پهنه‌بندی خطر سیل‌گرفتگی توسط معادله انرژی جریان و سیستم اطلاعات جغرافیایی

پوریا جوان[1] محمود محمد رضاپور طبری[2] مهدی میرزایی[3]

(دریافت ۸۹/۷/۱ آخرین اصلاحات ۹۱/۵/۷ پذیرش ۹۱/۹/۸)

چکیده

دو پارامتر عمق و سرعت سیل تعیین‌کننده میزان خطری است که سیل در هر نقطه دارد. معادله حاکم بر انرژی جریان از آن جهت که دارای هر دو معیار سرعت و عمق جریان است، برای تحلیل در این زمینه مناسب به‌نظر می‌رسد. به‌منظور تدقیق در پهنه‌بندی سیل با دوره‌های بازگشت مختلف و خطر مواجهه با آن در اراضی حاشیه رودخانه‌ها، روشهای متعددی پیشنهاد شده است. دخیل نمودن عواملی نظیر تحلیل سیلهای گذشته در منطقه تحت تأثیر سیل، عوامل هیدرولوژیکی منطقه و درنظر گرفتن مؤلفه‌های هیدرولیکی مؤثر در پهنه‌بندی سیلاب نظیر سرعت جریان از این دسته هستند. در این مقاله تأثیر پهنه‌بندی سیل توسط انرژی جریان در نقاط تحت تأثیر سیل بررسی گردید. همچنین خطر سیل از نظر انرژی جریان، در هر مقطع از مسیر رودخانه، با ارائه یک نمودار پیشنهادی بازه‌بندی خطر با دیگر پهنه‌بندی‌های انجام گرفته در این زمینه مقایسه گردید. در این مقاله رودخانه فردو از رودخانه‌های بخش کهک استان قم که دارای مشخصات کوهستانی و جوان در بالادست و بالغ و پایدار در پایین‌دست جریان است و در فصلهای مختلف سال مورد آسیب سیل قرار می‌گیرد، مورد بررسی قرار گرفت. روش پیشنهادی در این تحقیق، علاوه بر بالابردن دقت شناسایی خطر سیل در نواحی سیل‌گیر، شناسایی قسمت‌هایی از بستر و حاشیه رودخانه که تحت تأثیر شدید سیل قرار می‌گیرد را برای تصمیم‌گیری به‌منظور ساماندهی رودخانه‌ها تسهیل می‌کند.

واژه های کلیدی: پهنه‌بندی خطر سیل، معادله انرژی جریان، برآورد خطر سیل، مدیریت سیلاب‌دشت، مدیریت رودخانه

Flood Risk Mapping Using Flow Energy Equation and Geographic Information System

Pourya Javan *Mahmoud Mohammad Rezapour Tabari* [2] *Mahdi Mirzaei* [3]

Abstract

Flooding and its damages are not only found uplift water level in a region. In other words, the depth and speed parameters together have determining the level of flood risk at each point. This subject is visible in flooded plain with low height and high speed of 2 meters per second, which damages are extensive. According to the criteria of having both velocity and flow depth in the governing equation to the flows energy, this equation seems appropriate to analysis in this study. Various methods have been proposed for increase accuracy in flood zoning with different return periods and risks associated with it in land border of river. For example, some of these methods are considered factors such as analysis of past flooding in the area affected by floods, hydrological factors and consideration of hydraulic elements affecting in flood zoning (such as flow velocity). This paper investigates the effect of flood zoning by the energy flow in the areas affected by floods. Also risk due to flood based on energy flow in each section of the river is compared by the proposed graphs of hazard interval and other done flood zoning in this field. In this study, the FORDO river has been selected as the case study. This river is part of the rivers located in the city of QOM KAHAK. The characteristics of river in upstream and downstream are mountain, young and stable and adult, respectively. Also this river in different seasons is exposed the flood damage. The proposed method in this study can be improving recognition accuracy of flood risk in areas affected by flood. Also, this method facilitate the identify parts of the river bed, that is affected by severe flooding, for decision making to improve rivers organizing.

Keywords: Flood Risk Zoning, Flow Energy Equation, Flood Risk Assessment, Flood Plain Management, River Management

۱- مربی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، تهران
۲- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد (نویسنده مسئول)
mrtabari@eng.sku.ac.ir۰۹۱۲۲۴۹۲۰۸۵
۳- عضو هیأت علمی دانشکده علوم زمین دانشگاه ایالتی اورگان و استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهرانَ مرکز، تهران

1. Instructor of Civil Eng., Islamic Azad University, Roodehen Branch, Roodehen, Tehran
2. Assist. Prof., Dept. of Eng., Shahrekord University, Shahrekord, (Corresponding Author)09122492085 mrtabari@eng.sku.ac.ir
3. Faculty Member of Earth Sciences Dept., Oregon State University, and Assist. Prof. of Civil Eng., Dept. of Eng., Islamic Azad University, Tehran Markazy Branch, Tehran

۱- مقدمه

برآورد سیل‌خیزی و تعیین خطر ناشی از سیل در نواحی تحت بررسی خسارات سیل در ایران نشان می‌دهد خسارات محسوس و مستقیم ناشی از سیل از ۱۲۰ میلیارد ریال در دهه ۴۰ به ۱۵۰۰ میلیارد ریال در دهه ۸۰ رشد داشته است [۱]. برآورد صحیح سیل و خطر ناشی از آن علاوه بر تعیین نقاط دارای خطر بالاتر، امکان شناسایی نقاط ساماندهی و پایین آوردن نرخ رشد خسارات سیل را فراهم می‌آورد.

در زمینه پهنه‌بندی سیل و خطر ناشی از آن، مطالعات متعددی انجام شده است، پراموجانی و تناوند در سال ۲۰۰۰ در پژوهشی فاکتورهای هیدرولوژیکی در زمینه خطر سیل را مطرح نمود [۱۰]. تناود و یانگ چالرمچای در سال ۲۰۰۴ بحث خطر سیل را در شهرهای اطراف رودخانه‌ها مطرح نموده‌اند [۳]. پلیت در سال ۲۰۰۲ و ویترا و ایونس در سال ۲۰۰۹ تدقیق ریسک مواجهه با سیل را با مدیریت داده‌های استخراج شده از تحلیل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی و تلفیق این داده‌ها با یکدیگر مرتبط دانستند [۴ و ۵]. همچنین شکوهی در سال ۱۳۸۵ با به‌کارگیری مدل‌های ریاضی متصل به GIS، اقدام به براورد قابل قبولی از میزان جریان مؤثر سیل نمود [۶].

در همین راستا تحقیقاتی در جهت مدیریت خطر سیل مطرح شد. این نگرش مباحث جدیدی نظیر مدیریت در تصمیم‌های اتخاذی و تدوین روشهایی در هوشمندسازی شناسایی نواحی پرخطر را به‌دنبال داشت [۷ و ۸]. عمده تحقیقات صورت گرفته بر پایه معیارهای مطالعات پایه نظیر شیب، ارتفاع، پوشش گیاهی و نظیر آن بوده و مواردی نظیر تحلیل سرعت، عمق و انرژی جریان سیل در پهنه‌بندی خطر صورت نمی‌گیرد.

