تحقيقات منابع آب ايران

Iran-Water Resources Research

سال هفتم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰ Volume 7, No. 4, Winter 2012 (IR-WRR) 90-1.0



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

Y. Hassanzadeh^{1*}, H. Hakimzadeh² and S. Ayari³

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 $k - \varepsilon$ 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

يوسف حسن;زاده (* ، حبيب حكيمزاده و شيوا عياري^۳

حكىدە

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 سیس 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 $\mathcal{E} - \mathcal{E}$ 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 آبشستگی 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 آبشستگی 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 آبشستگی میباشد در مقطع دوکی شکل دیدہ نمی شود.

کلمات کلیدی: پایه پل دایرهای، پایه پل دوکی شکل، روش حجم .Fluent محدود، مدل عددی $\mathcal{E} - \mathcal{E}$ ، تنش برشی، نرم افزار

> تاریخ دریافت مقاله: ۲۰ شهریور ۱۳۸۷ تاريخ بذيرش مقاله: ۲۸ دی ۱۳۹۰

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

*– نویسنده مسئول

¹⁻ Professor, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran, Email: vhassanzadeh@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

۱ – مقدمه

الگوی جریان اطراف یک پایه استوانه ی بسیار پیچیده است و این پیچیدگی با پیشرفت حفره آبشستگی بیشتر می شود. 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 ($ho u^2/2$) نیز از سطح آزاد به سمت کف کاهش می یابد که در آن u سرعت جریان در هر تراز است. این گرادیان 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 طوریکه 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 0.8u₀ میباشد. وقتی جریان به پایه پل برخورد می کند 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 می یابد، فشار ایستایی بیشتری در ترازهای بالاتر روی سطح بالادست پایه ایجاد می شود و این گرادیان فشار معکوس باعث تشکیل جریان رو به پایین بر روی سطح بالا دست پایه می گردد.

جریان رو به پایین در برخورد با بستر ضمن حفر بستر به طرف بالا چرخیده و ایجاد گرداب می کند و در واقع لایه مرزی بالادست پایه دستخوش یک پخش شدگی سه بعدی می شود، این لایه مرزی پخش شده به سمت بالا حرکت کرده و عامل ایجاد یک گردابه فنری 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 می باشد 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 گرادیان فشار معکوس کمتر بوده و در

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 می شوند، همچنین شکل گردابهای نعل اسبی شديداً تحت تاثير پروفيل بستر نزديک پايه قرار دارد، به همين علت رفتار گردابی بالای بستر أبشسته عامل مهم تخمین أبشستگی محلی است. دو عنصر اساسی و لازم جهت تشکیل گردابهای نعل اسبی عبارتند از:

 δ وجود لايه مرزى نزديک شونده بستر به پايه با ضخامت-۲- گرادیان فشار مخالف به وجود آمده بوسیله پایه باید به اندازه کافی قوی باشد تا لایه مرزی در بستر را جدا نماید تا پیچکهای نعل اسبى بتوانند بوجود أيند.

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

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

ب−_ReوRe_b:

$$\operatorname{Re}_{D} = \frac{UD}{v} \tag{1}$$

$$\operatorname{Re}_{\delta} = \frac{U\delta}{v} \tag{2}$$

که معادلات (۱و۲) به ترتیب نشان دهنده عدد رینولدز پایه و عدد رینولدز لایه مرزی بستر میباشند. در روابط بالا U سرعت جریان آزاد می باشد و ۷ ویسکوزیته سینماتیکی سیال است.

ν

پ– اثر هندسه پایه

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود، فاصله جدایش به صورت تابعی از Re_D و $\mathcal{B} = D/\delta^*$ توسط Baker (1979) تابعی از Re_D بررسی شدہ است که Re_D در آن δ^* ضخامت جابجایی نامیده می شود. 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

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



 D/δ^* شکل ۱- فاصله جدایش به صورت تابعی از Re_D و

با عبور جریان از کنارههای پایه پل، گرادیان منفی فشاردر پشت پایه ایجاد شده، که باعث جدایی جریان از سطح پایه و تشکیل گردابههایی را در پشت آن می گردد. 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 خاطرنشان کرد که قدرت گردابهای 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 استوانه ای درمعرض جریان یکنواخت را با استفاده از روش حجم محدود با حل معادلات جریان سیال با

تراکمپذیری ضعیف، شبیهسازی مینماید. حل معادلات مربوطه با روش صریح پیشگویی- اصلاح مک کورمک انجام شده است. مدل آشفتگی شبیهسازی گردابه بزرگ ^۲(LES) جهت مدلسازی آشفتگی جریان در این پژوهش اعمال شده است. مدل عددی این محققین با جریان در این پژوهش اعمال شده است. مدل عددی این محققین با 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 شبیه سازی نمایند، که مدل LES برای مدلسازی آشفتگی و تنش برشی بستر استفاده شده است.

