

## ریزپهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر بابل<sup>۱</sup>

خه‌بات درفشی<sup>۲</sup>، حسن صدوق<sup>۳</sup>، اکبر مهرجوئزاد<sup>۴</sup>، شاهین خالدی<sup>۵</sup>

۲. استادیار، گروه میراث طبیعی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری
۳. دانشیار گروه جغرافیای، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۵. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.

### (پژوهشی)

(دریافت: ۹۸/۱۱/۲۰ پذیرش: ۹۹/۰۱/۱۷)  
<http://dx.doi.org/10.52547/sdge.2.2.150>

### چکیده

جهت شماتیک نمودن سطح آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر بابل، از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی با متغیرهای نوع کاربری اراضی، میزان فرسودگی بافت، فاصله از شبکه ارتباطی، فاصله از رودخانه، ارتفاع رواناب، شیب، تراکم آبراهه و ارتفاع بهره گرفته شد. اولویت‌بندی و تعیین روابط بین این متغیرها با آسیب‌پذیری، از طریق روش AHP انجام گرفت و بر اساس نظرات کارشناسی، ماتریسی به ابعاد ۷×۷ جهت تعیین وزن معیار متغیرها برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری ایجاد شد. وزن‌های معیار برای عامل‌های نوع کاربری اراضی و میزان فرسودگی بافت ۰/۳۵، فاصله از شبکه ارتباطی ۰/۲۴، فاصله از رودخانه ۰/۱۶، ارتفاع رواناب ۰/۱۰، شیب ۰/۰۷، تراکم آبراهه ۰/۰۴۴ و برای متغیر ارتفاع ۰/۰۳ محاسبه شده است؛ بنابراین، نوع کاربری اراضی و میزان فرسودگی بافت بیش‌ترین و ارتفاع کم‌ترین وزن را در تهیه نقشه آسیب‌پذیری دارند. پس از محاسبه وزن نسبی و با استفاده از معادله بدست آمده از ضرایب متغیرها، نقشه آسیب‌پذیری سیلاب شهر بابل با استفاده از فرمت‌های تحلیلی در محیط ArcMap در پنج طبقه آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید. طبقه آسیب‌پذیری خیلی زیاد، منطبق بر پهنه‌های بافت قدیمی شهر و بخش‌هایی از آن است که بیش‌ترین تراکم ساختمان‌های مسکونی و شبکه معابر یا به عبارتی سطوح نفوذناپذیر را دارند. پهنه‌های آسیب‌پذیری خیلی زیاد بیش‌تر در مرکز شهر و حریم رودخانه قابل مشاهده می‌باشد. این در حالی است که گسترش اراضی باغی و کشاورزی و کاهش تراکم سطوح نفوذناپذیر (کاربری مسکونی و معابر) سبب کاهش آسیب‌پذیری سیلاب در بخش‌های حاشیه‌ای شهر شده تا جایی که طبقه آسیب‌پذیری خیلی کم منطبق بر همین بخش‌ها بوده است. در مجموع قرار گرفتن ۳۸ درصد از مساحت شهر بابل در رده‌های آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد، نشان از آسیب‌پذیری نسبتاً بالای این شهر در برابر بروز سیلاب دارد.

**واژه‌های کلیدی:** آسیب‌پذیری سیلاب، تحلیل سلسله‌مراتبی، وزن معیار، بابل.

۱ - این مقاله از طرح پژوهشی در دانشگاه صنعتی انوشیروان بابل استخراج شده است.

مقدمه

تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین اثرات مستقیمی را بر فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه آبریز دارد که منجر به تخریب ساختار طبیعی حوضه ها و افزایش خطر سیل می گردد؛ لذا مسئله تخلیه رواناب سطحی موضوع مهمی به ویژه در مناطق پرجمعیت و در معرض خطر سیل است (Alca, I; 2002; Puno et al., 2018; Abe et al., 2019). تغییرات کاربری ناشی از توسعه شهرها در حوضه های بالادست اثرات خود را بر رژیم جریانی آن نشان می دهد (Suriya & Mudgal, 2012). بدین سان که سطوح نفوذناپذیر جایگزین پوشش گیاهی و گیاه خاکها<sup>۱</sup> می شوند که متعاقباً افزایش رواناب سطحی و کاهش نفوذپذیری، از دست رفتن ذخیره طبیعی و تضعیف جریان سطحی را در پی خواهد داشت؛ هم چنین هدایت رواناب به مسیل ها و جمع آوری آن توسط سیستم فاضلاب شهری، منجر به تولید حجم عظیم رواناب و دبی در زمان کوتاهی خواهد شد که نتیجه آن افزایش دبی اوج سیلاب و کاهش تغذیه آب زیرزمینی خواهد بود (Wheater & Evans, 2009).

گسترش ساخت و ساز شهری، افزایش سطوح با نفوذپذیری کم و یا غیرقابل نفوذ، سبب افزایش رواناب، دبی های بزرگ تر، تغذیه کمتر آب های زیرزمینی و افزایش تغییرپذیری رواناب می شود (درفشی، ۱۳۹۹؛ Beighley & Moglen, 2002; Poff, et al, 2006; Sauer, et al, 1983; Hawley, et al, 2011). با توجه به این بحث، آسیب پذیری تصور پیچیده ای در ارتباط با هر خطر و تأثیرات حاصل از آن بوده که نمونه ای از این تصور پیچیده درباره ی مخاطره سیلاب مطرح می باشد. سیلاب از معمول ترین و مصیبت آمیزترین مخاطرات طبیعی بوده که جهان امروز با آن مواجه است. این مخاطره بیش از هر پدیده هیدرو اقلیمی دیگری خسارت و تخریب به بار می آورد (NOAA/NWS, 2009). سیلاب ها زندگی هزاران نفر را می گیرند و میلیاردها تومان خسارت به اموال انسان وارد می کنند؛ در مقایسه با سایر بلایای طبیعی، حدود ۲۰ درصد از مرگ و میرها و ۳۳ درصد از خسارت های اقتصاد

جهانی را این مخاطره سبب می شود (IF-NET, 2005). با رشد سریع شهرنشینی و ایجاد و توسعه زیرساخت ها، سیلاب ها در نواحی شهری بیش تر و شدیدتر شده اند (Bhattacharya, 2010). گسترش ساخت و ساز شهری و افزایش سطوح با نفوذپذیری کم و یا غیرقابل نفوذ باعث کاهش نفوذ آب حاصل از بارش، افزایش رواناب، دبی های بزرگ تر، تغذیه کم تر آب های زیرزمینی و افزایش تغییرپذیری ها می شود. توسعه ساخت و ساز خطر سیلاب را به علت افزایش اوج و حجم دبی بیشتر کرده و زمان رسیدن دبی به اوج را نیز کاهش می دهد (Saghafian et al, 2008; Liu et al, 2005; Campana and Tucci, 2001; Nirupama and Simonovic 2007). در نتیجه ی دست اندازی در محیط های طبیعی، حضور ساختارهای متعدد و نبود مقررات مناسب جهت محافظت از این محیط ها، شرایط رویداد سیلاب فراهم می شود که افزایش آسیب پذیری جوامع را در برابر سیلاب های شهری در پی دارد.

آسیب پذیری ناشی از سیلاب متغیر و پیچیده است. آسیب پذیری به پدیده هایی مانند بارش، رواناب ایجاد شده و تمرکز آن و میزان در معرض آسیب قرار گرفتن نواحی پایین دست سیلاب بستگی دارد. آسیب پذیری سیلاب طی زمان و از ناحیه ای به ناحیه دیگر متغیر است که علت آن شرایط خاص طبیعی، فعالیت های انسانی و فرهنگ مخاطره نزد جامعه در معرض خسارت می باشد.

