



## Study the Effects of Bridge Pier Shape on the Flow Pattern Using the Fluent Software

Y. Hassanzadeh<sup>1\*</sup>, H. Hakimzadeh<sup>2</sup>  
and S. Ayari<sup>3</sup>

### Abstract

In this paper, the 3-D flow pattern around the pier with different sections is simulated using Fluent software. The pier sections modeled in this study included circular, spindle, oval, rectangular, square, and combined (rectangle - circle) sections. The software solves the flow equations using finite volume and pattern of cell centralism. Prismatic networks were used for computational lattice field. These networks were produced using the pre-processor Gambit. The computational field was then analyzed using the Fluent software. The Fluid Volume Method (VOF) is used to involve the free surface in three-dimensional modeling. Flow turbulence has been entered in the calculations using  $k - \epsilon$  model. In three-dimensional models, the effect of changes in water surface profiles and piers shape were investigated on decreasing shear stress and thus reducing scouring. The results indicated that spindle and elliptical cross sections have the largest effect in reducing shear stress and thus scouring around piers. The low velocity flow is formed around these piers and no large disturbance and no return flow, as important factors in scouring, are observed for spindle shaped piers.

**Keywords:** Circular pier, spindle shape pier, finite volume method,  $k-\epsilon$  numerical model, shear stress, Fluent software.

Received: September 10, 2008

Accepted: January 18, 2012

## بررسی اثر اشکال مختلف پایه پل بر الگوی جریان اطراف آن با استفاده از نرم افزار Fluent

یوسف حسن زاده<sup>۱\*</sup>، حبیب حکیم زاده<sup>۲</sup>  
و شیوا عیاری<sup>۳</sup>

### چکیده

در این مقاله الگوی جریان اطراف پایه‌هایی با مقاطع دایره، دوکی، بیضی، مستطیلی، مربعی و مستطیلی گرد گوشه (مستطیل - دایره) به صورت سه بعدی، با استفاده از نرم‌افزار Fluent شبیه‌سازی شده است. این نرم‌افزار معادلات جریان را به روش حجم محدود و الگوی مرکزیت سلول حل می‌نماید، جهت شبکه‌بندی میدان محاسباتی از شبکه‌های منشوری استفاده شده است. این شبکه‌ها با استفاده از پیش پردازنده Gambit، تولید شده و سپس میدان محاسباتی با نرم‌افزار Fluent تحلیل شده است. در مدل‌سازی سه بعدی، جهت لحاظ نمودن اثر سطح آزاد روش حجم سیال (VOF) استفاده شده است. آشفتگی جریان با استفاده از مدل  $k - \epsilon$  در محاسبات وارد شده است. در مدل‌های سه بعدی مطرح شده، تغییرات پروفیل سطح آب و اثر تغییر شکل پایه‌ها در کاهش میزان تنش برشی و در نتیجه کاهش آبستگی بررسی شده است. نتیجه محاسبات گویای آن است که مقطع دوکی و بیضی شکل بهترین نوع مقطع در کاهش تنش برشی و در نتیجه کاهش آبستگی اطراف پایه می‌باشد. در این مقاطع جریان از اطراف پایه به آرامی می‌گذرد و آشفتگی زیادی در جریان به وجود نمی‌آید و جریان برگشتی که یکی از عوامل مهم آبستگی می‌باشد در مقطع دوکی شکل دیده نمی‌شود.

**کلمات کلیدی:** پایه پل دایره‌ای، پایه پل دوکی شکل، روش حجم محدود، مدل عددی  $k - \epsilon$ ، تنش برشی، نرم افزار Fluent.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۰ شهریور ۱۳۸۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۸ دی ۱۳۹۰

1- Professor, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran,  
Email: yhasanzadeh@tabrizu.ac.ir

2 Associate Professor, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

3- M.Sc., Faculty of Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

\*- نویسنده مسئول

نتیجه قدرت گردابه‌های نعل اسبی کمتر خواهد شد، Dargahi (1998) نیز در این راستا بیان کرد که این سیستم گردابه حالت شبه تناوبی داشته و قدرت آن در طول زمان و طی روند آبشستگی نوسان می‌کند.

Yuhi et al. (2000) نیز به این نتیجه رسیدند که این گردابها تنش برشی را در سطح بستر افزایش داده و باعث فرسایش قسمت عمده رسوب اطراف پایه می‌شوند، همچنین شکل گردابه‌های نعل اسبی شدیداً تحت تاثیر پروفیل بستر نزدیک پایه قرار دارد، به همین علت رفتار گردابی بالای بستر آبشسته عامل مهم تخمین آبشستگی محلی است. دو عنصر اساسی و لازم جهت تشکیل گردابه‌های نعل اسبی عبارتند از:

۱- وجود لایه مرزی نزدیک شونده بستر به پایه با ضخامت  $\delta$   
 ۲- گردایان فشار مخالف به وجود آمده بوسیله پایه باید به اندازه کافی قوی باشد تا لایه مرزی در بستر را جدا نماید تا پیچک‌های نعل اسبی بتوانند بوجود آیند.

پارامترهایی که در تشکیل پیچک‌های نعل اسبی موثر می‌باشند عبارتند از:

الف-  $\frac{\delta}{D}$ : که در آن  $\delta$  ضخامت لایه مرزی بستر و  $D$  قطر پایه می‌باشد.

ب-  $Re_D$  و  $Re_{\delta}$ :

$$Re_D = \frac{UD}{\nu} \quad (1)$$

$$Re_{\delta} = \frac{U\delta}{\nu} \quad (2)$$

که معادلات (۱ و ۲) به ترتیب نشان دهنده عدد رینولدز پایه و عدد رینولدز لایه مرزی بستر می‌باشند. در روابط بالا  $U$  سرعت جریان آزاد می‌باشد و  $\nu$  ویسکوزیته سینماتیکی سیال است.

پ- اثر هندسه پایه

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، فاصله جدایش به صورت تابعی از  $Re_D$  و  $D/\delta^*$  توسط Baker (1979) بررسی شده است که در آن  $\delta^*$  ضخامت جابجایی نامیده می‌شود. لازم به ذکر است که در لایه مرزی آشفته نقش عدد رینولدز ممکن است چشمگیر باشد به گونه‌ای که، اندازه پیچک‌های نعل اسبی بواسطه افزایش عدد رینولدز کاهش یابد و این به علت افزایش مومنتمی است که بین لایه‌های

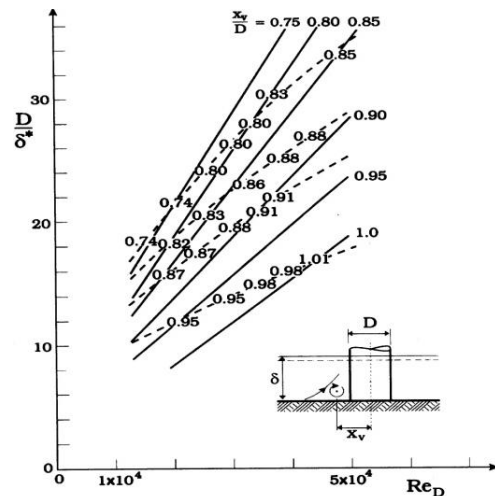
الگوی جریان اطراف یک پایه استوانه‌ای بسیار پیچیده است و این پیچیدگی با پیشرفت حفره آبشستگی بیشتر می‌شود. اگر پایه‌ای در برابر جریان آب وجود داشته باشد، سرعت جریان در برخورد به سطح بالا دست پایه به صفر می‌رسد. به دلیل اینکه پروفیل سرعت از سطح آزاد به سمت کف از میزان ماکزیمم به صفر کاهش می‌یابد، فشار دینامیکی ( $\rho u^2/2$ ) نیز از سطح آزاد به سمت کف کاهش می‌یابد که در آن  $u$  سرعت جریان در هر تراز است. این گردایان فشار رو به پایین، جریان رو به پایینی را ایجاد می‌کند. جریان رو به پایین در هر تراز بالای بستر، دارای توزیع سرعت خاص است، به طوری که در محل برخورد جریان اصلی به پایه و همچنین در فاصله‌ای در بالا دست پایه دارای سرعت صفر است.

