مجلهٔ فنی و مهندسی مدرس- مکانیک
دورهٔ دهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۸۹

جابه‌جایی مختلط و تشعشع سطحی در کانال شیبدار با منابع گرمایی برجسته

محمد رضا شیرزادی[۱]، علی بهبهانی نیا[۲*]، مجید قاسمی[۳]
۱- کارشناس ارشد دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- استادیار دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳- دانشیار دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
***تهران، صندوق‌پستی ۱۹۹۹- ۱۹۳۹۵**
alibehbahaninia@kntu.ac.ir
(دریافت مقاله: آذر ۱۳۸٦، پذیرش مقاله: مهر ۱۳۸۷)

چکیده- در این مقاله حل عددی جابه‌جایی مختلط با هدایت حرارتی و تشعشع سطحی در کانال شیبدار تشکیل شده از یک برد مدار چاپی همراه با سه تراشه به‌عنوان مولد گرما بررسی شده‌است. جریان هوا بعنوان سیال خنک کننده به‌صورت حالت دائم، لایه‌ای، تراکم ناپذیر و در حال توسعه حرارتی و هیدرودینامیکی فرض شده است. معادلات حاکم با استفاده از روش حجم محدود در شبکه جابه‌جا گسسته سازی شده و برای تزویج سرعت و فشار روش سیمپل به‌کار رفته است. مقایسه نتایج عددی با کارهای تجربی و عددی موجود صحت و دقت نتایج را تأیید می‌کند. نتایج عددی برای توزیع دما و سرعت وبیشینه دمای تولید شده در تراشه به‌ازای زاویه نصب $0 < \varphi < 90$ و سرعتهای مختلف فن، بر پایه عدد رینولدز در محدوده $150 < \mathrm{Re}_D < 1400$ و شار حرارت تولیدی در تراشه‌ها بر پایه عدد گراشف در محدوده $7\times10^{4} - 1/2\times10^{6}$ ارائه شده است. بیشترین تأکید بر مقایسه دو حالت مختلف طراحی برد به‌صورت افقی $\varphi = 0$ و عمودی $\varphi = 90$ به‌ازای پارامترهای مختلف است. نتایج نشان می‌دهند که دمای بیشینه، به‌عنوان مهمترین پارامتر طراحی تجهیزات الکترونیکی، در محدوده جابه‌جایی طبیعی با افزایش زاویه نصب برد از حالت افقی به حالت عمودی، تا ۱۲ سانتی‌گراد کاهش می‌یابد اما در محدوده جابه‌جایی اجباری، تا ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد.

کلیدواژگان: جابه‌جایی مختلط، ترکیب هدایت و جابه‌جایی و تشعشع، حل عددی، کانال شیبدار

Conjugate Mixed convection with Surface Radiation in an Inclined Channel with Protruding Heat Sources

M. R. Shirzadi[1], A. Behbahani-nia[2*], M. Ghasemi[3]
1- Master of Science, MAPNA Turbine Engineering and Manufacturing Co. (TUGA)
2- Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, K N Toosi University of Technology
3- Associate Professor, Mechanical Engineering Department, K N Toosi University of Technology
***P O Box: 19395-1999 Tehran**
alibehbahaninia@kntu.ac.ir

Abstract
Numerical solution for mixed convection combined with surface radiation in an inclined channel containing three protruding heat sourcesis investigated in this article. This combinationre present printed circuit boards in electrical equipments. Air is assumed to be the working fluid which is laminar, steady, incompressible and thermally and hydrodynamicaly developing. Governing equations are discretized using the F.V. method in an staggered domain and simple algorithm is used to couple velocity and a pressure. Numerical results presented for temperature and velocity contribution and maximum temperature that occur in chips for different valuesof fan velocity as Reynolds number 150<Re<1400 and heat generated in chips as Grashof number $1 < Gr < 1.2\times10^{7}$ and channel installation angel $0 < \phi < 90$. Main emphasis in this article is comparison between vertical and horizontal design of electrical equipments. According to results in natural convection regime maximum temperature decreases as channel angel increase from 0 to 90 but in forced convection regime, maximum temperature increases 30 centigrade.
Keywords: Conjugate Convection, Conduction, Radiation, Numerical Solution, Incline

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]

۱- مقدمه

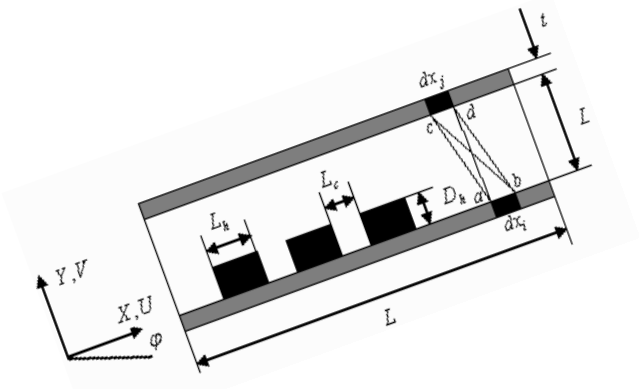
با پیشرفت روزافزون فناوری ساخت، تجهیزات الکترونیکی کوچکتر و یا بازدهی بیشتر و دارای شار حرارتی بیشتری شده‌اند. یکی از موارد مهم در طراحی و نگهداری تجهیزات گرمازای الکترونیکی، بهبود روش‌های سرمایش برای کارکرد در دمای مطمئن و ایمن است. هوا به‌عنوان سیال خنک کننده به‌دلیل مسائل اقتصادی و ایمنی، در بیشتر موارد استفاده می‌شود. نتایج عددی برای کانال شیبدار و دارای منابع گرمایی هم‌دما توسط یوسل [۱] ارائه شده است. چائو و ارتگا [۲] نیز به بررسی جابه‌جایی مختلط در کانال شیبدار با منابع گرمایی با شار یکنواخت پرداخته‌اند. کیم و آناناند [۳] به بررسی جابه‌جایی اجباری برای منابع گرمایی برجسته پرداخته‌اند و با به‌کار بردن شرط مرزی تکرار شونده در عرض کانال، نتایج را برای یک دسته برد الکتریکی ارائه کرده‌اند. بالاجی [٤] به بررسی جابه‌جایی طبیعی در شکاف با در نظر گرفتن تشعشع سطحی و هدایت در دو دیواره عمودی و یک دیواره همدما به‌ازای اعداد مختلف رایلی پرداخته است.

