

بررسی عددی اثرات مقیاس بر الگوی جریان اطراف پایه‌های پل مستطیلی با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت

زهره طالبی* و هادی ارونقی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴)

چکیده

الگوی جریان اطراف پایه شامل پروفیل سطح آب، پروفیل سرعت، سرعت برشی، تنش برشی و ... است. در این تحقیق به بررسی تأثیر شکل پایه و اثرات مقیاس بر الگوی جریان در اطراف پایه پل مستطیلی به صورت عددی با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت و با معیار توزیع افقی سرعت (V_x) و توزیع قائم سرعت (V_y) پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که در بررسی مؤلفه افقی سرعت برای پایه با مقطع مستطیلی شعاع فعالیت گرداب‌ها ۸ برابر طول پایه، حداقل عرض کانال برای فعالیت گرداب‌ها ۱۶ برابر طول پایه، حداقل طول کانال در جلوی پایه ۴ برابر طول پایه و در پشت پایه ۲۵ برابر طول پایه و طول حداقل کانال برای فعالیت گرداب‌ها ۲۹ برابر طول پایه پل برآورد شد و نیز مؤلفه قائم سرعت، الگوی جریان در اطراف پایه پل را بررسی کرده ولی پارامتر مناسبی برای بررسی تأثیر طول و عرض کانال نیست.

واژه‌های کلیدی: آبستگي، الگوی جریان، پروفیل سطح آب، مؤلفه افقی سرعت، مؤلفه قائم سرعت

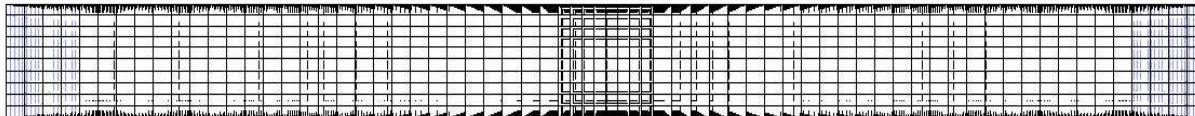
۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: zohretalebi1370@gmail.com

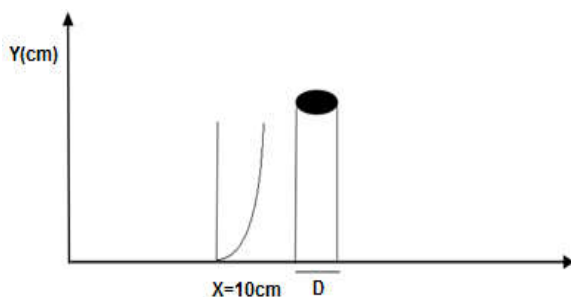
مقدمه

پایه پل به صورت مانعی در مقابل جریان رودخانه عمل می‌کند و خصوصیات هیدرولیکی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شکل هندسی و موقعیت پایه نسبت به امتداد جریان و همچنین تعداد و فواصل پایه‌ها و میزان تنگ‌شدگی در تغییر وضعیت جریان رودخانه و تبعات ناشی از آن مؤثر است. در این خصوص، تأثیر شکل پایه‌ها در وضعیت جریان و شناخت الگوهای مختلف جریان و آگاهی از مکانیسم‌های آن برای شناخت پدیده فرسایش حائز اهمیت است. همایون (۷) به بررسی تأثیر شکل پایه روی عمق و پروفیل آبشستگی اطراف پایه پل پرداخت و از دو نوع پایه پل با شکل‌های مستطیلی و آیرودینامیک استفاده کرد و نتیجه گرفت که در اطراف پایه آیرودینامیک آبشستگی در اطراف مانع رخ می‌دهد و در این حالت ذرات بستر کمتر حرکت کرده و حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. نائینی و همکاران (۶) با استفاده از نرم‌افزار فلونت جریان دو بعدی اطراف پایه را شبیه‌سازی کرده و میزان اثرگذاری شکل پایه روی شکل‌گیری جریان، بزرگی گرداب‌ها و پارامترهای شکست گرداب از جمله ضریب درگ و ضریب لیفت را بررسی کردند. کریمی‌نیا و صالحی‌نیشابوری (۳) به شبیه‌سازی سه‌بعدی الگوی جریان حول پایه پل پرداختند و نتایج تأثیر پایه پل در تولید فرا آب را مورد بررسی قرار دادند. حسن‌زاده و همکاران (۲) نشان دادند که مقطع دوکی شکل و بیضی شکل بهترین نوع مقطع در کاهش تنش برشی و در نتیجه کاهش آبشستگی اطراف پایه است. ریچاردسون و همکاران (۱۶) به شبیه‌سازی جریان اطراف پایه پل، برای مقایسه الگوی جریان اطراف پایه در سطح آب و روی بستر با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D پرداختند. گراف و ایستیار تو (۱۴) به مطالعه تجربی سه‌بعدی الگوی جریان در یک حفره آبشستگی پرداختند. آنها با استفاده از یک سرعت‌سنج صوتی داپلر (ADV) برای اندازه‌گیری سه مؤلفه از سرعت در محورهای عمودی روی جریان، قبل و بعد از پایه استفاده نمودند. صلاح‌الدین و همکاران (۱۷) تحقیقی

