

## پهنه‌بندی خطر سیل در شهر بیرجند

رستم صابری فر<sup>۱\*</sup>، هومر شکری<sup>۲</sup>

۱. دانشیار دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲. کارشناسی ارشد دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۵)

### چکیده

گسترش فیزیکی شهرها، به خصوص شهرهایی که در نتیجه تحولات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی، شاهد رشد غیرعادی بوده‌اند، باعث مشکلات متعددی شده است. به همین منظور، هدف تحقیق حاضر، بررسی وضعیت شهر بیرجند از نظر سیل‌خیزی و پهنه‌بندی خطر ناشی از این حادثه مهم طبیعی بود. این بررسی به شیوه توصیفی-تحلیلی و به منظور پیش‌بینی دامنه خسارات ناشی از سیلاب انجام شده است. داده‌های مورد نیاز در بخش کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مشخصات مسیل‌های موجود، شیب، تراکم مسکونی و جمعیت، ضریب CN، رواناب، قدمت ابنیه، فضاهای باز و سایر مؤلفه‌های مؤثر در این خصوص گردآوری شد. داده‌های گردآوری شده بعد از تصحیح و تبدیل، وزن‌دهی شد و بعد از انجام مقایسات زوجی و تعیین ضرایب نهایی هر لایه، نقشه‌های مورد نیاز تهیه گردید. برای تعیین وزن و ضرایب نهایی به تناسب از مدل AHP و نرم‌افزارهای مربوطه، به خصوص ArcGIS .Export Choice و... بهره‌برداری به عمل آمد. نتایج نشان داد تمام وسعت شهر در معرض خطر سیلاب قرار دارد. با وجود این، پهنه‌های جنوب و جنوب شرقی که قریب به ۲۰ درصد از وسعت شهر را به خود اختصاص داده‌اند، در معرض خطرپذیری زیاد و خیلی زیاد، محدوده‌های شمال غربی و جنوب غربی با ۵۰ درصد وسعت، در محدوده خطرپذیری متوسط و سایر بخش‌های شهر که کمتر از ۳۰ درصد وسعت را به خود اختصاص داده‌اند، در پهنه خطرپذیری کم و بسیار کم قرار دارند. در نتیجه باید در قسمت‌هایی که آسیب‌پذیری بیشتری پیش‌بینی می‌شود، برای عملیات کنترل سیلاب و سیستم‌های هشداردهنده سیل اقدام کرده و به منظور رفع تصرف‌های غیرقانونی که در بستر و حریم مسیل‌های موجود صورت گرفته است، اقدام لازم را به عمل آورند.

### واژگان کلیدی

بیرجند، پهنه‌بندی خطر، سیلاب‌های شهری، سیل‌خیزی.

---

\* رایانامه نویسنده مسئول: saberifar@yahoo.com

## مقدمه

بررسی آمار و اطلاعات خسارت‌های ناشی از وقوع سیل در ایران و جهان بسیار نگران‌کننده بوده و رخداد سیل، یکی از سه بلای طبیعی و اصلی ایران است (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۶). تحقیقات نشان می‌دهد در طی پنج دهه گذشته، وقوع سیل‌ها ده برابر افزایش یافته (عبدی، ۱۳۸۵: ۲۰۰) و به دلیل حجم و میزان خسارات مالی و تلفات جانی در مناطق شهری، چگونگی انتقال و مدیریت و تخلیه رواناب‌های حادث‌شده مورد توجه و تأکید قرار گرفته است (اکارت، ۱۳۸۴: ۴۶۶).

برخلاف برخی از ادعاها، پدیده سیل، با وجود همه پیچیدگی‌ها، قابل بررسی و مطالعه است و می‌توان برای مهار و کاهش خسارات و حتی بهره‌گیری اقتصادی از آن، راه‌حل‌های مناسبی جست‌وجو کرد (بهبهانی، ۱۳۸۱: ۱۷۶). در سال‌های اخیر، تلفات و خسارات ناشی از سیل در شهرها ابعاد و زوایای بیشتری به خود گرفته است. دلیل این مسئله، تراکم جمعیت و اثر توسعه پهنه‌های نفوذناپذیر در این مناطق است؛ به طوری که اعلام شده است مناطق شهری ۳۰ تا ۱۰۰ درصد، حجم رواناب‌ها را افزایش می‌دهند (Barron et al., 2011: 547). در واقع، اینکه با اندکی بارندگی سیل‌های مخرب و ویرانگری حادث می‌شود، نشان‌دهنده ضعف در برنامه‌ریزی و نبود پیش‌بینی‌های لازم است (Huang and Shen, 2019: 43).

به همین منظور، بسیاری از مجامع علمی و دانشگاهی درخصوص جلوگیری یا کاهش پیامدهای ناگوار ناشی از سیلاب‌ها، به‌خصوص در مناطق شهری، فعالیت‌های گسترده‌ای را آغاز کرده‌اند. نقطه مشترک مورد تأکید تمامی این بررسی‌ها، ضرورت انجام پهنه‌بندی خطر سیل، به‌ویژه در مناطق شهری بوده است. مطابق این بررسی‌ها، پهنه‌بندی خطر سیل، ابزار یگانه و منحصربه‌فردی برای مدیریت کاهش خطر و وسیله‌ای قانونی در دست دولت برای کنترل و مدیریت کاربری اراضی محسوب می‌شود (تلوری، ۱۳۷۶: ۱۰۳).

