2018, Vol.5, No.1, Pages 73 to 82
Journal of Water and Sustainable Development

سال پنجم، شماره ۱، ۱۳۹۷، صفحات ۷۳ تا ۸۲
نشریه آب و توسعه پایدار

Flood Risk Management Analysis based on Concepts of Hazard, Exposure, and Vulnerability by Providing Frameworks and Models

M. Hajibigloo[1*], V. Sheikh[2]

1,2- Ph.D Student & Associate Professor of Watershed Management, Gorgan University, Gorgan, Iran.

*(Corresponding Author Email: hajibigloo_m@yahoo.com)

Received: 02-02-2017
Accepted: 28-08-2017

Abstract

Flood risk management is a comprehensive approach which includes various evaluation indicators in river basins, it is an effective and sustainable but complex method. Flood risk assessment provides valuable information to assess vulnerability and exposure to hazard. For assessing the flood risk in river basins, several models such as RF, DSS, ANN, RFM, SVM, and GA are used to study the effective parameters of flood risk which have been used in different watersheds for the determination of the importance of these indicators. Determining a suitable model for use on the basin scale requires the consideration of the model suitability for the basin local conditions, data requirements, model complexity, accuracy and validity of the model, model hypothesis, spatial and temporal variation of the model, model components, and user target. In general, there is no model suitable for all conditions. Problems related to the inability to identify, the lack of uniqueness of the model, and the physical incomprehensibility of calibration parameters are some of the issues that are caused by the application of distributive and physical models. These issues also exist in complex conceptual models. To meet the growing needs of field administrators, it is necessary to have tools that can be fully used to investigate the spatial distribution of floods and the transport of river materials. As a general and practical rule, the development of distributed models with a relatively low physical complexity is recommended.

Keywords: Hazard, Vulnerability, Flood risk assessment, Flood risk management, Modeling.

تحلیل مدیریت ریسک سیلاب براساس مفاهیم خطر، مواجهه و آسیب‌پذیری با ارائه چارچوب‌ها و مدل‌ها

محبوبه حاجی بیگلو[1*]، واحدبردی شیخ[2]

۱و۲- به ترتیب دانشجوی دکتری رشته آبخیزداری و دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: hajibigloo_m@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۴
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۶

چکیده

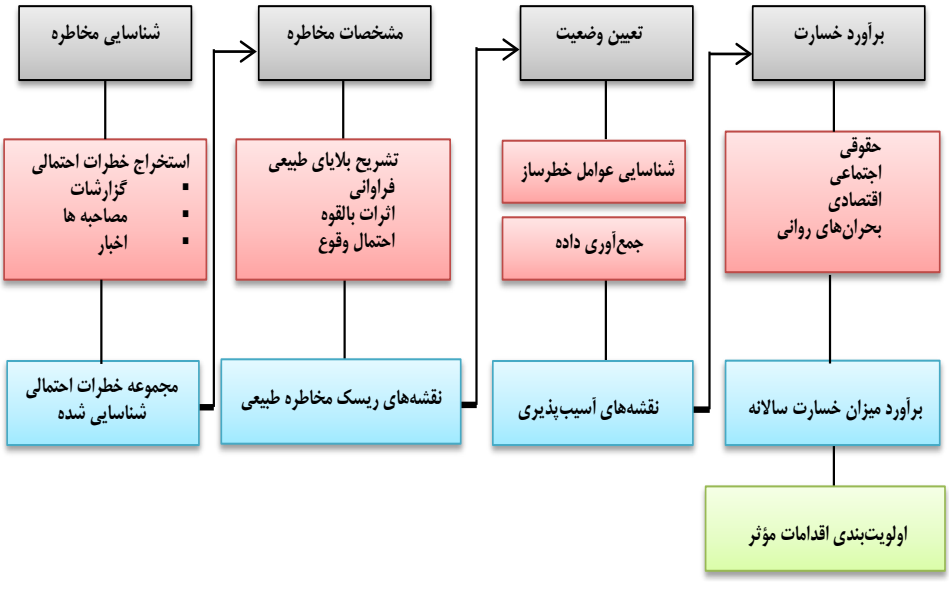
مدیریت ریسك سیلاب رویکردی جامع است که شامل شاخص‌های متعدد ارزیابی در حوضه آبخیز رودخانه‌ها و یك روش مؤثر و پایدار ولی پیچیده است. ارزیابی ریسک سیلاب به‌منظور بررسی میزان آسیب‌پذیری و مواجهه با خطر، اطلاعات ارزشمندی را برای مدیریت ریسک سیلاب فراهم می‌کند. در ارزیابی ریسک سیلاب در حوزه‌های آبخیز رودخانه‌ها از مدل‌های متعددی از قبیل RF[1]، DSS[2]، ANN[3]، RFM[4]، SVM[5] و GA[6] به‌منظور بررسی شاخص‌های مؤثر در ریسك سیلاب و تعیین درجه اهمیت این شاخص‌ها در حوزه‌های آبخیز مختلف استفاده شده است. تعیین مدل مناسب برای کاربرد در مقیاس حوضه نیازمند در نظر گرفتن شایستگی مدل برای شرایط محلی حوضه، نیازهای داده‌ای، پیچیدگی مدل، صحت و اعتبار مدل، فرضیات مدل، تغییرات زمانی مکانی مدل، مؤلفه‌های مدل و هدف کاربر مدل می‌باشد. به‌طورکلی، مدلی که برای تمامی شرایط مناسب باشد، وجود ندارد. مشکلات مربوط به عدم قابلیت شناسایی، عدم منحصر به فرد بودن مدل و تفسیرناپذیری فیزیکی پارامترهای واسنجی جزء مواردی است که با کاربرد مدل‌های توزیعی، فیزیکی ایجاد می‌شود. این مسائل همچنین در مدل‌های مفهومی پیچیده نیز دیده می‌شود. به‌منظور رفع نیازهای روبه‌رشد مدیران حوضه به ابزارهایی که بتوانند از آن به‌طورکامل در جهت بررسی توزیع‌های مکانی سیلاب و انتقال مواد رودخانه‌ای استفاده کنند، مطالعه جامعی روی این ابزارها نیاز است. به‌عنوان یک قاعده کلی و عملی، توسعه‌ی مدل‌های توزیعی با پیچیدگی نسبتاً کم و فیزیکی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خطر، آسیب‌پذیری، ارزیابی ریسک سیلاب، مدیریت ریسک سیلاب، مدل‌سازی.