را با هدف بررسی اثر مدل‌های آشفتگی مختلف بر دقت شبیه‌سازی عددی میدان سرعت و تنش برشی بستر حول پایه استوانه‌ای شکل با استفاده از نرم‌افزار فلونت انجام دادند. نتایج حاصله نشان داد که با به‌کارگیری مدل آشفتگی RNG در مقایسه با دو مدل RSM و Realizable k-ε، نتایج عددی دقیق‌تری حاصل می‌شود. اتما و همکاران (۱۲) 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. کرکیل و همکاران (۱۵) به بررسی میدان جریان در اطراف پایه با کمک تصویر سرعت‌سنجی ذرات با مقیاس بزرگ پرداختند. عطایی آشتیانی و اصلانی کردکندی (۹) به بررسی میدان جریان در اطراف پایه‌های متوالی در دو حالت وجود حفره آبشستگی و بدون حفره پرداختند. نتایج نشان داد که گرداب‌های نعل‌اسبی بیشتر در پایین دست فاصله بین دو ستون است و جریان بین دو پایه در حفره آبشستگی بسیار سریع بوده که این تحت تأثیر تغییر شکل عمودی و عرضی جریان اطراف پایه‌ها به خصوص در بین دو پایه است. انتصار و آل‌گوراب (۱۰) به بررسی کاهش آبشستگی اطراف پایه پل با استفاده از یک روش اصلاح یافته برای کاهش گرداب استفاده کردند و برای این کار از سه شکل پایه مختلف استفاده، مربع و مستطیل با دهانه‌های مختلف استفاده کردند. فائل و همکاران (۱۳) به بررسی اثر شکل و تراز پایه پل در عمق آبشستگی در یک پایه پل پرداختند. با توجه به اهمیت اثرات مقیاس و شکل پایه بر الگوی جریان و با توجه به اینکه تاکنون تحقیقاتی در این زمینه صورت نگرفته است، در این پژوهش به بررسی اثرات مقیاس مانند طول و عرض کانال بر الگوی جریان و نیز تأثیر شکل پایه بر آن با معیار مؤلفه افقی سرعت (V_x) و مؤلفه قائم سرعت (V_y) در اطراف پایه مستطیلی پرداخته شده است. برای این منظور از مدل عددی فلونت، برای شبیه‌سازی اثرات مقیاس بر الگوی جریان استفاده شد و مدل آشفتگی RNG k-ε برای فاز سیال استفاده شد.



شکل ۱. نمای دو بعدی کانال و پایه مستطیلی



شکل ۲. پروفیل سرعت جریان در فاصله ۱۰ سانتی متری از کانال

مواد و روش‌ها

نرم‌افزار فلونت یکی از کامل‌ترین، قوی‌ترین و کاربردی‌ترین نرم‌افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) بود و برای مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده به کار می‌رود. این نرم‌افزار امکان تغییر شبکه، به صورت کامل و تحلیل جریان با شبکه‌های غیرساخت یافته برای هندسه‌های پیچیده را فراهم می‌سازد. برای شبکه‌بندی میدان محاسباتی از نرم‌افزار پیش‌پردازنده Gambit استفاده شده و مدل موردنظر با منطقه‌ای به طول ۱ متر، عرض ۲۰ سانتی متر و ارتفاع ۸ سانتی متر شبکه‌بندی شد. نوع شبکه‌بندی از جمله پارامترهای مؤثر در درستی نتایج عددی است. در این راستا برای رسیدن به جواب منطقی از شبکه‌بندی منظم استفاده شده است. برای این منظور در صفحات از الگوریتم Quad نوع Map (شبکه ساختاریافته منظم) و در حجم‌ها از الگوریتم Hex-Cooper (شبکه شش‌وجهی با گره‌های مشخص) استفاده شد. شبکه مورد استفاده در شکل ۱ ارائه شده است.

شرایط مرزی

در این تحقیق از دو نوع شرایط مرزی برای مدل استفاده شده است. برای دیواره و خود پایه، شرایط مرزی Wall و برای ورودی و خروجی، شرایط مرزی Velocity-inlet اتخاذ شد. برای استفاده از این شرط مرزی، ابتدا در ورودی، صفحه آب و هوا از هم تفکیک و به طور مجزا برای هرکدام شرایط مرزی مشخص شد، با این تفاوت که برای صفحه هوا سرعت ورودی صفر و برای صفحه دبی ورودی، سرعت طرح در نظر گرفته شد. برای خروجی نیز شرایط همانند ورودی تنها با تفاوت اعمال سرعت منفی، برقرار شد.

انتخاب مدل آشفتگی

با توجه به تلاطم جریان عبوری از اطراف پایه پل، ضروری است اثرات آشفتگی جریان در مدل‌سازی عددی وارد شود. برای اعمال این اثرات، مدل‌های آشفتگی مختلفی در نرم‌افزار فلونت وجود دارد که از آن جمله می‌توان مدل $k-\varepsilon$ را نام برد. مدل $k-\varepsilon$ دو معادله‌ای به‌عنوان یکی از کامل‌ترین و ساده‌ترین مدل‌های آشفتگی به‌شمار رفته و برای طیف وسیعی از جریان‌ها کاربرد دارد. در مطالعه حاضر سه مدل آشفتگی Standard, RNG, Realizable انتخاب شد. به همین دلیل برای انتخاب بهترین مدل آشفتگی برای بررسی پروفیل سرعت جریان، مدل‌های $k-\varepsilon$ استاندارد، RNG $k-\varepsilon$ ، Realizable $k-\varepsilon$ در مقطع $X = 10 \text{ cm}$ (فاصله از پایه پل) بررسی شد و با نتایج آزمایشگاهی ارونقی (۱) مقایسه شده، سپس خطای آنها با استفاده از رابطه معیار میانگین خطای نسبی رابطه (۱) محاسبه شد. شکل ۲ پروفیل سرعت جریان را در فاصله ۱۰ سانتی متری از کانال نشان می‌دهد.

