



مطالعه تجربی تعیین نقطه بهینه تحریک لایه مرزی مغشوش با موانع مختلف با هدف افزایش ضریب انتقال حرارت جابه جایی

سعید وحیدی^۱، محسن کهرم^{۲*}

۱- دانشجوی دکترا، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

۲- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

* صندوق پستی ۹۱۷۷۹۴۸۹۴۴، mkahrom@um.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۲

پذیرش: ۲۸ خرداد ۱۳۹۲

ارائه در سایت: ۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۳

کلید واژگان:

تحریک لایه مرزی

ضریب جابجایی لایه مرزی مغشوش

موانع مربعی

تاثیرپذیری ضریب انتقال حرارت جابه جایی روی یک صفحه تخت در حضور یک مانع در مجاورت صفحه، به صورت تجربی مطالعه شده است. در مقایسه اثر تحریک، ضرایب انتقال حرارت جابه جایی متوسط در مجاورت صفحه تخت در سه حالت بدون مانع، با یک مانع مربعی و یک مانع بهینه سازی شده، در داخل لایه مرزی جریان مغشوش اندازه گیری شده اند. در اندازه گیری آزمایشگاهی، از یک تونل باد، یک صفحه تخت مجهز به گرمکن حرارتی با شار ثابت به عنوان بستر اصلی آزمون استفاده گردیده است. از نتایج عددی برای تنظیم آزمایش های تجربی و در صورت هم خوانی این دو با یکدیگر، از نتایج عددی برای تفسیر رفتار جریان در نتیجه تحریک لایه مرزی استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که با تغییر فاصله مانع از صفحه، اثرپذیری ضریب انتقال حرارت از وجود مانع متغیر است به طوری که تا فاصله خاصی از قرارگیری مانع از دیواره ضریب انتقال حرارت افزایش می یابد و پس از آن فاصله رو به کاهش می گذارد و در نهایت به مقدار مربوط به صفحه تخت میل می کند. برای موانع با سطح مقطع مربعی و مانع بهینه شده فاصله متناظر با حداکثر ضریب انتقال حرارت استخراج گردیده است.

Experimental study of turbulent layers with different obstacles to stimulate optimal point augmentation in heat transfer coefficient

Saeid Vhidifar¹, Mohsen Kahrom^{2*}

1- Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

* P.O.B. 9177948944 Mashhad, mkahrom@um.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 11 May 2013
Accepted 18 June 2013
Available Online 11 May 2014

Keywords:

Heat Transfer Enhancement
Turbulent Boundary Layer
Square Rod

ABSTRACT

Experimental evaluation of overall convection heat transfer coefficient of a rectangular bar in the vicinity of a flat plate is investigated. A quad of rectangular shape and later a quad with the cause of optimal heat transfer are placed at the near and the inside of a turbulent boundary layer over a flat plate. The overall convection heat transfer coefficient of the flat plate are measured and compared to the case similar to a single flat plate. A low speed wind tunnel is employed to maintain main flow field at the requested speed and special electrical circuit is prepared to provide heat and measure heat losses from the flat plate. Conclusion is made that when the obstacle closes to the flat plate, the total convective heat transfer coefficient increases to a maximum and then reduces again by moving towards the plate. Distance from the flat in which the maximum heat transfer coefficient occurs is reported.

۱- مقدمه

حرارتی تا حدود ۸۰٪ مقاومت حرارتی در سمت هوا می باشد، بنابراین به دنبال روش هایی هستیم که میزان انتقال حرارت در سمت هوا را افزایش دهیم [۳]. اخیراً تکنیک های تحریک لایه مرزی، باعث بهینه سازی مصرف انرژی، کوچک شدن و افزایش نرخ انتقال حرارت در مبدل های حرارتی گردیده است [۴]. اولین بحث ها مربوط به فرایند شکل گیری و توسعه امواج تولمین-شلسنتینگ و بالاخره کنترل طول لایه مرزی گذرا بوده است [۵]. حق پرست [۵] در یک مطالعه عددی با قرار دادن یک مانع چهار گوش در کنار یک صفحه تخت و تغییر شکل دائم مقطع چهار گوش و فاصله آن از صفحه، تغییر ضریب اصطکاک روی صفحه تخت را بررسی کرد. در

افزایش کارایی سیستم های انتقال و تبدیل انرژی مهندسی را تشویق به بررسی و کنترل فرایندها، از جمله کنترل ضریب انتقال حرارت، کرده است. در بسیاری از کاربردهای صنعتی، یافتن شیوه هایی برای افزایش ضریب انتقال حرارت، مانند خنک کاری پره های توربین، سرمایش اجزای الکترونیکی، افزایش انتقال حرارت در مبدل های حرارتی، راکتورها و سیستم های بازیافت حرارت، از موضوعات مهم تحقیقاتی بوده است.

