شبیه‌سازی تأثیر صفحات مستغرق و آب‌شکن در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی با استفاده از نرم‌افزار SSIIM2

ادریس معروفی نیا[1*]،عادل اثنی عشری[2]،یوسف حسن زاده[3]،سعید خوش طینت[4] وبابک امین نژاد[5]

۱*-نویسنده مسئول، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، مهاباد.

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، مهاباد.

۳- استاد،دانشکده فنی و مهندسی،گروه عمران،دانشگاه تبریز.

۴- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، رودهن.

۵- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، رودهن.

تاریخ دریافت:۹۴/۷/۱ تاریخ پذیرش:۹۴/۹/۷

چکیده

کنترل رسوب در آبگیرها همواره از مسائل پیچیده مهندسی رودخانه است. در این تحقیق، شبیه‌سازی عددی تأثیر صفحات مستغرق و آب‌شکن در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی به کمک نرم‌افزار SSIIM2 صورت گرفته است. به منظور هدایت جریان به سمت آبگیر و افزایش کارآیی صفحات، از آب‌شکن در سمت مقابل آبگیر استفاده و اثر پارامترهای طول آب‌شکن و فاصله آن از مقابل آبگیر در زاویه ۹۰ درجه با جریان در کانال اصلی به ازای نسبت‌های مختلف دبی آبگیری بر حجم رسوبات وارد شده به آبگیر مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش مقدار دبی انحرافی سرعت جریان در داخل آبگیر نیز افزایش می یابد که باعث انتقال رسوبات به پایین دست آبگیر شده و از انباشت رسوبات در داخل آبگیر جلوگیری می کند. نتایج تحقیق نشان داد که کارآیی صفحات با احداث آب‌شکن در ضلع مقابل آبگیر افزایش پیدا کرده و مقدار ورود رسوبات به آبگیر کاهش پیدا می‌کند. با نصب آب شکن در بالاتر از آبگیر (به سمت ورودی کانال اصلی) سطح رسوبات در مقابل آبگیر به‌دلیل افزایش سرعت جریان، پایین تر می رود و با این عمل، آستانه ای در مقابل آبگیر ایجاد می شود که مانع ورود رسوبات به داخل آبگیر خواهد شد. سپس نتایج عددی حاصل از تحقیق با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت که مطابقت خوبی بین مقادیر فاصله حاصله و نتایج آزمایشگاهی دیده شد.

کلیدواژه ها: آب‌شکن، آبگیر جانبی، صفحات مستغرق، کنترل رسوب، نرم افزار SSIIM2.

Investigation of the Effects of Submerged Vanes and Spur Dikes on Sediment Control at Lateral Intakes by SSIIM2 Software

E. Merufinia[1*], A. Asnaashari[2], Y. Hassanzadeh[3] , S Khoshtinat[4] and B. Aminnejad[5]

1*-Young Researchers and Elite Club, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
2- Young Researchers and Elite Club, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
3- Professor of Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz.
4-Young Researchers and Elite Club, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
5- Young Researchers and Elite Club, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.

Received: 23 September 2015 Accepted: 28 November 2015

Abstract

Sediment control at lateral intakes is known as a complicated issue for river engineers. In this study, numerical simulation of the impact of submerged vanes and spur dike on sediment control at lateral intake has been performed. For guiding flow into the diversion channel and increasing the vane performance, a single spur dike in opposite side of the intake has been utilized and the effects of spur dike length, the location of intake, and the angle of attack on reducing the movement of bed-load sediment into the diversion channel have been investigated. Obtained numerical results consisting with the experimental data confirmed this face that the effective performance of the vanes can increase using a proper spur result in eliminating the bed-load

sediment ingestion rate into diversion channel. Then, numerical results were compared with experimental results and there was good agreement between them.

Keywords: Spur Dike, Lateral intake, Submerged vane, Sediment control, SSIIM2 Software.

