



تأثیر صفحه مستغرق بر روی خصوصیات جریان در کانال های مرکب

مهدی ولی زاده^۱، علیرضا کشاورزی^۲، بهرنگ سیستانی^۳

۱- کارشناس ارشد سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

۲- دکتری عمران، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۳- کارشناس آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

valizadeh1981@yahoo.com

خلاصه

یکی از مسائل مهم در رودخانه های سیلابی و فصلی تخریب بسترهای سیلابی و تخریب فصل مشترک آنها با مجرای اصلی رودخانه است. برای جلوگیری از بروز چنین پدیده هایی در رودخانه ها از سازه های حفاظتی نظیر آب شکن و صفحات مستغرق استفاده می شود. در این تحقیق خصوصیات جریان در اطراف صفحه مستغرق نصب شده در کانالی با مقطع مرکب مورد بررسی قرار گرفت. تحقیق حاضر در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۵ متر، عرض ۰/۷ متر و عمق ۰/۶ متر انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که با نصب صفحه در داخل کانال اصلی از انتقال مومنت، انرژی جنبشی و ضرایب α و β به میزان قابل توجهی کاهش می یابد.

کلید واژه ها: کانال مرکب، صفحه مستغرق، ساختار جریان، سرعت سنج (ADV).

مقدمه

یکی از مسائل مهم در رودخانه های سیلابی و فصلی تخریب بسترهای سیلابی و تخریب فصل مشترک آن با مجرای اصلی رودخانه است. برای جلوگیری از بروز چنین پدیده های استفاده از سازه های حفاظتی نظیر آب شکن، استقرار دایک، و نصب صفحات مستغرق در رودخانه است. سیستم صفحات مستغرق که شکل توسعه یافته پانل های عمقی می باشد برای اولین بار توسط ادگار و کندی در سال ۱۹۸۳ به منظور جلوگیری از فرسایش ساحل خارجی قوس رودخانه مورد استفاده قرار گرفت از آن زمان به بعد از این صفحات در پروژه های مختلفی همچون جلوگیری از تجمع رسوبات در دهانه آبیگر، در نزدیک ایستگاه های پمپاژ و... استفاده شده است. [۱]

این صفحات در عمل، سازه هایی سنگریزه ای کوتاهی می باشند که تقریباً موازی جریان محوری رودخانه و با زاویه کمی نسبت به آن و به شکل پره مانند قرار گرفته و باعث اصلاح مسیر می گردد. ارتفاع آنها در حد بالاتر از سطح متوسط کم آبی ولی کمتر از ارتفاع آب شکن های معمولی می باشد. اهمیت این سازه در این است که در شرایط جریان کم آبی و متوسط، رسوبات در حد فاصل پره ها ته نشست کرده که علاوه بر حفاظت کناره ها، کانال جریان را در مقطع اصلاح شده کنترل می نماید ولی در شرایط سیلابی، کاملاً مستغرق شده و جریان از روی آنها و نیز از میان پره ها می گذرد، لذا مقاومت چندانی در مقابل جریان ایجاد نکرده و تأثیر قابل ملاحظه ای روی افزایش سطح آب نمی گذارد. در واقع این نوع سازه، آب شکن کوتاه و سنگریزه ای است که کاملاً مستغرق طراحی شده است و برای حفاظت دیواره خارجی پیچ ها و یا تثبیت موضعی بستر رودخانه در محل آبیگرها و سراب ها ساخته می شود امتداد آن عموماً عمود بر راستای جریان و یا با زاویه کمی متمایل به پایین دست می باشد و ارتفاع آن در حدود یک سوم عمق جریان خواهد بود. [۲]

تامیناگا در سال ۱۹۹۱ نشان داد که جهت خطوط جریان در نزدیکی فصل مشترک کانال اصلی و بسترهای سیلابی در کانال های مرکب به همانند شکل (۱) می باشد. [۳]

رایت (Wright) و همکاران در سال ۱۹۷۰ با آزمایشاتی ثابت کردند که انتقال اندازه حرکت خطی از سمت کانال اصلی به داخل بسترهای سیلابی موجود است. مکانیزم فیزیکی انتقال اندازه حرکت بصورت حرکات مولکولی و عمود بر جهت جریان، براساس نیروهای بین مولکولی، جریانهای چرخشی در طول دیوار و جریانهای ثانویه می باشد. [۴]