در طی دهه های گذشته تکنیک های مختلفی برای تحریک انتقال حرارت جابه جایی از یک دیواره ابداع گردیده است [۱،۲]. در مبدل های

Please cite this article using:

S. Vhidifar, M. Kahrom, Experimental study of turbulent layers with different obstacles to stimulate optimal point augmentation in heat transfer coefficient, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 3, pp. 43-50, 2014 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

این مطالعه از تکنیک الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. در پایان سطح مقطع چهار گوش را به دست آورد که حداقل ضریب اصطکاک روی صفحه تخت را دارد. نتایج حق پرست [۵] نشان داد که یک مقطع خاص از چهار گوش ضمن نتیجه دادن بیشترین ضریب انتقال حرارت از صفحه تخت، ضریب اصطکاک روی صفحه تخت را به حداقل می‌رساند. این مقطع چهار گوش مانع بهینه نامیده شد. با توجه به مشکلات پژوهش‌های آزمایشگاهی، آزمون مانع بهینه حاصل از مطالعه حق پرست دو قسمت گردید. یک قسمت شامل اندازه‌گیری ضریب اصطکاک صفحه‌ی تخت در حضور مانع بهینه و دیگری شامل اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی صفحه‌ی تخت در حضور مانع بهینه می‌باشد. سرکار [۶] دینامیک گردابه‌های ناشی از تعامل یک استوانه را با قرار دادن مقطع دایروی در مجاورت دیواره و با استفاده از یک مدل LES سه‌بعدی مورد مطالعه قرار داد. او اثر برهم کنش لایه مرزی یک صفحه تخت با گردابه‌های ساطع شده از استوانه را مورد بررسی قرار داد و ساختار جریان و دینامیک گردابه‌ها و تاثیر آن بر روی انتقال حرارت را بررسی و تحلیل کرد. بوش و همکارانش [۷] تحقیقاتی در مورد جریان حول یک استوانه‌ی با مقطع مربعی در کنار دیواره انجام دادند. بررسی‌های آن‌ها در عدد رینولدز ۲۲۰۰۰ (بر مبنای قطر چهار گوش D) انجام شد. آن‌ها دریافتند که در نسبت فاصله $G/D=0.35-0.5$ در کسری از زمان حرکت تناوبی صدور گردابه‌ها تغییر وضعیت می‌دهد. در نسبت فاصله‌ی کمتر از این مقدار صدور گردابه‌ها کاملاً سرکوب شده و فقط گردابه موجود در پشت جسم متناوباً تغییر اندازه می‌دهد و در نسبت فاصله‌ی با مقدار بیشتر، صدور گردابه‌ها به صورت منظمی و از دو سمت چهارگوش انجام می‌گیرد. فریور [۸] در تحقیقی لایه مرزی آشفته روی صفحه‌ی تخت که توسط یک مقطع مستطیلی تحریک شده را بررسی کرد و نشان داد تحریک لایه مرزی توسط مانع مربعی که پشت آن توسط یک جداکننده به دو قسمت فوقانی و تحتانی تقسیم شده باشد تاثیر زیادی بسته به شرایط بر افزایش و یا کاهش ضریب انتقال حرارت خواهد داشت. کهرم و همکارانش [۹]، یک مانع با مقطع چهارگوش را در مسیر جریان آزاد قرار دادند و تاثیر نسبت ابعادی چهارگوش در شکل‌گیری و تعداد گردابه‌های رها شده از انتهای مانع برحسب تغییرات نسبت ابعادی را مورد بحث و بررسی قرار دادند و آن‌ها همچنین با کاهش فاصله‌ی مانع تا صفحه تخت و قرار دادن آن به صورت کامل در داخل لایه مرزی نشان دادند که در ابتدا گردابه‌ها روی مانع تشکیل شده و سپس در امتداد طول آن جابه‌جا می‌شوند ولی بعد از مدت زمانی که جریان به حالت پایدار می‌رسد گردابه‌ها روی لبه پایینی مانع دیگر تشکیل نمی‌شوند و فقط در لبه بالایی مانع و در لبه پایین دست آن گردابه‌ای ساکن و با ضریب وجود دارد. در این آزمون نشان داده می‌شود که گردابه در لبه بالایی مانع بر روی سطح آن جابه‌جایی ندارد و رها شدن گردابه در پشت مانع نیز بسیار ضعیف می‌شود. در همین مرجع به منظور قابل مقایسه کردن نتایج این تحقیق با برخی نتایج دیگر، جریان هوا با سرعت 14 m/s (عدد رینولدز مقطع مورد مطالعه 1.05×10^5) و دمای 20°C به موازات صفحه تخت با دمای ثابت 58°C را مورد بررسی قرار دادند و یک مانع چهارگوش به ضخامت $t=8 \text{ mm}$ و طول‌های ۱۶، ۳۲، ۴۰ و ۵۲ میلی‌متر در فاصله $L=135 \text{ cm}$ از ابتدای صفحه تخت در فواصل عمودی متفاوت ۲، ۶، ۱۱، ۲۲ و ۵۰ میلی‌متر از صفحه تخت قرار دادند. کهرم و همکارانش [۹] یک مانع مستطیلی در مسیر جریان آزاد قرار داده و تاثیر نسبت ابعادی مانع چهارگوش و همچنین فاصله آن از سطح صفحه تخت در شکل‌گیری و تعداد گردابه‌ای رها شده از انتهای مانع را مورد بحث و بررسی