مقدار حداکثر سرعت جریان رو به پایین در صورتی که حفره آبشستگی وجود نداشته باشد، در مجاورت بستر و با توجه به شکل پایه حدوداً برابر  $0.4u_0$  است که در آن  $u_0$  سرعت ورودی جریان است. در حالتی که عمق آبشستگی دو برابر قطر پایه باشد، در محلی واقع در زیر بستر اولیه و به فاصله‌ای برابر با قطر پایه از آن، مقدار حداکثر سرعت جریان رو به پایین برابر  $0.8u_0$  می‌باشد. وقتی جریان به پایه پل برخورد می‌کند سرعتش به صفر کاهش یافته و این کاهش سرعت باعث ایجاد فشار ایستایی می‌شود. از آنجایی که سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب افزایش می‌یابد، فشار ایستایی بیشتری در ترازهای بالاتر روی سطح بالادست پایه ایجاد می‌شود و این گردایان فشار معکوس باعث تشکیل جریان رو به پایین بر روی سطح بالا دست پایه می‌گردد.

جریان رو به پایین در برخورد با بستر ضمن حفر بستر به طرف بالا چرخیده و ایجاد گرداب می‌کند و در واقع لایه مرزی بالادست پایه دستخوش یک پخش‌شدگی سه‌بعدی می‌شود، این لایه مرزی پخش شده به سمت بالا حرکت کرده و عامل ایجاد یک گردابه فتری شکل که در پلان به نعل اسب شبیه می‌باشد، می‌گردد و از اینرو به سیستم گرداب نعل اسبی معروف است.

Breusers et al. (1977) نشان دادند که سیستم گردابه نعل اسبی عامل شروع آبشستگی نبوده و تنها نتیجه جریان رو به پایین به درون گودال آبشستگی می‌باشد و در واقع جریان رو به پایین عامل اصلی آبشستگی است. همچنین شکل پایه‌ها در تشکیل این نوع گردابه نقش بسزایی دارد، به طوری که هر چه میزان انطباق جریان با شکل پایه‌ها بیشتر باشد گردایان فشار معکوس کمتر بوده و در

سیال در لایه مرزی آشفته (و بنابراین به علت تأخیر در جدایش لایه مرزی) با افزایش عدد رینولدز تغییر می‌کند.



شکل ۱- فاصله جدایش به صورت تابعی از  $Re_D$  و  $D/\delta^*$

با عبور جریان از کناره‌های پایه پل، گردان منفی فشار در پشت پایه ایجاد شده، که باعث جدایی جریان از سطح پایه و تشکیل گردابه‌هایی را در پشت آن می‌گردد. محور این گردابه‌ها عمود بر بستر رودخانه بوده و به صورت چرخشهایی بر روی سطح آب قابل مشاهده هستند، این سیستم گردابه رسوبات را از کف بستر به سمت بالا کشیده و در معرض جریان قرار می‌دهد. Melville (1975) دریافت که یک جریان رو به پائین قوی در جلوی پایه باعث گسترش حفره آبشستگی می‌شود و با نرخ آبشستگی نسبت مستقیم دارد. وی خاطر نشان کرد که قدرت گردابه‌های جدا شده از پایه در سیستم گرداب دنباله‌دار به طور قابل ملاحظه‌ای با شکل پایه و سرعت جریان متغیر است و پایه‌های با مقاومت کم در برابر جریان، گردابه دنباله‌دار ضعیفی ایجاد خواهند کرد. در سال‌های اخیر مطالعات آزمایشگاهی فراوانی در زمینه مدل‌سازی جریان و آبشستگی اطراف پایه‌های پل توسط پژوهشگران مختلف صورت گرفته است. اغلب مطالعات آزمایشگاهی در زمینه آبشستگی در اطراف پایه‌ها مبتنی بر شرایط ایده‌آل‌سازی شده می‌باشد. به عنوان مثال بستر صاف، جریان ثابت و نظایر آنها، اعمال چنین شرایطی در مدل آزمایشگاهی در صورتی که بستر رودخانه دارای مورفولوژی پیچیده باشد مشکل خواهد بود. یک فرآیند رضایت بخش جهت بررسی جریان استفاده از مدل‌های عددی است. Tseng et al. (2000) یک مدل عددی سه بعدی را توسعه دادند که جریان اطراف یک پایه استوانه‌ای در معرض جریان یکنواخت را با استفاده از روش حجم محدود با حل معادلات جریان سیال با

تراکم‌پذیری ضعیف  $\square$  شبیه‌سازی می‌نماید. حل معادلات مربوطه با روش صریح پیشگویی- اصلاح مک کورمک انجام شده است. مدل آبشستگی شبیه‌سازی گردابه بزرگ  $\nabla$  (LES) جهت مدل‌سازی آبشستگی جریان در این پژوهش اعمال شده است. مدل عددی این محققین با نتایج آزمایشگاهی (Dargahi (1998) مقایسه شده است و مدل عددی مزبور برای دو نمونه پایه استوانه‌ای با مقطع مربع و دایره انجام شده است.

Yen et al. (2001) با ترکیب مدل سه بعدی جریان با مدل آبشستگی، توانستند تغییرات بستر و الگوی جریان اطراف پایه پل را شبیه‌سازی نمایند، که مدل LES برای مدل‌سازی آبشستگی و تنش برشی بستر استفاده شده است.

آبشستگی نوعی ناپایداری جریان است که به واسطه تنشهایی برشی و با گردانهای سرعت ایجاد می‌گردد، و هرچه تنش برشی قویتر باشد، آبشستگی جریان نیز شدیدتر خواهد بود. تعیین تنش برشی برای جریانات آشفته بسیار مهم و در عین حال از دیدگاه محاسباتی کمی پیچیده‌تر می‌باشد. از طرفی بدون داشتن رابطه‌ای برای تنش برشی نمی‌توان با نوشتن تعادل نیروهای وارد بر یک المان سیال، توزیع سرعت را در درون جریان بدست آورد. آبشستگی در محلی که مقدار تنش برشی ماکزیمم ( $\tau_{max}$ ) بر نیروی مقاوم ذرات رسوبی غلبه می‌کند، آغاز می‌شود که حاصل از شتاب و تفکیک جریان در هر دو سوی پایه می‌باشد. Melville (1975) نشان داد که آبشستگی از لبه پایه شروع می‌شود و به طرف جریان بالا دست و پائین دست گسترش می‌یابد. گودال آبشسته از تمام اطراف پایه توسعه یافته و تا عمقی که به حالت تعادل برسد ادامه می‌یابد. Rodi (1997) به مقایسه جریان اطراف پایه با مقطع مربعی با استفاده از دو مدل RANS و LES پرداخت. در این تحقیق مشخص گردید که نتایج حاصل از محاسبات به روش LES کارآمدتر از RANS می‌باشد.