^۱ عضو هیات علمی بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

^۲ دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

همچنین مطالعات جامعی توسط ادگارد و ونگ در سال ۱۹۹۱ مورد بررسی قرار گرفت. این صفحات بسته به زاویه قرارگیری و الگوی جریان، با ایجاد گرداب ثانویه در جریان اطراف خود باعث تغییر در مقدار و جهت تنش برشی و الگوی توزیع سرعت و به تبع آن تغییر روند انتقال رسوب می‌شوند. [۵] بر اساس تحقیقات پترسن در سال ۱۹۸۶ حداکثر تنگ‌شدگی مقطع توسط این سازه نباید از ۳۰ درصد عرض رودخانه تجاوز نماید. [۶] اینک در این پروژه بصورت کاری ابدایی سازه ای با ترکیب دو سازه آبشکن و صفحه مستغرق طراحی گردید که هدفمان حفاظت فصل مشترک بسترهای سیلابی با کانال اصلی در کانال‌های مرکب به منظور کاهش مومنتم انتقالی از کانال اصلی به بسترهای سیلابی و اصلاح مسیر جریان در جهت مطلوب استفاده گردید. هدف دیگر افزایش ظرفیت آبگذری کانال جهت انتقال آب در هنگامی که بسترها سیلابی را آب فرا گرفته باشد که عمده این تأثیر در درون کانال اصلی اتفاق بیافتد. با توجه به این نکته که در شرایط سیلابی رودخانه از حالت کانال ساده به کانال مرکب تغییر می‌کند آنگاه باعث تخریب دیواره های رودخانه می‌شود و نیز اراضی با ارزش و تاسیسات حاشیه رودخانه مورد تهدید قرار می‌گیرد، بنابراین برای جلوگیری از بروز چنین مسائلی ضروری است تا با ساخت مدل فیزیکی در داخل کانالی شبیه به رودخانه‌های واقعی از خطرات احتمالی تا حد امکان کاسته شود.

مواد و روش‌ها

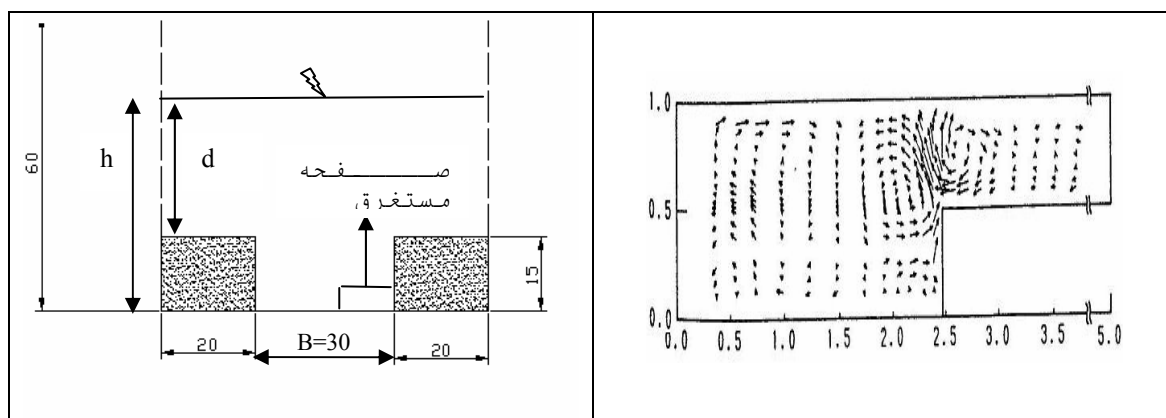
استفاده از تئوری لایه مرزی برای تعیین محل قرارگیری صفحه مستغرق

هرگاه یک صفحه مسطح در معرض جریان سیال قرار گیرد، بر روی آن لایه مرزی تشکیل می‌شود. با توجه به اینکه جریان زمانی کاملاً توسعه یافته است که ضخامت لایه مرزی برابر عمق جریان می‌شود در اینصورت می‌شود فاصله نصب صفحه مستغرق را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) محاسبه نمود.

$$\delta_x = 0.37 x \left(\frac{v}{U_{0x}} \right)^{1/5} = \frac{0.37 x}{\text{Re}_x^{1/5}} \quad (1)$$

براساس رابطه فوق فاصله مورد نیاز برابر ۵/۶۵ متر از ابتدای کانال بدست آمد اما جهت اعمال ضریب اطمینان بالاتر برای انجام آزمایشات، صفحه در فاصله ۱۱ متری از ابتدای کانال نصب گردید.