هر چند در تحلیل خطر سیل به‌خصوص در نواحی شهری، عمق آبگرفتگی جلب توجه می‌کند، با این وجود نقش پتانسیل سرعت جریان غیرقابل انکار است. این موضوع با در نظر گرفتن عواملی نظیر کاربری‌های متعدد حاشیه رودخانه‌ها (نظیر زمین‌های زراعی و باغی)، نقش سیل در محیط‌زیست و مباحث فرسایش در حاشیه و بستر رودخانه‌ها به‌ویژه در سیلهای ناگهانی محسوس می‌شود. تحقیقات صورت گرفته در زمینه تهیه یک پهنه خطر مناسب برای اراضی تحت تأثیر سیلاب نشان می‌دهد که فارغ از عملیات مدیریتی که در این اراضی اعمال می‌شود، پهنه‌بندی خطر ناشی از سیل عمدتاً بر اساس عمق یا دوره بازگشت سیلاب است. اگرچه تعدادی از این تحقیقات برخی عوامل دیگر نظیر شیب و پوشش گیاهی را در تشخیص مناسب خطر سیل دخیل دانسته‌اند، با این حال به‌علت آنکه این تحلیل در سطح حوضه رودخانه انجام شده و مسیر آبراهه اصلی و اراضی حاشیه آن را مورد توجه قرار نمی‌دهد، از دقت این تحقیقات می‌کاهد. به منظور پهنه‌بندی سیل از حیث خطر آن می‌توان رویکردهای متعددی را متناسب با نوع منطقه و رودخانه تحت مطالعه مطرح نمود. پراموجانی و تناوند تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه عوامل دخیل حوضه (نظیر کاربری اراضی، متوسط بارندگی سالانه، شیب متوسط حوضه، تراکم زهکشی، نوع خاک) بر بالا بردن خطر سیلاب مطرح نموده‌اند. با این حال عدم در نظرگیری عوامل هیدرولیک جریان در مسیر آبراهه اصلی رودخانه‌ها سبب می‌شود تا به جز یک تحلیل قیاسی میان عوامل در نظر گرفته شده، تحلیل مناسبی از شرایط رودخانه در حین سیل ارائه نشود. اجرای یک مدل هیدرولیکی در بردارنده هد سرعت و عمق جریان برای مسیر آبراهه اصلی رودخانه و با در نظر گرفتن اراضی حاشیه رودخانه (به‌ویژه در سیل‌های ناگهانی و رودخانه‌های با مشخصات ریختی جوان و بالغ) از آن جهت که تغییرات آسیب‌ساز سیل را از یک سو و مشخصات زیربنایی رودخانه را از سوی دیگر در نظر می‌گیرد، معیار مناسبی برا ی تحلیل جریان در اراضی تحت تأثیر سیل به‌نظر می‌رسد.

تحقیق حاضر پس از تعریف و تشخیص عوامل فنی مؤثر بر سیل، به تحلیل حوضه و تشخیص عوامل دخیل در هیدرولیک جریان رودخانه پرداخت. سپس داده‌های مورد نیاز در آماده‌سازی مدل هیدرولیک جریان رودخانه از جمله شیب، ضریب زبری، مشخصات ریخت‌شناسی رودخانه و نظیر آن را فراهم نمود. پس از واسنجی مدل هیدرولیکی، دو پهنه عمق و توزیع سرعت جریان در کلیه مقاطع به صورت دو بعدی تهیه شد. در ادامه متناسب با معادله انرژی جریان و با استفاده از دو پهنه سرعت و عمق، پهنه انرژی جریان در هر نقطه از مسیر جریان مدل‌سازی گردید. در نهایت پهنه انرژی تهیه شده توسط نمودار معیار سنجش خطر پیشنهادی، از حیث خطر سیل، پهنه‌بندی و تحلیل شد.

۲- مواد و روشها

پیمایش مسیر آبراهه اصلی و برداشت داغاب‌های سیلهای سنوات گذشته، مقایسه عکس‌های هوایی منطقه در سالهای متوالی، محاسبات دستی بر مبنای مطالعات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی و استفاده از تلفیق مدل‌های ریاضی، روشهای متداول در پهنه‌بندی سیل هستند [۹]. این روشها مبتنی بر محاسبه پروفیل سطح آب بوده و متناسب با دقت روشهای ذکر شده دارای نتایج متفاوتی خواهند بود.

شبیه‌سازی جریان و محاسبه پروفیل جریان متناسب با رژیم آن، در بین مقاطع، به‌کمک تلفیق داده‌های حاصل از محاسبات با

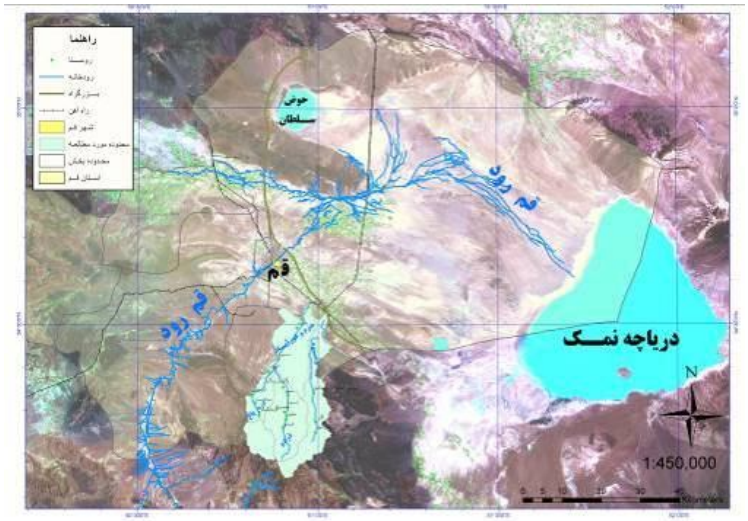
استفاده از مدل‌های ریاضی امکان‌پذیر است [۱۰]. روشهای مطرح در پهنه‌بندی سیل و خطر آن، علاوه بر پهنه‌بندی سیل دارای یک مرحله تحلیلی منطقه تحت تأثیر سیل است. از جمله این تحلیلها می‌توان به بررسی آمار سیل در ۱۰ سال گذشته (پیشنهادی در ایالت بنگال غربی هند)، بررسی عوامل هیدرولوژیک نظیر بارش-سالانه، شکل و اندازه حوضه، شیب حوضه و آبراهه اصلی رودخانه، کاربری اراضی و نوع خاک (پیشنهادی در شهرهای هات‌یای و ناکونم جنوب تایلند)، بررسی عوامل هیدرولیک جریان نظیر عمق و دوره‌بازگشت سیل (پیشنهادی در رودخانه وتمبرگ آلمان) و بررسی سرعت جریان در منطقه تحت تأثیر سیل (پیشنهادی در رودخانه جوحنستون آلمان) اشاره نمود [۳، ۱۱ و ۱۲].

به‌منظور تهیه یک نمودار سطح‌بندی خطر در نواحی تحت تأثیر سیلاب بر اساس تغییرات انرژی جریان که مورد نظر تحقیق حاضر است، نیاز به سطح‌بندی جریان از نظر عمق و سرعت در هر نقطه از نواحی تحت تأثیر سیل است که این مهم توسط مدل هیدرولیکی رودخانه به‌وسیله نرم‌افزار HEC-RAS مدل شده و پهنه‌های عمق، سرعت و همچنین انرژی جریان توسط نرم افزار ArcGIS حاصل گردید.

