

بررسی الگوی جریان و تعیین عمق آبشستگی در محدوده پایه پل با استفاده از مدل دو بعدی HEC-RAS 5 و Civil3D

عماد رضوانی زاده^۱، بهزاد جوادی^۲

۱- کارشناس مهندسی رودخانه شرکت مهندسی مشاور یکم، آدرس الکترونیکی (emrz.1982@gmail.com)

۲- مدیر دفتر مهندسی رودخانه شرکت آب منطقه ای لرستان

چکیده

در این مقاله با استفاده از مدل ریاضی دوبعدی HEC-RAS 5 الگوی جریان و فرسایش در محدوده پایه پل استوانه ای در حالت جریان آب صاف بر روی بستر شنی، تحلیل می گردد. سپس با استفاده از روابط تجربی، عمق آبشستگی محاسبه و با داده های فیزیکی مقایسه می گردد. داده های مورد استفاده در مدل عددی از یک فلوم آزمایشگاهی به عرض ۶ متر، طول ۱۴ متر و شیب کف ۰/۰۰۳ در دبی های مختلف، برداشت شده است. با توجه به اینکه بیشترین آبشستگی در ۳ ساعت اولیه رخ داده، زمان هیدروگراف برای جریان غیرماندگار در مدل هیدرولیکی ۳ ساعت در نظر گرفته می شود. پس از اجرای مدل ریاضی دوبعدی، نتایج مدل با استفاده از نمودارهای خروجی آن جهت استفاده از روابط تجربی، استخراج و مورد ارزیابی قرار می گیرد.

واژه های کلیدی: پایه پل - آبشستگی - الگوی جریان - HEC-RAS 5 - Civil3D

مقدمه

مسئله آبشستگی در اطراف پایه های پل، سالهاست که ذهن محققین را به خود مشغول نموده است. بطوریکه آبشستگی موضعی اطراف پایه پل ها را یکی از مهمترین عوامل تخریب پلها می دانند. این مشکل در تمام دنیا وجود دارد و پتانسیل ایجاد عواقب غم انگیز و انسانی را داراست (Richardson et al., 2001).

در طول ۳۰ سال گذشته، بیش از هزار پل از میان ۶۰۰۰۰۰ پل موجود در ایالات متحده آمریکا دچار تخریب و نقص شده اند. گزارشها حاکی از آن است که ۶۰ درصد این خسارات ناشی از آبشستگی بوده است (Briaud et al., 1999). در حال حاضر بیش از ۸۵۰۰۰ پل در ایالات متحده در مقابل پدیده آبشستگی آسیب پذیر بوده و در معرض خطر قرار دارند (Lagasse et al., 1995).

هدف پژوهش حاضر شبیه سازی عددی جریان آب حول پایه های پل، بررسی الگوهای مختلف جریان در اطراف پایه، اثر جریان بر روی ذرات تشکیل دهنده بستر (شن) در میزان آبشستگی و تعیین میزان آبشستگی می باشد. در این مقاله صحت مدل ریاضی HEC-RAS 5 با مقایسه نتایج بدست آمده با مشاهدات آزمایشگاهی و کارهای دیگران بررسی شده است. مراحل و تحقیقات صورت گرفته در قالب این مقاله به ترتیب زیر می باشد:

ابتدا مدل HEC-RAS 5 برای شرایط این مسئله ساخته شد. با معرفی شرایط مرزی، مدل RUN شده و الگوی جریان مورد بررسی قرار گرفت. از روی الگوی جریان و با استفاده از روابط تجربی آبشستگی پایه های پل، میزان آبشستگی محاسبه شد. سه روش اصلی در مطالعات وجود دارد که عبارتند از مدل فیزیکی، مشاهدات آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی. روابط فراوانی برای تخمین عمق آبشستگی موضعی پایه

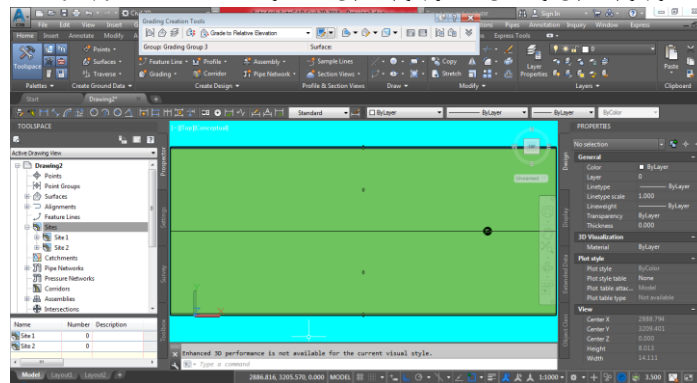
پلها ارائه شده است. اغلب آنها از مطالعات آزمایشگاهی بدست آمده‌اند و تعداد کمی از آنها نیز با استفاده از اطلاعات صحرایی بازیابی شده‌اند. در سالهای اخیر، تحقیقات آزمایشگاهی وسیله ابتدایی جهت تعریف روابط از میان پارامترهای متعدد تأثیرگذاری بر روی عمق آبستگي بوده‌اند. امروزه، علم دینامیک سیالات محاسباتی^۱ نیز مهندسين را قادر به بررسی هیدرودینامیکی این پدیده نموده است.

