

بررسی عددی سه بعدی رسوب گذاری و کنترل آن در آب گیرهای جانبی رودخانه‌ای

با استفاده از نرم افزار SSIIIM2 *

(یادداشت پژوهشی)

حمید شاملو^(۱) عادل اثنی عشری^(۲)

چکیده آبگیرها عموماً در شبکه‌های توزیع آب، کانال‌های آبیاری، شبکه‌های فاضلاب، تأسیسات مربوط به تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. عدم کنترل رسوب ورودی به آبگیرها باعث انتقال رسوبات به داخل کانال‌های آبیاری و تأسیسات می‌شود و مشکلاتی را برای قسمت‌های مختلف به وجود می‌آورد. به علت وجود ذرات معلق در آب، خسارت زیادی نیز به تأسیسات به کاررفته مثل پمپ و توربین وارد می‌گردد. در این مطالعه ابتدا شبیه‌سازی عددی جریان رسوبی در آبگیری از مسیر مستقیم یک کانال مستطیلی به کمک نرم‌افزار SSIIIM2 صورت گرفته است. از میان پارامترهای اصلی مؤثر بر جریان، شکل مقطع عرضی کانال، شیب کانال‌های اصلی و آبگیر و شکل دهانه‌ی ورودی ثابت در نظر گرفته شد و اثر زوایای آبگیری ۲۵ الی ۹۰ درجه، نسبت دبی آبگیری ۰/۲ الی ۰/۵۷ و عدد فرود جریان ورودی ۰/۳۲ الی ۰/۴۸ بر نسبت رسوب ورودی به آبگیر بررسی شد و با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت که مطابقت خوبی بین مقادیر حاصل و نتایج آزمایشگاهی دیده شد. سپس برای بررسی عددی روش‌های کنترل رسوب، تأثیر صفحات مستغرق، طول آبشکن و فاصله‌ی آن از مقابل دهانه‌ی آبگیر به ازای نسبت‌های مختلف دبی آبگیری بررسی شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که کارایی صفحات با احداث آبشکن در ضلع مقابل آبگیر افزایش پیدا می‌کند و مقدار ورود رسوبات به آبگیر کاهش می‌یابد. همچنین با جابه‌جایی آبشکن به اندازه‌ی دو برابر عرض دهانه‌ی آبگیر به بالادست کانال اصلی، مقدار ورود رسوبات به آبگیر به‌طور متوسط ۳۶٪ کاهش می‌یابد. سپس نتایج عددی حاصل با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفتند که مطابقت خوبی بین مقادیر حاصل و نتایج آزمایشگاهی دیده شد.

واژه‌های کلیدی آبگیر جانبی، رسوب گذاری، روش‌های کنترل رسوب، مدل عددی SSIIIM2، مدل آشفتگی k- ω

3-D Numerical Investigation of Sedimentation and its Control at River Lateral Intakes by SSIIIM2 Software

H. Shamloo

A. Asnaashari

Abstract The intakes usually have been used in water distribution networks, irrigation channels, sewage networks, and the water/wastewater treatment facilities, etc. Lack of sediment control entered to the intake channel is the main reason of entering sediments to the installation systems, which makes many problems for different parts. Due to suspended particles in water, the facilities used such as pumps and turbines are damaged. In this study, first, numerical simulation of sediment flow in an intake from a rectangular channel using SSIIIM2 is investigated. Among the main parameters affecting the flow the channel cross-section, main channel and intake slope, and the entrance form are supposed to be constant. Then, the effects of the deviation angles 45-90 degree, ratio of diverted discharge 0.2-0.57, and Froude Number 0.32-0.48 on ratio of sediment entering to the intake have been investigated and obtained numerical results were compared with experimental results that good agreement has been observed. Then for numerical investigation of sediment control methods the effects of the submerged vanes, spur dike length, and spur dike distance from the front intake entrance for different ratios of diverted discharge were investigated. The results showed that the effective performance of the vanes increased and consequently eliminated the bed sediment ingestion into diversion with a single spur dike at opposite side of the intake. Also an average reduction of 36% in sediment ingestion into diversion was observed when a spur dike located at a distance of twice intake width from the centre line. Then obtained numerical results have been compared with experimental results that good agreement has been observed.

Keywords Lateral intake, Sedimentation, Sediment control methods, SSIIIM2, k- ω turbulence model.

★ تاریخ دریافت مقاله ۹۰/۱۰/۱۹ و تاریخ پذیرش آن ۹۲/۲/۱۵ می‌باشد.

(۱) نویسنده‌ی مسؤول، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

مقدمه

در بسیاری از تأسیسات هیدرولیکی تعیین ساختار جریان از کانال اصلی به کانال‌های جانبی از اهمیت بالایی برخوردار است. اکثر ایستگاه‌های پمپاژ رودخانه‌ای مشکل رسوب‌گذاری در دهانه‌ی آب‌گیری و حوضچه‌ی مکش را دارند که این مسأله باعث می‌شود که چندین بار در سال نیاز به رسوب‌زدایی داشته باشند که هزینه‌ی بهره‌برداری از این‌گونه ایستگاه‌ها را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. برای این منظور فراهم نمودن شرایطی با ویژگی‌های مناسب جهت جلوگیری از رسوب‌گذاری در دهانه‌ی آب‌گیر بسیار حائز اهمیت است. برخورد متقابل خطوط جریان منحرف شده با گرادیان عمودی سرعت، یک جریان گردابی به‌وجود می‌آورد که انتقال رسوبات، به‌خصوص رسوبات بار بستر به‌طرف آب‌گیر را تشدید می‌نماید. هر اقدامی که باعث کاهش جریان‌های ثانویه و گردابی در دهانه‌ی آب‌گیر شود، کاهش تجمع رسوب در دهانه‌ی آب‌گیر را در بر خواهد داشت. هم‌چنین 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 به‌دنبال داشته باشد. بنابراین بایستی حتی‌الامکان میزان رسوبات ورودی به آب‌گیر را با استفاده از سازه‌های انحراف و دفع رسوب، کاهش داد. یکی از روش‌های کاهش انتقال رسوب به آب‌گیرها استفاده از صفحات مستغرق است. تحقیقات مختلفی برای یافتن ابعاد، فواصل و زاویه‌ی 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 سازه‌ی حفاظتی و هدایت جریان سابقه‌ی کاربرد

طولانی در مهندسی رودخانه دارند. مطالعات زیادی بر روی آب‌گیری مستقیم از رودخانه‌ها، مشکلات رسوب‌گذاری و روش‌های کنترل رسوب ورودی به آب‌گیرها صورت گرفته است. Nakato و همکاران [1] با ساخت مدل فیزیکی برای پنج دهانه آب‌گیر رودخانه‌ای با بستر ماسه‌ای به بررسی مشکلات ورود رسوبات بستر به دهانه‌ی آب‌گیر و روش‌های کاهش آن پرداختند. Neary و Odgaard [2] مطالعات آزمایشگاهی را بر روی هیدرولیک جریان در آب‌گیرهای ۹۰ درجه انجام دادند. Solaymani Osbooei [3] 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. راه‌کارهای افزایش کارایی صفحات مستغرق توسط Brakdoll و همکاران [4] 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، کم‌تر از حدود ۰/۲ باشد. Kuhnle و همکاران [5] 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 ناحیه‌ی نزدیک جداره به آب‌شکن با زاویه‌ی ۹۰ درجه و بزرگ‌ترین حجم آب شستگی به آب‌شکن با زاویه ۱۳۵ درجه تعلق دارد. آب‌شکن‌هایی که به سمت بالادست متمایل باشند، به‌طور معمول موجب انحنای بیش‌تری در جریان اصلی می‌شوند. Sajedi Sabegh و Habibi [6] تأثیر کاربرد با هم صفحات مستغرق و مجموعه‌ی 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. حسن پور [۷] کاربرد صفحات مستغرق مرکب و آستانه را تنها برای نسبت انحراف بسیار پایین توصیه

با توجه به نتایج عددی حاصل، روابط ریاضی نیز ارائه گردیده شده است.

