دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

پتانسیل‌یابی خطر آب‌گرفتگی شهری با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی (EBF) (مطالعه موردی: شهرک امام علی (ع) شهر مشهد)

محمد رستمی‌خلج[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.rostamikhalaj@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، سسندج، 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 می‌افتد. 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 به‌منظور مدیریت مناطق شهری، انجام اقدامات امدادی و اولویت‌بندی مناطق جهت رفع مشکل سیلاب ابتدا بایستی مناطقی که بیشتر دچار مشکل می‌شوند مشخص شوند. تحلیل آسیب‌پذیری در مناطق شهری اغلب شامل معیارهای چندگانه‌ای است که با ایجاد سیلاب در ارتباط هستند. یکی از روش‌هایی که با دقت کافی و با استفاده از اطلاعات موجود می‌توان 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 این‌منظور از چهار لایه اطلاعاتی شامل لایه فاصله از کانال، شیب، تراکم زهکشی و ارتفاع استفاده گردید. نقشه نهایی پتانسیل خطر آب‌گرفتگی شهری منطقه مورد مطالعه به چهار کلاس پتانسیل خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. صحت پیش‌بینی نقشه پتانسیل خطر آب‌گرفتگی با استفاده از روش منحنی مشخصه عملکرد نسبی (ROC) بررسی گردیده و میزان مساحت زیر منحنی ۸۱/۲۷ درصد به‌دست آمد. نتایج نشان داد که مدل تابع شواهد قطعی (EBF) برای پتانسیل خطر آب‌گرفتگی شهری در منطقه مورد مطالعه از دقت قابل قبولی برخوردار است.

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

مقدمه

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. به‌عبارت‌دیگر 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 ازجمله آب‌گرفتگی معابر سطح شهر، انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی و خطرات ناشی از گسترش سیلاب به‌واسطه عدم وجود سیستم زهکشی مناسب و نابسامانی کانال‌ها و مسیل‌ها از معضلات اساسی بسیاری از حوضه‌های شهری ایران به‌شمار می‌آیند و به‌نظر می‌رسد تا در سال‌های اخیر افزایش ریسک سیلاب در حوضه‌های شهری را نسبت به حوضه‌های روستایی شاهد باشیم.

سیلاب‌های شهری می‌توانند از دو نوع کاملاً متمایز باشند، اول سیلاب در مناطق شهری که در اثر طغیان آب رودخانه‌ها دچار آب‌گرفتگی شوند. در این حالت پهنه مناطق آب‌گرفتگی از پیش‌بینی‌های مخصوص تراز رودخانه به‌دست می‌آید. در حالت دوم سیلاب شدید شهری می‌تواند به‌عنوان یک مورد خاص سیلاب در نظر گرفته شود (۲۲). در این‌مورد شدت بارندگی روی مناطق شهری ممکن است باعث آب‌گرفتگی معابر و ساختمان‌ها در مناطق پست یا در مناطقی که ساختمان‌های زیادی در آبراهه‌های قدیمی، زیرگذرها، فرورفتگی بزرگراه‌ها و غیره احداث گردیده‌اند، شود. چنین سیلاب‌هایی عمدتاً در اثر عدم کفایت سیستم جمع‌آوری باران شهری ایجاد می‌شوند و عموماً در اثر آشغال‌هایی که ورودی لوله‌ها و کانال‌ها یا خروجی‌های حوضه‌ها را مسدود می‌کنند، شرایط وخیم‌تر می‌شود (۹).

تجارب کشورهای مختلف نشان می‌دهد که اولین مرحله جهت کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و درجه‌بندی این مناطق ازلحاظ میزان خطر سیل‌گیری است تا براساس نتایج حاصله بتوان در رابطه با نحوه استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف از جمله کشاورزی، شهری و صنعتی تصمیم‌گیری نمود و زیان‌های ناشی از سیل را به حداقل ممکن کاهش داد (۸).

نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری دارای مزایایی است که ویلر و همکاران (۳۰)، در مطالعه‌ای در حوضه شهری دریاچه‌ی ویکتوریا در استرالیا، از مدل‌هایی که مبتنی بر

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.1.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.1]

عکس‌های هوایی و DEM هستند استفاده کردند و نقشه آب‌گرفتگی منطقه تهیه‌شده 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 ذینفعان 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 به‌ترتیب اهمیت، نیاز به بررسی دقیق عوامل دارد. البته باید توجه داشت که گاهی ممکن است این عوامل در تعارض با یکدیگر باشند. در این‌صورت به‌روش 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 به‌عنوان 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 بر هم 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 انجام‌شده 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 ازجمله: 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 به‌صورت کیفی بیان می‌کند و مناطقی دارای خطر آب‌گرفتگی هستند تعیین می‌نماید (۱۱). د) تحلیل شبیه‌سازی سناریوهای مختلف درزمینه خطر آب‌گرفتگی شهری و ارزیابی سناریوهای مختلف در مقیاس مکانی (۳۱). این روش نیاز به داده‌های ژئومورفولوژیکی، توپوگرافی و سیستم زهکشی شهری دارد. در برخی منابع از روش‌های ذکر شده توأم با هم استفاده‌شده است (۵).

یکی از روش‌هایی که بر اساس تئوری دمپسر و شفر بنا نهاده شده است[1] مدل تابع شواهد قطعی[2] (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 به‌صورت سیستماتیک و هم به‌صورت 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 به‌کمک آن بتوان مناطقی که بیشتر تحت خطر هستند مشخص نمود (۳). از این‌رو 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 قرا دارند می‌باشد.

مواد و روش‌ها

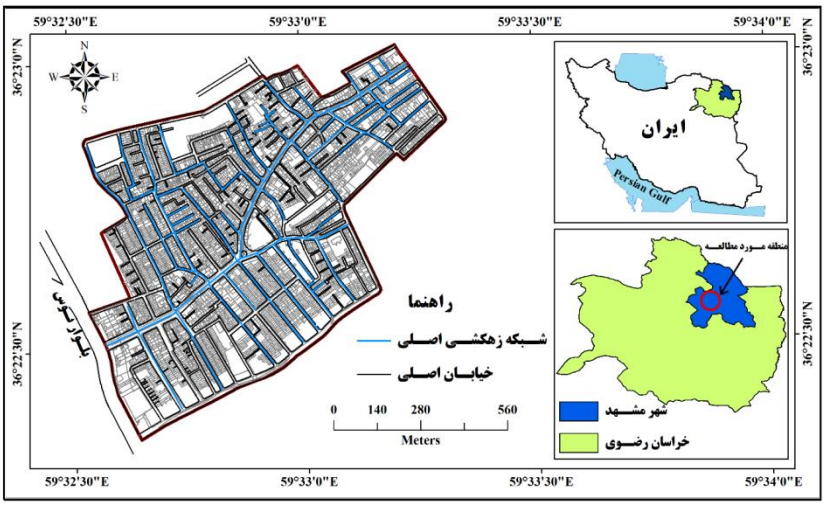
منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد در نیمه جنوب‌غرب دشت کشف رود به‌علت 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).

1- Dempster–Shafer theory

2- Evidential belief function model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.1.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.1]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. The study area

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

در این مطالعه از چهار لایه یا نقشه که عبارت‌اند از: نقشه فاصله از شبکه زهکشی، طبقات ارتفاعی، نقشه تراکم شبکه زهکشی و شیب استفاده شد. برای تهیه نقشه‌های طبقات ارتفاعی، نقشه تراکم شبکه زهکشی و شیب از نقشه کاربری اراضی منطقه که توسط سازمان نقشه‌برداری با مقیاس ۱:۲۰۰۰ در سال ۱۳۸۵ تهیه‌شده استفاده شد. برای تهیه نقشه فاصله از شبکه زهکشی تابع فاصله اقلیدسی[1] در سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS 9.3 استفاده شد. برای تهیه نقشه تراکم شبکه زهکشی از تابع تراکم خطی[2] استفاده گردید.