دو مقدار به‌دست آمده از رابطه (۱) هرچه به صفر نزدیک‌تر باشند نشان دهنده این است که خطا کمتر است و در نتیجه دقت محاسبه بیشتر است.

در رابطه فوق V_p و V_n به ترتیب سرعت جریان

معادله (۳) دارای ترم اضافی شامل پارامتر η نیز است که بیانگر نسبت زمان مشخصه آشفتگی به زمان مشخصه میدان جریان است که در آن: $\rho = \rho$ جرم مخصوص، $k = k$ ثابت 0.41 ، $\varepsilon = \varepsilon$ نرخ اضمحلال ویسکوز انرژی جنبشی آشفته، $t = t$ زمان، $u = u$ سرعت جریان، $\mu = \mu$ لزجت مولکولی، $\mu_t = \mu_t$ لزجت گردابه‌ای، $\sigma_k = \sigma_k$ ثابت پراتل 0.8 ، $\sigma_\varepsilon = \sigma_\varepsilon$ ثابت اشمیت آشفته $1/15$ ، $C_\mu = C_\mu$ ثابت 0.085 ، $C_1 = C_1$ ثابت $1/42$ ، $C_2 = C_2$ ثابت $1/68$ ، $C_3 = C_3$ ثابت 0.8 ، $\eta_0 = \eta_0$ ثابت $4/38$ ، $\beta = \beta$ ثابت 0.15 ، $\eta = \eta$ زمان مشخصه آشفتگی به زمان مشخصه میدان جریان، $G = G$ ترم تولید برشی، $B = B$ ترم تولید-اتلاف بویانسی ناشی از میدان چگالی نوسان کننده جریان است.

معادلات مربوط به پارامترهای مؤلفه افقی توزیع سرعت و مؤلفه قائم سرعت

معروف‌ترین رابطه ارائه شده برای برآورد توزیع سرعت، توزیع لگاریتمی است که اولین بار به وسیله ون کارمن معرفی شد. این توزیع به صورت رابطه (۴) است:

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{y}{y_0} \right) + c_1 \quad [4]$$

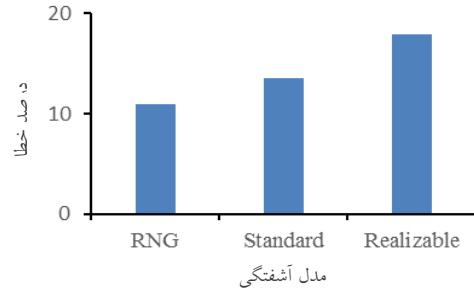
در این رابطه، u سرعت در عمق y ، u_* سرعت برشی، k ثابت ون کارمن (برای آب صاف برابر 0.41 است)، y_0 عمقی است که در آن سرعت صفر رخ می‌دهد. در صورت معلوم بودن سرعت حداکثر جریان، توزیع لگاریتمی به صورت رابطه (۵) نوشته می‌شود:

$$y \leq \delta \frac{u}{u_*} = \frac{u_{\max}}{u_*} + \frac{1}{k} \ln \left(\frac{y}{\delta} \right) \quad [5]$$

در این رابطه، δ ارتفاعی است که در آنجا سرعت حداکثر، u_{\max} رخ می‌دهد. ساده بودن این رابطه و همچنین کم بودن تعداد متغیرهای موجود در آن، از مزایای این توزیع است.

نتایج

الگوی جریان ایجاد شده بر اثر عبور جریان از یک پایه پل الگوی پیچیده‌ای است. پیچیدگی الگوی جریان با گسترش حفره آبشستگی افزایش پیدا می‌کند. در این پژوهش سعی شده است به



شکل ۳. تعیین بهترین مدل آشفتگی

$$(ARE)_V \% = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \left(V_{pi} - V_{ni} \right) \right|}{\sum_{i=1}^N V_{pi}} \times 100 \quad [1]$$

اندازه‌گیری شده و سرعت جریان حاصل از مدل عددی و ARE میانگین خطای نسبی است.

با توجه به شکل ۳، مشاهده می‌شود که مدل RNG k-ε به دلیل خطای کمتر در محاسبه میزان سرعت، بهتر و اقتصادی‌تر از مدل‌های دیگر است. قدر مطلق خطای $10/89$ درصد برای مدل آشفتگی RNG k-ε، $13/564$ و $17/873$ درصد به ترتیب برای مدل‌های آشفتگی k-ε استاندارد و Realizable k-ε مؤید عملکرد بهتر این مدل نسبت به مدل‌های دیگر است. این مدل نسبت به مدل k-ε استاندارد به ثابت‌های تجربی کمتری احتیاج داشته و برای شبیه‌سازی نواحی دارای جداشدگی جریان، عملکرد بهتری نشان داده است (۱۸). به همین دلیل مدل RNG k-ε انتخاب و در ادامه حل از آن استفاده شد.

