



بررسی تاثیر حالت‌های مختلف کنترل رسوب بر سواحل اطراف دهانه آبگیر جانبی

علی عطارزاده^{۱*}، علی باباخانی^۲

۱- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران
۲- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۳
بازنگری: ۱۴۰۰/۰۱/۰۲
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۳۱
ارائه آنلاین: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵

کلمات کلیدی:

آب‌شستگی
آبگیر
آستانه
آب‌شکن
صفحات مستغرق

خلاصه: تامین آب مورد نیاز با حداقل رسوبات از اهداف مهم در انحراف آب از رودخانه‌ها می‌باشد که بعضاً از سازه‌هایی با آرایش مختلف جهت کنترل رسوبات به آبگیرها استفاده می‌شود. موضوع مهمی که علاوه بر کنترل رسوب باید مورد توجه جدی قرار گیرد، تاثیر این سازه‌ها و سناریوهای کنترل رسوب بر محیط اطراف آبگیرها در رودخانه‌ها شامل سواحل و محل تاسیسات جانبی در اطراف دهانه آبگیر می‌باشد. در این تحقیق به طور آزمایشگاهی در یک کانال مجهز به سیستم چرخشی رسوب و دارای بستر متحرک ناشی از حرکت دیون‌ها، تاثیر این سازه‌ها شامل آستانه، آب‌شکن و صفحات مستغرق بر سواحل اطراف دهانه آبگیر ۹۰ درجه در قالب چهار سناریوی کنترل رسوب تحت شرایط آبگیری مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. نظر به تغییرات بی‌وقفه رقوم بستر در این شرایط، جهت ارزیابی دقیق آب‌شستگی در مجاورت سواحل، بعد از رسیدن بستر به تعادل دینامیکی، سری زمانی آب‌شستگی برای نقاط بالا دست تا پایین دست اطراف دهانه آبگیر در سواحل طرفین کانال اصلی استخراج شد و مورد پردازش قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که در اطراف دهانه آبگیر، به دلیل تاثیر عوامل مختلف بر جریان، رفتارهای متفاوتی مشاهده می‌شود. در حالی که وجود آب‌شکن، در نسبت‌های آبگیری مورد تحقیق، به طور متوسط باعث افزایش حدود ۷۲ و ۳۴ درصد به ترتیب در عمق و طول ناحیه آب‌شستگی در پایین دست دهانه آبگیر می‌شود، وجود صفحات مستغرق کاهش ۳۷ درصدی طول ناحیه مذکور را موجب می‌شود و در حالی که در نسبت آبگیری ۰/۱۲، افزایش حدود ۶۶ درصد در عمق ناحیه رخ می‌دهد ولی در نسبت آبگیری ۰/۱۸ کاهش حدود ۲۴ درصد رقم می‌خورد.

۱- مقدمه

سازه دیگری که نقش بسزایی در کاهش رسوب ورودی به آبگیر دارد که با هدف شناسایی الگوی جریان اطراف آن، تاثیر آن بر مورفولوژی رودخانه، راندمان کنترل رسوب ورودی به آبگیر و بهبود آن تحقیقات متعددی انجام شده است [۳۱-۱۵، ۱۰ و ۹]. همچنین دیگر بررسی‌ها نشان داده است که آب‌شکن نیز می‌تواند رسوب ورودی به آبگیر را به طور قابل توجهی کاهش دهد [۳۵-۳۲]. نظر به تاثیر قابل توجه سازه‌های مذکور، به منظور افزایش راندمان کنترل رسوب ورودی به آبگیر، به کارگیری همزمان این سازه‌ها نیز مطرح نظر محققان قرار گرفت و در بعضی شرایط توانسته است نقش بسیار موثری در این زمینه داشته باشد. به عنوان مثال می‌توان به حضور همزمان آستانه و صفحات مستغرق در مرجع [۱۱]، به کارگیری آستانه و آب‌شکن در مرجع [۳۸-۳۶]، استفاده از آب‌شکن به همراه صفحات در مرجع [۳۹] و نصب آستانه، آب‌شکن به همراه صفحات در اطراف دهانه آبگیر در مرجع [۴۰] اشاره کرد که باعث جلب نظر طراحان در پروژه‌های متعددی از قبیل

در موضوعات مرتبط با مهندسی رودخانه، تامین آب مورد نیاز جهت مصارف صنعتی، شهری یا کشاورزی با حداقل رسوبات از اهداف و دغدغه‌های بسیار مهم در انحراف آب از رودخانه‌هاست. به منظور شناخت الگوی جریان در اطراف دهانه آبگیر و بررسی پارامترهای موثر بر آن، تحقیقات زیادی انجام شده است [۸-۱]. به علاوه بار رسوبی جزء لاینفک سیستم رودخانه‌هاست که به هنگام آبگیری، مقداری از آن‌ها همراه جریان وارد آبگیر می‌شود که می‌تواند در نهایت به مختل شدن اهداف آبگیری منجر شود. در این راستا، با هدف کنترل رسوب ورودی به آبگیر شرایط و سناریوهای مختلفی مورد توجه محققان قرار گرفته است. از جمله این سناریوها، نصب آستانه است که علیرغم سادگی، توانسته است در کنترل رسوب به ویژه رسوب بستر موثر باشد [۱۴-۹].

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: attarzadeh@qu.ac.ir



شد. کف دارای بستر رسوبی از جنس سیلیس به قطر متوسط ۱ میلی‌متر، جرم مخصوص ۲/۶۵ و انحراف معیار هندسی ۱/۱ می‌باشد که توسط یک تیغه مسطح، شیب ۰/۰۰۱ در آن ایجاد می‌شود. علاوه بر کانال اصلی، کانال آبگیر به طول و عرض ۲ و ۰/۴ متر با زاویه ۹۰ درجه نسبت به کانال اصلی در ۱۱/۲ متر پایین دست ابتدای کانال اصلی در ساحل چپ نصب شده است. در انتهای کانال اصلی و آبگیر به ترتیب از دریچه کشویی روگذر و زیرگذر برای تنظیم نسبت دبی آگیری استفاده شده است. هر دو قسمت کانال اصلی و آبگیر، دارای سیستم چرخشی رسوب می‌باشند که در آن جریان و رسوب خروجی از آبگیر و کانال اصلی توسط پمپ لجن‌کش به ابتدای کانال اصلی بر می‌گردد. به منظور ارزیابی تاثیر سازه‌های کنترل رسوب بر سواحل کانال، چهار حالت کنترل رسوب در اطراف دهانه آبگیر در کانال اصلی به شرح ذیل طراحی گردید:

حالت اول: بدون سازه «NS¹» یا شاهد که در آن هیچگونه سازه‌ای برای کنترل رسوب ورودی به آبگیر تعبیه نشده است. دوم: حالت «S²» که در آن با نصب آستانه‌ای در ورودی آبگیر که دارای ارتفاعی معادل ۳۰ درصد عمق نرمال جریان بالا دست کانال اصلی می‌باشد، رسوب ورودی به آبگیر کنترل می‌شود. سوم: حالت «SD³» که علاوه بر نصب آستانه در ورودی آبگیر، یک آبشکن غیرمستغرق به طول ۲۵ درصد عرض کانال اصلی، در بالا دست آبگیر در ساحل راست کانال اصلی نصب می‌شود. لازم به توضیح است که موقعیت و ابعاد آبشکن بر اساس نتایج مرجع [۳۹] در نظر گرفته شده است. چهارم: حالت «SDV⁴» که علاوه بر نصب آستانه در ورودی آبگیر و آبشکن در بالا دست آبگیر، در جلوی آبگیر در کانال اصلی شش ردیف دو تایی از صفحات مستغرق نصب شده است. برای طراحی آرایش صفحات از توصیه‌های مرجع [۲۱] استفاده شده است. در شکل ۱ آرایش سازه‌های کنترل رسوب حالت چهارم ارائه شده است. در این شکل، مبدا مختصات در لبه پایین دست آبگیر در کانال اصلی و سطح مبنا یا به عبارتی $Z=0$ ، سطح اولیه رسوب بستر قبل از شروع آزمایش می‌باشد.

در هر کدام از چهار حالت مذکور، سه آزمایش در سه نسبت دبی آگیری ۰/۱۲، ۰/۱۵ و ۰/۱۸ انجام شد. مقدار دبی جریان بالا دست آبگیر در کلیه آزمایش‌ها برابر ۵۶ لیتر در ثانیه در نظر گرفته شد و بر اساس شیب بستر، عمق نرمال جریان ۰/۱۱۸ متر و با توجه به مشخصه‌های جریان و بستر،

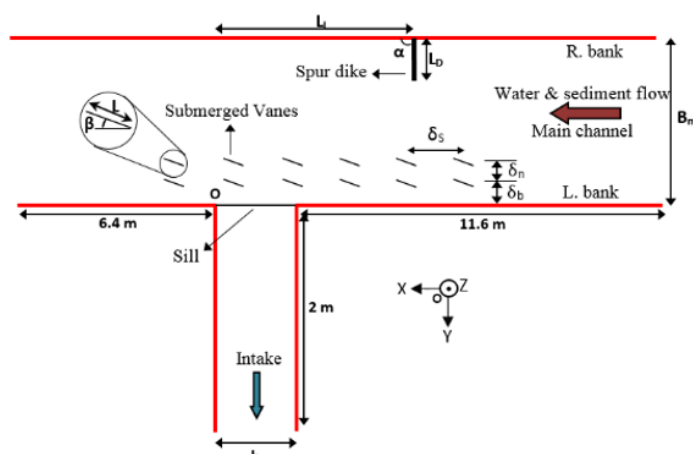
آبگیر نیروگاه Duane Arnold بر رودخانه Cedar در ایالت آیوا، آبگیر Byron بر رودخانه Rock در ایالت ایلینویز و آبگیر نیروگاه حرارتی بر رودخانه Muskingum در ایالت اوهایو در آمریکا و ... شده است [۴۲، ۴۱ و ۱۱].

اگر چه سازه‌های مذکور به تنهایی و یا به همراه سازه‌های دیگر، با اعمال مجموعه‌ای از تغییرات در الگوی جریان، در بعضی شرایط راندمان بسیار بالایی در کنترل رسوب ورودی به آبگیر داشته است ولی از طرف دیگر، تاثیرات قابل توجهی نیز بر محیط اطراف آبگیر در رودخانه دارد که از آن جمله می‌توان به ایجاد نواحی آب‌شستگی و رسوب‌گذاری در اطراف آبگیر و به ویژه در سواحل اشاره کرد که غفلت از آن‌ها می‌تواند پایداری سواحل و یا عملکرد تاسیسات جانبی اطراف آبگیرها را به مخاطره بیندازد. از این رو، شناسایی نقاط مستعد آب‌شستگی و رسوب‌گذاری در سواحل اطراف آبگیر، می‌تواند در طراحی آبگیرها و موقعیت سنجی سازه‌های وابسته به آن بسیار مفید باشد. همچنین موقعیت اعمال و ابعاد تمهیدات لازم برای مقابله با آب‌شستگی یا رسوب‌گذاری مخرب و تقویت آب‌شستگی یا رسوب‌گذاری مفید را پیش روی طراحان قرار می‌دهد. به علاوه اطلاع از حجم آب‌شستگی و رسوب‌گذاری ناشی از این سازه‌ها و به تبع آن هزینه‌های تحمیلی، در طراحی سازه بهینه کنترل رسوب بسیار مفید می‌باشد. ارزیابی دقیق و کمی آب‌شستگی و رسوب‌گذاری در سواحل اطراف دهانه آبگیر چندان مورد بررسی محققان قبلی قرار نگرفته است و در مراجع [۴۰ و ۹] نیز فقط در یک نقطه از ساحل کانال اصلی در پایین دست دهانه آبگیر و تحت شرایط خاص از منظر هیدرولیکی و نوع سامانه کنترل رسوب بررسی شده است. نکته دیگر اینکه، در تحقیقات مذکور، تحلیل‌ها بر اساس نتایج حاصل از برداشت بستر نگار در پایان آزمایش و پس از تخلیه آب از کانال آزمایشگاهی می‌باشد که با توجه به تغییرات مداوم بستر در طی زمان ناشی از حرکت دیون‌ها نیازمند بررسی بیشتر است. از این رو، در این تحقیق با به کارگیری سازه‌های مختلف کنترل رسوب شامل آستانه، آبشکن و صفحات مستغرق و برداشت رقوم بستر به طور مداوم در طی زمان، در مجاورت سواحل چپ و راست کانال اصلی از بالا دست تا پایین دست دهانه آبگیر و تشکیل سری زمانی رقوم بستر، رفتار بستر در نواحی مذکور مورد بررسی جامع‌تری از منظر کیفی و کمی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور انجام آزمایش‌ها از کانالی به طول و عرض به ترتیب ۱۸ و ۱ متر با جداره‌ای از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۱ سانتی‌متر استفاده

- 1 No structure
- 2 Sill
- 3 Sill & Dike
- 4 Sill, Dike and (submerged) Vanes



Design characteristics	H_s	L_I	L_D	α	β	L	B_m	B_I	δ_s	δ_b	δ_n	H_v	h_m
	۰/۰۳۵	۱	۰/۲۵	۹۰	۲۰	۰/۱۰۸	۱	۰/۴	۰/۱۸	۰/۱۰۸	۰/۱۰۸	۰/۰۳	۰/۱۱۸

