مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۸، زمستان ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۰۵

صفحات: ۶۸ - ۵۱

پهنه بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شهر ساری)

حسن محمودزاده[۱]*، مائده باکویی[۲]

چکیده

هر ساله شاهد هستیم که بلایای طبیعی خسارات عمده مالی و جانی به جوامع انسانی وارد می‌سازد و متأسفانه کشور ما هم هر چند صباحی طعم تلخ این واقع را می‌چشد. سیل، زلزله، خشکسالی، سرمازدگی، طوفان و ... خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می آورد و این تبیین تمهیداتی جهت کاهش خسارات ناشی از این بلایا را می‌طلبد. قطعا قدم اول شناخت و درک این پدیده‌ها می‌باشد. توسعه روند شهرنشینی و تخریب پوشش گیاهی، فرسایش خاک، تغییرات آب و هوایی جهانی اهمیت پرداختن به موضوع سیلاب شهری را بیش از پیش مورد موردتوجه قرار داده است. این تحقیق به منظور پهنه‌بندی خطر سیل در شهر ساری با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره صورت گرفت. با استفاده از نه معیار، فاصله از رودخانه، ضریب رواناب، ضریب CN، تراکم جمعیت، تراکم مسکونی، شیب، کاربری اراضی، قدمت ابنیه و فضای باز توسعه یافت. با تهیه لایه‌های موردنیاز، به تعیین وزن هر لایه براساس میزان اهمیت آن‌ها در بروز سیلاب اقدام گردید. پس از وزن دهی نهایی، لایه‌ها به صورت دو به دو توسط نرم افزار Expert Choice مقایسه و ماتریس حاصل از این مقایسات به نرم افزار Idrisi منتقل و ضریب نهایی برای هرلایه تعیین شد. در نهایت، با اعمال این ضرایب از طریق نرم افزار ArcGIS نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ساری تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد که خطر سیل در مرکز و جنوب شهر از بیشترین مقدار برخوردار بوده است. نقشه پهنه‌بندی خطر سیل نشان می‌دهد که ۲۴/۱۲ درصد از محدوده نقشه در پهنه‌بندی خطر خیلی زیاد و ۳۷/۰۵ درصد در پهنه‌بندی خطر خیلی کم قرار گرفته‌اند. جهت کاهش خطر به مقاوم سازی ساختمان‌های اطراف رودخانه برای کاهش خسارات ناشی از سیل می‌باشد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی سیلاب، شهر ساری، مدل فازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

[۱]- استادیار، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز(نویسنده مسئول) Mahmoudzadehg@tabrizu.ac.ir

[۲]- دانش آموخته کارشناسی ارشد، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز Maedeh_bakooyi@yahoo.com

مقدمه

سیل در میان مخاطرات طبیعی از فراوان‌ترین و ویرانگرترین مخاطرات محیطی هستند که با تأثیر بر زندگی انسان، باعث آسیب‌های شدید اقتصادی در سراسر جهان می‌شوند (Khan et al, 2011). کاملاً مشهود و قابل درک است که تغییرات اقلیمی و آب و هوایی در آینده باعث افزایش شدت و فرکانس سیل در بسیاری از مناطق جهان می‌شود (Jonkman et al, 2012). رشد جمعیت، توسعه شهری و صنعتی شدن جوامع آثار نامطلوبی در هیدرولوژی حوضه آبریز برجای می‌گذارد و به تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی‌ها و کاهش جریان پایه و همچنین کاهش تغذیه سفره آب‌های زیرزمینی می‌انجامد. به بیان دیگر عمده تحولات هیدرولوژیکی ناشی از شهرسازی و نوع کاربری اراضی حوضه‌های شهری را می‌توان در تغییر حجم کل رواناب و تغذیه ناشی از بارندگی و همچنین تغییر در میزان آبدهی سیلاب‌ها و کیفیت آب خلاصه کرد (انصاری‌منش،۱۳۹۱). سیلاب از جمله بلایای طبیعی شناخته شده است که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، همراه با زلزله و خشکسالی، بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد (بهشتی‌راد و همکاران، ۱۳۸۸). اکثر شهرهای ایران در خروجی حوضه‌ها بنا شده‌اند و شهر ساری نیز از این امر مستثنی نیست. افزایش سطوح نفوذناپذیر که ناشی از شهرسازی و احداث ساختمان بر خاک‌های نفوذناپذیر است، طبعاً از سطوح نفوذپذیر حوضه که قادر به جذب بخشی از بارندگی است، کاسته و در نتیجه، بر حجم کل رواناب شهر افزوده است (طاهری بهبهانی و بزرگ‌زاده، ۱۳۷۱). بروند افزایش سیل در ۵ دهه گذشته نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ۸۰ نسبت به دهه ۴۰ تقریبا ۱۰ برابر شده است و به عبارت دیگر ۹۰ درصد افزایش یافته است (عبدی، ۱۳۸۵). سطح روکش‌شده شهر، بام ساختمان‌ها و سطوح خیابان‌ها و پارکینگ‌ها همانند مانعی در برابر نفوذ آب باران به داخل خاک و تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی عمل می‌کند و سبب می‌شود که بخش بیشتری از بارندگی به رواناب سطحی تبدیل شود (اصغری مقدم، ۱۳۸۴، ۱۶۵). پیش‌بینی سیل، به‌عنوان ابزار مدیریت سیلاب، بیش از ۴۰ سال است که در کشورهای در حال توسعه اهمیت یافته و تنها در کشور آمریکا، بیش از ۴۰۰ سامانه پیش‌بینی سیل راه‌اندازی شده است (حیدری، ۱۳۷۹). نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب می‌تواند به منزله ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی مسیر توسعه آینده شهر، همچنین شناخت نواحی‌ای که توسعه زیرساخت‌های تخلیه و زهکشی سیلاب موردنیاز استفاده شود (Buchele et al, 2006).

پژوهش‌های مختلفی در ایران و جهان با این موضوع پژوهش صورت پذیرفته است که می‌توان به مواردی چند اشاره نمود: جیمز و همکاران (۱۹۸۰) اقدام به پهنه‌بندی خطر سیل در ایالت یوتای آمریکا کردند و بیان داشتند که به علت تغییرات مناطق سیل‌گیر از سیلی به سیل دیگر، باید توجه داشت که در مناطق نقشه‌بندی شده، خطرها خیلی زیاد یا کم نشان داده نشوند. هیالمارسون (۱۹۸۸) برای پهنه‌بندی خطر سیل در مناطق آریزونای غربی و شرقی با استفاده از خصوصیات هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی، به بررسی خطرهای تهدید کننده عملیات مهندسی پرداختند. در پایان با توجه به فرسایش کناری سواحل و بستر رودخانه ها و ته نشست رسوبات در هنگام وقوع و فروکش جریان سیل، ضوابط موردنظر در پهنه‌بندی منطقه مورد بررسی و مناطق مشابه را ارائه کردند. لانگ و موهانتی (۱۹۹۷) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، در منطقه ماهانادی واقع در اوراسیای هندوستان، اقدام به پهنه‌بندی سیل کرده و مدیریت سیلاب‌ها براساس پهنه‌بندی را به منزله یک روش غیر سازه‌ای کنترل سیلاب معرفی و آن را بهینه