Roulund et al. (2002) جریان سه بعدی اطراف پایه پل را با استفاده از مدل عددی سه بعدی شبیه‌سازی نموده‌اند. در این بررسی، معادلات سه بعدی ناویه- استوکس حل شده‌اند. در محاسبات Roulund مدل آبشستگی  $\omega$ -k مورد استفاده قرار گرفته است. تأثیر ضخامت زبری لایه مرزی، تأثیر زبری بستر و مایل بودن پایه نسبت به خط قائم بر روی شکل‌گیری پیچک نعل اسبی<sup>۳</sup> بررسی شده است و طول پیچک نعل اسبی با افزایش عدد رینولدز افزایش نشان داد. برای اعداد رینولدز بالا، این طول به تدریج از مقدار حداکثر خود کاهش می‌یابد. Johnson and Ting (2003) مطالعات آزمایشگاهی

جریانهای دو فاز و چند فاز و جریانهای سطح آزاد<sup>۶</sup> باشکلهای سطح پیچیده، را دارد. معادله‌های اساسی پیوستگی و سه معادله مومنت در جهت محورهای سه گانه مختصات که به معادلات ناویراستوکس معروفند که در واقع بیانگر بقای جرم و مومنت به شکل ریاضی هستند، در این نرم‌افزار استفاده شده‌اند. در این مقاله معادلات حاکم بر اساس دیدگاه اولری بیان شده است. بیان ریاضی این معادلات بشکل تانسوری بصورت ذیل می‌باشند:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3) \quad \text{معادله بقای جرم (پیوستگی):}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g x_i + \nu \nabla^2 u_i \quad (4) \quad \text{معادله بقای مومنت:}$$

$u_i$ : مولفه سرعت در جهت  $x_i$ ;  $\nu$ : لزجت ملکولی سیال،  $\rho$ : چگالی سیال،  $P$ : مقدار فشار در هر نقطه از سیال با استفاده از معادلات بالا می‌توان جریان آشفتگی را تحلیل کرد با این تفاوت که بتوان نوسانات نامنظم، لحظه‌ای و اتفاقی کمیت‌های میدان جریان را در هر لحظه مدل نمود. با استفاده از متوسط‌گیری زمانی از معادلات بالا خواهیم داشت:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + g x_i + \frac{\partial}{\partial x_i} (\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} - \overline{u'_i u'_j}) \quad (6)$$

عبارت  $\overline{\rho u'_i u'_j}$  همان تنش رینولدز است که به سیال عمل کرده و اثر آشفتگی را در جریان سیال اعمال می‌کند. تعیین مقادیر تنش‌های رینولدز نیاز به معادلات پایه ای دارند که بدین منظور از مدل‌های آشفتگی متفاوتی استفاده می‌گردد. مدل‌های آشفتگی را با توجه به چگونگی استفاده مبانی طرح آنها و نیز تعداد معادلات دیفرانسیل جهت ارتباط تنشهای آشفتگی با سرعت متوسط‌گیری شده یا گرادیان آنها، می‌توان به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

- ۱) مدل‌های صفر معادله ای
- ۲) مدل‌های یک معادله ای
- ۳) مدل‌های دو معادله ای

مدل‌های دو معادله‌ای قابلیت خوبی در شبیه‌سازی دقیق جریانهای آشفتگی دارند و از کاربردی‌ترین مدل‌های دو معادله‌ای می‌توان مدل  $k-\epsilon$  را نام برد که در این کار پژوهشی نیز از این مدل استفاده شده است. نوع دوم مدل‌های آشفتگی نیاز به حل معادلات بیشتری دارند که در این بررسی به آنها پرداخته نشده است. شکلهای متفاوتی از مدل  $k-\epsilon$  ارائه شده است که در ادامه به تفصیل توضیح داده خواهند شد.

خود را بر اندازه‌گیری پروفیل سطح آب و میدان جریان متمرکز نمودند.

(2004) Frohlich and Rodi به بررسی جریان اطراف پایه با مقطع دایره‌ای با استفاده از روش LES پرداخته و از نتایج تجربی حاصل از تحقیقات کاپلر نیز استفاده کردند. آنها دریافتند که استفاده از شبکه بندیهای درشت باعث ایجاد کاستی در مدل دینامیکی جریان و کوچک شدن ناحیه جریان برگشتی می‌شود.

(2004) Salaheldin and Tarek با استفاده از نرم افزار Fluent به شبیه‌سازی جریان جدا شونده در اطراف پایه پل در شرایط آب زلال پرداختند. محاسبات با استفاده از مدل‌های آشفتگی متفاوتی صورت گرفته است و نتایج حاصل از مدل آشفتگی k- $\epsilon$  در مورد تنش برشی بستر با اندکی اختلاف با نتایج آزمایشگاهی دیده می‌شود. مدل آشفتگی تنش رینولدز نتایج بسیار خوبی را برای الگوی جریان و تنش برشی بستر در اطراف پایه استوانه‌ای در دو حالت بستر صاف و بستر آبشسته نشان می‌دهد.

(2006) Ettema et al. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی خود نشان دادند که ارتباط مستقیم بین عمق آبشستگی متعادل و شدت آشفتگی وجود دارد به طوری که با کاهش قطر پایه مقدار عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. سه عامل مهم قطر پایه، قطر ذرات بستر و عمق جریان در عمق آبشستگی متعادل اطراف پایه مؤثر می‌باشند، به طوری که اندازه گردابها پشت پایه استوانه‌ای با قطر کوچکتر نسبت به پایه با قطر بزرگتر حدوداً دو برابر می‌باشد.

در این تحقیق الگوی جریان، در اطراف پایه‌های پل با مقاطع مختلف، به صورت سه بعدی و با استفاده از نرم‌افزار Fluent مدل‌سازی شده است. در ابتدا برای صحت سنجی نتایج پایه با مقطع دایره‌ای مورد بررسی قرار گرفته است و سپس مقایسه‌ای بین نتایج تنش برشی و شکل گردابهای حاصل از مقاطع مختلف، مورد بررسی قرار گرفته است و بهینه مقطع از جهت کاهش تنش برشی و در نتیجه کاهش آبشستگی انتخاب شده است.