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

به‌علت این که رویکرد اصلی تحقیق حاضر تحلیل خطر جریان سیل به‌وسیله معادله حاکم بر جریان بود، به‌منظور تحلیل مناسب انرژی جریان در مسیر رودخانه و همچنین بررسی حالات مختلف شکل رودخانه‌ها، به رودخانه‌ای با مشخصات جوان با مقاطع نزدیک به V شکل در بالا دست، و مشخصات بالغ با مقاطع به نسبت باز در پایین دست جریان، نیاز است، به این ترتیب امکان بررسی انواع توزیع سرعت جریان در مقاطع متفاوت فراهم آورده می‌شود. همچنین به‌منظور تدقیق مدل و تطبیق آن با طبیعت رودخانه به‌منظور بررسی صحت مطالعات انجام شده لازم است بازدید از مسیر رودخانه انجام شده و مناطقی که متناسب با تحلیل‌های صورت گرفته دارای خطر بالاتر هستند، با آسیب‌های سیل در سنوات گذشته قیاس شوند (شکل ۱). با توجه به بررسی‌های صورت گرفته می‌توان دریافت که رودخانه فردو از تطابق خوبی برای استفاده در این تحقیق برخوردار است. شکل ۲ موقعیت حوضه رودخانه فردو را نسبت به رودخانه قم‌رود نمایش می‌دهد.

شکل ۱- به‌ترتیب از راست به چپ، بازه‌های یک، دو و سه تعیین ضریب زبری [۱۴]



شکل ۲- موقعیت حوضه رودخانه فردو نسبت به رودخانه قم رود

رودخانه فردو از رودخانه‌های اصلی بخش نوفل لوشاتو (کهک) استان قم است که از ارتفاعات ۳۲۰۰ متری در کوههای سلطان سعدشاه سرچشمه می‌گیرد. حوضه آبریز رودخانه فردو دارای مساحتی برابر با ۱۵۸/۲۲ کیلومترمربع و در محدوده اقلیمی سرد و خشک واقع شده است. طول آبراهه اصلی این حوضه برابر با ۲۸/۷۴ کیلومتر است [۱۳]. مشخصات مهندسی رودخانه فردو در جدول ۱ قابل مشاهده است.

بررسی سوابق سیلاب در محدوده مورد مطالعه، خسارات بالای اقتصادی را بر تأسیسات و اراضی باغی و روستایی حاشیه رودخانه نشان می‌دهد، هرچند سوابق سیلاب خسارات جانی سیل را نمایش نمی‌دهد، با این وجود روستاهای فردو، تیره و دستگرد طی سیلابهای ۱۳۴۳، ۱۳۶۸، ۱۳۷۴ و ۱۳۸۸ با خسارات مالی سیل مواجه بوده‌اند.

۲-۲- روش پیشنهادی پهنه‌بندی خطر سیل از نظر معادله انرژی حاکم بر جریان

با توجه به‌این که برای بررسی خطرات سیل و ارائه پهنه‌بندی خطر متناسب با آن، داشتن اطلاعات مرتبط با تغییرات تراز سطح آب در مقاطع مختلف ضروری است، اولین مرحله در محاسبات هیدرولیک جریان محاسبه پروفیل سطح آب است که یکی از روشهای محاسبه پروفیل سطح آب حل معادله انرژی (برنولی) به‌روش گام به گام استاندارد در رودخانه‌ها با مقطع مرکب به‌حساب می‌آید (روابط ۱ تا ۳)، قابل محاسبه است.

$$Y_2 + Z_2 + a_2\frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + a_1\frac{V_1^2}{2g} + h_{e,1-2} \qquad (۱)$$

$$h_e = h_f + h_o \qquad (۲)$$

$$a = \frac{\sum V_i^3 A_i}{V^3 \sum A_i} = \frac{\sum\left(\frac{Q_i^3}{A_i^2}\right)}{\frac{(\sum Q_i)^3}{(\sum A_i)^2}} \qquad (۳)$$

که در این روابط

Y عمق آب در مقاطع، Z تراز کف کانال اصلی، V سرعت متوسط جریان، α ضرایب تصحیح انرژی جنبشی، g شتاب ثقل، he اتلاف انرژی کل، Ai سطح مقطع جزئی از کانال طبیعی و Q_i دبی عبوری از A_i است. همچنین در کانال‌های طبیعی با مقاطع مرکب، معمولاً سرعت متوسط جریان در بسترهای سیلابی کمتر از کانال اصلی است و در نتیجه خط انرژی در هر یک از بخش‌های مقطع در ارتفاع متفاوتی نسبت به سطح آزاد آب قرار دارد.

به‌منظور پهنه‌بندی رودخانه با معیارهای هیدرولیکی لازم است مراحلی متناسب با دقت مورد نیاز در پهنه‌بندی طی شود. در این راستا پس از مدل‌سازی رودخانه، اجرای اولیه‌ای از مدل ریاضی تهیه شده، انجام گرفته و از نتایج به‌دست آمده، جریان در طول مسیر آبراهه اصلی بررسی شد. پس از نهایی نمودن ضرایب زبری آبراهه و کناره‌های رودخانه بر اساس محاسبات و اطلاعات موجود، مجدداً مدل تهیه شده اجرا و سرعت، عمق و رژیم جریان در طول مسیر

جدول ۱- مشخصات فنی رودخانه فردو

مشخصات مورد نیاز تحلیل هیدرولیکی	مشخصات فنی رودخانه فردو
دبی سیل با دوره بازگشت ۲۵ و ۱۰۰ ساله	۸۳/۵ و ۱۲۱/۹ متر مکعب بر ثانیه
مشخصات شیب طولی رودخانه	۰/۱۱ در سرشاخه، درانتها حدود ۰/۰۳، متوسط شیب برابر ۰/۰۴
شیب متوسط حوضه	۱۵ درصد
مشخصات مقطع جریان	دارای مقاطع V شکل در بالادست رودخانه و مقاطع پایدار و بالغ در پائین دست جریان
مشخصات فرسایشی و رسوب رودخانه	تولید رسوب بالا - فرسایش در طول این رودخانه بیشتر در بستر رود اتفاق افتاده و کمتر کناره‌ها دچار فرسایش می‌شود
ضریب پیچش (L/M_L)	دارای سینوسی کم و یک شاخه ثابت، رودخانه مستقیم
مشخصات ضریب زبری	بازه اول (بستر اصلی ۰/۰۶، حاشیه‌ها ۰/۰۷)، بازه دوم (بستر اصلی ۰/۰۵، حاشیه‌ها ۰/۰۵۵)، بازه سوم (بستر اصلی ۰/۰۵، حاشیه‌ها ۰/۰۴)
مشخصات بستر رودخانه	بستر آبرفتی بوده و مصالح بستر آن اکثراً قلوه سنگی و شنی
مشخصات پوشش گیاهی	دارای پوشش متراکم گیاهان با اتفاع بیش از ۱/۵ متر در بالا دست و دارای پوشش گیاهی صحرایی در پایین دست

آبراهه اصلی کنترل گردید. در همین راستا، ضروری است تغییرات ناگهانی عمق و سرعت در پلان و پروفیل طولی جریان کنترل شود و در صورت وجود هرگونه تناقض با طبیعت رودخانه، مدل اصلاح شود. برای دستیابی به مدل واقعی رودخانه لازم است مقاطع عرضی در نظر گرفته شده در مسیر رودخانه متناسب با بازدیدهای میدانی انجام، و شرایط عوارض در محل مقطع جریان اصلاح شود.