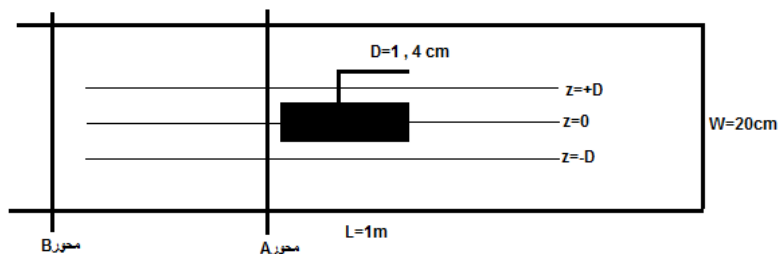
معادلات حاکم بر مدل RNG k-ε

فرم کلی معادلات در مدل RNG k-ε به صورت روابط (۲) و (۳) است:

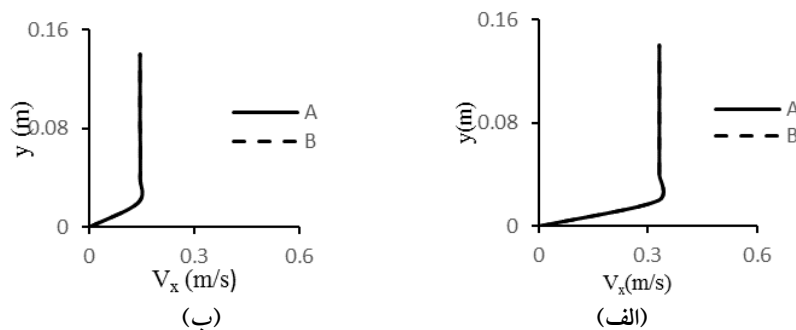
$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho u_j k_j = \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} k_j \right) + G + B - \rho \varepsilon \quad [2]$$

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho u_j \varepsilon_j = \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \varepsilon_j \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} G + C_2 \quad [3]$$

$$\left(1 - C_3 \right) \frac{\varepsilon}{k} B - C_4 \rho \frac{\varepsilon^\gamma}{k} - \frac{C_\mu \eta^\gamma \left(1 - \frac{\eta}{\eta_0} \right) \varepsilon^\gamma}{1 + \beta \eta^\gamma} \frac{\varepsilon^\gamma}{k}$$



شکل ۴. نمای کلی کانال و پایه مستطیلی در وسط آن



شکل ۵. پروفیل‌های توزیع سرعت در کانال بدون پایه پل، (الف) در محور $Z=0$ و (ب) در محور $Z=A$ cm

الگوی جریان به سبب حضور پایه پل در وسط کانال تغییر خواهد کرد. برای این منظور در این پژوهش به بررسی اثرات مقیاس بر الگوی جریان در اطراف پایه پل پرداخته شده است.

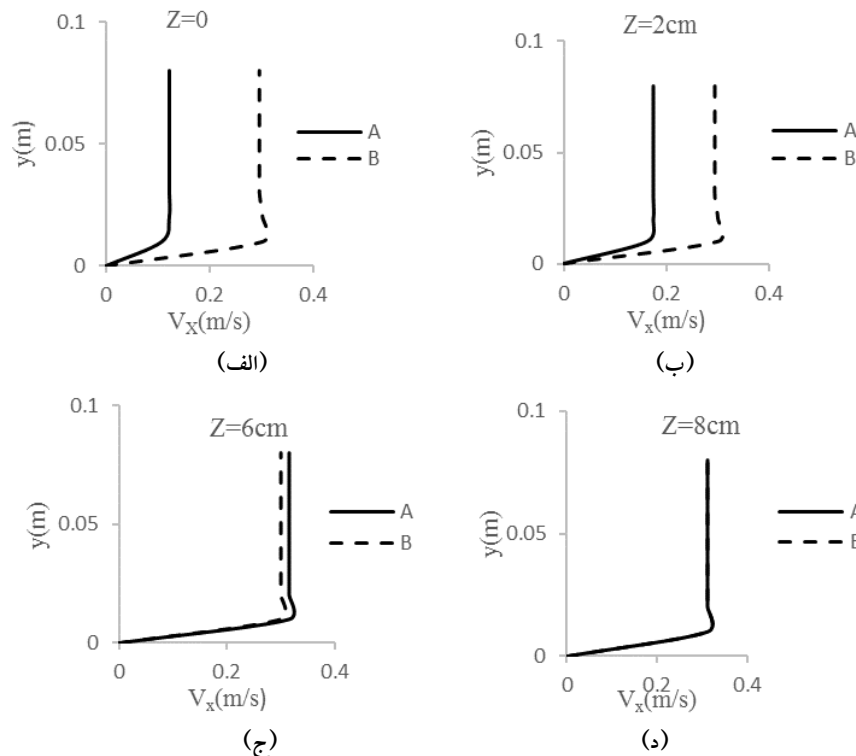
مدلسازی سه‌بعدی الگوی جریان، شامل مؤلفه افقی و مؤلفه قائم سرعت در اطراف پایه پل‌های مستطیلی با ابعاد (۵/۱×) و (۲×۴)