شکل ۱. نحوه آرایش سازه‌های کنترل رسوب در حالت چهارم (ابعاد (متر)، زاویه (درجه)) [۴۰]

Fig. 1. Array of sediment control structures in the fourth scenario (dimensions (m), angles (degree)) [40]

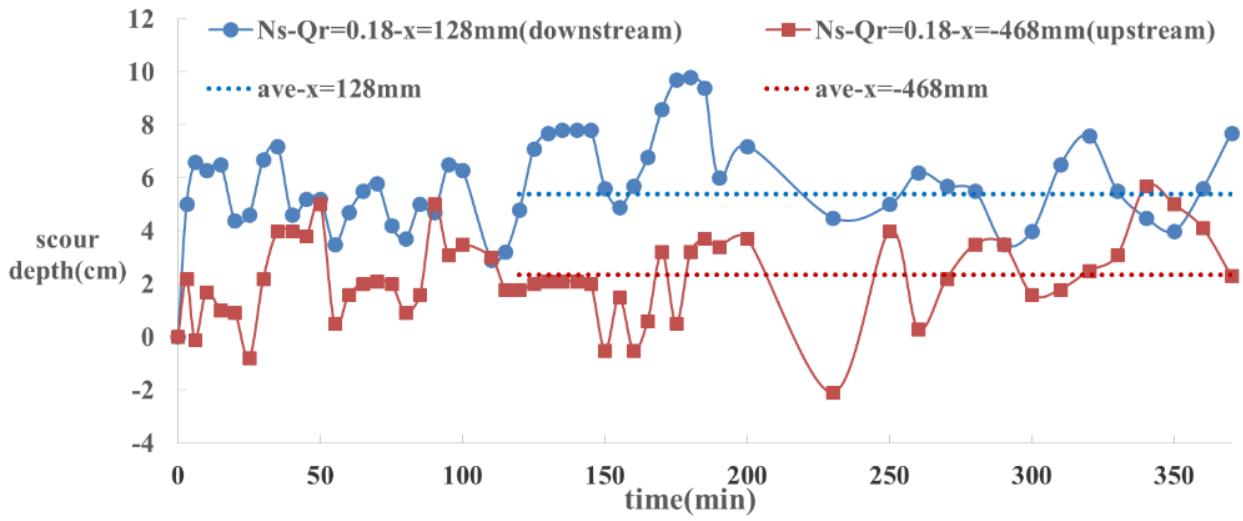
تقریباً پس از حدود دو تا دو و نیم ساعت پس از شروع آزمایش بستر تقریباً به تعادل دینامیکی رسیده است و در طی زمان متوسط عمق آب‌شستگی در این نقطه تقریباً ثابت شده و تغییرات عمق آب‌شستگی حول این مقدار متوسط اتفاق می‌افتد. در راستای افزایش دقت نتایج، داده‌های پس از سه ساعت در ارزیابی‌های آتی ملاک عمل قرار گرفت و مدت زمان داده‌برداری بعد از سه ساعت، به نحوی تعیین شد که طی مدت زمان داده‌برداری حداقل دو تا سه دیون به طور کامل از مناطق مورد تحقیق عبور کنند. لازم به ذکر است کلیه نتایج سری زمانی‌های رقوم بستر با استفاده از نوارهای اندازه‌گیری فلزی نصب شده بر دیواره شفاف کانال به دست آمده است (شکل ۳). همچنین پس از برداشت داده‌ها، کانال از آب تخلیه و رقوم بستر در راستای عرضی و طولی توسط پروفایلر لیزری بستر برداشت شده است (شکل ۳).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- توپوگرافی بستر در اطراف آبگیر

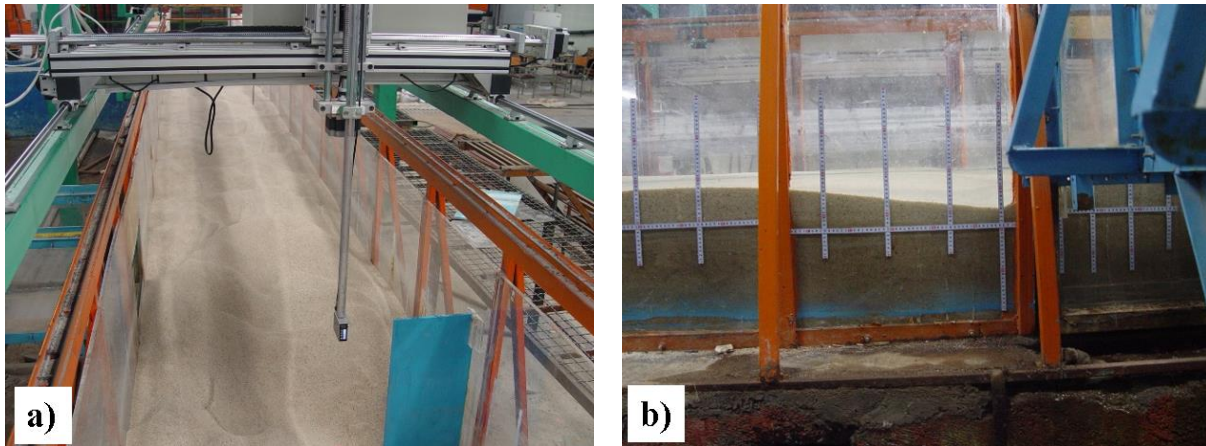
در شکل ۴ توپوگرافی بستر در اطراف آبگیر در حالت بدون سازه در نسبت‌های آبگیری (QR) مختلف ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در این شرایط در تمام QRها، هم در بالا دست و هم در پایین دست دهانه آبگیر، در مجاورت ساحل چپ ناحیه آب‌شستگی مشهود می‌باشد. تاثیر عوامل مختلف

پارامتر شیلدز حدود ۰/۰۶ و رینولدز برشی حدود ۳۱ می‌شود و بر اساس نمودار قطر متوسط رسوب بستر- پارامتر شیلدز، فرم بستر در ناحیه دیون قرار می‌گیرد و مضافاً اینکه سرعت برشی و سرعت سقوط ذره رسوب به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۱۴ متر بر ثانیه می‌باشد که نسبت سرعت برشی به سرعت سقوط ذره رسوب حدود ۰/۲۲ می‌شود که کمتر از ۰/۴ است لذا ذرات رسوب بستر در آستانه تعلیق قرار نمی‌گیرد که مشاهدات آزمایشگاهی نیز موید این واقعیت است [۴۳]. سطح رسوبات در کانال اصلی هم تراز کف آبگیر و عمق رسوبات در کلیه آزمایش‌ها ثابت و برابر ۳۴ سانتی‌متر بوده است. سطح رسوبات به وسیله تسطیح‌کننده در کلیه آزمایش‌ها صاف شده و سپس با راه اندازی جریان توسط پمپ، آزمایش‌ها شروع می‌شود. اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها بعد از به تعادل رسیدن بستر جریان انجام شد. در این راستا به منظور اطمینان از زمان رسیدن بستر به تعادل، تغییرات زمانی رقوم بستر در چند نقطه از ساحل که بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی دارای بیشترین تغییرات بود مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج در دو نقطه مجاور ساحل چپ در شکل ۲ ارائه شده است که یکی از این دو نقطه در حوالی موقعیت تقسیم جریان در پایین دست آبگیر و دیگری در بالا دست آبگیر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد از آنجا که از سیستم چرخشی رسوب به منظور تزریق رسوب به کانال اصلی استفاده می‌شود بستر در زمان کوتاهی به تعادل دینامیکی می‌رسد از این رو



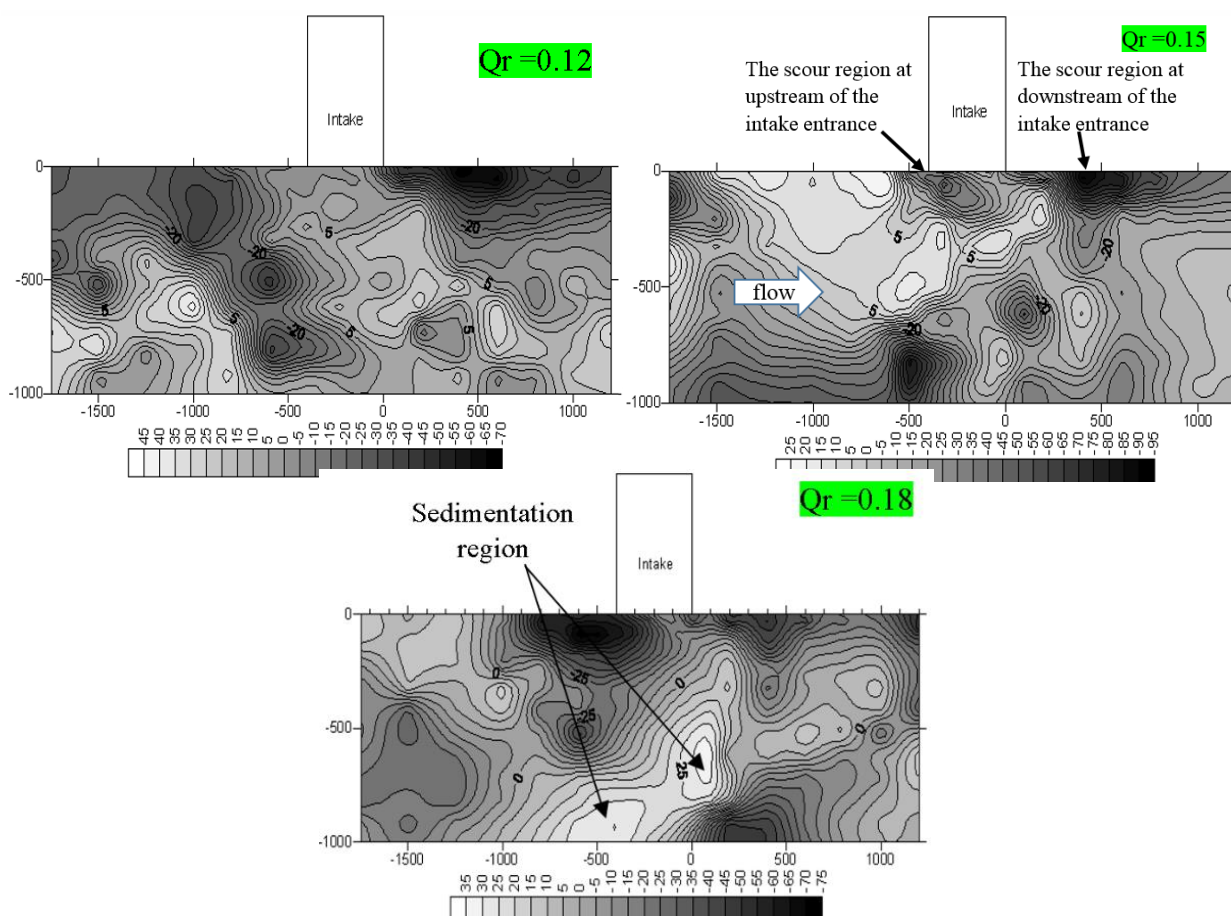
شکل ۲. تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی در پایین دست و بالا دست دهانه آبیگر

Fig. 2. Time variation of the scour depth near the bank at the downstream and upstream of the intake entrance



شکل ۳. تصویری از الف) پروفایلر لیزری بستر، ب) نوارهای اندازه‌گیری فلزی در دیواره کانال، جهت برداشت توپوگرافی بستر

Fig. 3. Picture of a) Laser bed profiler, b) steel measuring tape at the bank of channel, for surveying the bed topography



شکل ۴. توپوگرافی بستر در اطراف دهانه آبیگر در حالت بدون سازه

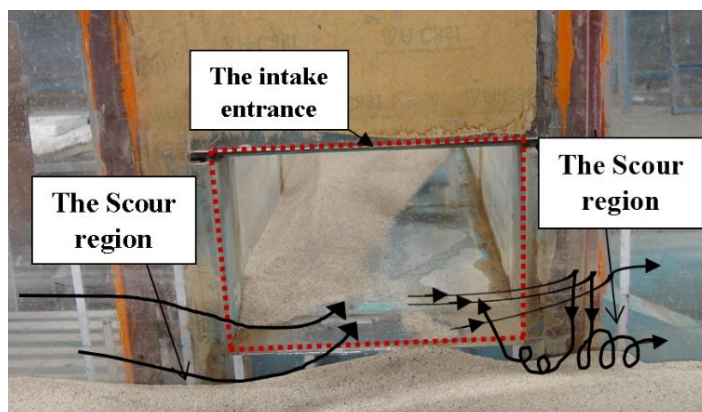
Fig. 4. The bed topography in the vicinity of intake opening under condition of “No Structure”

این ناحیه می‌شود و با حرکت حلزونی در مجاورت ساحل چپ، به سمت پایین دست کانال اصلی هدایت می‌شوند. در Qr بالاتر، اگرچه حجم آب بیشتری به سمت آبیگر و ساحل چپ هدایت می‌شود ولی، در مقایسه با حالت قبل، درصد کمتری از آن وارد آبیگر نشده که پس از برخورد با ساحل در پایین دست دهانه آبیگر و حرکت به سمت بستر و ایجاد آب‌شستگی، با حرکت حلزونی در مجاورت ساحل چپ، به سمت پایین دست کانال اصلی هدایت می‌شود. از این رو در Qr های مختلف و حالت‌های مختلف کنترل رسوب اتفاقات بعضاً متفاوتی رخ می‌دهد.