در این تحقیق کلیه آزمایشات در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز انجام شد. آزمایشات در یک فلوم شیشه ای با شیب طولی ۲ در هزار به طول ۱۵ متر، عرض ۰/۷ متر و عمق ۰/۶ متر با مقطع کانال مرکب انجام شد. در شکل شماره ۱ ابعاد کانال مرکب نشان داده شده است. جریان آب درون فلوم توسط یک کنتور الکترونیکی و یک سرریز مثلثی شکل با زاویه راس ۹۰ درجه که قبلاً کالیبره شده بود اندازه‌گیری می‌شد. برای کنترل عمق جریان از یک دریچه کشویی در انتهای فلوم استفاده شد.



شکل (۱) - جریانات ثانویه در فصل مشترک بستر سیلابی و کانال اصلی در کانال مرکب (تامیناگا، ۱۹۹۱)

شکل (۲) - ابعاد کانال مرکب (بر حسب cm)

در این تحقیق از یک صفحه مستغرق، نفوذناپذیر و با زاویه ی ۹۰ درجه نسبت به دیواره‌ی کانال استفاده گردید. مشخصات هندسی صفحه، ضخامت ۲ میلی‌متر و طول و عرض برابر ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد درصد تنگ‌شدگی مقطع توسط سازه برابر ۱۶/۶۷ درصد می‌باشد. بر اساس جدول شماره ۱، شرایط هیدرولیکی آزمایشات، آزمایشات در شرایط آشفته و زیر بحرانی انجام گردید. سپس با یک شبکه‌بندی مناسب تقریباً ۵۰۰ نقطه بطور متوسط در هر آزمایش شروع به داده‌برداری کردیم. جهت اندازه‌گیری سرعت از دستگاه سرعت سنج سه بعدی (Micro-ADV) استفاده شد.



جدول (۱) - شرایط هیدرولیکی آزمایشات

شماره آزمایش	عمق جریان در کانال اصلی h (m)	عمق جریان بر روی بستر سیلابی d (m)	نسبت d/H	سرعت متوسط (m/sec)	دبی (lit/sec)	عدد رینولدز	عدد فرود	رژیم جریان
۱	۰/۲۵	۰/۱	۰/۴	۰/۴۷۸	۵۵	۴۵۸۳۳	۰/۳۷۷	زیر بحرانی-آشفته
۲	۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۳۷۵	۰/۵۱	۵۵	۴۶۶۱۰	۰/۴۱۴	زیر بحرانی-آشفته
۳	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۳۵	۰/۵۴	۵۵	۴۷۴۱۳	۰/۴۵۷	زیر بحرانی-آشفته
۴	۰/۲۱۴	۰/۰۶۴	۰/۳	۰/۶۱	۵۵	۴۸۷۵۸	۰/۵۴۶	زیر بحرانی-آشفته
۵	۰/۱۸۸	۰/۰۳۷	۰/۲	۰/۷۷	۵۵	۵۱۱۶۲	۰/۷۷۲	زیر بحرانی-آشفته

طبق جدول نسبت های d/H طوری انتخاب گردید که سرعت سنج قادر به برداشت یکسری از نقاط در فصل مشترک کانال اصلی و بسترهای سیلابی باشد بر اساس مطالعات سایر محققین حساس ترین محدوده برای نسبت d/H در کانال مرکب ۰/۱ تا ۰/۴ می باشد.