نرم‌افزار عددی و معادلات حاکم

نرم‌افزار SSIIM به‌منظور شبیه‌سازی رسوب در آب‌گیرها و برای مهندسی رسوب، هیدرولیک، محیط زیست و رودخانه طراحی شده است. این نرم‌افزار بر مبنای رویکرد حجم محدود با شبکه‌ی سازمان یافته‌ی سه‌بعدی طراحی شده است و در آن معادلات ناویر استوکس و معادلات انتقال و انتشار برای حمل رسوب با استفاده از روش حجم کنترل حل می‌شوند. هم‌چنین این نرم‌افزار قابلیت مدل‌سازی رسوب‌شویی توسط روابط مختلف انتقال رسوب را دارا است. تحلیل جریان در حالت ماندگار صورت گرفته و از الگوریتم SIMPLE برای کوپل سرعت و فشار استفاده شده است. نسخه‌ی مدل عددی مورد استفاده در این تحقیق، نسخه‌ی 1.0.0.1 تحت ویندوز نرم‌افزار SSIIM2 می‌باشد.

معادلات حاکم بر حرکت سیال عبارتند از معادله‌ی پیوستگی و معادله‌ی مومنتوم که برای جریان آشفتنه تراکم‌ناپذیر در یک هندسه‌ی سه‌بعدی به‌ترتیب روابط (۱ و ۲) می‌باشند.

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + (\bar{U}_j) \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + g_{xi} + \frac{\partial}{\partial x_j} [v \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \bar{U}_i \bar{U}_j] \quad (2)$$

در روابط فوق، $\rho \bar{U}_i \bar{U}_j$ تنش رینولدز، U_i و U_j به‌ترتیب سرعت جریان در جهات x و y ، t زمان، ν لزجت مولکولی، P فشار، k انرژی جنبشی آشفتگی، ρ چگالی سیال و g_{xi} شتاب گرانشی در جهت x_i می‌باشند.

برای محاسبه‌ی بار معلق از معادله‌ی انتقال - پخش

[12] به‌شرح ذیل استفاده می‌گردد:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + \omega \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial c}{\partial x_j} (\Gamma \frac{\partial c}{\partial x_j}) \quad (3)$$

کرده است. وی هم‌چنین نشان داده است که با افزایش عدد فرود صفحات به‌تر عمل می‌کنند. Ramamurthy و همکاران [8] مطالعه‌ی آزمایشگاهی در یک انشعاب ۹۰ درجه و برای یک آب‌راهه روباز با مقطع مستطیلی انجام دادند و از ابزارهای دقیق سه‌بعدی جهت اندازه‌گیری سرعت در مقاطع مختلف استفاده نمودند. صفرزاده و صالحی نیشابوری [۹] به بررسی عددی الگوی سه‌بعدی جریان در آب‌گیر جانبی پرداختند. شاملو و پیرزاده [۱۰]، به بررسی اثرات پارامترهای هندسی و هیدرولیکی بر ابعاد ناحیه‌ی جدایی جریان در آب‌گیرهای جانبی با استفاده از نرم‌افزار Fluent پرداختند که مطابقت خوبی بین مقادیر حاصل و نتایج آزمایشگاهی دیده شد. شاملو و اثنی‌عشری [۱۱]، به بررسی عددی هیدرولیک و رسوب جریان در آب‌گیرهای جانبی رودخانه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SSIIM2 پرداختند. ماهیت رسوب جریان در آب‌گیرهای جانبی شناخته شده و در کارهای آزمایشگاهی و روش‌های عددی دیگر بدان اشاره شده است.

در بخش فوق تأکید بر صحت‌سنجی شبیه‌سازی نتایج آزمایشگاهی به‌وسیله‌ی نرم‌افزار SSIIM2 و تأکید بر توانایی این نرم‌افزار در بازسازی همان پدیده‌های فیزیکی است که نتایج آزمایشگاهی آن‌ها را پدیدار نموده است. در مطالعات قبلی در کنار مطالعه‌ی آزمایشگاهی به بررسی عددی الگوی سه‌بعدی رسوب‌گذاری در آب‌گیرهای جانبی رودخانه‌ای خصوصاً با استفاده از سازه‌های انحراف و دفع رسوب از جمله صفحات مستغرق و آب‌شکن پرداخته نشده بود. در این تحقیق، برای بررسی توانایی نرم‌افزار SSIIM2 در پیش‌بینی نتایج رسوب جریان و روش‌های کنترل آن در آب‌گیرهای جانبی رودخانه‌ای، شبیه‌سازی عددی جریان رسوبی در آب‌گیری از مسیر مستقیم یک کانال مستطیلی به‌کمک این نرم‌افزار صورت گرفته و

به تغییرات ناچیز سطح آب، شرط مرزی تقارن به سطح آب اعمال شده است. شرط مرزی دیواره برای مرزهای صلب میدان اعمال شده و دیواره‌ها از لحاظ هیدرولیکی صاف در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به نتایج مثبت حاصل از مطالعات قبلی، مدل آشفتگی $k-\omega$ در این مطالعه استفاده شده است. یکی از پارامترهای مهم در سرعت اجرای مدل، شبکه بندی مناسب منطقه ای می باشد که جریان در آن برقرار است. در این مدل سازی، پس از امتحان مقادیر مختلف و تست حساسیت نسبت به ابعاد شبکه، ابعاد سلول های شبکه ای کانال اصلی $8/5 \times 6/5 \times 6/5$ سانتی متر و ابعاد سلول های شبکه ای کانال آب گیر $8/5 \times 6/5 \times 6/5$ سانتی متر به عنوان شبکه ای بهینه انتخاب شد. از آن جا که تعداد متغیرهای مؤثر بر رسوب ورودی به آب گیر زیاد می باشد به منظور ارائه ای رابطه ای مشخص ریاضی برای تحلیل مسأله، ابتدا جهت آنالیز ابعادی رابطه ای کلی ذیل استخراج می گردد.

$$Q_{si} = F(Q_{sm}, Q_M, Q_I, Fr, \theta, b, B, S, \rho, \rho_s, N, \delta_s, \delta_n, L_D, L_I) \quad (4)$$

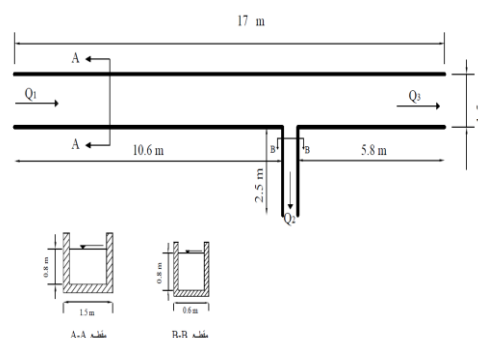
که در این رابطه، دبی رسوب ورودی به آب گیر (Q_{si})، حجم رسوبات ته نشین شده در کانال آب گیر (V_{si})، دبی رسوب کانال اصلی (Q_{sm})، دبی جریان در کانال اصلی (Q_M)، دبی جریان در کانال آب گیر (Q_I)، عدد فرود جریان ورودی (Fr)، زاویه ای آب گیری (θ)، عرض کانال آب گیر (b)، عرض کانال اصلی (B)، شیب کانال اصلی (S)، جرم حجمی سیال (ρ)، جرم حجمی رسوبات (ρ_s)، تعداد ردیف صفحات مستغرق (N)، فاصله ی طولی صفحات مستغرق (δ_s)، فاصله ی عرضی صفحات مستغرق (δ_n)، طول آب شکن (L_D) و فاصله ی آب شکن تا خط مرکزی آب گیر (L_I) می باشد.

با استفاده از آنالیز ابعادی، رابطه ای (۵) به دست می آید:

در رابطه ی (۳)، c غلظت رسوب، ω سرعت سقوط، U سرعت جریان، X بعد فاصله و Γ ضریب انتشار می باشد.

نتایج و بحث

مطالعه ی عددی جریان رسوبی مدل آزمایشگاهی
مرجع [۱۳]. در این قسمت برای صحت سنجی نرم افزار SSIIM2 در پیش بینی رسوب ورودی به آب گیر، به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف نسبت دبی آب گیری (R)، زاویه ای آب گیری (θ) و عدد فرود جریان ورودی (Fr) بر میزان رسوبات ورودی به کانال آب گیر، مدل آزمایشگاهی مرجع [۱۳] شبیه سازی گردیده است. در این مدل آزمایشگاهی، طول کانال اصلی ۱۷ متر و عرض آن ۱/۵ متر و عمق آن ۰/۸ متر بوده است. آب گیری توسط کانال جانبی به عرض ۰/۶ متر و طول ۲/۵ متر که با زاویه ای ۹۰ درجه نسبت به آن قرار گرفته، انجام شده است. در این مطالعه ای آزمایشگاهی، قطر متوسط رسوبات مصالح بستر ۱ میلی متر، ضخامت لایه ای بستر ۲۰ سانتی متر، شیب بستر ۰/۰۱۵ و غلظت ورودی به کانال 0.265 kg/m^3 در نظر گرفته شده است. شماتیک کانال مزبور در شکل (۱) نشان داده شده است



شکل ۱ مشخصات هندسی فلوم آزمایشگاهی مرجع [۱۳] از سرعت میانگین در ورودی کانال اصلی به عنوان شرط مرزی سرعت معین استفاده شده است. با توجه

مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی در زاویه آب‌گیری ۹۰ درجه ۱۲/۱۵٪ و در زاویه آب‌گیری ۷۵ درجه میانگین خطا ۱۶/۰۵٪ و در زاویه آب‌گیری ۴۵ درجه میانگین خطا ۱۹/۸۱٪ می‌باشد. شکل (۳) تأثیر اعداد فرود ۰/۳۲ الی ۰/۴۸ را در زوایای مختلف آب‌گیری ۴۵، ۷۵ درجه بر نسبت رسوب ورودی به‌ازای نسبت ثابت توزیع دبی ۰/۲ نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۳)، با افزایش عدد فرود جریان در یک نسبت آب‌گیری ثابت، مؤلفه‌ی عرضی سرعت در جلوی دهانه‌ی آب‌گیر کاهش و مؤلفه‌ی طولی سرعت افزایش می‌یابد، در نتیجه رسوبات به پایین منتقل و رسوبات کم‌تری وارد دهانه‌ی آب‌گیر می‌شوند. حداقل، حداکثر و میانگین خطای حاصل در زاویه‌ی آب‌گیری ۴۵ درجه به‌ترتیب ۲/۵۶٪، ۹/۵۰٪ و ۶/۰۱٪ و در زاویه‌ی آب‌گیری ۷۵ درجه ۴/۴۴٪، ۱۹/۲۳٪ و ۹/۲۳٪ به‌دست آمد. بر اساس رابطه‌ی (۷) و با احتساب نتایج حاصل از شکل (۳ و ۲)، رابطه‌ی (۸) برای تعیین نسبت رسوب ورودی به آب‌گیر به‌دست می‌آید:

$$Q_{sr} = R^{0.95\theta^{0.11}} \cdot Fr^{-0.42} \quad r^2 = 0.815 \quad (8)$$

تغییرات نسبت رسوب ورودی به آب‌گیر بر حسب اعداد مختلف فرود جریان در زاویه‌ی آب‌گیری ثابت ۹۰ درجه با نتایج آزمایشگاهی مرجع [۱۴] نیز در شکل (۴) مقایسه شده است. در مطالعه‌ی آزمایشگاهی آنان، طول کانال اصلی ۸ متر، عرض آن ۰/۲۵ متر و عمق جریان ۰/۱۰ متر است و آب‌گیری توسط کانال جانبی به عرض ۰/۲ متر و طول ۲/۲۵ متر که با زاویه‌ی ۹۰ درجه نسبت به آن قرار گرفته، انجام شده است. شیب کف کانال‌های اصلی و آب‌گیر صفر در نظر گرفته شده است.

$$\frac{Q_{si}}{Q_{sm}} = F\left(\frac{Q_M}{Q_I}, Fr, \theta, \frac{b}{B}, \frac{\rho_s}{\rho}, S, N, \frac{\delta_s}{\delta_n}, \frac{L_D}{B}, \frac{L_I}{b}\right) \quad (5)$$

با توجه به این‌که در مطالعه‌ی آزمایشگاهی مرجع [۱۳] از صفحات مستغرق و آب‌شکن استفاده نشده است، بنابراین در این قسمت پارامترهای بی‌بعد N ، δ_s/δ_n ، L_D/B و L_I/b از رابطه‌ی (۵) حذف گردیده و رابطه‌ی (۶) به‌دست می‌آید.

$$\frac{Q_{si}}{Q_{sm}} = F\left(\frac{Q_M}{Q_I}, Fr, \theta, \frac{b}{B}, \frac{\rho_s}{\rho}, S\right) \quad (6)$$

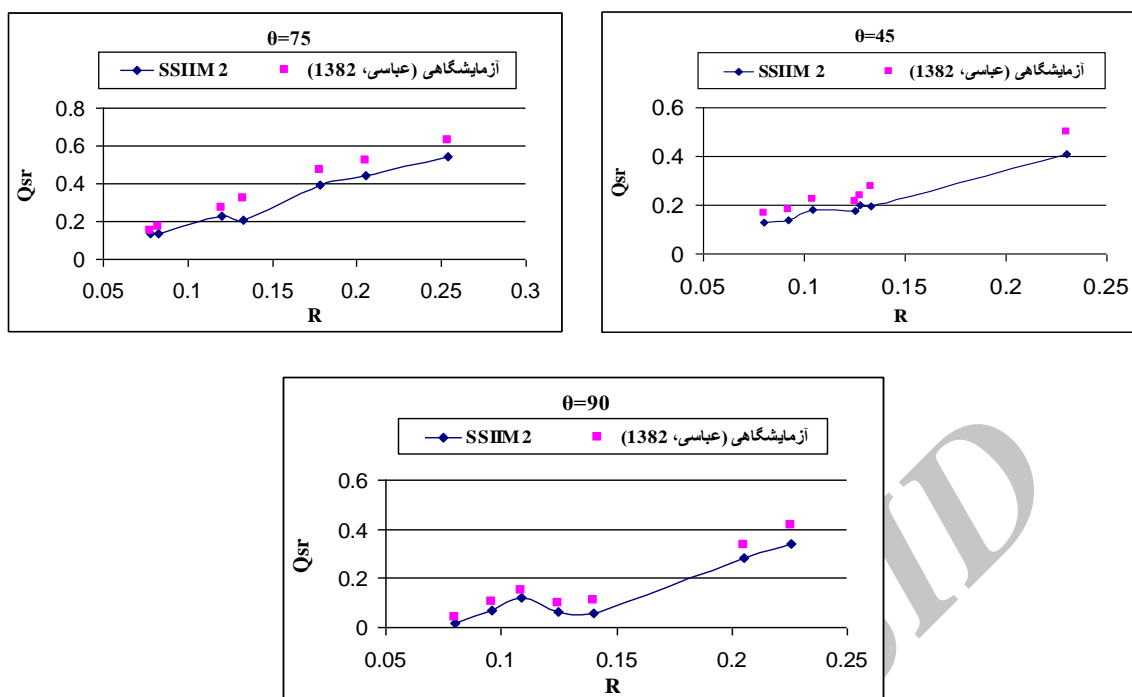
شیب کانال اصلی، عرض کانال اصلی و آب‌گیر و دبی جریان در کانال اصلی ثابت می‌باشد، بنابراین پارامترهای ρ_s/ρ ، S و b/B از بین متغیرهای بدون بعد حذف می‌شوند. در نهایت اعداد بی‌بعد زیر برای بررسی اثرات متغیرها بر میزان ورود رسوبات به آب‌گیر در نظر گرفته شده است:

$$Q_{sr} = F(R, Fr, \theta) \quad (7)$$

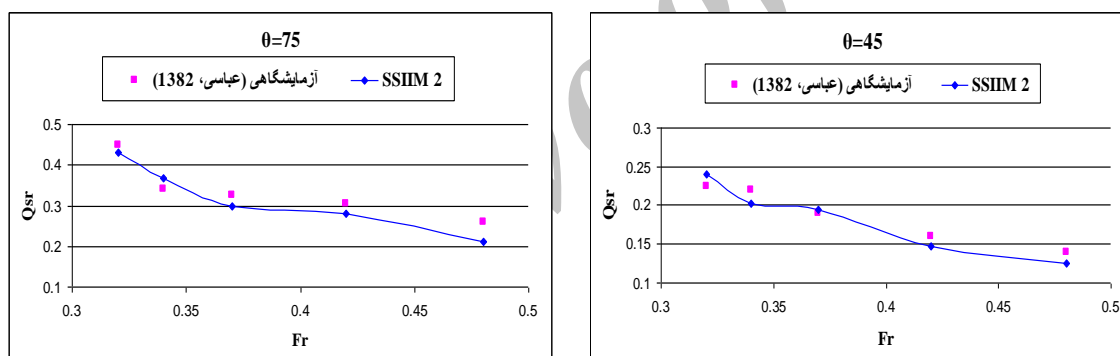
که در این رابطه، Q_{sr} نسبت رسوب ورودی به آب‌گیر (Q_{si}/Q_{sm}) ، R نسبت دبی آب‌گیری (Q_M/Q_I) می‌باشند. ابتدا به بررسی تأثیر تغییرات R و θ بر Q_{sr} پرداخته شده است.

شکل (۲)، مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی تأثیرات R بر Q_{sr} در زوایای مختلف آب‌گیری ۴۵، ۷۵ و ۹۰ درجه را به‌ازای دبی ثابت ورودی (Q_M) ۷۸ لیتر بر ثانیه و عدد فرود ثابت جریان ورودی ۰/۴ نشان می‌دهد.

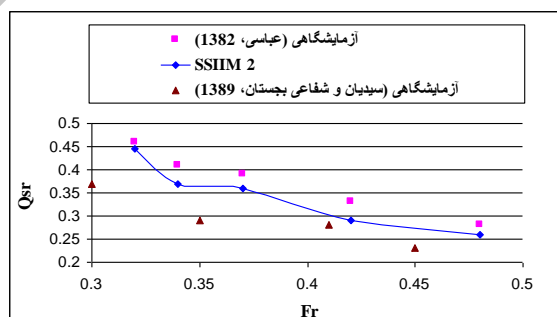
بررسی نتایج حاصل از شکل (۲) نشان می‌دهد همان‌طور که انتظار می‌رود در انطباق با نتایج مرجع [۴]، با افزایش نسبت آب‌گیری، نسبت رسوب ورودی به آب‌گیر افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از شکل (۲)، درصد خطای میانگین حاصل از



شکل ۲ تغییرات نسبت رسوب ورودی به آب گیر بر حسب نسبت دبی آب گیری در زوایای مختلف آب گیری ۴۵، ۷۵ و ۹۰ درجه



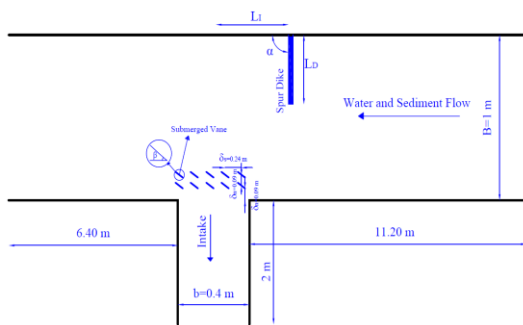
شکل ۳ تغییرات نسبت رسوب ورودی به آب گیر بر حسب اعداد مختلف فرود جریان در زوایای مختلف آب گیری



شکل ۴ تغییرات نسبت رسوب ورودی به آب گیر بر حسب عدد فرود جریان در تحقیق حاضر با سایر محققان

[۱۴]

مقابل آب گیر، ۴۰ سانتی متر بالاتر از آب گیر (L_1) و ۸۰ سانتی متر بالاتر از آب گیر ($2L_1$) به کار رفته که زوایای به کار رفته برای آب شکن ۴۵ درجه، ۹۰ درجه و ۱۳۵ درجه بوده است. مشخصات هندسی فلوم آزمایشگاهی در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵ مشخصات هندسی فلوم آزمایشگاهی

[۱۵]

در این مدل سازی، پس از امتحان مقادیر مختلف و تست حساسیت نسبت به ابعاد شبکه‌ی مورد نظر، ابعاد سلول‌های شبکه‌ی کانال اصلی در قبل و بعد از آب گیر به ترتیب $10 \times 10 \times 12$ و $10 \times 20 \times 9$ سانتی متر، در محدوده‌ی آب گیر $10 \times 10 \times 2$ سانتی متر و ابعاد سلول‌های شبکه‌ی کانال آب گیر $10 \times 7 \times 2$ سانتی متر به عنوان شبکه‌ی بهینه انتخاب شد.

شکل و ابعاد کانال اصلی و کانال آب گیر، شیب کانال اصلی، دبی جریان در کانال اصلی، زاویه‌ی آب گیری، ابعاد و آرایش صفحات مستغرق، زاویه‌ی آب شکن با جریان اصلی و دانه بندی مصالح بستر در این آزمایش ثابت است. هم چنین به علت این که عدد رینولدز جریان در محدوده‌ی جریان‌های آشفته قرار دارد ($Re=60000$) اثر لزجت در مقابل اینرسی قابل صرف نظر کردن می باشد. با توجه به یکسان بودن شرایط هیدرولیکی کانال بالادست، عدد Fr نیز در این مطالعه ثابت بوده و در نهایت بر اساس رابطه‌ی (۵) و حذف پارامترهای ذکر شده، اعداد بی بعد زیر برای بررسی اثرات متغیرها بر میزان ورود رسوبات به آب گیر در نظر گرفته شده است:

همان طور که در شکل (۴) مشاهده می شود، نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت نسبتاً خوبی با نتایج آزمایشگاهی مرجع [۱۴] دارد و در آن به ازای زاویه‌ی آب گیری ثابت، با افزایش عدد فرود جریان ورودی، نسبت رسوب ورودی به آب گیر کاهش می یابد. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از بررسی عددی مطالعات آزمایشگاهی مراجع [۱۴ و ۱۳] و جمع بندی نتایج آن‌ها، رابطه‌ی کلی (۹) پیشنهاد می گردد. در مطالعه‌ی آزمایشگاهی [۱۴] پارامترهای R و θ ثابت فرض شده بودند.

$$Q_{sr} = R^{0.795} \theta^{0.352} \cdot Fr^{-0.296} \cdot r^2 = 0.785 \quad (9)$$

در بخش دوم این مطالعه، برای کنترل و کاهش میزان رسوبات ورودی به آب گیر، از سازه‌های انحراف و دفع رسوب از جمله صفحات مستغرق و آب شکن استفاده شده و تأثیر آن‌ها بر کاهش میزان رسوب ورودی مورد بررسی قرار گرفته است.

مطالعه‌ی عددی روش‌های کنترل رسوب با استفاده از مدل آزمایشگاهی. گوهری و همکاران [۱۵] در این مدل آزمایشگاهی، طول کانال اصلی ۱۸ متر، عرض آن ۱ متر و عمق آن ۱ متر بوده است. آب گیری توسط کانال جانبی به عرض ۰/۴ متر و طول ۲ متر که در ۱۱/۲ متری پایین دست ورودی کانال اصلی و با زاویه‌ی ۹۰ درجه نسبت به آن قرار دارد انجام شده است. دبی جریان ورودی ثابت و برابر ۰/۰۵۶ مترمکعب بر ثانیه، قطر ذره رسوب ۱ میلی متر، شیب کانال ۰/۰۰۲، مدت زمان آزمایش ۴ ساعت، چگالی ذرات رسوبی برابر ۲/۶۵ گرم بر سانتی مترمکعب و عمق رسوبات در کلیه‌ی آزمایش‌ها ثابت و برابر ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. فاصله‌ی طولی صفحات از هم (δ_s) ۲۴ سانتی متر، فاصله‌ی عرضی آن‌ها (δ_n) ۹ سانتی متر و زاویه‌ی صفحات (β) ۴۵ درجه می باشد. طول آب شکن‌های (L_p) به کار رفته ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی متر بوده است. آب شکن در سه موقعیت مختلف:

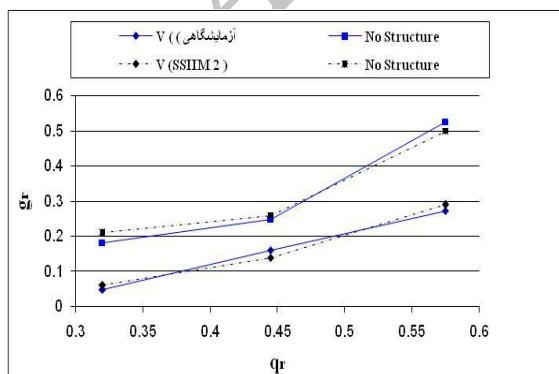
می باشد، تأثیر آن در میزان رسوب ورودی کم تر است [۱۵]. با افزایش نسبت دبی انحرافی از ۰/۴۵ الی ۰/۵۷، مقدار رسوبات ورودی به آب گیر به دلیل افزایش سرعت در آب گیر در حین ثابت بودن عمق جریان و افزایش شدت حمل رسوبات در کانال آب گیر، بیش تر می شود. در شکل (۷) متوسط سرعت های طولی (U)، عرضی (V) و عمقی جریان (W) در کانال اصلی و در محدوده ی آب گیر نشان داده شده است. سرعت جریان در ۰/۶ عمق جریان (مطابق مطالعه ی آزمایشگاهی) می باشد. با توجه به شکل (۷)، با افزایش طول آب شکن متوسط سرعت طولی و عمقی جریان افزایش یافته در حالی که در حالت عدم استفاده از آب شکن و صفحات مستغرق متوسط سرعت طولی و عمقی کاهش می یابد. حداقل، میانگین و حداکثر خطای حاصل از مقایسه ی نتایج عددی و آزمایشگاهی در طول آب شکن ۱۵ سانتی متر برای محاسبه ی سرعت طولی به ترتیب ۱/۱۱٪، ۳/۸۶٪ و ۵/۲۵٪، برای محاسبه سرعت عرضی به ترتیب ۷/۹۱٪، ۱۱/۳۵٪ و ۱۴/۰۶٪ است و برای محاسبه ی سرعت عمقی به ترتیب ۶/۹۷٪، ۱۴/۹۵٪ و ۱۸/۶۷٪ می باشد. کارایی صفحات مستغرق بدون آب شکن در کنترل رسوب با نتایج سایر محققان نیز در شکل (۸) مقایسه شده است.

$$g_r = F(q_r, \frac{L_D}{B}, \frac{L_I}{b}) \quad (10)$$

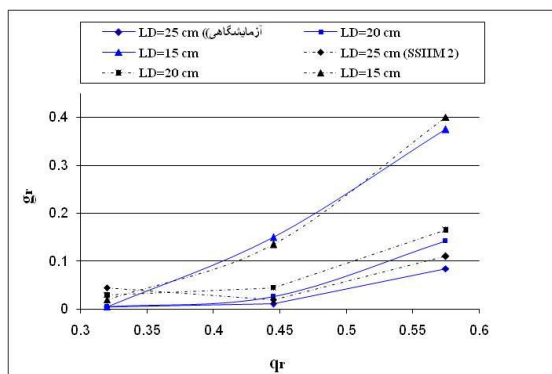
$$V_r = F(q_r, \frac{L_D}{B}) \quad (11)$$

که در این روابط، g_r نسبت رسوبات خروجی از کانال آب گیر به رسوبات ورودی به کانال اصلی (Q_{sr})، V_r نسبت حجم رسوبات ته نشین شده در کانال آب گیر به حجم رسوبات ورودی به کانال اصلی (V_{si}/V_{sm})، L_D/B طول نسبی آب شکن، q_r نسبت دبی آب گیری و L_I/b فاصله ی نسبی آب شکن از خط مرکزی کانال آب گیر می باشند. ابتدا تأثیر طول های مختلف آب شکن (L_D) به ازای نسبت های مختلف دبی آب گیری (q_r) در حالت استفاده از آب شکن بدون صفحه ی مستغرق، با وجود صفحه و بدون استفاده از آب شکن (V) و همچنین بدون استفاده از صفحه و آب شکن (No structure) بر نسبت رسوبات ورودی به آب گیر جانبی (g_r) مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۶) تأثیر طول های مختلف آب شکن ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی متر و حالت های مختلف وجود و عدم وجود صفحات مستغرق را بر میزان رسوبات ورودی به آب گیر به ازای نسبت های مختلف دبی نشان می دهد.

همان طور که در شکل (۶-a) مشاهده می شود، با افزایش طول آب شکن مقدار ورود رسوبات به آب گیر کاهش می یابد. هنگامی که طول آب شکن ۱۵ سانتی متر

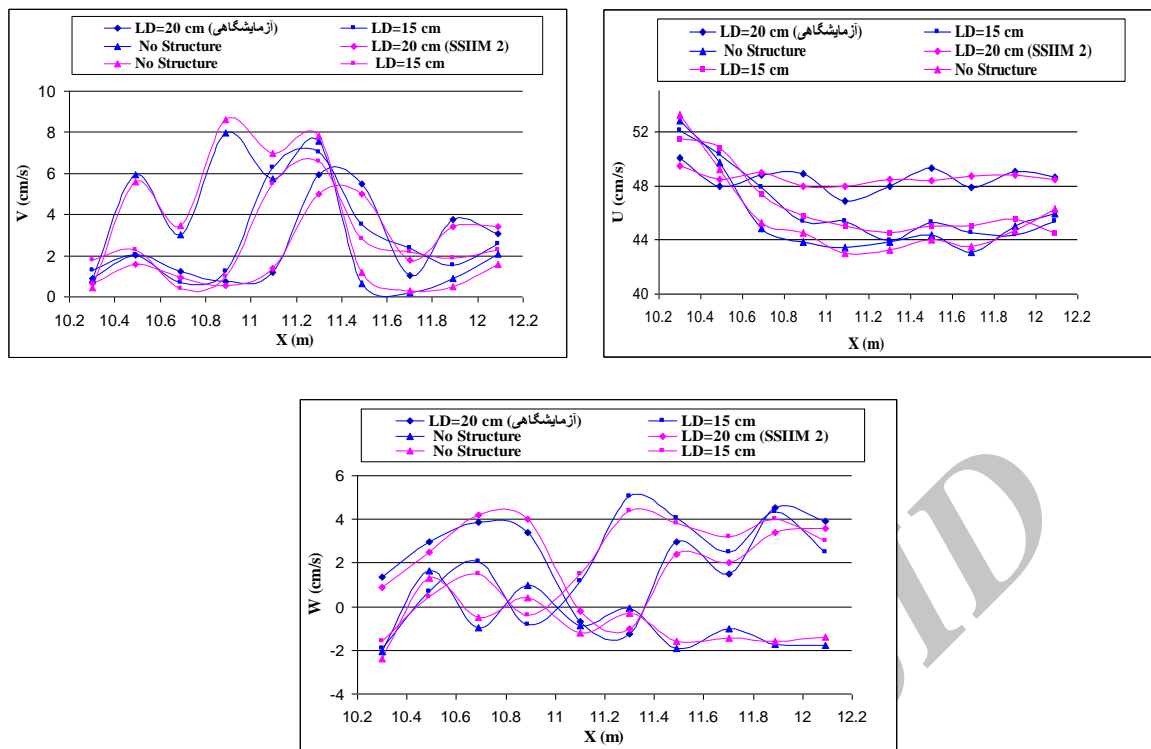


(b)

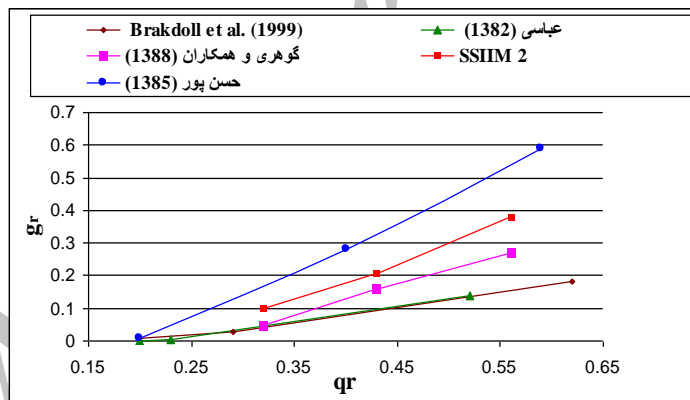


(a)

شکل ۶ تأثیر طول آب شکن (a) و حالت های مختلف وجود و عدم وجود صفحات مستغرق (b) بر شدت رسوبات ورودی به آب گیر



شکل ۷ تغییرات سرعت جریان برای طول‌های مختلف آب‌شکن ($L_r=40\text{cm}, q_r=0.3, \alpha=90$) و وجود صفحات مستغرق



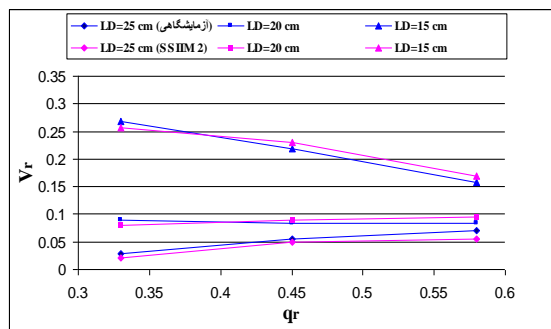
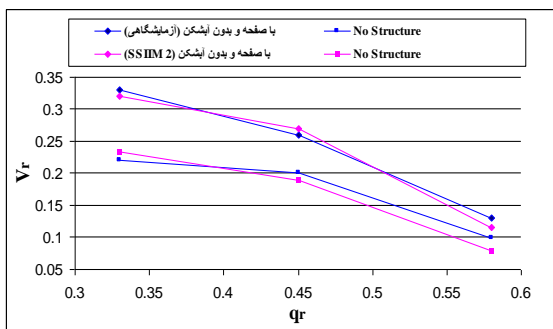
شکل ۸ مقایسه‌ی تغییرات نسبت انحراف رسوب با نسبت انحراف جریان در تحقیق حاضر و سایر محققان

مدل آزمایشگاهی می‌باشد. با توجه به شکل (۹-ا)، در حالت استفاده از صفحات مستغرق، مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر به طور متوسط ۳۰٪ کاهش می‌یابد. هم‌چنین با توجه به شکل (۹-ب)، با افزایش طول آب‌شکن از ۱۵ سانتی‌متر به ۲۰ سانتی‌متر، مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر به طور متوسط ۴۴٪ کاهش یافت. در نسبت آب‌گیری ۰/۵۷ نیز با افزایش طول آب‌شکن مقدار انباشت رسوبات در داخل آب‌گیر کاهش می‌یابد

همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود روند کلی تغییرات رسوبی خروجی از آب‌گیر با افزایش دبی آب‌گیری یکسان است و در همه‌ی آن‌ها با افزایش نسبت دبی آب‌گیری، مؤلفه‌ی عرضی سرعت در جلوی دهانه‌ی آب‌گیر افزایش می‌یابد و در نتیجه نسبت رسوب ورودی به آب‌گیر نیز افزایش می‌یابد. میزان اختلاف نتایج عددی در مقایسه با نتایج سایر محققان، به دلیل متفاوت بودن پارامترهای هندسی و هیدرولیکی

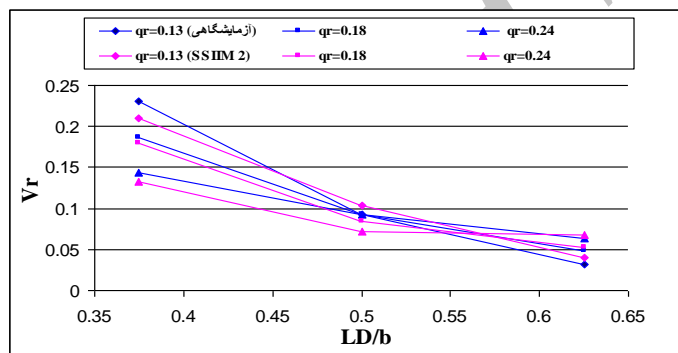
که نشان می دهد با افزایش طول آب شکن مقدار سرعت جریان در آب گیر بیش تر می شود و ورود رسوبات به آب گیر نیز کاهش می یابد. با توجه به شکل (a-9) حداقل، میانگین و حداکثر خطای حاصل در حالت عدم استفاده از صفحات مستغرق و آب شکن به ترتیب ۴/۳۴٪، ۵/۹۴٪ و ۸/۵۶٪ می باشد.

مقایسه در طول آب شکن ۱۵ سانتی متر به ترتیب



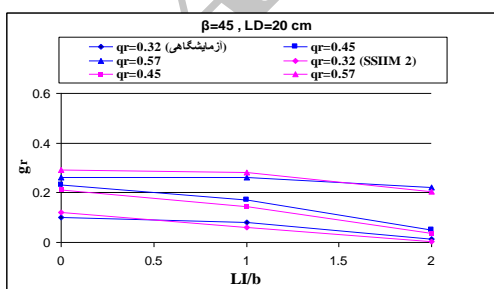
(a)

(b)

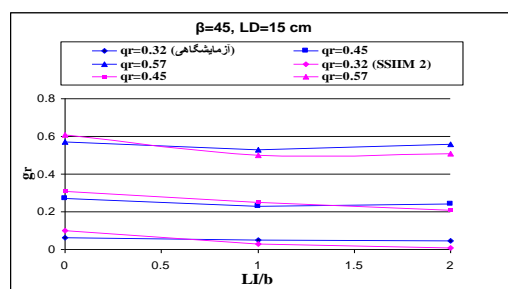


(c)

شکل ۹ تغییرات متوسط حجم نسبی رسوب در آب گیر با (a, b) دبی انحرافی، (c) طول نسبی آب شکن

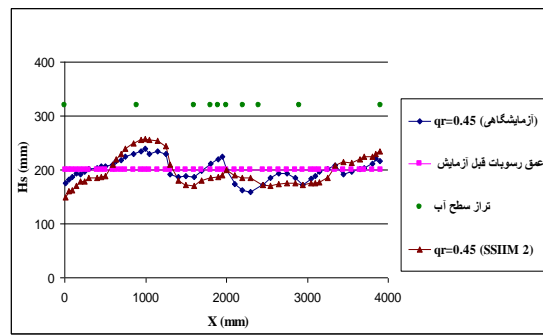
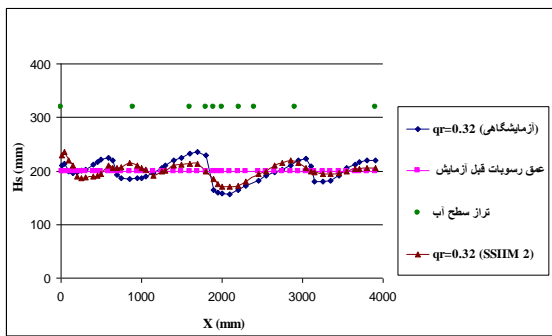


(a)



(b)

شکل ۱۰ تأثیر فاصله نسبی آب شکن (a, b) و طول نسبی آب شکن (c) بر نسبت رسوب ورودی به آب گیر



شکل ۱۱ پروفیل بار بستر قبل از شروع آزمایش‌ها و پس از رسیدن به تعادل به‌ازای نسبت‌های دبی آب‌گیری ۰/۳۲ و ۰/۴۵

خطای حاصل در $q_r=0.13$ به‌ترتیب $۰/۸/۶۹$ ، $۰/۱/۰۱$ و $۰/۱۱/۸۲$ ، در $q_r=0.18$ به‌ترتیب $۰/۳/۷۴$ ، $۰/۱۱/۱۱$ و $۰/۱۵/۱۷$ و در $q_r=0.24$ به‌ترتیب $۰/۵/۸۸$ ، $۰/۱۱/۶۲$ و $۰/۱۸/۲۳$ به‌دست آمد. بر اساس رابطه‌ی (۱۱) و با احتساب نتایج آزمایشگاهی [۱۵] حاصل از شکل (۹)، رابطه‌ی (۱۲) برای تعیین حجم نسبی رسوب در آب‌گیر بر حسب نسبت دبی انحرافی و طول نسبی آب‌شکن پیشنهاد می‌گردد.

$$V_r = 0.493 + 0.357q_r - 1.107\left(\frac{L_D}{B}\right) \quad r^2 = 0.905 \quad (12)$$

در شکل (۱۰)، تأثیر فاصله‌ی نسبی قرارگیری آب‌شکن از آب‌گیر (L_D/b) در طول‌های مختلف آب‌شکن ۱۵ سانتی‌متر (a) و ۲۰ سانتی‌متر (b) بر نسبت رسوب ورودی به آب‌گیر (g_r) مورد بررسی قرار گرفته‌است. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم با نصب آب‌شکن در مقابل آب‌گیر مقدار رسوبات ورودی به آب‌گیر کاهش یافته‌است. این امر به‌دلیل افزایش سرعت عرضی در مقابل جریان است (شکل ۳). با افزایش طول نسبی آب‌شکن (d)، کاهش نسبی سرعت عرضی جریان و افزایش متوسط سرعت طولی از ورود رسوبات به آب‌گیر کاسته می‌شود. زاویه‌ی قرارگیری صفحات مستغرق (β)، مطابق مطالعه‌ی آزمایشگاهی ۴۵ درجه در نظر گرفته شده‌است.

حدافل، میانگین و حداکثر خطای حاصل از مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی در $q_r=0.32$ با

همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود روند کلی تغییرات رسوبی خروجی از آب‌گیر با افزایش دبی آب‌گیری یکسان است و در همه‌ی آن‌ها با افزایش نسبت دبی آب‌گیری، مؤلفه‌ی عرضی سرعت در جلوی دهانه‌ی آب‌گیر افزایش می‌یابد و در نتیجه نسبت رسوب ورودی به آب‌گیر نیز افزایش می‌یابد. میزان اختلاف نتایج عددی در مقایسه با نتایج سایر محققان، به‌دلیل متفاوت بودن پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مدل آزمایشگاهی می‌باشد. با توجه به شکل (۹-a)، در حالت استفاده از صفحات مستغرق، مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر به‌طور متوسط ۳۰٪ کاهش می‌یابد. هم‌چنین با توجه به شکل (۹-b)، با افزایش طول آب‌شکن از ۱۵ سانتی‌متر به ۲۰ سانتی‌متر، مقدار ورود رسوبات به آب‌گیر به‌طور متوسط ۴۴٪ کاهش یافت. در نسبت آب‌گیری ۰/۵۷ نیز با افزایش طول آب‌شکن مقدار انباشت رسوبات در داخل آب‌گیر کاهش یافت که نشان می‌دهد با افزایش طول آب‌شکن مقدار سرعت جریان در آب‌گیر بیش‌تر می‌شود و ورود رسوبات به آب‌گیر نیز کاهش می‌یابد. با توجه به شکل (۹-b)، حدافل، میانگین و حداکثر خطای حاصل از مقایسه در طول آب‌شکن ۱۵ سانتی‌متر به‌ترتیب $۰/۳/۸۴$ ، $۰/۴/۶۵$ و $۰/۵/۸۸$ است و با توجه به شکل (۹-a) حدافل، میانگین و حداکثر خطای حاصل در حالت عدم استفاده از صفحات مستغرق و آب‌شکن به‌ترتیب $۰/۴/۳۴$ ، $۰/۵/۹۴$ و $۰/۸/۵۶$ می‌باشد هم‌چنین با توجه به شکل (۹-c)، حدافل، میانگین و حداکثر

بیش تری از جریان عبوری از کانال اصلی وارد کانال آب گیر شود و مؤلفه‌ی عرضی سرعت در جلوی دهانه‌ی آب گیر با افزایش نسبت آب گیری افزایش یافته و در نتیجه رسوبات بیش تری وارد کانال آب گیر می شود.