کردند. کوریا و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافایی و مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، در دشت‌های سیلابی که با توسعه شهری همراه است و در معرض خطر سیل قرار دارند، تأثیر کنترل کاربری اراضی در کاهش خطر سیل را ارزیابی و در ادامه اقدام به پهنه‌بندی و آنالیز سیل کردند. اسلام و سادو (۲۰۰۰) با استفاده از داده‌های سنجش از دور از سیل تاریخی شال ۱۹۸۸ بنگلادش، یک نقشه خطر سیل را برای این کشور به کمک سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی(GIS) تهیه کردند. لین و همکاران (۲۰۰۰) پهنه‌بندی حوزه‌ی آبخیز کارولینای شمالی را به منزله BMPs (مناسب ترین اقدام مدیریتی) بررسی و آن را به عنوان عملکردی بسیار مفید در مدیریت حوزه‌های آبخیز معرفی کردند. یانگ و تسای (۲۰۰۰) مدلی به نام FGIS را برای پهنه‌بندی خطر سیلاب، محاسبات خصوصیات سیل و نشان دادن خصوصیات سیل در کشور تایوان طراحی کردند. در این مدل علاوه بر شبیه سازی دشت سیلابی، از منحنی عمق خسارت نیز برای تعیین مقدار خسارت استفاده کردند. پلات (۲۰۰۲) در تحقیقات خود با نام خطر سیل و مدیریت آن، پهنه‌بندی خطر را به عنوان شیوه کاملاً مشخصی برای سامان دهی و مدیریت خطرهای ناشی از عوامل طبیعی، زیست محیطی یا انسانی که از بین آن‌ها سیل نیز بسیار بارزتر است، تعریف کرد. حسین‌زاده و جهادی (۱۳۸۶)، تأثیر گسترش شهر مشهد را بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری مطالعه کرده‌اند. نتایج نشان داد که گسترش شهر به طور مستقیم و غیر مستقیم موجب تشدید سیل‌خیزی در این شهر گردیده است. امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی با عنوان ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار با استفاده از نرم‌افزارهای Export Choice و Arc GIS و Idrisi اقدام به پهنه‌بندی نمود. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با نام ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر تبریز با استفاده از روش AHP با استفاده از نرم افزار ArcGIS اقدام به پهنه بندی خطر سیل نمود و نقشه پهنه بندی خطر سیل را ترسیم کرده و همچنین نقشه ارزیابی خسارت شهر تبریز را نیز ترسیم کرده‌اند.

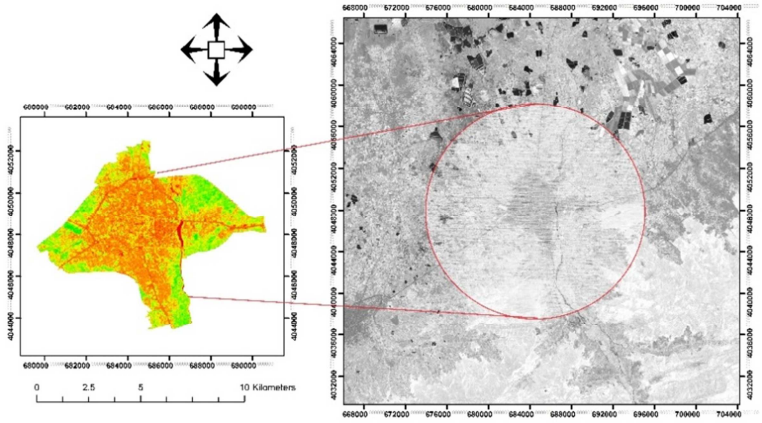
دسترسی به اطلاعات دیجیتال و کارآیی تحلیل‌های کامپیوتری، GIS نقش بسزایی را ایفا نموده است. با رشد و توسعه فناوری‌های نوین، روش‌های موجود تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل و محیط نمایش آن‌ها نیازمند استفاده از ابزاری مؤثر است. نقش GIS به عنوان ابزاری قدرتمند همچنان رو به افزایش است. چنین سیتمی توانایی قابل ملاحظه برای مدیریت سیل، قبل از وقوع سیل و حتی مدیریت بحران و امداد و نجات را در اختیار مدیران و کارشناسان مربوطه قرار می‌دهد.

هدف کلی این تحقیق پهنه بندی شهر ساری براساس میزان خطرپذیری سیلاب و اهداف جزئی آن شامل: تهیه نقشه ها و لایه‌های لازم برای پهنه‌بندی و وزن دهی به لایه‌های مؤثر در سیلاب است. در این پژوهش سعی شده است که به دلیل افزایش بیش از حد وقوع سیلاب در مناطق شمال کشور، اقدام به بررسی، تجزیه و تحلیل و خطرات ناشی از وقوع سیلاب‌های بی رویه بپردازیم. بیشتر تحقیقات قبلی انجام شده در مناطق خشک صورت گرفته زیرا در این مناطق سیلاب به صورت ناگهانی و همیشگی بوده است، اما به دلیل تغییرات آب و هوایی، شمال کشور بیش از پیش در خطر وقوع این سیلاب‌های ناگهانی قرار گرفته است. ما با توجه به سابقه سیلاب و همچنین نقشه‌های مختلف به

بررسی و کاهش خطرات سیلاب‌های ناگهانی پرداختیم تا ما بتوانیم از خسارات مالی، جانی و اقتصادی آتی در شهر جلوگیری نماییم.

منطقه مورد مطالعه

شهر ساری با جمعیت ۲۹۶۴۱۷ نفر از لحاظ موقعیت جغرافیایی در طول شرقی ۵۳ درجه و عرض شمالی ۳۶ درجه واقع شده است. از لحاظ موقعیت طبیعی، این شهر در جنوب دریای مازندران و در منطقه جلگه‌ای شهرستان ساری قرار گرفته است. رودخانه تجن که از پرآب ترین رودخانه‌های شهرستان ساری می‌باشد از ارتفاعات جنوبی شهرستان سرچشمه گرفته و از بخش شرقی شهر عبور می‌نماید. از لحاظ توپوگرافی عمومی شهر ساری در طبقه ارتفاعی ۱۰۰ – ۰ استقرار یافته و شیب عمومی شهر از جنوب به شمال و بسیار ملایم است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه *(منبع: نگارندگان)*

مبانی نظری تحقیق

پوشش گیاهی

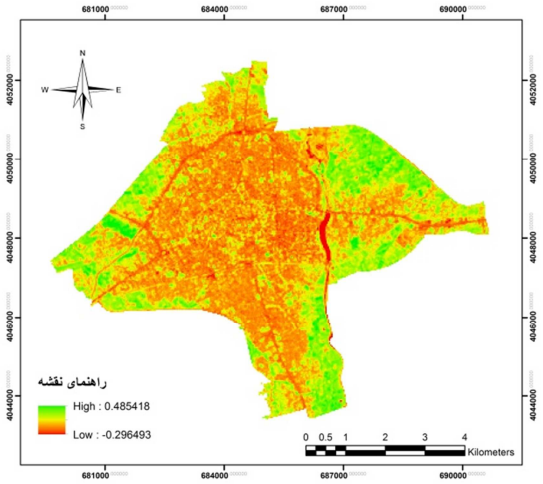
به عنوان یکی از عمده‌ترین طبقات کاربری اراضی، پوشش گیاهی نقش مهمی در قضاوت افراد در مورد پهنه بندی سیلاب دارد. سرسبزی بالا باعث کاهش بروز سیلاب در منطقه می‌شود. سرسبزی مربوط به پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI[1]) اندازه گیری می‌شود. با استفاده از تصویر ETM+[2]، شاخص پوشش گیاهی براساس رابطه ذیل بدست می‌آید:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (۱)$$