DOI: 10.22067/jwsd.v5i1.62313

مقدمه

سیلاب‌های اخیر به‌وقوع پیوسته در بسیاری از شهرها منجر به خسارت‌های زیادی شده است. در طی چندین دهه گذشته سیلاب‌ها منجر به خسارت‌های اقتصادی و تلفات انسانی بسیاری در مناطق مختلف جهان شده است (Guo و همکاران، ۲۰۱۴). براساس آمار جمع‌آوری شده در طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۵ در اثر وقوع سیلاب‌ها، مرگ ۷ میلیون انسان و ۶۰۰ میلیارد دلار خسارت را شاهد بودیم. اما هنوز هم وقوع سیلاب‌های با فراوانی و با شدت زیاد در طی سال‌های اخیر را شاهد هستیم که اغلب در اثر بالا آمدن سطح آب دریا و فراوانی وقوع بارندگی‌های خیلی شدید می‌باشد (Stefanidis و Stathis، ۲۰۱۳؛ Stephane و همکاران، ۲۰۱۳). با این تفاسیر تعریف استراتژی‌های بهینه‌سازی مدیریت سیلاب یك امر ضروری می‌باشد (Ballesteros-Cánovas و همکاران، ۲۰۱۳). مدیریت مخاطرات، مدیریتی سیستماتیك از تصمیمات اجرایی، سازمان‌ها، قابلیت‌ها و مهارت‌های عملکردی برای اجرای سیاست‌ها، استراتژی‌ها و قابلیت‌های مقابله‌ای اجتماعی یا فردی همراه با تقلیل برخوردها و وقایع مخاطرات طبیعی، محیطی و تکنولوژیکی می‌باشد (IPCC، ۲۰۰۷). به‌عبارت‌دیگر مدیریت بلایا، به‌معنای رویارویی‌های گوناگون با مخاطرات و ظرفیت‌ها برای مقابله با مخاطرات سیستماتیك در جوامع روستایی و شهری است (Said و همکاران، ۲۰۱۵). فرآیند شناسایی بلایا به‌عنوان پایه‌ای برای توسعه راهبردهای مقابله با ضرورت‌های ویژه، جهت تخصیص منابع و اولویت‌ها و استانداردها در تأمین امنیت عمومی به‌کار می‌رود (Kaewkitipong و همکاران، ۲۰۱۲) (شکل ۱). براین‌اساس برنامه‌ریزی و انجام اقدامات جامع جهت پیشگیری و کاهش خسارات سیل در قالب طرح‌های مطالعاتی و اجرایی اهمیت بسزایی در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار دارد.



شکل ۱- گام‌های مدیریت مخاطره (Kaewkitipong و همکاران، ۲۰۱۲)

ریسك سیلاب عموماً به‌منظور اندازه‌گیری احتمال وقوع سیلابی که به وقوع خواهد پیوست، تعریف می‌شود (Erdlenbruch و همکاران، ۲۰۰۹). وقوع سیلاب معمولاً در نتیجه یك وضعیت خاص، شدت زیاد بارندگی و یا تغییرات محیط جغرافیایی به وقوع می‌پیوندد که اغلب تشخیص ارتباط بین این شاخص‌ها دارای اهمیت می‌باشد. امروزه توجه به مدیریت ریسک سیلاب نیز ساختار بسیار پیچیده‌ای به‌خود گرفته است و از رویکردهای راهبردی مختلفی برای مبارزه با آثار منفی بلایای طبیعی استفاده می‌شود (Immitzer و همکاران، ۲۰۱۲). برخی از این رویکردها فیزیکی و زیرساختی، برخی اجتماعی و برخی نهادی بوده‌اند، اما در دیدگاهی سیستماتیک، مدیریت سیلاب تلفیقی از تمامی این رویکردها انگاشته می‌شود (Foudi و همکاران، ۲۰۱۵). از دهه ۲۰۰۰ به‌بعد عمده تأکید نظریه‌پردازان مدیریت سیل بر رویکرد چندهدفی یا کل‌نگر و سیستمی است که ترکیب انطباقی از دو شیوه ساختاری و غیر ساختاری می‌باشد.

رهیافت‌های مدیریت مخاطره سیل

با درنظرگرفتن فرآیند و چرخه مدیریت مخاطرات، رهیافت‌های مدیریت مخاطرات محیطی می‌تواند به سه دسته تقسیم شود (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه رهیافت‌های مدیریت مخاطرات محیطی (Foudiو Osés-Eraso، ۲۰۱۴)

رهیافت مدیریت بالا به پایین(سیاستهای استاندارد)	رهیافت مدیریت پایین به بالا(مبتنی بر جوامع)	رهیافت مدیریت مشارکتی تلفیقی
- صرفاً تکنولوژی محور - دستوری و کنترلی (بالا به پایین) - توجه به آیین‌نامه‌ها و قوانین - پیوند ضعیف بین مدیریت بلایا و توسعه پایدار - عدم توجه به آسیب‌پذیری - تصمیمات از مقامات بالا براساس درک آن‌ها از نیازها و عدم توجه به مشارکت مردم در فرآیند تصمیم‌گیری و اجرای فعالیت‌ها - دولت مسئول تعدیل بلایا - بی‌توجهی به منابع و امکانات محلی و توجه به تکنولوژی و مهارت‌های خارجی - توجه به اجتماعات تنها به عنوان قربانیان یا گیرندگان کمک‌ها	- مشارکت محور - مردم محور (پایین به بالا) - توجه به موقعیت جوامع و ارزیابی خطر - ارتباط قوی با فرآیند توسعه (توجه به پیشرفت عمومی کیفیت زندگی مردم و محیط) - راهبرد اصلی کاهش آسیب‌پذیری (افزایش ظرفیت جوامع برای واکنش به وقایع غیرمترقبه) - تأکید بر مشارکت مردم در تمامی مراحل تصمیم‌گیری مدیریت بحران - عدم پذیرش مسئولیت کمک به اجتماعات حادثه دیده توسط نیروهای بیرونی و دولتی - توجه به تفاوت‌های اجتماعی و فرهنگی - تأکید بر ظرفیت‌ها و توانایی‌های موجود - توجه به جمعیت محلی آسیب‌دیده به عنوان افرادی با توانایی عمل و مشارکت	- رویکردهای مشارکتی همسو با تکنولوژی‌های به‌روز مدافع زیست محیط پایدار - مدیریت سازگار با نیازهای مردمی با اتخاذ سازگارترین تکنولوژی‌ها - راهبردهای مدیریتی قانون محور برای نهادهای مسئول طبق قوانین اولویت‌بندی شده براساس نظرات و نیازهای مردم محلی - راهبردهای انطباقی بین سیاست‌های مدیریتی با شرایط محیطی و محلی در تدوین قوانین - اتخاذ راهبردی توسعه مبنا با هدف ارتقای سطح استانداردهای مقاومتی و زیرساختی - رویکرد مشارکتی محور با توجه به ابعاد مؤثر در پایداری اکولوژیکی در مدیریت (زیرساختی، فنی، اقتصادی) - راهبردهای همسو با توانمندسازی اجتماعات محلی در جهت برطرف نمودن ابعاد آسیب‌پذیری اجتماعات - نهاد سازی برای ارتقا ظرفیت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی اجتماعی و زیست محیطی اجتماعات واقع در خطر (ارتقا استانداردها) - راهبردهای مشارکتی بین مردم و نهادهای ذی‌ربط مدیریت بحران (جهت اجماع نظر و سیاست‌گذاری در تعیین اولویت‌های پیش‌روی یک اجتماع در طی بحران و سپس تصمیم‌گیری) - راهبردهای نظارتی و اجرایی نهادها توأم با مشارکت مردم محلی

اقدامات راهبردی مدیریت ریسك سیلاب

مدیریت بحران دارای ماهیت استراتژیك است و بین مدیریت استراتژیك و مدیریت بحران ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. وقوع یك بحران می‌تواند استراتژی جاری و اقدامات استراتژیك را نیز در یك جامعه/سازمان تغییر دهد (Kaewkitipong و همکاران، ۲۰۱۲). از طرف دیگر، بدون انجام اقدامات استراتژیك در حوزه مدیریت بحران، احتمال وقوع رخدادهای بحرانی نیز زیاد می‌شود. زیرا در برنامه‌ریزی راهبردی امکان توجه همزمان به عوامل و نیروهای درونی و بیرونی مؤثر در فرآیند مدیریت بحران فراهم بوده و زمینه را برای مدیریت یکپارچه امکان‌پذیر می‌سازد. این امر به‌ویژه در رابطه با ریسك سیلاب که حاصل تأثیرگذاری عوامل مختلف درونی و بیرونی می‌باشد، بسیار مهم است (شکل ۲). براین‌اساس می‌توان گفت مدیریت یکپارچه ریسك سیلاب، فرآیند توسعه یکپارچه نسبت به رهیافت تك‌ساختاری یا جزئی‌نگر به مدیریت سیلاب است. در واقع پنج عنصر کلیدی در مدیریت ریسك سیلاب، اهداف این نوع مدیریت را مشخص می‌کند که عبارت‌اند از: ۱- توسعه پایدار: توسعه متعادل نیازها و ریسك سیلاب، ۲- افزایش مزایا: تضمین امنیت ساکنین، تسکین و کاهش فقر، ۳- کاهش آسیب‌پذیری ۴-کاهش تلفات جانی ۵- حفاظت محیطی (Evers و همکاران، ۲۰۱۶).

شکل ۲- چرخه مدیریت مخاطره طبیعی

در تمام مراحل ذکر شده در مدیریت ریسك سیلاب فرآیند تصمیم‌گیری در محیط مشارکت چندجانبه صورت می‌گیرد و به‌گونه‌ای پیچیده بدنبال دستیابی به اهداف چند معیاره طبیعت خود است (Simonovic و Akter، ۲۰۰۶). برای وصول به اهداف فوق تعدادی گزینه‌ی راهبردی ممکن وجود دارد که سطوح متفاوتی از رضایتمندی برای مسائل مختلف نظیر مسائل اقتصادی، اجتماعی، نهادی، سیاسی و محیطی را تأمین می‌نماید. در برخی از کشورها و جوامع، عدم شکل‌گیری هم‌افزایی مدیریتی در

زمینه مدیریت سیلاب‌ها، منجر به کاهش سطح راندمان و کارایی و کارآمدی برنامه‌ریزی راهبردی می‌شود. براین‌اساس در مدیریت سیلاب، چالش‌ها و موانع متعددی هم در سطح مدیریت منطقه‌ای و هم در سطح مدیریت سازمانی وجود دارد که مانع از شکل‌گیری نظام مدیریت راهبردی کارآمد در زمینه مدیریت بحران سیل می‌گردد (جدول ۲).

جدول ۲- چالش‌های مدیریت ریسک سیلاب (Simonovic و Akter، ۲۰۰۶)

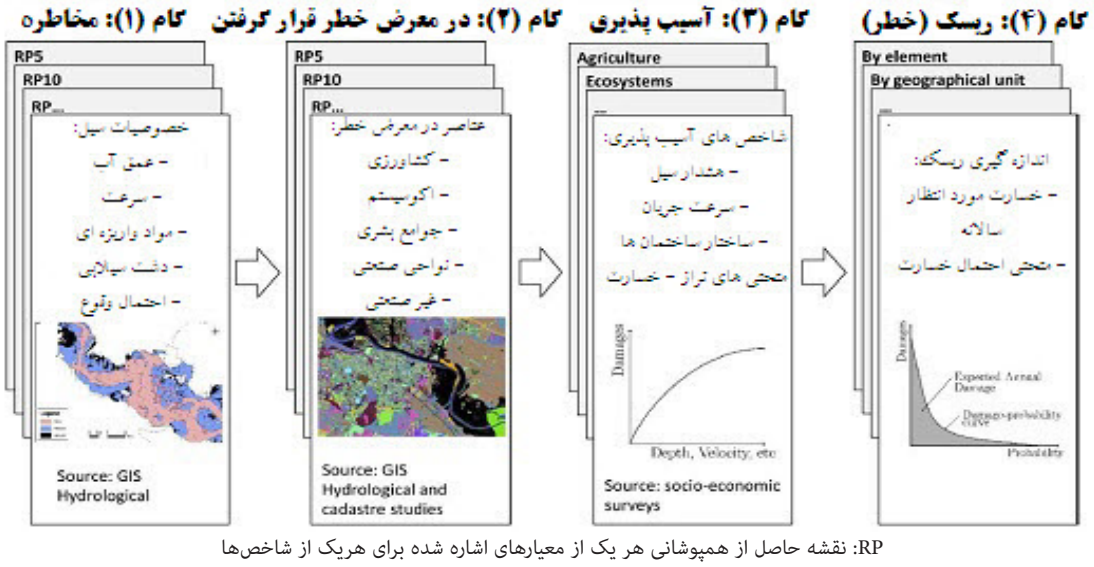
چالش‌های مردمی در مدیریت ریسک سیلاب	چالش‌های ناشی از عملکرد سازمان‌های متولی مدیریت ریسک سیلاب
- مشارکت ضعیف مردم در امر مدیریت سیلاب - ضعف همکاری مردمی با سازمان‌های متولی مدیریت ریسک سیلاب - ساخت و ساز مسکن برخلاف معیارهای مصوب - عدم توجه به مقوله پیشگیری - تخریب مراتع در اثر چرای بیش‌ازحد - نبود وسایل حمل و نقل مناسب جهت خروج سریع مردم و دام‌ها - نبود صندوق همیاری سوانح - میزان اطلاعات کم در برابر وقوع سیلاب - میزان بسیار کم پس‌انداز برای مقابله با سیلاب - نگرانی از وقوع سیلاب و بار منفی ناشی از آن	- عدم توجه مسئولان به مقوله مشارکت - ضعف آموزش مردم در رابطه با مدیریت ریسک سیلاب - تغییر قوانین - نبود اطلاعات لازم جهت ارائه به روستاییان - عدم تعهد مالی و بودجه و کمک‌های مالی - تداخل مسئولیت‌ها - عدم توانایی پیش‌بینی دقیق سیلاب - اطلاع‌رسانی ضعیف - نبود کانال و رودخانه جهت خروج آب مازاد - عدم توجه به بهسازی زیرساخت‌ها - ضعف در تدوین و اجرای طرح‌های حفاظت خاک - عدم تعهد مالی سازمان‌های متولی مدیریت ریسک سیلاب - ناآشنایی سازمان‌های متولی مدیریت سیل با مناطق در معرض سیلاب - موازی‌کاری سازمان‌های متولی مدیریت ریسک سیلاب

ارزیابی ریسک سیلاب

ارزیابی ریسک سیلاب یك روش کیفی یا نیمه کمی بوده که به ترکیب اثرات فاکتورهای فاجعه‌ساز و محیط خطرساز به‌منظور حل مسائل مربوطه می‌پردازد (Stephane و همکاران، ۲۰۱۳). ارزیابی ریسک سیلاب در طی چهار مرحله انجام می‌شود (Penning-Rowsell و همکاران، ۲۰۰۵) که در شکل (۳) نشان داده شده است (Jha و همکاران، ۲۰۱۲).

ریسك (خطر) سیلاب به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

Risk (خطر) = Hazard (مخاطره) × vulnerability (آسیب‌پذیری) × exposer (در معرض خطر قرار گرفتن)



RP: نقشه حاصل از همپوشانی هر یک از معیارهای اشاره شده برای هریک از شاخص‌ها

شکل ۳- گام‌های ارزیابی ریسک سیلاب (Jha و همکاران، ۲۰۱۲)

در گام (۱)، ارزیابی مخاطره اطلاعاتی درخصوص ویژگی‌های سیلاب (عمق آب، مساحت پهنه سیلابی و سرعت جریان و ...) با دوره بازگشت‌های مختلف ارائه می‌دهد که در نقشه سیلاب خلاصه می‌شود. در گام (۲)، ارزیابی در معرض خطر قرار گرفتن، این نقشه‌ها با نقشه کاربری اراضی همپوشانی داده می‌شود تا ارزیابی عناصر در معرض سیل صورت گیرد. هدف آن تعیین موقعیت مکانی عناصر متأثر از سیلاب مانند کاربری‌های مسکونی و غیرمسکونی، کشاورزی و جمعیت انسانی است. در گام (۳) ارزیابی آسیب‌پذیری مشخص می‌کند این عناصر چگونه توسط سیل آسیب می‌بینند. گام (۴)، نهایتاً ارزیابی ریسک شامل تولید یک منحنی خسارت-احتمال که در احتمالات مختلف وقوع سیلاب میزان خسارات ناشی از سیلاب را بیان می‌کند. این کار در مقیاس‌های مختلف انجام می‌شود.

مدل‌های ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب

به‌منظور دستیابی به منابع علمی مناسب، جستجو در سایت‌های معتبر علمی نمایه شده ژونال‌های علمی از قبیل SID، Science direct، Springer، Elsevier با جستجوی کلمات کلیدی: ارزیابی، مدیریت، ریسک سیلاب، مخاطره، آسیب‌پذیری، خطر سیلاب، آنالیز فروانی سیلاب، مدل‌های مفهومی، رواناب، هشدار سیلاب و غیره انجام گرفت. غالب بر ۵۰ مقاله ISI گردآوری شد که بعد از مطالعه و مرتبط بودن با هدف مطالعه حاضر، چکیده ۲۰ مقاله و متن کامل ۱۵ مقاله که دارای بیشترین ارجاعات بودند، انتخاب شد. در ادامه خلاصه‌ای از مهم‌ترین یافته‌های این مقالات به‌منظور شناسایی و تحلیل شاخص‌های مؤثر در ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب آورده شده است.

جدول ۳- مدل‌های ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب

مدل	نوع	مقیاس	ورودی	خروجی	نویسندگان
AGORA-DS[۷]	مفهومی	حوضه آبخیز شهری- بزرگ مقیاس	اطلاعات ثبت شده شبکه‌های حسگر بی‌سیم، اطلاعات جغرافیایی منطقه	موقعیت نقاط بحرانی	Horita و همکاران (۲۰۱۵)
RF	توزیعی	حوضه آبخیز- متوسط مقیاس	بارندگی ۳ روزه، عمق رواناب، فراوانی گردباد، مدل رقومی ارتفاع، شاخص رطوبت توپوگرافیکی، شاخص پوشش اختلاف استاندارد، شاخص قدرت آبراهه، بافت خاك، فاصله تا رودخانه، شیب، الگوی کاربری اراضی	تعیین سطوح ریسک، مشخص نمودن شاخص درجه اهمیت، نقشه ارزیابی ریسک سیل	Wanga و همکاران (۲۰۱۵) Dong و همکاران (۲۰۱۳) Deng و Runge (۲۰۱۳)
SVM	فیزیکی	حوضه آبخیز- کوچك مقیاس	پارامترهای اقلیمی، عمق رواناب، مدل رقومی ارتفاع، مشخصات هیدرولیکی رودخانه، مشخصات جغرافیایی حوضه	تعیین سطوح ریسک، ارزیابی ریسک سیل	Martens و همکاران (۲۰۰۷)
DTs[۸]	فیزیکی	حوضه آبخیز- کوچك مقیاس	پارامترهای اقلیمی، عمق رواناب، مشخصات هیدرولیکی رودخانه، مشخصات جغرافیایی حوضه	تعیین سطوح ریسک	Li و Yeh (۲۰۰۲)
ANNs	فیزیکی	حوضه آبخیز- کوچك مقیاس	بارندگی، حجم رواناب، ژئومتری رودخانه، مشخصات جغرافیایی حوضه	تعیین سطوح ریسک	Li و همکاران (۲۰۱۳) Ni و Xue (۲۰۰۳)
DIANE-CM[۹]	مفهومی	جامعه آماری	تراکم جمعیت، توپوگرافی منطقه، وضعیت منازل مسکونی، ذی‌نفعان منطقه	تعیین گروه‌های آسیب‌پذیر، مدیریت ریسك سیلاب	Evers و همکاران (۲۰۱۶)
TOPSIS[۱۰]	تصمیم‌گیری چند معیاره	جامعه آماری	داده‌های آماری جمعیت	تعیین اولویت‌های مدیریتی و ارائه راه حل ایده‌آل	Balli و Korukoglu (۲۰۰۹)
RFM	فرآیند محور	حوزه رودخانه	مدل بارش- رواناب SWIM، مدل هیدرودینامیکی روندیابی کانال، مدل سیلاب ساحلی، مدل برآورد تلفات سیل برای ساختمان‌های مسکونی FLEMOps + r	برآورد فراوانی سیلاب، استخراج منحنی ریسک سیل، شبیه‌سازی بلند مدت و پیوسته ریسك سیلاب	Falter و همکاران (۲۰۱۵) Chen و Ishwaran (۲۰۱۲)
MPA[۱۱]	مفهومی	حوضه آبخیز	نتایج بدست آمده از پرسشنامه و مصاحبه‌های حضوری	مدیریت یکپارچه ریسک سیلاب	Van Herk و همکاران (۲۰۱۵)
SPA[۱۲] AHP[۱۳] FCE[۱۴]	تصمیم‌گیری چندمعیاره	جامعه آماری	داده‌های آماری جمعیت	تعیین اولویت‌های مدیریتی و ارائه راه‌حل ایده‌آل	Zou و همکاران (۲۰۱۳)

نتایج ارزیابی ریسك سیلاب به‌طور گسترده برای بیمه سیل، مدیریت سیلاب دشت، طراحی سیستم‌های هشدار خطر سیلاب و مسیرهای فرار دارای اهمیت می‌باشد و در مدیریت ریسك خطر سیلاب و سیستم‌های پشتیبان تصمیم مناسب می‌باشند. هدف ارزیابی ریسك سیلاب، ایجاد سطوح ریسك می‌باشد که به‌منظور دستیابی به این امر بایستی روابط غیرخطی و چند متغیره بین شاخص‌ها و سطوح ریسك درنظر گرفته شود. مدل‌ها و الگوریتم‌های متعددی برای ارزیابی ریسک سیلاب استفاده می‌شود که در جدول (۴) به این الگوریتم‌ها اشاره شده است.

جدول ۴- نوع الگوریتم‌های مورد استفاده در مدل‌ها

مدل	الگوریتم	معادله مورد استفاده	نام معادله
SVMs, RF	ساختارهای درختی رگرسیون احتمال کلاس ریسک j در گره t	$Gini(t) = 1 - \sum_{j=1}^{k}[p(j\|t)]^2$ متغیر Gini توصیف کننده سطح ناخالصی هر گره می‌باشد. (Mihailescu و همکاران، ۲۰۱۳)	معیار ناخالصی Gini
RFM	مدل بارش- رواناب SWIM+ مدل روندیابی کانال+ مدل برآورد تلفات سیل FLEMOps + r	$FAI = \frac{M1}{M1 + M1D0 + M0D1}$	شاخص سطح سیل
DIANE-CM	مدل‌سازی مشارکتی (TOPSIS)	$HR = H(\delta + 0.5) + df$ HR نرخ خطر و بیان‌کننده میزان آسیب‌پذیری اجتماعی می‌باشد.	شاخص آسیب‌پذیری اجتماعی (SVI)[15]

در حل مسائل غیرخطی، این قبیل مدل‌ها دارای یکسری نقاط قوت و ضعف‌هایی می‌باشد، برای مثال مدل ماشین بردار پشتیبان از یکسری توابع ریاضی پیچیده استفاده می‌کند که برای کاربرها غیرقابل فهم است (Martens و همکاران، ۲۰۰۷). مدل شبکه عصبی مصنوعی نیاز به یادگیری بالا و دارای سرعت کم در حل مسائل می‌باشد (Li و همکاران، ۲۰۱۳). این مدل‌ها قادر به تخمین میزان مشارکت هر یك از این شاخص‌ها برای کل ریسك نمی‌باشند. بنابراین ما نیاز به مدل‌هایی داریم که بتواند ضعف‌های شناسایی شده برخی از مدل‌ها را پوشش دهد.

مهم‌ترین مسئله در امر مدیریت ریسك سیلاب، رابطه غیرخطی و چند متغیره بین شاخص‌ها و سطوح ریسك می‌باشد. اولین گام در امر مدیریت ریسك سیل، انتخاب شاخص مناسب ریسك می‌باشد. متغیرهای شاخص ریسك بر طبق خصوصیات هر مکان بین نواحی مختلف، متفاوت می‌باشد. در مطالعات انجام شده (Yang و همکاران، ۲۰۱۳؛ Yeh و همکاران، ۲۰۱۰) فاکتورهای فاجعه‌ساز و فاکتورهای محیطی خطرساز، که در مجموع ۱۱ شاخص هستند، در امر مدیریت ریسك سیلاب به‌کاربرده شده‌اند. در مدیریت ریسک سیلاب ما نیاز به ترکیب مدل‌های مفهومی و مدل‌های تصمیم‌گیری جمعی داریم تا بعد از ارزیابی ریسک سیلاب در حوضه آبخیز و توزیع سطح ریسک سیلاب در مناطق مختلف حوضه بتوان با مشارکت جمعی ذی‌نفعان و دولت‌مردان اقدام به تهیه چارچوب مناسب برای مقابله، آمادگی و بازسازی وقایع سیلاب نمود.

وجود اطلاعات دقیق و به‌روز از ریسک سیلاب می‌تواند تا حد زیادی نقش مؤثری در بیان اطلاعات برای سازمان‌های درگیر در فعالیت‌های اورژانسی در امر مدیریت ریسك سیل داشته باشد. مدیریت ریسك سیلاب نیازمند پایش متناوب و مکرر اطلاعات براساس مشاهدات صورت گرفته از داده‌های بارش و سطح تراز آب در نواحی سیل‌گیر می‌باشد (Tingsanchali و Karim، ۲۰۱۰). در امر مدیریت ریسك سیلاب دو گام اصلی دنبال می‌شود: گام اول تعریف یك چارچوب مفهومی به‌منظور یکسان‌سازی فاکتورهای مورد استفاده در امر مدیریت ریسك سیلاب و انعطاف‌پذیری کافی در داده‌ها به‌منظور کاربرد در سایر مناطق است تا از این طریق بتوان از صحت داده‌ها و تطابق آن‌ها با داده‌های استاندارد موجود اطمینان حاصل کرد. گام دوم تعریف یك سناریوی واقعی است تا میزان کارایی مدل‌های کاربردی در امر مدیریت ریسك سیلاب مشخص گردد.

بعد از بررسی مدل‌های به‌کاررفته در امر ارزیابی و مدیریت ریسك سیلاب مقایسه تطبیقی بین مدل‌ها صورت گرفت که نتایج آن در جدول (۵) خلاصه شده است.

