

مطالعه عددی تأثیر نفوذپذیری آبشکن‌ها بر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در قوس ۹۰ درجه ملایم

پریا فتاحی^۱، علی آرمان^{۲*} و جواد ظهیری^۳

^۱ دانش آموخته سازه‌های آبی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی
^۲ استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی
^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(دریافت: ۹۶/۷/۹، پذیرش: ۹۷/۲/۲، نشر آنلاین: ۹۷/۲/۳)

چکیده

رودخانه تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند زمین‌شناسی منطقه، توپوگرافی دره رودخانه، خصوصیات مواد آبرفتی سیلاب‌دشت رودخانه، مشخصات هیدرولوژیکی حوضه آبریز، شرایط هیدرولیکی جریان و نیز نحوه بهره‌برداری بشر از آن، تمایل طبیعی به دستیابی به تعادل پویا دارد. طبیعت تغییرپذیری برخی از عوامل فوق سبب می‌گردد تا رودخانه حتی در کوتاه مدت و در بازه‌های مختلف آن همواره در معرض تغییر و تحول باشد. این تغییرات به ویژه در قوس رودخانه‌ها مشهودتر است. در مسیرهای قوسی وجود جریان حلزونی باعث فرسایش شدید ساحل خارجی، بخصوص در سواحل فرسایش‌پذیر می‌شود. یکی از روش‌های ساماندهی رودخانه‌ها در محل قوس‌ها استفاده از آبشکن‌ها است. در مطالعه حاضر از مدل عددی CCHE2D برای شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب در یک قوس ۹۰ درجه ملایم، همراه و بدون حضور آبشکن‌های دارای طول معادل ۲۰٪ عرض مجرای قوس، استفاده شد و تأثیر نفوذپذیری آبشکن‌ها بر الگوی رسوب‌گذاری و فرسایش مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از سه درصد نفوذپذیری ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ برای آبشکن‌ها استفاده شد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش درصد نفوذپذیری آبشکن‌ها، بیشینه عمق آبستگي و ارتفاع رسوب‌گذاری کاهش می‌یابد. به عنوان مثال حداکثر میزان فرسایش در آبشکن‌های با نفوذپذیری ۵۰٪، به ترتیب ۱۳/۰۹ و ۲۰/۶۵ درصد نسبت به آبشکن‌های با نفوذپذیری ۳۰٪ و ۲۰٪ کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: آبشکن، قوس ۹۰ درجه، مدل عددی CCHE2D، نفوذپذیری.

۱- مقدمه

مهندسی رودخانه محسوب می‌گردد. یکی از مهم‌ترین سازه‌های کنترل جریان، آبشکن‌ها هستند که سبب انحراف حمله جریان از کناره‌ها و نواحی بحرانی شده و جریان را به سمت محور مرکزی رودخانه هدایت می‌نمایند.

مطالعه الگوی جریان در قوس به جهت پیچیدگی‌های خاص خود همواره برای محققین مختلف دارای جذابیت بوده است. شاید برای نخستین بار Thomson در سال ۱۸۷۶ و در اواخر قرن نوزدهم به تفکر در علت حرکت مارپیچی رودخانه‌های طبیعی در پلان پرداخت.

Gill (۱۹۷۲)، با استفاده از تغییر شعاع قوس، عمق جریان و قطر ذرات در مسیر مستقیم و کانال خمیده، نشان داد که فاصله بین آبشکن‌ها بستگی به شعاع انحنای قوس دارد.

امروزه رودخانه‌ها به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع فراهم کننده آب و انرژی برای انسان می‌باشند و به منزله شاه‌رگ جوامع بشری قلمداد می‌شوند. الگوی غالب برای شکل رودخانه در پلان پیچان رودی می‌باشد. به علت حرکت پیچان رودها به پائین‌دست، خاک‌های با ارزش کناره‌ها شسته شده و از بین می‌روند؛ علت اصلی این ناپایداری، توزیع نامتقارن سرعت در عرض و طول رودخانه می‌باشد. در قوس رودخانه، نیروهای هیدرودینامیکی جریان‌های ثانویه را به وجود آورده و خطوط جریان سطحی را به سمت ساحل بیرونی و خطوط جریان نزدیک به بستر را به سمت ساحل داخلی منحرف می‌سازند. امروزه محافظت از کناره رودخانه در برابر پدیده فرسایش و تخریب ناشی از جریان آب با استفاده از انواع سازه‌های کنترل جریان از روش‌های متداول در علم

با توجه به توضیحات ذکر شده، شناخت هیدرولیک جریان در قوس رودخانه و کانال‌های دارای انحناء از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شناخت توپوگرافی بستر در قوس‌ها برای مشخص کردن مواضع آبستگي و رسوب‌گذاری به منظور تعیین مناسب‌ترین موقعیت جهت احداث سازه‌های هیدرولیکی نظیر آبشکن، آبگیر و نیز مدیریت ساماندهی رودخانه‌ها ضروری است. اکثر تحقیقات صورت گرفته در خصوص نرم‌افزار CCHE2D، در زمینه مطالعه بر روی نمونه‌های واقعی (در مقیاس چند کیلومتر و در یک بازه طولانی از مسیر رودخانه و با استفاده از داده‌های نقشه‌برداری) بوده است که با خطای زیادی نیز مواجه است. همچنین مطالعاتی که در زمینه کاربرد این نرم‌افزار در مدل‌های آزمایشگاهی صورت پذیرفته، در خصوص بررسی الگوی جریان (عمدتاً تک آبشکن) و یا در مجاری تند بوده است.