که NIR نشان دهنده باند مادون قرمز نزدیک و R نشان دهنده باند قرمز می‌باشد. شاخص NDVI دارای دامنه ۱+ تا ۱- می‌باشد که به سمت ۱+ نشان دهنده افزایش پوشش گیاهی و به سمت ۱- نشان دهنده کاهش پوشش گیاهی

1- Normalized Difference Vegetation Index
2- Enhanced Thematic Mapper Plus

است. برای استخراج پوشش گیاهی از تصویر +ETM بدین منظور شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) به کار گرفته شده که نتیجه آن به صورت نقشه در زیر آمده است:



شکل ۲: نقشه پوشش گیاهی شهر ساری *(منبع: نگارندگان)*

خصوصیات فیزیکی حوضه

شامل مساحت حوضه، محیط حوضه، طول حوضه، شکل حوضه و ارتفاع حوضه می‌باشد. خصوصیات فیزیکی حوضه-های آبریز را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم‌بندی کرد: خصوصیات مربوط به پستی و بلندی و خصوصیات مربوط به نفوذپذیری. این دو ویژگی از عوامل مؤثر بر ایجاد رواناب و سیل می‌باشند.

مساحت حوضه: بارزترین مشخصه حوضه می‌باشد. دبی سیلاب و حجم رواناب حوضه به طور مستقیم به مساحت حوضه بستگی دارد. هرچند مساحت کل حوضه بر مقدار و شدت رواناب مؤثر است اما تفکیک بخش‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر حوضه و تعیین مقدار یا درصد مربوط به مساحت هرکدام از آن‌ها بهتر می‌تواند چهره حوضه را از نظر سیل خیزی روشن کند.

خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه

شامل زمان تمرکز، شدت بارندگی، ارتفاع رواناب، حجم رواناب، شدت-مدت-دوره بازگشت می‌باشد.

زمان تمرکز: برای نشان دادن عکس‌العمل حوضه نسبت به بارندگی از نمایه زمان تمرکز حوضه استفاده می شود.

$$Tc = 0.0949(L3/H)0.385 \qquad (۲)$$

حجم رواناب: یکی از کاربردی‌ترین پارامترها در ارزیابی سیلاب شهری. اندازه گیری حجم رواناب هر زیرحوضه می-باشد که مقدار آن بر حسب مترمکعب، حاصلضرب مقدار بارندگی و مساحت حوضه می‌باشد.

ضریب رواناب (C)

حاصل از نسبت تقسیم ارتفاع رواناب (R) بر ارتفاع بارندگی (P) می‌باشد. ضریب رواناب به صورت میانگین وزنی و با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$C = Ci\,Ai / \sum A \qquad (۳)$$

در جدول شماره ۲ ضریب رواناب سطوح مختلف براساس سلیمانی، ۱۳۹۴تهیه و تنظیم گردیده است.

ضریب (CN)

شماره منحنی رواناب (CN) یک پارامتر مربوط به خصوصیات حوضه بوده که بین صفر تا صد متغیر است و مقادیر آن به گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شرایط و نوع پوشش خاک، درصد مناطق غیرقابل نفوذ در حوضه و شرایط رطوبت پیشین خاک بستگی دارد. مقادیر آن در جدول زیر برای کاربری‌های مختلف شهری آورده شده است (مهدوی، ۱۳۸۶).

جدول ۲: شماره منحنی(CN) رواناب برای حوضه‌های شهری *(مهدوی، ۱۳۸۶)*

نوع پوشش هیدرولوژیکی	A	B	C	D
مناطق باز (پارک، گورستان، زمین بازی)				
شرایط ضعیف پوشش علفی < ۵۰٪	۶۸	۷۹	۸۶	۸۹
شرایط متوسط پوشش علفی < ۵۰٪- ۷۵٪	۴۹	۶۹	۷۹	۸۴
شرایط خوب پوشش علفی > ۷۵٪	۳۹	۶۱	۷۴	۸۰
غیر قابل نفوذ	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
خیابان و جاده ها				
پیاده رو با آبراهه های دفع رواناب	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
پیاده رو با آبراهه های روباز	۸۳	۸۹	۹۲	۹۳
جاده شوسه	۷۶	۸۵	۸۹	۹۱
جاده خاکی	۷۲	۸۲	۸۷	۷۹
مناطق تجاری		۹۲	۹۴	۹۵
مناطق صنعتی	۸۱	۸۳	۹۱	۹۳
مناطق مسکونی با متوسط قطعات (برحسب مترمربع)				
زیر ۵۰۰	۷۷	۸۵	۸۹	۹۲
۱۰۰۰	۶۰	۷۵	۸۳	۸۷
۱۳۵۰	۵۲	۵۷	۸۶	۸۱
۲۰۰۰	۵۴	۷۰	۸۰	۸۵
۴۰۰۰	۵۱	۶۸	۷۹	۸۴
۸۰۰۰	۴۵	۶۵	۷۷	۸۲
مناطق تازه تسطیح شده درحال توسعه	۷۷	۸۶	۹۱	۹۴

جدول ۳: گروه بندی هیدرولوژیکی خاک *(مهدوی، ۱۳۸۶)*

گروه هیدرولوژیک	نفوذپذیری	بافت خاک
A	۱۱/۴۳ -۷/۶۲	سنگریزه/ماسه ای درشت/ماسه دانه ریز/ماسه/ماسه تا ماسه لومی/ماسه لومی
B	۷/۶۲ -۳/۸۱	ماسه لومی تا لوم ماسه ای/لوم ماسه ای/لوم ماسه ای تا لوم/لوم تا ماسه و گراول/لوم/لوم تا رس/لوم تا لوم سیلتی/لوم رسی/ماسه و گراول
C	۳/۸۱ -۱/۲۷	رس لومی/رس لومی تا رس لومی سیلتی/سیلت لومی/رس لوم سیلتی/سیلت لومی تا رس لومی سیلتی/رس ماسه ای لومی/رسلومی سیلتی تا رس سیلتی/رس سیلتی/رس سیلتی تا رس
D	۱/۲۷ -۰/۵	رس/تورب

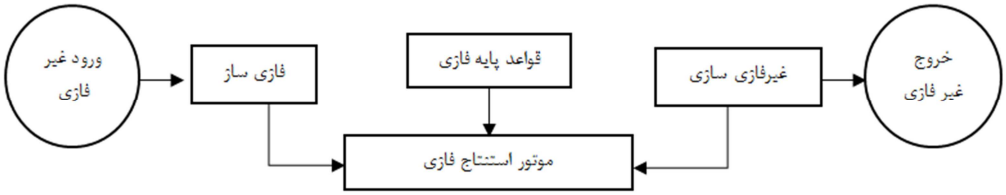
جدول ۴: ضریب رواناب سطوح مختلف *(مهدوی، ۱۳۸۶)*

