

بررسی عددی جریان گرما - شاره از روی موانع با ترکیبات هندسی مختلف

سید اسماعیل رضوی دانشیار، دانشکده فنی مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز،

علی معمارزاده کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، شرکت گاز استان آذربایجان شرقی

چکیده:

در کار حاضر به بررسی تأثیر شکل، اندازه و آرایش انواع ریبها در کانال هوا روی انتقال گرما و اصطکاک در رژیمهای مختلف جریان پرداخته شده است. موانع شامل ریبهای مثلثی، دوزنقه‌ای، مستطیلی، دایره‌ای و صفحه‌ای می‌باشند. مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG و نیز روش SIMPLE با طرح بالادست مرتبه دوم برای گسسته سازی معادلات ناویر-استوکس و انرژی و انرژی به کار رفته‌اند. تجزیه و تحلیل نتایج عددی و مقایسه آنها با دیگر نتایج عددی و تجربی موجود در ادبیات فن ارائه گردیده است. هدف از این پژوهش بررسی نحوه عملکرد ریبهای مختلف در گستره‌ای از اعداد رینولدز برای بهبود انتقال گرما در یک کانال می باشد. همچنین عملکرد و رفتار عددی مدل‌های مختلف آشفتگی در اینجا بررسی شده است.

کلمات کلیدی: معادلات ناویر- استوکس جریان تراکم ناپذیر، کانال مستطیلی، روش حجم کنترل، ریب (موانع) و شیار، مدل‌های آشفتگی

Investigation of Incompressible Flow with Heat Transfer Across Ribs with Different Configurations

S. E. Razavi Associate Professor, Faculty of Mech., Eng., University of Tabriz

A. Memarzadeh M.Sc. Student, East Azarbaijan Gas Company

Abstract:

Present work investigates the effect of geometry, size and arrangement of ribs in an air channel on the heat transfer and friction at various regimes. The obstacles include the triangular, trapezoidal, rectangular, and circular riblets. The RNG $k-\epsilon$ turbulence model along with SIMPLE algorithm and second-order upwind method have been used for discretization of Navier-Stokes and energy equations. The numerical solutions have been compared with their experimental and numerical counterparts. The aim of this research is analyzing the performance of various riblets at different flow conditions and the behavior of numerical scheme.

Keywords: Navier- Stokes Equations, Rectangular Channel, Control Volume Method, Riblet Turbulence Model and Groove

۱- مقدمه

رینولدز اثر می‌پذیرد. پرومونق و همکاران [۵] عملکرد گرمایی و اصطکاکی جریان‌های آشفته هوا داخل کانال مستطیلی با نسبت طول به ارتفاع 15، ارتفاع کانال 20 mm، ارتفاع ریب 6 mm و گام 40mm در شار گرمایی ثابت به عنوان شرط مرزی و روی ریب‌های مثلث متساوی الاضلاع، مثلث قائم الزاویه و مستطیلی در آرایش‌های خطی و غیر خطی را بررسی تجربی کردند. عدد رینولدز بر مبنای قطر هیدرولیکی کانال از 4000 تا 16000 تغییر می‌کند. ایاسما و همکاران [۶] با روش حجم کنترل انتقال گرمای اجباری جریان آشفته داخل کانال دو بعدی و روی شیارهای عرضی متناوب واقع در دیواره پایینی کانال (شار گرمایی ثابت) و دیواره بالایی (عیاق) تحقیق کردند. برای بررسی از چهار مدل آشفتگی k-ε استاندارد، RNG k-ε، k-ω استاندارد و k-ω SST در محدوده عدد رینولدز 6000 تا 18000 با نسبت پهنای شیار به ارتفاع کانال 0.5 تا 1.75 و نسبت گام شیار به ارتفاع کانال 2 و نسبت عمق شیار به ارتفاع کانال 0.5 استفاده شده است. تاسچر و همکاران [۷] بهبود انتقال گرمای جابجایی اجباری در مبادله کن گرمایی صفحه‌ای ریب‌دار با سطح مقطع مستطیلی در گستره $500 < Re < 10000$ (شامل رژیم آرام و آشفته کم) به گونه عددی و تجربی مطالعه کردند. آرایش‌های مختلف از نظر شکل ریب، اندازه و گام آن، زاویه حمله، پهنای، ارتفاع کانال و دمای دیواره بررسی شده است. ضرایب انتقال گرمایی موضعی بر روش تجربی Interferometry Holographic به دست آمده است. پارامترهای هیدرودینامیک موضعی مانند انرژی جنبشی آشفته و تنش‌های برشی رینولدز نیز با استفاده از Laser Doppler Velocimeter اندازه‌گیری شده‌اند. موثرترین نسبت گام به ارتفاع ریب 10 است. برای عملکرد مناسب‌تر از شیار در فاصله بین دو ریب نیز استفاده شده است. در مقاله حاضر به بررسی تأثیر شکل، اندازه و آرایش انواع ریب‌ها در کانال هوا روی انتقال-گرما و اصطکاک با نرم افزار FLUENT در جریان‌های آرام و آشفته پرداخته شده است. مدل آشفتگی RNG k-ε و الگوریتم SIMPLE با طرح بالا دست مرتبه دوم برای گسسته سازی معادلات ناویر-استوکس و انرژی به کار رفته‌اند. برای تولید شبکه با سازمان از نرم افزار GAMBIT استفاده شده است.