ساخت مدل در Civil3D

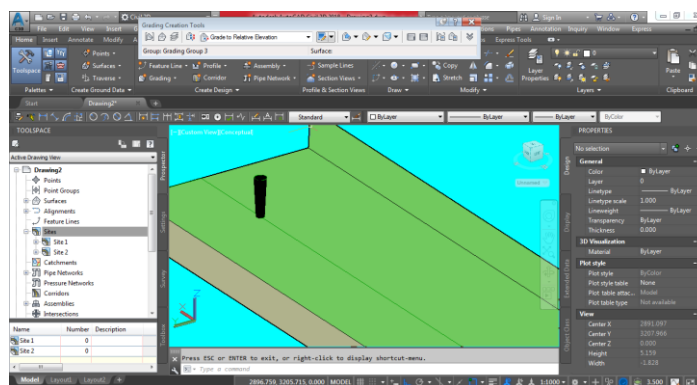
در این مقاله ابتدا فلوام و مجرای کانال آن با استفاده از مدل رقومی Civil3D شبیه سازی می گردد. همچنین سازه پایه پل نیز به سطح ساخته شده در Civil3D اضافه می گردد. این سطح می بایست از دقت بالایی برخوردار باشد لذا در تهیه خروجی از آن برای معرفی به HEC-RAS می بایست آن راه با پسوند tif ذخیره نمود. سپس همین سطح ساخته شده را جهت اجرای مدل و معرفی خصوصیات جریان و شرایط مرزی آن، به مدل ریاضی HEC-RAS وارد نمود.

بنابراین می بایست که ابتدا بخشی را که سیال در آن جریان دارد به عنوان حجم کنترل در نرم افزار HEC-RAS 5 طراحی نماییم، سپس شرایط مرزی مختص آن را برای هر یک از صفحاتی که این حجم کنترل را بوجود آورده اند بصورت جداگانه تعریف می نماییم. پس از انجام این مراحل حجم بدست آمده را مش بندی (شبكة بندی) نموده و با استفاده از خصوصیات لازم در جریان غیرماندگانه در مدل دو بعدی آنرا اجرا می نماییم.

شکل ۱ پلان سطح ساخته شده فلوام و پایه پل و شکل ۲ فلوام و پایه پل را بصورت سه بعدی در نرم افزار Civil3D نشان می دهد.



شکل (۱) پلان فلوام و پایه پل در Civil3D

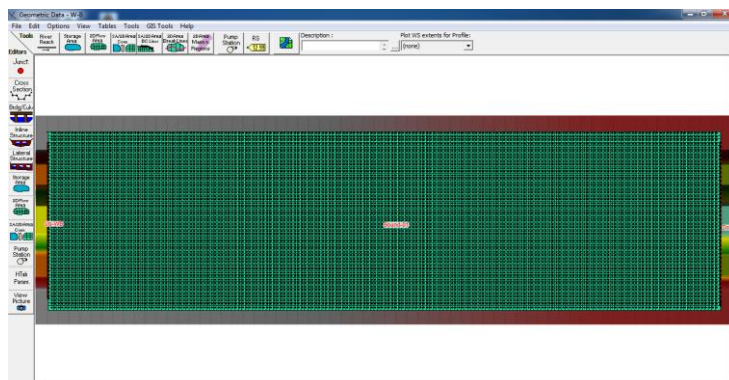


شکل (۲) نمای سه بعدی فلوام و پایه پل در Civil3D

تولید مش در HEC-RAS برای شبیه سازی جریان

¹ - Computational Fluid Dynamic (CFD)