تحقیقات انجام‌شده در این زمینه، اغلب در بزرگ‌ترین شهرها و مناطقی به انجام رسیده است که از نظر سیاسی یا اقتصادی طرف توجه نهادهای علمی و سیاسی بوده‌اند. اما درخصوص مناطقی که در کانون توجه قرار نداشته‌اند، این وضعیت چندان جدی گرفته نشده است. برای مثال، طبق مطالعات صورت‌گرفته در شهر بیرجند و اعلام مقامات مسئول، این شهر سومین شهر سیل‌خیز

ایران به حساب می‌آید (استاندارداری خراسان جنوبی، ۱۳۹۷؛ Saberifar, 2009). این وضعیت درباره شهرهای که از نظر اقلیمی در شمار مناطق خشک محسوب شده و میزان بارندگی در آن کمتر از متوسط میزان بارندگی در ایران است، نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها به درستی صورت نگرفته است (Saberifar and Shokri, 2016). این در حالی است که علاوه بر حساسیت اوضاع این شهر در مقابل پدیده سیل‌خیزی، هر نوع تهدیدی برای این مرکز مهم جمعیتی در شرق کشور که قریب به ۲ میلیون نفر جمعیت را خدمت‌رسانی می‌کند (صابری‌فر، ۱۳۹۱)، وضعیت بحرانی و نگران‌کننده‌ای به وجود خواهد آورد. به همین منظور، این بررسی قصد دارد وضعیت شهر بیرجند را از نظر سیل‌خیزی و پهنه‌بندی خطر ناشی از این حادثه مهم طبیعی بررسی کند.

### مبانی نظری و پیشینه تحقیق

بسیاری از اندیشمندان معتقدند سیل و سیل‌خیزی و پیامدهای مخرب آن از زمانی آغاز شد که بشر قوانین حاکم بر طبیعت را نادیده گرفت و سعی کرد بدون توجه به این قوانین، اهداف و مقاصد خود را دنبال کند (صابری‌فر، ۲۰۰۹). با آنکه قبل از این تاریخ هم سیل‌ها و طغیان‌های رودخانه‌ای فراوانی حادث می‌شد، میزان خسارات و تلفات ناشی از آن به هیچ‌وجه قابل مقایسه با شرایط کنونی نبود (وهابی، ۱۳۸۵: ۳۴). بروز سیل‌های خطرناک و تلفات ناشی از آن باعث شد تحقیقات متعددی در این زمینه صورت گیرد. با توجه به فلسفه حاکم بر این تحقیقات، در این زمان تأکید محققان بر اقدامات فنی و مهندسی بوده و ابعاد اجتماعی و اقتصادی قضیه چندان جدی گرفته نمی‌شد. تاکنون، توجه اصلی به سیستم هیدرولوژیک منطقه و رودخانه‌های مورد مطالعه (رامشت، ۱۳۸۵: ۴۸) بوده و مسائل مربوط به سیل‌های شهری، به دلیل نمونه‌های واقعی و فراوانی اندک مدنظر نبوده است (رسولی، ۱۳۹۳: ۲۸). با ورود مبحث سیلاب‌های شهری به حیطه مطالعات سیل‌خیزی و هیدرولوژی، ابعاد غیرفنی و اجتماعی و اقتصادی وسعت بیشتری پیدا کرد و همین مسئله نشانگر آن بود که قبل از هرگونه اقدام فنی یا غیرفنی، ضروری است که مطالعات در بستر پهنه‌بندی مورد تأکید قرار گیرد (تلوری، ۱۳۷۶). در مناطق شهری، فعالیت‌های مربوط به سیل و سیل‌خیزی توسعه چندان پیدا نکرده و به همین دلیل، اغلب روش‌های مورد استفاده در این بخش، سنتی و فاقد نوآوری‌های اساسی است. این در حالی است که تحقیقات نشان می‌دهد سالانه حدود ۱۹۶ میلیون نفر در بیش از ۹۰ کشور

دنیا در معرض خطر وقوع سیل قرار دارند (United Nations, Development Program, 2004) و این خطر در شهرها که اغلب در خروجی حوضه‌های آبخیز واقع شده و بالاترین تراکم جمعیتی را به خود اختصاص داده‌اند، بسیار مهم و اساسی به نظر می‌رسد.

نکته بسیار اساسی‌تر آن است که در عرصه‌های شهری نسبت افزایش سطوح نفوذناپذیر به شدت در حال ازدیاد است. این سطوح نیز قادر به جذب بارندگی نبوده و در نتیجه، با کمترین بارندگی، حجم رواناب افزایش می‌یابد (لیند، ۱۳۷۲: ۲).

