

# پیش بینی تقریبی بهبود الگوی فرسایش و رسوب گذاری در محل تقاطع کانال ها با بهینه سازی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی به کمک الگوریتم ژنتیک

امین مجیدی پور<sup>۱</sup>، دکتر علی افروس<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول ایران

## چکیده

این پژوهش با هدف بهبود الگوی فرسایش و رسوب در محل تقاطع کانال ها با بهینه سازی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی به کمک الگوریتم ژنتیک انجام گرفته است. در مطالعه حاضر الگوی سه بعدی جریان در قوس ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی با بستر صلب و نیز مکانیسم شکل گیری توپوگرافی بستر در قوس ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی به روش وارد شدن رسوب بر روی بستر صلب با استفاده از نرم افزار HEC-RAS و الگوریتم ژنتیک در متلب مدل سازی عددی و شبیه سازی شده است. برای روندیابی از روش محاسباتی و روش الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شده است و در این زمینه نتایج نشان می دهد که الگوریتم GA دقت بالاتری در روندیابی سیل رودخانه داشته است. علاوه بر این تفاوت بین دبی پیک مشاهداتی و روندیابی شده در الگوریتم GA، ۴/۸۵ و در محاسباتی ۹/۷ متر مکعب بر ثانیه به دست آمده است.

واژه های کلیدی: انتقال رسوب، کانال U شکل، آبگیر جانبی، الگوریتم ژنتیک

## مقدمه

این محل می شود. بحث فرسایش از این نظر می تواند دارای اهمیت باشد که داشتن معیاری از حداکثر عمق آب شستگی می تواند در تعیین عمق پایه های پل و سایر ابنیه مشابه و مرتبط به کار آید. آگاهی کافی از نحوه پیشروی حفره فرسایشی نیز می تواند در تعیین فاصله مناسب سازه های حفاظتی از محل تلاقی کانال و ساحل رودخانه مفید شود. آگاهی کافی از دینامیک جریان در اتصال رودخانه ها، از بزرگترین دغدغه های مهندسان رودخانه، رسوب و مورفولوژی است. که در این پژوهش به بررسی بهبود الگوی فرسایش و رسوب در محل تقاطع کانال ها با بهینه سازی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی به کمک الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است.

در ادامه مقاله ابتدا در بخش ۲ کارهای مرتبط با تحقیق مورد بررسی قرار می گیرد. در بخش ۳ مقاله روش پیشنهادی آورده شده است که در بخش ۳ ابتدا مراحل حل یک مسئله CFD تشریح می شود سپس در

پدیده تقاطع کانالها و رودخانه ها از جمله مسائلی است که در شبکه سیستم کانالهای آبیاری و زهکشی روباز، کانالهای جمع آوری آب های سطحی، تصفیه خانه های آب وفاضلاب و رودخانه های طبیعی به وفور رخ می دهد و بررسی این پدیده از جنبه های گوناگون از دیر باز مورد توجه محققین بسیاری بوده و هست. یکی از این جنبه های مهم، پدیده الگوی فرسایش و رسوب گذاری در محل تقاطع کانالها می باشد علیرغم اینکه در مورد الگوی جریان اتصال کانالهای رو باز تحقیقات نسبتاً زیادی انجام گرفته ولی در مورد پدیده الگوی فرسایش و رسوب گذاری تحقیقات و مطالعات زیادی صورت نگرفته است.

در محل اتصال رودخانه ها که جریان دو کانال اصلی و فرعی به هم می پیوندند، به وجود آمدن جریان های گردابه ای و افزایش سرعت در محل تنگ شدگی جریان سبب ایجاد پدیده فرسایش و رسوب گذاری در

ناحیه جداشدگی به عرض کانال پایین دست از ۰/۱ تا ۰/۴ نسبت سرعت حداکثر در ناحیه جداشدگی و نزدیک بستر به سرعت متوسط در بالا دست اتصال ۱/۳ برابر می‌شود [۱].

هاگر (۱۹۸۹) با فرض اینکه در محل حداکثر سرعت (شکل ۲-۲) عمق بحرانی اتفاق بیافتد و با استفاده از سه معادله پیوستگی، مومنتم و انرژی معادلات زیر را برای محاسبه عمق نسبی و ضریب انقباض جریان ارائه نمود [۲]:

$$Y^3(1 - \cos\delta) + 2\mu^2 q^2 + 2\cos\delta[(1 - q^2) - (1 - 2q + 2q^2)] \quad (1)$$

$$\mu = \bar{Y} \left[ \frac{(3-2\bar{Y})}{(1-q)^3 + q^3} \right]^{1/2} \quad (2)$$

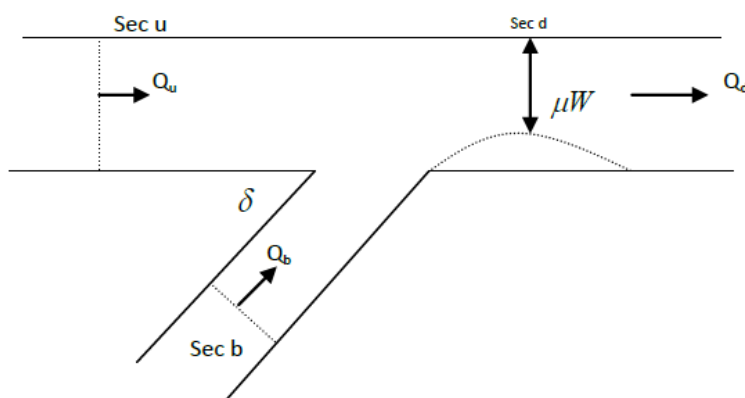
که در آنها  $\bar{Y} = \frac{y_u}{y_d}$  و  $q = \frac{Q_u}{Q_d}$ ،  $\mu$  ضریب انقباض و  $y_c$  عمق بحرانی جریان در دو محل انقباض می‌باشد (شکل (۱)).

پایان بخش ۳ نرم افزار HEC-RAS معرفی می‌گردد. در بخش ۴ مقاله نتایج حاصل از بررسی و شبیه‌سازی و مجموعه داده‌ها و ارزیابی روش پیشنهادی و معیارهای ارزیابی آورده شده است. در بخش پایانی مقاله نتیجه‌گیری کلی ارائه می‌شود.

### کارهای مرتبط

لین و سونگ (۱۹۷۹) مسئله افت انرژی و تفکیک آن به دو ترم افت انرژی در اثر اصطکاک و افت انرژی در اثر آشفتگی و اختلاط را بررسی نمودند.

مطالعات آزمایشگاهی بست ورید (۱۹۸۴) بر روی یک تلاقی با چهار زاویه اتصال متفاوت ۱۵، ۴۵، ۷۰ و ۹۰ درجه با پهنای یکسان ۱۵۸ سانتی متر نشان داد که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل طول و پهنای ناحیه جداشدگی جریان افزایش می‌یابد ولی به ازای نسبتهای دبی مختلف اندیس شکل ناحیه جداشدگی (نسبت پهنای به طول ناحیه جداشدگی:  $\frac{H}{L}$ ) حول مقدار میانگین ۰/۱۹ باقی می‌ماند. علاوه بر این نتایج تحقیق آنها نشان داد که با افزایش نسبت پهنای



شکل ۱- شماتیک حجم کنترل استفاده شده توسط هاگر (۱۹۸۹)

اصلی پرداخت. وی مطالعات خود را در دو زاویه اتصال ۱۷ و ۹۰ درجه انجام داد. برقی و همکاران به منظور بررسی فرضیات انجام شده و همچنین بدست آوردن رابطه پارامترهای

کریستودولو (۱۹۹۳) به بررسی پرس هیدرولیکی در محل اتصال تحت شرایط مختلف از جمله جریان زیر بحرانی برای شاخه فرعی و فوق بحرانی در شاخه

رو باز با زاویه اتصال ۶۰ درجه پرداخت. نتایج شبیه سازی وی نشان داد که با افزایش عدد فرود جریان در پایاب تلاقی، مقدار نفوذ جریان کانال فرعی به درون کانال اصلی کاهش می یابد. همچنین انحناء خطوط جریان کانال فرعی هنگام ورود به محل تلاقی بیشتر شده و بردارهای سرعت ورودی در محل اتصال با زاویه کوچکتری وارد کانال اصلی می شود. علاوه بر این، افزایش عدد فرود باعث می شود جریانهای ثانویه که درست از کل گوشه پایینی اتصال شروع به تشکیل شدن می نمایند ضعیفتر شوند. همچنین الگوی جریانهای ثانویه و تعداد سلولهای چرخشی با حرکت از محل اتصال به طرف پایین دست و عبور از ناحیه جدانشدگی جریان به شدت تغییر می کند. از طرف دیگر با کاهش عدد فرود جریان تنها یک سلول چرخشی بزرگ از جریانهای ثانویه مشاهده شد. با حرکت از محل اتصال به طرف پایین دست، مرکز این سلول چرخشی از نزدیک سطح آب در ساحل راست به طرف مرکز سطح مقطع جریان جابجا می شود [۸].

موسوی جهرمی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از نرم افزار fluent جریان در تلاقی ۹۰ درجه را شبیه سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که در اثر افزایش نسبت دبی کانال اصلی به دبی کل، طول و عرض ناحیه جدانشدگی کاهش می یابد [۹].

امرابی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از نرم افزار fluent به بررسی تاثیر زوایای اتصال ۳۰، ۴۵ و ۶۰ در کانالهای مستطیلی پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که تغییر زاویه تقاطع کانال، الگوی جریان در کانال اصلی را تحت تاثیر قرار داده و ابعاد ناحیه جدایی ایجاد شده در کانال اصلی با افزایش زاویه تقاطع بزرگتر می شود [۱۰].

محمد یون و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از نرم افزار fluent به بررسی اثر گردشگری پایین دست در تقاطع ۹۰ درجه کانالهای مستقیم و قوسی شکل بر الگوهای جریان پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تاثیر کمان با شعاع های مختلف به صورت کاملاً

فوق الذکر با  $\bar{Q}_{uc}$  آزمایش های تکمیلی در محل اتصال ۹۰ درجه با پهنای یکسان ۴۰ سانتی متر برای هر دو کانال فرعی و اصلی انجام دادند. نتایج آزمایش های آنها نشان داد که مرز ایجاد پرش هیدرولیکی  $\bar{Q}_{uc} \leq 0.46$  می باشد. علاوه بر این با افزایش  $\bar{Q}_{uc}$  مقدار  $\bar{Y}$  کاهش می یابد [۳].