تحلیل نتایج

۱-۳- آنالیز سرعت: در این مرحله پس از اندازه گیری سرعت با دستگاه سرعت سنج سه بعدی A.D.V، اعداد در یک شبکه منظم بطوریکه تمام نقاط اطراف صفحه را پوشش دهد، برداشت شد. بعد از برداشت نقاط داده‌ها با نرم افزار Win Adv و Burst داده‌ها برای آنالیز میانگین گیری شده به اینصورت که داده‌های سرعت را به سرعت های لحظه‌ای تبدیل کرده و آنالیزها را با آنها انجام می دهیم. نوسانات سرعت (v', u', w') بوسیله تغییرات میانگین سرعت لحظه‌ای در سه راستای افقی، عرضی و عمودی بدست می‌آید که به صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$u' = u - \bar{u} \quad (۲)$$

$$v' = v - \bar{v} \quad (۳)$$

$$w' = w - \bar{w} \quad (۴)$$

که u, v, w به ترتیب سرعت‌های لحظه‌ای در راستای افقی، عمودی و عرضی و u', v', w' نوسانات سرعت لحظه‌ای در راستای افقی، عمودی و عرضی می‌باشند. میانگین سرعت‌های لحظه‌ای از روابط زیر بدست می‌آید (که در این روابط n تعداد نمونه‌هاست):

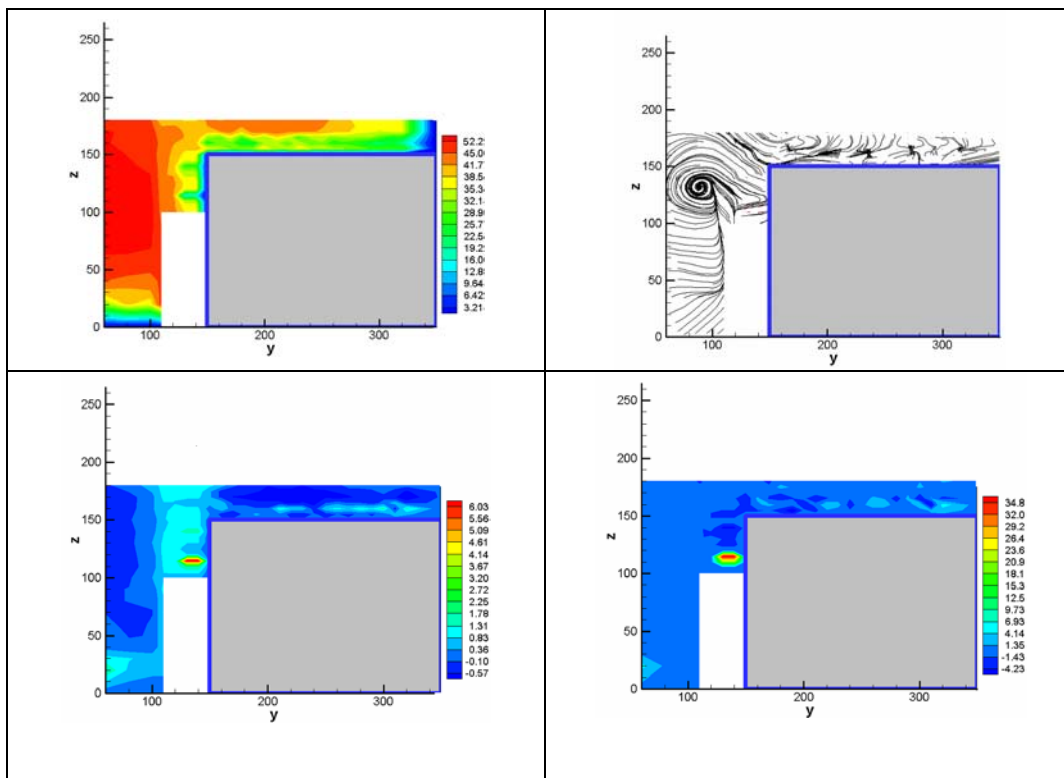
$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (۵)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (۶)$$