هدف تحقیق حاضر بررسی الگوی جریان و رسوب در قوس ۹۰ درجه ملایم، همراه و بدون حضور آبشکن‌ها با درصد نفوذپذیری‌های مختلف می‌باشد. ضمن این که کالیبراسیون نرم‌افزار با استفاده از داده‌های سرعتی است که توسط سرعت سنج سه‌بعدی برداشت شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی مدل عددی CCHE2D

نرم‌افزار CCHE2D یک مدل عددی برای شبیه‌سازی جریان آشفته و انتقال رسوب در کانال‌های باز می‌باشد که در مرکز بین‌المللی علوم هیدرولیک و مهندسی محاسباتی دانشکده می‌سی‌سی‌پی آمریکا تهیه شده و توسعه یافته است. این مدل جزء مدل‌های هیدرودینامیکی دوبعدی بوده که برای حل میدان جریان از معادلات رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق استفاده می‌کند و برای شبیه‌سازی جملات انتقال آشفته‌گی دو مدل صفر معادله‌ای توزیع سهموی و مدل طول اختلاط لزجت گردابه‌ای و نیز مدل دو معادله‌ای $k-\epsilon$ را به کار می‌برد. ساخت هندسه و شبکه‌بندی میدان مطالعاتی در یک نرم‌افزار مجزای پیش پردازنده تحت عنوان CCHE-MESH صورت می‌گیرد و حل میدان جریان و انتقال رسوب و همچنین مشاهده نتایج در محیط گرافیکی نرم‌افزار CCHE-GUI انجام می‌شود. گسسته‌سازی معادلات میدان جریان و انتقال رسوب با استفاده از روش مبتنی بر المان محدود صورت می‌گیرد و حل معادلات جبری میدان جریان و انتقال رسوب به ترتیب با استفاده از روش تصحیح سرعت و روش‌های تکرار گوس-سایدل و SIP انجام می‌شود. مدل مش‌ساز این نرم‌افزار تنها قابلیت تولید مش‌های مستطیلی را دارد.

Dey و Barbhuiya (۲۰۰۴)، با مطالعه آشفته‌گی جریان در اطراف یک آبشکن در دیواره کانال نشان دادند که سرعت جریان و تنش برشی در اطراف آبشکن به ترتیب $1/6$ و $3/3$ برابر مقادیر بالادست آبشکن است.

Nasrollahi و همکاران (۲۰۰۸)، به مطالعه آبستگي اطراف تک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه، حداکثر عمق آبستگي آبشکن نفوذپذیر در مقایسه با آبشکن نفوذناپذیر کاهش قابل توجهی داشت. همچنین این محققان با استفاده از آنالیز ابعادی و داده‌های آزمایشگاهی، رابطه‌ای برای تخمین حداکثر عمق آبستگي اطراف آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر به دست آوردند.

Fazli و همکاران (۲۰۰۷) نیز به بررسی آزمایشگاهی تغییرات آبستگي و چگونگی تشکیل حفره آبستگي اطراف آبشکن‌های مستقیم در قوس ۹۰ درجه پرداختند و نتیجه گرفتند هرچه موقعیت آبشکن به سمت انتهای قوس پیش رود مقدار آبستگي بیشتر می‌شود.

Zhang و همکاران (۲۰۰۹)، الگوی جریان در اطراف آبشکن‌های نفوذناپذیر را با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و عددی، در شرایط آب زلال بررسی کردند. برای شبیه‌سازی جریان آشفته از مدل $k-\epsilon$ استفاده کردند. براساس مقایسه میان نتایج آزمایشگاهی و عددی، نتیجه گرفتند که مدل آشفته‌گی $k-\epsilon$ برای شبیه‌سازی جریان آشفته مناسب‌تر است.

حسینی‌نیا و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از مدل CCHE2D به بررسی اثر طول بال آبشکن T شکل در قوس ۱۸۰ درجه بر آبستگي اطراف آن پرداختند. پارامترهای متغیر شامل دبی جریان و طول آبشکن بود. نتایج نشان داد که در دبی ثابت با افزایش طول بال آبشکن، آبستگي بیشینه کاهش می‌یابد.

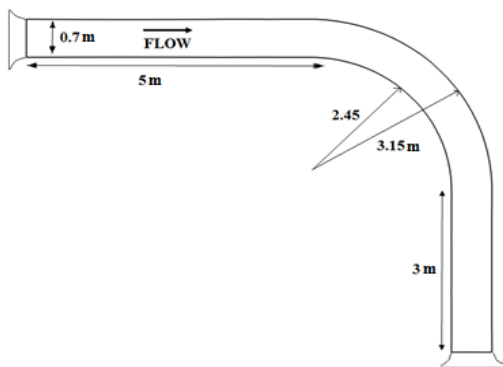
تاج‌بخش و موسوی جهرمی (۱۳۹۲)، با استفاده از مدل CCHE2D به بررسی تأثیر آبشکن‌های رودخانه‌ای در کنترل فرسایش ساحل در بخشی از رودخانه کارون جهت پیش‌بینی تغییرات بستر و ساحل در یک دوره زمانی ۲۰ ساله پرداختند. نتایج نشان داد خط‌القعر پیمان‌رود بین ۴ تا ۸ و به طور متوسط ۵/۷ متر نسبت به شرایط اولیه عمیق‌تر شده و به دلیل حضور جریان حلزونی عمق بستر در محل قوس خارجی افزایش بیشتری دارد.

Negmalidin Saeed و Osman (۲۰۱۲)، با انجام آزمایش‌هایی، به بررسی اثر تنگ‌شدگی بر روی سری آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر پرداختند. نتایج آزمایش‌های آنها نشان داد که عمق آبستگي اطراف آبشکن‌های نفوذناپذیر با نسبت تنگ‌شدگی ۶۰ درصد، $2/6$ برابر عمق آبستگي اطراف آبشکن‌ها با نسبت تنگ‌شدگی ۸۰ درصد است و این نسبت برای آبشکن‌های نفوذپذیر با همان شرایط به میزان ۳ برابر می‌باشد.

و با توجه به داده‌های آزمایشگاهی، کالیبراسیون لازم صورت پذیرفت و مدل آشفتگی $k-\epsilon$ به عنوان مدل برتر که بیشترین انطباق را با داده‌های آزمایشگاهی دارا بود، به عنوان مدل برتر انتخاب گردید.

۲-۲- معرفی مدل آزمایشگاهی

قوس به کار رفته در حل عددی این پژوهش بر مبنای یک فلوم قوسی ۹۰ درجه ملایم است که در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز و بر مبنای پژوهش ظهیری و همکاران (۱۳۹۱)، مدل‌سازی شده است. مشخصات فلوم آزمایشگاهی در شکل (۱) آورده شده است. با توجه به نسبت شعاع قوس به عرض مجرای برابر با ۴، نتیجه‌گیری می‌شود که قوس به کار رفته در این پژوهش، در محدوده قوس‌های ملایم می‌باشد.