سطوح روکش شده	ضریب رواناب
آسفالت و بتن	۰/۹۵ -۰/۷
آجر	۰/۸۵ -۰/۷
ریگ و قلوه سنگ	۰/۶۰ -۰/۲۵
پیاده روها و جاده های شن ریزی شده	۰/۳۰ -۰/۱۵
خیابان و پیاده روهای قیرپاشی شده شیب ۰ تا ۳ درصد	۰/۸۵
خیابان و پیاده روهای قیرپاشی شده شیب ۳ تا ۶ درصد	۰/۹
خیابان و پیاده روهای قیرپاشی شده شیب بیش از ۶ درصد	۰/۹۵
آسفالت و بتن	۰/۹۵ -۰/۷
خیابان های فرعی با شیب ۰ تا ۵ درصد	۰/۹۵ -۰/۷۵
خیابان های فرعی با شیب بیش از ۵ درصد	۰/۹۵
پشت بام های پرشیب	۰/۹
بام های مسطح و کم شیب	۰/۷۵ -۰/۵۰
خاک های شنی با شیب کم (تا ۲ درصد)	۰/۱ -۰/۰۵
خاک های شنی با شیب متوسط	۰/۱۵ -۰/۱
خاک های شنی با شیب زیاد (بالای ۷ درصد)	۰/۱ -۰/۱۵
خاک های رسی با شیب کم (تا ۲ درصد)	۰/۱۷ -۰/۱۳
خاک های رسی با شیب متوسط	۰/۲۲ -۰/۱۸
خاک های رسی با شیب زیاد (بالای ۷ درصد)	۰/۳۵ -۰/۲۵
اراضی بایر و توسعه نیافته	۰/۰۵
باغ ها	۰/۱
میادین بازی و ورزش	۰/۲
سطوح روکش شده	ضریب رواناب
آسفالت و بتن	۰/۹۵ -۰/۷
آجر	۰/۸۵ -۰/۷
ریگ و قلوه سنگ	۰/۶۰ -۰/۲۵

پیاده روها و جاده های شن ریزی شده	۰/۱۵ -۰/۳۰
خیابان و پیاده روهای قیرپاشی شده شیب ۰ تا ۳ درصد	۰/۸۵
خیابان و پیاده روهای قیرپاشی شده شیب ۳ تا ۶ درصد	۰/۹
خیابان و پیاده روهای قیرپاشی شده شیب بیش از ۶ درصد	۰/۹۵
آسفالت و بتن	۰/۷ -۰/۹۵
خیابان های فرعی با شیب ۰ تا ۵ درصد	۰/۷۵ -۰/۹۵
خیابان های فرعی با شیب بیش از ۵ درصد	۰/۹۵
پشت بام های پرشیب	۰/۹
بام های مسطح و کم شیب	۰/۵۰ -۰/۷۵
خاک های شنی با شیب کم (تا ۲ درصد)	۰/۰۵ -۰/۱
خاک های شنی با شیب متوسط	۰/۱ -۰/۱۵
خاک های شنی با شیب زیاد (بالای ۷ درصد)	۰/۱۵ -۰/۱
خاک های رسی با شیب کم (تا ۲ درصد)	۰/۱۳ -۰/۱۷
خاک های رسی با شیب متوسط	۰/۱۸ -۰/۲۲
خاک های رسی با شیب زیاد (بالای ۷ درصد)	۰/۲۵ -۰/۳۵
اراضی بایر و توسعه نیافته	۰/۰۵
باغ ها	۰/۱
میادین بازی و ورزش	۰/۲

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی و سیل‌گیری شهر ساری از لایه‌های کاربری اراضی، تراکم مسکونی، تراکم جمعیتی، لایه شیب، فاصله از رودخانه، فضای باز، ضریب رواناب، ضریب CN[1] (شماره منحنی) و لایه قدمت ابنیه استفاده شده است. مراحل انجام پژوهش فراهم آوردن داده‌های اولیه، آماده کردن آن‌ها در محیط GIS، آنالیز تصمیم چندمعیاره و تهیه نقشه‌بندی خطر سیل می‌شود. محاسبه وزن‌ها پس از استاندارد شدن فازی صورت گرفته و وزن‌ها از طریق نرم افزار Expert Choice صورت گرفت و پس از به دست آوردن وزن‌ها وارد محیط Idrisi شد و مرحله Fuzzy در این نرم افزار به اجرا در آمد.



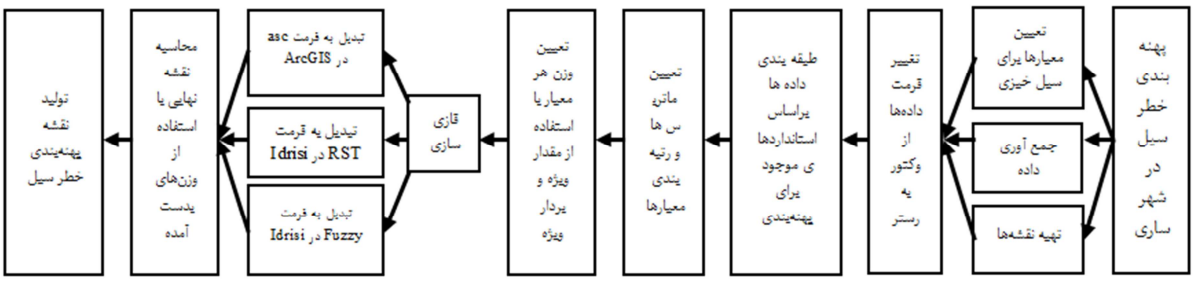
شکل ۳: نمایش یک سیستم فازی *(منبع: عطایی، ۱۳۸۹)*

[1] Curve Number

با توجه به این که پدیده‌هایی نظیر سیلاب تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی و صد در صدی نیستند، بنابراین بهتر است در مطالعه چنین پدیده‌هایی به جای استفاده از مدل بولین که لازمه آن داده های دقیق و کمی است، از مدل فازی استفاده شود. با استفاده از نظریه فازی می‌توان متغیرهای نادقیق و مبهم را به شکل ریاضی درآورد (مومنی، ۱۳۷۸).

تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی برای اولین بار توسط پروفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ در رساله ای به نام (مجموعه‌های فازی-اطلاعات و کنترل) معرف شد. در این پژوهش از عملگر گاما فازی استفاده شده است که نقش تعدیلی نسبت به نتیجه جمع و ضرب فازی دارد و حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی را تعدیل کرده و به وتقعیت نزدیک‌تر می‌کند. این عملگر برحسب حاصلضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی تعریف می‌شود. مقدار در نظر گرفته شده برای گاما مقادیری در خروجی ایجاد میکند که با اثر افزایشی جمع جبری و اثر کاهشی ضرب جبری فازی سازگاری دارد. پس باید در نظر داشت که انتخاب صحیح مقدار گاما در بالا بردن دقت کار بسیار مفید است. با توجه به مطالعات انجام شده و نتایج آن‌ها و نیز اجرا و مقایسه مقادیر مختلف گاما، در نهایت از گامای ۰/۹ استفاده شد.

بعد از تعیین فاکتورها از نقشه‌های رقومی موجود، اسناد مکتوب، آمارنامه‌ها و گزارش‌های مختلف برای تهیه نقشه‌ها و اطلاعات موردنیاز استفاده شد که پس از ویرایش و تعریف روابط توپولوژیک وارد نرم افزار ArcGIS شدند. همچنین برای پهنه‌بندی محدوده خطر از مدل‌های پیشرفته‌ای همچون FUZZY استفاده گردید.



