

حل عددی جابه‌جایی مختلط همراه با هدایت و تشعشع در یک برد الکترونیکی افقی با منابع گرمایی مستطیلی

علمی بهبهانی‌نیا (استادیار)

مجید قاسمی (دانشیار)

محمدرضا شیرزادی (کارشناس ارشد)

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرطوسی

در این نوشتار با استفاده از حل عددی جریان هوای خنک‌کننده در داخل یک کانال افقی متشکل از یک برد الکترونیکی و چند تراشه شبیه‌سازی شده است. سازوکار انتقال حرارت در هوا به صورت جابه‌جایی مختلط، آرام، دائم و دوبعدی و در دیواره‌ها به صورت هدایت و تشعشع است. برای مجزاسازی معادلات حاکم از روش حجم کنترل استفاده شده است، و برای مدل‌سازی تشعشع سطحی معادلات رادیوسیتی حل شده است؛ ضرایب شکل نیز به روش نخ‌های متقاطع هاتل به دست آمده است. به منظور بررسی صحت کد عددی، مقایسه‌ای با نتایج تجربی و عددی موجود انجام شده که دقت مناسبی را نشان می‌دهد. از طریق حل عددی تأثیر پارامترهایی مانند عدد رینولدز، عدد گراشف، نسبت طول به عرض کانال، فاصله‌ی بین منابع حرارتی و محل قرارگیری آنها بر رفتار هیدرودینامیکی سیال و دمای بیشینه‌ی ایجاد شده در تجهیزات الکترونیکی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که نسبت طول به عرض کانال اثر قابل توجهی در کاهش دمای کاری قطعات دارند و در طراحی سرمایه‌ی تجهیزات الکترونیکی، هنگامی که در انتخاب مواد محدودیت وجود داشته باشد می‌توان با پیدا کردن چیدمان مناسب هندسی، به یک طراحی منطقی از نظر حرارتی دست پیدا کرد.

alibebhaninia@kntu.ac.ir
ghasemi@kntu.ac.ir
shirzadi.mohammad@mapnaturbine.com

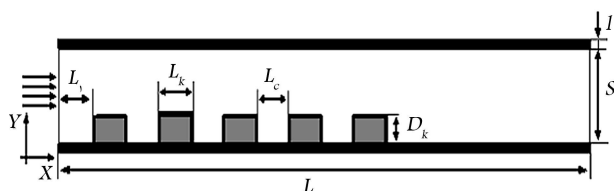
واژگان کلیدی: جابه‌جایی مختلط، انتقال حرارت تشعشعی، انتقال حرارت ترکیبی، حل عددی، کانال افقی، خنک‌کاری.

۱. مقدمه

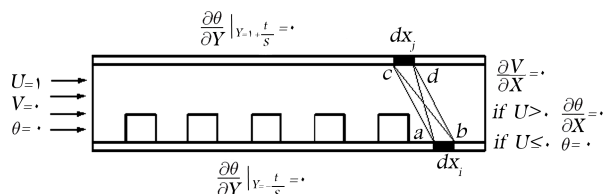
با پیشرفت سریع علم در قرن اخیر، به خصوص پیشرفت در صنایع الکترونیکی، مطالعه درباره‌ی نگه‌داری و حفاظت این تجهیزات در شرایط مختلف کاری ضرورت بیشتری یافته است. تجهیزات الکترونیکی - نظیر بردهای چاپی، ترانسفورماتورها و کارت گرافیک رایانه‌ها - شامل یک دسته برد الکترونیکی و تعداد زیادی تراشه‌های مغناطیسی هستند که برجسته‌اند و شار حرارتی بالایی دارند. دمای بیشینه‌ی ایجاد شده در این تجهیزات یکی از پارامترهای مهم در طراحی و نگه‌داری آنها است. در اکثر مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است، دیواره‌ها به صورت عایق و یا هم‌دمای فرض شده‌اند و دامنه‌ی حل به خود سیال محدود می‌شود. نتایج تجربی و عددی در یک کانال افقی با منابع گرمایی برای آب بررسی شده است.^[۱] همچنین جریان در حال توسعه در یک کانال افقی در یک رژیم جابه‌جایی اجباری بررسی شده است در حالی که از نیروی شناوری و تشعشع صرف نظر شده است.^[۲] دیگر محققین نتایجی تحلیلی از طرف دیواره‌های داغ باعث نامتعادل کردن جریان و به وجود آمدن گردابه‌هایی در آن می‌شود.

در سال ۲۰۰۷ جابه‌جایی مختلط بدون در نظر گرفتن تشعشع در یک دسته برد که به صورت عمودی قرار دارند بررسی، و نشان داده شد که ۴۱ تا ۴۷ درصد گرمای تولید شده در تراشه‌ها از طریق هدایت حرارتی در برد منتقل می‌شود.^[۳] در همین زمان و در پژوهشی دیگر، جابه‌جایی مختلط در یک کانال عمودی که به صورت نامتقارن گرم می‌شود و جهت نیروی شناوری در آن مخالف جریان اصلی است به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته،^[۴] و نشان داده شده که نیروی شناوری در اطراف دیواره‌های داغ باعث نامتعادل کردن جریان و به وجود آمدن گردابه‌هایی در آن می‌شود.

تاریخ: دریافت ۱۳۸۶/۹/۴، داوری ۱۳۸۶/۱۱/۲۱، پذیرش ۱۳۸۷/۸/۲۱.



