ICHMT2012- 6255

بررسی عددی اثر شکل تک پره بر جریان و انتقال حرارت درون کانال‌های باریک

حامد ارحامی[۱]، جعفر جماعتی[۲]، حمید نیازمند[۳]

گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد مقدس[۱] arhami2007@yahoo.com ، [۲] jafar_jamaati@yahoo.com
[۳] hniazmand@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق جریان سیال همراه با انتقال حرارت در داخل یک کانال تخت با پره‌های نصب شده روی دیواره کانال به روش عددی مطالعه شده است و اثر اندازه و شکل پره در افزایش انتقال حرارت و افت فشار در رژیم جریان آرام بررسی شده است. برای این منظور از پروفیل‌های مختلفی از قبیل مربعی، مثلث متساوی الاضلاع ، ذوزنقه‌ی متساوی الساقین و نیم‌دایره برای مقطع پره استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که وجود پره باعث افزایش انتقال حرارت می‌گردد و با افزایش ارتفاع پره مقدار ضریب انتقال حرارت کلی افزایش می‌یابد. بعلاوه برای پره‌های دارای ارتفاع یکسان، بیشترین افزایش انتقال حرارت مربوط به پره‌های مربعی و ذوزنقه ای است. این نتایج می‌تواند در بهینه سازی و طراحی مبدلهای حرارتی صفحه‌ای مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه های کلیدی

انتقال حرارت - کانال باریک - تک پره - بهینه سازی- جریان آرام

مقدمه

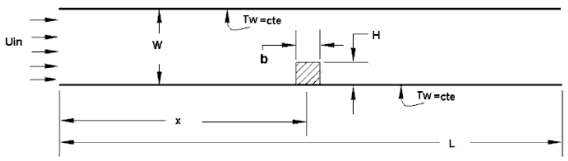
امروزه صرفه‌جویی در انرژی به یک مساله فراگیر تبدیل شده است و به این دلیل در همه زمینه‌های صنعتی تلاش می‌شود که تا با استفاده از روشهای نوین منابع انرژی بصورت بهینه مصرف شوند. از اینرو کاهش ابعاد تجهیزات و دستگاه‌ها و افزایش کارایی آنها در همه زمینه‌های صنعتی مورد توجه قرار گرفته است. یکی از این زمینه‌ها، انتقال حرارت درون کانالهای باریک است که در تجهیزات الکترونیکی و مبدل‌های حرارتی فشرده صورت می‌پذیرد. استفاده از مبدلها در صنعت دارای سابقه طولانی است و تحلیلهای جامعی برای عملکرد حرارتی آنها انجام شده است. اما به دلیل کاربرد گسترده این وسایل هنوز بهینه‌سازی عملکرد حرارتی آنها بسیار مورد توجه است. یک نوع خاصی از مبدلها که دارای کاربرد گسترده در صنعت است، مبدل صفحه‌ای است که مبتنی بر جریان و انتقال حرارت بین دو صفحه موازی با فاصله کم می‌باشند. معمولاً در این کانال‌ها به دلیل ابعاد کوچک و سرعتهای اندک، رژیم جریان آرام است و در نتیجه ضریب انتقال حرارت کلی کوچک می‌باشد. قرار دادن پره‌های سطحی در مسیر جریان باعث افزایش سطح انتقال حرارت و اختلاط بیشتر جریان می‌شود که در نهایت منجر به افزایش انتقال حرارت می‌گردد. در این مبدلها پارامترهای هندسی، تعداد، فاصله و نحوه آرایش و مکان قرارگیری پره‌ها در طول کانال بر میدان جریان و میزان انتقال حرارت اثر می‌گذارند و اثر آنها توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته است. وب و همکاران [۱] جریان آرام و انتقال حرارت شار ثابت درون کانال تخت با موانع عرضی در دیواره‌ها را به روش عددی مدل‌سازی نموده‌اند و نشان دادند که عدد پرنتل و هدایت محوری در دیواره کانال نقش موثری در مقدار عدد ناسلت دارد. پرومونگ و همکاران [۲] و [۳] جریان سه بعدی آرام و انتقال حرارت درون کانال دارای تیغه‌های مایل را به روش عددی بررسی نموده‌اند و نشان دادند که پره های اریب و v شکل در مقایسه با پره عمودی عملکرد حرارتی کانال را افزایش می دهند. اثر پره‌های متخلخل بر مشخصات جریان و انتقال حرارت توسط گوروج و کاهالراس [۴] به صورت عددی مدلسازی شده است و شکلهای مختلف پره و اثر آنها بر جریان سیال و انتقال حرارت بررسی شده است. در این حالت با تعیین صحیح پارامترهای هندسی و جریان می توان انتقال حرارت را بنحو موثری افزایش داد ضمن اینکه میزان افزایش افت فشار قابل قبول باشد. یک راه دیگر برای ایجاد ناصافی روی دیواره کانال، ایجاد شیار روی سطح کانال است. شکوهمند و همکاران [۵] با مطالعه عددی جریان آرام توسعه یافته درون کانال دارای فرورفتگی نشان دادند که میزان انتقال حرارت به سیال با افزایش عمق حفره ها افزایش می‌یابد و روند این افزایش بگونه‌ای است که یک مقدار بهینه برای عمق فرورفتگی وجود دارد که در آن حالت میزان انتقال حرارت بیشترین مقدار ممکن است. مطالعات سه‌بعدی توسط شانگ فو و همکاران [۶] در زمینه اثر مانع باریک بر افزایش انتقال حرارت نشان می‌دهد که نصب پره تا ۵۰٪ انتقال حرارت را افزایش می‌دهد. پره‌گذاری علاوه بر اینکه می تواند باعث بهبود عملکرد حرارتی گردد، می تواند در کنترل رسوب مفید باشد. اثر نصب پره بر رسوب‌گذاری درون دستگاه‌های گندزدایی آب توسط سامارایی و چان [۷] بصورت عددی مطالعه شده است و مشخص شده که نصب پره باعث افزایش عملکرد دستگاه می‌شود.