آسیب پذیری به قابلیت عنصر در معرض خطر، طی بروز مخاطره برمی گردد. ارزش آسیب پذیری، میزان تلفات وارده به عنصر یا مجموعه ای از عناصر در معرض خطر است که منتج از رخداد پدیده ای طبیعی با دامنه ای متغیر از خسارت (کم تا زیاد) می باشد. انواع مختلفی از خسارت وجود دارد که می تواند توسط سیلاب ایجاد شود. تفکیک انواع خسارت از همدیگر بر مبنای عامل های مختلفی انجام می شود. معمول ترین تفکیک بین انواع خسارت، مشخص کردن خسارت های ملموس و غیر قابل لمس از همدیگر می باشد. تفکیک این دو خسارت از هم بر این مبناست که آیا می توان

۱- Vegetated soils

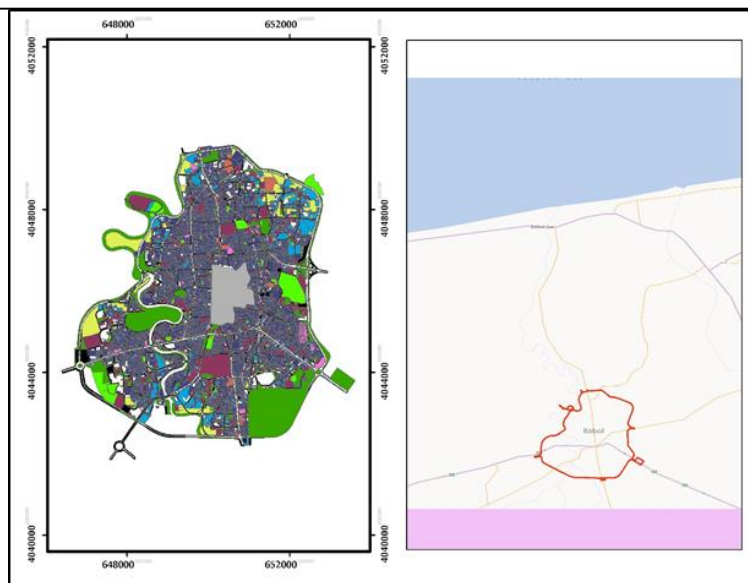
هم‌چنین سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> می‌تواند به مدیریت جامع منجر شود.

### محدوده مورد مطالعه

شهر بابل در ۳۶ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. مساحت شهر بابل حدود ۲۲۹۵ هکتار بوده و در ۲۱۰ کیلومتری شمال شرقی تهران واقع شده است (شکل ۱). این شهر در شهرستان بابل استان مازندران واقع شده است و از شمال به شهرستان بابلسر و دریای مازندران، از جنوب به رشته کوه‌های البرز، از غرب به شهرستان آمل و از شرق به شهرستان قائمشهر و ساری مرتبط است. مطابق با سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵، جمعیت این شهر برابر با ۲۰۱۳۳۵ نفر در قالب ۵۵۲۶۹ خانوار است. این شهر دارای بافتی نامنظم (به‌ویژه در قسمت‌های مرکزی) بوده و از بعد کالبدی تنها در بخش‌های توسعه‌یافته اخیر در پیرامون شهر، نوعی بافت منظم را داراست.

نوع و میزان خسارت را با ارزش‌های پولی مشخص کرد یا نه. مثال‌هایی از خسارت غیرملموس شامل تشویش، ناسازگاری و ناخوشی است؛ خسارت ملموس نیز می‌تواند دو دسته مستقیم و غیرمستقیم باشد که دسته خسارت مستقیم منتج از برخورد فیزیکی آب سیل با اموال آسیب‌پذیر است. خسارت مستقیم تابعی از متغیرهای گوناگون است. برخی از این تابع‌ها توسط ساخت (ترکیب) فیزیکی ناحیه در معرض خطر سیل کنترل می‌شود که کاربری اراضی و حساسیت آن به خسارت سیل را شامل می‌شود. دیگر تابع‌ها با مشخصه‌های رخداد سیل (عمق و دوره سیل، سرعت آب سیل و رسوبات) مرتبط هستند. خسارت غیرمستقیم، تلفات منتج از تخریب پیوندهای اقتصادی و فیزیکی اقتصاد است؛ برای مثال اختلال در جریان‌های ترافیکی، آسیب‌رسانی به تولیدات صنعتی، صدمه به درآمدهای شخصی و منافع تجاری (درفشی، ۱۳۹۰).

شهری مانند بابل دارای بافت فرسوده بوده که مؤلفه‌های این بافت در بخش‌هایی از آن قابل مشاهده است. پراکندگی ناموزون و نامتعادل تراکم و سرانه جمعیت، فرسودگی شدید بناهای موجود در بافت قدیم، مشکلات مربوط به شبکه معابر، مسائل مربوط به تپ و نوع بناهای مسکونی، مسائل ناشی از مصالح به کار رفته در بناها و تفاوت‌های ساختاری در بافت کالبدی شهر، از مهم‌ترین شاخص‌های آسیب‌پذیری شهر بابل در برابر رخدادهای سیلاب در این شهر می‌باشند. آب‌گرفتگی معابر و جاده‌ها در سطح شهر بابل، خسارت به درختان و اراضی زراعی و هم‌چنین ساختمان‌های مسکونی و تجاری طی وقوع سیلاب در این شهر کاملاً مشهود بوده که نمونه‌ای از آن در مهرماه سال ۱۳۹۱ اتفاق افتاده است؛ البته در برخی مواقع مدیران شهری با بازگشایی دهنه کاربی‌پی، آب‌های روان سطح شهر را که خطری جدی برای قسمت‌های مختلف شهر بابل بوده، به سمت دشت‌های اطراف بابل هدایت می‌کنند. بر این مبنای مدیریت آسیب‌پذیری در نتیجه سیلاب، از مهم‌ترین دغدغه‌های شهر بابل در رویارویی با سیلاب‌های شهری است که بهره‌گیری از مدل‌های کمی و کیفی و



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر بابل

## مواد و روش‌ها

اولین گام در ارزیابی آسیب پذیری زیرساخت‌های فیزیکی تعریف عناصر در معرض خطر و عناصر تشدیدکننده آسیب پذیری ناشی از سیلاب می‌باشد. در این بخش از پژوهش حاضر، جهت ارزیابی میزان آسیب پذیری سیلاب شهر بابل، از متغیرهای نوع کاربری اراضی، فرسودگی بافت، فاصله از شبکه ارتباطی، فاصله از رودخانه، ارتفاع رواناب، شیب، تراکم آبراهه و ارتفاع با فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی<sup>۱</sup> (AHP) استفاده گردید.

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی جهت استخراج مقیاس‌های نسبی از مقایسه‌ی زوجی داده‌های گسسته و پیوسته به کار می‌رود. این مقایسه‌ها ممکن است برای اندازه‌گیری‌های واقعی به کار رود یا این که نشان‌دهنده‌ی وزن نسبی ترجیحات باشد (Saaty, 2004: 415). روشی است منعطف، قوی و ساده که می‌تواند برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد (زبردست، ۱۳۸۰) و تصمیم‌گیری در یک فضای چند بعدی مورد استفاده قرار گیرد. به بیانی، روش ساده‌ی محاسباتی

برای عملیات اصلی بر روی ماتریس‌هاست. با ایجاد سلسله‌مراتب مناسب و پردازش گام‌به‌گام، امکان ساخت ماتریس‌های مقایسه‌ای در سطوح مختلف سلسله‌مراتب توسط این روش فراهم شده و با ترکیب بردارها، ضرایب وزنی گزینه‌های مختلف محاسبه می‌شوند (Jinfeng, 2002). بطور کلی تحلیل سلسله‌مراتبی روشی است که امکان تصمیم‌گیری صحیح با حضور معیارهای کیفی، کمی و ترکیبی را فراهم می‌کند. پیاده‌سازی AHP در یک تصمیم‌گیری شامل ۳ فاز است: (ساختن سلسله‌مراتبی، انجام مقایسات وزنی، محاسبه وزن‌ها) ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب در محدوده مطالعاتی، نیاز به استفاده از متغیرها به‌صورت سطح<sup>۲</sup> و تعریف رابطه هر یک از آن‌ها با هدف مورد بررسی داشت؛ به عبارتی ارزش امتیازی هر متغیر با ارزش آسیب‌پذیری معمولاً دارای رابطه خطی مستقیم یا معکوس بوده که باید تعریف گردد (البته گاهی بین متغیر و هدف مورد بررسی ارتباط خطی وجود ندارد). پس از آماده‌سازی این متغیرها، هر کدام از آن‌ها بر مبنای ارزش امتیازی خود نسبت به آسیب‌پذیری سیلاب به طبقاتی تقسیم‌بندی شدند؛ هر یک از متغیرها از طریق روش شکست‌های

۱- Analytic Hierarchy Process (AHP)

۲- Raster

کیلومترمربع معادل ۳۸/۷ درصد از مجموع مساحت شهر است. پس از آن کاربری فضای سبز با ۴/۵ کیلومترمربع معادل ۱۹/۷ درصد از مجموع مساحت شهر، بیش‌ترین مساحت را دارا می‌باشد. کاربری‌های انتظامی و صنعتی نیز با ۰/۳۳ کیلومترمربع کم‌ترین مساحت را دارند.