بهرامی جوین و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی در دانشگاه فردوسی مشهد به بررسی تاثیر خم با شعاع ۰/۶ متری در یک تلاقی ۹۰ درجه پرداختند. نتایج آنها نشان داد که رابطه شیب عرضی سطح آب در خم، خطی نیست و همچنین سرعت در مقطع آخر خم در نزدیکی دیواره های داخلی کاهش می یابد [۴].

بغلانی و همکاران (۲۰۱۳) با ارائه یک مدل دو بعدی به بررسی تاثیر پارامترهای نسبت دبی، نسبت پهنای و عدد فرود پایین دست بر الگوی جریان در یک تلاقی ۹۰ درجه پرداختند. آنها برای کالیبره مدل خود از داده های آزمایشگاهی و بر استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل دو بعدی آنها توانایی خوبی در پیش بینی خصوصیات جریان در تلاقی ها بویژه ناحیه جدانشدگی و ناحیه حداکثر سرعت دارد [۵].

یانگ (۲۰۱۳) با ارائه یک مدل عددی که از یک مش بندی پویا استفاده کرده بود به بررسی خصوصیات جریان در یک تلاقی ۹۰ درجه پرداخت. نتایج مقایسه مدل او با داده های آزمایشگاهی نشان داد که مدل از توانایی خوبی در پیش بینی مقادیر سطح آب و سرعت برخوردار است [۶].

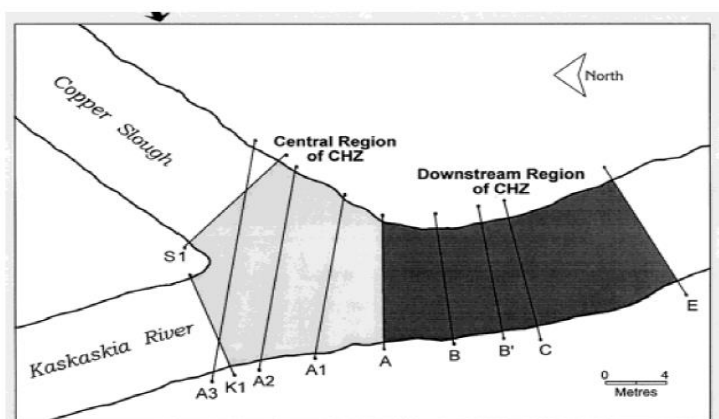
کرمی مقدم و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از مدل سه بعدی SSIM2 به ارزیابی اثر شعاع گردشگری ناحیه تقاطع بر ابعاد ناحیه جدانشدگی پرداخته و نتایج را به کمک روش فیزیکی مورد صحت سنجی قرار دادند [۷].

قبادیان (۱۳۸۸) با استفاده از مدل عددی SSIM2 به بررسی تاثیر عدد فرود پایاب بر الگوی جریان بویژه ثانویه در محل تلاقی کانالهای مستطیلی

تحقیق مذکور مولفه‌های سرعت در دو بعد یعنی جهت جریان پایین دست و همچنین جهت عرضی در چندین مقطع در ناحیه مرکزی تلاقی برای سه رخداد زمانی اندازه‌گیری شد. هدف اصلی تحقیق آنها بررسی وجود یا عدم وجود حرکت‌های حلزونی در ناحیه مرکزی تلاقی بود [۱۲]

محسوسی، الگوی جریان در تقاطع را تحت تاثیر قرار می‌دهد و با افزایش شعاع کمان از گرادیان سرعت در امتداد جریان کاسته می‌شود [۱۱].

رودز و کنورتی (۱۹۹۸) با تفکیک ناحیه تلاقی رودخانه‌های کاسکاسکیا و کوپر به دو ناحیه مرکزی و ناحیه پایین دست (شکل ۲)، ساختار جریان متوسط-زمانی را در منطقه مرکزی مورد بررسی قرار دادند. در



شکل ۲- مکان مورد مطالعه و موقعیت مقاطع عرض مورد اندازه‌گیری، به تفکیک نواحی مرکزی و پایین دست محل تلاقی توجه شود [۱۲]

بنابراین آزمایش‌هایی را روی آبراهه‌های مصنوعی مستطیلی با بسترهای صلب و قابل فرسایش انجام دادند. هدف آزمایش‌ها بررسی تاثیر هندسه تلاقی روی الگوهای جریان و فرسایش بود. در این آزمایش‌ها از تلاقی متقارن و غیرمتقارن با زوایای اتصال ۱۹ تا ۹۰ درجه استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در محل تلاقی چاله فرسایشی ایجاد می‌گردد. ابعاد این چاله با افزایش زاویه تلاقی بزرگتر نیز می‌شود. اما تاثیر قابل ملاحظه‌تر روی الگوی فرسایش مربوط به تقارنی یا نامتقارنی شکل تلاقی می‌باشد. در تلاقی متقارن چاله فرسایشی نسبت به شکل اولیه کانال متقارن است در حالیکه شکل چاله فرسایشی در تلاقی نامتقارن پیچیده‌تر می‌باشد [۱۴]

رودز و سوخودولو (۲۰۰۱) با اندازه‌گیری سه بعدی جریان در محل سه اتصال در شرق مرکز الینویس به بررسی ساختار جریان در محل اتصال پرداخته‌اند. هر سه اتصال مورد نظر آنها هم‌بسترند و تنها یکی از آنها غیر متقارن می‌باشد. از جمله نکات قابل تمایز در محل اتصالها این است که حرکت‌های حلزونی قابل ملاحظه‌ای در اتصال نامتقارن به چشم می‌خورد در حالیکه تنها در یکی از اتصالهای متقارن جریان حلزونی ضعیفی قابل رویت است [۱۳]

بریانه و کوهن (۲۰۰۲) اشاره کردند که مطالعات اندکی روی تلاقی آبراهه‌های کوچک بخصوص تاثیر هندسه تلاقی روی الگوی رسوب انجام شده است و معلوم نیست که نتایج بدست آمده برای تلاقی‌های رودخانه‌ای قابل استفاده در آبراهه‌های کوچک باشد.

ظرفیت انتقال رسوب و حداقل توان جریان استفاده شده است. با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری علاوه بر کاهش حجم محاسبات پیچیده ریاضی، می‌توان به صورت همزمان تمامی پارامترهای مؤثر در هندسه هیدرولیکی را بهینه‌یابی کرد. صحت‌سنجی و کاربرد مدل نشان می‌دهد که مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی توسعه داده شده با دقت مناسبی هندسه هیدرولیکی رودخانه‌های شنی را مدل‌سازی کرده و نتایج پیش‌بینی پاسخ کانال رودخانه با معادلات مفهومی (کیفی) و رژیم تجربی تطابق قابل قبولی دارد. نتایج بدست آمده حاکی از آنست که پایداری کناره‌ها بر هندسه هیدرولیکی کانال بیشترین تأثیر را دارد [۱۷].

### روش تحقیق

در این بخش به مراحل حل مسئله و معرفی نرم افزار HEC-RAS پرداخته می‌شود.

### مراحل حل یک مسئله CFD

برای حل یک مساله دینامیک سیالات محاسباتی باید مراحل زیر رعایت شود [۱۸]:

تولید شکل (هندسه مساله)

شبکه‌بندی در نرم افزارهای پیش‌پردازنده (Pre Processor)

انتقال شبکه از پیش‌پردازنده به نرم‌افزار محاسبه‌گر (solver)

بررسی شبکه تولید شده

انتخاب شیوه محاسباتی و فرمول‌بندی حل

انتخاب معادلات اساسی که باید حل شوند، مثل

حالت جریان لایه‌ای یا آشفته

تعیین خواص (ویژگی‌های سیال، رسوب و ...)

تعیین شرایط مرزی

تنظیم کردن پارامترهای کنترل‌کننده حل

مقداردهی اولیه به میدان جریان

شروع محاسبات

رودز (۲۰۰۵) برخی ملاحظات عمومی در مورد مبحث scaling در دینامیک تلاقی رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داد. نامبرده با اشاره به اینکه ساختار جریان به هم چسبیده در همه تلاقی‌ها با مقیاسهای مختلف وجود دارد، خاطر نشان کرد که وجود یا عدم وجود ساختارهای ویژه‌ای از جریان نه تنها از یک تلاقی به تلاقی دیگر متفاوت است بلکه در یک تلاقی ویژه نیز از یک زمان تا زمان دیگر تغییر می‌کند. همچنین با توجه به اینکه بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه تلاقی رودخانه‌ها در مقیاس آزمایشگاهی یا در رودخانه‌های کوچک با عمق جریان کمتر از ۱ تا ۱/۵ متر و پهنای کمتر از ۱۲ تا ۱۵ متر بوده اطلاعات کافی به منظور مقایسه و بحث در مورد تعمیم نتایج تلاقی‌ها با مقیاس کوچک به تلاقی‌های بزرگتر در اختیار نمی‌باشد [۱۵]

الیسون و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی کنترل رسوبات و هندسه کانال تعادل در رودخانه‌های سنگی پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش نسبت دبی کانال فرعی به اصلی، حرکت در نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی کوچکتر از ۰/۵ نیز می‌تواند رخ دهد. با کاهش عرض کانال فرعی چاله فرسایشی به سمت دیواره روبرویی محل اتصال در کانال اصلی حرکت می‌کند و در نسبت دبی‌های بزرگتر چاله فرسایشی به سمت کانال فرعی کشیده شده و عمق فرسایش به عمق جریان نزدیک می‌شود. همچنین در آزمایش‌هایی که شدت گردابها و در نتیجه تنش برشی در کف بیشتر است، فقط یک گودال بزرگ در محل اتصال بوجود می‌آید و گودال‌های دیگر در پایین دست کانال اصلی به علت حجم زیاد رسوبگذاری با گذشت زمان پر می‌شوند [۱۶].