## ۲ - مواد و روشها

نرم افزار Fluent اوج هنر برنامه‌نویسی برای مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده می‌باشد. اساس کار آن روش حجم محدود است. نرم افزار Fluent قابلیت شبیه‌سازی و مدل کردن جریان تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر، تحلیل پایا<sup>۵</sup> یا گذرا<sup>۶</sup>، جریانهای لزج، آرام و متلاطم، سیالهای نیوتنی و غیر نیوتنی،

### ۳- بررسی نتایج

تغییر یافته اما پس از آن تغییر محسوسی حاصل نمی‌گردد. بنابراین تعداد شبکه مدل ۸۲۶۹۰ انتخاب می‌گردد که با این تعداد شبکه تغییرات سطح آب مطابقت خوبی با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد. در شکل‌های ۳ و ۴ دو نوع شبکه بندی نامنظم و منظم نشان داده شده است. در این بررسی ابتدا شبکه بندی نامنظم اختیار گردید و در ادامه به دلیل عدم دستیابی به نتایج منطقی از شبکه بندی منظم استفاده گردید.

جدول ۱ ابعاد کانال و تعداد شبکه‌ها در هر بعد کانال

عمق آب	ارتفاع	عرض	طول	ابعاد کانال بر حسب متر
۰/۱۵	۰/۲۲۵	۰/۴۵۶	۶	ابعاد کانال بر حسب متر
۱۲	۱۷	۲۰	۲۴۴	تعداد شبکه‌ها در کانال

جهت تامین عمق جریان ۱۵cm، سرریزی به ارتفاع ۸/۵cm در بخش انتهایی کانال در نظر گرفته شده است که این ارتفاع از روی آزمایشات عددی مختلف، برای تثبیت عمق ۱۵ سانتی‌متری کانال بدست آمده است. برای تامین این عمق، ۷ نوع سرریز به طول‌های مختلف ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ (سانتی متر) مورد آزمایش قرار گرفته است.

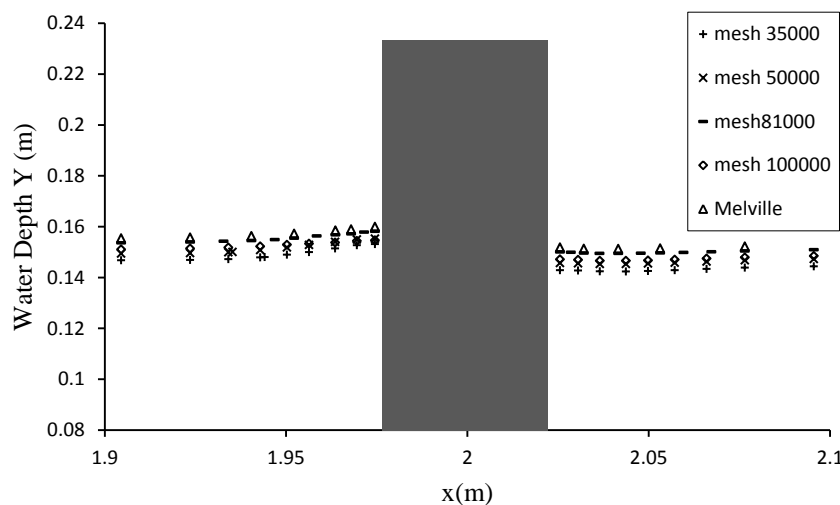
در این پژوهش برای صحت سنجی نتایج مدل عددی از نتایج آزمایشگاهی مدل فیزیکی (Melville (1975) استفاده گردیده است. مدل موجود در کانالی به طول ۱۹ متر و عرض ۰/۴۵۶ متر با دیواره‌های عمودی انجام شده است. میانگین عمق آب ۰/۱۵ متر بوده و میانگین سرعت جریان ۰/۲۵ m/s بود. پایه‌ای با مقطع دایره به قطر ۵/۱ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفته است. در مدل عددی سه بعدی برای کاهش زمان محاسبات کانال آزمایشگاهی به طول ۶ متر در نظر گرفته شده است و فرض بر این است که در این طول جریان پیش از رسیدن به مانع به حالت توسعه یافته رسیده است. نظیر چنین کاری توسط پژوهشگران دیگر از جمله Salaheldin and Tarek. (2004) انجام شده است.

موقعیت پایه استوانه‌ای در ۲ متری از ابتدای کانال می‌باشد نخست شبکه بندی میدان محاسباتی با استفاده از نرم افزار Gambit انجام گرفته و در آن از شبکه‌های منشوری استفاده شده است. جهت دستیابی به دقت بالا در مدل سازی، شبکه‌های نزدیک پایه و نزدیک سطح آب کوچکتر انتخاب شده‌اند. جدول ۱ ابعاد کانال و تعداد شبکه‌ها را در هر جهت نشان می‌دهد.

### ۳-۱- انتخاب مدل آشفتگی و شرایط مرزی

بعد از انجام بررسی‌های عددی مختلف همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، تغییرات پروفیل سرعت در موقعیت  $(x/\Gamma)=3$  (x) فاصله از ابتدای کانال و شعاع پایه) می‌باشد.

برای بررسی تاثیر ابعاد شبکه، مدل سازی تغییرات سطح آزاد آب با استفاده از ۴ نوع شبکه بندی با تعداد (۳۵۰۰۰)، (۵۲۰۰۰)، (۸۱۰۰۰)، (۱۰۰۰۰۰) انجام گرفته است، در شکل ۲ تاثیر تعداد شبکه در تغییرات سطح آزاد آب نشان داده شده است. نتایج بررسی‌های عددی نشان می‌دهد که با ریزتر کردن شبکه تا یک اندازه مشخص، جوابها

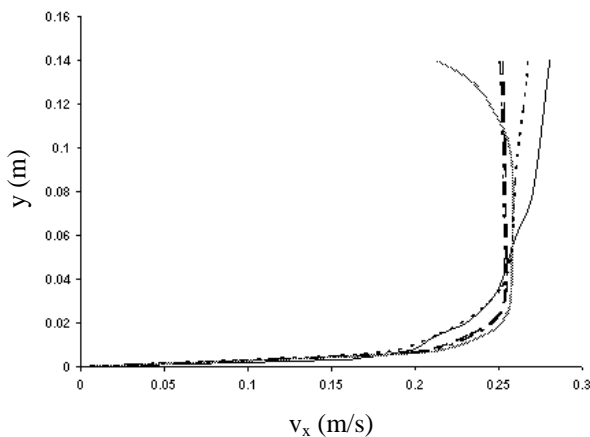


شکل ۲- تغییرات سطح آب اطراف پایه با مقطع دایره ای

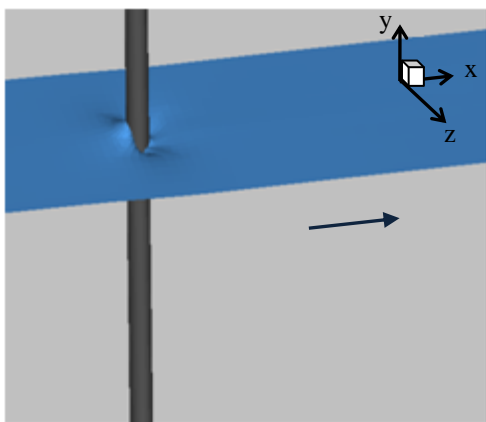
مطابقت دارند و حداکثر انحراف بین مقادیر تجربی و داده‌های مدل‌سازی بر اساس نرم افزار کمتر از ۷ درصد می‌باشد.