۳-۲- الگوی جریان اطراف دهانه آبیگر

در شکل ۵ به صورت شماتیک الگوی جریان اطراف آبیگر نمایش داده شده است. با به کارگیری تزریق رنگ به منظور رصد جریان و همچنین با

باعث می‌شود در نسبت‌های آبیگری کم، مساحت ناحیه آب‌شستگی در پایین دست بزرگ‌تر و در نسبت آبیگری حداکثر، کوچک‌تر می‌شود. همچنین به دلیل افزایش مکش آبیگر در نسبت‌های آبیگری بزرگ‌تر، تغییرات شدید تکانه در اطراف لبه بالا دست آبیگر موجب افزایش آب‌شستگی در این ناحیه می‌شود. به علاوه در Qr حداکثر، به دلیل انحراف حجم زیاد آب به سمت آبیگر، در نیمه راست جریان در کانال اصلی در مقابل و پایین دست آبیگر و مشخصاً در مجاورت ساحل راست، دبی در واحد عرض کاهش قابل توجهی می‌یابد که به تبع آن سرعت جریان کاهش یافته و انباشت رسوب در این ناحیه رقم می‌خورد. در کانال اصلی در Qr کم، آب کمتری به سمت آبیگر و ساحل چپ منحرف می‌شود. البته درصد زیادی از آن وارد آبیگر نمی‌شود و در واقع پس از برخورد به ساحل چپ کانال اصلی در پایین دست دهانه آبیگر، بخش قابل توجه از آن به سمت کف سرازیر شده و موجب آب‌شستگی در



شکل ۵. طرح شماتیک از الگوی جریان در اطراف دهانه آبگیر

Fig. 5. Schematic of flow pattern in the vicinity of the intake entrance

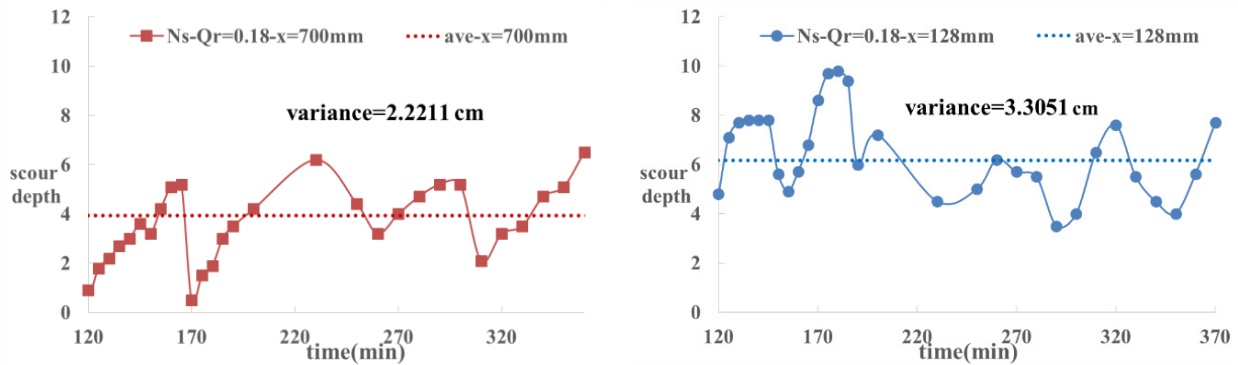
توجهی در عمق آبشستگی در نقاط مختلف ناحیه آبشستگی پایین دست مشاهده می‌شود.

همچنین با توجه به حرکت دیون‌ها و به عبارتی متحرک بودن بستر، موقعیت آبشستگی حداکثر موقتاً تغییر کرده و تا فاصله‌ای کوتاه به سمت پایین دست حرکت می‌کند که البته در ادامه با حرکت به سمت پایین دست، از مقدار آبشستگی حداکثر در ناحیه آبشستگی کاسته می‌شود. به علاوه در مجاورت ساحل چپ، با حرکت به سمت پایین دست هم میزان تغییرات عمق آبشستگی و هم عمق متوسط آبشستگی کاسته می‌شود (شکل ۶). در واقع به دلیل آشفتگی شدید جریان در حوالی نقطه تقسیم جریان، تغییرات و نامنظمی بستر بیشتر از نقاط دورتر در پایین دست می‌باشد به نحوی که مثلاً در حوالی نقطه تقسیم جریان، واریانس حدود $3/3$ سانتی‌متر است در حالی که در نقطه‌ای دورتر در پایین دست حدود $2/2$ سانتی‌متر می‌باشد. نکته دیگر اینکه، نظر به جریانات چرخشی که قبلاً به آن اشاره شد و همچنین با توجه به اینکه بخشی از جریان انحرافی که به ساحل برخورد می‌کند تمایل دارد به نواحی میانی عرض کانال اصلی بازگردد از این رو توسعه عرضی ناحیه آبشستگی در پایین دست آبگیر رقم می‌خورد که در شکل ۴ نیز مشهود می‌باشد. همچنین می‌توان گفت موقعیت نقطه تقسیم جریان با تغییر QR جابجا می‌شود و همانطور که در شکل مذکور قابل مشاهده است هسته ناحیه آبشستگی در پایین دست آبگیر با تغییر QR جابه‌جا شده است.

در بالا دست دهانه آبگیر در کانال اصلی، الگوی جریان با قسمت پایین دست دهانه متفاوت است. در این ناحیه با افزایش مکش آبگیر در

توجه به قرائن و مشاهدات آزمایشگاهی، می‌توان گفت که مکش آبگیر موجب انحراف جریان بالا دست کانال اصلی به سمت آبگیر شده و در نقطه‌ای با فاصله کم از دهانه در پایین دست آبگیر در کانال اصلی به ساحل چپ برخورد کرده و تقسیم می‌شود. در این نقطه، در لایه‌های بالای جریان، بخشی از جریان مستقیماً در مجاورت ساحل به سمت پایین دست هدایت می‌شود و بخشی از آن به سمت کف حرکت می‌کند و پس از برخورد با بستر رسوبی و ایجاد آبشستگی قابل توجه عمقی، مجدداً تقسیم می‌شود. بخشی از جریان با حرکت چرخشی پادساعتگرد به داخل آبگیر کشیده می‌شود و بخش دیگری از آن، با ایجاد حرکت چرخشی پادساعتگرد در مجاورت ساحل به سمت پایین دست کانال اصلی طی مسیر می‌کند. البته لازم به ذکر است که در مجاورت ساحل چپ، این جریان با جریان‌های طولی به سمت پایین دست تلفیق شده و جریان حلزونی شکل را ایجاد می‌کند و موجب توسعه طولی ناحیه آبشستگی پایین دست آبگیر می‌شود. به علاوه، محور این جریان حلزونی شکل به سمت لایه‌های بالایی جریان امتداد می‌یابد و با دور شدن از نقطه تقسیم جریان، از عمق آبشستگی این ناحیه کاسته می‌شود.

نکته دیگر اینکه، بررسی‌ها نشان می‌دهد در مجاورت ساحل چپ در محل نقطه تقسیم جریان حداکثر عمق آبشستگی در پایین دست آبگیر رخ می‌دهد و با دور شدن از آن (به سمت بالا دست یا پایین دست) از مقدار عمق آبشستگی کاسته می‌شود که البته با توجه به دینامیک بودن بستر و به عبارت دیگر حرکت دیون‌ها در بستر و ایجاد جریان‌های چرخشی در پشت تاج دیون‌ها حول محور در امتداد عرض کانال اصلی، تغییرات قابل



شکل ۶. سری زمانی عمق آب‌شستگی در پایین دست دهانه آبگیر

Fig. 6. Time variation of the scour depth at the downstream bank of the intake opening

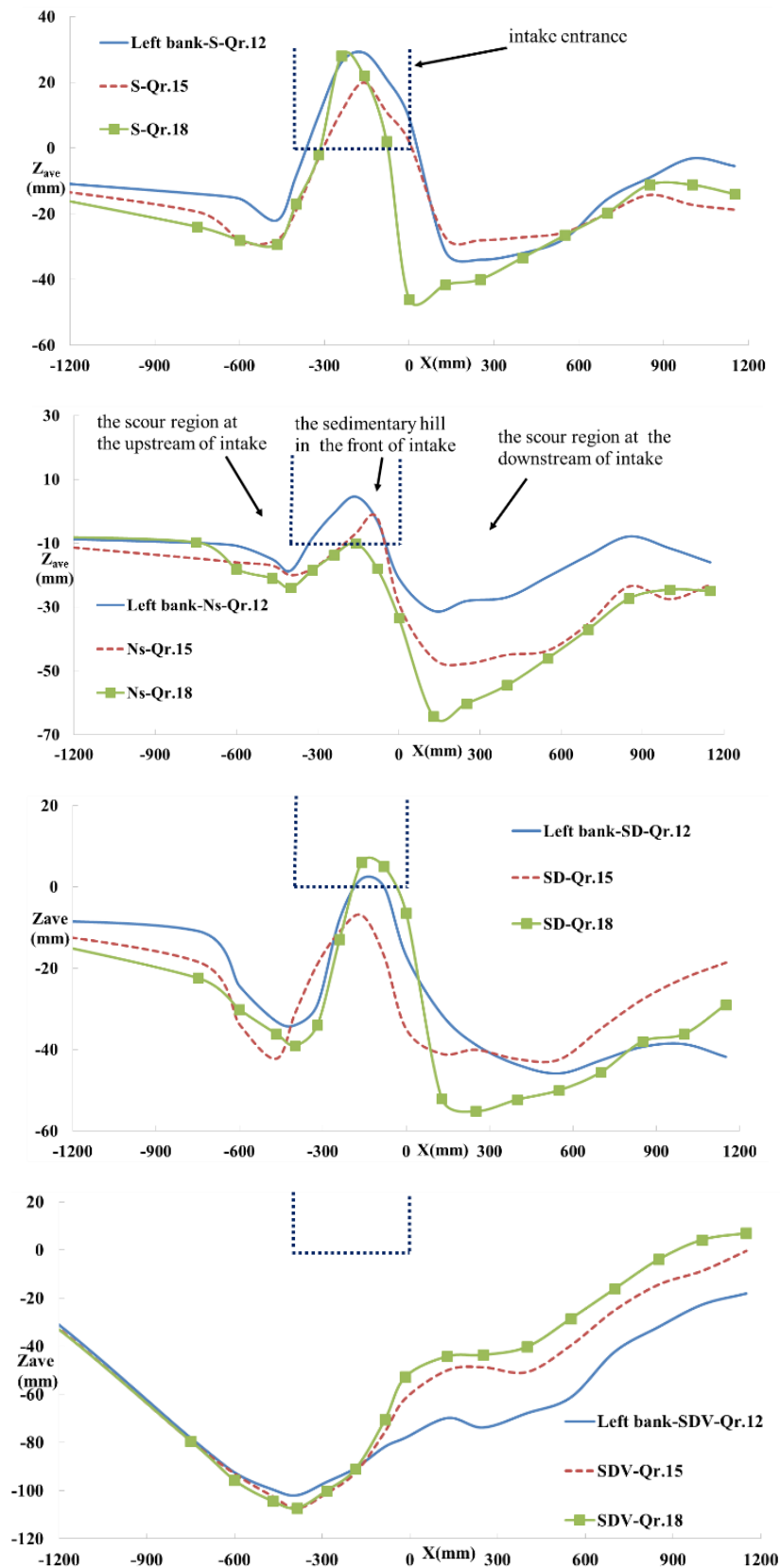
۳-۳- پروفیل طولی بستر در مجاورت ساحل چپ

در شکل ۷ متوسط زمانی رقوم بستر در مجاورت ساحل چپ در کانال اصلی از بالا دست تا پایین دست دهانه آبگیر در نسبت‌های مختلف آبگیری ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد در حوالی ساحل چپ کانال اصلی در سه حالت اول، دو ناحیه آب‌شستگی به چشم می‌خورد. ناحیه اول با عمق کمتر در حوالی لبه بالا دست آبگیر و ناحیه دوم با عمق بیشتر در پایین دست دهانه آبگیر می‌باشد. در ناحیه اول با افزایش QT عمق ناحیه افزایش یافته است. در واقع با افزایش QT، مکش آبگیر و به عبارتی گرادیان فشار در امتداد عرض در کانال اصلی در حوالی آبگیر افزایش می‌یابد. این مسئله موجب افزایش تکانه به سمت آبگیر و به تبع آن افزایش تنش برشی در کف شده که افزایش عمق آب‌شستگی را در پی دارد. ولی در ناحیه دوم، شرایط مقداری متفاوت است. در کانال اصلی در QT کم، آب کمتری به سمت آبگیر و ساحل چپ منحرف می‌شود. که البته درصد زیادی از آن وارد آبگیر نمی‌شود و در واقع پس از برخورد به ساحل چپ کانال اصلی در پایین دست دهانه آبگیر، بخش قابل توجهی از آن به سمت کف سرازیر شده و موجب آب‌شستگی در این ناحیه می‌شود و با حرکت حلزونی در مجاورت ساحل چپ، به سمت پایین دست کانال اصلی هدایت می‌شوند. در QT بالاتر، اگر چه حجم آب بیشتری به سمت آبگیر و ساحل چپ هدایت می‌شود ولی، در مقایسه با شرایط قبل، درصد حجم کمتری از آن وارد آبگیر نشده که پس از برخورد با ساحل و