به‌منظور تعیین تراز سطح آب در مقاطع رودخانه در دو طرف رابطه انرژی مجموع عمق آب (y) و تراز کف کانال اصلی (z) برابر با تراز سطح آب (WS) در نظر گرفته می‌شود. تراز نامعلوم سطح آب در یک مقطع با معلوم بودن تراز سطح آب در مقطع دیگر از طریق حل معادلات حاکم به‌روش سعی و خطا تعیین می‌شود. مراحل محاسباتی به شرح زیر است:

۱- مقداری برای تراز سطح آب در بالادست (WS2) فرض می‌شود (در صورت محاسبه برای جریان فوق بحرانی این مقدار برای پایین دست فرض می‌شود).

۲- براساس مقادیر فرض شده برای تراز سطح آب، مقادیر ارتفاع متناظر سرعت و ضریب انتقال به‌دست می‌آید.

۳- از روی مقادیر به‌دست آمده در گام قبلی، Sf و سپس he محاسبه می‌شود.

۴- از روی مقادیر به‌دست آمده در گامهای ۲ و ۳، معادله انرژی برای WS2 حل می‌شود.

۵- مقدار محاسبه شده WS2 با مقدار فرض شده در گام ۱ مقایسه می‌شود. چنانچه اختلاف از ۰/۰۰۳ متر و یا مقداری که کاربر تعیین می‌کند کمتر نباشد، گامهای ۱ تا ۵ تکرار می‌شوند.

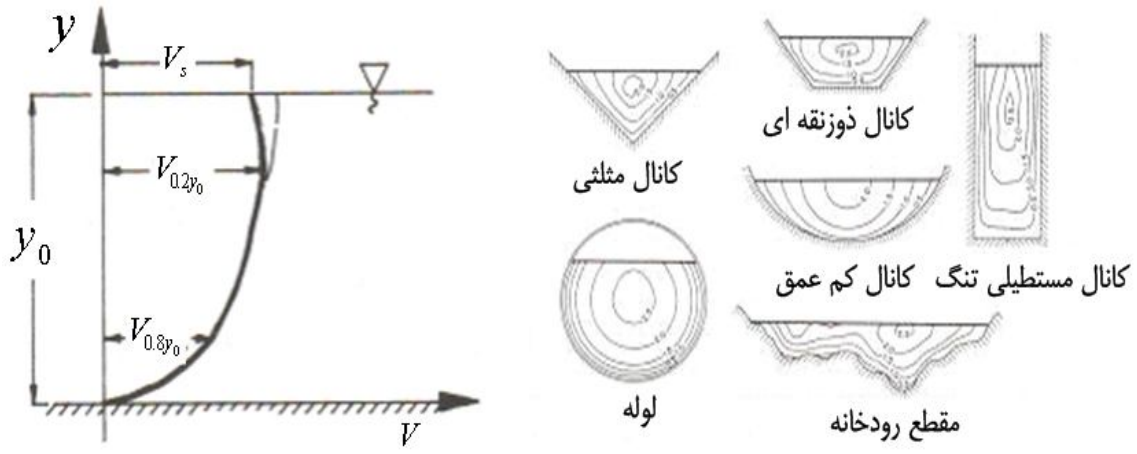
همچنین از مهم‌ترین فاکتورهای محاسبات هیدرولیکی جریان که نقش مهمی در رژیم جریان نیز دارد، سرعت جریان در هر مقطع از مسیر آبراهه‌های اصلی رودخانه است. برای این منظور دو توزیع افقی و عمودی برای سرعت در مقاطع عرضی رودخانه‌ها می‌توان در نظر گرفت. شکل ۳ نحوه توزیع عمودی سرعت در مقاطع قائم و همچنین منحنی‌های هم‌سرعت در مقاطع مختلف را نشان می‌دهد [۱۵ و ۱۶].

برای تهیه توزیع افقی سرعت در مدل‌های تک‌بعدی رودخانه به طور عادی محاسبات در سه بازه سیلاب‌دشت چپ، نهر اصلی و سیلاب‌دشت راست انجام گرفت و پارامترهای هیدرولیکی مانند سرعت متوسط و حرکت آب در این ۳ بازه محاسبه گردید. روش کار به این صورت است که مقطع جریان به تعدادی بازه تقسیم می‌شود و دبی عبوری، سطح مقطع، محیط تر شده، عمق هیدرولیکی و سرعت متوسط در هر مقطع از جریان محاسبه می‌شود. شکل ۴ توزیع افقی سرعت در یک مقطع از رودخانه فردو را نمایش می‌دهد.

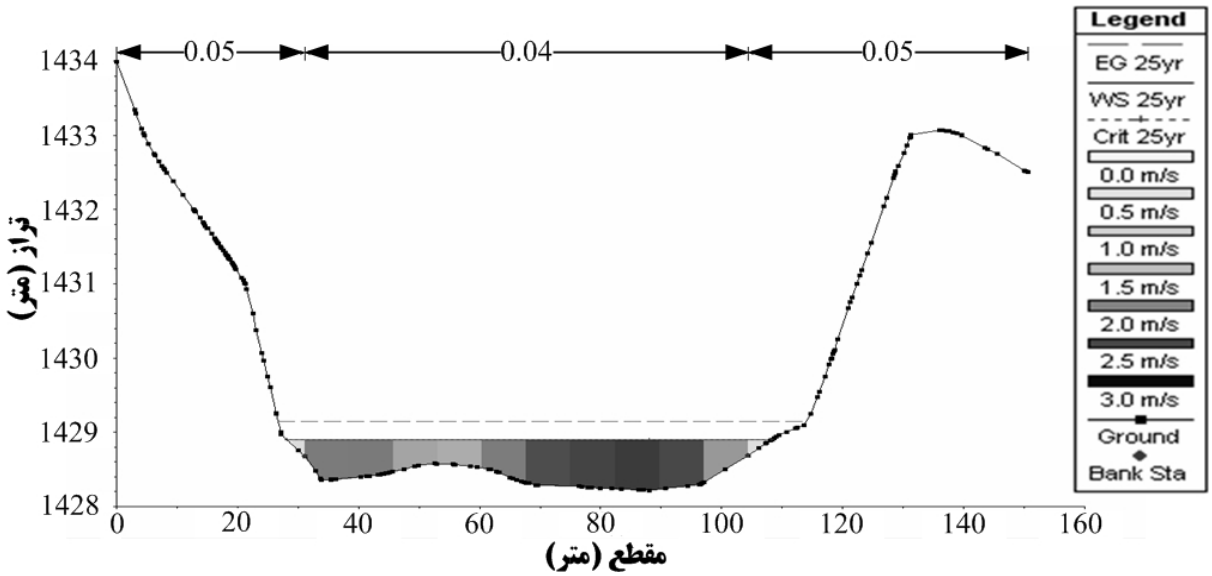
پس از نهایی شدن مدل هیدرولیک جریان و شبیه‌سازی عینی رودخانه، برای آماده‌سازی مدل تهیه شده به‌منظور تهیه پهنه‌بندی سرعت و عمق جریان در طول مسیر رودخانه نیاز به ساخت مقاطع عرضی جدید در راستای کاهش خطای محاسباتی فاصله مقاطع عرضی است.

