

مطالعه آزمایشگاهی ساختار الگوی جریان انحرافی به دهانه آبگیر جانبی با زاویه ۹۰

درجه و مقدار رسوب ورودی به آن در بندهای انحراف آب

مهدی اسمعیلی ورکی، جواد فرهودی* و محمد حسین امید**

* نگارنده مسئول: نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص. پ. ۴۱۱۱، تلفن: ۲۲۴۱۱۱۹ (۰۲۶۱)، پیام‌نگار:

jfarhoudi@ut.ac.ir

** به‌ترتیب استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان؛ استاد؛ و دانشیار گروه آبیاری و آبادانی دانشکده آب و خاک پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۳/۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۲/۵

چکیده

تجربیات حاصل از عملکرد دهانه‌های آبگیر بندهای انحرافی به منظور تأمین مصارف مختلف نشان داده است که یکی از مسائل اصلی در طراحی دهانه‌های آبگیر، کاستن از رسوب ورودی به دهانه آبگیر و کانال آب‌بر پایاب آن است. بی‌تردید هرگونه اتخاذ تصمیم یا انتخاب روشی جهت کاستن از ورود رسوب به کانال پایین‌دست دهانه آبگیر، مستلزم شناخت رفتار الگوی جریان در حال انحراف به دهانه آبگیر و مکانیزم انتقال رسوب به آن است. با توجه به اینکه آبگیری با زاویه ۹۰ درجه نامناسب‌ترین شرایط را از نظر میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر فراهم می‌سازد، در پژوهش حاضر، رفتار هیدرودینامیکی جریان و مکانیزم ورود رسوبات بستری به دهانه آبگیری با زاویه ۹۰ درجه از بند انحرافی آبگیری به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. برای این منظور اندازه‌گیری‌های متنوع هیدرودینامیکی و رسوبی تحت شرایط مختلف هیدرولیکی نظیر دبی رودخانه، دبی آبگیری، و دبی خروجی از دریچه مجرای تخلیه صورت گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که میزان دبی خروجی از دریچه مجرای تخلیه رسوب تأثیری قابل توجه بر نیمرخ‌های سرعت جریان در امتداد دهانه آبگیر و مکانیزم ورود رسوب به دهانه آبگیر دارد. در شرایطی که مجرای تخلیه رسوب کاملاً بسته است، کلیه نیمرخ‌های سرعت یک نقطه عطف دارند و بسته به شدت آبگیری از عمقی از نیمرخ سرعت، مقدار سرعت منفی می‌شود. همچنین مشاهدات نشان داد که رسوبات بر اثر گردابه‌های تورنادویی شکل به دهانه آبگیر وارد می‌شوند. این گردابه‌ها عموماً در بازه انتهایی جبهه رسوب بستر رودخانه شکل می‌گیرند و در مقابل دهانه آبگیر به بلوغ رشد خود می‌رسند. آزمایش‌ها همچنین نشان داد که دوره تناوب و قدرت این گردابه‌ها تابعی از شدت آبگیری است. تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که با افزایش دبی آبگیری میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر افزایش می‌یابد و میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر در هر دبی آبگیری، با افزایش دبی مجرای تخلیه رسوب افزایش قابل توجهی دارد.

واژه‌های کلیدی

آبگیر جانبی ۹۰ درجه، الگوی جریان و رسوب ورودی به دهانه آبگیر، بند انحرافی

مقدمه

آبرسانی کشاورزی و تأسیسات برقایی ایجاد می‌کند عبارت‌اند از: قطع جریان در کانال آبرسانی جهت لایروبی و تخلیه رسوبات هزینه زیاد لایروبی و استخراج رسوبات از کانال‌ها، کاهش ظرفیت جریان در کانال، ایجاد محیط مناسب برای رشد گیاهان در بستر کانال‌های آب‌بر (که گاهی موجب شکستن و تخریب بدنه آن نیز می‌شود)، و

تجربیات حاصل از عملکرد دهانه‌های آبگیر بندهای انحرافی به منظور تأمین مصارف مختلف آبگیری، نشان داده است که یکی از مسائل اصلی در طراحی دهانه‌های آبگیر، کاستن از رسوب ورودی به دهانه آبگیر و کانال آب‌بر است. مشکلاتی که ورود رسوبات به کانال‌های

می‌گیرد (رزوان (Razvan, 1989)، و نیری و همکاران، (Neary et al, 1999)). نتایج بررسی‌های محققان نشان می‌دهد که ابعاد ناحیه جداسازی جریان در کانال آبگیر (ناحیه با جریان چرخشی) از بستر به طرف سطح جریان کاهش می‌یابد (Neary & Odgaard, 1993). همچنین، نتایج تحلیل‌های حاکی از آن است که طول و عرض ناحیه جداسازی جریان در داخل دهانه آبگیر با افزایش نسبت آبگیری کاهش می‌یابد و با افزایش زاویه آبگیری، برای دبی ثابت، طول آن کاهش و عرض آن افزایش خواهد یافت (Abbasi, 2004). از سوی دیگر، توزیع سرعت عرضی جریان ورودی به دهانه آبگیر متقارن نیست و از ساحل بالادست دهانه آبگیر به سمت ساحل پایین‌دست، سرعت ورودی جریان به دهانه آبگیر افزایش می‌یابد (Chen & Cao, 2004). نتیجه بررسی‌های محققان نشان می‌دهد که عرض جریان انحراف یافته به کانال انشعاب در کانال اصلی، از سطح جریان به طرف بستر روند افزایشی دارد: (Razvan, 1989; Neary et al., 1999). محققانی مانند نیری و همکاران، (Neary et al., 1999)، رائر و همکاران (Ruether et al., 2005)، رامامورسی و همکاران (Ramamurthy et al., 2007)، و سیدیان و شفافی، (Seyedian & Shafaei, 2008) تلاش کرده‌اند تا انحراف جریان را به دهانه آبگیر شبیه‌سازی کنند که به دلیل طبیعت سه بعدی جریان در شرایط حضور بند انحرافی، مجرای تخلیه رسوب، و آستانه ابتدایی، امکان حصول نتایج با دقت مناسب میسر نشده است.

در کنار شناخت پارامترهای هیدرولیکی و رفتار هیدرودینامیکی جریان در مجاورت دهانه آبگیر و داخل کانال انشعاب، مطالعه اثر مشخصه‌های هیدرولیکی جریان و پارامترهای هندسی دهانه آبگیر بر میزان انتقال رسوب به آن، با اهمیت است. از میان پارامترهای هیدرولیکی مؤثر بر میزان ورود رسوب به دهانه آبگیر در کانال‌های مستقیم، نسبت آبگیری (نسبت دبی آبگیری به دبی

ایجاد خسارت به توربین‌ها در تأسیسات برق‌آبی (Razvan, 1989).

با توجه به موارد فوق، کنترل رسوب ورودی به دهانه آبگیر یکی از مسائل مهم در دهانه‌های آبگیر است. بی‌تردید هرگونه اتخاذ تصمیم یا انتخاب روش مناسب جهت کاستن از ورود رسوب به کانال پایین‌دست دهانه آبگیر، مستلزم شناخت رفتار هیدرودینامیک جریان انحرافی به دهانه آبگیر و مکانیزم انتقال رسوب در این مجاری خواهد بود.

به منظور شناخت مشخصه‌های هیدرولیکی و رفتار هیدرودینامیکی جریان منحرف شده به دهانه آبگیر و بررسی اثر هندسه دهانه آبگیر بر میزان انتقال رسوب به آن تاکنون تحقیقات زیادی شده است که از جمله می‌توان به تحقیقات رامامورسی و ساتیش (Ramamurthy & Satish, 1988)، رزوان (Razvan, 1989)، رامامورسی و همکاران (Ramamurthy et al., 1990)، و هسو و همکاران (Hsu et al., 2002)، اشاره کرد. در این بررسی‌ها با استفاده از اصل بقای اندازه حرکت و نیز از فرضیاتی، روابطی برای برآورد نسبت عمق جریان در قبل و بعد از کانال انشعاب قائم، که می‌تواند کانال آبگیر نیز باشد، ارائه و با اجرای آزمایش‌هایی روی مدل‌های آزمایشگاهی، صحت معادلات ارائه شده تأیید شده است. مطالعه چگونگی رفتار هیدرودینامیکی جریان انحراف یافته به کانال انشعاب نشان می‌دهد که بر اثر انحراف جریان به کانال انشعاب، گرادیان مثبت فشار عرضی در دهانه آبگیر به وجود می‌آید که به ایجاد ساختار سه بعدی در خطوط جریان می‌انجامد. بر اثر انحراف خطوط پرفشار جریان از سطح به عمق، ناحیه جداسازی جریان که به صورت ناحیه‌ای با جریان گردابه‌ای توصیف می‌شود، در کانال انشعاب شکل می‌گیرد؛ جریان ثانویه ساعت‌گرد در داخل کانال انشعاب (کانال دهانه آبگیر) و جریان پادساعت‌گرد در پایین‌دست دهانه آبگیر در کانال اصلی نیز شکل

رو درک بهتر رفتار هیدرودینامیکی جریان منحرف شده به دهانه آبگیر و مکانیزم و میزان ورود رسوب به دهانه آبگیر در بندهای انحرافی نیازمند مطالعه بیشتر عوامل مؤثر بر الگوی جریان - نظیر دریاچه پشت بند، مشخصات و نوع مجرای تخلیه رسوب، مشخصات آستانه ورودی، و زاویه آبگیری - خواهد بود.