مدل تابع شواهد قطعی (EBF)

مدل تابع شواهد قطعی براساس تئوری دمپسر و شفر بنا نهاده شده است. برای به‌کارگیری مدل EBF ابتدا باید لایه‌های شماتیک (عوامل مؤثر بر آب‌گرفتگی) به لایه‌های شاهد تبدیل شوند. بعد از آن می‌توان با استفاده از دانش کمی ارتباط مکانی بین نقاط دارای آب‌گرفتگی و عوامل مؤثر بر آب‌گرفتگی شهری، نقشه شاخص پتانسیل آب‌گرفتگی را پیش‌بینی کرد. مدل EBF شامل: Bel (درجه اعتماد)، Dis (درجه عدم اعتماد)، Unc (درجه عدم قطعیت) و Pls (درجه معقول بودن) می‌باشد (۲۳،۱). در تهیه نقشه پتانسیل آب‌گرفتگی بر اساس تابع شواهد قطعی از معادله (۱) استفاده می‌شود:

رابطه (۱)
$$m = 2^{\Theta} = \{\phi, T_P, \overline{T_P}, \Theta\} \qquad With \qquad \Theta = \{T_P, \overline{T_P}\}$$

که در این رابطه: Tp: پیکسل‌هایی که تحت‌تأثیر آب‌گرفتگی می‌باشد، $\overline{Tp}$: پیکسل‌هایی که تحت‌تأثیر آب‌گرفتگی نمی‌باشد و ϕ: مجموعه خالی می‌باشد. بر اساس معادله (۱) تابع اعتماد را می‌توان به‌شرح ذیل محاسبه کرد:

رابطه (۲)
$$\left[\lambda\left(T_P\right)_{A_{ij}}\right] = \left[\frac{N\left(W \cap A_{ij}\right)}{N\left(W\right)}\right] \Big/ \left[\left(N\left(A_{ij} - N\left(W \cap A_{ij}\right)\right)\right) / \left[N\left(P\right) - N\left(W\right)\right]\right]$$

رابطه (۳)
$$\left(Bel\right) = \left(\hat{e}l\left(T_P\right)_{A_{ij}} \hat{u} \Big/ \Sigma \hat{e}l\left(T_P\right)_{A_{ij}} \hat{u}\right)$$

که در آن $N\left(W \cap A_{ij}\right)$: تراکم پیکسل‌های دارای آب‌گرفتگی واقع شده در A_{ij}، $N(w)$: تراکم کل نقاط دارای آب‌گرفتگی که در منطقه مطالعه واقع شده‌اند، $N(A_{ij})$: تراکم پیکسل‌ها در A_{ij}، $N(P)$: تراکم پیکسل‌ها در تمام منطقه مطالعه P. در مقابل تابع عدم اعتماد را می‌توان مطابق فرمول‌های زیر بیان کرد:

1- Euclidean Distance
2- Line density

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.1.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.1]

رابطه (۴)

$$\left(\overline{T}_P\right)_{A_j}=\frac{N(W)-N\left(W \cap A_{ij}\right)}{N(W)}\Big/\left(N(P)-N(W)-N\left(A_{ij}\right)+N\left(W \cap A_{ij}\right)/N(P)-N(W)\right)$$

رابطه (۵)

$$(Dis)=\left[\lambda\left(\overline{T}_P\right)_{A_{ij}}\right]\Big/\Sigma\left[\lambda\left(\overline{T}_P\right)_{A_{ij}}\right]$$

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

رابطه (۶) $(Unc)=1-(Bel)-(Dis)$

رابطه (۷) $(Pls)=1-(Dis)$

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)

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

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[1] 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)[2] شاخصی مناسب جهت تعین دقت مدل‌های پیش‌بینی مکانی و تکنیک‌های داده‌کاوی می‌باشد. رابطه کیفی بین مساحت زیر منحنی (AUC) و دقت پیش‌بینی مدل را می‌توان به‌صورت زیر طبقه‌بندی کرد: ۰/۹-۱ (عالی)، ۰/۸-۰/۹ (خیلی‌خوب)، ۰/۷- ۰/۸ (خوب)، ۰/۶- ۰/۷ (متوسط) و ۰/۵- ۰/۶ (ضعیف) (۳۱).

