecht, A new locally convergent particle swarm optimiser, *the Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, (2002), 66-69
- [23] C. Yang, D. Simon, A new particle swarm optimization technique, the Systems Engineering, *ICSEng. 18th International Conference on*, (2005) 164-169.
- [24] M. Clerc, J. Kennedy, The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space, *IEEE transactions on Evolutionary Computation*, 6(1) (2002) 58-73.
- [25] I. Catton, Natural convection in enclosures, *Proceedings of the Sixth International Heat Transfer Conference*, (1978) 13-31.
- confined enclosures with free convection using blocks with PSO algorithm, *Applied Thermal Engineering*, 101 (2016) 79-91.
- [19] A. Farahmand, S. Payan, S.H. Sarvari, Geometric optimization of radiative enclosures using PSO algorithm, *International Journal of Thermal Sciences*, 60 (2012) 61-69.
- [20] Y. Shi, R.C. Eberhart, Parameter selection in particle swarm optimization, *International Conference on Evolutionary Programming*, (1998) 591-600.
- [21] R.I. Perez, K. Behdinan, Particle swarm approach for structural design optimization, *Computers & Structures*, 85(19-20) (2007) 1579-1588.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

S. Payan and A. Azimifar, Minimization of Rate of Heat Transfer from Rectangular Cavities with Free Convection in Various Aspect Ratios for Finding Characteristics of an Array of Adiabatic Thin Fins by PSO Algorithm, *Amirkabir J. Mech. Eng.*, 50(2) (2018) 295-308.
DOI: 10.22060/mej.2017.11795.5185

