



بررسی الگوی جریان در آبگیر ۹۰ درجه با گردشگی ورودی با استفاده از مدل SSIM 2 و مقایسه آن با مدل فیزیکی

سید مرتضی سیدیان^۱، مهدی کرمی مقدم^۲ و محمود شفاعی بجمستان^۳

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران

۳- استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

Email: s.m.seyedian@gmail.com

خلاصه

در این تحقیق ناحیه جدادشگی در ورودی آبگیر با زاویه انحراف ۹۰ درجه با سه گردشگی و یا شعاع ورودی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتیمتر برای نسبت-های دبی ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ با استفاده از مدل سه بعدی SSIM 2 مورد بررسی قرار گرفت. ابعاد ناحیه جدادشگی و محل تشکیل آن برای حالت‌های مختلف، بررسی و مقدار بهینه میزان گردشگی با توجه به حداقل ناحیه جدادشگی تعیین گردید. به منظور تعیین دقت مدل نتایج بدست آمده با نتایج مدل فیزیکی مقایسه گردید. خطوط جریان برای هر حالت رسم شده و سپس ابعاد ناحیه جدادشگی تعیین گردید. جدادشگی در بالادست و پایین دست آبگیر ارائه شده است و میزان دقت مدل بررسی گردیده است.

کلمات کلیدی: آبگیر ۹۰ درجه، ناحیه جدادشگی، مدل SSIM، گردشگی ورودی، الگوی جریان

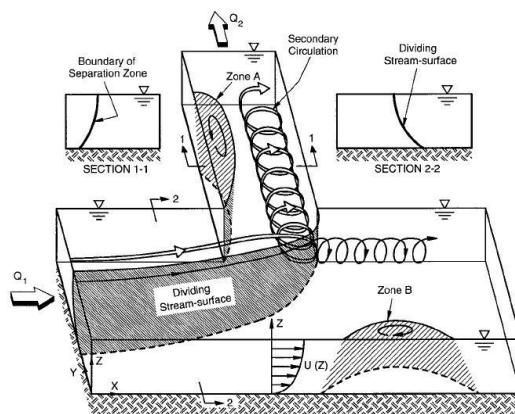
مقدمه

در گذشته انحراف و کنترل آب به منظور تأمین آب مورد نیاز انسان صورت می‌گرفت. با رشد جمعیت، بویژه در مناطق گرمسیر، آبیاری بسیار مورد توجه قرار گرفت. منابع قابل دسترس انسان، دریاچه، دریا، رودخانه، آب‌های زیرزمینی و یخ‌های قطبی می‌باشند. اما استفاده از آب رودخانه نسبت به دیگر منابع، ارزانتر و دارای راندمان بالاتری می‌باشد. رودخانه‌ها بزرگترین منبع آب می‌باشند که برای نیازهای متفاوت مناسب می‌باشند و در تمام سطح زمین پراکنده می‌باشند. با توجه به اهمیت رودخانه‌ها به عنوان یک منبع تأمین آب، مطالعات زیادی بر روی نحوه آبیاری از این منبع صورت پذیرفته است. بر طبق مطالعات (Neary 1993) الگوی جریان سه بعدی در آبگیر جانبی همانند شکل ۱ می‌باشد. وقتی جریان به آبگیر نزدیک می‌شود، فشار مکشی انتهای کانال آبگیر باعث بوجود آمدن شتاب جانبی در جریان می‌گردد. به دلیل این شتاب جانبی قسمتی از جریان جدا شده و وارد آبگیر می‌شود و مابقی جریان به سمت پایین دست کانال اصلی ادامه مسیر می‌دهد. به دلیل انحنا خطوط جریان، عدم تعادلی بین گرادیان فشار جانبی و نیروی گریز از مرکز و نیروی برشی بوجود می‌آید که باعث تشکیل یک جریان ثانویه در جهت عقربه‌های ساعت می‌شود. این حرکت ثانویه همراه با ناحیه جدادشده در طول دیواره داخلی آبگیر (ناحیه A) منجر به یک جریان بسیار پیچیده سه بعدی می‌گردد. در ناحیه A ذرات سیال در فاصله‌ای از دیواره به دور خود در حرکت می‌باشند و در واقع این ناحیه از کانال جانبی تأثیری در مقدار تخلیه جریان نخواهد داشت. ناحیه جدا شده باعث تنگ شدن مقطع آبگیر می‌شود و از سطح مقطع مؤثر آبگیر می‌کاهد. همچنین الگوی جریان به گونه‌ای می‌باشد که بر روی تجمع رسوبات ورودی به آبگیر در نزدیک دیواره داخلی آبگیر مؤثر می‌باشد. هگر (۱۹۸۷) با یک حل آنالیزی ضریب عرض مؤثر در ناحیه جدادشگی و نسبت ضریب کاهش دبی را نتیجه گرفت. رامامورتی و ساتیش (۱۹۸۸) برای جریان در کانال‌های شاخه‌ای و فرعی معادلات مومنتم جدایی را دنبال کردند. جریان بحرانی در شاخه پایین دست مورد بررسی قرار گرفت، که سهم مومنتم کانال فرعی با افزایش نسبت دبی فرعی افزایش می‌یافت. اینگل و ماهانکال (۱۹۹۰) به این مسئله که پیش‌بینی بالا نمی‌تواند برای فرودهای کوچک و ضریب انقباض ماکزیمم در عرض در همه جریان‌های انحرافی مورد استفاده قرار گیرد اشاره کرد.