پژوهش حاضر برای بررسی رفتار هیدرودینامیکی جریان و مکانیزم ورود رسوبات بستری به دهانه آبگیر با زاویه ۹۰ درجه از بند انحرافی صورت گرفته است تا بتوان شناخت بیشتری در خصوص دلایل عدم مطلوبیت زاویه ۹۰ درجه برای آبگیری را به دست آورد.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

پارامترهای مؤثر بر میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر را می‌توان در سه بخش کلی، پارامترهای توصیف‌کننده مشخصات هیدرولیکی جریان، پارامترهای هندسی توصیف‌کننده کانال اصلی و اجزای دهانه آبگیر جریان، و پارامترهای توصیف‌کننده خصوصیات سیال رسوب‌دار دسته‌بندی کرد و به صورت معادله ابعادی ۱ نوشت:

$$f_1(Q_{Sl}, Q_{Spill}, U_r, U_{in}, \tau_*, y_r, y_{in}, b_r, b_{sl}, b_{in}, L_d, h_s, X_{Spill}, X_{Sluice}, \theta, g, \rho, \nu, \rho_s, D_s, \sigma_g, \omega_s, Q_{sr}, Q_{sin}) = 0 \quad (1)$$

که در آن، b_r = عرض رودخانه؛ b_{sl} = عرض مجرای تخلیه رسوب؛ b_{in} = عرض دهانه آبگیر؛ D_s = قطر ذرات رسوبی؛ g = شتاب ثقل؛ h_s = ارتفاع آستانه کانال آبگیر؛ L_d = عرض ناحیه گسیختگی جریان در کانال آبگیر، Q_{Spill} = دبی عبوری از سرریز بند انحرافی، Q_{Sl} = دبی خروجی از مجرای تخلیه‌کننده رسوب؛ Q_{sr} = دبی رسوب جریان در رودخانه؛ Q_{sin} = دبی رسوب جریان ورودی به

جریان کانال اصلی) و عدد فرود جریان در سراب دهانه آبگیر بیشترین نقش را در ورود رسوب به دهانه آبگیر دارند به طوری که با افزایش دبی آبگیری میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر افزایش خواهد یافت و با افزایش عدد فرود جریان در سراب کانال آبگیر با نسبت ثابت آبگیری، میزان ورود رسوب به دهانه آبگیر کاهش می‌یابد (Abbasi, 2004). بررسی مدل‌های آزمایشگاهی دهانه آبگیر و مشاهدات صحرایی در مورد عملکرد دهانه‌های آبگیر نشان می‌دهد که ارتفاع آستانه آبگیر و زاویه آبگیری، در مقایسه با سایر پارامترهای هندسی اثر بیشتری بر میزان ورود رسوب به دهانه آبگیر دارند. رزوان (Razvan, 1989)، پیشنهاد می‌کند که ارتفاع آستانه باید حداقل برابر ۰/۳۳ عمق جریان در مقابل دهانه آبگیر باشد.

در خصوص تأثیر زاویه آبگیری بر میزان ورود رسوب به دهانه آبگیر مطالعاتی شده است که غالباً بر پایه مطالعات صورت گرفته روی مدل‌های فیزیکی و ارزیابی‌های صحرایی بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که زاویه آبگیری ۹۰ درجه اثر نامطلوبی بر میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر خواهد داشت. رادکیوری (Raudkivi, 1993)، نواک و همکاران (Novak et al., 2004)، و یوپیری (Anon, 1973)، زاویه ۱۱۰-۱۰۵ درجه را از نظر کاهش میزان ورود رسوب به دهانه آبگیر، مناسب می‌دانند در حالی که رزوان (Razvan, 1989). زاویه ۱۲۰-۹۵ درجه و گارد و رانگراجو (Garde & Ranga Raju, 2000) زاویه ۱۰۵-۱۰۰ درجه را مناسب‌ترین زاویه توصیه کرده‌اند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، تحقیقات در زمینه خصوصیات هیدرودینامیک جریان عمدتاً مربوط به شرایطی بوده است که بخشی از جریان در کانال اصلی به سمت کانال آبگیر منحرف می‌شود. نتایج این تحقیقات قادر به پاسخ‌گویی کامل در زمینه خصوصیات هیدرودینامیک جریان انحراف یافته به دهانه آبگیر با حضور بندهای انحرافی و سازه‌های وابسته نیست و از این

که حرکت بار رسوبی به صورت بار بستری است، از این رو از اثر این پارامتر بر مقدار رسوب ورودی به دهانه آگیر خشک؛ U_{river} = سرعت جریان در رودخانه؛ U_r = سرعت متوسط جریان در رودخانه؛ U_{in} = سرعت متوسط جریان ورودی به کانال آگیر؛ X_{spill} = مشخصه‌های هندسه سرریز بند انحرافی؛ X_{sluice} = موقعیت مجرای تخلیه رسوب از انتهای دهانه آگیر؛ y_r = عمق جریان در رودخانه؛ y_{in} = عمق جریان در آگیر؛ θ = زاویه آگیری؛ ρ = چگالی آب؛ ν = لزوجت سینماتیک آب؛ σ_g = انحراف معیار هندسی ذرات رسوبی؛ ω_s = سرعت سقوط ذرات رسوبی؛ و τ_{*r} = تنش برشی جریان در رودخانه است.

با به کارگیری تئوری باکینگهام، رابطه تابعی ۱ را می توان به صورت یک رابطه تابعی از پارامترهای بی بعد حاکم کرد، به قرار زیر:

$$C_s = \left(\frac{y_r}{h_s}, S_r, D_r, Fr_r, Fr_{in} \right) \quad (3)$$

تجهیزات آزمایشگاهی

جهت بررسی رفتار هیدرودینامیکی جریان و مکانیزم ورود رسوبات بستری به دهانه آگیر، ابتدا یک فلوم شیب پذیر در مرکز تحقیقات آب گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران طراحی و ساخته شد که نمای توصیفی و کلی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. جریان ورودی در این مدل آزمایشگاهی، با دو دستگاه پمپ سانتریفیوژ با دبی حداکثر ۱۵۰ لیتر بر ثانیه و آب به صورت بازچرخانی از ۸ مخزن ۴ متر مکعبی به هم پیوسته تأمین می شود. آب پس از ورود به مخزن اندازه گیری دبی جریان در ابتدای فلوم و عبور از سرریز مثلی که با دقت ۰/۲۵ لیتر بر ثانیه امکان اندازه گیری دبی را فراهم می کند، از طریق مخزن آرام کننده بالادست وارد کانال آزمایشگاهی می شود. کانال آزمایشگاهی، مقطع مستطیلی با کف و دیواره هایی از جنس پلاکسی گلاس به طول ۱۸ متر، عرض ۰/۹ متر و ارتفاع ۰/۶ متر دارد به منظور انحراف جریان به دهانه آگیر از یک بند انحرافی مجهز به یک دریچه قطاعی استفاده شد که ۰/۶ متر عرض، ۰/۲۷ متر ارتفاع دارد و در فاصله

$$f_2 \left(\frac{b_{sl}}{b_r}, \frac{b_{in}}{b_{sl}}, \frac{L_d}{b_{in}}, \frac{X_{spill}}{b_r}, \frac{X_{spill}}{h_s}, \frac{X_{sluice}}{h_s}, \frac{X_{sluice}}{b_{in}}, \frac{y_{in}}{h_s}, \frac{y_r}{h_s}, \frac{Q_{sl}}{Q_r}, \frac{Q_{spill}}{Q_r}, \frac{Q_{sin}}{Q_{in}}, \frac{u_{*r}}{\omega_s}, \frac{D_s}{h_s}, Re_r, Re_{in}, Fr_r, Fr_{in}, \theta, \sigma_g \right) = 0 \quad (2)$$

که در آن، $C_s = 60000 Q_{sin} / Q_{in}$ غلظت بار رسوبی در جریان در کانال آگیر؛ $D_r = Q_{in} / Q_r$ دبی نسبی آگیری؛ $Fr_{in} = U_{in} / \sqrt{gy_{in}}$ عدد فرود جریان در کانال آگیر؛ $Fr_r = U_r / \sqrt{gy_r}$ عدد فرود جریان در رودخانه و در مجاورت دهانه آگیر؛ $Re_{in} = U_{in} R_{in} / \nu$ عدد رینولدز جریان در کانال آگیر؛ $Re_r = U_r R_r / \nu$ عدد رینولدز جریان در رودخانه؛ و $S_r = Q_{sl} / Q_r$ دبی نسبی دریچه مجرای تخلیه رسوب آگیری است. از میان پارامترهای بی بعد در معادله ۲، پارامترهای b_{in} / b_{sl} ، b_{sl} / b_r ، X_{spill} / h_s ، X_{spill} / b_r ، L_d / b_{in} ، X_{sluice} / h_s و D_s / h_s از پارامترهای هندسی هستند و در طول آزمایش ها ثابت اند. پارامتر u_{*r} / ω_s شکل انتقال بار رسوبی (بستری، جهشی، و معلق) را توصیف می کند. شرایط جریان در آزمایش های این پژوهش به گونه ای است

برابر $0/0008$ انتخاب شد جهت ممانعت از فرسایش و غیر یکنواخت شدن بستر کانال اصلی، 3 متر اولیه آن از رسوبات درشت‌دانه پوشیده شد.

جهت شبیه‌سازی جریان رسوب‌دار، یک دستگاه تزریق رسوب با قابلیت تأمین غلظت‌های مختلف در فاصله 3 متری از ابتدای کانال اصلی مستقر شد (شکل ۱). با توجه به شرایط بستر کانال اصلی و میزان تزریق رسوب، شرایط تعادل جریان رسوب‌دار قبل از رسیدن به دهانه آبگیر فراهم آمد.