شاید یکی از دلایلی که در سال‌های اخیر به شدت بر میزان وقوع سیل و خسارات ناشی از آن افزوده شده (عبدی، ۱۳۸۵: ۲۰۰)، همین توسعه شهرنشینی و فقدان برنامه‌های عملی و دقیق برای مقابله با کاهش حجم رواناب یا مدیریت هدفمند آن باشد. بررسی پیشینه موضوعی در این زمینه نشان می‌دهد مطالعات انجام‌شده در این حوزه عمدتاً به مسئله پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرهای بزرگ (محمودزاده و دیگران، ۱۳۹۴؛ امیراحمدی و دیگران) پرداخته‌اند. اما برای شهرهای کوچک و متوسط که برحسب اتفاق، توسعه و گسترش باورناپذیری را در سال‌های اخیر پیدا کرده‌اند، فعالیت انجام نشده است. این در حالی است که طرح‌ها و پروژه‌های تهیه‌شده در این شهرها، به دلیل نبود حساسیت‌های لازم، هیچ‌گاه مورد نقد و تحلیل محافل علمی و تحقیقاتی قرار نمی‌گیرد.

به‌طور کلی، در اغلب طرح‌های تهیه‌شده در ایران، به پارامترهای هیدرولوژیکی یعنی سطح نفوذناپذیر حوضه که به‌عنوان نسبت مساحتی مشخص می‌شود که باران نزولی بر آن به‌صورت مستقیم به شبکه زهکشی آب‌های سطحی وارد می‌شود و زمان تمرکز یا سرعت جریان آب در حوضه، توجه چندانی نمی‌شود. این در حالی است که در سایر کشورها، این عوامل همیشه و با اولویت‌های اول، مدنظر تهیه‌کنندگان طرح است. برای مثال، برای تعیین سطوح نفوذناپذیر، مدل‌های مختلفی معرفی شده است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، مدل برآورد سطوح نفوذناپذیر (SCS, 1975: 476) است. در این مدل، حجم جریان سطحی بر اساس نوع خاک و ویژگی‌های توسعه شهری (مثل مساحت قطعات اختصاص‌یافته به کاربری‌های مسکونی، تجاری و صنعتی در مقایسه با سایر کاربری‌ها) برآورد می‌شود. یکی دیگر از مطالعات مرجع در این زمینه، کار موتا و توکسی (1984: 26)، در برزیل است که داده‌های حاصل از پورتوالگز را برای تعیین رابطه تراکم شهری و سطوح نفوذناپذیر استفاده کردند.

علاوه بر آن، توکسی (65: 1987) روش‌های غیرمستقیم را برای تعیین ارتباط بین سطح نفوذناپذیر و تراکم بخش اشغالی (نواحی شهری) استفاده کرد. در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از داده‌های شهر ساووپائولو در یازده حوضه، در همین ارتباط، نتایج مناسبی ارائه داده است (Campana, 1984: 26).

درخصوص موضوع پهنه‌بندی نیز مطالعات متعددی به انجام رسیده است که از آن جمله کارمانتای<sup>۱</sup> و مارکو<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) است. این گروه با استفاده از سیستم پشتیبان کاداستر به پهنه‌بندی سیلاب در شهر نیویورک پرداختند. میگنوت<sup>۳</sup> و دیگران (۲۰۰۶) با مدل‌سازی سیلاب در نواحی متراکم شهری، در شهر تیمز فرانسه به بررسی سیلاب پرداخته و دریافتند که برخی از کاربری‌ها در تشدید و قدرت تخریبی سیلاب نقش اساسی ایفا می‌کنند. لوم<sup>۴</sup> و دیگران (۲۰۰۴) با استفاده از مدل ژئومورفولوژیکی، وضعیت سیلاب در حوضه‌های شهری را بررسی کردند و نشان دادند که چگونه عوارض ژئومورفولوژیکی می‌توانند وضعیت سیلاب و اثرگذاری آن را بر حوضه‌های شهری تحت‌تأثیر قرار دهند. در سال ۲۰۰۹ نیز چن<sup>۵</sup> و دیگران بر اساس یک مدل جی.آی.اس مبنای آب‌گرفتگی ناشی از سیلاب شهری را مورد مطالعه قرار دادند و تأثیر و سهم هریک از عوامل مختلف زیستی و اجتماعی را در این زمینه روشن کردند. این روند در کار اشمیت<sup>۶</sup> و دیگران (۲۰۰۴) به صورت مدل‌سازی ادامه پیدا کرد. در همین خصوص، کار وندر<sup>۷</sup> و دیگران (۲۰۰۳) در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی خطر سیلاب، کار تادا<sup>۸</sup> و دیگران (۲۰۰۱) با عنوان ویژگی‌های سیلاب‌های شهری و کاروایت و دیگران (۲۰۰۰) درباره تأثیر توسعه شهری در رفتار هیدرولوژیکی رودخانه‌ها درخور توجه به نظر می‌رسد.