اثر افزایش QT، شیب هیدرولیکی جریان در مجاورت ساحل چپ در بالا دست آبگیر افزایش می‌یابد که با توجه به تغییر مسیر جریان به سمت آبگیر، منجر به افزایش تغییرات ممنتوم جریان و به تبع آن افزایش تنش برشی در بستر و افزایش آب‌شستگی را در پی دارد. در این ناحیه، مشابه ناحیه آب‌شستگی پایین دست آبگیر به دلیل حرکت دیون‌ها، تغییرات رقوم بستر اتفاق می‌افتد و موجب تغییر مکان موقتی در موقعیت آب‌شستگی حداکثر در ناحیه آب‌شستگی بالا دست می‌شود. از این رو در تحلیل‌های آتی، بعد از به تعادل رسیدن بستر، علاوه بر بررسی آب‌شستگی حداکثر، متوسط عمق آب‌شستگی در نواحی بالا دست و پایین دست آبگیر نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین از آنجا که آب‌شستگی حداکثر معمولاً لحظه‌ای و تحت شرایط خاص و موقتی جریان اتفاق می‌افتد، لذا نتایج و تحلیل عمدتاً بر مبنای متوسط عمق آب‌شستگی در نقاط مختلف (که برآیند وقایع و شرایط در یک بازه زمانی طولانیست) می‌باشد.

نکته دیگر اینکه با توجه به الگوی جریان در اطراف دهانه آبگیر، آبگیر عمدتاً از یک دوم عرض دهانه در بالا دست آن و حدود یک چهارم عرض دهانه در پایین دست آن تغذیه می‌شود و تلاقی این دو جریان علاوه بر کاهش سرعت، مطابق شکل ۵، زمینه‌ساز ته نشین شدن رسوب در بخش‌های میانی عرض دهانه شده است. همچنین با توجه به تاثیرات الگوی جریان ورودی به آبگیر، ناحیه آب‌شستگی پایین دست آبگیر تقریباً تا یک چهارم عرض دهانه و ناحیه آب‌شستگی بالا دست تقریباً تا وسط دهانه آبگیر امتداد یافته است.



شکل ۷. تاثیر دبی نسبی آبیگری بر متوسط پروفیل طولی بستر در ساحل چپ در حالات مختلف کنترل رسوب

Fig. 7. The effect of the diversion ratio of discharge on the average of bed longitudinal profile at the left bank under various scenarios of sediment control

واسطه جریان ثانویه القایی صفحات، آبشستگی بسیار شدیدی در مجاورت ساحل چپ رخ می‌دهد.

همچنین در بالا دست کانال اصلی، عمق آبشستگی با نزدیک شدن به دهانه آبگیر افزایش می‌یابد و در مجاورت لبه بالا دست آبگیر به حداکثر مقدار خود می‌رسد. که ناشی از افزایش قدرت جریان ثانویه القایی به دلیل مشارکت صفحات بیشتری در تولید جریان ثانویه می‌باشد. با حرکت به سمت پایین دست و دور شدن از لبه بالا دست دهانه، به دلیل کاهش دبی و سرعت جریان ناشی از انحراف بخشی از جریان به داخل آبگیر و همچنین کاهش راندمان عملکرد صفحات به دلیل فاصله گرفتن از زاویه بهینه صفحات، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد و پس از آخرین ردیف صفحات در پایین دست آبگیر، به دلیل عدم وجود صفحات، از قدرت جریان ثانویه القایی کاسته شده که موجب انباشت رسوبات جاروب شده از بالا دست، در این ناحیه شده که باعث کاهش تدریجی عمق آبشستگی و در نهایت صفر شدن آن در پایین دست می‌شود. در شکل ۹ توپوگرافی بستر در اطراف دهانه آبگیر در شرایط مختلف کنترل رسوب ارائه شده است.

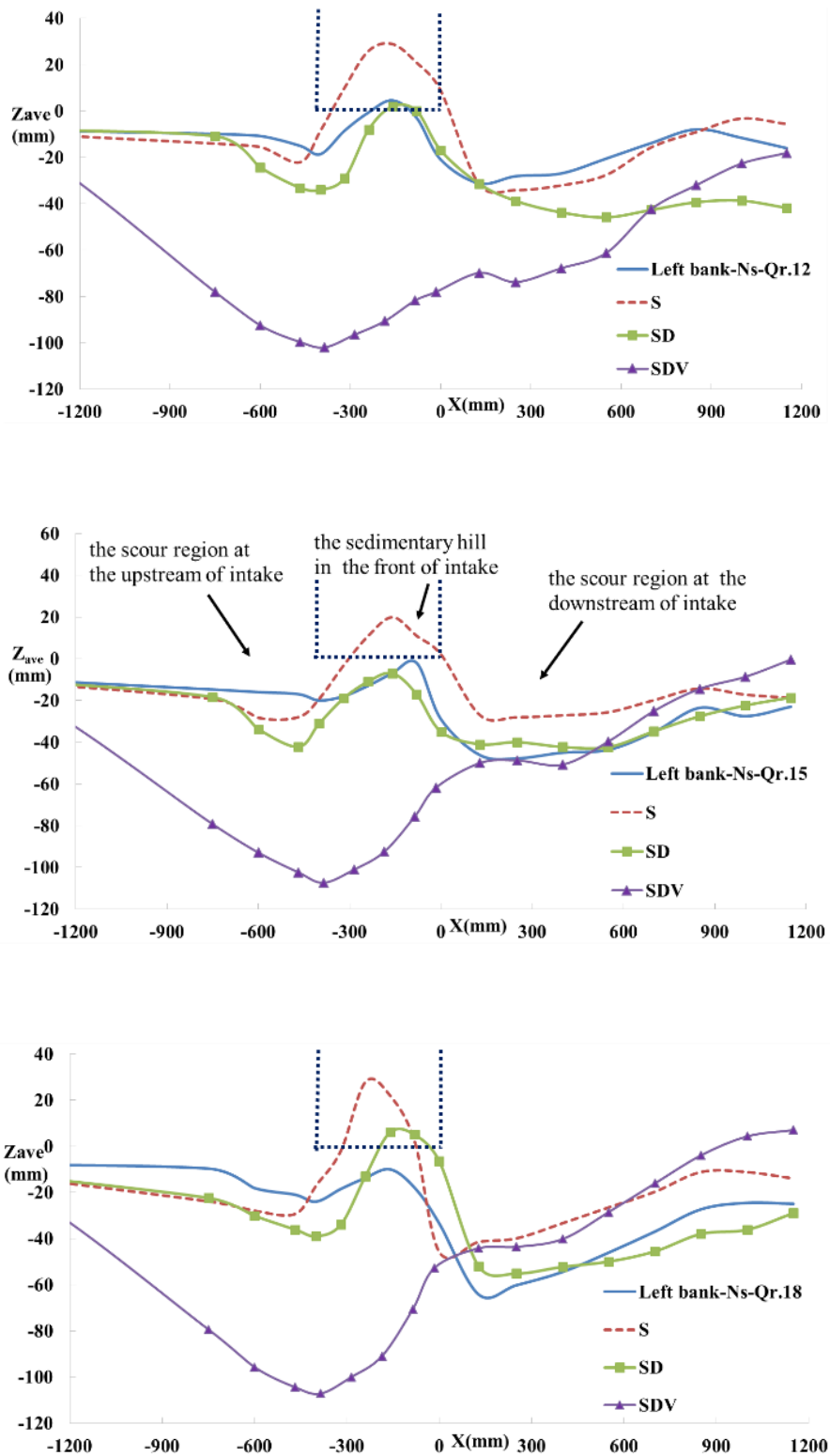
۳-۴- پروفیل طولی بستر در مجاورت ساحل راست

در شکل ۱۰ پروفیل طولی بستر در مجاورت ساحل راست، در حالات و نسبت‌های آبگیری مختلف ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در تمام حالات، افزایش نسبی رقوم بستر در حوالی ساحل راست در پایین دست آبگیر رخ می‌دهد. همچنین تغییر Qr تاثیر قابل توجهی بر ساحل راست ندارد. همچنین به نظر می‌رسد وجود آستانه در دهانه آبگیر، تاثیر معناداری بر ساحل راست ندارد. نکته دیگر اینکه در تمام Qr ها به واسطه وجود آبشکن در ساحل راست، دو ناحیه آبشستگی در جلوی آبشکن با ابعاد بزرگ‌تر و پشت آبشکن با ابعاد کوچک‌تر شکل می‌گیرد. به علاوه یک تپه رسوبی روبروی دهانه آبگیر در مجاورت ساحل راست تشکیل می‌شود که ناشی از گردابه پشت آبشکن می‌باشد که رسوبات را به داخل خود کشیده و در مرکز گردابه انباشت می‌کند البته در پایین دست این نقطه رقوم بستر کمی کاهش می‌یابد. همچنین وجود صفحات باعث می‌شود به ویژه در Qr معادل ۰/۱۲ و ۰/۱۵ آبشستگی در دو طرف آبشکن مقداری افزایش یابد و رقوم بستر در ناحیه تپه رسوبی اندکی کاهش یابد که به نظر می‌رسد ناشی از تنگ شدن مسیر جریان به دلیل وجود صفحات در مسیر جریان باشد.

حرکت به سمت بستر و ایجاد آبشستگی، با حرکت حلزونی در مجاورت ساحل چپ، به سمت پایین دست کانال اصلی هدایت می‌شود. از این رو در Qr های مختلف و حالت‌های مختلف کنترل رسوب اتفاقات بعضاً متفاوتی رخ می‌دهد.

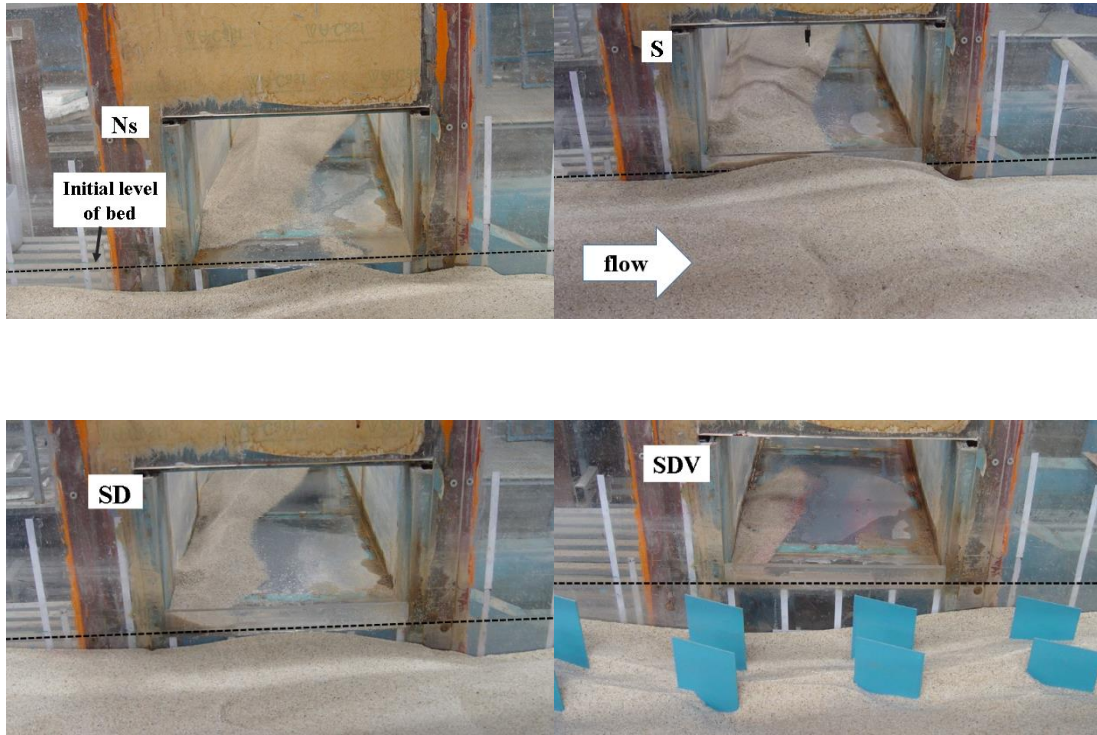
در حالت اول با افزایش Qr عمق و طول ناحیه آبشستگی در پایین دست آبگیر افزایش می‌یابد، در حالی که در حالت دوم و سوم عمق آبشستگی در این ناحیه با افزایش Qr از ۰/۱۲ به ۰/۱۵ و از ۰/۱۵ به ۰/۱۸ به ترتیب کاهش و افزایش را تجربه می‌کند. در مورد طول ناحیه آبشستگی در حالت دوم نیز می‌توان گفت با افزایش Qr از ۰/۱۲ به ۰/۱۵ و از ۰/۱۵ به ۰/۱۸ به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد ولی در حالت سوم دقیقاً عکس این وضعیت رقم می‌خورد. در حالت چهارم، یک ناحیه آبشستگی سرتاسری، از بالا دست تا پایین دست دهانه آبگیر رخ می‌دهد که با افزایش Qr موجب کاهش عمق و طول ناحیه آبشستگی می‌شود. در این حالت صفحات با ایجاد جریان ثانویه، رسوبات بالا دست دهانه آبگیر در کانال اصلی را جاروب و به پایین دست هدایت می‌کنند که این موضوع با افزایش Qr شدت بیشتری می‌گیرد ولی در پایین دست آبگیر به دلیل کاهش جریان و از طرفی عدم وجود صفحات، باعث انباشت بخشی از رسوبات در این ناحیه می‌شود. نکته دیگر اینکه از آنجا که با حرکت از بالا دست به سمت پایین دست دهانه آبگیر در کانال اصلی، زاویه بین امتداد جریان و راستای صفحات به تدریج از زاویه بهینه عملکرد صفحات فاصله می‌گیرد لذا از قدرت جریان ثانویه القایی صفحات در این ناحیه کاسته می‌شود که با افزایش Qr این وضعیت تشدید می‌شود که می‌تواند موجب افزایش انباشت رسوب در پایین دست دهانه آبگیر می‌شود.

در شکل ۸ پروفیل طولی بستر در مجاورت ساحل چپ در حالات مختلف کنترل رسوب و Qr یکسان ارائه شده است. مقایسه نتایج حالت اول و دوم نشان می‌دهد که وجود آستانه موجب انباشت رسوب در جلوی دهانه آبگیر می‌شود که بخشی از این رسوبات به همراه جریان به سمت پایین دست هدایت شده که به ویژه در نسبت آبگیری ۰/۱۵ و ۰/۱۸ باعث کاهش طول و عمق ناحیه آبشستگی در پایین دست آبگیر در مجاورت ساحل چپ می‌شود. با نصب آبشکن در ساحل راست، به دلیل افزایش سرعت جریان در مجاورت ساحل چپ، آبشستگی سرتاسری از بالا دست تا پایین دست دهانه آبگیر در مجاورت ساحل چپ کانال اصلی رخ می‌دهد که موجب افزایش ابعاد چاله‌های آبشستگی در بالا دست و پایین دست آبگیر و کاهش رقوم بستر در جلوی آبگیر می‌شود. با افزودن صفحات مستغرق در جلوی آبگیر، به



شکل ۸. متوسط پروفیل طولی بستر در ساحل چپ در نسبت آبیگری یکسان و حالات مختلف کنترل رسوب

Fig. 8. the average of bed longitudinal profile at the left bank under various scenarios of sediment control



شکل ۹. تصویر توپوگرافی بستر در اطراف دهانه آبرگیر در حالات مختلف کنترل رسوب

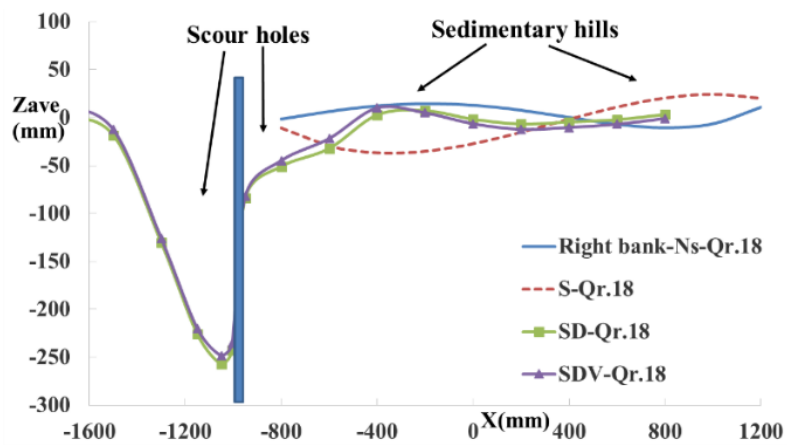
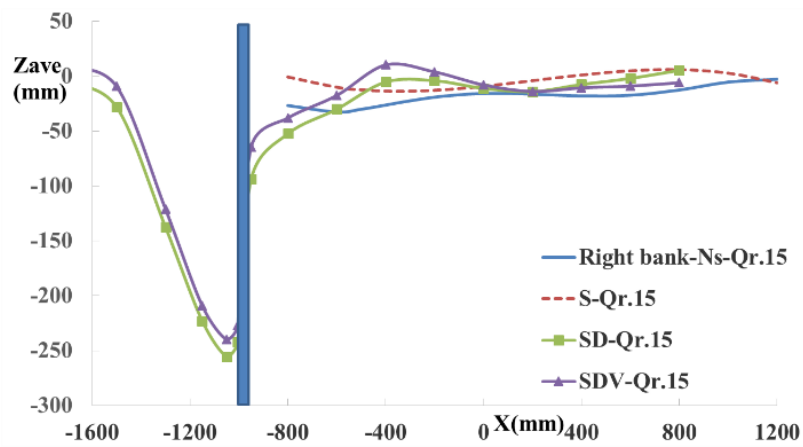
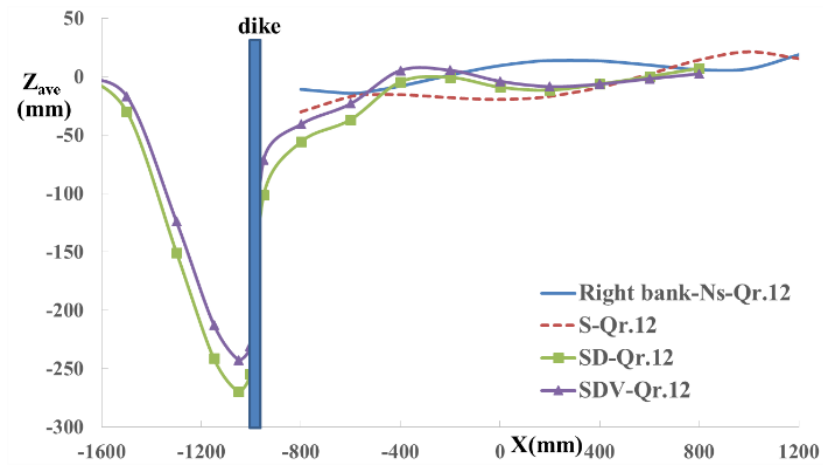
Fig. 9. Picture of the bed topography in the vicinity of intake opening under the various scenarios of sediment control

۰/۱۵ به ۰/۱۸ عمق و طول به ترتیب افزایش و کاهش را تجربه می‌کند. در حالت سوم وجود آبشکن موجب افزایش قابل توجه عمق و طول چاله آبشستگی می‌شود. در این حالت در مقایسه با حالت قبل، عمق آبشستگی در تمام Qr ها به طور متوسط حدود ۳۳ درصد افزایش می‌یابد و طول آبشستگی در Qr معادل ۰/۱۵ حدود ۲۰ درصد و در Qr معادل ۰/۱۲ و ۰/۱۸ به ترتیب ۱۰۷ و ۸۸ درصد افزایش را تجربه می‌کند. همچنین در این حالت با افزایش Qr ، عمق آبشستگی افزایش می‌یابد و با افزایش نسبت آبرگیری از ۰/۱۲ به ۰/۱۵ و از ۰/۱۵ به ۰/۱۸ برای طول آبشستگی به ترتیب کاهش ۳۵ و افزایش ۵۳ درصدی اتفاق می‌افتد.

با افزودن صفحات مستغرق در جلوی آبرگیر، اگرچه مشاهدات آزمایشگاهی حاکی از افزایش شدید عمق آبشستگی در جلوی آبرگیر در مقایسه با حالت سوم می‌باشد ولی در پایین دست آبرگیر در بعضی شرایط رفتار متفاوتی رخ می‌دهد. در حالی که در Qr معادل ۰/۱۲ و ۰/۱۵ در مقایسه با

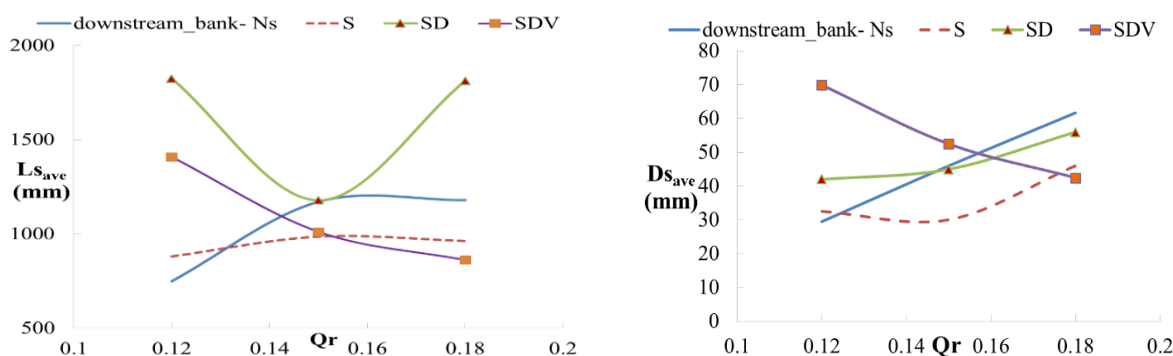
۳-۵- عمق و طول ناحیه آبشستگی در پایین دست آبرگیر

در شکل ۱۱ نتایج حداکثر عمق و طول متوسط ناحیه آبشستگی در پایین دست آبرگیر نشان داده شده است. این نتایج (که بر اساس پروفیل طولی متوسط در مجاورت ساحل چپ به دست آمده است) نشان می‌دهد که در حالت بدون سازه افزایش Qr باعث افزایش عمق و طول آبشستگی می‌شود به نحوی که افزایش ۵۰ درصدی Qr موجب افزایش تقریباً ۱۱۰ و ۵۷ درصدی به ترتیب در عمق و طول ناحیه آبشستگی می‌شود. با نصب آستانه در جلوی آبرگیر در Qr معادل ۰/۱۲، عمق و طول آبشستگی اندکی افزایش می‌یابد ولی در سایر نسبت‌های آبرگیری، عمق و طول ناحیه مذکور به طور قابل توجهی در مقایسه با حالت بدون سازه، کاهش می‌یابد. نکته دیگر اینکه، در حالت دوم با افزایش نسبت آبرگیری از ۰/۱۲ به ۰/۱۵ طول و عمق آبشستگی رفتار معکوسی از خود نشان می‌دهند. در این وضعیت، عمق و طول به ترتیب اندکی کاهش و افزایش می‌یابد و با افزایش Qr از



شکل ۱۰. پروفیل طولی بستر در ساحل راست در شرایط مختلف کنترل رسوب

Fig. 10. The average of bed longitudinal profile at the right bank under various conditions of sediment control



شکل ۱۱. حداکثر عمق و طول متوسط آب‌شستگی در پایین دست آبگیر

Fig. 11. Maximum of average of time series of scour depth and length at the downstream bank of the intake opening

آبگیر، به واسطه جریانات ثانویه حلزونی، رسوبات در بالا دست و جلوی آبگیر جاروب شده و به پایین دست هدایت می‌شود که در بعضی شرایط موجب کوچک شدن ناحیه آب‌شستگی در راستای عمقی و طولی می‌شود. مضافاً اینکه، با افزایش Qr ، به دلیل افزایش سرعت جریان در حوالی صفحات، قدرت جریانات ثانویه تشدید می‌شود که می‌تواند بر حمل رسوب به سمت پایین دست تاثیرگذار باشد.

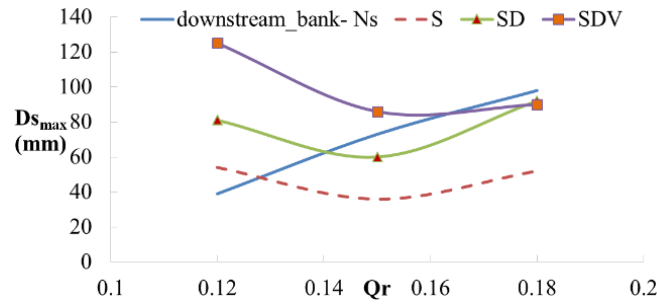
در شکل ۱۲ نتایج حداکثر عمق ناحیه آب‌شستگی در پایین دست آبگیر در مجاورت ساحل چپ ارائه شده است. این نتایج (که بر اساس حداکثر عمق آب‌شستگی که بستر در بازه زمانی به تعادل رسیدن بستر تا انتهای آزمایش در این ناحیه تجربه کرده است می‌باشد) نشان می‌دهد الگوی تغییرات عمق آب‌شستگی در شرایط مختلف تقریباً مشابه نتایج متوسط عمق آب‌شستگی در شکل ۱۱ می‌باشد.