شکل ۱- شکل شماتیک فلوم آزمایشگاهی

۲-۳- جزئیات مربوط به آبشکن‌ها

با توجه به استانداردهای موجود، از جمله استاندارد FHWA، در این تحقیق از ۱۰ آبشکن با طول ۱۴ سانتی‌متر استفاده گردید. مشخصات مربوط به آبشکن‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات مربوط به آبشکن‌ها

b/B	b(cm)	λ (cm)	λ/b
۰.۲۰	۱۴	۴۵/۸۰	۳/۲۷

که B عرض فلوم، b طول آبشکن و λ فاصله بین آبشکن‌ها می‌باشد. همچنین جزئیات مربوط به نفوذپذیری آبشکن‌ها به ترتیب در شکل (۲) و جدول (۲) نشان داده شده است.

۲-۱-۱- معادلات حاکم

معادلات پیوستگی و مومنتم جریان متوسط‌گیری شده در عمق برای جریان‌های آشفته در دستگاه مختصات کارتزین را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{cor}v \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - f_{cor}u \quad (3)$$

در معادلات فوق، U و V به ترتیب بیانگر مؤلفه‌های سرعت متوسط‌گیری شده در عمق در راستای x و y ، t زمان، g شتاب جاذبه، Z تراز ارتفاعی سطح آب، ρ دانسیته، h عمق محلی جریان و f_{cor} ضریب مربوط به شتاب کوریولیس، τ_{xx} ، τ_{xy} ، τ_{yx} ، τ_{yy} تنش‌های رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق و τ_{bx} ، τ_{by} تنش‌های برشی بستر در راستای x و y می‌باشند.

اساس مدل‌سازی انتقال رسوب توسط معادله جابجایی-پخش متوسط‌گیری شده در عمق برای انتقال بار معلق و معادله پیوستگی برای بار بستر صورت می‌گیرد.

$$\frac{\partial(hC_k)}{\partial t} + \frac{\partial(UhC_k)}{\partial x} + \frac{\partial(VhC_k)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_s h \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_s h \frac{\partial C_k}{\partial y} \right) + E_{bk} - D_{bk} \quad (4)$$

$$(1-P) \frac{\partial Z_{bk}}{\partial t} + \frac{\partial(\delta \bar{C}_{bk})}{\partial t} + \frac{\partial q_{bkx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{bky}}{\partial y} = -E_{bk} + D_{bk}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (5)$$

در معادلات بالا C_k غلظت بار رسوب معلق، ϵ_s ضریب پخش لزجت گردابه‌ای رسوب، E_{bk} نرخ ورود ذرات رسوب از ناحیه بار بستر به ناحیه بار معلق، D_{bk} نرخ تهنشینی ذرات رسوب در مرز بین نواحی بار بستر و معلق، P' تخلخل مواد کف، \bar{C}_{bk} غلظت متوسط بار بستر در منطقه حرکت بار بستر، δ ضخامت لایه بستر، q_{bkx} و q_{bky} مؤلفه‌های نرخ انتقال بار بستر در راستای x و y و Z_b نرخ ارتفاعی بستر می‌باشد.

لازم به ذکر است که بر اساس تطابق بیشتر نتایج شبیه‌سازی شده مدل آشفتگی $k-\epsilon$ با نتایج آزمایشگاهی، این مدل آشفتگی از میان سه مدل آشفتگی توزیع سهموی، طول اختلاط و مدل $k-\epsilon$ ، انتخاب شد. به دلیل محدودیت‌های مدل تنها از مدل $k-\epsilon$ استاندارد در مدل استفاده می‌شود. ضمناً در مرحله صحت‌سنجی

۲-۶- شرایط اولیه و شرایط مرزی

شکل (۳) شمایی از شبکه تولید شده توسط نرم‌افزار را نشان می‌دهد. در نواحی نزدیک به جداره به جهت داشتن گرادیان‌های شدیدتر و به منظور افزایش دقت، از شبکه‌بندی ریزتری استفاده گردید. همچنین به منظور کاهش حجم و زمان محاسبات از ۲ متر مستقیم ابتدای فلوم صرف‌نظر شد.

شرایط اولیه برای شبیه‌سازی جریان، شامل عمق اولیه آب، ضریب زبری و ارتفاع بستر کانال می‌باشد که بر اساس مشخصات مدل آزمایشگاهی اعمال گردید. شرایط مرزی اعمال شده در ورودی و خروجی مدل در حالت ماندگار شامل دبی ۳۴ لیتر بر ثانیه در مرز ورودی و عمق آب برابر با ۱۴ سانتی‌متر در مرز خروجی می‌باشد. ضمناً ضریب زبری مانینگ با توجه به مصالح کف، برابر ۰/۰۱ در نظر گرفته شد.

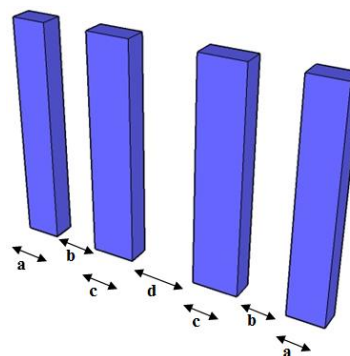
به منظور شبیه‌سازی جریان رسوب از دانه‌بندی یکنواخت با اندازه متوسط ذرات برابر با ۱/۵ میلی‌متر استفاده گردید. همچنین شبیه‌سازی بر اساس شرایط آب زلال و ارتفاع رسوبات برابر با ۲۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. میزان غلظت رسوبات در مرز ورودی برابر با صفر در نظر گرفته شد. با توجه به این که شبیه‌سازی جریان رسوبی بر اساس معادلات حاکم بر بار بستر می‌باشد، از میان ۴ معادله: فرمول اصلاح شده Ackers and White، فرمول Wu و همکاران، فرمول اصلاح شده Engelund-Hansen و فرمول SED TRA، فرمول Wu و همکاران، (تاج‌بخش و موسوی چهرمی) بیشترین تطابق را با نتایج آزمایشگاهی داشت و برای محاسبه بار بستر از این رابطه استفاده شد.