در ایران اگرچه مطالعات مربوط به سیل و سیل‌خیزی بسیار زیاد است، تحقیقات انجام‌شده درباره پهنه‌بندی خطر ناشی از سیلاب چندان زیاد نیست. در این بخش به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. برای نمونه، ساعد (۱۳۷۸) پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در شهر سنج را بررسی کرده و ملک‌محمدی (۱۳۷۸) ارائه روشی مناسب برای تعیین بیمه سیلاب در محدوده مناطق شهری را با روش پهنه‌بندی

1. Maantay
2. Marko
3. Mignot
4. Lumme
5. Chen
6. Schmitt
7. Vander
8. Tada

مورد توجه قرار داد. در مطالعه‌ای دیگر، معاون هاشمی (۱۳۷۹) تحلیل منطقه‌ای سیلاب در خراسان و جلالی‌راد (۱۳۸۱) پهنه‌بندی سیلاب در بخشی از حوضه آبخیز شهر تهران را کانون توجه خود قرار دادند. در این میان، بررسی صراطی (۱۳۸۵) با عنوان «مدل‌سازی پهنه‌بندی سیل‌خیزی مناطق شهری در وب، منطقه مورد مطالعه شمال تهران (در بند)» بازخوردهای زیادی را به سوی خود جلب کرد. درخصوص شهر و پهنه خاص این بررسی نیز اگرچه مطالعات متعددی به انجام رسیده است، در کمتر نمونه‌ای از آن‌ها به مبحث پهنه‌بندی در شهر مدنظر وارد شده‌اند. فقط یک مطالعه با عنوان پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی (مختاری هشی و ۱۳۹۴)، کلیت این موضوع را در استان کانون توجه قرار داده است. به هر حال، این مطالعات به برخی از اطلاعات و داده‌هایی اشاره کرده‌اند که به نحوی در انجام این پژوهش از آن‌ها یاری گرفته شده است. از آن جمله می‌توان به مطالعه جهاد سازندگی (۱۳۸۰)، جوان و فال‌سلیمان (۱۳۸۵) و صابری‌فر (۲۰۰۹) اشاره کرد.

### روش تحقیق

پژوهش حاضر با هدف کاربردی و با روش توصیفی تحلیلی به انجام رسیده است. با توجه به هدف بررسی، سه مقوله کلی یعنی شرایط طبیعی، کاربری اراضی و وضعیت مسیل‌ها در کانون توجه قرار گرفت. لیکن بعد از بررسی اولیه و انجام مصاحبه‌های اکتشافی با صاحب‌نظران این حوزه و مطالعات قبلی که در این شهر به انجام رسیده بود (صابری‌فر، ۲۰۰۹)، شش معیار اصلی انتخاب و اطلاعات مورد نیاز درباره هر یک از آن‌ها گردآوری و با استفاده از ضرایب و مقدار برآوردشده در منبع مورد اشاره (وضعیت اقلیمی، شدت بارش و...)، مراحل بعدی کار به انجام رسید. به عبارت دیگر، در این بررسی وضعیت شش معیار شامل لایه‌های فاصله از رودخانه، تراکم مسکونی، تراکم جمعیتی، شیب، ضریب رواناب و ضریب CN برای اهداف این تحقیق تعیین و مشخص شد. برای ارزیابی خسارت نیز متغیرهای کیفیت بنا، قدمت ابنیه، تراکم ساختمانی، فاصله تا رودخانه، تراکم جمعیتی و لایه فضای باز مورد توجه قرار گرفت. برای آنکه دقت نقشه‌های مورد استفاده در حد قابل قبولی قرار داشته و نتایج مفیدی حاصل آید، نقشه‌های مورد استفاده از طرح تفصیلی شهر بیرجند و در حد ۱/۲۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰ به کار گرفته شد تا کاربری اراضی محدوده مورد بررسی و مسیل‌های شهری تعیین شود. سایر اطلاعات مورد نیاز با روش‌های

مربوطه تعیین شد. برای مثال، برای تهیه نقشه CN از نقشه‌های کاربری اراضی و خاک و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد و نقشه ضریب رواناب بر اساس روش هیدروگراف مصنوعی دفتر حفاظت خاک آمریکا و مطالعات قبلی (صابری‌فر، ۲۰۰۹) تهیه گردید. نقشه شیب نیز با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ رقومی سازمان نقشه‌برداری استخراج شد.

با توجه به سرشماری‌ها و حوزه‌بندی مرکز آمار ایران، نقشه تراکم جمعیت و تراکم مسکونی نیز آماده شد. برای تهیه نقشه قدمت ابنیه، اطلاعات شهرداری بیرجند در بخش صدور پروانه و پایان کار و نقشه‌های تهیه‌شده شهر در طرح تفصیلی استفاده شد. نقشه کلاس‌های لایه فضای باز داخل بافت نیز بر اساس نقشه کاربری اراضی تولیدشده در مراحل قبل و جدول ۱ آماده شد.

پس از تعیین فاکتورها، از نقشه‌های رقومی موجود، اسناد مکتوب، آمارنامه‌ها و گزارش‌های مختلف، برای تهیه نقشه‌ها و اطلاعات مورد نیاز استفاده شد که پس از ویرایش و تعریف روابط توپولوژیک، وارد نرم‌افزار گردید. پس از طی این مراحل، برای پهنه‌بندی خطر، روابط سلسله‌مراتبی و اوزان مربوطه تعیین شد. به این منظور، مدل‌های وزن‌دهی (AHP و SAW) با قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تلفیق شد تا بتوان هم‌زمان از داده‌های جغرافیایی به‌خوبی بهره‌برداری کرد. در این مرحله و با بهره‌گیری از نرم‌افزار Expert Choice ماتریس و رابطه دو به دوی فاکتورها به دست آمد. پس از تعیین وزن هر یک از فاکتورها در محیط GIS، وزن‌های حاصل در هر یک از لایه‌ها ضرب شد و نقشه‌های نهایی تهیه گردید.