در ادامه، پهنه‌بندی سیلاب به‌وسیله مدل هیدرولیکی و نرم‌افزار GIS و واسنجی نتایج حاصل شده از مدل اولیه برای سیل با دوره‌بازگشت ۲۵ و ۱۰۰ ساله انجام شد.

به‌منظور مدل‌سازی مناسب و همچنین شناخت مشخصات مورد نیاز تحلیلی رودخانه، یک سری بازدید میدانی وسیع از بالادست تا پایین‌دست رودخانه مطالعاتی انجام گرفت. پس از تهیه مدل اولیه رودخانه توسط نرم‌افزار Hec-Georas و سامانه GIS، بیش از ۳۵۰



شکل ۳- سمت چپ نحوه توزیع قائم سرعت در مقاطع قائم و سمت راست منحنی‌های هم سرعت در مقاطع مختلف [۱۷]



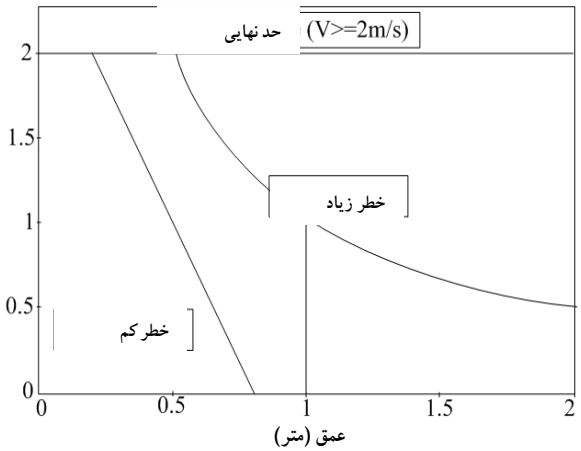
شکل ۴- توزیع افقی سرعت در یک مقطع از رودخانه فردو

مقطع از مسیر رودخانه در نرم افزار HEC-RAS مدل‌سازی شد و پس از وارد نمودن ضرایب زبری آبراهه و کناره‌ها بر اساس محاسبات انجام گرفته، سرعت، عمق و رژیم جریان در طول مسیر آبراهه اصلی بررسی شد. در ادامه مدل‌سازی برای دستیابی به نتایج دقیق، اصلاح مقاطع متناسب با بازدیدهای میدانی انجام شد و شرایط عوارض در محل مقطع جریان انجام شد.

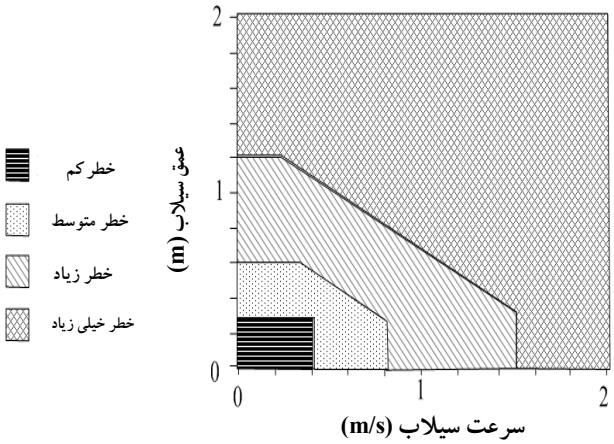
اصلاح سواحل چپ و راست آبراهه اصلی، متناسب با بازدیدهای انجام شده، ساخت مقاطع جدید به‌فواصل معین به‌منظور پهنه‌بندی سرعت و عمق در مسیر جریان توسط مدل هیدرولیکی، پهنه‌بندی سیلاب به‌وسیله مدل هیدرولیکی و نرم‌افزار GIS و در نهایت واسنجی نتایج حاصل شده از مدل اولیه روند مدل‌سازی رودخانه فردو، در تحقیق حاضر مشاهده می‌شود.

نرم‌افزار GIS امکان مدیریت سیلاب‌دشت پیش از وقوع سیل و حتی مدیریت بحران و امداد در حین و پس از سیل را در اختیار مدیران و کارشناسان قرار می‌دهد. همچنین امکان سهولت در اعمال تغییرات و اصلاحات مورد نیاز با تغییر طول دوره آماری-تطویل دوره آماری و تغییر میزان سیلاب، در نظر گرفتن تغییرات ریخت رودخانه و توپوگرافی سیلاب‌دشت و اجرای مجدد مدل، امکان نمایش و مقایسه سطوح غرقاب محدوده سیل‌گیر و تعیین دقیق مناطق پرخطر و پهنه‌بندی خطر سیل سیلاب‌دشت استفاده از این نرم افزار را شاخص می‌کند.

در پهنه‌بندی انرژی جریان، فارغ از نوع و مشخصات رودخانه، دو سازمان مسئول پهنه‌بندی سیل در اروپا و ایالات متحده امریکا، شکلهای ۵ و ۶ را پیشنهاد می‌دهند. این شکلها تابع خطر سیل را با دو پارامتر عمق و سرعت نشان می‌دهد.



شکل ۵- تابع خطر پیشنهادی پهنه‌بندی سیل در اروپا، بر حسب عمق و سرعت [۱۳]



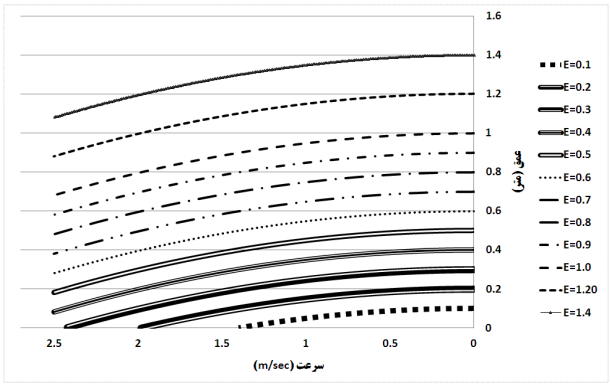
شکل ۶- نمودار خطر پیشنهادی ستاد حوادث غیرمترقبه ایالات متحده، بر حسب عمق و سرعت [۱۸]

جدول ۲- بازه‌بندی پیشنهادی پارامترهای هیدرولیکی در محدوده حریم رودخانه

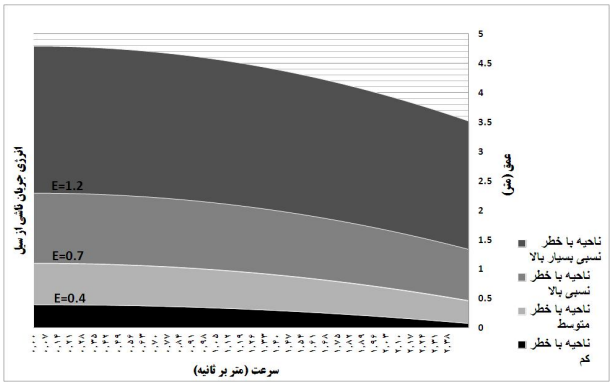
بازه تغییرات عمق (متر)	بازه تغییرات سرعت (متر بر ثانیه)	بازه تغییرات انرژی	بازه خطر	ضریب اهمیت (از مجموع ۱)
۰/۰۸-۰/۴۰	۰/۰-۲/۵۰	۰/۰-۰/۴۰	خطر نسبی کم	۰/۱
۰/۳۸-۰/۷۰	۰/۰-۲/۵۰	۰/۴۰-۰/۷۰	خطر نسبی متوسط	۰/۱۷۵
۰/۸۸-۱/۲۰	۰/۰-۲/۵۰	۰/۷۰-۱/۲۰	خطر نسبی زیاد	۰/۳
>۱/۲۰	۰/۰-۲/۵۰	>۱/۲۰	خطر نسبی بسیار زیاد	۰/۴۲۵

