

تغییرات فاصله خط تقسیم جریان از دیواره خارجی قوس با تغییر پارامترهای آبگیر و آبراهه اصلی

معصومه رستم آبادی^۱، سید علی اکبر صالحی نیشابوری^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۳

چکیده

آبگیری از رودخانه به منظور کشاورزی، آبرسانی و ... به کار می‌رود. آبگیری بدون بند انحرافی منجر به نشست رسوبات در پایین دست آبگیر در رودخانه اصلی می‌شود. فاصله خط تقسیم جریان انحرافی از دیواره آبگیر بر مقدار رسوب ورودی به آن تأثیرگذار است. هر عاملی که منجر به کاهش فاصله خط تقسیم جریان ورودی به آبگیر در کف آبراهه اصلی شود، باعث کاهش رسوب وارد شده به آبگیر خواهد شد. پارامترهای هندسی و هیدرولیکی آبگیر و آبراهه اصلی بر فاصله خط تقسیم جریان در آبگیری از قوس مؤثرند. در پژوهش حاضر تأثیر پارامترهای عرض و موقعیت آبگیر، زاویه آبگیری و ارتفاع آستانه (هر یک در چهار سطح تغییر) بر فاصله خط تقسیم جریان از دیواره خارجی آبراهه قوسی، با استفاده از مدل عددی *SSIM* بررسی شده است. برای قوس سه زاویه مرکزی ۵۰، ۱۱۰ و ۱۷۰ درجه و سه عدد فرود ۰/۲۸۸، ۰/۳۰۵ و ۰/۳۲۲ و برای آبگیر جانبی سه دبی آبگیری نسبی ۱۰، ۱۸ و ۲۵ درصد در نظر گرفته شده است. روش تاگوچی در طراحی مطالعات به کار رفته است. نتایج نشان داد تغییر عرض و موقعیت آبگیر، زاویه آبگیری و ارتفاع آستانه تأثیر بسیار کمی بر تغییرات فاصله خط تقسیم جریان از دیواره خارجی دارد، اما تغییرات فاصله خط تقسیم جریان نسبت به دبی نسبی آبگیری صعودی و تقریباً خطی است. همچنین در قوس با زاویه مرکزی ثابت، تغییر عدد فرود تأثیر بسیار کمی بر نسبت فاصله خط تقسیم جریان دارد. همچنین عرض مجرای جریان در سطح ۰/۹ تا ۱/۲۵ برابر عرض مجرای جریان در کف تعیین شد.

کلمات کلیدی: آبگیر، خط تقسیم، قوس رودخانه، *SSIM2*.

^۱*استادیار، گروه عمران، واحد بوئین زهرا، دانشگاه آزاد اسلامی، بوئین زهرا، ایران. تلفن: ۰۹۱۲۶۱۵۰۱۹۳. Rostamimass@yahoo.com

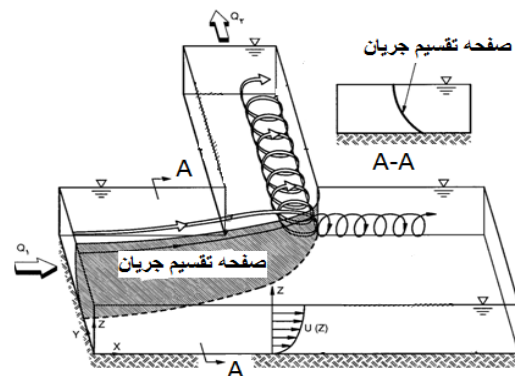
Rostamabadi@buniau.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۲ استاد هیدرولیک، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس ۰۲۱-۸۲۸۸۳۳۱۶-۸۲۸۸۳۳۱۶. Salehi@modares.ac.ir

مقدمه

Esmaeili, Ramammurthy et al. (2007), (۱۳۸۲) Karami Moghadam, et al. (2009, 2011) al. (2011) و سیدیان و شفاعی بجستان، (۱۳۹۰) صورت گرفته است. با توجه به سازوکار متفاوت الگوی جریان در آبیگری از مسیرهای مستقیم نسبت به مسیرهای قوسی شکل، نتایج مطالعات مذکور نمی‌توانند به صورت مستقیم برای آبیگری از قوس به کار گرفته شوند. وجود جریان ثانویه در قوس، به هدایت جریان سطحی به سمت دیواره خارجی قوس و لایه تحتانی جریان به سمت دیواره داخلی قوس می‌انجامد، لذا مرز تقسیم جریان در سطح، فاصله بیشتری از لبه خارجی نسبت به کف دارد. بنابراین انحراف جریان از لایه‌های سطحی بیشتر از لایه‌های نزدیک کف می‌باشد. ورود رسوب به آبیگر به مقدار فاصله خط تقسیم جریان از لبه خارجی قوس در محل آبیگر بستگی دارد، همچنین پارامترهای هندسی و هیدرولیکی آبیگر و آبراهه اصلی بر فاصله خط تقسیم جریان از لبه خارجی قوس تأثیرگذارند. مطالعاتی در زمینه الگوی جریان در آبیگری از قوس انجام شده است که می‌توان به مطالعات پیرستانی (۱۳۸۳)، صفرزاده (۱۳۸۴)، ابوالقاسمی (۱۳۸۵)، دهقانی (۱۳۸۵)، آسیایی و منتصری (۱۳۹۴) اشاره نمود. در هیچ یک از مطالعات مذکور، تأثیر همزمان پارامترهای هندسی و هیدرولیکی آبیگر و آبراهه اصلی بر فاصله خط تقسیم جریان از لبه خارجی قوس به صورت کمی انجام نشده است، لذا در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر پارامترهای مذکور بر فاصله خط تقسیم جریان پرداخته شده است. بدین منظور در قوس با سه زاویه مرکزی متفاوت و سه عدد فرود مختلف، آبیگر جانبی با سه دبی آبیگری نصب شده و در هر یک از مراحل آزمون با اعمال تغییر در پارامترهای عرض آبیگر، موقعیت آبیگر، زاویه آبیگری و ارتفاع آستانه، به بررسی تغییرات فاصله خط تقسیم جریان از لبه خارجی قوس پرداخته شده است. در پژوهش حاضر از مدل‌سازی عددی استفاده شده است. به منظور کاربردی نمودن نتایج پژوهش حاضر، از ابعاد هندسی و ویژگی‌های هیدرولیکی نزدیک به شرایط طبیعی استفاده شده است. همچنین با توجه به کثرت

انحراف آب از مسیر اصلی آن برای مقاصد مختلف از جمله تامین آب کشاورزی، شرب و صنعتی به کمک آبیگرها صورت می‌گیرد. چنانچه شرایط توپوگرافی و میزان نیاز آبی و شرایط ریخت شناسی اجازه دهد، می‌توان آب را به صورت ثقلی منتقل نمود. آبیگری به صورت ثقلی با دو روش بدون بند انحرافی و استفاده از بند انحرافی انجام می‌گیرد. در صورتی که دبی انحرافی کمتر از 0.25 د. بی آبراهه اصلی باشد و عمق جریان بیشتر از 1 تا $1/5$ متر باشد، می‌توان از آبیگر بدون بند انحرافی استفاده نمود (Raudkivi, 1993). انحراف جریان رودخانه بدون بند انحرافی منجر به کاهش قدرت حمل رسوب رودخانه از ورودی آبیگر به بعد، و رسوبگذاری در رودخانه اصلی می‌شود (Razvan, 1989). در شکل (۱) طرح شماتیک الگوی جریان در آبیگری از مسیر مستقیم نشان داده شده است. صفحه تقسیم جریان نشان داده شده در شکل (۱) ناحیه‌ای برشی است که مرز بین جریان منحرف شده به سمت آبیگر و جریان باقی مانده در آبراهه اصلی است.