۲- معادلات حاکم:

با در نظر گرفتن طول مرجع (قطر هیدرولیکی کانال) D، سرعت مرجع U، فشار مرجع ρU^2 ، زمان مرجع D/U و خواص سیال ورودی به کانال T_∞ ، ρ_∞ ، p_∞ و دمای ثابت دیواره

جلوگیری از جدایش جریان یا ایجاد آن، کاهش یا افزایش آشفتگی منجر به تغییر بازده مبادله کن‌های گرما، کاهش وزن سازه‌ها، کاهش هزینه‌های عملکرد و سوخت مصرفی می‌شود. برای مبادله کن‌های گرمایی در ابتدا از سطوح انتقال گرمای بدون زائده استفاده می‌کردند. روش کنترل جریان به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند [۱۱]: روش‌های غیر فعال، روش‌های فعال و روش‌های ترکیبی، روش غیرفعال از سطحی با شکلی خاص و یا افزودن مواد ویژه‌ای به سیال اصلی استفاده می‌کنند و نیاز به اعمال انرژی بیرونی در حین کنترل جریان ندارند. روش‌های فعال نیاز به تحریک بیرونی برای کنترل جریان دارند. روش‌های ترکیبی از دو روش بهره می‌برند. ایجاد موانع داخلی مانند انواع ریب و شیار از جمله روش‌های غیر فعال می‌باشد. استفاده از ریب‌ها و شیارها به دلیل به هم ریختن لایه مرزی گرمایی و تولید گردابه‌ها برای اختلاط بهتر سیال به انتقال گرما کمک می‌کنند، اما موجب افت فشار می‌شوند. در انتخاب آرایش آنها باید حالت بهینه‌ای جستجو شود. یکی از مزایای اصلی آنها هزینه بسیار کم و بهبود چشمگیر انتقال گرما و افت فشار در مقایسه با سایر روش‌های کنترل جریان و انتقال گرما می‌باشد. سربارها و همکاران [۲] تأثیر ارتفاع ریب‌های 90° و 60° چسبیده به دیوار و جدا از آن را روی توزیع انتقال گرمای موضعی و افت فشار در کانال مربعی با ریب دیوارهای بالا و پایین را به صورت تجربی مطالعه کردند. عدد رینولدز بر مبنای قطر هیدرولیکی کانال 10000 تا 30000 تغییر کرد. چانگ و همکاران [۳] اثر ارتفاع کانال‌های مربعی و ارتفاع ریب‌ها روی بهبود انتقال گرما با دیوارهای ریب‌دار مقابل هم را بررسی تجربی کردند. کیم و همکاران [۴] بهینه‌سازی طراحی کانال‌های ریب‌دار دو بعدی با ریب‌های متناوب در دو دیوار مقابل هم برای بهبود انتقال گرمای آشفته با روش حجم کنترل مطالعه کردند. در کار آنها روش سطح پاسخ به عنوان شیوه بهینه سازی و RANS برای تحلیل جریان و گرما با مدل آشفتگی k-ε استاندارد استفاده شد. آنها نسبت پهنای به ارتفاع ریب، نسبت ارتفاع ریب به ارتفاع کانال، نسبت گام به ارتفاع ریب و نیز نسبت فاصله بین دو ریب مقابل هم به گام را به عنوان متغیرهای طراحی انتخاب کردند. تابع هدف مقایسه‌ای بین انتقال گرما و افت فشار است که به صورت ترکیب خطی از انتقال گرما و افت اصطکاک با عامل وزنی تعریف شد. ریب‌ها با افزایش انرژی جنبشی آشفتگی باعث بهبود انتقال گرمای آشفته شده، اما به گونه قابل ملاحظه‌ای از شرایط جریان مانند طول پیوست مجدد و یا باز چسب خطوط جریان جدا شده، شدت آشفتگی و عدد

$$V_{eff} = v + v_t, \quad v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

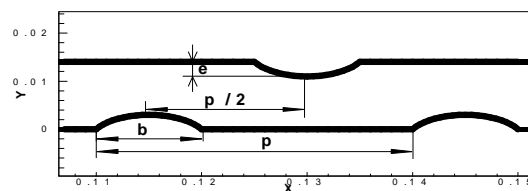
$$\alpha_k = \alpha_\varepsilon = 1.39, C_\mu = 0.0845, C_{1\varepsilon} = 1.42, C_{2\varepsilon} = 1.68$$

$$\eta_0 = 4.377, \quad \beta = 0.012$$

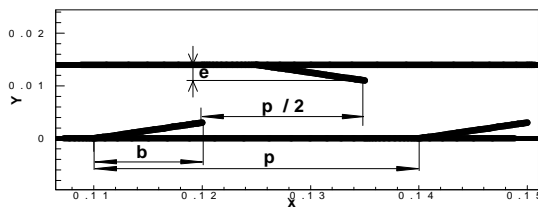
$$C_{1\varepsilon}^* = C_{1\varepsilon} - \frac{\eta(1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta\eta^3}$$

$$\eta = (2E_{ij} \cdot E_{ij})^{1/2} \frac{k}{\varepsilon}$$

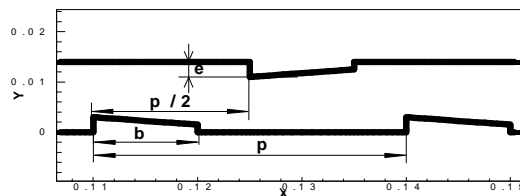
در شکل ۱ هندسه ریب‌های استفاده شده در کار حاضر نمایش داده شده است که در آن P گام، ارتفاع ریب و b پهناي آن هستند.



شکل ۱ الف- ریب‌های دایره‌ای



شکل ۱ ب- ریب‌های مثلثی



شکل ۱ ج- ریب‌های ذوزنقه‌ای

۴- نتایج عددی و بحث:

در کار حاضر معادلات ناویر-استوکس و انرژی با الگوریتم سیمپل و اعمال ضرایب فرو تخفیف حل شده و برای گسسته-سازی شارهای جابجایی از طرح فرا باد مرتبه دوم استفاده شده است که معیار همگرایی 10^{-6} می باشد. در طول فرایند تکرار ضرایب فرو تخفیف برای فشار، چگالی، نیروهای حجمی، اندازه حرکت، آهنگ تولید انرژی جنبشی آشفته و آهنگ استهلاک آن، لزجت آشفته و انرژی به ترتیب 0.3، 1، 1، 0.7، 0.8، 0.8، 1، 1 هستند. در شکل ۲ نمونه‌ای از شبکه با سازمان فشرده شده در جاهایی با گرادیان‌های شدید برای کانال با ریب دایره‌ای با مشخصه $e/h=0.214$ و $e/b=0.3$ و $p/e=10$ نمایش داده شده است. برای مشاهده تأثیر اندازه شبکه روی نتایج، آزمایش