بررسی عمومی این نتایج نشان می‌دهد که نتایج مدل‌سازی با Fluent مطابقت خوبی با نتایج تجربی دارد. برای بررسی دقیق‌تر نتایج، در شکل ۹ خطوط جریان در پروفیل طولی گذرنده از وسط کانال نشان داده شده است. از بررسی این نتایج نیز مشاهده می‌شود که جریان آب بالادست در محل برخورد به پایه به سمت پایین متمایل شده است و این امر می‌تواند آستانه شروع آبشستگی را رقم بزند. این نوع جریان رو به پایین با مشاهدات و تحلیل‌های سایر پژوهشگران مطابقت خوبی دارد.

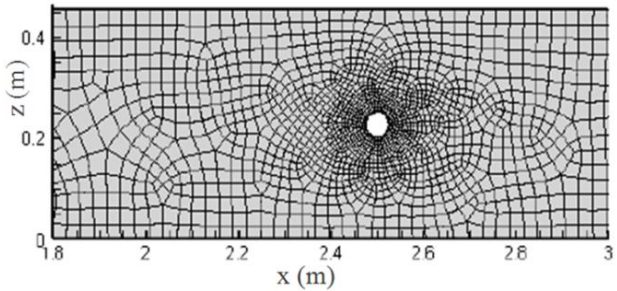
علاوه بر تغییرات سطح آزاد آب در محل پایه شکل ۱۰ طول گردابه‌ها، در ترازهای مختلف از بستر قابل مشاهده است. همانگونه که مشاهده می‌شود طول گردابه‌ها در نزدیکی بستر و سطح آزاد



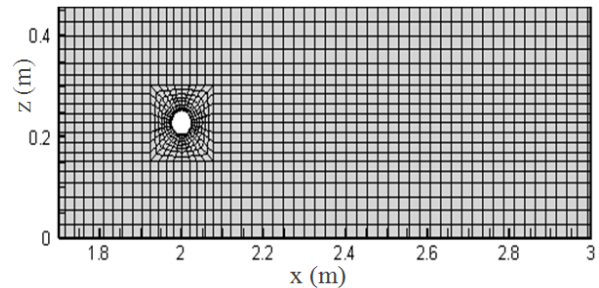
شکل ۵- تغییرات پروفیل سرعت در موقعیت  $(x/r)=3$  جهت انتخاب مدل آشفتگی و الگوریتم



شکل ۶- نمای سه بعدی سطح آب نزدیک پایه با مقطع دایره‌ای



شکل ۳- شبکه بندی نامنظم جریان اطراف مقطع دایره‌ای پل

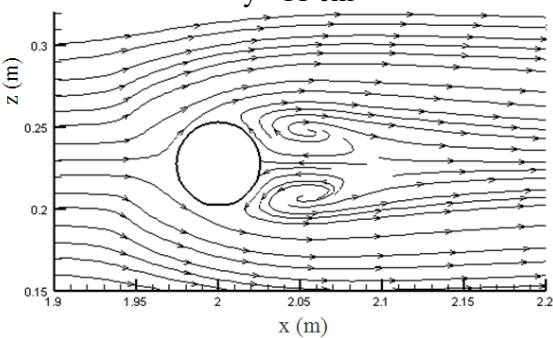
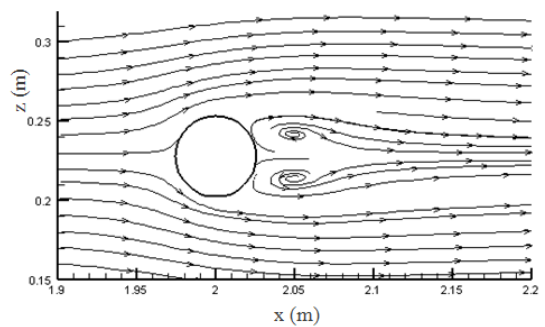
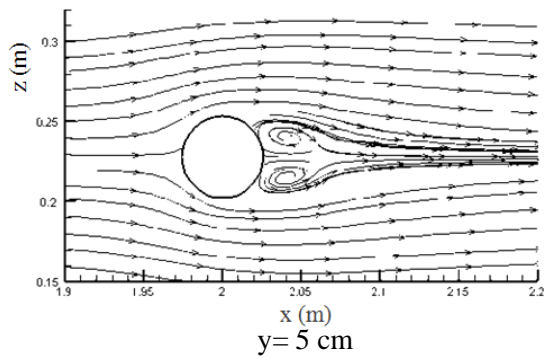


شکل ۴- شبکه بندی منظم جریان اطراف مقطع دایره‌ای پل

پایین دست پایه با استفاده از مدل‌های آشفتگی و الگوریتم‌های مختلف ارزیابی شده نتایج بیانگر آن است که تغییرات پروفیل سرعت با استفاده از مدل  $\kappa-\epsilon$  (standard) و الگوریتم Simple تطابق خوبی را با نتایج تجربی Melville نشان می‌دهد. برای دیواره‌ها، شرایط مرزی غیرلغزشی استفاده شده و زبری دیواره‌ها معادل صفر فرض شده است. همچنین زبری بستر با استناد به نتایج آزمایشگاهی Melville برابر  $0.385 \text{ mm}$  در نظر گرفته شده است. در ورودی کانال دو شرط مرزی: ورودی سرعت یکنواخت برای آب ورودی فشار برای هوا به کار رفته است. جزء حجم از صفر تا یک متغیر است، مقدار صفر بدین معناست که کل حجم سلول از آن سیال مورد نظر خالی است و مقدار یک بدین معناست که حجم سلول پر در نظر گرفته می‌شود. در ورودی آب جزء حجم آب برابر یک و ورودی هوا نیز جزء حجم آب برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش از روش حل تفکیکی و خطی‌سازی ضمنی جهت حل معادلات استفاده شده است.

### ۲-۳- صحت سنجی نتایج

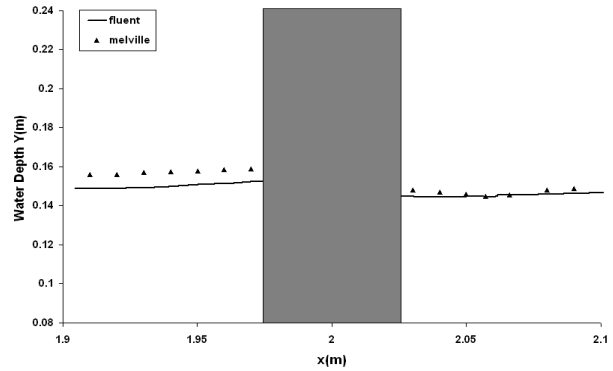
شکل ۶ نمای سه بعدی سطح آب را در نزدیک پایه با مقطع دایره‌ای نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل پیداست، سطح آب قبل از پایه بالا آمده است و در پشت پایه نیز پایین آمدگی سطح آب قابل مشاهده است. این نتیجه و نتایج اشکال ۷ و ۸ نشان می‌دهند که تغییرات سطح آب به طور بسیار خوبی با مشاهدات آزمایشگاهی