چنانچه مانعی در داخل کانال، مانند پایه پل وجود داشته باشد، الگوی جریان تغییر خواهد کرد. این وضعیت در نزدیکی‌های پایه پل محسوس‌تر است. یکی از اهداف این تحقیق بررسی اثرات مقیاس در الگوی جریان است. بنابراین وضعیت در دو مقدار متفاوت طول پایه پل بررسی شد. شکل ۶ نمونه‌ای از پروفیل‌های توزیع افقی سرعت را در اطراف پایه مستطیلی با طول یک سانتی‌متر نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل‌ها مشاهده می‌شود پروفیل‌های توزیع افقی سرعت در فواصل دور از پایه پل تغییری نمی‌کند و با نزدیک شدن به پایه پل تغییرات محسوس‌تر

بررسی اثرات مقیاس یعنی عرض و طول کانال بر الگوی جریان اطراف پایه پل مستطیلی پرداخته شود. برای این منظور دو مقطع، یکی در نزدیکی پایه پل که تحت تأثیر پایه است (مقطع A) و دیگری در ابتدای کانال به علت عدم تأثیر پایه پل بر آن (مقطع B)، در فواصل مختلف از پایه پل (Z برحسب سانتی‌متر) لحاظ شده و سپس به بررسی توزیع افقی سرعت و توزیع قائم سرعت پرداخته شده است. شکل ۴ نمای کلی از کانال و پایه را نشان می‌دهد.

اگر مانعی در کانال وجود نداشته باشد و جریان یکنواخت باشد، پروفیل‌های سرعت در هر امتداد طولی و در هر مقطع با هم برابر خواهند شد. این نتیجه از طریق مدلسازی جریان با نرم‌افزار فلونت به دست آمد. شکل ۵ پروفیل‌های افقی سرعت را برای حالتی که پایه پل در کانال وجود ندارد؛ نشان می‌دهد. چنانچه از این شکل‌ها قابل استنباط است، پروفیل توزیع سرعت در هر امتداد طولی و در هر مقطع روی هم منطبق شده‌اند که نشانگر مساوی بودن آن است.

در صورتی که مانعی مانند پایه پل در کانال وجود داشته باشد،

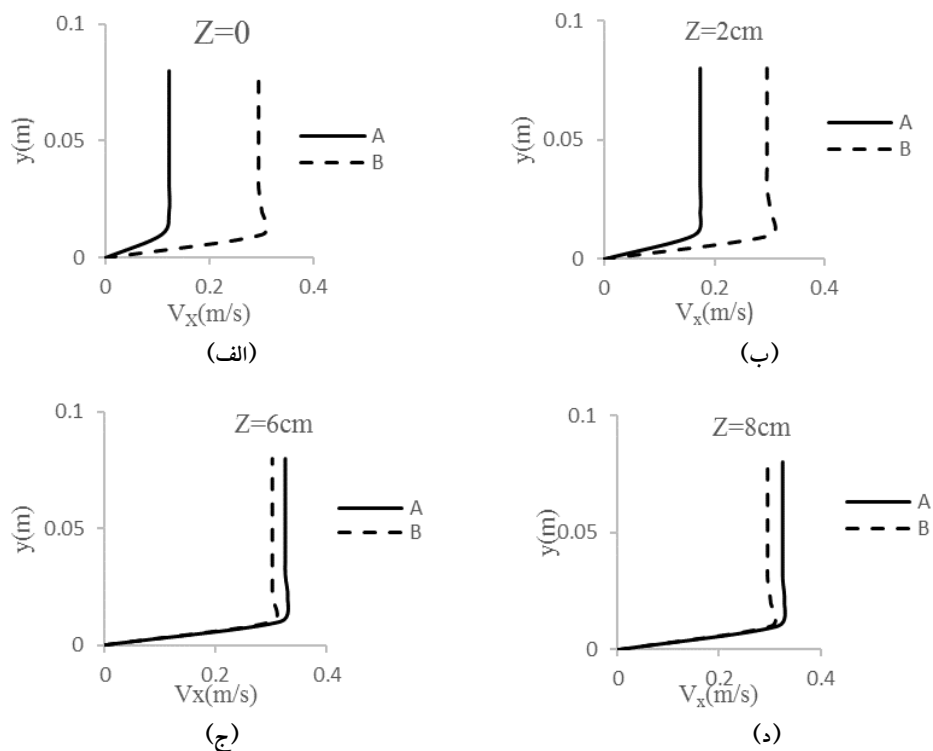


شکل ۶. پروفیل‌های توزیع افقی سرعت در پایه با طول یک سانتی‌متر: الف) محور مرکزی کانال، ب) فاصله دو سانتی‌متری از محور مرکزی کانال، ج) فاصله شش سانتی‌متری از محور مرکزی کانال و د) فاصله هشت سانتی‌متری از محور مرکزی کانال

نزدیک به صفر می‌شود، این در حالی است که سرعت جریان در ابتدای کانال تقریباً یکنواخت است که در محور $Z=0$ این قضیه کاملاً مشهود است. در این حالت شعاع فعالیت گرداب‌ها $8D$ به‌دست آمد و با توجه به اینکه پایه پل در وسط کانال است لذا حداقل عرض کانال برابر با $16D$ و حداقل طول کانال در جلوی پایه ۴ برابر طول پایه و در پشت پایه ۲۵ برابر طول پایه و طول حداقل کانال برای فعالیت گرداب‌ها ۲۹ برابر طول پایه برآورد شد. در صورتی‌که با همان شرایط هیدرولیکی طول پایه از ۱ سانتی‌متر به ۴ سانتی‌متر تغییر کند، ملاحظه می‌شود که دیواره‌های جانبی روی توزیع افقی سرعت و فعالیت گرداب‌ها تأثیر گذاشته است و عرض کانال برای بررسی فعالیت گرداب‌ها کوچک است، چرا که پروفیل‌های توزیع افقی سرعت در مقاطع A و B در هر امتداد اختلاف زیادی با هم دارند (شکل ۷). به‌علت محدودیت عرض کانال در میزان فعالیت گرداب‌ها در اطراف پایه