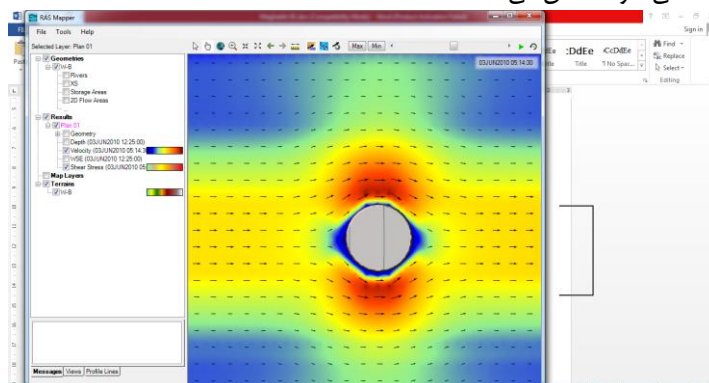
محاسبه موفق جریانهای متلاطم نیاز به ملاحظاتی در مش بندی دارد. بخاطر اندرکنش زیاد جریان متوسط و اغتشاش، نتایج عددی برای جریانهای متلاطم نسبت به جریانهای ورقه‌ای بیشتر به مش بندی وابسته است. همچنین دقت مش بندی می بایست با دقت سطح ایجاد شده در Civil3D و تایم استپ های زمانی در مدل هیدرولیکی هم خوانی داشته باشد. بنابراین توصیه می شود برای مناطقی که تغییرات سریع جریان وجود دارد و همچنین در جاهائی که لایه های برشی با تغییر شکل زیاد وجود دارد از مش های به اندازه کافی ریز استفاده شود. شکل ۳ مش بندی در HEC-RAS 5 را نشان می دهد.



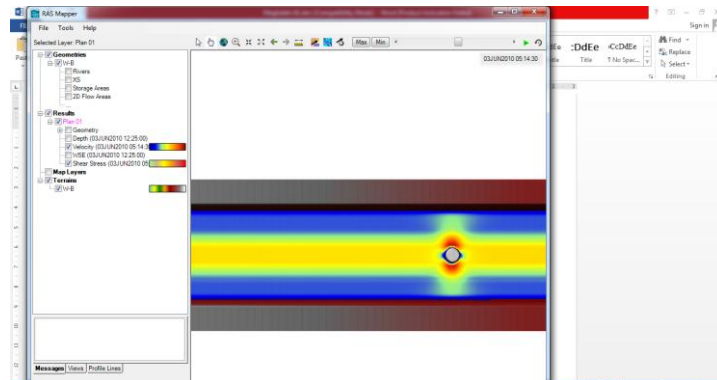
شکل (۳) مش بندی فلووم و پایه پل در مدل دوبعدی

ایجاد شرایط مرزی مدل در HEC-RAS 5 و استخراج خروجی های لازم

با توجه به زمان تعادل آزمایش در حداکثر عمق آبستگي و نیز پیش نیاز لازم در مدل HEC-RAS که جریان بصورت غیرماندگار در نظر گرفته می شود، هیدروگراف واحد برای دبی های ذکر شده در نظر گرفته شد و به هیدروگراف ۳ ساعته تبدیل گردید، سپس هیدروگراف به مدل هیدرولیکی معرفی شد. بر اساس دبی های مختلف مدل Run شد و خروجی های لازم در طول و عرض جریان عمود بر پایه پل استخراج گردید. شکل ۴ بردارهای سرعت جریان در محدوده پایه پل و شکل ۵ اثر گردابه های تشکیل شده حول پایه پل را که بر اساس میزان تنش برشی تشخیص داده می شوند، نشان می دهد.



شکل (۴) بردارهای سرعت جریان در محدوده پایه پل



شکل (۵) توزیع تنش برشی در محدوده پایه پل بدلیل ایجاد گردابه

همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می گردد، حداکثر تنش برشی در طرفین پایه پل بدلیل پدیده جدا شدگی جریان (separation) اتفاق افتاده است و مدل هیدرولیکی این موضوع را بخوبی نشان داده است. در ادامه و پس از محاسبه عمق آبشستگی با استفاده از روابط تجربی معتبر، عمق آبشستگی اندازه گیری شده در فلوم، با عمق محاسباتی مقایسه می گردد.

تعیین عمق آبشستگی

در اینجا عمق آبشستگی با استفاده از روابط زیر بدست می آید:

$$d_s/b = 2.42 \left(2 \frac{U}{U_c} - 1 \right) \left(\frac{U^2}{gb} \right)^{1/3} \quad (1)$$

$$d_s/b = 1.41 (y/b)^{0.3} (U_c / \sqrt{gy})^{0.25} \quad (2)$$

در روابط فوق:

b = قطر پایه (m)

d_s = ماکزیمم عمق آبشستگی در مجاورت پایه پل و در تراز مبنای بستر (m)

g = شتاب ثقل (m/s^2)

U = سرعت متوسط جریان در بالادست پایه (m/s)

U_c = سرعت بحرانی برای آغاز حرکت ذرات بستر (m/s)

y = عمق جریان در بالادست پایه (m)

تعیین آستانه حرکت ذره از معیار شیلدز و فرمول اینشتین

شیلدز بر این عقیده بود که توصیف تئوری نیروهای وارد بر یک ذره رسوب بسیار مشکل است. از این رو در سال ۱۹۳۶ تحلیلی را بر مبنای آنالیز ابعادی، به منظور بررسی آستانه حرکت به کار برد و در نهایت نمودار معروف خود را در این زمینه ارائه داد.