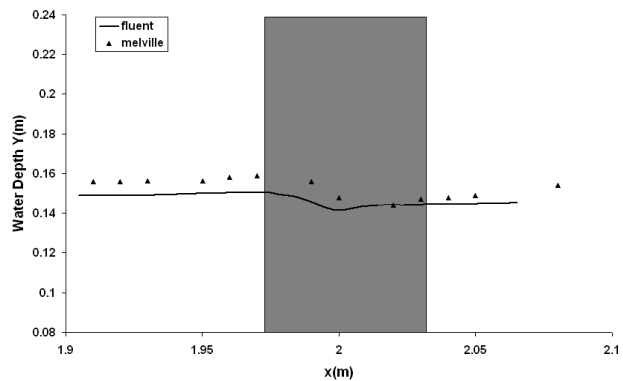
شکل ۱۰- تشکیل گردابها در پشت پایه در اعماق مختلف

### ۳-۳- مدل سازی سه بعدی جریان اطراف پایه با مقاطع مختلف

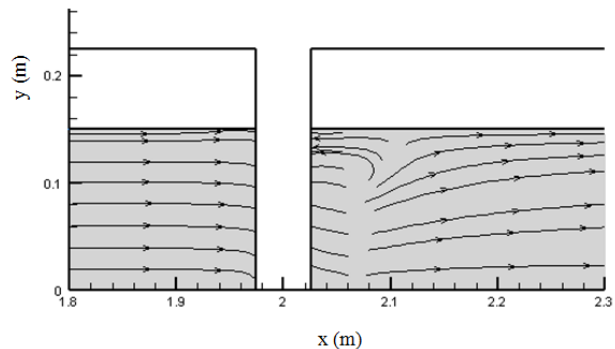
در بخش مدل سازی، مدل قبلی با طول ۶ متر جهت بررسی الگوی جریان در اطراف پایه با مقاطع مختلف در نظر گرفته شده است و تنها تفاوت مدل ها در شکل مقطع پایه می باشد. در این تحقیق عرض تنگ شدگی مقطع برای تمامی شکلها یکسان و برابر ۵/۱ cm می باشد. تمام فرضیات به کار رفته جهت فرایند حل نیز مشابه مدل قبلی خواهد بود. مشابه مدل اول با مقطع دایره ای مدل آشفستگی  $\epsilon - k$  استاندارد جهت محاسبه آشفستگی استفاده شده است و شرایط مرزی آنها همانند مدل با مقطع دایره ای است. با مشاهده منحنی های هم تراز تنش برشی بی بعد شده برای مقاطع مختلف پایه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، می توان دریافت که



شکل ۷- تغییرات سطح آب در روی خط مرکزی



شکل ۸- تغییرات سطح آب در ۶ cm لبه پایه از خط مرکزی

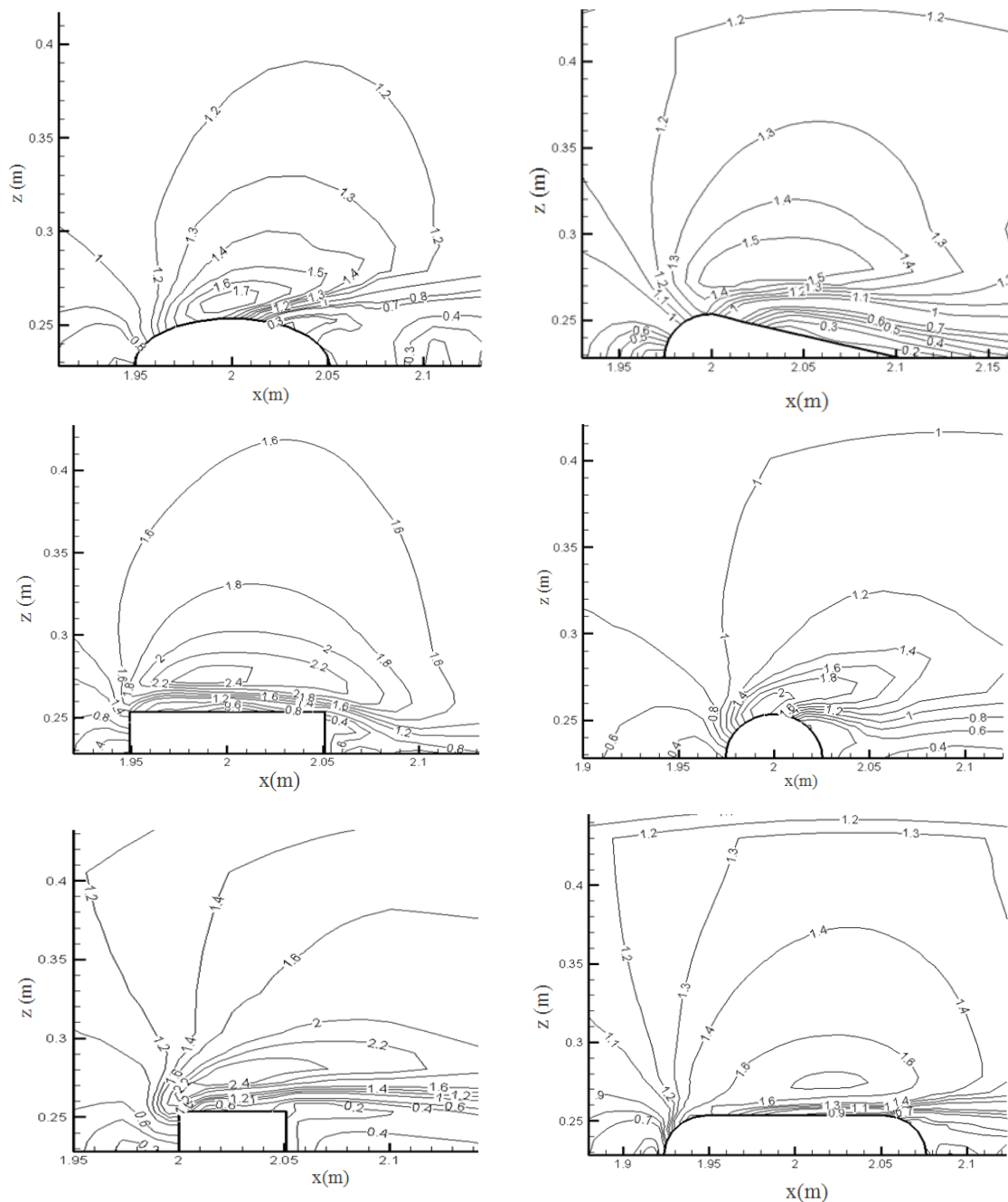


شکل ۹- خطوط جریان در پروفیل طولی گذرنده از وسط کانال

بیشترین مقدار را دارا می باشند، به طوری که اگر طول گرداب را در عمق ۱۱ سانتی متری برابر واحد در نظر بگیریم طول گردابها در نزدیکی بستر ( $y=5\text{cm}$ ) و سطح آزاد ( $y=15\text{cm}$ ) به ترتیب حدوداً  $1/375$  و  $1/625$  برابر حالت اول خواهد بود. علت بزرگ تر بودن طول گردابها در نزدیکی بستر و سطح آزاد وقوع سرعت بیشینه در این سطح است و به علت منشاء تولید آشفستگی در نزدیکی بستر طول گردابها نسبت به عمق میانی بیشتر خواهد بود و هنگامی که ذرات آب به مسیر اصلی کانال برمی گردند مسیر طولانی تری را طی خواهند نمود.

