



"مقاله پژوهشی"

پتانسیل یابی خطر آب گرفتگی شهری با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی (EBF) (مطالعه موردی: شهرک امام علی (ع) شهر مشهد)

محمد رستمی خلیج^۱، امید رحمتی^۲، مصطفی رشیدپور^۳ و حسین سلمانی^۴

۱- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، مشهد، ایران، (نویسنده مسوول: m.rostamikhaj@areeo.ac.ir)

۲- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- دانش آموخته دکترا آبخیزداری، کارشناس اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۲

صفحه: ۱ تا ۱۰

چکیده

سالانه در نقاط مختلف جهان، جان و مال بسیاری از مردم در اثر وقوع سیل به مخاطره می افتد. تغییرات کاربری اراضی، افزایش شهرنشینی، ساخت و سازهای غیراصولی، سیستم فاضلاب قدیمی و توسعه اراضی غیرقابل نفوذ در مناطق شهری اثرات مهمی در وقوع این خطر دارند؛ لذا به منظور مدیریت مناطق شهری، انجام اقدامات امدادی و اولویت بندی مناطق جهت رفع مشکل سیلاب ابتدا بایستی مناطقی که بیشتر دچار مشکل می شوند مشخص شوند. تحلیل آسیب پذیری در مناطق شهری اغلب شامل معیارهای چندگانه ای است که با ایجاد سیلاب در ارتباط هستند. یکی از روش هایی که با دقت کافی و با استفاده از اطلاعات موجود می توان پتانسیل مناطق تحت خطر را مشخص کرد استفاده از مدل تابع شواهد قطعی (EBF) است که در این مطالعه برای تعیین پتانسیل خطر سیلاب در مناطق شهری استفاده شد. برای این منظور از چهار لایه اطلاعاتی شامل لایه فاصله از کانال، شیب، تراکم زهکشی و ارتفاع استفاده گردید. نقشه نهایی پتانسیل خطر آب گرفتگی شهری منطقه مورد مطالعه به چهار کلاس پتانسیل خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی شد. صحت پیش بینی نقشه پتانسیل خطر آب گرفتگی با استفاده از روش منحنی مشخصه عملکرد نسبی (ROC) بررسی گردیده و میزان مساحت زیر منحنی ۸۱/۲۷ درصد به دست آمد. نتایج نشان داد که مدل تابع شواهد قطعی (EBF) برای پتانسیل خطر آب گرفتگی شهری در منطقه مورد مطالعه از دقت قابل قبولی برخوردار است.

واژه های کلیدی: پتانسیل خطر، تراکم زهکشی، فاصله از کانال اصلی، منحنی ROC

مقدمه

حالت دوم سیلاب شدید شهری می تواند به عنوان یک مورد خاص سیلاب در نظر گرفته شود (۲۲). در این مورد شدت بارندگی روی مناطق شهری ممکن است باعث آب گرفتگی معابر و ساختمان ها در مناطق پست یا در مناطقی که ساختمان های زیادی در آبراهه های قدیمی، زیرگذرها، فرورفتگی بزرگراه ها و غیره احداث گردیده اند، شود. چنین سیلاب هایی عمدتاً در اثر عدم کفایت سیستم جمع آوری باران شهری ایجاد می شوند و عموماً در اثر آشغال هایی که ورودی لوله ها و کانال ها یا خروجی های حوضه ها را مسدود می کنند، شرایط وخیم تر می شود (۹).

تجارب کشورهای مختلف نشان می دهد که اولین مرحله جهت کاهش آثار زیان بار سیل، شناخت مناطق سیل گیر و درجه بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل گیری است تا براساس نتایج حاصله بتوان در رابطه با نحوه استفاده از اراضی و کاربری های مختلف از جمله کشاورزی، شهری و صنعتی تصمیم گیری نمود و زیان های ناشی از سیل را به حداقل ممکن کاهش داد (۸).

نقشه های پهنه بندی خطر سیلاب شهری دارای مزایایی است که ویلر و همکاران (۳۰)، در مطالعه ای در حوضه شهری دریاچه ویکتوریا در استرالیا، از مدل هایی که مبتنی بر

در کشور ایران نسبت شهرنشینی از ۳۱/۴ درصد در سال ۱۳۳۵ به ۶۸/۴ درصد در سال ۱۳۸۵ و افزایش تعداد شهرهای کشور از ۱۹۹ شهر در سال ۱۳۳۵ به ۱۰۱۲ شهر در سال ۸۵ رسیده است. به عبارت دیگر تعداد شهرهای کشور طی ۵ دهه اخیر، بیش از ۵ برابر شده است. جمعیت شهری کشور نیز با متوسط نرخ رشدی معادل ۳/۴ درصد، طی ۶۰ سال اخیر افزایش پیدا کرده است (۶). با توجه به رشد سریع شهرسازی و شهرنشینی در ایران، مشکلاتی از جمله آب گرفتگی معابر سطح شهر، انتشار آلودگی های زیست محیطی و خطرات ناشی از گسترش سیلاب به واسطه عدم وجود سیستم زهکشی مناسب و نابسامانی کانال ها و مسیرها از معضلات اساسی بسیاری از حوضه های شهری ایران به شمار می آیند و به نظر می رسد تا در سال های اخیر افزایش ریسک سیلاب در حوضه های شهری را نسبت به حوضه های روستایی شاهد باشیم.

سیلاب های شهری می توانند از دو نوع کاملاً متمایز باشند، اول سیلاب در مناطق شهری که در اثر طغیان آب رودخانه ها دچار آب گرفتگی شوند. در این حالت پهنه مناطق آب گرفتگی از پیش بینی های مخصوص تراز رودخانه به دست می آید. در

در برخی منابع از روش‌های ذکر شده توأم با هم استفاده شده است (۵).