آشفتگی نوعی ناپایداری جریان است که به واسطه تنشهایی برشی و با گرادیانهای سرعت ایجاد می گردد، و هرچه تنش برشی قویتر باشد، آشفتگی 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 نمى توان با نوشتن تعادل نيروهاى وارد بريك المان سيال، توزيع سرعت را در درون جریان بدست آورد. آبشستگی در محلی که مقدار تنش برشی ماکزیمم (au_{\max}) بر نیروی مقاوم ذرات رسوبی غلبه می کند، آغاز می شود که حاصل از شتاب و تفکیک جریان در هر دو سوی پایه می باشد. (Melville (1975) نشان داد که آبشستگی از لبه پایه شروع می شود و به طرف جریان بالا دست و پائین دست گسترش می یابد. گودال آبشسته از تمام اطراف پایه توسعه یافته و تا عمقی که به حالت تعادل برسد ادامه می یابد. (Rodi (1997) به مقایسه جریان اطراف پایه با مقطع مربعی با استفاده از دو مدل RANS وLES پرداخت. در این تحقیق مشخص گردید که نتایج حاصل از محاسبات به روش LES کارآمدتراز RANS می باشد.

(2002) Roulund et al. جریان سه بعدی اطراف پایه پل را با استفاده از مدل عددی سهبعدی شبیهسازی نمودهاند. در این بررسی، معادلات سه بعدی ناویه– استوکس حل شده اند. در محاسبات معادلات سه بعدی ناویه– استوکس حل شده اند. در محاسبات محامت زبری لایه مرزی، تاثیر زبری بستر و مایل بودن پایه نسبت ضخامت زبری لایه مرزی، تاثیر زبری بستر و مایل بودن پایه نسبت به خط قائم بر روی شکل گیری پیچک نعل اسبی^۳ بررسی شده است به خط قائم بر روی شکل گیری پیچک نعل اسبی^۳ 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 می ابد. (2003) Johnson and Ting مطالعات آزمایشگاهی

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

Frohlich and Rodi (2004) 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 می شود.

(2004) Salaheldin and Tarek با استفاده از نرم افزار Fluent به شبیه سازی 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 ٤-۸ در مورد تنش برشی بستر با اندکی اختلاف با نتایج آزمایشگاهی دیده می شود. مدل آشفتگی تنش رینولدز نتایج بسیار خوبی را برای الگوی جریان و بستر آبشسته نشان می دهد.

(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 نتاج تنش برشی وشکل 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 وروشها

نرم افزار Fluent اوج هنر برنامهنویسی برای مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسههای پیچیده می باشد. اساس کار آن روش حجم محدود است. نرم افزار Fluent قابلیت شبیه سازی و مدل کردن جریان تراکم پذیر و تراکم ناپذیر، تحلیل پایا^۵ یا گذرا⁵ ، جریانهای لزج، آرام و متلاطم، سیالهای نیوتنی و غیر نیوتنی،

جریانهای دو فازی و چند فازی و جریانهای سطح آزاد^۷ باشکلهای سطح پیچیده، را دارد. معادلههای اساسی پیوستگی و سه معادله مومنتم در جهت محورهای سه گانه مختصات که به معادلات ناویراستوکس معروفند که در واقع بیانگر بقای جرم و مومنتم 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:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$
 معادله بقای جرم(پیوستگی): (۳)