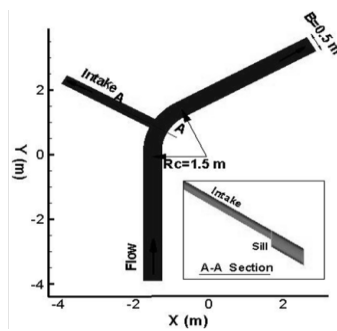


شکل (۱): الگوی سه بعدی جریان در آبیگری جانبی از مسیر مستقیم (Neary et al, 1999).

در آبیگری از مسیر مستقیم فاصله خط تقسیم جریان در کف بیشتر از سطح جریان است (Neary et al, 1999)، لذا تغذیه آبیگر بیشتر از جریان پروسوب تحتانی صورت می‌پذیرد. مطالعاتی در زمینه آبیگری از مسیر مستقیم و پارامترهای مؤثر بر الگوی جریان توسط (Barkdoll et al, 1999) عباسی

کف کانال اصلی به میزان ۲/۵ سانتی متر بالاتر است. کف کانالها صلب و ضریب زبری مانینگ ۰/۰۱ گزارش شده است.

ویژگی‌های هیدرولیکی و هندسی مدل در جدول (۱) نوشته شده است.



شکل (۲): قوس با آبگیر جانبی و آستانه (Ye et al. 1998)

جدول (۱): ویژگی‌های هیدرولیکی و هندسی مدل

آزمایشگاهی (Ye et al. 1998)

| | |
|-----------------------------------|---------|
| عمق جریان (m) | ۰/۰۵۵۵ |
| دبی بالادست (lit/s) | ۵/۳۸ |
| دبی آبگیری (lit/s) | ۲/۲۴ |
| عرض کانال اصلی (m) | ۰/۵ |
| طول کانال بالادست و پایین دست (m) | ۴ و ۴/۷ |
| شعاع مرکزی قوس (m) | ۱/۵ |
| نسبت شعاع به عرض | ۳ |
| طول آبگیر (m) | ۲/۷ |
| عرض آبگیر (m) | ۰/۳ |
| ارتفاع آبگیر از کف کانال (m) | ۰/۰۲۵ |

در مدل عددی در ورودی میدان جریان از شرط مرزی دبی معلوم و در خروجی میدان جریان از شرط مرزی گرادیان صفر استفاده می‌شود. همچنین برای محاسبه سطح آزاد، عمق جریان در یکی از سلول‌های مقاطع خروجی به عنوان شرط اولیه به مدل داده می‌شود. از آنجاییکه در جریان‌های زیر بحرانی مقطع کنترل در پایین دست است، لازم است عمق جریان در پایین دست مشخص باشد. اگر عمق جریان در بالادست مشخص باشد، با سعی و خطا عمق جریان در پایین

پارامترهای مورد بررسی، روش تاگوجی در طراحی مطالعات به کار رفته است.

مواد و روشها

معادلات حاکم در مدل عددی و صحت سنجی آن

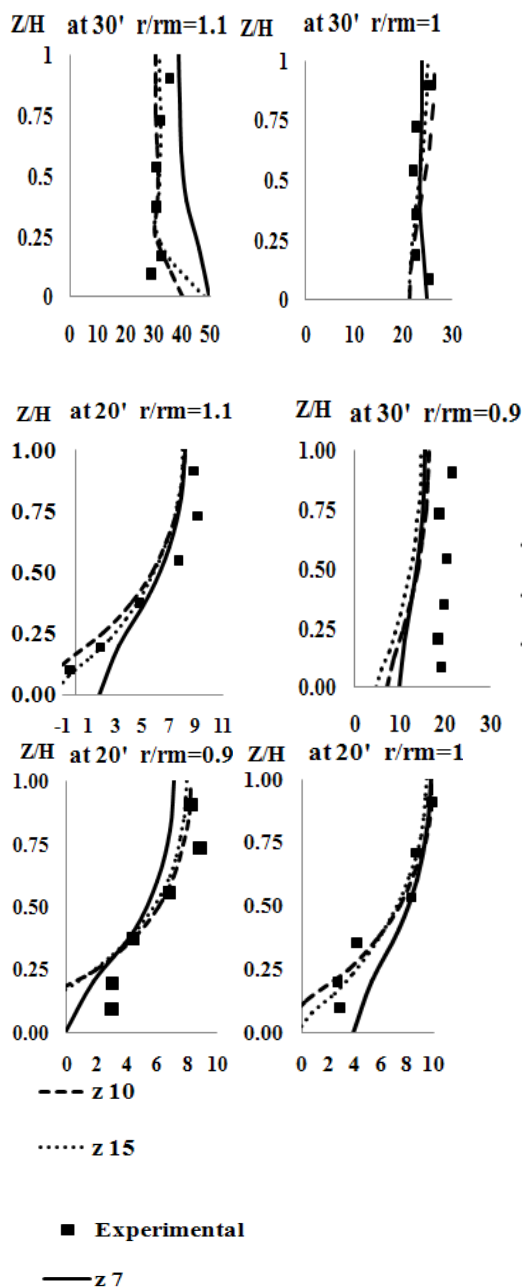
مدل عددی مورد استفاده (SSIIM2) با حل معادلات سه بعدی رینولدز (ناویر استوکس متوسط گیری شده در زمان) با روش حجم محدود و الگوی انفصال آپویند مرتبه دو با کوپل سرعت و فشار با روش سیمپل و به صورت ضمنی به حل میدان جریان می‌پردازد (Versteeg and Malalasekera, 1995). دسترسی رایگان به این مدل و توانایی مدل سازی انتقال رسوب معلق و بستر همزمان با شبیه سازی سطح آزاد، از مزایای SSIIM2 است. در تولید شبکه محاسباتی امکان استفاده از شبکه ساختار یافته به صورت تک بلوکی یا تقسیم میدان جریان به چندین بلوک و شبکه غیرساختار یافته فراهم است (Olsen, 2014). معادله حرکت رینولدز برای جریان تراکم ناپذیر با چگالی ثابت به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} (-P\delta_{ij} - \overline{\rho u_i u_j}) \quad (1)$$

جملات سمت چپ تساوی رابطه (۱) معرف تغییرات زمانی و جابجایی مولفه سرعت متوسط U_i و جملات سمت راست معرف تغییرات فشار (P) و تنش‌های رینولدز $\overline{\rho u_i u_j}$ است. در حل تنش‌های رینولدز از مدل آشفتگی دو معادله‌ای $k-\epsilon$ استفاده می‌شود.