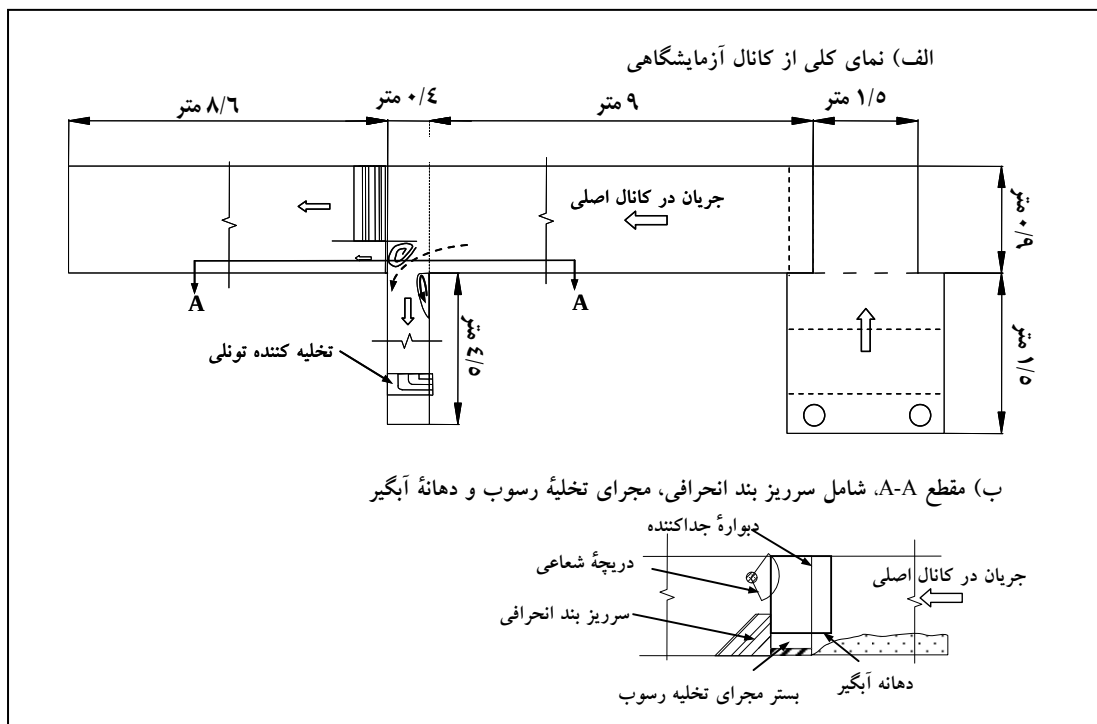
رسوبات ورودی به کانال آبگیر توسط تونل تخلیه‌کننده مجهز به چهار گالری تخلیه از جریان جدا و وارد تانک جداسازی جریان از رسوب شد. بدین ترتیب امکان مطالعه زمانی ورود رسوب به دهانه آبگیر به دست آمد.

با نصب توری‌هایی در انتهای کانال اصلی و کانال آبگیر، بخشی از رسوبات انتقال یافته به انتهای این کانال‌ها جمع‌آوری می‌شد.

جهت اندازه‌گیری سرعت جریان در این پژوهش، از دستگاه سرعت‌سنج^۱ (ADV) ساخت شرکت سونتک استفاده شد که قادر به اندازه‌گیری سرعت در جهات سه‌گانه است. در کلیه آزمایش‌ها، سرعت‌های جریان با فرکانس 50 هرتز و مدت زمان 10 تا 15 دقیقه قرائت شد.

$9/38$ متر از ابتدای کانال اصلی نصب می‌شود تا امکان تنظیم دبی خروجی از بند انحرافی فراهم آید. کانال آبگیر 4 متر طول، $0/4$ متر عرض و $0/6$ متر ارتفاع دارد که در فاصله $8/98$ متری از ابتدای کانال اصلی احداث شد. از دیگر مشخصات مهم اجزای دهانه آبگیر و سازه انحراف جریان مجرای تخلیه رسوب و آستانه ورودی است که با توجه به پیشنهادهای محققان که طول مناسب دیواره جداکننده را $0/67$ برابر عرض دهانه آبگیر و حداقل ارتفاع آستانه را $0/33$ برابر عمق جریان در مقابل دهانه آبگیر توصیه کرده‌اند (Razvan, 1989). عرض مجرای تخلیه رسوب $0/29$ متر و طول دیواره جداکننده و ارتفاع آستانه به ترتیب $0/29$ و $0/1$ سانتی‌متر انتخاب شد. جریان خروجی از کانال آبگیر به مخزن تخلیه آن، که 5 متر طول و 1 متر عرض و 1 متر عمق دارد، منتقل می‌شود. این مخزن، ضمن هدایت جریان خروجی از کانال آبگیر به مخازن ذخیره آب، امکان اندازه‌گیری دبی خروجی از آن را با استفاده از یک سرریز مستطیلی لبه پهن با دقت $0/3$ لیتر بر ثانیه فراهم می‌کند.

به منظور ایجاد شرایط اولیه، بستر کانال اصلی از رسوبات با دانه‌بندی تقریباً یکنواخت و با قطر $0/3$ میلی‌متر و ضخامت 8 سانتی‌متر پوشیده و شیب بستر



شکل ۱- (الف) نمای کلی از کانال آزمایشگاهی، (ب) مقطع A-A، شامل سرریز بند انحرافی، مجرای تخلیه رسوب و دهانه آبگیر و (ج) طرح کلی و نمایی از مدل آزمایشگاهی

روش اجرای آزمایش‌ها

طریق پایش تغییرات رقوم بستر رودخانه و مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر بررسی شد. مشاهدات نشان داد که حضور بند انحرافی در مقابل جریان، باعث افزایش تدریجی رقوم بستر رودخانه می‌شود و ضخامت رسوبات ته‌نشین شده در بالادست دهانه آبگیر تا حد آستانه آن می‌رسد و متوقف می‌گردد. از آنجاکه تغییر رقوم دینامیکی بستر رودخانه بر میزان حمل رسوب جریان مؤثر است، در کلیه

به منظور تطابق بیشتر نتایج مطالعه رفتار هیدرودینامیکی جریان و میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر با شرایط طبیعی، ابتدا شرایط ایجاد تعادل دینامیکی بستر که در آن رقوم بستر با رسوب تزریق شده و رسوب ورودی به دهانه آبگیر به تعادل رسیده باشد، با تزریق رسوب و آگیری ثابت به مدت تقریبی ۴۰ ساعت و از

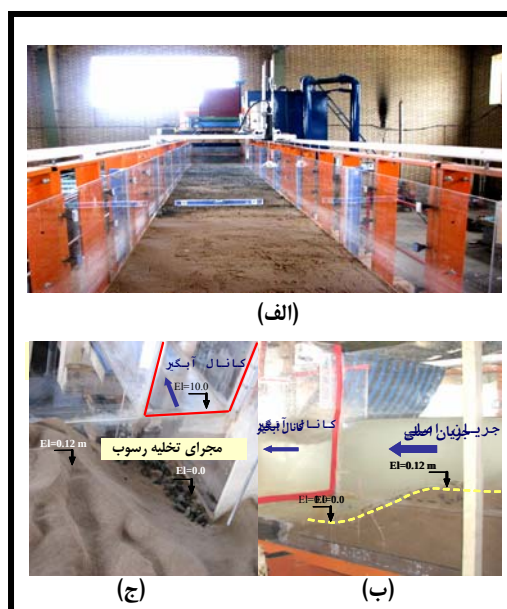
آبگیر در بازه‌های زمانی مشخص، ۱۰ تا ۳۰ دقیقه، اندازه‌گیری شد تا بتوان روند ورود رسوب به دهانه آبگیر و زمان پایان آزمایش را تعیین کرد. پس از اجرای هر آزمایش رسوب‌سنجی بستر رودخانه، برای مطالعه رفتار هیدرودینامیکی جریان، با استفاده از پودر سیمان تثبیت شد. در تثبیت بستر رودخانه، سعی شد پودر سیمان کاملاً یکنواخت روی بستر پخش شود. همچنین ضخامت لایهٔ سیمانی تشکیل شده بعد از تثبیت بستر کمتر از ۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

برای شناخت کافی از رفتار هیدرودینامیکی جریان و میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر، در مجموع ۲۶ آزمایش رسوب‌سنجی و هیدرودینامیکی تحت شرایط مختلف جریان در کانال اصلی و دبی‌های مختلف آبگیری و مجرای تخلیهٔ رسوب، مطابق جدول ۱، اجرا شد.

آزمایش‌ها میزان تزریق رسوب به گونه‌ای تنظیم شد که تغییر در رقوم پاشنه تلماسه در بستر کانال اصلی که شکل بستر غالب بود، در محدودهٔ ارتفاع آستانه و در حدود 10 ± 0.5 سانتی‌متر باشد. مراحل شکل‌گیری بستر رودخانه از آغاز آزمایش‌های اولیه تا بستر تعادل‌یافته دینامیکی در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای رسیدن به شرایط هیدرولیکی مورد نظر در کانال اصلی، دبی عبوری از بند انحرافی با استفاده از دریچهٔ قطاعی و دبی‌های عبوری از مجاری تخلیهٔ رسوب و دهانه آبگیر با استفاده از دریچه‌های کشویی تنظیم شد. در شرایط هیدرولیکی مختلف، رقوم جریان در مقابل دهانه آبگیر و پشت بند انحرافی برای دبی معین در کانال اصلی ثابت نگه‌داشته شد.

در مطالعات رسوب‌سنجی، رسوبات ورودی به دهانه



شکل ۲- مراحل مختلف شکل‌گیری بستر رودخانه از شروع تا رسیدن به بستر دینامیک نهایی، الف) بستر اولیه رودخانه، ب و ج) به ترتیب نیم‌رخ و نمای از بالای بستر رودخانه پس از رسیدن به تعادل نهایی در مجاورت دهانه آبگیر

نتایج و بحث

رفتار هیدرودینامیکی جریان

در این پژوهش، در کنار بررسی میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر تحت شرایط مختلف هیدرولیکی که در جدول ۱، ذکر شده است، میدان جریان در بالادست و مقابل دهانه آبگیر بررسی شده است. سرعت جریان در دو عمق ۸ و ۱۳ سانتی متری از سطح آب و در کل بازه جریان اندازه گیری شد. عمق ۸ سانتی متری مناسب ترین عمق برای مطالعه جریان سطحی، با توجه به محدودیت دستگاه اندازه گیری سرعت، بود و نظر به اینکه متوسط