یکی از روش‌هایی که بر اساس تئوری دمپستر و شفر بنا نهاده شده است^۱ مدل تابع شواهد قطعی^۲ (EBF) می‌باشد. این مدل در مطالعات مختلفی در زمینه زمین لغزش (۲۹، ۱۵، ۱۹، ۱، ۲) تهیه نقشه پتانسیل وجود معدن (۴) و نقشه پتانسیل آب زیرزمینی (۲۴) استفاده شده است. مدل EBF می‌تواند عدم قطعیت را در چندین لایه مکانی بررسی و مدیریت کند (۲۶). مدل EBF یک مدل مکانی معروف است که از یک روش انعطاف‌پذیر برای مدیریت عدم قطعیت استفاده می‌کند (۱۲ و ۱۳) که اجازه می‌دهد عدم قطعیت هم به صورت سیستماتیک و هم به صورت تصادفی تجزیه تحلیل شود.

نقشه‌های پتانسیل خطر سیلاب در مناطق شهری ابزار مفیدی هستند تا با استفاده از آن‌ها جهت توسعه شهر را مشخص کرد و به کمک آن بتوان مناطقی که بیشتر تحت خطر هستند مشخص نمود (۳). از این رو هدف از این تحقیق تهیه نقشه پتانسیل خطر سیلاب در شهرک امام علی (ع) مشهد با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی (EBF) و همچنین مشخص کردن مناطقی که در زمان وقوع سیلاب خسارت بیشتری متحمل می‌شوند و برای اقدامات پیشگیرانه در اولویت اول قرار دارند می‌باشد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

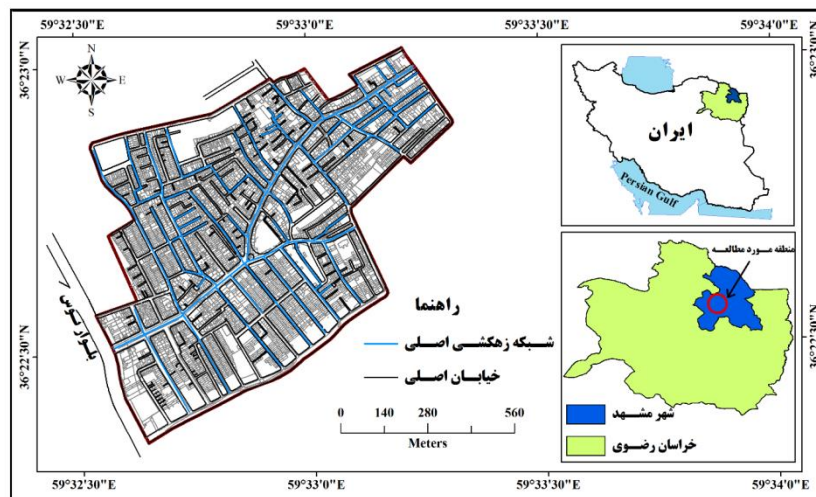
شهر مشهد در نیمه جنوب غرب دشت کشف رود به علت گسترش بر سطح دشت و مخروط افکنه‌های آبرفتی تحت تأثیر شرایط توپوگرافی، شیب تند و زهکشی ضعیف همیشه در اثنای بارش‌های شدید با سیلاب‌های ناگهانی یا آب‌گرفتگی مواجه بوده است. کلان‌شهر مشهد دارای ۱۳ منطقه شهری بوده که جمعاً در حدود ۲۰۴ کیلومترمربع را در برمی‌گیرد. تراکم جمعیتی شهر در حدود ۹ نفر در هر کیلومترمربع می‌باشد (۶). ارتفاع شهر مشهد از سطح دریا ۹۸۵ متر، میزان نزولات جوی در سطح دشت مشهد متوسط ۲۵۰ میلی‌متر است. حداکثر درجه حرارت در تابستان ۳۵ درجه سانتی‌گراد بالای صفر و کمترین آن در زمستان ۱۵ درجه سانتی‌گراد زیر صفر می‌باشد. شهرک امام علی (ع) در منطقه دو ناحیه شش شهرداری مشهد، با وسعت ۸۲/۳ هکتار بین مختصات جغرافیایی ۲۰° ۲۲' ۳۶" تا ۱° ۲۳' ۳۶" عرض شمالی و ۳۸° ۲۶' ۴۸" تا ۲۱° ۲۷' ۴۸" طول شرقی و در شمال شرق شهر مشهد واقع شده است (شکل ۱).

عکس‌های هوایی و DEM هستند استفاده کردند و نقشه آب‌گرفتگی منطقه تهیه شده نشان داد که این نقشه‌ها مزایایی از قبیل: تخمین میزان آب‌گرفتگی در وقایع آینده، تهیه نقشه کاربری فعلی و آینده با توجه به مناطق در خطر، یکپارچگی سیستم‌های اطلاعات اورژانسی و تهیه نقشه پیش‌آمد احتمالی، تهیه نقشه مستثنیات، میزان رضایت‌مندی عمومی و فردی دینفان ساکن در منطقه، ارزیابی سریع (شامل خصوصیات اجزاء منطقه و تقسیمات جغرافیایی) مربوط به آب‌گرفتگی برای پیشنهاد میزان بیمه را دارا می‌باشند.

بررسی عوامل مختلف و تعیین اولویت به ترتیب اهمیت، نیاز به بررسی دقیق عوامل دارد. البته باید توجه داشت که گاهی ممکن است این عوامل در تعارض با یکدیگر باشند. در این صورت به روش قدرتمندی نیاز است که با توجه به اهمیت و نقش تک‌تک عوامل و با بررسی روابط بین آن‌ها، نتایج دقیق ارائه کند. خطر جاری شدن سیل به عنوان تابعی از احتمال وقوع سیل و تأثیر آن تعریف شده است. این خطر در مناطق شهری بسیار بیشتر است زیرا مرکز تمرکز جمعیت است و زیرساخت‌های حیاتی در این مناطق وجود دارد (۷).

شهرنشینی با دخالت غیرمستقیم در داخل حوزه‌های آبخیز موجب برهم زدن تعادل دامنه‌ها، از بین بردن پوشش گیاهی، فشردگی خاک و تغییر در نیم‌رخ آبراهه‌ها شده، شدت سیلاب‌های ناگهانی را افزایش داده و حجم رسوبات تولیدی را بالا می‌برد. قلمرو گسترش بافت فیزیکی شهر معمولاً در مناطق کوه‌پایه‌ای می‌باشد که با گسترش شهر در این مناطق الگوی زهکشی طبیعی تغییر می‌کند و خطر سیلاب‌های شهری را بیشتر می‌نماید (۱۰).