هر کدام از کاربری‌های ذکرشده با توجه به ارزش اقتصادی و حجم فعالیت‌های انسانی، از میزان آسیب‌پذیری خاصی در مقابل سیلاب‌های شهری برخوردار بوده که در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بر این مبنای و با توجه به نظرات کارشناسی و قضاوت‌های شفاهی، جهت استفاده از لایه کاربری اراضی در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب شهر بابل، به هر یک از کاربری‌ها ارزش امتیازی خاصی اختصاص داده شد که در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به جدول، در طرح پژوهشی حاضر بیش‌ترین ارزش آسیب‌پذیری را محدوده بافت قدیمی و فرسوده شهر بابل شامل شده که کاربری عمده آن را مسکونی تشکیل می‌دهد؛ پس از آن اراضی مسکونی بیش‌ترین ارزش امتیازی آسیب‌پذیری در مقابل سیلاب را داشته و در مقابل کم‌ترین ارزش نیز به محدوده‌های آسفالت و سنگ‌فرش شهری (خیابان‌ها و معابر) اختصاص داده شده است.

طبیعی<sup>۱</sup> طبقه‌بندی شدند. انتخاب این روش طبقه‌بندی به دلیل تبعیت آن از توزیع نرمال (منحنی گوس) ارزش داده‌ها می‌باشد.

### کاربری اراضی و فرسودگی بافت

ساخت‌وسازه‌های بی‌رویه در حاشیه رودخانه‌ها نه تنها حریم رودخانه‌ها را آسیب‌پذیر کرده، بلکه موجب تهدید شهر توسط سیلاب‌های احتمالی نیز گردیده است. از آنجا که نوع کاربری اراضی به‌صورت کیفی (متنی) است، استفاده از این لایه اطلاعاتی در مدل‌سازی آسیب‌پذیری سیلاب شهر بابل مستلزم تبدیل آن به داده‌های کمی است؛ این تبدیل به گونه‌ای است که هر کاربری با کد یا عددی خاص مشخص شود. این ارزش‌گذاری می‌تواند بر مبنای میزان آسیب‌پذیری هر یک از کاربری‌های شهر بابل در مقابل سیلاب شهری انجام بگیرد. نقشه کاربری اراضی شهر بابل در شکل ۲ آورده شده و جدول ۱ نیز مساحت هر کدام از کاربری‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به آن، مسکونی، باغ، کشاورزی، فضای سبز، صنعتی، تجاری، فضای ورزشی، حمل‌ونقل و انبار، نظامی و انتظامی و تأسیسات و تجهیزات شهری کاربری‌های شهر بابل است، محدوده بافت قدیمی شهر نیز تقریباً در مرکز هندسی آن واقع شده که در نقشه کاربری مشخص می‌باشد. با توجه به جدول مساحت کاربری‌ها (جدول ۱)، بیش‌ترین مساحت شهر بابل را کاربری مسکونی به خود اختصاص داده که مساحت آن ۸/۹

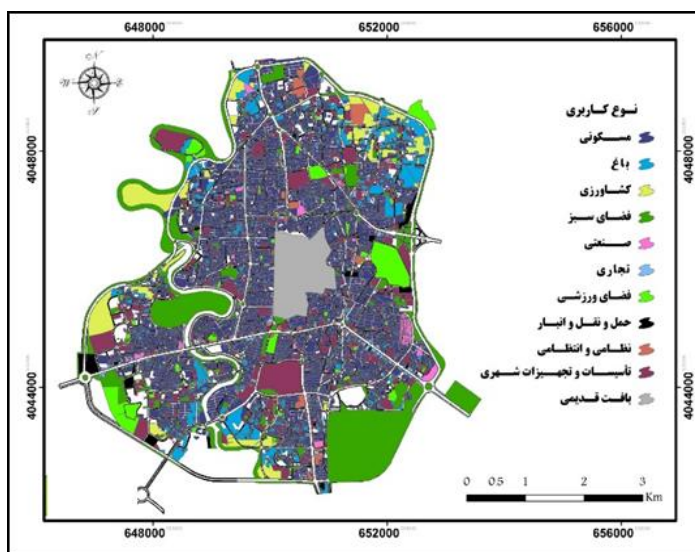
جدول ۱: مساحت کاربری‌های اراضی شهر بابل و ارزش امتیازی آن‌ها از نظر آسیب‌پذیری سیلاب

نوع کاربری	مساحت (Km <sup>2</sup> )	%	ارزش امتیازی آسیب‌پذیری
مسکونی	۸/۸۷	۳۸/۷	۸
باغ	۱/۶	۷/۱	۶
کشاورزی	۱/۳	۵/۷	۶
فضای سبز	۴/۵	۱۹/۷	۶
صنعتی	۰/۳۴	۱/۵	۵
تجاری	۰/۴	۱/۸	۵
فضای ورزشی	۱/۰۷	۴/۶۵	۳
حمل‌ونقل و انبار	۰/۵	۲/۱۸	۲
نظامی و انتظامی	۰/۳۴	۱/۵	۴
تأسیسات و تجهیزات شهری	۲/۷	۱۲	۷

#### ۱. Natural Breaks

نوع کاربری	مساحت (Km <sup>2</sup> )	%	ارزش امتیازی آسیب پذیری
بافت قدیمی	۱/۲	۵/۲	۹

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۴



شکل ۲: نقشه کاربری اراضی شهر بابل

### فاصله از شبکه ارتباطی

تعریف این متغیر بر مبنای نفوذناپذیری پوشش سطح زمین در برابر رواناب‌های حاصل از آب بارش می‌باشد. زمینی که از کشتزار یا جنگل به جاده و پارکینگ تبدیل می‌شود، توانایی خود را در جذب آب باران از دست می‌دهد. افزایش حجم رواناب و سیلاب، کاهش زمان تمرکز، افزایش دبی حداکثر لحظه‌ای و تغییر کیفیت سیلاب نتیجه‌ی گسترش شهر در حوضه‌های آبریز بالادست و افزایش سطوح نفوذناپذیر می‌باشد. محدوده ساخته شده شهر به طور متوسط رواناب را از ۲ تا ۶ برابر نسبت به زمین‌های طبیعی افزایش داده که پیامد آن گسترش سیلاب‌های شهری است. خیابان‌ها و جاده‌های آسفالتی شهر بابل با امتدادهای مشخص و خاص خود، از جمله‌ی مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در سیلاب‌های کوتاه‌مدت و غیرقابل پیش‌بینی شهری می‌باشند. شبکه‌های شمالی

- جنوبی عامل تسریع جریان رواناب و هدایت آن به سمت بافت مرکزی و شمالی هستند که معضل آبگرفتگی را در شیب‌های پایین به وجود می‌آورند. جهت تهیه لایه فاصله از شبکه ارتباطی، معابر و خیابان‌های استخراج شده از نقشه کاربری اراضی شهر بابل مورد استفاده قرار گرفتند؛ جهت رستری نمودن<sup>۱</sup> این لایه، از تابع فاصله<sup>۲</sup> بر مبنای حداکثر فاصله<sup>۳</sup> در محیط ArcMap بهره گرفته شد. نقشه فاصله از شبکه ارتباطی در شکل ۳ آورده شده است. جهت امتیازدهی به این لایه از نظر آسیب‌پذیری در مقابل سیلاب، فاصله مبنا قرار گرفت؛ بدین معنا که در فاصله‌های نزدیک‌تر، آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب بیش‌تر بوده و بالعکس. جدول ۲ نحوه امتیازدهی ارزشی به طبقات مختلف فاصله از شبکه ارتباطی را نشان می‌دهد؛ با توجه به جدول، فاصله‌های نزدیک دارای ارزش بیش‌تر و فاصله‌های دور دارای ارزش کم‌تر در تهیه نقشه

۱. تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب نیاز به استفاده از لایه‌های با فرمت تحلیلی (تحلیل پهنه‌ای) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی دارد؛ این فرمت رستر (Raster) می‌باشد.