کانال T_w متغیرهای بی بعد و معادلات بی بعد شده برداری حرکت و انرژی، به شکل زیر حاصل می‌شوند [۸]:

$$x^* = \frac{x}{D}, \quad y^* = \frac{y}{D}, \quad u^* = \frac{u}{U}, \quad v^* = \frac{v}{U}$$

$$t^* = \frac{tU}{D}, \quad \theta = \frac{T - T_w}{T_w - T_\infty}, \quad p^* = \frac{p - p_\infty}{\rho U^2} \quad (۱)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} = \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial y} \quad (۲)$$

$$W = [p \quad u \quad v \quad \theta]^T, \quad F = [u \quad u^2 + p \quad uv \quad u\theta]^T$$

$$G = [v \quad uv \quad v^2 + p \quad v\theta]^T$$

$$R = \frac{1}{Re_D} \left[0 \quad \frac{\partial u}{\partial x} \quad \frac{\partial v}{\partial x} \quad \frac{1}{Pr} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right]^T$$

$$S = \frac{1}{Re_D} \left[0 \quad \frac{\partial u}{\partial y} \quad \frac{\partial v}{\partial y} \quad \frac{1}{Pr} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right]^T$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha'}, \quad Re_D = \frac{UD}{\nu}$$

علامت ستاره معادلات بالا برای سادگی حذف شده است.

۳- مدل آشفتگی:

مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ مانند زیر است [۹]:

$$\frac{\partial(k)}{\partial t} + \nabla \cdot (k\vec{U}) = \nabla \cdot \left[\frac{\nu_t}{\sigma_k} \nabla k \right] + 2\nu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \varepsilon \quad (۳)$$

$$\frac{\partial(\varepsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varepsilon\vec{U}) = \nabla \cdot \left[\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\nu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (۴)$$

ثابت‌های مدل عبارتند از [۹]:

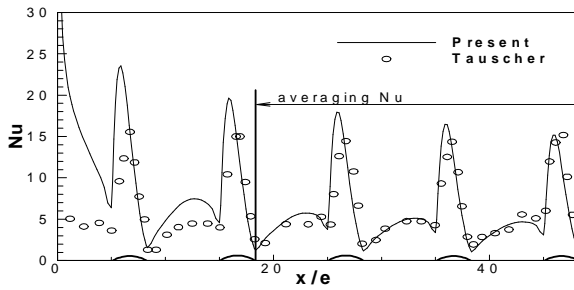
$$\sigma_k = 1.00, \quad \sigma_\varepsilon = 1.30, \quad C_{1\varepsilon} = 1.44, \quad C_{2\varepsilon} = 1.92$$

$$C_\mu = 0.09$$

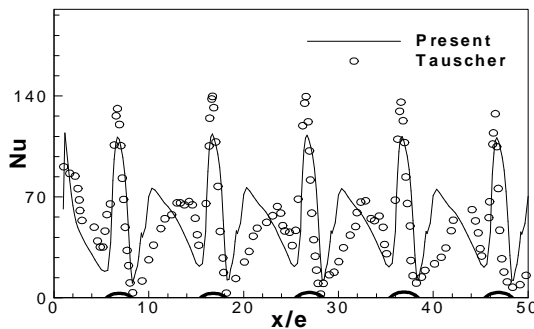
اعداد پیرانتل σ_k و σ_ε قابلیت نفوذ k و ε را به لزجت گردایی μ_t مربوط می‌کنند. دسته هنجار مجدد (RNG) اثرات آشفتگی در مقیاس کوچک را با استفاده از یک تابع جبری اتفاقی (دیدگاه مکانیک آماری) در معادلات ناویر-استوکس نشان‌میدهند [۹]:

$$\frac{\partial(k)}{\partial t} + \nabla \cdot (k\vec{U}) = \nabla \cdot \left[\alpha_k \nu_{eff} \nabla k \right] + 2\nu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \varepsilon \quad (۵)$$

$$\frac{\partial(\varepsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varepsilon\vec{U}) = \nabla \cdot \left[(\alpha_\varepsilon \nu_{eff} \nabla \varepsilon) \right] + C_{1\varepsilon}^0 \frac{\varepsilon}{k} 2\nu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (۶)$$

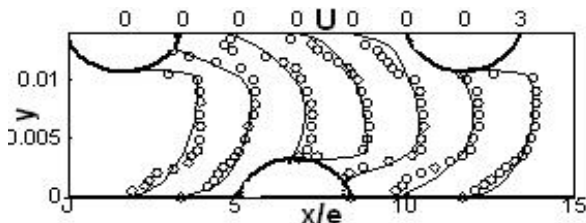


شکل ۴- مقایسه توزیع نوسلت موضعی در جریان آرام [۷]
Re=550



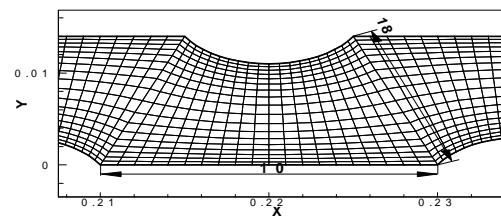
شکل ۵- مقایسه توزیع نوسلت موضعی در جریان آشفته [۷]
Re=5000

پروفیل‌های سرعت در ابتدا و انتهای کانال برای جریان‌های آرام و آشفته در کانال با ریب‌های دایره‌ای با مشخصه و مدل آشفتگی قبلی با نتایج موجود در ادبیات فن [۷] در شکل‌های ۶ تا ۹ مقایسه شده‌است. همانگونه که دیده می‌شود پروفیل‌های سرعت دقت قابل قبولی دارند. عدم دقت مدل آشفتگی فوق در شبیه‌سازی جریان چرخشی باعث انحراف نمودار در توزیع عدد نوسلت موضعی می‌شود. مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG برای جریان‌های داخلی توسعه داده شده و در شبیه‌سازی گردابه‌ها تا حدی ضعیف است. در مقابل آن مدل‌های آشفتگی جریان خارجی دقت لازم برای انتقال گرما ندارند. از آنجا که هدف اصلی در کار حاضر بررسی بهبود انتقال گرما و اصطکاک با ریب‌ها است، به همین دلیل مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG انتخاب شد. پروفیل‌های سرعت جریان آرام تطابق خوب با نتایج موجود [۷] دارد.