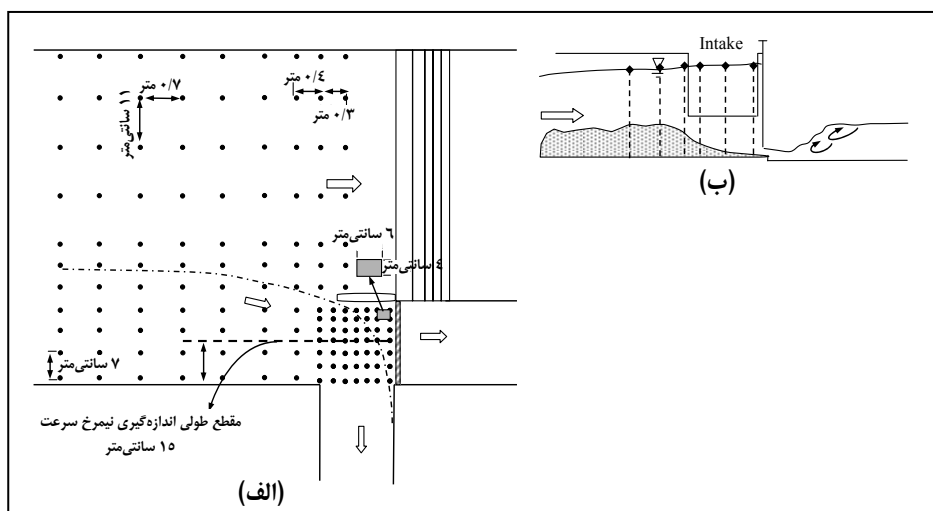
عمق جریان در حدود ۲۱ سانتی متر بود، عمق ۱۳ سانتی متری معرف رفتار جریان نزدیک به بستر است. در بررسی ها، نیمرخ سرعت در مقاطع مختلف، از بالادست تا پایین دست، دهانه آبگیر، و همچنین میدان سرعت در مجرای تخلیه رسوب در ۴ عمق مختلف اندازه گیری شد (شکل ۳). علاوه بر این، شکل ورود جریان به دهانه آبگیر، وسعت و شکل عمومی گردابه های تشکیل شده در مقابل دریچه مجرای تخلیه رسوب با استفاده از تزریق مواد رنگی و تصویربرداری در طول آزمایش ها استخراج شد.

جدول ۱- دامنه تغییر پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایش ها

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر
Q_r	لیتر بر ثانیه	۷۰/۲	۹۸/۲
y_r/h_s		۰/۳۲	۴
D_r		۰/۷	۰/۳
S_r		۰	۰/۲۱
Fr_r		۰/۲۴	۰/۱۹۳
Fr_{in}		۰/۱۵	۰/۴۴
C_s		۸/۵	۳/۱

مشاهدات نیمرخ جبهه رسوب بستر کانال اصلی در سرآب دهانه آبگیر و نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل توزیع سرعت در مقابل آن، نشان داد که مقدار دبی خروجی از دریچه تخلیه رسوب نقش مؤثری در موقعیت انباشت رسوب و نیمرخ سرعت دارد. بررسی ها نشان داد که در شرایط بسته بودن دریچه تخلیه رسوب، شکل عمومی بستر

رسوبی در کانال اصلی و در مجاورت دهانه آبگیر مشابه شکل ۲- ب است و نیمرخ های سرعت از بالادست به طرف دریچه تخلیه رسوب از نیمرخ مثبت به نیمرخ برگشتی تغییر شکل می دهند به طوری که با افزایش شدت دبی آبگیری محل وقوع نقطه عطف نیمرخ به بستر نزدیک تر می شود و سرعت منفی افزایش می یابد (شکل ۴).



شکل ۳- نمای توصیفی از شبکه نقاط اندازه‌گیری سرعت جریان،
 (الف) شمای توصیفی از نقاط اندازه‌گیری سرعت جریان در کانال آزمایشگاهی،
 (ب) شمای توصیفی از نقاط اندازه‌گیری نیمرخ سرعت جریان از بالادست دهانه آبگیر تا مقابل دریچه مجرای تخلیه رسوبات

دوره تناوب و قدرت این گردابه‌ها، توانایی آنها در برداشت رسوب از بستر رودخانه و وارد کردن آن به دهانه آبگیر، و نیز سرعت چرخشی آنها، تابعی از شدت آبگیری است. با توجه به متغیر بودن قدرت گردابه‌ها و برای جداسازی مقدار رسوب از بستر و طبیعت ماندگار بودن آنها، برقرار کردن رابطه‌ای که بتواند با دقت قابل قبولی قدرت گردابه‌ها و نیز تعداد رخدادها را برآورد کند، ممکن نشد.

شکل نیمرخ‌های سرعت در شرایط دریچه باز و دریچه بسته تفاوت معنی‌داری با هم داشته‌اند. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که در شرایط بهره‌برداری از دریچه مجرای تخلیه رسوب، بخش برگشتی نیمرخ‌های سرعت حذف می‌شود که این موضوع در چگونگی ورود رسوب به دهانه آبگیر نیز کاملاً مشهود است. با باز شدن دریچه (بسته به مقدار دبی خروجی) و برقراری جریان رو به پایین‌دست در ارتفاع پایین‌تر از رقوم آستانه در مجرای تخلیه رسوب، پیشانی جبهه رسوب تقریباً نیمه بالادستی عرض دهانه آبگیر را در بر می‌گرفت. در این شرایط به دلیل نزدیک‌تر شدن محدوده تشکیل گردابه‌ها به دهانه آبگیر، سرعت

نیمرخ‌های سرعت در شکل ۴ نشان می‌دهند که نقطه عطف نیمرخ‌ها تقریباً از رقومی برابر با ارتفاع آستانه شروع می‌شود و در رقومی پایین‌تر از آن به سرعت‌های منفی می‌رسد. شکل‌گیری این رفتار جریان و اثر آن بر چگونگی ورود رسوب جریان به دهانه آبگیر برای کلیه آزمایش‌های رسوبی در شرایط ذکر شده کاملاً مشهود بوده است. در این شرایط رسوب از طریق گردابه‌های تورنادویی شکل^۱ وارد دهانه آبگیر می‌شود (شکل ۵). در شکل‌گیری این گردابه‌ها دو عامل نقش اساسی داشته‌اند: ۱- شکل‌گیری ناحیه‌ای با جریان برگشتی در وجه پایین‌دست بستر تلماسه شکل رودخانه در مجاورت دهانه آبگیر و ترکیب آن با جریان برگشتی حاصل از برخورد جریان به دریچه مجرای تخلیه رسوب که باعث ایجاد جریان برگشتی پیوسته‌ای در مجرای تخلیه رسوب می‌شد و ۲- جریان ورودی به دهانه آبگیر. این گردابه‌ها عموماً در بازه انتهایی جبهه رسوب بستر رودخانه شکل می‌گیرند و در مقابل دهانه آبگیر به رشد کامل خود می‌رسند. مشاهدات و تصویربرداری‌های حین اجرای آزمایش‌ها نشان داد که

1- Tornado Like Vortices

وقوع گردابه‌ها (زمان شروع شکل‌گیری تا ناپدید شدن آن)، در مقایسه با حالت بسته بودن دریچه، افزایش قابل توجهی داشته است درحالی‌که ارتفاع آنها تنها تا ارتفاع آستانه محدود بود. در شکل ۶ نیمرخ‌های توزیع سرعت از بالادست تا پایین‌دست دهانه آبگیر برای نسبت‌های مختلف آبگیری و در شرایطی نشان داده شده است که دبی نسبی عبوری از دریچه مجرای تخلیه رسوبات $(S_r) 0.3$.

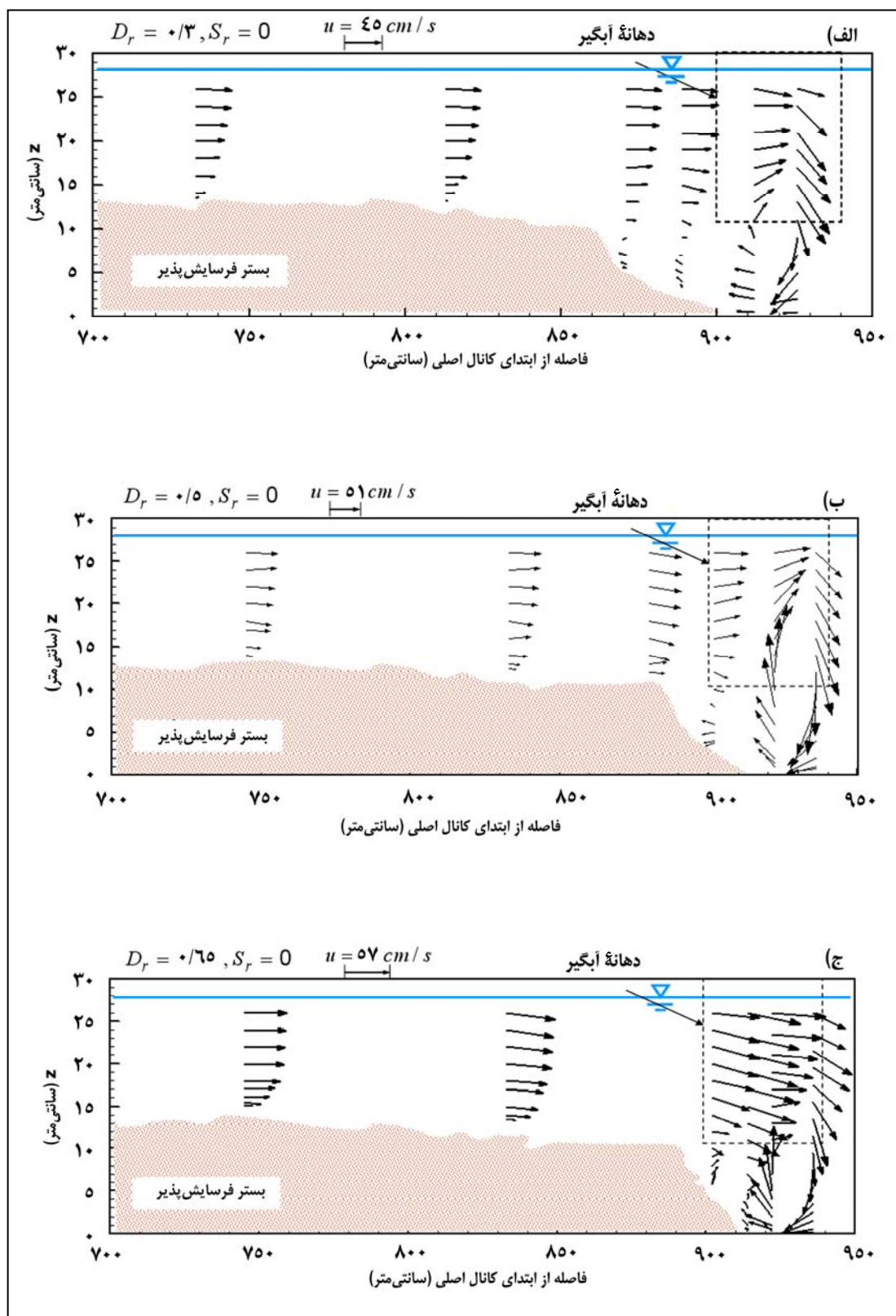
تجزیه و تحلیل خطوط هم‌سرعت حاصل از اندازه‌گیری میدان جریان در دو عمق ۸ و ۱۳ سانتی‌متری و بررسی چگونگی تغییرات آن نشان داد که آبگیری باعث ایجاد ناحیه‌ای پرسرعت در بالادست دهانه آبگیر می‌شود، که عرض آن تقریباً با عرض مجرای تخلیه رسوب برابری است. این محدوده پر سرعت تقریباً از فاصله ۳ برابر عرض کانال اصلی از دهانه آبگیر شروع می‌شود و در مجاورت دهانه آبگیر به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در شکل ۷، منحنی‌های هم سرعت طولی جریان در عمق ۸ سانتی‌متری زیر سطح آب برای آبگیری‌ها مختلف و در شرایطی که دریچه مجرای تخلیه رسوب کاملاً بسته است، نشان داده شده است.