۳-۶- عمق و طول ناحیه آب‌شستگی در بالا دست آبگیر

نتایج عمق و طول متوسط ناحیه آب‌شستگی که در اطراف لبه بالا دست آبگیر ایجاد شده و تقریباً از وسط آبگیر تا فاصله‌ای در بالا دست آبگیر در مجاورت ساحل چپ امتداد یافته است در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود که بر اساس پروفیل طولی متوسط در مجاورت ساحل چپ به دست آمده است. در حالت بدون سازه، عمق آب‌شستگی در این ناحیه با افزایش Qr اندکی افزایش یافته است ولی طول چاله ابتدا اندکی افزایش و سپس کاهش می‌یابد. با نصب آستانه در حالت دوم، عمق آب‌شستگی در مقایسه با حالت بدون سازه، در تمام Qr ها اندکی افزایش می‌یابد که میزان افزایش در نسبت

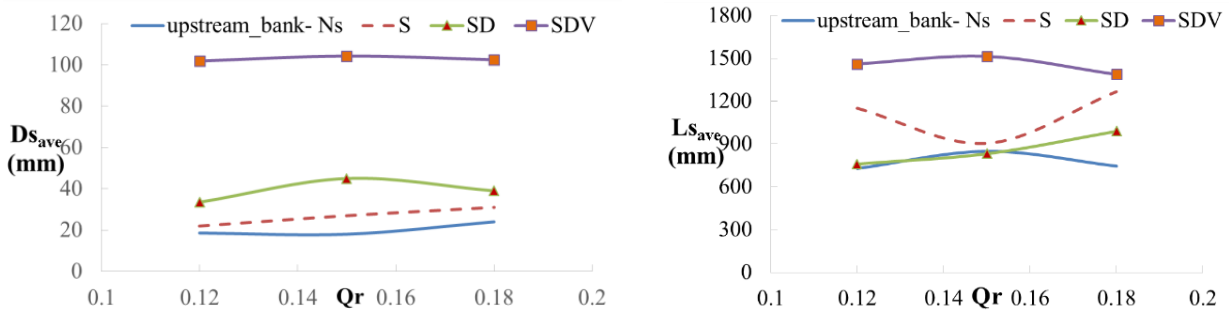
حالت سوم عمق آب‌شستگی به ترتیب افزایش حدود ۶۷ و ۱۷ درصدی را تجربه می‌کند ولی در Qr معادل ۰/۱۸ عمق مذکور حدود ۲۴ درصد کاهش می‌یابد. همچنین در این حالت در مقایسه با حالت قبل، طول ناحیه مذکور به طور چشمگیری کاهش می‌یابد و در نسبت آبگیری حداکثر میزان کاهش بسیار زیاد است. همچنین نتایج نشان می‌دهد با افزایش نسبت آبگیری، عمق و طول ناحیه آب‌شستگی به نحو چشمگیری کاهش را تجربه می‌کند به طوری که افزایش ۵۰ درصدی نسبت آبگیری، کاهش ۳۹ درصدی طول و عمق ناحیه آب‌شستگی را در پی دارد.

در واقع می‌توان گفت به طور کلی عوامل متعددی در بروز این رفتارها نقش دارند. در حالی که در نسبت آبگیری کم، حجم آب کمتر و به تبع آن رسوب کمتری به سمت آبگیر منحرف می‌شود ولی درصد زیادی از آن موفق به ورود به داخل آبگیر نشده و در کنار ساحل چپ به سمت پایین دست روانه می‌شوند. ولی در Qr بیشتر، حجم آب بیشتر و به تبع آن رسوب بیشتری به سمت آبگیر تغییر مسیر می‌دهند ولی درصد قابل توجهی از آن وارد آبگیر نشده و به سمت پایین دست طی مسیر می‌کند. به علاوه در حالت دوم وجود سازه‌ای به نام آستانه در ورودی آبگیر، مانع ورود بخشی از رسوبات به داخل آبگیر می‌شود که باعث انباشت رسوب در جلو آبگیر و انتقال بخشی از آن به همراه جریان به سمت پایین دست می‌شود که در مجاورت ساحل چپ اتفاق می‌افتد. در حالت سوم، وجود آب‌شکن موجب هدایت آب به سمت آبگیر و افزایش سرعت جریان در نیمه چپ جریان می‌شود که علاوه بر آب‌شستگی سرتاسری، در پایین دست آبگیر باعث گسترش عمقی و طولی ناحیه آب‌شستگی می‌شود. با نصب چند ردیف صفحه مستغرق در جلوی



شکل ۱۲. حداکثر عمق ناحیه آب‌شستگی در پایین دست آبگیر

Fig. 12. Maximum of time series of scour depth at the downstream bank of the intake opening



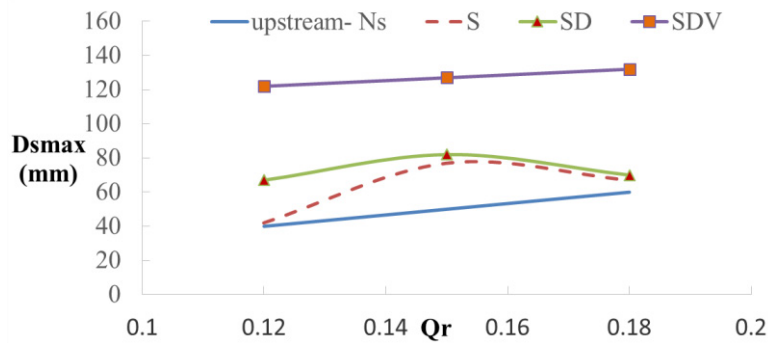
شکل ۱۳. حداکثر عمق و طول متوسط آب‌شستگی در بالا دست آبگیر

Fig. 13. Maximum of average of time series of scour depth and length at the upstream bank of the intake opening

وجود آب‌شکن باعث هدایت بهتر جریان به سمت آبگیر می‌شود لذا اگر چه سرعت جریان در اطراف آبگیر زیاد شده و به تبع آن عمق آب‌شستگی بیشتر می‌شود ولی طول آب‌شستگی کمتر شده است. به عبارت بهتر ناحیه آب‌شستگی در این حالت در مقایسه با حالت قبل توسعه عمقی می‌یابد ولی طول آن کوچک‌تر می‌شود. وجود صفحات نیز به دلیل جریانات ثانویه القایی موجب توسعه عمقی می‌شود. همچنین از آنجا که صفحات تا فاصله‌ای در بالا دست در مجاورت ساحل چپ مستقر می‌باشد جریانات القایی صفحات تا فاصله قابل توجه در بالا دست موجب توسعه طولی ناحیه آب‌شستگی می‌شود.

در شکل ۱۴ نتایج حداکثر عمق آب‌شستگی در بالا دست دهانه آبگیر ارائه شده است که بر اساس حداکثر عمق آب‌شستگی که بستر در بازه زمانی به تعادل رسیدن بستر تا انتهای آزمایش در این ناحیه تجربه کرده است

آبگیری حداکثر، بیشتر است ولی طول آب‌شستگی افزایش قابل توجهی را در تمام Qr ها به ویژه در نسبت آبگیری معادل ۰/۱۲ و ۰/۱۸ تجربه می‌کند. در حالت سوم عمق ناحیه آب‌شستگی افزایش محسوسی می‌یابد ولی طول ناحیه مذکور کاهش می‌یابد. با نصب صفحات مستغرق در جلوی دهانه آبگیر در حالت چهارم، هم طول و هم عمق ناحیه آب‌شستگی به دلیل جریان ثانویه القایی صفحات افزایش قابل توجهی را تجربه می‌کند. در واقع به نظر می‌رسد در حالت دوم بخشی از جریانات نزدیک کف پس از برخورد با آستانه به سمت کف حرکت کرده و باعث افزایش نسبی عمق آب‌شستگی می‌شود. همچنین مکش آبگیر متناسب با نسبت آبگیری و وجود مانعی به نام آستانه موجب می‌شود شیب هیدرولیکی در اطراف ساحل چپ در مجاورت لبه بالا دست آبگیر افزایش یابد که باعث افزایش نسبی سرعت جریان در نواحی مجاور ساحل چپ و به تبع آن آب‌شستگی در کف می‌شود. در حالت سوم



شکل ۱۴. حداکثر عمق ناحیه آبشستگی در بالا دست آبگیر

Fig. 14. Maximum of time series of scour depth at the upstream bank of the intake opening

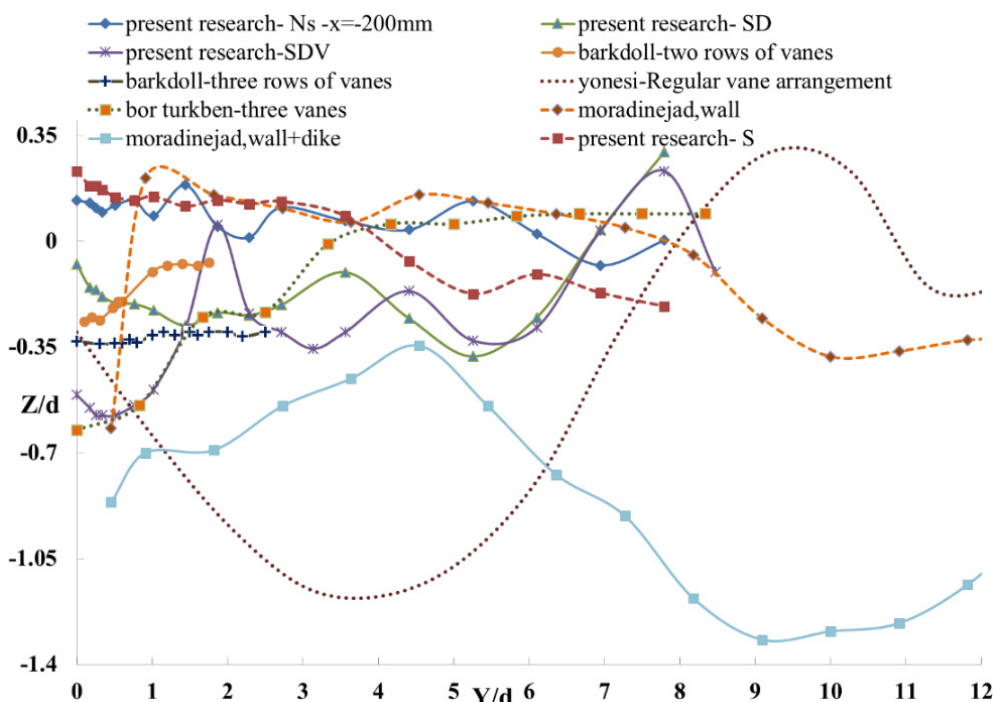
رسوب در نیمه چپ جریان و پشت سازه می‌شود. همچنین علیرغم ارتفاع قابل توجه دیوار جدا کننده، بخشی از رسوبات از دیوار عبور کرده که درصدی از آن‌ها پس از عبور، در اطراف دیوار انباشت شده و مابقی به داخل آبگیر هدایت می‌شوند. همچنین به دلیل عبور جریان از روی دیوار و ریزش آن به سمت کف در حد فاصل دیوار و دهانه آبگیر، آبشستگی رخ می‌دهد و موجب کنده شدن رسوبات از کف و هدایت به سمت آبگیر می‌شود.

نکته دیگر اینکه به نظر می‌رسد به دلیل وجود دیوار، رسوبات اطراف ساحل چپ جریان در کانال اصلی به نواحی میانی کانال منتقل می‌شود. به علاوه، به واسطه مکش جریان از سوی آبگیر، جریان و به تبع آن، رسوب بستر اطراف ساحل راست به سمت آبگیر منحرف می‌شود لذا، رقوم رسوبات در اطراف ساحل راست کاهش و در نواحی میانی افزایش می‌یابد که این وضعیت با نصب آبشکن در ساحل مقابل آبگیر، تشدید می‌شود. همچنین به دلیل تنگ‌شدگی، آبشستگی سرتاسری در کل عرض در مقایسه با حالت قبل رخ می‌دهد. مشابه این وضعیت، در حالت سوم تحقیق حاضر نیز هم آبشستگی سرتاسری در کل عرض کانال (به استثنای پشت آبشکن که محل دپوی رسوبات می‌باشد و یک تپه رسوبی بزرگ از منظر ارتفاع و وسعت شکل می‌گیرد) و هم بالاتر بودن رقوم بستر نسبت به نقاط اطراف در نواحی میانی که به دلیل مکش آبگیر و وجود آبشکن، موقعیت آن مقداری به آبگیر نزدیک‌تر می‌شود ($y/d=3.5$) و هم تغییرات شدید بستر در این نواحی، به چشم می‌خورد. نکته دیگر اینکه در تحقیق مذکور علیرغم یکسان بودن طول آبشکن در مقایسه با حالت سوم تحقیق حاضر، ولی به نظر می‌رسد به دلیل متفاوت بودن زاویه آبشکن با ساحل پایین دست (که در

می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که الگوی کلی تغییرات مشابه متوسط عمق آبشستگی در شکل ۱۳ می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد حداکثر عمق آبشستگی در حالت اول و دوم، در Qr های مختلف به طور متوسط به ترتیب حدود ۱۵۰ و ۱۷۰ درصد نسبت به عمق آبشستگی متوسط افزایش می‌یابد در حالی که در حالت سوم و چهارم به طور متوسط افزایش ۸۷ و ۲۳ درصدی را نسبت به عمق آبشستگی متوسط تجربه می‌کند. این نتایج نشان می‌دهد که نوسانات رقوم بستر در بالا دست آبگیر در حالت چهارم به مراتب کمتر از حالات دیگر است.