از آنجا که در تحقیق حاضر ملاک پهنه‌بندی خطر، تغییرات انرژی جریان در مناطق تحت تأثیر سیل است، دو مولفه اصلی انرژی جریان یعنی عمق و سرعت، توأمان در نظر گرفته می‌شود. با ثابت در نظر گرفتن عمق جریان و تغییرات سرعت بین صفر تا ۲/۵ متر بر ثانیه در هر عمق، نمودار تغییرات انرژی جریان قابل ترسیم است (شکل ۷). به‌منظور دستیابی به نمودار مناسب برای پهنه‌بندی جریان، از نظر انرژی جریان علاوه بر منحنی‌های وابسته به انرژی، از نمودارهای پیشنهادی FEMA[1] و تابع خطر پیشنهادی پهنه‌بندی سیل در اروپا استفاده شد. در پهنه‌بندی خطر انجام گرفته بر خطوط انرژی جریان، انتخاب دو مرز نقاط امن و نقاط با خطر بسیار بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نقاط میانی بر اساس نوع کاربری و درجه اهمیت نقاط تحت تأثیر سیل قابل بررسی هستند. در نمودار پیشنهادی، مرزهای انتخابی متناسب با عمق جریان همراه با سرعتهای بالا و پایین، مرز انرژی جریان در پهنه‌بندی خطر را تعیین می‌کنند. برای مثال برای تعیین مرز پهنه با خطر نسبی بالا و خطر نسبی بسیار زیاد، انرژی جریان معادل ۱/۲ متر در سرعتهای پایین و انرژی جریان معادل ۰/۸۸ متر در سرعتهای بالا انتخاب شد. تابع خطر پیشنهادی برحسب تغییرات عمق و سرعت در معادله انرژی جریان در شکل ۸ قابل مشاهده است. در تحقیق حاضر از این شکل به‌عنوان معیار سنجش خطر ناشی از سیل در هر نقطه از مسیر جریان رودخانه استفاده شد و از نتایج حاصل از آن برای قیاس با طبقه‌بندی حاکم بر پهنه‌بندی خطر عمق و سرعت جریان استفاده می‌شود. جدول ۲ جزئیات بازه‌بندی پیشنهادی پارامترهای هیدرولیکی در محدوده حریم رودخانه را نشان می‌دهد.

با توجه به توضیحات ارائه شده و بررسی‌های انجام شده بر روی مطالعه موردی، شکل ۹ روند پیشنهادی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن روند ارائه شده، می‌توان پهنه خطر سیل را مطابق آنچه که در بخش نتایج ارائه خواهد شد، با دقت مناسب‌تری نسبت به روشهای مرسوم به‌دست آورد و برای استفاده در ارگان‌های مرتبط به‌کار گرفت. استفاده از این روش پیشنهادی در کنار یک مدل مدیریتی امکان حفاظت مناسب از کاربری‌های واقع در حاشیه رودخانه‌ها را فراهم می‌آورد.



شکل ۷- تغییرات انرژی بر حسب دو پارامتر عمق و سرعت

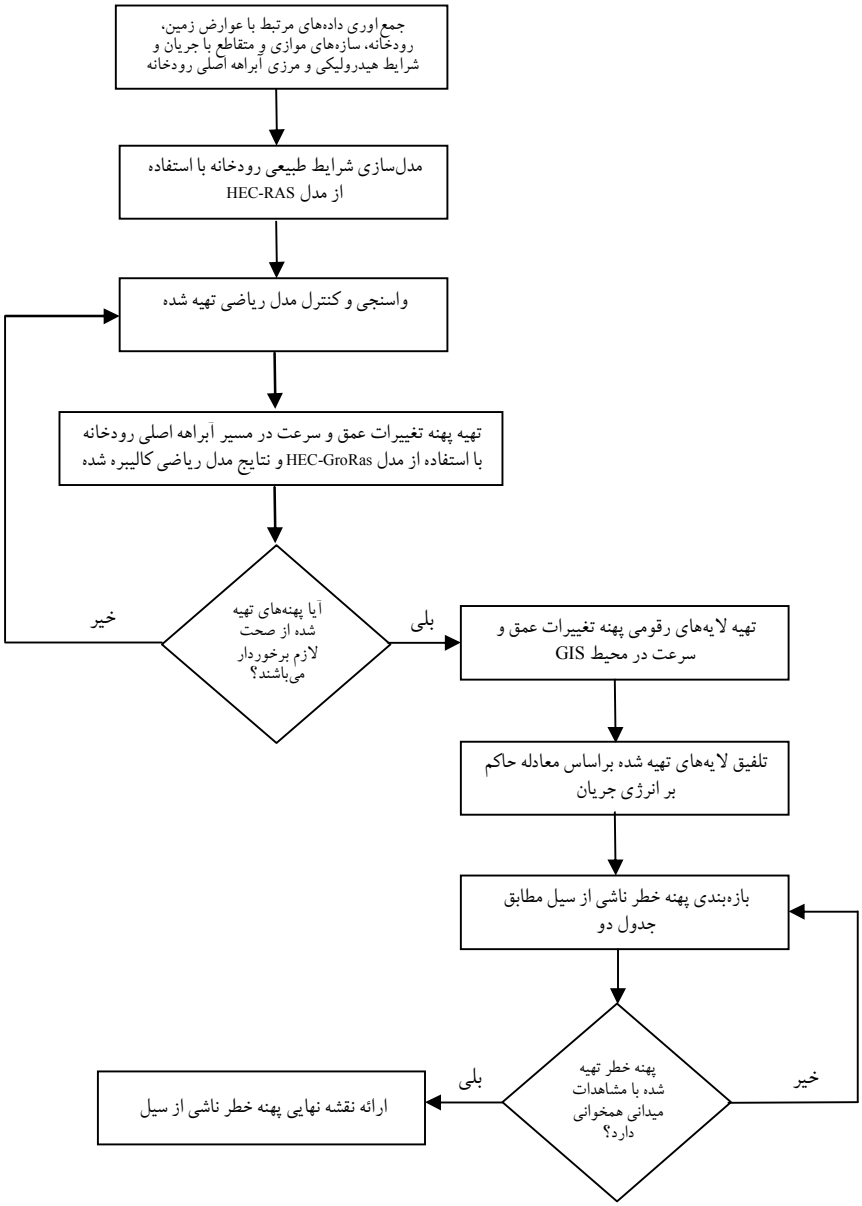


شکل ۸- تابع خطر پیشنهادی برحسب تغییرات عمق و سرعت در معادله انرژی جریان

۳- اجرای مدل پیشنهادی و ارائه نتایج

مطابق با تعریف راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی ایران و همچنین ستاد حوادث غیرمترقبه ایالات متحده، پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال به‌عنوان بستر رودخانه تعیین می‌شود. همچنین نواحی تحت تأثیر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به‌عنوان نواحی با خطر نسبی زیاد تعیین شده است. در تحقیق حاضر دو پهنه‌بندی مجزا متناسب با تغییرات عمق و سرعت در هر نقطه از نقاط تحت تأثیر سیل برای دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۱۰۰ تهیه شد.