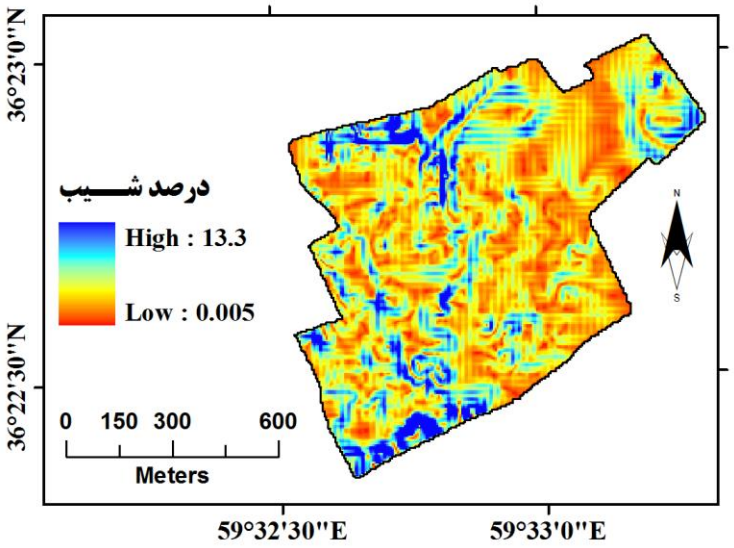
برای ارزیابی کارایی مدل تابع شواهد قطعی در تهیه نقشه پتانسیل آب‌گرفتگی شهری از موقعیت ۱۸ منطقه دارای آب‌گرفتگی بر اساس روش منحنی ROC استفاده گردید.

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

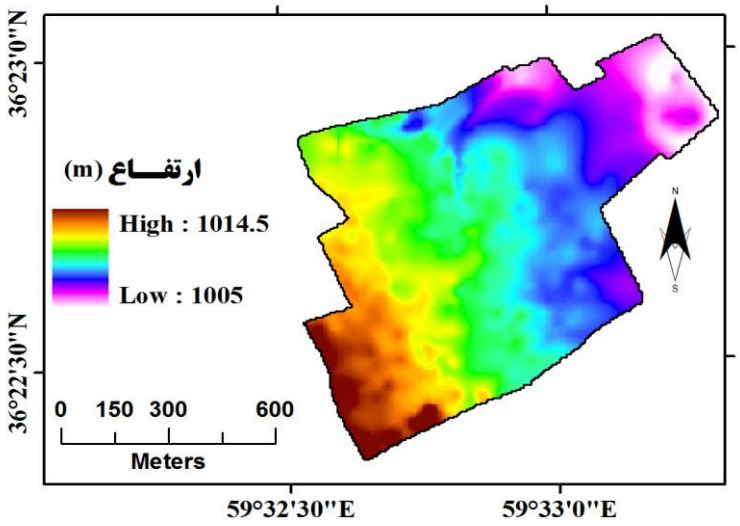
شیب عامل مهمی برای شناسایی نواحی که حساسیت بالایی به جاری شدن سیل دارند می‌باشد و در منطقی که کم شیب هستند احتمال تمرکز رواناب و آب‌گرفتگی بالا است. همچنین شیب حوضه، عامل مهمی در تعیین سرعت آب است. اغلب در منطقه شهری شیب کم است که در این مطالعه نقشه شیب به کلاس‌های شیب کمتر از یک درصد، یک تا سه، و بیشتر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



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

1- Receiver operating characteristic
2- Areas under the curve

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.1.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.1]



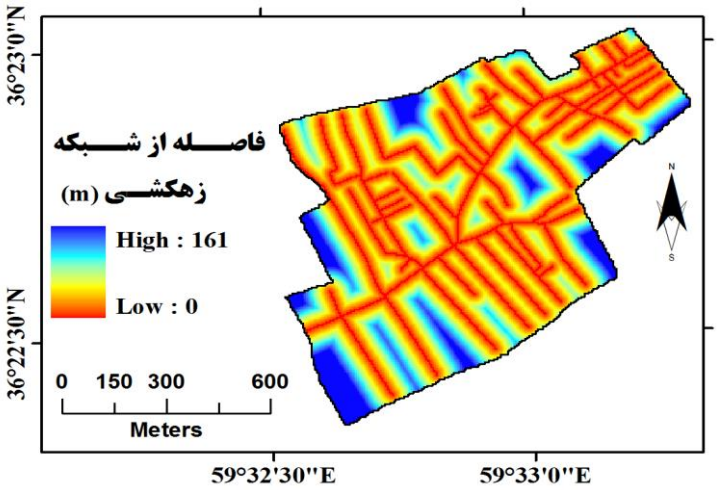
شکل ۳- نقشه عوامل ورودی مدل EBF نقشه طبقات ارتفاعی
Figure 3. EBF model input factors map, elevation map