هر چند که مطالعات متعددی در زمینه اثر پره‌ها صورت گرفته است اما غالب این مطالعات برای جریان‌های توسعه یافته و با شرایط مرزی تناوبی بوده است. بعلاوه بررسی جریان و انتقال حرارت برای شکل‌های مختلف پره‌ها بصورت جامع بررسی نشده است و مطالعات انجام شده بصورت موردی و یا برای تعداد محدودی از هندسه پره صورت گرفته است. هدف این تحقیق مطالعه اثر هندسه‌های مختلف تک‌پره در جریانهای در حال توسعه با شرایط مرزی غیرتناوبی است.

بعلاوه در جستجوی روشی مدون برای فرموله کردن اثر پارامترهای هندسی پره بر میزان انتقال حرارت و یافتن حالات بهینه هستیم و به این دلیل مطالعات این تحقیق روی اثر تک‌پره با هندسه‌های مختلف متمرکز شده است تا امکان تعمیم نتایج به حالات ترکیبی از پره های مختلف امکان پذیر باشد.

معادلات حاکم

هندسه مورد مطالعه و پارامترهای هندسی مربوط به پره در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ - هندسه‌ی مورد بررسی کانال و پره

برای بررسی جریان سیال و انتقال حرارت داخل کانال، لازم است معادلات حاکم برای حوزه جامد (پره) و حوزه سیال داخل کانال به صورت همزمان حل شوند. در جریان آرام و تراکم ناپذیر، معادلات پیوستگی، ناویر-استوکس و انرژی در حالت دائمی و دوبعدی به ترتیب عبارت اند از

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right] + S_j \qquad (۲)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha \frac{\partial T}{\partial x_j}\right) \qquad (۳)$$

که $\alpha = k/\rho C_p$ ضریب پخش حرارت است. عدد رینولدز بر مبنای قطر هیدرولیکی $(D_h = 2W)$ بصورت معادله زیر تعریف می‌شود

$$\mathrm{Re} = \rho u D_h / \mu \qquad (۴)$$

برای معادله جریان در دیواره‌ها شرط عدم لغزش، در ورودی و خروجی کانال به ترتیب بصورت سرعت یکنواخت و شرط مرزی گرادیان صفر برای سرعت‌ها اعمال شده است. برای معادله انرژی دمای دیواره کانال ثابت فرض شده است و در ورودی و خروجی کانال به ترتیب دمای ورودی یکنواخت و شرط مرزی گرادیان دما صفر اعمال شده است. میزان انتقال حرارت کل در کانال بر مبنای ناسلت متوسط در طول کانال بر مبنای اختلاف دمای لگاریتمی به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$\overline{Nu} = \frac{q'' D_h}{k \Delta T_{lm}} \qquad (۵)$$

