

بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در آبگیر جانبی با استفاده همزمان از صفحات مستغرق و آبشکن در بسترهای آبرفتی

سعید گوهری، سید علی ایوبزاده*، مسعود قدسیان و سید علی اکبر صالحی نیشابوری**

* نوازنده مسئول، نشانی: تهران، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ص. پ. ۴۸۳۸-۱۴۱۵۵، تلفن: ۴۴۱۹۴۹۱۱ (۰۲۱).

پایانکار: ayyoub@modares.ac.ir

** به ترتیب استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا؛ دانشیار گروه مهندسی سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس؛ استادان گروه

مهندسی عمران دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۶

چکیده

جریان عبوری از آبگیرها و تقاطع کانال‌ها کاملاً آشفته و سه بعدی است. جریان رسوب در داخل کانال اصلی و شکل فرم بستر تحت تأثیر الگوی جریان در دهانه آبگیر است. در این تحقیق به طور همزمان از دو سازه آبشکن و صفحات مستغرق در جلوی آبگیر استفاده شده است. ورود رسوب به آبگیر و الگوی جریان در اطراف آن، با وجود صفحات مستغرق و آبشکن در ساحل مقابل آبگیر، مطالعه شده است. قسمت عمده جریان وارد شده به آبگیر از لایه‌های پایینی جریان در کانال اصلی تأمین می‌شود که دارای غلظت بیشتری از رسوبات است. صفحات با ایجاد جریان چرخشی و دور کردن رسوبات از دهانه آبگیر باعث کاهش حجم رسوبات ورودی به آبگیر می‌شود. ابعاد، تعداد، و آرایش صفحات بر اساس آنچه توصیه شده است در طراحی به کار گرفته شده است. به منظور هدایت جریان به سمت آبگیر و افزایش کارایی صفحات، از آبشکن در ضلع مقابل آبگیر استفاده شده است. موقعیت سازه آبشکن، زاویه قرارگیری آن نسبت به جریان و طول آن در آزمایش‌های کنترل رسوب بهینه تشخیص داده شده است. الگوی جریان برای سه نسبت انحرافی ۱۳، ۱۸ و ۲۴ درصد بررسی شده است. طول آبشکن به کار رفته در الگوی جریان (L_D/B) ۰/۲۵، فاصله آبشکن از مقابل آبگیر، (L_1/b) ۲، و زاویه آن با جریان در کانال اصلی ۴۵ درجه بوده است. عمق جریان با عمق سنج نقطه‌ای و سرعت جریان با سرعت سنج صوتی برداشت شده است. پس از رسیدن بستر به تعادل دینامیکی، بستر کانال اصلی با روش‌های مناسب صلب شده است به طوری که امکان حرکت رسوبات پس از برقراری جریان وجود نداشته باشد. سرعت سه بعدی جریان در ۵ نقطه از عمق اندازه‌گیری شده است. طول ناحیه جدایی جریان در داخل آبگیر با افزایش دبی انحرافی به آبگیر کاهش پیدا می‌کند. با نصب آبشکن در مقابل آبگیر، عرض خط جدایی جریان در کف کاهش و در سطح افزایش می‌یابد که با این عمل، ناحیه تحت تأثیر آبگیر در کف کاهش یافته و مقدار ورود رسوبات به آبگیر کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

آبشکن، آبگیر جانبی، الگوی جریان، صفحات مستغرق، کنترل رسوب

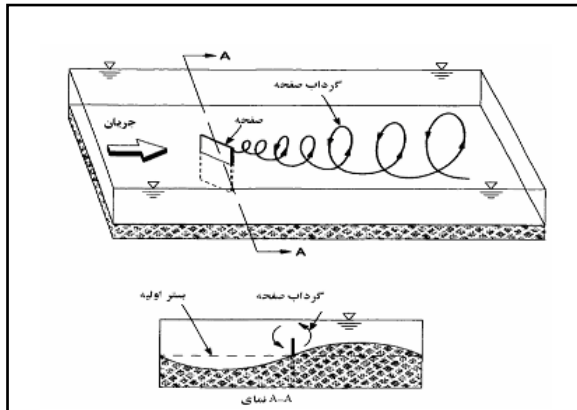
مقدمه

یافته‌های این محققان، با افزایش نسبت انحراف جریان (نسبت دبی در کانال آبگیر به کل دبی)، عرض ناحیه گردابی کم و بر طول آن افزوده می‌شود. علاوه بر آن، برای نسبت دبی ۰/۶۴ علاوه بر گردابه داخل آبگیر، ناحیه چرخشی دیگری در داخل کانال اصلی و در مقابل دهانه آبگیر تشکیل می‌شود که محققان علت تشکیل این ناحیه

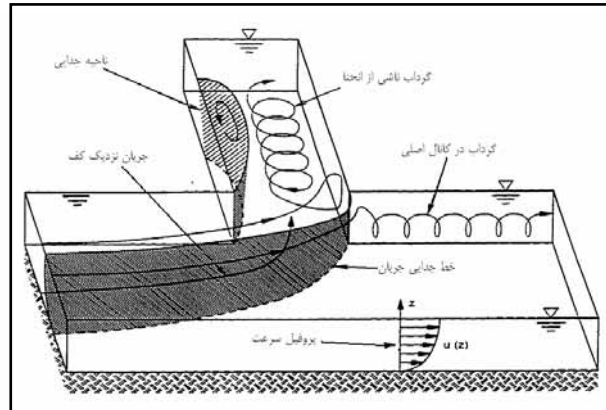
جریان در مقابل آبگیر، پیچیده و کاملاً سه بعدی است (شکل ۱). نییری و همکاران (Neary et al., 1999) مدل عددی سه بعدی جریان در حالت لایه‌ای روی انشعابی ۹۰ درجه در کانالی با مقطع مستطیلی را توسعه دادند و با نتایج آزمایشگاهی صحت‌یابی کرده‌اند. بر اساس

بررسی آزمایشگاهی، راه کارهای مختلف برای افزایش q_r و حفظ کارایی صفحات مستغرق، دو راه حل مناسب شناخته شد، یکی قراردادن دیواره جانبی در کنار صفحات مستغرق و دیگری عریض کردن ورودی آبگیر (Barkdoll *et al.*, 1999). جانسون و همکاران (Johnson *et al.*, 2001)، برای صفحات مستغرق زاویه ۳۰-۲۵ درجه را برای تولید بیشینه جریان ثانویه توصیه کرده‌اند. مارلیوس و سینها (Marelius & Sinha, 1998) نشان دادند که زاویه ۴۰ درجه برای تک صفحه نصب شده بیشینه جریان چرخشی را تولید می‌کند، هر چند مقدار آبشستگی اطراف صفحه نیز افزایش می‌یابد. امام نشان داد که اثر صفحات تا فاصله $H_V = 2.5 H_V$ (ارتفاع صفحات) در پایین دست آخرین صفحه ادامه دارد (Emam, 1995). سلیمانی اسبویی (Solaymani Osbooei, 1996) کاربرد صفحات مستغرق را در مسیر مستقیم رودخانه‌ها و تأثیر آرایش و شکل صفحات را بر تغییرات مرفولوژی بستر رودخانه بررسی کرد و نشان داد که با افزایش دبی و سرعت جریان، کارایی صفحات در کنترل رسوبات افزایش می‌یابد. قلانی (Ghalani, 1998) زاویه ۱۸ درجه صفحات، زاویه بهینه در کنترل رسوبات می‌داند. ساجدی سابق و حبیبی (Sajedi Sabegh & Habibi, 2003) تأثیر کاربرد توام صفحات مستغرق و مجموعه آبشکن‌ها را در افزایش راندمان آبگیری بررسی کردند و نشان دادند با کاربرد توام صفحات مستغرق و مجموعه آبشکن‌ها ورود رسوبات به آبگیر کاهش می‌یابد. عباسی (Abbasi, 2003)، به کارگیری توام آستانه و صفحات را روش مناسبی برای کنترل رسوب معرفی می‌کند و نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود جریان مقدار رسوب وارد شده به آبگیر کاهش می‌یابد. حسن‌پور (Hassanpour, 2006)، کاربرد صفحات مستغرق مرکب و آستانه را تنها برای نسبت انحراف بسیار پایین جریان توصیه کرده و نشان داده است که با افزایش عدد فرود، صفحات بهتر عمل می‌کنند.

را مکش شدید اعمالی از طرف آبگیر به جریان داخل کانال اصلی و در نتیجه جدایی جریان از دیواره سمت راست می‌دانند (Neary & Sotiropoulos, 1996). رامامورتی و همکاران (Ramamurthy *et al.*, 2007) با مطالعه آبگیری با زاویه ۹۰ درجه از کانال مستقیم نشان دادند که با افزایش نسبت انحراف جریان، طول و عرض ناحیه جدایی جریان در کانال آبگیر کاهش می‌یابد. همچنین، وسعت ناحیه جدایی در کانال آبگیر در کف کمتر از سطح است، و بیشینه سرعت جریان در کانال آبگیر در فاصله‌ای به اندازه عرض کانال آبگیر در پایین دست آبگیر رخ می‌دهد که در این مکان بیشینه تنگ شدگی جریان دیده می‌شود (Ramamurthy *et al.*, 2007). سو و همکاران (Hsu *et al.*, 2002) با مطالعه کانال آبگیر هم عرض با کانال اصلی در زاویه آبگیر ۹۰ درجه از کانال مستقیم نشان دادند که با افزایش نسبت دبی انحرافی، نسبت عمق جریان در بالادست آبگیر به عمق جریان در پایین دست آبگیر در کانال اصلی، افزایش می‌یابد و این نسبت با کاهش عدد فرود افزایش می‌یابد. صفحات مستغرق نیز به دو منظور استفاده می‌شوند یکی کنترل فرسایش سواحل (Odgaard & Wang, 1991a; Voisin & Townsend, 2002) و دیگری جلوگیری از ورود بار بستر به درون آبگیر (Odgaard & Wang, 1991a; Wang *et al.*, 1996; Nakato & Odgen, 1998; Barkdoll *et al.*, 1999). اساس عملکرد صفحات، تولید جریان ثانویه است (شکل ۲) که این جریان به سمت پایین دست، توسعه پیدا می‌کند و باعث تغییر در توپوگرافی بستر می‌شود. راه کارهای افزایش کارایی صفحات مستغرق را بارکدول و همکاران (Barkdoll *et al.*, 1999) بررسی کرده‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که شدت رسوبات ورودی بستر به داخل آبگیر پس از نصب صفحات مستغرق زمانی می‌تواند ناچیز باشد که نسبت دبی واحد عرض آبگیر به دبی واحد عرض کانال اصلی (q_r)، کمتر از حدود ۰/۲ باشد. پس از



شکل ۲- نحوه تولید جریان ثانویه توسط صفحات



شکل ۱- شمای جریان در مقابل آبگیر (Neary et al., 1999)

آبشستگی به آبشکن با زاویه ۱۳۵ درجه تعلق دارد. آبشکن‌هایی که به سمت بالادست متمایل باشند، معمولاً موجب انحنای بیشتری در جریان اصلی می‌شوند (Garde et al., 1961). از نظر قدرت انحراف جریان، زاویه مناسب اتصال آبشکن با ساحل باید بیش از ۹۰ درجه (۱۰۰-۱۱۰ درجه) باشد. اتما و ماست (Ettema & Muste, 2004) تأثیر مقیاس را بر جریان اطراف آبشکن مطالعه کردند و با ساخت مدل فیزیکی در ابعاد مختلف نشان دادند که الگوی خط‌القعر و ناحیه جدایی جریان با مقیاس مدل تطابق ندارد. باربویا و دی (Barbhuiya & Dey, 2004) با مطالعه آشفتگی جریان در اطراف یک آبشکن در دیواره کانال نشان دادند که سرعت جریان و تنش برشی در اطراف آبشکن به ترتیب ۱/۶ و ۳/۳ برابر مقادیر بالادست آبشکن است.

شناخت الگوی جریان در اطراف آبگیر با بستر رسوبی به همراه روش‌های کنترل رسوب کمتر مورد توجه بوده است. در این تحقیق، مطالعه الگوی جریان در اطراف آبگیر با بستر ثابت شده رسوبی مورد توجه بوده است. همچنین، با استفاده همزمان از صفحات مستغرق و هدایت جریان توسط آبشکن، سعی شده است در نسبت‌های بالای انحراف جریان نیز از میزان رسوبات ورودی به آبگیر کاسته شود.

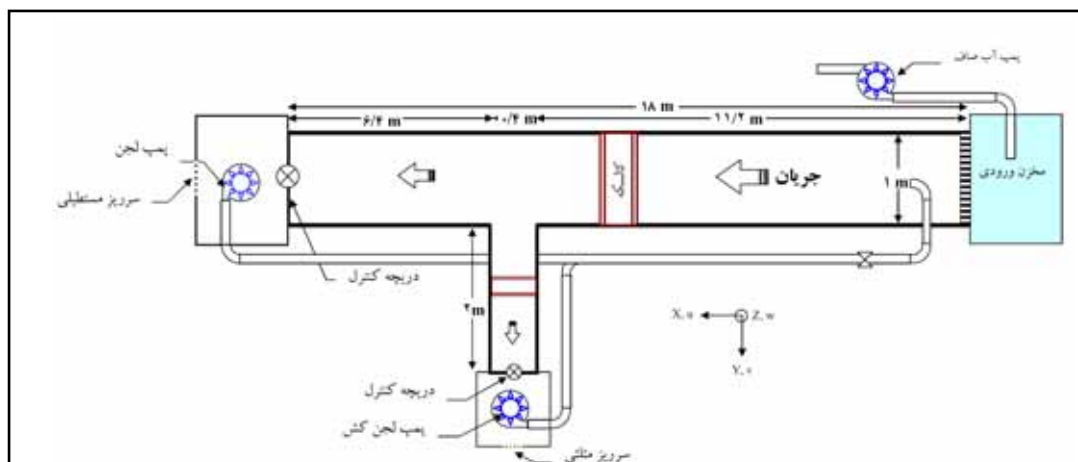
تحقیق‌های روی آبشکن‌ها در برگرفته پارامترهایی چون موقعیت تاج آبشکن‌ها، زاویه آبشکن با ساحل، شیب کناره‌ها، تأثیر طول و فاصله آبشکن، محل قرارگیری اولین آبشکن، و فرسایش پای دماغه آبشکن‌هاست. آبشکن‌های متمایل به پایین دست انقباض کمتری در جریان ایجاد می‌کنند و با کاهش تنش برشی بستر، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد (Melville, 1992). از سوی دیگر، به لحاظ قدرت جریان و رسوب‌گیری، آبشکن‌هایی که متمایل به بالادست هستند عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند (Ahmad, 1953). ملویل و کلمن (Melville & Coleman, 2000) برای مقادیر مختلف نسبت طول سازه به عمق جریان (L_D/h)، اثر زاویه اتصال آبشکن (α) به جداره را بررسی کردند و نشان دادند هنگامی که نسبت (L_D/h) بزرگتر یا مساوی ۳ باشد با افزایش زاویه α از ۳۰ به ۱۵۰ درجه، افزایشی در حدود ۲۰ درصد در حداکثر عمق آبشستگی ایجاد می‌شود و اگر این نسبت کوچکتر از یک باشد، زاویه اتصال به جداره حداکثر عمق آبشستگی ندارد. کونل و همکاران (Kuhnle et al., 1999) نشان دادند که برای آبشکن‌هایی با زاویه‌های ۴۵، ۹۰، و ۱۳۵ درجه با دو نسبت تنگ‌شدگی ۰/۱۲۵ و ۰/۲۵ در یک کانال آزمایشگاهی، کمترین فرسایش بستر در ناحیه نزدیک جداره به آبشکن با زاویه ۹۰ و بزرگترین حجم

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی

رسوب در هر دو قسمت کانال اصلی و آبگیر است و جریان خروجی از آبگیر و کانال اصلی را با بار رسوبی به ابتدای کانال اصلی بر می‌گرداند. عرض کانال آبگیر ۴۰ سانتی‌متر است که با زاویه انحراف ۹۰ درجه نسبت به کانال اصلی نصب شده است. رسوبات از جنس پودر سیلیس با قطر متوسط ۱ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ۱/۱ در نظر گرفته شده است. از رسوبات حمل شده در کانال اصلی و کانال آبگیر با سبدهای توری نمونه‌گیری می‌شود. قطر توری‌ها به منظور جلوگیری از عبور رسوبات، کوچکتر از اندازه رسوبات در نظر گرفته شده است.

به منظور اجرای آزمایش‌های مورد نظر، کانال مناسبی به طول ۱۸، پهنای یک و ارتفاع یک متر طراحی و ساخته شده است. جداره‌های این کانال شفاف و از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۱ سانتی‌متر ساخته شده است تا جریان در آن قابل مشاهده باشد. شیب این کانال ثابت و ۰/۰۰۲، بیشینه جریان قابل تنظیم ۱۲۰ لیتر در ثانیه می‌باشد. به منظور مشاهده پروفیل جریان در کل طول کانال، پیژومترهایی در کف آن تعبیه شده است. این کانال دارای سیستم چرخشی



شکل ۳- کانال آزمایشگاهی و اجزای آن

عرضی ۱۰×۱۰ سانتی‌متر برداشت شده است. اندازه‌گیری‌های سرعت در هر نقطه به مدت یک دقیقه با فرکانس ۲۰۰ هرتز (نمونه در ثانیه) بوده است. عمق جریان با عمق سنج مدرج و با دقت ۰/۱ میلی‌متر برداشت شده است. همزمان، برای تعیین تراز سطح آب از تابلو پیژومترها استفاده شده است. ابعاد فرم بستر با بستر نگار خودکار^۲ با دقت ۱ میلی‌متر در فواصل طولی ۵ سانتی‌متر و فواصل عرضی ۱۰ سانتی‌متر در محدوده صلب شده از کانال اصلی به دست آمده است.

صفحات مستغرق، در محدوده توصیه شده برابر جدول ۱ به کار رفته است. دو ردیف صفحه موازی با دیواره کانال و در مجموع شش ردیف دوتایی صفحه مستغرق انتخاب شده است. طول آبشکن (L_D) به کار رفته ۲۵ سانتی‌متر، فاصله آن از خط مرکزی آبگیر (L_I) ۸۰ سانتی‌متر، و زاویه آن با جهت جریان در کانال اصلی ۴۵ درجه بوده است. سرعت سه بعدی جریان (u, v, w)، با سرعت سنج سه بعدی و کترینو^۱ در ۵ نقطه از عمق جریان ($0/2, 0/35, 0/5, 0/65, 0/8$) و در شبکه طولی و

جدول ۱- ابعاد صفحات مستغرق به کار رفته در آزمایش‌ها

پارامتر	زاویه صفحات با جریان (β) (درجه)	ارتفاع نسبی صفحات مستغرق* ($\frac{H_v}{h}$)	طول نسبی صفحات ($\frac{L}{H_v}$)	فاصله طولی بدون بعد	فاصله عرضی بدون بعد	فاصله بدون بعد صفحات از دیواره
محدوده توصیه شده	۱۵-۴۵	۰/۲-۰/۵	۲-۳	۸-۱۰	۲-۳	۳
مقدار به کار رفته	۲۰°	۰/۳	۳	۸	۳	۳

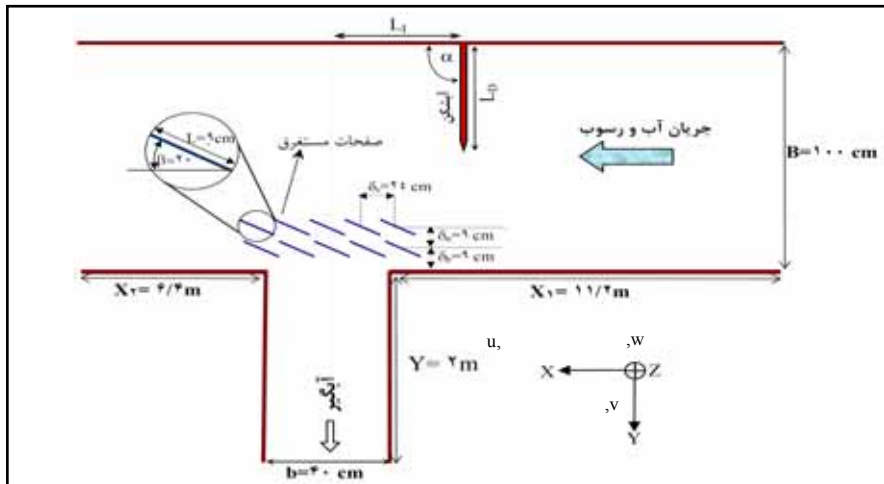
* در آزمایش‌ها ارتفاع صفحات مستغرق (H_v) برابر ۳ سانتی‌متر و ارتفاع آب (h) برابر ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

ضخامت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. سطح رسوبات به وسیله تسطیح کننده در ابتدای کلیه آزمایش‌ها صاف و اشباع می‌شود و سپس با وارد کردن جریان و تنظیم عمق مناسب آزمایش‌ها شروع می‌شود. اندازه‌گیری‌ها و ثبت داده‌ها بعد از به تعادل رسیدن جریان آب و رسوب انجام می‌شود. زمان تعادل حالتی فرض شده است که در آن مجموع مقدار رسوبات وارد شده به ابتدای کانال اصلی از دو مسیر کانال آبگیر و انتهایی کانال اصلی ثابت شده باشد. این کار با نمونه‌گیری در هر دو مسیر در فواصل زمانی مختلف انجام شده است. از آنجایی که حرکت رسوبات در کانال اصلی به شکل موج‌های ماسه^۱ است، خروج رسوبات از انتهای کانال اصلی و کانال آبگیر با شدت یکنواخت نخواهد بود. شکل و ابعاد فرم بستر هم در تعیین زمان تعادل لحاظ شده است. بعد از رسیدن جریان رسوب به تعادل دینامیکی، به منظور برداشت الگوی جریان، بستر متحرک تثبیت شده است. برای این منظور پس از به تعادل رسیدن جریان رسوب، و قطع جریان اصلی، دریچه‌های انتهایی کانال اصلی و کانال آبگیر بسته و آب موجود در داخل کانال اصلی و کانال آبگیر به آرامی به داخل مخزن با سیفون تخلیه می‌شود. پس از آن، پروفیل بستر به کمک بستر نگار برداشت شده است. در تثبیت بستر از چسب بتن استفاده شد. محدوده تثبیت شده شامل ۵ متر در کانال اصلی (۲/۵ متر بالادست کانال آبگیر و ۲/۵ متر پایین‌دست کانال آبگیر) به همراه کانال آبگیر بوده است. در تثبیت بستر شکل فرم بستر و زبری ذرات ماسه بدون تغییر باقی مانده است.

از آنجاکه تعداد پارامترهای مؤثر در ورود رسوبات بار بستر به دهانه آبگیر زیاد است، برای بدون بعد کردن پارامترها و تعیین روند آزمایش‌ها استفاده می‌شود. با استفاده از روش آنالیز ابعادی از روش آنالیز ابعادی π باکینگهام با توجه به پارامترهای مؤثر در پدیده یک سری گروه بدون بعد تشکیل و با اجرای یک سری محاسبه، روابط بدون بعد ایجاد می‌شود. پس از حذف پارامترهای ثابت و انجام دادن محاسبات مربوطه، رابطه بدون بعد به صورت زیر تعیین شد:

$$g_r = f(Q_r, \frac{L_D}{B}, \frac{L_I}{b}, \alpha) \quad (1)$$

که در آن، g_r = نسبت رسوبات ورودی به کانال آبگیر به رسوبات ورودی به ابتدای کانال اصلی؛ Q_r = نسبت دبی انحرافی کانال آبگیر به کانال اصلی؛ L_D = طول آبشکن؛ B = عرض کانال اصلی؛ L_I = فاصله آبشکن از خط مرکزی کانال آبگیر؛ B = عرض کانال آبگیر؛ و α = زاویه قرارگیری آبشکن با جهت جریان در کانال اصلی است (شکل ۴). کلیه آزمایش‌ها در دبی ثابت ۵۶ لیتر در ثانیه انجام شده است. نسبت‌های آبگیری ۱۳، ۱۸، و ۲۴ درصد از کل جریان در کانال اصلی مورد استفاده قرار گرفته است. آبگیر در محدوده ۱۱/۴ تا ۱۱/۸ متری از ابتدای کانال اصلی قرار دارد. با تنظیم دریچه کشوی در پایین‌دست کانال اصلی و دریچه کشوی در کانال آبگیر امکان ایجاد عمق مناسب در کانال اصلی، و انحراف بخشی از جریان فراهم شده است. سطح رسوبات هم تراز کف آبگیر و با

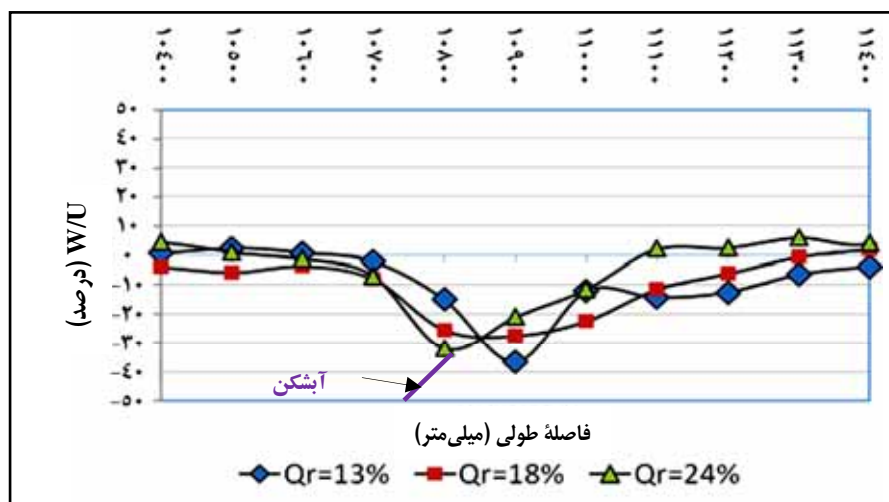


شکل ۴- نمایش نحوه قرارگیری آبشکن و صفحات مستغرق در کانال

نتایج و بحث

محل کنده می‌شوند و به پایین دست آبشکن انتقال پیدا می‌کنند. در نزدیکی دماغه آبشکن، متوسط مؤلفه قائم سرعت (W)، تقویت و باعث شستن رسوبات و انتقال آنها به پایین دست آبشکن می‌شود (شکل ۵).

الگوی جریان در کانال اصلی و کانال آبگیر برای سه نسبت انحرافی ۱۳، ۱۸، و ۲۴ درصد بررسی شد. در نزدیکی آبشکن، با افزایش قدرت جریان ثانویه رسوبات از



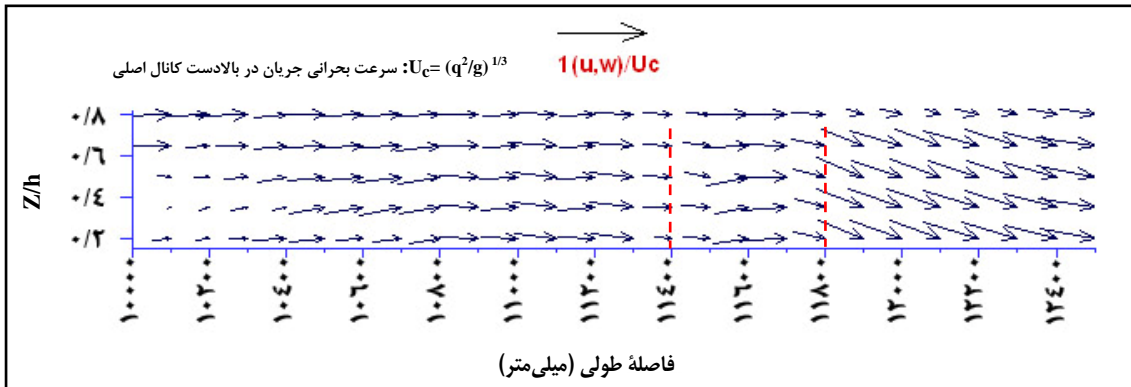
شکل ۵- تغییرات سرعت عمقی (w) در اطراف آبشکن، $z/h=0.4$

ورودی آبگیر، پس از برخورد به گوشه کانال در مختصات (۱۱۸۰۰ و ۹۹۰ میلی‌متر)، دو شاخه می‌شود و قسمتی از آن به داخل کانال آبگیر و قسمتی دیگر به پایین دست کانال اصلی ادامه پیدا می‌کند و در این نقطه عمق جریان افزایش می‌یابد. جریانی که از نقطه سکون به پایین دست

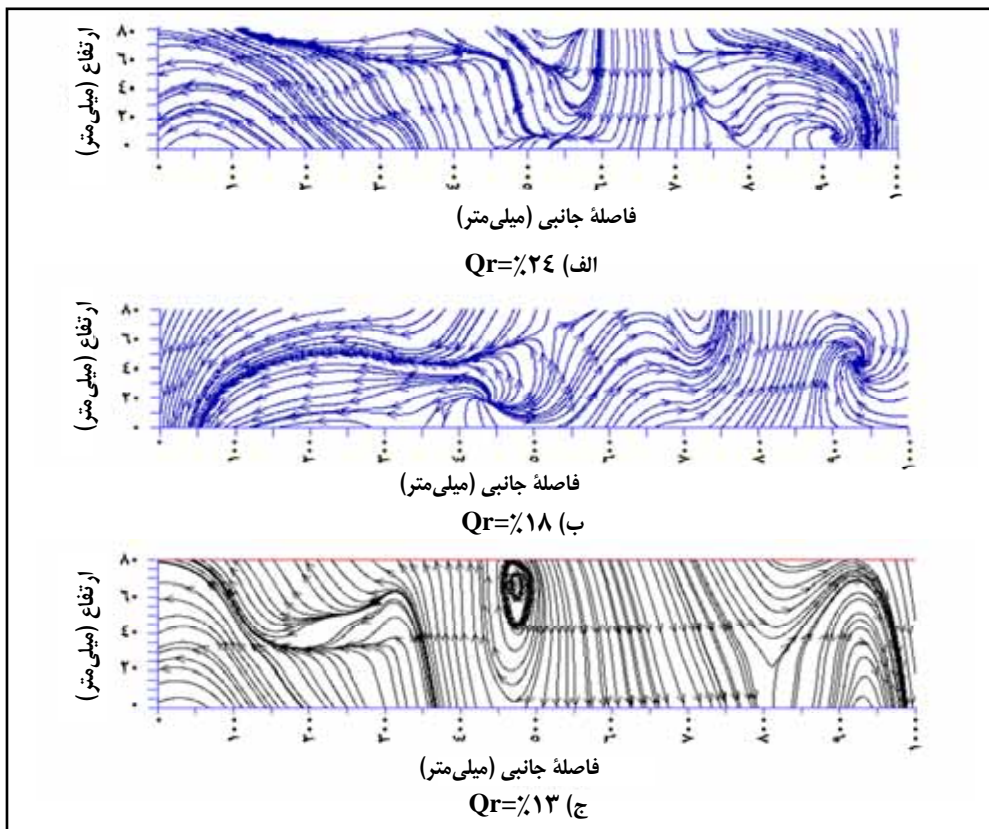
با کاهش عمق رسوبات و افزایش عمق جریان در اطراف آبشکن، از میزان تأثیرگذاری آبشکن در انحراف جریان تا حدودی کاسته می‌شود. بنابراین، در بستر صلب میزان تأثیرگذاری آبشکن احداث شده در ساحل مقابل آبگیر بر خطوط جریان بیشتر است. جریان در پایین دست

بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در آبگیر جانبی با...

کانال اصلی ادامه می‌یابد، دارای مؤلفه قائم سرعت (w) قابل توجهی است که پس از برخورد با جداره کانال اصلی شیاری به طول حدودی ۶۰ و عمق ۵ سانتی‌متر به سمت پایین دست ایجاد می‌کند (نقطه A در شکل ۱۰). گردابه‌های ایجاد شده که از این جریان عمقی، در خلاف جهت عقربه‌های ساعت حرکت می‌کنند (شکل ۶ و ۷)، با توجه به نحوه حرکت این گردابه‌ها، عمق آبشستگی به طرف دیواره کانال بیشتر است. با حرکت جریان به سمت پایین دست در کانال اصلی از شدت این گردابه‌ها نیز کاسته می‌شود و به تدریج از بین می‌روند.



شکل ۶- بردارهای سرعت $u-w$ در صفحه XZ در کانال اصلی، $q=990\text{mm}$ ، $\gamma=13\%$

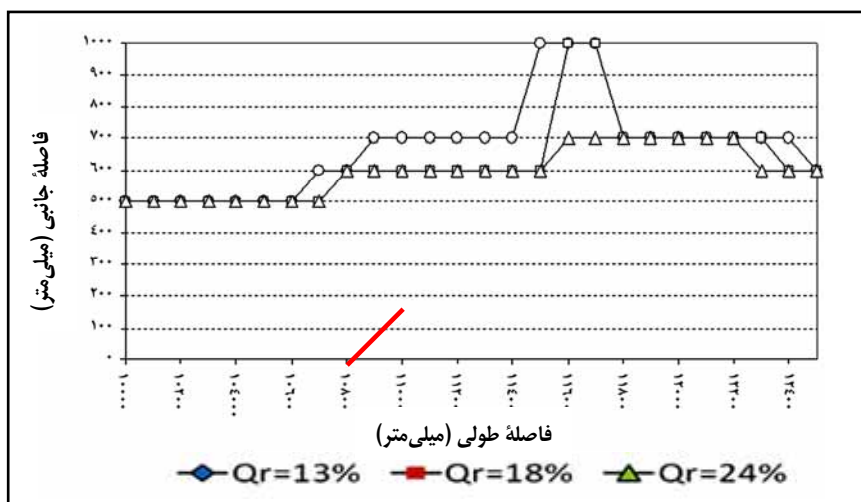


شکل ۷- بردارهای سرعت $v-w$ در صفحه YZ ، $x=1180+ \text{mm}$

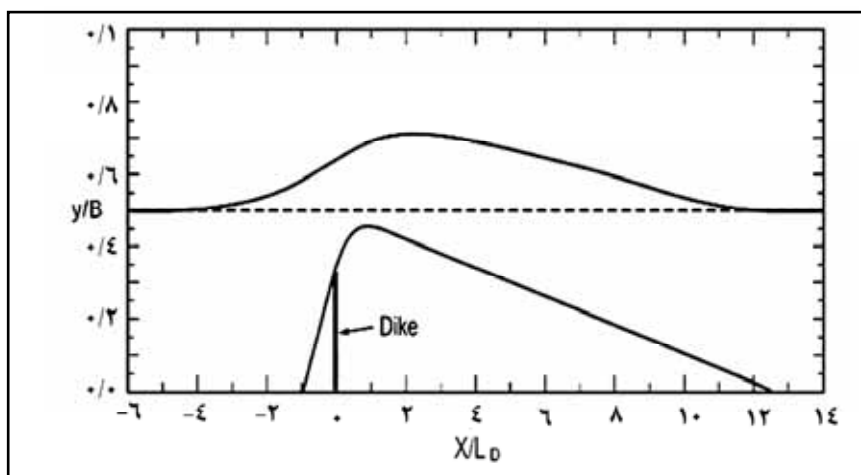
با نصب آبشکن در ساحل مقابل و بالاتر از آبگیر، صفحات و ایجاد جریان ثانویه قوی، از ورود رسوبات به داخل آبگیر جلوگیری می‌شود. این جریان ثانویه در کف سرعت طولی جریان افزایش می‌یابد و با تقویت عملکرد

درصد)، رخ نمی‌دهد و به علت تأثیر آبرگیر این مکان تنها ۱۰ سانتی‌متر جا به جا می‌شود. تغییر مکان عرضی سرعت بیشینه در کانال اصلی بدون انحراف جریان، با نصب یک آبشکن ۹۰ درجه در بستر صلب (Ettema & Muste, 2004) در شکل ۹ نشان داده شده است. بیشینه تغییر مکان عرضی سرعت حداکثر در بستر صلب، کمی پایین‌تر از آبشکن رخ می‌دهد در حالی که چنین روندی در بستر متحرک دیده نمی‌شود.

کانال در خلاف جهت جریان آبرگیر در سطح به سمت آبرگیر می‌باشد. وجود همزمان آبرگیر و آبشکن در ساحل مقابل باعث تغییر مکان عرضی سرعت بیشینه و در نتیجه باعث تغییر مکان خط‌القعر می‌شود. تغییر مکان عرضی حداکثر از بالادست آبشکن شروع می‌شود و در مقابل آبرگیر، به دلیل شتاب‌گیری جریان از ناحیه آبرگیر، به بیشینه مقدار خود می‌رسد (شکل ۸). این تغییر مکان عرضی سریع سرعت بیشینه، در نسبت آبرگیری کمتر، (۱۳)



شکل ۸- تغییر مکان سرعت حداکثر در بستر صلب



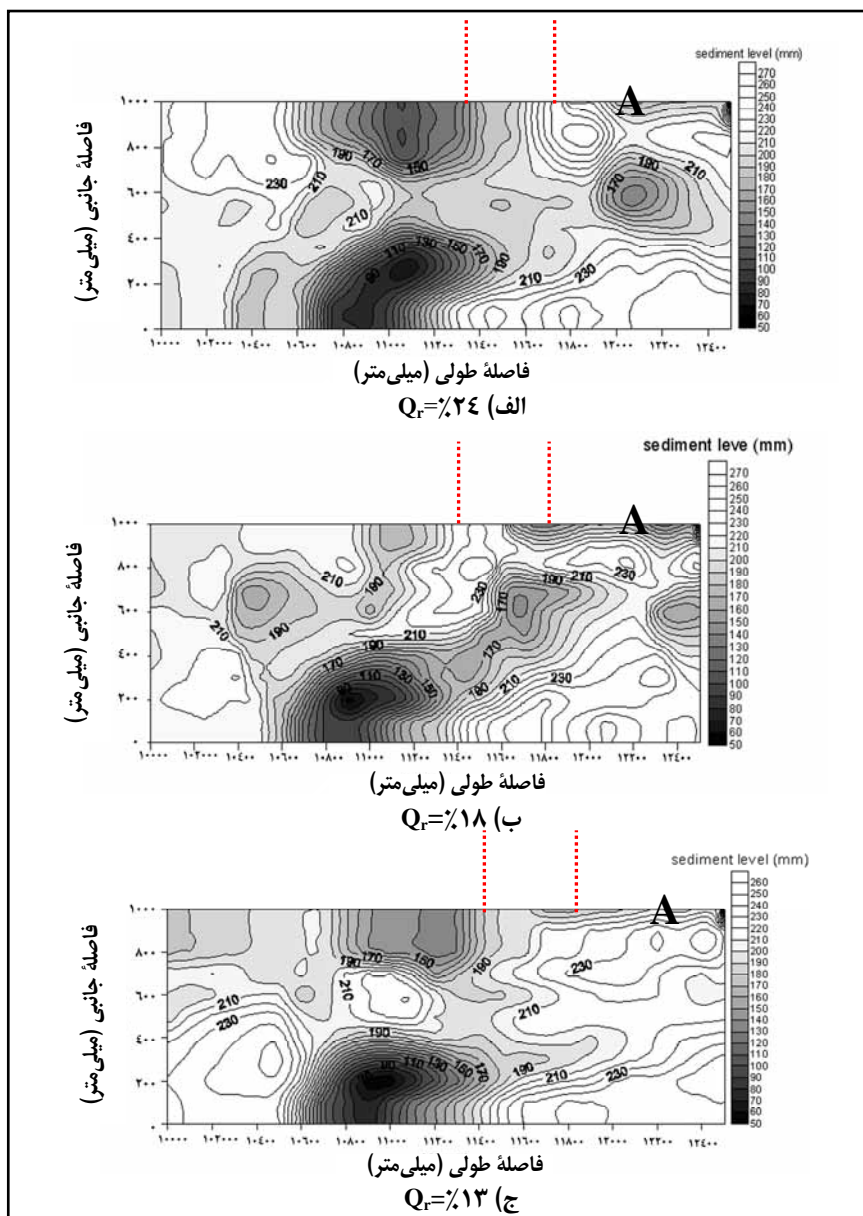
شکل ۹- تغییر مکان سرعت حداکثر در کانال اصلی

توسعه می‌یابد. فرم‌های بستر پس از رسیدن به مقابل آبرگیر متوقف می‌شوند و به تدریج از پیشانی آنها شسته و به پایین دست منتقل می‌شود (شکل ۱۰). به

با شروع جریان در کانال اصلی، تشکیل فرم‌های بستر از ابتدای کانال اصلی در بالادست کانال آبرگیر و پایین دست کانال آبرگیر شروع می‌شود و به پایین دست

بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در آبگیر جانبی با...

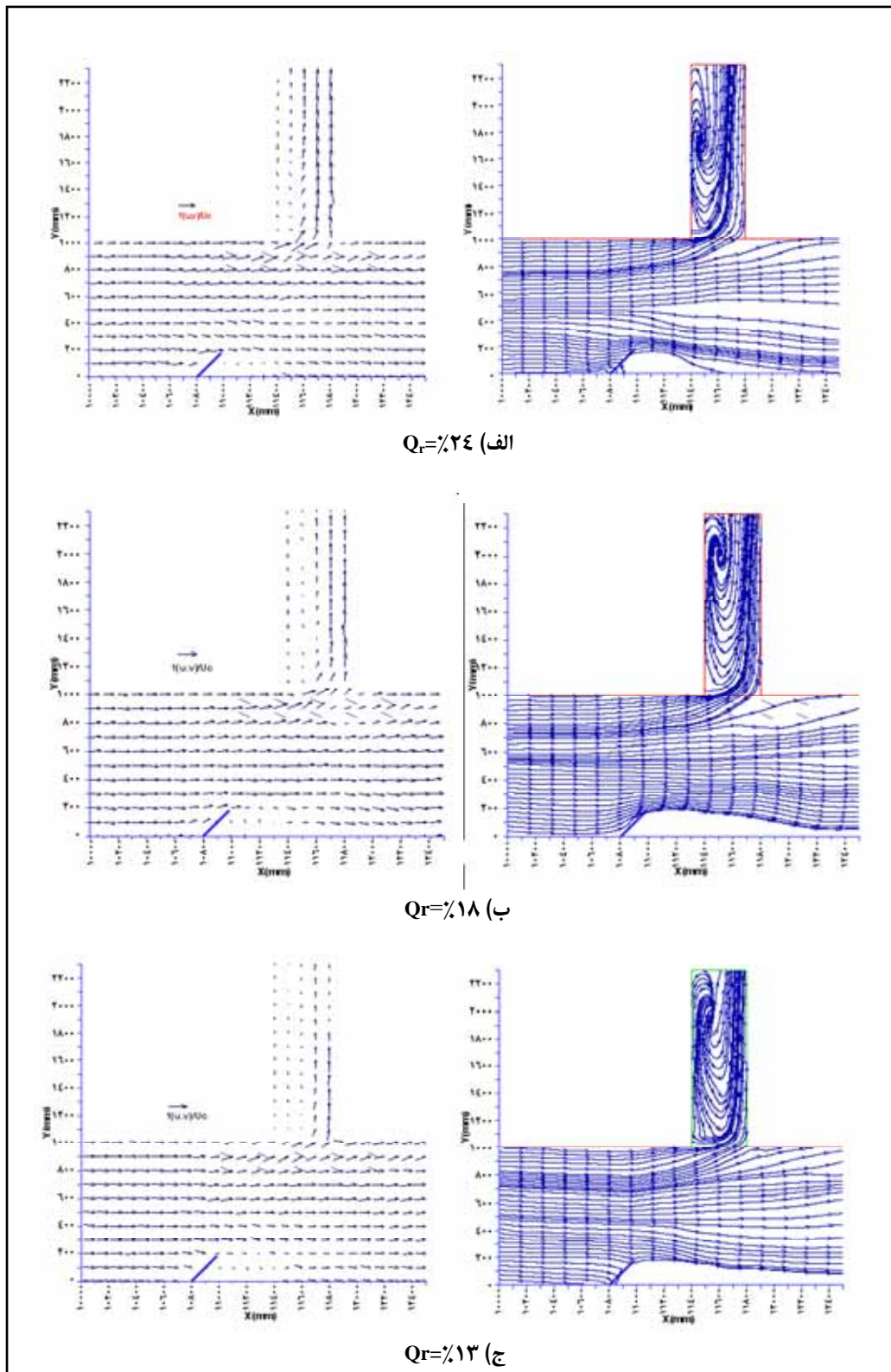
دلیل وجود ناحیه جدایی جریان در پایین دست آبگیر و کاهش سرعت جریان در ناحیه جدایی، رسوبات در داخل آبگیر انباشته می‌شوند. بیشینه ارتفاع انباشت رسوبات در پشت آبشکن تا ۶۰ میلی‌متر یا ۳۰ درصد ارتفاع کل رسوب نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰- خطوط هم تراز در کانال اصلی

درصد تا ۱۴ برابر طول آبشکن هم ادامه دارد. با افزایش دبی انحرافی، گرداب تشکیل شده در صفحه (XY) در داخل آبگیر به سمت ابتدای آبگیر حرکت می‌کند. با وجود این گردابه‌ها، رسوبات در داخل آبگیر به سمت ابتدای آبگیر رانده می‌شوند (شکل ۱۱).

خطوط جریان در ابتدای بازه مورد مطالعه موازی هستند و بعد از رسیدن به آبشکن و آبگیر، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. طول ناحیه جدایی جریان در داخل آبگیر با افزایش مقدار دبی انحرافی به آبگیر کاهش می‌یابد. طول این ناحیه در پایین دست آبشکن در نسبت انحراف ۲۴ درصد، تا ۵ برابر طول آبشکن و در نسبت انحراف ۱۳

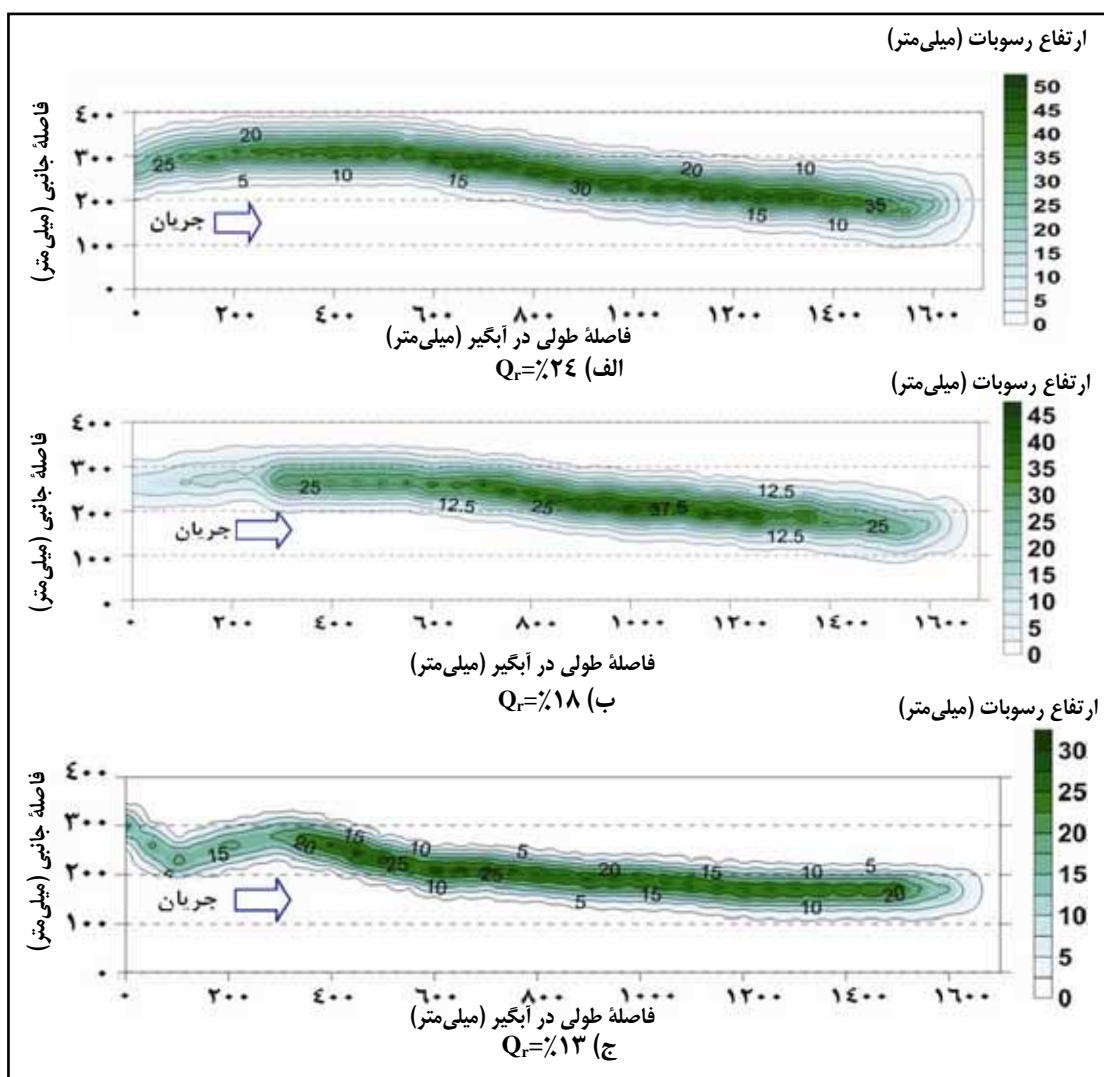


شکل ۱۱- الگوی جریان در کانال اصلی و کانال آبگیر، $z/h = 0.8$

بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در آبگیر جانبی با...

رسوبات در داخل آبگیر انباشته می‌شود و همواره تحت تأثیر دو جریان ناحیه اول و ناحیه سوم قرار می‌گیرد. مکان عرضی انباشت رسوبات در داخل آبگیر همخوانی مناسبی با مکان عرضی ناحیه دوم دارد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) و رسوبات در این ناحیه بین دو جریان موازی و مخالف هم قرار می‌گیرند. اگر بخواهیم این سه ناحیه را به صورت کمی بیان کنیم می‌توان برای ناحیه اول $v/U_c > 0.4$ ، ناحیه دوم $v/U_c < 0.4$ و برای ناحیه سوم $v/U_c < 0$ نظر گرفت که v سرعت طولی جریان در جهت آبگیر و U_c سرعت بحرانی جریان در کانال اصلی است.

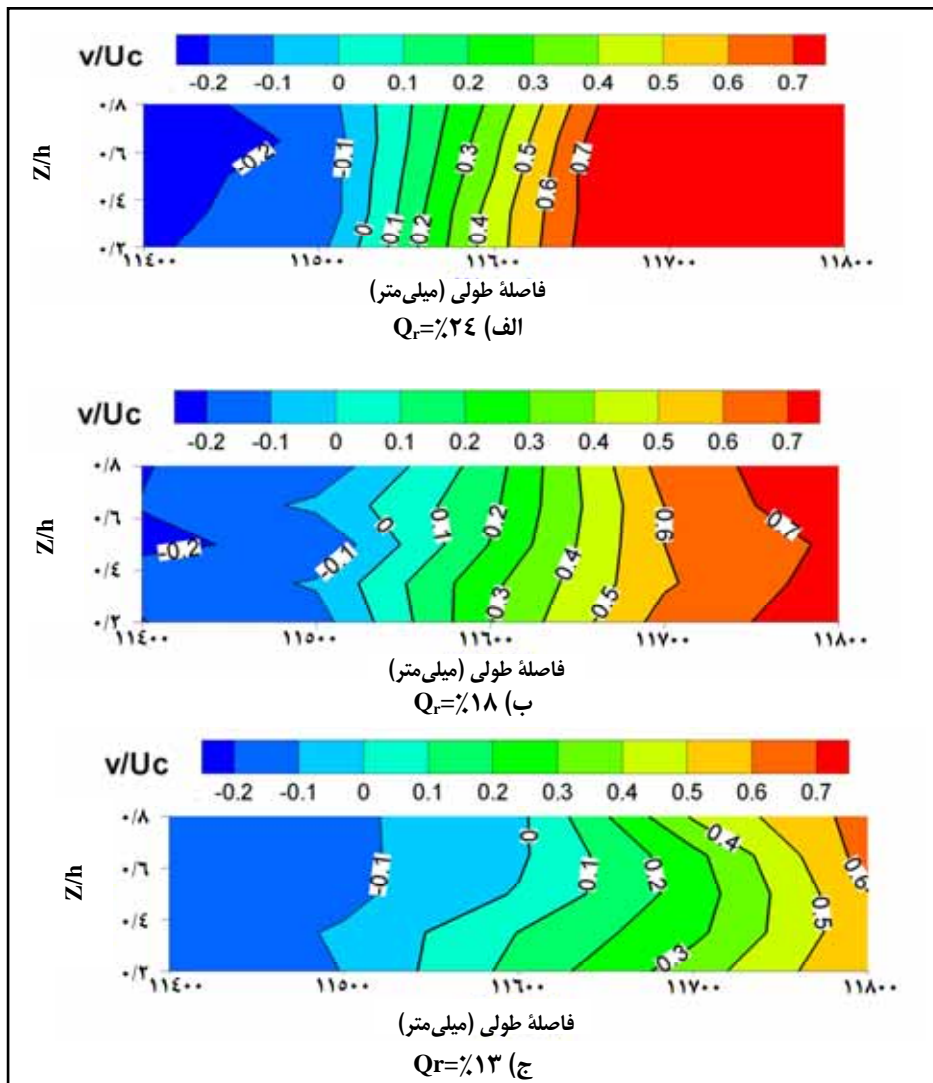
سرعت جریان در داخل آبگیر را می‌توان به طور کلی به سه ناحیه عرضی تقسیم کرد: ناحیه اول، ناحیه با سرعت جریان بالا که عمده جریان ورودی به آبگیر در این ناحیه است (سمت راست آبگیر)، ناحیه دوم، ناحیه با سرعت متوسط جریان که در آن نیز سرعت جریان به سمت پایین دست مثبت است (قسمت میانی آبگیر)، و ناحیه سوم که ناحیه جدایی جریان را شامل می‌شود و سرعت جریان در این بخش بسیار کم و عمدتاً منفی است. قسمت عمده رسوبات از ناحیه اول وارد آبگیر می‌شود و به محض ورود بخشی از آن توسط جریان ناحیه اول به پایین دست منتقل و بخشی دیگر به ناحیه دوم و سوم آبگیر رانده می‌شود. با ادامه این روند، به تدریج بخشی از



شکل ۱۲ - خطوط هم‌تراز رسوبات در کانال آبگیر

افزایش z روند کاهشی دارند. همچنین، عرض و طول ناحیه جدایی جریان با کاهش نسبت دبی انحرافی افزایش می‌یابد. بر خلاف جریان که قسمت عمده آن از قسمت میانی دهانه آبگیر به داخل آبگیر می‌رود، قسمت عمده رسوبات ورودی به آبگیر از یک‌سوم پایین دست دهانه آبگیر به داخل آبگیر وارد می‌شود. در ابتدای دهانه آبگیر، به دلیل بالا بودن سرعت طولی جریان (u) نسبت به سرعت عرضی جریان (v)، رسوبات کمتری به داخل آبگیر وارد می‌شود. در یک سوم پایین دست دهانه آبگیر، با تقویت سرعت عرضی جریان، رسوبات به داخل آبگیر کشیده می‌شود.

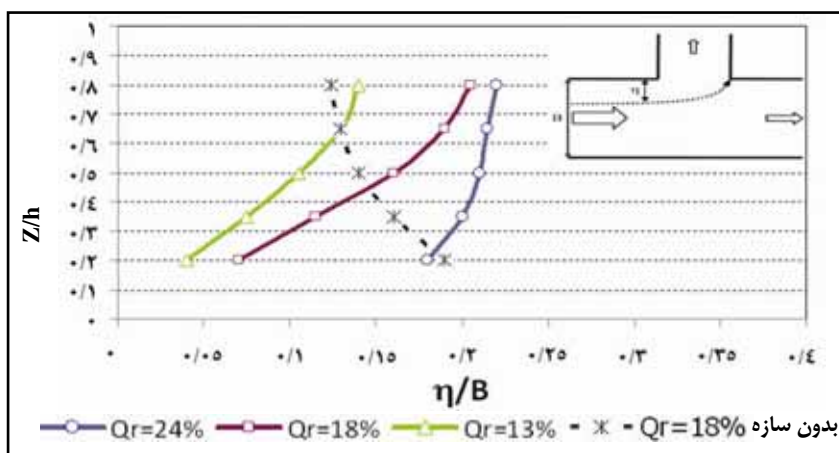
عرض ناحیه تنگ شدگی جریان در کانال آبگیر از کف به سمت سطح آب کاهش پیدا می‌کند. در ناحیه تنگ‌شدگی جریان داخل آبگیر، عمق جریان به حداقل می‌رسد و به عمق بحرانی نزدیک می‌شود. میزان رسوب در آبگیر با کاهش درصد نسبت انحراف از جریان کاهش می‌یابد. افزایش عرض و طول ناحیه جدایی جریان در کانال آبگیر با افزایش z تا طولی به اندازه دو برابر عرض آبگیر ادامه دارد که این روند در تحقیقات را مامورتی و همکاران (Ramamurthy *et al.*, 2007) نیز مشاهده می‌شود ولی بعد از آن ($y > 1400$ میلی‌متر) این روند بر عکس می‌شود یعنی عرض و طول ناحیه جدایی جریان با



شکل ۱۳- خطوط هم‌سرعت v/Uc در کانال آبگیر در $y = 1400 \text{ mm}$

با نصب آبشکن در مقابل آبگیر، عرض خط جدایی جریان در کف کانال کاهش، و در سطح کانال افزایش می‌یابد که با این عمل ناحیه تحت تأثیر آبگیر در کف کانال کاهش و مقدار ورود رسوب به آبگیر کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، با توسعه خط جدایی جریان در سطح، مقدار ورود جریان به آبگیر نیز افزایش می‌یابد (شکل ۱۴).

ورود رسوبات به آبگیر با نصب آبشکن در مقابل کانال آبگیر کاهش می‌یابد. علت این پدیده را می‌توان کاهش عرض خط جدایی جریان با نصب آبشکن دانست. در آبگیرها عرض خط جدایی جریان در کف زیاد است (شکل ۱) و به دلیل غلظت بالای رسوبات در کف، با مکش آبگیر مقدار زیادی از رسوبات به داخل آبگیر راه می‌یابند.



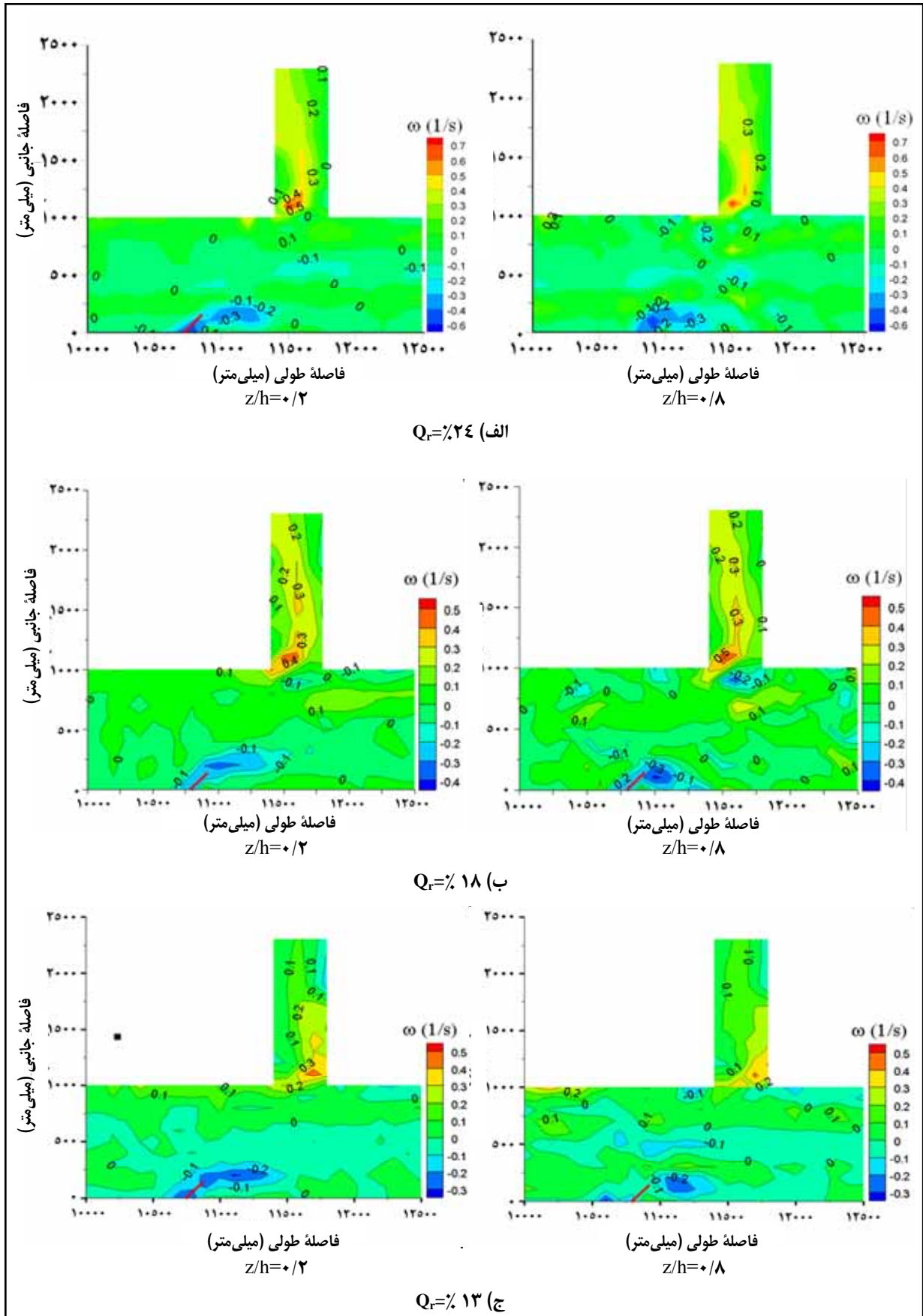
شکل ۱۴- تغییرات خط جدایی جریان با کاربرد آبشکن در فاصله ۰/۲۵b از لبه بالادست آبگیر

شکل ۱۵ نشان داده شده است. در دبی‌های آبگیری بالا مقدار قدرت جریان گردابی نیز بالاست و قدرت جریان ثانویه در لایه‌های بالای جریان بیش از لایه‌های پایینی است. بیشینه قدرت جریان گردابی در دهانه آبگیر و اطراف آبشکن دیده می‌شود که در آنها خطوط جریان انحنایی شدید دارد. با افزایش قدرت جریان ثانویه، امکان حمل رسوبات در محل افزایش می‌یابد. بنابراین، به منظور جلوگیری از تخریب دهانه آبگیر و آبشکن، لازم است این نقاط به شکلی مناسب محافظت شوند. اندازه قدرت جریان ثانویه در اطراف آبشکن و در داخل آبگیر به دلیل شتاب جریان و تغییرات قابل توجه سرعت در جهت عمودی (w) است. با استفاده از این نمودارها می‌توان انتظار داشت که در نواحی با قدرت جریان گردابی بالا، مقدار آبشستگی نیز افزایش پیدا کند و از این موضوع در پیش‌بینی محل آبشستگی‌ها، از الگوی جریان در بستر صلب شده استفاده کرد.

رسوبات به محض ورود به داخل آبگیر، با وجود جریان‌های ثانویه در داخل آبگیر، به ناحیه جدایی جریان و پس از آن بر اثر جریان به سمت پایین دست کشیده می‌شود. ساحل پایین دست آبگیر بسیار پرفشارتر از ساحل بالادست آبگیر است که این اختلاف فشار منجر به تولید گردابه‌هایی در جهت پایین دست آبگیر می‌شود. هر چه مقدار انحراف جریان بیشتر باشد، رسوبات بیشتری به ناحیه جدایی جریان کشیده می‌شود. عمق رسوبات داخل آبگیر در ابتدای کانال آبگیر به دلیل مومنتوم بالای جریان در این بخش، کمتر است و به تدریج افزایش می‌یابد و در قسمت‌های میانی آبگیر به اوج خود می‌رسد. حداکثر ارتفاع رسوبات در داخل آبگیر در نسبت‌های آبگیری ۱۳، ۱۸، و ۲۴ درصد به ترتیب ۳۰، ۴۵، و ۵۰ میلی‌متر است که تا حدود ۵۰ درصد عمق جریان هم می‌رسد.

قدرت جریان گردابی در صفحه XY،

$$\omega_2 = 1/2 \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$
 برای سه نسبت آبگیری در



شکل ۱۵- قدرت جریان گردابی در صفحه XY

نتیجه‌گیری

هم ادامه دارد. عرض ناحیه تنگ شدگی جریان در کانال آبگیر از کف به سمت سطح آب کاهش پیدا می‌کند. در ناحیه تنگ شدگی جریان داخل آبگیر، عمق جریان به حداقل می‌رسد و به عمق بحرانی نزدیک می‌شود. رسوب در آبگیر با کاهش درصد نسبت انحراف از جریان کاهش می‌یابد. رسوب به محض ورود به داخل آبگیر با وجود جریان‌های ثانویه در داخل آبگیر به ناحیه جدایی جریان کشیده و سپس بر اثر جریان به سمت پایین دست کشیده می‌شود. با نصب آبشکن در مقابل آبگیر، عرض خط جدایی جریان در کف کاهش و در سطح افزایش می‌یابد که با این عمل ناحیه تحت تأثیر آبگیر در کف کاهش و مقدار ورود رسوبات به آبگیر کاهش می‌یابد.

در این مقاله، الگوی جریان در یک کانال روباز با آبگیر جانبی و در صورت وجود صفحات مستغرق و آبشکن، بررسی شده است. به منظور بررسی الگوی جریان در بستر آبرفتی، اقدام به صلب کردن بستر شده است که امکان بررسی بهتر پدیده‌های حاکم بر جریان را بدون تغییرات بستر فراهم می‌سازد. ابعاد آبشکن و موقعیت مکانی نصب آن نسبت به آبگیر و زاویه قرارگیری آن نسبت به جریان، با استفاده از آزمایش‌های کنترل رسوب قبلی تعیین شده است. طول ناحیه جدایی جریان در داخل آبگیر با افزایش دبی انحرافی به آبگیر کاهش پیدا می‌کند. طول این ناحیه در پایین دست آبشکن در نسبت انحراف ۱۳ تا ۱۴ درصد برابر طول آبشکن

مراجع

- Abbasi, A. A. 2003. Experimental investigation of sediment control at lateral intakes. PhD. Thesis. Hydraulic Engineering. Tarbiat Modares University. (in Farsi)
- Ahmed, M. 1953. Experimental on design and behavior of spur dikes. Proc. Cong. IAHR.
- Barbhuiya, A. K. and Dey, S. 2004. Turbulent flow measurement by the ADV in the vicinity of a rectangular cross-section cylinder placed at a channel sidewall, flow measurement and instrumentation. Sci. Direct. 15, 221-237.
- Barkdoll, B. D., Ettema, R. and Odgaard, J. 1999. Sediment control at lateral diversion: limits and enhancements to vane use. J. Hydraulic Eng. ASCE. 125(8): 862-870.
- Emam, A. 1995. Investigating of submerged vane array on rivers behavior. M.Sc. Thesis. Hydraulic Structure Engineering. Tehran University. (in Farsi)
- Ettema, R. and Muste, M. 2004. Scale effects in flume experiments on flow around a spur dike in flatbed channel. J. Hydraulic Eng. ASCE. 137(4): 635-646.
- Garde R. J., Subramanya, K., Nambudripad, K. D. 1961. Study of scour around spur-dikes. J. Hydraulic Eng. ASCE. 87, 23-37
- Ghalani, A. 1998. Laboratory investigation of submerged vane's angle effect on their performance at intakes. M.Sc. Thesis. Hydraulic Engineering. Tarbiat Modares University. (in Farsi)

- Hassanpour, F. 2006. Performance of lateral intake with compound submerged vanes and sill. PhD. Thesis. Hydraulic Structure Engineering. Tarbiat Modares University. (in Farsi)
- Hsu, C. C., Tang, C. J., Lee, W. J., and Shieh, M. Y. 2002. Subcritical 90° equal-width open-channel dividing flow. *J. Hydraulic Eng. ASCE*. 128(7):716-720.
- Johnson, P. A., Hey, R. D., Tessier, M. and Rosgen D. L. 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. *J. Hydraulic Eng. ASCE*. 127(9): 772-778.
- Kuhnle, R. A., Alonso, C. V. and Shields, F. D. 1999. Geometry of scour holes associated with 90° spur dikes. *J. Hydraulic Eng. ASCE*. 125(9): 972-978.
- Marelius, F. 2001. Experimental Investigation of Submerged Vanes as means of Beach Protection. *Coastal Eng.* 42, 1-16.
- Marelius, F. and Sinha, S. K. 1998. Experimental investigations on flow past submerged vanes. *J. Hydraulic Eng. ASCE*. 124(5): 542-545.
- Melville, B. W. 1992. Local scour at bridge abutments. *J. Hydraulic Eng. ASCE*. 118(4): 615-631.
- Melville, B. W. and Coleman, S. 2000. *Bridge Scour*. Water Resources Pub. Littleton, Colo.
- Nakato, T., Ogden, F. L. 1998. Sediment control at water intakes along sand-bed rivers. *J. Hydraulic Eng. ASCE*. 124(6): 589-596.
- Neary, V. S. and Sotiropoulos, F. 1996. Numerical investigation of laminar flows through 90° diversions of rectangular cross-section. *Comp. Fluids*. 25(2): 95-118.
- Neary, V. S., Sotiropoulos, F. and Odgaard, A. J. 1999. Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *J. Hydraulic Eng. ASCE*. 125(2): 126-140.
- Odgaard, J. and Wang, Y. 1991a. Sediment management with submerged vanes, I: Theory. *J. Hydraulic Eng. ASCE*. 117 (3): 267-283.
- Odgaard, J. and Wang, Y. 1991b. Sediment management with submerged vanes, ii: applications. *J. Hydraulic Eng. ASCE*. 117(3): 284-302.
- Ramamurthy, A. S., Junying, Q. and Diep, V. 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. *J. Hydraulic Eng. ASCE*. 133 (10):1135-1144.
- Sajedi Sabegh, M. and Habibi, M. 2003. Laboratory investigation of using submerged vane and dikes on efficiency of intakes. *Proceeding of the 4th hydraulic conf.* 35-42 (in Farsi)
- Solaymani Osbooei, H. R. 1996. Investigation of submerged vane array on rivers bed morphology. M.Sc. Thesis. Environmental Engineering. Tehran University. (in Farsi)

بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در آبگیر جانبی با...

Voisin, A. and Townsend, R. D. 2002. Model testing of submerged vanes in strongly curved narrow channel bends. Canadian J. Civil Eng. 29, 37-49.

Wang, Y., Odgaard, J., Melville, B. W. and Jain, S. C. 1996. Sediment control at water intakes. J. Hydraulic Eng. ASCE. 122(6): 353-356.

Flow Pattern at Lateral Intake Using a Spur Dike and Submerged Vanes

S. Gohari, S. A. Ayyoubzadeh*, M. Ghodsian and S. A. A. Salehi Neyshaboori

* Corresponding Author: Associate Professor, Tarbiat Modares University, P. O. Box: 14155-3838. Tehran, Iran.
E-mail: ayyoub@modares.ac.ir

Flow passing through lateral intakes and channel junctions is turbulent. Sediment flow and bed forms are affected by these flow patterns and vice versa. In this research, a laboratory study was carried out to explore a possible method for sediment control for a set of submerged vanes and a single spur dike simultaneously. Since a larger portion of the near-bed flow was diverted, the intake received a relatively large amount of bed load material; thus, appropriate and reliable methods were needed to minimize the amount of diverted sediment materials into the intake channel. The submerged vane creates a tip vortex and then the helical flow downstream reduces movement of bed sediment into the diversion. In this study, the optimum dimension, number and array of vanes were selected as determined by the regular design method. To guide flow into the diversion and increase vane performance, a single spur dike was utilized at the opposite side of the intake channel. The location, length and angle of the spur dike were optimized using the results of previous testing. The flow patterns for three diversion ratios (13%, 18%, and 24%) and a 25 cm spur dike positioned 80 cm from the intake at a 45° angle. The flow depth was measured using a point gauge and three dimensional velocities (u , v , w) at five levels above the bed as measured by ADV. After the sediment flow reached equilibrium, the channel bed was fixed. The length of separation at the intake channel was decreased by increasing the diversion ratio. By setting a spur dike opposite to the intake channel, the width of the separation line decreased at the channel bottom and increased at the surface, decreasing the amount of sediment ingestion in the intake channel.

Key Words: Flow Pattern, Lateral Intake, Sediment Control, Spur Dike, Submerged Vanes