

شبیه‌سازی شبه دو بعدی جریان سیلاب رودخانه ليقوان با تاكيد بر دشت سيلابی

شهرام روستایی* - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.
فریبا ایاسه - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.
محمد حسین رضایی مقدم - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۱/۱۷

چکیده

در این مقاله از مدلسازی شبه دو بعدی در محیط نرم افزار *Mike II* جهت شبیه‌سازی جریان سیلاب، عمق، سرعت و حمل رسوب در رودخانه ليقوان چای استفاده شده است. شبیه‌سازی با استفاده از سیلاب شاخص مرداد ماه ۱۳۸۲ انجام شد. برای شرط مرزی بالادست حوضه ليقوان چای از دبی ۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه و برای شرط مرز پایین دست نیز از دبی ۱۰۰ متر مکعب بر ثانیه استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل شبه دو بعدی با وجود زمان اجرای بسیار کوتاه تر، دقت قابل قبولی در ارزیابی دبی دارد. این مدل روند پخش و کاهش حجم سیلاب را به خوبی شبیه‌سازی میکند که با واقعیت ذخیره شده بخشی از سیلاب در دشت‌های سیلابی انطباق دارد و مشخصات جریان را در کانال اصلی رودخانه و دشت سیلابی به تفکیک ارائه می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که، سرعت سیلاب بر اساس دامنه شیب رودخانه کنترل می‌شود و از آنجا که رودخانه ليقوان در محیط کوهستانی جاری است و شیب نسبتاً بالایی دارد، سیلاب‌های آن از یک سوء دارای زمان تمرکز کمتر (یک و نیم ساعت بعد از شبیه‌سازی) و از سوی دیگر از سرعت بالایی برخوردار می‌باشند که بر توان تخریب آن با وجود دبی کم می‌افزاید. بیشترین توان تخریب سیلاب در مقطع ۶ و ۷ در مقابل کمترین توان تخریب در مقطع شماره ۱ و ۲ است. با توجه به اهمیت نقش پوشش گیاهی در ویژگی‌های انتشار، عمق و سرعت سیلاب به نظر میرسد که اقدامات آبخیزداری بهتر است که در بالادست حوضه صورت گیرد و در دشت سیلابی نیز دقت لازم در انتخاب نوع کشت محصولات کشاورزی اتخاذ گردد.

واژگان کلیدی: شبیه‌سازی سیلاب، دشت سیلابی، مدلسازی شبه دو بعدی، *Mike II* حوضه ليقوان چای

مقدمه

آب جزء بخش حیاتی زندگی انسان است و از زمان پیدایش انسان بر روی زمین خشکسالی و وقوع سیلاب بر فعالیت های او در سرتاسر جهان تاثیر گذاشته است. از سوی دیگر دشت های سیلابی یک بخش اکولوژیک کلیدی در مناطق خشک و نیمه خشک هستند که با داشتن خاک حاصلخیز و جریان آب به عنوان قطب مهم کشاورزی و نیز سکونت انسان ها در نظر گرفته شده اند. اما آنچه همواره این مناطق حساس اکولوژیک را تهدید میکند طغیان گاه به گاه رودخانه و ایجاد صدمات جبران ناپذیر مالی و جانی است (انزل و همکاران، ۱۹۹۳: ۲۲۸۹).^۱ آنچه مسلم است وقوع سیلاب ها، با شدت بارندگی و قوع طوفان ها و ویژگی های هیدرولوژیکی حوضه (درصد اشباع خاک، درصد نفوذپذیری، سرعت ذوب برف و میزان فرسایش) از یک سو و نیز فعالیت های انترپوزیتیو و تغییرات اقلیم ناشی از آن از سوی دیگر رابطه مستقیم دارد، همچنین پیش بینی شده است که در آینده نزدیک وقوع سیلاب های ناگهانی به دلیل گرم شدن زمین افزایش چشم گیری خواهد داشت (کلین و پیتسچل، ۲۰۰۷: ۲۸۶. دیموئل و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۹۱).^۲ بنابراین جهت شناخت این پدیده طبیعی نیاز به مدل های هیدرودینامیک قابل اطمینان که به درستی بتوانند تخمین نسبتا درستی از وقوع سیلاب در جهت کاهش ریسک و خطر آن بنمایند، ضروری به نظر میرسد. با وجود تحقیقات فراوان و روش های متعدد مهار و مدیریت سیلاب، هنوز تبیین روشهایی که با سرعت و دقت مناسب در خدمت مدیریت این پدیده دینامیکی قرار گیرند، ضرورت دارد. چرا که امروزه با وجود پیشرفتهائی که در عرصه های مختلف علم و صنعت صورت پذیرفته، هنوز بشر در مقابل این پدیده آسیب پذیر است (ضیائیان فیروز آبادی، ۱۳۸۲: ۱۸)

انواعی از اقدامات ساختاری و غیر ساختاری می توانند برای جلوگیری از آسیب های شدید سیل اتخاذ شوند (پاترو و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۱۰).^۳ اقدامات سازه ای ثابت شده که می تواند در مقیاس زمانی کوتاه مفید باشد در حالی که اقدامات غیر سازه ای در یک دوره زمانی طولانی تر موثر است. استفاده از نقشه های خطر سیل جهت رهگیری و پیش بینی خطرات احتمالی ناشی از سیل در یک منطقه، در حال حاضر رایج و به طور گسترده ای برای جلوگیری از ریسک ناشی از سیل و خطرات آن استفاده می شود. با این حال، مدل سازی سیلاب به دلیل پیچیدگی فرآیندهای هیدرولیکی در وقوع این حادثه دشوار است. استفاده از روش های عددی برای شبیه سازی فرایندهای موثر به شدت مورد نیاز است. استفاده از روش عددی ساده می تواند فرآیندهای پیچیده ای را که در حوادث سیل اتفاق می افتد، بویژه تبادل آشفته بین کانال و دشت سیلابی را ساده کند. اخیرا پیشرفت در منابع محاسباتی، جمع آوری داده ها و توسعه کدهای عددی متعدد، استفاده از روش های مدل سازی هیدرودینامیکی را برای شبیه سازی سیلاب در سیلاب دشت ها افزایش داده است (ویرنر، ۲۰۰۴: ۸۵. بیتس و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۶۱. پاترو و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۱۵).^۴ بسیاری از پژوهشگران در سراسر جهان با نگرش ها و روش های متفاوتی به بررسی وقوع خطر سیلاب و پهنه بندی مناطق آسیب پذیر پرداخته اند. اخیرا توسعه مدل های محاسباتی یک بعدی، دو بعدی و زوجی امکان مدل سازی سیلاب های بسیار پیچیده و بزرگ را فراهم ساخته است (تایفی و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۱۹۵).^۵

پژوهش های صورت گرفته در این زمینه نشان دهنده توسعه و تکمیل روش های مورد بررسی می باشد. از جمله این مطالعات هاردی و همکاران^۶ ۱۹۹۹ نشان دادند که مدل های یک بعدی به زمان محاسباتی محدودی نیاز دارند ولی تنها امکان بررسی پارامترهای هیدرولیکی کانال رودخانه را در اختیار کاربر قرار می دهند در حالی که مدل های دو بعدی

1- Enzel
2- Kleinen and Petschel and DeMoel
3- Patro
4- Werner. Bates. Patro
5- Tayefi
6- Hardy

امکان بررسی تغییرات سطح آب، میان کانال اصلی و دشت سیلابی را فراهم می‌سازند. ویلمز و همکاران ۲۰۰۲ مدل شبه دویعدی *MIKE11* را برای تعیین پهنه‌های سیلابی رودخانه دندر در بلژیک به کار بردند. از نتایج مطالعه آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: تراز سطح آب و پهنه سیلاب محاسبه شده در دشت سیلابی، نیاز به دقت بالای تراز لبه مقاطع کانال اصلی به خصوص در مقاطعی که تراز جریان از کرانه مقطع فراتر می‌رود، دارد که این امر ضرورت انجام نقشه برداری دقیق را ایجاب می‌نماید. رایت و همکاران ۲۰۰۸ رودخانه سورن در انگلستان را با مدل شبه دویعدی *MIKE 11* با قابلیت کانال‌های ارتباطی و مدل دو بعدی *LISFLOOD-FP* شبیه‌سازی کردند و دبی پیک محاسبه شده توسط هر دو مدل را با تفاوتی قابل قبول، مشابه یافتند. کادم و همکاران ۲۰۱۲ در مقاله‌ای بیان نموده‌اند که کنترل و مدیریت ریسک سیل با استفاده از اقدامات غیر ساختاری مانند پیش‌بینی و هشدار سیل، نقشه‌های خطر سیلاب و منطقه بندی خطر سیل کاملاً در کاهش خسارت سیل موثر است و انجام همه این اقدامات نیازمند به شبیه‌سازی طغیان رود با استفاده از مدل‌های مختلف عددی دارد. کورجیالاس و همکاران ۲۰۱۴ در مقاله‌ای به مدلسازی جریان آب و رسوب با استفاده از بسته نرم‌افزاری *Mike*، به منظور بررسی پخش سیلاب‌های ناگهانی و برآورد خطر برای زمین‌های کشاورزی پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که یک پارامتر مهم در مدلسازی هیدرودینامیک، ضریب زبری مانینگ است این ضریب در واقع شاخص مقاومت کانال رودخانه است که به طور مستقیم وابسته به تغییرات پوشش گیاهی است. از نتایج مهم دیگر کسب شده در این مقاله تاثیر تغییرات پوشش گیاهی بر پارامترهای انتشار سیلاب همچون عمق سیلاب، تخلیه، سرعت جریان و بار انتقال رسوب است بررسی‌ها نشان می‌دهد که زمانی که درصد پوشش گیاهی افزایش می‌یابد، عمق امواج سیل کاهش می‌یابد در حالی که با کاهش آن تخلیه جریان، سرعت و انتقال بار رسوب افزایش می‌یابد. هولدار و همکاران^۵ ۲۰۱۵ از مدل *SWAT*، نرم‌افزار *Arc GIS* و *MIKE (DHI)* جهت شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی استفاده نمودند. یافته‌های آنها نشان می‌دهد که از طریق مدل‌سازی عددی، حداکثر پیش‌بینی سطح آب سیل که به احتمال زیاد در دوره‌های مختلف متفاوت است، امکان پذیر می‌باشد و از این رو می‌توان اقدامات پیشگیرانه را در جهت کاهش سطح سیلاب در حوضه انجام داد. پراتیاشا جینا و همکاران ۲۰۱۶^۶ به شبیه‌سازی خطر سیلاب در مناطقی که با کمبود داده و اطلاعات مواجه هستند، اقدام نمودند. آنها اظهار داشتند که مدل ارتفاعی رقومی (*DEM*) نقش مهمی در مدلسازی سیلاب دارد. کمبود داده در کشورهای در حال توسعه، عدم دسترسی به اطلاعات توپوگرافی با وضوح بالا و داده‌های بخش مقطع رودخانه، محدودیت‌های نخست برای شبیه‌سازی مدل‌های هیدرودینامیکی برای مدل‌سازی سیل هستند. آنها در این مقاله داده‌های استخراج شده از *DEM* را در جهت دستیابی به داده‌های مقطع رودخانه بررسی کردند و با استفاده از نرم‌افزار *MIKE11* اقدام به شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی نمودند. آنها به این نتیجه دست یافتند که مدل ارتفاعی رقومی (*DEM*) می‌تواند جهت استخراج اطلاعات مقطع رودخانه برای مدلسازی هیدرودینامیکی مورد استفاده قرار بگیرد. لی ۲۰۱۹^۷ به ارزیابی ریسک و تحلیل حساسیت سیلاب‌ها در حوضه‌های بدون آمار با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرودینامیکی زوجی پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که *TOPMODEL* به طور موثری هیدروگراف سیل را شبیه‌سازی می‌کند و ضرایب *Nash-Sutcliffe* از سرعت جریان برای کالیبراسیون و اعتبار سنجی از ۰/۸۰ بزرگتر است. همچنین، *MIKE* به طور موثر میزان سیلاب و عمق سیل را شبیه‌سازی می‌کند. هلالات ناصریان (۱۳۹۲)، در مقاله‌ای تحت عنوان «مدلسازی جامع سیلاب منطقه دشتیاری شهرستان چابهار توسط مدل *MIKE*

7- Willems

8- wright

9- Kadam

10- Kourgialas

11- Haldar

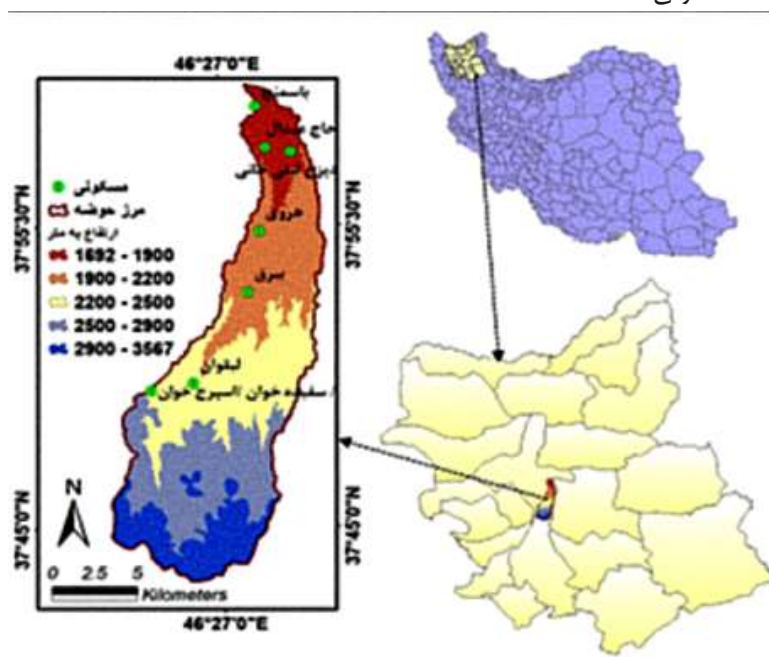
12- Pratyasha Jena

13- Li

FLOOD و ارائه طرح علاج بخشی سیل در منطقه» در این مقاله، نتایج مدلسازی هیدرودینامیکی سیلاب برای سیلاب رودخانه های مشرف به دشت دشتیاری بویژه رودخانه کاجو توسط مدل یک بعدی -دو بعدی *MIKE FLOOD* با دوره بازگشت ۲۵ ساله ارائه و طرح مناسب علاج بخشی سیل و کاهش خسارت آن در منطقه پیشنهاد شده است. موسوی و همکاران (۱۳۹۵)، به مقایسه روش های کوپل و یک بعدی در مدلسازی سیلاب در رودخانه های جاری در دشت ها با استفاده از نرم افزار "*MIKE*" پرداخته است. نتایج نشان داده اند که مدل شبه دو بعدی با وجود زمان اجرای بسیار کوتاهتر نسبت به مدل کوپل، دقت قابل قبولی در ارزیابی دبی، عمق جریان، شبیه سازی روند پخش و کاهش حجم سیلاب دارد، که با واقعیت ذخیره شدن بخشی از سیلاب در سیلاب دشتهای انطباق دارد و قادر است مشخصات جریان را در کانال اصلی رودخانه و دشت سیلابی به تفکیک ارائه دهد. با توجه به اینکه تاکنون مطالعه ای در زمینه به کارگیری مدل های دو بعدی و شبه دو بعدی در مدلسازی سیلاب در دشت سیلابی حوضه ليقوان چای صورت نگرفته است و اینکه در دشت سیلابی این منطقه فعالیت های کشاورزی متعددی گسترش یافته و قطب مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی محسوب می شود، لزوم انجام این مطالعه جهت شناخت بهتر ویژگی های سیلاب این منطقه و اتخاذ روشهای بهینه در جهت کنترل آن احساس می شود.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه و ۱۶ ثانیه طول شرقی، از حوضه های واگرای دامنه شمالی توده کوهستانی سهند به مساحت ۱۹۲ کیلومتر مربع است ليقوان چای زهکش اصلی حوضه بوده که با جهت گیری جنوبی - شمالی در ابتدا با نام باغچا دره سی چای، از نقاط و قله مرتفع کوه سهند، سرچشمه می گیرد. این رودخانه با گذر از روستاهای سفیده خوان، ليقوان، هروی و دیزج عبدل به مسیر شمال تا شهر باسمنج ادامه می یابد و با عبور از شهر تبریز در حوالی فرودگاه به رودخانه آجی چای می پیوندد (کرمی و همکاران، ۱۳۸۵ : ۱۲۷) در ذیل برخی از ویژگی های بارش و دبی منطقه مورد مطالعه معرفی شده است.

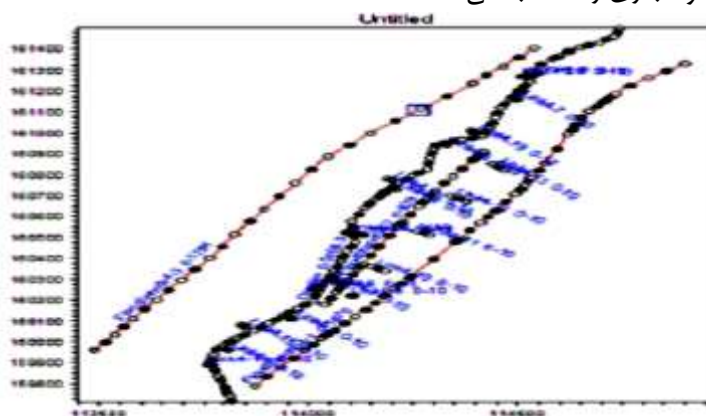


شکل ۱: نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

مواد و روش

MIKE11 مدلی تک بعدی برای شبیه سازی جریان، کیفیت آب و انتقال رسوب در رودخانه ها، سیستم های آبیاری، کانال ها و دیگر آبراه ها است که قادر است با استفاده از شبکه های جانبی طراحی شده در آن به شبیه سازی شبه دوبعدی دقیق جریان سیلاب با استفاده از معادلات سنت ونانت نیز بپردازد (شیخ و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۳۵۰). در شبیه سازی سیلاب با استفاده از این نرم افزار با چهار حالت رو به رو هستیم: ۱- عدم شبیه سازی دشت سیلابی ۲- شبیه سازی دشت سیلابی به صورت حجم ذخیره، که مدل حجم سیلاب ورودی به دشت سیلابی را بر اساس تراز سطح آب در رودخانه اصلی محاسبه میکند. ۳- مدل سازی دشت سیلابی با استفاده از گسترش مقاطع که در این حالت امکان ارائه سرعت و عمق جریان به صورت مجزا در رودخانه اصلی و دشت سیلابی وجود ندارد و سرعت و عمق جریان به طور متوسط در کل مقاطع عریض شده محاسبه و به دست می آید. ۴- مدل سازی رودخانه اصلی و دشت سیلابی به صورت مجزا و اتصال آنها با استفاده از کانال های ارتباطی.

با توجه به اهداف این پژوهش از رویکرد چهارم جهت شبیه سازی استفاده شد. در این رویکرد دشت سیلابی پیرامون رودخانه اصلی به عنوان دو رودخانه مجازی در دو طرف رودخانه اصلی به مدل معرفی و رودخانه اصلی و مجازی (که معرف دشت سیلابی است) با استفاده از کانال های ارتباطی به یکدیگر متصل میشوند. تا زمانی که تراز سطح آب در رودخانه اصلی به تراز بالادست معرفی شده برای کانال ارتباطی نرسیده باشد، دبی رودخانه مجازی صفر است، اما به محض رسیدن تراز آب در رودخانه اصلی به تراز بالادست کانال اصلی، بخشی از سیلاب وارد رودخانه مجازی میشود. از آنجایی که معادله های حاکم بر رودخانه اصلی و مجازی یکسان هستند، مدل برای رودخانه اصلی و مجازی به صورت مجزا با حل معادله های پیوستگی و اندازه حرکت جریان یک بعدی غیر ماندگار؛ سرعت، تراز سطح آب و سایر پارامترهای هیدرولیکی رودخانه اصلی و مجازی را محاسبه می کند.



شکل ۲: مجرای اصلی و دو رودخانه مجازی اطراف آن

بنابراین در این رویکرد زمان رسیدن اوج سیلاب به پایین دست در رودخانه اصلی و مجازی، بسته به سرعت جریان در آن ها متفاوت است که این موضوع تطابق بهتری با واقعیت دارد چرا که در واقعیت هم سرعت جریان در رودخانه اصلی چندین برابر سرعت در دشت سیلابی است. (بی نام، ۲۰۰۷: ۹۵). اتفاقی که در روند شبیه سازی یک بعدی در *Mike11* و سایر مدل های یک بعدی مانند *Hec-Ras* به ازای سیلاب های بزرگ بروز می کند، عدم توانایی مدل در پخش سیلاب در کرانه های مقطع اصلی است. به عبارت دیگر جریان به طور یکنواخت از کف مقطع بالا می آید تا دشت سیلابی را هم فرا گیرد؛ حال آن که ممکن است جریان در مقطع اصلی هنوز به تراز لبه کانال رودخانه نرسیده باشد. روش شبیه سازی شبه دوبعدی به این ترتیب انجام گرفت که، دو رودخانه مجازی به ازای دشت سیلابی پیرامون رودخانه به مدل

معرفی شد. برای این منظور در نرم افزار GIS دو رودخانه مجازی تعریف و با استفاده از کانال های ارتباطی در نرم افزار MIKE11 این مجراها به هم متصل شدند. سپس در گره هایی که تراز سطح آب از تراز لبه مقطع بالاتر می رود، یک کانال ارتباطی از کانال اصلی رودخانه به رودخانه مجازی معرف دشت سیلابی، معرفی گردید. کانال ارتباطی یک شاخه کوتاه برای اتصال دشت سیلابی به رودخانه است. آن ها در شبیه سازی سیلاب در دشت سیلابی نقش مهمی ایفا می کنند. برای معرفی مقاطع کانال اصلی از ۱۲ مقطع که در سال ۱۳۹۱ نقشه برداری شده است، استفاده شد. جهت شبیه سازی از هیدروگراف سیلاب شاخص ثبت شده در مرزهای بالادست حوضه در ایستگاه ليقوان، سیلاب مرداد ماه ۱۳۸۲ در نظر گرفته شد و سپس در مرز پایین دست حوضه در ایستگاه هیدرومتری هروی نتایج مدل با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه شد. برای شرط مرزی بالادست حوضه ليقوان چای از دبی ۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه (حداکثر سیلاب رخ داده در ليقوان چای) و برای شرط مرز پایین دست نیز از دبی -اشل محاسبه شده توسط نرم استفاده شد. جدول چاو جهت تعیین ضریب زبری مورد استفاده قرار گرفت. تعیین ضریب زبری مانینگ بر مبنای عملکردهای پوشش گیاهی، یک کار بسیار دشوار است. زیرا با توجه به ویژگی های ژئومورفولوژیک رودخانه ها و دشت سیلابی، تغییر الگوهای کاشت و برداشت، پوشش گیاهی رودخانه ها دائما تغییر می کند که نیاز به بررسی های میدانی گسترده دارد که باید در منطقه صورت پذیرد. پارامتر کالیبراسیون برای مدل MIKE-11 ضریب زبری مانینگ بستر رودخانه در نظر گرفته شده است. جهت کسب نتایج بهتر ضریب زبری در مجرای اصلی و دشت سیلابی، به صورت بازه ای با بازدیدهای میدانی و استفاده از جدول چاو تهیه و به نرم افزار معرفی شد.

جهت واسنجی مدل شبه دوبعدی ضریب تبیین، متوسط مطلق خطاها و مجموع مربع خطاها محاسبه گردید که در ایستگاه ليقوان برای دبی به ترتیب ۰/۹۵، ۲/۸۲ و ۳۲/۹۸ و برای ایستگاه هروی به ترتیب ۰/۹۳، ۳/۲۶ و ۳۶/۴۲ بدست آمد که موید دقت مناسب شبیه سازی شبه دوبعدی با استفاده از نرم افزار MIKE11 می باشد. همچنین جهت انجام شبیه سازی شبه دو بعدی گام زمانی محاسبات برابر ۳ ثانیه و فرکانس برداشت نتایج ۳۰۰۰ ثانیه یکبار در دو روز در نظر گرفته شد که در این حالت ۸/۳۰ ساعت زمان شبیه سازی به طول انجامید.

معادلات حاکم برای شبیه سازی شبه دوبعدی به صورت ذیل است:

MIKE11 مبتنی بر معادلات یک بعدی Saint-Venant است که در زیر نشان داده شده است.

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1) \text{ معادله تداوم (Continuity equation)}$$

$$= 0 \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left\{ \alpha \frac{Q^2}{A} \right\}}{\partial X} + gA \frac{\partial h}{\partial X} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} \quad (2) \text{ معادله مومنتوم (Momentum equation)}$$

Q دبی m^3/s ، A مساحت جریان m^2 ، q جریان جانبی $m^3/m/s$ ، h ارتفاع آب m ، R شعاع هیدرولیک یا مقاومت m ، C ضریب مقاومت شزی، α ضریب توزیع مومنتوم

۳- انرژی حاکم بر کانال های ارتباطی

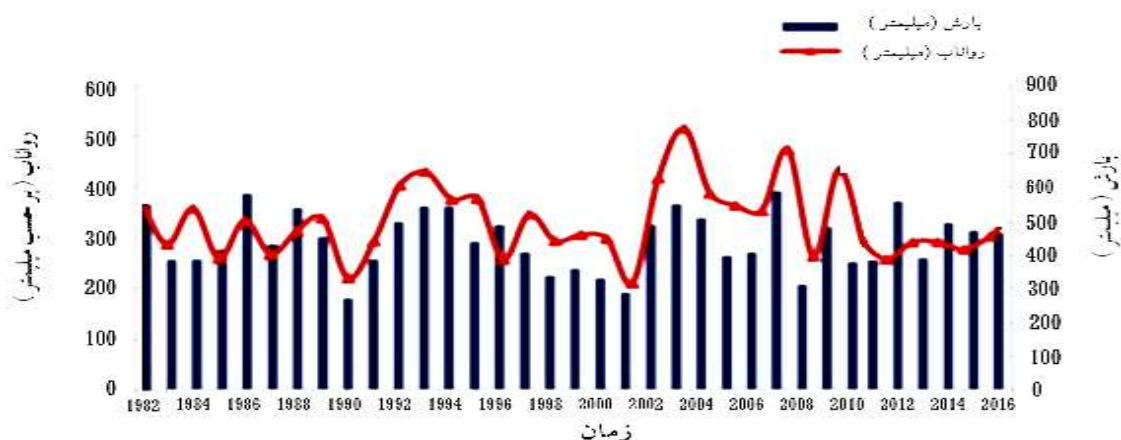
$$\left[h_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right] - \left[h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right] = \frac{Q^2}{2g} \left[\frac{\zeta_{s1}}{A_{s1}^2} + \frac{\zeta_f + \zeta_b}{A_{save}^2} + \frac{\zeta_{s2}}{A_{s2}^2} \right]$$

در این معادله h_1 : عمق جریان ورودی، h_2 : عمق جریان خروجی، v_1 : سرعت جریان ورودی

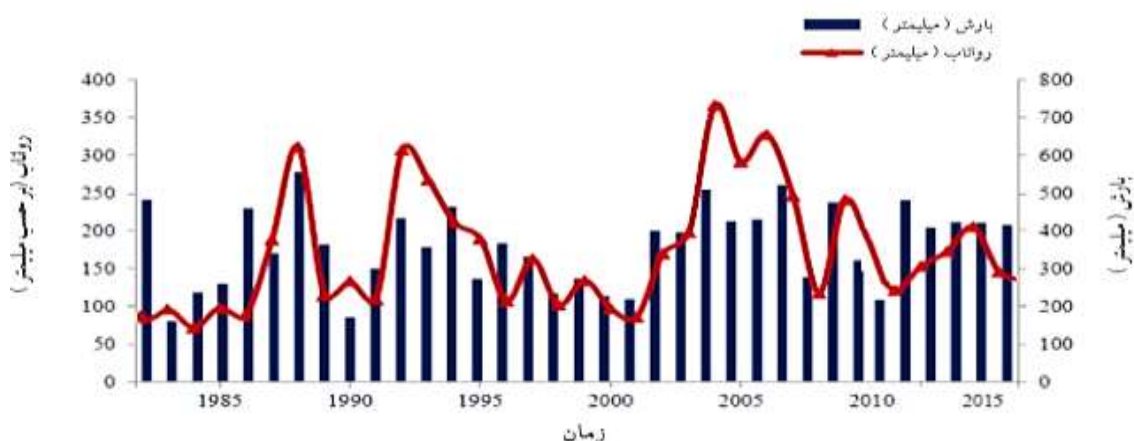
v_2 : سرعت جریان خروجی، A_{s1} : سطح مقطع ورودی، A_{s2} : سطح مقطع خروجی

A_{save} : متوسط سطح مقطع در طول آن، ζ_{s1} : ضریب افت انرژی ورودی ζ_{s2} : ضریب افت انرژی در خروجی آن، ζ_f : افت اصطعکاک و ζ_b : بیانگر افت انرژی ناشی از وجود خم و انحراف و یا رسوبات و خاشاک

در ذیل به برخی از ویژگی‌های دبی و بارش - رواناب منطقه مورد مطالعه اشاره شده است.



شکل ۳: اطلاعات بارش و رواناب ایستگاه لیقوان بر اساس دوره آماری ۳۵ ساله (۱۹۸۲-۲۰۱۶)



شکل ۴: اطلاعات بارش و رواناب ایستگاه هروی بر اساس دوره آماری ۳۵ ساله (۱۹۸۲-۲۰۱۶)

جدول ۱: اطلاعات آماری دبی جریان سالانه در ایستگاه لیقوان بر اساس دوره آماری (۱۹۸۲-۲۰۱۶)

پارامتر هیدرولوژیک	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
دبی جریان m^3/s	۰/۷۲	۱/۱۲	۰/۴۳	۰/۱۵

جدول ۲: اطلاعات آماری دبی جریان سالانه در ایستگاه هروی بر اساس دوره آماری (۱۹۸۲-۲۰۱۶)

پارامتر هیدرولوژیک	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
دبی جریان m^3/s	۰/۶۳	۱/۰۵	۰/۳۲	۰/۱۲

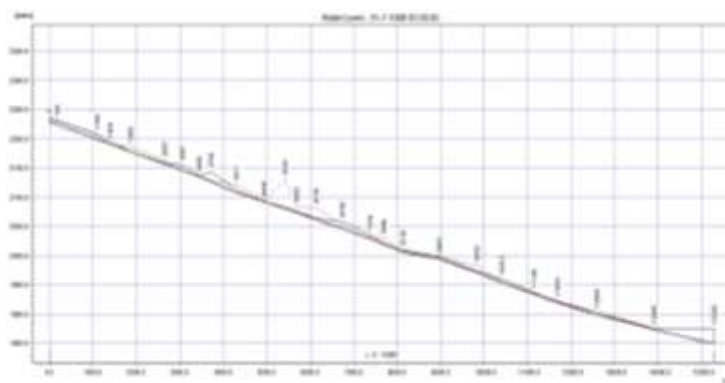
بحث و بررسی

تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که دینامیک جریان در دشت سیلابی نقش مهمی را در شبیه‌سازی سیلاب بازی می‌کند. بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی، مقدار دبی در کانال اصلی رودخانه و در بالادست کانال ارتباطی برابر ۱۱۲ متر

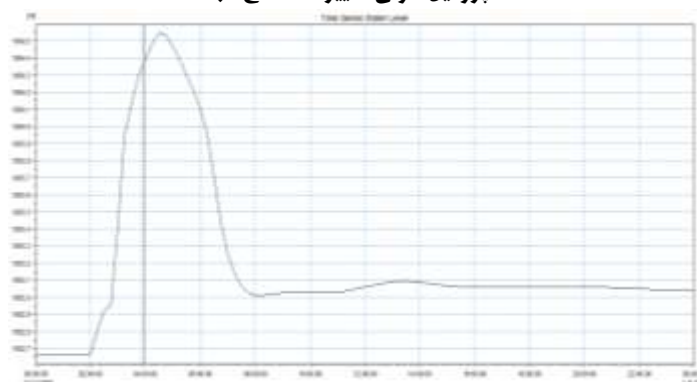
مکعب بر ثانیه است و مقدار دبی انتقال یافته توسط اتصال برابر ۸۷ متر مکعب بر ثانیه است که به خوبی برقرار بودن پیوستگی را در این سازه های ارتباطی نشان می دهد. تغییرات دبی و حجم آن در جدول شماره (۳) نمایش داده شده است.

جدول ۳: تغییرات دبی m^3/s و حجم سیلاب (میلیون متر مکعب) در شبیه سازی شبه دو بعدی با دبی ثابت

کیلومتر	۲۱۹	۱۷۵۳	۳۴۱۷	۵۳۵۷	۷۲۷۰	۹۱۷۴	۱۲۲۲۱	۱۳۸۴۳	۱۵۲۹۳
دبی m^3/s	۱۷۴	۱۲۲	۱۰۳	۱۵۵	۱۵۵	۱۴۲	۱۶۰	۱۱۰	۱۳۸
حجم	۲۵۰	۲۱۰	۱۹۹	۲۳۰	۲۳۰	۲۲۰	۲۳۵	۲۱۰	۲۱۹



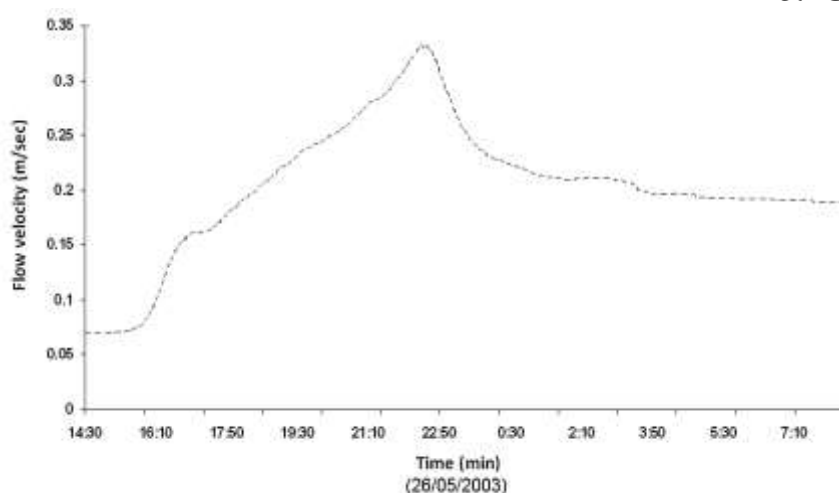
۵: پروفیل طولی تغییرات سطح آب



۶: تغییرات سطح آب در دشت سیلابی مقطع ۶ براساس زمان شبیه سازی شده

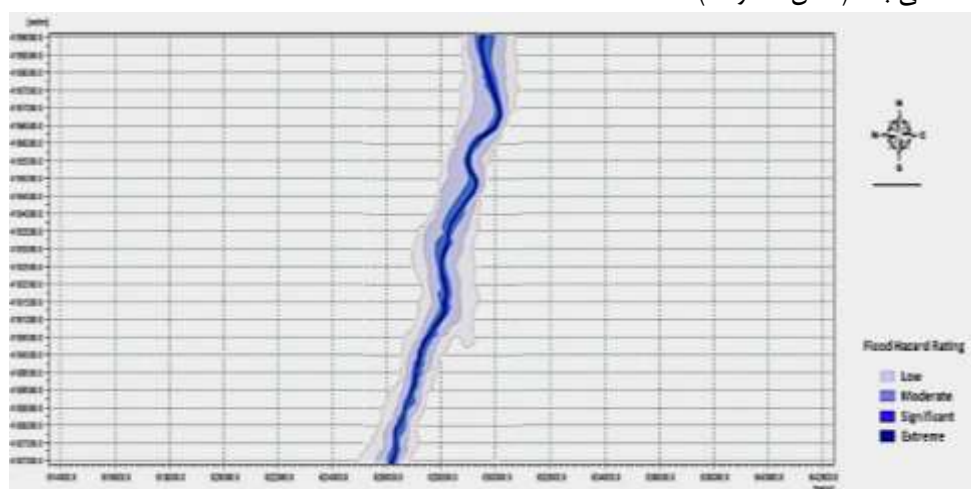
تغییرات دبی و حجم سیلاب در طول رودخانه (جدول شماره ۴ و شکل های ۵ و ۶) نشان می دهد که مدل شبه دو بعدی با پخش سیلاب و خروج و ورود جریان به کانال رودخانه، از الگوی تغییرات دبی به دست آمده از مدل های دو بعدی تبعیت می کند و دقت قابل قبولی در محاسبه ارائه می دهد. در حالی که مدل سازی یک بعدی با مقاطع موجود، تغییرات پیک سیلاب را نشان نمیدهد و کاهش و افزایش حجم سیلاب در اثر پخش و بازگشت جریان به رودخانه را لحاظ نمی کند و تنها روندیابی انجام شده در طول مسیر رودخانه نشان داده می شود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که مدل شبه دو بعدی با وجود زمان اجرای کوتاه (مشابه مدل سازی یک بعدی) بهترین و نزدیک ترین نتایج را در ارزیابی شبیه سازی سیلاب

و الگوی تغییرات آن به مدل یک بعدی -دوبعدی دارد. تحقیقاتی که توسط (رانگو و اولسن، ۲۰۰۳: ۵۶. تامبی و ویلمز، ۲۰۰۷: ۳۲. ویرمیر و همکاران، ۲۰۰۵: ۵۴)^۱ که در مقایسه مدل سازی شبه دوبعدی، یک بعدی و دو بعدی صورت گرفته است نیز، بر نتایج فوق صحنه میگذارد.

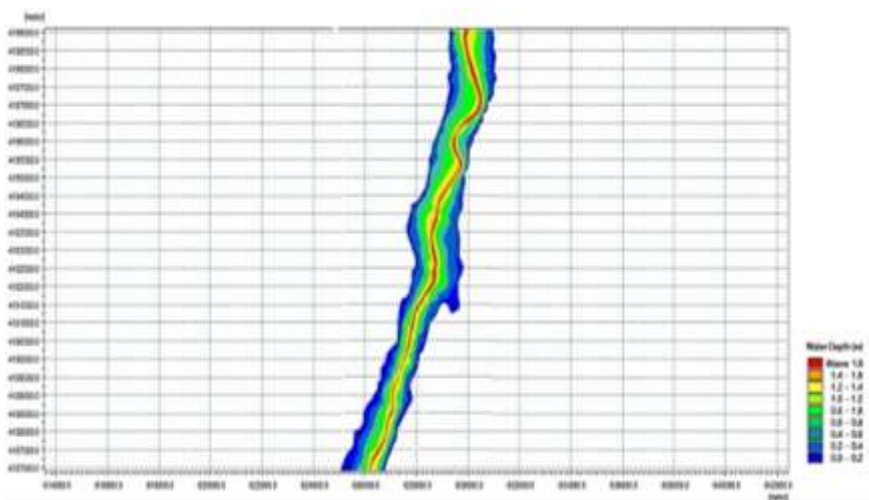


شکل ۷: روند افزایش سرعت جریان در زمان شبیه سازی شده

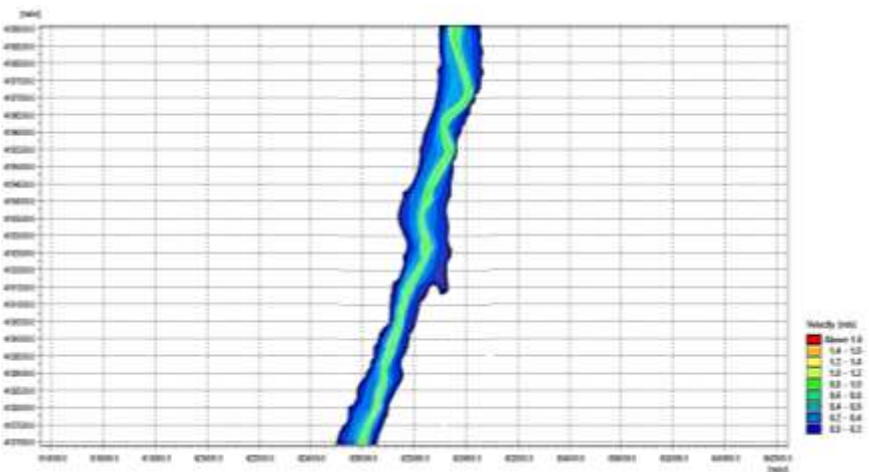
بررسی نمودار سرعت، حاکی از آن است که، سرعت سیلاب بر اساس دامنه شیب رودخانه کنترل می شود و از آنجا که رودخانه ليقوان در محیط کوهستانی جاری است و شیب نسبتاً بالایی دارد سیلاب های آن از یک سوء دارای زمان تمرکز کمتر (یک و نیم ساعت بعد از شبیه سازی) و از سوی دیگر از سرعت بالایی برخوردار می باشند که بر توان تخریب آن با وجود دبی کم می افزاید. بیشترین توان تخریب سیلاب در مقطع ۶ و ۷ به دلیل شیب زیاد در این مقاطع و توان بالای جریان می باشد در مقابل کمترین توان تخریب در مقاطع شماره ۱ و ۲ است. و بیشترین توان ریسک سیلاب در پایین دست رودخانه می باشد (شکل شماره ۷).



شکل ۸: نقشه پهنه بندی خطر سیلاب



شکل ۹: نقشه پهنه بندی عمق سیلاب



شکل ۱۰: نقشه پهنه بندی سرعت سیلاب

جدول ۴: نتایج محاسبه ضریب زبری در بازه های متفاوت

ضریب زبری	موقعیت	بازه
۰/۰۲	مجرا	ایستگاه لیتوان تا مقطع ۶
۰/۰۳۵	دشت سیلابی	
۰/۰۲	مجرا	مقطع ۶ تا ۱۱
۰/۰۳۵	دشت سیلابی	
۰/۰۴	مجرا	مقطع ۱۱ تا ۱۸
۰/۰۳۲	دشت سیلابی	
۰/۰۲۲	مجرا	مقطع ۱۸ تا ۲۷
۰/۰۵۵	دشت سیلابی	
۰/۰۲	مجرا	مقطع ۲۷ تا ایستگاه هروی
۰/۰۳۳	دشت سیلابی	

با توجه به اینکه پوشش گیاهی نقش مهمی در تعیین ضریب زبری مانینگ دارد، در این پژوهش با توجه به پایش های مکرر میدانی منطقه، ضریب زبری به صورت بازه ای برای دشت سیلابی و مجرای اصلی در نظر گرفته شد (جدول ۴) نقشه های پهنه بندی سرعت و عمق و خطر سیلاب نشان می دهد که پوشش گیاهی در نواحی مختلف دشت سیلابی، ویژگی های انتشار سیل را تحت تاثیر قرار می دهد. اثر کاهش یا افزایش پوشش گیاهی بر ویژگی های امواج سیل و نیز بر سرعت و عمق امواج سیل در هر بازه بسیار معنی دار بوده است. به صورتی که با کاهش پوشش گیاهی، عمق امواج سیل کاهش در حالی که تخلیه جریان افزایش می یابد. بیشترین سرعت جریان و عمق آب گرفتگی مربوط به کانال اصلی رودخانه است و افزایش منطقه خطر خیلی زیاد در اطراف کانال اصلی رودخانه در ارتباط با کاهش پوشش گیاهی است و این خطر بیشتر در مناطقی دیده می شود که مجرای رودخانه دارای پیچ و خم است و پوشش گیاهی نیز کاهش یافته است و برعکس در مناطقی که رودخانه از خط مستقیم تبعیت می کند و پوشش گیاهی مناسبی در اطراف کانال اصلی وجود دارد، خطر آب گرفتگی دشت سیلابی کاهش یافته است. مساحت سیل برای هر یک از موارد خطر سیل در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: مساحت هر یک از مناطق تحت تاثیر سیلاب

منطقه تحت تاثیر سیلاب کیلومتر مربع	درجه خطر سیلاب
۲/۲۰۵	کم
۳/۰۶۰	متوسط
۲/۲۸۱	قابل توجه
۲/۸۰	خیلی زیاد
۱۰/۳۴۶	مساحت کل تحت تاثیر سیلاب

تاثیر پوشش گیاهی بر ویژگی های انتشار سیلاب، نقش اقدامات آبخیزداری را در بالادست حوضه بیشتر آشکار کرد. با افزایش پوشش گیاهی در بالادست حوضه می توان از سیلاب های ناگهانی جلوگیری کرد. به نظر می رسد افزایش پوشش گیاهی در دشت سیلابی منجر به بالارفتن عمق امواج سیل شده و سرعت عبور سیلاب را کاهش می دهد و منطقه خطر خیلی زیاد را افزایش می دهد. ماندوری شدن رودخانه ها نیز خطر وقوع سیلاب را افزایش می دهد چرا که نقشه های شبیه سازی نشان می دهد که در پیچ و خم های رودخانه ليقوان از سرعت عبور آب کاسته شده و عمق آب افزایش می یابد و سیلاب به راحتی وارد دشت سیلابی می شود.

نتیجه گیری

مطالعات فراوان، با نگرش های متفاوت به بررسی و مدلسازی جریان های سیلابی رودخانه ليقوان که یکی از زیر حوضه های مهم آبی چای است پرداخته اند. در این مطالعات از مدل های یک بعدی در جهت مدلسازی استفاده شده است که یکی از ابعاد مهم در شبیه سازی که همان دشت سیلابی است در نظر گرفته نشده است. این مدل ها جزئیاتی از پخش سیلاب و تغییرات جریان میان مجرای اصلی این رودخانه و دشت سیلابی ارائه نداده اند. برای هر برنامه مدیریت سیلاب، دانش پارامترهای هیدرودینامیکی در زمان و مکان مورد نیاز است. به طور معمول، این پارامترها شامل جریان سیل، تخلیه و سرعت جریان است که مدل سازی هیدرودینامیکی می تواند نقش مهمی در تعیین ارزش این پارامترها داشته باشد (

پاترو و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۵. پیرمانیک و همکاران، ۲۰۱۰: ۴۸^۱. یکی از مزایای اصلی مدل پیشنهادی، زمان محاسبه کوتاه است. به طور خاص، *MIKE 11 (quasi-2D)* یک نمایش ساده دو بعدی از ویژگی های پخش سیل را با یک فرآیند محاسبه سریع ترکیب می کند در حالی که اجرای مدل های دو بعدی زمان بر است. اجرا و رفع خطاهای اجرایی آن نیاز به صرف وقت فراوان و مهارت و تجربه کاربر دارد. ساخت مدل شبه دو بعدی نیز نسبتاً زمان بر بوده، ولی اجرای آن مشابه سایر مدل های یک بعدی آسان تر است. علاوه بر این، مطالعات بسیاری نشان می دهد که علیرغم این واقعیت که در مقایسه با مدل های دو بعدی، *MIKE 11 quasi-2D* قادر به ارائه اطلاعات دقیق در مورد پخش جریان است؛ به طور کلی، در مقایسه با تخمین ناحیه پخش سیل، به ویژه برای سیلاب تا ۳۲۵ متر مکعب بر ثانیه به خوبی عمل می کند (توتیجا، ۲۰۰۸: ۹۳)^۲. ولی به طور خاص، فرایندهای هیدرولوژیکی مانند تلفات تبخیر تعرق و یا تعامل بین آب رودخانه و آب های زیرزمینی نادیده گرفته می شود. این فرایندها می توانند نقش بسیار مهمی را در شبیه سازی سیل در رودخانه ها ایفا کنند. همچنین برای کسب نتایج بهتر لازم است که طول رودخانه از ۱۵-۵ کیلومتر بیشتر نباشد. دسترسی به تصاویر رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تکفیک بالا می تواند دقت محاسبات را به طور چشم گیری افزایش دهد. از سوی دیگر تخمین عدم قطعیت یکی از چالش های اساسی در مدیریت سیلاب است. در این مطالعه تعیین ضریب زبری با توجه به تغییرات فصلی پوشش گیاهی و فقدان داده های مشاهداتی با دقت کافی و تغییرات مورفولوژی دشت سیلابی در طول رودخانه که در پخش سیلاب در دشت سیلابی مستقیماً تأثیر دارد، از جمله عدم قطعیت های این مطالعه بودند.

منابع

- باقری، علی، صدقی، حسین. (۱۳۸۸). مطالعه پهنه بندی سیلاب با استفاده از مدل های ریاضی یک بعدی و دو بعدی. هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
- بهداروندی عسکر، پارسی، احسان. ایزدجو، فرهاد. (۱۳۸۸). مقایسه نتایج مدل یک بعدی *MIKE11* با مدل دو بعدی *MIKE FLOOD* و تعیین حساسیت مدل *MIKE11*، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
- بی نام. ۱۳۸۶. راهنمای روش های محاسبه آب شستگی موضعی. نشریه شماره ۳۱۸ الف، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. صص ۹۲-۱۱۲
- ضیائیان فیروز آبادی، پرویز. موسوی، آزاده. شکیبیا، علیرضا و حمید رضا ناصری. (۱۳۸۲). شبیه سازی رخداد سیلاب با استفاده از داده های سنجش از دور و مدل سلولهای خودکار (مطالعه موردی بخشی از حوضه رودخانه تالار قائم شهر). نشریه علمی پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران. جلد اول، پاییز و زمستان ۱۳۸۲. ۳۵-۱۶
- کرمی، فریبا. بیاتی خطیبی، مریم و هاشم رستم زاده. (۱۳۸۵). پهنه بندی حرکات توده ای مواد در حوضه آبریز لیقوان چای. فصلنامه مدرس علوم انسانی. ویژه نامه جغرافیا. دوره دهم. پیاپی ۴۸. صص ۱۴۵-۱۲۵
- موسوی، سیده مریم (۱۳۹۵). مقایسه روشهای کوپل و یک بعدی مدل سازی سیلاب در رودخانه های جاری در دشتها با استفاده از نرم افزار "*MIKE*". پایان یانامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز. دانشکده مهندسی علوم آب.
- هلالات ناصریان، حسین؛ محمد عامل صادقی؛ حسین علی واعظی پور و سامان سیف، (۱۳۹۲). مدل سازی جامع سیلاب منطقه دشتیاری شهرستان چابهار و ارائه طرح علاج بخشی سیل در منطقه، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

- Bates, P. D., Lane, S. N., Ferguson R. I. (2005). *Computational Fluid Dynamics: Applications in Environmental Hydraulics*. Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- DHI: Danish Hydraulic Institute (DHI), MIKE 11 Environmental Hydraulics, Reference Manual, Horsholm, Denmark, 2007.
- De Moel, H., van Alphen, J. and Aerts, J.C.J.H.: Flood maps in Europe - Methods, availability and use, *Natural Hazards and Earth System Science*, 9(2), 289-301, 2009.
- Enzel, Y., Ely, L.L., House, P.K., Baker, V.R., Webb, R.H., 1993. Palaeo flood evidence for a natural upper bound to flood magnitudes in the Colorado River basin. *Water Resour. Res.* 29, 2287–2297.
- Hardy, R. J., Bates, P. D. and M. G. Anderson. 1999. The importance of spatial resolution in hydraulic models for floodplain environments. *Journal of Hydrology*, 216: 124–136.
- Haldar, Raktim. Khosa, Rakesh.(2015). Flood Level Mitigation Study using 1-D Hydrodynamic Modeling. INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING (ICWRCOE 2015) P925 – 932
- Kadam, Prashant. Sen, Dhruvajyoti.(2012). Flood inundation simulation in Ajoy River using MIKEFLOOD. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 18:2, 129-141
- Kourgialas, N. N. Karatzas, G. P.(2014). A hydro-sedimentary modeling system for flash flood propagation and hazard estimation under different agricultural practices. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 14, 625–634,
- Kleinen, T. and Petschel-Held, G.: Integrated assessment of changes in flooding probabilities due to climate change, *Climatic Change*, 81(3-4), 283-312, 2007.
- Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P.: A hydro-economic modelling framework for flood damage estimation and the role of riparian vegetation, *Hydrological Processes*, 27(4), 515-531, 2013.
- Patro, S., Chatterjee, C., Mohanty, S., Singh, R., Raghuwanshi, N. S. (2009). "Flood Inundation Modeling using MIKE FLOOD and Remote Sensing Data." *Indian Soc. Remote Sens.* 37: 107-118.
- Plate, E.: Flood risk and flood management, *Journal of Hydrology*, 267(1-2), 2-11, 2002.
- Pramanik, N., Panda, R., Sen, D.: One dimensional hydrodynamic modeling of river flow using DEM extracted river cross-sections, *Water Resources Management*, 24, 835-852, 2010.
- Pratyasha Jena, Prachi. Chatterjee, Chandranath.(2016). Assessment of Cartosat-1 DEM for Modeling Floods in Data Scarce Regions. *Water Resour Manage DOI* 10.1007/s11269-016-1226-9
- Rungø, M., K.W. Olsen, 2003. Combined 1- and 2- dimensional flood modelling. *Proceeding 4th Iranian Hydraulic Conference*, 21-23 October, Shiraz, Iran.
- Shaikh, Alfiya., Dixit, Pradnya., Bagade., Dnyanedo 2015. Application of MIKE 11 for Flood Forecasting (A Riew) *International Journal of Modern Trends in Engineering*. e-ISSN No.:2349-9745, Date: 2-4 July, 2015
- Timbe, L., P. Willems, 2007. Performance of 1D and 2D hydrodynamic models for floodplain modelling. *Proc. of the Int. Congress on Development Environmental and Natural Resources: Multi-level and Multi-scale Sustainability*, 11-13 July, Cochabamba, Bolivia I, 624-632.
- Tayefi, V., Lane, S.N., Hardy, R.J., Yu, D., 2007. A comparison of one- and twodimensional approaches to modelling flood inundation over complex upland floodplains. *Hydrol. Process.* 21 (23), 3190–3202.

- Tuteja, N. K., Shaikh, M. (2009). *Hydraulic Modelling of the spatio-temporal flood inundation patterns of the Koondrook Perricoota Forest Wetlands - The Living Murray*. 18th World IMACS / MODSIM Congress. Cairns, Australia.
- Werner, M. G. F. (2004). *Spatial flood extent modeling - A performance based comparison*, Delft University, Netherlands. Ph. D. 1-102
- Willems, P., Vaes, G., Popa, D., Timbe, L. and J. Berlamont. 2002. *Quasi 2D river flood modelling*, In: *River Flow*. 2002, D. Bousmar and Y. Zech (ed.), Swets & Zeitlinger, Lisse. 2: 1253-1259.
- Wermer, M., S. Blazkova, J. Petr, 2005. *Spatially distributed observations in constraining inundation modelling uncertainties*. *Hydrol. Process.*, 19, 3081-3096.
- Wright, N. G., Villanueva, I., Bates, P. D., Mason, D. C., Wilson, M. D., Pender, G. and S. Neelz. 2008. *Case study of the use of remotely sensed data for modeling flood inundation on the river Severn, U.K.* *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(5): 533-540.