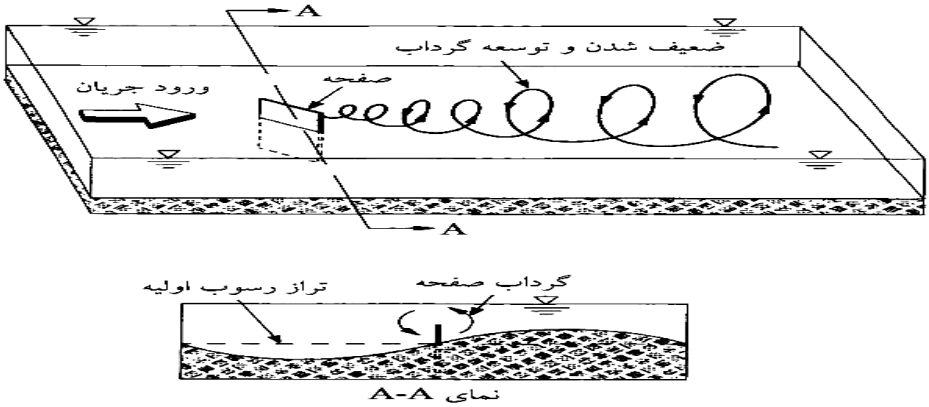
مقدمه

آبگیری از رودخانه‌ها با اهداف مختلفی از جمله آبرسانی شهری، مصرف کشاورزی و تولید برق انجام می‌شود. با توجه به این که همواره همراه جریان، بار رسوبی نیز وجود دارد، بنابراین مقداری از رسوبات وارد آبگیر شده و در شرایط سیلابی ممکن است سبب بسته شدن دهانه آبگیر شده و هدف اصلی یعنی آبگیری را مختل نماید. طراحی نامناسب 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 برای لایروبی کانال‌ها و تحمیل هزینه‌های اقتصادی لایروبی کانال‌ها را به دنبال داشته باشد. یکی از روش‌های کاهش انتقال رسوب به آبگیرها استفاده از صفحات مستغرق است. تحقیقات مختلفی برای یافتن ابعاد، فواصل و زاویه برخورد با جریان و آرایش‌های مختلف نصب صفحات مستغرق صورت پذیرفته است و تحقیقات بیشتر در راستای شناخت و همچنین افزایش کارایی کنترل رسوب این صفحات همچنان ادامه دارد. آب‌شکن‌ها نیز به عنوان سازه حفاظتی و هدایت جریان، سابقه کاربرد طولانی در مهندسی رودخانه دارند. آب‌شکن‌ها با منحرف کردن خطوط جریان، شرایط هیدرولیکی را تغییر داده و می‌توانند خط القعر رودخانه را تغییر داده که در نتیجه آن افزایش راندمان آبگیری را در پی خواهد داشت. اساس عملکرد صفحات تولید جریان ثانویه است که این جریان به سمت پایین‌دست توسعه پیدا کرده و سبب تغییر در توپوگرافی بستر می‌شود (شکل ۱). راه کارهای افزایش کارایی صفحات مستغرق توسط بارکدول و اتما[1] (۱۹۹۹) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های انجام شده توسط این محققین نشان داد که مقدار رسوبات ورودی بستر به داخل آبگیر پس از نصب صفحات مستغرق زمانی می‌تواند ناچیز باشد که نسبت دبی در آبگیر به دبی در کانال اصلی، کمتر از حدود ۰/۲ باشد. جانسون و همکاران[2] (۲۰۰۱) برای صفحات مستغرق زاویه ۲۵ الی ۳۰ درجه را برای تولید بیشترین جریان ثانویه توصیه کردند. مارلیوس و سینها[3] (۱۹۹۸) نشان دادند که در زاویه ۴۰ درجه برای تک صفحه، گرچه مقدار آب‌شستگی اطراف صفحه افزایش می‌یابد ولی بیشترین جریان چرخشی را تولید می‌کند. کونل و همکاران[4] (۱۹۹۹) نشان دادند که برای آب‌شکن هایی با زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه با دو نسبت تنگ شدگی ۰/۱۲۵ و ۰/۲۵ در یک کانال آزمایشگاهی، کمترین فرسایش بستر، در ناحیه نزدیک جداره به آب‌شکن با زاویه ۹۰ درجه و بزرگ ترین حجم آبشستگی به آب‌شکن با زاویه ۱۳۵ درجه تعلق دارد. آب‌شکن‌هایی که به سمت بالادست متمایل باشند، به‌طور معمول موجب انحنای بیشتری در جریان اصلی می شوند. امام[5] (۱۹۹۵) نشان داد که اثر صفحات تا ۲۵ برابر ارتفاع صفحات در پایین دست آخرین صفحه ادامه دارد. سلیمانی اسبوئی (۱۳۷۵) کاربرد صفحات مستغرق در مسیر مستقیم رودخانه‌ها و تأثیر آرایش و شکل صفحات بر تغییرات مرفولوژی بستر رودخانه را مطالعه نموده و نشان داد که با افزایش دبی و سرعت جریان کارایی صفحات افزایش پیدا می کند. قلانی (۱۳۷۷) برای مصالح بستر با قطر کم، زاویه ۱۸ درجه را زاویه بهینه در کنترل رسوبات صفحات دانسته است. ساجدی سابق و حبیبی[6] (۲۰۰۳) تأثیر کاربرد با هم صفحات مستغرق و مجموعه آب‌شکن‌ها در افزایش راندمان آبگیری را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که در مواردی تا ۹۵ درصد ورود رسوبات به آبگیر کاهش یافته است. عباسی (۱۳۸۳) به‌کارگیری با هم آستانه و صفحات را روش مناسبی برای کنترل رسوب معرفی کرده و نشان داد که با افزایش عدد فرود جریان مقدار ورود رسوبات به آبگیر کاهش پیدا می‌کند. غیاث‌آبادی (۱۳۸۴) به بررسی آنالیز عددی جریان پشت صفحات مستغرق با مدل آشفتگی k-ε پرداخت. در تحقیق فوق، پیشنهادهای به‌دست آمده از حل مدل عددی با مقادیر آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده از یک کانال مستطیلی و بستر تغییر شکل یافته مقایسه گردید. حسن‌پور (۱۳۸۵) کاربرد صفحات مستغرق مرکب و آستانه را تنها برای نسبت انحراف بسیار پایین توصیه کرده است. وی همچنین نشان داده است که با افزایش عدد فرود صفحات بهتر عمل می‌کنند. الیاسی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی عددی تاثیر شکل آب‌شکن مستغرق بر الگوی جریان در کانال‌های مستقیم پرداختند. آنها با بهره‌گیری از کد تفاضل محدود FLOW-3D الگوی جریان حول یک آب‌شکن مستغرق بررسی گردیده و سپس نتایج عددی سرعت طولی و سطح آزاد جریان با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و صحت‌سنجی کردند. بررسی داده‌های عددی به دست آمده، حاکی از آن بود که در بین آب شکن‌های مورد بررسی، آب‌شکن تی(T) شکل بهترین عملکرد را داشته است و می تواند به صورت موثر عرض ناحیه جداشدگی و بنابراین میزان فرسایش جداره کانال را کاهش دهد. واقفی و رادان (۱۳۹۳) به مطالعه عددی آبشستگی و الگوی جریان در نهر قوسی ۹۰ درجه با وجود آب‌شکن تی(T) شکل با تغییر در شعاع انحنای قوس پرداختند. در تحقیق فوق به بررسی آبشستگی و الگوی

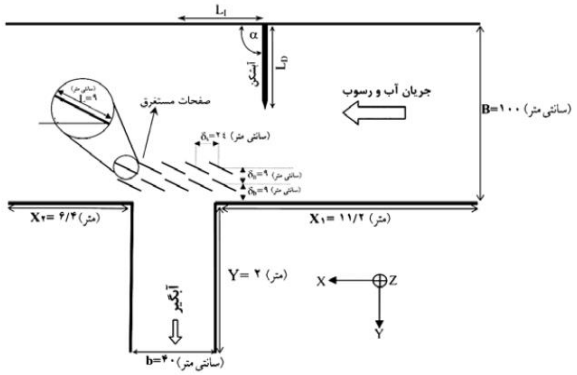
1- Barkdoll and Ettema.
2- Johnson *et al.*
3- Marelius and Sinha.
4- Kuhnle *et al.*
5- Emam.
6- Sajedi Sabegh and Habibi.

جریان در نهر قوسی شکل با تغییر در نسبت شعاع میانگین قوس به عرض نهر از دو تا پنج، که در محدوده‌ی قوس‌ها از ملایم تا تند می باشد، پرداخته شد. نتایج تحقیق فوق نشان داد که با افزایش نسبت شعاع قوس به عرض نهر عمق بیشینه چاله آبشستگی افزایش می یابد. همچنین خطوط جریان در نیمرخ‌های طولی و عرضی بررسی شده و نیمرخ های بی بعد بستر در مقطع افقی و نیمرخ‌های طولی و عرضی بستر با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردیده که تطابق خوبی بین نمونه آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی با نرم افزار SSIIM وجود داشت. واقفی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی عددی تأثیر شعاع انحنای قوس بر الگوی جریان پیرامون آب‌شکن تی(T) شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر صلب پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق فوق نشان داد که با افزایش شعاع انحنایی قوس، ابعاد گردابه در پایین‌دست آب‌شکن کاهش می‌یابد. حسین زاده تبریزی و واقفی (۱۳۹۳) تاثیر عدد فرود جریان بر الگوی جریان و آبشستگی اطراف آب‌شکن های سری در مسیر مستقیم در حالت مستغرق و غیر مستغرق را مقایسه نمودند. نتایج حاصل از تحقیق فوق نشان داد که با بررسی جهت و مقدار سرعت جریان سه بعدی و تنش برشی بستر در جلوی بال آب‌شکن‌ها و محدوده‌ی بین آب‌شکن‌ها پیش‌بینی قابل قبولی از آبشستگی در پیرامون آب‌شکن‌های سرسپری به‌دست می آید. عباسی و ملک‌نژاد یزدی (۱۳۹۳) به مطالعه آزمایشگاهی تاثیر طول، فاصله و شکل آب‌شکن های تی (T) شکل و ال (L) شکل نفوذپذیر بر عمق آبشستگی اطراف آنها پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق فوق نشان داد که در آب‌شکن‌های سرکج نسبت فاصله به طول سه و در آب‌شکن‌های سرسپری نسبت فاصله به طول چهار می توانند به عنوان نسبت‌های مناسب پیشنهاد شوند، همچنین سری آب‌شکن‌های سرسپری نسبت به سری آب‌شکن‌های سرکج بیشینه، عمق آبشستگی کمتری دارند. شاکر و کاشفی پور (۱۳۹۳) به بررسی آزمایشگاهی توزیع سرعت و تنش برشی جریان در قوس ۹۰ درجه همراه و بدون وجود سری آب‌شکن‌ها پرداختند. نتایج مطالعه فوق نشان دادند که وجود سری آب‌شکن‌ها سبب یکنواختی سرعت بالادست و انتقال ناحیه پر سرعت از مجاورت دیواره خارجی به سمت میانه کانال تا دیواره داخلی می شود، همچنین قرارگیری آب‌شکن‌ها در دیواره خارجی قوس سبب کاهش قدرت جریان ثانویه در کانال می گردد.