۲. Distance

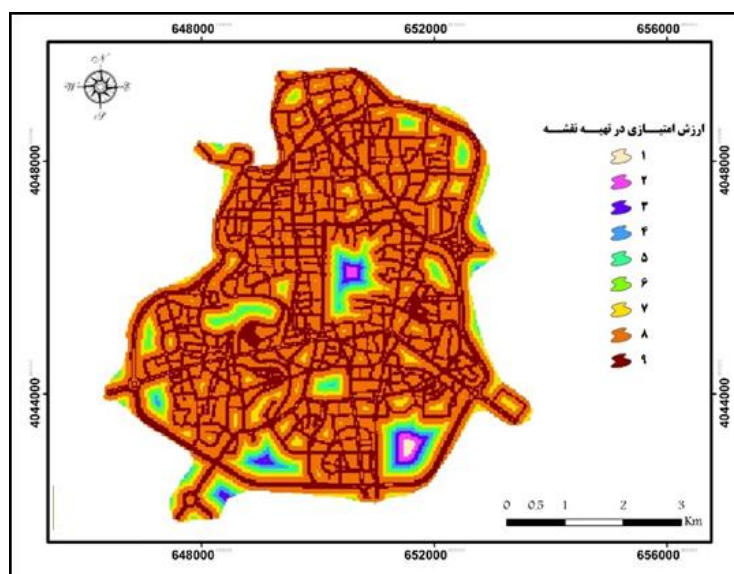
۳. Maximum Distance

جدول ۲: ارزش امتیازی طبقات فاصله از شبکه ارتباطی در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب

ارزش امتیازی در نقشه آسیب‌پذیری سیلاب	فاصله از شبکه ارتباطی به متر
۹	۰ - ۲۹
۸	۳۰ - ۹۱
۷	۹۲ - ۱۴۹
۶	۱۵۰ - ۱۹۷
۵	۱۹۸ - ۲۴۳
۴	۲۴۴ - ۳۰۳
۳	۳۰۴ - ۳۷۲
۲	۳۷۳ - ۴۴۳
۱	۴۴۴ - ۵۳۱

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۴

آسیب‌پذیری سیلاب در شهر بابل بوده است. این طبقه‌بندی بر اساس رابطه هر متغیر با هدف اصلی انجام گرفت؛ بدین معنا که اگر رابطه بین این دو خطی مستقیم باشد، مقدار ۱ به پایین‌ترین و مقدار ۹ به بالاترین ارزش آن متغیر اختصاص داده شد. در صورت معکوس بودن رابطه خطی، بالاترین ارزش متغیر مقدار ۱ و پایین‌ترین ارزش آن مقدار ۹ می‌گیرد. این الگوی طبقه‌بندی در مورد سایر لایه‌های رستری که در ادامه ذکر خواهند شد نیز به کار گرفته شد. در واقع این روش طبقه‌بندی جهت همسان‌سازی لایه‌های رستری به کار گرفته شد.



شکل ۳: نقشه طبقات فاصله از شبکه ارتباطی در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب

### حریم رودخانه

رودخانه‌ها شریان‌های اصلی حیات کلیه سازه‌های آبی محسوب می‌شوند. رودخانه‌ها و مسیل‌های شهری دارای مسائل و مشکلات عمده‌ای می‌باشند که یکی از مهم‌ترین این مشکلات، محدود شدن آن‌ها به کانال اصلی و ساخت‌وساز در محدوده اطراف کانال می‌باشد. آنچه که به این مسئله اهمیت می‌بخشد افزایش خطرات سیلاب با کاهش محدوده عبور رواناب است. فعالیت‌های انسانی تأثیرات غیرقابل‌انکاری بر رودخانه‌ها و مسیل‌های شهر بابل داشته که این

مداخله چندان موفقیت‌آمیز نبوده است. سیستم هیدرولوژیکی که هندسه رودخانه را قبل از توسعه تعیین کرده به صورت تغییرناپذیری دگرگون شده تا شدت جریان‌های بالاتری را به طور مکرر ایجاد کند. به دلیل عریض و مسطح بودن بستر دشت سیلابی بابل رود و کیفیت و کمیت مناسب محصول برنج در این منطقه، کشاورزان به‌شدت به کشت این محصول روی آورده و اراضی حاشیه رودخانه تماماً به کشت برنج اختصاص یافته و حتی در مواردی به دلیل قیمت بالای برنج، شالی‌کاران قسمت‌هایی از بستر رودخانه را

با تراکتور مسطح نموده‌اند. بدین‌گونه نه تنها قسمت بسیار وسیعی از رودخانه در معرض فرسایش کناری قرار گرفته، بلکه بسیاری از اراضی شالی‌کاری شده اطراف رودخانه نیز با کوچک‌ترین جریان سیلابی به زیر آب رفته و علاوه بر خسارات محسوس به بار آمده، هر ساله حجم عظیمی از خاک بارزش منطقه نیز به پایین‌دست منتقل می‌گردد. در کنار این موارد، به دلیل وجود کارخانه ماسه‌سازی در محدوده رودخانه بابل رود، روزانه ده‌ها کامیون رسوبات رودخانه‌ای از بستر آن برداشت شده و علاوه بر پایین رفتن سطح اساس رودخانه و اثر بر آب‌های زیرزمینی، مورفولوژی و ظرفیت حمل این رودخانه زیبا نیز به شدت تحت تأثیر قرار گرفته است.

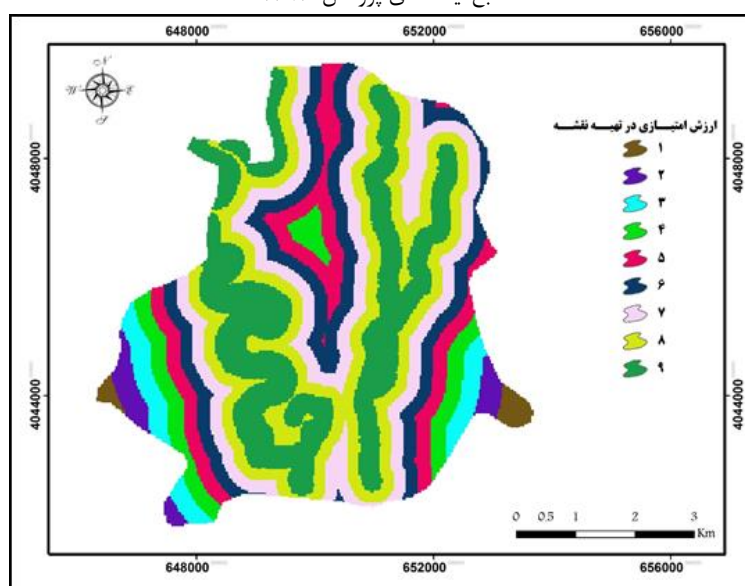
در پژوهش حاضر، لایه رودخانه ورودی به شهر

بابل، در تهیه لایه حریم رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. تهیه لایه حریم رودخانه (فاصله از رودخانه) نیز همانند فاصله از شبکه ارتباطی در محیط ArcMap با تابع فاصله بر مبنای حداکثر فاصله انجام شد. لایه رستری تهیه شده با همان روش طبقه‌بندی شکست‌های طبیعی به ۹ رده دسته‌بندی شد؛ مبنای دسته‌بندی و اختصاص دادن ارزش امتیازی، ارتباط هر طبقه با میزان آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب می‌باشد. به عبارتی فاصله‌های نزدیک‌تر به رودخانه از آسیب‌پذیری بیش‌تر برخوردار بوده و با دور شدن از حریم رودخانه، میزان آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب کاهش می‌یابد. الگوی ارزش‌دهی به طبقه‌های فاصله از رودخانه در جدول ۳ و نقشه طبقات فاصله از آبراهه نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳: ارزش امتیازی طبقات فاصله از رودخانه در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب

فاصله از رودخانه به متر	ارزش امتیازی در نقشه آسیب‌پذیری سیلاب
۱۴۸ - ۰	۹
۳۴۵ - ۱۴۹	۸
۵۵۳ - ۳۴۶	۷
۷۶۰ - ۵۵۴	۶
۹۹۷ - ۷۶۱	۵
۱۲۶۴ - ۹۹۸	۴
۱۵۷۰ - ۱۲۶۵	۳
۱۹۴۵ - ۱۵۷۱	۲
۲۵۱۸ - ۱۹۴۶	۱

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۴



شکل ۴: نقشه طبقات فاصله از رودخانه در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب



## رواناب

افزایش یافته و بالعکس. بر این مبنا، عدد ۱ به پایین ترین طبقه ارتفاع رواناب و عدد ۹ به بیش ترین طبقه آن اختصاص داده شد. مبنای این طبقه بندی همان روش شکست طبیعی و تعریف رابطه متغیر رواناب با آسیب پذیری سیلاب بود که در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۴: مقادیر شماره منحنی برای کاربری های مختلف شهر بابل

شماره منحنی (CN)	نوع کاربری
۹۵	مسکونی
۶۵	باغ
۷۳	کشاورزی
۷۰	فضای سبز
۸۸	صنعتی
۹۲	تجاری
۷۴	فضای ورزشی
۹۴	حمل و نقل و انبار
۹۰	نظامی و انتظامی
۹۳	تأسیسات و تجهیزات شهری
۹۶	خیابان آسفالت

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۴

جدول ۵: ارزش امتیازی طبقات ارتفاع رواناب در تهیه نقشه آسیب پذیری سیلاب

ارزش امتیازی در نقشه آسیب پذیری سیلاب	ارتفاع رواناب به میلی متر
۱	۵۹۲ - ۶۱۰
۲	۶۱۱ - ۶۳۴
۳	۶۳۵ - ۶۵۱
۴	۶۵۲ - ۷۱۵
۵	۷۱۶ - ۷۲۲
۶	۷۲۳ - ۷۲۷
۷	۷۲۸ - ۷۳۱
۸	۷۳۲ - ۷۳۶
۹	۷۳۶ - ۷۴۵

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۴

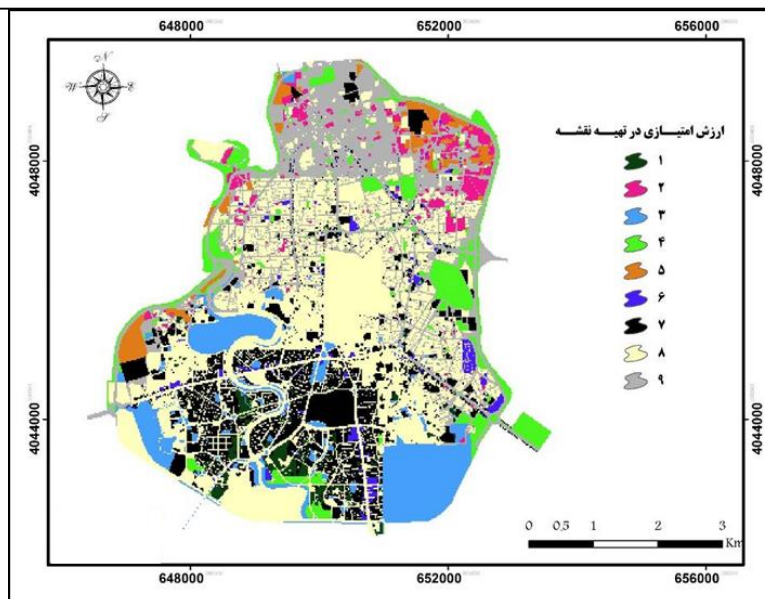
دستور العمل ارزیابی اثر مخاطرات (۲۰۰۵) پیشنهاد می کند که از روش های ترکیبی هیدروگراف مانند روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) جهت مدل سازی رواناب نواحی با آمار کم ثبت شده یا بدون آمار استفاده شود. در این پژوهش، روش SCS انتخاب می شود؛ استفاده از این روش به دلایلی است از جمله: معمولاً در محیط های مختلف استفاده شده و نتایج خوبی بدست می دهد؛ محاسبات این روش قابل اعتماد است و به رغم سادگی، نتایج حاصل از آن همانند مدل های پیچیده مناسب است.

میانگین بارش سالانه ۲۵ ایستگاه باران سنجی، به عنوان لایه ی بارش (P) در روش SCS آورده شد. معادله Q (رابطه ۱) جهت برآورد ارتفاع رواناب استفاده شد و مقدار ذخیره سطحی خاک از طریق معادله S (رابطه ۲) بدست آمد؛ این رابطه ها در سیستم متریک و میزان S نیز به میلی متر تعریف شده است.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P} + 0.8S \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$S = \left( \frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad \text{رابطه (۲)}$$

مقدار CN در نظر گرفته شده برای کاربری های مختلف شهر بابل در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به جدول، کم ترین CN یعنی عدد ۶۵ برای کاربری باغ و بیش ترین میزان آن (عدد ۹۶) مربوط به خیابان های آسفالت می باشد. با این مقادیر CN و رابطه های برآورد رواناب در معادله SCS ارتفاع رواناب شهر بابل برآورد گردید که در شکل ۵ آورده شده است. با توجه به برآورد ارتفاع رواناب، حداقل و حداکثر ارتفاع سالانه این مؤلفه به ترتیب ۵۹۲ و ۷۴۵ میلی متر برآورد شده است. رابطه ارتفاع رواناب با آسیب پذیری سیلاب به صورت خطی مستقیم تعریف شد؛ یعنی با افزایش ارتفاع رواناب میزان آسیب پذیری نیز



شکل ۵: نقشه طبقات ارتفاع رواناب شهر بابل در تهیه نقشه آسیب پذیری سیلاب

### شیب

جدول ۶: ارزش امتیازی طبقات شیب در تهیه نقشه آسیب پذیری سیلاب

ارزش امتیازی در نقشه آسیب-پذیری سیلاب	طبقات شیب به درصد
۱	۱-۰
۲	۲-۱
۳	۳-۲
۴	۵-۳
۵	۶-۵
۶	۷-۶
۷	۹-۷
۸	۱۱-۹
۹	۱۷-۱۱

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۴

### تراکم آبراهه

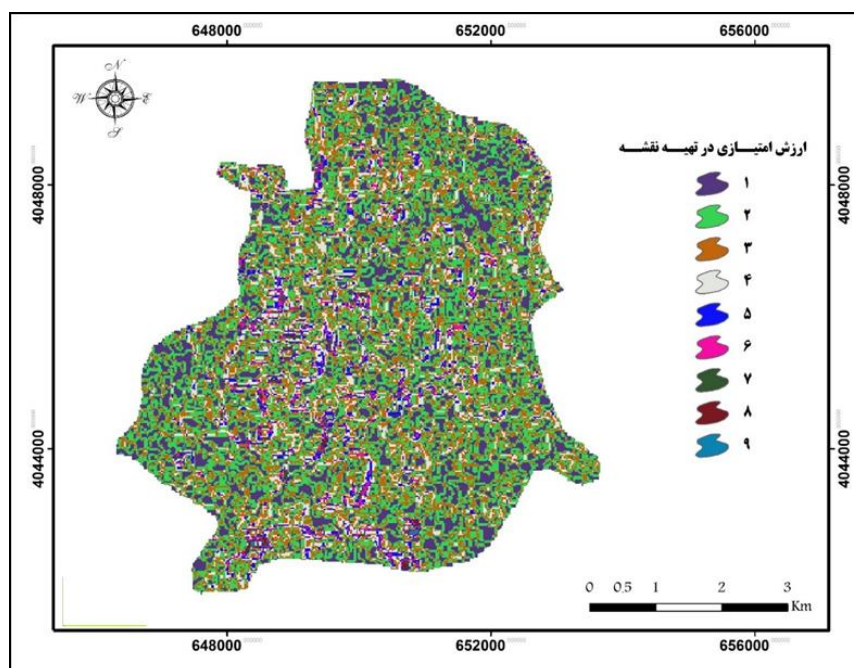
برای اندازه‌گیری میزان تراکم شبکه آبراهه تابع تراکم<sup>۱</sup> به کار گرفته شد. این تابع بر اساس شعاع مشخص در هر نقطه، مجموع طول آبراهه‌ها را بر مساحت تقسیم می‌کند. در این پژوهش شعاع در نظر گرفته شده برای محاسبه تراکم شبکه زهکشی ۱۰۰۰

تهیه این لایه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی ASTER با ضریب تفکیکی ۳۰ متر انجام گرفت. جریان سریع رواناب در شیب‌های بالای محدوده‌های شهری، قدرت تخریب سیلاب و در نتیجه آسیب‌پذیری در ناشی از آن را افزایش می‌دهد. شکل ۶ نقشه شیب شهر بابل را نشان می‌دهد که پایین‌ترین و بیش‌ترین میزان آن به ترتیب ۰ تا ۱۷ درصد می‌باشد. الگوی طبقه‌بندی این لایه و استفاده از آن در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب شهر، بر مبنای رابطه مستقیم خطی انجام شد؛ پهنه‌های با شیب بالا در محدوده شهر بابل ارزش بیش‌تری در طبقه‌بندی این متغیر برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی به خود اختصاص داده و شیب‌های پایین‌تر ارزش کم‌تری را به خود گرفتند. سایر طبقات شیب و ارزش امتیازی هر یک از آن‌ها جهت مدل‌سازی آسیب‌پذیری سیلاب در جدول ۶ نشان داده شده است.

۱. Density

۲/۳ کیلومتر بر کیلومتر مربع متغیر است. کمترین تراکم آبراهه عدد ۱ و بالاترین تراکم آبراهه عدد ۹ را در تهیه نقشه آسیب پذیری سیلاب بابل با استفاده از AHP به خود اختصاص دادند. طبقه بندی این متغیر در ۹ دسته نیز با همان روش شکست طبیعی انجام گرفت.