فوروکاوا [٥] به بررسی جابه‌جایی اجباری در یک دسته برد افقی که دارای منابع حرارتی برجسته باشند پرداخته امّا فقط هدایت و جابه‌جایی را در نظر گرفته است. نتایج تجربی در کانال افقی که دارای دو ردیف منبع گرمایی به‌صورت ۴×۸ در دیواره پایینی و بالایی نصب شده، توسط دوقان [٦] ارائه شده است. او نسبتهای طول به عرض برابر ۲، ٤و۱۰ را به‌ازای اعداد مختلف رینولدز و گراشف مختلف بررسی کرده است. بالاجی [۷] با در نظر گرفتن تشعشع سطحی و هدایت در فاز جامد، به بررسی جابه‌جایی مختلط در کانال افقی با ٤ منبع گرمایی برجسته پرداخته و با ثابت فرض کردن هندسه کانال به بررسی اثر ضریب هدایت و ضریب صدور برد و منابع حرارتی پرداخته است. رائو [۸] به بررسی جابه‌جایی مختلط بدون در نظر گرفتن تشعشع در یک دسته برد که به‌صورت عمودی قرار دارند، پرداخته است. بر طبق نتایج حاصل، ٤۱ تا ٤۷ درصداز گرمای تولید شده در تراشه‌ها توسط هدایت حرارتی در برد منتقل می‌شود. مارتینز [۹] بصورت تجربی به بررسی جابه‌جایی مختلط برای اعداد رینولدز ۳۰۰ تا۷۰۰ در کانال عمودی -که بصورت نامتقارن گرم می‌شود و جهت نیروی شناوری مخالف جریان اصلی است- پرداخته‌است و نشان داده است که نیروی شناوری در اطراف دیواره‌های داغ، باعث نامتعادل کردن جریان و به‌وجود آمدن گردابه‌هایی در آن می‌شود. شریف [۱۰] به بررسی اثر شیب حفره بر جابه‌جایی مختلط در حفره‌ای دو بعدی که دارای یک دیواره‌ای متحرک است، بدون در نظر گرفتن تشعشع پرداخته و نشان می‌دهد که با افزایش زاویه حفره، مقدار متوسط عدد نوسلت افزایش می‌یابد.

با بررسی کارهای انجام شده مشاهده می‌شود که فقط در دو مورد از تحقیقات، تشعشع سطحی در نظر گرفته شده است. همچنین تحقیقی در مورد بررسی اثر شیب کانال و تشعشع سطحی در بردی با منابع حرارتی برجسته و با در نظر گرفتن همزمان هدایت، جابه‌جایی و تشعشع انجام نشده است. همچنین با آن که تحقیقات و متنوعی درزمینه جابه‌جایی مختلط در کانال عمودی و افقی به‌طور جداگانه انجام شده، اما تا کنون مقایسه جامعی بین طراحی تجهیزات گرمازا به‌صورت افقی یا عمودی انجام نشده‌است. در این مقاله به‌این موضوع به عنوان یکی از اهداف اصلی پرداخته شده است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]



شکل ۱ هندسه برد الکترونیکی و سه تراشه متصل به آن

۲- توصیف مسأله

طرحواره از مسأله مورد نظر در شکل ۱ نشان داده شده که شامل برد الکترنیکی با سه تراشه مولد گرما است. برد می‌تواند به‌صورت افقی ، عمودی یا با زاویه نصب φ نسبت به افق قرار گیرد . هدایت حرارتی در برد و تراشه ها و دیواره بالایی - که می‌تواند یک برد دیگر یا دیواره محفظه تجهیرات الکترونیکی باشد- در نظر گرفته شده است. سطح خارجی تمامی دیواره‌ها عایق است. با فرض خنک‌کاری به کمک هوا ($pr = ۰.۷۱$) و شفاف بودن آن در دمای کاری مورد بررسی، تشعشع سطحی بین سطوح داخلی و ورودی و خروجی کانال در نظر گرفته شده است. جریان سیال به‌صورت دوبعدی، آرام، تراکم‌ناپذیر و در حال توسعه حرارتی و هیدرودینامیکی است. تمامی خواص فیزیکی سیال بجز چگالی آن ثابت است که برای آن از فرض بوزینسک برای جمله نیروی شناوری استفاده شده است. برای ارائه نتایج، مقادیر طول برد $L = ۲۵۰mm$ ، عرض کانال $D = ۲۵mm$ ، فاصله اولین تراشه با ورودی $L_1 = ۶۰mm$ ، طول تراشه $L_h = ۱۵mm$ ، ارتفاع تراشه $D_h = ۷/۵mm$ ، فاصله بین تراشه‌ها $L_c = ۲۰mm$ ، ضریب هدایت حرارتی برد $k_s = ۰/۲۵$ و ضریب هدایت حرارت تراشه $k_h = ۱/۰۴$ و ضریب صدور تراشه‌ها $\varepsilon_h = /۵۵$ و ضریب صدور برد $\varepsilon_s = ۰/۵۵$ بعنوان ابعاد پایه فرض شده‌است. با فرض وجود یک فن در راستای کانال، هوا با سرعت u_{in} و دمای T_{in} به کانال وارد می‌شود. محدوده مقادیر مورد استفاده در حل عددی در جدول ۱ نشان داده شده است. برای بی‌بعد کردن معادلات، پارامترهای بدون بعد به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$X = \frac{x}{D}, Y = \frac{y}{D}, U = \frac{u}{u_{in}}, V = \frac{v}{u_{in}}, \theta = \frac{T - T_{in}}{\Delta T_{ref}}$$

$$P = \frac{p}{\rho u_{in}^2}, \Delta T_{ref} = q_v L_h D_h / k_{air}$$

با صرف‌نظر از اتلاف لزجت و اثر تراکم‌پذیری هوا، معادلات حاکم بی بعد برای دو فاز سیال و جامد به‌صورت زیر است:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = ۰ \qquad (۱)$$

$$U\frac{\partial U}{\partial X} + V\frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{۱}{\mathrm{Re}_D}\left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2}\right) + \frac{Gr^*}{\mathrm{Re}_D^2}\theta\sin\varphi \qquad (۲)$$

$$U\frac{\partial V}{\partial X} + V\frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{۱}{\mathrm{Re}_D}\left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2}\right) + \frac{Gr^*}{\mathrm{Re}_D^2}\theta\cos\varphi \qquad (۳)$$

$$\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}_{air}\left(U\frac{\partial \theta}{\partial X} + V\frac{\partial \theta}{\partial Y}\right) = \frac{k}{k_{air}}\left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2}\right) + \frac{D^2}{L_h D_h}\delta \qquad (۴)$$

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]

δ، دلتای کرونیکر، در سیال و برد برابر صفر و در تراشه‌ها برابر یک است.