(۴) معادله بقای ممنتم:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + gx_i + v\nabla^2 u_i$$

 u_i مولفه سرعت درجهت x_i v_i زجت ملکولی سیال، ρ : چگالی سیال، P: مقدار فشار در هر نقطه از سیال با استفاده از معادلات بالا می توان جریان آشفته را تحلیل کرد با این تفاوت که بتوان نوسانات نامنظم، لحظه ای و اتفاقی کمیتهای میدان جریان را در هر لحظه مدل نمود. با استفاده از متوسط گیری زمانی از معادلات بالا خواهیم داشت:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{(a)}$$

$$\frac{\partial \overline{u}_{i}}{\partial t} + \overline{u}_{j} \frac{\partial \overline{u}_{i}}{\partial x_{i}} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{P}}{\partial x_{i}} + gx_{i} + \frac{\partial}{\partial x_{i}} \left(v \frac{\partial \overline{u}_{i}}{\partial x_{i}} - \overline{u'_{i}u'_{j}} \right) (\mathfrak{s})$$

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

- ۱) مدل های صفر معادله ای
 - ۲) مدل های یک معادله ای
 - ۳) مدل های دو معادله ای

مدل های دو معادلهای قابلیت خوبی در شبیه سازی دقیق جریانهای آشفته دارند و از کاربردی ترین مدل های دو معادله ی می توان مدل آشفته دارند و از کاربردی ترین مدل های دو معادله ی می توان مدل استفاده $k - \mathcal{E}$ را نام برد که در این کار پژوهشی نیز از این مدل استفاده شده است. نوع دوم مدل های آشفتگی نیاز به حل معادلات بیشتری دارند که در این بررسی به آنها پرداخته نشده است. شکلهای متفاوتی از مدل $\mathcal{E} - \mathcal{E}$ ارائه شده است که در ادامه به تفصیل توضیح داده خواهند شد.

۳- بررسی نتایج

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 ۴۵۶/۰ متر با دیوارههای عمودی انجام شده است. میانگین عمق آب ۲۵/۰ متر بوده و میانگین سرعت جریان ۳/۶ ۲۵ ۲/۰ 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 Tarek (2004)

موقعیت پایه استوانه ای در ۲ متری از ابتدای کانال میباشد نخست شبکه بندی میدان محاسباتی با استفاده از نرم افزار Gambit انجام گرفته و در آن از شبکه های منشوری استفاده شده است. جهت دستیابی به دقت بالا در مدل سازی، شبکه های نزدیک پایه و نزدیک سطح آب کوچکتر انتخاب شده اند. جدول ۱ ابعاد کانال و تعداد شبکه ها را در هر جهت نشان می دهد.

برای بررسی تاثیر ابعاد شبکه، مدلسازی تغییرات سطح آزاد آب با استفاده از ۴ نوع شبکه بندی با تعداد (۲۵۰۰۰)، (۲۵۲۰۰۰)، (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

تغییر یافته اما پس از آن تغییر محسوسی حاصل نمی گردد. بنابراین تعداد شبکه مدل ۸۲۶۹۰ انتخاب می گردد 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 نا منظم اختیار گردید و در ادامه به دلیل عدم دستیابی به نتایج منطقی از شبکهبندی منظم استفاده گردید.

جدول ۱ ابعاد کانال و تعداد شبکهها در هر بعد کانال

	طول	عرض	ارتفاع	عمق آب
ابعاد کانال بر حسب متر	۶	•/408	•/775	٠/١۵
تعداد شبکهها در کانال	744	۲.	١٢	١٢

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 تأمین این عمق، ۷ نوع سرریز به طولهای مختلف ۷، ۸،۹/۸،۵، ۵/۹ و ۱۰ (سانتی متر) مورد آزمایش قرار گرفته است.

۳ -۱- انتخاب مدل أشفتگی و شرایط مرزی

بعد از انجام بررسیهای عددی مختلف همانطورکه در شکل ۵ مشاهده میشود، تغییرات پروفیل سرعت در موقعیت 3=(x/r) (x فاصله از ابتدای کانال و ۲ شعاع پایه) میباشد.



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



x (m) شکل ۴– شبکه بندی منظم جریان اطراف مقطع دایرهای پل

2.6

28

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

مطابقت دارند و حداکثر انحراف بین مقادیر تجربی و دادههای

بررسی عمومی این نتایج نشان میدهد که نتایج مدلسازی با Fluent مطابقت خوبی با نتایج تجربی دارد. برای بررسی دقیق تر نتایج ، در شکل ۹ خطوط جریان در پروفیل طولی گذرنده از وسط

کانال نشان داده شده است. از بررسی این نتایج نیز مشاهده می شود

که جریان آب بالادست در محل برخورد به پایه به سمت پایین

متمایل شده است و این امر می تواند آستانه شروع آبشستگی را رقم

بزند. این نوع جریان رو به پایین با مشاهدات و تحلیلهای سایر

پژوهشگران مطابقت خوبی دارد.

n

مدلسازی بر اساس نرم افزار کمتر از ۷ درصد میباشد.