جدول ۵- مقایسه تطبیقی مدل‌های ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب

مدل	مزایا/ معایب	کاربر پسندی	تعداد تکرارها	تعداد کاربردها	پراکنش مکانی کاربردها در دنیا
AGORA-DS	مزایا: کاربرد برای مناطق فاقد داده‌های آماری، کاربردسیستم‌پشتیبان‌تصمیم‌گیری معایب: هزینه بالا، نیاز به سنسورهای قوی مخابره اطلاعات	بله	۲	۳	در مناطقی که با محدودیت داده و اطلاعات آماری روبه‌رو هستیم
RF	مزایا: تخمین میزان مشارکت هر شاخص برای کل ریسك، متمایز نمودن شاخص‌های غیرضروری، کاهش بار پردازش داده‌ها و کاهش زمان محاسبات کل معایب: وابستگی مدل به پارامترهای هواشناسی، نقش کم‌اهمیت شاخص کاربری اراضی و پوشش گیاهی در مدل	بله	۳	۳	در اغلب مناطق
SVM	مزایا: تخمین میزان مشارکت هر شاخص برای کل ریسك معایب: به‌کاربردن توابع ریاضی پیچیده، غیرقابل فهم بودن برای کاربرها، عدم تخمین میزان مشارکت هر یک از شاخص‌ها برای کل ریسك	خیر	۸	۳	در اغلب مناطق
DTs	مزایا: ارائه شاخص ارزیابی ریسک سیل (EAD) معایب: عدم تخمین میزان مشارکت هر یک از شاخص‌ها برای کل ریسك	خیر	۳	۴	در اغلب مناطق
ANNs	مزایا: مشخص نمودن وزن هر شاخص، امکان اولویت‌بندی شاخص‌های ریسک معایب: نیاز به یادگیری بالا، دارای سرعت کمی در حل مسائل، عدم تخمین میزان مشارکت هر یک از شاخص‌ها برای کل ریسك	خیر	۲	۴	در اغلب مناطق
DIANE-CM	مزایا: ارائه دیدگاه اجتماعی مؤثر برای مشارکت دولتی و مردمی در حوضه آبخیزها، به‌کاربردن سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری معایب: رتبه بندی براساس نظرات کارشناسی، وابسته به تجربه کاربر، تعدد سناریوها، فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده	بله	۸	۳	اجتماعات شهری
TOPSIS	مزایا: معیارهای کمی و کیفی در ارزیابی ریسک به‌صورت هم‌زمان دخالت دارند، مطلوبیت شاخص‌های مورد نظر در مدیریت ریسک، به‌طور یکنواحت افزایشی یا کاهشی می‌باشد، تعداد قابل توجهی معیار در نظر گرفته می‌شود. معایب: عدم تخمین میزان مشارکت هر یک از شاخص‌ها برای کل ریسك	بله	۱۰	۵	در اغلب مناطق
RFM	مزایا: زنجیره مدل جفت شده که شامل مدل هیدرولوژیکی پیوسته، مدل هیدرودینامیکی و مدل تلفات سیل، توزیع خسارت مورد انتظار سالانه به ساختمان‌های مسکونی در مقیاس زیرحوضه معایب: وجود عدم قطعیت‌های معنادار در مدل هیدرودینامیک، فقط برای حوضه‌های بزرگ امکان‌پذیر است.	خیر	۱	۱	حوضه‌های بزرگ مقیاس
SPA AHP FCE	مزایا: بررسی روابط غیرخطی و چند متغیری بین شاخص‌ها معایب: عدم تخمین میزان مشارکت هر یک از شاخص‌ها برای کل ریسك	بله	۱۲	۵	در اغلب مناطق

معیارهای مؤثر برای انتخاب مدل برتر در مدیریت ریسک سیلاب

طیف وسیعی از مدل‌ها برای امر ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب وجود دارد. این مدل‌ها از حیث پیچیدگی، فرآیندها و داده‌های مورد نیاز برای واسنجی و کاربرد متفاوت هستند. تعیین مدل مناسب برای کاربرد در مقیاس حوضه نیاز به در نظر گرفتن شایستگی مدل برای شرایط محلی حوضه، نیازهای داده‌ای، پیچیدگی، صحت و اعتبار، فرضیات، گسسته‌سازی زمانی و مکانی و مؤلفه‌های آن و هدف کاربر است. به‌طورکلی، یک مدل مناسب برای همه شرایط وجود ندارد (van den Berg و همکاران، ۲۰۰۹). مناسب‌ترین مدل بستگی به هدف استفاده و خصوصیات حوضه دارد. عوامل مؤثر دیگر در انتخاب مدل شامل موارد زیر هستند (Koks و همکاران، ۲۰۱۵):

- داده‌های مورد نیاز مدل شامل متغیر مکانی- زمانی ورودی و خروجی مدل
- صحت و اعتبار مدل و فرضیات آن
- مؤلفه‌های مدل که نشان‌دهنده قابلیت‌های آن باشند.
- اهداف کاربر مدل شامل سهولت استفاده از مدل، مقیاس
- نیازمندی‌های سخت افزاری مدل

به‌طور معمول، با افزایش دقت و اعتبار مدل، پیچیدگی‌ها و نیازهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری آن هم افزایش می‌یابد. دراین‌میان، مدل‌های تجربی به‌علت سادگی و نیاز اطلاعاتی پایین و دقت و اعتبار قابل قبول همچنان مورد توجه می‌باشند. به‌طورکلی در انتخاب یک مدل باید به موارد زیر توجه نمود: الف) مدل برای چه شرایطی ارائه شده است. برای نمونه اگر یک مدل برای شرایط محیطی مرطوب ارائه شده باشد نباید از آن در شرایط غیرمرطوب استفاده کرد. مثال دیگر اینکه از مدلی که برای حوضه‌های کوچک طراحی شده است در حوضه‌های بزرگ استفاده نشود و یا بر عکس. ب) فرضیات مدل رعایت شوند. پ) هدف از کاربرد مدل مشخص باشد: برای مثال، اگر هدف از پژوهش، ارزیابی شاخص‌های ریسک سیلاب است؛ از مدلی که برای این منظور ارائه شده است، استفاده شود؛ نه مدلی که فرآیند وقوع سیلاب را بررسی می‌کند و یا مدلی که سرعت جریان یا حجم رواناب را برآورد می‌نماید. ت) دقت و صحت مورد نظر مشخص باشد به‌طور معمول مدل‌های دقیق‌تر، نیازمندی‌های بیشتری دارند و پیچیده‌تر هستند. ج) نیازمندی‌های مدل مد نظر قرار گیرند. برای مثال، اگر داده‌های اندکی در اختیار است، مدلی متناسب با آن داده‌ها انتخاب شود؛ هرچند که مدل مورد نظر، نسبت به دیگر مدل‌ها از دقت کمتری برخوردار باشد. البته اگر مدلی باشد که داده‌های زیادی بخواهد، ولی به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شده باشد که با داده‌های کم و ناقص هم اجرا شود، می‌توان آن را نیز مورد آزمون قرار داد. ح) بررسی امکانات، هزینه‌ها و زمان که باید بر اساس آن‌ها مدل انتخاب شود.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تعدادی از مدل‌های مدیریت ریسک سیلاب در بخش‌های قبل بررسی شد. مدل‌های مرور شده در اینجا نشان‌دهنده‌ی روش‌های مورد استفاده برای توصیف و ارزیابی شاخص‌های مؤثر در مدیریت ریسک سیلاب می‌باشد. این مدل‌ها از نظر فرآیند، شیوه‌های نمایش فرآیند و نیز مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت هستند. در مقیاس حوضه‌ای، برای نشان دادن واقعیت تا حد ممکن، مدل ریسک سیلاب نیاز به تعدادی از ریزمدل‌های اندازه‌گیری دارد: یعنی مدل رواناب- بارش، مدل هیدرولیک جریان و مدل جریان آبراهه‌ای. تعداد کمی از مدل‌های بررسی شده در اینجا همه‌ی مؤلفه‌ها را در نظر می‌گیرند. مدل RFM زنجیره مدل جفت شده شامل مدل هیدرولوژیکی پیوسته، مدل هیدرودینامیکی و مدل تلفات سیل بوده که در نمایش فرآیندهای موجود در حوضه توانایی مناسبی دارد اما به‌دلیل استفاده از زیر مدل‌های مختلف دارای عدم قطعیت‌های بیشتری در مدل‌سازی می‌باشد. این مدل جزء مدل‌های تمام مقیاس حوضه‌ای بوده که کلیه فرآیندهای موجود در حوضه در این مدل در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه مدل‌هایی نظیر AGORA DS، DIAN-CM، ANN، SVM، RF فاقد قابلیت فرآیند محوری هستند. این مدل‌ها که در آن فرآیندها با استفاده از الگوریتم‌هایی که به شکل فیزیکی توصیف می‌شوند، محدود به مطالعه‌ی حوضه‌هایی هستند که قبلاً کارهای زیادی برای توصیف حوضه انجام شده و ورودی‌های لازم برای مدل به خوبی توسعه یافته‌اند.