۳-۷- مقایسه نتایج با نتایج تحقیقات دیگر

در شکل ۱۵ نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین مقایسه شده است. در این شکل پروفیل عرضی بستر در جلوی آبگیر در کانال اصلی در شرایط مختلف ارائه شده است. در این شکل در $y/d=0$ موقعیت دهانه آبگیر می‌باشد و با دور شدن از دهانه آبگیر، y/d افزایش می‌یابد. مطابق شکل وجود سازه‌های مختلف به تنهایی یا ترکیبی اثر متفاوت و بعضاً متضادی را بر توپوگرافی بستر می‌گذارد. در تحقیق مرجع [۳۶] دیوار جدا کننده در جلوی آبگیر (که از ساحل بالا دست آبگیر در کانال اصلی با زاویه ۱۴ درجه اجرا شده و در جلوی آبگیر تا پایین دست آبگیر به موازات سواحل کانال امتداد می‌یابد و ارتفاع آن یک سوم عمق نرمال جریان بالا دست کانال اصلی می‌باشد) باعث انباشت رسوب در جلوی دیوار جدا کننده می‌شود و با دور شدن از دیوار (که در موقعیت $y/d=1.64$ نصب شده) رقوم کف کاهش می‌یابد. در واقع عملکرد دیوار جدا کننده مشابه آستانه بوده و موجب انباشت



شکل ۱۵. مقایسه نتایج پروفیل عرضی بستر در جلوی آبگیر با دیگر تحقیقات تحت شرایط مختلف

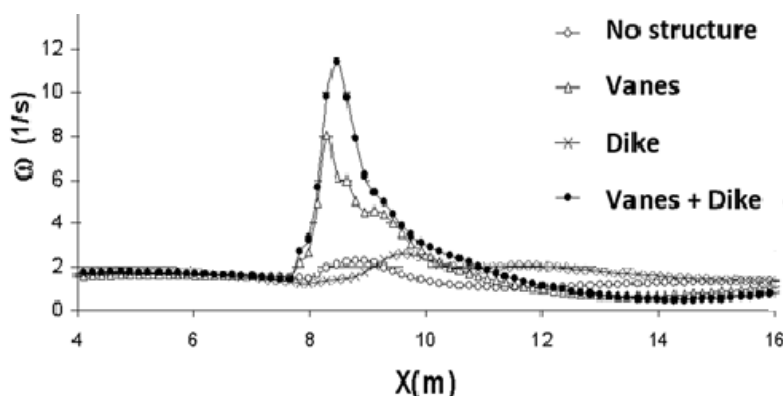
Fig. 15. comparison of results of Bed transversal profile in front of the intake entrance of present research and other studies under different conditions

نزدیک و در جلوی دهانه آبگیر و با فاصله کم از آن، دو ردیف چهار تایی از صفحات نصب شده است. از آنجا که در بالا دست آبگیر، صفحات مختلف فاصله‌های متفاوتی با ساحل چپ داشته‌اند، به دلیل جریان‌های ثانویه القایی ناشی از صفحات، آب‌شستگی بزرگی از منظر عرضی و عمقی در جلوی آبگیر رخ می‌دهد و در $y/d=8-11$ تپه رسوبی با ارتفاع قابل توجهی شکل می‌گیرد. (لازم به توضیح است که در این تحقیق قسمت آب‌شستگی و بخش اعظم تپه رسوبی در نیمه چپ کانال واقع شده و در $y/d=11-20$ تغییرات چندانی در بستر رخ نمی‌دهد). ولی در تحقیق مرجع [۴۴] که از دو یا سه ردیف هفت تایی از صفحات در جلوی دهانه آبگیر (که فاصله سرتاسر هر ردیف تا ساحل یکسان می‌باشد) استفاده شده است، از آنجا که آرایش طولی صفحات با حالت قبل فرق می‌کند لذا نتایج متفاوتی در قیاس با حالت قبل به دست آمده است. در حالت دو ردیف صفحه، به دلیل جریان‌های ثانویه القایی، آب‌شستگی در نزدیکی ساحل و رسوب‌گذاری در طرف دیگر صفحات رخ می‌دهد. با افزودن یک ردیف دیگر به صفحات، هم از منظر عمقی و

تحقیق مذکور ۶۰ درجه می‌باشد)، تاثیر آب‌شکن بر بستر در نواحی اطراف آبگیر و مشخصاً گودال آب‌شستگی در نیمه راست جریان، وسعت طولی و عرضی بیشتری دارد.

در تحقیق مرجع [۲۲] تاثیر سه صفحه مستغرق (که در فواصل کم در امتداد عرض جریان و نزدیک ساحل بالا دست آبگیر در کانال اصلی نصب شده است) بر بستر مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که علیرغم تعداد کم صفحات در مقایسه با دیگر تحقیقات مرتبط، ولی تاثیر صفحات بر توپوگرافی بستر کاملاً بارز می‌باشد. صفحات باعث ایجاد گودال آب‌شستگی عمیق در یک سوم عرض کانال در نزدیکی دهانه آبگیر و تپه رسوبی با ارتفاع کم در دو سوم دیگر عرض کانال می‌شود.

در تحقیق مرجع [۱۵] از یک آرایش منظم صفحات در دو ردیف ۱۲ تایی در راستای طول جریان استفاده شده است. اولین صفحات، در ناحیه میانی عرض کانال اصلی در فاصله‌ای قابل توجه در بالا دست آبگیر نصب شده و به تدریج در مجموعه‌های دو ردیف دو تایی به ساحل متصل به آبگیر



شکل ۱۶. توان جریان چرخشی در جلوی آبگیر (x=8-8.4m) [۳۹]

Fig. 16. Magnitude of flow vorticity in front of the intake entrance (x=8-8.4m) [39]

آن صرف کف کنی و آب‌شستگی عمقی می‌شود. در حالی که در بخش رسوب‌گذاری، جریان ثانویه القایی، امکان مانور عرضی بیشتری دارد لذا رسوب‌گذاری با ارتفاع کمتر ولی گسترش عرضی بیشتری نمود می‌یابد، هر چند که وجود آب‌شکن در ساحل مقابل آبگیر و به تبع آن افزایش سرعت، باعث تغییرات قابل توجهی در نواحی میانی کانال می‌شود. در واقع نصب آب‌شکن در ساحل مقابل آبگیر، هم باعث یک آب‌شستگی عمومی در بخش اعظم عرض کانال می‌شود و از طرفی یک تپه رسوبی در کنار ساحل راست در پایین دست آب‌شکن ایجاد می‌کند و از منظر دیگر با افزایش سرعت طبق نتایج شکل ۱۶ باعث افزایش قدرت جریان ثانویه القایی صفحات و به تبع آن آب‌شستگی و رسوب‌گذاری شدیدتر در اطراف صفحات می‌شود. به علاوه نتایج شکل ۱۷ نشان می‌دهد که علاوه بر یک جریان چرخشی شدید در جلوی آبگیر در محل استقرار صفحات (y=0.8-1m) و جریان چرخشی ضعیف‌تر در پشت آب‌شکن (y=0-0.2m)، یک جریان چرخشی در نواحی میانی عرض کانال و متمایل به آبگیر در لایه‌های بالایی جریان شکل می‌گیرد که می‌تواند اثر قابل توجهی بر توپوگرافی بستر در این ناحیه داشته باشد که وضعیت بستر در این ناحیه در حالت چهارم موید این واقعیت است.

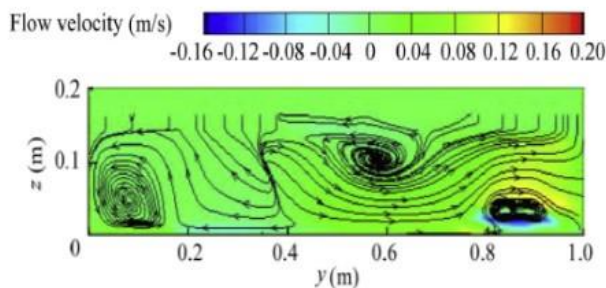
۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر چهار حالت کنترل رسوب بر توپوگرافی بستر در نواحی مجاور سواحل اطراف دهانه آبگیر در کانال اصلی در سه نسبت دبی آبگیری (Qr) مختلف، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در سناریو یا

هم از منظر عرضی، ناحیه آب‌شستگی افزایش می‌یابد و قاعدتا انتظار می‌رود ارتفاع و وسعت عرضی دپوی رسوب نیز نسبت به حالت دو ردیف صفحه، بیشتر باشد.

مقایسه حالت چهارم این تحقیق با نتایج مرجع [۴۴] نشان می‌دهد که وجود آب‌شکن باعث گسترش عمقی و عرضی ناحیه آب‌شستگی در جلوی دهانه آبگیر و رسوب‌گذاری در اطراف ساحل راست می‌شود که البته به دلیل افزایش سرعت جریان ناشی از وجود آب‌شکن در بالا دست، ناحیه رسوب‌گذاری در نواحی میانی عرض کانال تحت الشعاع قرار می‌گیرد و آب‌شستگی و کاهش رقوم کف اتفاق می‌افتد. نکته دیگر اینکه وجود آب‌شکن به همراه دو ردیف صفحه مستغرق، در مقایسه با افزودن یک ردیف به مجموعه صفحات و تبدیل آن از دو به سه ردیف صفحه (که در مرجع [۴۴] بررسی شد)، آب‌شستگی عمیق‌تری را در جلوی آبگیر موجب می‌شود. هر چند که توسعه عرضی ناحیه آب‌شستگی در حالت سه ردیف صفحه، بیشتر است.

حال اگر از منظر کنترل رسوب به موضوع پرداخته شود، در حالتی که عمق آب‌شستگی در اطراف ساحل چپ، بیشتر باشد قاعدتا باید انتظار ورود رسوب کف کمتری به آبگیر را داشت. از منظر دیگر، در تمام حالاتی که صفحات صرفاً نزدیک ساحل چپ نصب شده‌اند مانند تحقیق مراجع [۴۴] و [۲۲] و تحقیق حاضر، به دلیل وجود دیواره کانال در نزدیکی صفحات، جریان ثانویه القایی در کنار ساحل، امکان گسترش عرضی کمتری در مقایسه با جریان ثانویه در نواحی دورتر از ساحل دارد. لذا بخش زیادی از انرژی



شکل ۱۷. الگوی جریان عرضی در جلوی دهانه آبیگیر [۴۵]

Fig. 17. Transverse flow patterns in front of the intake entrance [45]

حالت اول رابطه مستقیمی با نسبت دبی آبیگیری دارد در حالی که در حالت چهارم رابطه عکس برقرار است. همچنین آستانه و صفحات به ویژه در QT های بزرگتر نقش کاهنده و آبشکن نقش افزاینده در طول ناحیه مذکور دارد. در بالا دست آبیگیر هر سه سازه مذکور نقش تشدید عمق آبشستگی را ایفا می کنند و بیشترین آبشستگی در حالت چهارم رخ می دهد. اگر چه نقش آستانه و صفحات بر طول ناحیه آبشستگی، افزاینده ولی نقش آبشکن، کاهنده است. مضافاً اینکه سناریو چهارم کنترل رسوب علیرغم اینکه نقش بسیار مفیدی در کاهش رسوب به آبیگیر داشته است ولی موجب آبشستگی های شدیدی در مجاورت ساحل شده که می تواند پایداری ساحل را به شدت تهدید کند.

نکته دیگر اینکه به دلیل تاثیر عوامل مختلف از قبیل مکش آبیگیر و تکانه و شرایط کاملاً سه بعدی جریان و نیز تاثیرات خاص هر یک از سازه های مذکور هم در بالا دست و هم در پایین دست، روند تغییرات پارامترهای مورد تحقیق، در بعضی شرایط متفاوت و حتی بعضاً متضاد بوده است. در حالی که در نسبت دبی آبیگیری ۰/۱۲، آستانه موجب افزایش بیش از ۱۷ و ۱۰ درصدی طول و عمق ناحیه آبشستگی در پایین دست دهانه آبیگیر می شود. در نسبت دبی آبیگیری ۰/۱۵، کاهش حدود ۱۶ و ۳۵ درصد و در نسبت دبی آبیگیری ۰/۱۸، کاهش بیش از ۱۸ و ۲۵ درصد را به ترتیب در طول و عمق ناحیه مذکور رقم می زند. در حالی که وجود آبشکن، در نسبت های دبی آبیگیری مورد تحقیق، به طور متوسط باعث افزایش حدود ۷۲ و ۳۴ درصد به ترتیب در عمق و طول ناحیه آبشستگی در پایین دست دهانه آبیگیر می شود، وجود صفحات مستغرق کاهش ۳۷ درصدی طول ناحیه مذکور

حالت های مذکور تاثیر سازه های مختلف کنترل رسوب شامل آستانه، آبشکن و صفحات مستغرق و ترکیب آن ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نظر به تغییرات رقوم بستر در طی زمان، بررسی ها بر اساس متوسط رقوم بستر در طی زمان و در بازه زمانی بعد از رسیدن بستر به تعادل دینامیکی انجام شد. نتایج نشان می دهد در شرایط عدم وجود سازه کنترل رسوب، انحراف آب کانال اصلی به سمت آبیگیر موجب ایجاد دو ناحیه آبشستگی در بالا دست و پایین دست دهانه آبیگیر در مجاورت سواحل متصل به آن (یعنی ساحل چپ) می شود که ناحیه آبشستگی پایین دست که تقریباً یک چهارم جلوی دهانه آبیگیر را نیز شامل می شود دارای عرض، طول و عمق بیشتری نسبت به ناحیه آبشستگی بالا دست دهانه (که تقریباً از وسط عرض دهانه تا سواحل بالا دست آن امتداد یافته است) می باشد.