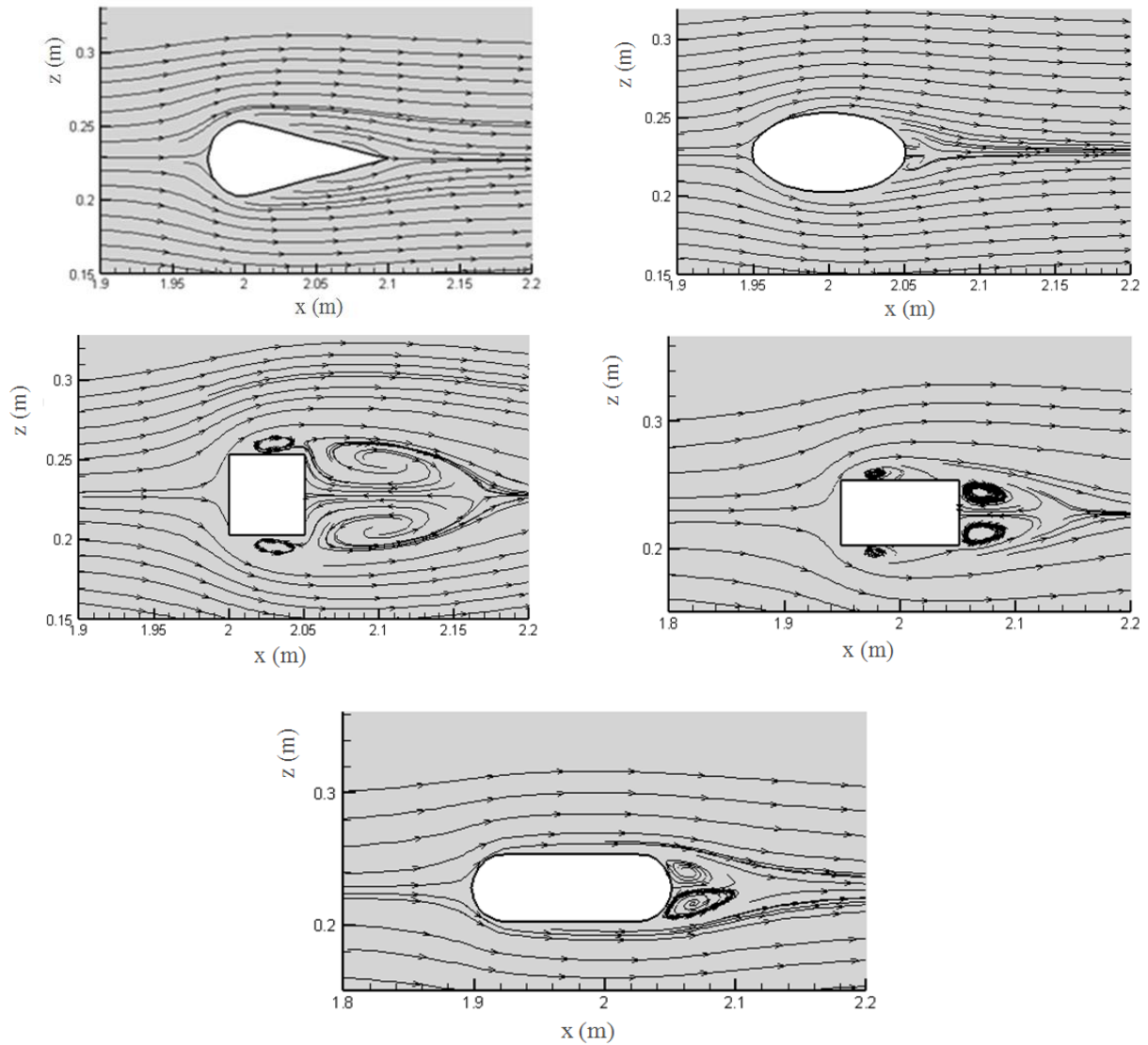
در شکل ۱۲ با بررسی نتایج بدست آمده برای مقاطع مختلف مشاهده می‌گردد با افزایش طول مقاطع، از طول گردابها کاسته شده به طوری که این مقادیر در مقطع ترکیبی (مستطیل - دایره) نسبت به مستطیل و مربع کمتر می‌باشد. در شکل ۱۳، خطوط جریان در پروفیل طولی گذرنده از وسط کانال برای کلیه مقاطع نشان داده شده است. نکته قابل توجه در شکل‌ها آن است که در پشت پایه دوکی شکل هیچگونه جریان برگشتی که خود عامل دیگر آبستگي است، ایجاد نمی‌گردد.

مقادیر تنش برشی در مقاطع دوکی و بیضی کمتر شده است برای نمونه مقدار تنش برشی بی بعد شده در نزدیکی مقطع مستطیلی مساوی ۲/۲ در حالیکه در مقطع دوکی شکل حدود ۱/۶ می‌باشد که حدود ۲۷ درصد کاهش را نشان می‌دهد، در نتیجه این امر موجب کاهش آبستگي موضعی در اطراف پایه می‌گردد. با مقایسه شکل گردابها در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که در مقطع دوکی شکل جریان با تغییرات اندکی از اطراف پایه عبور کرده و در نتیجه آبستگي کمتری ایجاد خواهد شد.



شکل ۱۱- تنش برشی بی بعد شده برای مقاطع مختلف پایه پل





شکل ۱۲ - خطوط جریان در اطراف پایه با اشکال مختلف در ترازهای مختلف آب

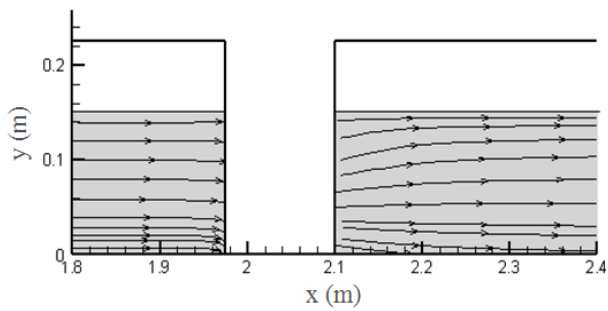
#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق استفاده از شبکه بندی منظم نتایج بهتری را نسبت به شبکه بندی نامنظم نشان داد به طوری که تغییرات پروفیل سرعت در حالت شبکه بندی منظم با نتایج تجربی تطابق بهتری داشت. در مدل های ارائه شده در تمام مقاطع حداکثر طول گردابهها به ترتیب در نزدیکی سطح آزاد و بستر بوده و کمترین مقدار آن در عمق میانی حاصل شده است. انتخاب اندازه شبکه مناسب با بررسی چندین مورد انجام گرفت و بحث استقلال شبکه برای تعداد مشخص از سلولها تثبیت گردید و نتایج عددی نشان داد که مقطع دوکی و بیضی شکل بهترین نوع مقطع در کاهش تنش برشی و در نتیجه کاهش آبستگي اطراف پایه می باشد. در این مقاطع جریان با تغییرات بسیار