جدول ۱. لایه‌ها و کلاس‌های استاندارد شده

نام لایه	شرح	وزن	کلاس ۱	وزن	کلاس ۲	وزن	کلاس ۳	وزن
کیفیت بنا	بتن و اسکلت	۲۵	۷	آجر و ملات	۵	۳	خشت و گل	۳
قدمت بنا	۱۰ سال و کمتر	۲۵	۷	۱۰ تا ۳۰	۵	۳	۳۰ و بیشتر	۳
تراکم ساختمانی	تا ۴۰ واحد در هکتار	۱۵	۳	۴۰ تا ۷۰	۵	۷	۷۰ و بیشتر	۷
فاصله تا مسیل	تا ۳ کیلومتر	۱۵	۳	۲ تا ۱ کیلومتر	۵	۷	۱ تا کیلومتر	۷
تراکم جمعیتی	تا ۲۰۰۰ نفر در هکتار	۱۰	۳	۲ تا ۳ هزار	۵	۷	۳ هزار و بیشتر	۷
فضای باز	کمتر از ۵۰۰ متر	۱۰	۳	۱۰۰ تا ۵۰۰	۵	۷	۱۰۰۰ و بیشتر	۷

با آنکه تمامی روش‌های استفاده‌شده در این بررسی در سایر تحقیقات مشابه به‌خوبی معرفی شده و معرف حضور محققان و متخصصان است، فقط برای آشنایی توضیحاتی درباره روش AHP ارائه می‌شود.

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، روشی است منعطف و قوی که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌کند، استفاده می‌شود (زبردست، ۱۳۸۰: ۱۳). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی عموماً از این مراحل چهارگانه تشکیل می‌شود: ۱. ایجاد درخت سلسله‌مراتبی؛ ۲. مقایسه دوتایی؛ ۳. تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها و ۴. بررسی سازگاری قضاوت‌ها. روش مذکور را محقق به نام توماس ال ساعتی<sup>۱</sup> در دهه ۱۹۷۰ بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی پیشنهاد کرد و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است (اصغری‌پور، ۱۳۸۸: ۲۹۹-۳۱۶).

اولین مرحله در روش AHP تجزیه‌کردن مسئله تصمیم‌گیری به سلسله‌مراتب است. برای مثال، در تحقیق حاضر بالاترین سطح یا هدف نهایی، پهنه‌بندی شهر بیرجند در مقابل خطرهای ناشی از سیل بود. سپس سلسله‌مراتب از کلی به جزئی ادامه می‌یابد تا اینکه به سطح صفات برسد. این در حالی است که هر سطح باید به سطح بالاتر قبلی متصل شود. گزینه‌ها در پایگاه داده GIS ارائه می‌شوند. هر لایه شامل مقادیر صفاتی است که به گزینه‌ها تخصیص داده شده و هر گزینه (مثلاً پلی‌گون) مرتبط با عناصر سطح بالایی (صفات) است. مفهوم صفت، روش AHP را به روش‌های GIS متصل می‌کند (پرهیزگار و غفاری گیلانده، ۱۳۸۵: ۱۶). بر این اساس، درخت سلسله‌مراتبی شکل می‌گیرد. بعد از تجزیه مسئله به سلسله‌مراتب، عناصر سطوح مختلف به‌صورت دوتایی با هم مقایسه می‌شوند و سپس بر اساس میزان ارجحیت دو معیار، ارزش‌گذاری صورت می‌گیرد.

تهیه ماتریس مقایسه در سلسله‌مراتب:

گام اول: محاسبه بردار مجموع وزنی (WSV): به این منظور، ماتریس مقایسات زوجی (D) در بردار وزن‌های نسبی ضرب می‌شود (مؤمنی، ۱۳۸۹: ۴۳).



گام دوم: محاسبه بردار سازگاری (CV): عناصر بردار مجموع وزنی (WSV) بر بردار وزن‌های نسبی شاخص‌ها تقسیم شده، تا بردار سازگاری (CV) به دست آید.

گام سوم: محاسبه بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی ( $\lambda_{max}$ ): برای محاسبه این پارامتر، میانگین عناصر بردار سازگاری محاسبه می‌شود.

گام چهارم: محاسبه شاخص ناسازگاری: به این منظور از شاخص ناسازگاری (I.I) استفاده شده که بر مبنای رویکرد بردار ویژه تئوری گراف، محاسبه می‌شود. چنانچه شاخص معادل ۰/۱۰ یا کمتر از آن باشد، وزندهی صحیح بوده، در غیر این صورت بایستی این روند مجدداً انجام شود (قدسی پور، ۱۳۸۷: ۶۷-۸۰). ساعتی برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها، نرخ ناسازگاری (I.R) را به کار برد که از تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I) به شاخص تصادفی بودن (R.I) حاصل می‌شود.