در روش شیلدز، پارامترهای مهم در تحلیل آستانه حرکت عبارتند از:

تنش برشی (τ)، تفاضل جرم حجمی رسوب و آب ($\rho_s - \rho_f$)، قطر دانه ها (d)، لزجت سینماتیکی (ν) و شتاب ثقل (g). این پنج پارامتر، در قالب دو پارامتر بی بعد دسته بندی می شوند:

$$\frac{d(\tau_c / \rho_f)^{1/2}}{\nu} = \frac{dU_*}{\nu} \quad (3)$$

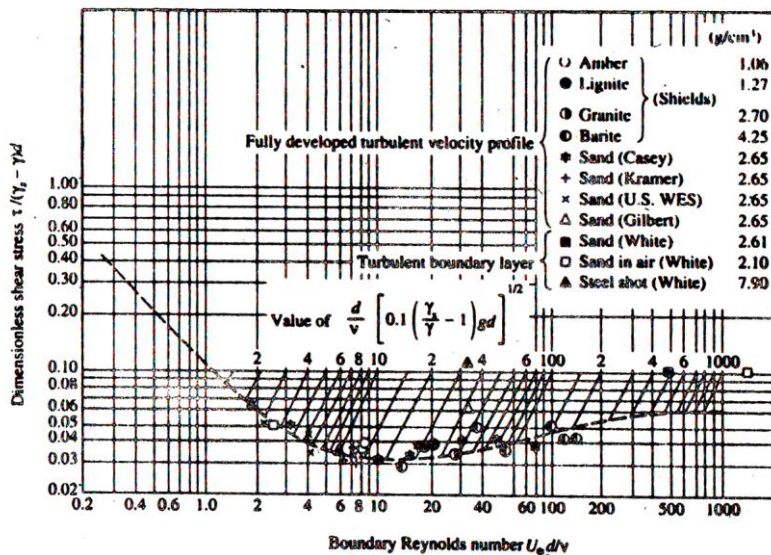
$$\frac{\tau_c}{d(\rho_s - \rho_f)g} = \frac{\tau_c}{d\gamma[(\rho_s / \rho_f) - 1]} \quad (4)$$

که در این روابط، ρ_s, ρ_f : به ترتیب جرم حجمی دانه های رسوب و آب

وزن مخصوص آب: $\rho_s - \rho_f$

سرعت برشی: $\rho_s - \rho_f$

و $\rho_s - \rho_f$: تنش برشی آستانه حرکت می باشد.



شکل (۶) نمودار شیلدز برای آستانه حرکت (Vanoni, 1975)

با استفاده از دیاگرام فوق مقدار سرعت برشی (u_*) را استخراج می نمایم، سپس با استفاده از رابطه اینشتین^۱ مقدار سرعت آستانه حرکت ذره را بدست آورده و با استفاده از روابط معتبر سایر محققین که با شرایط مسأله ما سازگار می باشد، عمق آبستگي را بدست می آوریم. اینشتین در سال ۱۹۵۰ رابطه زیر را برای بدست آوردن سرعت متوسط بحرانی در کانال مستطیلی ارائه داد:

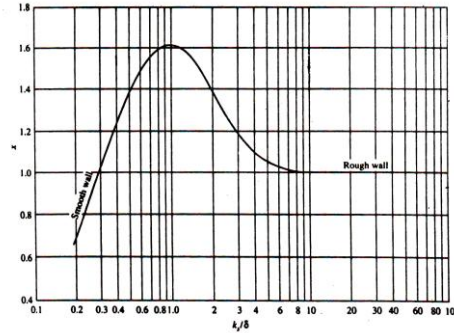
$$\frac{Uc}{u_*} = 5.75 \text{Log} \left(12.27 \frac{R}{k_s} x \right) \quad (5)$$

در رابطه فوق Uc : سرعت آستانه حرکت ذرات، R : شعاع هیدرولیکی، k_s : برابر d_{65} ذرات است و x : فاکتور تصحیح است که بیانگر رژیم جریان از بستر نرم به بستر زبر می باشد و از منحنی شکل ۷ بدست می آید. پارامتر δ یا همان ضخامت لایه مرزی در نمودار زیر، از رابطه ۶ بدست می آید.

$$\delta = 11.6 \frac{\nu}{u_*} \quad (6)$$

¹ -Einstein

که V : لزجت سینماتیکی است.