انتقال حرارت تشعشعی سطحی در داخل کانال از روش محفظه[1] و به کمک فرمول‌بندی رادیوسیتی[2] محاسبه شده است. برای این منظور دیواره‌های داخل کانال به‌صورت سطح دیفیوز و خاکستری و ورودی و خروجی کانال بصورت دیوار سیاه در دمای محیط و هوا از نظر تشعشعی شفاف[3] فرض شده است. ضرایب شکل از روش نخهای متقاطع هاتل[۹] محاسبه شده است. در این روش تقریبی فاصله لبه‌های هر دو المان روی سطوح جامد در داخل کانال با یکدیگر محاسبه‌گردیده و سپس از رابطهٔ زیر استفاده شده است.

$$F_{i,j} = \frac{L_{ad} + L_{bc} - L_{ac} - L_{bd}}{2dx_i} \qquad (۵)$$

شار گرمای تشعشعی خروجی برای هر المان i به‌صورت زیر محاسبه می شود.

$$j_i = \varepsilon_i \sigma T_i^{4} + (1-\varepsilon_i)\sum_{j=1}^{n} F_{ij} j_j \qquad (۶)$$

با محاسبه شار گرمای خروجی از هر المان می‌توان شار گرمایی خالص تشعشی از آن را محاسبه و آن را به معادله انرژی اضافه کرد. شار گرمایی خالص تشعشی از رابطه زیر برای هر المان i محاسبه می‌شود:

$$q_r = \frac{\sigma T_i^{4} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i} \qquad (۷)$$

جدول ۱ محدوده پارامترهای مورد استفاده

$۱۵۰ < \mathrm{Re}_D < ۱۴۰۰$
$۷\times۱۰^{۴} < Gr^{*} < ۱/۲\times۱۰^{۶}$
$۱۹ < k_h / k_{air} < ۲۵۰$
$۵ < k_s / k_{air} < ۱۶۰$
$۰/۴ < \varepsilon_s < ۰/۹$
$۰/۴ < \varepsilon_h < ۰/۹$
$۰ < \varphi < \pi/۲$

اگر فاصله دو گره جامد و سیال با هم برابر ∂e و فاصله گره جامد تا سطح میانی برابر ∂e^{-} و برای سیال برابر ∂e^{+} باشد، ضریب هدایت حرارتی بر روی سطح تماس جامد و سیال بر طبق [۵]برابر است با:

$$k_{\mathrm{int}} = \frac{k_{air} k_s}{k_{air}\dfrac{\partial e^{-}}{\partial e} + k_s \dfrac{\partial e^{+}}{\partial e}} \qquad (۸)$$

شرایط مرزی حاکم بر مسأله به‌صورت زیراست:

- ورودی $X = ۰$ و $۰ \le Y \le ۱$

$$U = ۱\ ,\ V = ۰\ ,\ \theta = ۰ \qquad (۹)$$

- خروجی $X = \dfrac{L}{D}$ و $۰ \le Y \le ۱$

$$\frac{\partial V}{\partial X} = ۰, \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} = ۰ \quad if \quad U > ۰,\ \theta = ۰ \ if\ U \le ۰ \qquad (۱۰)$$

- دیواره‌ها $Y = -\dfrac{t}{D}$ و $Y = ۱ + \dfrac{t}{D}$ و $۰ \le X \le \dfrac{L}{D}$

$$\frac{\partial \theta}{\partial Y} = ۰ \qquad (۱۱)$$

در خروجی کانال برای سرعت U، شرط بقای جرم اعمال شده است. برای مدل سازی دقیقتر دمای سیال برگشتی و چرخش جریان در خروجی، شرط مرزی (۹) اعمال شده است. دیواره‌های خارجی به‌صورت عایق فرض

1. Enclosure
2. radiosity/irradiation
3. non participating medium

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]

شده‌اند و شرط عدم لغزش سیال بر روی سطوح جامد اعمال شده است. از آنجا که معادلات فاز جامد و سیال به‌طور همزمان حل شده، نیازی به شرط مرزی حرارتی بین سطح تماس آنها وجود ندارد و معادلات بقا در این سطح مشترک خودبخود ارضا می‌شوند. چهار گوشه فاز جامد در ورودی و خروجی نیز عایق فرض شده است.

۳- حل عددی

معادلات جبری حاکم بر مسأله با روش حجم محدود و به‌کمک الگوریتم سیمپل برای متغیرهای U، V، P، θ و J^* حل شده است. برای گسسته سازی جملهٔ جابه‌جایی /پخش از روش پاورلاو[1] استفاده شده است. برای محاسبه هدایت حرارتی ، جابه‌جایی و تشعشع از شبکه‌ای تک‌ناحیه‌ای غیریکنواخت و جابه‌جا[2] در کل ناحیه حل استفاده شده است. برای حل معادله تشعشع (٦) دما از مرحله قبلی در جملهٔ $\varepsilon_i \sigma T_i^4$ قرار داده شده و این جملهٔ به‌صورت جملهٔ منبع در معادله قرار گرفته و معادله حل می‌شود.

در نزدیکی سطوح جامد تعداد گره‌ها به‌علت بیشتر بودن گرادیان سرعت و دما بیشتراست. برای همگرایی سریعتر ضرایب تخفیف برای U، V، P، θ، J^* به‌ترتیب برابر ۰/۶، ۰/۷، ۰/۶، ۰/۸۵ و ۰/۶ انتخاب شده است . برای حل دستگاه معادلات به‌دست آمده برای هدایت و جابه‌جایی از روش ماتریس سه‌قطری[3] و برای تشعشع از روش گوس سایدل استفاده شده است. معیار همگرایی برای متغیرهای مسأله به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Re = \frac{\sum_{i,j} (\phi_{i,j}^{k+1} - \phi_{i,j}^{k})^2}{\sum_{i,j} (\phi_{i,j}^{k+1})^2} < 10^{-6} \qquad (12)$$

1. Power law
2. Staggered
3. TDMA

به‌منظور به‌دست آوردن نتایج مستقل از اندازه شبکه به‌ازای $\mathrm{Re} = 300$ و زاویه نصب $\varphi = 0$ و ابعاد مرجع، با تغییر دادن تعداد اندازه شبکه‌ها، تغییرات دمای بیشینه را بررسی می کنیم که نتایج آن در جدول (۲) آمده است . در زبرترین حالت شبکه دمای بیشینه با ریزترین حالت حدود۳٪ اختلاف دارد. بنابراین در کل محاسبات اندازه شبکه برابر ۳۴۰×۵۶ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ دمای بیشینه بی بعد به‌ازای $Gr^* = 7.87 \times 10^5$ ، $\mathrm{Re} = 300$ ، $\varphi = 0$ و ابعاد پایه

دمای بیشینه $\theta_{\max}$	تعداد گره‌ها در جهت Y	تعداد گره‌ها در جهت X
۰/۱۷۹۸	۳۰	۲۰۰
۰/۱۸۲٤	٤۰	۲۸۰
۰/۱۸٤٦۸	٤٥	۳٤۰
۰/۱۸٤٦۲	٥٦	۳٤۰
۰/۱۸٤۸٥	٦٤	۳٤۰

تأیید صحت نتایج عددی حاصل با مقایسه نتایج عددی و تجربی ارائه شده توسط کیم [۱۱] برای جابه‌جایی طبیعی در یک دسته کانال عمودی و بدون مانع انجام شده است. در شکل ۲ عدد متوسط نوسلت به‌دست آمده از کارهای تجربی و عددی مقایسه شده‌است. نتایج عددی دقت مناسبی در مقایسه با نتایج تجربی دارند و بیشترین اختلاف آن برابر ۸٪ است.