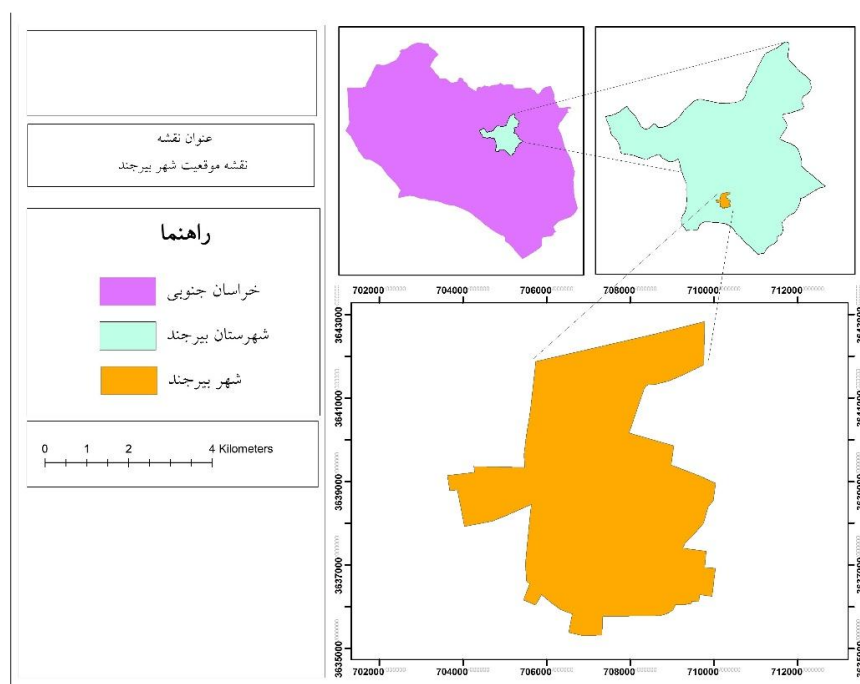
گام پنجم: محاسبه نرخ سازگاری: در صورتی که نرخ ناسازگاری، کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱۰ باشد ( $IR \leq 0.10$ )، در مقایسات زوجی سازگاری وجود دارد و می‌توان کار را ادامه داد. در غیر این صورت تصمیم‌گیرنده باید در مقایسات زوجی تجدید نظر کند (مؤمنی، ۱۳۸۹: ۴۴). با انجام مراحل فوق می‌توان وزن نهایی پارامترها را تهیه و ارائه کرد.

با طی مراحل فوق نقشه‌های مرتبط با هریک از متغیرهای مورد نیاز در شهر بیرجند تعیین شد که برای نمونه در شکل‌های ۲ تا ۵ ارائه شده‌اند.

بیرجند یکی از شهرهای مهم شرق ایران و مرکز استان خراسان جنوبی است (شکل ۱). این شهر، در ارتفاع ۱۴۸۰ متری از سطح دریا و در فاصله ۵۰۵ کیلومتری جنوب شهر مشهد قرار دارد (حدیدی‌نژاد، ۱۳۹۶). در سال‌های پس از ۱۳۲۰ به دلیل رخدادهای مختلف و از جمله تأثیرات جنگ جهانی دوم، تحولات درخور ملاحظه‌ای پیدا کرد و جمعیت مهاجر خود را به شدت افزایش داد (صابری‌فر، ۱۳۹۱).

بیرجند در منطقه‌ای واقع شده که بخشی از حوضه آبخیز کویر مرکزی است و از نظر اقلیمی در محدوده جغرافیای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (مهندسان مشاور طوس آب، ۱۳۸۵). به‌طور دقیق‌تر، از دیدگاه هیدرولوژیکی، بیرجند در قلمرو حوضه آبریز لوت قرار دارد. به عبارت دیگر، حوضه آبریز لوت خود به چند زیرحوضه تقسیم می‌شود که یکی از آن‌ها، زیرحوضه

کالشور- ماژان است. زیرحوضه مذکور، به چند زیرواحد هیدرولوژیکی تقسیم می‌شود که واحد هیدرولوژیکی بیرجند، یکی از آنهاست. با وجود باران اندک و حدوداً ۱۷۱ میلی‌متری، این شهر از نظر میزان خطرهای ناشی از سیل، سومین شهر سیل خیز ایران معرفی شده است (استانداری خراسان جنوبی، ۱۳۹۱). با وجود این، تاکنون تحقیق مفصل و اختصاصی دربارهٔ سیل و پهنه‌بندی خطرهای ناشی از آن در این شهر به انجام نرسیده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

### یافته‌های تحقیق

واحد هیدرولوژیکی بیرجند در ۵۹ درجه و ۹ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۵ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۹ دقیقه عرض جغرافیایی گسترده شده و بالاترین نقطهٔ ارتفاعی آن ۲۶۷۵ و پایین‌ترین ارتفاع آن ۱۴۵۵ متر است. این واحد ۱۸۴۶/۷۸ کیلومترمربع وسعت داشته و محیط آن ۲۱۲/۶۵ کیلومتر است. از نظر سیستم‌های هیدرولوژیکی، واحد بیرجند در زیرحوضهٔ