۳-۳- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق حاضر در دو بخش نتایج مربوط به صحت‌سنجی و نتایج مربوط به شبیه‌سازی ارائه می‌شود. صحت‌سنجی مدل عددی، شامل صحت‌سنجی جریان در حالت قوس با حضور و صحت‌سنجی الگوی رسوب در قوس بدون حضور آبشکن-ها می‌باشد.

پایان زمان شبیه‌سازی در مدل CCHE2D، در شرایط جریان بدون رسوب، براساس اختلاف دبی در واحد عرض ورودی و خروجی فلوم و به میزان ۰/۰۰۰۱ و در شرایط جریان رسوبی، بر اساس به تعادل رسیدن شکل بستر و عدم تغییر آن در شبیه‌سازی‌های متوالی در نظر گرفته شد.

به منظور صحت‌سنجی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل عددی، سرعت در مقاطع عرضی مختلف با سرعت‌های آزمایشگاهی که در نقاط مختلف عمقی برداشت شده‌اند، مقایسه و پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا، متوسط خطای مطلق و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. این پارامترها به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:



شکل ۲- شکل شماتیک آبشکن نفوذپذیر

جدول ۲- جزئیات مربوط به آبشکن‌های نفوذپذیر

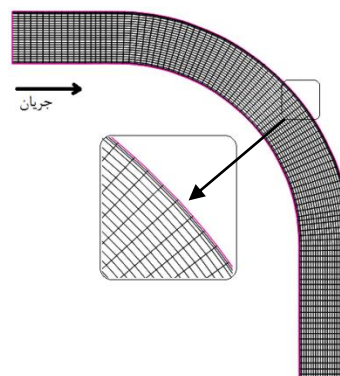
درصد نفوذپذیری	پارامتر (cm)			
	d	c	b	a
٪۲۰	۱	۳	۰/۹	۲/۶
٪۳۰	۲	۲/۵	۱/۱	۲/۴
٪۵۰	۳	۲	۲	۱/۵

۲-۴- جزئیات داده‌های آزمایشگاهی

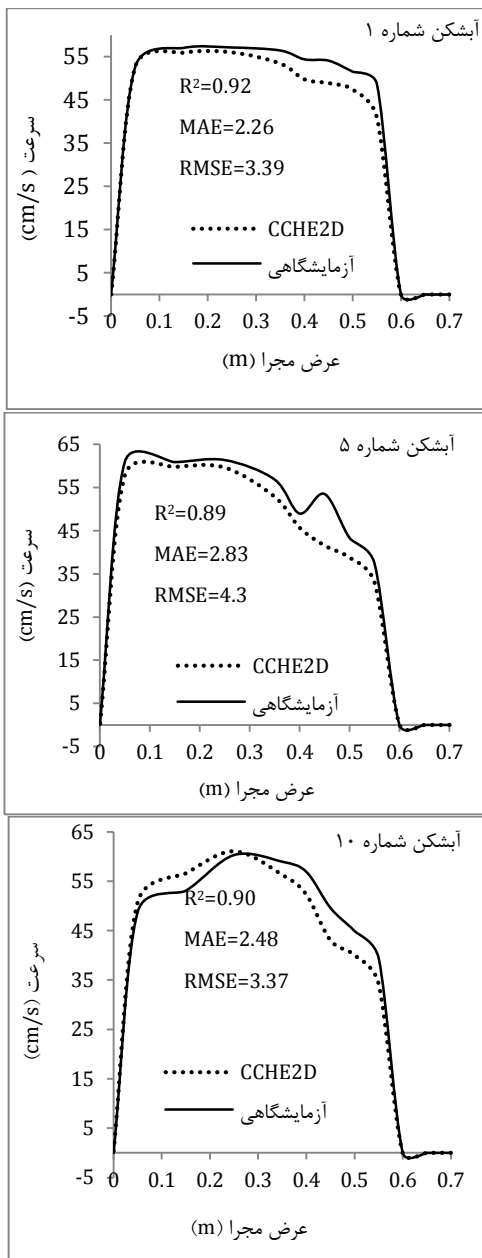
داده‌های آزمایشگاهی موجود شامل داده‌های مربوط به سرعت در حالت قوس با حضور آبشکن‌ها و نیز داده‌های مربوط به تغییرات بستر در قوس بدون حضور آبشکن‌هاست. از سرعت‌سنج سه‌بعدی الکترومغناطیس JFEALEC جهت برداشت مؤلفه‌های سرعت و از متر لیزری جهت برداشت تغییرات بستر استفاده شده است.

۲-۵- تنظیم و بهینه‌سازی شبکه‌بندی

درستی و دقت نتایج شبیه‌سازی بستگی به کیفیت شبکه تشکیل شده دارد. شبکه مطلوب شبکه‌ای است که مقادیر خروجی از مدل وابسته به اندازه شبکه نباشد و تا حد امکان فضا و زمان کمتری از کامپیوتر را به خود اختصاص دهد. بر این اساس تعداد شبکه‌های تولید شده در جهت طولی برابر با ۲۷ و در جهت عرضی برابر با ۱۰۰ می‌باشد.



شکل ۳- شمایی از شبکه به کار رفته در نرم‌افزار



شکل ۵- مقایسه سرعت‌های شبیه‌سازی شده و آزمایشگاهی در قوس با حضور آبشکن‌ها (Q=30 Lit/s, y=11 cm)

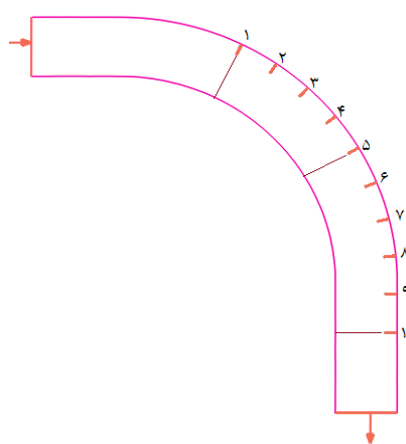
با توجه به شکل (۶) انطباق عمومی نتایج شبیه‌سازی شده و آزمایشگاهی به همراه نتایج پارامترهای آماری، بیانگر صحت‌سنجی قابل قبول مدل عددی می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [(v_0)_i - (v_i)]^2} \quad (۶)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n abs[(v_0)_i - (v_i)] \quad (۷)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum((v_0)_i - (v_i))^2}{\sum((v_0)_i - (\overline{(v_0)_i}))^2} \quad (۸)$$