که در آن اختلاف دمای لگاریتمی به صورت زیر محاسبه می گردد

$$\Delta T_{lm} = \left[\frac{(T_w - T_{in}) - (T_w - T_{out})}{\ln\left(\frac{T_w - T_{in}}{T_w - T_{out}}\right)}\right] \qquad (۶)$$

عملکرد یک مبدل حرارتی فقط توسط ضریب انتقال حرارت آن ارزیابی نمی‌شود و میزان افت فشار نیز پارامتر کلیدی در طراحی یک مبدل است. از اینرو ضریب افزایش عملکرد حرارتی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta = (Nu/Nu_0)/(f/f_0)^{1/3} \qquad (۷)$$

که $f_0 = 0.562$ و $Nu_0 = 9.455$ عدد ضریب اصطکاک و ناسلت مبنا برای کانال بدون پره درحال توسعه سرعتی و دمایی در عدد رینولدز ۵۰ می باشند.

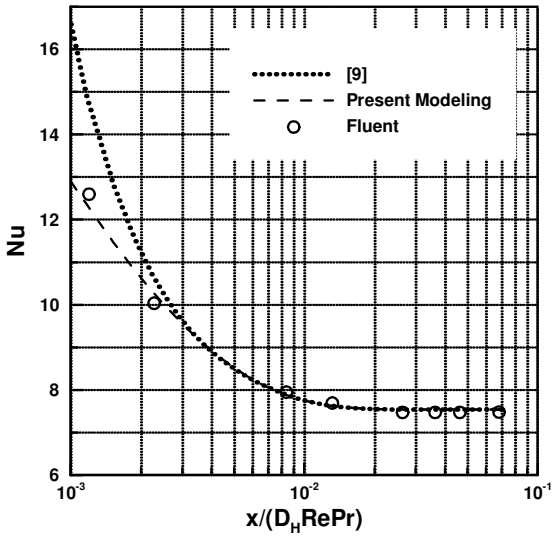
روش حل و نتایج

برای حل عددی معادلات جریان از روش حجم محدود با متغیرهای هم‌مکان در یک شبکه منظم و یکنواخت استفاده شده است. طرح SIMPLEC برای ارتباط میدان‌های سرعت و فشار استفاده شده و و برای پیشگیری از بروز احتمالی توزیع فشار شطرنجی، در محاسبه جریان جرم جابجایی در محل وجوه حجم‌های کنترل از طرح میانیابی رای-چو استفاده شده است. ارزیابی توأم جملات پخش و جابجایی در محل وجوه حجم‌های کنترل با استفاده از طرح تفاضل مرکزی انجام می‌شود. برای مدلسازی پره‌های جامد درون حوزه سیال، مقدار لزجت در گره‌های درون پره بسیار بزرگتر از لزجت سیال در نظر گرفته شده است [۸]. سیال عامل آب با خواص ثابت در دمای $300\ K$ در نظر گرفته شده است. سایر پارامترهای فیزیکی و هندسی در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

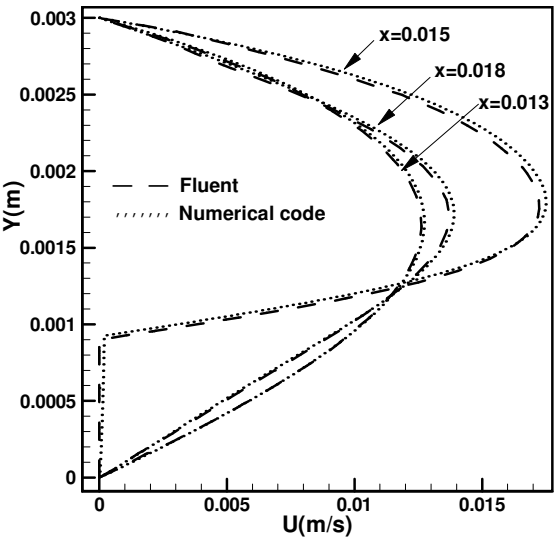
جدول ۱- مقادیر پارامترهای در نظر گرفته شده در حل عددی

k_s	رسانایی گرمایی پره	$\mathrm{w/(m \cdot K)}$	202.4
L	طول کانال	m	0.03
T_i	دمای سیال ورودی	K	300
T_w	دمای دیواره کانال	K	600
w	عرض کانال	m	3×10^{-3}