بررسی ها نشان داد که آستانه در جلو و پایین دست آبیگیر موجب افزایش رقوم بستر و در بالا دست موجب تشدید آبشستگی می شود در حالی که آبشکن (علاوه بر تاثیر بر ساحل راست) در سرتاسر ساحل چپ و جلوی آبیگیر موجب آبشستگی و کاهش قابل توجه رقوم بستر می شود. صفحات مستغرق نیز در جلو و بالا دست آبیگیر به واسطه جریان ثانویه القایی صفحات موجب آبشستگی در بالا دست و جلوی آبیگیر می شود که پایداری سواحل در این نواحی را می تواند تحت الشعاع قرار دهد در حالی که در پایین دست آبیگیر با توجه به آرایش خاص صفحات در این تحقیق و شرایط جریان، به ویژه در نسبت های آبیگیری بالاتر موجب انباشت رسوب و کاهش رقوم بستر می شود که می تواند نقش مفیدی در افزایش پایداری سواحل در این نواحی داشته باشد. همچنین عمق ناحیه آبشستگی در پایین دست در سه

due to Inclination of Channel Bank, Irrigation Sciences and Engineering, 36(2) (2014) 1-12 (in Persian).

- [5] M. Moghadam, T. Sabzevari, M. Hadad, Effect of mouth shape on the energy and momentum coefficients and flow separation dimensions, *Journal of Water and Soil*, 31(5) (2017) 1278-1289 (In Persian).
- [6] A. Keshavarzi, M.K. Moghadam, J.E. Ball, Optimising round-edged entrance of 55° river water intake, in: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, Thomas Telford Ltd, 2012, pp. 9-19.
- [7] M. Karami Moghadam, S. Seyedian, Numerical Simulation of Flow Diversion from an Intake at a Main Channel with Vertical and Inclined Bank Using Fluent, *Water and Soil Science*, 26(2-1) (2016) 1-12 (In Persian).
- [8] H. Azimi, S. Shabanlou, S. Kardar, Flow field within rectangular lateral intakes in the subcritical flow regimes, *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(2) (2019) 421-430.
- [9] A. Abbasi, Experimental investigation on sediment control at lateral intakes in straight channels, Ph. D. Thesis on civil engineering, Tarbiat Modares University, 2003(in persian).
- [10] F. Hassanpour, Investigation of the operation of lateral intakes with submerged vanes and sill, Ph. D. Thesis Tarbiat Modares University., 2006(In Persian).
- [11] T. Nakato, F.L. Ogden, Sediment control at water intakes along sand-bed rivers, *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(6) (1998) 589-596.
- [12] A. Raudkivi, Sedimentation–exclusion and removal of sediment from diverted water. IAHR Hydraulic Structures Design Manual 6, AA Balkema, Rotterdam, (1993).
- [13] E. Razvan, River intakes and diversion dams, *Developments in civil engineering*, 25 (1989).
- [14] J. Wittaker, A solution for sediment control at intakes, channel and channel control process, in, Springer Publication, Berlin/West, Edited by Smith, KVH, 1984.
- [15] H. Allahyonesi, M.H. Omid, A.H. Haghiaibi, A study of the effects of the longitudinal arrangement sediment

را موجب می‌شود و در حالی که در نسبت آبیگری ۰/۱۲، افزایش حدود ۶۶ درصد در عمق ناحیه رخ می‌دهد ولی در نسبت آبیگری ۰/۱۸ کاهش حدود ۲۴ درصد رقم می‌خورد. در اطراف لبه بالا دست آبیگیر نیز در شرایط مختلف، ناحیه آب‌شستگی در ابعاد متفاوت شکل می‌گیرد. با نصب آستانه در جلوی آبیگیر، در شرایط آبیگری مورد تحقیق، به طور متوسط عمق و طول ناحیه آب‌شستگی به ترتیب ۳۲ و ۴۵ درصد افزایش می‌یابد که با افزودن آب‌شکن در ساحل مقابل آبیگیر، افزایش ۴۸ درصد و کاهش بیش از ۲۱ درصد به ترتیب در عمق و طول ناحیه مذکور رقم می‌خورد. ولی بیشترین تاثیر مربوط به صفحات مستغرق می‌باشد که موجب گسترش عمقی و طولی ناحیه به ترتیب به میزان ۱۶۶ و ۷۱ درصد می‌شود.

همچنین بررسی نتایج رقوم بستر در مجاورت ساحل راست حاکی از این است که در حالت عدم وجود سازه در روبرو و پایین دست آبیگیر، به ویژه در QR های بزرگ‌تر، رسوب‌گذاری محسوسی اتفاق می‌افتد. نکته دیگر اینکه آستانه در بعضی QR ها موجب کاهش رقوم بستر در روبروی آبیگیر در مجاورت ساحل راست می‌شود ولی در تمام QR ها، موجب رسوب‌گذاری در پایین دست آبیگیر در ساحل راست می‌شود. همچنین اگر چه عملکرد آب‌شکن در کنترل رسوب به آبیگیر در تحقیقات گذشته موفق بوده است ولی در ساحل راست هم موجب ایجاد چاله‌های آب‌شستگی در بالا دست و پایین دست آب‌شکن می‌شود و هم موجب ایجاد تپه رسوبی در روبروی لبه بالا دست آبیگیر می‌شود که تا فواصلی در بالا دست و پایین دست امتداد می‌یابد. با افزودن صفحات مستغرق به جمع سازه‌های کنترل رسوب، آب‌شستگی در طرفین آب‌شکن در ساحل راست، به ویژه در QR معادل ۰/۱۲ و ۰/۱۵ مقدار آبیگری کاهش می‌یابد و همچنین بر ارتفاع تپه رسوبی مذکور افزوده می‌شود.

منابع

- [1] V. Neary, F. Sotiropoulos, A. Odgaard, Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows, *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(2) (1999) 126-140.
- [2] V.S. Neary, A.J. Odgaard, Three-dimensional flow structure at open-channel diversions, *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(11) (1993) 1223-1230.
- [3] A. Ramamurthy, J. Qu, D. Vo, Numerical and experimental study of dividing open-channel flows, *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(10) (2007) 1135-1144.
- [4] S. Seyedian, M. Shafai Bejestan, M. Farasati, Investigation of Flow Pattern Change at Lateral Intake

- Chandra, Control of sediment inflow into a trapezoidal intake canal using submerged vanes, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 144(6) (2018) 04018020.
- [27] U.P. Gupta, N. Sharma, C. Ojha, Performance evaluation of tapered vane, *Journal of Hydraulic Research*, 45(4) (2007) 472-477.
- [28] L. Davoodi, M. Bajestan, Control of sediment entry to intake on a trapezoidal channel by submerged vane, *Ecology, Environment and Conservation*, 18(1) (2012) 165-169.
- [29] H.-T. Ouyang, Investigation on the dimensions and shape of a submerged vane for sediment management in alluvial channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(3) (2009) 209-217.
- [30] H. Ouyang, C. Lu, Optimizing the spacing of submerged vanes across rivers for stream bank protection at channel bends, *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(12) (2016) 04016062.
- [31] M.A. Boniforti, R. Guercio, R. Magini, Effects of submerged sheet pile vanes on mobile river beds, *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 16(3) (2015) 182-193.
- [32] M. Zamani, H. Rabiefar, M. Rostami, Experimental evaluation of spur dikes placement position effect on the hydraulic and erosion conditions of intakes, *Water Supply*, 20(3) (2020) 900-908.
- [33] M. Sajedi Sabegh, H. M, Experimental consideration of the effect of using submerged vanes and spur dike on increase of the intake efficiency, in: *Fourth Iranian Hydraulic Conference*, Shiraz University, Shiraz, Iran, 2002 (in Persian).
- [34] C.R. Neill, B.J. Evans, A.J. Odgaard, Y. Wang, Discussion and closure: Sediment control at water intakes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(7) (1997) 670-671.
- [35] M.M. Ahmadi, Experimental Study on the Effect of Groin on The Efficiency of Lateral Intake, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran, 2002 (in Persian).
- behavior near intake structures, *Journal of Hydraulic Research*, 46(6) (2008) 814-819.
- [16] B.D. Barkdoll, R. Ettema, A.J. Odgaard, Sediment control at lateral diversions: Limits and enhancements to vane use, *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(8) (1999) 862-870.
- [17] J. Ho, A. Johnson, S. White, 3-D Numerical Simulation Study of Permanent Sediment Control Submerged Vanes, in: *National Science Foundation, Research Education for Under graduation*, 2004.
- [18] A. Keshavarzi, A. Shamsaddini-Nejad, Plain secondary current at water intakes and its effect on sedimentation process, in: *CSCE/EWRI of ASCE Environmental Engineering Conference, Niagara Falls 21-24 July*, 2002.
- [19] M.K. Moghadam, A.R. Keshavarzi, An optimised water intake with the presence of submerged vanes in irrigation canals, *Irrigation and drainage*, 59(4) (2010) 432-441.
- [20] T. Nakato, J.F. Kennedy, D. Bauerly, Pump-station intake-shoaling control with submerged vanes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(1) (1990) 119-128.
- [21] H. Ouyang, Design optimization of submerged vane system for sediment control, Ph.D. thesis, University of Iowa, 2001.
- [22] A.B. Türkbën, Experimental Study of Submerged Vanes in Intakes under Sediment Feeding Conditions, in: *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, 2018, pp. 03016.
- [23] Y. Wang, A.J. Odgaard, B.W. Melville, S.C. Jain, Sediment control at water intakes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(6) (1996) 353-356.
- [24] T. Sruthi, K. Ranjith, V. Chandra, Control of sediment entry into an intake canal by using submerged vanes, in: *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC, 2017, pp. 030007.
- [25] M. Karami Moghadam, A. Amini, A. Keshavarzi, Intake design attributes and submerged vanes effects on sedimentation and shear stress, *Water and Environment Journal*, 34(3) (2020) 374-380.
- [26] S.T. Kalathil, A. Wuppukondur, R.K. Balakrishnan, V.

- S.A.A. Salehi Neyshabouri, Experimental comparison of different methods with regard to sediment control and scour at the 90 degree water intakes, *Modares Civil Engineering journal*, 19(4) (2019) 121-133(in Persian).
- [41] F. Michell, R. Ettema, M. Muste, Case study: Sediment control at water intake for large thermal-power station on a small river, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(5) (2006) 440-449.
- [42] A.J. Odgaard, River channel stabilization with submerged vanes, in: *Advances in water resources engineering*, Springer, 2015, pp. 107-136.
- [43] L.C. Van Rijn, Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas, Aqua publications Amsterdam, 1993.
- [44] B.D. Barkdoll, Sediment control at lateral diversions, PhD thesis, University of Iowa, 1997.
- [45] H. Karami, S. Farzin, M.T. Sadrabadi, H. Moazeni, Simulation of flow pattern at rectangular lateral intake with different dike and submerged vane scenarios, *Water Science and Engineering*, 10(3) (2017) 246-255.
- [36] A. Moradinejad, A.H. Haghiabi, M. Saneie, H. Yonesi, Investigating the effect of a skimming wall on controlling the sediment entrance at lateral intakes, *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(4) (2017) 1121-1132.
- [37] T. Zenebe, Y. Mohamed, A. Haile, Mitigation of Sedimentation at the Diverstion Intake of Fota Spate Irrigation: Case Study of the Gash Spate Irrigation Scheme, Sudan, *Irrig. Drain. Syst. Eng*, 4(2) (2015) 1000138.
- [38] A. Moradinejad, M. Saneie, A. Ghaderi, S.M.Z. Shahri, Experimental study of flow pattern and sediment behavior near the intake structures using the spur dike and skimming wall, *Applied Water Science*, 9(8) (2019) 1-11.
- [39] S. Gohari, Experimental study on flow pattern and sediment control in lateral intake with application of submerged vane and spur dike, Ph. D. thesis, Faculty of Agricultural Engineering, Tarbiat Modares University, 2009 (in Persian).
- [40] A. Attarzadeh, M. Ghodsian, S.A. Ayyoubzadeh,

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. Attarzadeh, A. Babakhani, *Study of the effect of various scenarios of the sediment control on banks in the vicinity of lateral intake entrance*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 54(11) (2023) 4055-4076.

DOI: [10.22060/mej.2019.15465.6128](https://doi.org/10.22060/mej.2019.15465.6128)