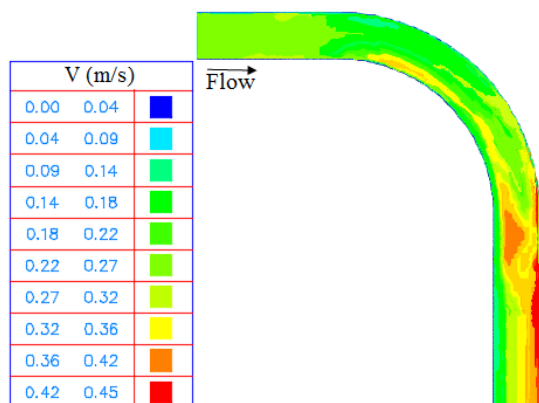
در روابط فوق، N تعداد داده‌ها، v_0 سرعت برداشت شده در آزمایشگاه، $\overline{v_0}$ متوسط سرعت‌های برداشت شده در آزمایشگاه و v سرعت محاسبه شده توسط نرم‌افزار می‌باشند. از بین مقاطع عرضی، سه مقطع به گونه‌ای انتخاب گردید که محدوده مورد مطالعه را به خوبی پوشش دهند. در شکل (۴) مقاطع انتخاب شده نشان داده شده است.



شکل ۴- مقاطع انتخابی جهت مقایسه پروفیل‌های عرضی سرعت

در شکل (۵) روند تغییرات پروفیل عرضی سرعت متوسط-گیری شده در عمق، در مقاطع مختلف ترسیم شده است. با توجه به مقادیر پارامترهای آماری ارائه شده در شکل (۵)، نتایج نشان می‌دهند که مدل عددی از توانایی بالایی جهت پیش‌بینی سرعت جریان در قوس برخوردار است. بیشترین اختلاف در نزدیکی قوس خارجی مشاهده می‌شود. این اختلاف می‌تواند ناشی از ضعف مدل $k-\epsilon$ در شبیه‌سازی جریان در نواحی که جریان ثانویه و چرخشی وجود دارد، باشد.

به منظور مقایسه کمی نتایج و بررسی دقت مدل در شبیه‌سازی جریان رسوبی، مقادیر تغییرات بستر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در ۴ مقطع مختلف در شکل (۶) ارائه شده است.

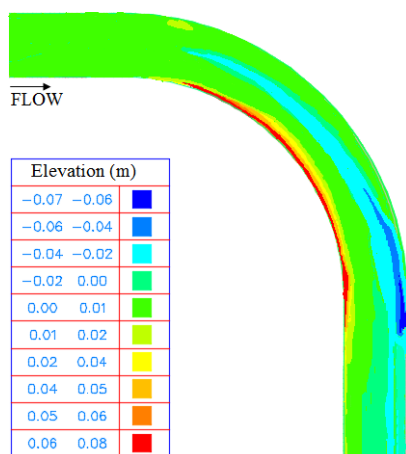


شکل ۷- سرعت متوسط‌گیری شده در عمق در قوس بدون حضور آبشکن‌ها (Q=34 Lit/s, Y=14 cm)

با توجه به شکل (۷) با ورود جریان به داخل قوس سرعت‌های ماکزیمم در مجاورت قوس داخلی اتفاق می‌افتد. با پیشروی جریان در قوس و شکل‌گیری جریان ثانویه سرعت ماکزیمم به سمت مرکز کانال منحرف شده و با نزدیک شدن جریان به انتهای قوس سرعت ماکزیمم به سمت دیواره خارجی، متمایل می‌شود؛ به گونه‌ای که حداکثر مقدار سرعت در یک سوم انتهایی قوس و در مجاورت دیواره خارجی آن مشاهده می‌شود.

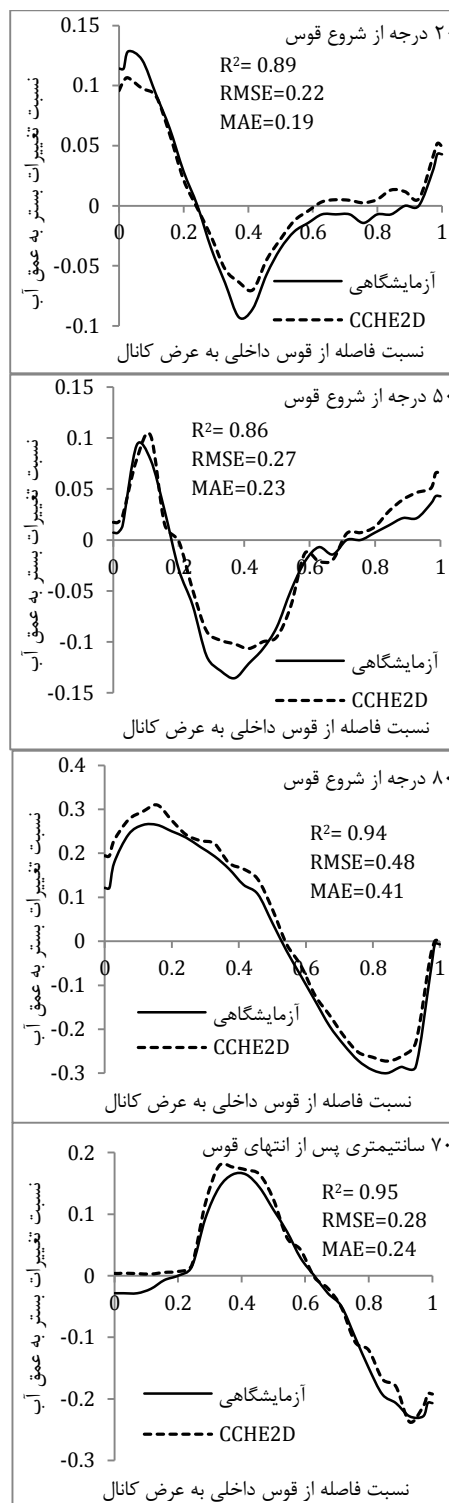
۳-۱-۲- تحلیل نتایج جریان رسوبی در قوس بدون حضور آبشکن‌ها