با بررسی مطالعات انجام شده در زمینه مقدار و پتانسیل خطر سیلاب شهری چهار روش کلی ارائه شده است (۳۳). این روش‌ها عبارت‌اند از: الف) روش‌های آماری و ریاضی؛ که به داده‌های زیادی نیاز دارند و نمی‌توانند تغییرات مکانی را منعکس کنند (۱۸). ب) روش‌های مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور. تحقیقات زیادی از جمله: میزوک و همکاران (۱۳) و سمپ سون و همکاران (۲۳) از روش‌های GIS و RS برای پهنه‌بندی خطر سیل شهری استفاده کرده‌اند و تکنیک‌های جدیدی برای دستیابی به نقشه پتانسیل خطر آب‌گرفتگی ارائه داده‌اند. ج) روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره. این روش معمولاً مقدار خطر موجود در منطقه را به صورت کیفی بیان می‌کند و مناطقی دارای خطر آب‌گرفتگی هستند تعیین می‌نماید (۱۱). د) تحلیل شبیه‌سازی سناریوهای مختلف در زمینه خطر آب‌گرفتگی شهری و ارزیابی سناریوهای مختلف در مقیاس مکانی (۳۱). این روش نیاز به داده‌های ژئومورفولوژیکی، توپوگرافی و سیستم زهکشی شهری دارد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1. The study area

اطلاعات جغرافیایی GIS 9.3 استفاده شد. برای تهیه نقشه تراکم شبکه زهکشی از تابع تراکم خطی^۲ استفاده گردید.

مدل تابع شواهد قطعی (EBF)

مدل تابع شواهد قطعی براساس تئوری دمپسر و شفر بنا نهاده شده است. برای به کارگیری مدل EBF ابتدا باید لایه های شماتیک (عوامل مؤثر بر آب گرفتگی) به لایه های شاهد تبدیل شوند. بعد از آن می توان با استفاده از دانش کمی ارتباط مکانی بین نقاط دارای آب گرفتگی و عوامل مؤثر بر آب گرفتگی شهری، نقشه شاخص پتانسیل آب گرفتگی را پیش بینی کرد. مدل EBF شامل: Bel (درجه اعتماد)، Dis (درجه عدم اعتماد)، Unc (درجه عدم قطعیت) و Pls (درجه معقول بودن) می باشد (۲۳، ۱). در تهیه نقشه پتانسیل آب گرفتگی بر اساس تابع شواهد قطعی از معادله (۱) استفاده می شود:

$$m = 2^\Theta = \{\phi, T_p, \bar{T}_p, \Theta\} \quad \text{With} \quad \Theta = \{T_p, \bar{T}_p\} \quad \text{رابطه (۱)}$$

نمی باشد و ϕ : مجموعه خالی می باشد. بر اساس معادله (۱) تابع اعتماد را می توان به شرح ذیل محاسبه کرد:

برای مشخص کردن مناطقی که دچار آب گرفتگی هستند برای سه واقعه بارندگی در تاریخ های ۱۳۸۹/۱۱/۱۹، ۱۳۹۰/۱/۲۳ و ۱۳۹۰/۱/۶ به منطقه مراجعه شده و ۶۰ نقطه که در سه واقعه دارای مشکل آب گرفتگی بودند مشخص گردید و از این ۶۰ نقطه به صورت تصادفی به دو گروه ۷۰ درصد (۴۲ نقطه دارای آب گرفتگی) و ۳۰ درصد (۱۸ نقطه دارای آب گرفتگی) به ترتیب برای آموزش مدل و اعتبارسنجی آن تقسیم شدند (۲۰، ۱۷).

در این مطالعه از چهار لایه یا نقشه که عبارت اند از: نقشه فاصله از شبکه زهکشی، طبقات ارتفاعی، نقشه تراکم شبکه زهکشی و شیب استفاده شد. برای تهیه نقشه های طبقات ارتفاعی، نقشه تراکم شبکه زهکشی و شیب از نقشه کاربری اراضی منطقه که توسط سازمان نقشه برداری با مقیاس ۱:۲۰۰۰ در سال ۱۳۸۵ تهیه شده استفاده شد. برای تهیه نقشه فاصله از شبکه زهکشی تابع فاصله اقلیدسی^۱ در سامانه

که در این رابطه: T_p : پیکسل هایی که تحت تأثیر آب گرفتگی می باشد، $\bar{T}_p$: پیکسل هایی که تحت تأثیر آب گرفتگی

رابطه (۲)

$$\left[\lambda(T_p)_{A_{ij}} \right] = \left[\frac{N(W \cap A_{ij})}{N(W)} \right] / \left[\frac{(N(A_{ij}) - N(W \cap A_{ij}))}{[N(P) - N(W)]} \right] \\ (Bel) = \left(\frac{\sum_{A_{ij}} \lambda(T_p)_{A_{ij}}}{\sum_{A_{ij}} \lambda(T_p)_{A_{ij}}} \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

پیکسل ها در A_{ij} : تراکم پیکسل ها در تمام منطقه مطالعه P . در مقابل تابع عدم اعتماد را می توان مطابق فرمول های زیر بیان کرد:

که در آن $N(W \cap A_{ij})$: تراکم پیکسل های دارای آب گرفتگی واقع شده در A_{ij} : تراکم کل نقاط دارای آب گرفتگی که در منطقه مطالعه واقع شده اند، $N(A_{ij})$: تراکم

رابطه (۴)

$$\frac{\sum_{i=1}^n \lambda(\bar{T}_P)_{A_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \lambda(\bar{T}_P)_{A_{ij}}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda(\bar{T}_P)_{A_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \lambda(\bar{T}_P)_{A_{ij}}}$$

$$(Dis) = \left[\lambda(\bar{T}_P)_{A_{ij}} \right] / \sum \left[\lambda(\bar{T}_P)_{A_{ij}} \right] \quad \text{رابطه (۵)}$$

به‌صورت زیر طبقه‌بندی کرد: ۰/۹-۰/۸ (عالی)، ۰/۸-۰/۷ (خیلی‌خوب)، ۰/۷-۰/۶ (خوب)، ۰/۶-۰/۵ (متوسط) و ۰/۵-۰/۴ (ضعیف) (۳۱).

برای ارزیابی کارایی مدل تابع شواهد قطعی در تهیه نقشه پتانسیل آب‌گرفتگی شهری از موقعیت ۱۸ منطقه دارای آب‌گرفتگی بر اساس روش منحنی ROC استفاده گردید.

نتایج و بحث

برای تهیه نقشه پتانسیل آب‌گرفتگی از چهار متغیر نقشه فاصله از شبکه زهکشی، طبقات ارتفاعی، نقشه تراکم شبکه زهکشی و شیب استفاده شد. این متغیرها بر اساس ارتباط آن‌ها با حساسیت منطقه مورد مطالعه به آب‌گرفتگی و کیفیت داده‌ها موجود انتخاب شدند.

نقشه شیب

شیب عامل مهمی برای شناسایی نواحی که حساسیت بالایی به جاری شدن سیل دارند می‌باشد و در مناطقی که کم شیب هستند احتمال تمرکز رواناب و آب‌گرفتگی بالا است. همچنین شیب حوضه، عامل مهمی در تعیین سرعت آب است. اغلب در منطقه شهری شیب کم است که در این مطالعه نقشه شیب به کلاس‌های شیب کمتر از یک درصد، یک تا سه، و بیشتر سه درصد تقسیم شد (شکل ۲).

در پایان، برای محاسبه توابع عدم قطعیت و معقول بودن از فرمول‌های زیر استفاده می‌شود:

$$(Unc) = \sum_{i=1}^n (Bel) - (Dis) \quad \text{رابطه (۶)}$$

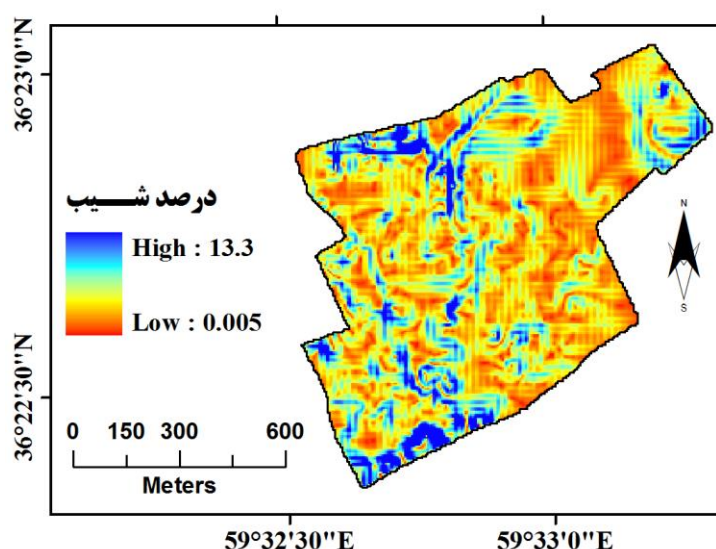
$$(Pls) = \sum_{i=1}^n (Dis) \quad \text{رابطه (۷)}$$

در نهایت برای تهیه شاخص پتانسیل آب‌گرفتگی منطقه مورد مطالعه براساس وزن‌های به‌دست‌آمده اگر تعداد n عامل وجود داشته باشد شاخص پتانسیل آب‌گرفتگی برای مدل تابع شواهد قطعی به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

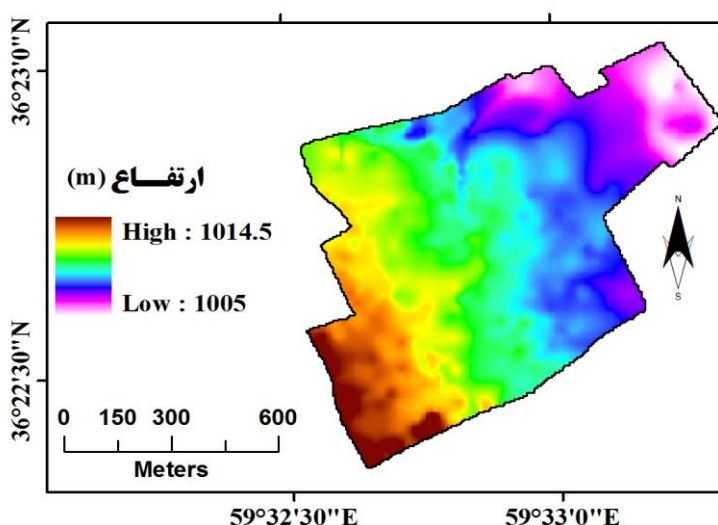
رابطه (۸)

$$GPM = \sum_{i=1}^n EBF \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

نقشه نهایی به‌دست‌آمده از این مدل در کلاس‌های پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی می‌شود. برای ارزیابی دقت نقشه پتانسیل آب‌گرفتگی به‌دست‌آمده از شاخص ROC^۱ در محیط نرم‌افزار SPSS16 استفاده گردید (۲۴،۲۱). منحنی ROC یک روش کمی و گرافیکی جهت ارزیابی نقشه‌های احتمالاتی است. مساحت زیر این منحنی (AUC)^۲ شاخصی مناسب جهت تعیین دقت مدل‌های پیش‌بینی مکانی و تکنیک‌های داده‌کاوی می‌باشد. رابطه کیفی بین مساحت زیر منحنی (AUC) و دقت پیش‌بینی مدل را می‌توان



شکل ۲- نقشه عوامل ورودی مدل EBF نقشه شیب
Figure 2. EBF model input factors map, slope map

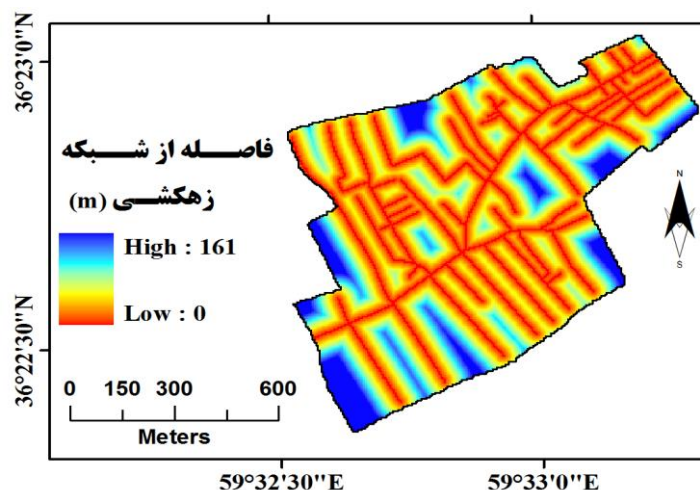


شکل ۳- نقشه عوامل ورودی مدل EBF نقشه طبقات ارتفاعی
Figure 3. EBF model input factors map, elevation map