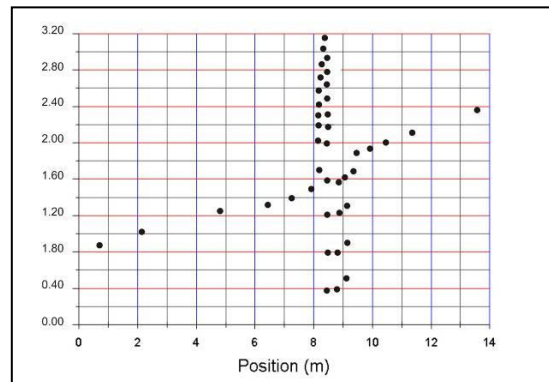
شکل (۷) ضریب تصحیح توزیع لگاریتمی سرعت (Einstein, 1950)

برای ساده تر شدن کار می توانیم مقدار u_* را از رابطه (۸) بدست آوریم.

$$u_* = \left(\frac{\tau}{\rho} \right)^{0.5} \quad (۸)$$

که τ : تنش برشی برحسب پاسکال و ρ : جرم واحد حجم آب برحسب Kg/m^3 می باشد.

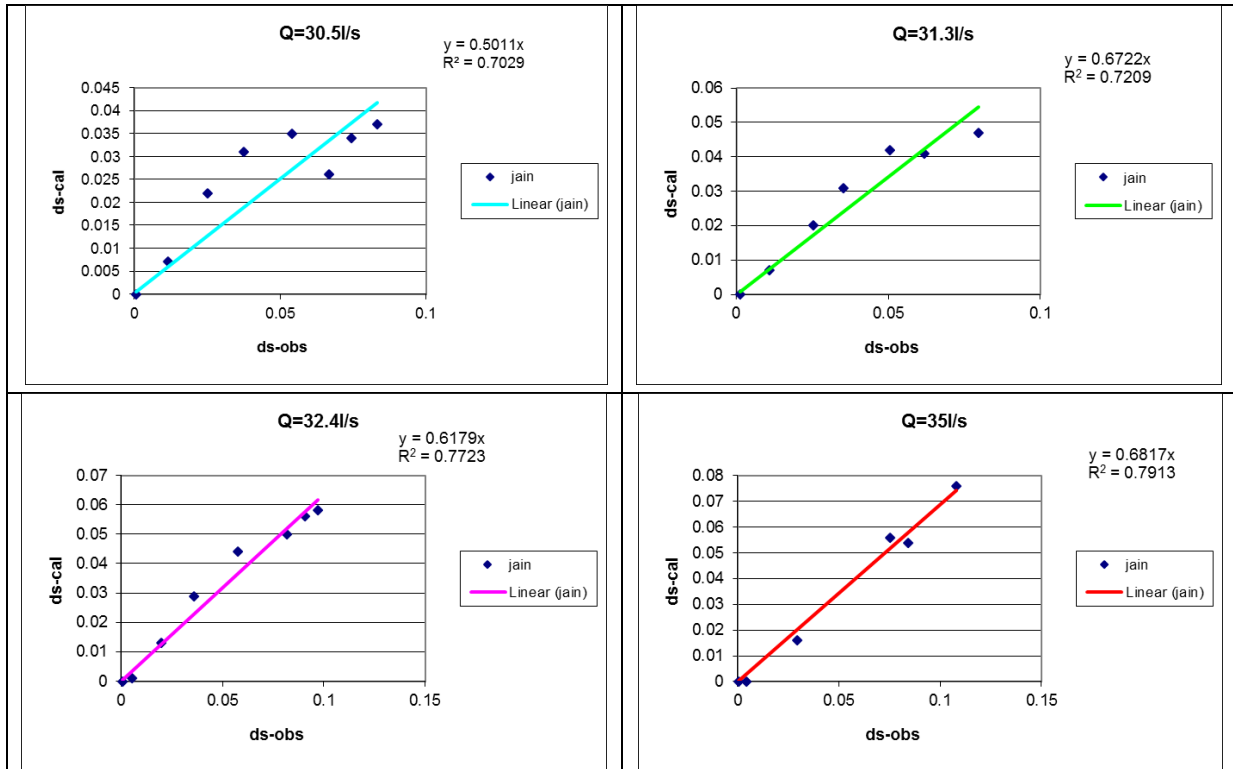
مقدار تنش برشی در فواصل مختلف از پایه پل از نمودارهای موجود در مدل استخراج می گردد. پس از بدست آمدن تنش برشی روی خطوط طولی و عرضی که قبل از Run ترسیم شده بود، با استفاده از روابط Hancu و Jain عمق آبستگي محاسبه و نتایج آن ارائه می گردد.