لازم است در مطالعات عددی، ضمن شناخت فرضیات موجود در مدل، صحت نتایج آن از طریق مقایسه با نتایج آزمایشگاهی یا برداشت‌های میدانی تأیید شود. بدین منظور به شبیه‌سازی الگوی جریان در آبگیری از کانال قوسی و مقایسه نتایج آن با داده‌های آزمایشگاهی (Ye et al. 1998) پرداخته شده است. مطابق شکل (۲) میدان حل مورد نظر عبارت است از یک قوس 60° در اتصال به دو کانال مستطیلی در بالادست و پایین دست قوس با شیب کلی $0/0001$ و یک کانال آبگیر در موقعیت 30° در قوس که کف آن از

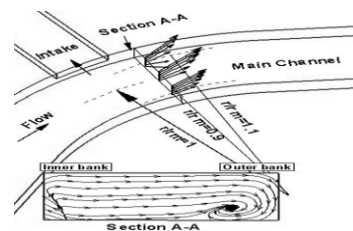
سه موقعیت $r/r_m=0/9$ ، 1 و $1/1$ در مقاطع $z=20$ و $z=30$ درجه در هر سه شبکه محاسباتی نشان می‌دهد. محور افقی زاویه انحراف بردار سرعت از خط مماس بر شعاع و $z=7$ ، $z=10$ و $z=15$ نتایج مربوط به مدل عددی به ترتیب با $z=7$ ، $z=10$ و $z=15$ گره در راستای قائم است. مطابق این شکل به طور کلی روند نتایج عددی و آزمایشگاهی یکسان است، یعنی زوایای انحراف مثبت و منفی با همان روند مدل آزمایشگاهی پیش‌بینی شده است.



شکل (۴): مقایسه زاویه انحراف بردار سرعت از خط مماس بر شعاع در مقاطع مختلف قوس مدل عددی با نتایج *Ye et al.*, (1998) (محور افقی زاویه انحراف بردار سرعت است)

دست به گونه‌ای تنظیم می‌شود که عمق جریان محاسبه شده با مدل عددی در بالادست به مقدار معلوم برسد.

با استفاده از نتایج مدل‌سازی عددی، پروفیل‌های قائم زاویه انحراف بردار سرعت کل از خط مماس بر شعاع در مدل عددی و آزمایشگاهی مقایسه شده است. شکل (۳) طرح شماتیک انحراف بردار سرعت را نسبت به خط مماس بر شعاع (خط چین) در مقطع پس از آبگیر در فواصل شعاعی مختلف نشان می‌دهد. زاویه انحراف منفی یعنی سرعت کل به سمت لبه داخلی قوس و زاویه انحراف مثبت یعنی سرعت کل به سمت لبه خارجی قوس منحرف شده است. مطابق این شکل در $r/r_m=1/1$ فاصله شعاعی از مرکز قوس و $r/r_m=0/9$ شعاع مرکزی قوس)، در ترازهای نزدیک کف بردار سرعت به سمت راست خط مماس بر شعاع (یعنی زاویه انحراف منفی) و در ترازهای بالاتر به سمت چپ (زاویه انحراف مثبت) منحرف شده است. اما در $r/r_m=1$ و $0/9$ زاویه انحراف مثبت است. در مقطع $A-A$ نمایش داده شده در شکل (۳) خطوط جریان در مقطع عرضی پس از آبگیر نشان داده شده است. مطابق این شکل در نزدیکی دیوار خارجی قوس جریان شکل گردابی بخود گرفته که این امر منجر به انحراف بردار سرعت در سطح به سمت لبه خارجی و در کف به سمت لبه داخلی نسبت به خط مماس بر شعاع شده است.



شکل (۱): طرح شماتیک زاویه انحراف بردار سرعت از خط مماس بر شعاع (خط چین) در r/r_m های مختلف

برای انتخاب شبکه مناسب، سه شبکه متفاوت با تعداد گره‌ها در راستای طولی و عرضی 317 و 19 و در راستای قائم 15 ، 10 و 7 در نظر گرفته شد. شکل (۴) مقایسه پروفیل قائم زاویه انحراف بردار سرعت کل را در

$$dssb, dsss = f\left(\frac{B_i}{B_m}, \frac{\theta_{ci}}{\theta_c}, \alpha, \frac{h_s}{h_m}, \theta_c, Fr, Q_{wr}\right) \quad (2)$$

پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مذکور و محدوده تغییر آنها به صورت جدول (۲) در نظر گرفته شده است. پارامترهای $\frac{B_i}{B_m}, \frac{\theta_{ci}}{\theta_c}, \alpha, \frac{h_s}{h_m}$ به آنگیر مربوط می-شوند که اثر هر یک از آنها در سه سطح تغییرات بررسی شده است.

انتخاب محدوده تغییر این پارامترها تا حدودی بر اساس توصیه محققین قبلی بوده است. به عنوان نمونه پیرستانی (۱۳۸۳) موقعیت آنگیر را در نیمه دوم قوس و دهقانی (۱۳۸۵) موقعیت آنگیر را در ربع سوم قوس پیشنهاد نموده‌اند، لذا موقعیت آنگیر نسبت به زاویه مرکزی قوس بین ۰/۵۵ تا ۰/۷۵ انتخاب شده است. در مورد زاویه آنگیری نیز از آنجایی که زاویه قائم اتصال آنگیر به آبراهه اصلی رد شده است (Novak et al, 1990)، لذا زوایای ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه برای اتصال آنگیر به قوس در نظر گرفته شده است. (Razvan 1989) ارتفاع آستانه را حدود یک-سوم عمق جریان پیشنهاد نمود.

جدول (۲) محدوده تغییر پارامترهای آنگیر و آبراهه اصلی

| پارامترهای هیدرولیکی | Q_{wr} (نسبت دبی ۰/۱، ۰/۱۸۰، ۰/۲۵) |
|-------------------------|---|
| و هندسی | θ_c (زاویه مرکزی قوس) ۵۰، ۱۱۰، ۱۷۰ (درجه) |
| آبراهه اصلی | Fr (عدد فرود) ۰/۳۰۶، ۰/۳۲۲ |
| پارامترهای هندسی | B_i/B_m (عرض آنگیر به عرض رودخانه) ۰/۱۵، ۰/۳۵، ۰/۵۵ |
| آنگیر | θ_{ci}/θ_c (موقعیت آنگیر نسبت به زاویه مرکزی قوس) ۰/۱۵۵، ۰/۱۶۵، ۰/۱۷۵ |
| | α (زاویه آنگیری) ۴۰، ۵۵، ۷۰ (برحسب درجه) |
| | h_s/h_m (ارتفاع آستانه به عمق جریان) ۰/۲۳۴، ۰/۲۸، ۰/۳۵ |

پارامترهای θ_c, Fr, Q_{wr} مربوط به آبراهه اصلی هستند و هر یک از آنها در سه سطح تغییر در نظر گرفته شده‌اند. انتخاب حداقل سه سطح تغییر برای هر پارامتر،

در مقطع ۲۰ درجه که از آنگیر فاصله دارد، نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی به هم نزدیک‌تر هستند. نتایج مدل های z10 و z15 بسیار به هم نزدیک هستند و انطباق بیشتری با نتایج آزمایشگاهی نسبت به مدل دارای ۷ سلول محاسباتی در راستای قائم دارند. در خط مرکزی کانال یعنی $r/rm=1$ مدل عددی انطباق بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارد، اما بیشترین خطای مدل عددی حدود ۴۰٪ در مقطع ۳۰° در $r/rm=0.9$ که محل خط تقسیم جریان ورودی به آنگیر است و خطوط جریان دارای انحنای زیاد هستند رخ داده‌است، اما در سایر مقاطع خطای مدل عددی بسیار کم و حتی نتایج مدل عددی بر نتایج آزمایشگاهی منطبق است. برای محاسبه کمی خطای مدل عددی، اختلاف مقدار عددی و آزمایشگاهی بر مقدار آزمایشگاهی تقسیم شده‌است. متوسط خطای مدل عددی در کلیه مقاطع نشان داده شده در شکل (۴) برای شبکه z10 حدود ۲۱ درصد است. خطای بیشتر مدل عددی در پیش‌بینی الگوی جریان در نزدیکی آنگیر نشان می‌دهد با پیچیده‌تر شدن الگوی جریان ناشی از اندرکنش آنگیر و قوس، دقت مدل عددی کاهش یافته‌است. استفاده از مدل آشفتگی دو معادله‌ای $k-\epsilon$ می‌تواند از عوامل ایجاد خطای مدل عددی در پیش‌بینی جریان‌های ثانویه باشد.