است، این بیانگر عدم تأثیر دیواره‌های جانبی بر روی توزیع افقی سرعت و همچنین فعالیت گرداب‌ها است. با مقایسه دو نمودار A و B در محورهای نزدیک پایه می‌توان دریافت که در نزدیکی پایه پل، چرخش جریان در دور پایه نیز باعث افزایش موضعی سرعت در دو طرف پایه شده و به همین علت در مقطع A پروفیل سرعت مقدار بیشتری را نسبت به مقطع B نشان می‌دهد. در عمل به‌علت وجود جریان‌های ثانویه در کانال، محل حداکثر سرعت هیچگاه در سطح آب نبوده، بلکه کمی پایین‌تر از آن قرار می‌گیرد. این مطلب در نتایج آزمایشگاهی احمد و راجاتنام (۸) به‌خوبی دیده می‌شود.

در محور $Z=8\text{ cm}$ همان‌طور که ملاحظه می‌شود دو نمودار A و B کاملاً بر هم منطبق شده‌اند که نشان‌دهنده آن است که فعالیت گرداب‌ها تحت تأثیر عرض کانال نبوده است. زمانی‌که آب به پایه برخورد می‌کند، سرعت جریان خیلی کم و خیلی

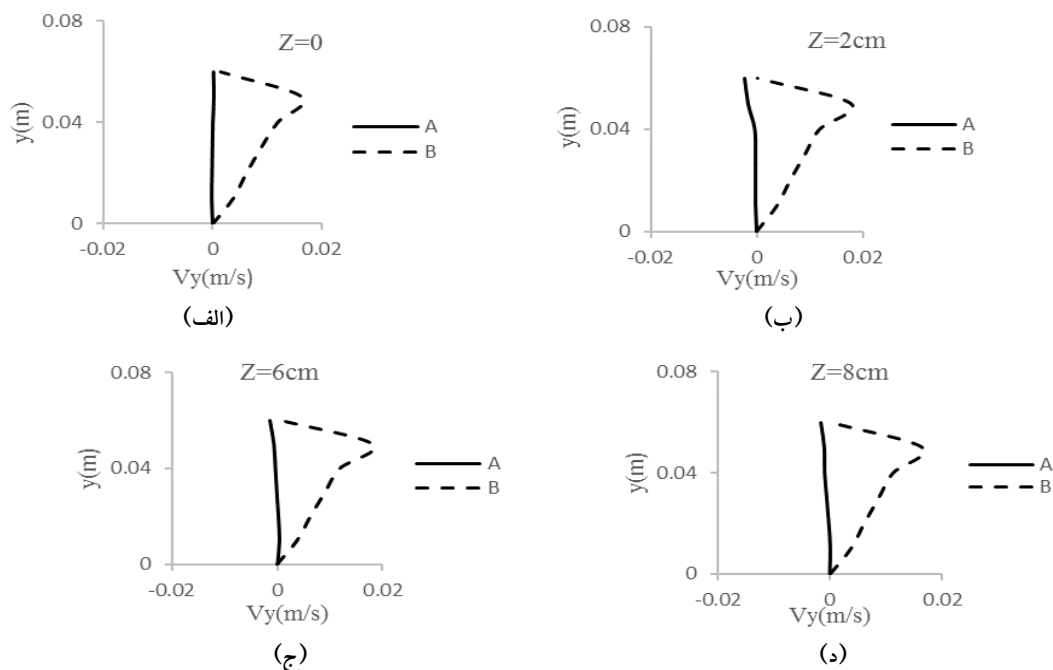


شکل ۷. پروفیل‌های توزیع افقی سرعت در پایه با طول چهار سانتی‌متر: (الف) محور مرکزی کانال، (ب) فاصله دو سانتی‌متری از محور مرکزی کانال، (ج) فاصله شش سانتی‌متری از محور مرکزی کانال و (د) فاصله هشت سانتی‌متری از محور مرکزی کانال