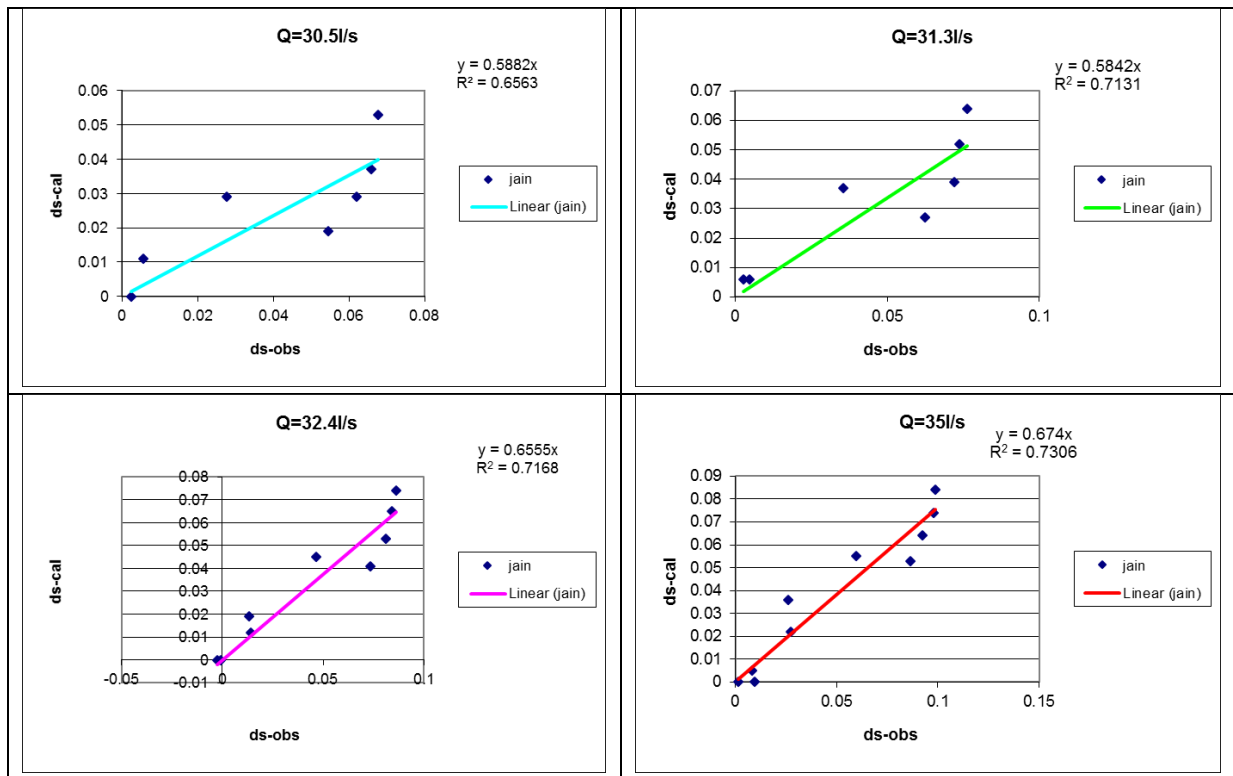
شکل (۸) مقادیر تنش برشی در محدوده پایه در طول جریان