برای اطمینان از صحت کد عددی، نتایج مطالعه حاضر با نتایج تحلیلی مرجع [۹] برای کانال تخت بدون پره در شکل۲ مقایسه شده است. نتایج کدعددی و فلوئنت با دقت قابل قبولی بر هم منطبق شده اند. با وجود کارایی کد محاسباتی، در هندسه‌های پیچیده‌تر زمان و هزینه محاسباتی بیشتری صرف شود. از اینرو برای صرفه‌جویی محاسباتی علاوه بر کد عددی از نرم‌افزار فلوئنت نیز برای استخراج نتایج حالت‌های مشابه استفاده شده است.

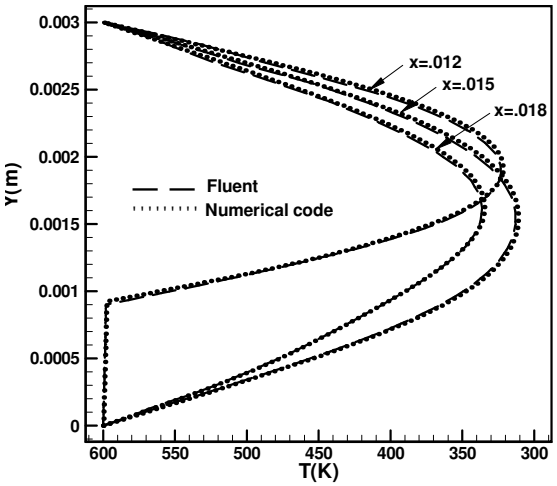


شکل۲ - تغییرات ناسلت در طول کانال بدون پره، $\mathrm{Re}=10$

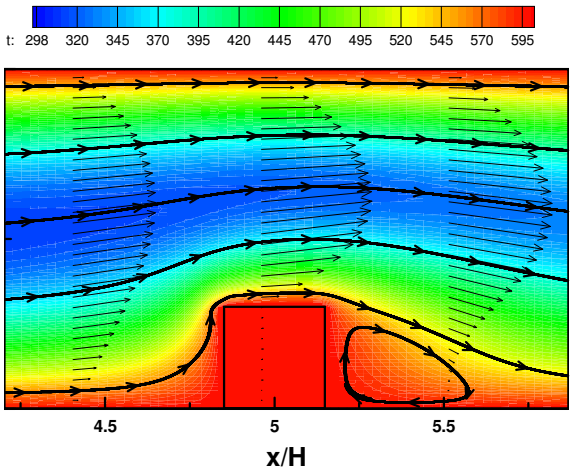


شکل۳ – پروفیل سرعت در مقاطع مختلف کانال با تک پره مربعی واقع در مرکز دیوار پایینی به ارتفاع $\mathrm{Re}=50\,،\,0.3\mathrm{W}$

در شکل های ۳و۴ پروفیل های سرعت و دما برای کد عددی و فلوئنت در سه مقطع مختلف کانال با تک پره مربعی نصب شده در مرکز دیوار پایینی کانال به ارتفاع ۰/۳ عرض کانال نمایش داده شده است. نتایج فلوئنت و کد عددی با دقت قابل قبولی برهم منطبق شده اند. ماکزیمم سرعت درون کانال در مقطع نصب پره می باشد. پره نصب شده در دیواره از جنس آلومینیم می باشد. بدلیل رسانش حرارتی بالای این فلز تغییرات دمایی درون پره ناچیز می باشد.



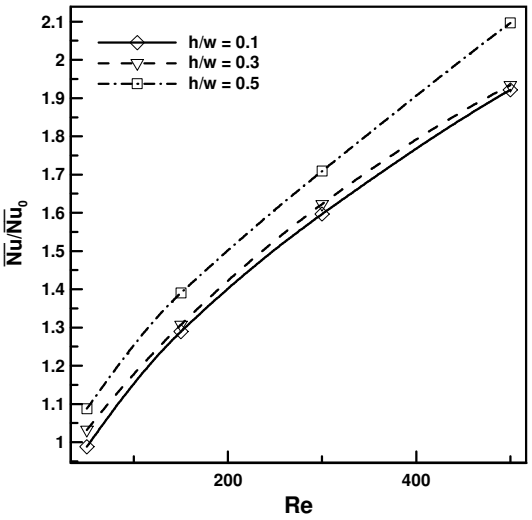
شکل۴ – پروفیل دما در مقاطع مختلف کانال با پره مربعی واقع در مرکز دیوار پایینی به ارتفاع $\mathrm{Re}=50\,،\,0.3\mathrm{W}$



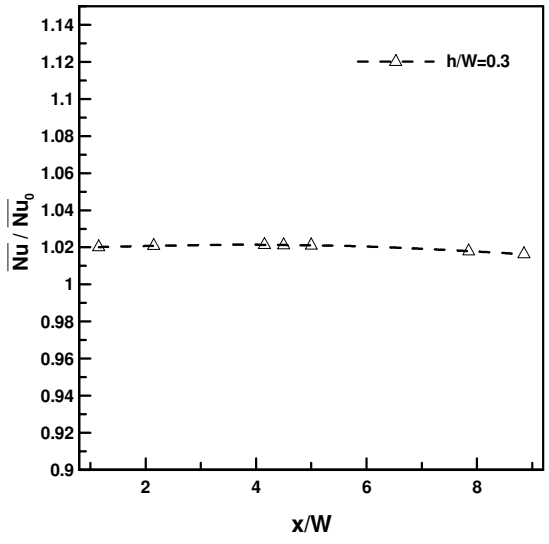
شکل۵ - میدان دما و جریان کانال با یک پره مربعی $\mathrm{Re}=50$ ،$h=0.3\mathrm{W}$

در شکل۵ نتایج کد عددی برای میدان دما و خطوط جریان درون کانال با یک پره مربعی به ارتفاع ۰/۳ عرض کانال نمایش داده شده است. نصب پره باعث افزایش سطح انتقال حرارت و انحراف مسیر جریان به سمت دیواره بالایی کانال می‌شود که این دو عامل باعث افزایش انتقال حرارت می‌گردد. از طرفی با افزایش ارتفاع پره و عدد رینولدز در ناحیه پشت پره گردابه های بزرگی ایجاد می‌شود و بعلاوه سرعت در مناطق نزدیک دیواره بعد از پره کاهش می‌یابد که این عوامل باعث کاهش انتقال حرارت می‌شود.

در شکل ۶ منحنی تغییرات ناسلت متوسط به ناسلت مبنا برحسب رینولدز برای سه ارتفاع پره مربعی واقع در مرکز دیوار پایینی رسم شده است. با افزایش عدد رینولدز مقدار ناسلت روندی افزایشی دارد. با افزایش عدد رینولدز طول ناحیه ورودی افزایش می یابد. در این ناحیه از جریان انتقال حرارت بسیار بیشتر از ناحیه توسعه یافته می باشد. همچنین قراردادن پره در مسیر جریان باعث افزایش سطح انتقال حرارت و اختلاط جریان می‌شود. ولی آنچه از مقایسه نمودارها بدست می آید این است که عامل اصلی افزایش انتقال حرارت با افزایش عدد رینولدز بزرگتر شدن طول ناحیه ورودی می باشد و تک پره نقش چندانی ندارد.



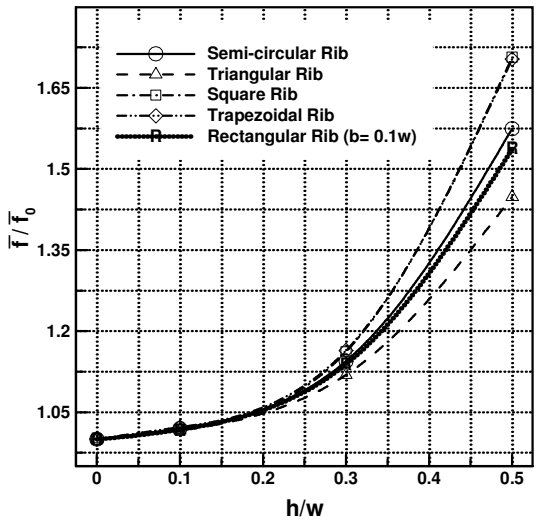
شکل۶ - منحنی تغییرات $\overline{Nu} / \overline{Nu}_0$ برحسب رینولدز برای سه ارتفاع پره مربعی واقع در مرکز دیوار پایینی کانال



شکل۷- منحنی تغییرات $\overline{Nu} / \overline{Nu}_0$ برحسب مکان قرارگیری تک پره مربعی به ارتفاع ۰.۳ عرض کانال، واقع در دیوار پایینی کانال ، Re=50

با توجه به متفاوت بودن رژیم جریان و انتقال حرارت در قبل و بعد از پره انتظار می رفت که جابجا کردن پره در کانال بر میزان انتقال حرارت موثر باشد. در شکل۷ اثر جابجایی تک پره در طول کانال بر انتقال حرارت مورد بررسی قرار گرفته است. با تغییر مکان آن در کانال میزان انتقال حرارت کلی تغییر قابل ملاحظه ای نمی کند.

در شکل ۸ اثر ارتفاع پره‌های مربعی، مثلثی، نیم‌دایره‌ای، ذوزنقه-ای و مستطیلی بر ضریب اصطکاک مورد بررسی قرار گرفته است. برای تمامی هندسه‌های مورد مطالعه، با افزایش ارتفاع پره میزان ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد. در بین پره‌های هم ارتفاع، بیشترین میزان ضریب اصطکاک مربوط به پره‌های مربعی و ذوزنقه-ای می‌باشد.



شکل۸ - تغییرات $\overline{f} / \overline{f}_0$ برحسب ارتفاع پره واقع در مرکز دیوار پایینی کانال، Re=50

میزان افزایش در ضریب انتقال حرارت کلی کانال بر اثر وجود پره در شکل ۹ بررسی شده است. روند تغییرات کاملا مشابه با ضریب اصطکاک است. پره‌های مربعی و ذوزنقه‌ای ضریب انتقال حرارت بیشتری نسبت به سایر پره‌ها دارند. در یک ارتفاع یکسان، پره مربعی باعث اختلاط بیشتر جریان و پره ذوزنقه‌ای سطح انتقال حرارت بیشتری نسبت به سایر پره‌ها دارد. از اینرو ضریب انتقال حرارت کلی کانال دارای پره مربعی و ذوزنقه‌ای نسبت به سایر حالات شکل ۹ بیشتر است. در شکل ۹ منحنی تغییرات ضریب افزایش عملکرد حرارتی (معادله ۷) برحسب ارتفاع پره‌های مختلف نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای تمام پره‌ها با افزایش میزان ارتفاع پره ضریب عملکرد حرارتی کاهش می‌یابد. بیشینه ضریب افزایش عملکرد حرارتی مربوط به کانال بدون پره می باشد.

مثبتی ندارد و توصیه نمی شود. همچنین تغییر مکان تک پره در کانال مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که تغییر مکان تک پره تغییرات قابل ملاحظه ای ایجاد نمی کند. این نتایج می‌تواند برای بهینه‌سازی عملکرد حرارتی مبدلهای صفحه‌ای مورد استفاده قرار بگیرند.

مراجع

[۱] B.W. Webb., and S. Ramadhyani., 1985, "Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs". Int. J. Heat Mass Transfer. Vol. 28, No. 9, pp. 1679-1687.

[۲] P. Promvonge., S. Sripattanapipat., and S. Kwankaomeng., 2010, "Laminar periodic flow and heat transfer in square channel with 45° inline baffles on two opposite walls". Int. J. of Thermal Sciences 49, pp. 963-975.

[۳] P. Promvonge., and S. Kwankaomeng., 2010, "Periodic laminar flow and heat transfer in a channel with 45° staggered V-baffles". Int. Comm. in Heat and Mass Transfer 37, pp. 841–849.

[٤] N. Guerroudj., and H. Kahalerras., 2010, "Mixed convection in a channel provided with heated porous blocks of various shapes". Energy Conversion and Management 51, pp. 505–517.

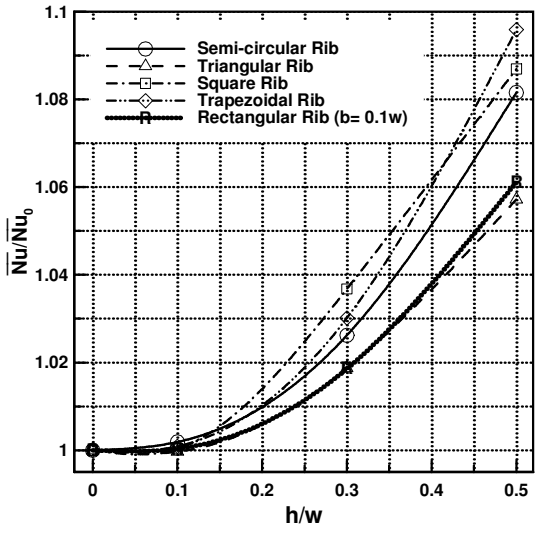
[٥] H. Shokouhmand., M. A. Esmaeili., and K. Vahidkhah., 2011, "Numerical Simulation of Conjugated Heat Transfer Characteristics of Laminar Air Flows in Parallel-Plate Dimpled Channels". World Academy of Science, Engineering and Technology 73.

[٦] W.S. Fu., J.C. Huang., and C.G. Li., 2010. "Enhancement of forced convection heat transfer in a three-dimensional laminar channel flow with insertion of a moving block". Int. J. of Heat and Mass Transfer 53, pp. 3887–3897.

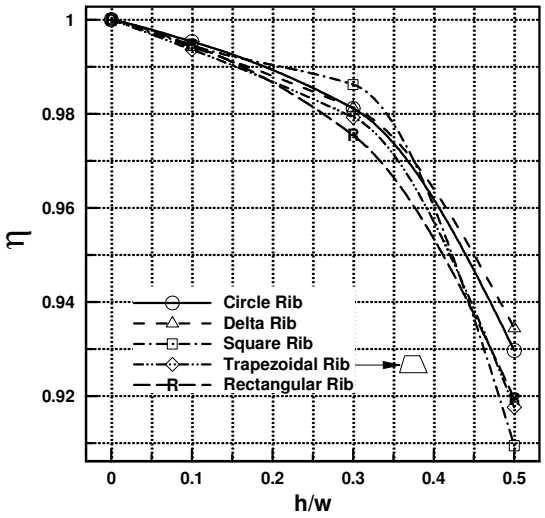
[۷] M. Al-Sammarraee., and A. Chan., 2009. "Large-eddy simulations of particle sedimentation in a longitudinal sedimentation basin of a water treatment plant. Part 2: The effects of baffles". Chemical Engineering Journal 152, pp. 315–321.

[۸] S. V. Patankar., 1980. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere, Taylor & Francis, New York.

[۹] A. Bejan., 1984. Convection Heat Transfer. John Wiley & Sons, New York.



شکل۹ - تغییرات $\overline{Nu}/\overline{Nu}_0$ برحسب ارتفاع تک پره واقع در مرکز دیوار پایینی کانال، Re=50



شکل۹ - منحنی تغییرات ضریب افزایش عملکرد حرارتی برحسب ارتفاع پره های مختلف واقع در مرکز دیوار پایینی، Re=50

جمع‌بندی

در این تحقیق اثر قرار دادن پره های سطحی روی دیواره کانال تخت بر جریان و انتقال حرارت سیال بررسی شده است و مشخص شد که وجود پره‌ها نقش تعیین کننده‌ای در افزایش انتقال حرارت و افرایش افت فشار دارند . هر چه پره باعث بیشتر مخلوط شدن جریان شود انتقال حرارت بیشتر افزایش می‌یابد. ضریب عملکرد حرارتی برای تمام تک پره ها با افزایش ارتفاع پره روندی کاهشی دارد و کانال بدون پره بیشترین ضریب عملکرد حرارتی را در بین نتایج موجود دارا می باشد. بنابراین می توان گفت که با در نظر گرفتن اثر ترکیبی انتقال حرارت و افت فشار نصب تک پره اثر