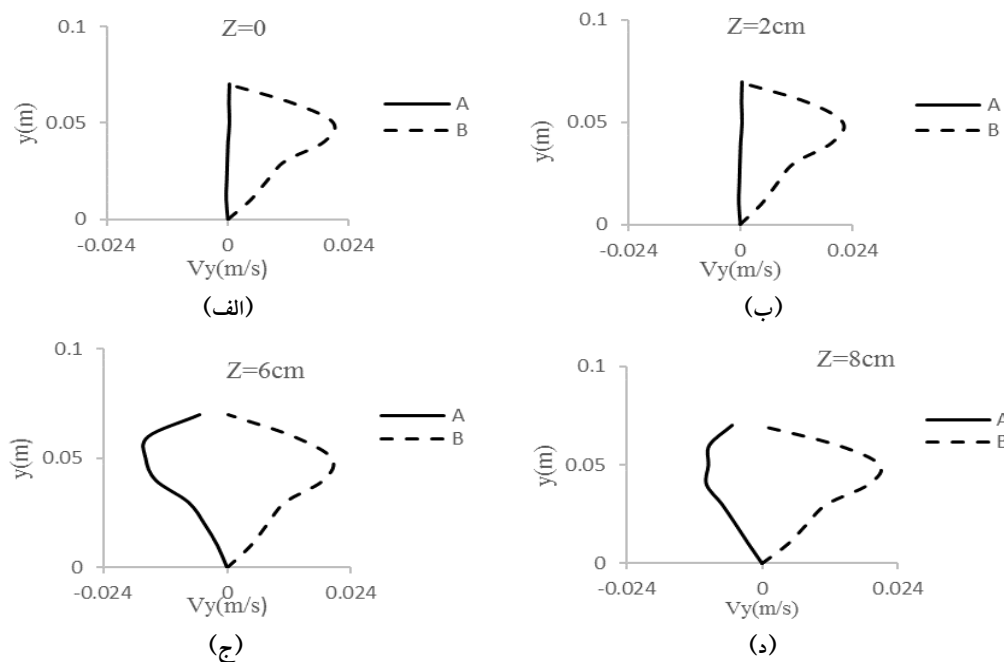
شود که تحت تأثیر پایه پل است و در ابتدای کانال مقادیر سرعت مثبت است که علت، ورود جریان آب است، شکل ۸ توزیع قائم سرعت را در اطراف پایه با طول یک سانتی‌متر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در پایه با طول یک سانتی‌متر در راستای پایه، مقدار مؤلفه قائم سرعت خیلی نزدیک به صفر ولی در ابتدای کانال مقدار مثبتی را داراست. شکل ۹، نمودارهای توزیع قائم سرعت را در اطراف پایه با طول ۴ سانتی‌متر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در پایه با طول ۴ سانتی‌متر به‌علت تأثیر وجود پایه و محدود بودن عرض کانال در محورهای نزدیک پایه مقادیر سرعت کاملاً منفی شده که نشان‌دهنده وجود ناحیه چرخشی در مجاورت پایه است، درحالی‌که مقادیر توزیع قائم سرعت در ابتدای کانال به‌دلیل ورود جریان مثبت است (۵). با توجه به شکل ۹ می‌توان دریافت این پارامتر شدت فعالیت گرداب‌ها و الگوی جریان را در اطراف پایه بررسی کرده ولی

با طول ۴ سانتی‌متر، دیواره کانال روی الگوی جریان در اطراف پایه تأثیر بسیاری گذاشته است. با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود، به‌علت اینکه در اطراف پایه سرعت موضعی افزایش می‌یابد، نمودار A اختلاف بیشتری با نمودار B دارد، در این صورت عرض کانال در فعالیت گرداب‌ها تأثیر گذاشته و گرداب‌ها، اطراف پایه پل آزادانه فعالیت نمی‌کنند و نمی‌توان تأثیر گرداب‌های اطراف پایه پل را به‌طور کامل بررسی کرد.

به‌منظور بررسی توزیع افقی سرعت به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر مؤثر در الگوی جریان در نمودارهای زیر به بررسی توزیع مؤلفه قائم سرعت در اطراف پایه پل، پرداخته شده است. توزیع قائم سرعت در رودخانه‌های مستقیم با جریان دائم از قانون لگاریتمی به‌خوبی پیروی می‌کند ولی در خم رودخانه‌ها توزیع قائم سرعت لگاریتمی نیست (۴). با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که در نزدیکی پایه پل مقدار مؤلفه قائم سرعت خیلی نزدیک به صفر می‌-



شکل ۸. پروفیل‌های توزیع قائم سرعت در پایه با طول یک سانتی‌متر: (الف) محور مرکزی کانال، (ب) فاصله دو سانتی‌متری از محور مرکزی کانال، (ج) فاصله شش سانتی‌متری از محور مرکزی کانال و (د) فاصله هشت سانتی‌متری از محور مرکزی کانال



شکل ۹. پروفیل‌های توزیع قائم سرعت در پایه با طول چهار سانتی‌متر: (الف) محور مرکزی کانال، (ب) فاصله دو سانتی‌متری از محور مرکزی کانال، (ج) فاصله شش سانتی‌متری از محور مرکزی کانال و (د) فاصله هشت سانتی‌متری از محور مرکزی کانال

پارامتر توزیع افقی سرعت و توزیع قائم سرعت استفاده شده است که در بررسی مؤلفه افقی سرعت شعاع فعالیت گرداب‌ها ۹ برابر طول پایه و حداقل عرض کانال برای فعالیت گرداب‌ها ۱۸ برابر طول پایه و حداقل طول کانال در جلوی پایه ۴ برابر طول پایه و در پشت پایه ۲۵ برابر طول پایه و طول حداقل کانال برای فعالیت گرداب‌ها ۲۹ برابر طول پایه محاسبه شد و با مقایسه دو پارامتر نتیجه گرفته شد پارامتر مناسب برای بررسی الگوی جریان و میزان فعالیت گرداب‌ها مؤلفه افقی سرعت است.