با توجه به مدل‌های بررسی شده دو مدل را می‌توان شناسایی کرد: مدل‌های مفهومی پیچیده با اطلاعات بسیار جزئی در خصوص فرآیندهای مدل‌سازی شده از حوضه و مدل‌هایی که فقط نمایش فرآیند را ساده‌سازی می‌کنند. مدل‌های دوم درجات بالایی از تجربی بودن را نشان می‌دهند و ازاین‌رو در امر شبیه‌سازی حوضه از نظر مکانی، ورودی‌های به مدل به‌صورت پراکنده، نقطه‌ای و متناسب با تجربه مدل‌ساز می‌باشد. پیش‌بینی‌های مدل به‌دلیل ناپیوستگی مقیاس‌ها بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در حوضه و استفاده از این پارامترها با مقیاسی متفاوت در مدل‌سازی، دارای صحت و دقت مناسب نمی‌باشد. این مسئله در مدل‌هایی که نیاز به داده‌های بیشتری دارند بیشتر مشهود است. در حوضه‌های آبخیز، طیف وسیعی از خصوصیاتی که ممکن است بر پاسخ آن‌ها تأثیر بگذارند منجر به ایجاد یک الگوی پیچیده از پاسخ حوضه می‌شوند. (Wanga و همکاران، ۲۰۱۵) اذعان کردند که در مدل RF اثر کاربری اراضی، پوشش‌گیاهی و شیب بر روی سطوح ریسک سیلاب با همبستگی کاربری اراضی با توپوگرافی پنهان شده و قابل تشخیص نمی‌باشد. برای مثال پارامترهای اختلاف استاندارد پوشش‌گیاهی (NDVI)[۱۶]، نوع الگوی کاربری اراضی (LUP)[۱۷]، قدرت آبراهه (SPI)[۱۸] و شیب (SL)[۱۹] اهمیت کمتری داشته و سهم آن‌ها از کل ریسک ۲۸/۸٪ می‌باشد. درحالی‌که پارامترهای

فوق در مدل‌های دیگر جزء پارامترهای با درجه اهمیت بالا بودند. بنابراین اثرات مجزای توپوگرافی و کاربری اراضی بر پاسخ حوضه در این مدل کمتر مشهود است. (Horita و همکاران، ۲۰۱۵) در مطالعه خود با مدل AGORA-DS کمبود اطلاعات در مورد نحوه انتقال مواد بستر رودخانه را در مدل‌سازی مدیریت رودخانه جزء ضعف‌های مدل بیان نمودند. این مسئله به ماهیت پیچیده‌ی سیستم‌های زهکشی و دانش محدود ما در خصوص ارتباط بین رواناب و خصوصیات درون و بیرون آبراهه‌ی رودخانه بر می‌گردد. با این حال مشکلات اصلی در اندازه‌گیری و ثبت داده‌های تراز سطح آب و انتقال مواد بستر و کف رودخانه یک عامل بسیار مهم می‌باشد. مشکلات مربوط به عدم قابلیت شناسایی، عدم انحصاری بودن مدل و تفسیر ناپذیری فیزیکی پارامترهای واسنجی جزء مواردی است که با کاربرد مدل‌های توزیعی، فیزیکی ایجاد می‌شود. این مسائل همچنین در مدل‌های مفهومی پیچیده نیز دیده می‌شود. به‌طورکلی نتیجه گرفته می‌شود که مدل‌های فیزیکی و مدل‌های مفهومی پیچیده‌تر به دلایل زیر اهمیت ویژه‌ای برای برآورد نقش شاخص‌های مؤثر در مدیریت ریسک سیلاب ندارد: کمبود داده‌های با توزیع مکانی کافی برای جداسازی مدل‌ها از نظر کاربرد، کمبود داده‌های واسنجی در مقیاس مکانی و زمانی برای تعریف مجموع پارامتر خاص برای مدل‌ها و در نتیجه خروجی مطمئن، وابستگی بیش از حد نتایج مدل به تجربه‌ی کاربر، برای مدل‌های فیزیکی نیاز محاسباتی بالا در حوضه‌های بزرگ احساس می‌شود. به‌منظور رفع نیازهای روبه‌رشد مدیران حوضه به ابزارهایی که بتوانند از آن به‌طورکامل در جهت بررسی توزیع‌های مکانی سیلاب و انتقال مواد رودخانه‌ای استفاده کنند، مطالعه‌ی بر روی این ابزارها نیاز است. توسعه‌ی مدل‌های توزیعی با پیچیدگی نسبتاً کم و فیزیکی توصیه‌می‌شود.