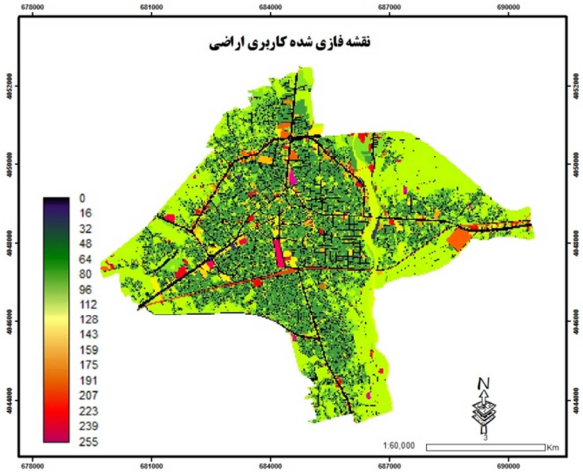
شکل ۴: روند نمای انجام مراحل تحقیق *(منبع: نگارندگان)*

لایه‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتست از:

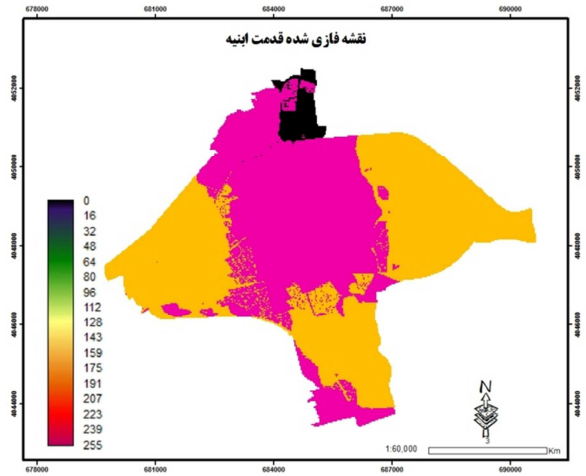
جدول ۵: منابع داده ها ***(منبع: نگارندگان)***

نقشه	منابع
نقشه کاربری اراضی	نقشه شهر ساری با دقت ۱:۵۰۰۰
نقشه مسیل	نقشه شهر ساری با دقت ۱:۵۰۰۰

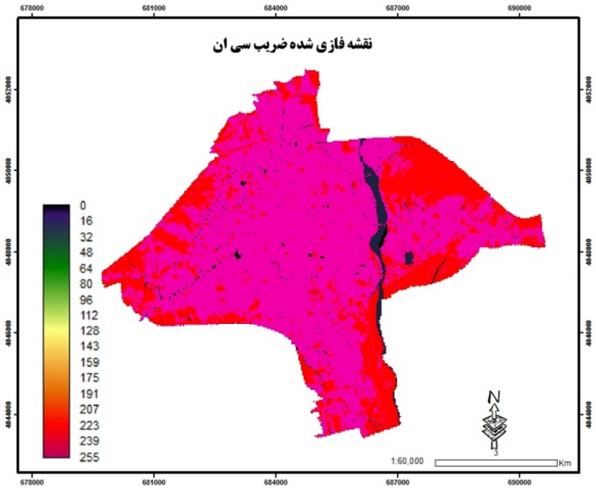
نقشه شیب	مدل رقومی ارتفاعی (DEM[1]) با قدرت تفکیک ۱۰ متر
نقشه ضریب CN	نقشه کاربری اراضی، بافت خاک و هیدرولوژیک خاک
نقشه پوشش گیاهی	تصاویر لندست ۸
نقشه ضریب رواناب	پوشش گیاهی، بافت خاک وشیب منطقه
نقشه تراکم جمعیت	اطلاعات سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۰
نقشه تراکم مسکونی	اطلاعات سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۰
نقشه فضای باز	لایه کاربری اراضی
نقشه قدمت ابنیه	براساس صدور پایان کار(معاونت شهرسازی و معماری شهرداری شهر ساری، ۱۳۹۳)