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 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، ۱۰-۵، ۵۰-۱۰ و بیشتر از ۵۰ تقسیم شد (شکل ۴).

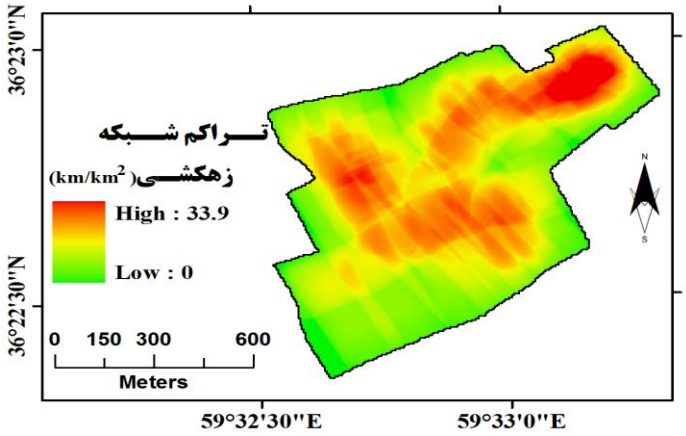


شکل ۴- نقشه عوامل ورودی مدل EBF نقشه فاصله از شبکه زهکشی
Figure 4. EBF model input factors map, distance to the main channel map

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 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).

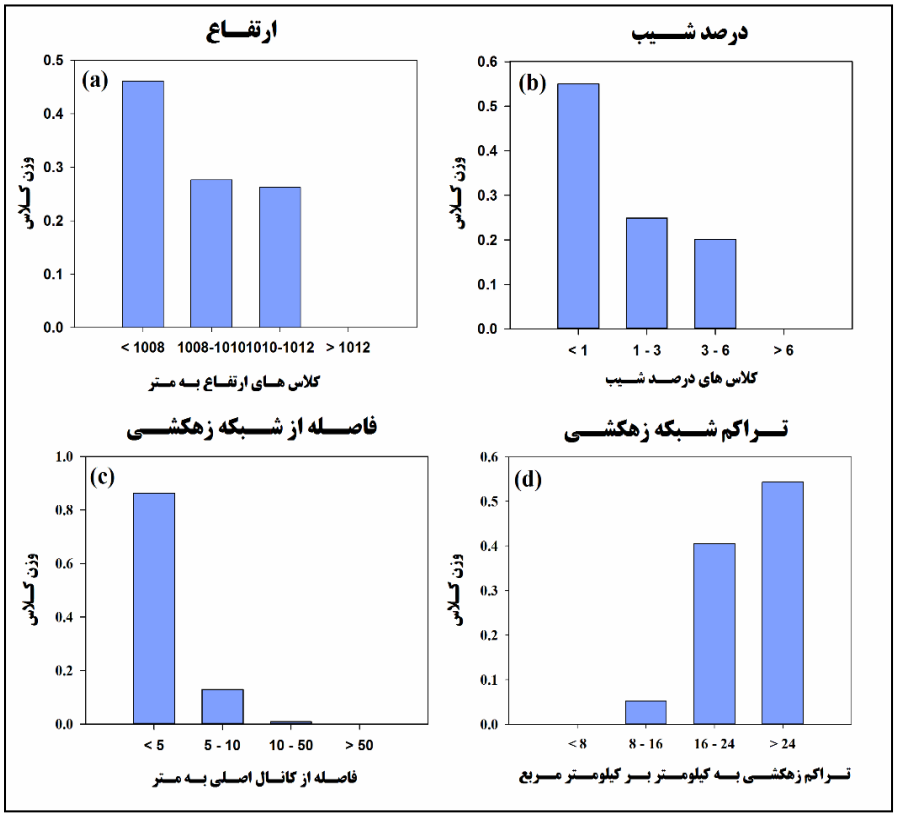
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.1.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.1]