مشاهده‌های آزمایشگاهی نشان داد برای دبی‌های مختلف آبگیری و خروجی از مجرای تخلیه رسوبات، همواره ناحیه‌ای با جریان چرخشی در مقابل دریچه مجرای تخلیه رسوب تشکیل می‌شود. تحلیل مشخصات

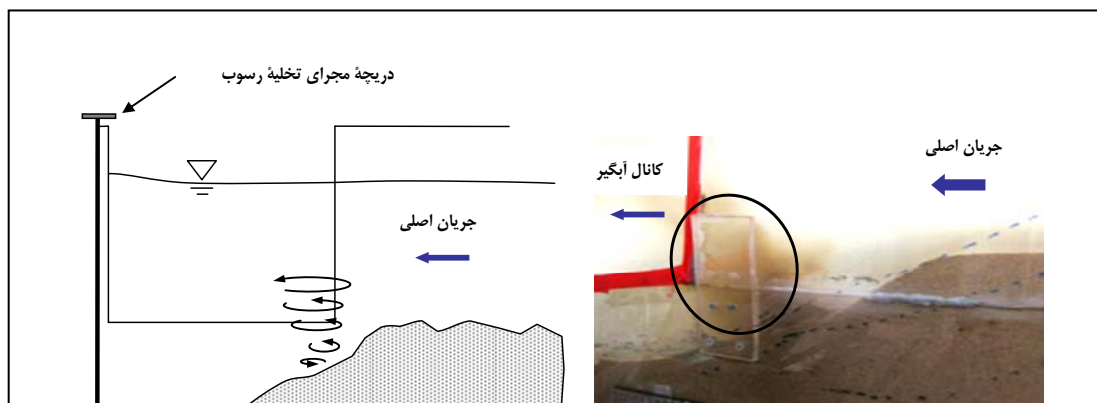
ابعادی این ناحیه در تصاویر حاصل از آشکارسازی آن با تزریق مواد رنگی نشان داد که میزان دبی خروجی از دریچه مجرای تخلیه رسوب اثر قابل توجهی در ابعاد و سرعت چرخشی ایجادشده می‌گذارد به‌طوری‌که با افزایش مقدار دبی خروجی از دریچه مجرای تخلیه رسوب، در دبی آبگیری ثابت، ابعاد این ناحیه کاهش ولی سرعت چرخشی آن افزایش می‌یابد. در شکل ۸، چگونگی انحراف جریان به دهانه آبگیر و نیز تشکیل ناحیه‌ای با جریان چرخشی نشان داده شده است.

موضوع دیگری که در بررسی مشخصات جریان انحراف یافته به دهانه آبگیر حائز اهمیت است، نحوه تغییرات توزیع عرضی سرعت جریان در دهانه آبگیر است. به منظور بررسی این مشخصه از جریان، سرعت جریان در شبکه‌ای از نقاط و در چهار عمق مختلف، در مجرای تخلیه رسوبات اندازه‌گیری و سپس خطوط هم‌سرعت طولی و عرضی جریان ترسیم شد. تجزیه و تحلیل منحنی‌های هم‌سرعت عرضی جریان (سرعت جریان در راستای کانال آبگیر) نشان داد که بالاترین مقدار سرعت‌های ورودی به دهانه آبگیر در ناحیه یک سوم انتهایی عرض دهانه آبگیر (دو سوم از بالادست دهانه آبگیر) واقع شده است. در شکل ۹، منحنی‌های خطوط هم‌سرعت عرضی جریان در مجرای تخلیه رسوبات برای عمق‌های ۷ و ۱۲ سانتی‌متری از سطح آب نشان داده شده است.

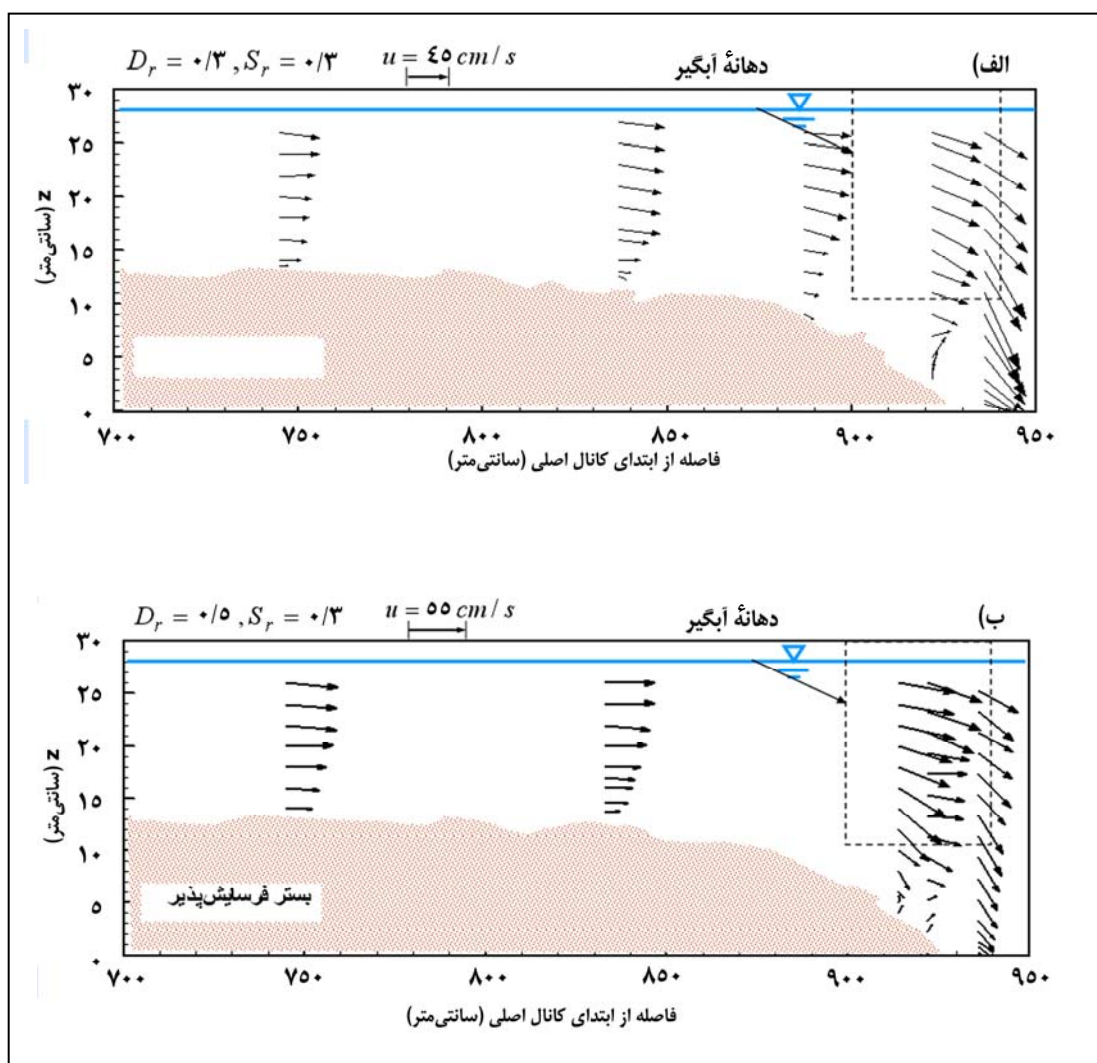
مطالعه آزمایشگاهی ساختار الگوی جریان انحرافی به دهانه...