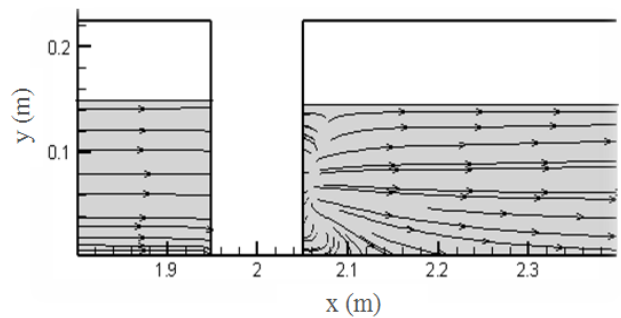
اندکی از اطراف پایه می گذرد و آشفتگی زیادی در جریان به وجود نمی آید و جریان برگشتی نیز که یکی از عوامل مهم آبستگي می باشد در مقطع دوکی شکل مشاهده نمی شود.

#### پی نوشتها

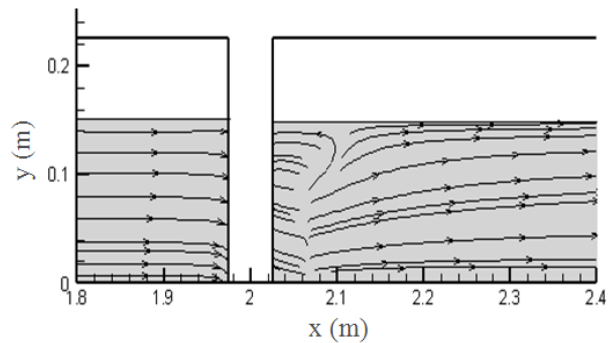
- 1- Volume Of Fluid
- 2- Large Eddy Simulation
- 3- Horseshoe Vortices
- 4- Reynolds Stress
- 5- Steady State
- 6- Transient
- 7- Free Surface



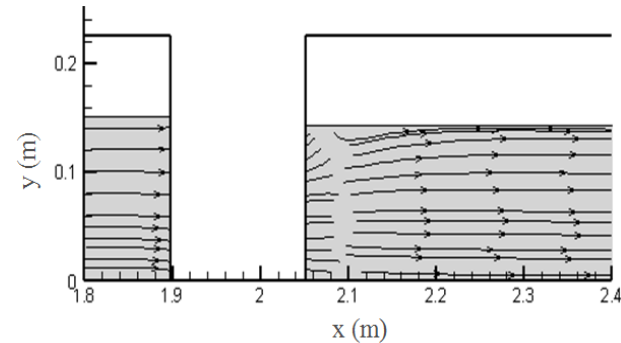
ب - مقطع دوکی



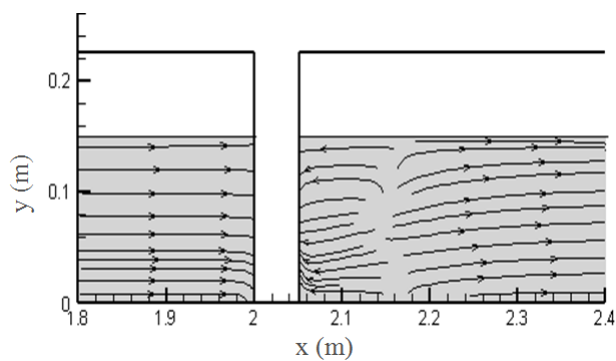
الف - مقطع بیضی



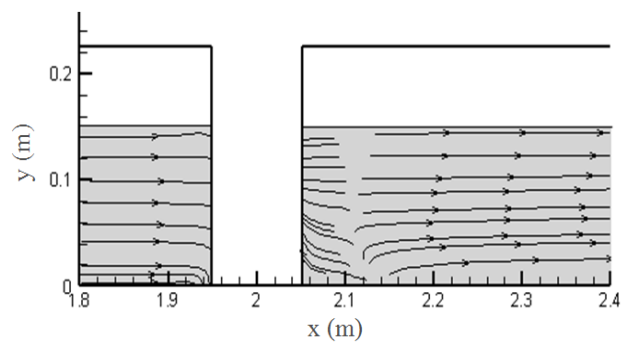
ت - مقطع دایره ای



پ - مقطع ترکیبی (مستطیلی-دایره ای)



ج - مقطع مربعی



ث - مقطع مستطیلی

شکل ۱۳- خطوط جریان در صفحه قائم گذرنده از میان پایه برای مقاطع مختلف

Fröhlich J. and Rodi W. (2004), "LES of the flow around a circular cylinder of finite height", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 25, pp.537-548.

Johnson, K.R. and Ting, F.C.K. (2003), "Measurements of Water Surface Profile and Velocity Field at a Circular Pier", *Journal of Engineering Mechanics*, 129(5), pp.502-513

Mellville, B. W. (1975), "Local scour at bridge sites." Rep No.117, Phd, University Auckland, Department of Civill Engineering.

Rodi, W. (1997), "Comparison of LES and RANS calculations of the flow around bluff bodies", *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 69(71), pp. 55-75.

## ۵- مراجع

Breusers N.C., Nicollet G. and Shen W. (1977), "Local scour around cylindrical piers", *Journal of Hydraul Research*, 15(3), pp.211-252.

Baker, C.J. (1997). "The laminar horseshoe vortex" *Journal of Fluid Mechanics*, 95(2), pp.347-367.

Dargahi B. (1998), "The Turbulent Flow Field Around a Circular Cylinder" , *Experiments in Fluids*, 8, pp.1-12.

Ettema R., Kirkil G. and Muste M. (2006), "Similitude of Large-Scale Turbulance in Experiments on Local Scour at Cylinders", *Journal of Hydraulic engineering*, 132(1), pp.33-40.

- square and circular piers“, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 34, pp.207-227.
- Yen, C. L., Lay, J. S. and Change, W.Y. (2001), “Modeling of 3D Flow and Scouring around Circular Piers”, *Proceedings of the National Science Council*, Roc (A), 25(1),pp. 17-26.
- Yuhi, M., Ishida, H. and Umeda, S. (2000),“ A numerical study of three – dimensional flow fields around a vertical cylinder mounted on a bed”, *Coastal Structures* 99, Losada, pp. 783-792 .
- Roulund, A., Sumer, B. M., Fredsoe, J. and Michelsen, J. (2002). “3-D numerical modeling of flow and scour around a pile.”, *Proceedings First International Conference on Scour of Foundations*, Texas A&M University, Texas, USA, pp. 795-809.
- Salaheldin, S. and Tarek, M. (2004),”Numerical modeling of three – dimensional flow field around circular piers”, *Journal of Hydraulic Engineering* , 130 (2),pp. 91-100.
- Tseng M. H., Yen C.L. and Song C. S. (2000), “Computational three – dimensional flow around