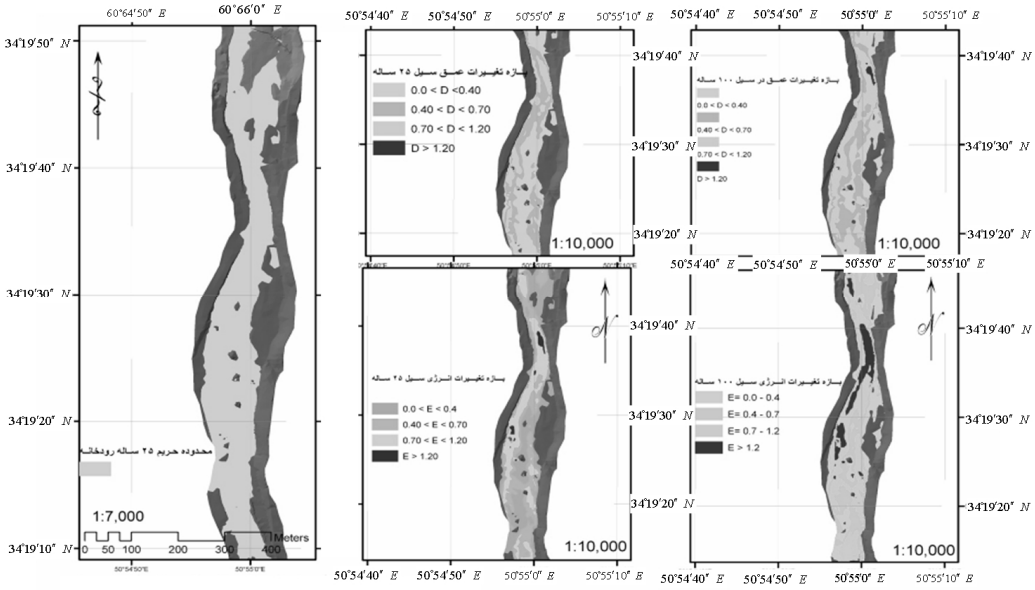
[1] Federal Emergency Management Agency



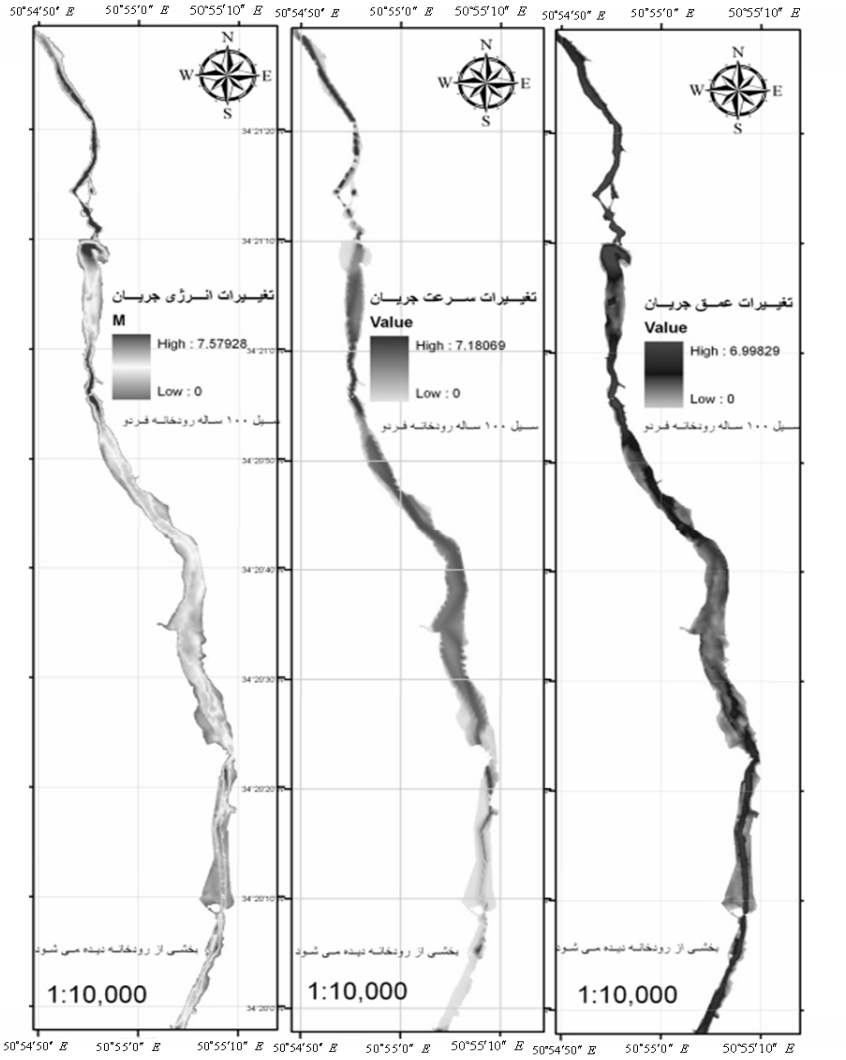
شکل ۹- روند پیشنهادی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل

دو پهنه آماده شده برای هر دوره بازگشت به‌طور مجزا، متناسب با معادله حاکم بر انرژی جریان بر روی یکدیگر قرار داده شده و در نهایت پهنه تغییرات انرژی به‌دست آمد. پهنه انرژی تهیه شده متناسب با شکل ۸ و جدول ۲ از نظر خطر نسبی مواجهه با سیل مورد ارزیابی پهنه‌بندی خطر قرار گرفت. شکل ۱۰ چگونگی نقشه تغییرات عمق و انرژی برای سیل با دوره بازگشت ۲۵ و ۱۰۰سال را در کنار یکدیگر از نظر خطر سیل تحلیل می‌کند. همچنین شکل ۱۱ چگونگی نقشه‌های پهنه‌بندی عمق، سرعت و انرژی سیل ۱۰۰ ساله رودخانه فردو را در کنار یکدیگر نشان می‌دهد.

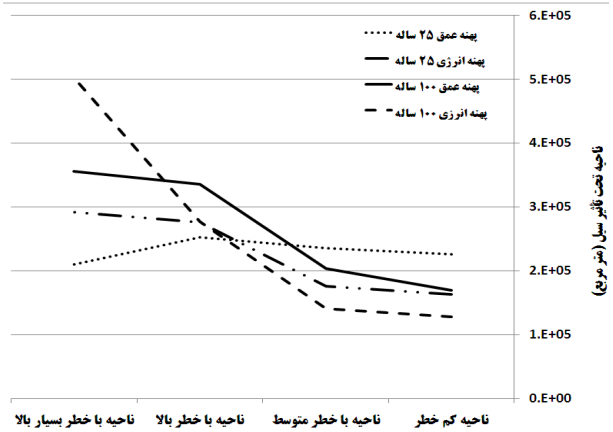
یک تحلیل کلی بر روی نقشه‌های ارائه شده در تحقیق حاضر و نتایج قابل مشاهده در شکل ۱۲ نشان می‌دهد، نقشه‌های پهنه‌بندی انجام شده توسط روش پیشنهادی تحقیق حاضر در مقایسه با پهنه‌بندی عمق جریان دارای تفکیک مناسب‌تر میان اراضی تحت تأثیر سیل بر اساس خطر سیل است. تفکیک مناسب خطر ناشی از سیل باعث میل نواحی تحت تأثیر سیل به سمت نواحی با خطر بالا و خطر بسیار بالا متناسب با افزایش دوره بازگشت سیلاب می‌شود؛ این در حالی است که این تغییرات در پهنه‌بندی عمق بسیار ناچیز است. به‌عنوان نمونه مطابق شکل ۱۲، در منطقه با خطر نسبی بسیار زیاد، پهنه خطر تهیه شده از پهنه‌بندی انرژی جریان مقدار بیشتری (۵۰۰۰۰۰ متر مربع) را به نسبت پهنه