شکل ۴- اثر شدت دبی آبگیری بر نیمرخ سرعت جریان برای دبی رودخانه ۷۰/۲ لیتر بر ثانیه در شرایط بسته بودن دریچه مجرای تخلیه رسوبات (بردارهای سرعت با مقیاس است)

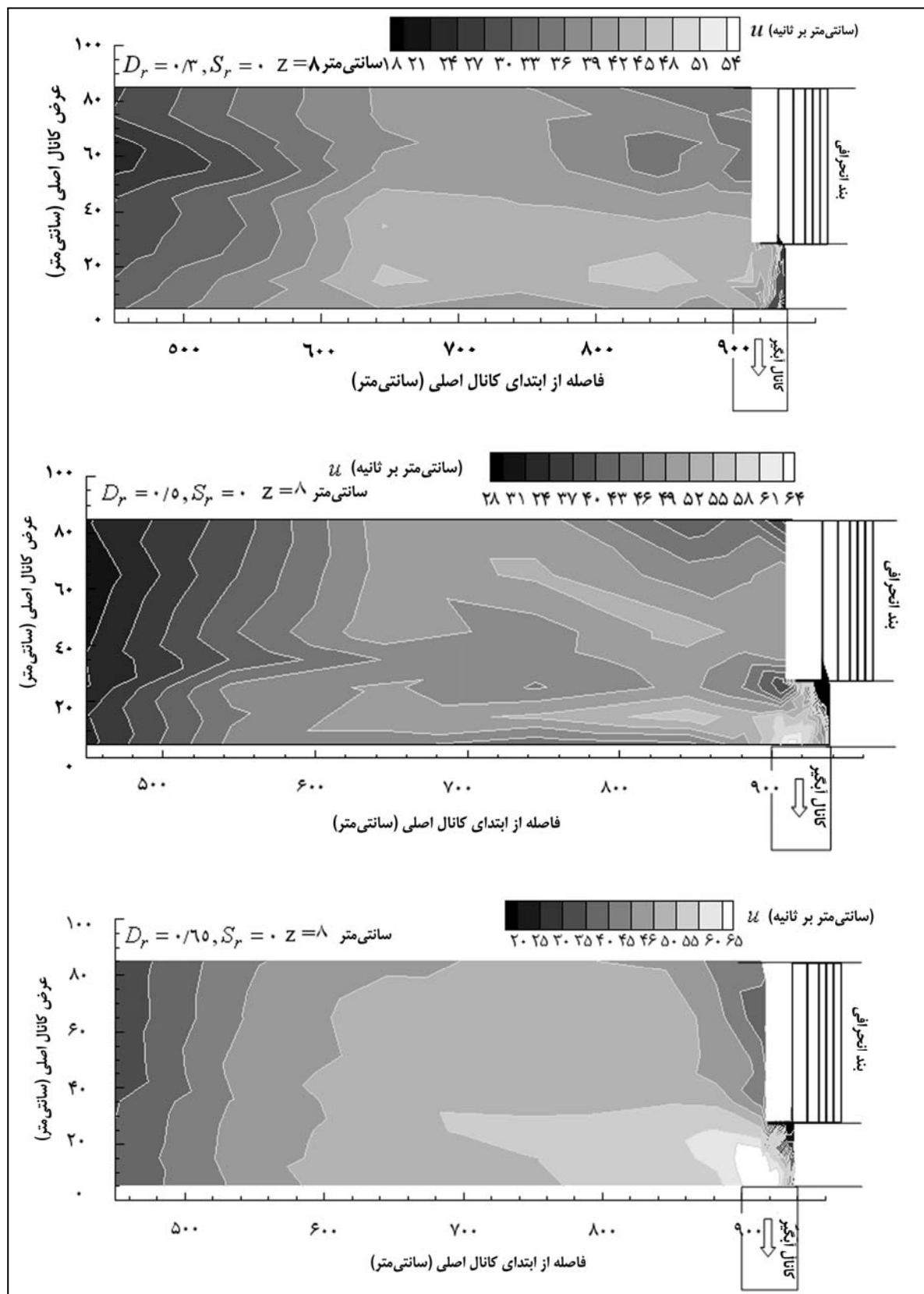


شکل ۵- شکل‌گیری گردابه‌های تورنادویی شکل در مجاورت دهانه آبگیر

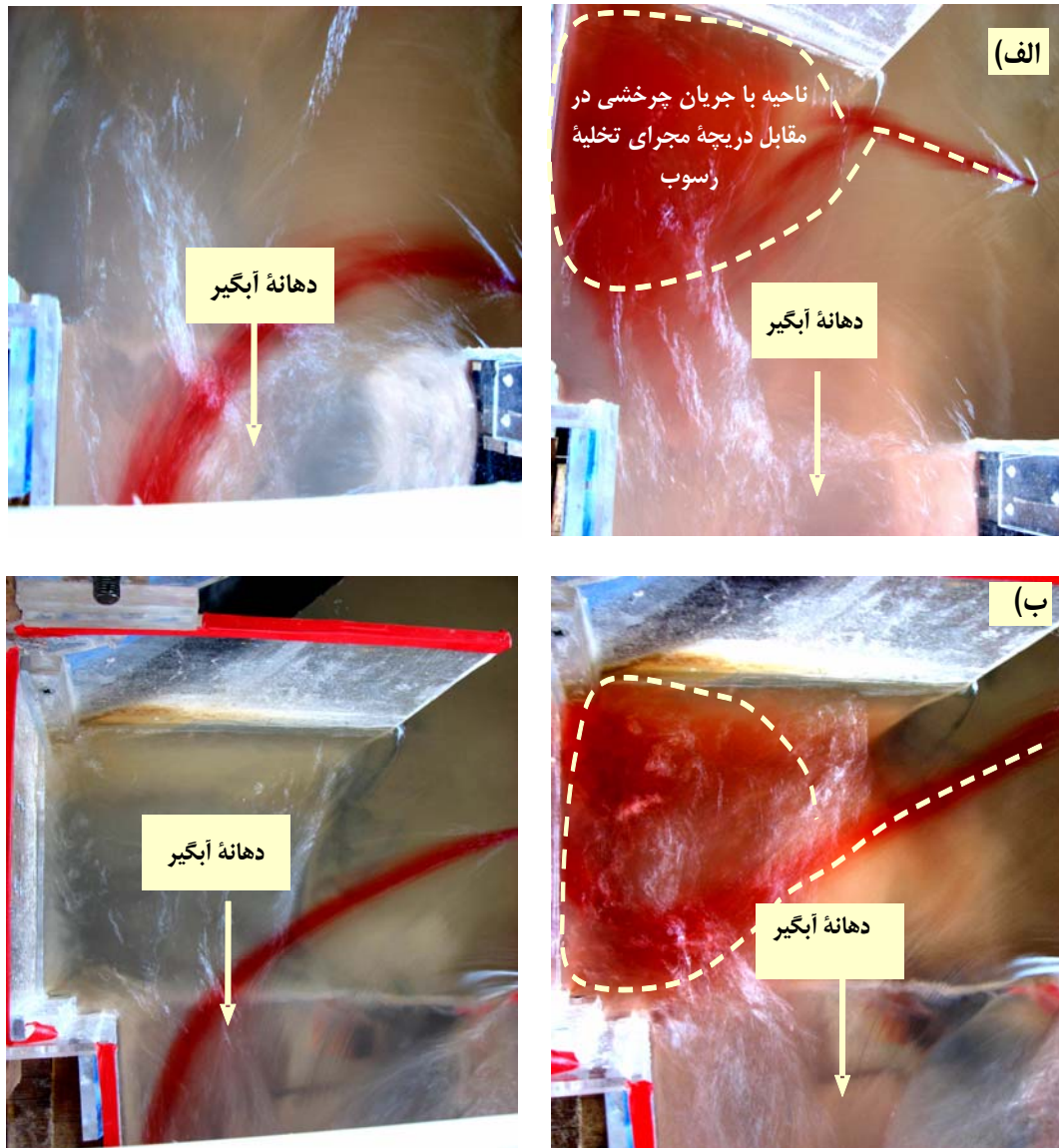


شکل ۶- اثر شدت دبی آبگیری بر نیمرخ سرعت جریان برای دبی مجرای اصلی ۷۰/۲ لیتر بر ثانیه و در شرایط بهره‌برداری از دریچه مجرای تخلیه رسوب، الف) دبی نسبی آبگیری (۰/۳ D_r)، ب) دبی نسبی آبگیری (۰/۵ D_r)

مطالعه آزمایشگاهی ساختار الگوی جریان انحرافی به دهانه...

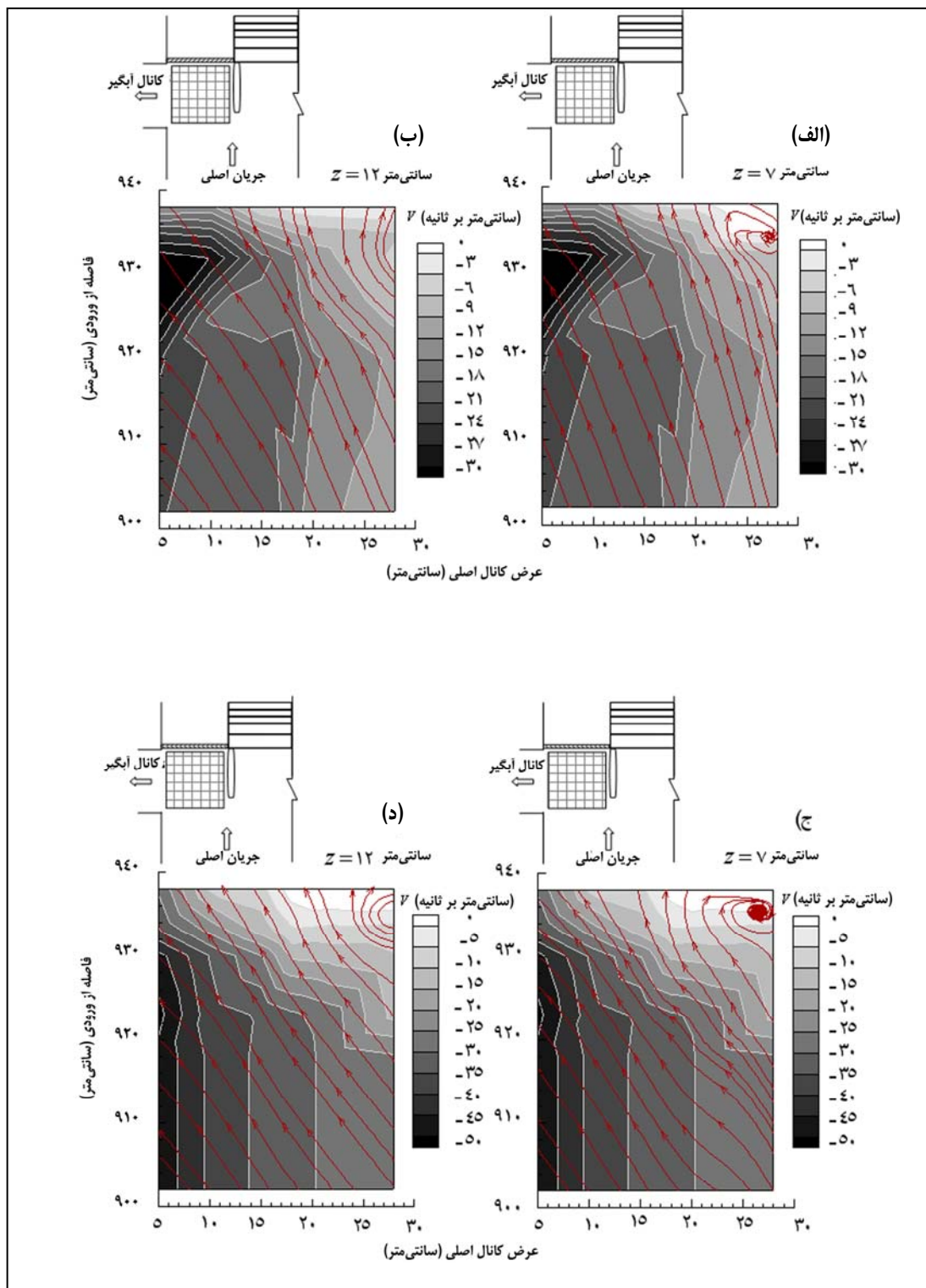


شکل ۷- اثر انحراف آبگیری بر الگوی جریان در بالادست دهانه آبگیر در عمق ۸ سانتی متری از سطح آب و در شرایط بسته بودن دریچه مجرای تخلیه رسوب و برای دبی رودخانه ۷۰/۲ لیتر بر ثانیه