قرار دادند. سپس مانع مستطیلی را به سمت صفحه تخت که با جریان اصلی در حال تبادل گرما است، حرکت دادند و اثر فاصله از صفحه تخت و نسبت ابعادی مانع چهارگوش را روی لایه مرزی و شکل‌گیری گردابه‌ها مطالعه نمودند. آن‌ها همچنین نشان دادند که یکی از روش‌های موثر تحریک لایه مرزی مغشوش بر روی یک دیواره، استفاده از یک جسم خارجی در داخل لایه مرزی است. کهرم و همکارانش [۹] همچنین یک چهارگوش و شکل‌های دیگر را در درون لایه مرزی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند جریان پس از رسیدن به مانع و برخورد با آن ابتدا یک نقطه سکون تشکیل داده و در ادامه در مسیر خود از دو طرف مانع می‌گذرد. قسمت هدایت شده به مجرای میان مانع و صفحه‌ی تخت، به صورت یک جت، لایه مرزی روی صفحه تخت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. سرعت این جت تا دو برابر سرعت جریان برخوردی به مانع می‌رسد و در شستشوی لایه مرزی بسیار موثر است. قسمت دیگر که به سمت دورتر جسم از صفحه تخت حرکت کرده است، با توجه به طول مانع ابتدا منطقه جدایش روی مانع و سپس تعدادی گردابه روی دیواره مانع تشکیل داده و بالاخره در ادامه راه خود در پشت مانع تشکیل یک گردابه می‌دهد. این گردابه به نوبه‌ی خود در تحریک لایه مرزی پس از جسم موثر می‌باشد. به طور خلاصه در چنین فرایندی در بالا دست مانع یک نقطه سکون، در زیر مانع در حد فاصل صفحه تخت و مانع یک جت و در پایین دست مانع یک منطقه و یک تشکیل می‌شود. هر یک از این عوامل به شکل خاصی در تغییر رفتار لایه مرزی موثر هستند. بسیاری از نتایج نشان می‌دهند که در نتیجه انجام پرش و سپس بازچسب لایه مرزی در لبه آغازین مانع، و در ادامه روی بدنه مانع، گردابه‌هایی تشکیل می‌شوند که بر روی دیواره حرکت کرده به پشت مانع راه می‌یابند. طول ناحیه‌ی پرش، تابع اندازه ضلع مانع مواجه با جریان و تعداد گردابه‌ها تابع طول مانع در امتداد جریان است. لاکت و همکارانش [۱۰] جریان روی صفحه تخت در حضور یک مانع با مقطع مربعی و دایروی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که توزیع انتقال حرارت برای سطح مقطع دایره وابسته به عدد رینولدز بوده و برای مقطع مربعی مستقل از رینولدز است. لیو و همکارانش [۱۱] در یک مطالعه بر روی جریان کاملاً توسعه یافته با سه مانع مربعی، نیم دایره، و مثلثی نشان دادند که سطح مقطع مربع بهترین گزینه در کاهش نواحی گرم شده پشت موانع است. اهن [۱۲] اثر موانع مختلف در جریان مغشوش توسعه یافته را بررسی نمود. نتایج او نشان داد که مانع مربعی بیشترین ضریب اصطکاک افزایشی و مانع مثلثی بالاترین نرخ انتقال حرارت را دارد. همچنین ژانگ [۱۳] گزارش داد که افزودن شیار بین دو مانع مربعی، ضمن افزایش قابل توجه ضریب انتقال حرارت مقدار نیروی اصطکاک را کاهش می‌دهد.

کهرم و همکارانش [۱۴] نشان دادند با تغییر اضلاع چهارگوش و چهار گوش بهینه شده توسط ژنتیک الگوریتم و در نتیجه کنترل موقعیت نقطه سکون و جت تشکیل شده در اطراف مانع می‌توان ضریب انتقال حرارت کلی را تا ۵۱٪ افزایش دهند.

در این مقاله افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط وارد بر صفحه از طریق قرار دادن یک مانع در مجاورت یک صفحه مورد مطالعه تجربی قرار گرفته است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد با تغییر فاصله مانع از صفحه، تا فاصله خاصی ضریب انتقال حرارت متوسط افزایش و از آن نقطه به بعد رو به کاهش می‌گذارد تا اینکه اثر مانع از بین می‌رود. برای مانع مربعی و مانع بهینه حداکثر ضریب انتقال حرارت در ۲ میلی‌متری صفحه مشاهده شده ولی مانع بهینه بیشترین اثر را در افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط نشان داده است، در پایان نتایج آزمایشگاهی گزارش گردیده است.

Figure 1 shows the dimensions of the specimens. (a) Triangular specimen with dimensions 10.6 mm and 15 mm. (b) Rectangular specimen with dimensions 8 mm and 8 mm.

جهت جریان

مهندسی مکانیک مدرس، خرداد ۱۳۹۳، دوره ۱۴، شماره ۳

که x فاصله طولی صفحه می‌باشد.

شایان ذکر است چون اندازه‌گیری‌ها برای هر رینولدز جداگانه انجام شده است و شرایط آزمایش (دمای محیط و توان الکتریکی) در هر رینولدز مقداری متفاوت است.

۶- شرایط آزمایش

مشخصات محل آزمایش، لزجت و سرعت هوا در جدول ۱ آورده شده است. برای تعیین چگالی هوا از رابطه گاز کامل استفاده گردیده است. آزمایش‌ها در دو فاصله $x=110\text{ cm}$ ، $x=140\text{ cm}$ از ابتدای ورودی تونل باد انجام گرفت. جدول ۲ عدد رینولدز مربوط به هر فاصله را به همراه ضخامت لایه مرزی در ناحیه تحریک نشان می‌دهد. ضخامت لایه مرزی از رابطه (۵) محاسبه گردیده است.

$$\frac{\delta}{x} = \frac{0.37}{\text{Re}_x^{\frac{1}{5}}} \quad (5)$$

اگر چه رابطه (۵) برای صفحه تخت صادق است و با وجود قرارگیری موانع نیز اعتبار خود را از دست می‌دهد و معادلات لایه مرزی باید به‌صورت کامل حل شود، ولی این موضوع بر روی نتایج تحقیق تأثیرگذار نخواهد بود. همچنین با مقایسه ضخامت لایه مرزی صفحه تخت، ابعاد دو مانع و فاصله موانع از صفحه واضح است که برای هر دو حالت جریان مغشوش، موانع کاملاً در داخل لایه مرزی قرار دارند.