اگرلین و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به بررسی الگوهای فرسایش و انتقال رسوب در رودخانه یانگ تسه پرداختند. در این مقاله از دو فرضیه حداکثر



HEC-RAS برای حل معادله ناپیر-استوکس از مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  و برای محاسبه بار بستر از فرمول فن راین استفاده شده است. جهت واسنجی و صحت-سنجی مدل عددی از مدل شبیه سازی منتصری (۱۳۸۷) استفاده شده است [۲۴]. در مدل شبیه سازی جهت مطالعه فرم های بستر از روش تزریق رسوب روی بستر صلب استفاده شده است. برای مشاهده نحوه شکل گیری فرم های بستر، مدل با زمان های مختلف اجرا شده و خروجی ها با نتایج شبیه سازی مقایسه شده است. همچنین اثر دبی آبیگری بر نحوه حرکت رسوبات و مکانیسم های ورود رسوبات به آبیگر بررسی شده است. نتایج حاصل از مدل عددی نحوه حرکت رسوبات در قوس، مکانیسم های ورود رسوبات به آبیگر، محل تشکیل دیون های متناوب در بالادست آبیگر، محل تشکیل پشته های رسوبی را نشان داده است. همچنین توپوگرافی بستر در زمان تعادل و ارتفاع تراز بستر در مقاطع عرضی مختلف با نتایج شبیه سازی مقایسه شده است.

### مشخصات میدان حل

مدل شبیه سازی شامل یک کانال U شکل با شعاع متوسط ۲/۶ متر و عرض ۰/۶ متر در نظر گرفته شد. دبی جریان در مدل آزمایشگاهی ۴۰ لیتر بر ثانیه و دبی آبیگری ۳۰٪ و عدد فرود جریان ۰/۳۲ می باشد. در مدل شبیه سازی جهت مطالعه تغییرات توپوگرافی بستر، از روش تزریق رسوب روی بستر صلب استفاده شده است. نرخ تزریق رسوب برابر ۲۵۰ گرم بر دقیقه در مدل شبیه سازی انتخاب شده است که همین مقدار نیز در مدل عددی اعمال گردید. قطر متوسط ذرات رسوبات برابر با ۱/۲۸ میلی متر بوده و انحراف استاندارد هندسی آن براساس رابطه زیر به دست می آید [۲۵]:

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} = 1.3 < 1.4 \quad (2)$$

نتایج حاصله نشان می دهد مدل عددی HEC-RAS در شبیه سازی خطوط جریان، میدان سرعت و تشخیص الگوی جریان در دهانه آبیگر مقادیر قابل قبولی را پیش بینی کرده است اما در بعضی نقاط میدان حل مانند نزدیک دیواره به دلیل ضعف مدل  $k-\varepsilon$  و نواحی نزدیک بستر نتایج مدل HEC-RAS با نتایج شبیه سازی تطابق ندارد. همچنین مدل در شبیه سازی بردار جریان ثانویه هماهنگی خوبی با نتایج شبیه سازی نشان نمی دهد. اما بررسی الگوی جریان در کانال آبیگر که دارای هندسه مستقیم می باشد، با وجود استفاده از مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  نتایج مناسبی در مقاطع عرضی درون آبیگر را نشان می دهد. همچنین به مطالعه کیفی فرسایش بستر از روی توزیع تنش برشی، پرداخته خواهد شد.

از جمله پارامترهای مهم در طراحی آبیگرهای جانبی، زاویه انحراف آبیگر نسبت به جریان و موقعیت آبیگر می باشد بطوریکه زاویه انحراف و موقعیت آبیگر بایستی بگونه ای طراحی شود که ابعاد ناحیه جداسازی در کانال اصلی و فرعی کمترین مقدار را داشته باشد لذا تعیین موقعیت آبیگری و زاویه آبیگری از اهمیت زیادی برخوردار می باشد.

### شبیه سازی الگوی شکل گیری توپوگرافی بستر و میزان فرسایش و رسوب گذاری

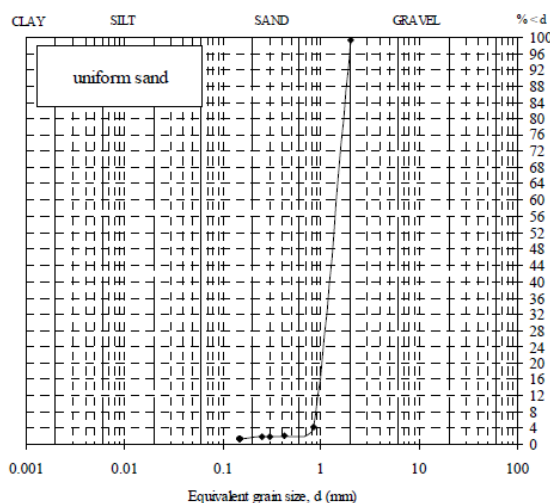
الگوی فرسایش و رسوب گذاری در قوس رودخانه ها دارای پیچیدگی فراوانی است که علت آن وجود جریان حلزونی است که از اندرکنش جریان ثانویه و جریان اصلی بوجود می آید. اندرکنش جریان حلزونی قوس و الگوی سه بعدی جریان در آبیگرهای جانبی واقع در قوس خارجی رودخانه بر پیچیدگی این الگوها می افزاید.

در این بخش از تحقیق روند شکل گیری توپوگرافی بستر در یک کانال قوسی ۱۸۰ با آبیگر جانبی و مکانیسم های ورود رسوبات به آبیگر توسط مدل HEC-RAS شبیه سازی شده است. در مدل عددی

لذا رسوب مورد استفاده یکنواخت می‌باشد.  $d_{84}$  و ۱۶ ذرات رسوب از آن کوچکتر هستند. سایر مشخصات  $d_{16}$  به ترتیب نمایانگر اندازه الکی است که ۸۴٪ و ۱۶٪ رسوب مورد استفاده در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات ذرات رسوب در شبیه‌سازی [۲۵]

زاویه اصطکاک داخلی	سرعت سقوط براساس ون‌راین [۲۶]	$\rho_s$ ( $kg/m^3$ )
۰/۰۹۲	۰/۱۵	۲۶۵۰



شکل ۳- منحنی دانه بندی رسوب استفاده شده در شبیه‌سازی [۲۵]

### تنظیمات مقدماتی محاسبات انتقال رسوب

در محاسبات انتقال رسوب در ورودی بالادست میدان با توجه به شرایط کانال شبیه‌سازی شده، غلظت رسوب برابر صفر قرار داده شده است. در جداره‌های جانبی، سطح آب و مرز خروجی پایین دست برای متغیر غلظت رسوب، شرط مرزی گرادبان صفر اعمال شده است. ترم انتقالی معادلات حاکم، با توجه به عملکرد مناسب آن در فصل قبل، با استفاده از الگوی جهت مند مرتبه دوم (SOU) منفصل می‌شود. برای کوپل کردن ترم‌های سرعت و فشار نیز الگوریتم HEC-RAS به کار می‌رود. همچنین با توجه به اینکه HEC-RAS برای منفصل‌سازی معادله انتقال و

### روند مدل‌سازی

همانطور که در قبل بیان شد، میدان جریان در قوس یک پدیده کاملاً سه بعدی بوده و وجود کانال آبگیری بر این پیچیدگی می‌افزاید برای مطالعه عددی دقیق چنین میدانی نیاز است که معادلات حاکم، در سه جهت حل شوند. بدین منظور در تحقیق حاضر از مدل عددی سه بعدی HEC-RAS برای بررسی عددی کانال شبیه‌سازی شده U شکل با آبگیر جانبی استفاده شده است. این کد، برای مدل کردن انتقال رسوب در ابتدا میدان سرعت را با استفاده از حل معادله مومنتوم و پیوستگی در میدان محاسبه کرده و سپس نتایج به دست آمده در حل عددی را در معادله جابجایی و پخش رسوب استفاده می‌کند. این فرآیند در هر گام زمانی تا رسیدن به شرایط پایدار تکرار می‌شود [۲۶].



برای هر دو بخش بار معلق و بار بستر در میدان، ابتدا به بررسی این موضوع پرداخته خواهد شد که نادیده گرفتن انجام محاسبات بار معلق با هدف کاهش زمان انجام محاسبات تا چه حد در پاسخها تاثیرگذار خواهد بود.

فناورین پارامترتعلیق رابه صورت زیرارائه داده است

[۲۷]:

$$Z = \frac{\omega_s}{\beta k u_*} \quad (۳)$$

که در آن  $\omega_s$  سرعت سقوط ذره و  $\beta$  ضریبی که معمولاً برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود،  $\kappa$  ثابت ون کارمن که برابر  $0.4$  فرض می‌شود و  $u_*$  سرعت برشی بستر است.

این محقق پارامتر  $Z$  رابه عنوان معیاری برای میزان انتقال بارمعلق معرفی میکند. به بیان دیگر این پارامتر اندرکنش نیروی روبه بالا ناشی از آشفتگی جریان و نیروی رو به پایین ناشی از زنده‌رانشان می‌دهد. همچنین اگر با توجه به معادله راوزبرای پروفیل عمودی غلظت:

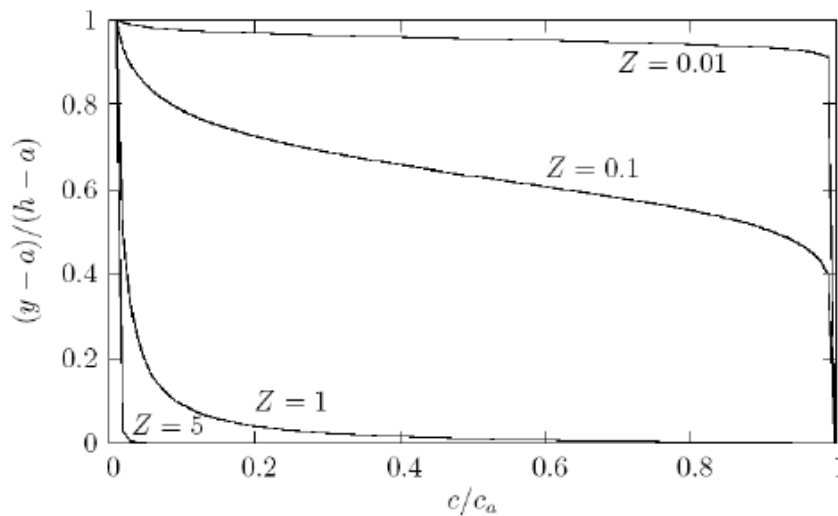
$$\frac{C_y}{C_a} = \left[ \frac{h-y}{y} \cdot \frac{a}{h-a} \right]^Z \quad (۴)$$

نمودار تغییرات  $\frac{C}{C_a}$  نسبت به  $Z$  نشان داده شود شکل (۴) حاصل خواهد شد.