تعیین و طراحی مسیر حرکت آب دارد. منطقه مورد مطالعه در دامنه ارتفاعی بین ۱۰۰۵ تا ۱۰۱۴/۵ متر است (شکل ۳).
نقشه فاصله از شبکه زهکشی
در هنگام وقوع آب‌گرفتگی مناطق نزدیک شبکه زهکشی خسارت بیشتری متحمل می‌شوند. این نقشه به کلاس‌های فاصله کمتر از ۵ متر، ۵-۱۰، ۱۰-۵۰، و بیشتر از ۵۰ تقسیم شد (شکل ۴).

نقشه طبقات ارتفاعی

این نقشه با استفاده از نقشه نقاط ارتفاعی نقشه کاربری با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه شده است و عامل مهمی در تعیین جهت جریان آب و عمق سفره آب زیرزمینی است (۷). با توجه به اینکه در مناطق شهری مسیرهای حرکت آب توسط طراحان تعیین می‌شود ولی اختلاف ارتفاع نقش به‌سزایی در

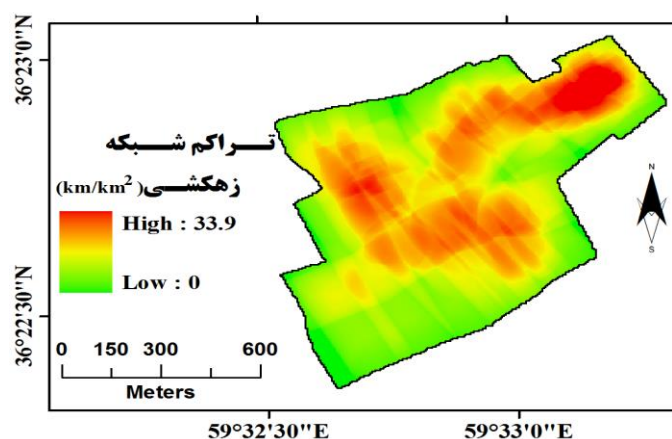


شکل ۴- نقشه عوامل ورودی مدل EBF نقشه فاصله از شبکه زهکشی
Figure 4. EBF model input factors map, distance to the main channel map

زهکشی بیشتر است می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که در این مناطق پتانسیل تولید رواناب زیاد است که تعداد زیادی کانال برای تخلیه رواناب احداث شده است. اگرچه هرچه تراکم زهکشی بیشتر باشد رواناب سریع‌تر خارج می‌شود ولی در اثر تمرکز رواناب در یک زمان از چند منطقه و کارآمد نبودن کانال‌ها در منطقه مورد مطالعه امکان آب‌گرفتگی بیشتر می‌شود (شکل ۵).

نقشه تراکم زهکشی

در مناطقی که تراکم زهکشی بیشتر است به‌دلیل فراوانی زیاد کانال‌ها که از مناطق مختلف به یک نقطه وارد می‌شود امکان سرریز شدن جوی‌ها و کانال‌ها در هنگام وقوع سیل بیشتر است و ممکن است در اثر یک بارش شدید این مناطق دچار آب‌گرفتگی بیشتری نسبت به مناطقی که تراکم زهکشی کمتری دارند شود. علاوه بر این در مناطقی که تراکم

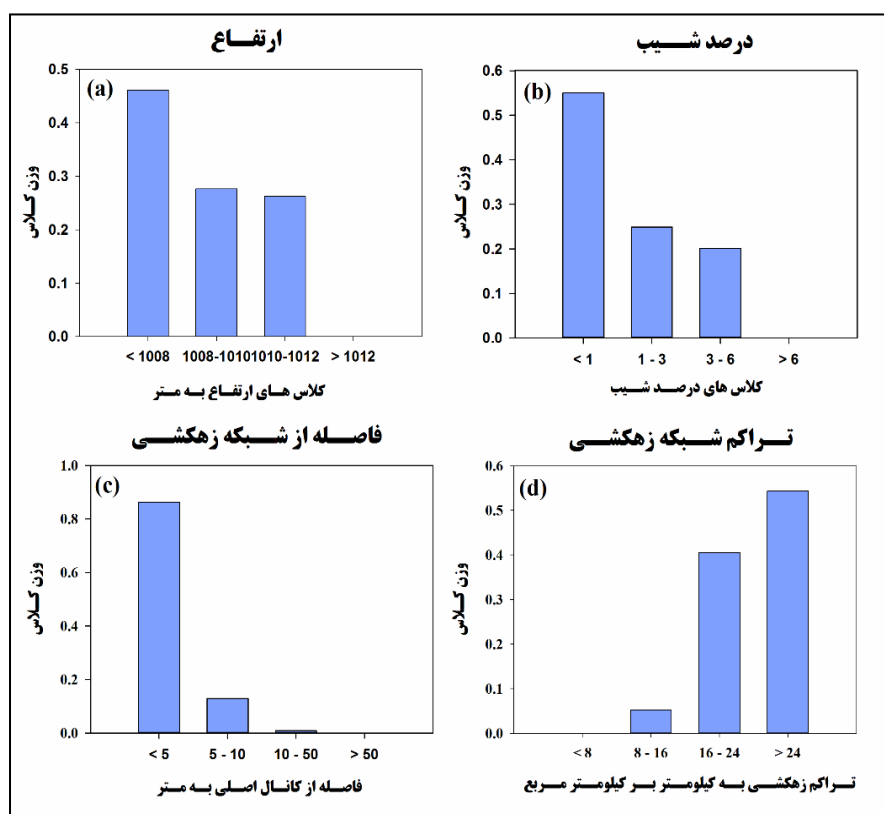


شکل ۵- نقشه عوامل ورودی مدل EBF نقشه تراکم شبکه زهکشی
Figure 5. EBF model input factors map, drainage density map

۱۰۰۸ متر و کلاس شیب کمتر از ۱ درصد نسبت به دیگر کلاس‌ها بیشترین وزن را به خود اختصاص داد. همچنین مناطقی که فاصله از کانال آن‌ها کمتر از ۵ متر و تراکم زهکشی بیشتر از ۲۴ کیلومتر بر کیلومتر مربع بیشترین استعداد آب‌گرفتگی را دارند.