نمی‌توان تأثیر طول و عرض کانال را بررسی کرد و با مقایسه دو پارامتر نتیجه گرفته شد پارامتر توزیع افقی سرعت پارامتر مناسبی برای بررسی اثرات طول و عرض کانال در میزان فعالیت گرداب‌ها و الگوی جریان در اطراف پایه پل است.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی اثرات مقیاس بر الگوی جریان در اطراف پایه پل مستطیلی است. در این پژوهش، از شبکه‌بندی منظم و از مدل RNG K-ε و در بررسی الگوی جریان از دو

منابع مورد استفاده

۱. ارونقی، ه. ۱۳۸۸. کاهش آبستگي اطراف پایه پل با طوق مستطیلی به روش تجربی و با استفاده از شبیه‌سازی الگوی جریان در اطراف آنها با مدل‌های آشفتگی، پایان‌نامه دکتری تخصصی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز.
۲. حسن‌زاده، ی.، ح. حکیم‌زاده. و ش. عیاری. ۱۳۹۰. بررسی اثر اشکال مختلف پایه پل بر الگوی جریان اطراف آن با استفاده از نرم‌افزار فلونت. تحقیقات منابع آب ایران (۴): ۹۵-۱۰۵.
۳. کریمی نیا، ا. و ع. ا. صالحی نیشابوری. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی عددی پدیده فرآب در پایه پل. نشریه مهندسی عمران و نقشه‌برداری دانشکده فنی (۴): ۴۹۳-۴۸۷.
۴. محمودی، و. ۱۳۷۷. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
۵. موسوی جهرمی، ح. و ر. گودرزی‌زاده. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی عددی الگوی جریان سه‌بعدی در تلاقی کانال‌های باز. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی) ۳۴(۲): ۶۱-۷۰.
۶. نائینی، ت. و م. فضل. ۱۳۸۹. مدل‌سازی عددی و مشاهده اثر شکل مقاطع پایه پل‌ها بر نیروهای دینامیکی وارد بر آن. نشریه مهندسی عمران و نقشه‌برداری (۵): ۷۴۱-۷۵۱.
۷. همایون، ر. ۱۳۸۸. تأثیر شکل پایه بر روی عمق و پروفیل آبستگي اطراف پایه پل. همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
8. Ahmed, F. and N. Rajaratnam. 1998. Flow around bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 124(3): 288-300.
9. Ataie ashtiani, B. and A. Aslani kordkandi. 2012. Flow field around side by side piers with and without a scour hole. *European Journal of Mechanics B/Fluids* 36: 152-166.
10. Entesar, A. S. and E. L. Ghorab. 2013. Reduction of scour around bridge piers using a modified method for vortex reduction. *Alexandria Engineering Journal* 52: 467-478.
11. Escarameia, M. 1999. River and Channel Revetment a Design Manual, Thomas Telford. In: Proceeding of the 34th MAFF Conference of River and Coastal Engineers, University of Keele, UK.
12. Ettema, R., G. Kirkil and M. Muste. 2006. Similitude of large-scale turbulence in experiments on local scour at cylinders. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 132 (1): 33-40.
13. Fael, C., R. Lança and A. Cardoso. 2016. Effect of pier shape and pier alignment on the equilibrium scour depth at single piers. *International Journal of Sediment Research* 31 (3): 244-250.
14. Graf, W. H. and I. Istiarto. 2002. Flow pattern in the scour hole around a cylinder. *Journal of Hydraulic Research* 40(1):13-20.

15. Kirkil, G., G. Constantinescu and R. Ettema. 2008. The horseshoe vortex system around a circular bridge pier on equilibrium scoured bed. 2005. *World Water and Environmental Resources Congress* 173: 414-414.
16. Richardson, J. E. and V. G. Panchang. 1998. Three dimensional simulation of scour inducing flow at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 124(5): 530-540.
17. Salaheldin, T. M., J. Imran and H. Chaudhry. 2004. Numerical Modeling of three dimensional flow around circular piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 130(2): 91-100.
18. Sicilian, J. M., C. W. Hirt and R. P. Harper. 1987. FLOW-3D: Computational Modeling Power for Scientists and Engineers. Report FSI-87-00-1, Flow Science, Los Alamos, NM.

Numerical Investigation of the Scale Effects on Flow Pattern Around Rectangular Bridge Piers Using Fluent Software

Z. Talebi* and H. Arvanaghi¹

(Received: March 1-2017 ; Accepted: February 3-2018)

Abstract

Flow pattern around the bridge piers includes water surface profile, velocity profile, shear velocity, shear stress distribution, etc. In this research, the effects of the base shape along with scale effects on the flow pattern around the rectangular bridge piers were numerically calculated through "Fluent Software", using Horizontal Velocity Distribution (V_x) and Vertical Velocity Distribution (V_y) criteria. The results showed that in studying the horizontal component of velocity (V_x) for the rectangular bridge piers, the vortices activity radius was 8 times of the length of the pier, and the minimum channel width for vortices activity was 16 times of the length of the Bridge pier; also, the minimum channel length in front of the pier was 4 times of the length of the pier and behind which, it was 25 times more than the bridge pier. Finally, the minimum channel length for the vortexes activity was calculated to be 29 times more than the bridge pier length. Furthermore, for the vertical component of velocity, the flow pattern around the base of the bridge cannot be an appropriate parameter for checking the effects of the length and width of the channel.

Keywords: Flow pattern, Horizontal surface of velocity, Scour, Vertical component of velocity, Water surface profile

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: zohretalebi1370@gmail.com