۱- دانشجو دکتری سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- دانشجو دکتری سازه‌های آبی دانشگاه علوم و تحقیقات تهران

۳- استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز



شکل ۱- الگوی جریان سه بعدی در آبگیر جانبی (Neary 1993)

با توجه به اهمیت ناحیه جداشدگی در میزان آبیگری و تجمع رسوبات، در این تحقیق ابعاد ناحیه جداشدگی برای یک آبگیر ۹۰ درجه با سه گردشگی و یا شعاع ورودی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتیمتری با استفاده از مدل سه بعدی SSIM 2 مورد بررسی قرار گرفت. ابعاد ناحیه جداشدگی در ورودی آبگیر برای نسبت های آبیگری ۰.۲، ۰.۴، ۰.۶ و ۰.۸ (۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰ و ۸۰-۱۰۰) مورد بررسی قرار گرفت. به عنوان مثال نسبت آبیگری ۰/۲ یا ۲۰-۸۰ نشان دهنده این می باشد که ۰/۲ دبی کانال اصلی از آبگیر و مابقی از انتهای کانال اصلی منتقل می شود. به منظور برآورد دقت مدل سه بعدی SSIM 2، نتایج حاصل از مدل SSIM 2 با مدل فیزیکی مقایسه گردید.

مواد و روش ها

مدل SSIM 2

تعداد زیادی مدل های عددی یک، دو و سه بعدی با دقت و قابلیت های متفاوت وجود دارد اما عموماً برنامه های محاسبات دینامیک سیالات (CFD) به دو نوع قابل تقسیم می باشند نوع اول برنامه های جامع و نوع دوم برنامه هایی که منحصرأ برای مدلسازی در مهندسی رودخانه کاربرد دارند. در سال های اخیر برنامه های کامپیوتری چندبعدی برای محاسبات چندین فرآیند مختلف مانند کیفیت آب، انتقال رسوب، پروفیل سطح آب و ... توسعه داده شده اند. یکی از مدل های سه بعدی که به صورت رایگان وجود دارد مدل SSIM 2 می باشد. این مدل توسط پروفیسور السن در دانشگاه نروژ توسعه داده شده است. این مدل معادلات ناویر استوکس را با الگوریتم SIMPLE و با استفاده از روش حجم کنترل و مدل آشفتگی $K - \mathcal{E}$ (به صورت پیش فرض) حل می نماید.

محاسبات جریان آب

در یک هندسه سه بعدی معادلات ناویر استوکس برای محاسبه سرعت جریان حل می شوند. مدل های آشفتگی مورد استفاده قرار می گیرند تا تنش برشی آشفتگی را محاسبه نمایند. معادله ناویر استوکس برای مایع غیر قابل فشرده با یک چگالی ثابت به صورت زیر می باشد.

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

در رابطه فوق U: سرعت جریان، P: فشار و δ_{ij} : دلتای کرونگر (در صورتی که $i = j$ مقدار آن ۱ و در صورتی که $i \neq j$ باشد مقدار آن صفر می باشد).

همچنین ترم اول سمت چپ ترم گذرا و ترم دوم ترم جابجایی می باشد. ترم اول و دوم در سمت راست معادله به ترتیب ترم فشار و تنش رینولدزی می باشد. این ترم توسط مدل های آشفتگی تعیین می گردد. اکثر مدل های آشفتگی معتبر در SSIM 2 وجود دارد. تنها مدل آشفتگی معتبر $K - \omega$ در این نسخه قرار ندارد.