پخش رسوب از یک روش ضمنی زمانی استفاده می‌کند لذا لازم است تا گام زمانی مناسب برای مدل تعیین شود. مدل با استفاده از این گام زمانی، تغییرات بستر را (ناشی از فرسایش یا رسوب‌گذاری) محاسبه می‌کند. بنابراین در انتخاب گام زمانی توجه به این نکته ضروری است که طول این گام نباید به حدی بزرگ انتخاب شود که تغییرات در بستر باعث تغییرات قابل توجهی در میدان جریان گردد. اولسن این گونه پیشنهاد می‌کند که گام زمانی باید به حدی باشد که تغییرات تراز بستر در هر تکرار از  $10\%$  درصد عمق آب تجاوز نکند [۲۶]. در ادامه و با توجه به مطالعات سایر محققین ([۲۶] و [۲۷]) گام زمانی  $20$  ثانیه با تعداد تکرار داخلی  $100$  بار برای مطالعه حاضر انتخاب شده است. همچنین در حل معادلات جریان و انتقال رسوب، معیار همگرایی (با توجه به بی‌بعد شدن مقادیر باقیمانده‌ها)، برابر با  $10^{-3}$  در نظر گرفته شده است.

### جزئیات محاسباتی در شبیه سازی

در شبیه‌سازی عددی انتقال رسوب، همانطور که در فصل سوم نیز بدان اشاره شد، بار معلق و بار بستر هر دو باید در محاسبات در نظر گرفته شوند. ولی با توجه به زمان بر بودن انجام محاسبات انتقال رسوب



شکل ۴- منحنی تغییرات پروفیل عمودی غلظت بر حسب پارامتر تعلیق

که در روابط فوق  $b\tau$  تنش برشی بستر،  $R$  شعاع هیدرولیکی و  $S_0$  شیب بستر،  $s$  چگالی ذرات رسوب و  $d$  قطر متوسط ذرات رسوب می باشد. لذا در این مطالعه با هدف کاهش زمان محاسبات در تنظیمات مربوط به اجرای محاسبات انتقال رسوب در مدل الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب به گونه‌ای عمل شد که محاسبات بار معلق نادیده گرفته شود.

#### صحت سنجی و مطالعه مقدماتی

در شکل (۵) توپوگرافی بستر در زمان تعادل حاصل از مدل عددی و مدل شبیه سازی برای  $Qr=30\%$  نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود الگوی توپوگرافی بستر شبیه‌سازی شده توسط مدل تطابق بسیار خوبی با نتایج شبیه سازی دارد و مدل عددی تقریباً توانسته است پدیده‌های مورد انتظار در قوس مانند دیون‌های متناوب و پشته‌های رسوبی در مقاطع ۴۵ و ۱۳۵ درجه‌به خوبی پیش‌بینی کند.

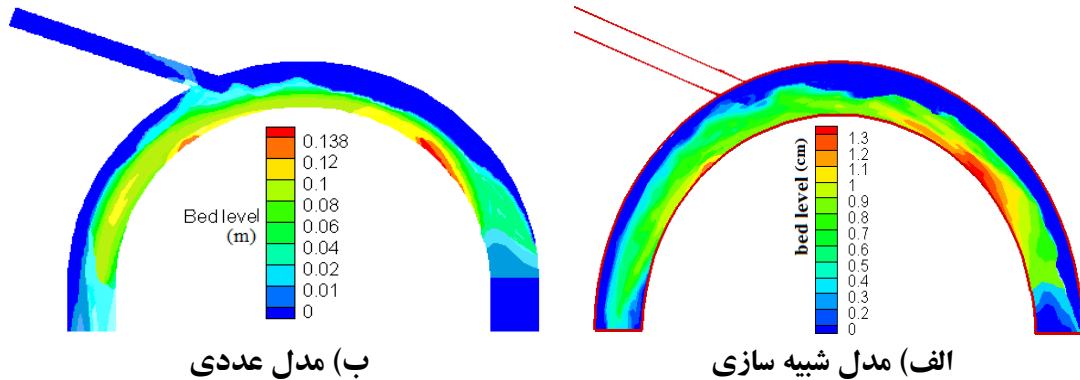
حال چنانچه برای شرایط آزمایشگاهی مطالعه حاضر، پارامتر  $Z$  محاسبه شود،  $Z \approx 12$  حاصل خواهد شد. از شکل (۴) به خوبی دیده می‌شود که در مقادیر  $Z > 5$  عملاً هیچ دانه رسوبی در میدان یافته نمی‌شود که به صورت بار معلق حرکت کند. لذا با شرایط آزمایشگاهی منتصری و براساس نمودار فوق پیش‌بینی می‌شود که تقریباً تمام حرکت ذرات رسوب در کانال به صورت بار بستر باشد. علاوه بر معیار فوق، طبق معیار فن راین، برای آنکه ذرات به صورت بار بستر معلق نشوند باید رابطه (۵) برقرار باشد [۲۸]:

$$\frac{u_*}{\omega_s} < 0.25 \quad (5)$$

در رابطه بالا  $u_*$  و  $\omega_s$  به ترتیب سرعت برشی و سرعت سقوط می باشد که از روابط زیر بدست می آید:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} = \sqrt{gRS_0} \quad (6)$$

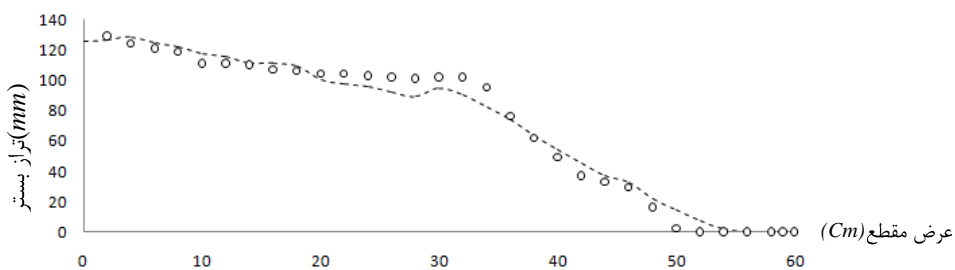
$$\omega_s = 1.1[(s-1).g.d]^{0.5} \quad (7)$$



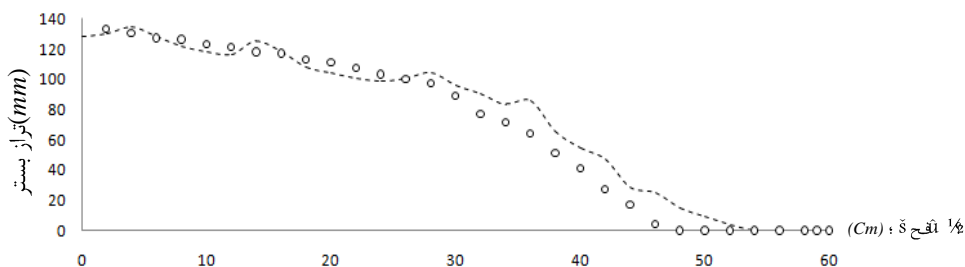
شکل ۵- توپوگرافی بستر در زمان تعادل حاصل از نتایج مدل عددی و مدل شبیه سازی -  $Qr=30\%$

داخل است، ارتفاع توپوگرافی بستر در دیواره داخلی بیشتر از دیواره خارجی است. همچنین وجود ناهمواری‌های بستر نزدیک قوس خارجی ناشی از حرکت دیون‌ها است که با مشاهدات شبیه سازی نیز تطابق دارد. در مقاطع ۱۱۱، ۱۱۵ و ۱۱۸ درجه که به ترتیب ابتدا، میانه و انتهای دهانه‌ی آبگیر می باشد، بدلیل مکش آبگیر و کاهش قدرت جریان حلزونی ذرات رسوب شکل پهن تری به خود می گیرند و در عرض کانال توسعه می یابند.

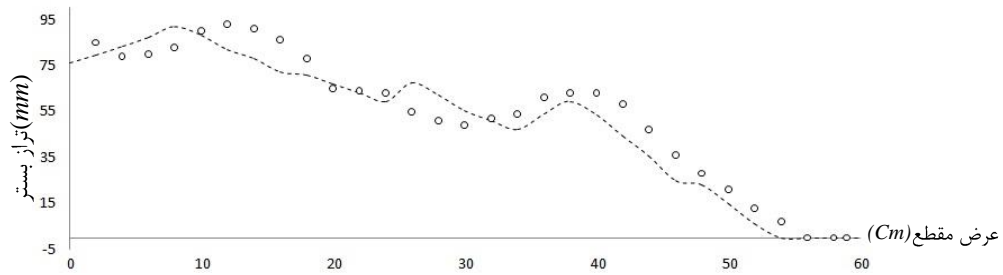
در شکل (۶) نتایج مدل عددی و شبیه سازی مربوط به تغییرات عرضی تراز بستر در مقاطع عرضی ۳۵، ۴۵، ۹۰، ۱۱۱، ۱۱۵ و ۱۱۸ درجه در حالت دبی آبگیری ۳۰٪ پس از زمان تعادل آزمایشات با هم مقایسه شده است. همان گونه که در این شکل دیده می شود الگوی کلی نتایج حاصل از مدل سازی عددی همخوانی مناسبی با نتایج شبیه سازی نشان می دهد. به دلیل وجود جریان حلزونی که در کانال قوسی وجود دارد و جهت آن در کف از قوس خارج به سمت قوس