متر است. میزان تراکم آبراهه با آسیب پذیری ناشی از سیلاب نیز همانند شیب و رواناب دارای رابطه مستقیم است؛ به عبارتی با افزایش تراکم شبکه آبراهه آسیب پذیری سیلاب نیز افزایش می یابد و بالعکس. نقشه تراکم آبراهه سطح شهر بابل که بر مبنای آبراهه های استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع بدست آمده در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل و هم چنین جدول ۷ که الگوی طبقات تراکم شبکه آبراهه در آن آورده شده، تراکم آبراهه از ۰ تا

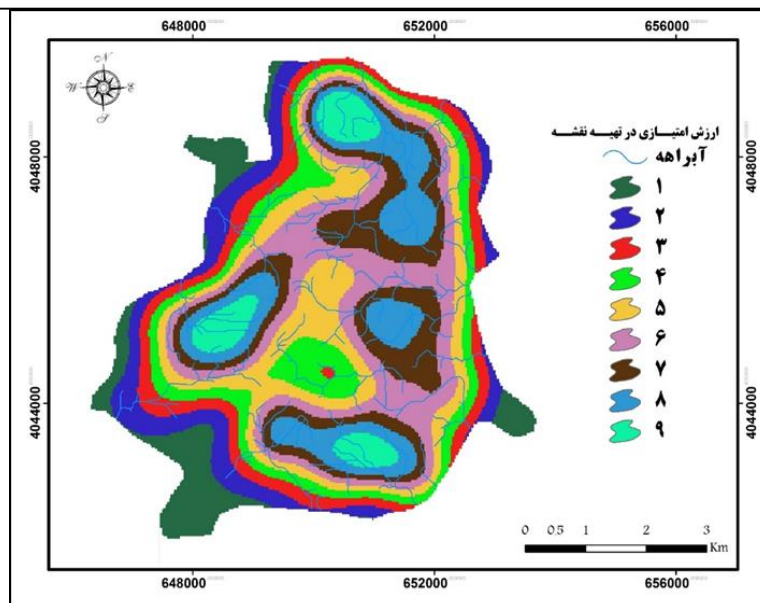


شکل ۶: نقشه طبقات شیب شهر بابل در تهیه نقشه آسیب پذیری سیلاب

جدول ۷: ارزش امتیازی طبقات تراکم آبراهه در تهیه نقشه آسیب پذیری سیلاب

ارزش امتیازی در نقشه آسیب پذیری سیلاب	طبقات تراکم آبراهه (کیلومتر/کیلومتر مربع)
۱	۰ - ۰/۲
۲	۰/۲ - ۰/۴۸
۳	۰/۴۸ - ۰/۷۴
۴	۰/۷۴ - ۰/۹۸
۵	۰/۹۸ - ۱/۲
۶	۱/۲ - ۱/۴
۷	۱/۴ - ۱/۶
۸	۱/۶ - ۱/۸
۹	۱/۸ - ۲/۳

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۴



شکل ۷: نقشه طبقات تراکم شبکه آبراهه شهر بابل در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب

ارتباطی، حریم رودخانه، ارتفاع رواناب، شیب، تراکم شبکه آبراهه و ارتفاع اختصاص داده شد؛ مبنای این اولویت‌بندی‌ها و مقایسه زوجی متغیرها جدول ۹ و نظرات کارشناسی می‌باشد.

جدول ۸: ارزش امتیازی طبقات ارتفاع در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب

سیلاب	ارزش امتیازی در نقشه آسیب‌پذیری	طبقات ارتفاع به متر
۱	(-۲۰) - (-۱۵)	
۲	(-۱۵) - (-۱۲)	
۳	(-۱۲) - (-۹)	
۴	(-۹) - (-۷)	
۵	(-۷) - (-۵)	
۶	(-۵) - (-۳)	
۷	(-۳) - (۰)	
۸	۰ - ۳	
۹	۳ - ۱۰	

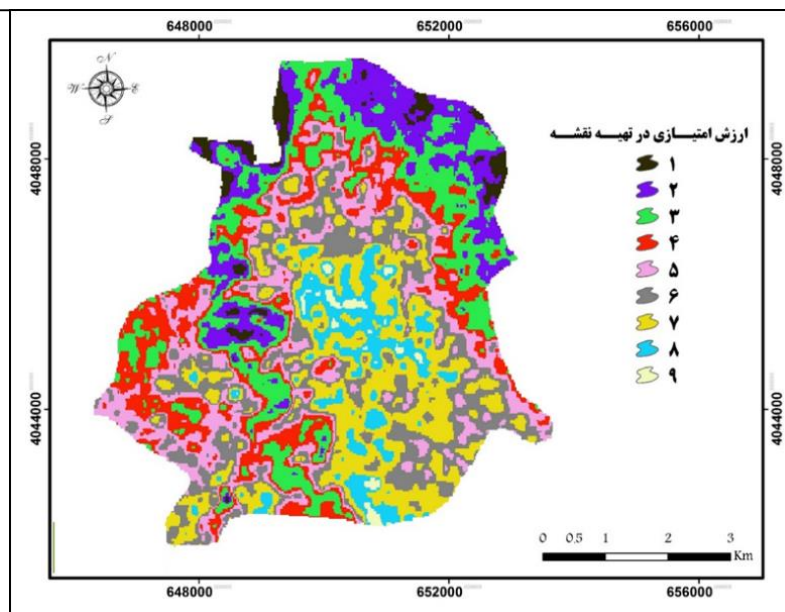
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۴

## ارتفاع

اگرچه این متغیر نقش بارز و خیلی ملموسی در تهیه نقشه آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب ندارد؛ اما به‌عنوان یک عامل طبیعی که یکی از معرف‌های توپوگرافی هر منطقه بوده می‌تواند با نقشی بسیار پایین در تهیه نقشه آسیب‌پذیری استفاده شود. البته لازم به ذکر است که در صورت موازی بودن تغییرات شیب و ارتفاع یا به عبارتی افزایش شیب با افزایش ارتفاع محدوده، این متغیر می‌تواند اثرگذاری بیشتری در تهیه نقشه داشته باشد که در مورد شهر بابل این حالت وجود دارد. جهت تهیه نقشه ارتفاعی شهر بابل و طبقات آن، از مدل رقومی ارتفاع استفاده گردید. شکل ۸ نقشه طبقات ارتفاعی شهر بابل را نشان می‌دهد. با توجه به شکل و همچنین جدول ۸ ارتفاع شهر بابل از ۲۰- تا ۱۰ متر متغیر است.

در ادامه، بر مبنای اهمیت متغیرها در ارتباط با

آسیب‌پذیری، اولویت‌بندی آن‌ها جهت اجرای مدل آسیب‌پذیری با روش AHP به گونه‌ای است که بیش‌ترین ارزش به کاربری اراضی و بافت فرسوده شهر بابل و پس از آن به ترتیب به لایه‌های فاصله از شبکه



جهت تعیین وزن کلی، اولویت‌بندی متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری و تهیه‌ی مقادیر کمی آن‌ها بر اساس نظرات کارشناسی ماتریسی به ابعاد ۷×۷ ایجاد شد (جدول ۱۰). مقایسه‌ی دوبه‌دو متغیرها، مبنای تعیین ارجحیت آن‌ها در ارتباط با آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب قرار گرفت. برای محاسبه مقادیر و بردار ویژه، ستون‌ها با هم جمع و هر سلول ماتریس بر جمع ستون مربوطه تقسیم شد که این عمل برای نرمال کردن ماتریس انجام گرفت. مرحله بعدی محاسبه‌ی میانگین سطرهای ماتریس است که از آن به عنوان وزن نسبی استفاده می‌شود.