مطالعه حاضر شامل شبیه‌سازی عددی تأثیر صفحات مستغرق و آب‌شکن در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی می‌باشد که به کمک نرم‌افزار SSIIM2 صورت گرفته است. مدل‌سازی بر مبنای مطالعه آزمایشگاهی گوهری و همکاران (۱۳۸۸) صورت گرفته و در آن تأثیر صفحات مستغرق، طول آب‌شکن و فاصله آن از مقابل دهانه آبگیر به ازای نسبت‌های مختلف دبی آبگیری بررسی شده و با نتایج آزمایشگاهی مذکور مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل ۱- شمای جریان در مقابل آبگیر



شکل ۲- مشخصات هندسی فلوم آزمایشگاهی (گوهری و همکاران، ۱۳۸۸)

مواد و روش‌ها

معادله های حاکم بر جریان

نرم‌افزارSSIIM به منظور شبیه‌سازی رسوب در آبگیرها و برای مهندسی رسوب، هیدرولیک، محیط زیست و رودخانه طراحی شده است. این نرم‌افزار بر مبنای رویکرد حجم محدود با شبکه سازمان‌یافته سه‌بعدی طراحی شده و در آن معادله‌های ناویر استوکس و معادله‌های انتقال و انتشار برای حمل رسوب با الگوریتم سیمپل[1] و با استفاده از روش حجم کنترل حل می شوند. مدل‌های آشفتگی مورد استفاده در این نرم افزار، مدل آشفتگی کا-اپسیلون استاندارد، مدل آشفتگی کا- اپسیلون[2] با بسط آر ان جی[3]، مدل آشفتگی کا-اپسیلون محلی مبنی بر سرعت آب، مدل آشفتگی کا-امگا[4] با قوانین دیواره Wilcox's و مدل آشفتگی کا-امگا با قوانین دیواره کا-اپسیلون می باشد. تحلیل جریان در حالت ماندگار صورت گرفته و از الگوریتم سیمپل برای کوپل سرعت و فشار استفاده شده است. روش گسسته‌سازی معادله‌های مومنتوم، افت و انرژی جنبشی آشفتگی و تنشهای رینولدز روش پیشرو مرتبه دوم و روش گسسته‌سازی معادله فشار،روش استاندارد می‌باشد. نرم‌افزار مورد استفاده در این تحقیق، نرم افزار SSIIM2 نسخه1.0.0.1 تحت ویندوز می‌باشد (اولسن[5]، ۲۰۰۶).

معادله‌های حاکم برحرکت سیال عبارتند از معادله پیوستگی و معادله مومنتوم که برای جریان آشفته تراکم‌ناپذیر در یک هندسه سه بعدی توسط معادله های ناویر استوکس[6] به ترتیب روابط (۱) و (۲) برای محاسبه متغیرهای جریان استفاده می‌شوند:

$$\frac{\overline{\partial ui}}{\partial xi} = 0 \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial \overline{Ui}}{\partial t} + (\overline{Uj})\frac{\partial \overline{Ui}}{\partial xj} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P}}{\partial xi} + g_{xi} + \frac{\partial}{\partial xj}[\nu \frac{\partial \overline{Ui}}{\partial xj} - \overline{U'_I U'_J}] \qquad (۲)$$

در روابط فوق، $\rho\bar{u}_i\bar{u}_j$: تنش رینولدز،U : سرعت جریان، t: زمان لا: ویسکوزیته مولکولی، P: فشار، ρ: چگالی سیال و δij: دلتای کرونکر[7] می‌باشند.

در مدل SSIIM2 رسوب به دو بخش بار معلق و بار بستر تقسیم می شود. برای محاسبه بار معلق از معادله انتقال–پخش به شرح ذیل استفاده می‌گردد (اولسن، ۱۹۹۰):

$$\frac{\partial c}{\partial t} + Uj\frac{\partial c}{\partial Xi} + \omega\frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial c}{\partial Xj}(\Gamma\frac{\partial c}{\partial Xj}) \qquad (۳)$$

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

برای بار بستر، ون دورن (۱۹۵۳)، رابطه ای را برای غلظت تعادلی رسوب در مجاورت بستر توسعه داد که در این نرم‌افزار استفاده می‌شود (ون دورن[8]، ۱۹۵۳):

$$c_{bed} = 0.015\frac{d^{0.3}}{a}\frac{\left[\frac{\tau-\tau_C}{t_C}\right]^{1.5}}{\left[\frac{(\rho_S-\rho_W)g}{\rho_W \nu^2}\right]^{0.1}} \qquad (۴)$$

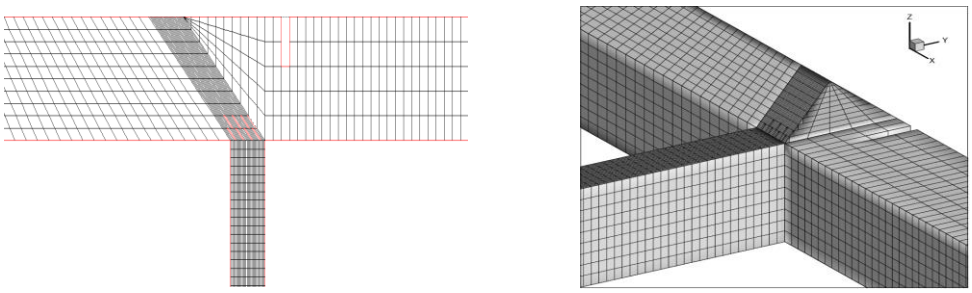
در رابطه (۴)، d قطر ذرات رسوب، a تراز مبنا برای ارتفاع زبری، τ تنش برشی بستر، τ_c تنش برشی بحرانی، ρ_w و ρ_s چگالی آب و رسوب و ν ویسکوزیته آب می‌باشد (اولسن، ۲۰۰۶).

نتایج و بحث

بررسی عددی کنترل رسوب با استفاده از مدل آزمایشگاهی گوهری و همکاران (۱۳۸۸)

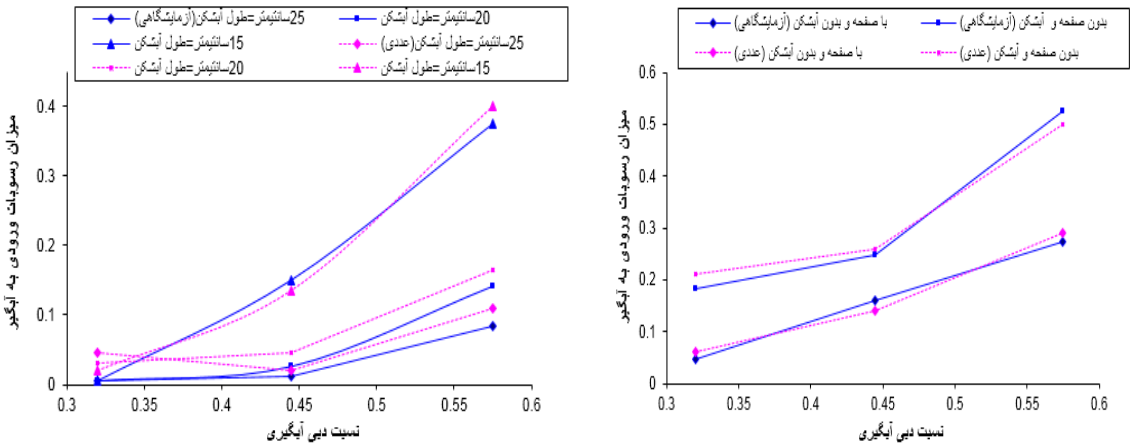
در مطالعه آزمایشگاهی گوهری و همکاران (۱۳۸۸) طول کانال اصلی ۱۸ متر، عرض و عمق آن یک متر می باشد. آبگیری توسط کانال جانبی به عرض ۰/۴ متر و طول ۲ متر که در۱۱/۲ متری پایین دست ورودی کانال اصلی و با زاویه ۹۰ درجه نسبت به آن قرار دارد انجام شده است. دبی جریان ورودی ثابت و برابر ۰/۰۵۶ متر مکعب بر ثانیه، قطر ذره رسوب یک میلی‌متر، شیب کانال ۰/۰۰۲، مدت زمان آزمایش چهار ساعت، چگالی ذرات رسوبی برابر ۲/۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب و عمق رسوبات در کلیه آزمایش‌ها ثابت و برابر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین دو ردیف صفحات مستغرق موازی با دیواره کانال اصلی در مقابل دهانه آبگیر در نظر گرفته شد. فاصله طولی صفحات از هم (δ_s) ۲۴ سانتی‌متر ، فاصله عرضی آنها (δ_n) ۹ سانتی‌متر و زاویه صفحات(β) ۴۵ درجه می‌باشد. آب‌شکن‌ها در سه طول، سه زاویه و سه فاصله از آبگیر به‌کار رفته که طول آب‌شکن‌های (L_D) به‌کار رفته ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر بوده است. آب‌شکن در سه موقعیت مختلف مقابل آبگیر، ۴۰ سانتی‌متر بالاتر از آبگیر (L_I) و ۸۰ سانتی‌متر بالاتر از آبگیر ($2L_I$) به‌کار رفته که زوایای به‌کار رفته برای آب‌شکن ۴۵ درجه، ۹۰ درجه و ۱۳۵ درجه بوده است. مشخصات هندسی فلوم آزمایشگاهی در شکل (۲) نشان داده شده است (گوهری و همکاران، ۱۳۸۸).

1-SIMPLE.
2- K-ε.
3- RNG.
4- K-ω.
5- Olsen.
6- Navier–Stokes equations.
7- Kronecker delta.
8- Van Dorn.



(الف) (ب)

شکل ۳- شبکه‌بندی میدان محاسباتی در محدوده آبگیر در دو حالت (الف پلان و ب) نمای سه‌بعدی



(الف) (ب)

شکل ٤- تأثیر الف) طول آب‌شکن و ب) صفحات مستغرق بر میزان رسوب ورودی به آبگیر

شبکه‌بندی و شرایط مرزی میدان محاسباتی

در این مطالعه، در ورودی کانال اصلی از شرط مرزی سرعت معین استفاده شده است و مقدار سرعت میانگین به عنوان سرعت ورودی اعمال گردیده است. برای مرزهای خروجی میدان(خروجی آبگیر و کانال اصلی)، از شرط مرزی جریان خروجی (گرادیان صفر) استفاده شده است. شرط مرزی دیواره برای مرزهای صلب میدان اعمال شده و دیواره‌ها از لحاظ هیدرولیکی صاف در نظر گرفته شده اند. همچنین یکی از پارامترهای مهم در سرعت اجرای مدل، شبکه‌بندی مناسب منطقه‌ای می‌باشد که جریان در آن برقرار است. در این مدل‌سازی، پس از امتحان مقادیر مختلف و تست حساسیت نسبت به ابعاد شبکه مورد نظر، ابعاد سلول‌های شبکه کانال اصلی در قبل و بعد از آبگیر به در راستای x، y و z به ترتیب ۱۰×۱۰×۱۲ و ۱۰×۲۰×۹ سانتی‌متر، در محدوده آبگیر ۱۰×۱۰×۲ سانتی‌متر و ابعاد سلول‌های شبکه کانال آبگیر ۱۰×۷×۲ سانتی‌متر به عنوان شبکه بهینه انتخاب شد. لازم به ذکر است که شبکه بندی کوچک‌تر تاثیر بسیار کمی بر روی نتایج داشته است و به همین دلیل این شبکه‌بندی به عنوان شبکه بهینه انتخاب گردید. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می شود، صفحات مستغرق و آب‌شکن در مدل عددی به عنوان یک بلوک جامد[1] در نظر گرفته شده اند. فاصله اولین گره از کف برابر ۷/۵ سانتی‌متر می‌باشد. شکل(۳)، پلان و نمای سه‌بعدی شبکه‌بندی میدان محاسباتی را در آبگیر ۹۰ درجه نشان می دهد.

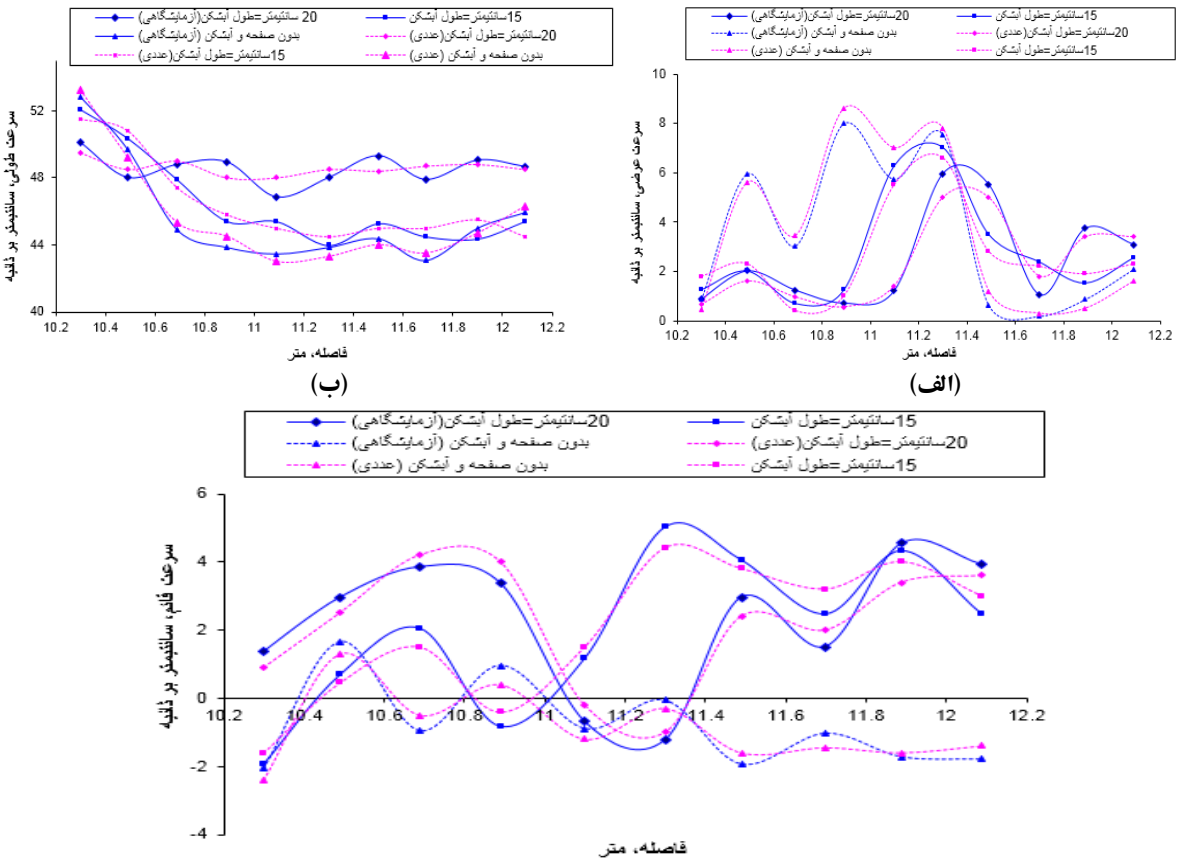
مقایسه نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی

ابتدا تأثیر طول‌های مختلف آب‌شکن (L_D) به ازای نسبت‌های مختلف دبی آبگیری (q_r) در حالت استفاده از آب‌شکن بدون صفحه مستغرق، با صفحه و بدون استفاده از آب‌شکن و همچنین بدون استفاده از صفحه و آب‌شکن بر میزان رسوبات ورودی به آبگیر جانبی (gr) مورد بررسی قرار گرفت. سرعت متوسط جریان در کانال اصلی ۰/۵ متر بر ثانیه و سرعت متوسط جریان برای آستانه حرکت ذرات ۰/۳۸ متر بر ثانیه با توجه به نمودار شیلدز می‌باشد. شکل (۴)، تأثیر طول های مختلف آب‌شکن ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و حالت‌های مختلف وجود و عدم وجود صفحات مستغرق را بر میزان رسوبات ورودی به آبگیر به ازای نسبت های مختلف دبی آبگیری ۰/۳۲، ۰/۴۵ و ۰/۵۷ نشان می‌دهد.

1- Solid

همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می شود با افزایش طول آب‌شکن مقدار ورود رسوبات به آبگیر کاهش می‌یابد. هنگامی که طول آب‌شکن ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد، تأثیر آن در میزان رسوب ورودی کمتر است زیرا در این حالت به دلیل کوتاه بودن طول آب شکن و آبشستگی موضعی کنار آب‌شکن تأثیر آب‌شکن بر عملکرد آبگیر جانبی زیاد محسوس نیست. با افزایش نسبت دبی انحرافی از ۰/۴۵ به ۰/۵۷، مقدار رسوبات ورودی به آبگیر جریان بیشتر می‌شود. در شکل (۵) متوسط سرعت های طولی (U)، عرضی (V) و عمقی جریان (W) در کانال اصلی و در محدوده آبگیر به ازای نسبت دبی ۰/۳۲ نشان داده شده است. سرعت جریان در ۰/۶ عمق جریان (مطابق مطالعه آزمایشگاهی) و در امتداد خط مرکزی عرض کانال برداشت شده است.

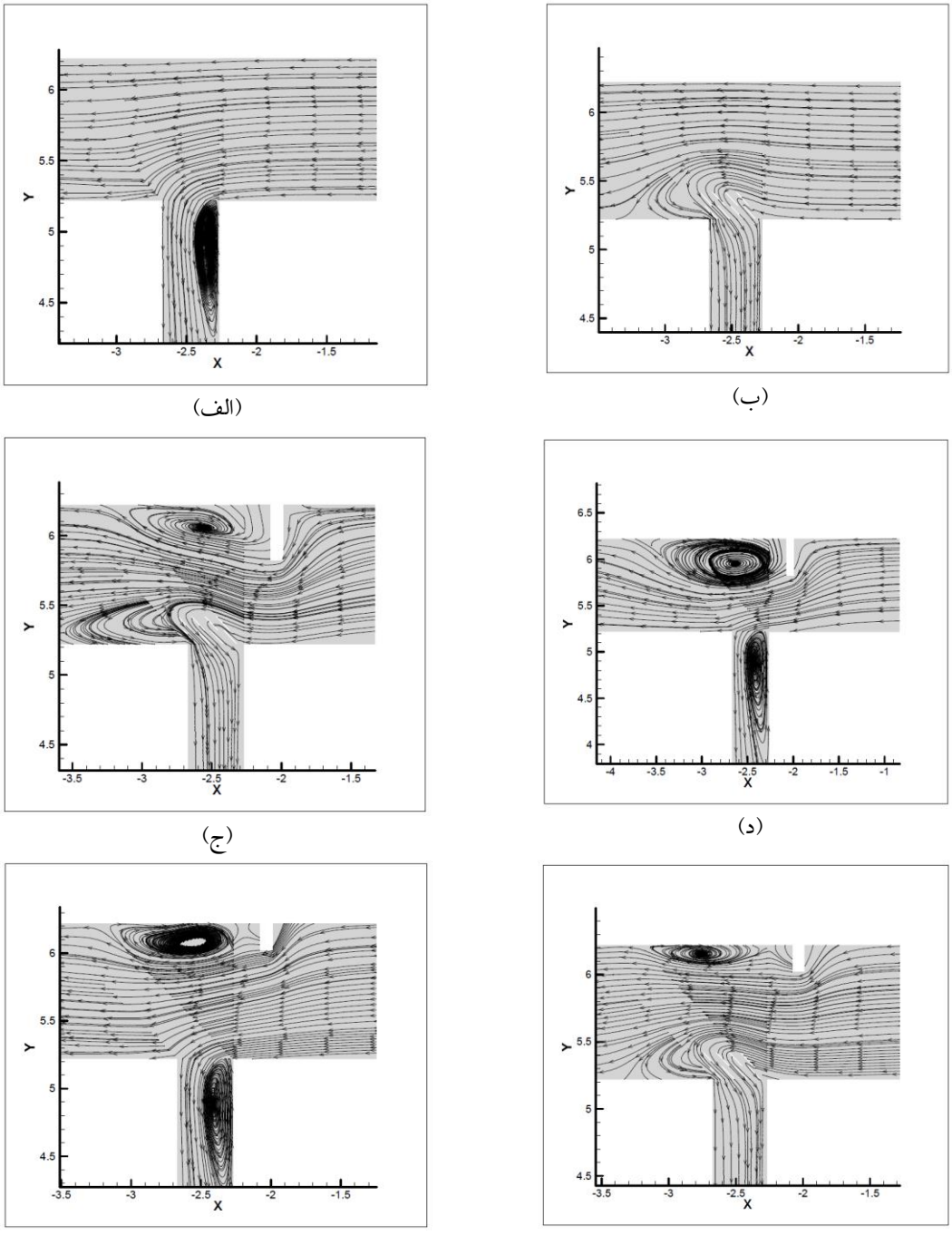
با توجه به شکل (۵)، با افزایش آب‌شکن متوسط سرعت طولی و عمقی جریان افزایش یافته در حالی که در حالت عدم استفاده از آب‌شکن و صفحات مستغرق متوسط سرعت طولی و عمقی کاهش می یابد و مقدار سرعت عمقی به مقدار منفی می رسد. همچنین با افزایش طول آب‌شکن و کاهش نسبی سرعت عرضی جریان و افزایش متوسط سرعت طولی و عمقی از ورود رسوبات به آبگیر تا حدودی کاسته می شود. کاهش نسبی سرعت عرضی باعث کاهش ایجاد جریان ثانویه در محل آبگیر شده و از ورود رسوبات به آبگیر می کاهد. شکل (۶)، خطوط جریان رسم شده در محدوده آبگیر در حالت‌های متعدد با توجه به حضور و یا عدم حضور صفحه و آب‌شکن را در طول‌های مختلف آب‌شکن ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متر، نسبت ثابت دبی آبگیری ۰/۳۲ و زاویه ۹۰ درجه را در نزدیکی سطح آب نشان می دهد. با توجه به شکل (۶)، در حالت بدون استفاده از آب‌شکن و صفحات مستغرق (الف)، ناحیه چرخشی جریان در دهانه آبگیر اتفاق می‌افتد در حالی‌که با قرارگیری صفحات مستغرق (ب) همان‌طورکه مشاهده می‌گردد هیچ چرخشی مشاهده نمی‌شود. در حالتی‌که آب‌شکن و صفحات مستغرق تواماً مورد استفاده قرار گیرند، فقط یک ناحیه چرخشی پایین‌دست آب‌شکن ایجاد می‌گردد و به‌دلیل وجود دو ردیف صفحات مستغرق در مقابل دهانه آبگیر، در این قسمت چرخشی به وجود نمی‌آید. حال اگر صفحات مستغرق را برداشته و فقط از آب‌شکن استفاده نماییم، دو ناحیه چرخشی یکی در پایین‌دست و دیگری در دهانه آبگیر را مشاهده خواهیم کرد. همچنین با افزایش طول آب‌شکن، ابعاد ناحیه چرخشی جریان به وجود آمده در پشت آب‌شکن و در دهانه آبگیر نیز افزایش می‌یابد.



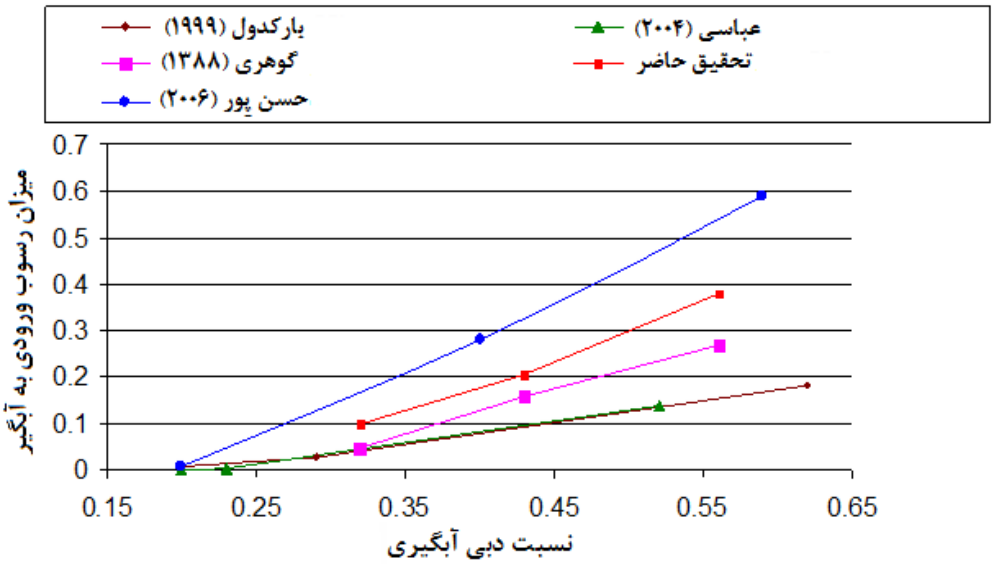
(ب) (الف)

(ج)

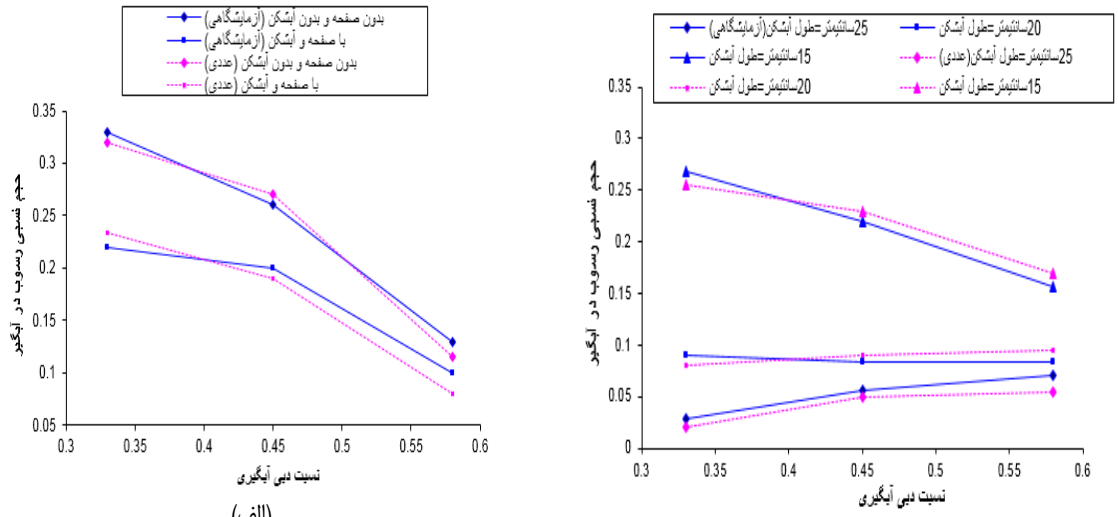
شکل ۵- تغییرات سرعت متوسط، الف) طولی، ب) عرضی، ج) عمقی در مقابل آبگیر در حضور آب‌شکن (α=90، $(L_I=40cm، qr=0.3$



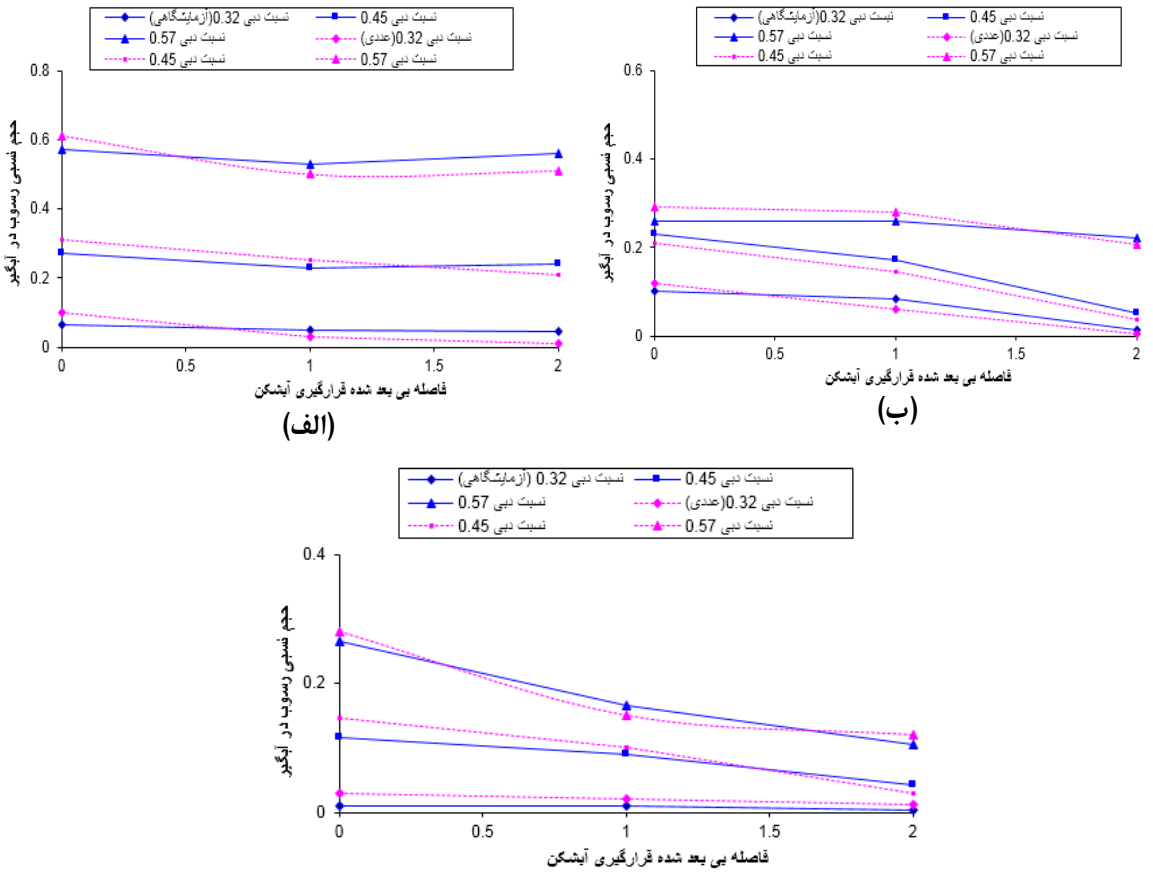
شکل ٦-خطوط جریان رسم شده در محدوده آبگیر در حالت الف) عدم استفاده از صفحه و آب‌شکن ، ب) با صفحه بدون آب‌شکن ، ج) طول آب‌شکن ۲۵ سانتی‌متر و با صفحه، د) طول آب‌شکن ۲۵ سانتی‌متر و بدون صفحه، ذ) طول آب‌شکن ۱۵ سانتی‌متر و بدون صفحه و ر) طول آب‌شکن ۱۵ سانتی‌متر و با صفحه



شکل ۷- مقایسه تغییرات نسبت انحراف رسوب با نسبت انحراف جریان در تحقیق حاضر با سایر محققان



شکل ۸ -تغییرات متوسط حجم نسبی رسوب در آبگیر در حالت الف) قرارگیری صفحه و آب‌شکن و به ازای ج) طول‌های مختلف آب‌شکن



شکل ۹- تأثیر فاصله آب‌شکن بر نسبت رسوب ورودی به آبگیر برای طول‌های آب‌شکن الف) ۱۵سانتی‌متر، ب) ۲۰ سانتی‌متر و ج) ۲۵ سانتی‌متر

کارآیی صفحات مستغرق بدون آب‌شکن در کنترل رسوب با نتایج سایر محققان نیز در شکل (۷) مقایسه شده است. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود روند کلی تغییرات رسوبی خروجی از آبگیر با افزایش دبی آبگیری یکسان است. بخشی از رسوبات وارد شده از کانال اصلی به داخل آبگیر در داخل آن انباشته می‌شوند. حجم این رسوبات در ارتباط با سرعت جریان در داخل آبگیر و یا نسبت آبگیری متغیر می‌باشد. با نسبت انحراف کم جریان (q_r=0.32)، تنش بستر در داخل آبگیر از آستانه حرکت ذرات پایین‌تر بوده و مقداری از رسوبات در داخل آبگیر انباشته می‌شوند. در دبی آبگیری بالا (q_r=0.57) هر چند مقدار ورود رسوبات به آبگیر نیز افزایش پیدا می‌کند ولی نشست رسوبات در داخل آبگیر کاهش می‌یابد.