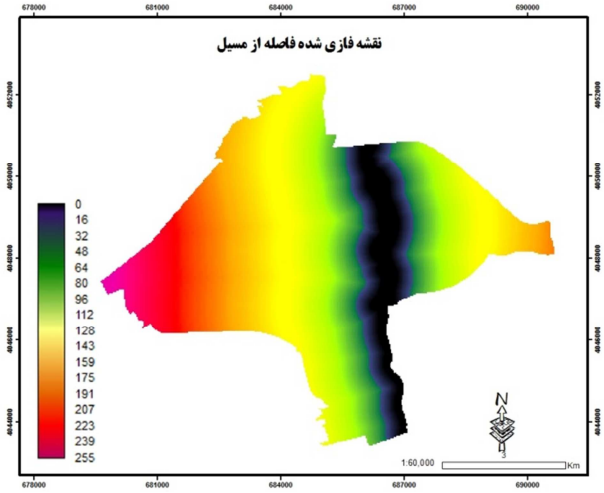
شکل ۵: کاربری اراضی شهر ساری



شکل ۶: قدمت ابنیه شهر ساری

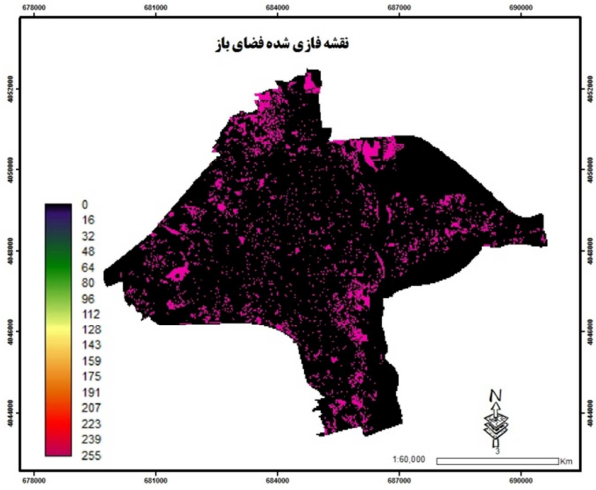


شکل ۷: ضریب cn شهر ساری

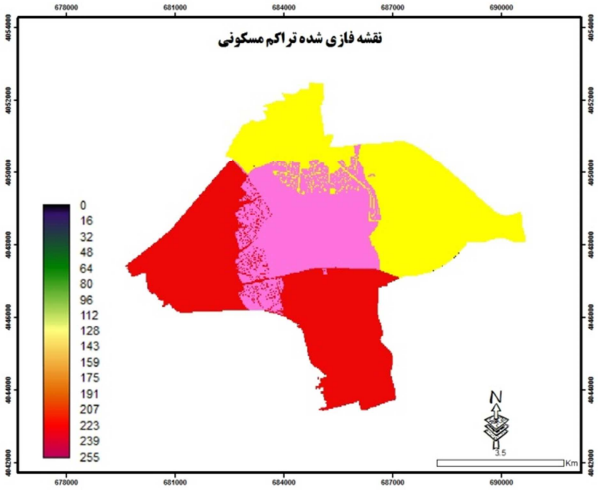


شکل ۸: فاصله از مسیل شهر ساری

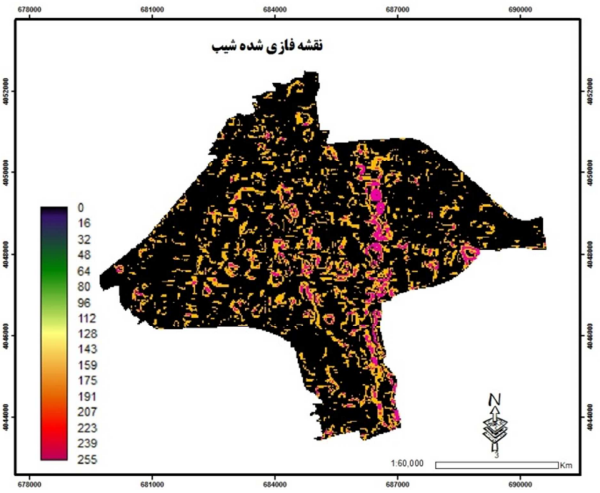
1- Digital Elevation Model



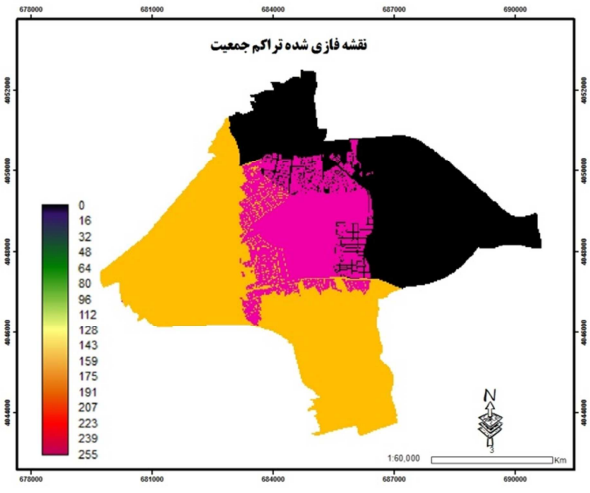
شکل ۹: فضای باز شهر ساری



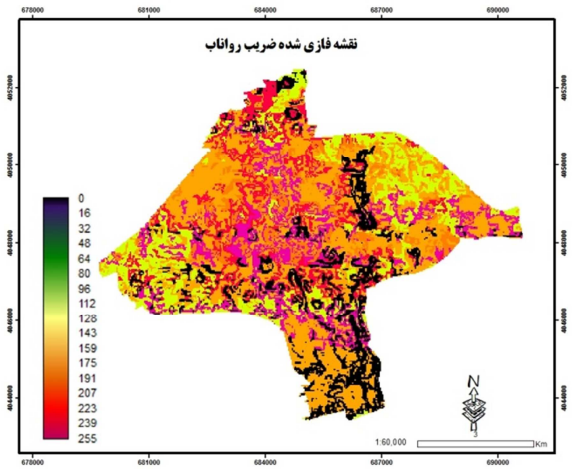
شکل ۱۰: تراکم مسکونی شهر ساری



شکل ۱۱: شیب شهر ساری



شکل ۱۲: تراکم جمعیت شهرساری

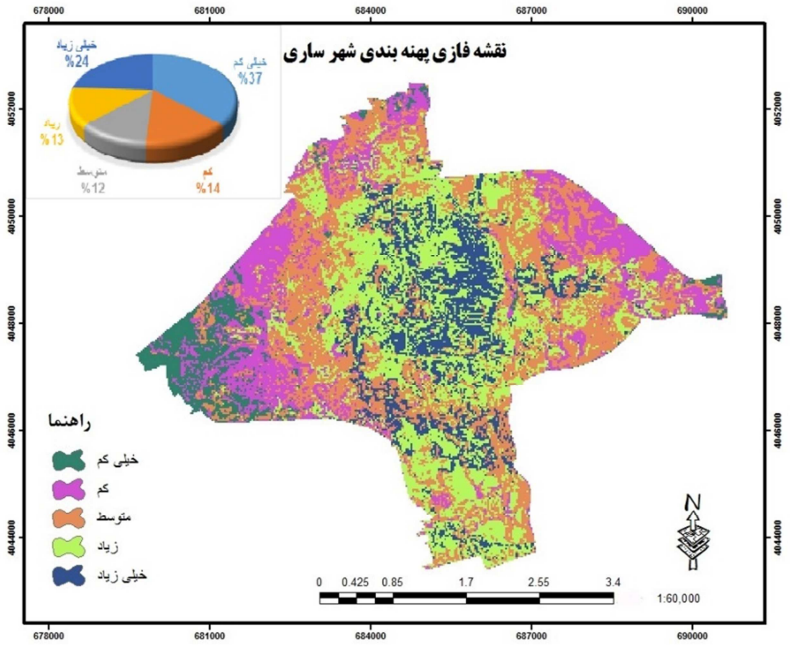


شکل ۱۳: ضریب رواناب شهر ساری

نتایج و بحث

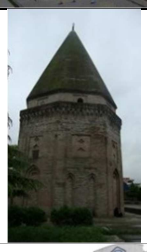
همانگونه که بیان گردید وجود معیارهای مختلف و گاه متضاد برای تصمیم‌گیری کاربرد روش‌های چندمتغیره را الزامی می‌سازد. در این پژوهش نیز از معیارهای مختلف طبیعی و انسانی برای رسیدن به هدف استفاده گردید. طی این فرآیند ابتدا شاخص های طبیعی و انسانی مورد نیاز و تاثیرگذار در قالب ۹ شاخص فاصله از مسیل، قدمت ابنیه، تراکم مسکونی، تراکم جمعیتی، شیب، ضریب رواناب، ضریب CN، کاربری اراضی، فضای باز، تهیه و ویرایش شدند.

ابتدا لایه‌ها را در محیط ArcGIS به فرمت asci تبدیل کرده و سپس به محیط Idrisi وارد می‌کنیم و با فرمت RST ذخیره می‌کنیم. بعد از آن در محیط Idrisi، لایه‌ها را جداگانه به صورت فازی ذخیره می کنیم و در نهایت با استفاده از مدل فازی و دادن وزن‌ها به هرکدام از لایه‌ها، نقشه نهایی یا همان نقشه پهنه بندی خطر سیل را تهیه می‌کنیم. نقشه را به محیط ArcGIS وارد کرده و با استفاده از Reclassify نقشه را به ۵ کلاس با خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد کلاس‌بندی می‌کنیم.