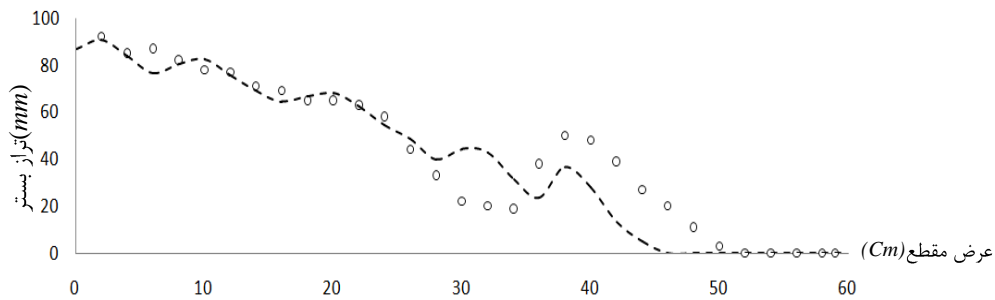
الف: مقطع ۳۵ درجه



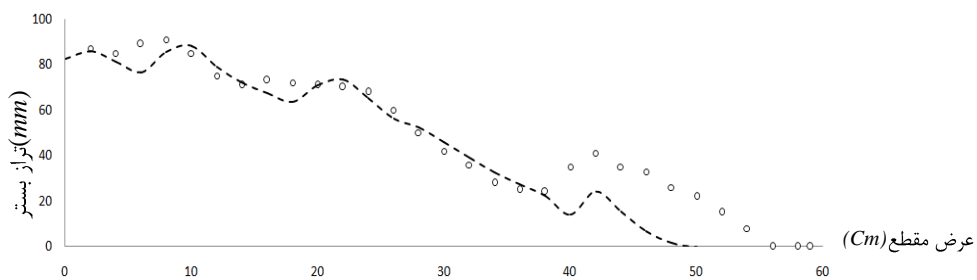
ب: مقطع ۴۵ درجه



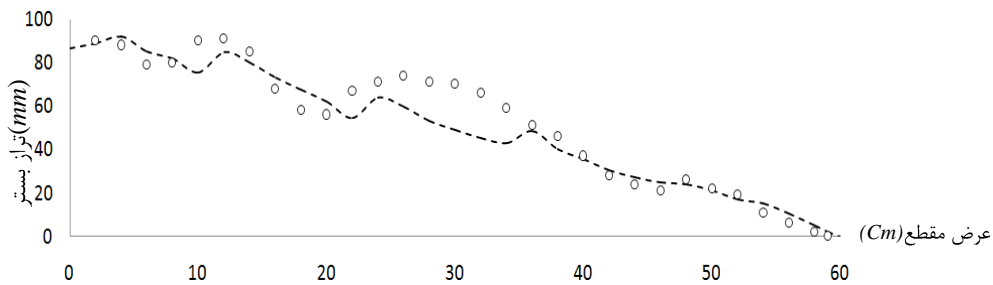
ج: مقطع ۹۰ درجه



د: مقطع ۱۱۱ درجه



ه: مقطع ۱۱۵ درجه



و: مقطع ۱۱۸ درجه

شکل ۶- مقایسه نتایج شبیه‌سازی و عددی تراز بستر در مقاطع مختلف قوس

○ نتایج شبیه‌سازی، --- نتایج عددی

$$E_M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_{Mi} - Z_{Pi}) \quad (9)$$

که در روابط بالا  $E_{RMS}$  ریشه متوسط مربع خطاها،  $E_M$  متوسط خطاها،  $N$  تعداد داده‌های شبیه‌سازی و  $Z_{Pi}$ ،  $Z_{Mi}$  به ترتیب تراز بستر حاصل از نتایج شبیه‌سازی و عددی می‌باشد. مقدار خطا‌های محاسبه شده

در ادامه با استفاده از دو شاخص آماری به مقایسه نتایج تراز بستر حاصل از داده‌های شبیه‌سازی و عددی پرداخته شده است. این دو شاخص آماری عبارتند از:

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_{Mi} - Z_{Pi})^2} \quad (8)$$

برای هر مقطع عرضی در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- مقایسه خطاهای تراز بستر حاصل از نتایج عددی و شبیه سازی

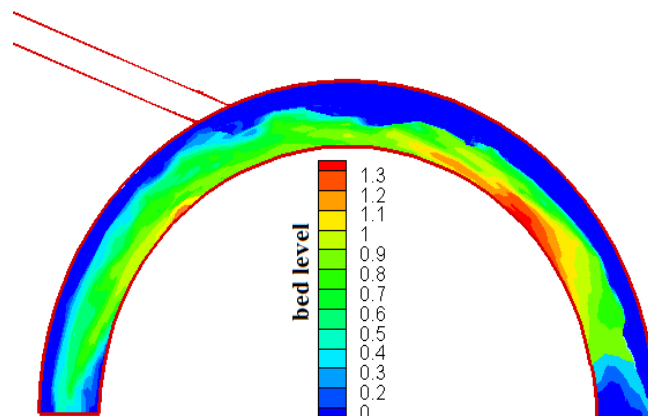
Cross-section(°)	ERMS (mm)	
35	6.3453	-0.3162
45	9.8274	-4.9464
90	7.85190	3.1488
111	11.3828	2.5748
115	10.9528	5.6512
118	9.0184	3.0879

کاذب [۲۹] الگوی انفصال SOU در حل معادلات از دقت بالاتری برخوردار باشد.

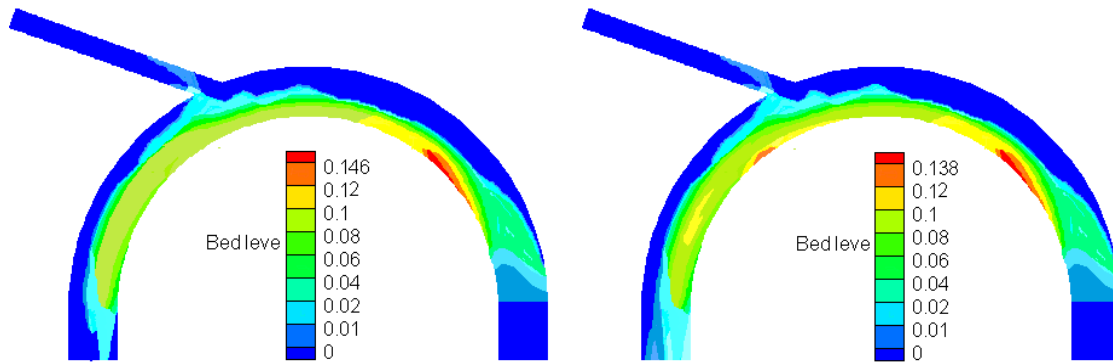
دقت در شکل (۷) صحت این پیش‌بینی را نشان می‌دهد. در این شکل به خوبی دیده می‌شود که مدل منفصل شده با قاعده توانی نتوانسته پشته رسوبی مورد انتظار در نیمه دوم قوس در مجاورت جدار داخلی کانال را پیش‌بینی کند. هر چند در نیمه اول قوس که تغییرات بیشتر ناشی از پاسخ ابتدایی بستر به تغییرات ناگهانی در انحنای نسبی کانال می‌باشد، نتایج نسبت به حالت انفصال با طرح SOU تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهد.

### تأثیر الگوهای مختلف انفصال ترم‌های انتقال معادلات حاکم بر نتایج حل عددی

شکل (۷) اثر به کارگیری الگوی قاعده توانی POW را در انفصال انتقال معادلات، در مقایسه با الگوی جهت مند مرتبه دوم SOU نشان می‌دهد. به علت اینکه در میدان حاضر، خطوط جریان نسبت به خطوط شبکه، دارای زاویه می‌باشد و همچنین چون در امتداد عمود بر جریان، یک گرادیان غیر صفر برای متغیر وابسته (سرعت و غلظت) وجود دارد، لذا انتظار داریم به علت به وجود آمدن پدید پخش



الف) توپوگرافی بستر حاصل از نتایج شبیه سازی



ج) توپوگرافی بستر حاصل از نتایج عددی  
الگوی انفصال POW

ب) توپوگرافی بستر حاصل از نتایج عددی  
الگوی انفصال SOU

شکل ۷- تاثیر الگوهای مختلف انفصال بر شکل‌گیری توپوگرافی بستر

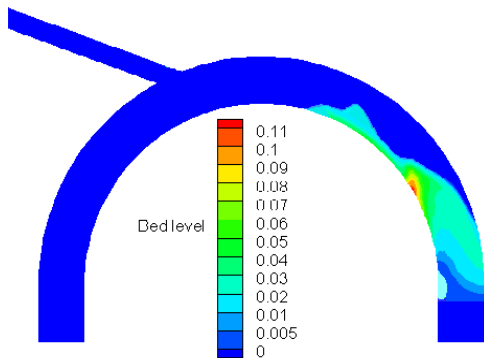
در آن رسوبگذاری اتفاق نمی‌افتد. این ناحیه با عنوان ناحیه جدایی جریان نشان داده شده است. بررسی توپوگرافی بستر در زمان تعادل، برای دبی آبیگری ۴۰٪ نمایانگر وجود دو پشته رسوبی بستر در مقاطع ۴۵ و ۱۳۰ درجه قوس می‌باشد (شکل ۸).

در حالت کاهش دبی آبیگری به ۲۵٪ توپوگرافی رسوبات توسعه عرضی کمتری به سمت قوس خارجی یافته و بیشتر در امتداد دیواره داخلی به سمت پایین دست حرکت می‌کند. در این حالت رسوبات فقط از لبه پایین دست آبیگر به درون کانال آبیگر راه می‌یابند. همچنین در شکل (۱۰) تغییرات تراز بستر در دبی‌های آبیگری مختلف در زمان تعادل برای مقاطع عرضی ۹۰، ۱۱۱، ۱۱۵ و ۱۱۸ درجه حاصل از نتایج مدل با هم مقایسه شده است.