در شکل (۸)، روند تغییرات حجم نسبی رسوب انباشته شده در آبگیر(V_r)، برای طول‌های مختلف آب‌شکن با نسبت دبی انحراف و طول مختلف آب‌شکن نشان داده شده است. V_r حجم رسوبات ته‌نشین شده داخل آبگیر به حجم رسوبات منتقل شده به ابتدای کانال اصلی می باشد.

میزان رسوب ورودی به آبگیر

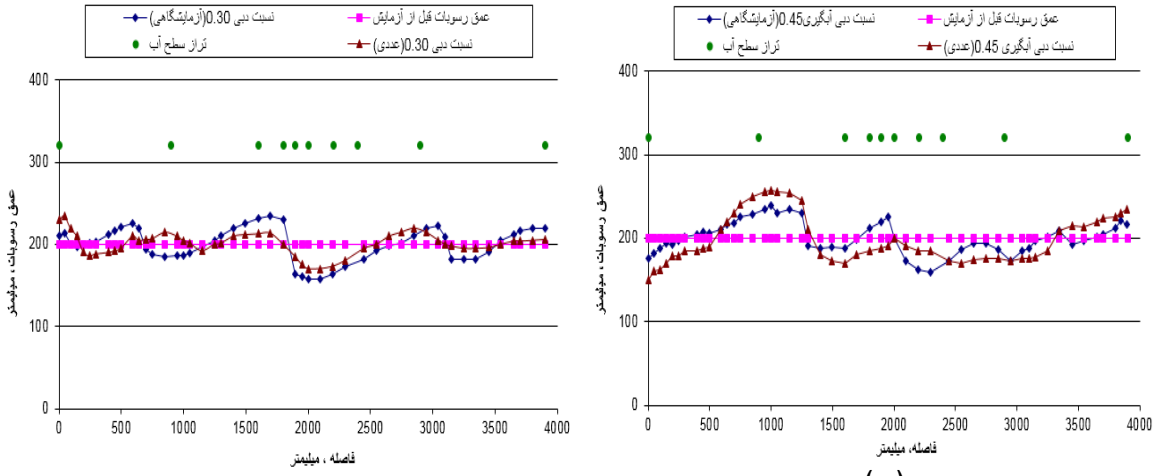
همان‌طور که در شکل (۸) دیده می‌شود در سه حالت بدون سازه، استفاده از صفحات به تنهایی و استفاده از آب‌شکن با طول ۱۵ سانتی‌متر در دبی انحرافی ۳۲ درصد مقدار انباشت رسوبات در داخل آبگیر به شدت افزایش می‌یابد که خطر مسدود شدن آبگیر را به دنبال دارد. با افزایش مقدار دبی انحرافی سرعت جریان در داخل آبگیر نیز افزایش می‌یابد که باعث انتقال رسوبات به پایین دست آبگیر شده و از انباشت رسوبات در داخل آبگیر جلوگیری می‌کند. اما در حالتی که از آب‌شکن با طول ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر در مقابل آبگیر استفاده شده است. در نسبت‌های آبگیری کم نیز مقدار انباشت رسوبات در داخل آبگیر کاهش می‌یابد و خطر مسدود شدن آبگیر از بین می‌رود.

تأثیر کم آب‌شکن با طول ۱۵ سانتی‌متر در کاهش حجم رسوبات انباشت شده در آبگیر نشان می‌دهد که برای کاهش حجم نسبی رسوب در آبگیر باید طول آب‌شکن افزایش یابد. در نسبت آبگیری ۰/۵۷ نیز با افزایش طول آب‌شکن مقدار انباشت رسوبات در داخل آبگیر کاهش یافته که نشان می‌دهد با افزایش طول آب شکن مقدار سرعت جریان در آبگیر بیشتر شده و انباشت رسوبات

به آبگیر نیز کاهش می‌یابد. در شکل (۹)، تأثیر فاصله قرارگیری آب‌شکن از آبگیر(L_I) بر نسبت رسوب ورودی به آبگیر (g_r) در طول‌های مختلف آب‌شکن ۱۵ سانتی‌متر (الف)، ۲۰ سانتی‌متر (ب) و ۲۵ سانتی‌متر (پ) مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم با نصب آب‌شکن در مقابل آبگیر مقدار رسوبات ورودی به آبگیر کاهش یافته است. این امر به‌دلیل افزایش سرعت طولی در مقابل جریان است (شکل ۵). با افزایش سرعت طولی در کانال اصلی، نسبت دبی آبگیری و بالتبع ورود رسوبات به داخل آبگیر کاهش می یابد. مطابق نتایج آزمایشگاهی حاصله توسط گوهری و همکاران (۱۳۸۸)، با نصب آب‌شکن در ساحل مقابل و بالاتر از آبگیر، سرعت طولی جریان افزایش می‌یابد و همزمان با عملکرد صفحات از ورود رسوبات به داخل آبگیر جلوگیری به عمل می آید. با نصب آب‌شکن در بالاتر از آبگیر (به سمت ورودی کانال اصلی) سطح رسوبات در مقابل آبگیر به‌دلیل افزایش سرعت جریان، پایین تر می‌رود و با این عمل، آستانه ای در مقابل آبگیر ایجاد می‌شود که مانع ورود رسوبات به داخل آبگیر خواهد شد. قسمت عمده رسوبات ورودی به داخل آبگیر از ناحیه یک سوم پایین‌دست دهانه آبگیر به داخل آبگیر وارد می‌شوند. زاویه قرارگیری صفحات مستغرق (β)، مطابق مطالعه آزمایشگاهی ۴۵ درجه در نظر گرفته شده است.

شکل (۱۰) پروفیل بار بستر را پس از رسیدن به تعادل نسبی در دو حالت آزمایشگاهی و عددی نشان می‌دهد. هر نقطه در این نمودار متوسط ۸ نقطه عرضی را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل به خوبی روشن است که متوسط تراز بستر پس از رسیدن به تعادل با تغییر دبی آبگیری نیز تقریباً ثابت مانده است. با توجه به این نمودار مجموع رسوبات وارد شده محدوده آبگیر و رسوبات خارج شده از محدوده آبگیر تقریباً ثابت است.

با توجه به شکل (۱۰)، متوسط عمق رسوبات ته‌نشین شده در بستر در حالت آزمایشگاهی به ازای نسبت‌های دبی آبگیری ۰/۳۲ و ۰/۴۵ به ترتیب برابر ۱۹۹/۲ و ۲۰۲ میلی‌متر در حالی که این مقادیر در حالت عددی به ترتیب برابر ۲۰۳/۶ و ۱۹۹/۸ میلی‌متر بدست آمد. عمق رسوبات قبل از کلیه آزمایش ها برابر ۲۰۰ میلی متر بوده است. حداقل، میانگین و حداکثر درصد خطای حاصل از مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی ناشی از پروفیل بار بستر به ازای نسبت دبی آبگیری ۰/۳۲ به ترتیب ۱/۴۴، ۵/۷۳ و ۱۰/۲۵ درصد و به ازای نسبت دبی آبگیری ۰/۴۵ به ترتیب برابر ۱/۰۵، ۷/۲۱ و ۱۴/۳۳ درصد می‌باشند.