شکل ۱۴: نقشه پهنه بندی سیلاب شهر ساری *(منبع: نگارندگان)*

جدول ۶: بررسی میزان خطر در کاربری ها *(منبع: نگارندگان)*

نام کاربری	تصویر	فاصله از رودخانه (متر)	میزان خطر
پارک و فضای سبز		لب رودخانه واقع شده اند	خیلی زیاد
مذهبی		۹۰۰-۱۰۰۰	کم
بهداشتی		۳۰۰-۵۰۰	متوسط
تجاری		۱۰۰-۲۰۰	زیاد
مسکونی		۱۰۰-۲۰۰	زیاد

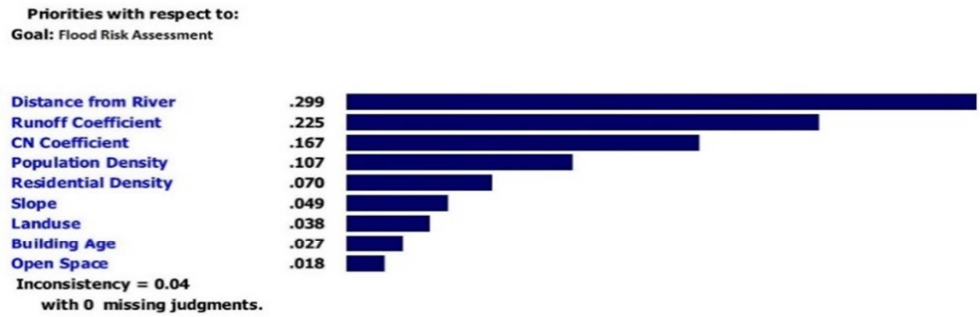
جدول ۷: جدول روش ترکیبی خطی وزن دار *(منبع: نگارندگان)*

لایه نقشه	حد آستانه		تابع عضویت	نوع تابع فازی	نام تابع فازی
	b یا d	a یا c			
فاصله از رودخانه	۶۷۱۴/۲۴	۰	$M_A(x)=\begin{cases}0, x\le 500\\ \frac{x-500}{1000-500} \quad 500<x<1000\\ 1, x>1000\end{cases}$	افزایشی	Linear

تراکم جمعیت	۳	۱	$if(x)=\begin{cases}0, & \text{بدون جمعیت}\\ 0.2, & \text{تراکم کم}\\ 0.6, & \text{تراکم متوسط}\\ 0.8, & \text{تراکم زیاد}\end{cases}$	-	User defined
شیب	۵	۱	$M_A(X)\begin{cases}1, x\le 10\\ \frac{1}{2}\left[1+\cos\left[\pi\frac{x-10}{30-10}\right]\right], 10\le x 30\\ 0, x>30\end{cases}$	کاهشی	sigmodial
تراکم ساختمانی	۱۲۱۴	۰	$if(x)\begin{cases}.2, & \text{بدون ساختمان}\\ .4, & \text{تراکم کم}\\ .6, & \text{تراکم متوسط}\\ .8, & \text{تراکم زیاد}\\ 1, & \text{تراکم خیلی زیاد}\end{cases}$	-	User defined
ضریب رواناب	۰/۶۵	۰/۱۶	$M_A(x)\begin{cases}0, x=0.1\\ \frac{1}{2}\left[1-\cos\left[\pi\frac{x-0.1}{0.8-0.1}\right]\right]\\ 1, x=0.8\end{cases}, 0.1<x<0.8$	افزایشی	Linear
کاربری اراضی	۲۱	۱	$if(x)\begin{cases}.2, & \text{پارک و فضای سبز تجهیز شده بایر، مذهبی، بهداشتی، ورزشی}\\ .4, & \text{اراضی باغی، آموزشی، درمانی، جهانگردی، اداری و انتظامی}\\ .6, & \text{کشاورزی، کارگاهی صنعتی، فرهنگی، نظامی، تجاری}\\ .7, & \text{حمل نقل و انبار، دامداری}\\ .8, & \text{تاسیسات و تجهیزات شهری}\\ & \text{مسکونی}\end{cases}$	-	User defined
عمر ابنیه	۳	۱	$if(x)\begin{cases}.1, & \text{بایر}\\ .2, & \text{نوساز}\\ .6, & \text{تعمیری}\\ .8, & \text{تخریبی}\end{cases}$	-	User defined
ضریب CN	۸۴	۲۵	$M_A(X)\begin{cases}0, x=67\\ \frac{1}{2}\left[1-\cos\left[\pi\frac{x-67}{92-67}\right], 67<x<92\right]\\ 1, x=92\end{cases}$	افزایشی	Linear
فضای باز	۲	۱	$if(x)\begin{cases}.2, & \text{فضای باز}\\ .8, & \text{متراکم}\end{cases}$	-	User defined

یکی از روش‌های ارزیابی و وزن دهی، روش تحلیل سلسله مراتبی است که به وسیله پروفسور توماس-ال-ساعتی (Saaty) در سال ۱۹۸۰ مطرح گردید که از طریق نرم افزار Expert Choice امکان ایجاد اتخاذ تصمیمی منطقی در راستای انتخابی مطلوب را برای تصمیم گیرنده فراهم می‌کند (Tolga, 2005). این نرم افزار نتایج مقایسات را به

شکل جدول و انواع نمودار نمایش می‌دهد. یکی از مزایای این نرم افزار آن است که همزمان با مقایسات، نرخ ناسازگاری را نیز نمایش می‌دهد که در مقایسه معیارهای مربوطه، نرخ سازگاری ۰/۰۲ است.



شکل ۱۵: وزن لایه‌ها در نرم افزار Expert Choice *(منبع: نگارندگان)*

نتیجه‌گیری

نقشه خطر سیل می‌تواند در تعیین مکان‌های توسعه استفاده شود تا از ریسک آسیب‌پذیری مردم و خسارت کاربری ها بکاهد. نقشه آسیب‌پذیری منطقه، وضعیت ساختمان‌ها نسبت به سیل را نشان می‌دهد و بیان می کند که در قسمت‌هایی که آسیب‌پذیری درجه بالایی دارد، باید عملیات کنترل سیلاب و سیستم‌های هشداردهنده سیلاب در نظر گرفته شود.

نقشهٔ خطر سیل شهری ابزار جدیدی است که می‌تواند به برنامه ریزان و تصمیم گیرندگان شهری، برای مثال در ارزیابی کارآمدی زیرساخت‌های شبکه‌ی زهکشی و اقدامات توسعه‌ای مورد نیاز آن‌ها به منظور کاهش خطرپذیری جمعیت و تأسیسات شهری از خسارت‌های سیلاب، کمک کند.

در این پژوهش خطر سیلاب در محدوده شهر ساری، با استفاده از منطق فازی با درجات مختلف معین شده است. در پهنه‌بندی سیلاب لایه‌های شیب، تراکم مسکونی، تراکم جمعیت، ضریب رواناب، ضریب CN، فضای باز، کاربری اراضی، فاصله از مسیل و قدمت ابنیه استفاده شده است. سپس به هریک از لایه‌ها براساس میزان تأثیر آن‌ها در خطر سیل وزن داده شد و وارد مدل گردیدند. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده در سیلاب، پهنه های با خطر بسیار زیاد در بخش مرکزی و جنوبی شهر واقع گردیده‌اند. نواحی کم خطر نیز در مناطقی دور از رودخانه که شیب کمتری دارند واقع شده‌اند. نقشه پهنه بندی خطر سیل نشان می‌دهد که ۲۴/۱۲ درصد از محدوده نقشه در پهنه‌بندی خطر خیلی زیاد، ۱۲/۹۵ درصد در پهنه‌بندی خطر زیاد، ۱۱/۷۶ درصد در پهنه‌بندی خطر متوسط، ۱۴/۱۲ درصد در پهنه بندی خطر کم و ۳۷/۰۵ درصد در پهنه‌بندی خطر خیلی کم قرار گرفته‌اند.

به طور کلی، می‌توان اظهار داشت که نقشه‌های پهنه‌بندی خطرات طبیعی به مدیریت غیرسازه‌ای سیل کمک می کنند و به برنامه‌ریزان این امکان را می‌دهند تا بخش‌های امن‌تر از نظر سیل خیزی را برای توسعه انتخاب کنند. با استفاده از ایجاد دیوارهایی مناسب جهت کاهش خطر می‌توان اقدام نمود. یکی دیگر از پیشنهادات مقاوم سازی ساختمان‌های اطراف رودخانه برای کاهش خسارات ناشی از زلزله می‌باشد.