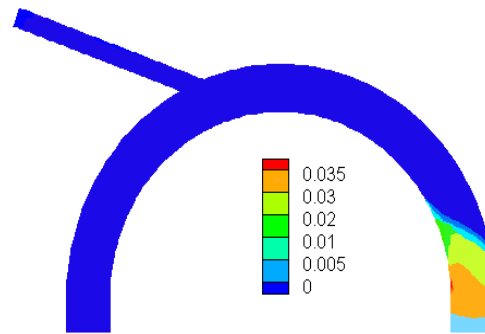
نکته قابل توجه این است که در همه‌ی حالات مختلف آبیگری دو پشته رسوبی نزدیک دیواره داخلی در نزدیکی مقاطع ۴۵ و ۱۳۵ درجه قوس تشکیل می‌شود که ارتفاع پشته رسوبی دوم نسبت به پشته رسوبی اول کمتر است که دلیل آن کاهش قدرت جریان ثانویه بعد از آبیگر به علت انحراف بخشی از جریان توسط آبیگر است. نکته دیگری نیز که در توپوگرافی بستر ملاحظه می‌شود تناوبی بودن دیون‌ها می‌باشد که دلیل آن نوسانات سرعت عرضی در قوس است.

### مطالعه پارامتریک بر روی اثر دبی آبیگری

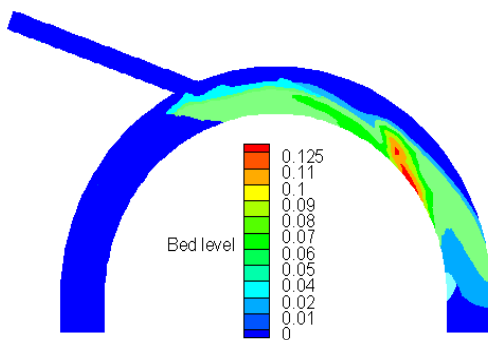
به منظور بررسی اثر دبی آبیگری بر نحوه حرکت رسوبات، تغییرات زمانی توپوگرافی بستر برای دو دبی آبیگری ۲۵٪ و ۴۰٪ مورد مطالعه قرار گرفته است. افزایش دبی آبیگری از ۳۰٪ به ۴۰٪ تا حوالی مقطع ۶۰ درجه از کانال خمیده تأثیری بر روی توپوگرافی بستر ندارد اما بعد از مقطع ۶۰ درجه به دلیل مکش بیشتر آبیگر پروفیل بستر توسعه عرضی بیشتری نسبت به حالت ۳۰٪ دارد. به عبارت دیگر ذرات رسوب به سمت دیواره خارجی متمایل می‌شوند و همچنین ارتفاع پشته‌های رسوبی در نزدیک دیواره داخلی تا حدودی کاهش می‌یابد. مکانیسم ورود رسوبات به آبیگر مانند دبی آبیگری ۳۰٪ از لبه پایین دست آبیگر به درون آبیگر آغاز می‌گردد. اما بدلیل افزایش دبی آبیگری که نتیجه آن توسعه عرضی بیشتر پروفیل بستر می‌باشد، ورود رسوبات از لبه بالادست آبیگر نیز ناشی از عبور متناوب دیون‌های تشکیل شده در امتداد دیواره خارجی قوس انجام می‌گیرد. افزایش دبی آبیگری موجب می‌شود در یک زمان مساوی، رسوبات کمتری به پایین دست آبیگر انتقال یافته و توپوگرافی نیمه دوم قوس در این زمان برخلاف دبی آبیگری ۳۰٪ شکل‌نگیرد که علت آن ورود زیاد رسوبات به درون آبیگر است. همچنین ناحیه‌ای در پایین دست آبیگر در قوس داخلی وجود دارد که تا اواسط آزمایش



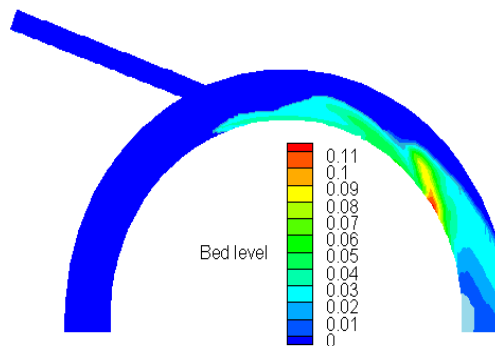
ب) نتایج حاصل از مدل عددی در زمان ۲۵ دقیقه بعد از وارد شدن رسوب



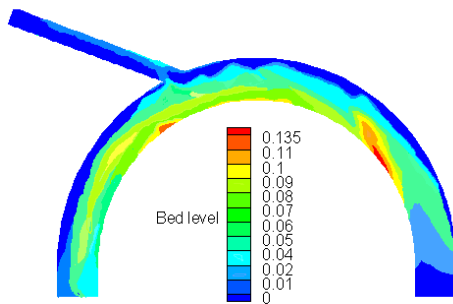
الف) نتایج حاصل از مدل عددی در زمان ۱۰ دقیقه بعد از وارد شدن رسوب



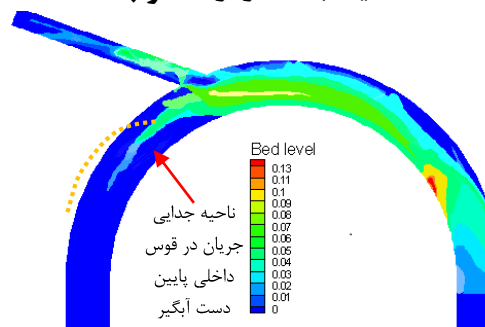
ت) نتایج حاصل از مدل عددی در زمان ۴۵ دقیقه بعد از ورود رسوب



پ) نتایج حاصل از مدل عددی در زمان ۳۵ دقیقه بعد از ورود رسوب

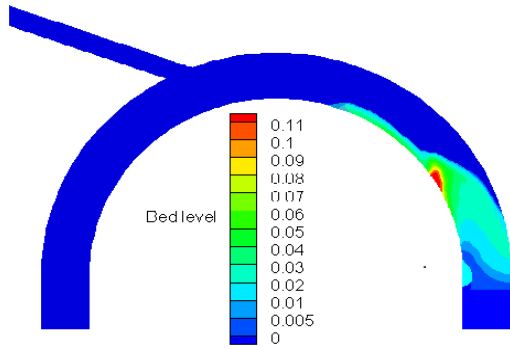


ه) زمان تعادل

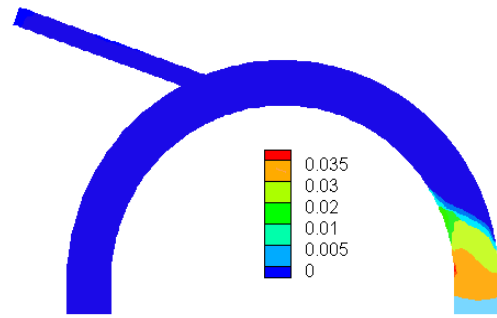


ج) نتایج حاصل از مدل عددی در زمان ۶۰ دقیقه بعد از ورود رسوب

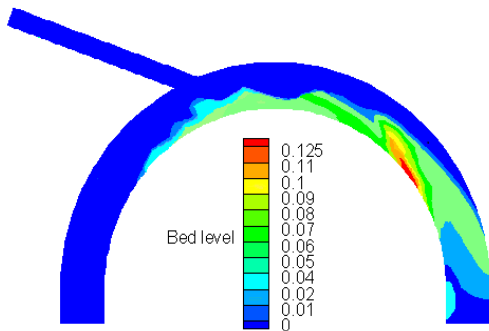
شکل ۸- نحوی حرکت ذرات رسوب برای دبی ابگیری ۴۰٪



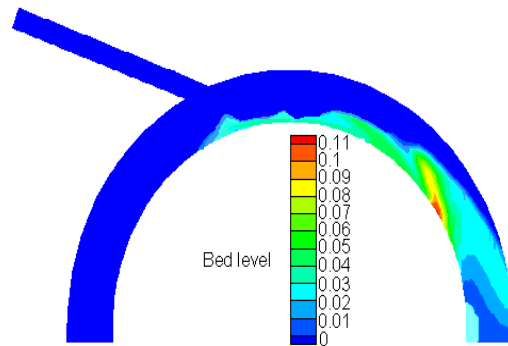
الف) نتایج مدل عددی در زمان ۲۵ دقیقه بعد از ورود رسوب



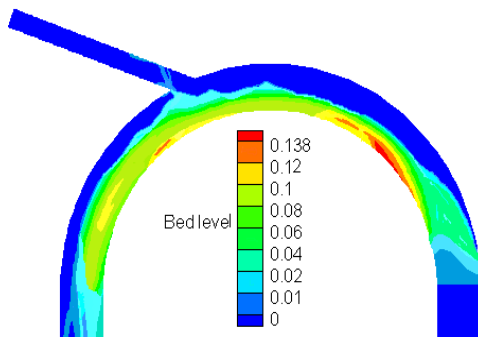
ب) نتایج مدل عددی در زمان ۱۰ دقیقه بعد از ورود رسوب



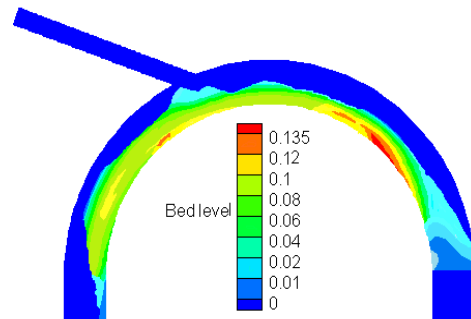
ج) نتایج مدل عددی در زمان ۴۵ دقیقه بعد از ورود رسوب



د) نتایج مدل عددی در زمان ۳۵ دقیقه بعد از ورود رسوب



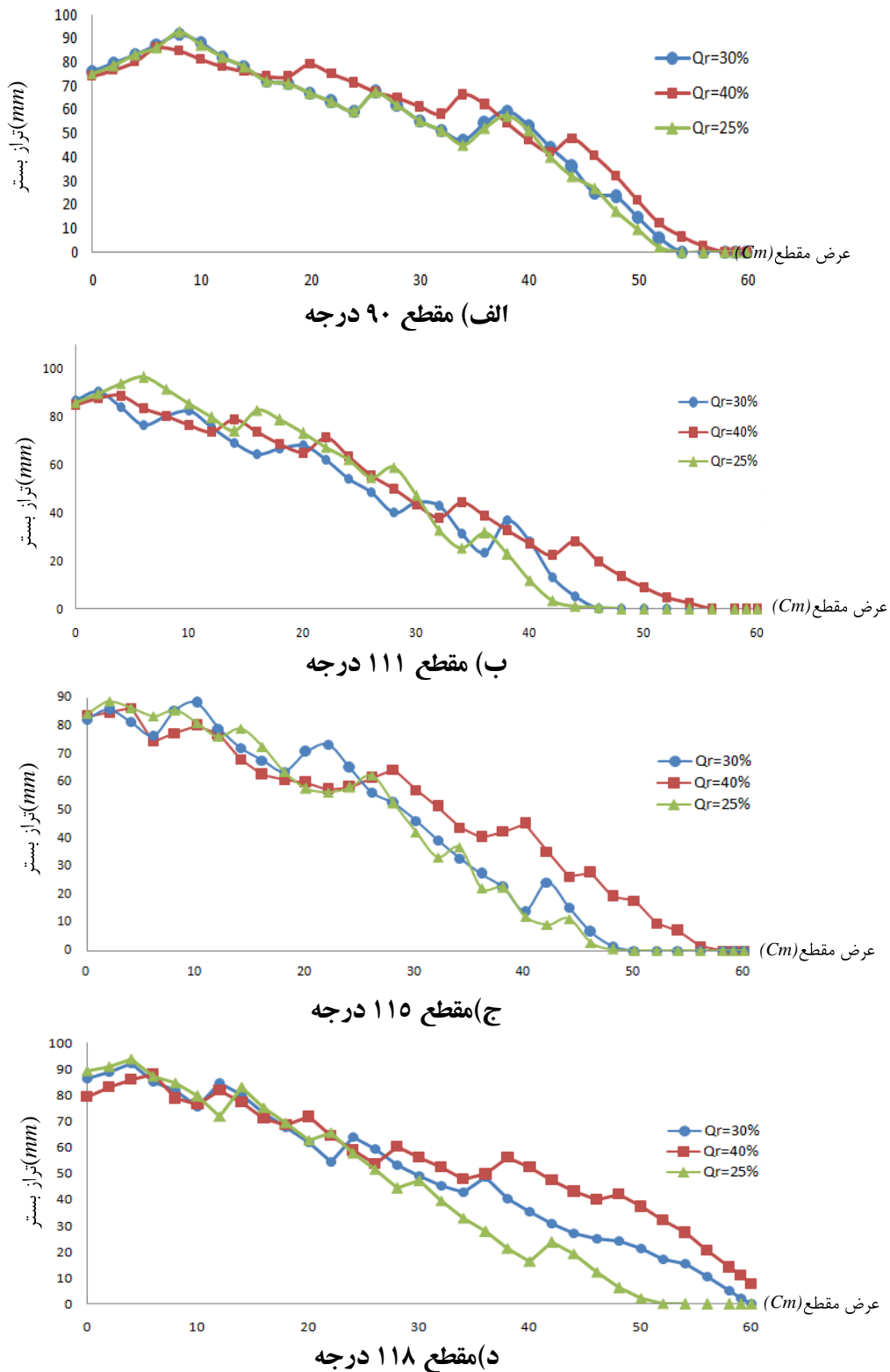
ه) زمان تعادل



و) نتایج مدل عددی در زمان ۶۰ دقیقه بعد از ورود رسوب

شکل ۹- چگونگی شکل‌گیری توپوگرافی بستر برای دبی ابگیری ۲۵٪





شکل ۱۰- تغییرات عرضی تراز بستر برای دبی های آبدگیری مختلف

### روندیابی جریان با کمک الگوریتم ژنتیک

روندیابی جریان برای پیش‌بینی تغییرات بزرگی، سرعت و شکل موج یک جریان به صورت تابعی از زمان در یک یا چند نقطه از طول رودخانه یا مخزن در نظر گرفته می‌شود

روش‌های روندیابی سیل به دودسته روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی تقسیم بندی میشوند. روش روندیابی هیدرولیکی بر اصول پیچیده هیدرولیکی وقوانین جریان‌های غیرماندگار در کانال‌های پرواز استوار است. این روش نیازمند اطلاعات وسیع هیدرولیکی و محاسباتی طولانی است. در روش هیدرولوژیکی از اصل پیوستگی جریان و رابطه بین دبی و ذخیره موقت آب در طول مسیر استفاده میشود که روش به نسبت آسانی بوده و از دقت کافی در کارهای آبی برخوردار است. مدل ماسکینگام یکی از روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی است. این مدل از معادلات پیوستگی و روابط بین مقادیر ورودی، خروجی و ذخیره سیل استفاده شده است. مدل خطی ماسکینگام اولین بار توسط [۱۱] به شکل رابطه زیر ارائه شده است:

$$St = K [XIt + (1 - X) Ot] \quad (10)$$

در این رابطه،  $S_t$ ،  $I_t$  و  $Q_t$  به ترتیب نشان دهنده ذخیره، ورودی و خروجی در زمان  $t$  است و  $k$  ضریب زمان - ذخیره برای رودخانه بوده و یک مقدار منطقی نزدیک به زمان‌گذر جریان از کل مسیر رودخانه است. همچنین  $X$  یک فاکتور وزنی است که معمولاً برای مخازن ذخیره بین صفر تا ۰/۵ و برای رودخانه‌ها بین صفر تا ۰/۳ در نظر گرفته می‌شود [۳۰]. به طور معمول، پارامترهای  $K$  و  $X$  از مدل ماسکینگام خطی را با روش تریسمی و به کمک سعی و خطابه دست می‌آورند که این روش مشکل و تقریبی است. از طرف دیگر، رابطه بین  $St$  و  $[XIt + (1 - X) Ot]$  همیشه خطی نبود. لذا در سال ۱۹۷۸ رابطه غیرخطی مدل ماسکینگام به صورت زیر پیشنهاد شد:

$$St = K [XIt + (1 - X) Ot]^m \quad (11)$$

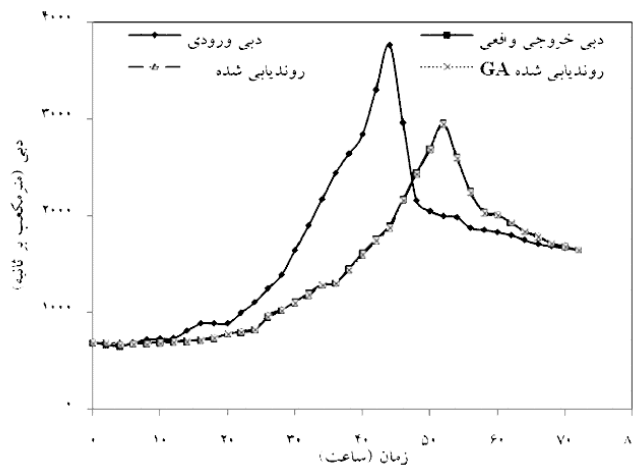
در این رابطه پارامتر  $m$ ، به عنوان توان به معادله غیرخطی اضافه شده و مدل را قادر می‌سازد تا رابطه غیرخطی و دقیق‌تری بین ذخیره تجمعی و جریان ارائه کند. از آنجایی که استفاده از روش سعی و خطا برای پیدا کردن مقادیر صحیح سه پارامتر  $m$ ،  $X$  و  $K$  پیچیده و مشکل بود،

روش‌های مختلفی برای تخمین پارامترهای مدل غیرخطی ماسکینگام ارائه شد. در همین راستا، الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراکوشی در تخمین این پارامترها کاربرد و قابلیت زیادی داشته‌اند.

محققین با استفاده از روش حداقل مربع اتم قادر به پارامتر مدل غیرخطی ماسکینگام راه‌بینه کردند. نتایج تحقیق حاکی از دقت بالاترین روش نسبت به روش سعی و خطا بود. در ادامه محققین، بر مبنای روش هوک - جیوزدر ترکیب باروش‌های رگرسیون خطی (HJ+CG)، شیب هم‌زمان و DFP را برای بهینه‌کردن این پارامترها به کار بردند که نتایج نشان داد استفاده از روش‌های (HJ+CG) و (HJ+DFP) در مقایسه با روش گیل بهتر است [۳۱]. تحقیق تونگ نیز محدودیت‌های زیاد مدل خطی را ثابت کرد.

در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک برای محاسبه پارامترهای مدل غیرخطی ماسکینگام استفاده شده است و نشان داده شده است که برآورد به وسیله  $GA$  بهتر از روش‌های قبلی بوده و نیازی به حدس اولیه نزدیک به جواب بهینه را نشان میدهد.

نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم  $GA$  دقت بالاتری در روندیابی سیل رودخانه داشته است. علاوه بر این تفاوت بین دبی پیک مشاهداتی و روندیابی شده در الگوریتم  $GA$ ، ۴/۸۵ و در محاسباتی ۹/۷ متر مکعب بر ثانیه به دست آمده است. مقادیر بهینه پارامترهای  $K$ ،  $X$  و  $M$  در الگوریتم  $GA$  در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۱- هیدروگرافی روندبایی شده مربوط به سیل رودخانه با کمک روش محاسباتی و روش الگوریتم GA

### نتیجه گیری

نتایج موردی حاصل از مطالعه مزبور به شرح ذیل می باشد:

بررسی تاثیر چهار موقعیت ۴۵، ۹۰، ۱۱۵ و ۱۳۵ درجه با چهار زاویه آبگیری ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه بر روی الگوی جریان نشان داد که در تمامی موقعیت-ها، برای زاویه آبگیری ۳۰ درجه ابعاد صفحه‌ی تقسیم در سطح بیشتر و در کف کمترین مقدار را دارد. همچنین ابعاد ناحیه جداشدگی در زاویه‌ی ۳۰ درجه در تراز سطح و کف کمترین مقدار را دارد. همچنین الگوی جریان در تمام موقعیت‌ها نشان داد در تمام زوایای آبگیری، در موقعیت ۱۳۵ درجه عرض صفحه جریان در سطح بیشترین و در کف کمترین مقدار دار می باشد و بر این اساس بهترین موقعیت آبگیری، موقعیت ۱۳۵ درجه با زاویه آبگیری ۳۰ درجه می باشد.

مکانیسم تشکیل توپوگرافی بستر در حالت تزریق رسوب بر روی بستر صلب نشان داد که در ابتدای قوس رسوبات به صورت یکنواخت در عرض کانال حرکت کرده و با قدرت گرفتن جریان ثانویه ذرات رسوب به سمت دیواره داخلی متمایل می شوند و دیون‌های متناوب از مقطع ۷۰ درجه شروع به شکل گیری می کنند و به سمت قوس خارجی متمایل می شوند و در

در مطالعه حاضر الگوی سه بعدی جریان در قوس ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی با بستر صلب و نیز مکانیسم شکل گیری توپوگرافی بستر در قوس ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی به روش وارد شدن رسوب بر روی بستر صلب با استفاده از نرم افزار HEC-RAS و الگوریتم ژنتیک در متلب مدل سازی عددی و شبیه سازی شده است و پس از صحت سنجی در هر مرحله، تاثیرات تغییر در پارامترهای موثر بر مساله مورد بررسی قرار گرفته است.

علاوه بر این به عنوان یک کار فرعی در این پژوهش روندبایی جریان برای پیش بینی تغییرات بزرگی، سرعت و شکل موج یک جریان به صورت تابعی از زمان در یک یا چند نقطه از طول رودخانه یا مخزن بوده است. برای روندبایی از روش محاسباتی و روش الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شده است و در این زمینه نتایج نشان می دهد که الگوریتم GA دقت بالاتری در روندبایی سیل رودخانه داشته است. علاوه بر این تفاوت بین دبی پیک مشاهداتی و روندبایی شده در الگوریتم GA، ۴/۸۵ و در محاسباتی ۹/۷ متر مکعب بر ثانیه به دست آمده است.

رسوبی در حالت دبی آبیگری زیاد در نزدیک دیواره داخلی تا حدودی کاهش می‌یابد.

بررسی اثر دبی آبیگری بر روی مکانیسم ورود رسوبات به آبیگر نشان داد که برای دبی آبیگری ۴۰٪ ورود رسوبات از پایین دست آبیگر آغاز می‌شود همچنین ورود رسوبات از لبه بالادست آبیگر نیز ناشی از عبور متناوب دیون‌های تشکیل شده انجام می‌گیرد. اما در دبی آبیگری ۲۰٪ و ۳۰٪ ورود رسوبات تنها از لبه‌ی پایینی آبیگر انجام می‌شود.

بررسی توپوگرافی بستر در تمام حالت‌های آبیگری در زمان تعادل نشان داد که مدل عددی توانسته پشته‌های رسوبی در دو موقعیت ۴۵ و ۱۳۵ درجه و دیون‌های متناوب را تشخیص دهد.

لبه پایین دست آبیگر تجمع می‌نمایند و ورود رسوبات به درون آبیگر از همین نقطه آغاز می‌شود.

بررسی‌ها نشان داد که مدل عددی HEC-RAS تا حد زیادی به گام زمانی وابسته نبوده، مگر در حالتی که گام زمانی به حدی بزرگ انتخاب شود که تغییرات در بستر در یک گام زمانی، باعث تغییرات زیادی در میدان جریان شده باشد.

بررسی اثر دبی آبیگری بر روی توپوگرافی بستر نشان داد که کاهش و افزایش دبی آبیگری تا مقطع ۶۰ درجه از کانال تأثیری بر روی توپوگرافی بستر ندارد اما در دبی‌های آبیگری زیاد بعد از گذر از این مقطع پروفیل بستر توسعه عرضی بیشتری نسبت به حالات دبی‌های آبیگری کم دارد. همچنین ارتفاع پشته‌های

## منابع

۱. ایزدپناه، زهرا و صالحی‌نیشابوری، علی‌اکبر، (۱۳۸۲). بررسی و انتقال رسوب در آبیگرهای جانبی، مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۶، شماره ۲.
2. Allison M. Pfeiffer, a, 1 Noah J. Finnegan, a and Jane K. Willenbring (2017), Sediment supply controls equilibrium channel geometry in gravel rivers, Proc Natl Acad Sci U S A. 2017 Mar 28; 114(13): 3346–3351
۳. ابوالقاسمی، م، ۱۳۸۵. کنترل رسوب ورودی به آبیگرهای جانبی در متاندر رودخانه. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
۴. دهقانی، ا، (۱۳۸۵) مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب ورودی به آبیگر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه. رساله دکتری مهندسی عمران گرایش هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس.
۵. شکیبائی‌نیا، احمد، زراتی، امیررضا و مجدزاده طباطبایی، محمدرضا (۱۳۸۷). کاربرد مدلسازی عددی سه‌بعدی در شبیه‌سازی پدیده‌های پیچیده مهندسی رودخانه. نشریه دانشکده فنی، دوره ۴۲، شماره ۴، صفحه ۴۴۳ تا ۴۵۵.
6. Boyer. C., Roy. A.G. and Best. J.L., (2006). " Dynamics of a river channel confluence with discordant beds: Flow turbulence, bed load sediment transport, and bed morphology". J. Geophysical Research–Earth 111 (F4). pp 1–22.
7. Bryan. R B. and Kuhn. N.J., (2002). " Hydraulic conditions in experimental rill confluences and scour in erodible soils". Water Resources Research 38. No.5.
8. Baghlani, A. (2012). "Application of a high-resolution scheme in simulation of flow in curved channel using boundary-fitted curvilinear coordinates". Scientia Iranica, Volume 19, Pages 1463-1472.
۹. کرمی‌مقدم، مهدی، شفاعی‌بجستانی، محمود و صدقی، حسین (۱۳۸۹). مطالعه آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در آبیگر ۳۰ درجه منشعب از کانال ذورنقه‌ای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره پنجاه و هفتم. صفحه ۳۵ تا ۴۷.

۱۰. رستم‌آبادی، معصومه، صالحی نیشابوری، علی‌اکبر، پیرستانی، محمدرضا و منتصری، حسین (۱۳۸۸). شبیه‌سازی عددی تاثیر پارامترهای هیدرولیکی بر الگوی جریان در آبیگری جانبی از کانال‌های قوسی. هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
۱۱. منتصری، حسین (۱۳۸۷). کنترل رسوب ورودی به آبیگر جانبی با استفاده از صفحات مستغرق در قوس ۱۸۰. رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
12. Chao Qin, Fenli Zheng, Robert R. Wells, Ximeng Xu, Keyuan Zhong (2018), A laboratory study of channel sidewall expansion in upland concentrated flows, Soil and Tillage Research, Volume 178, May 2018, Pages 22-31.
13. GHOBADIAN, Rasool, MOHAMMADI, Kamran, (2011). "Simulation of subcritical flow pattern in 180° uniform and convergent open-channel bends using SSIIM 3-D model." Journal of Water Science and Engineering, 4(3), 270-283.
14. Lu, W. Z., Zhang, W. S., Cui, C. Z., and Leung, A. Y. T. (2014). "A numerical analysis of free surface flow in curved open channel with velocity-pressure-free-surface correction" Computational Mechanic(33), 215-224.
15. Olsen, N. R. B. (2014). SSIIM Users' Manual,. The Norwegian University of Science and Technology.
16. Olsen, N. R. B., Pegg, I., Molliex, J., Berger, H. M., and Fjeldstad, H. P. (2015). "3D CFD modeling of sediment erosion in habitat improvement gravel" XXXI IAHR Congress, Seoul, Korea.
17. Olsen, N. R. B. (2004). "Hydroinformatics, fluvial hydraulics and limnology." Department of Hydraulic and Environmental Engineering, The Norwegian University of Science and Technology.
18. Olsen, N. R. B. (2010). "CFD algorithm for hydraulic engineering," Class notes, The Norwegian University of Science and Technology.
19. Patankar, S. V. (1980). Numerical heat transfer and fluid flow, Hemisphere Publishing Corporation, Taylor & Francis Group, New York.
20. Rhie, C. M., and Chow, W. L. (2013). "Numerical study of the turbulent flow past an airfoil with trailing edge separation" J. AIAA, 21, 1525-1532.
21. Ruether, N, Singh, J. M, Olsen, N. R. B., Atkinson, E, (2014). "3-D computation of sediment transport at water intake" Journal of water management, 158(4).
22. Rhoads. B. L. and Sukhodolov. A. N., (2001). " Field investigation of three-dimensional flow structure at stream confluences: 1. Thermal mixing and time-averaged velocities". Water Resources Research. Vol. 37. pp 2393–2410.
23. Rhoads. B. L. and Sukhodolov A. N., (2004). " Spatial and temporal structure of shear layer turbulence at a stream confluence". Water Resources Research .40.pp 1-13
24. Rhoads. B. L.,(2005). " Scaling of confluence dynamics in river systems:some general considerations". River, coastal and estuarine morphodynamics. pp 379–387
25. Versteeg, H. K., and Malalasekera, W. (2013). An introduction to computational fluid dynamics, the finite volume method, Longman.
26. Schlichting, H., and Gersten, K. (2003). Boundary layer theory, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
27. Vanoni, V. (2005). Sediment Engineering, ASCE Manuals and reports on engineering pRAStice-No54.
28. Van Rijn, L. C. (1984). "Sediment transport, part I: bed load transport." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 110(10), 1431–1456.

29. Xilin Sun, Chang'an Li, K.F. Kuiper, Zengjie Zhang, J.R. Wijbrans(2016), Human impact on erosion patterns and sediment transport in the Yangtze River, Global and Planetary Change, Volume 143, August 2016, Pages 88-99.
30. Yakhot, V. and Smith, L.M. "The renormalization group the expansion, and derivation of turbulence models". J. Sci. Comput., Vol. 7, No. 35, PP. 35-61, 1992.
31. Yang. Q. Y., Liu. T.H., Lu. W.Z. and Wang. X.K., (2013) . "Numerical simulation of Confluence Flow in Open channel with Dynamic Meshes Techniques". Hindawi Publishing Corporation Advances in Mechanical Engineering Vol. 2013. No. 860431