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

نقشه پتانسیل خطر آب‌گرفتگی شهری

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

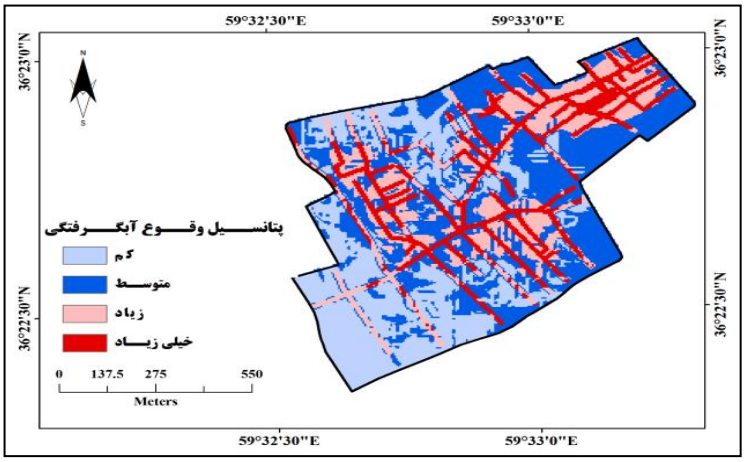


شکل ۶- وزن عوامل مؤثر در وقوع خطر آب‌گرفتگی در منطقه مورد مطالعه
Figure 6. Affecting factors weight in risk of inundation in the study area

نقشه پیش‌بینی پتانسیل خطر آب‌گرفتگی شهری با استفاده از حسابگر رستری تهیه شده و بر اساس منابع مختلف (۲۸،۲۷) نقشه نهایی پتانسیل خطر سیل با استفاده از تکنیک Quantile در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 به چهار کلاس

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.1.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.1]

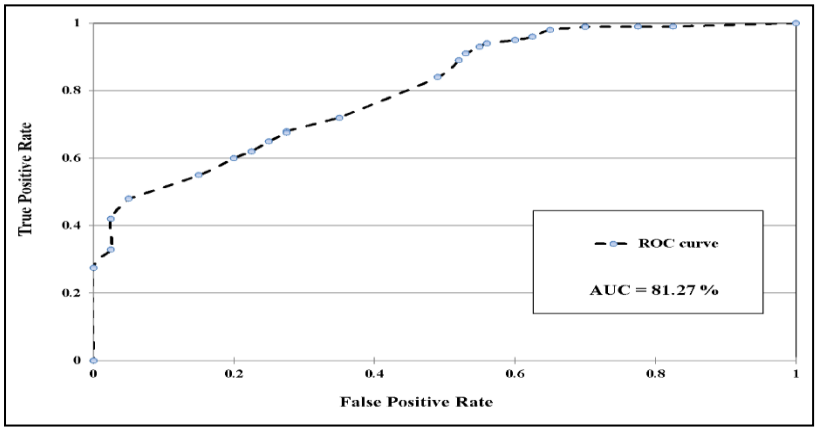
پتانسیل خطر سیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید (شکل ۷). نتایج نشان داد که کلاس‌های با پتانسیل خطر آب‌گرفتگی کم ۲۸/۱ درصد، متوسط ۳۸ درصد، زیاد ۱۸/۶ درصد و خیلی زیاد ۱۵/۳ درصد از منطقه مورد مطالعه را به‌خود اختصاص داده‌اند.



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

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 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.



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

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 و در منطقی 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 هم‌کلاس 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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.1.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.1]

مناطقی 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 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 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 نشان‌داد که مدل تابع شواهد قطعی مطابق با طبقه‌بندی یسیلناکار (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.

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. Moocheshi. 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.1.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.1]

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. Yongchalermchai, 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 Photogerammetrically-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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.1.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.1]

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

Mohammad Rostami Khalaj[1], Omid Rahmati[2], Mostafa Rashidpour[3] and Hossein Salmani[4]

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.rostamikhalaj@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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.1.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.1]