تعیین شرایط فیزیکی و هیدرولیکی اولیه مطالعات

پارامترهای هندسی و هیدرولیکی آنگیر و آبراهه اصلی که پس از آنالیز ابعادی به اعداد بی‌بعد تبدیل شده‌اند، عبارتند از

$$\frac{B_i}{B_m}, \frac{\theta_{ci}}{\theta_c}, \alpha, \frac{h_s}{h_m}, \theta_c, Fr, Q_{wr}$$

که در آن B_i/B_m (عرض آنگیر به عرض رودخانه)، θ_{ci}/θ_c (موقعیت آنگیر نسبت به زاویه مرکزی قوس)، α (زاویه آنگیری برحسب درجه)، h_s/h_m (ارتفاع آستانه به عمق جریان)، Q_{wr} (نسبت دبی آنگیری)، θ_c (زاویه مرکزی قوس) و Fr (عدد فرود) هستند. لذا فاصله خط تقسیم جریان در کف ($dssb$) و در سطح ($dsss$) برحسب سایر پارامترهای بی‌بعد مطابق رابطه (۲) تعیین می‌شود:

به منظور کاربردی نمودن نتایج پژوهش حاضر، به عنوان یک نمونه واقعی سعی شده است از ابعاد رودخانه کرخه استفاده شود. آبراهه اصلی با عرض $100m$ (قنواتی نسب و همکاران، ۱۳۸۵) انتخاب شده است. دبی آبراهه اصلی در یکی از ایستگاه‌های رودخانه کرخه بر اساس رابطه فراوانی وقوع، ۲۰۰، ۳۱۴ و ۴۴۸ متر مکعب بر ثانیه با فراوانی وقوع به ترتیب ۷۴، ۶۱ و ۵۰ درصد، و عمق جریان بر اساس رابطه دبی-اشل $1/7$ و $2/7$ و $2/7$ متر در نظر گرفته شده است (عصاره و توکلی زاده، ۱۳۸۴). مقدار شیب طولی در یک بازه ۴۰ کیلومتری (از پایین دست سد کرخه تا منطقه حیات وحش) بر اساس Google earth به طور متوسط $0/005$ در نظر گرفته شده است. با توجه به استفاده از ابعاد نزدیک به شرایط طبیعی، حساسیت نتایج مدل عددی به تغییر شبکه محاسباتی مورد بررسی قرار گرفت. در تعیین شبکه مناسب از قوس ۵۰ درجه استفاده شده است. چون عرض آبراهه اصلی ثابت در نظر گرفته شده، اندازه سلول‌های شبکه در راستای طولی و عرضی بر اساس نسبتی از عرض آبراهه اصلی تعیین شده است. ۴ شبکه بندی مختلف برای تعیین شبکه مناسب در پلان مورد بررسی قرار گرفت. در ۱۰۰ متر عرض به ترتیب ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سلول سلولهای ۷، ۵، ۴ و ۳ (متری) در راستای عرضی در نظر گرفته شد و اندازه سلول‌های طولی نیز به اندازه $1/2$ برابر سلول‌های عرضی انتخاب شد. تعداد سلول‌ها در راستای قائم نیز ۱۳ سلول انتخاب شد. لازم بذکر است هندسه و شبکه قوس و مسیرهای مستقیم بالادست و پایین دست قوس، با استفاده از برنامه‌ای به زبان فرترن تولید شده است، سپس در مدل عددی، آنگیر و شبکه آن به این هندسه اضافه شده است.

پس از شبیه‌سازی، به عنوان نمونه پروفیل‌های سرعت برآیند در مقطعی به فاصله ۴۰ درجه از ابتدای قوس قرار دارد، در فواصل شعاعی ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ عرض آبراهه اصلی از لبه داخلی قوس در این ۴ شبکه باهم مقایسه شده است. شکل (۵) نشان می‌دهد نتایج هر چهار شبکه به هم نزدیک است، اما نتایج شبکه ۳ و ۴ متری بسیار به هم نزدیک‌تر است. بنابراین می‌توان

امکان بررسی و مشاهده اثرات غیرخطی آن پارامتر را فراهم می‌کند. لذا ۲۷ حالت مختلف از ترکیب پارامترهای نسبت دبی آنگیری، زاویه مرکزی قوس و عدد فرود جریان مطالعه می‌شود که در هر یک از آن‌ها تغییرات پارامترهای Bi/Bm ، $\alpha_i \theta_{ci}/\theta_c$ و hs/hm بررسی خواهد شد.

طراحی مطالعات با روش تاگوچی

در هر یک از ۲۷ مطالعه اشاره شده، ترکیب ۴ پارامتر Bi/Bm ، $\alpha_i \theta_{ci}/\theta_c$ و hs/hm در ۳ سطح تغییر یعنی ۸۱ ترکیب (فاکتوریل کامل ۴ پارامتر سه سطحی) باید مورد بررسی قرار گیرد. بررسی فاکتوریل کامل ترکیبات بسیار وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد. به منظور کاهش تعداد مطالعات به طوری که در نتایج خطای زیادی وارد نشود، از روش تاگوچی در طراحی مطالعات استفاده شده است. یعنی به جای استفاده از ترکیبات فاکتوریلی کامل، ترکیبات فاکتوریلی جزئی به کار می‌رود (Roy, 1990). برای اطلاعات بیشتر در خصوص روش تاگوچی به رستم آبادی (۱۳۹۲) و رستم آبادی و همکاران (۱۳۹۲) مراجعه شود. در روش تاگوچی به جای ۸۱ ترکیب، ۹ ترکیب از سطوح مختلف ۴ پارامتر سه سطحی بررسی می‌شود. بدین ترتیب در هر یک از ۲۷ مطالعه مورد نظر، ۹ مطالعه به شرح جدول (۳) باید انجام شود، یعنی به طور کلی ۲۴۳ مطالعه باید صورت گیرد.