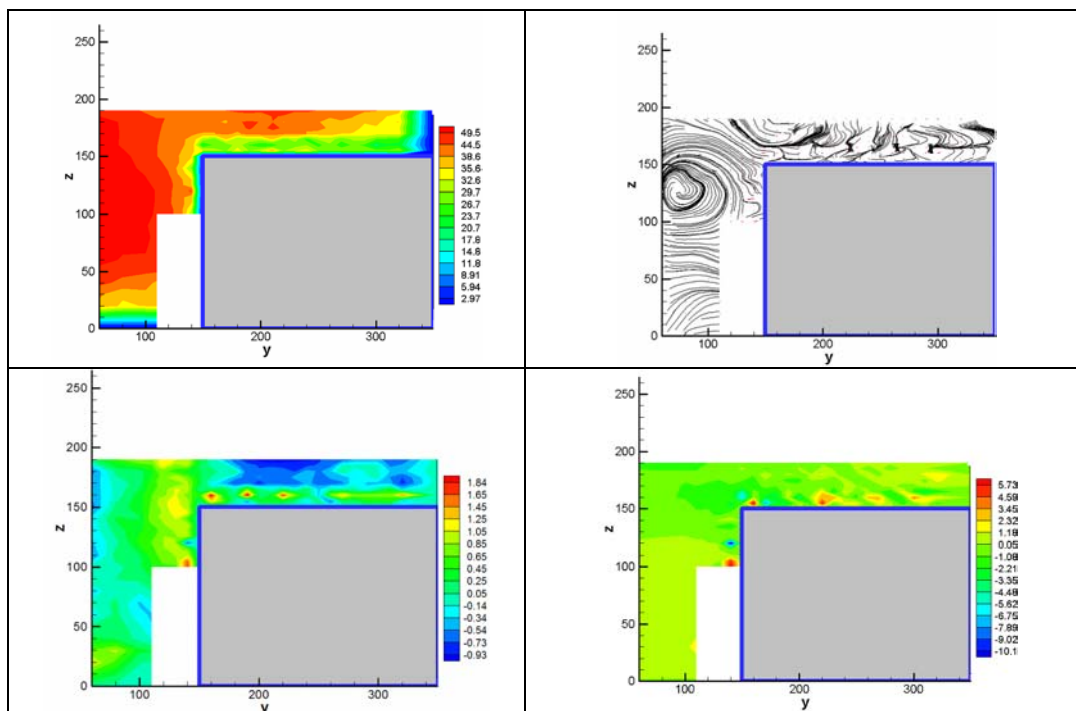
$$\bar{w} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i \quad (۷)$$

بعد از تهیه نوسانات سرعت برای تمام نسبت های d/H در دو حالت با صفحه و بدون صفحه خطوط جریان با استفاده از v و w و نیز کانتورهای سرعت در هر سه جهت با نرم افزار Tecplot 8 رسم گردید. در شکل های ۵، ۴، ۳ و ۶ به عنوان نمونه تنها برای دو نسبت d/H برابر ۰/۳۷۵ و ۰/۴ خطوط جریان و کانتورهای سرعت آورده شده است. با رسم خطوط جریان ناحیه چرخشی بطور کامل رویت گردیده است با توجه به نتیجه آزمایشات و مقایسه با نتیجه کار تأمیناگا صحت آزمایشات به درستی مشخص می‌شود.

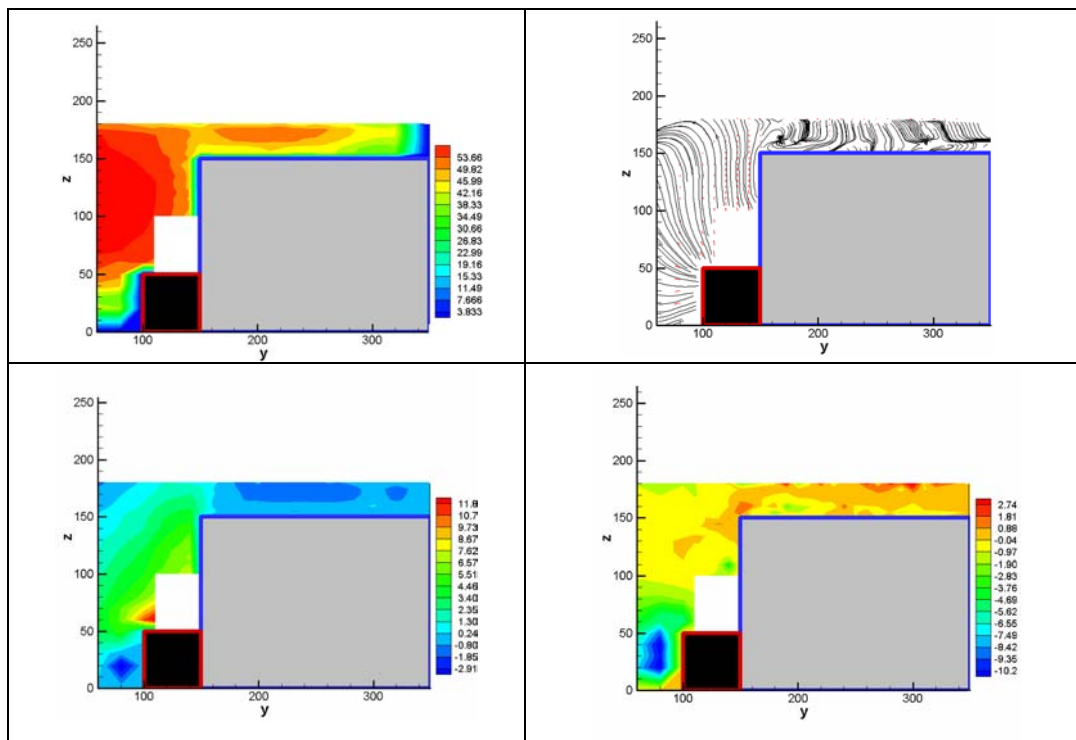
در حالی که صفحه در کانال قرار ندارد با توجه به خطوط جریان های رسم شده در کلیه نسبت‌های d/H ورتکسی در نزدیکی فصل مشترک کانال اصلی و بسترهای جانبی تشکیل شده است که این ورتکس قادر به تخریب این منطقه می‌باشد ولی بعد از کارگذاری صفحه در کانال اصلی این ورتکس حذف گردیده است و خطوط جریان به سمت مرکز کانال متمایل می‌شود و از قدرت تخریب دیواره‌های کانال و فصل مشترک کاسته می‌شود. با توجه به کانتورهای سرعت رسم شده در جهت جریان این صفحه تقریباً هیچ تأثیری بر آن ندارد و تنها در ناحیه نصب آن کمی باعث افزایش سرعت می‌شود که این گرادبان سرعت در این منطقه قابلیت کف‌کنی داشته بنابراین برای آن قسمت می‌توان در صورت لزوم تدابیری از قبیل نصب کف بند اندیشید. در مورد کانتورهای سرعت در جهت عرض هم می‌توان بیان کرد که صفحه باعث تغییر جهت بردارهای سرعت در نزدیکی صفحه و فصل مشترک کانال اصلی و بستر سیلابی می‌گردد اما در مقدار آن در کل تغییری ایجاد نمی‌گردد. اما در مورد کانتور سرعت در جهت عمق می‌توان گفت در منطقه نصب صفحه در کانال اصلی بردارهای سرعت تغییر جهت داده و به سمت بالا متمایل می‌شوند.



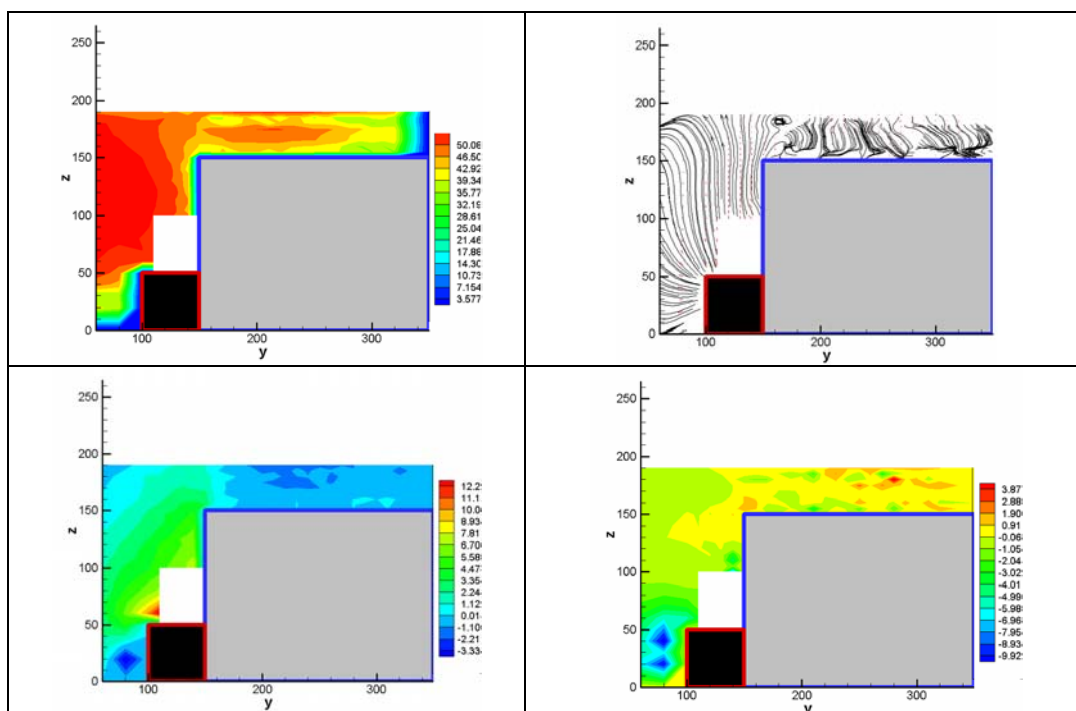
شکل ۳- از راست به چپ، خطوط جریان و کانتور سرعت در جهت افقی، عرضی و قائم برای نسبت $d/H=0/375$



شکل ۴- از راست به چپ- خطوط جریان و کانتور سرعت در جهت افقی، عرضی و قائم برای نسبت $d/H=0/4$



شکل ۵- از راست به چپ- خطوط جریان و کانتور سرعت در جهت افقی، عرضی و قائم برای نسبت $d/H=0/375$ در حضور صفحه



شکل ۶- از راست به چپ- خطوط جریان و کانتور سرعت در جهت افقی، عرضی و قائم برای نسبت $d/H=0/4$ در حضور صفحه

ضرایب α و β

در این بخش حال ضرایب انرژی و مقدار ضریب مومنتم را محاسبه می نماییم و تأثیر صفحه را بر این ضرایب بررسی می کنیم اما مقدار ضریب انرژی اینگونه محاسبه خواهد شد:

$$\alpha = \frac{\int V^3 dA}{V^3 A} \approx \frac{\sum V^3 dA}{V^3 A} \quad (8)$$

می توان مقدار ضریب مومنتم عبوری کل را بصورت زیر بیان کرد:

$$\beta = \frac{\int V^2 dA}{V^2 A} \approx \frac{\sum V^2 dA}{V^2 A} \quad (9)$$

و سرعت متوسط در مخرج کسر بصورت زیر بدست می آید:

$$V = \frac{1}{A} \int V dA \approx \frac{1}{A} \sum V_i dA \quad (10)$$

برای مقایسه مقادیر ضرایب با یکدیگر در نسبت های مختلف، مجبوریم که یک سطح مقطع مشترک را برای محاسبه ضرایب در نظر بگیریم.

جدول ۲- مقادیر α و β برای یک سطح مقطع مشترک در کانال مرکب در نسبت های مختلف d/h

ratio	Without submerged vane	With submerged vane	Without submerged vane	With submerged vane
d/h	α	α	β	β
0.3	1.117304031	1.112356	1.053237	1.051524
0.35	1.095838465	1.097395	1.034463	1.035307
0.375	1.081485637	1.057852	1.029696	1.02048
0.4	1.07709874	1.043719	1.027926	1.014889

مشاهده می شود که با افزایش نسبت های d/H از میزان ضرایب کاشته می شود ولی این کاهش در مورد ضریب α نسبت به ضریب β محسوس تر می باشد. می توان گفت که با قرار گیری صفحه در داخل کانال اصلی از مقادیر ضرایب انرژی و مومنتم در روی بسترهای سیلابی کاسته می شود و نیز تغییرات شان منظم تر می شود و با کاهش آنها و نزدیک شدن به مقدار یک به کانال ساده و سطح مقطع منظم نزدیک می شود در نتیجه توزیع سرعت یکنواخت تر می شود.

انتقال اندازه حرکت

در این قسمت مقدار اندازه حرکت جاری شده در مقطع برای فصل مشترک کانال اصلی و بسترهای جانبی محاسبه گردیده است. با محاسبه مومنتم کل عبوری از فصل مشترک بین کانال اصلی و بستر جانبی در دو حالت با صفحه و بدون صفحه بصورت درصد برای سرعت در جهت عرضی و نیز با جهت آنها آورده شده است.