شکل ۵- تغییرات پروفیل سرعت در موقعیت [x/r]=3] جهت انتخاب مدل أشفتگی و الگوریتم



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

پایین دست پایه با استفاده از مدلهای آشفتگی و الگوریتمهای مختلف ارزیابی شده نتابج بیانگر آن است که تغییرات پروفیل سرعت با استفاده از مدل (standard) تشان می دهد. برای دیوارهها، شرایط را با نتایج تجربی Melville نشان می دهد. برای دیوارهها، شرایط مرزی غیرلغزشی استفاده شده و زبری دیوارهها معادل صفر فرض شده است. همچنین زبری بستر با استناد به نتایج آزمایشگاهی شده است. همچنین زبری بستر با استناد به نتایج آزمایشگاهی 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 گرفته می شود، در ورودی آب جزء حجم آب برابر یک و ورودی هوا نیز جزء حجم آب برابر صفر در نظر گرفته می شود. در این پژوهش از روش حل تفکیکی وخطی سازی 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 تنییرات سطح آب به طور بسیار خوبی با مشاهدات آزمایشگاهی



كانال

بیشترین مقدار را دارا می باشند، به طوری که اگر طول گرداب را در عمق ۱۱ سانتیمتری برابر واحد در نظر بگیریم طول گردابها در نزدیکی بستر (y=5cm) و سطح آزاد (y=15cm) به ترتیب حدودا ۱/۳۷۵ و ۱/۶۲۵ برابر حالت اول خواهد بود. علت بزرگتر بودن طول گردابهها درنزدیکی بستر و سطح آزاد وقوع سرعت بیشینه در این سطح است و به علت منشاء تولید آشفتگی در نزدیکی بستر طول گردابها نسبت به عمق میانی بیشتر خواهد بود و هنگامی که ذرات آب به مسیر اصلی کانال برمیگردند مسیر طولانی تری را طی خواهند نمود.

۳-۳- مدلسازی سه بعدی جریان اطراف پایه با مقاطع مختلف

Z (m)

0.2

0.2

0.15

0.

(H

N 0.25

0.2

0.15

0.3

0.1

0.15

z (m) 0.25

در بخش مدلسازی، مدل قبلی با طول ۶ متر جهت بررسی الگوی جریان در اطراف پایهها با مقاطع مختلف در نظر گرفته شده است و تنها تفاوت مدلها در شکل مقطع پایه میباشد. در این تحقیق عرض تنگشدگی مقطع برای تمامی شکلها یکسان و برابر ۵/۱cm مى باشد. تمام فرضيات به كار رفته جهت فرايند حل نيز مشابه مدل قبلی خواهد بود. مشابه مدل اول با مقطع دایرهای مدل آشفتگی استاندارد جهت محاسبه أشفتگی استفاده شده است و $K - \mathcal{E}$ شرایط مرزی آنها همانند مدل با مقطع دایرهای است. با مشاهده منحنیهای هم تراز تنش برشی بی بعد شده برای مقاطع مختلف یایه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، می توان دریافت که

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 آبشستگی 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 آشفتگی کمتری ایجاد خواهد شد.

در شکل ۱۲ با بررسی نتایج بدست آمده برای مقاطع مختلف مشاهده می گردد 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 آبشستگی است، ایجاد نمی گردد.



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 شبکهبندی منظم با نتایج تجربی تطابق بهتری داشت. در مدلهای ارائه شده در تمام مقاطع حداکثر طول گردابها 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 آبشستگی اطراف پایه میباشد. در این مقاطع جریان با تغییرات بسیار

اندکی از اطراف پایه میگذرد و آشفتگی زیادی در جریان به وجود نمیآید و جریان برگشتی نیز که یکی از عوامل مهم آبشستگی میباشد در مقطع دوکی شکل مشاهده نمیشود.

پینوشتھا

Volume Of Fluid
 Large Eddy Simulation
 Horseshoe Vortices
 Reynolds Stress
 Steady State
 Transient
 Free Surface



- 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 Circuler Pier", *Journal of Engineering Mechanics*, 129(5), pp.502-513
- Mellvile, 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 Scince 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