برای مرزهای زیر از قانون دیوار که توسط اسپلیچتین^۱ ارائه شده است استفاده می شود:

$$\frac{U}{u_*} = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{30y}{K_s} \right) \quad (2)$$

1- Schlichting



که در آن U : سرعت در جهت جریان، u_* : سرعت برشی، K : ضریب فان کارمن، γ : فاصله سلول از دیواره و K_s : اندازه زبری بستر می‌باشد.

محاسبات رسوب

در مدل SSIIIM 2 رسوب به دو بخش بار معلق و بار بستر تقسیم می‌شود. برای محاسبه بار معلق از معادله کانوکشن دیفیوژن که به صورت زیر می‌باشد استفاده می‌گردد.

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

در رابطه فوق c : غلظت رسوب، ω : سرعت سقوط، U : سرعت جریان، x : بعد فاصله و Γ_{Γ} : ضریب انتشار می‌باشد. ضریب انتشار از مدل $K - \epsilon$ گرفته می‌شود.

فایل‌های ورودی و خروجی مدل

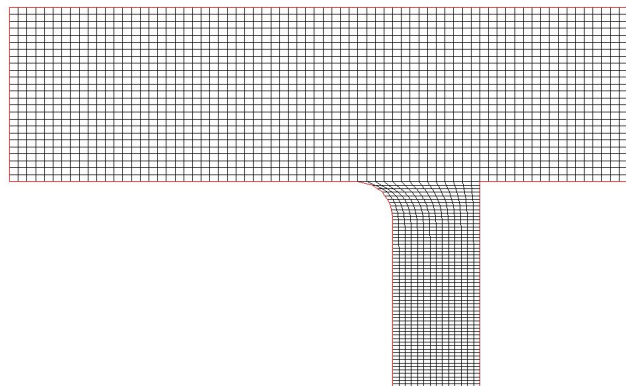
SSIIIM 2 معمولاً با ایجاد شبکه و یا خواندن فایل ورودی اجرا می‌شود. بعد از ایجاد شبکه، مقدار و محل دبی ورودی و خروجی تعیین می‌شود. سپس فایل ایجاد شده قبل از انجام محاسبات هیدرولیک ذخیره می‌شود.

در فایل boogi نتایج محاسبات نوشته می‌شود. در این فایل پارامترهایی مانند سرعت متوسط جریان، تنش برشی و عمق جریان وجود دارد. درصد تله-اندازی و توزیع ذرات رسوب نیز در این فایل نوشته می‌شود. همچنین اگر هنگام اجرای مدل خطایی وجود داشته باشد، مدل این خطا را در این فایل وارد می‌کند.

در حالت پیش فرض فایل Result هنگام شدن معادلات نوشته می‌شود. Result فایل حاوی سرعت در سه بعد، K ، ϵ و فشار می‌باشد. همچنین میزان فلاکس جریان از دیواره‌های هر سلول در این فایل وجود دارد. اطلاعات این فایل برای محاسبات رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. Control فایل کنترل برنامه را در دست دارد. در صورتی که کاربر از این فایل استفاده ننماید، مدل بصورت پیش فرض پارامترهای مورد نیاز برای اجرا را در این فایل قرار می‌دهد.

شبیه‌سازی شرایط جریان در آبگیر با استفاده از مدل SSIIIM 2

در این تحقیق با استفاده از مدل SSIIIM 2 هیدرولیک جریان در آبگیر ۹۰ درجه شبیه‌سازی گردیده است. مش‌بندی منطقه مورد مطالعه بسیار حائز اهمیت می‌باشد زیرا سرعت در همگرا شدن معادلات و دقت نتایج با توجه به فیزیک مسأله تحت تأثیر این موضوع می‌باشد. با توجه به اهمیت جداسازی جریان در کانال آبگیر و به منظور ایجاد قوسی دقیق در محل اتصال آبگیر به کانال اصلی، ابعاد شبکه‌های کانال اصلی $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ و ابعاد شبکه‌های آبگیر $1\text{cm} \times 2\text{cm}$ انتخاب شد. همچنین به منظور افزایش دقت، در جهت قائم خطوط شبکه در 0.1 ، 0.2 ، ... 0.9 عمق انتخاب شد. مش‌بندی برای آبگیر با شعاع گردشگی 10 سانتیمتر در شکل ۲ نشان داده شده است. پس از شبکه‌بندی مقدار دبی ورودی برای کانال اصلی و خروجی برای کانال اصلی و آبگیر با توجه به نسبت‌های دبی ذکر شده وارد مدل گردید. معادله آشفستگی $K - \epsilon$ که معادله پیش فرض مدل می‌باشد مورد استفاده قرار گرفت. در شبکه سه‌بعدی، محاسبات برای تعداد 23627 سلول صورت گرفت.