جدول (۳) ترکیب استاندارد سطوح تغییر ۴ پارامتر سه سطحی در آنگیر بر اساس روش تاگوچی

| شماره مطالعه | Bi/Bm | $\alpha_i \theta_{ci}/\theta_c$ | hs/hm |
|--------------|---------|---------------------------------|---------|
| ۱ | ۰/۱۵ | ۰/۵۵ | ۴۰ |
| ۲ | ۰/۱۵ | ۰/۶۵ | ۵۵ |
| ۳ | ۰/۱۵ | ۰/۷۵ | ۷۰ |
| ۴ | ۰/۳۵ | ۰/۵۵ | ۵۵ |
| ۵ | ۰/۳۵ | ۰/۶۵ | ۷۰ |
| ۶ | ۰/۳۵ | ۰/۷۵ | ۴۰ |
| ۷ | ۰/۵۵ | ۰/۵۵ | ۷۰ |
| ۸ | ۰/۵۵ | ۰/۶۵ | ۴۰ |
| ۹ | ۰/۵۵ | ۰/۷۵ | ۵۵ |

جدول (۵): تعداد سلولها و زمان اجرای مدل های تعیین

| شبکه مناسب در راستای ارتفاعی | | | |
|------------------------------|-----------------|----------------|-----------|
| شبکه | تعداد گره ها در | تعداد گره ها | زمان اجرا |
| آبراهه اصلی | در آبراهه اصلی | در آبراهه اصلی | (ساعت) |
| ۳ | ۱۳*۲۵*۱۷۳ | ۱۲*۸*۶۳ | ۹ |
| ۵ | ۹*۲۵*۱۷۳ | ۸*۸*۶۳ | ۳/۵ |
| ۶ | ۱۱*۲۵*۱۷۳ | ۱۰*۸*۶۳ | ۴/۵ |
| ۷ | ۱۶*۲۵*۱۷۳ | ۱۵*۸*۶۳ | ۱۷ |
| ۸ | ۱۹*۲۵*۱۷۳ | ۱۸*۸*۶۳ | ۲۳ |
| ۹ | ۲۲*۲۵*۱۷۳ | ۲۱*۸*۶۳ | ۳۷ |

در شکل (۶) پروفیل های سرعت در مقطعی که به فاصله ۴۰ درجه از ابتدای قوس قرار دارد، در فواصل شعاعی ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ عرض آبراهه اصلی از لبه داخلی قوس در این ۶ شبکه به ازای تغییر تعداد سلولها در راستای قائم با هم مقایسه شده است. در این شکلها Z معرف تعداد سلولها در راستای قائم است. ملاحظه می شود که پروفیل های سرعت در مدل های ۷، ۸ و ۹ در ترازهای بالاتر از اولین سلول نزدیک کف کاملاً برهم منطبق هستند، اما در سلول نزدیک کف، در مدل های ۸ و ۹ جواب های خیلی نزدیک به هم بدست آمده است. زمان اجرای مدل های فوق نشان می دهد تغییرات زمان اجرا با تعداد سلول - های شبکه رابطه خطی ندارد، بلکه هرچه تعداد سلولها بیشتر شود، زمان اجرای مدل با شدت بسیار تندتری بیشتر می شود، به طوری که مدل ۸ در زمان ۲۳ ساعت، اما مدل ۹ در زمان ۳۷ ساعت به همگرایی مورد نظر رسیده است. با توجه به توضیحات فوق مدل ۸ به عنوان مدل دارای شبکه مناسب در مطالعات آبی انتخاب شده است.

گفت در شبکه ۴ متری جواب های مستقل از شبکه بدست آمده است.

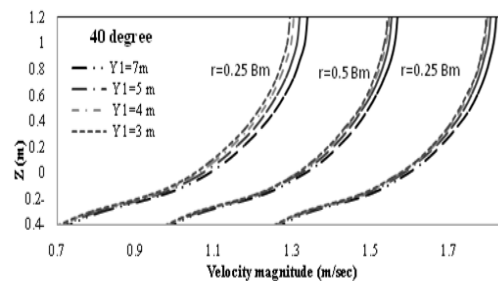
در جدول (۴) تعداد سلولها و زمان اجرای مدلها تا رسیدن به باقی مانده کمتر از ۰/۰۰۲ برای E و کمتر از ۰/۰۰۰۱ برای سایر پارامترها ارائه شده است.

جدول (۴): تعداد سلولها و زمان اجرای مدلها به منظور

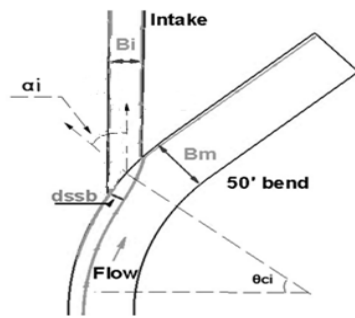
تعیین شبکه مناسب در پلان

| شبکه | طول | تعداد | تعداد | زمان |
|-------|-------------|-------------|-------------|--------|
| اولین | سلولها در | سلولها در | سلولها در | اجرا |
| سلول | آبراهه اصلی | آبراهه اصلی | آبراهه اصلی | (ساعت) |
| (m) | | | | |
| ۱ | ۷ | ۱۳*۱۵*۱۰۹ | ۱۲*۶*۳۶ | ۳ |
| ۲ | ۵ | ۱۳*۲۰*۱۴۹ | ۱۲*۸*۵۰ | ۶ |
| ۳ | ۴ | ۱۳*۲۵*۱۷۳ | ۱۲*۸*۶۳ | ۹ |
| ۴ | ۳ | ۱۳*۳۰*۲۲۱ | ۱۲*۱۲*۸۴ | ۱۶ |

شبکه ۳ که در آن $Y_1=4$ m است، به منظور تعیین تعداد سلولها در راستای قائم، به ازای تعداد سلولهای ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۶ و ۲۲ در راستای ارتفاعی، اجرا شد. در جدول (۵) اعداد سلولها و زمان اجرا در این مدلها ارائه شده است.



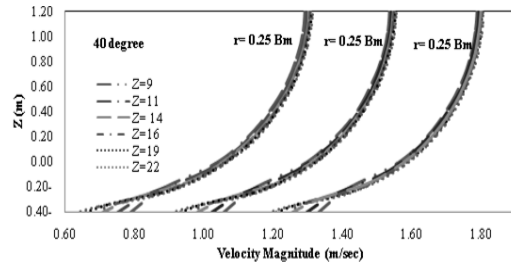
شکل (۵): مقایسه پروفیل سرعت برآیند در مقطع ۴۰ درجه قوس ۵۰ درجه به منظور تعیین نتایج مستقل از شبکه در پلان



شکل (۷): طرح شماتیک خط تقسیم جریان ورودی به آبگیر و پارامترهای هندسی میدان جریان

در شکل (۹) تغییرات $dssb/Bm$ نسبت به تغییر دبی نسبی آبگیری در اعداد فرود مختلف در هر سه قوس ۵۰، ۱۱۰ و ۱۷۰ درجه نشان داده شده است. از بررسی نتایج مندرج در شکل (۹) می‌توان چنین نتیجه گرفت که:

- تغییرات $dssb/Bm$ نسبت به QWT صعودی و تقریباً خطی است.
- در قوس با زاویه مرکزی ثابت، تغییر عدد فرود تأثیر بسیار کمی بر نسبت $dssb/Bm$ اما به روند نزولی دارد.
- در یک عدد فرود ثابت، تأثیر زاویه مرکزی قوس بر نسبت $dssb/Bm$ بسیار کم است.