کالشور-ماژان حوضه آبریز لوت واقع است. این واحد هیدرولوژیکی، خود به دو قسمت شمالی و جنوبی قابل تقسیم بوده که هریک از آنها چندین زیرحوضه فرعی را در خود جای داده‌اند. رواناب بالغ بر ۱۰ زیرحوضه وارد رودخانه شاهرود می‌شود. مهم‌ترین زیرحوضه‌های این بخش عبارت است از کلاته بشگری، اسفزار، شهاباد، چشمه‌میر، مرک، تفچه‌آباد، القورات، دستگرد، خیرآباد و دهلکوه. رواناب‌های واردشده به این رود، از طریق کانال کبوترخان از داخل شهر منتقل می‌شود. زیرحوضه‌های جنوبی که از طریق رودخانه پل‌باغ وارد کانال کبوترخان می‌شود و از داخل شهر عبور می‌کند نیز شامل ۸ زیرحوضه به نام‌های بند عمرشاه، بنگ‌آباد، بنددره، چهارده، علی‌آباد لوله، فوداج (مزگ)، اسفهرود و بجد است. سایر زیرحوضه‌هایی که وارد شاهرود شده و از طریق کانال کبوترخان از داخل شهر خارج می‌شوند، شامل ۹ زیرحوضه به نام‌های بوشاد، بهدان، بناباد، فراشاد، چاچ، نوفرست، بیچار، مود و کلاته پدران است.

موقعیت مسیل‌ها در نیمه جنوبی حریم شهر بیرجند به دلیل رشد و توسعه شهر و تمایل برای ساخت‌وساز بیشتر، حساس‌تر بوده و توجه بیشتری را می‌طلبد. به هر حال شهر بیرجند در بین دو رشته‌کوه شمالی و جنوبی قرار گرفته که ارتفاعات شمالی با فاصله بیشتر و درصد شیب کمتر، حساسیت زیادی ایجاد نکرده است. نکته مهم و اساسی آن است که بیشتر رواناب ناشی از بارش از طریق اصلی‌ترین مسیل موجود، یعنی کال کبوترخان منتقل می‌شود که در مرکز شهر و حریم آن واقع شده و طول، عرض و عمق زیادی دارد. این مسیل با جهت شرقی-غربی از ارتفاعات میناباد (۲۷۶۵ متر ارتفاع) تا نزدیکی روستای حاجی‌آباد در غرب شهر (ارتفاع ۱۴۵۵ متر) امتداد دارد.

مسیل اساسی و مهم دیگر شهر بیرجند، پل‌باغ یا شوکت‌آباد است. این مسیل، حوضه آبریز ۱۲۰ کیلومترمربعی داشته و رواناب جاری‌شده در رودخانه‌های اسفهرود، علی‌آباد، بجد، بوشاد، فوداج و فرگ را دریافت کرده و از طریق یک پل چهارمتری در ابتدای خیابان غفاری وارد شهر شده و به موازات چند خیابان اصلی، به طرف خوسف ادامه مسیر می‌دهد. این مسیل در حال حاضر تا حد زیادی ساماندهی شده و با دیوارهای سنگی و بستر بتنی کانال‌سازی شده است. مشخصات و ویژگی‌های زیرحوضه‌های واقع در آبریز هریک از مسیل‌های عمده شهر بیرجند در جداول ۲ تا ۴ ارائه شده است.

جدول ۲. زیرحوضه‌های ورودی به مسیل پل باغ

نام زیرحوضه	بالاترین ارتفاع (متر)	پایین‌ترین ارتفاع (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)
بند عمرشاه	۲۵۸۱	۱۵۲۵	۱۸/۷۸	۲۴/۱۴
بنگ‌آباد	۲۰۶۰	۱۴۸۰	۵/۹۸	۱۲/۷
بند دره	۲۵۸۰	۱۶۰۳	۷/۸۳	۱۳/۴۳
چهار ده	۲۵۴۲	۱۵۸۶	۱۰/۳۳	۱۵/۸۵
علی‌آباد لوله	۲۵۹۹	۱۶۵۷	۹/۹۲	۱۴/۷۲
فوداج	۲۱۱۵	۱۵۵۲	۸/۵۱	۱۴/۶۷
اسفهرود	۲۴۴۵	۱۷۱۵	۱۴/۴۵	۱۷/۴
بجد	۲۳۶۴	۱۵۴۴	۲۹/۲۴	۲۴/۷۱

جدول ۳. زیرحوضه‌های مسیل کبوترخان (بخش جنوبی)