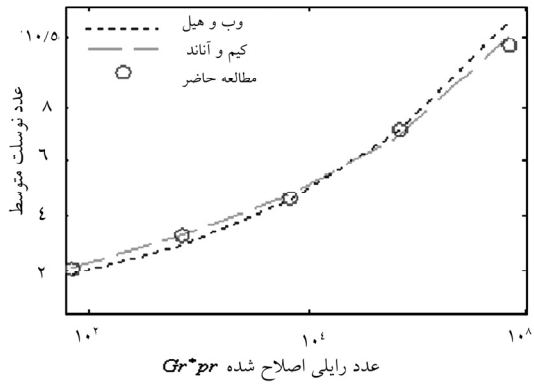
٤- بحث و ارائه نتایج

٤-۱- بررسی اثر عدد رینولدز

در شکل ۳ بازای ابعاد مرجع و چهار زاویه مختلف نصب و $\mathrm{Re} = 150$ و $Gr^* = 1/055 \times 10^5$، منحنی‌های دما و خطوط جریان نشان داده شده است. در حالت $\varphi = 0$

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]

بزرگ بودن جملهٔ $\frac{Gr^*}{\mathrm{Re}_D^2}\theta\cos\varphi$ در معادله (۳) و عمود بودن نیروی شناوری بر جریان، باعث بالا رفتن سیال اطراف دیواره‌های گرم و ضخیم شدن لایه مرزی در انتهای کانال می‌شود. با افزایش زاویه نصب به $\varphi = ۳۰$ و اضافه شدن جملهٔ $\frac{Gr^*}{\mathrm{Re}_D^2}\sin\varphi$ به معادله (۲)، اندازه و قدرت گردابه های بین تراشه‌ها و بعد از آخرین آنها کمتر می‌شود. در این حالت به‌علت بیشتر شدن سرعت سیال در کناره تراشه ها، دمای بیشینهٔ در تراشه‌ها کمتر می‌شود. بهٔازای $\varphi = ۶۰$ نیز وضعیت به همین صورت است.

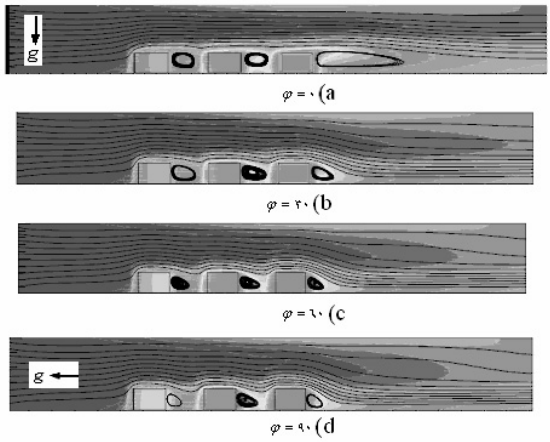


شکل ۲ مقایسه نتایج عددی با نتایج کیم [۳] برای جابه‌جای طبیعی در کانال عمودی

در حالت طراحی کانال به‌صورت عمودی $\varphi = ۹۰$، اثر جابه‌جایی طبیعی و اجباری با یکدیگر جمع می‌شده و باعث افزایش سرعت سیال و کاهش دمای بیشینه به بیشترین حد خود می شود. با دقت در توزیع دما در شکل ۳ مشاهده می‌شود که دمای اولین تراشه به‌علت برخورد با هوای تازه و تشعشع بیشتر با محیط بیرون ، کمتر از دو تراشه دیگر است. در شکل ٤ بهٔازای ابعاد مرجع و چهار زاویه مختلف نصب و $\mathrm{Re} = ۱٤۰۰$ و $Gr^* = ۱/۰۵\times۱۰^۵$، منحنی‌های دما و خطوط جریان نشان داده شده است. با افزایش عدد رینولدز Re جملهٔ $\frac{Gr^*}{\mathrm{Re}_D^2}$ در معادلات مومنتم (۲)و (۳) به‌سرعت کاهش‌می یابد و در نتیجه سهم جابه‌جایی طبیعی بر رفتار سیال کمتر شده و سهم جابه‌جایی اجباری بیشتر می‌شود. در $\mathrm{Re} = ۱۴۰۰$ به‌علت بیشتر بودن سرعت سیال، گردابه‌های بزرگتری نسبت به $\mathrm{Re} = ۱۵۰$ تشکیل می‌شود که این گردابه‌ها تا انتهای کانال ادامه داشته و باعث وارد شدن سیال سرد در خروجی کانال می شود. از آنجا که در یک کانال افقی این گردابه ها قویتر و دارای طول بیشتری نسبت به کانال عمودی است، سیال سرد بیشتری از سمت خروجی به کانال وارد شده و باعث کاهش بیشتر دما می‌شود. در شکل ۵a دمای بیشینه ایجاد شده در تراشه به‌ازای زوایای مختلف نصب و اعداد مختلف رینولدز ترسیم شده است. با ثابت نگاه داشتن خواص فیزیکی و هندسی، همواره با افزایش عدد رینولدز دمای بیشینه کاهش می‌یابد. در اعداد رینولدز کم -که جابه‌جایی طبیعی سهم بیشتری دارد- با افزایش زاویه نصب از حالت افقی $\varphi = ۰$ به حالت عمودی $\varphi = ۹۰$ دمای، بیشینه بی بعد در $\mathrm{Re} = ۱۵۰$ و $\mathrm{Re} = ۳۰۰$ به‌ترتیب ۲۱٪ و ۱۵٪ کاهش و در $\mathrm{Re} = ۷۰۰$ و $\mathrm{Re} = ۱۰۰۰$ به ترتیب ۱/۱٪ و ٤/٦٪ افزایش می‌یابد که ناشی از کاهش طول گردابه ها و کاهش میزان سیال ورودی در انتهای کانال است. در شکل ٦ دمای برد و دیواره کانال به‌ازای عدد رینولدز $\mathrm{Re} = ۱۵۰$ و $\mathrm{Re} = ۱۰۰۰$ و زوایای مختلف ترسیم شده است. به‌علت تشعشع با محیط بیرون و تماس با هوای تازه، دمای سمت ورودی برد و دیواره کم است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]

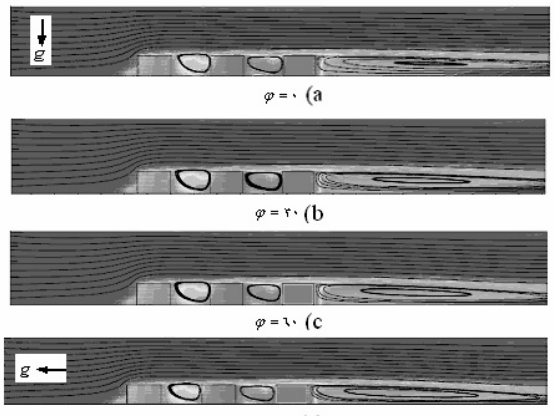


شکل ۳ خطوط جریان و منحنی‌های دما در Re=۱۵۰، $Gr^* = ۱/۰۵۰۵\times۱۰^{٦}$ ، $A = ۱۰$ ، $k_s = ۰/۲٦$ و $k_h = ۱/۰٤$ و $\varepsilon_h = \varepsilon_s = ۰/۵۵$ (a $\varphi = ۰$ (b $\varphi = ۳۰$ (c $\varphi = ٦۰$ (d $\varphi = ۹۰$

در فاصله زیر تراشه‌ها بر اثر انتقال حرارت هدایتی از تراشه به برد دمای برد بالاتر است. بعد از آخرین تراشه، به‌علت تشکیل گردابه‌ها و انتقال حرارت تشعشعی با محیط سرد بیرون از طریق خروجی کانال، دمای سطح به‌سرعت کاهش پیدا می‌کند. در نمودار سمت راست شکل ٦ دمای دیواره روبه‌رو.منابع حرارتی ترسیم شده است. علت گرم شدن این دیواره، انتقال حرارت تشعشعی برد و تراشه‌ها به آن است.

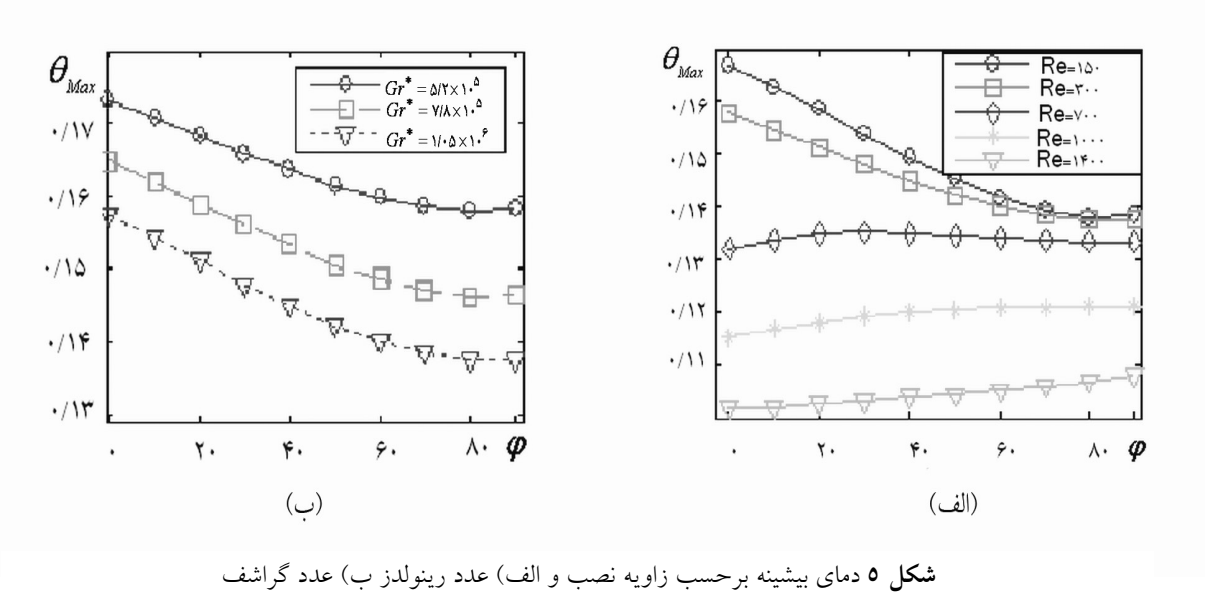
٤-۲ بررسی اثر عدد گراشف اصلاح شده

عدد گراشف اصلاح شده به‌صورت $Gr^* = g\beta\Delta T_{ref}D^۳/\upsilon^۲$ تعریف می‌شود. برای بررسی اثر عدد گراشف اصلاح شده Gr^* بر خواص حرارتی و هیدرودینامیکی سیال، ابعاد ثابت فرض شده و فقط مقدار شار حرارتی تراشه‌ها تغیر می‌کند. در شکل ۷ سرعت سیال در خروجی کانال برای عددگراشف برابر $Gr^* = ۵/۲\times۱۰^{۵}$ و $Gr^* = ۷/۸۷\times۱۰^{۵}$ و $Gr^* = ۱/۰۵\times۱۰^{۶}$ و زوایای مختلف در $\mathrm{Re} = ۱۵۰$ ترسیم شده است. درکانال افقی($\varphi = ۰$) ، پروفیل سرعت به شکل سهمی بوده و تغیر عدد گراشف اصلاح شده، اثری بر شکل آن ندارد. با افزایش زاویه نصب کانال و همجهت شدن نیروی شناوری و جابه‌جایی اجباری سرعت سیال در کنار برد حامل تراشه‌ها به‌علت دمای بالا، افزایش پیدا می‌کند. بیشترین سرعت سیال در حالت نصب کانال به‌صورت عمودی $\varphi = ۹۰$ حاصل‌می‌شود زیرا جابه‌جایی طبیعی و جابه‌جای اجباری کاملا همجهت می‌شوند. در شکل (b)۵ دمای بیشینه بی بعد به‌ازای زوایای مختلف نصب اعداد مختلف گراشف در $\mathrm{Re} = ۳۰۰$ و ابعاد پایه ترسیم شده است. بر طبق تعریف دمای بی بعد با عدد گراشف نسبت عکس دارد و با افزایش عدد گراشف اصلاح شده دمای بیشینه بی بعد کاهش و دمای بعددار افزایش می‌یابد. با افزایش زاویه نصب کانال از ۰ به ۹۰، دمای بیشینه بی بعد به‌ازای $Gr^* = ۵/۲\times۱۰^{۵}$، ۱۰/۷٪ و به ازای $Gr^* = ۷/۸۷\times۱۰^{۵}$، ۱۳/۷٪ و به‌ازای $Gr^* = ۱/۰۵\times۱۰^{۶}$، ۱۵/٤٪ کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش عدد گراشف به‌ازای مقدار ثابت عدد رینولدز، اثر جابه‌جایی طبیعی بیشتر می‌شود.

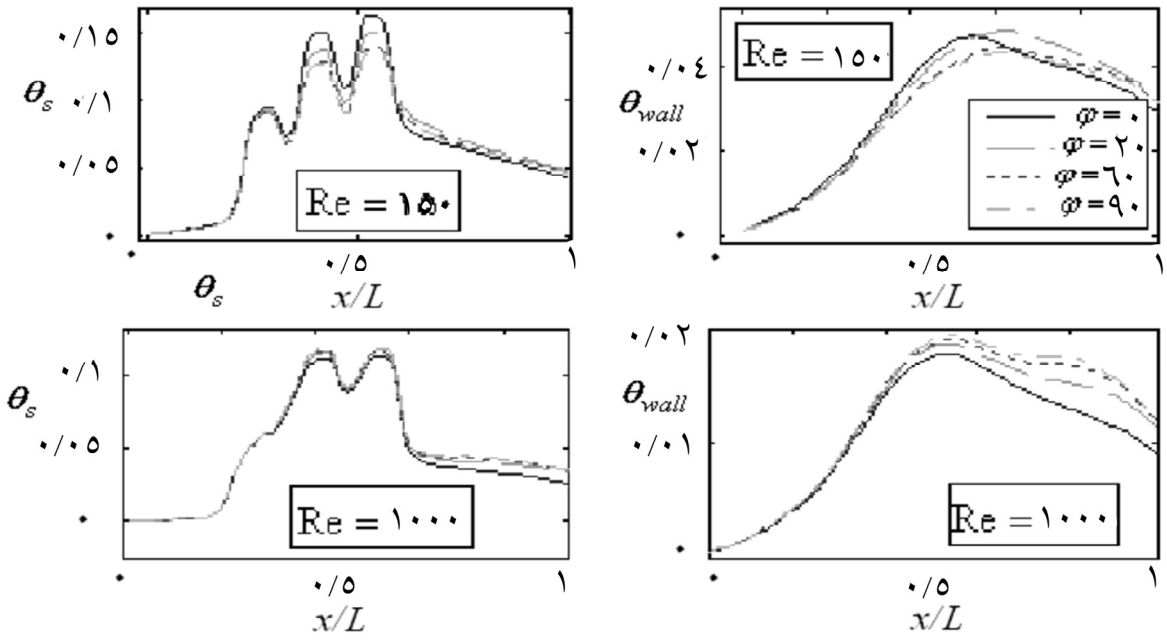


شکل ٤ خطوط جریان و منحنی‌های دما در Re=۱٤۰۰، $Gr^* = ۱/۰۵۰۵\times۱۰^{٦}$ ، $A = ۱۰$ ، $k_s = ۰/۲٦$ و $k_h = ۱/۰٤$ و $\varepsilon = ۰/۵۵$ $\varphi = ۰$ (a) $\varphi = ۳۰$ (b) $\varphi = ٦۰$ (c) $\varphi = ۹۰$ (d)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]



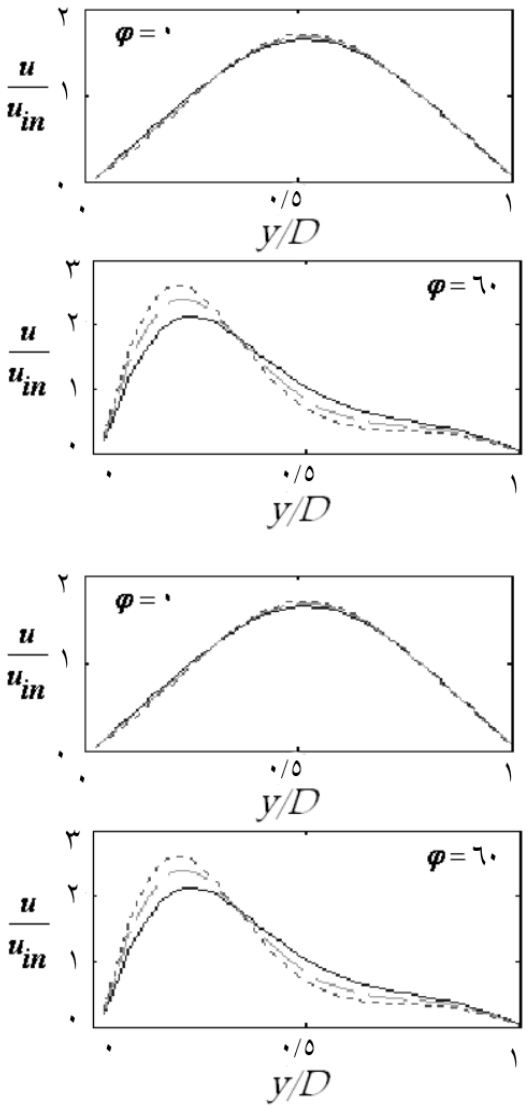
شکل ۵ دمای بیشینه برحسب زاویه نصب و الف) عدد رینولدز ب) عدد گراشف



شکل ٦ دمای بی بعد دیواره‌های کانال به‌ازای $Gr^* = ۷/۸۷\times۱۰^۵$

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]

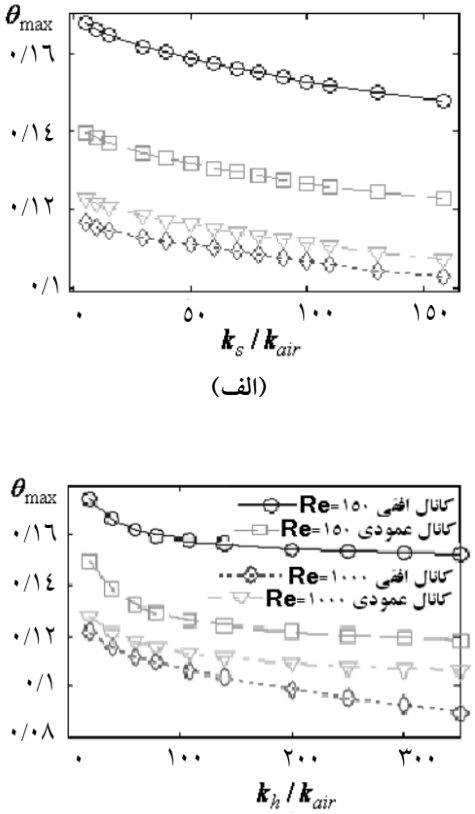


شکل ۷ پروفیل سرعت در انتهای کانال در زوایا و اعداد گراشف مختلف بازای Re = ۱۵۰

۴-۳ بررسی خواص برد و تراشه ها بر رفتار هیدرودینامیک و حرارتی سیال

۴-۳-۱ بررسی اثر ضریب هدایت حرارتی تراشه و برد

در شکل شماره ۸ دمای ماکزیمم بدون بعد بر حسب ضریب هدایت حرارتی تراشه ها و برد به‌ازای Re = ۱۵۰ و Re = ۱۰۰۰ و در دو حالت کانال افقی $\varphi = ۰$ و عمودی $\varphi = ۹۰$ ارائه شده است. با افزایش ضریب هدایت حرارتی بی بعد تراشه از ۲۰ به ۳۴۶ دمای ماکزیمم بدون بعد به ازای Re=۱۵۰ و $\varphi = ۰$، ۰/۰۲۲۵ و در $\varphi = ۹۰$، ۰/۰۳۰۷ و به‌ازای Re=۱۰۰ و $\varphi = ۰$، ۰/۰۳۲۵ و در $\varphi = ۹۰$، ۰/۰۲۱۸ کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش ضریب هدایت حرارتی بی بعد برد از ۵ به ۱۶۰ دمای ماکزیمم بدون بعد به‌ازای Re = ۱۵۰ و $\varphi = ۰$، ۰/۰۲ و در $\varphi = ۹۰$، ۰/۰۱۵۸ و به‌ازای Re = ۱۰۰۰ و $\varphi = ۰$، ۰/۰۱۳۵ و در $\varphi = ۹۰$، ۰/۰۱۵۳ کاهش می‌یابد.



(الف)

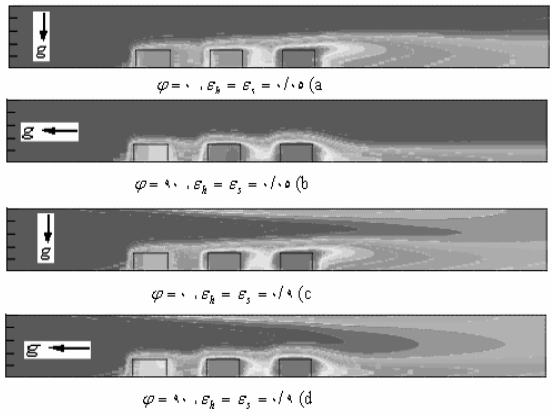
(ب)

شکل ۸ دمای بیشینه بر حسب ضریب هدایت حرارتی الف) برد ب) تراشه بازای $Gr^* = ۱/۰۵\times۱۰^۶$

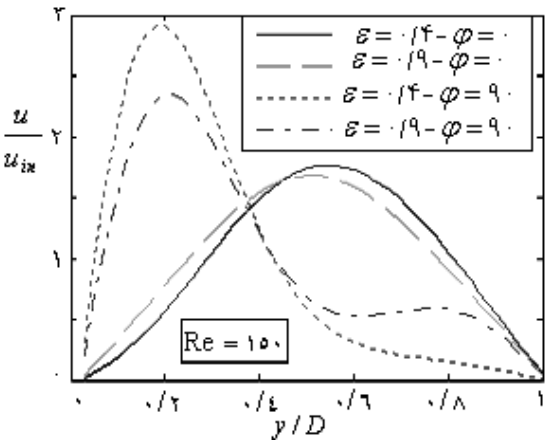
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]

٤-٣-٢ بررسی ضریب صدور دیواره و برد

به‌علت کم‌اثر بودن ضریب صدور تراشه‌ها، نتایج فقط برای ضریب صدور دیواره‌ها ارائه شده و در تمامی موارد ضریب صدور تراشه‌ها برابر ضریب صدور برد فرض شده است. در شکل۹ توزیع دما به‌ازای $\varepsilon_h = \varepsilon_s = ۰/۰۵$ و $\varepsilon_h = \varepsilon_s = ۰/۹$ در $\mathrm{Re} = ۱۵۰$ و $Gr^* = ۱/۰۵\times۱۰^{۶}$ و ابعاد پایه نشان داده شده است. با مقایسه شکل‌های(a)۹ و(c)۹ مشاهده می شود که به‌ازای ضریب صدور پایین (۰/۰۵) بعلت کم شدن انتقال حرارت تشعشعی از برد و تراشه‌ها به دیواره مسطح مقابل، دمای آن تغییر نکرده و گرم نمی‌شود. اما به‌ازای $\varepsilon_h = \varepsilon_s = ۰/۹$، انتقال حرارت تشعشعی افزایش می‌یابد و دمای دیواره مسطح نیز بالا رفته و باعث به‌وجود آمدن لایه‌ای مرزی حرارتی بر روی دیوار مسطح می‌شود. این لایه مرزی در اعداد کوچک رینولدز در وسط کانال، به لایه مرزی تشکیل شده روی برد می‌رسد اما در اعداد رینولدز بالاتر، تا انتهای کانال ادامه پیدا می‌کنند و بهم نمی‌رسند. در شکل۱۰ پروفیل سرعت در انتهای کانال به‌ازای ضرایب مختلف صدور و $Gr^* = ۱/۰۵\times۱۰^{۶}$ و ابعاد پایه ترسیم شده است. در یک کانال افقی $\varphi = ۰$، پروفیل سرعت با تغییر ضریب صدور تغییر محسوسی نمی‌کند. با افزایش زاویه نصب کانال تأثیر ضریب صدور بر سرعت سیال بیشتر می‌شود. در یک کانال عمودی $\varphi = ۹۰$ و $\varepsilon_h = \varepsilon_s = ۰/۴$ به‌علت کم بودن انتقال حرارت تشعشعی، دیواره مسطح به اندازه کافی گرم نیست که باعث راندن سیال به‌سمت بالا شود و همان‌طور که در شکل به‌صورت نقطه چین نشان داده شده، فقط در طرف برد اصلی، سیال سرعت بیشتری گرفته است. با افزایش ضریب صدور به۰/۹، دمای دیواره مسطح و سرعت سیال در نزدیکی آن بیشتر می‌شود. با افزایش عدد رینولدز و غالب شدن جابه‌جایی اجباری، اثر تشعشع سطحی بر سرعت کمتر می‌شود.



شکل ۹ توزیع دما به‌ازای $\varepsilon_h = \varepsilon_s = ۰/۰۵$ و $\varepsilon_h = \varepsilon_s = ۰/۹$ و $\mathrm{Re} = ۱۵۰$ و $Gr^* = ۱/۰۵\times۱۰^{۶}$



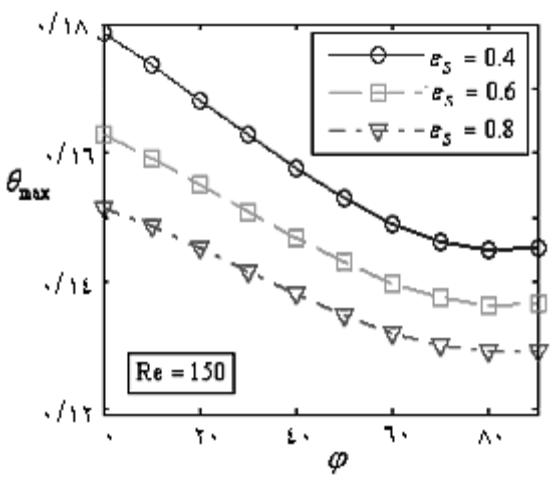
شکل ۱۰ پروفیل سرعت در انتهای کانال برحسب ضرایب صدور مختلف به‌ازای $Gr^* = ۱/۰۵\times۱۰^{۶}$

در شکل ۱۱دمای بیشینه بی بعد بر حسب ضرایب صدور و زوایای نصب مختلف ترسیم شده است. با افزایش ضریب صدور برد و تراشه از ۰/٤به ۰/۸دمای

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]

بیشینه بی بعد به‌ازای $\mathrm{Re}=150$ و $\varphi=0$، ۰/۰۲۷۳ و در $\varphi=90$، ۰/۰۱۵۸ و به‌ازای $\mathrm{Re}=1000$ و $\varphi=0$، ۰/۰۲۲۶ و در $\varphi=90$، ۰/۰۲۵۲ کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱ دمای بیشینه بی بعد بر حسب ضریب صدور و زاویه نصب به‌ازای $Gr^* = 1/05\times10^6$

۵- نتیجه‌گیری

نتایج حل عددی جابه‌جایی مختلط حالت پایا، لایه‌ای و تراکم‌ناپذیر با در نظر گرفتن تشعشع و هدایت حرارتی دیواره‌ها در برد الکترونیکی با سه تراشه مولد گرما در زوایای نصب مختلف با فرض هوا به‌عنوان سیال خنک‌کننده ارائه شده است. به‌ازای محدوده ابعاد داده شده، نتایج زیر به‌دست آمده است.

۱- در اعداد کم رینولدز ($\mathrm{Re}<500$) با بیشتر شدن زاویه نصب، اثر جابه‌جایی طبیعی بیشتر شده و باعث افزایش سرعت سیال در کنار دیواره‌های داغ و کاهش دمای بیشینه تا $12^{\circ}c$ درجه سانتی‌گراد در $\mathrm{Re}=150$ می‌شود. همچنین درعداد کوچک رینولدزهای با افزایش زاویه نصب، طول گردابه‌های بین تراشه‌ها و بعد از آخرین تراشه به‌سرعت کم می‌شود.

۲- در اعداد بالای رینولدز جابه‌جایی اجباری غالب است و با افزایش زاویه نصب کانال -به‌علت کم شدن قدرت گردابه بعد از آخرین تراشه و کمتر شدن قدرت مکش در انتهای کانال- دمای بیشینه تا $3^{\circ}c$ درجه سانتی‌گراد به‌ازای $\mathrm{Re}=1400$ افزایش می‌یابد.

۳- با افزایش عدد گراشف به‌ازای اعداد رینولدز کم $\mathrm{Re}<500$ دمای بیشینه در کانال افقی تا $30^{\circ}c$ و در کانال عمودی تا $24^{\circ}c$ افزایش پیدا می‌کند. اما در اعداد بالاتر رینولدزهای دمای بیشینه در کانال افقی تا $21/5^{\circ}c$ و در کانال عمودی تا $22^{\circ}c$ افزایش پیدا می‌کند که نشان می‌دهد عدد گراشف در حالت جابه‌جایی طبیعی اثر بیشتری بر دما دارد.

٤- با افزایش ضریب هدایت حرارتی برد، دمای بیشینه در کانال افقی تا ۱٤/۵٪ و در کانال عمودی تا ۱۵/۷٪ کاهش پیدا می‌کند که نشان‌دهنده اهمیت در نظر گرفتن هدایت حرارتی برد در حل عددی است. با افزایش ضریب صدور دیواره‌ها، دمای بیشینه تا ۱۷٪ کاهش پیدا می‌کند.

۵- همچنین ضریب صدور اثر قابل ملاحظه‌ای را بر پروفیل سرعت در کانال شیبدار نشان می‌دهد. بنابراین در نظر گرفتن تشعشع در حل عددی لازم است.

٦- وقتی سرعت فن کم باشد یا از جابه‌جایی طبیعی برای سرمایش استفاده می‌شود، باید طراحی کانال به‌صورت شیب دار یا تا حد ممکن به‌صورت عمودی باشد.

٦- فهرست علائم

D	عرض کانال (mm)
D_h	ارتفاع تراشه (mm)
$F_{i,j}$	ضریب شکل از المان i به المان j

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]

Gr^*	عدد گراشف اصلاح شده $(g\beta\Delta T_{ref} D^3/\upsilon^2)$
J	شار تابش ورودی (W/m^2)
k	ضریب هدایت حرارتی (W/mk)
L	طول کانال (mm)
L_h	طول تراشه‌ها (mm)
L_c	فاصله تراشه‌ها (mm)
L_1	فاصله اولین تراشه از ورودی کانال (mm)
pr	عدد پرانتل (υ/α)
P	فشار دینامیکی بی بعد $p/\rho u_{in}^2$
q_v	شار حرارتی تولیدی در تراشه‌ها (W/m^3)
q_r	شار حرارتی تابشی (W/m^2)
Re_D	عدد رینولدز $(u_{in} D/\upsilon)$
T	دما (K)
t	ضخامت دیوار کانال (mm)
u	سرعت سیال (m/s)
U	سرعت بی بعد $(\frac{u}{u_{in}})$
v	سرعت سیال (m/s)
V	سرعت بی بعد $(\frac{u}{u_{in}})$
X,Y	مختصات بی بعد $(\frac{y}{D},\frac{x}{D})$
ΔT_{ref}	اختلاف دمای بی $(q_v L_h D_h/k_{air})$

Greek symb ols

$\phi_{i,j}$	متغیر بی بعد
β	ضریب انبساط هم‌فشار سیال
$\Re$	معیار همگرایی
ε	ضریب صدور سطح
υ	سینماتیک سیال (m/s^2)
σ	ثابت استفتن بولتزمن $(5.6697\times10^{-8} w/m^2K^4)$
θ	دمای بی بعد $(\frac{T-T_{in}}{\Delta T_{ref}})$
φ	زاویه نصب کانال نسبت به افق
α	ضریب پخش حرارتی (m^2/s)

Subscripts

in	ورودی
s	زیرلایه
h	منبع گرمایی
max	مقدار
ref	مقدار مرجع
int	میانی

۷- منابع

[1] C. Yucel, M. Hasnaoui, L. Robillard, E. Bilgen, Mixed convection heat transfer in open ended inclined channels with discrete isothermal heating, Numer. Heat Transfer A 24 (1993) 109–126.

[2] C.Y. Choi, A. Ortega, Mixed convection in an inclined channel with a discrete heat source, Int. J. Heat Mass Transfer 36 (1993) 3119–3134.

[3] S.H. Kim, A.K. Anand, 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 (1994) 2231–2244.

[4] C. Balaji, S.P. Venkateshan, Combined conduction, convection and radiation in a slot, cavity, Int. J. Heat and Fluid Flow 14 (1995) 260– 267

[5] T. Furukawa, W. Yang, Thermal fluid-flow in parallel boards with heat generating blocks, Int. J. Heat and Mass Transfer 46 (2003) 5005–5015

[6] A. Dogan, M. Sivrioglu, S. Baskaya, Experimental investigation of mixed convection heat transfer in a rectangular

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]

channel with discrete heat sources at the top and at the bottom, Int. Commun. Heat Mass Transfer 32 (2005) 1244–1252 Heat Mass Transfer 44 (2001) 55–61.

[7] B. Premachandran, C. Balaji , Conjugate mixed convection with surface radiation from a horizontal channel with protruding heat sources, Int. J. Heat and Mass Transfer 49 (2006) 3568–3582

[8] G. Madhusudhana Rao, G.S.V.L. Narasimham, Laminar conjugate mixed convection in a vertical channel with heat generating components, Int. J. Heat and Mass Transfer 50 (2007) 3561–3574

[9] L. Martı´nez-Sua´stegui a, C. Trevin˜o , Particle image velocimetry measurements for opposing flow in a vertical channel with a differential and asymmetric heating condition, Experimental Thermal and Fluid Science xxx (2007) xxx–xxx

[10] M.A.R. Sharif, Laminar mixed convection in shallow inclined driven cavities with hot moving lid on top and cooled from bottom. Applied Thermal Engineering 27 (2007) 1036–1042

[11] S.H.Kim,N.K.Anand,L.S.Feltcher,Free convection between series of vertical parallel plates with embedded line heat sources, J. Heat transfer 113(1991)108–115

[12] H.C. Hottel, A.F. Saroffim, Radiative Heat Transfer, McGraw Hill, New York, 1967.

[13] S.V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere, New York, 1980.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.2.3.6]