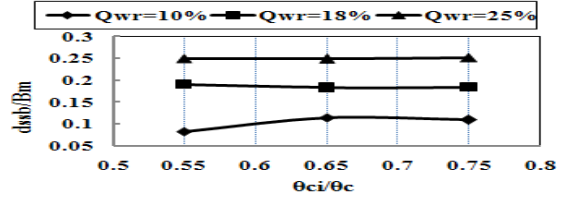
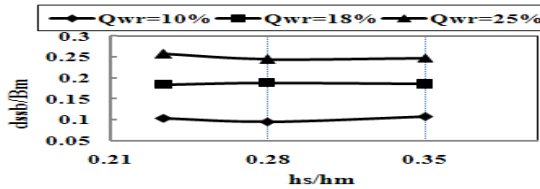
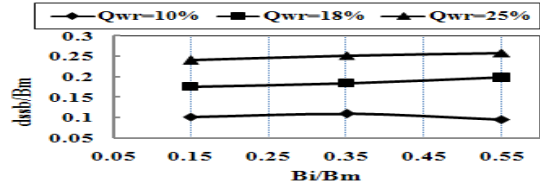
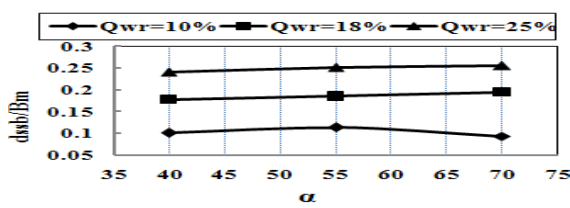


شکل (۶): مقایسه پروفیل سرعت برآیند در مقطع ۴۰ درجه برای تعیین نتایج مستقل از شبکه در راستای ارتفاعی

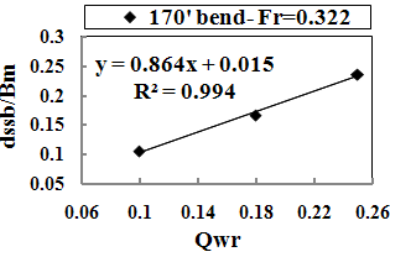
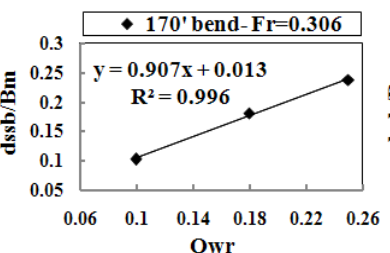
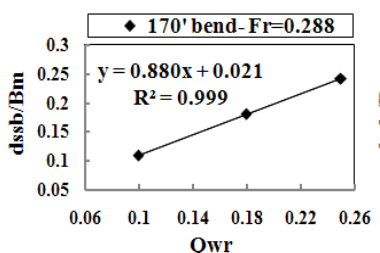
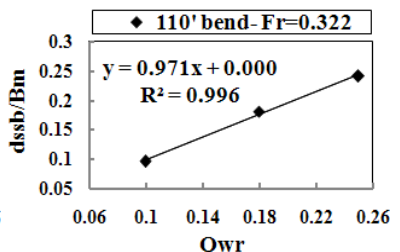
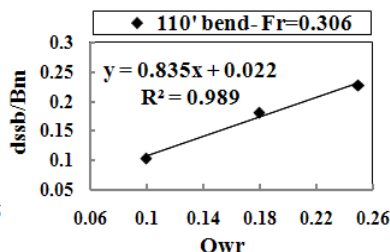
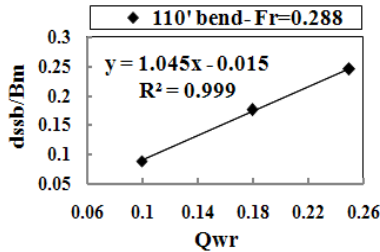
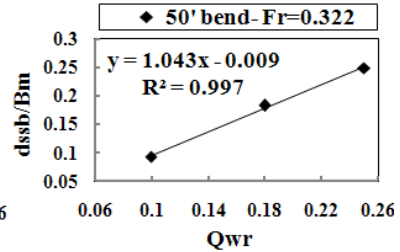
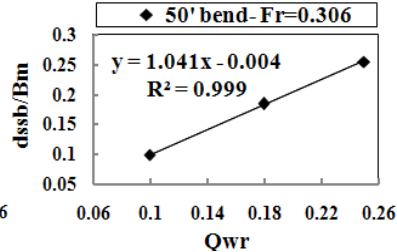
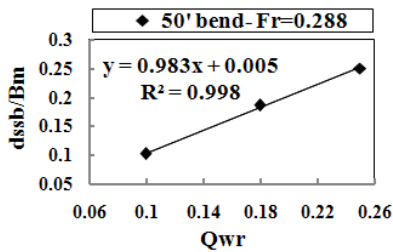
تحلیل نتایج

فاصله خط تقسیم جریان در آبراهه اصلی از دیواره خارجی قوس، محدوده تحت تأثیر آبگیر در آبراهه اصلی را به لحاظ عرضی نشان می‌دهد. هر عاملی که منجر به افزایش فاصله خط تقسیم جریان در کف آبراهه اصلی از دیواره خارجی قوس شود، باعث افزایش رسوب وارد شده به آبگیر خواهد شد. در شکل (۷) با رسم خطوط جریان وارد شده به آبگیر در قوس ۵۰ درجه، فاصله خط تقسیم جریان از دیواره خارجی قوس در کف ($dssb$) به طور شماتیک نشان داده شده است. در کلیه ۲۴۳ مطالعه انجام شده، فاصله خط تقسیم جریان از دیواره خارجی قوس در کف ($dssb$) و در سطح ($dsss$) اندازه‌گیری شده و نسبت به عرض آبراهه اصلی (Bm) بدون بعد شده است.

شکل (۸) تغییرات $dssb/Bm$ را با تغییر در نسبت Bi/Bm ، θ_{ci}/θ_c ، α_i و hs/hm در قوس ۵۰ درجه با تغییر دبی آبگیری نشان می‌دهد. مطابق این شکل افزایش دبی نسبی آبگیری منجر به افزایش $dssb/Bm$ شده است، اما تغییر Bi/Bm ، θ_{ci}/θ_c ، α_i و hs/hm تأثیر بسیار کمی بر تغییرات $dssb/Bm$ دارد، لذا به منظور تعیین تأثیر نسبت دبی آبگیری، عدد فرود جریان و زاویه مرکزی قوس، متوسط نسبت $dssb/Bm$ در هر دسته ۹ تایی جدول (۵)، برای هر یک از ۲۷ مطالعه مذکور در نظر گرفته شده است.



شکل (۸): تغییرات $dssb/Bm$ با تغییر Bi/Bm , θ_{ci}/θ_c , α و hs/hm در قوس ۵۰ درجه با تغییر دبی آبیاری



شکل (۹): تغییرات $dssb/Bm$ با تغییر دبی نسبی آبیاری در اعداد فرود مختلف در هر سه قوس ۵۰، ۱۱۰ و ۱۷۰ درجه