شکل ۱۰- نقشه تغییرات عمق و انرژی برای سیل با دوره بازگشت ۲۵ و ۱۰۰سال



شکل ۱۱- نقشه‌های پهنه‌بندی عمق، سرعت و انرژی سیل ۱۰۰ ساله رودخانه فردو



شکل ۱۲- وضعیت حریم و بستر رودخانه فردو از نظر پهنه‌بندی خطر سیل

۴- نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی خطر سیل در بحث مدیریت سیلاب و مهندسی رودخانه نقش بسزایی ایفا می‌کند. بررسی‌های انجام شده در این تحقیق و همچنین مقایسه کلی میان روشهای پهنه‌بندی خطر جریان سیل نشان می‌دهد استفاده از مدل‌های تلفیقی با در نظر گرفتن فاکتورهای متنوع در امر تعیین خطر سیل نتایج مناسب‌تری را به‌دنبال خواهد داشت. استفاده از انرژی جریان در پهنه‌بندی خطر ناشی از سیل علاوه بر اینکه به سبب بررسی تنها یک عامل (انرژی جریان) موجب ساده‌سازی فرایند پهنه‌بندی می‌گردد، موجبات تدقیق ملاحظات و صرفه‌جویی منابع را با در نظر گرفتن دو مؤلفه عمق و سرعت و تلفیق هدفمند آنها فراهم می‌آورد. نتایج حاصله و مطالعات انجام گرفته در این زمینه نشان می‌دهد، نمودار پیشنهادی پهنه‌بندی خطر انرژی جریان علاوه بر بالابردن دقت شناسایی خطر سیل در نواحی سیل‌گیر، شناسایی قسمت‌هایی از بستر و حاشیه رودخانه را که تحت تأثیر شدید سیل قرار می‌گیرد، برای تصمیم‌گیری به‌منظور ساماندهی رودخانه‌ها تسهیل می‌کند.

کنترل نمودار پیشنهادی برای پهنه‌بندی سیل در نقاط تحت تأثیر سیل، در مورد مطالعاتی حاضر نشان می‌دهد، نقاط با خطر نسبی بالا و خطر نسبی بسیار بالا دارای آسیب‌های بیشتری در سیل‌های گذشته بوده‌اند. با توجه به بازدیدهای میدانی و بررسی سوابق سیلاب مصداق این آسیب‌ها در روستای فردو و تیره از روستاهای حاشیه رودخانه فردو قابل مشاهده است که در پهنه‌بندی انجام شده دارای خطر نسبی بالا و بسیار بالا بوده‌اند. همچنین از نظر خطر فرسایش در سواحل رودخانه علاوه بر مئاندرهای موجود و سازه‌های متقاطع و موازی جریان، بررسی‌های میدانی نشان‌دهنده این مهم است که پهنه‌بندی انرژی انجام شده دید مناسبی برای شناسایی فرسایش در بستر و کناره‌ها می‌دهد.

مزیت استفاده از روش پیشنهادی این تحقیق، در قیاس با دیگر روشها علاوه بر موارد فوق، جامع و کارا بودن این روش در رودخانه‌های مختلف است. روش حاضر از آن جهت که ماهیتا مشخصات جریان در هر نقطه از منطقه سیل زده را مورد توجه قرار می‌دهد، با توجه به مراکز جمعیتی حاشیه رودخانه، مشکلات تحقیقات گذشته را ندارد.

تهیه پهنه‌بندی‌های اینچنین و تفکیک مناسب میان خطرات احتمالی ناشی از جریان سیل علاوه بر موارد ذکر شده، برای شناسایی مناطق امن، پیش‌بینی مسیرهای امداد رسانی، توجیه اقتصادی طرحهای ساماندهی رودخانه، بیمه سیل اراضی تحت تأثیر سیلاب و همچنین مدیریت سیلاب، مناسب به‌نظر می‌رسد.

۵- مراجع

1-Mahdavi, M. (2003). *The flood effect to economic, social and environmental*, Natural Resources Faculty Publisher, Tehran. (In Persian)

2-Pramojanee, P., and Tanavud, C. (2000). *An application of GIS for mapping of flood hazard and risk area in Nakorn Sri Thammarat Province, South of Thailand*, Asian Disaster Preparedness Center.

3-Tanavud, C., and Yongchalermchai, C. (2004). "Assessment of flood risk in Hat Yai Municipality, Southern Thailand, using GIS." *J. of Natural Disaster Science*, 26(1), 1-14.

4-Plate, E. J. (2002). "Flood risk and flood management." *J. of Hydrology*, 267, 2-11.

5-Wheatera, H., and Evans, E. (2009). "Land use, water management and future flood risk." *Land Use Policy*, 26, 251-264.

6-Shokohi, A. (2007). "Using GIS and mathematic models in determine flood control plans feature." *J. of Water and Wastewater*, 59(3), 84-89. (In Persian)

7-Yalcin, G., and Zuhal, A. (2005). "Multiple criteria analysis for flood vulnerable areas." Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

8-Fernandez, D. S., and Lutz, M. A. (2010). "Urban flood hazard zoning in Tucuman province, argentina, using GIS and multi criteria decision analysis." *Engineering Geology*, 111, 90-98.

9-Barkhordar, M., and Chavoshian, S.A. (2008). Flood planning. *Technical Workshop on Non-structural Methods for Flood Management*, Tehran. (In Persian)

10-Karami, H., and Ardeshir, A. (2007). "Floodplain zoning with integrated hydraulic model and GIS." *8th International Congress on Civil Engineering*, Tarbiat Modares University, Tehran. (In Persian)

11-Sanyal, J., and Lu, X. (2003). *Application of GIS in flood hazard mapping on west Bengal India*, Geography National University of Singapore.

12-Reich, J. (2003). *Ministry flood hazard maps in Baden-wurttemberg for the environment and transport Baden-wurttemberg*, Germany. (In Germany)

13-Barredo, J., and Lavalle, C. (2007). "European flood risk mapping." *Water Science and Technology*, 56(4), 11-17.

14-Javan, J. (2010). "Determine rivers floodway and fringe using multi-criteria decision making." M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran. (In Persian)

15-Julien Pierre, Y. (2002). *River mechanics*, Cambridge University Press, U.K.

16-Mays, L.W. (2002). *Flood plain, hydraulic design handbook*, Mc Grew-Hill Pub., New York.

17-Hosini, M., and Abrishami, J. (2007). *Open channel hydraulic*, Emamreza University Publisher, Mashhad. (In Persian)

18-Federal Emergency Management Agency. (1993). *Flood insurance study guideline and specification for contactors*, United State of America.