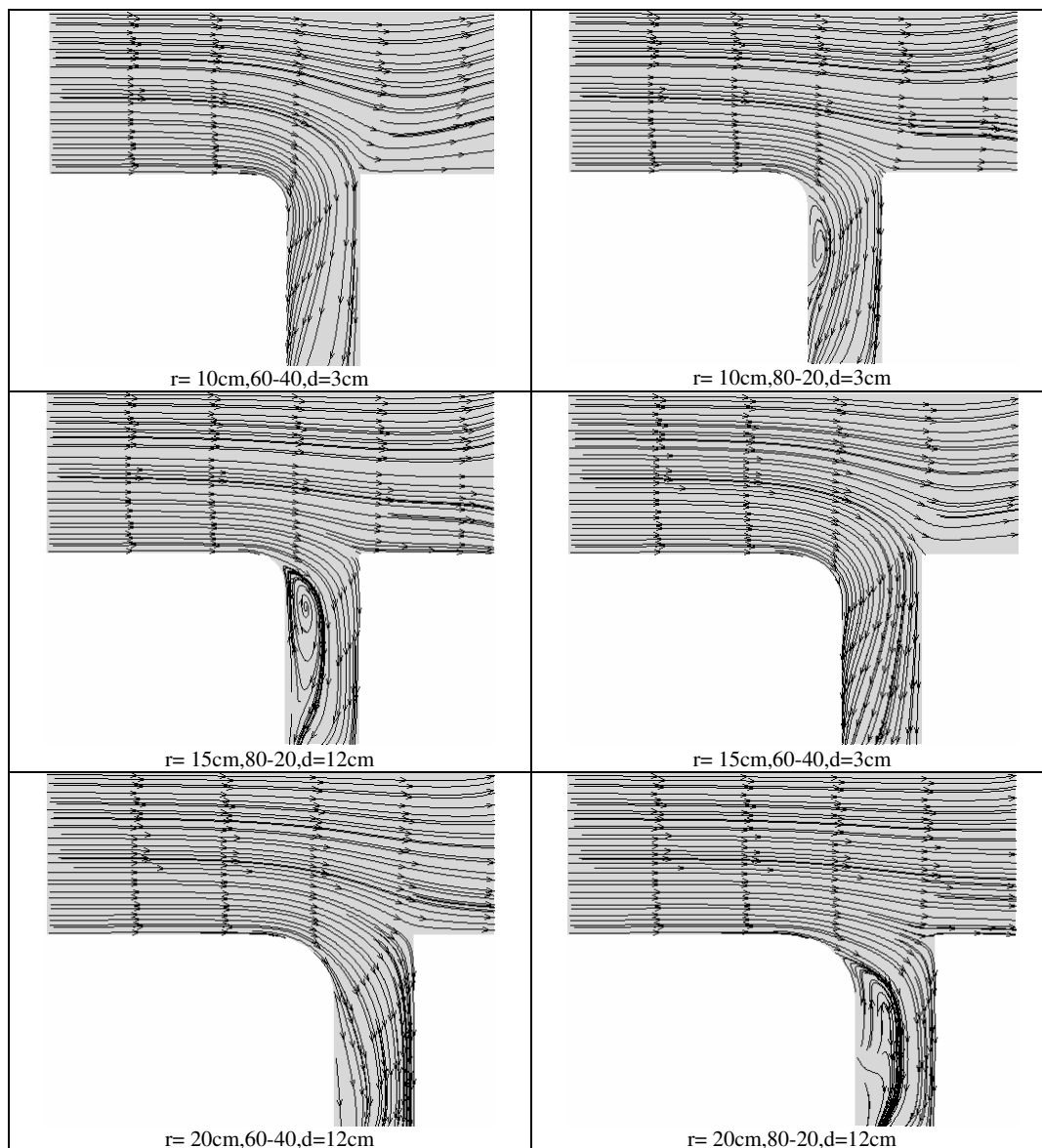


شکل ۲- مش‌بندی آبگیر با شعاع گردشگی 10 سانتیمتر

نتایج و بحث:

رسم خطوط جریان

به منظور تعیین رابطه‌ای بین شعاع دهانه ورودی و میزان جدانشدگی جریان، با استفاده از سرعت های بدست آمده از مدل SSIIM در نقاط مختلف کانال اصلی و فرعی و نرم افزار Tecplot، شبکه جریان برای حالات مختلف جریان و شعاع های ورودی رسم و ابعاد جدانشدگی جریان مشخص شد. نمونه ای از این شبکه جریان برای شعاع های ورودی، نسبت های دبی و عمق های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به این اشکال مشاهده می شود که هر چه نسبت دبی عبوری از آبگیر به دبی ورودی به کانال اصلی کمتر باشد، مقدار جدانشدگی جریان بیشتر است، به عنوان مثال همان گونه که در شکل ۳ قابل مشاهده می باشد، در نسبت دبی ۲۰-۸۰ مقدار جدانشدگی جریان بیشتر از حالت های دیگر می باشد. هنگامی که دبی عبوری از آبگیر کم می باشد سطح مقطع آبگیر همراه با تنگ شدگی ناشی از جدانشدگی توانایی عبور جریان را دارد اما با افزایش دبی آبگیر، خطوط جریان به گونه ای تغییر مسیر می دهند که با کاهش میزان جدانشدگی، عرض آبگیر توانایی عبور دبی را داشته باشد. همچنین در اکثر مواقع مقدار جدانشدگی در لایه نزدیک کف کم و در لایه نزدیک سطح آب ماکزیمم و در لایه های میانی وجود ندارد.

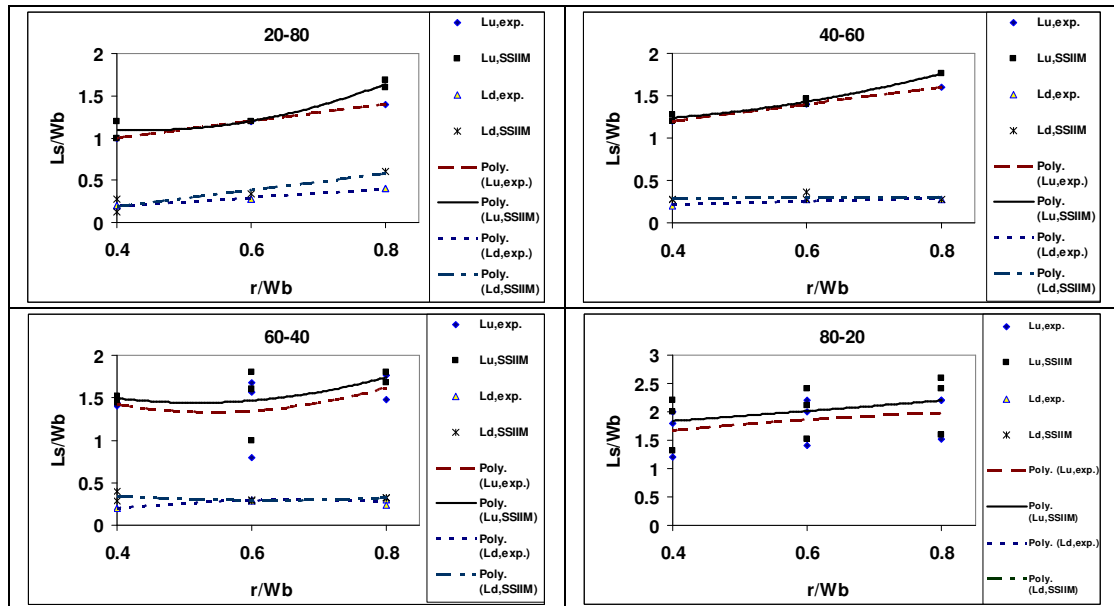


شکل ۳- نمونه هایی از شبکه جریان برای شعاع های ورودی، نسبت های دبی و عمق های مختلف