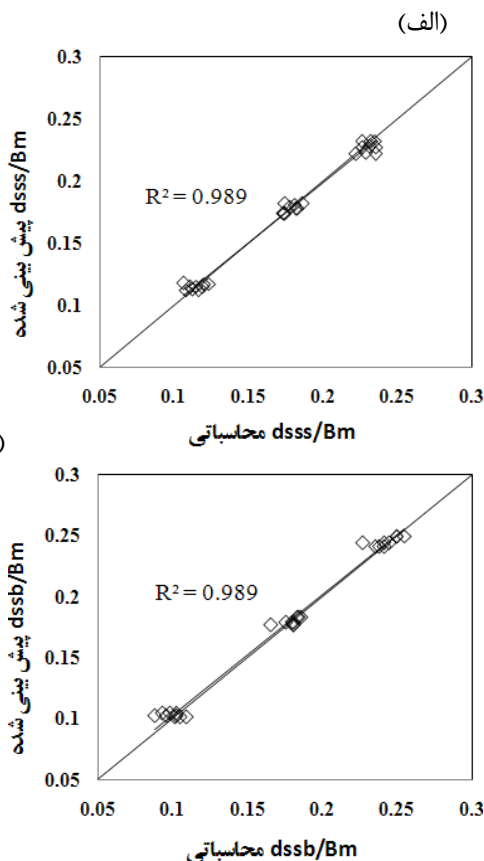
جریان در سطح کمتر از کف است، لذا رسوبات بیشتری از کف وارد آبگیر می‌شود. در واقع مومنتم بیشتر جریان سطحی در جهت آبراهه اصلی، مانع از انحراف جریان سطحی به سمت آبگیر در مقایسه با جریان نزدیک کف می‌شود. در آبگیری از دیواره خارجی مسیرهای قوسی، به علت وجود جریان ثانویه، جریان سطحی به سمت دیواره خارجی و جریان نزدیک کف به سمت دیواره داخلی منحرف می‌شود، لذا عرض مجرای جریان در سطح بیشتر از کف شده و تغذیه آبگیر از جریان زلال سطحی بیشتر از جریان پرسوب نزدیک کف است (پیرستانی (۱۳۸۳)، صفرزاده (۱۳۸۳) و منتصری (۱۳۸۷). بسته به میزان قدرت جریان ثانویه در قوس، عرض مجرای جریان در سطح ضریبی از عرض مجرای جریان در کف می‌شود.

به منظور کمی نمودن نسبت تغییرات $dssb/Bm$ با تغییر دبی آبگیری نسبی، عدد فرود و زاویه مرکزی قوس در ۲۷ مطالعه مذکور، رابطه (۳) بر این داده‌ها برازش داده شده است.

$$dssb/Bm = 0.922 * (Qwr)^{0.447} * (Fr)^{-0.019} * (\theta c)^{-0.27} \quad (3)$$

خط تقسیم جریان ورودی به آبگیر در سطح ($dsss$) نیز مانند کف، مطابق رابطه (۴) متأثر از تغییرات دبی نسبی آبگیری و عدد فرود است.

$$dsss/Bm = 1.012 * (Qwr)^{0.743} * (Fr)^{0.39} * (\theta c)^{-0.03} \quad (4)$$



شکل (۱۰): مقایسه مقدار محاسباتی و پیش بینی شده الف: $dsss/Bm$ و ب: $dssb/Bm$

در روابط فوق Qwr دبی نسبی آبگیری، Fr : عدد فرود در آبراهه اصلی و θc زاویه مرکزی قوس بر حسب رادیان است. در شکل (۱۰-الف و ب) مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده برای $dsss/Bm$ و $dssb/Bm$ از روابط (۳) و (۴) با مقادیر محاسباتی بدست آمده از پژوهش حاضر نشان داده شده است. مطابق این شکل و با توجه به مقدار همبستگی بالای ۰/۹۸، روابط فوق از دقت بسیار خوبی برخوردار هستند. خطای رابطه (۳) با روش RMS ۳/۴۶٪ و رابطه (۴) ۲/۳۷٪ است. مطابق رابطه (۴)، دبی نسبی آبگیری بیشترین تأثیر را بر تغییرات فاصله خط تقسیم جریان ورودی به آبگیر در سطح دارد، اما بر خلاف $dsss$ افزایش عدد فرود تأثیر زیادی بر $dssb$ داشته و منجر به افزایش آن شده است. می‌توان گفت با افزایش عدد فرود که با افزایش عمق جریان همراه بوده است، جریان سطحی بیشتر به سمت آبگیر منحرف شده است، لذا فاصله خط تقسیم جریان ورودی به آبگیر در سطح افزایش یافته است.

پژوهشگران مختلف تغییرات $dsss$ نسبت به $dssb$ را مورد توجه قرار داده‌اند. *Neary et al (1999)* محدوده جریان ورودی به آبگیر در آبراهه اصلی را مجرای جریان نامیده‌اند. در آبگیری از مسیرهای مستقیم عرض مجرای

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر به شبیه‌سازی عددی تأثیر پارامترهای عرض آبگیر، موقعیت آبگیر، زاویه آبگیری و ارتفاع آستانه در آبگیری با سه دبی آبگیری مختلف از قوس با سه زاویه مرکزی و سه عدد فرود متفاوت بر فاصله خط تقسیم جریان از دیواره خارجی قوس پرداخته شده است. مدل عددی *SSIIM2* پس از صحت‌سنجی با داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به کثرت پارامترهای مورد بررسی، روش تاگوچی در طراحی مطالعات به کار رفته است. نتایج نشان داد تغییر عرض آبگیر، موقعیت آبگیر، زاویه آبگیری و ارتفاع آستانه تأثیر بسیار کمی بر تغییرات فاصله خط تقسیم جریان از دیواره خارجی دارد، اما تغییرات فاصله خط تقسیم جریان نسبت به دبی نسبی آبگیری صعودی و تقریباً خطی است. همچنین در قوس با زاویه مرکزی ثابت، تغییر عدد فرود تأثیر بسیار کمی بر نسبت فاصله خط تقسیم جریان در کف، اما به روند نزولی دارد. در یک عدد فرود ثابت، تأثیر تغییرات زاویه مرکزی قوس بر فاصله خط تقسیم جریان بسیار کم است.

بر خلاف فاصله خط تقسیم جریان در کف، افزایش عدد فرود تأثیر زیادی بر فاصله خط تقسیم جریان در سطح داشته و منجر به افزایش آن شده است. همچنین عرض مجرای جریان در سطح ۰/۹ تا ۱/۲۵ برابر عرض مجرای جریان در کف تعیین شده است.

در پژوهش حاضر رابطه (۵) برای نسبت تغییرات عرض مجرای جریان در سطح و کف به ازای تغییر در دبی نسبی آبگیری، عدد فرود و زاویه مرکزی قوس ارائه شده است.

$$\frac{dsss}{dssb} = 1/0.9 * (Q_{wr})^{-0.21} * (Fr)^{0.28} * (\theta_c)^{0.224} \quad (5)$$

مطابق رابطه (۵)، با افزایش دبی نسبی آبگیری، $dsss/dssb$ کاهش می‌یابد. در واقع هرچه دبی آبگیری بیشتر باشد، جریان انحرافی به سمت آبگیر بیشتر و لذا غلبه جریان منحرف شده بر جریان اصلی و قدرت جریان ثانویه در قوس بیشتر می‌شود، لذا جریان نزدیک کف نیز بیشتر به سمت آبگیر منحرف می‌شود و $dssb$ افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش دبی نسبی آبگیری منجر به کاهش نسبت $dsss/dssb$ می‌شود.