### یافته‌های پژوهش

وزن نسبی (معیار) متغیرهای استفاده شده در

جدول ۹: مقیاسی برای مقایسه دو به دو متغیرها

میزان اهمیت	تعریف	میزان اهمیت	تعریف
۱	اهمیت برابر	۶	اهمیت قوی تا خیلی قوی
۲	اهمیت برابر تا متوسط	۷	اهمیت خیلی قوی
۳	اهمیت متوسط	۸	اهمیت خیلی قوی تا فوق العاده قوی
۴	اهمیت متوسط تا قوی	۹	اهمیت فوق العاده قوی
۵	اهمیت قوی	-	-

منبع: (مالچفسکی، ۱۳۹۵)

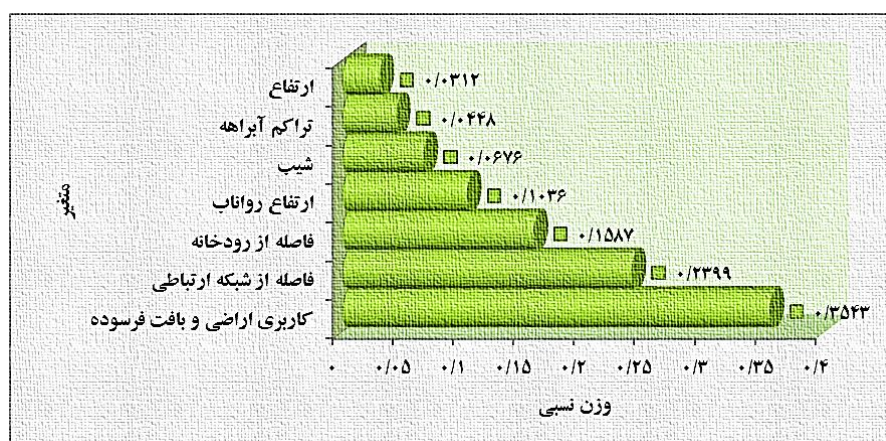
آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شکل ۹ آورده شده است؛ این شکل نشان می‌دهد که وزن معیار برای عامل نوع کاربری اراضی و فرسودگی بافت ۰/۳۵، فاصله از شبکه ارتباطی ۰/۲۴، فاصله از رودخانه ۰/۱۶، ارتفاع رواناب ۰/۱۰، شیب ۰/۰۷، تراکم آبراهه ۰/۰۴۴ و برای متغیر ارتفاع ۰/۰۳ محاسبه شده است؛ بنابراین، نوع کاربری اراضی و فرسودگی بافت بیش‌ترین و ارتفاع کم‌ترین وزن را در تهیه نقشه آسیب‌پذیری دارند. این وزن‌های نسبی (ضرایب)، به عنوان میزان تأثیرگذاری هر متغیر در ایجاد نقشه آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفتند. به عبارتی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در بخش‌های مختلف شهر بابل به صورت تابعی از این ضرایب تعریف و از رابطه ۳ بدست آمد.

جدول ۱۰: ماتریس متغیرهای مؤثر در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب شهر بابل

متغیر	کاربری اراضی و بافت فرسوده	فاصله از شبکه ارتباطی	فاصله از رودخانه	ارتفاع رواناب	شیب	تراکم آبراهه	ارتفاع
نوع کاربری اراضی و فرسودگی بافت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
فاصله از شبکه ارتباطی	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶
فاصله از رودخانه	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵
ارتفاع رواناب	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴
شیب	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳
تراکم آبراهه	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲
ارتفاع	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱

\* CR = 0.02

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۴



شکل ۹: وزن نسبی متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر بابل

$$V = (0.354L) + (0.239N) + (0.158R_i) + (0.103R) + (0.067S) + (0.044D) + (0.031E) \quad \text{رابطه (۳)}$$

آسیب‌پذیری سیلاب شهر بابل با استفاده از فرمت‌های تحلیلی در محیط ArcMap تهیه گردید که در شکل ۱۰ آورده شده است. با توجه به نقشه و هم‌چنین جدول ۱۱، آسیب‌پذیری سیلاب شهر دامنه‌ای از ۲/۶ تا ۸/۷ دارد که با استفاده از روش شکست طبیعی در

که در آن L متغیر نوع کاربری اراضی و فرسودگی بافت، N فاصله از شبکه ارتباطی،  $R_i$  فاصله از رودخانه، R ارتفاع رواناب، S شیب، D تراکم شبکه آبراهه و E متغیر ارتفاع می‌باشد. پس از محاسبه وزن نسبی و با استفاده از معادله بدست آمده از ضرایب متغیرها، نقشه



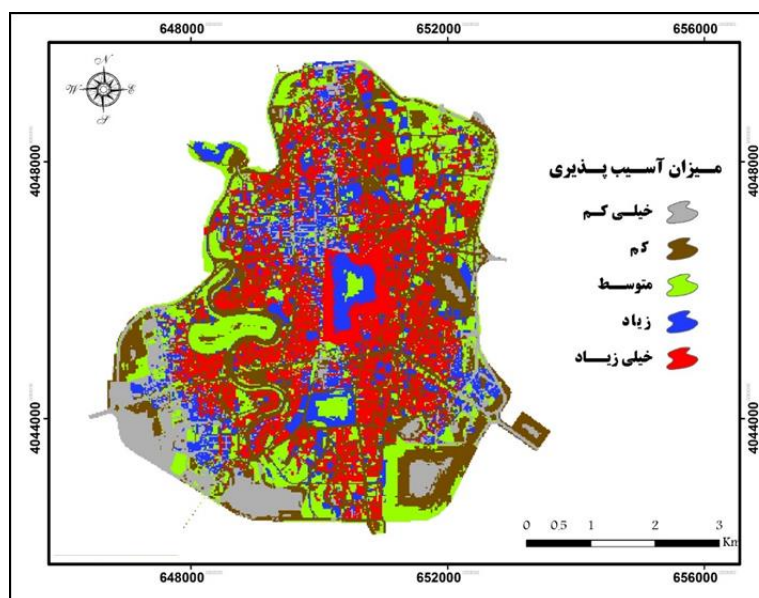
آسیب پذیری ناشی از سیلاب را دارند. در مجموع قرار گرفتن ۳۸ درصد از مساحت شهر بابل در رده های آسیب پذیری زیاد و خیلی زیاد، نشان از آسیب پذیری نسبتاً بالای این شهر در مقابل سیلاب دارد.

جدول ۱۱: مساحت پنج رده آسیب پذیری سیلاب در شهر بابل

رده آسیب پذیری	ارزش	مساحت (Km <sup>2</sup> )	%
خیلی کم	۲/۶ - ۴/۸	۴/۳	۱۳/۴
کم	۵/۷ - ۴/۹	۹/۳	۲۹/۱
متوسط	۶/۶ - ۵/۸	۵/۹	۱۸/۶
زیاد	۷/۵ - ۶/۷	۴/۷	۱۴/۸
خیلی زیاد	۸/۷ - ۷/۶	۷/۷	۲۳/۹

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۴

۵ طبقه آسیب پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد دسته بندی شد. طبقه آسیب پذیری خیلی زیاد منطبق بر پهنه های بافت قدیمی شهر و بخش هایی از آن است که بیشترین تراکم ساختمان های مسکونی و شبکه معابر یا به عبارتی سطوح نفوذناپذیر را دارد. پهنه های آسیب پذیری خیلی زیاد بیش تر در مرکز شهر و حریم رودخانه قابل مشاهده می باشد. این در حالی است که گسترش اراضی باغی و کشاورزی و کاهش تراکم سطوح نفوذناپذیر (کاربری مسکونی و معابر) سبب کاهش آسیب پذیری سیلاب در بخش های حاشیه ای شهر شده تا جائیکه طبقه آسیب پذیری خیلی کم منطبق بر همین بخش ها بوده است. از نظر مساحتی از رده آسیب پذیری خیلی کم تا آسیب پذیری خیلی زیاد به ترتیب مساحت آن ها ۴/۳، ۹/۳، ۵/۹، ۴/۷ و ۷/۷ کیلومتر می باشد که رده آسیب پذیری کم و پس از آن رده آسیب پذیری خیلی زیاد با ۲۹/۱ و ۲۳/۹ درصد از کل مساحت شهر بابل، بیشترین مساحت رده های



شکل ۱۰: نقشه آسیب پذیری سیلاب شهر بابل

## بحث و نتیجه‌گیری

نقشه پتانسیل خطر سیل نمی‌تواند به طور کامل اطلاعات موردنیاز در مدیریت سیلاب شهری را فراهم کند؛ داشتن اطلاعات درباره‌ی میزان خسارت و تخریب در ناحیه‌ی سیل‌زده بسیار مهم می‌باشد که این اطلاعات تنها از طریق شدت مخاطره قابل پیش‌بینی نیست؛ بلکه به شرایط ساخت‌وساز نیز بستگی دارد. پیش‌بینی ریسک ناشی از مخاطره نیاز به بررسی دقیق علت‌های ایجاد خسارت دارد که از طریق در نظر گرفتن پتانسیل ایجاد خطر و آسیب‌پذیری فراهم می‌شود؛ بنابراین ترکیبی از مخاطره سیلاب با دیگر پارامترها نیاز است که موجب ایجاد اطلاعات دقیق‌تر برای مدیریت سیلاب شهری گردد. برای دستیابی به این هدف، تحلیل آسیب‌پذیری به‌منظور بررسی تأثیر رخدادهای سیلاب بر اموال و زندگی انسان در نواحی شهری ابزاری مفید می‌باشد. احتمال و شدت مخاطره تنها عامل مؤثر در میزان ریسک نیست، بلکه ریسک سیلاب به میزان در معرض مخاطره بودن ساخت‌وسازها و چگونگی آسیب‌پذیری آن‌ها نیز بستگی دارد.