شکل ۸- چگونگی انحراف جریان به دهانه آبگیر و تشکیل ناحیه با جریان چرخشی در مقابل دریچه مجرای تخلیه رسوب برای دبی رودخانه ۷۰/۲ لیتر بر ثانیه و در شرایط بسته بودن دریچه مجرای تخلیه رسوب، الف) دبی نسبی آبگیری (D_r) ۰/۴ و ب) دبی نسبی آبگیری (D_r) ۰/۶۵

مطالعه آزمایشگاهی ساختار الگوی جریان انحرافی به دهانه...



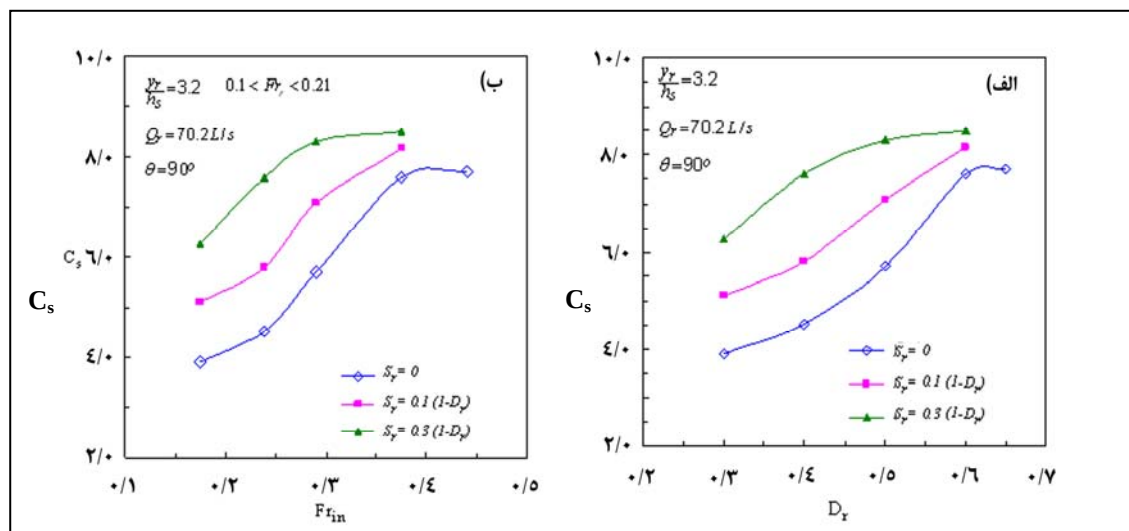
شکل ۹- منحنی‌های خطوط هم‌سرعت عرضی جریان در مقابل دهانه آبگیر در مجرای تخلیه رسوب برای دبی کانال اصلی $70/2$ لیتر بر ثانیه، (الف و ب) $D_r = 0.5$ و $S_r = 0.3$ و عمق‌های 7 و 12 سانتی‌متر از سطح آب، (ج و د) $D_r = 0.65$ و $S_r = 0$ و عمق‌های 7 و 12 سانتی‌متر از سطح آب

اثر آبگیری بر میزان ورود رسوب به دهانه آبگیر

برای آنکه اثر آبگیری بر میزان ورود رسوب به جریان انحراف یافته به دهانه آبگیر بررسی شود، میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر، در شرایط مختلف آبگیری و عملکرد دریاچه مجرای تخلیه رسوب، اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل مقادیر رسوب ورودی به دهانه آبگیر نشان داد که با افزایش دبی آبگیری، میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر افزایش می یابد. افزایش دبی آبگیری باعث رشد محدوده پرسرعت جریان در مجاورت دهانه آبگیر به سمت بالادست آن و در نتیجه بالا رفتن حجم انتقال رسوبات به سمت دهانه آبگیر می شود. از تحلیل داده های مربوط به رسوب ورودی به دهانه آبگیر می توان نتیجه گرفت که به استثنای دبی نسبی آبگیری ۰/۶۵ که میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر در مقایسه با دبی نسبی آبگیری ۰/۶ نزدیک به ۱۰ درصد افزایش یافته است، به طور متوسط مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر به ازای ۱۰ درصد افزایش دبی نسبی آبگیری (۷/۲۰۳ لیتر بر ثانیه افزایش دبی آبگیری) ۵۸/۲۱ درصد افزایش می یابد.

مشاهدات آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل ها نشان داد که با بهره برداری از دریاچه مجرای تخلیه رسوب، مقدار رسوب

ورودی به دهانه آبگیر افزایش می یابد. که دلیل آن را می توان به دو عامل نسب داد، یکی افزایش توان حمل جریان در بالادست دهانه آبگیر در اثر افزایش دبی انحراف جریان به مجرای تخلیه رسوب و دیگری وجود جریان های سه بعدی قوی در مجاورت دهانه آبگیر و ضعیف تر بودن قدرت جریان خروجی از دریاچه مجرای تخلیه رسوب. در همه آزمایش ها، دبی آبگیری بیشتر از دبی دریاچه مجرای تخلیه رسوب بوده است و از این رو افزایش دبی دریاچه نه تنها باعث کاهش ورود رسوب نمی شود بلکه به جهت افزایش قدرت انتقال رسوب در بالادست دهانه آبگیر، مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر برای دبی ثابت آبگیری افزایش می یابد. تحلیل مقادیر رسوب ورودی به دهانه آبگیر برای دبی های مختلف دریاچه مجرای تخلیه رسوب نشان داد که به طور متوسط با افزایش ۶ درصد دبی نسبی دریاچه مجرای تخلیه رسوب (معادل ۴/۲ لیتر بر ثانیه) میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر تقریباً ۲۴ درصد افزایش می یابد. همچنین با افزایش دبی نسبی دریاچه مجرای تخلیه رسوب به ۰/۱۸ (۱۲/۶ لیتر بر ثانیه) میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر به طور متوسط ۶۵/۴ درصد افزایش می یابد. نتایج اندازه گیری ها در شکل ۱۰ ارائه شده است.



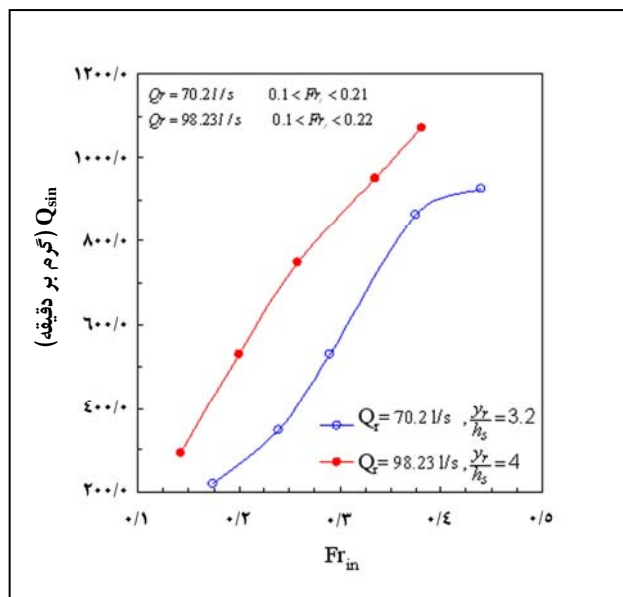
شکل ۱۰- منحنی مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر برای دبی مجرای اصلی ۷۰/۲ لیتر بر ثانیه

و تحلیل فیلم‌های تهیه‌شده از نحوه ورود رسوب به دهانه آگیر حاکی از آن است که فاصله زمانی بین رخداد گردابه‌ها کاهش محسوسی یافته است. تحلیل‌ها نشان داد که با افزایش دبی و عمق جریان در رودخانه، میزان رسوب ورودی به دهانه آگیر به طور متوسط ۳۰/۱ درصد افزایش می‌یابد.