(Neary and Odgaard 1993) در آبگیری با زاویه ۹۰ درجه از مسیر مستقیم، عرض مجرای جریان در سطح را ۰/۴۶ عرض مجرای جریان در کف تعیین نمودند. سیدیان و شفاعی بجستان (۱۳۹۰)، در مطالعه آبگیری با زاویه ۹۰ درجه از مسیر مستقیم، عرض مجرای جریان در سطح را ۰/۵۴ عرض مجرای جریان در کف تعیین نمودند. پیرستانی (۱۳۸۳) در مطالعه آبگیری جانبی از کانال قوسی ۱۸۰ درجه با بستر صلب و نسبت عرض به عمق جریان حدود ۴، عرض مجرای جریان در سطح را ۱ تا ۱/۵ برابر عرض مجرای جریان در کف (در دو مورد ۰/۸۸ و ۰/۹۲ نیز بوده است) بدست آورد. در پژوهش حاضر، عرض مجرای جریان در سطح ۰/۹ تا ۱/۲۵ برابر عرض مجرای جریان در کف تعیین شده است. شرایط هندسی و هیدرولیکی در نظر گرفته شده در مطالعات مختلف، از جمله اختلاف در نسبت عرض به عمق جریان، صلب یا آبرفتی بودن بستر، هندسه آبراهه اصلی به لحاظ قوسی یا مستقیم بودن و لحاظ نمودن پارامترهای مختلف مانند زاویه و موقعیت آبگیری، نسبتهای مختلف عرض آبگیر به عرض آبراهه اصلی و نسبت دبی آبگیری بر اختلاف نتایج بدست آمده از مطالعات مختلف تأثیرگذار بوده است.

منابع

- ابولقاسمی، م. ۱۳۸۵. مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در پیچانرود. رساله دکتری، گروه سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- آسیائی، ح.، منتصری، ح. ۱۳۹۴. شبیه سازی عددی شکل گیری توپوگرافی بستر در قوس با آبگیر جانبی. فصلنامه مهندسی عمران فردوسی. سال. ۲۷، شماره. ۱، ص: ۱۱۵-۱۳۲.
- پیرستانی، م. ۱۳۸۳. بررسی الگوی جریان و آبشستگی در دهانه ورودی آبگیر کانالهای دارای انحناء. رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- دهقانی، ا.ا. ۱۳۸۵. مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه. رساله دکتری مهندسی عمران گرایش هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس.
- رستم آبادی، م. (۱۳۹۲). تعیین شرایط مناسب آبیگری جانبی از قوس با استفاده از مدل عددی. رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس.
- رستم آبادی، م.، صالحی نیشابوری، ع.ا.، زراتی، ا. ر. ۱۳۹۲. مقایسه روش تاگوچی با طرح فاکتوریل کامل در تعیین موقعیت بهینه سازه محافظ آبشستگی در مقابل جت های ریزشی، مجله علمی پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست ایران. دوره ۱، شماره ۲، ص ۳۵ تا ۴۶.
- سیدیان، س. م. و شفاعی بجزستان، م. ۱۳۹۰. تعیین ابعاد مجرای جریان و قدرت گرداب حلزونی در محل آبگیرهای جانبی. مجله آب و فاضلاب، شماره ۴. ص: ۸۳-۹۴.
- صفرزاده، ا. ۱۳۸۳. شبیه سازی عددی الگوی جریان در آبیگری جانبی از قوس ۱۸۰ درجه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- عباسی، ع. ۱۳۸۲. مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم. رساله دکتری. رشته مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس.
- عصاره، ع. و توکلی زاده، ا. ع. ۱۳۸۴. بررسی جریان غالب در رودخانه های کارون، دز و کرخه. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- قنواتی نسب، م.، شفاعی بجزستان، م.، حسونی زاده، ه. ۱۳۸۵. تعیین دبی غالب در تعدادی از رودخانه های استان خوزستان. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- منتصری، ح. ۱۳۸۷. تأثیر آرایشهای مختلف صفحات مستغرق در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه؛ رساله دکتری مهندسی عمران گرایش هیدرولیک؛ دانشگاه تربیت مدرس.
- Barkdoll, D., Ettema, R and Odgaard, A.J. 1999. Sediment control at lateral diversions: limits and enhancement to vane use. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(8): 132-136.
- Esmaili Varaki, M. Farhoudi, J., and Walker, D. 2009. Experimental investigation of the flow structure at a right-angled lateral intake. *Proceeding of the Institution of civil Engineering, Water Management*. 162(6):379-388.
- Esmaili Varaki, M. Farhoudi, J., and Walker, D. 2011. Study of flow structure and sediment entry to a lateral intake. *Water Management*. 164(7):347-360. WM7
- Karami Moghadam, M; Shafae Bajestan, M; and Sedghi, H. 2011. Experimental and numerical study of flow pattern in 30 degree intake on trapezoidal channel. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Sciences*. 57(3), pp. 35-47
- Neary, V. S., and Odgaard, A.J., 1993. Three-dimensional flow structure at open-channel diversions. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119 (11), pp.1223-1230.
- Neary, V. S., Sotiropoulos, F and A.J.Odgaard., 1999, Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125 (2), pp.126-140.

- Novak, P., Moffat, A. and Nalluri, C. 1990. Hydraulic structures, Pitman, London. 546 P.
- Olsen, N. R. 5. November 2014. A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movement in water intakes with multi block option. User's manual.
- Ramammurthy, A., Qu, J., and Vo, D. 2007. Numerical and experimental study of dividing open channel flows. Journal of Hydraulic Engineering, 133(10):1135-1144.
- Raudkivi, A. J. 1993. Sedimentation and removal of sediment from diverted water. IAHR, IAHR hydraulic structures, design manual, 63-87.
- Razvan, E. 1989. River intake and diversion dams. Elsevier science publishing company Inc. New York, NY. 10010, U. S. A.
- Roy, R. R., 1990. A primer on the Taguchi method. New York. NY.
- Versteeg, H., and Malalasekera, W. 1995. An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. Pearson Education.
- Ye, J., Mccorquodale., and Barron, R. M. 1998. A three-dimensional hydrodynamic model in curvilinear co-ordinates with collocated grid. International Journal for Numerical Methods in Fluid. 28: 1109-1998.

Effect of Changing parameters of intake and main channel on the distance of dividing stream line from outer wall of bend

Massumeh Rostamabadi¹., Seyed Ali Akbar Salehi Neyshabouri²

Abstract

Direct dewatering of the river is used for irrigation and water supply and etc. Dewatering without diversion dam leads to a sediment settlement at the downstream of intake in the main river. The distance of dividing stream line from the outer bank of the bend influences the amount of sediment entering the intake. Anything that reduces the distance of dividing stream line from the outer wall of the bend at the bottom of the main channel, will reduce sediment entering the intake. The geometric and hydraulic parameters of intake and main channel affect the distance of dividing stream line from the outer bank. In this study the effect of parameters such as width and position of the intake, diversion angle and height of the sill (Each one changes in four levels) on the distance of dividing stream line from the outer wall using the SSIIM numerical model is investigated. Also three angles (50, 110 and 170 degrees) and three different Froude numbers (0.288, 0.305 and 0.322) for bend and three discharge ratios (10, 18 and 25 percent) for lateral intake are considered. Taguchi method is used in the design of studies. The results show that changing in width and position of the intake, diversion angle and height of the sill have less influence on the distance of dividing stream line from the outer wall of the bend, but the variations of dividing stream line from the outer wall of the bend relative to the discharge ratio almost ascending and linear. Also, in a fixed-angle bend, changing the Froude number has a very small effect on the distance of dividing stream line. The Surface flow duct width is 0.9 to 1.25 times the width of the duct in the bed.

Keywords: Intake, Dividing stream-line, Bend of river, SSIIM2.

*¹ Assistant Professor, Department of civil engineering, college of Technical and Engineering, Buin Zahra branch, Islamic Azad University, BuinZahra, Iran. Rostamimass@yahoo.com, Rostamabadi@buiniau.ac.ir.

² Professor of Tarbiat Modares university, civil and environmental engineering faculty, Salehi@modares.ac.ir