(الف) (ب)

شکل ۱۰- پروفیل بار بستر قبل از شروع آزمایش‌ها و پس از رسیدن به تعادل به ازای نسبت‌های دبی آبگیری الف) ۰/۳۲ و ب) ۰/۴۵

نتیجه‌گیری

در این مطالعه جهت بررسی عددی تأثیر صفحات مستغرق، طول آب‌شکن و فاصله آن از مقابل دهانه آبگیر به ازای نسبت‌های مختلف دبی آبگیری بر میزان رسوب ورودی به آبگیر جانبی، مدل آزمایشگاهی گوهری و همکاران (۱۳۸۸) شبیه‌سازی گردید. سپس مقادیر عددی حاصله از نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی محققین مذکور (۱۳۸۸) مقایسه و انطباق خوبی بین نتایج دیده شد. در مجموع نتایج حاصله برای جریان‌هایی با شرایط اعمال شده در این تحقیق عبارتند از:

– با افزایش نسبت دبی آبگیری، مقدار رسوبات ورودی به آبگیر به‌دلیل افزایش سرعت در آبگیر در حین ثابت بودن عمق جریان و افزایش شدت حمل رسوبات در کانال آبگیر، بیشتر می‌شود. همچنین در نسبت دبی انحرافی ۰/۵۷، با افزایش سرعت در آبگیر عمده رسوبات ورودی به آبگیر، به پایین دست آبگیر منتقل شده و امکان ته نشینی رسوب کمتری در دهانه کانال آبگیر دارند.

– با افزایش طول آب‌شکن متوسط سرعت طولی و عمقی جریان افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش طول آب‌شکن و کاهش متوسط سرعت عرضی جریان و تقویت سرعت طولی جریان در مقابل آبگیر، ابعاد ناحیه چرخشی جریان به وجود آمده در پشت آب شکن و در دهانه آبگیر نیز افزایش یافته و از ورود رسوبات به آبگیر تا حدودی کاسته می‌شود. بنابراین افزایش ناحیه چرخشی در آبگیر باعث هجوم بیشتر رسوبات می شود.

– در حالتی که از آب‌شکن با طول ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر در مقابل آبگیر استفاده شود، در نسبت‌های کم دبی آبگیری نیز مقدار تجمع رسوبات در داخل آبگیر کاهش یافته و خطر مسدود شدن آبگیر از بین می‌رود. تأثیر ناچیز آب‌شکن با طول ۱۵ سانتی‌متر در کاهش حجم رسوبات انباشت شده در آبگیر نشان می‌دهد که برای کاهش حجم نسبی رسوب در آبگیر باید طول آب‌شکن افزایش یابد.

– با نصب آب‌شکن در بالاتر از آبگیر (به سمت ورودی کانال اصلی) سطح رسوبات در مقابل آبگیر به دلیل افزایش سرعت جریان، پایین تر می‌رود و با این عمل، آستانه ای در مقابل آبگیر ایجاد می‌شود که مانع ورود رسوبات به داخل آبگیر خواهد شد. قسمت عمده رسوبات ورودی به داخل آبگیر از ناحیه یک سوم پایین‌دست دهانه آبگیر به داخل آبگیر وارد می‌شوند.

– متوسط تراز بستر پس از رسیدن به تعادل با تغییر دبی آبگیری نیز تقریباً ثابت مانده و مجموع رسوبات وارد شده محدوده آبگیر و رسوبات خارج شده از محدوده آبگیر تقریباً ثابت است.

منابع

۱- الیاسی، س. اختری،ع.ا. و سیداشرف،ا ۱۳۹۴. بررسی عددی تاثیر شکل آب‌شکن مستغرق بر الگوی جریان در کانال های مستقیم. نشریه منابع آب و توسعه. ۳ (۱): ۷۸-۹۶.

۲- حسن پور،ف. ۱۳۸۵. عملکرد آبگیرهای جانبی با صفحات مستغرق مرکب گردابی. پایان نامه دکتری هیدرولیک مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس تهران. صفحه ۲۲۷.

۳- حسین زاده تبریزی،ح. و واقفی،م.۱۳۹۳. تاثیر عدد فرود جریان بر الگوی جریان و آبشستگی اطراف آب‌شکن های سری در مسیر مستقیم در حالت مستغرق و غیرمستغرق. فصلنامه مهندسی عمران مدرس تهران. ۱۴ (۳): ۷۱-۸۲.

۴- سلیمانی اسبوئی،ح.ر. ۱۳۷۵. ارزیابی اثرات صفحات مستغرق بر مورفولوژی بستر رودخانه ها. پایان نامه کارشناسی ارشد. مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران. صفحه ۱۷۵.

۵- شاکر،ا. و کاشفی پور،س.م.۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی توزیع سرعت و تنش برشی جریان در قوس ۹۰ درجه همراه و بدون وجود سری آب‌شکن ها. فصلنامه دانش آب و خاک تبریز. ۲۴(۳): ۵۵-۶۸.

۶- عباسی، ع.ا. و ملک نژاد یزدی،م.۱۳۹۳. مطالعه آزمایشگاهی تاثیر طول، فاصله و شکل آب‌شکن های T شکل و L شکل نفوذپذیر بر عمق آبشستگی اطراف آنها. دو ماهنامه پژوهش های حفاظت آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۲۱(۴): ۲۳۱-۲۴۶.

۷- عباسی،ا.ا.، ۱۳۸۳. مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی. پایان نامه دکتری مهندسی هیدرولیک. دانشگاه تربیت مدرس تهران. صفحه ۱۹۲.

۸- غیاث آبادی،م. ۱۳۸۴. آنالیز عددی جریان پشت صفحات مستغرق با مدل k-ε . پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۹- قلانی،ا. ۱۳۷۷. بررسی آزمایشگاهی تاثیر زاویه صفحات مستغرق بر عملکرد آبگیر جانبی. پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس تهران. صفحه ۱۲۳.

۱۰- گوهری، س. ایوب زاده،س.ع. قدسیان،م و صالحی نیشابوری،س.ع ۱۳۸۸. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر صفحات مستغرق و آب‌شکن در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۶(۲): ۳۵-۵۹.

۱۱- واقفی،م. و رادان،پ ۱۳۹۳. مطالعه عددی آبشستگی و الگوی جریان در نهر قوسی ۹۰ درجه با وجود آب‌شکنT شکل با تغییر در شعاع انحنای قوس. فصلنامه مهندسی منابع آب مرودشت. ۲۳(۷): ۳۷-۵۱.

۱۲- واقفی،م. قدسیان،م. سلیمانی،ب. و اکبری،م ۱۳۹۳. بررسی عددی تأثیر شعاع انحنای قوس بر الگوی جریان پیرامون آب‌شکنT شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر صلب. فصلنامه مهندسی منابع آب مرودشت.۲۳(۷): ۵۱-۶۲.

13- Barkdoll, B.D. Ettema, R.O.1999. Sediment Control at Lateral Diversions: Limits and enhancements to vane use. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE,129(2): 83-87.

14- Emam, A. 1995. Investigating of submerged vane array on rivers behavior. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 124 (14): 5. 542-545.

15- Johnson, P.A. Hey, R.D. Tessier, M., and Rosgen, D.L. 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 127: 9. 772-778.

16- Kuhnle, R.A., Alonso, C.V., and Shields, F.D.Jr. 1999. Geometry of scour holes associated with 90° spur dikes. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125: 9. 972-978.

17- Marelius, F., and Sinha, S.K. 1998, Experimental investigations on flow past submerged vanes. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 124: 5. 542-545.

18- Olsen, N. R. B. 1990. A numerical model for simulation of sediment movements in water intakes . Dr. Ing. Dissertation, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim.

19- Olsen, N.B.R. 2006. A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movements in water intakes with moltiblock option. Department of Hydraulic and Environmental Engineering, the Norwegian University of Science and Technology.

20- Sajedi Sabegh, M., and Habibi, M. 2003. Laboratory investigation of using submerged vane and dikes on efficiency of intakes. P 35-42. Proceeding of 4th Hydraulic Conference.

21- Van Dorn, W. 1953 .Wind stress on an artificial pond. Journal of Marine Research, Vol 12, No 3, 249-276.