شکل (۸) الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در قوس بدون حضور آبشکن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۸- الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در قوس بدون حضور آبشکن‌ها (Q=34 Lit/s, Y=14 cm)

با توجه به شکل (۸) در قوس خارجی فرسایش و در قوس داخلی رسوب‌گذاری اتفاق افتاده است. حداکثر میزان فرسایش در مسیر مستقیم پایین‌دست قوس اتفاق افتاده است که با توجه به

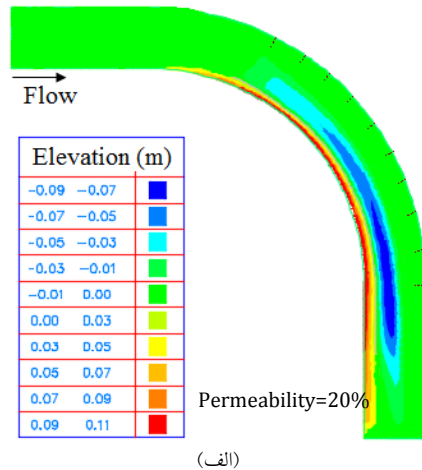


شکل ۶- مقایسه تغییرات بستر شبیه‌سازی شده و آزمایشگاهی (Q=34 Lit/s, Y=14 cm)

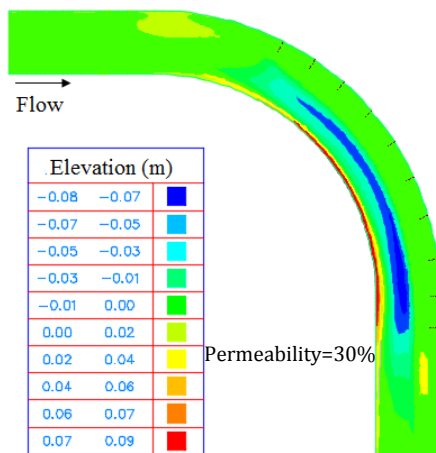
۳-۱-۳- تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل عددی
۳-۱-۱- تحلیل نتایج جریان در قوس بدون حضور آبشکن‌ها
شکل (۷) الگوی سرعت متوسط‌گیری شده در عمق را در قوس بدون حضور آبشکن‌ها نشان می‌دهد.

۳-۱-۴- تحلیل نتایج جریان رسوبی در قوس با حضور آبشکن‌های نفوذپذیر

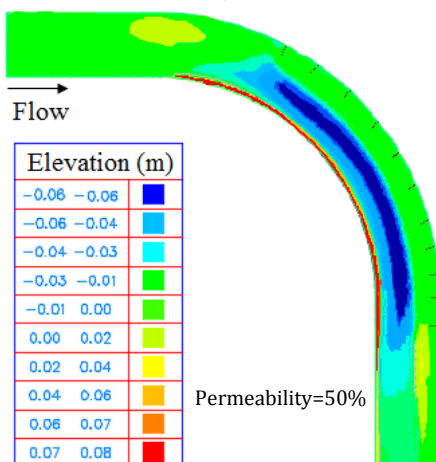
شکل (۱۰) توپوگرافی بستر را در برای آبشکن‌های نفوذپذیر با درصدهای نفوذپذیری ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)



(ج)

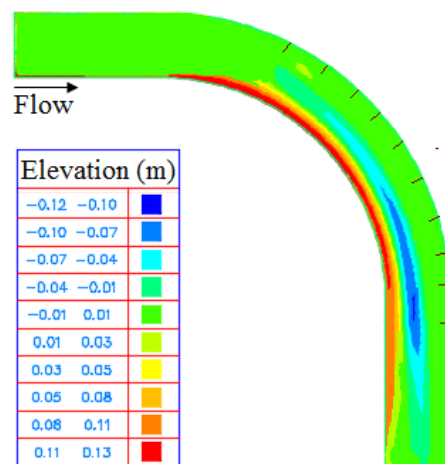
شکل ۱۰- توپوگرافی بستر در قوس با حضور آبشکن‌های نفوذپذیر با درصدهای نفوذپذیری متفاوت (Q=34 Lit/s, Y=14 cm)

الگوی سرعت در قوس و محل وقوع ماکزیمم سرعت، مطابقت دارد. این امر لزوم استفاده از آبشکن‌ها جهت محافظت از قوس خارجی را توجیه می‌نماید.

میزان فرسایش در ابتدای قوس در مقایسه با انتهای آن ناچیز است. بر این اساس کل دیواره خارجی قوس نیاز به محافظت توسط آبشکن‌ها را ندارد. استاندارد معرفی شده توسط FHWA می‌تواند گزینه مناسبی جهت آرایش آبشکن‌ها در قوس تلقی شود. بر اساس این استاندارد آبشکن‌ها در محدوده‌ای نزدیک به انتهای یک سوم ابتدایی قوس قرار می‌گیرند و در قسمت پایین دست قوس نیز ادامه می‌یابند.

۳-۱-۳- تحلیل نتایج جریان رسوبی در قوس با حضور آبشکن‌های نفوذناپذیر

شکل (۹) توپوگرافی بستر را در شرایط آبشکن‌های نفوذناپذیر برای دبی ۳۴ لیتر بر ثانیه نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۹) آبشکن‌ها موجب تغییر الگوی جریان به طرف مرکز کانال شده‌اند و زمینه مساعدی را جهت رسوب‌گذاری بین آبشکن‌ها فراهم نموده‌اند. حضور آبشکن‌ها موجب حفاظت از قوس خارجی شده و محدوده فرسایش یافته را از قوس خارجی به سمت مرکز کانال هدایت نموده است. این امر بدین علت است که جریان در بالادست پس از برخورد به موانعی از قبیل پایه پل‌ها و آبشکن‌ها دارای سرعت صفر شده و شبیه جریان جت به دو دسته تقسیم می‌شود. یک دسته جریان به سمت سطح آب و دسته دیگر به سمت کف در حرکت می‌باشد. بنابراین در فضای بین آبشکن‌ها جریان گردابه‌ای ایجاد می‌شود که باعث به وجود آمدن رسوب‌گذاری در فضای بین آبشکن‌ها می‌گردد. این مشاهده‌ها در پژوهش Kwan (۱۹۸۴)، و Hashemi Najafi (۲۰۰۸)، نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۹- توپوگرافی بستر در قوس با حضور آبشکن‌های نفوذناپذیر

آبشستگی و رسوب گذاری در آبشکن های با نفوذپذیری ۲۵ درصد و حداقل میزان آن در آبشکن های با نفوذپذیری ۵۰ درصد اتفاق می افتد.