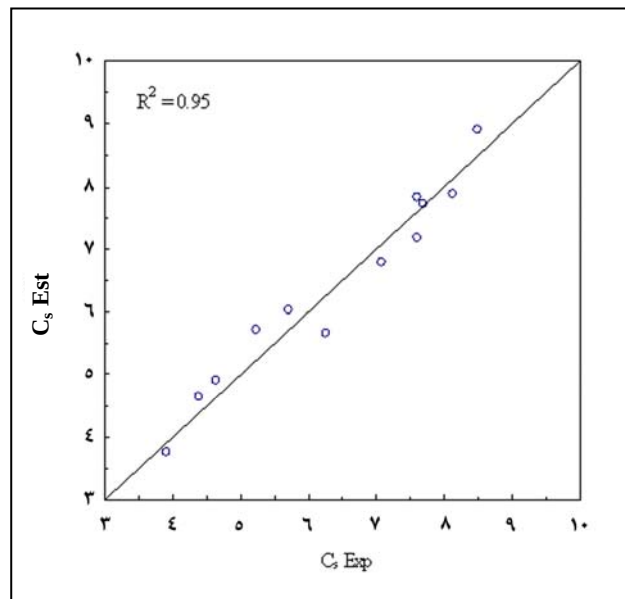
مدل‌هایی که قادر باشند مقدار رسوب ورودی به دهانه آگیر را در بندهای انحرافی برآورد کنند، ممکن است در مراحل اولیه طراحی این سازه مفید باشند، رابطه ۴، از تحلیل رگرسیونی چند متغیره استخراج شده است. مقایسه نتایج مقادیر برآوردی مدل با داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۱۲ ارائه شده است. مدل قادر است با دقت مقدار رسوب ورودی به دهانه آگیر را برآورد کند.

$$Cs = 0.371 + 0.0514 Fr_{in} + 5.27 S_r + 11.3 D_r \quad (4)$$

به منظور بررسی چگونگی روند رسوب ورودی به دهانه آگیر برای شرایط متفاوت از نظر دبی و عمق جریان در رودخانه، آزمایش‌هایی برای دبی رودخانه ۹۸/۲۳ لیتر بر ثانیه و عمق ۴۰ سانتی‌متر جریان در مقابل دهانه آگیر و در شرایط بسته بودن دریچه مجرای تخلیه رسوب اجرا شد. در شکل ۱۱، منحنی‌های رسوب ورودی به دهانه آگیر برای شرایط دبی‌های رودخانه مختلف به صورت منحنی‌های $Fr_{in} - Q_{sin}$ نشان داده شده است. در این شکل، پارامتر C_s به کار گرفته نشد زیرا تفسیر و مقایسه مناسب بین نتایج ناممکن بود. مشاهده می‌شود که رسوب ورودی به دهانه آگیر افزایش قابل توجهی داشته است. مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که با افزایش عمق جریان در مقابل دهانه آگیر قدرت گردابه‌ها افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، با افزایش عمق جریان، میزان رسوبات وارد شده به دهانه آگیر توسط گردابه‌ها در هر رخداد افزایش قابل توجهی داشته است. همچنین مشاهدات آزمایشگاهی



شکل ۱۱- اثر تغییر شرایط هیدرولیکی در مجرای اصلی بر مقدار رسوب ورودی به دهانه آگیر



شکل ۱۲- ارزیابی نتایج مدل رگرسیونی برآورد مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر

نتیجه‌گیری

بالادستی عرض دهانه آبگیر را در بر می‌گیرد. همچنین بازشدن دریچه مجرای رسوب باعث از بین رفتن ناحیه برگشتی در نیمرخ‌های سرعت می‌شود.

در شرایطی که دریچه مجرای رسوب باز باشد، محدوده شکل‌گیری گردابه‌ها به ناحیه پر سرعت جریان ورودی به دهانه آبگیر نزدیک می‌شود و نتیجتاً زمان رخداد آن، در مقایسه با حالت بسته بودن دریچه، افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند.

بررسی منحنی‌های خطوط هم‌سرعت عرضی در مقابل دهانه آبگیر نشان می‌دهد که تمرکز سرعت‌های ورودی به دهانه آبگیر در بخش یک سوم انتهایی عرض دهانه آبگیر (از بالادست) واقع شده است،

نتایج تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که به طور متوسط مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر به ازای ۱۰ درصد (۷/۲۰۳ لیتر بر ثانیه)، افزایش دبی نسبی آبگیری ۵۸/۲۱ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دبی نسبی دریچه مجرای تخلیه رسوب به ۰/۱۸ (۱۲/۶ لیتر بر ثانیه) میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر به طور متوسط ۶۵/۴ درصد نسب به

جهت درک بهتر رفتار الگوی جریان منحرف شده به دهانه آبگیر و مکانیزم و مقدار ورود رسوب به دهانه آبگیر در بندهای انحرافی با زاویه آبگیری ۹۰ درجه، مشخصه‌های رفتار جریان و مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر تحت شرایط مختلف هیدرولیکی اندازه‌گیری شد. نتایج مشاهدات و تحلیل رفتار هیدرودینامیک جریان در اثر انحراف به کانال آبگیر و مکانیزم و مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر تحت شرایط مختلف هیدرولیکی در کانال اصلی و تأثیر عملکرد دریچه تخلیه رسوب را می‌توان به صورت زیر جمع‌بندی کرد:

- رسوبات بر اثر گردابه‌های تورنادویی به دهانه آبگیر وارد می‌شوند. این گردابه‌ها عموماً در بازه انتهایی جبهه رسوب بستر رودخانه شکل می‌گیرند و در مقابل دهانه آبگیر به حداکثر رشد خود می‌رسند. مشاهدات و تصویربرداری‌های حین اجرای آزمایش‌ها نشان داد که دوره تناوب و قدرت این گردابه‌ها متناسب با شدت آبگیری افزایش می‌یابد.
- بازشدن دریچه تخلیه رسوب، باعث پیشروی پیشانی جبهه رسوب در کانال اصلی می‌شود و تقریباً نیمه

با زاویه‌های بزرگ‌تر، عرض ناحیه انحراف جریان در مجرای اصلی حداکثر است انتظار می‌رود که رسوبات بیشتری به سمت دهانه آبگیر انتقال داده شود. بنابراین، با توجه به مکانیزم ورود رسوب به دهانه آبگیر می‌توان انتظار داشت که بیشترین رسوب ورودی به دهانه آبگیر در زاویه آبگیر یاد شده رخ دهد.

شرایط یکسان دبی آگیری و بسته بودن دریچه مجرای تخلیه رسوب افزایش می‌یابد.

- تحلیل‌ها نشان می‌دهد که با افزایش دبی از $70/2$ به $98/23$ لیتر بر ثانیه و عمق نسبی جریان در رودخانه از $3/2$ به 4 ، میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر به طور متوسط $30/1$ درصد افزایش می‌یابد و از آنجاکه در آگیری با زاویه 90 درجه، در مقایسه

قدردانی

بدین وسیله از شرکت پمپ ایران به جهت تأمین بخشی از دستگاه‌های پمپ مورد نیاز برای سامانه تأمین آب فلوام آزمایشگاهی و نیز قطب علمی ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی قدردانی می‌شود.

مراجع

- Anon. 1973. Hydraulic design of under sluice pocket at lower sadra barrage including divide and excluder- Model study. T. M. 43 RR(H₁-1).
- Abbasi, A. 2004. Experimental study of sediment control at free lateral intake in straight channel. PhD Thesis. University of Tarbiat Modares. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Chen, H. and Cao, J. 2004. Some 3-D Hydraulic Features of 90 Lateral Water-Intake and Its Sediment Control. Proceeding of the 9th Symposium on River Sedimentation.
- Garde, R. J. and Rangaraju, K. G. 2000. Mechanics of Sediment Transport and Alluvial Stream Problem. 3th Ed. New Age International Pub.
- Hsu, C. C., Tang, C. J., Lee, W. J. and Shieh, M. Y. 2002. Subcritical 90° Equal-Width Open-Channel Dividing Flow. J. Hydrol. Eng. 128 (7): 716-720.
- Neary, V. S. and Odgaard, A. J. 1993. Three-dimensional flow structure at open channel diversions. J. Hydrol. Eng. ASCE. 119(11):1224-1230.
- Neary, V. S., Sotiropoulos, F. and Odgaard, J. 1999. Three-dimensional numerical model of lateral intake inflows. J. Hydrol. Eng. ASCE. 125(2): 126-140.
- Novak, P., Moffat, A. I. B., Nalluri, C. and Narayanan, R. 2004. Hydraulic Structures. 3rd Ed. Taylor & Francis Pub.
- Ramamurthy, A. S. and Satish, M. G., 1988. Division of flow in short open channel branches. J. Hydrol. Eng., 114(4), 428-438.
- Ramamurthy, A. S., Tran, D. M., and Carballada, L. B. 1990. Dividing flow in open channels. J. Hydrol. Eng. 116 (3): 449-455.
- Ramamurthy, A. S., Qu, J. and Vo, D. 2007. Numerical and experimental study of dividing. J. Hydrol. Eng. ASCE. 133(10): 1135-1144.
- Raudkivi, A. J. 1993. Sedimentation: exclusion and removal of sediment from divested water. BALKEMA, A. A. Rotterdam. Netherlands.
- Razvan, R. 1989. River Intake and Diversion Dams. Elsevier Science Pub. Inc. New York, 10010. USA.
- Ruether, N., Singh, J. M. Olsen, N. R. B. and Atkinson, E. 2005. 3-D Computation of sediment transport at water intakes. Proceeding of ICE. Water Manage. 158, 1-8.
- Seyedian, M. and Shafaei Bajestan, M. 2008. Investigation of effect of diversion angle of lateral intake on flow structure of diverging flow. The 3th Iranian Conference of Water Management. School of Civil Engineering. University of Tabriz. (in Farsi)

Flow Patterns at Right-Angled Lateral Intakes

M. Esmaeili-Varaki, J. Farhoudi* and M. H. Omid

* Corresponding Author: Professor. University of Tehran, P. O. Box: 4111, Tehran, Iran. E-mail: jfarhoudi@ut.ac.ir

The hydrodynamic behavior of approaching flow and the amount of sediment entry into right-angled lateral intakes in diversion dams were investigated using a laboratory channel by experimental measurement and observation. The velocity field upstream of the intake in the main channel and before it at the sluice gate was measured at different elevations of flow at different discharge rates of the river, intake and sluice gate. Velocity profiles were also measured from upstream to downstream for the intake and the amount of sediment entry into it. Analysis of the velocity data showed that discharge at the sluice gate strongly affected velocity profiles and the mechanism of sediment entry. All velocity profiles where the sluice was closed had an inflection point, where the flow direction changed, leading to a return velocity near the bed. The elevation of this point was a function of the intake discharge and approximately equal to the height of the entrance sill. Observation showed that sediment entered the intake in whirlpool vortices. The strength and frequency of the vortices depended on the intake and sluice gate discharges. Analysis of sedimentary data showed that the amount of sediment entering the intake increases with an increase in intake discharge. In addition, for any given intake discharge rate, an increase in the sluice gate discharge caused an increase in sediment entry into the intake.

Key Words: Diversion Dam, Flow Pattern, Lateral Intake, Sediment Entry