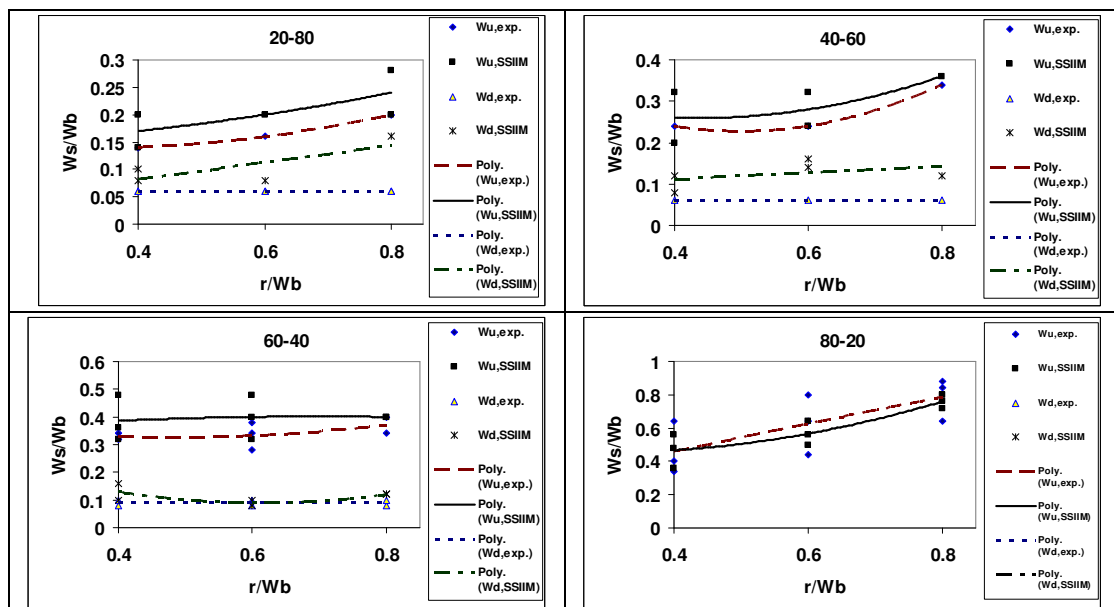


اندازه گیری جدانشدگی جریان:

بعد از رسم خطوط جریان برای اینکه مقدار جدانشدگی جریان مشخص شود، طول و عرض جدانشدگی جریان در بالادست و پایین دست آبگیر در نسبت دبی‌های مختلف اندازه‌گیری شد. ابعاد جدانشدگی جریان در آبگیر ۹۰ درجه در اشکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. L_s مقدار طول جدانشدگی و W_s عرض جدانشدگی می‌باشد، همچنین L_u طول جدانشدگی جریان در بالادست آبگیر، L_d طول جدانشدگی جریان در پایین دست آبگیر، W_u عرض جدانشدگی جریان در بالادست آبگیر، W_d عرض جدانشدگی جریان در پایین دست آبگیر و r شعاع دهانه ورودی آبگیر می‌باشد. در این اشکال محور طولی و عرضی با استفاده از W_b که عرض آبگیر می‌باشد بدون بعد شده است. محور طولی وضعیت ورودی آبگیر را نشان می‌دهد که شامل ورودی گرد شده با شعاع ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد.



شکل ۴- مقایسه طول جدانشدگی جریان در شعاعهای ورودی مختلف در دو مدل فیزیکی و SSIM



شکل ۵- مقایسه عرض جدانشدگی جریان در شعاعهای ورودی مختلف در دو مدل فیزیکی و SSIM



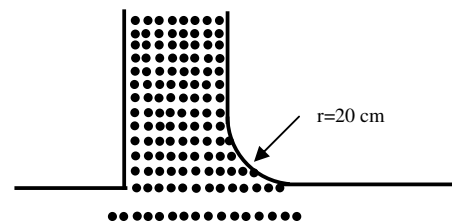
مقایسه جدادشدگی و الگوی جریان بین مدل فیزیکی و مدل SSIIM 2

نتایج حاصل از مدل SSIIM 2 در اشکال ۴ و ۵ ارائه شده است. به منظور مقایسه و تعیین دقت مدل SSIIM 2، با نتایج مطالعات کرمی مقدم (۱۳۸۶) که با استفاده از مدل فیزیکی انجام شده است، مقایسه گردید. شرح مدل فیزیکی در زیر آورده شده است.