مقایسه مدل عددی با مدل فیزیکی

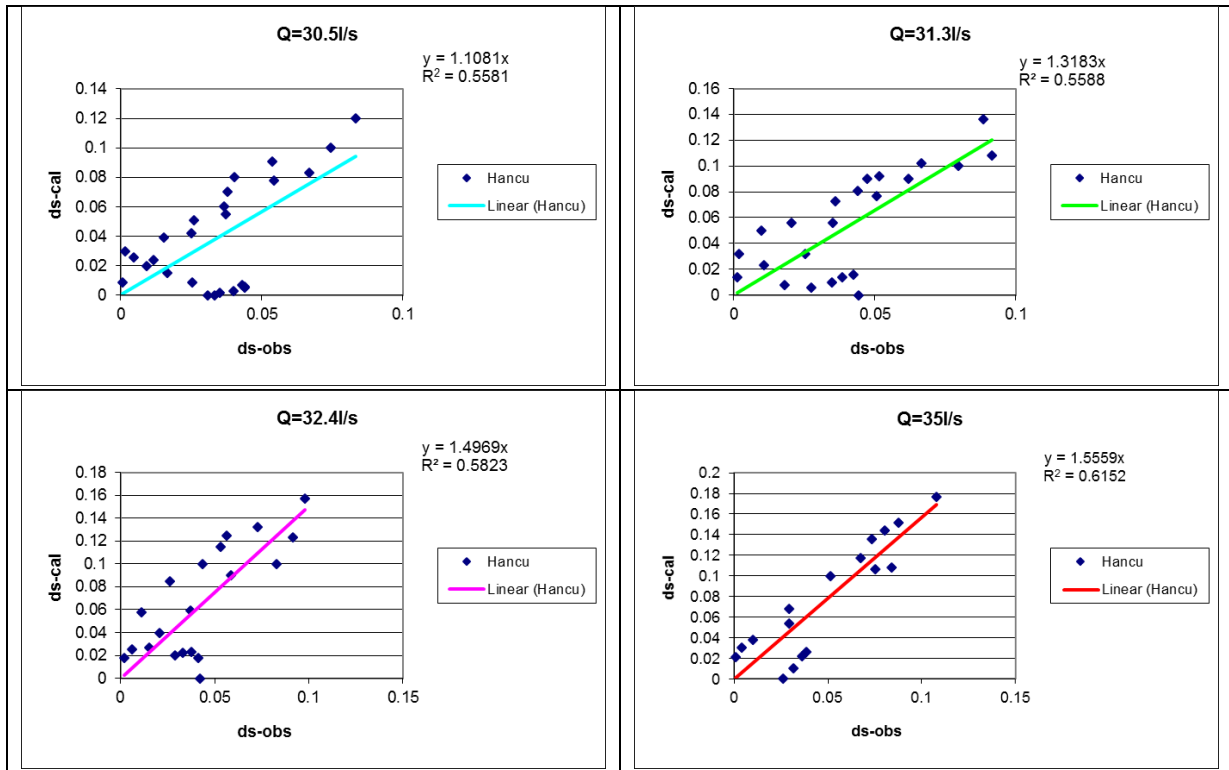
مقایسه روش ها بر اساس مقایسه رگرسیونی در اشکال ذیل ارائه شده است.



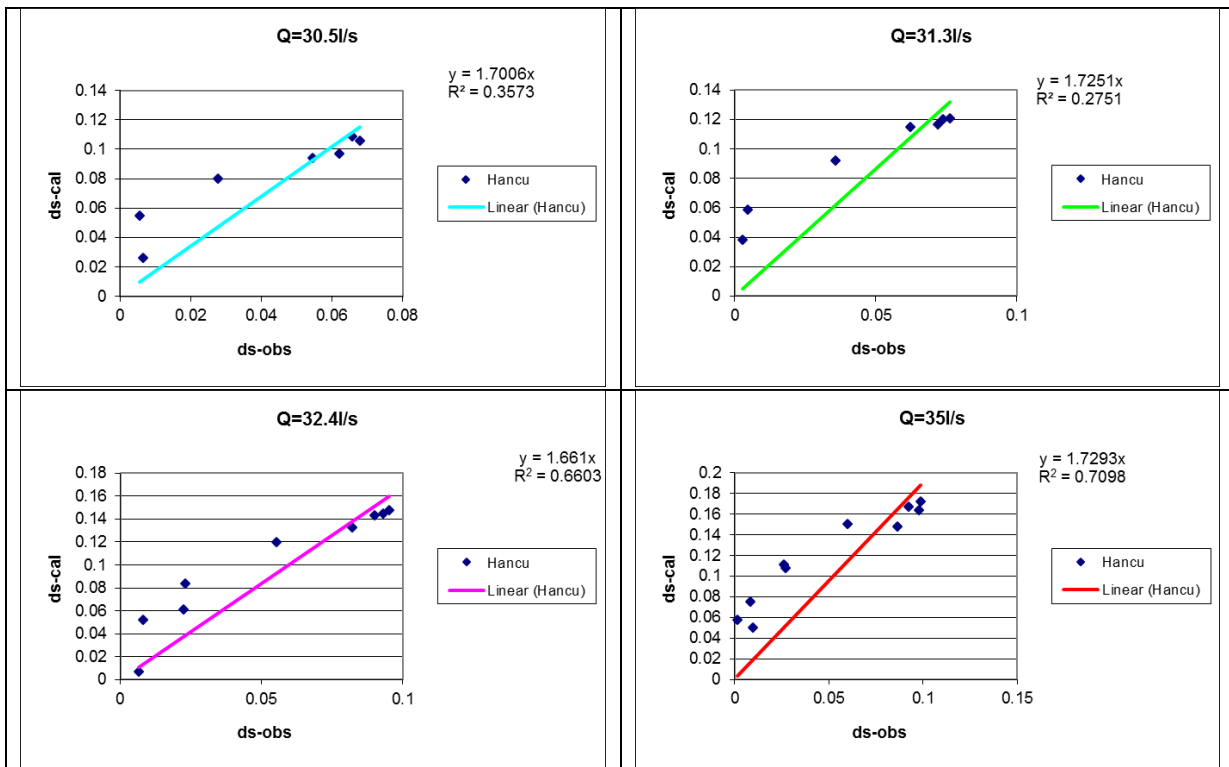
شکل (۹) مقایسه مقادیر عمق فرسایش در مدل عددی با مدل آزمایشگاهی با استفاده از رابطه Jain در طول مسیر جریان



شکل (۱۰) مقایسه مقادیر عمق فرسایش در مدل عددی با مدل آزمایشگاهی با استفاده از رابطه Jain در عرض مسیر جریان



شکل (۱۱) مقایسه مقادیر عمق فرسایش در مدل عددی با مدل آزمایشگاهی با استفاده از رابطه Hancu در طول مسیر جریان



نتیجه گیری

الف) در این تحقیق مدل دو بعدی HEC-RAS 5 در مقایسه با مدل فیزیکی با دقت قابل قبولی اجرا شد. نتیجه آن بود که مدل مذکور برای آنالیز الگوی جریان حول پایه پل نتایج قابل قبولی بدست می دهد.

ب) با توجه به اینکه روابط عددی مستندی در ارتباط با آبستگي در محدوده پایه پل وجود نداشت، در این تحقیق از روابط تجربی استفاده شد.

ج) دقت محاسبات در مقایسه با مدل فیزیکی در محدوده ضرایب همبستگی $R^2=0.27$ تا $R^2=0.79$ که متناسب با $R=0.52$ تا $R=0.89$ می باشد، متغیر است.

د) همانگونه که در مقایسات مدل عددی و مدل فیزیکی مشاهده شد، عمق های آبستگي بدست آمده از رابطه Jain بیشترین نزدیکی را با اندازه های آزمایشگاهی داشت، اما رابطه Hancu نیز از دقت قابل قبولی برخوردار است. اما در این زمینه نیاز به تحقیقات بیشتری برای استخراج روابط عددی مرتبط با آبستگي حول پایه پل، لازم بنظر می رسد.

ه) مواردی که در مدل دو بعدی HEC-RAS بصورت پیش فرض وجود دارند، این توانایی را دارند که شبیه سازی پارامترهای جریان را به لحاظ هیدرولیکی انجام داده و و با توجه به همین پارامترها آبستگي در محدوده پایه را پیش بینی نمایند، اما مقادیر عمق آبستگي را بطور مستقیم نمی توان از این مدل استخراج نمود، برای این کار نیازمند ارتقاء سطح گرافیکی نرم افزار و استفاده از قابلیت های بسیار پیشرفته نرم افزار Civil3D برای ساخت سطوح هستیم.

و) پیشنهاد می گردد در کارهای بعدی نحوه ساخت مدل رقومی، مش بندی و گام های زمانی در مدل هیدرولیکی جهت بالابردن دقت محاسبات، مورد توجه قرار گیرند.

منابع

- [۱] زرانی، امیر (۱۳۸۱)، " نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پل ها"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، چاپ دوم.
- [۲] عزیزی، محمد (۱۳۷۵)، " مطالعه روشهای جلوگیری از آبستگي در اطراف پایه های پل"، پایان نامه ارائه شده جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - آب، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران).
- [۳] فضل، محسن (۱۳۸۵)، "تأثیر شکل مقاطع پلها بر کاهش نیروهای دینامیکی عمود بر جهت جریان"، پایان نامه ارائه شده جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سازه های هیدرولیکی، دانشگاه تهران.
- [۴] آریان فر، علی (۱۳۸۵)، " بررسی پدیده آبستگي پایه های پل در رودخانه های دائمی"، سمینار دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
- [۵] زرانی، امیر و عزیزی، م (۱۳۷۶)، " بررسی روشهای کنترل و کاهش آبستگي پایه های پل"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولیک ایران.
- [۶] رضوانی زاده، عماد و موسوی جهرمی، (۱۳۸۸)، " شبیه سازی آبستگي پایه پل"، سمینار دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

[8] Kumar, V. (1996): "Reduction of scour around bridge piers using protection devices", Ph.D. Thesis, University of Roorkee. Roorkee, Indian, 1996.

[9] Sumner, D., Wong, S.S.T., Price, S.J., Paidoussis, M.P. (1999): "Fluid behavior of side-by-side circular cylinders in steady cross-flow".

[10] Qiping Yang (2005): "Numerical investigations of scale effects on local scour around a bridge pier". A thesis submitted to the Department of civil Engineering for the degree of Master of Science, FAMU-FSU College of Engineering, Florida State University.

[11] Huang, Z., Olson, J.A., Kerekes, R.J. and Green, S.I. (2006): "Numerical simulation of the flow around rows of cylinders". Computers and Fluids 35 (2006) 485-491.



[12] Sumer, B.M., Roulund, A., Fredsoe, J. and Michelson, J. (2002): "3-D Numerical Modeling of Flow and Scour around a Pile", First International Conference On Scour of