پی‌نوشت

1- Random Forest
2- Decision Support System
3- Artificial Neural Networks
4- Regional Flood Model
5- Support Vector Machines
6- Goal Analysis
7- AGORA Decision System
8- Decision Trees
9- DIANE Collaborative Modeling
10- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
11- Multi-pattern approach
12- Set Pair Analysis
13- Analytic Hierarchy Process
14- Fuzzy Comprehensive Evaluation
15- Social Vulnerability Index
16- Normalized difference vegetation index
17- Land use patterns
18- Stream power index
19- Slope

منابع

Ballesteros-Cánovas J.A., Sanchez-Silva M., Bodoque J.M., et al. 2013. An integrated approach to flood risk management: a case study of Navaluenga (Central Spain). Water Resour. Manage Journal, 27(8): 3051–3069.

Balli S. and Korukoglu S. 2009. Operating system selection using Fuzzy AHP and TOPSIS methods. J. Mathematical and Computational Applications Journal, 14(2): 119-130.

Chen X. and Ishwaran H . 2012. Random forests for genomic data analysis. Genomics Journal, 99(6): 323–329.

Deng H. and Runge G. 2013. Gene selection with guided regularized random forest. Pattern Recogn Journal, 46(12): 3483–3489.

Dong L.J., Li X.B. and Peng K. 2013. Prediction of rockburst classification using Random Forest. Trans. Nonferrous Met. Soc. China Journal, 23(2): 472–477.

Erdlenbruch K., Thoyer S., Grelot F., Kast R. and Enjolras G. 2009. Risk-sharing in the context of the French Flood Prevention Action Programmes. Environ. Manage Journal, 91: 363–369.

Evers M., Jonoski A., Almoradie A. and Lange L. 2016. Collaborative decision making in sustainable flood risk management: A socio-technical approach and tools for participatory governance. Environmental Science & Policy Journal, 55(1): 335–344.

Falter D., Schröter K., Viet Dung N., Vorogushyn S., Kreibich H., Heiko Apel H. and Merz M. 2015. Spatially coherent flood risk assessment based on long-term continuous simulation with a coupled model chain. Hydrology Journal, 524: 182–193.

Foudi S., Osés-Eraso N. and Tamayo I. 2015. Integrated spatial flood risk assessment: The case of Zaragoza. Land Use Policy Journal, 42: 278–292.

Foudi S. and Osés-Eraso N. 2014. Flood risk management: assessment for prevention with hydro-economic approaches. In: Markandya A., Galarraga I., Sainz de Murieta E. (Eds.), Routledge Handbook of the Economics of Climate Change Adaptation. Taylor & Francis.

to the rapid feedback of potential ecological risk in flood diversion zone. Eng. Appl. Artif. Intell. Journal, 16(2): 105–119.

Penning-Rowsell E., Johnson C., Tunstall S., Tapsell S., Morris J., Chatterton J. and Green C. 2005. The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Handbook of Assessment Techniques. Middlesex University Press.

Said F., Afzal U. and Turner G. 2015. Risk taking and risk learning after a rare event: Evidence from a field experiment in Pakistan. Economic Behavior & Organization Journal, 118: 167–183.

Simonovic S. and Akter T., 2006. Participatory floodplain management in the Red River Basin, Canada. Annual Reviews in Control 30: 183–192.

Stefanidis S. and Stathis D. 2013. Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). Nat. Hazards Journal, 68: 569–585.

Stephane H., Colin G., Robert J.N., et al. 2013. Future flood losses in major coastal cities. Nat. Climate Change Journal, 3(9): 802–806.

Tingsanchali T. and Karim F. 2010. Flood hazard assessment and risk-based zoning of a

tropical flood plain: case study of the Yom River, Thailand. Hydrol. Sci. J. – J. Sci. Hydrol. Journal, 55(2): 145–161 .

van den Berg M., Fort R. and Burger K. 2009. Natural hazards and risk aversion: experimental evidence from Latin America. In: International Association of Agricultural Economists Conference, Beijing, China.

Van Herk S., Rijke J., Zevenberg C. and Ashley R. 2015. Understanding the transition to integrated flood risk management in the Netherlands. Environmental Innovation and Societal Transitions Journal, 15: 84-100.

Wanga Z., Lai C., Chen X., Yang B., Zhao S. and Bai X. 2015. Flood hazard risk assessment model based on random forest. Hydrology Journal, 527: 1130–1141.

Yang X.L., Ding J.H. and Hou H. 2013. Application of a triangular fuzzy AHP approach for flood risk evaluation and response measures analysis. Nat. Hazards Journal, 68: 657–674.

Yeh C.C., Chi D.J. and Hsu M.F. 2010. A hybrid approach of DEA, rough set and support vector machines for business failure prediction. Expert Syst. Appl. Journal, 37(2): 1535–1541.

Zou Q., Zhou J.Z., Zhou C., Song L.X. and Guo J. 2013. Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP. Stoch. Environ. Res. Risk Assess Journal, 27: 525–546.

Guo E.L., Zhang Z.Q. and Ren X.H., et al. 2014. Integrated risk assessment of flood disaster based on improved set pair analysis and the variable fuzzy set theory in central Liaoning Province, China. Nat. Hazards Journal, 74: 947–965.

Horita E.A., Porto de Al buquerque A., Degrossi A., Mendiondo M. and Ueyama A. 2015. Development of a spatial decision support system for flood risk management in Brazil that combines volunteered geographic information with wireless sensor networks. Computers & Geosciences Journal, 80: 84–94.

Immitzer M. , Atzberger C. and Koukal T. 2012. Tree species classification with random forest using very high spatial resolution 8-band worldview-2 satellite data. Remote Sens Journal, 4: 2661–2693.

IPCC. 2007. Climate Change. Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jha A.K., Bloch R. and Lamond J. 2012. Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. The World Bank, Washington, DC, USA.

Kaewkitipong L., Chen C. and Ractham P. 2012. Lessons learned from the use of social media in combating a crisis: a case study of 2011 Thailand flooding disaster. In: Proceedings of the 33th International Conference on Information Systems (ICIS), Orlando, USA, 1–17. URL: http://aisel.aisnet.org/icis2012/proceed ings/ProjectManagement/8/.

Koks E.E., Jongman B., Husby T.G. and Botzen W.J.W. 2015. Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. Environmental Science & policy Journal, 47: 42–52.

Li X. and Yeh A.G.O. 2002. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. Int. Geogr. Inf. Sci. Journal, 16(4): 323–343.

Li Q., Jiang X.W. and Liu D.H. 2013. Analysis and modelling of flood risk assessment using information diffusion and artificial neural network. Water SA Journal, 39: 643–648.

Martens D., Backer M.D., Haesen R., Vanthienen J., Snoeck M. and Baesens B. 2007. Classification with ant colony optimization. IEEE Trans. Evol. Comput. Journal, 11(5): 651–665.

Mihailescu D., Gui V., Toma C. I., et al. 2013. Computer aided diagnosis method for steatosis rating in ultrasound images using random forests. Med. Ultrason. Journal, 15(3): 184–190.

Ni J.R. and Xue A. 2003. Application of artificial neural network