کانال اصلی و فرعی مورد مطالعه به ترتیب دارای عرض ۵۰ و ۲۵ و ارتفاع ۴۰ سانتیمتر می باشد. شیب کانال اصلی ۰/۰۰۳ و شیب کانال فرعی صفر در نظر گرفته شده است. برای انجام آزمایشات، ابتدا لبه‌های ورودی آبگیرها با شعاع مشخص گرد شد. با توجه به مقدار جدادشدگی جریان در کارهای قبلی که بر روی آبگیرها با لبه ورودی تیزگوشه انجام شده، شعاع‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر برای دهانه ورودی انتخاب شد. لبه‌های بالادست ورودی آبگیرها باید طوری با شعاع معین گرد شود که قوس ایجاد شده بر راستای کانال فرعی و کانال اصلی مماس باشد همچنین لازم به ذکر است بر اساس مطالعات قبلی، کمترین مقدار جدادشدگی در پایین‌دست یک آبگیر ۹۰ درجه رخ می‌دهد، بنابراین لبه قسمت پایین دست کانال فرعی طوری گرد شده که قوس ایجاد شده از یک طرف بر راستای کانال فرعی مماس و از طرف دیگر بر راستای کانال اصلی عمود باشد به عبارت دیگر لبه پایین‌دست قسمت ورودی حالت قائمه داشته باشد. بنابراین لبه پایین‌دست ورودی کانال فرعی ۹۰ درجه، احتیاج به گردکردن ندارد. بعد از اینکه شعاع مورد نظر ایجاد شد، با استفاده از درپچه‌های انتهای کانال اصلی و فرعی میزان دبی و عمق آب در دو کانال تنظیم گردید. لازم به ذکر است این دبی و عمق باید تا پایان انجام آزمایشات هر مرحله ثابت باشد. آزمایشات در نسبت دبی‌های ۸۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۲۰-۸۰ مورد بررسی قرار گرفت. شرایط آزمایشات در جدول ۱ نشان داده شده است. به منظور تعیین طول و عرض ناحیه جدادشدگی در فلوام آزمایشگاهی با دیواره بتنی و به عبارتی با زبری ثابت و با شعاعهای مختلف در دهانه ورودی، اندازه‌گیری پارامترهای سرعت و عمق انجام می‌شود. اندازه‌گیری سرعت در کل عرض کانال انشعاب و تا فاصله ۶۵ سانتی‌متری از ابتدای ورودی کانال فرعی و برای سه عمق ۳، ۶ و ۱۲ سانتی‌متری از کف برای هر شعاع انجام شد. شکل ۶ نقاط اندازه‌گیری شده سرعت در شعاع ۲۰ سانتیمتر را نشان می‌دهد. بعد از انجام آزمایشات خطوط جریان برای هر حالت رسم شده و سپس ابعاد ناحیه جدادشدگی برای هر حالت محاسبه گردید.

جدول ۱- مشخصات آزمایش‌های انجام شده در مدل فیزیکی

Discharge Ratio	Radius (cm)	Discharge (Lit/Sec)	Main Channell Discharge (Lit/Sec)	Intake Channell Discharge (Lit/Sec)	Flow Depth Upstream Main Channell (cm)	Flow Depth Downstream Main Channell (cm)	Flow Depth Intake Channell (cm)	Upstream Main Channell Frude N.	Downstream Main Channell Frude N.	Intake channell Frude N.
20-80	10	17.22	3.44	13.78	15.1	15.1	15.8	0.187	0.037	0.280
	15	17.22	3.44	13.78	14.7	14.9	15.8	0.196	0.038	0.280
	20	17.22	3.44	13.78	14.8	15.7	14.9	0.193	0.035	0.306
40-60	10	20.08	8.033	12.04	14.9	14.9	16	0.222	0.089	0.240
	15	20.08	8.033	12.04	14.7	14.7	15.8	0.228	0.091	0.245
	20	20.08	8.033	12.04	14.9	14.9	16	0.223	0.089	0.240
60-40	10	33.05	19.83	13.222	14.7	15.1	16.2	0.375	0.216	0.259
	15	33.05	19.83	13.222	14.8	16.2	15	0.371	0.194	0.291
	20	33.05	19.83	13.222	14.9	16.2	15	0.367	0.194	0.291
80-20	10	28.89	23.11	5.778	14.5	15	16.2	0.334	0.254	0.113
	15	28.89	23.11	5.778	14.7	16.2	15.1	0.327	0.226	0.126
	20	28.89	23.11	5.778	15	16.2	14.9	0.318	0.226	0.128



شکل ۶- نقاط اندازه‌گیری شده سرعت در شعاع ۲۰ سانتیمتر

همانگونه که در اشکال ۴ و ۵ قابل مشاهده می‌باشد مدل فیزیکی و مدل SSIIM 2 رابطه مستقیمی را بین افزایش شعاع گردشدگی و افزایش ابعاد ناحیه جدادشدگی در بالادست آبگیر نشان می‌دهند. طول ناحیه جدادشدگی شبیه‌سازی شده توسط مدل SSIIM 2 تقریباً برابر با مدل فیزیکی می‌باشد اما عرض ناحیه جدادشدگی در نسبت‌های دبی آبگیری ۰/۸ و ۰/۶ با مدل فیزیکی متفاوت می‌باشد و مدل SSIIM 2 مقدار عرض ناحیه جدادشدگی را بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد. در مدل SSIIM 2 هنگامی که نسبت دبی آبگیری زیاد می‌باشد شرایط جریان به گونه‌ای تغییر می‌نماید که خطوط جریان از پایین‌دست کانال اصلی نیز وارد کانال آبگیر می‌گردد یعنی شرایط جریان مانند حالتی است که انتهای کانال بسته می‌باشد و شرایط