همچنین برای محاسبه h موضعی از رابطه مشهور انتقال حرارت جابه‌جایی زیر استفاده شده است.

$$q'' = h(T_s - T_{\infty}) \quad (6)$$

و نسبت ضریب انتقال حرارت با مانع و بدون مانع برای صفحه تخت با فرض ثابت بودن q'' برابر است با:

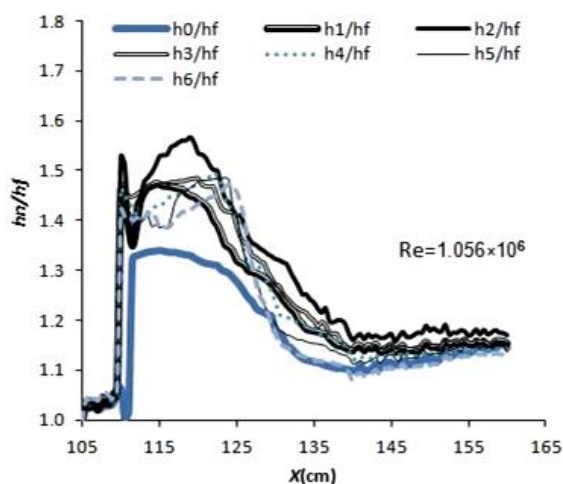
$$\frac{h_f}{h_n} = \frac{T_s - T_{\infty}}{T_n - T_{\infty}} \quad (7)$$

جدول ۱ خواص فیزیکی هوا

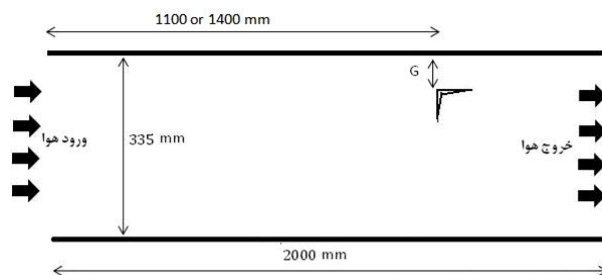
دما	فشار	سرعت جریان	ویسکوزیته دینامیکی
15°C	۶۶۹ mmHg	۱۴/۵ m/s	$15/11 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

جدول ۲ عدد رینولدز و فاصله طولی از تونل باد و ضخامت لایه مرزی

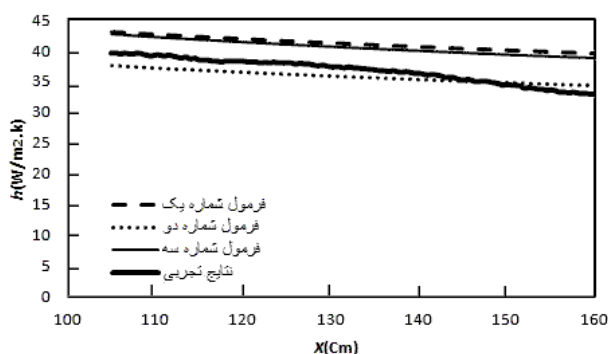
Re_x	فاصله (cm)	ضخامت لایه مرزی δ (mm)
$1/0.56 \times 10^6$	۱۱۰	۲۵/۴
$1/3.43 \times 10^6$	۱۴۰	۳۰/۸



شکل ۶ تغییرات ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی موضعی با فاصله طولی صفحه



شکل ۴ مشخصات هندسی تونل باد و موقعیت مانع در جریان



شکل ۵ مقایسه بین نتایج بستر آزمون و قانون تجربی در فاصله ۱۰۵ تا ۱۶۰ سانتی متر

موانع در دو عدد رینولدز متفاوت و در فواصل عمودی به ترتیب ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ میلی‌متری از سقف قرار داده شد. با توجه به اینکه آزمایشگاه مجهز به سیستمی جهت ثابت نگه داشتن دمای محیط آزمایشگاه نبوده لذا آزمایشات در ساعات مشخصی از روز که دما مشابه روز قبل بوده دنبال شده است. در عین حال تغییرات در دمای محیط اجتناب ناپذیر است و ممکن است خطاهای احتمالی را سبب شده باشد. از سویی دیگر ترانس مورد استفاده صرفاً ولتاژ برق شهر را کاهش می‌داد و ولتاژ تبدیل شده به دلیل نوسانات برق نیز دارای نوسان بود که تغییرات اندکی را در توان داده شده به المنت‌ها موجب می‌شود. از آنجایی که نتایج به‌صورت مقایسه‌ای با یکدیگر آورده شده‌اند انتظار می‌رود اثر این‌گونه خطاها به حداقل برسد. سرعت متوسط جریان هوا در داخل تونل ۱۴/۵ m/s اندازه‌گیری شد.

۵- اعتبارسنجی نتایج

جهت اطمینان از صحت جواب‌های حاصل از بستر آزمون برای جریان روی صفحه تخت در حالت بدون موانع ضریب انتقال حرارت استخراج و با مراجع معتبر [۱۵] مقایسه گردیده است. برای محاسبه ضریب انتقال حرارت (شار ثابت) در جریان مغشوش از رابطه ذیل استفاده گردیده است. همچنین برای اطمینان بیشتر از نتایج حاصل از بستر آزمون با استفاده از روابط ارائه شده در مراجع [۱۶] که همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است همبستگی خوبی را نشان می‌دهد.

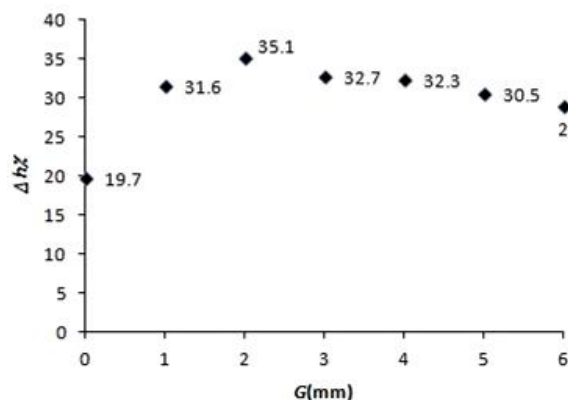
$$\text{Nu}_x = 0.0308 \text{Re}_x^{\frac{4}{5}} \text{Pr}^{\frac{1}{3}} \quad 0.6 \leq \text{Pr} \leq 60 \quad (1)$$

$$\text{Nu}_x = \frac{0.029 \text{Re}_x^{\frac{4}{5}} \text{Pr}}{\left[1 + \frac{2}{\text{Re}_x^{\frac{1}{10}}} (\text{Pr} - 1) \right]} \quad (2)$$

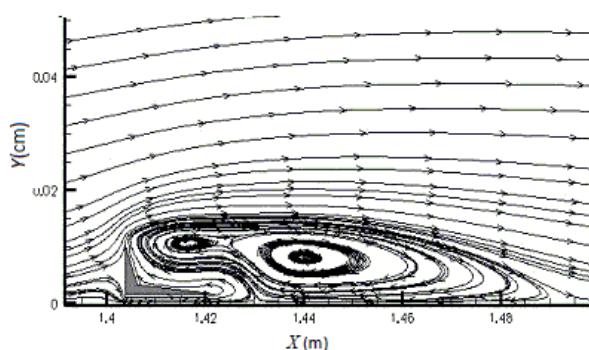
$$\text{Nu}_x = \frac{0.029 \text{Re}_x^{\frac{4}{5}} \text{Pr}}{\sqrt{\frac{0.029}{\text{Re}_x^{\frac{1}{10}}} \left[5 \text{Pr} + 5 \ln \left(\frac{1+5 \text{Pr}}{5} \right) - 5 \right] + 1}} \quad (3)$$

که در روابط بالا عدد رینولدز به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$\text{Re} = \frac{\rho v x}{\mu} \quad (4)$$



شکل ۹ درصد افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط بر حسب فاصله مانع مربعی از صفحه



شکل ۱۰ خطوط جریان در اطراف مانع بهینه با هدف افزایش در انتقال حرارت و گردابه تشکیل شده در اطراف مانع

۷-۱-۲- مانع در فاصله ۱۴۰cm و رینولدز 1.343×10^6

نمودارهای (۸) و (۹) چگونگی تغییرات ضریب انتقال حرارت موضعی و متوسط را در فواصل مختلف از صفحه نشان می‌دهند.

همان‌گونه که در نمودارها مشخص است، همانند بخش ۷-۱-۱، با افزایش فاصله عمودی مانع از سقف تا ۲ میلی‌متر، میزان جهش اولیه ضریب انتقال حرارت موضعی در اثر جت افزایش می‌یابد و گردابه‌ها نیز قوی‌تر عمل نمودند.

نمودار (۹) درصد افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط نسبت به حالت بدون مانع در مقابل تغییر فاصله از سقف را نشان می‌دهد.

از مقایسه اشکال ۷ و ۹ واضح است که افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط در فاصله ۲ میلی‌متری با افزایش عدد رینولدز افزایش یافته است.

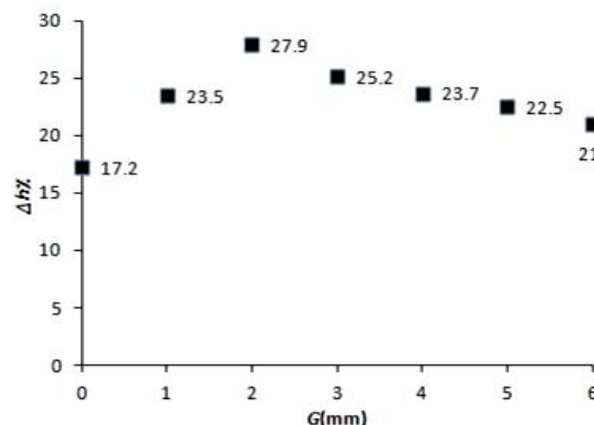
۷-۲- مانع بهینه

۷-۲-۱- مانع در فاصله ۱۱۰cm و رینولدز 1.056×10^6

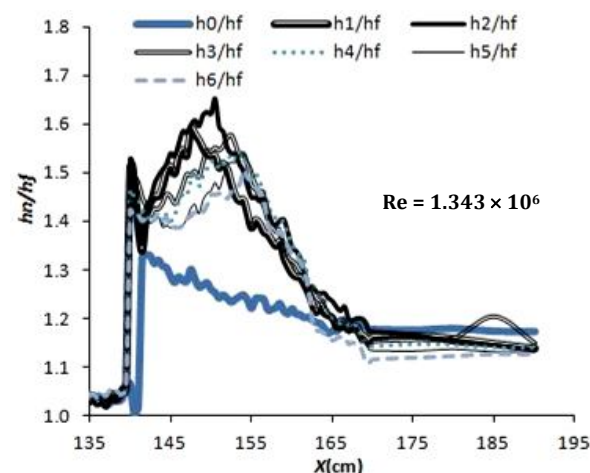
نتایج حاصل از مطالعه عددی حق پرست [۵] و هندسه حاصل از ژنتیک الگوریتم (مانع بهینه) و خطوط جریان در شکل ۱۰ آورده شده است.

در این شکل گردابه‌ها و جت سیال تشکیل شده به دلیل هندسه خاص مانع مشخص است. این گردابه‌ها و جت سیال نقش بسزایی در ضرایب اصطکاک و انتقال حرارت دارند.

همچنین نمودار (۱۱) درصد افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط در ناحیه تحریر نسبت به صفحه تخت را در فواصل مختلف مانع از سقف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، پس از مانع در اثر جت سیال زیر مانع جهش ناگهانی در ضریب انتقال حرارت موضعی مشاهده می‌شود و سپس بر هم کنش بین گردابه‌ها باعث افزایش ضریب انتقال حرارت گردیده است.



شکل ۷ درصد افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط بر حسب فاصله مانع مربعی از صفحه



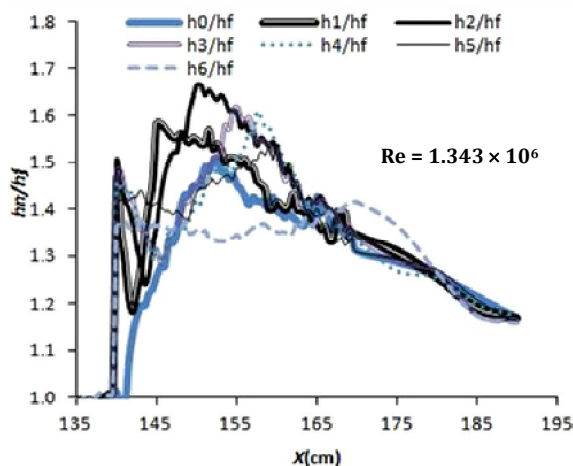
شکل ۸ تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی موضعی با فاصله طولی صفحه

۷- بررسی و تحلیل نتایج

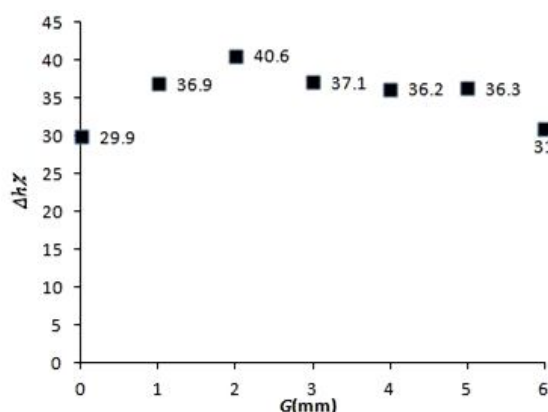
۷-۱- مانع مربعی

۷-۱-۱- مانع در فاصله ۱۱۰cm و رینولدز 1.056×10^6

نتایج مربوط به آزمون مانع مربعی در نمودارهای (۶) و (۷) آورده شده است. پس از مانع جهش ناگهانی در میزان ضریب انتقال حرارت به وجود آمده و پس از کمی نوسان مقداری افزایش می‌یابد و به تدریج که در راستای جریان پیش می‌رویم اثر مانع کمتر می‌شود. نتایج محاسبات عددی نشان می‌دهند که پرش ناگهانی در ضریب انتقال حرارت ناشی از جت تشکیل شده در فاصله بین مانع و صفحه تخت و افزایش پس از آن ناشی از گردابه‌های کارمن تشکیل شده پس از مانع می‌باشد. با افزایش فاصله از سقف میزان پرش اولیه و مقدار ماکزیمم ضریب انتقال حرارت تا فاصله ۲ میلی‌متری افزایش می‌یابد و پس از آن رو به کاهش می‌گذارد. در فاصله صفر میلی‌متری به دلیل اینکه مانع به صفحه چسبیده است اثر جت وجود نداشته و افزایش ضریب انتقال حرارت صرفاً به وسیله گردابه‌های تشکیل شده می‌باشد. با فاصله گرفتن مانع اثر جت که در فاصله بین مانع و صفحه شکل می‌گیرد، رو به افزایش می‌گذارد و در فاصله ۲ میلی‌متری این اثر به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد. همچنین به نظر می‌رسد در این فاصله گردابه‌ها نیز قوی‌تر عمل نموده‌اند. نمودار (۷) میزان درصد افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط در ناحیه تحریر نسبت به حالت بدون مانع را نشان می‌دهد. در این نمودار هم، همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالتی که مانع مربعی در فاصله ۲ میلی‌متری از صفحه قرار دارد ضریب انتقال حرارت متوسط بیشترین مقدار را دارد.



شکل ۱۳ تغییرات ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی موضعی با فاصله طولی صفحه



شکل ۱۴ درصد افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط برحسب فاصله مانع از صفحه

از مقایسه نمودارهای (۷)، (۹)، (۱۲) و (۱۴) می‌توان مشاهده نمود که مانع بهینه عملکرد بهتری در افزایش ضریب انتقال حرارت داشته است.