نقشه آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب می‌تواند بازتاب مناسبی از وضعیت اجتماعی و اقتصادی مناطق مختلف شهر بابل از نظر آسیب‌پذیری باشد؛ بطوریکه آسیب‌پذیرترین بخش‌های شهری بر بافت‌های فرسوده‌ی با تراکم جمعیتی بسیار بالا منطبق است. جهت شماییک نمودن سطح آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر بابل، از متغیرهای نوع کاربری اراضی، فرسودگی بافت، شبکه ارتباطی، رودخانه، رواناب، شیب، تراکم آبراهه و ارتفاع با فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده گردید. وزن معیار برای عامل نوع کاربری اراضی و بافت فرسوده ۰/۳۵، فاصله از شبکه ارتباطی ۰/۲۴، فاصله از رودخانه ۰/۱۶، ارتفاع رواناب ۰/۱۰، شیب ۰/۰۷، تراکم آبراهه ۰/۰۴۴ و برای متغیر ارتفاع ۰/۰۳ محاسبه شد؛ بنابراین، نوع کاربری اراضی و فرسودگی بیش‌ترین و ارتفاع کم‌ترین وزن را در تهیه نقشه آسیب‌پذیری دارند. این وزن‌های نسبی (ضرایب)، به عنوان میزان تأثیرگذاری هر متغیر در ایجاد نقشه آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفتند.

آسیب‌پذیری سیلاب شهر دامنه‌ای از ۲/۶ تا ۸/۷ دارد که با استفاده از روش شکست طبیعی در ۵ طبقه آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد دسته‌بندی شد. طبقه آسیب‌پذیری خیلی زیاد منطبق بر پهنه‌های بافت قدیمی شهر و بخش‌هایی از آن است که بیش‌ترین تراکم ساختمان‌های مسکونی و شبکه معابر یا به عبارتی سطوح نفوذناپذیر را دارد. پهنه‌های آسیب‌پذیری خیلی زیاد بیش‌تر در مرکز شهر و حریم رودخانه قابل مشاهده می‌باشد. این در حالی است که گسترش اراضی باغی و کشاورزی و کاهش تراکم سطوح نفوذناپذیر (کاربری مسکونی و معابر) سبب کاهش آسیب‌پذیری سیلاب در بخش‌های حاشیه‌ای شهر شده تا جائیکه طبقه آسیب‌پذیری خیلی کم منطبق بر همین بخش‌ها بوده است. از نظر مساحتی از رده آسیب‌پذیری خیلی کم تا آسیب‌پذیری خیلی زیاد به ترتیب مساحت آن‌ها ۴/۳، ۹/۳، ۵/۹، ۴/۷ و ۷/۷ کیلومتر می‌باشد که رده آسیب‌پذیری کم و پس از آن رده آسیب‌پذیری خیلی زیاد با ۲۹/۱ و ۲۳/۹ درصد از کل مساحت شهر بابل، بیش‌ترین مساحت رده‌های آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب را دارند. در مجموع قرار گرفتن ۳۸ درصد از مساحت شهر بابل در رده‌های آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد، نشان از آسیب‌پذیری نسبتاً بالای این شهر در مقابل سیلاب دارد.

## منابع

- درفشی، خ.، ۱۳۹۰، بررسی تغییرات فضایی سیلاب در کلان‌شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، ۱۳۸ صفحه.
- درفشی، خ.، ۱۳۹۹، عوامل مؤثر بر تغییرپذیری فضایی ریسک سیلاب در کلان‌شهر تهران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی: (۷)، ص ۱۲۵-۱۴۶،
- <http://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.7.3.125>
- زبردست، ا.، ۱۳۸۰، کاربرد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، مجله هنرهای زیبا: (۱۰)، ص ۱۳-۲۱.
- [https://journals.ut.ac.ir/article\\_13624\\_2bf4e3907f825cf5f07eb3af7820579e.pdf](https://journals.ut.ac.ir/article_13624_2bf4e3907f825cf5f07eb3af7820579e.pdf).



- Event Analysis. Federal Department for the Environment, Transport, Energy and communications DETEC, 24pp. [https://www.preventionweb.net/files/10580\\_inde1.pdf](https://www.preventionweb.net/files/10580_inde1.pdf).
- Jinfeng, Y., 2002. Generating ranking groups in Analytical Hierarchy Analysis. Dublin. John Wiley & Sons press. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601975>.
  - Liu, Y. B., De Smedt, F., Hoffmann, L., & Pfister, L. 2005. "Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach". Environmental modeling & assessment, 9(4), 227-235. <https://doi.org/10.1007/s10666-005-0306-7>.
  - Nirupama, N., and Simonovic, S. P., 2007. Increase of flood risk due to urbanization: A of Urban Watersheds in the United States. U.S. Geological Survey. DOI: 10.1007/s11069-006-0003-0.
  - NOAA/NWS. 2009. Flood losses: complication of flood loss statistics [Online]. NOAA Gov. Climate Research Centre. Available: [http://www.weather.gov/oh/hic/floodstats/Flood Loss time series.shtml](http://www.weather.gov/oh/hic/floodstats/Flood%20Loss%20time%20series.shtml) [Accessed 25.08.2009].
  - Poff, N. L., Bledsoe, B. P., & Cuhaciyan, C. O. (2006). Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. *Geomorphology*, 79(3), 264-285. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.032>.
  - Puno, R.C.C., Puno, G.R., & Talisay, B.A.M. (2019). "Hydrologic responses of watershed assessment to land cover and climate change using soil and water assessment tool model". *Global Journal of Environmental Science Management*, 5(1), 71-82. <https://dx.doi.org/10.22034/gjesm.2019.01.06>.
  - Saaty, T. L. (2004). *Mathematical methods of operations research*. Courier Corporation. Courier Corporation, Business & Economics, 460pp. [https://books.google.com/nl/books?id=muSCOkuD8\\_IC](https://books.google.com/nl/books?id=muSCOkuD8_IC).
  - مالففسکیس، ی.، ۱۳۹۵، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، مترجم: پرهیزکار، اکبر و غفاری گیلانده، عطا، چاپ چهارم، انتشارات سمت، ۶۰۸ صفحه.
  - Abe, C., Lobo, F., Dibike, Y., Costa, M., Dos Santos, V., & Novo, E. 2018. Modelling the effects of historical and future land cover changes on the hydrology of an Amazonian Basin. *Water*, 10(7), 1-19. <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/7/932>.
  - Alcántara-Ayala, I. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47(2), 107-124. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00083-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00083-1).
  - Beighley, R. E., & Moglen, G. E. 2002. Trend assessment in rainfall-runoff behavior in urbanizing watersheds. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(1), 27-34. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2002\)7:1\(27\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:1(27)).
  - Bhattacharya, N. 2010. Flood risk assessment in Barcelonese France, Thesis for degree of Master of Science in International institute for geo-information science and earth observation Enschede (ITC), the Netherlands. [http://www.ano-omiv.cnrs.fr/images/Publications/PDFs/Ubaye/MScThesis/2010-Bhattacharya\\_MScThesis.pdf](http://www.ano-omiv.cnrs.fr/images/Publications/PDFs/Ubaye/MScThesis/2010-Bhattacharya_MScThesis.pdf).
  - Campana, N. A., & Tucci, C. E. 2001. Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Dilúvio Basin, Porto Alegre, Brazil. *Urban Water*, 3(1), 113-124. <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/predicting-floods-from-urban-development-scenarios-diluvio-basin-porto-alegre.pdf>.
  - Hawley, R. J., & Bledsoe, B. P. 2011. How do flow peaks and durations change in suburbanizing semi-arid watersheds? A southern California case study. *Journal of Hydrology*, 405(1), 69-82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.011>.
  - IF-NET 2005. Flood net brochure, the Floods of 2005 in Switzerland. Synthesis Report on the

- 
- Suriya, S., & Mudgal, B. V. (2012). "Impact of urbanization on flooding: the Thirusoolam sub watershed—a case study". *Journal of Hydrology*, 412, 210-219. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.008>.
  - Wheater, H., & Evans, E. (2009). Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy*, 26, S251-S264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.019>.
  - Saghafian, B., Farazjoo, H., Bozorgy, B., & Yazdandoost, F. (2008). Flood intensification due to changes in land use. *Water resources management*, 22(8), 1051-1067. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-007-9210-z>.
  - Sauer, V. B., Thomas Jr, W. O., Stricker, V. A., & Wilson, K. V. (1983). Flood characteristics of urban watersheds in the United States (No. 2207). USGPO. <https://doi.org/10.3133/wsp2207>.