نقشه پتانسیل خطر آب‌گرفتگی شهری

تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای بین موقعیت دارای آب‌گرفتگی و عوامل مؤثر بر وقوع خطر آب‌گرفتگی انجام گرفت و براساس آن، وزن کلاس عوامل مؤثر به‌دست آمد. وزن هریک از کلاس عوامل انتخاب‌شده در شکل ۶ ارائه شده است. بر اساس شکل ۶ مناطق دارای ارتفاع کمتر از



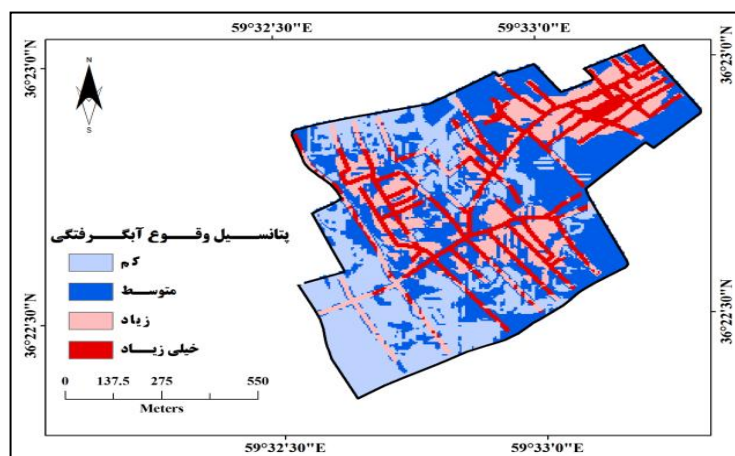
شکل ۶- وزن عوامل مؤثر در وقوع خطر آب‌گرفتگی در منطقه مورد مطالعه
Figure 6. Affecting factors weight in risk of inundation in the study area

(۲۸،۲۷) نقشه نهایی پتانسیل خطر سیل با استفاده از تکنیک Quantile در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 به چهار کلاس

نقشه پیش‌بینی پتانسیل خطر آب‌گرفتگی شهری با استفاده از حسابگر رستری تهیه شده و بر اساس منابع مختلف

۱۸/۶ درصد و خیلی زیاد ۱۵/۳ درصد از منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند.

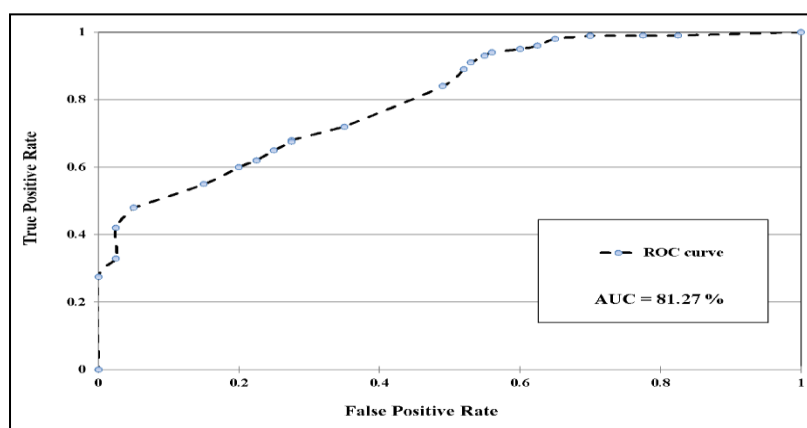
پتانسیل خطر سیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید (شکل ۷). نتایج نشان داد که کلاس‌های با پتانسیل خطر آب‌گرفتگی کم ۲۸/۱ درصد، متوسط ۳۸ درصد، زیاد



شکل ۷- نقشه پتانسیل وقوع خطر آب‌گرفتگی شهری در منطقه مورد مطالعه
Figure 7. The risk potential map for urban inundation in the study area

اساس روش منحنی ROC محاسبه گردید (شکل ۸). همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، مساحت زیر منحنی مزبور (AUC) ۸۱/۲۷ درصد به‌دست آمده است. بنابراین دقت نقشه پتانسیل خطر آب‌گرفتگی شهری در منطقه مطالعاتی ۸۱/۲۷ درصد می‌باشد.

ارزیابی دقت نقشه پتانسیل خطر آب‌گرفتگی شهری
به‌منظور ارزیابی دقت نقشه پتانسیل خطر آب‌گرفتگی شهری، از ۱۸ واقعه آب‌گرفتگی استفاده شد که این وقایع برای تعیین پتانسیل خطر آب‌گرفتگی به مدل تابع شواهد قطعی وارد نشده بودند. دقت پیش‌بینی پتانسیل سیل بر



شکل ۸- منحنی ROC تهیه‌شده برای مدل تابع شواهد قطعی و دقت به‌دست آمده
Figure 8. ROC curves were prepared for Evidential Belief Function model and the accuracy obtained

و در مناطقی که کم شیب هستند احتمال تمرکز رواناب و آب‌گرفتگی بالا است. همچنین شیب حوضه، عامل مهمی در تعیین سرعت آب است. در عامل شیب بالاترین وزن مربوط به کلاس کمتر از یک درصد می‌باشد و کمترین مقدار را هم کلاس بالای ۶ درصد به خود اختصاص داده است. باید توجه داشت که سرعت رواناب در مناطق کم شیب ناچیز است و همین امر موجب آب‌گرفتگی بیشتر می‌شود. در هنگام وقوع سیل مناطق نزدیک کانال اصلی خسارت بیشتری متحمل می‌شوند. این نقشه به کلاس‌های فاصله کمتر از ۵ متر، ۵-۱۰، ۱۰-۵۰ و بیشتر از ۵۰ تقسیم شد. نتایج نشان داد

ارتفاع عامل مهمی در تعیین جهت جریان آب و عمق سفره آب زیرزمینی است (۷). منطقه مورد مطالعه در دامنه ارتفاعی بین ۱۰۰۵ تا ۱۰۱۴/۶۴ متر است. در مورد پارامتر ارتفاع همان‌گونه که مشاهده می‌شود بالاترین مقدار تابع شواهد قطعی به کلاس ارتفاع کمتر از ۱۰۰۸ متر و کمترین مقدار تابع شواهد قطعی به کلاس ارتفاع بالاتر از ۱۰۱۲ متر اختصاص دارد. این نتایج نشان می‌دهد که مناطق دارای ارتفاع کم در منطقه مورد مطالعه از پتانسیل خطر آب‌گرفتگی بالاتری برخوردار می‌باشند. شیب عامل مهمی برای شناسایی نواحی که حساسیت بالایی به جاری شدن سیل دارند می‌باشد

مطابق با طبقه‌بندی یسیناکار (۳۲) در مورد رابطه کیفی بین مساحت زیر منحنی (AUC) و دقت پیش‌بینی مدل، در پیش‌بینی نقشه پتانسیل وقوع خطر آب‌گرفتگی شهری دارای عملکرد خوبی بوده است و نتایج این مدل می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها و طراحی‌های مهندسان شهرسازی مفید واقع شود. اکثر سیاست‌های ما برای برخورد با مشکل واکنشی است یعنی اینکه ابتدا مشکل اتفاق می‌افتد و سپس ما نسبت به آن واکنش نشان می‌دهیم و این نحوه برخورد نادرست بوده و زیان‌های غیرقابل‌جبران به‌همراه دارد. یکی از مهم‌ترین وظایف مدیریت، تصمیم‌گیری است؛ مهم‌ترین عنصر تصمیم‌گیری، اطلاعات مناسب است اطلاعاتی که بتوان آینده را بهتر ترسیم نماید منجر به تصمیم‌گیری بهتری خواهد شد. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب یکی از ابزارهای مدیریت شهری است. روش ساده‌ای که در این مطالعه استفاده شده است مناطقی را که در زمان سیلاب بیشتر دچار آب‌گرفتگی می‌شوند مشخص می‌کند. چنین روشی توانایی قابل‌ملاحظه‌ای جهت مدیریت سیلاب پیش از وقوع سیل و حتی مدیریت بحران و امداد و نجات در حین وقوع سیل و بازسازی پس از سیلاب در اختیار مدیران و کارشناسان مربوطه قرار می‌دهد.

مناطقى که در اطراف شبکه زهکشی شهری هستند، تابع شواهد قطعی بیشترین مقدار را دارد. با بررسی‌های انجام شده و با پرسش از ساکنین منطقه مشخص شد مناطقی که در فاصله کمتر از ۱۰ متر از کانال اصلی قرار دارند در هنگام وقوع سیلاب و آب‌گرفتگی بیشترین صدمه را متحمل می‌شوند. در مناطقی که تراکم زهکشی بیشتر است به دلیل فراوانی زیاد کانال‌ها که از مناطق مختلف به یک نقطه وارد می‌شود امکان سرریز شدن جوی‌ها و کانال‌ها در هنگام وقوع سیل بیشتر است و ممکن است در اثر یک بارش شدید این مناطق دچار آب‌گرفتگی بیشتری نسبت به مناطقی که تراکم زهکشی کمتری دارند شود. علاوه بر این در مناطقی که تراکم زهکشی بیشتر است می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که در این مناطق پتانسیل تولید رواناب زیاد است که تعداد زیادی کانال برای تخلیه رواناب احداث شده است. اگرچه هر چه تراکم زهکشی بیشتر باشد رواناب سریع‌تر خارج می‌شود ولی در اثر تمرکز رواناب در یک زمان از چند منطقه و کارآمد نبودن کانال‌ها در منطقه مورد مطالعه امکان آب‌گرفتگی بیشتر می‌شود. برای بررسی دقت نقشه پتانسیل خطر آب‌گرفتگی به‌دست آمده از شاخص ROC استفاده شد. همان‌طور که مشاهده گردید مساحت زیر نمودار ۸۱/۲۷ درصد می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل تابع شواهد قطعی

منابع

1. Althuwaynee, O.F., B. Pradhan and S. Lee. 2012. Application of an evidential belief function model in landslide susceptibility mapping. *Computers and Geosciences*, 44: 120-135.
2. Althuwaynee, O.F., B. Pradhan, H.J. Park and J.H. Lee. 2014. A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 114: 21-36.
3. Buchele, B., H. Kreibich, A. Kron, A. Thieken, J. Ihringer, P. Oberle, B. Merz and F. Nestmann. 2006. Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6: 485-503.
4. Carranza, E.J.M. 2009. Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features. *Ore Geology Reviews*, 35: 383-400.
5. Chang, T.J., C.H. Wang and A.S. Chen. 2015. A novel approach to model dynamic flow interactions between storm sewer system and overland surface for different land covers in urban areas. *Journal of Hydrology*, 524: 662-679.
6. Farhodi, R., S. Zangane Shahraki and R.S. Moucheshi. 2009. Spatial distribution of urban population during 1335 to 1385. *Research in Human Geography*, 68: 55-68 (In Persian).
7. Fernandez, D.S. and A.M. Lutz. 2010. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multi criteria decision analysis. *Engineering Geology*, 111: 90-98.
8. Hamidi, N., M. Vafakhah and A. Najafi. 2016. Development of urban flood hazard map for Nour city using analytical hierarchy process and fuzzy logic. *Journal of Watershed Management Research*, 7(14): 11-19 (In Persian).
9. Heydari, A., K. Emami, M.H. Sadat, Sh. Taghi Khan, Sh. Moradi Falah and M. Barkhordar. 2006. Forecasting and flood warning, The Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Press, Tehran, 257 pp (In Persian).
10. Hossien Zadeh, S.R. and M. Jahadi Toroghi. 2007. The natural drainage pattern of the city of Mashhad and the intensification of urban floods. *Geographical Research Quarterly*, 61: 145-159 (In Persian).
11. Jiang, W., L. Deng, L., Chen, J. Wu and J. Li. 2009. Risk assessment and validation of flood disaster based on fuzzy mathematics. *Progress in Natural Science*, 19(10): 1419-1425.
12. Lee, S., J. Hwang, I. Park. 2012a. Application of data-driven evidential belief functions landslide susceptibility mapping in Jinbu, Korea. *Catena*, 100: 15-30.
13. Lee, S., K.Y. Song, Y. Kim and I. Park. 2012b. Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model. *Hydrogeology Journal*, 20(8): 1511-1527.

14. Meesuk, V., Z. Vojinovic, A.E. Mynett and A.F. Abdullah. 2015. Urban flood modelling combining top-view LiDAR data with ground-view SfM observations. *Advances in Water Resources*, 75: 105-117.
15. Mohammadi, J., M. Zangene and A. Abdoli. 2010. Measuring quality of life of citizens in Mashhad. *Journal of Urban Management Studies*, 2: 97-117 (In Persian).
16. Mohammady, M., H.R. Pourghasemi and B. Pradhan. 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61: 221-236.
17. Nampak, H., B. Pradhan and M.A. Manap. 2014. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*, 513: 283-300.
18. Nott, J. 2006. *Extreme Events: A Physical Reconstruction and Risk Assessment*. Cambridge University Press.
19. Park, N.W. 2011. Application of Dempster-Shafer theory of evidence to GIS-based landslide susceptibility analysis. *Environmental Earth Sciences*, 62(2): 367-376.
20. Pourghasemi, H.R. and M. Beheshtirad. 2014. Assessment of a data-driven evidential belief function model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran. *Geocarto Int.* doi:<http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2014.966161>.
21. Pourtaghi, Z.S. and H.R. Pourghasemi. 2014. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeology Journal*. doi:10.1007/s10040-013-1089-6.
22. Rostami Khalaj, M. 2012. Urban flood risk zoning using hydrological and hydraulic models integration (Case study: Zone 2, City of Mashhad). MS.s thesis. University of Tehran, Iran, 141 pp (In Persian).
23. Sampson, C.C., T.J. Fewtrell, A. Duncan, K. Shaad, M.S. Horritt and P.D. Bates. 2012. Use of terrestrial laser scanning data to drive decimetric resolution urban inundation models. *Advances in water resources*, 41: 1-17.
24. Tahmassebipoor, N., O. Rahmati, F. Noormohamadi and S. Lee. 2016. Spatial analysis of groundwater potential using weights-of-evidence and evidential belief function models and remote sensing. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(1): 1-18.
25. Tanavud, C., C. Yongchalermpchai, A. Bennui and O. Densreeserekul. 2004. Assessment of flood risk in Hat Yai municipality, Southern Thailand, using GIS. *Journal of Natural Disaster Science*, 26(1): 1-14.
26. Tangestani, M.H. and F. Moore. 2002. The use of Dempster-Shafer model and GIS in integration of geoscientific data for porphyry copper potential mapping, north of Shahr-e-Babak, Iran. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4: 65-74.
27. Tehrany, M.S., B. Pradhan and M.N. Jebur. 2014a. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology*, 512(1): 332-343.
28. Tehrany, M.S., M. Lee, B. Pradhan, M.N. Jebur and S. Lee. 2014b. Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*, doi: 10.1007/s12665-014-3289-3.
29. Tien Bui, D., B. Pradhan, O. Lofman, I. Revhaug, O.B. Dick. 2012. Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): a comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models. *Catena*, 96: 28-40.
30. Wheeler, P.J., J. Kunapo, J.A. Peterson and M. McMahon. 2007. Mapping relative inundation vulnerability of land parcels on low-lying ground: Exemplification with a Photogrammetrically-Derived DEM-Based Model of lakes entrance, Victoria, Australia, *Proceedings of the Spatial Science Institute Biennial International Conference (SSC2007)*, Hobart, Tasmania, Australia.
31. Willems, P. 2013. Revision of urban drainage design rules after assessment of climate change impacts on precipitation extremes at Uccle, Belgium. *Journal of Hydrology*, 496: 166-177.
32. Yesilnacar, E.K. 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. Ph.D. Thesis, University of Melbourne, Department, Australia, 200 pp.
33. Zhu, Z., Z. Chen, X. Chen and P. He. 2016. Approach for evaluating inundation risks in urban drainage systems. *Science of the Total Environment*, 553: 1-12.

Urban Inundation Hazard Potential using Evidential Belief Function model (EBF) (Case study: Emam Ali town, Mashhad city)

**Mohammad Rostami Khalaj¹, Omid Rahmati², Mostafa Rashidpour³
and Hossein Salmani⁴**

1- Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

(Corresponding author: m.rostamikhaj@areeo.ac.ir)

2- Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran

3- Ph.D. Student, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4- Graduated Ph.D., Watershed Management, expert of General Department of Natural Resources and Watershed Management of Golestan Province

Received: August 24, 2016

Accepted: June 12, 2017

Abstract

Inundation in urban areas due to dens storm has created many problems for all cities thorough the world. Urban flood hazard zoning may provide useful information for dealing with contingency and alleviating risk and loss of life and property. Therefore, to management of urban area, flood relief measures and prioritized to address flooding problems should be identified areas that are more affected. Vulnerability of urban areas often includes multiple factors that are associated with flooding. One of the methods that are sufficiently accurate and use available data can identify flood hazard zoning, is using Evidential Belief Function (EBF) that in this study was used to determine the potential of inundation risk in urban area. Four variables include: distance to the main channel, slopes, drainage density and elevation was used. The potential of inundation risk in urban area final map of in the study area was prepared by method from the Evidential Belief Function of the four classes include: potential of inundation risk low, medium, high and very high classified. The prediction accuracy of the potential of inundation risk map obtained in Evidential Belief Function model in this region using Receiver Operating Characteristic (ROC) was evaluated and area rate under the curve 81.27 were obtained. The results indicate that the EBF model for zonation of potential of inundation risk in the study area is acceptable accuracy.

Keywords: Drainage density, Distance to the main channel, Hazard potential, ROC curve