- در یک نسبت ثابت آب گیری، با افزایش زاویه آب گیری نسبت رسوب ورودی به آب گیر افزایش می یابد.

$$g_r = 0.335 + 0.927qr - 1.125\left(\frac{L_D}{B}\right) - 0.041\left(\frac{L_I}{b}\right)r^2 = 0.850 \quad (13)$$

- با نصب آب شکن در بالاتر از آب گیر (به سمت ورودی کانال اصلی) و افزایش L_I/b سطح رسوبات در مقابل آب گیر به دلیل افزایش سرعت جریان، پایین تر می رود و با این عمل، آستانه‌ای در مقابل آب گیر ایجاد می شود که مانع ورود رسوبات به داخل آبگیر خواهد شد.

- متوسط تراز بستر پس از رسیدن به تعادل با تغییر دبی آب گیری نیز تقریباً ثابت می ماند و مجموع رسوبات وارد شده به محدوده‌ی آب گیر و رسوبات خارج شده از محدوده آب گیر تقریباً ثابت است. هم چنین متوسط عمق رسوبات ته نشین شده در بستر در حالت عددی به ترتیب برابر $203/6$ و $199/8$ میلی متر به دست آمد.

- بر اساس آنالیز ابعادی، نسبت رسوب ورودی به آب گیر به طول نسبی، فاصله‌ی نسبی قرارگیری آب شکن از دهانه‌ی آب گیر و نسبت دبی آب گیری بستگی دارد. هم چنین بر اساس آنالیز ابعادی، رابطه‌ای برای تعیین حجم نسبی رسوب ورودی به آب گیر استخراج گردید.

توجه به شکل (a-10)، به ترتیب $9/09$ ، $12/54$ و $16/67$ ، با توجه به شکل (b-10) به ترتیب $11/25$ ، $16/44$ و $25/02$ و با توجه به شکل (c-10) به ترتیب $8/18$ ، $13/07$ و $19/22$ می باشند. هم چنین حداقل، میانگین و حداکثر خطای حاصل در $q_r=0.32$ با توجه به شکل (d-10)، به ترتیب $6/13$ ، $10/65$ و $13/33$ به دست آمد.

برای نشان دادن تأثیر نسبت دبی آب گیری (q_r)، طول آب شکن (L_D)، فاصله‌ی قرارگیری آب شکن از دهانه‌ی آب گیر (L_I)، عرض آب گیر (b) و کانال اصلی (B) بر میزان رسوبات ورودی به داخل آب گیر (g_r)، با توجه به آنالیز ابعادی، تحلیل آماری نتایج آزمایشگاهی شکل (10) و بر اساس رابطه‌ی (10)، رابطه‌ی نهایی به شرح زیر استخراج گردید. مقدار میانگین مربعات (r^2) مربوط به رابطه در کنار آن نوشته شده است.

شکل (11) پروفیل بار بستر را پس از رسیدن به تعادل نسبی در دو حالت آزمایشگاهی و عددی نشان می دهد. با توجه به شکل (11)، متوسط عمق رسوبات ته نشین شده در بستر در حالت آزمایشگاهی به ازای نسبت های دبی آب گیری $0/32$ و $0/45$ به ترتیب برابر $199/2$ و 202 میلی متر است در حالی که این مقادیر در حالت عددی به ترتیب برابر $203/6$ و $199/8$ میلی متر به دست آمد. عمق رسوبات قبل از کلیه‌ی آزمایش ها برابر 200 میلی متر بوده است.

نتیجه گیری

در مجموع نتایج حاصل برای جریان هایی با شرایط اعمال شده در این تحقیق عبارتند از:
- افزایش نسبت آب گیری باعث می شود که بخش

مراجع

1. Nakato, T. et al., "A Hydraulic Model Study: Design of Sediment-Control Devices for the Intakes near River", IIHR Limited Distribution Rep. No. 194, Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa City, Iowa, (1992).

2. Neary, V.S. and Odgaard, A.J., "Three-Dimensional Flow Structure at Open Channel Diversions", *J. Hydr. Engrg, ASCE*, 119(11), pp. 1224-1230, (1993).
3. Solaymani Osbooei, H.R., "Investigation of Submerged Vane Array on Rivers bed Morphology", *M.Sc. Thesis in Environmental Engineering, Tehran Univ.* 175p. (1996), (In Persian).
4. Brakdoll et al., "Sediment Control at Lateral Diversions: Limits and Enhancements to Vane Use", *J.HYDR.Eng.ASCE*, 129(2), pp. 83-87, (1999).
5. Kuhnle, R.A., Alonso, C.V., and Shields, F.D.Jr. "Geometry of Scour Holes Associated with 90° Spur Dikes", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125:9.pp.972-978, (1999).
6. Sajedi Sabegh, M. and Habibi, M., "Laboratory Investigation of Using Submerged Vane and Dikes on Efficiency of Intakes", *Proceeding of 4th hydraulic conference*, pp. 35-42, (2003).
7. حسن پور، فرزاد، «کاربرد صفحات مستغرق مرکب و آستانه در آب‌گیرهای جانبی»، رساله‌ی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی عمران صفحه‌ی ۲۲۷، (۱۳۸۵).
8. Ramamurthy A.S., Junying Qu and Diep VO., "Numerical and Experimental Study of Dividing Open-Channels Flows", *Journal of Hydraulic Engineering, Vol.133, No.10, 2007*, pp.1135-1144, (2007).
9. صفرزاده، اکبر و صالحی نیشابوری، علی اکبر، «مدل‌سازی عددی الگوی سه‌بعدی جریان در آب‌گیر جانبی»، اولین کنگره‌ی ملی مهندسی عمران، (۱۳۸۳).
10. شاملو، حمید و پیرزاده، بهاره، «بررسی اثرات پارامترهای هندسی و هیدرولیکی بر ابعاد ناحیه‌ی جدایی جریان در آب‌گیرهای جانبی با استفاده از نرم‌افزار Fluent»، نشریه تخصصی مهندسی عمران - نقشه برداری، (۱۳۸۹).
11. شاملو، حمید و اثنی عشری، عادل، «بررسی عددی هیدرولیک جریان و رسوب در آب‌گیرهای جانبی رودخانه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SSIIM2»، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۹).
12. Olsen, N.B.R., "Three-Dimensional Numerical Model for Simulation of Sediment Movements in Water Intakes with Multiblock Option", *Department of hydraulic and environmental engineering, the Norwegian university of science and technology*, (2006).
13. عباسی، علی اکبر، «مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب در آب‌گیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم»، رساله‌ی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی عمران، (۱۳۸۲).
14. سیدیان، سید مرتضی و شفاعی بجستان، محمود، «مقایسه رسوب معلق ورودی به آب‌گیر با تغییر زاویه‌ی دیواره‌ی کانال اصلی از قائم به ۴۵ درجه»، نشریه‌ی آب و خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه‌ی ۹۹۴-۹۸۵، (۱۳۸۹).
15. گوهری، سعید و همکاران، «تاثیر صفحات مستغرق و آب‌شکن در کنترل رسوب ورودی به آب‌گیر جانبی»، مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره دوم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (۱۳۸۸).