جریان آزاد برقرار نیست، در نتیجه جریان برگشتی برای ورود به آبگیر با یک جدانشدگی بیشتری وارد می‌شود، در صورتی که در مدل فیزیکی این جریان برگشتی مشاهده نمی‌شود. در مدل فیزیکی و مدل 2 SSIIM جدانشدگی جریان در پایین دست آبگیر فقط در نسبت دبی آبگیری ۰/۲ وجود ندارد. مدل 2 SSIIM طول ناحیه جدانشدگی پایین دست را با دقت بالایی شبیه‌سازی نموده است اما عرض ناحیه جدانشدگی پایین دست حاصل از شبیه‌سازی مدل 2 SSIIM همانند عرض ناحیه جدانشدگی بالادست برای نسبت‌های آبگیری ۰/۶ و ۰/۸ با مدل فیزیکی دارای اختلاف می‌باشد. همان‌گونه که ذکر شد این اختلاف به دلیل شرایط جریان برگشتی در نسبت‌های آبگیری بیشتر از ۰/۵ در مدل 2 SSIIM می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به شرایط هیدرولیکی پیچیده حاکم بر آبگیرها ممکن است قبل از ساخت یک آبگیر، مطالعات بر روی مدل فیزیکی مربوط به آن آبگیر صورت پذیرد، سپس با اعمال اصلاحات لازم و تعیین مناسب‌ترین الگوی جریان طرح نهایی آبگیر اجرا شود. اما اغلب این فرآیند وقت‌گیر و هزینه‌بر است. در سال‌های اخیر مدل‌های ریاضی سه‌بعدی که شرایط جریان را بطور کامل شبیه‌سازی می‌نمایند ارائه شده است. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان بدون توجه به محدودیت‌های مدل فیزیکی، فیزیک سازه و شرایط جریان را به سادگی تغییر داد و با مقایسه نتایج، بهترین گزینه را انتخاب نمود. با توجه به مقایسه نتایج مدل فیزیکی و مدل سه‌بعدی 2 SSIIM می‌توان نتیجه‌گیری نمود مدل 2 SSIIM شرایط جریان در یک آبگیر ۹۰ درجه را برای نسبت‌های دبی کمتر از ۰/۵ و گردش‌دهی‌های متفاوت، با دقت بالایی شبیه‌سازی می‌نماید. هر دو مدل نشان می‌دهند که شعاع ۱۰ سانتیمتر یا $r/W_b=0.4$ با کمترین مقدار جدانشدگی به عنوان شعاع بهینه شناخته می‌شود. همچنین تأثیر گردش‌دهی بر روی ابعاد جدانشدگی پایین دست آبگیر فقط در نسبت آبگیری ۰/۸ قابل توجه می‌باشد و در دیگر نسبت‌های آبگیری تأثیر گردش‌دهی کم می‌باشد، زیرا در تمامی آزمایشات لبه پایین دست بصورت ۹۰ درجه و بدون گردش‌دهی می‌باشد.

مراجع

- 1- Hager, W. H. (1987) Discussion of 'Separation zone at open-channel junction' by Best, J. L., Reid, I.", J. Hydr. Engrg., ASCE, 113 (4), 539-543.
- 2- Ramamurthy, A. S. and Satish, M. G. (1988) Division of Flow in Short Open Channel Branches. J. Hydr. Engrg., ASCE, 114 (4), 428-438.
- 3- Ingle, R. N. and Mahankal, A. M. (1990) Discussion of 'Division of Flow in Short Open Channel Branches' by Ramamurthy, A. S., Satish, M. G., J. Hydr. Engrg., ASCE, 116(2), 289-291.
- 4- Neary, V.S. and Odgaard, A.J. (1993) Three Dimensional Flow Structure at Open Channel Diversions, J. Hydr. Engrg., ASCE, 119 (11), 1223-1230.

۵- کرمی مقدم. (۱۳۸۶). تعیین شعاع یا گردش‌دهی بهینه در دهانه ورودی آبگیر ۵۵ درجه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز