



دانشگاه گوارزی مینگی گنگا

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد شانزدهم، شماره دوم، ۱۳۸۸  
www.gau.ac.ir/journals

## تأثیر صفحات مستغرق و آب‌شکن در کنترل رسوب ورودی به آب‌گیر جانبی

سعید گوهری<sup>۱</sup>، \*سیدعلی ایوب‌زاده<sup>۲</sup>، مسعود قدسیان<sup>۳</sup> و سیدعلی اکبر صالحی‌نیشابوری<sup>۳</sup>  
<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، <sup>۲</sup>دانشیار گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه  
تربیت مدرس، تهران، <sup>۳</sup>استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران  
تاریخ دریافت: ۸۷/۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱/۲۵

### چکیده

کنترل رسوب در آب‌گیرها همواره از مسایل پیچیده مهندسی رودخانه است. قسمت عمده جریان وارد شده به آب‌گیر از لایه‌های پایینی جریان در کانال اصلی که دارای غلظت بیشتری از رسوبات می‌باشد تأمین می‌گردد. در این تحقیق به‌طور هم‌زمان از دو سازه هم‌زمان آب‌شکن و صفحات مستغرق برای کاهش حجم رسوبات وارد شده استفاده شده است. این صفحات با ایجاد جریان چرخشی و دور کردن رسوبات از دهانه آب‌گیر باعث کاهش حجم ورود رسوبات به آب‌گیر می‌شود. ابعاد، تعداد و آرایش صفحات براساس مقادیر توصیه شده طراحی مورد استفاده قرار گرفته است. به‌منظور هدایت جریان به سمت آب‌گیر و افزایش کارایی صفحات، از آب‌شکن در دیواره مقابل آب‌گیر در کانال اصلی استفاده شده است. اثر پارامترهای طول آب‌شکن، فاصله آن از مقابل آب‌گیر و زاویه آن با جریان در کانال اصلی مورد بررسی قرار گرفته است. طول آب‌شکن‌های به‌کار رفته ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و زوایای قرارگیری آب‌شکن‌ها ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه با جهت جریان اصلی و همچنین مکان قرارگیری آب‌شکن‌ها در سه موقعیت متفاوت در مقابل آب‌گیر بوده است. آزمایش‌ها برای سه نسبت آب‌گیری مختلف انجام شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که کارایی صفحات با احداث آب‌شکن در ضلع مقابل آب‌گیر افزایش پیدا کرده و مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر کاهش پیدا می‌کند. برای نسبت آب‌گیری در واحد عرض برابر با  $0/3$  مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر به صفر می‌رسد. با جابجایی آب‌شکن به اندازه دو برابر عرض دهانه آب‌گیر به بالادست کانال اصلی، مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر به‌طور متوسط ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین ورود رسوبات به آب‌گیر با استفاده از آب‌شکن با زاویه ۹۰ درجه نسبت به دو آب‌شکن با زوایای ۴۵ و ۱۳۵ به کمترین حد می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: صفحات مستغرق، کنترل رسوب، آب‌گیر جانبی، آب‌شکن، بستر متحرک

\*مسئول مکاتبه: ayyoub@modares.ac.ir

## مقدمه

آب‌گیری از رودخانه‌ها به منظورهای مختلفی از جمله آب‌رسانی شهری، مصرف کشاورزی و تولید برق انجام می‌شود. با توجه به اینکه همواره همراه جریان، بار رسوبی نیز وجود دارد، بنابراین به ناچار مقداری از رسوبات وارد آب‌گیر شده و در شرایط سیلابی ممکن است سبب بسته شدن دهانه آب‌گیر شده و هدف اصلی یعنی آب‌گیری را مختل نماید. توجه کافی نداشتن به طراحی مناسب تأسیسات کنترل رسوب در آب‌گیر می‌تواند مشکلاتی از قبیل کاهش ظرفیت انتقال جریان در کانال آب‌گیر در اثر ته‌نشینی رسوبات، آسیب دیدن تأسیسات انتقال و نیروگاهی، استهلاک پمپ‌ها و قطع آب جهت لایروبی کانال‌ها و تحمیل هزینه‌های اقتصادی لایروبی کانال‌ها را به دنبال داشته باشد.

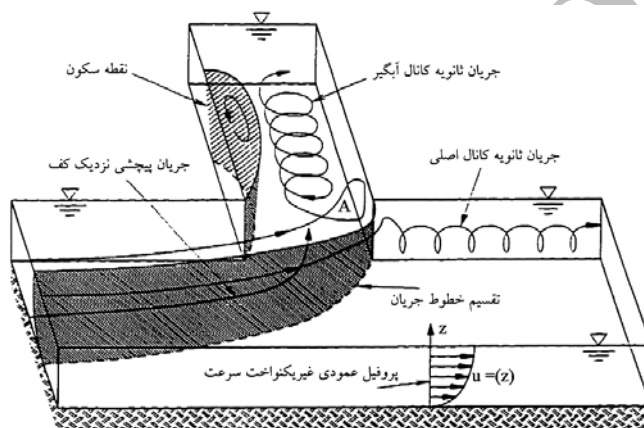
جریان در مقابل آب‌گیر پیچیده و کاملاً سه‌بعدی است (شکل ۱). نیری و همکاران (۱۹۹۹) مدل عددی سه‌بعدی جریان در حالت لایه‌ای بر روی یک آب‌گیر ۹۰ درجه در کانال با مقطع مستطیلی را توسعه داده و با نتایج آزمایشگاهی صحت‌یابی کرده‌اند. با افزایش نسبت دبی آب‌گیری، عرض ناحیه گردابی کم شده و بر طول آن افزوده می‌شود. 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 را، مکش شدید اعمالی از طرف آب‌گیر به جریان داخل کانال اصلی و در نتیجه جدایی جریان از دیواره سمت راست می‌دانند. عباسی (۲۰۰۳) با مطالعه کنترل رسوب در آب‌گیر با زاویه ۹۰ درجه نشان داده است که عرض خط جدایی جریان تابع نسبت دبی آب‌گیری و زاویه آب‌گیری می‌باشد و همچنین با افزایش عدد فرود جریان مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر کاهش پیدا می‌کند (عباسی، ۲۰۰۳). هسو و همکاران (۲۰۰۲) 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 پایین‌دست آب‌گیر در کانال اصلی، افزایش می‌یابد و این نسبت با کاهش عدد فرود افزایش می‌یابد. رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) 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.

یکی از روش‌های کاهش انتقال رسوب به آب‌گیرها استفاده از صفحات مستغرق است. تحقیقات مختلفی برای یافتن ابعاد، فواصل و زاویه برخورد با جریان و آرایش‌های مختلف نصب صفحات مستغرق صورت پذیرفته است و تحقیقات بیشتر در راستای شناخت و همچنین افزایش کارایی کنترل

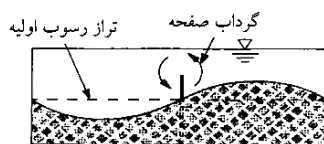
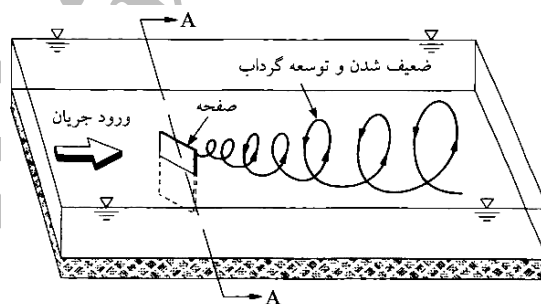
رسوب این صفحات همچنان ادامه دارد. آب‌شکن‌ها نیز به‌عنوان سازه حفاظتی و هدایت جریان سابقه کاربرد طولانی در مهندسی رودخانه دارند. آب‌شکن‌ها با منحرف کردن خطوط جریان شرایط هیدرولیکی را تغییر داده و می‌توانند مکان خط‌القعر رودخانه را تغییر داده که در نتیجه آن افزایش راندمان آب‌گیری را در پی خواهد داشت. صفحات مستغرق به دو منظور کنترل فرسایش سواحل (ادگارد و وانگ، ۱۹۹۱a؛ ادگارد و وانگ، ۱۹۹۱b؛ مارلیوس، ۲۰۰۱؛ ویزن و تاونسند، ۲۰۰۲) و جلوگیری از ورود بار بستر به درون آب‌گیر (بارکدل و همکاران، ۱۹۹۹؛ ناکاتو و اگدن، ۱۹۹۸؛ وانگ و همکاران، ۱۹۹۶) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اساس عملکرد صفحات تولید جریان ثانویه است که این جریان به سمت پایین‌دست توسعه پیدا کرده و سبب تغییر در توپوگرافی بستر می‌شود (شکل ۲). راه‌کارهای افزایش کارایی صفحات مستغرق توسط بارکدل و همکاران (۱۹۹۹) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های انجام شده توسط ایشان نشان داد 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 ( $Q_F$ )، کمتر از حدود ۰/۲ باشد. پس از بررسی آزمایشگاهی راه‌کارهای مختلف برای افزایش  $Q_F$  و همچنین حفظ کارایی صفحات مستغرق مورد توجه قرار گرفت، از جمله این راه‌کارها، قرارگیری دیواره جانبی در کنار صفحات مستغرق و عریض نمودن ورودی آب‌گیر مناسب بود. جانسون و همکاران (۲۰۰۱) برای صفحات مستغرق زاویه ۳۰-۲۵ درجه را برای تولید بیشترین جریان ثانویه توصیه کرده‌اند. مارلیوس و سینها (۱۹۹۸) نشان دادند که در زاویه ۴۰ درجه برای تک صفحه، گرچه مقدار آب‌شستگی اطراف صفحه افزایش می‌یابد ولی بیشترین جریان چرخشی را تولید می‌کند.

امام (۱۹۹۵) نشان داد که اثر صفحات تا ۲۵ برابر ارتفاع صفحات در پایین‌دست آخرین صفحه ادامه دارد. سلیمانی کاربرد صفحات مستغرق در مسیر مستقیم رودخانه‌ها و تأثیر آرایش و شکل صفحات بر تغییرات مرفولوژی بستر رودخانه را مطالعه نموده و نشان داده است که با افزایش دبی و سرعت جریان کارایی صفحات افزایش پیدا می‌کند (سلیمانی‌اسبوئی، ۱۹۹۶). قلانی برای مصالح بستری با قطر کمتر زاویه ۱۸ درجه صفحات را، زاویه بهینه در کنترل رسوبات دانسته است (قلانی، ۱۹۹۸). ساجدی‌سابق و حبیبی تأثیر کاربرد با هم صفحات مستغرق و مجموعه آب‌شکن‌ها در افزایش راندمان آب‌گیری را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که در مواردی تا ۹۵ درصد ورود رسوبات به آب‌گیر کاهش یافته است (ساجدی‌سابق و حبیبی، ۲۰۰۳). عباسی به کارگیری با هم آستانه و

صفحات را روش مناسبی برای کنترل رسوب معرفی می‌کند و نشان داده است که با افزایش عدد فرود جریان مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر کاهش پیدا می‌کند (عباسی، ۲۰۰۳). حسن‌پور کاربرد صفحات مستغرق مرکب و آستانه را تنها برای نسبت انحراف بسیار پایین توصیه کرده است. وی همچنین نشان داده است که با افزایش عدد فرود صفحات بهتر عمل می‌کنند (حسن‌پور، ۲۰۰۶).



شکل ۱- نحوه تولید جریان ثانویه توسط صفحات.



نمای A-A

شکل ۲- شمای جریان در مقابل آب‌گیر.

تحقیقات صورت گرفته بر روی آب‌شکن‌ها در برگیرنده پارامترهایی چون موقعیت تاج آب‌شکن‌ها، زاویه آب‌شکن با ساحل، شیب کناره‌ها، تأثیر طول و فاصله آب‌شکن، محل قرارگیری اولین آب‌شکن و فرسایش پای دماغه آب‌شکن‌ها می‌باشد. آب‌شکن‌های متمایل به پایین دست انقباض کمتری در جریان ایجاد می‌کنند و با کاهش تنش برشی بستر، عمق آب‌شستگی کاهش می‌یابد (ملویل، ۱۹۹۲). از سوی دیگر به لحاظ قدرت جریان و رسوب‌گیری، آب‌شکن‌هایی که متمایل به بالادست هستند عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند (احمد، ۱۹۵۳).

ملویل و کلمن (۲۰۰۰) برای مقادیر مختلف نسبت طول آب‌شکن  $L_D$  به عمق جریان  $h$ ، اثر زاویه اتصال آب‌شکن  $\alpha$ ، به جداره را بررسی کرده و نشان دادند هنگامی که نسبت  $L_D/h$  بزرگ‌تر یا مساوی ۳ باشد با افزایش زاویه  $\alpha$  از ۳۰ به ۱۵۰ درجه، افزایشی در حدود ۲۰ درصد در بیشترین عمق آب‌شستگی ایجاد می‌شود و اگر این نسبت کوچک‌تر از یک باشد بیشترین عمق آب‌شستگی تأثیری از زاویه اتصال به جداره نمی‌پذیرد. کونل و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که برای آب‌شکن‌هایی با زوایای 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 آب‌شستگی به آب‌شکن با زاویه ۱۳۵ درجه تعلق دارد. آب‌شکن‌هایی که به سمت بالادست متمایل باشند، به‌طور معمول موجب انحنای بیشتری در جریان اصلی می‌شوند (گارد و همکاران، ۱۹۶۱). از نظر قدرت انحراف جریان زاویه اتصال آب‌شکن با ساحل باید بیش از ۹۰ درجه (۱۱۰-۱۰۰ درجه) باشد. اتما و ماست (۲۰۰۴) تأثیرات مقیاس را بر جریان اطراف آب‌شکن مطالعه کردند و نشان دادند الگوی خط‌القعر و ناحیه جدایی جریان با مقیاس مدل تطابق ندارد.

همچنان که در تحقیقات قبلی نشان داده شده است با افزایش سرعت جریان کارایی صفحات مستغرق افزایش پیدا می‌کند. با استفاده از این خصوصیت صفحات و هدایت جریان توسط آب‌شکن، در این تحقیق سعی شده است با استفاده هم‌زمان از آب‌شکن و صفحات مستغرق در نسبت‌های بالای انحراف جریان نیز از میزان رسوبات ورودی به آب‌گیر کاسته شود.

### مواد و روش‌ها

- تجهیزات آزمایشگاهی: به‌منظور انجام آزمایش‌های مورد نظر کانال مناسبی طراحی و ساخته شده است. این کانال دارای طول ۱۸ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۱ متر می‌باشد (شکل ۳). جداره‌های این

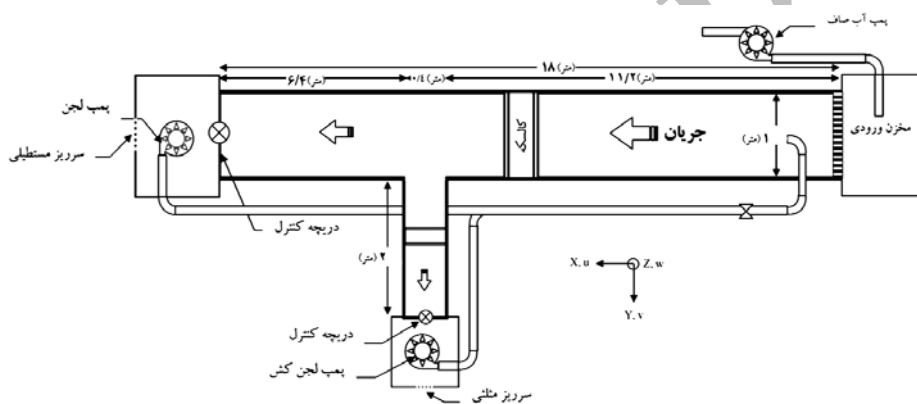
کانال به منظور مشاهده جریان شفاف و از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۱ سانتی متر ساخته شده است. شیب این کانال ثابت و ۰/۰۰۲ می باشد. بیشترین جریان قابل تنظیم ۱۲۰ لیتر در ثانیه می باشد. به منظور مشاهده پروفیل جریان در کل طول کانال، پیزومترهایی در کف تعبیه شده است. این کانال دارای سیستم چرخشی رسوب در هر دو قسمت کانال اصلی و آب گیر می باشد و جریان خروجی از آب گیر و کانال اصلی که دارای بار رسوبی می باشد به ابتدای کانال اصلی بر می گردد. پمپ لجن کش در دو قسمت انتهای آب گیر و انتهای کانال اصلی در درون قسمتی مخروطی شکل قرار داده شده که رسوبات با سقوط به کف مخروطی توسط پمپ لجن کش به ابتدای کانال اصلی فرستاده می شوند. طول کانال آب گیر ۲ متر و عرض آن ۴۰ سانتی متر می باشد که با زاویه انحراف ۹۰ درجه نسبت به کانال اصلی نصب شده است. به منظور ایجاد آب گیری مناسب از دریچه کشویی در انتهای کانال آب گیر استفاده شده است. آب گیری با زاویه انحراف ۹۰ در مطالعات بسیاری از محققان داخلی و خارجی استفاده شده هر چند زوایای بهینه دیگری برای آب گیری وجود دارد اما در اینجا به آن پرداخته نشده است. مخزن آب طراحی و ساخته شده در این تحقیق دارای حجم ۵۰ متر مکعب می باشد. رسوبات غیر چسبنده به کار رفته از جنس ماسه با متوسط قطر ۱ میلی متر، جرم مخصوص ۲/۶۵ و انحراف معیار هندسی ۱/۱ می باشد. از رسوبات حمل شده در کانال اصلی و کانال آب گیر نمونه گیری می شود. در نمونه گیری از رسوبات ورودی به کانال اصلی و کانال آب گیر از سبد توری با قطر کمتر از ۱ میلی متر استفاده شده است. نمونه گیری در کانال اصلی به وسیله شیری که در مسیر لوله بازگشتی آب رسوب به ابتدای کانال اصلی تعبیه شده انجام شده است. صفحات مستغرق به کار رفته، در محدوده توصیه شده (اویانگ، ۲۰۰۱) به صورت جدول (۱) به کار رفته است.

جدول ۱- ابعاد صفحات مستغرق به کار رفته در آزمایش ها.

پارامتر	زاویه صفحات با جهت جریان ( $\beta$ )	ارتفاع صفحات مستغرق ( $H_V$ )	طول صفحات (L)	فاصله طولی صفحات ( $\delta_s$ )	فاصله عرضی صفحات ( $\delta_n$ )	فاصله صفحات از دیواره آب گیر ( $\delta_b$ )
محدوده توصیه شده	$15 < \beta < 45$	$0.2 < \frac{H_V}{h_M} < 0.5$	$2H_V < L < 3H_V$	$1.0H_V$ تا $1.8H_V$	$3H_V$ تا $2H_V$	$3H_V$
مقدار به کار رفته	$20^\circ$	$0.3H_V$	$3H_V$	$1.8H_V$	$3H_V$	$3H_V$

$H_V$ : ارتفاع صفحات،  $\beta$ : زاویه قرارگیری صفحات،  $h_M$ : عمق جریان

دو ردیف صفحات موازی با دیواره کانال و در مجموع شش ردیف دوتایی صفحات مستغرق انتخاب شده است. آبشکن‌ها در سه طول، سه زاویه و سه فاصله از آب‌گیر به‌کار رفته که طول آبشکن‌های ( $L_D$ ) به‌کار رفته ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر بوده است. آبشکن در سه موقعیت مختلف: مقابل آب‌گیر، ۴۰ سانتی‌متر بالاتر از آب‌گیر ( $L_I$ ) و ۸۰ سانتی‌متر بالاتر از آب‌گیر ( $2 L_I$ ) به‌کار رفته که زوایای به‌کار رفته برای آبشکن ۴۵ درجه، ۹۰ درجه و ۱۳۵ درجه بوده است.



شکل ۳- کانال آزمایشگاهی و اجزای آن.

با توجه به جدید بودن این نوع از ترکیب آبشکن و صفحات مستغرق با آب‌گیر و همچنین تأکید بر هدایت جریان به سمت آب‌گیر (شبهه جریان در قوس) سعی شده است که ترکیبی کامل از آرایش‌های آبشکن بررسی شود. سرعت جریان در سه بعد ( $X, Y, Z$ ) به‌وسیله سرعت‌سنج سه‌بعدی وکتربینو (Vectrino-Nortek) برداشت شده است. عمق جریان به‌وسیله عمق‌سنج مدرج با دقت ۰/۱ میلی‌متر برداشت و هم‌زمان از تابلو پیزومترها برای تعیین تراز سطح آب استفاده شده است. ابعاد فرم بستر به‌وسیله بستر نگار خودکار (Automatic Bed Profiler) با دقت ۱ میلی‌متر در فواصل طولی ۵ سانتی‌متر و فواصل عرضی ۱۰ سانتی‌متر در یک بازه ۳۹۰ سانتی‌متری از کانال اصلی برداشت شده است. نمونه‌گیری از رسوبات خروجی از انتهای آب‌گیر به‌وسیله سبدهای توری با قطر کمتر از ۱ میلی‌متر انجام شده و سپس رسوبات بعد از دو دقیقه به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۱ گرم وزن شده‌اند.

زمان ۲ دقیقه، زمان لازم برای خارج شدن آب ثقلی ماسه‌ها در نظر گرفته شده است. از این رسوبات، نمونه‌گیری شده و رطوبت آنها ۲۷/۵ درصد تعیین شده که می‌توان وزن رسوبات خشک را تعیین کرد. - آنالیز ابعادی و شرح آزمایش‌ها: از آنجایی که تعداد پارامترهای مؤثر در ورود رسوبات بار بستر به دهانه آب‌گیر زیاد می‌باشد از روش آنالیز ابعادی برای بدون بعد نمودن پارامترها و تعیین روند آزمایش‌ها استفاده می‌گردد. با استفاده از روش آنالیز ابعادی پی باکینگهام با توجه به پارامترهای مؤثر در پدیده یک سری پارامتر بدون بعد  $\pi$  تشکیل گردیده و با انجام یک سری محاسبات، روابط بدون بعد ایجاد می‌گردند. متغیرهای مؤثر در میزان رسوبات ورودی به کانال آب‌گیر ( $Q_{SI}$ ) شامل متغیرهای زیر می‌باشند:

$$Q_{SI} = f(Q_{SM}, Q_M, Q_I, h_M, B, b, S, D_{84}, \sigma_g, g, t, \rho, \rho_s, v, \theta, H_V, L, N, \beta, \delta_s, \delta_n, \delta_b, L_D, H_D, L_I, \alpha) \quad (1)$$

که در این رابطه:

دبی رسوب حمل شده در کانال اصلی ( $Q_{SM}$ )، دبی جریان در کانال اصلی ( $Q_M$ )، دبی جریان در کانال آب‌گیر ( $Q_I$ )، عمق جریان در کانال اصلی ( $h_M$ )، عرض کانال اصلی ( $B$ )، عرض کانال آب‌گیر ( $b$ )، شیب کانال اصلی ( $S$ )، قطر متوسط رسوبات بستر ( $D_{84}$ )، انحراف معیار هندسی رسوبات بستر  $\sigma_g = (D_{84} / D_{16})^{1/5}$ ، که در آن  $D_{84}$  و  $D_{16}$  به ترتیب اندازه ذراتی است که ۸۴ و ۱۶ درصد مصالح رسوبی از آن کوچک‌ترند، شتاب ثقل ( $g$ )، زمان از شروع آزمایش ( $t$ )، جرم حجمی سیال ( $\rho$ )، لزجت سینماتیکی سیال ( $v$ )، جرم حجمی رسوبات ( $\rho_s$ )، زاویه کانال آب‌گیر با کانال اصلی ( $\theta$ )، ارتفاع صفحات مستغرق ( $H$ )، طول صفحات مستغرق ( $L$ )، تعداد ردیف صفحات مستغرق ( $N$ )، زاویه صفحات مستغرق با جریان ( $\beta$ )، فاصله طولی صفحات مستغرق ( $\delta_s$ )، فاصله عرضی صفحات مستغرق ( $\delta_n$ )، فاصله عرضی اولین ردیف صفحات مستغرق از دهانه آب‌گیر ( $\delta_b$ )، طول آب‌شکن ( $L_D$ )، ارتفاع آب‌شکن ( $H_D$ )، فاصله آب‌شکن تا خط مرکزی آب‌گیر ( $L_I$ )، زاویه آب‌شکن با جریان اصلی ( $\alpha$ ).

با استفاده از آنالیز ابعادی  $\pi$  باکینگهام و ترکیب بعضی از گروه‌های بی‌بعد، پارامترهای بدون بعد زیر به دست می‌آیند:

$$\frac{Q_{SI}}{Q_{SM}} = f\left(\frac{Q_M}{Q_I}, \alpha, \beta, N, Fr, Re, \frac{\delta_s}{\delta_n}, \frac{B}{b}, \frac{H_V}{L}, \frac{L_D}{B}, \frac{L_I}{b}, \frac{\rho_s}{\rho}, t\sqrt{\frac{g}{h_M}}, S, \sigma_g, \theta\right) \quad (2)$$

در روابط فوق  $Fr = \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} g d$  شده است. با توجه به اینکه شکل و ابعاد کانال اصلی و کانال آب‌گیر، شیب کانال اصلی، دبی جریان در کانال اصلی، ابعاد و آرایش صفحات مستغرق، دانه‌بندی

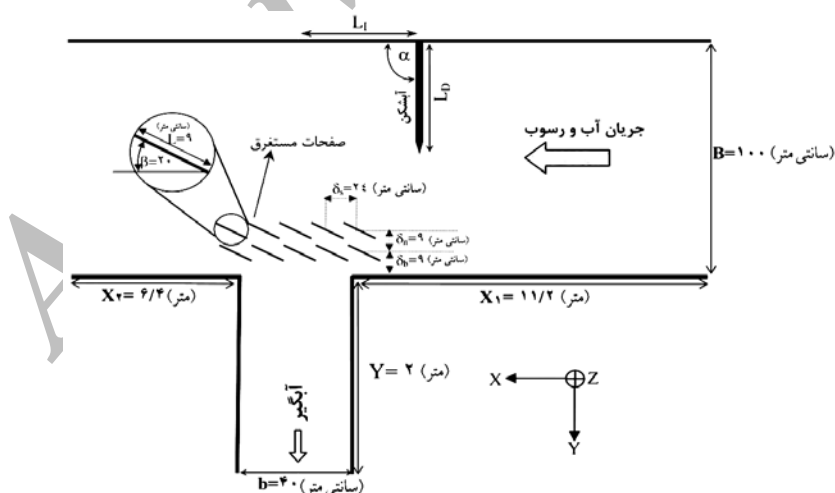


مصالح بستر ثابت بوده و همچنین زمان برداشت داده‌ها بعد از زمان تعادل بوده است، بنابراین پارامترهای  $\sigma_g$  و  $t\sqrt{\frac{g}{h_M}}$ ،  $S$ ،  $\frac{\rho_s}{\rho}$ ،  $\frac{H_V}{L}$ ،  $\frac{B}{b}$ ،  $\frac{\delta_s}{\delta_n}$ ،  $N$ ،  $\beta$ ،  $\theta$  می‌شوند. همچنین به علت این که عدد رینولدز جریان در محدوده جریان‌های آشفتگی قرار دارد ( $Re \approx 6000$ ) پس می‌توان از اثرات لزجت در مقابل اینرسی صرف نظر نمود و عدد رینولدز نیز از بین متغیرها کنار گذاشته می‌شود. با توجه به این که یکسان بودن شرایط هیدرولیکی کانال بالادست برای تمام آزمایش‌ها و همچنین ثابت بودن دانه‌بندی در آزمایش‌ها، پارامتر بدون بعد  $Fr$  نیز از بین پارامترهای بدون بعد کنار گذاشته شده و در نهایت اعداد بی‌بعد زیر برای بررسی اثرات متغیرها بر میزان ورود رسوبات به آب‌گیر در نظر گرفته شده است:

$$g_r = f\left(q_r, \frac{L_D}{B}, \frac{L_I}{b}, \alpha\right) \quad (3)$$

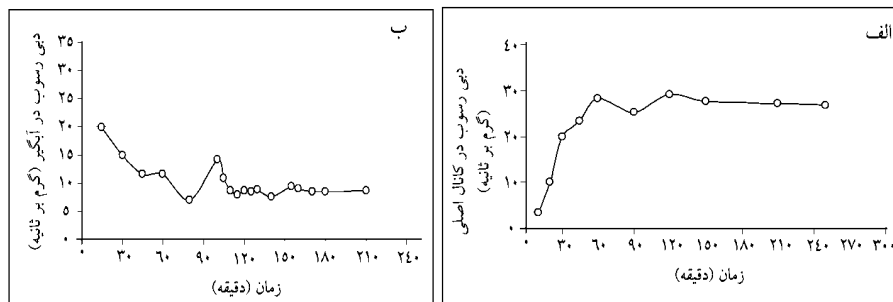
که  $g_r$  نسبت رسوبات خروجی از کانال آب‌گیر به رسوبات ورودی به ابتدای کانال اصلی،  $q_r$  نسبت دبی انحرافی در واحد عرض کانال آب‌گیر به کانال اصلی،  $(L_D)$  طول آب‌شکن،  $B$  عرض کانال اصلی،  $L_I$  فاصله آب‌شکن از خط مرکزی کانال آب‌گیر،  $b$  عرض کانال آب‌گیر، و  $\alpha$  زاویه قرارگیری آب‌شکن با جهت جریان در کانال اصلی است. این پارامترهای هندسی در شکل (۴) نشان داده شده است. در این راستا تعداد ۸۱ آزمایش با سه طول آب‌شکن، سه زاویه قرارگیری نسبت به جهت جریان در کانال اصلی و سه فاصله از محور آب‌شکن تا خط مرکزی کانال آب‌گیر در سه نسبت آب‌گیری انجام شده است. دبی جریان با توجه به شیب کانال، جریان یکنواخت قبل از شروع آزمایش‌ها و همچنین بالاتر از آستانه حرکت بودن رسوب بار بستر تعیین شده است. همه آزمایش‌ها دبی ثابت ۵۶ لیتر در ثانیه در کانال اصلی انجام شده است. آب‌گیری در دبی‌های در واحد عرض ۳۰ درصد، ۴۵ درصد و ۶۰ درصد از کل جریان در کانال اصلی انجام شده است. دهانه آب‌گیر در موقعیت ۱۱/۲ تا ۱۱/۶ متری از کانال اصلی قرار دارد. با تنظیم دریاچه کشویی در پایین دست کانال اصلی، امکان ایجاد عمق جریان یکنواخت در کانال اصلی و با تنظیم دریاچه کشویی در کانال آب‌گیر، درصد مناسبی از انحراف فراهم شده است. سطح رسوبات در کانال اصلی هم‌تراز کف آب‌گیر در نظر گرفته شده است. عمق رسوبات در همه آزمایش‌ها ثابت و برابر ۲۰ سانتی‌متر بوده است. سطح رسوبات به وسیله تسطیح‌کننده در همه آزمایش‌ها صاف شده و سپس با وارد کردن جریان آزمایش‌ها شروع می‌شد. در ابتدای آزمایش دریاچه آب‌گیر و کانال اصلی کاملاً بسته شده و با وارد کردن دبی بسیار کم ماسه‌ها به تدریج کاملاً اشباع می‌شوند. سپس جریان اصلی وارد شده و با بسته نگه داشتن دریاچه‌های کانال اصلی و کانال آب‌گیر عمق جریان به عمقی که در آن رسوبات بستر

جابه‌جا نشوند رسانده می‌شد. سپس دریچه انتهایی کانال اصلی به تدریج گشوده شده و هنگامی که جریان در کانال اصلی به عمق مناسب رسید، دریچه آب‌گیر به اندازه مطلوب گشوده 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 مقدار رسوبات وارده به ابتدای کانال اصلی از دو مسیر آب‌گیر و انتهایی کانال اصلی یکسان باشد. این کار به وسیله نمونه‌گیری در هر دو مسیر در فواصل زمانی مختلف انجام شده است. از آنجایی که حرکت رسوبات در کانال اصلی به شکل موج‌های ماسه (دیون) می‌باشد، خروج رسوبات از انتهای کانال اصلی و کانال آب‌گیر با شدت یکنواخت نخواهد بود. زمان عبور کامل یک موج ماسه از مقابل آب‌گیر و انتهای کانال اصلی در نمونه‌گیری‌ها برای تعیین زمان تعادل در نظر گرفته شده است. از طرف دیگر شکل و ابعاد فرم بستر هم در تعیین زمان تعادل در نظر گرفته شده است. با اندازه‌گیری وزن رسوبات داخل آب‌گیر و مقدار رسوبات خروجی از آن، نسبت رسوبات انحرافی ( $g_f$ ) و حجم نسبی رسوب در آب‌گیر ( $V_f$ ) که عبارت است از حجم رسوبات ته‌نشین شده در کانال آب‌گیر به حجم رسوبات منتقل شده به ابتدای کانال اصلی) در طول زمان آزمایش محاسبه شده است. همچنین با اندازه‌گیری سرعت جریان به فاصله‌های ۲۰ سانتی‌متری در ۰/۶ عمق جریان و در خط مرکزی کانال، تأثیر طول آب‌شکن بر متوسط سرعت جریان بررسی شده است. توپوگرافی بستر بازه ۳۹۰ سانتی‌متری (۱۵۰ سانتی‌متر در پایین‌دست آب‌گیر و ۲۰۰ سانتی‌متر در بالادست آب‌گیر) به وسیله بستر نگار خودکار با دقت ۱ میلی‌متر برداشت شده است.



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

- **زمان تعادل:** نمودار زمان تعادل در شکل (۵) نشان داده شده است. زمان تعادل برای حالت بحرانی از ترکیب سازه‌ها که در آن بیشترین رسوبات به آب‌گیر وارد می‌شود در نظر گرفته شده است. در سایر آزمایش‌ها زمان رسیدن به تعادل کوتاه‌تر بوده با این وجود معیار زمان تعادل، بیشترین زمان در نظر گرفته شده است. زمان تعادل جریان رسوب، زمانی فرض شده است که مقدار کل رسوبات ورودی به ابتدای کانال اصلی ثابت شده باشد. با توجه به محاسباتی که در ادامه آمده می‌توان گفت تمامی رسوبات وارده به ابتدای کانال اصلی به ابتدای آب‌گیر نیز رسیده است. همان‌طور که از نمودارهای زمان تعادل دیده می‌شود مقدار رسوبات خروجی از آب‌گیر (QSI) در ابتدای آزمایش زیاد بوده سپس به تدریج کاهش پیدا کرده به طوری که پس از گذشت حدود دو ساعت به تعادل رسیده است (شکل ۵-ب). به منظور اطمینان از تعادل جریان رسوب، اندازه‌گیری و ثبت داده بعد از زمان چهار ساعت انجام شده است. در زمان تعادل کانال اصلی برعکس این پدیده رخ داده است و در ابتدا مقدار رسوبات ورودی به ابتدای کانال اصلی (QSM) کم بوده سپس افزایش یافته و به مقدار تعادل رسیده است (شکل ۵-الف). علت این امر را می‌توان ذخیره رسوبات در کانال آب‌گیر و تأخیر در انتقال آن به کانال اصلی، ذخیره جزئی در سیستم انتقال رسوب کانال اصلی و کاهش مقدار حمل رسوبات در طول زمان به دلیل توسعه فرم بستر و افزایش مقاومت جریان دانست. با ضرب نصف متوسط ارتفاع فرم‌های بستر در طول آنها و تقسیم بر زمان، سرعت حرکت دیون‌ها در کانال اصلی به دست می‌آید که این مقدار با شدت ورود رسوبات به ابتدای کانال اصلی از طریق سیستم چرخشی رسوب هماهنگی دارد. به طور متوسط دیون‌های شکل گرفته در بالادست آب‌گیر دارای طول ۹۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۴ سانتی‌متر و سرعت حرکت ۶ سانتی‌متر در دقیقه بوده‌اند. مقدار حرکت رسوبات در کانال اصلی که حاصل ضرب ابعاد دیون در سرعت حرکت آنها به دست می‌آید (۳۳ گرم در ثانیه) با مجموع رسوبات ورودی به ابتدای کانال اصلی (۳۲=۶+۲۶ گرم در ثانیه) تقریباً مطابقت دارد. پس از رسیدن به تعادل ابعاد فرم بستر و سرعت حرکت فرم بستر تقریباً ثابت می‌شود.



شکل ۵- تغییرات زمانی دبی رسوب برحسب زمان در الف- کانال اصلی، ب- کانال فرعی (شرایط آزمایش‌ها:  $q_1=0/6$ ،  $L_1=0$  سانتی متر،  $L_D=15$  سانتی متر،  $\alpha=90$ ).

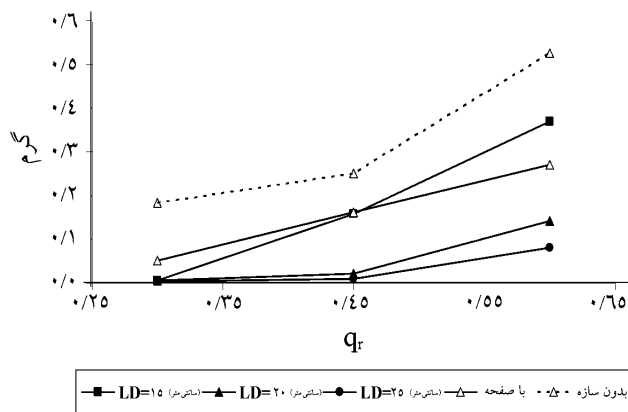
در جدول شماره ۲ اطلاعات آزمایش‌ها و محدوده تغییرات هر یک از متغیرها آمده است.

جدول ۲- محدوده تغییرات پارامترها در مطالعات آزمایشگاهی حاضر.

متغیر	فاصله آبشکن از آب‌گیر (سانتی‌متر)	زاویه آبشکن درجه	طول آبشکن (سانتی‌متر)	قطر مصالح (میلی‌متر)	دبی کل جریان (لیتر/ثانیه)	عمق جریان کانال اصلی در مقابل آب‌گیر (سانتی‌متر)
محدوده تغییرات	۰-۸۰	۴۵-۱۳۵	۱۵-۲۵	۱	۵۶	۱۱-۱۳

## نتایج و بحث

در این تحقیق تأثیر پارامترهای طول آبشکن، زاویه آبشکن و فاصله آبشکن از آب‌گیر در میزان رسوبات ورودی به آب‌گیر جانبی مورد بررسی قرار گرفته است. به دلیل استفاده از سیستم چرخشی رسوب مقدار رسوبات ورودی به ابتدای کانال پس از رسیدن به تعادل، تقریباً در طول زمان ثابت بوده است. سرعت متوسط جریان در کانال اصلی (۰/۵ متر در ثانیه)،  $1/3$  سرعت متوسط جریان برای آستانه حرکت ذرات (۰/۳۸ متر در ثانیه) با توجه به دیاگرام شیلدز می‌باشد. تأثیر طول آبشکن بر کاهش مقدار رسوبات به آب‌گیر در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۶) دیده می‌شود با افزایش طول آبشکن مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر کاهش می‌یابد.



شکل ۶- تأثیر طول آب‌شکن بر شدت رسوبات ورودی به آب‌گیر.

تأثیر در کنترل رسوب در آب‌شکن به طول ۱۵ سانتی‌متر کم است زیرا در این حالت به دلیل کوتاه بودن طول آب‌شکن و آب‌شستگی موضعی کنار آب‌شکن تأثیر آب‌شکن بر عملکرد آب‌گیر جانبی زیاد محسوس نیست. با افزایش نسبت دبی انحرافی از ۰/۴۵ به ۰/۶، مقدار رسوبات ورودی به آب‌گیر به دلیل افزایش شدت حمل رسوبات در کانال آب‌گیر و کانال اصلی (مقابل آب‌گیر)، بیشتر می‌شود. همچنین در نسبت دبی انحرافی ۰/۶، با افزایش سرعت در آب‌گیر عمده رسوبات ورودی به آب‌گیر، به پایین دست آب‌گیر منتقل شده و امکان ته‌نشینی رسوب کمتری در کانال آب‌گیر دارند. به نظر می‌رسد که رابطه شدت انتقال رسوبات به داخل آب‌گیر با جریان ورودی رابطه‌ای غیرخطی (نمایی با نمای بالاتر از یک) بوده این مسأله با یافته‌های محققان دیگر در مطالعات کلی مربوط به روابط انتقال رسوب نیز سازگار است (شفاعی بجنستان، ۲۰۰۰).

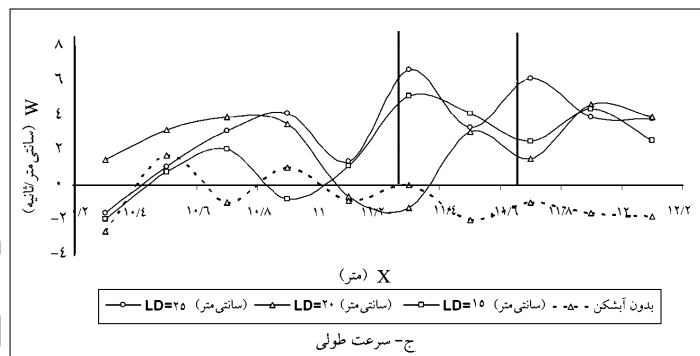
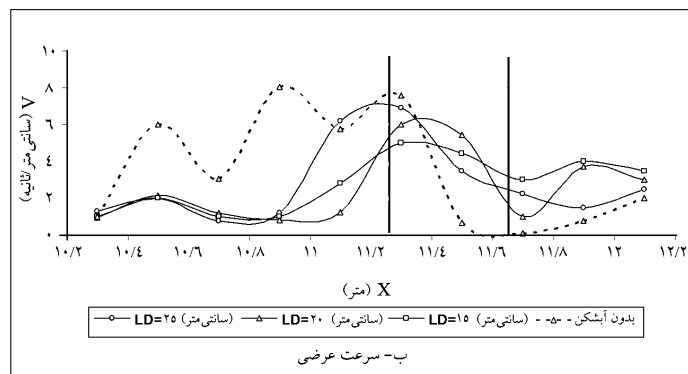
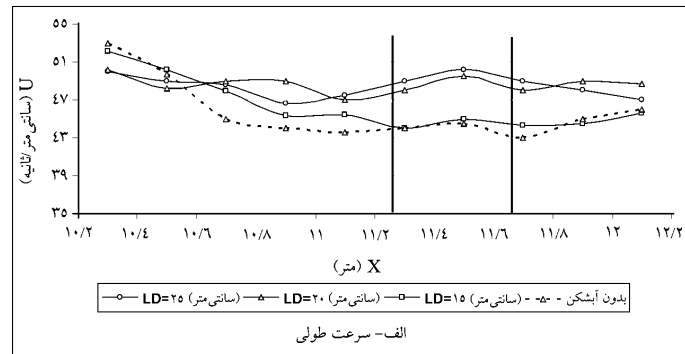
دو نمونه از پروفیل بستر قبل از شروع آزمایش و پس از رسیدن به تعادل نسبی در انتهای آزمایش در شکل (۷) نشان داده شده است. هر نقطه در این نمودار متوسط ۱۱ نقطه عرضی را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل به خوبی روشن است که متوسط تراز بستر پس از رسیدن به تعادل با تغییر دبی آب‌گیری نیز تقریباً ثابت مانده است. با توجه به این نمودار مجموع رسوبات وارد شده محدوده آب‌گیر، و رسوبات خارج شده از محدوده آب‌گیر تقریباً ثابت است.



شکل ۷- پروفیل بستر قبل از شروع آزمایش‌ها و پس از رسیدن به تعادل.

با افزایش طول آب‌شکن به دلیل تقویت سرعت طولی جریان ( $u$ ) در مقابل آب‌گیر مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر کاهش می‌یابد. در شکل (۸) متوسط سرعت‌های طولی ( $U$ )، عرضی ( $V$ ) و عمقی جریان ( $W$ ) در کانال اصلی و در محدوده آب‌گیر نشان داده شده است. سرعت جریان در  $0/6$  عمق جریان برداشت شده است. با توجه به شکل (۷) متوسط تراز رسوبات بعد از رسیدن به تعادل نیز تقریباً ثابت مانده است. نوسان‌های متوسط سرعت به دلیل تغییر دینامیک شکل بستر، عمق جریان و به دنبال آن محل عمقی سرعت متوسط می‌باشد.

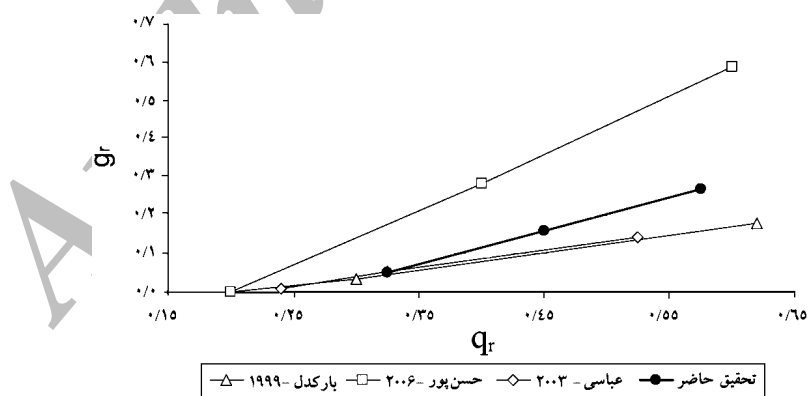
در جدول (۲) متوسط سرعت‌های طولی، عرضی و عمقی جریان آورده شده است. با توجه به این جدول با افزایش طول آب‌شکن متوسط سرعت طولی و عمقی جریان افزایش می‌یابد که این امر با افزایش عدد فرود موضعی به کارایی صفحات مستغرق کمک می‌کند. همچنین با افزایش طول آب‌شکن و کاهش متوسط سرعت عرضی جریان از ورود رسوبات به آب‌گیر تا حدودی کاسته می‌شود.



شکل ۸- تغییرات سرعت متوسط جریان در مقابل آب‌گیر در حضور آب‌شکن،  $(\alpha=90^\circ, q_f=0.3, L_1=40$  سانتی‌متر).

جدول ۲- حداقل، حداکثر و میانگین سرعت در محدوده آب‌گیر،  $X=11/2-11/4$ ،  $\alpha=90^\circ$ ،  $q_r=0/3$ ،  $L_f=40$  سانتی‌متر).

طول آبشکن (سانتی‌متر)	۲۵	۲۰	۱۵	۰
سرعت طولی (U)				
متوسط سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۴۸/۵	۴۸/۷	۶۴/۴	۴۵/۸
حداکثر سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۵۰/۱	۵۰/۲	۵۲/۱	۵۳/۰
حداقل سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۴۶/۷	۴۷/۰	۴۴/۰	۴۳/۰
سرعت طولی (U)				
متوسط سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۴۸/۵	۴۸/۷	۶۴/۴	۴۵/۸
حداکثر سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۵۰/۱	۵۰/۲	۵۲/۱	۵۳/۰
حداقل سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۴۶/۷	۴۷/۰	۴۴/۰	۴۳/۰
سرعت عرضی (V)				
متوسط سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۲/۸	۲/۵	۲/۸	۳/۵
حداکثر سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۶/۹	۶/۰	۵/۰	۸/۱
حداقل سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۰/۷	۰/۷	۱/۰	۰/۱
سرعت عمقی (W)				
متوسط سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۳/۲	۲/۳	۲/۰	-۰/۸
حداکثر سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	۶/۷	۴/۶	۵/۱	۱/۷
حداقل سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)	-۱/۷	-۱/۳	-۲/۰	-۲/۷

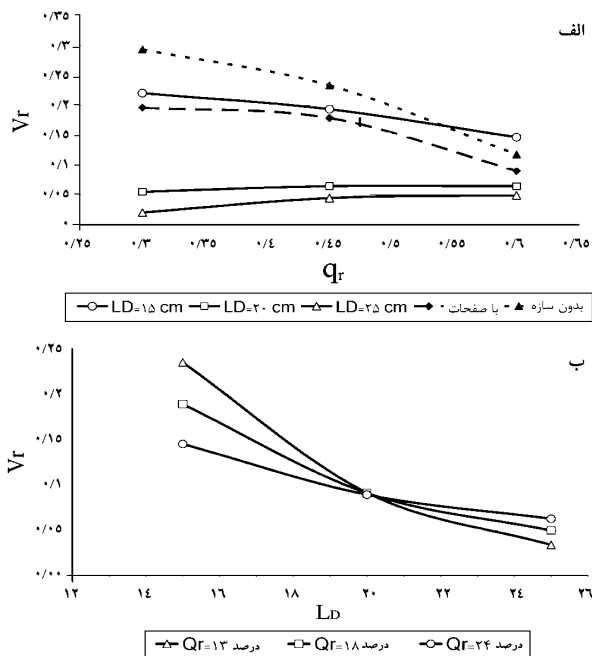


شکل ۹- مقایسه تغییرات نسبت انحراف رسوب با نسبت انحراف جریان در تحقیق حاضر با سایر محققان.



کارآیی صفحات مستغرق بدون آبشکن در کنترل رسوب با نتایج سایر محققان در شکل (۹) مقایسه شده است. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود روند کلی تغییرات رسوبی خروجی از آب‌گیر با افزایش دبی آب‌گیری یکسان است. علت تفاوت در شدت رسوب خروجی از آب‌گیر با دبی آب‌گیری را می‌توان در شرایط متفاوت محیط آزمایشی و دخالت ندادن تمامی پارامترهای مؤثر در پدیده عنوان کرد. برای مثال در شرایط آزمایشی حسن‌پور (۲۰۰۶) از سیستم چرخشی آب و رسوب استفاده نشده است.

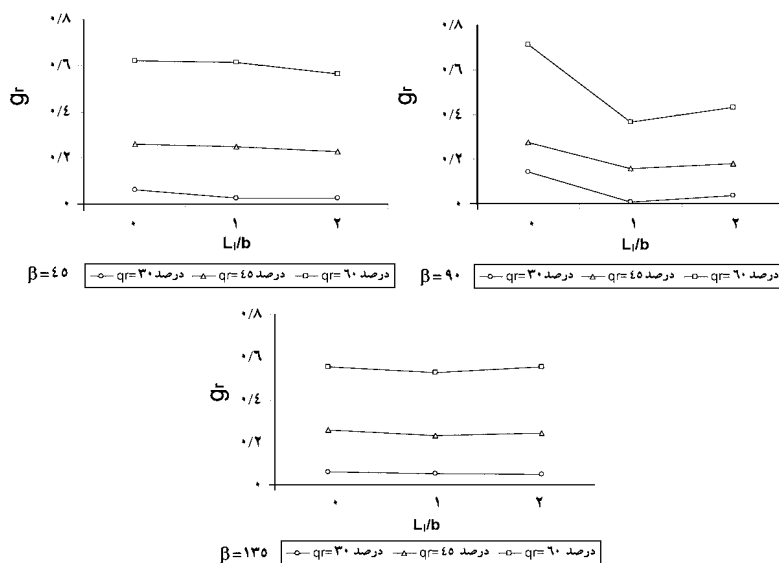
بخشی از رسوبات وارد شده از کانال اصلی به داخل آب‌گیر در داخل آن انباشته می‌شوند. حجم این رسوبات در ارتباط با سرعت جریان در داخل آب‌گیر و یا نسبت آب‌گیری متغیر می‌باشد. با نسبت انحراف کم جریان ( $q_f=0/3$ )، تنش بستر در داخل آب‌گیر از آستانه حرکت ذرات پایین‌تر بوده و مقداری از رسوبات در داخل آب‌گیر انباشته می‌شوند. در دبی آب‌گیری بالا ( $q_f=0/6$ ) هر چند مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر نیز افزایش پیدا می‌کند ولی نشست رسوبات در داخل آب‌گیر کاهش می‌یابد. در شکل (۱۰) روند تغییرات حجم نسبی رسوب در آب‌گیر ( $V_r$ )، برای طول‌های مختلف آب‌شکن با نسبت انحراف و طول آب‌شکن نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود در سه حالت: بدون سازه، استفاده از صفحات به تنهایی و استفاده از آب‌شکن با طول ۱۵ سانتی‌متر؛ در دبی انحرافی ۳۰ درصد مقدار انباشت رسوبات در داخل آب‌گیر به شدت افزایش می‌یابد که خطر مسدود شدن آب‌گیر را به دنبال دارد. با افزایش مقدار دبی انحرافی سرعت جریان در داخل آب‌گیر نیز افزایش می‌یابد که باعث انتقال رسوبات به پایین‌دست آب‌گیر شده و از انباشت رسوبات در داخل آب‌گیر جلوگیری می‌کند. اما در حالتی که از آب‌شکن با طول ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر در مقابل آب‌گیر استفاده شده است در نسبت‌های آب‌گیری کم نیز مقدار انباشت رسوبات در داخل آب‌گیر کاهش می‌یابد و خطر مسدود شدن آب‌گیر از بین می‌رود. تأثیر کم آب‌شکن با طول ۱۵ سانتی‌متر در کاهش حجم رسوبات انباشت شده در آب‌گیر نشان می‌دهد که برای کاهش حجم نسبی رسوب در آب‌گیر باید طول آب‌شکن افزایش یابد. در نسبت آب‌گیری ۰/۶ نیز با افزایش طول آب‌شکن مقدار انباشت رسوبات در داخل آب‌گیر کاهش یافته که نشان می‌دهد با افزایش طول آب‌شکن مقدار سرعت جریان در آب‌گیر بیشتر شده و ورود رسوبات به آب‌گیر نیز کاهش می‌یابد.



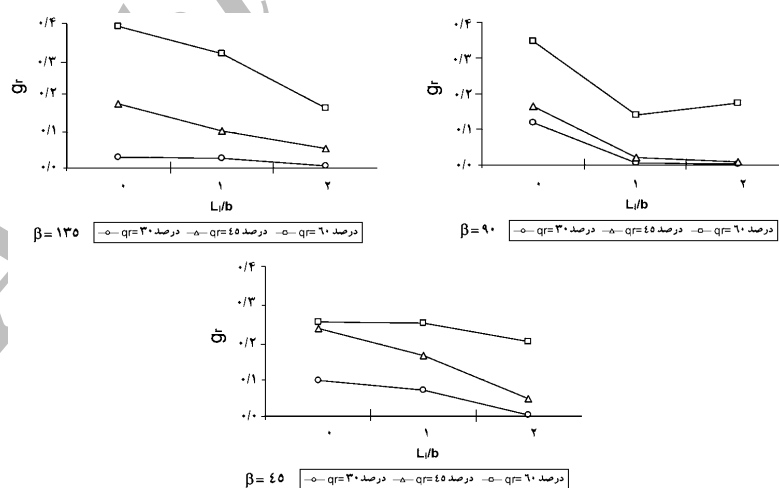
شکل ۱۰- تغییرات متوسط حجم نسبی رسوب در آبگیر با الف) دبی انحرافی، ب) طول آبشکن.

در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) تأثیر فاصله قرارگیری آبشکن از آبگیر مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که در نمودارها دیده می‌شود با نصب آبشکن در مقابل آبگیر مقدار رسوبات ورودی به آبگیر کاهش یافته است. این امر به دلیل افزایش سرعت عرضی در مقابل جریان است (شکل ۸). با نصب آبشکن در ساحل مقابل و بالاتر از آبگیر، سرعت طولی جریان افزایش می‌یابد و هم‌زمان با عملکرد صفحات از ورود رسوبات به داخل آبگیر جلوگیری به عمل می‌آید. با نصب آبشکن در بالاتر از آبگیر سطح رسوبات در مقابل آبگیر به دلیل افزایش سرعت جریان، پایین‌تر می‌رود و با این عمل، آستانه‌ای در مقابل آبگیر ایجاد می‌شود که مانع ورود رسوبات به داخل آبگیر خواهد شد. قسمت عمده رسوبات ورودی به داخل آبگیر از ناحیه یک سوم پایین دست دهانه آبگیر به داخل آبگیر وارد می‌شوند. تشکیل فرم‌های بستر از بالادست کانال اصلی و پایین دست کانال آبگیر شروع شده و به پایین دست توسعه پیدا می‌کنند. فرم‌های بستر شکل گرفته پس از رسیدن به مقابل آبگیر متوقف شده و به تدریج از پیشانی آنها شسته شده و به پایین دست منتقل می‌شوند. با انحراف جریان به سمت آبگیر در نقطه جدایی جریان از کانال اصلی به آبگیر (نقطه A در شکل ۱)

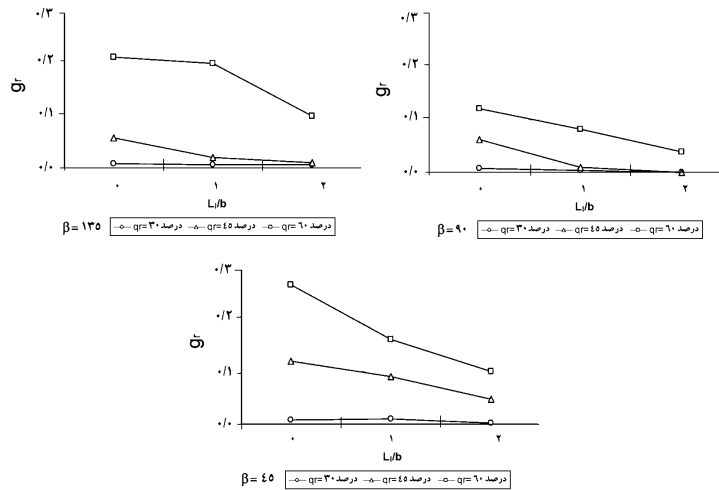
گردابه‌هایی به سمت پایین دست و بالادست ایجاد می‌شود که از ترکیب این گردابه‌ها با جریان کانال اصلی رسوبات از یک سوم پایین دست آب‌گیر به داخل آب‌گیر منتقل می‌شود. با حرکت بخشی از این گردابه‌ها به پایین دست شیاری در پایین دست آب‌گیر ایجاد می‌شود که در شکل (۱۴) دیده می‌شود.



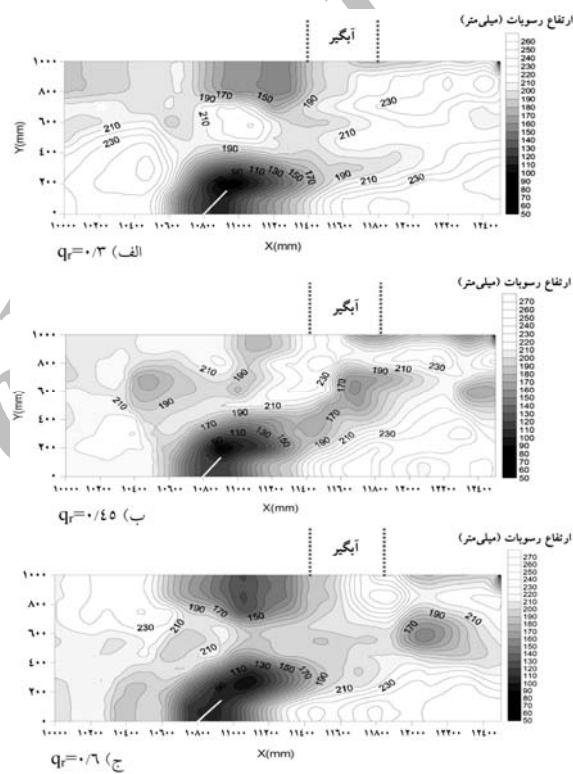
شکل ۱۱- تأثیر فاصله آب‌شکن در شدت ورود رسوبات به آب‌گیر ( $L_D=15$  سانتی‌متر).



شکل ۱۲- تأثیر فاصله آب‌شکن در شدت ورود رسوبات به آب‌گیر ( $L_D=20$  سانتی‌متر).

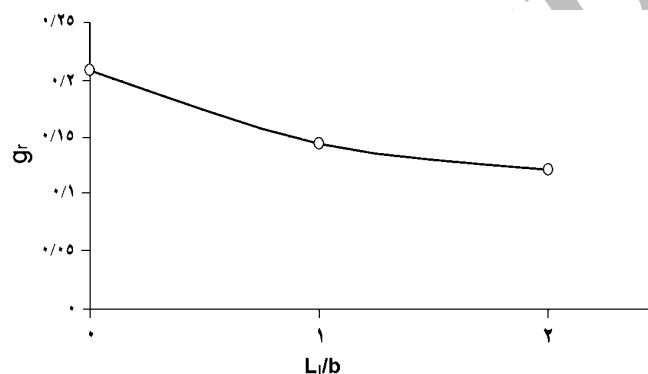


شکل ۱۳- تأثیر فاصله آب شکن در شدت ورود رسوبات به آبگیر ( $L_D=25$  سانتی متر).



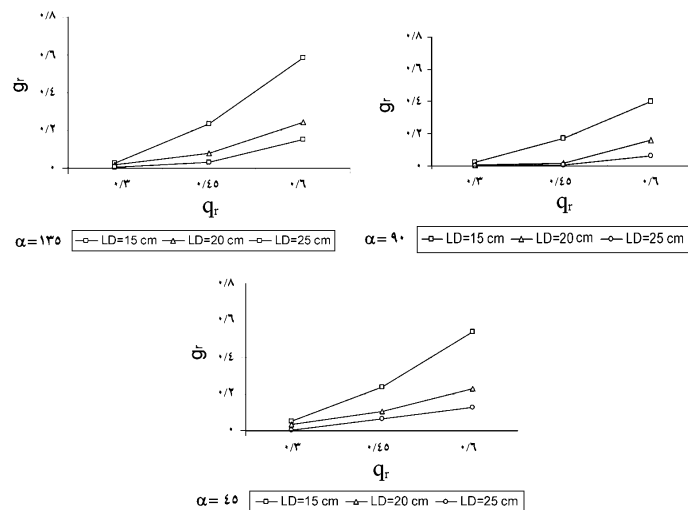
شکل ۱۴- شکل پروفیل بستر برای سه نسبت آب گیری ( $\beta=45$ ,  $L_1=40$ ,  $L_D=20$ ).

با توجه به روند نمودارهای (۱۱) تا (۱۳) در فاصله  $2L_1/b$  شدت ورود رسوبات به داخل آب‌گیر به کمترین حد می‌رسد. متوسط نمودارهای (۱۱) تا (۱۳) در شکل (۱۵) نشان داده شده است. در این نمودار روند کلی کاهش رسوبات با حرکت آب‌شکن با بالادست آب‌گیر دیده می‌شود. به نظر می‌رسد با جابجایی آب‌شکن به سمت بالادست آب‌گیر از ناحیه تأثیر آب‌گیر بر روی جریان در کانال اصلی کاسته شده و این تأثیر به سمت پایین دست هم منتقل شده است.



شکل ۱۵- تأثیر محل قرارگیری آب‌شکن در مقابل آب‌گیر.

تأثیر زاویه آب‌شکن در شدت ورود رسوبات به آب‌گیر در شکل (۱۶) نشان داده شده است. آب‌شکن با زاویه قرارگیری  $90^\circ$  درجه کنترل رسوب بهتری را نسبت به دو زاویه  $45^\circ$  و  $135^\circ$  نشان می‌دهد. در آب‌شکن با زاویه  $90^\circ$  درجه تا نسبت آب‌گیری  $0.45$  مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر بسیار ناچیز است. همان‌طور که نمودارها نشان می‌دهند تغییرات  $g_r$  با  $Q_r$  خطی نیست و با افزایش مقدار دبی آب‌گیری مقدار رسوبات انحرافی به آب‌گیر با شدت بیشتری افزایش پیدا می‌کند. در نسبت‌های آب‌گیری کم بدون نصب آب‌شکن در مقابل آب‌گیر پس از مدت کوتاهی رسوبات زیادی در داخل آب‌گیر انباشته شده و به دلیل کم بودن قدرت حمل جریان، امکان مسدود شدن دهانه و کل مجرای آب‌گیر وجود دارد. با نصب آب‌شکن در مقابل آب‌گیر، مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر در دبی‌های پایین آب‌گیری بسیار ناچیز بوده و خطر مسدود شدن دهانه آب‌گیر از بین می‌رود.



شکل ۱۶- تأثیر زاویه آب‌شکن در شدت ورود رسوبات به آب‌گیر.

تحلیل آماری نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که رابطه عمومی (۳) را می‌توان به فرم یک رابطه خطی ساده رابطه ۴ تبدیل نمود:

$$g_r = 0.21 + 0.94q_r - 2/12 \left(\frac{L_D}{B}\right) - 0.044 \left(\frac{L_I}{b}\right) - 0.003\alpha \quad R^2 = 0.76 \quad (4)$$

این رابطه تطابق بهتری نسبت به سایر روابط داشته است. در این رابطه با توجه تحلیل‌های صورت گرفته دبی جریان  $q_r$  بیشترین تأثیر، و زاویه آب‌شکن  $\alpha$  کمترین تأثیر را در میزان ورود رسوبات به آب‌گیر داشته‌اند.

### نتیجه‌گیری

در این آزمایش‌ها تأثیر موقعیت نصب آب‌شکن در مقابل آب‌گیر، طول آب‌شکن و زاویه آب‌شکن با جریان در میزان کاهش رسوب به آب‌گیر مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نمودارهای شکل (۶) طول آب‌شکن تأثیر قابل‌توجهی در کاهش ورود رسوبات به آب‌گیر دارد به طوری که در نسبت دبی آب‌گیری  $q_r = 0.3$  ورود رسوبات به آب‌گیر به صفر کاهش پیدا می‌کند. با افزایش فاصله آب‌شکن از مقابل آب‌گیر به سمت بالادست مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر کاهش پیدا کرده که این امر به دلیل کاهش اغتشاش در مقابل آب‌گیر و افزایش سرعت طولی و همچنین کاهش سرعت عرضی جریان بوده است. در زاویه ۹۰ درجه آب‌شکن با جریان اصلی، ورود رسوبات به آب‌گیر کمترین حد

بوده است که می‌توان به‌طور کلی نتیجه‌گیری کرد که با افزایش تنگ‌شدگی جریان به‌وسیله آب‌شکن مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر کاهش پیدا می‌کند. در صورت نبود آب‌شکن و صفحات در مقابل آب‌گیر، (توجه به شکل ۱) ناحیه تحت‌تأثیر آب‌گیر در کانال اصلی در عمق آب نسبت به سطح آب دارای گستردگی بیشتری است و با توجه به این که قسمت عمده رسوبات به‌صورت بار کف هستند بنابراین انتظار می‌رود با نصب آب‌شکن در ساحل مقابل آب‌گیر از گستردگی کاسته شده و مقدار رسوبات کمتری وارد آب‌گیر شود. از آنجایی که این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی صورت گرفته و شبیه‌سازی جریان همراه با رسوب در مدل و پروتوتایپ با کاربرد این سازه‌ها بسیار پیچیده است، تعمیم این نتایج در عمل باید با احتیاط صورت گیرد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد با استفاده هم‌زمان از آب‌شکن و صفحات مستغرق در مقابل آب‌گیر مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر کاهش می‌یابد.

#### منابع

1. Abbasi, A.A. 2003. Experimental investigation of sediment control at lateral intakes. Ph.D. Thesis in Hydraulic Engineering. Tarbiat Modares Univ. 192p. (In Persian).
2. Ahmed, M. 1953. Experiments on the Design and Behavior of Spur Dikes. Proceedings of the International Hydraulics Convention, ASCE and IAHR University of Minnesota, Minneapolis, MN, Pp: 145-159.
3. Barkdoll, B.D., Ettema, R., and Odgaard, J. 1999. Sediment control at lateral diversion: limits and enhancements to vane use. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125: 8. 862-870.
4. Emam, A. 1995. Investigating of submerged vane array on rivers behavior. M.Sc. Thesis in Hydraulic Structure Engineering. Tehran Univ. 160p. (In Persian).
5. Ettema, R., and Muste, M. 2004. Scale effects in flume experiments on flow around a spur dike in flatbed channel. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 137: 4. 635-646.
6. Garde, R.J., Subramanya, K., and Nambudripad, K.D. 1961. Study of Scour around Spur-Dikes. Journal of Hydraulics Division, ASCE, 87: 23-37.
7. Ghalani, A. 1998. Laboratory investigation of submerged vane's angle effect on their performance at intakes, M.Sc. Thesis in Hydraulic Engineering, Tarbiat Modares Univ. 123p. (In Persian).
8. Hassanpour, F. 2006. Performance of lateral intake with compound submerged vanes and sill. Ph.D. Thesis in Hydraulic Structure Engineering, Tarbiat Modares Univ. 227p. (In Persian).

9. Hsu, C.C., Tang, C.J., Lee, W.J., and Shieh, M.Y. 2002. Subcritical 90° equal-width open-channel dividing flow. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 128: 7. 716-720.
10. Johnson, P.A., Hey, R.D., Tessier, M., and Rosgen, D.L. 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 127: 9. 772-778.
11. Kuhnle, R.A., Alonso, C.V., and Shields, F.D.Jr. 1999. Geometry of scour holes associated with 90° spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125: 9. 972-978.
12. Marelius, F. 2001. Experimental investigation of submerged vanes as means of beach protection, *Coastal Engineering*, 42: 1-16.
13. Marelius, F., and Sinha, S.K. 1998, Experimental investigations on flow past submerged vanes, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 124: 5. 542-545.
14. Melville, B.W. 1992. Local scour at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 118: 4. 615-631.
15. Melville, B.W., and Coleman, S. 2000. *Bridge scour*, Water Resources Publications, Littleton, Colo. 550p.
16. Nakato, T., and Ogden, F.L. 1998. Sediment control at water intakes along sand-bed rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124: 6. 589-596.
17. Neary, V.S., Sotiropoulos, F., and Odgaard, A.J. 1999. Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125: 2. 126-140.
18. Odgaard, J., and Wang, Y. 1991a. Sediment Management with Submerged Vanes. I: Theory. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117: 3. 267-283.
19. Odgaard, J., and Wang, Y. 1991b. Sediment management with submerged vanes. II: Applications. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117: 3. 284-302.
20. Ouyang, H.T. 2001. Design optimization of submerged vane system for sediment control. Ph.D. Thesis at IOWA Univ. 210p.
21. Ramamurthy, A.S., Junying, Q., and Diep, V. 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows, *Journal of Hydraulic Engineering*, 133: 10. 1135-1144.
22. Sajedi Sabegh, M., and Habibi, M. 2003. Laboratory investigation of using submerged vane and dikes on efficiency of intakes. P 35-42. *Proceeding of 4<sup>th</sup> hydraulic conference*, (In Persian).
23. Shafaei-Bajestan, M. 2000. *Sediment Hydraulics*. Shahid Chamran Univ. Press, 470p. (In Persian).
24. Solaymani Osbooei, H.R. 1996. Investigation of submerged vane array on rivers bed morphology. M.Sc. Thesis in Environmental Engineering, Tehran Univ. 175p. (In Persian).
25. Voisin, A., and Townsend, R.D. 2002. Model testing of submerged vanes in strongly curved narrow channel bends. *Canadian journal of civil engineering*, 29: 37-49.
26. Wang, Y., Odgaard, J., Melville, B.W., and Jain, S.C. 1996. Sediment control at water intakes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122: 6. 353-356.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(2), 2009*  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## **The Impact of Spur Dike and Submerged Vanes on Sediment Control at Lateral Intake**

**S. Gohari<sup>1</sup>, \*S.A. Ayyoubzadeh<sup>2</sup>, M. Ghodsian<sup>3</sup>  
and S.A.A. Salehi Neishaboori<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Water Structure Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran,  
<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Water Structure Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran,  
<sup>3</sup>Professor, Dept. of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

### **Abstract**

Sediment control at lateral intakes is known as a very common problem and the most complicated issue for river engineers. Since a larger portion of the near-bed flow is diverted, the intake will receive a relatively large amount of bed load materials. Thus, appropriate and reliable methods are needed to minimize the amount of diverted sediment materials into the intake of a river. In this research, a laboratory study was carried out to explore a possible solution method using two types of river structures simultaneously including a set of submerged vanes and a single spur dike. Submerged vane by setting a tip vortex and a helical flow in downstream, can reduce the movement of bed sediment flow into a diversion. In this study, the optimum dimensions, number and array of vanes were selected as determined by the regular design method. For guiding flow into the diversion and increasing the vane performance, a single spur dike in opposite side of intake was utilized. The main goal of the experiment was to evaluate the effect of spur dike length, the location of intake, and the angle of attack on reducing the movement of bed sediment into the diversion. Experimental tests included three lengths of spur dike: 15, 20, 25 cm with 0, 40, and 80 cm distance from the intake with angles of 45°, 90° and 135°, respectively. The results showed that the effective performance of the vanes increased and consequently eliminated the bed sediment ingestion into diversion at  $q_r=0.3$  once they used with a single spur dike at opposite side of the intake. An average reduction of 40% in sediment ingestion into diversion was observed a spur dike located at a distance of twice intake width from the centre line as. Furthermore, the results indicated that among the three angles of spur dike investigated, the sediment movement into the intake was minimized by using an angle of 90°.

**Keywords:** Submerged Vane, Sediment Control, Lateral Intake, Spur Dike, Mobile Bed

---

\* Corresponding Author; Email: [ayyoub@modares.ac.ir](mailto:ayyoub@modares.ac.ir)