۸- عدم قطعیت آزمایش

با توجه به وجود خطا در سیستم‌های اندازه‌گیری بین مقداری که سنسور نشان می‌دهد و مقدار واقعی اختلاف داریم. اصولاً تمام اندازه‌گیری‌ها دارای حد مجازی از خطا هستند. انواع خطاها می‌تواند به‌صورت زیر تقسیم بندی شود:

الف: خطای کاربردی ناشی از تغییرات حالت دستگاه

ب: خطای شخصی

ج: خطای محیط

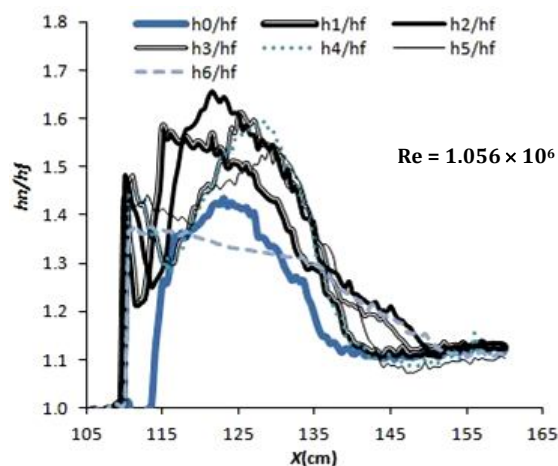
د: خطای دینامیکی

خطاها از نظر منشأ به دو دسته تقسیم می‌شوند:

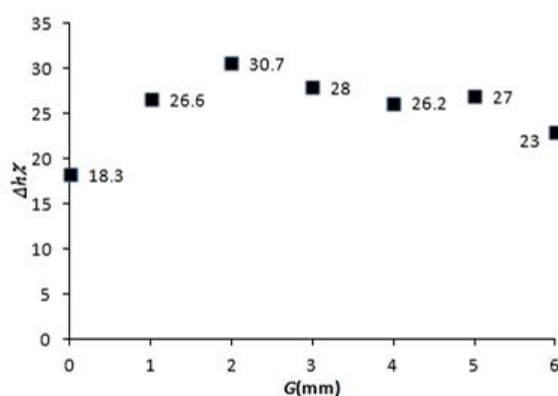
الف: خطاهای قابل کنترل

ب: خطاهای تصادفی

همه خطاهای گروه اول باید تعیین و سپس جمع جبری آن‌ها نباید از مقدار خطای مجاز بیشتر شود. علت گروه دوم دقیقاً قابل تشخیص نیست ولی به روش آماری می‌توان مقدار متوسط و انحراف استاندارد آن‌ها را مشخص نمود. به لحاظ آماری مشخصات خطای یک سنسور را برای هر اندازه‌گیری پیدا می‌کنیم اگر اندازه‌گیری را به‌صورت یک مساله تخمین بیان کنیم هدف تعیین مقدار خطا از روی N مقدار اندازه‌گیری می‌باشد. ویژگی‌های آماری مقدار خطا را با یک تابع توزیع احتمال می‌توان نشان داد. تابع توزیع گوسی



شکل ۱۱ تغییرات ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی موضعی با فاصله طولی صفحه



شکل ۱۲ درصد افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط برحسب فاصله مانع از صفحه

با بهینه‌سازی صورت گرفته روی مانع توسط مرجع ۵ و مطابق شکل ۱۰ واضح است که تعداد و قدرت گردابه‌ها نسبت به حالت مربعی افزایش پیدا کرده لذا ضریب انتقال حرارت برای مانع بهینه افزایش بیشتری را نشان می‌دهد.

همچنین پس از جت کاهش ناگهانی در ضریب انتقال حرارت دیده می‌شود که به دلیل دو جت سیالی است که مطابق شکل ۱۰ در خلاف جهت هم در حرکت بوده که در نقطه برخورد دو جت باعث کاهش ضریب انتقال حرارت گردیده است و همان‌طور که در امتداد صفحه پیش می‌رویم اثر مانع کم می‌شود.

برای مانع بهینه نیز مانند مانع مربعی با افزایش فاصله تا ۲ میلی‌متری ضریب انتقال حرارت افزایش و از این نقطه به بعد کاهش می‌یابد. این موضوع توسط نمودار ۱۲ نیز قابل مشاهده می‌باشد. از مقایسه نمودارهای (۶) و (۱۱) می‌توان مشاهده نمود که مانع بهینه عملکرد بهتری در افزایش ضریب انتقال حرارت داشته است.

۷-۲-۲- مانع در فاصله ۱۴۰cm و رینولدز 1.343×10^6

نمودارهای (۱۳) و (۱۴) چگونگی تغییرات ضریب انتقال حرارت موضعی و متوسط را در نقاط مختلف نشان می‌دهند. در شکل ۱۳ نیز همانند شکل ۱۱ مشخص است که نقطه ۲ میلی‌متری از صفحه بیشترین تاثیر را در افزایش ضریب انتقال حرارت دارد.

نمودار (۱۴) تغییرات درصد افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط در ناحیه تحریک را در فواصل مختلف مانع از سقف نشان می‌دهد.

در نمودار ۱۴ مشخص است که با افزایش عدد رینولدز جریان میزان افزایش ضریب انتقال حرارت به دلیل تقویت جت‌های سیال و گردابه‌ها کمی افزایش یافته است.