حداکثر میزان فرسایش در آبشکن های با نفوذپذیری ۵۰٪، به ترتیب ۱۳/۰۹ و ۲۰/۴۵ درصد نسبت به آبشکن های با نفوذپذیری ۳۰٪ و ۲۰٪ کاهش یافته است.

۵- مراجع

تاج بخش م، موسوی جهرمی ح، "مدل سازی تأثیر آبشکن های رودخانه ای در کنترل فرسایش ساحل با مدل دو بعدی CCHE2D"، مجله پژوهش آب ایران، شماره ۳۸، ۱۳۹۲، ۷۹-۸۹.

حسنی نیا، ا، احدیان ج، فتحی، ا، حسنی نیای، "بررسی اثر طول بال آبشکن L شکل در قوس ۱۸۰ درجه بر آبشستگی اطراف آن با استفاده از CCHE2D"، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه دانشگاه شهید چمران اهواز، شهریور ماه ۱۳۹۱. ظهیری ج، کاشفی پور س م، شفاعی بیجستان م، قمشی م، "تأثیر پارامترهای هندسی ریپ رپ بر محافظت آبشکن ها در قوس ۹۰ درجه"، مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آب، جلد ۳۵، زمستان ۱۳۹۱، ۴۹-۵۸.

نشریه سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، "راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن های رودخانه ای"، نشریه شماره ۵۱۶، ۱۳۸۸.

Barbhuiya AK, Dey S, "Turbulent flow measurement by the ADV in the vicinity of a rectangular cross-section cylinder placed at a channel sidewall", Journal Flow Measurement and Instrumentation, 2004, 15, 221-237.

Fazli, M, Ghodsian M, Salehi SAA, "Experimental investigation on scour around spur dikes located at different positions in a 900 bend", The 32th Congress of IAHR, Venice, Italy, 1-6 July, 2007.

Gill, MA, "Erosion of sand beds around spur dikes", Journal of Hydraulics Division, 1972, 98(9), 91-98.

Hashemi Najafi F, "Experimental investigation of scouring around L-head Groynes under Clear Water Condition", M Sc. Thesis, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran, 2008.

Nasrollahi A, Ghodsian M, Salehi Neyshabouri SAA, "Local Scour at Permeable Spur Dikes", Journal of Applied Sciences, 2008, 8(19), 3398-3406.

Osman MA, Negmaldin Saeed H, "Local scour depth at the nose of permeable and impermeable spur dykes", University of Khartoum Engineering Journal 2(1), 1-9. 2012.

Thomson J, "On the origin of windings of rivers in alluvial plains", Proceedings of the Royal Society, 1976, 5-8.

National center for computational hydroscience and engineering", User's Manual-Version 2.0 CCHE2D-GUI-Graphical User Interface for the CCHE2D Model", First edition, The University of Mississippi, US, 2002.

همانگونه که در شکل های ارائه شده مشخص است، می توان نتیجه گرفت که با افزایش درصد نفوذپذیری آبشکن ها، حداکثر مقدار آبشستگی و رسوب گذاری کاهش می یابد. به گونه ای که حداکثر میزان آبشستگی و رسوب گذاری در آبشکن های با نفوذپذیری ۲۵ درصد و حداقل میزان آن در آبشکن های با نفوذپذیری ۵۰ درصد اتفاق می افتد. این امر به این دلیل است که در آبشکن های نفوذپذیر با افزایش درصد نفوذپذیری، سرعت جریان آب در میدان آبشکن ها افزایش یافته است.

همچنین با مقایسه شکل های (۹) و (۱۰) ملاحظه می گردد که در آبشکن های نفوذناپذیر مقدار فرسایش و رسوب گذاری بیشتر از آبشکن های نفوذپذیر می باشد. این امر بدان علت است که آبشکن های بسته به صورت مانعی در مقابل جریان آب عمل کرده و از این رو تمرکز جریان و اغتشاش در این نوع آبشکن ها از شدت بیشتری برخوردار است. برخورد جریان با آبشکن و انحراف خطوط جریان باعث ایجاد جریان های چرخشی شده که این جریان ها موجب فرسایش می گردند. در آبشکن های نفوذپذیر بر خلاف آبشکن های بسته، بخشی از جریان از میدان آبشکن عبور می نماید و دیواره آبشکن موجب انحراف قسمتی از جریان می گردد، بنابراین قدرت جریان چرخشی کاهش یافته و به همین دلیل چاله فرسایشی کوچک تری را نسبت به حالت آبشکن های نفوذناپذیر سبب می گردد.

۴- نتیجه گیری

در مطالعه حاضر تأثیر نفوذپذیری آبشکن ها بر الگوی فرسایش و رسوب گذاری در قوس ۹۰ درجه ملایم، با استفاده از مدل عددی دو بعدی CCHE2D مورد بررسی قرار گرفت. به منظور صحت-سنجی مدل عددی نتایج حل عددی جریان و رسوب در قوس ۹۰ درجه با استفاده از نتایج آزمایشگاهی ظهیری و همکاران (۱۳۹۱)، مورد صحت سنجی قرار گرفت. سپس تأثیر نفوذپذیری آبشکن ها بر الگوی فرسایش و رسوب گذاری مورد بررسی قرار گرفت. خلاصه نتایج حاصل از این تحقیق شامل موارد زیر می باشد:

بررسی الگوی جریان در قوس فاقد آبشکن ها نشان می دهد که با ورود جریان به داخل قوس، سرعت های ماکزیمم در نزدیکی قوس داخلی اتفاق می افتد. با پیشروی جریان و نزدیک شدن جریان به انتهای قوس، سرعت های ماکزیمم به سمت دیواره خارجی قوس متمایل می شوند؛ به گونه ای که حداکثر مقادیر سرعت در یک سوم انتهایی قوس و در مجاورت جداره خارجی آن مشاهده می شود.