جدول ۳- درصد کاهش مومنتم در کانال مرکب با نصب صفحه در کانال اصلی

Ratio d/H	Q (lit/sec)	Momentum Reduction (%)	Direction momentum
0.35	55	94.32	Main channel to flood plain
0.375	55	94.37	Main channel to flood plain
0.4	55	93.65	Flood plain to Main channel

انرژی جنبشی

انرژی جنبشی از نوسانات سرعت های لحظه ای در هر یک از راستا بصورت مستقل بدست آورد که به شرح زیر بدست می آید.

$$k_x = 0.5(u'^2) \quad (11)$$

$$k_y = 0.5(v'^2) \quad (12)$$



$$k_z = 0.5(w'^2) \quad (۱۳)$$

در جدول (شماره ۴) درصد کاهش مقادیر انرژی جنبشی را که به خاطر صفحه نصب می باشد را ببینید، مشاهده می شود که با کارگذاری صفحه از مقدار انرژی جنبشی در هر سه راستا کاسته می شود بنابراین از قدرت تخریب فصل مشترک بسترهای سیلابی با کانال اصلی با نصب صفحه کاسته می شود.

جدول ۴- درصد کاهش مقادیر انرژی جنبشی در کانال مرکب در حضور صفحه

Ratio d/H	Q (lit/sec)	Reduction kx %	Reduction ky %	Reduction kz %
0.35	55	60	55.1	49.8
0.375	55	79	83.4	59.55
0.4	55	93.2	92.6	65.34

نتیجه گیری

با قرارگیری صفحه مستغرق در داخل کانال اصلی از مقدار انتقال مومنتم و انرژی جنبشی در جهات مختلف بر روی سیلاب دشت ها به میزان قابل توجهی کاسته می شود همچنین خطوط جریان از سمت فصل مشترک کانال اصلی و سیلاب دشت ها به سمت مرکز کانال متمایل می گردد و از خطر تخریب دیواره های فرسایش پذیر کاسته می شود. بطور کلی از مقدار ضریب انرژی α و ضریب مومنتم β بر روی بسترهای سیلابی کاسته می شود که باعث یکنواخت تر شدن توزیع سرعت و به عبارت دیگر نزدیک شدن مقطع به کانال ساده می گردد. با توجه به اینکه در حال حاضر بسیاری با در نظر نگرفتن حریم رودخانه در نزدیکی آن اقدام به ساخت و ساز و نیز زراعی نمودن این اراضی نموده اند، می توانند با ساخت این سازه با مصالح رودخانه ای از میزان خسارات وارده در هنگام پرابی رودخانه بکاهند. در بعضی موارد خاص به ناچار نیاز به انتقال خطوط آبرسانی، گاز رسانی و ارتباطاتی در مسیر رودخانه می شویم. با استفاده از این سازه می توان با ضریب اطمینان بیشتری نسبت به این انتقال اقدام نمود.

تشکر

در پایان نگارندگان این مقاله برخود لازم می دانند از دوستان عزیز آقایان دکتر شامحمدی، دکتر حسن پور و دکتر طباطبایی اعضاء محترم هیات علمی گروه مهندسی آب دانشگاه زابل تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

1. Odgaard, A. J., and Kenndey, J. F. (1983). River-bend bank protection by submerged vanes. *Journal of hydraulic engineering*, ASCE, 109(8), pp. 1161-1173.
2. Charlton, F. G. (1982). "River Stabilization and Training in Gravel-Bed Rivers." in Hey, R. D., Bathurst, J. C., Thorne, C. R. (Eds). *Gravel-Bed Rivers: Fluvial Processes, Engineering and Management*. John Wiley and Sons, Chichester.
3. Tominaga, A. and Nezu, J. (1991). "Turbulent structure in compound open channel flow". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117, No 1. pp. 21-41
4. Wright, R. R. and Carstens, M. R. (1970). "Linear momentum flux to over bank sections." *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 96(9), pp. 1781-1793.
5. Odgaard, A. J., and Wang, Y. (1991). Sediment management with submerged vanes. *Journal of hydraulic engineering*, ASCE, 117(3).
6. Peterson M.S, (1986), River engineering. Prentice Hall. Englewood Cliffs, printed in U.S.A