منابع

اصغری مقدم محمدرضا. (۱۳۸۴). آب و زیستگاه شهری. انتشارات سرا، تهران. چاپ اول. ۱۶۸ صفحه.

احمدی ایلچخی عباس؛ حاج عباسی محمدعلی؛ جلالیان احمد. (۱۳۸۱). اثر تغییر کاربری زمین های مرتعی به دیم کاری بر تولید رواناب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۶. صص ۲۵-۳۶.

امیر احمدی، ابوالقاسم؛ بهنیافر، ابوالفضل؛ ابراهیمی، مجید. (۱۳۹۰). ریزپهنه بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری، فصلنامه آمایش محیط، شماره ۱۶، صص ۳۲-۱۷.

انصاری منش امیررضا، (۱۳۹۱). مدیریت سیستم‌های جمع‌آوری و انتقال رواناب در سیلاب شهری با بهره‌گیری از شبیه‌سازی رایانه‌ای. پایان نامه. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.

بهشتی راد مسعود؛ فیض نیا سادات؛ سلاجقه علی؛ احمدی حسن. (۱۳۸۸). بررسی کارایی پهنه بندی زمین لغزش فاکتور اطمینان: مطالعه موردی حوزه آبخیز معلم کلایه. فصلنامه جغرافیایی طبیعی. شماره ۵. صص ۲۰-۳۲.

حسین‌زاده سیدرضا؛ جهادی طرقی مهناز. (۱۳۸۶). اثرات گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری. پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۱. صص ۱۵۹-۱۴۵.

حیدری علی. (۱۳۷۹). پیش بینی و کنترل زمان واقعی سیل. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سدسازی، ص ۱۴۹.

دادرسی سبزواری ابوالقاسم، (۱۳۸۷). مقایسه مدل فازی با سایر مدل های مفهومی سازگار با GIS در مکان یابی مناطق مستعد سیلاب با کاربرد اطلاعات ماهواره ای سنجنده +ETM. چاپ در مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۸۷ تهران.

سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان مازندران. (۱۳۹۰). سرشماری نفوس و مسکن شهرستان ساری.

شهرداری شهر ساری، معاونت شهرسازی و معماری. (۱۳۹۳). طرح جامع شهر ساری.

طاهری بهبهانی محمد طاهر؛ بزرگ زاده مصطفی. (۱۳۷۵). سیلاب های شهری. انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، تهران. چاپ اول. ۵۳۷ صفحه.

عبدی تبریز. (۱۳۸۵). بررسی پتانسیل سیل خیزی حوزه زنجان رود با روش SCS و سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله ملی آبیاری و زهکشی. شماره ۱۷. صص ۲۲-۳۳.

محمود زاده حسن؛ امامی کیا وحید؛ رسولی علی اکبر. (۱۳۹۴). ریز پهنه بندی خطر سیلاب در شهر تبریز با استفاده از روش AHP. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۱. صص ۱۸۰-۱۶۷.

مومنی، منصور. (۱۳۷۸). مباحث نوین تحقیق در عملیات. انتشارات تهران، تهران. چاپ دوم. ۳۵۲ صفحه.

مهدوی، محمد. (۱۳۹۲). هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران. چاپ دهم. ۹۲۷ صفحه.

Buchele, B., Kreibich, H., Kron, A., Theiken, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B. & Nestmann, F. (2006). Flood-Risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. Natural hazards and Earth system sciences. Volume 6, 485-503.

Correia, F.N., Da Graca Saraiva, M., Da Silva, F.N. & Ramos, I. (1999). Floodplain Management in Urban Developing Area. Part II. GIS-Based Flood Analysis and Urban Growth Modeling. Water Resources Management. Volume 1(13), 23-37.

Hyalmarson. H.w. (1988). Flood Hazard zonation in Aridland.Wesley Publishers.

Islam, M. D. & Kimitero S. (2000). Development of Flood Hazard Maps of Bangladesh Using NOAA-AVHRR Images with GIS. Hydrological Sciences Journal. Volume 3(45), 337-355.

Jonkman, S.N. & Dawson, R.J. (2012). Issues and Challenges in Flood Risk Management-Editorial for the Special Issue on Flood Risk Management. Water 2012, 4(4), 785-792.

Khan, S.I., Hong, T., Wang, J., Yilmaz, K.K., Gourley, J.J., Adler, R.F., Brakenridge, G.R., Policelli, F., Habib, S. & Irwin, D. (2011). Satellite Remote Sensing and Hydrologic Modeling for Flood Inundation Mapping in Lake Victoria Basin: Implications for Hydrologic Prediction in Ungauged Basins. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1(49), 85-95.

Lin, J.Y., Yu, S.L. & Lee, T. C. (2000). Managing Taiwan.s Reservoir Watersheds by the Zoning Approach. Journal of American Water Resources Association. Volume 36, 989-1001.

Plate, E.J. (2002). Flood Risk and Flood Management. Journal of Hydrology. 267(1-2), 2-11.

Tolga, E., Demircan, L.M. & Kahraman, C. (2005). Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process. Journal Production economics. 1(97), 89-117.

Yang, C.R., & Tsai, C.T. (2000). Development of a GIS-Based Flood Information System for Floodplain Management and Damage Calculation. Journal of the American Water Resources Association. 36, 567-577.

Flood zoning using fuzzy analysis (case study: Sari city)

Hassan Mahmoudzadeh*[1], Maedeh Bakooyi[2]

Received: 10-04-2017 Accepted: 26-06-2018

Abstract

Every year we see natural disasters causing major financial and human losses to human societies, and unfortunately, our country also has a bitter taste of it every now and then. Floods, earthquakes, droughts, frostbites, storms, and so on ... There are a lot of financial and financial losses to the country, which will require measures to reduce the damage caused by these disasters. Definitely the first step is to understand and understand these phenomena. The development of the process of urbanization and degradation of vegetation, soil erosion, and global climate change has already paid attention to the importance of addressing the issue of urban flood. This research was carried out to determine the risk of flooding in Sari using multi-criteria decision-making techniques. Using nine criteria, the distance from the river, runoff coefficient, CN coefficient, population density, residential density, slope, land use, age of the building and outdoor space were developed. By preparing the required layers, determining the weight of each layer based on their importance in the occurrence of flood. After the final weighing, the layers were compared in two to two by Expert Choice software and the matrices derived from these comparisons were transferred to Idrisi software and the final coefficient was determined for each layer. Finally, by applying these coefficients, ArcGIS software provided a flood risk zoning map in the city of Sari. The results show that flood risk in the center and south of the city has been the highest. Flood risk zoning map shows that 12.24% of the map area is in very high danger zone and 37.05% in very low risk zoning. To reduce the risk of retrofitting buildings around the river to reduce flood damage.

Keywords: Flood Zoning, Sari City, Fuzzy Model, Geographical Information System.

[1]*- Assistant Professor of Geography and Urban Planning, Faculty of Geography and Environmental Planning, Tabriz University, Tabriz, Iran Email: Mahmoudzadehg@tabrizu.ac.ir

[2]- Graduate Student, Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Geography and Environmental Planning, Tabriz University, Tabriz, Iran