شکل ۱. شماتیک مورد بررسی یک برد چاپی.



شکل ۲. شرایط مرزی اعمال شده.

سیاه در دمای محیط، و هوا از نظر تشعشعی شفاف^۳ فرض شده‌اند. ضرایب شکل از روش نخ‌های متقاطع هاتل محاسبه شده‌اند.^[۸]

در این روش تقریبی، فاصله‌ی لبه‌های هر دو آلمان روی سطوح جامد در داخل کانال با یکدیگر طبق شکل ۲ محاسبه، و سپس از رابطه‌ی ۵ استفاده شده است.

$$F_{i,j} = \frac{L_{ad} + L_{bc} - L_{ac} - L_{bd}}{2 dx_i} \quad (5)$$

شار گرمای تشعشعی برای آلمان نام چنین است:

$$q_r = \frac{\sigma T_i^4 - J_i}{(1 - \epsilon_i)/\epsilon_i} \quad (6)$$

$$j_i = \epsilon_i \sigma T_i^4 + (1 - \epsilon_i) \sum_{j=1}^n F_{ij} j_j \quad (7)$$

۳. شرایط مرزی

در ورودی، سیال توسط یک فن با سرعت u_{in} و دمای محیط T_{in} وارد کانال می‌شود. برای مدل‌کردن دقیق‌تر دمای سیال برگشتی و چرخش جریان در خروجی شرط مرزی ۹ اعمال شده است. توضیحات بیشتر شرط مرزی خروجی توسط گیلس ارائه شده است.^[۱۰] سطح خارجی برد و دیواره‌ی بالای آن به‌صورت عایق در نظر گرفته شده است.

از آنجا که معادلات فاز جامد و سیال به‌طور هم‌زمان حل شده‌اند، نیازی به شرط مرزی حرارتی بین سطح تماس آنها وجود ندارد و معادلات بقا در این سطح مشترک خودبه‌خود ارضا می‌شوند. شرایط مرزی اعمال شده که در شکل ۲ نیز نشان داده شده است عبارت‌اند از:

در ورودی

$$\theta = 0, \quad V = 0, \quad U = 1 \quad X = 0 \quad \text{و} \quad 0 \leq Y \leq 1 \quad (8)$$

در خروجی

$$0 \leq Y \leq 1 \quad \text{و} \quad X = \frac{L}{S} \quad \theta = 0 \quad U \leq 0 \quad \text{if} \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} = 0$$

$$U > 0 \quad \text{if} \quad \frac{\partial V}{\partial X} = 0 \quad (9)$$

در تعداد بسیار کمی از مقالات اثر تشعشع بر جریان جابه‌جایی طبیعی و مختلط در تجهیزات الکترونیکی مورد بررسی قرار گرفته است. در یکی از این مقالات جابه‌جایی مختلط در یک کانال افقی با چهار منبع گرمایی بررسی شده و با ثابت‌گرفتن تمام ابعاد هندسی، اثرات حرارتی مانند ضریب هدایت حرارتی، به مطالعه‌ی ضریب صدور و عدد گراشوف پرداخته‌اند.^[۸] به‌علت محدودیت در انتخاب مواد با خواص دلخواه، بررسی اثرات هندسی در طراحی سیستم‌های سرمایش تجهیزات الکترونیکی لازم به نظر می‌رسد.

در نوشتار حاضر جریان جابه‌جایی مختلط دوبعدی لایه‌ی در حال توسعه‌ی حرارتی و هیدرودینامیکی در یک برد الکترونیکی که به‌صورت افقی قرار دارند و دارای ۵ منبع گرمایی روی برد است، بررسی شده است. تفاوت این مطالعه با کارهای انجام‌شده‌ی قبلی^[۸] عبارت است از: ۱. در بررسی‌های گذشته ابعاد کانال و منابع گرمایی، فاصله‌ی بین آنها و نیز محل قرارگیری‌شان ثابت بوده اما در این نوشتار متغیر بوده و اثرات آنها بررسی شده است. ۲. در این نوشتار اثر جریان مکند در انتهای کانال که در اثر گردابه‌ها به‌وجود می‌آید نیز بررسی شده است. ۳. در پژوهش‌های به‌عمل آمده پیشین تنها اثرات حرارتی بررسی شده، اما در این نوشتار اثرات هیدرودینامیکی نیز ارائه شده است.

۲. معادلات حاکم

در شکل ۱ یک کانال افقی با پنج منبع گرمایی نشان داده شده است که در آن کانال افقی نشان‌دهنده‌ی برد اصلی و منابع حرارتی نشان‌دهنده‌ی تراشه‌ها هستند. انتقال حرارت ابتدا از طریق هدایت در تراشه و برد الکترونیکی و سپس با جابه‌جایی در سیال و تشعشع سطحی بین دیواره‌ها انجام می‌شود. برای ارائه‌ی نتایج، مقادیری که به‌عنوان مرجع در نظر گرفته شده عبارت‌اند از:

$$L = 250 \text{ mm} \quad t = 1.5 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ mm} \quad k_s = 4.86 \text{ W/mK}$$

$$L_1 = 30 \text{ mm} \quad k_h = 1.8 \text{ W/mK}$$

$$L_h = 15 \text{ mm} \quad \epsilon_h = 0.5$$

$$D_h = 5 \text{ mm} \quad L_c = 10 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = 0.5$$

معادلات حاکم بدون بعد برای جابه‌جایی مختلط آرام و دائمی و دوبعدی به‌ترتیب عبارت‌اند از:

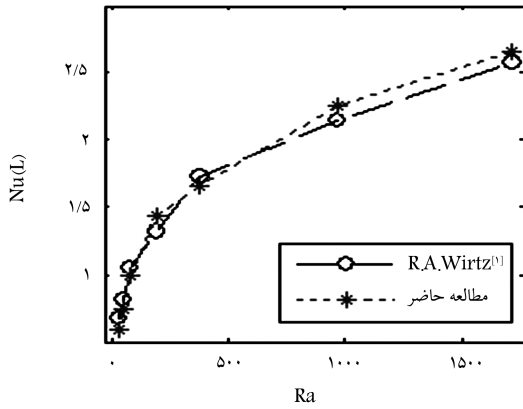
$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re_S} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (2)$$

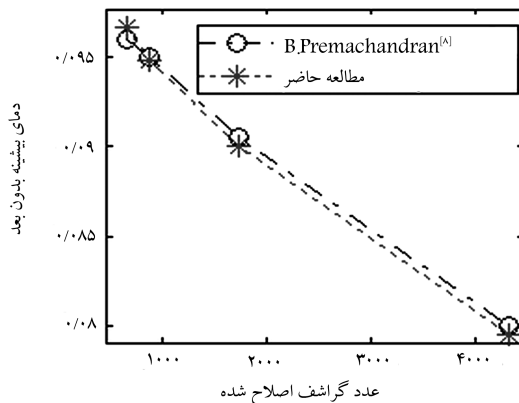
$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re_S} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \frac{Gr^* \theta}{Re_S^2} \quad (3)$$

$$Res Pr_{air} \left(U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) = \frac{k}{k_{air}} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) + \frac{S^*}{L_h D_h} \delta \quad (4)$$

که در آنها، δ دلتای کرنیکر است که در سیال و برد برابر صفر و در تراشه‌ها برابر ۱ است. انتقال حرارت تشعشعی سطحی در داخل کانال به‌روش محفظه^۱ و با فرمول‌بندی رادیوسیتی^۲ محاسبه شده است. برای این منظور دیواره‌های داخل کانال به‌صورت سطح پراکنده و خاکستری، و ورودی و خروجی کانال به‌صورت دیواری



شکل ۴. مقایسه‌ی نتایج ویرتز^[۱۲] و کد عددی.



شکل ۵. مقایسه‌ی نتایج عددی بالاجی^[۸] با کد عددی.

به منظور اطمینان از صحت کد عددی، نتایج حاصله با نتایج آزمایشگاهی موجود در خصوص جابه‌جایی طبیعی در یک دسته کانال مسطح و قائم با شار حرارتی ثابت در دیواره‌ها^[۱۲] مقایسه شده که دقت مناسبی را نشان می‌دهد (شکل ۴). همچنین در شکل ۵ دمای بیشینه‌ی بدون بعد برحسب عدد گراش اف حاصل از نتایج کد عددی نوشته شده و مطالعات عددی بالاجی^[۸] نشان داده شده است که دقت مناسب کد عددی را نشان می‌دهد.

۵. نتایج هیدرودینامیکی

۵.۱. بررسی اثر عدد رینولدز و گراش اف

در شکل ۶ پروفیل سرعت در مقطع عرضی میانی هر دو تراشه به ازای $Res = 180$ و $Res = 1500$ و $Gr_*^* = 10^6$ نشان داده شده است. در $Res = 180$ در حفره‌ی اول جریان از نظر هیدرودینامیکی در حال توسعه است و با پیش‌روی سیال به سمت جلو، جریان به حالت توسعه یافته‌ی هیدرودینامیکی نزدیک‌تر می‌شود که در سومین و آخرین حفره جریان کاملاً توسعه یافته هیدرودینامیکی شده است. با افزایش عدد رینولدز، جریان به صورت در حال توسعه هیدرودینامیکی می‌شود و لایه‌های مرزی روی دو دیوار در فاصله‌ی دورتری از ورودی به هم می‌رسند، به طوری که در $Res = 1500$ دو لایه‌ی مرزی حتی تا انتهای کانال نیز به هم نمی‌رسند.

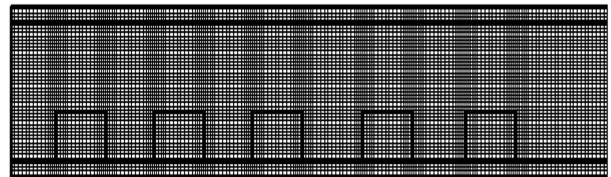
$$Y = -\frac{t}{S} \quad 0 \leq X \leq \frac{L}{S} \quad \left. \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right|_{Y=-\frac{t}{S}} = \left. \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right|_{Y=1+\frac{t}{S}} = 0$$

$$Y = 1 + \frac{t}{S} \quad (10)$$

۴. روش حل عددی

معادلات حاکم با روش حجم محدود برای متغیرهای U, V, P, θ و J گسسته شده است. برای جفت‌کردن سرعت و فشار از الگوریتم سیمپل استفاده شده است.^[۱۱] دستگاه معادلات حاصله با ترکیب روش ماتریس سه قطری و روش تکراری گوس سایدل حل شده‌اند (عبارت جابه‌جایی/پخش با روش پاورلاو گسسته شده است). به دلیل تغییرات شدید گرادیان متغیرها در نزدیکی مرزهای جامد و سیال، از یک شبکه‌ی تک‌ناحیه‌ی غیر یکنواخت استفاده شده است. تعداد و تمرکز مش‌ها در راستای عرض کانال به علت کم بودن عرض آن به طور یکسان در نظر گرفته شده، اما در راستای طول کانال تمرکز مش‌ها در نزدیکی تراشه‌ها و دیواره‌ها بیشتر است (شکل ۳). برای بررسی استقلال نتایج عددی از اندازه‌ی شبکه، تغییرات دمای بیشینه برحسب اندازه‌های مختلف شبکه مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۱). با توجه به جدول ۱ تعداد گره‌ها (نودها) در راستای محور x برابر ۲۰۶ و در راستای محور y برابر ۸۶ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که تعداد گره‌های لازم برای حل معادلات رادیوسیتی برابر تعداد گره‌های سطح مشترک جامد و سیال در روی برد و تراشه‌ها و دیواره‌ی بالایی است. همچنین مقطع ورودی و خروجی کانال به صورت یک جسم سیاه با دمای محیط فرض شده‌اند.

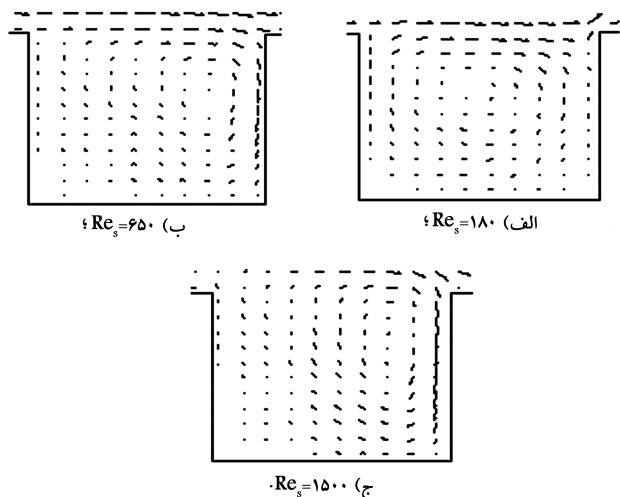
با اختصاص مقادیر بزرگ به ترم منبع در فاز جامد، معادلات حاکم برای فاز جامد و مایع به طور همزمان حل شده‌اند. برای هم‌گرایی سریع‌تر معادلات از ضرایب تخفیف برای متغیرهای U, V, P, θ و J به ترتیب برابر $0.7, 0.7, 0.6, 1$ و 0.6 استفاده شده است. همچنین معیار هم‌گرایی برابر برای تمام متغیرها 10^{-6} است.



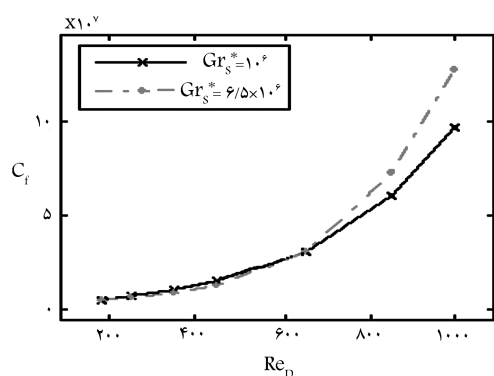
شکل ۳. نحوه‌ی مش زدن دامنه‌ی حل.

جدول ۱. بررسی استقلال از شبکه.

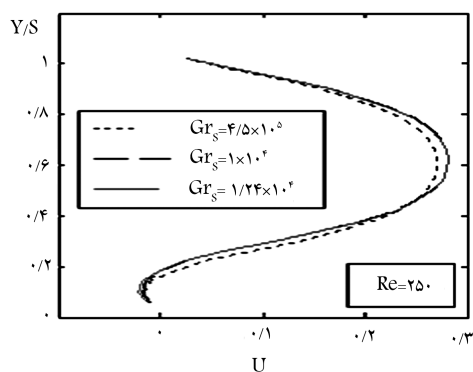
اندازه شبکه	دمای بیشینه θ_m
$M \times N$	
136×42	0.126
136×56	0.1094
206×56	0.1091
206×86	0.1021
206×102	0.10213



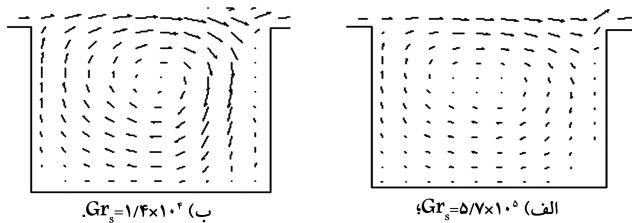
شکل ۷. بردارهای سرعت در بین تراشه‌ی اول و دوم به‌ازای $Gr_s^* = 10^6$.



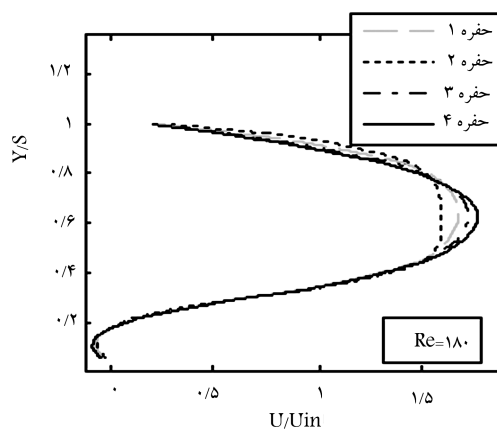
شکل ۸. ضریب افت فشار بر حسب عدد رینولدز.



شکل ۹. پروفیل سرعت در مقطع عرضی میان دو مانع.



شکل ۱۰. بردارهای سرعت بین دو تراشه‌ی اول به‌ازای اعداد گراشوف مختلف و $Re_s = 180$.

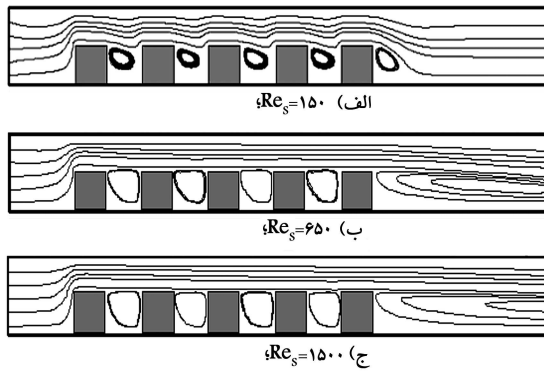


شکل ۶. پروفیل سرعت در مقطع عرضی میان دو مانع به‌ازای $Re_s = 180$ ، $Gr_s^* = 10^6$ و $Re_s = 1500$.

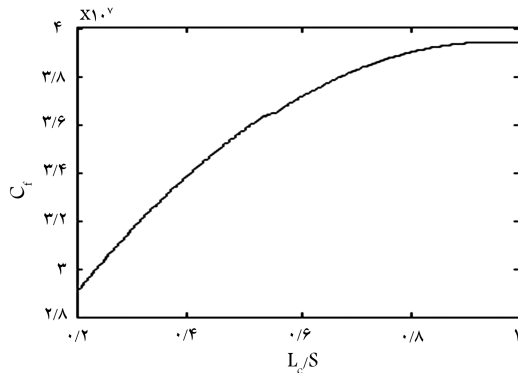
در شکل ۷ بردارهای سرعت در میان تراشه‌ی اول و دوم به‌ازای $Re_s = 150$ ، $Re_s = 650$ و $Re_s = 1500$ نشان داده شده است. به‌ازای $Re_s = 150$ مرکز گردابه‌ی تشکیل شده در میان حفره قرار دارد اما با افزایش سرعت جریان آزاد و بیشتر شدن نیروی برشی از سمت باز حفره، مرکز این گردابه‌ها به طرف راست حرکت می‌کند و به تراشه‌ی دوم نزدیک‌تر می‌شود.

در شکل ۸ ضریب افت فشار بر حسب عدد رینولدز و عدد گراشوف رسم شده است. عدد گراشوف و نیروی شناوری اثر چندانی بر ضریب افت فشار، به‌خصوص در رینولدزهای پایین ندارند ولی با افزایش عدد رینولدز ضریب افت فشار افزایش می‌یابد زیرا با افزایش عدد رینولدز سرعت وارد شدن سیال به داخل حفره‌ها بیشتر شده و چرخش سیال در حفره‌ها اثر بیشتری بر جریان اصلی می‌گذارد که باعث افزایش افت فشار می‌شود.

در شکل ۹ پروفیل سرعت در بین تراشه‌های چهارم و پنجم به‌ازای $Gr_s = 6/5 \times 10^6$ ، $Gr_s = 1 \times 10^6$ و $Gr_s = 1/46 \times 10^6$ نشان داده شده است. با افزایش عدد گراشوف به علت عمودبودن نیروی شناوری بر مسیر جریان اصلی پروفیل سرعت تغییر چندانی ندارد و تنها کمی به بالا کشیده شده است. در مورد گردابه‌ها وضعیت متفاوت است زیرا چنان که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، با افزایش عدد گراشوف و نیروی شناوری قدرت چرخش سیال در حفره بیشتر می‌شود. علت این مسئله گرم‌تر شدن دیواره‌های عمودی حفره و راندن سیال به سمت بالا در اثر نیروی شناوری است.



شکل ۱۳. خطوط جریان به‌ازای نسبت طول به عرض $L/S=22$ و $Gr_s=1 \times 10^6$ و رینولدزهای مختلف.



شکل ۱۴. افت فشار برحسب فاصله‌ی بین تراشه‌ها.

۳.۵. بررسی اثر تغییر فاصله بین تراشه‌ها

برای بررسی اثر تغییر فاصله بین منابع گرمایی، سه اندازه‌ی مختلف $L_c = 20 \text{ mm}$ و $L_c = 10 \text{ mm}$ و $L_c = 5 \text{ mm}$ در حالی که اندازه و شار تمام منابع گرمایی یکسان است، بررسی شده است. با افزایش فاصله‌ی بین منابع گرمایی سیال بیشتری وارد حفره‌ها می‌شود و در نتیجه، افت فشار هوا در کانال افزایش می‌یابد (شکل ۱۴). اگر $L_c = S$ آنگاه افت فشار مستقل از فاصله‌ی بین تراشه‌ها می‌شود زیرا لایه‌ی مرزی تشکیل شده روی دیواره‌ها کاملاً از هم دورند.

۶. بررسی تغییرات دمای تراشه‌ها

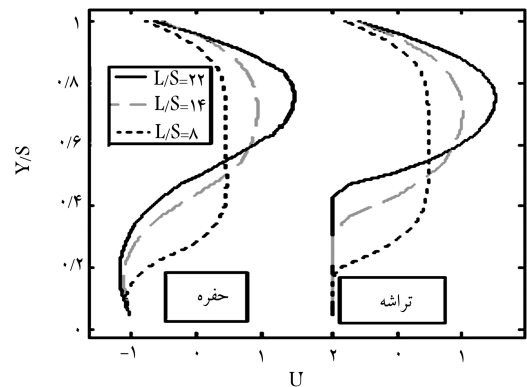
در این بخش اثر پارامترهای ذکر شده در قسمت قبل بر رفتار حرارتی تراشه‌ها بررسی خواهد شد. در شکل ۱۵ دمای بیشینه‌ی بدون بعد برحسب عدد رینولدز و گراشفت رسم شده است. با افزایش عدد رینولدز، سهم جابه‌جایی اجباری در انتقال حرارت بیشتر شده و باعث کاهش دما می‌شود. با افزایش عدد گراشفت، دمای بیشینه‌ی بدون بعد کاهش می‌یابد اما دمای بعددار افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۶ شار حرارتی تشعشعی از سطح مشترک دیواره و تراشه‌ها در تماس با سیال در دو نسبت طول به عرض مختلف رسم شده است؛ چنان که می‌بینیم با کاهش عرض کانال و افزایش دمای تراشه‌ها، شار حرارتی تشعشعی نیز زیاده‌تر می‌شود. در نمودار ۱۷ نیز دمای بیشینه‌ی بدون بعد برحسب ضریب هدایت حرارتی تراشه‌ها و برد رسم شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش ضریب هدایت تراشه‌ها

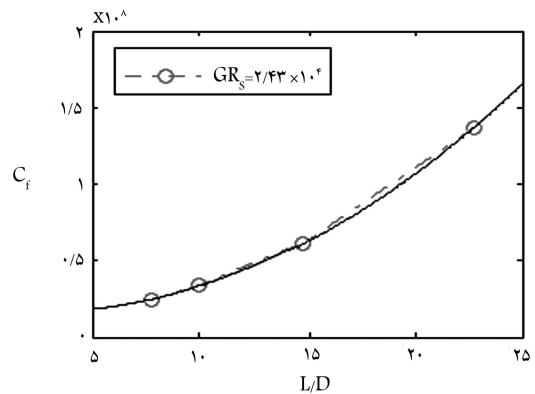
۲.۵. بررسی اثر نسبت طول به عرض کانال (L/S)

برای بررسی اثر نسبت طول به عرض کانال L/S ، سه مقدار ۸ و ۱۴ و ۲۲ بررسی شده است. در شکل ۱۱ پروفیل سرعت در میان تراشه‌ی اول و دوم، همچنین بر روی تراشه‌ی دوم به‌ازای یک سرعت ثابت هوای ورودی و $Gr_s = 1/32 \times 10^6$ رسم شده است. به‌ازای $L/S=22$ ، به‌علت باریک‌تر بودن کانال، جریان زودتر به حالت توسعه‌یافته رسیده است اما در $L/S=8$ که کانال بیشترین عرض را دارد، جریان در حال توسعه‌ی هیدرودینامیکی است زیرا به‌علت عرض زیاد کانال لایه‌های مرزی به هم نمی‌رسند. در شکل ۱۲ ضریب افت فشار به‌ازای $Re_s = 650$ و $Gr_s = 2/43 \times 10^6$ برحسب نسبت طول به عرض کانال رسم شده است. با افزایش نسبت L/S و نزدیک شدن دو لایه‌ی مرزی روی دیواره‌ها افت فشار بیشتر می‌شود و بنابراین بیشترین افت فشار در $L/S=22$ که جریان کاملاً توسعه‌یافته هیدرودینامیکی است حاصل می‌شود.

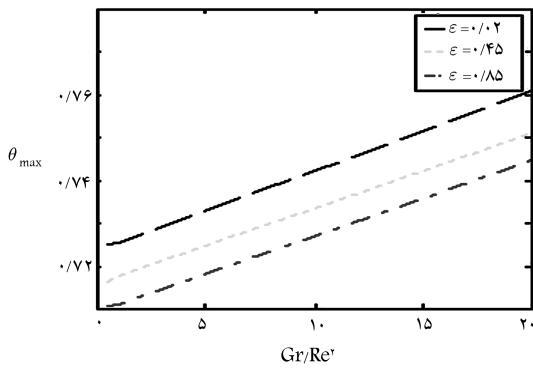
در شکل ۱۳ خطوط جریان به‌ازای نسبت طول به عرض ۲۲ و اعداد رینولدز مختلف و $Gr_s = 1 \times 10^6$ نشان داده شده است. طبق توضیحات گفته شده با افزایش عدد رینولدز قدرت و طول گردابه‌های تشکیل شده در بین و بعد از تراشه‌ها بیشتر می‌شود. به‌ازای $L/S=22$ گردابه‌های بعد از آخرین تراشه تا انتهای کانال ادامه یافته و باعث مکش معکوس جریان به داخل کانال می‌شود. با افزایش عدد رینولدز این مکش هوا در خروجی بیشتر می‌شود و به خنک شدن آخرین تراشه می‌انجامد.



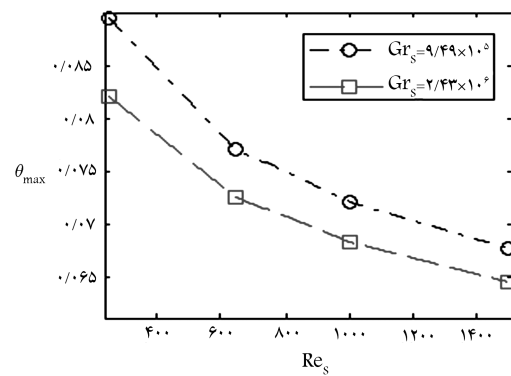
شکل ۱۱. پروفیل سرعت در اولین حفره و روی تراشه‌ی دوم.



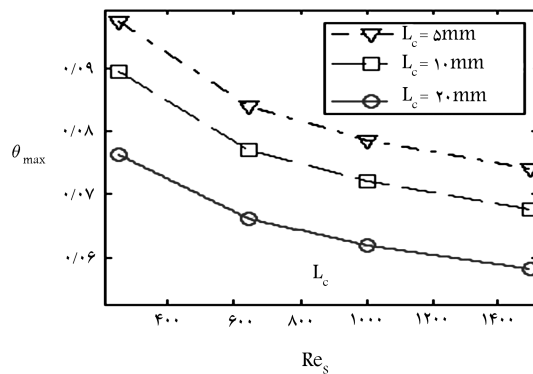
شکل ۱۲. ضریب افت فشار برحسب نسبت طول به عرض.



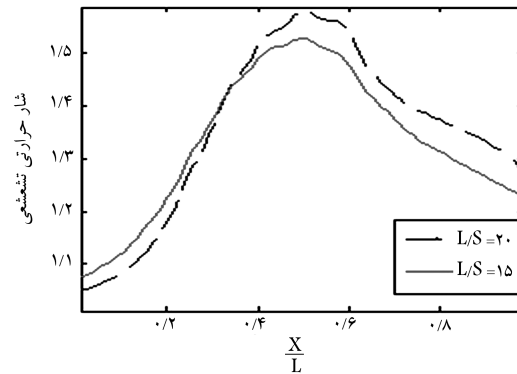
شکل ۱۸. دمای بیشینه تراشه‌ها برحسب عدد ریچاردسون.



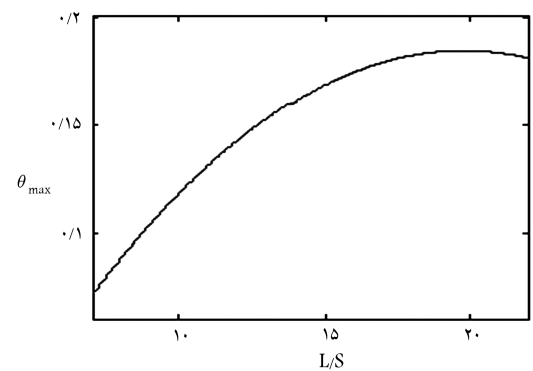
شکل ۱۵. دمای بیشینه‌ی بدون بعد برحسب Gr_s و Re_s .



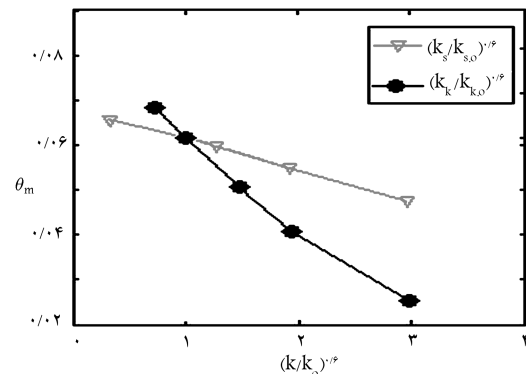
شکل ۱۹. دمای بیشینه برحسب فاصله‌ی بین منابع.



شکل ۱۶. شار حرارتی تشعشعی در طول دیواره‌ی مسطح هدایتی تراشه‌ها و برد.



شکل ۲۰. دمای بیشینه برحسب نسبت طول به عرض.



شکل ۱۷. دمای بیشینه برحسب ضریب انتقال حرارت.

و سیال تقریباً به صورت ساکن درمی‌آید. بنابراین دمای بیشینه افزایش قابل توجهی می‌یابد. در شکل ۲۰ دمای بیشینه‌ی بدون بعد برحسب نسبت طول به عرض (L/S) نشان داده شده است. به‌ازای طول ثابت هرچه عرض کانال کم‌تر شود، دمای بیشینه افزایش می‌یابد زیرا علی‌رغم افزایش انتقال حرارت تشعشعی، دبی سیال ورودی به کانال و سهم جابه‌جایی اجباری کم‌تر می‌شود.

۷. نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی عددی جابه‌جایی مختلط دوبعدی لانه‌ی با در نظر گرفتن هدایت حرارتی در برد و تراشه‌ها و تشعشع سطحی در یک کانال افقی با پنج تراشه به‌عنوان

و برد، دمای بیشینه‌ی تراشه‌ها کاهش می‌یابد اما اثر ضریب هدایت حرارتی تراشه‌ها به‌وضوح بیشتر است.

در شکل ۱۸ دمای بیشینه‌ی بدون بعد ایجادشده در تراشه‌ها برحسب عدد ریچاردسون (Gr/Re^2) و به‌ازای ضریب صدور دیواره رسم شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود با افزایش عدد ریچاردسون که به معنی بیشتر شدن سهم جابه‌جایی طبیعی و کاهش سهم جابه‌جایی اجباری است، دمای بیشینه‌ی تراشه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ضریب صدور دیواره‌ها، میزان انتقال حرارت تشعشعی بین دیواره‌ها و برد و محیط بیرون بیشتر می‌شود و در نتیجه دمای بیشینه‌ی تراشه‌ها کاهش می‌یابد. در شکل ۱۹ دمای بیشینه‌ی بدون بعد برحسب فاصله بین منابع حرارتی رسم شده است. با کاهش این فاصله مقدار سیال ورودی به داخل حفره‌ها کاهش می‌یابد

- منبع گرمایی ارائه شد. پارامترهای مورد بررسی عدد رینولدز (Re_S)، عدد گراشف (Gr_S)، نسبت طول به عرض کانال، و فاصله‌ی بین منابع حرارتی هستند. طبق مطالعات انجام شده نتایج حاصله عبارت است از:
- با افزایش عدد رینولدز قدرت، طول گردهاها و افت فشار افزایش می‌یابد اما دمای بیشینه تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد کاسته می‌شود.
 - در رینولدزهای پایین اثر نیروی شناوری با افزایش عدد گراشف بر میدان سرعت و دما قابل ملاحظه است. همچنین عدد گراشف تأثیر قابل ملاحظه‌ی بر افت فشار ندارد.
 - با کاهش نسبت طول به عرض کانال از ۲۲ به ۸، دمای بیشینه تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده‌ی اهمیت این پارامتر است.
 - با افزایش فاصله‌ی بین تراشه‌ها از ۵ میلی‌متر به ۲۰ میلی‌متر دمای بیشینه‌ی تا ۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد کاهش می‌یابد اما افت فشار بیشتر می‌شود.
 - به‌ازای یک هندسه ثابت با افزایش ضریب هدایت حرارتی برد، دمای بیشینه‌ی تا ۱۴ درجه کاهش پیدا می‌کند که نشان‌دهنده اهمیت در نظر گرفتن هدایت حرارتی برد در حل عددی می‌باشد.
 - در یک هندسه ثابت با افزایش ضریب صدور برد دمای بیشینه‌ی تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد در حالی که با افزایش ضریب صدور تراشه‌ها دمای بیشینه‌ی تا ۸ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد اما اثر تشعشع در حالت جابجای طبیعی بیشتر می‌باشد.
- با توجه به نتایج به دست آمده، در مواردی که در انتخاب مواد در طراحی سرمایه‌ی تجهیزات الکترونیکی از لحاظ ضریب هدایت حرارتی و یا ضریب صدور در مواد به‌کار رفته محدودیت وجود داشته باشد می‌توان با پیدا کردن یک چیدمان مناسب هندسی، به یک طراحی منطقی و اقتصادی از نظر حرارتی دست یافت.

فهرست علائم

- S : عرض کانال (mm)
 X, Y : مختصات بدون بعد ($\frac{y}{D}, \frac{x}{D}$)
 D_h : ارتفاع تراشه (mm)

پانویس

- enclosure
- radiosity/irradiation
- non participating medium

منابع

- Mahaney, H.V.; Incropera, F.P., and Ramadhyani, S. "Comparison of predicted and measured mixed convection heat transfer of discrete heat sources in from an array horizontal rectangular channel", *Int. J. Heat Mass Transfer*, **33**, pp. 1233-1245 (1990).
- Kim, S.H., and Anand, A.K. "Laminar developing flow and heat transfer between a series of parallel plates with surface mounted discrete heat sources", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **37**, pp. 2231-2244 (1994).
- Hacohen, J.; Chiu, T.W., and Wragg, A.A. "Forced and free convective heat transfer coefficients for a model printed circuit board channel geometry", *Exp. Thermal Fluid Sci.* **10**, pp. 327-334 (1995).
- Furukawa, T., and Yang, W. "Thermal fluid-flow in parallel boards with heat generating blocks", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **46**, pp. 5005-5015 (2003).

5. Dogan, A.; Sivrioglu, M., and Baskaya, S. "Experimental investigation of mixed convection heat transfer in a rectangular channel with discrete heat sources at the top and at the bottom", *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, **32**, pp. 1244-1252 (2005).
6. Madhusudhana Rao, G., and Narasimham, G.S.V.L. "Laminar conjugate mixed convection in a vertical channel with heat generating components", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **50**, pp. 3561-3574 (2007).
7. Martı'nez-Sua'stegui a, L., and Trevino, C. "Particle image velocimetry measurements for opposing flow in a vertical channel with a differential and asymmetric heating condition", *Experimental Thermal and Fluid Science*, **32**, pp.262-275 (2007).
8. Premachandran, B., and Balaji, C. "Conjugate mixed convection with surface radiation from a horizontal channel with protruding heat sources", *International journal of Heat and Mass transfer*, **49**, pp. 3568-3582 (2006).
9. Siegel, R., and Howell, J.R. *Thermal Radiation Heat Transfer*, third ed., Taylor & Francis, Washington and London, pp. 189-252 (1992).
10. Desrayaud, G.; Fichera, A., and Lauriat, G. "Natural convection air-cooling of a substrate-mounted protruding heat source in a stack of parallel boards", *Int. J. Heat and Fluid Flow*, **28**, Issue 3, pp.469-482 (2006).
11. Patankar, S.V. *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere, New York, (1980).
12. Wirtz, R. A., and Stutzman, R.J. "Experimental on free convection between vertical plates with symmetric heating", *Heat transfer*, **104**, pp. 501-507 (1982).