خواص ریاضی بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد.	I	آمپر (Amp)
عدم قطعیت متغیر با توزیع خطای گوسی به‌صورت زیر خواهد بود:	L	طول صفحه (m)
$u_b = \frac{a}{\sqrt{3}}$ (۸)	Nu _x	نوسلت موضعی
که در این رابطه a بیانگر دقت متغیر می‌باشد. دقت هر وسیله اندازه‌گیری،	Pr	پرانتل
نصف کوچک‌ترین واحد اندازه‌گیری آن می‌باشد. همچنین شایان ذکر است	Re _x	رینولدز موضعی
که بسته به دقت مورد نیاز برای گزارش، نتایج به‌صورت زیر گزارش می‌شوند.	t	ضخامت مانع (mm)
$F = F \pm K_u u_F$ (۹)	T	دما (K)
که در آن u_F عدم قطعیت مربوط به F و K_u مقدار ضریب اطمینان پوششی	V	ولت (V)
است که با توجه به سطح اطمینان گزارش، مطابق جدول ۳، متغیر می‌باشد.	x	فاصله طول صفحه (m)
	Y	ضخامت لایه مرزی صفحه (cm)
	$\Delta h/\%$	در صد افزایش ضریب انتقال حرارت ($Wm^{-2} K^{-1}$)
	A	سطح (m^2)
	T _∞	دمای محیط °C
	T _s	دمای صفحه بدون مانع °C
	T _n	دمای سطح با مانع °C
	F	تابعی که عدم قطعیت آن محاسبه می‌شود
	u_F	عدم قطعیت
	K_u	فاکتور پوششی
	a	دقت متغیر
	u_b	عدم قطعیت متغیر با توزیع خطای گوسی
علائم یونانی		
	μ	لزجت دینامیکی (Pas)
	ρ	چگالی (kgm^{-3})
	v	سرعت هوا (m/s)
	δ	ضخامت لایه مرزی (mm)
زیر نویس‌ها		
	N	تعداد دفعات اندازه‌گیری
	n	خواص با حضور مانع
	s	خواص در سطح صفحه بدون حضور مانع
	x	نقطه متغیر در طول صفحه
	∞	خواص در شرایط محیط
	F	عدم قطعیت مربوط به یک متغیر
	u	متغیر مربوط به فاکتور پوششی
	b	عدم قطعیت مربوط به یک متغیر با تابع گوسی

۱۱- مراجع

- [1] R. L. Webb, Advances in modeling enhanced heat transfer surfaces, *Proceeding 10th International Heat Transfer Conference*, Vol. 1, Hemisphere, Washington DC, pp. 445-459, 1994.
- [2] A. E. Bergles, Heat transfer enhancement the encouragement and accommodation of high heat fluxes, *Transaction ASME, Journal Heat Transfer*, No. 119, pp. 8-19, 1995.
- [3] A. Mohammad, E. Danesh, K. Tafti, A novel split-dimple interrupted fin configuration for heat transfer augmentation, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, No. 52, pp. 1561-1572, 2009.
- [4] E. Smith, P. Somsak, T. Chinaruk, P. Pongjet, Turbulent flow heat transfer and pressure loss in a double pipe heat exchanger with louvered strip inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, No. 35, pp. 120-129, 2008.
- [5] P. Haghparast, *Optimization Structure of Enhancement of Boundary Layer by using Genetic Algorithm and Neural Network*, Master Science Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Engineering, 2008.
- [6] S. Sarkar, Vortex dynamics of a cylinder wake in proximity to a wall, *J. Fluid and Structures*, Vol. 26, pp. 19-40, 2010.

۱۰- فهرست علائم

D	قطر مانع (mm)
G	فاصله مانع از صفحه (mm)
h	ضریب انتقال حرارت متوسط ($Wm^{-2} K^{-1}$)
h _f	ضریب جابه‌جایی موضعی در حالت بدون مانع ($Wm^{-2} K^{-1}$)
h _n	ضریب جابه‌جایی موضعی در حالت با مانع ($Wm^{-2} K^{-1}$)

- [12] S. W. Ahn, The Effect of roughness type on friction factor and heat transfer in roughened rectangular duct, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 28, No. 7, pp. 933-942, 2001.
- [13] M. Y. Zhang, W. Z. Gu, J. C. Han, Heat transfer and friction in rectangular channel with ribbed or ribbed grooved wall, *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 116, pp. 58-65, 1994.
- [14] M. Kahrom, S. M. Javadi, Application of single objective genetic algorithm to optimize heat transfer enhancement from a flat plate, *International journal of Engineering, Trans S.C.*, Vol. 25, No. 1, pp. 67-78, 2012.
- [15] F. Incropera, D. P. Dewitt, *Introduction to Heat Transfer*, Second Edition, New York: John Wiley & Sons, p. 555, 2011.
- [16] P. Oosthuizen, D. Naylor, *An International Convection Heat Transfer Analysis*, New York: McGraw Hill, International Edition, pp. 280-285, 1999.
- [17] S. J. Kline, F. A. Mc Clintock, Describing uncertainties in single sample experimental, *Mech. Eng.*, Vol. 75, pp. 385-387, 1953.
- [7] G. Bosch, M. Kappler, W. Rodi, Experiments on the flow past a square cylinder placed near a wall, *J. Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 13, pp. 292-305, 1996.
- [8] S. Farievar, A. Haidarie, The effect of square splitter and unsplitter rods in flat heat transfer enhancement, *IJE Transactions*, Vol. 20, No. 1, 2007.
- [9] M. Kahrom, A. Farahbod, D. Khodadazade, Effect of obstacle ratio on struhal number and enhancement of heat coefficient near a flat plate, *Esteghlal Maganize*, Vol. 27, No. 1, pp. 103-114, 2008.
- [10] J. F. Lockett, J. J. Hwang, Holographic interferometer applied to rib-roughness heat transfer in turbulent flow, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 33, pp. 2439-2449, 1990.
- [11] T. M. Liou, J. J. Hwang, Effect of ridge shapes on turbulent heat transfer and friction in rectangular channel, *International Journal Heat and Mass Transfer*, Vol. 11, pp. 931-940, 1993.