حضور آبشکن ها موجب حفاظت از قوس خارجی شده و محدوده فرسایش یافته را به سمت مرکز کانال هدایت نموده است. با افزایش نفوذپذیری آبشکن ها، حداکثر مقدار آبشستگی و رسوب گذاری کاهش می یابد. به گونه ای که حداکثر میزان

University of Auckland, "Report 328: Study of Abutment Scour", Prepared by Kwan F, 1984.

Zhang h, Nakagawa H, Kawaike K, Baba Y, "Experiment and simulation of turbulent flow in local scour around a spur dike", International Journal of Sediment Research, 24(1), 33-45. 2009.

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Study of The Effect of Spur Dike's Permeability on Erosion and Sedimentation Patterns in a 90° Mild Bend Using the CCHE2D Model

Parya Fatahi^a, Ali Arman^{a,*}, Javad Zahiri^b

^a Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

^b Khuzestan Ramin Agriculture and Natural Resources, Mollasani, Iran

Received: 02 October 2017; Accepted: 22 April 2018

Keywords:

Spur dike, 90 degree mild bend, CCHE2D numerical model, Permeability.

1. Introduction

Rivers are considered as one of the main sources of water and energy for human beings, and are considered as the aorta of human societies. Protecting the river bank against the erosion and degradation caused by the water flow, using various types of flow control structures is considered as a common method in river engineering science. One of the most important flow control structures is spur dikes that divert the flowing attack from the sides and critical areas and direct the flow towards the central axis of the river. Several researches have been conducted concerning the effect of spur dikes in protecting the river bank in bends such as: Barbhuiya and Dey (2004), Nasrollahi et al. (2008), Zhang et al. (2009). The purpose of the present study is to study the flow and sediment pattern in a 90-degree mild bend, with and without spur dikes with different permeability percentages.

2. Methodology

The bend used in the numerical solution of this research is based on the experimental research by Zahiri et al., Which consists of a 90-degree mild bend flume with a width of 70 cm that was modeled in the Hydraulic Laboratory of Shahid Chamran University of Ahvaz (Fig. 1). In order to simulate the flow and sediment patterns in this research, the CCHE2D numerical model was used. This model is a two-dimensional hydrodynamic model which was made and developed at the International Center for Hydraulic Sciences and Computational Engineering of the US Department of State, Mississippi. According to existing standards, including the FHWA standard, in this study, 10 spur dikes 14 cm lengths were used with 0%, 20%, 30%, and 50% permeabilities.

* Corresponding Author

E-mail addresses: fatahi9270@gmail.com (Parya Fatahi), a.arman@razi.ac.ir (Ali Arman), zahiri1983@gmail.com (Javad Zahiri).

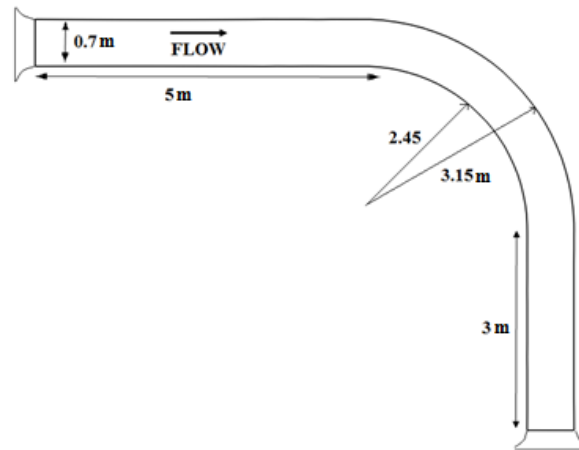


Fig 1. Schematic plan of experimental flume

3. Results and discussion

The verification of hydraulic and sediment results was performed by comparing the results simulated by the model with the experimental results. The results indicate the numerical model's high ability in simulating the flow and sediment patterns in the bend. The results obtained from the model show that in the bend without the presence of spur dikes, the maximum speed is observed at the one third end of the bend and adjacent to the outer wall. The results of sediment flow in the bend without spur dikes indicate that erosion occurs in the outer arc and sedimentation occurs in the inner arc of the bend. The maximum amount of erosion occurred in the straight downstream direction of the bend which matches according to the velocity pattern and the maximum speed location in the bend. This justifies the need to use spur dikes to protect the outer bend. The amount of erosion at the beginning of the bend is small compared to its end. Accordingly, the entire outer wall of the bend does not need to be protected by spur dikes.

4. Conclusion

The summary of the results of this study are as follows: The study of the flow patterns in the bend without spur dikes shows that the maximum velocity values are observed at the one third end of the bend and adjacent to the outer wall. The presence of the spur dikes protects the outer bend and diverts the eroded area towards the center of the canal. By increasing the permeability of the spur dikes, the maximum amount of scouring and sedimentation decreases. Therefore, the maximum scour and sedimentation rate occurs in spur dikes with a permeability of 20% and the minimum amount occurs in spur dikes with 50% permeability. The maximum erosion rate of spur dikes with 50% permeability, decreases 13.09% and 20.65%, respectively, compared to spur dikes with 30% and 20% permeability.

5. References

- Barbhuiya AK, Dey S, "Turbulent flow measurement by the ADV in the vicinity of a rectangular cross-section cylinder placed at a channel sidewall", *Journal Flow Measurement and Instrumentation*, 2004, 15, 221-237.
- Nasrollahi A, Ghodsian M, Salehi Neyshabouri SAA, "Local Scour at Permeable Spur Dikes", *Journal of Applied Sciences*, 2008, 8(19), 3398-3406.
- Zahiri, J, Kahefipour, SM, Shafai Bahestan M, Ghomeshi, M, "Riprap stability around spurs in the bend", *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 2012, 35(4): 49-58. (In Farsi).
- Zhang h, Nakagawa H, Kawaike K, Baba Y, "Experiment and simulation of turbulent flow in local scour around a spur dike", *International Journal of Sediment*