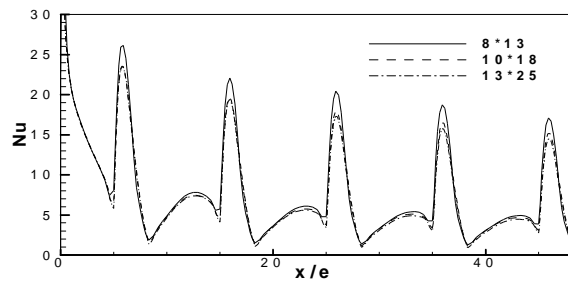


شکل ۶- مقایسه پروفیل‌های سرعت در انتهای کانال در جریان آشفته، Re=5000 [۷]

استقلال نتایج از شبکه در سه شبکه 13×25 ، 10×18 و 8×13 در کانال با ریب دایره‌ای با مشخصه‌های فوق انجام می‌شود. با توجه به ارتفاع کانال و تعداد ریب‌ها به ترتیب 14mm و هشت عدد روی هر دیواره کانال این اندازه شبکه مطلوب می‌باشد. مقایسه نتایج برای هر سه شبکه نشان می‌دهد که استقلال نتایج از شبکه برای کار اخیر در شبکه 18×10 حاصل می‌شود، زیرا با ریز تر کردن شبکه تغییر محسوسی در توزیع نوسلت موضعی برای هر سه شبکه به وجود نیامده است. با در نظر گرفتن هزینه نسبی محاسبات و دقت مطلوب، تمامی نتایج ارائه شده در کار حاضر در شبکه اشاره شده ارائه می‌گردند. قابل ذکر است مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG است.



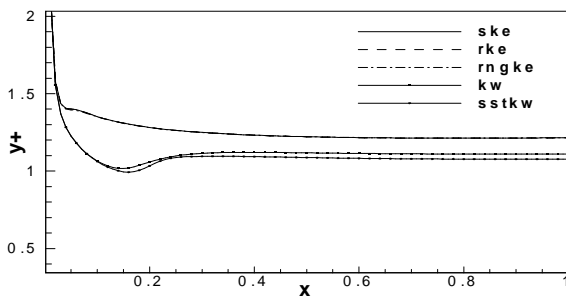
شکل ۲- بخشی از شبکه در کانال با ریب‌های دایره‌ای



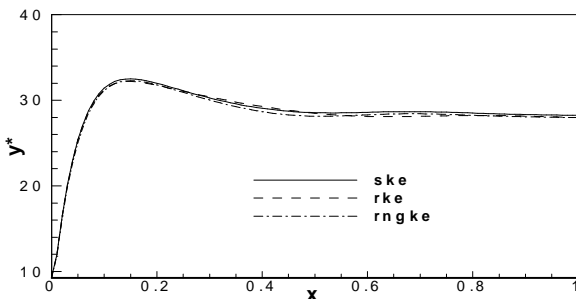
شکل ۳- استقلال نتایج شبکه در کانال با ریب‌های دایره‌ای

برای دو عدد رینولدز که بر مبنای قطر هیدرولیکی کانال تعریف می‌شود، یکی آرام و دیگری آشفته، مقایسه‌ای برای عدد نوسلت موضعی با نتایج تجربی موجود در ادبیات فن صورت گرفته است. در جریان آرام گرچه در طول ورودی قبل از ریب دوم که جریان در حال توسعه است، اختلاف بین نتایج کار حاضر و نتایج مرجع [۷] وجود دارد، شکلهای ۳، ۴ و ۵ ولی از دومین ریب به بعد تطابق خوبی دیده می‌شود. هدف بررسی اثر شکل، اندازه و آرایش ریب روی انتقال گرما و اصطکاک در جریان تراکم ناپذیر گرما- سیال است و عدد نوسلت متوسط بعد از ریب دوم محاسبه می‌شود. در جریان آشفته اختلاف عدد نوسلت متوسط حساب شده و کار تجربی کمتر از 50% می‌باشد. این اختلاف در مراجع [۲] و [۳] به ترتیب 9% و 11.6% گزارش شده است. این اختلاف به دلیل وجود توابع دیواره و تقریب‌ها است.

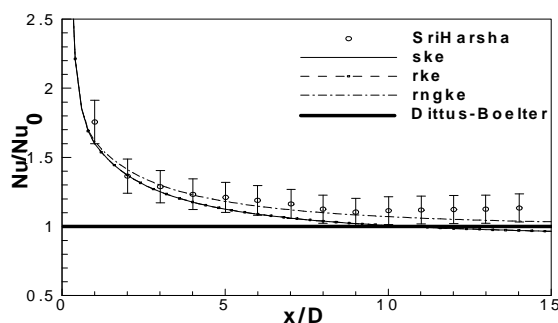
استاندارد برای مدل آشفتگی $k-\omega$ در کانال با ریب دایره‌ای با مشخصه‌های قبلی در مقایسه با نتایج موجود در ادبیات فن [۲] ارائه شده است. همانگونه که دیده می‌شود، مدل آشفتگی $k-\omega$ خطای زیادی داشته و خطای $k-\varepsilon$ با تابع دیواره استاندارد قابل قبول نیست. در شکل ۱۳ مقایسه تابع دیواره دولایه‌ای با مدل‌های مختلف آشفتگی نمایش داده شده است. اگرچه استفاده از این تابع در مرز زیر لایه و لایه کاملاً آشفته ناپیوستگی در مشتق سرعت ایجاد می‌کند، اما نتایج توزیع نوسلت موضعی تطابق قابل قبولی دارد. مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ RNG کاملاً در داخل بازه خطای آزمایش است و به صورت منطقی به مقدار نظری در مرجع [۲] میل می‌کند.



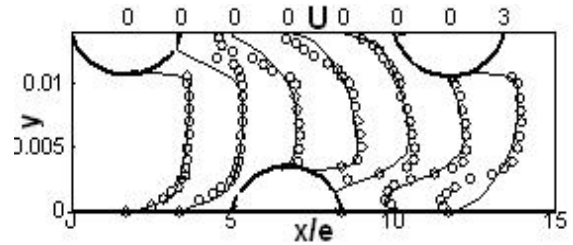
شکل ۱۰- نمودار y^+ برای انواع مدل‌های مختلف آشفتگی



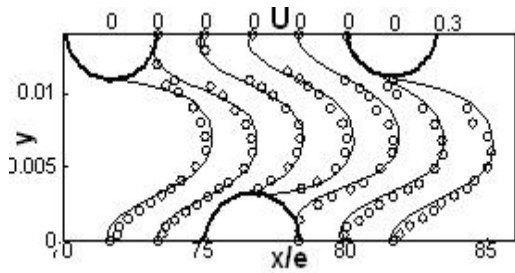
شکل ۱۱- نمودار y^+ برای انواع مدل‌های مختلف آشفتگی



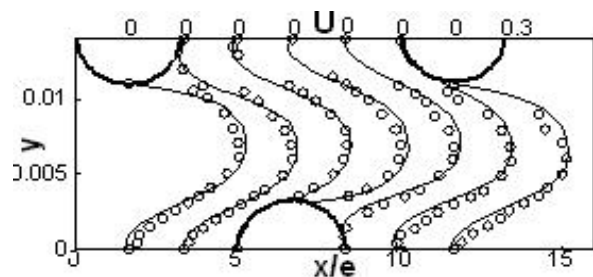
شکل ۱۲- مقایسه تابع دیواره دولایه‌ای با مدل‌های مختلف آشفتگی. [۲ و ۳]



شکل ۷- مقایسه پروفیل‌های سرعت در ابتدای کانال در جریان آشفته، $Re=5000$ [v]

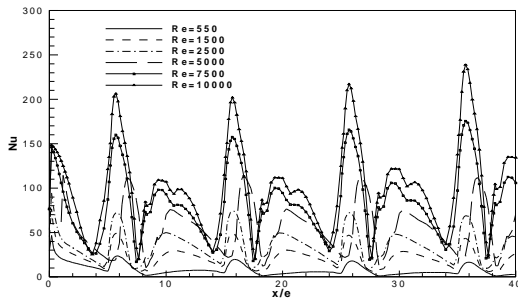


شکل ۸- مقایسه پروفیل‌های سرعت در انتهای کانال در جریان آرام $Re=550$ [v]

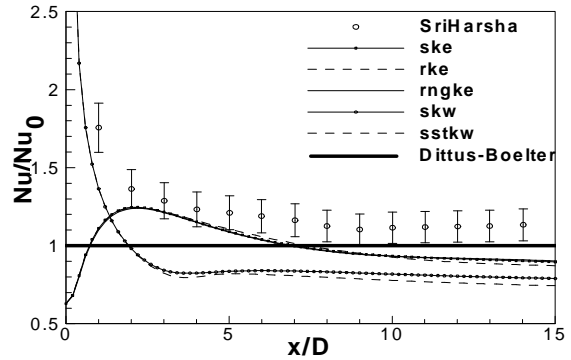


شکل ۹- مقایسه پروفیل‌های سرعت در ابتدای کانال در جریان آرام، $Re=550$ [v]

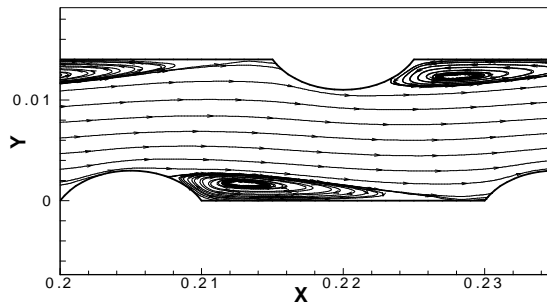
در شکل ۱۰ مقدار y^+ مربوط به ضخامت زیر لایه آرام برای حل در کانال بدون ریب و مدل‌های آشفتگی مختلف $k-\varepsilon$ استاندارد، $k-\omega$ Realizable $k-\varepsilon$ ، $k-\omega$ RNG استاندارد، SST به صورت تابعی از x آورده شده است. نمودار نشان می‌دهد که با افزایش طول مدل‌های مختلف آشفتگی به مقادیر نزدیکی از y^+ همگرا می‌شوند. و چون این مقادیر در گستره قابل قبول است، تابع دیواره استاندارد y^+ به کار می‌رود. مدل آشفتگی $k-\omega$ تابع دیواره استاندارد ندارد، ولی در عوض آن باید در حدود یک باشد و درست مانند تابع دیواره دو لایه‌ای مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ تعریف می‌شود. شکل ۱۱ نمودار y^+ برای مدل‌های مختلف آشفتگی $k-\varepsilon$ استاندارد، $k-\varepsilon$ RNG، $k-\varepsilon$ Realizable را نمایش می‌دهد که در محدوده قابل قبول است و خطای ناشی از آن نیز موجود نیست. در شکل ۱۲ مقایسه Nu به Nu_0 (عدد نوسلت کانال بدون ریب) برای مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ و بدون تابع دیواره



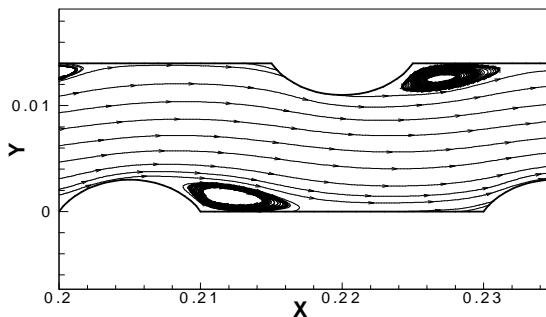
شکل ۱۵- مقایسه توزیع اعداد نوسلت موضعی در اعداد رینولدز مختلف



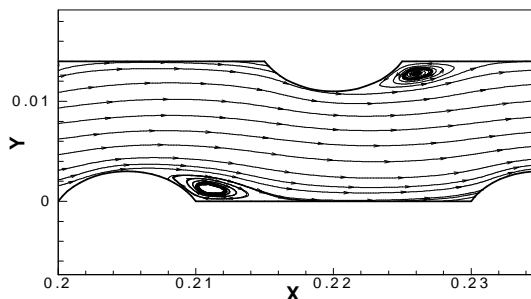
شکل ۱۳- مقایسه Nu به Nu_0 مدل‌های مختلف آشفتگی [۲ و ۳]



شکل ۱۶ الف- خطوط جریان برای $Re=500$ و کانال با ریب‌های دایره‌ای

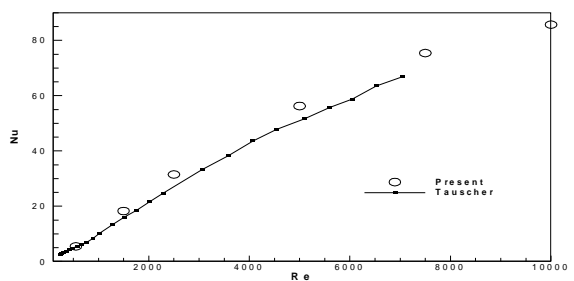


شکل ۱۶ ب- خطوط جریان در $Re=1500$ و کانال با ریب‌های دایره‌ای

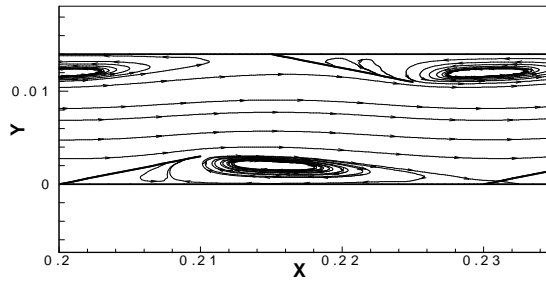


شکل ۱۶ ج- خطوط جریان برای $Re=2500$ و کانال با ریب‌های دایره‌ای

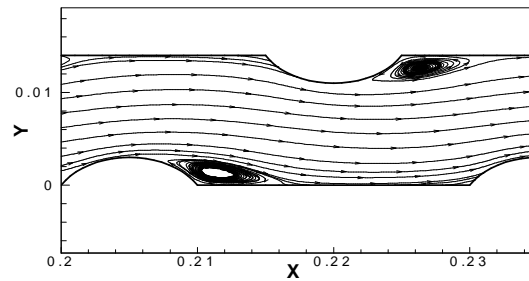
شکل ۱۴ نمودار تغییرات نوسلت میانگین نسبت به عدد رینولدز را در کانال با ریب‌های دایره‌ای با مشخصه‌های قبل و مدل-آشفتگی RNG k-ε درمقایسه با نتایج [۷] را نمایش می‌دهد با افزایش عدد رینولدز انتقال گرما بیشتر می‌شود. در شکل ۱۵ نمودار توزیع اعداد نوسلت موضعی در کانال با ریب دایره‌ای با مشخصه‌ها و مدل آشفتگی قبل برای اعداد رینولدز مختلف داده شده است. در محاسبات جریان آشفته ناحیه چرخش به سمت پایین مایل شده است. شکستگی نمودار در ناحیه قبل از ریب بوده که به دلیل ایجاد ناحیه چرخشی قبل از ریب در رینولدزهای بزرگ است. در شکل ۱۶ خطوط جریان برای اعداد رینولدز مختلف در کانال با ریب دایره‌ای و با مشخصه‌های RNG k-ε و مدل آشفتگی $p/e=10$ ، $e/b=0.3$ ، $e/h=0.214$ نمایش داده شده است. در $Re=1000$ همگرایی حاصل نشد که نشان‌دهنده حالت بحرانی گذرا است. در شکل‌های ۱۷ خطوط جریان در هندسه‌های مختلف، مشخصه $e/b=0.3$ ، $e/h=0.214$ و $p/e=10$ و مدل آشفتگی RNG k-ε نمایش داده شده‌اند. می‌توان نتیجه گرفت که خطوط جریان روی انتقال گرما تأثیر به‌سزایی دارد.



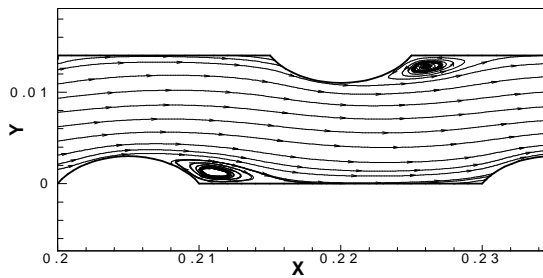
شکل ۱۴- مقایسه توزیع عدد نوسلت میانگین با عدد رینولدز [۷]



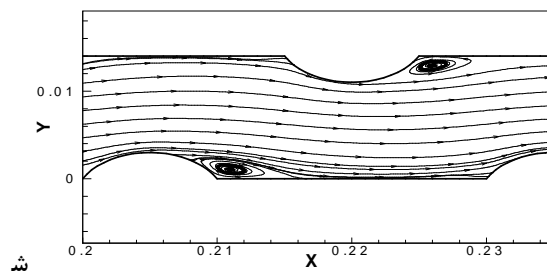
شکل ۱۷ د- خطوط جریان برای ریب صفحه‌ای •
Re=550



شکل ۱۶ د- خطوط جریان برای ریب دایروی
Re=7500

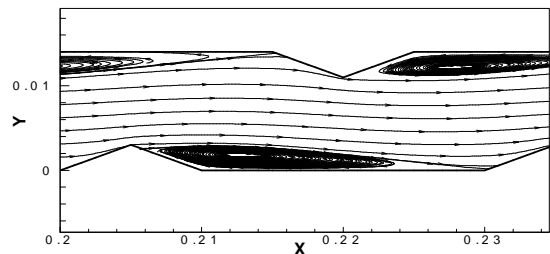


شکل ۱۷ ای - خطوط جریان برای ریب دایروی Re=5500

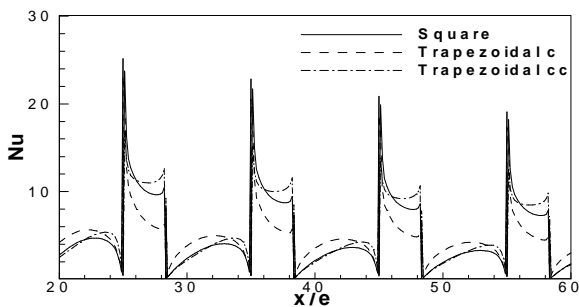


شکل ۱۶ ی - خطوط جریان برای ریب دایروی Re=10000

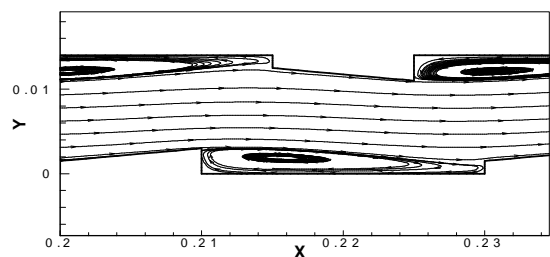
به آسانی دریافت می‌شود ریب دایره‌ای به‌عنوان بهترین ریب از نظر بهبود انتقال گرما می‌باشد و به همین دلیل است که ما از آن تا حال به‌جای ریب‌های دیگر استفاده می‌کردیم. در شکل ۱۸ ب نمادهای slip c و slip cc به ترتیب معرف ریب صفحه‌ای مایل در امتداد جریان و در خلاف آن می‌باشند.



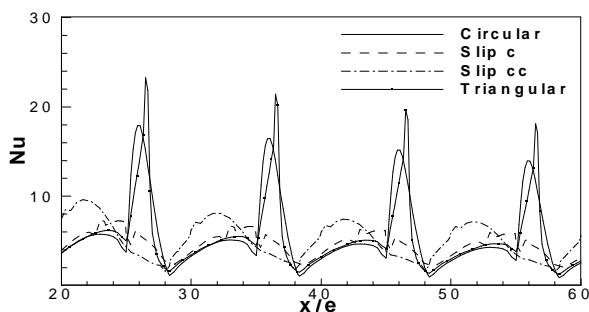
شکل ۱۷ الف - خطوط جریان برای ریب مثلثی Re=550



شکل ۱۸ الف - مقایسه توزیع نوسلت موضعی مدل آشفتگی RNG k-ε



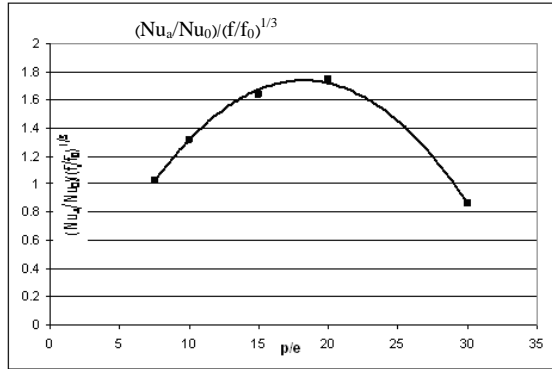
شکل ۱۷ ب - خطوط جریان برای ریب دوزنقه‌ای در جهت جریان Re=550



شکل ۱۸ ب - مقایسه توزیع نوسلت موضعی مدل آشفتگی RNG k-ε

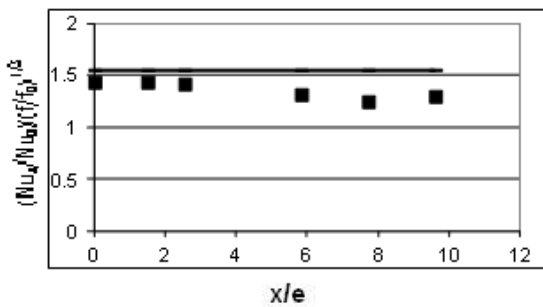
در شکل‌های ۱۸ توزیع عدد نوسلت موضعی برای کانال با ریب-های مختلف با مشخصه‌ها و مدل آشفتگی یکسان مانند قبل ارائه شده است.

در شکل ۲۱ برای پنج مقدار مختلف و برازش مرتبه دوم مقدار بهینه برای نسبت گام به ارتفاع ریب 18.2 به دست می آید که تا حال از آن بهره جسته و مطابق با مرجع [۷] است.



شکل ۲۱- بهینه سازی نسبت گام به ارتفاع ریب دایره ای

در نهایت شکل ۲۲ جایابی شیار مثلثی بین دو ریب دایره ای متوالی با مشخصه های بهینه و مدل آشفتگی k-ε RNG در Re=5500 برای بهبود بیشتر انتقال گرما را نشان می دهد. در حالت کلی اضافه کردن شیار در جریان آرام باعث کاهش کارایی می شود و این کاهش هنگامی که شیار در وسط فاصله بین دو ریب متوالی باشد بیشترین است. در جریان های آشفته افزودن شیار باعث بهبود کارایی می شود. مطابق شکل ۲۲ در وسط دو ریب متوالی تابع هدف کمینه است و به طرف هر کدام از ریبها به علت قرار گرفتن شیار در ناحیه چرخش جریان و با فاصله از مرکز، انتقال گرما بهبود می یابد و خط رسم شده صرفاً خط شاخص کمینه و بیشینه مقدار تابع هدف است.



شکل ۲۲- جایابی شیار مثلثی برای بهبود انتقال گرما، p/e=18.2

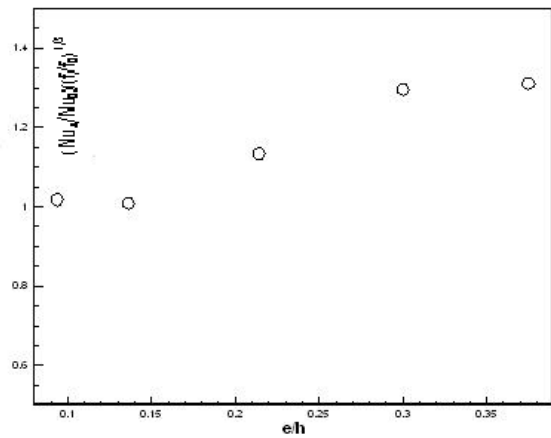
۵- نتیجه گیری

برای گسسته سازی شارهای جابجایی طرح فراباد مرتبه دوم با الگوریتم SIMPLE به کار رفته است. سیال هوا و جریان تراکم

در شکل ۱۹ نسبت ارتفاع ریب دایره ای به ارتفاع کانال بهینه به دست آورده می شود. با افزایش ارتفاع ریب انتقال حرارت بهبود یافته اما دبی عبوری کمتر می شود. چنانکه کیم [۴] اشاره نموده، افت فشار اعمالی در مقادیر بیش از 0.3 بسیار زیاد می شود. با توجه به نمودار تابع هدف که مقایسه ای بین انتقال گرما و اصطکاک است، بعد از 0.3 چشمگیر نبوده و آن به عنوان نمونه بهینه انتخاب می شود. تابع هدف بهینه شونده که در آن Nu_0, f_0 به ترتیب نوسلت و ضریب اصطکاک میانگین در حالت بدون ریب هستند، عبارت است از [۲]:

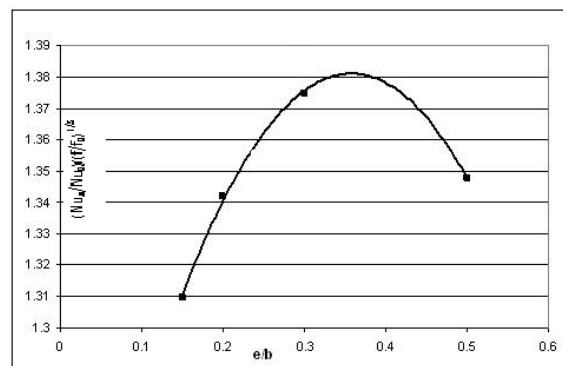
$$f = \frac{\Delta p}{L} \left(\frac{\rho V^2}{2} \right) ; Nu_0 = 0.0243 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

$$f_0 = \frac{2}{(2.236 \ln Re - 4.639)^2}$$



شکل ۱۹- بهینه سازی نسبت ارتفاع ریب به ارتفاع کانال در ریب دایره ای

در شکل ۲۰ با استفاده از یک برازش مرتبه دوم مقدار بهینه برای نسبت ارتفاع ریب به طول آن 0.3 حاصل می شود که تاکنون در مرجع [۷] به آن اشاره شده است.



شکل ۲۰- بهینه سازی نسبت ارتفاع ریب به طول آن در ریب دایره ای

- [8] White, F.M., Viscous fluid flow, Mc Graw-Hill, New York, pp. 614, 2004.
- [9] Versteeg, H.K., Malalasekera, W., An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method, Addison-Wesley, 2005.

ناپذیر آرام و آشفته، پایا و تمامی دیواره‌های کانال در شرط - مرزی گرمایی دما ثابت قراردارند. ریب‌ها با شکل‌های مستطیلی، مثلثی، دایره‌ای، دوزنقه‌ای با کاهش ارتفاع در امتداد جریان، دوزنقه‌ای با افزایش ارتفاع در امتداد جریان و نیز صفحه‌ای در دو حالت مایل در امتداد جریان و در خلاف آن استفاده شده‌اند. مدل‌های آشفتگی دو معادله‌ای $k-\epsilon$ استاندارد، Realizable $k-\epsilon$ ، $k-\omega$ ، RNG $k-\epsilon$ ، SST $k-\omega$ به کار رفتند. از بین آنها $k-\epsilon$ RNG عملکرد مطلوبی از نظر دقت نتایج و سرعت همگرایی عددی نشان داد. از میان ریب‌ها نوع دایروی دارای کارکرد مناسب از نظر افزایش انتقال گرما و کاهش اصطکاک است. در جریان‌های آشفته افزودن شیار باعث بهبود کارایی می‌شود. در وسط دو ریب متوالی تابع هدف کمینه است و به طرف هر کدام از ریب‌ها به علت قرارگرفتن شیار در ناحیه چرخش جریان و با فاصله از مرکز، انتقال گرما بهبود می‌یابد. در هر حال استفاده از ریب و شیار به عنوان یکی از روش‌های بهبود انتقال گرما موثر بوده و پیشنهاد می‌شود. دستاورد این پژوهش می‌تواند در گستره صنعت از جمله مبدل‌های گرمایی، توربین‌های گازی و گرم کن‌های خورشیدی مورد توجه قرار گیرد.

مراجع

- [1] Webb, R.L., Principles of enhanced heat transfer, John Wiley & Sons, New York, pp. 3-10, 2006.
- [2] SriHarsha, V., Prabhu, S.V., Vedula, R.P., Influence of rib height on the local heat transfer distribution and pressure drop in a square channel with 90 continuous and 60 V-broken ribs, Applied Thermal Engineering, Vol. 29, pp. 2444-2459, 2009.
- [3] Chang, S.W., Liou, T.M., Juan, W.Ch., Influence of channel height on heat transfer augmentation in rectangular channels with two opposite rib-roughened walls, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 48, pp. 2806-2813, 2005.
- [4] Kim, H.M., Kim, K.Y., Design optimization of rib-roughened channel to enhance turbulent heat transfer, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 47, pp. 5159-5168, 2004.
- [5] Promvong, P., Thianpony, Ch., Thermal performance assessment of turbulent channel flows over different shaped ribs, Int. Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 35, pp. 1327-1334, 2008.
- [6] Eiamsa, S., Promvong, P., Numerical study on heat transfer of turbulent channel flow over periodic grooves, Int. Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 35, pp. 844-852, 2008.
- [7] Tauscher, R., Mayinger, F., Visualization of flow temperature fields by Holographic Interferometry-Optimization of compact heat exchangers, Proceedings of PSFVIP-2, May 16-19, Honolulu, USA, 1999.