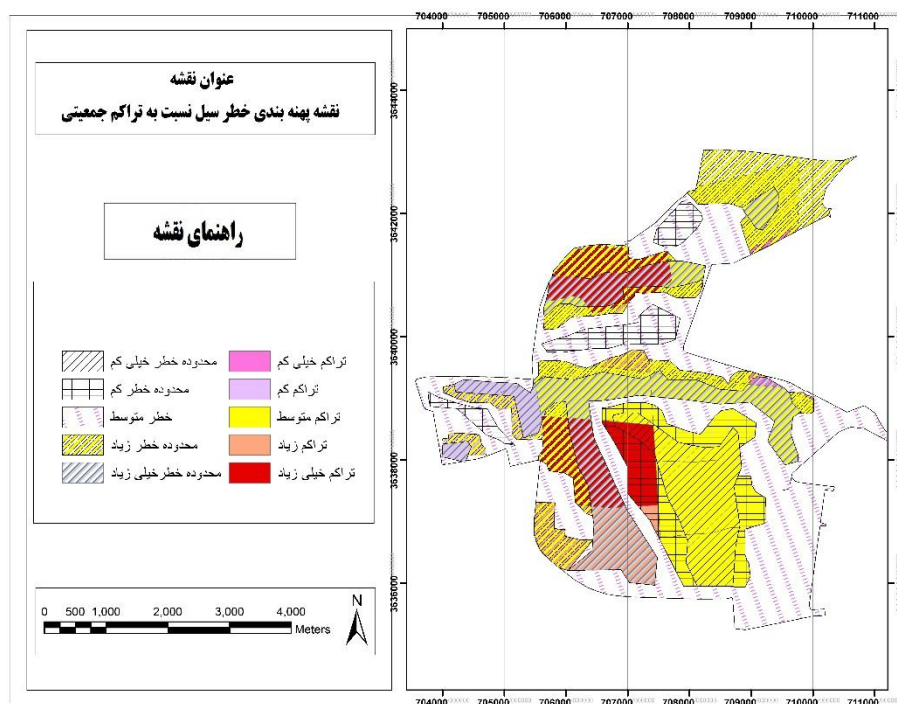
نام زیرحوضه	بالاترین ارتفاع (متر)	پایین‌ترین ارتفاع (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)
بوشاد-خالق‌آباد	۲۱۵۲	۱۵۹۷	۲۹/۲۴	۲۴/۷۱
بهدان	۲۵۷۳	۱۸۵۳	۳۵/۴۳	۳۰/۴۹
بناباد	۲۱۱۷	۱۷۷۴	۷/۱۱	۱۱/۱
خراشاد	۲۷۱۳	۱۸۷۴	۲۵/۷۱	۲۹/۱۵
چاچ	۲۰۹۱	۱۷۵۷	۶/۶۷	۱۱/۹۱
نوفست	۲۷۰۶	۱۸۴۰	۲۸/۵۳	۳۱/۲
بیجار	۲۲۳۴	۱۶۹۶	۵۷/۷۷	۳۲/۶۲
مود	۲۶۱۷	۱۷۶۸	۱۴۱/۰۴	۶۶/۶۸
کلاته پدران	۲۱۵۰	۱۷۶۸	۱۵۵/۳۲	۶۸/۹۳

جدول ۴. زیرحوضه‌های مسیل کبوترخان (بخش شمالی)

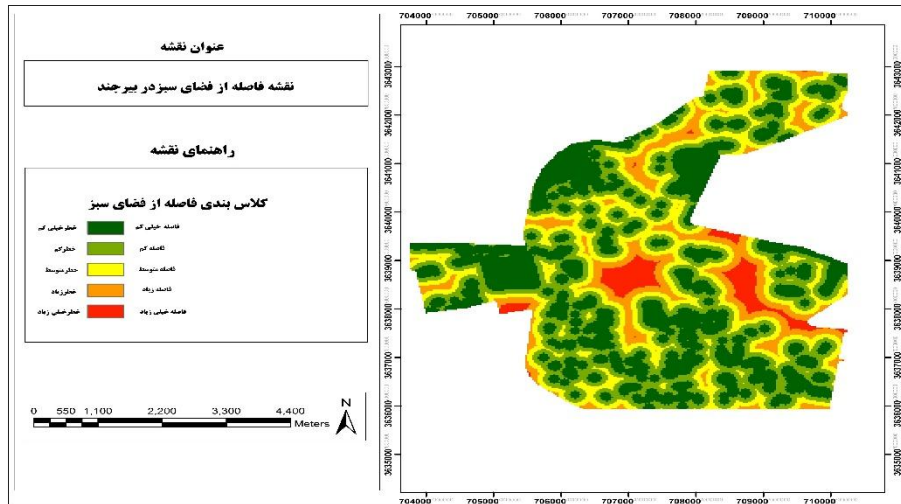
نام زیرحوضه	بالاترین ارتفاع (متر)	پایین‌ترین ارتفاع (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)
کلاته بشگری	۲۷۶۵	۱۷۳۹	۱۱۷/۸۳	۶۴/۳۹
اسفزار	۲۶۸۵	۱۶۱۳	۱۶۰/۷۹	۷۵/۲۳
شهاباد	۲۶۲۱	۱۶۵۹	۱۵۹/۴۹	۶۷/۶
چشمه‌میر	۲۰۱۲	۱۱۶۰	۱۱/۷۱	۱۹/۱۲
مرک	۲۴۹۵	۱۶۹۵	۱۱۱/۷۷	۱۹/۱۲
تفجرآباد	۲۴۱۷	۱۶۶۱	۵۰/۰۳	۳۷/۳۳
القورات	۲۳۶۲	۱۶۴۰	۱۰۸/۴	۵۸/۲۵
دستگرد	۲۳۲۱	۱۵۵۱	۱۱۷/۳۲	۵۲/۰۶
شکراب-دهلکوه	۲۲۲۴	۱۵۰۳	۱۷/۸۷	۲۲/۹۲
خیرآباد	۲۲۳۷	۱۴۷۶	۱۷/۰۸	۲۲/۹۲

با توجه به شرایط توصیف‌شده، در این بررسی با استفاده از معیارهای اساسی کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مشخصات مسیل‌های موجود، شیب، تراکم مسکونی و جمعیت، ضریب CN، رواناب، قدمت ابنیه و فضاهای باز، پهنه‌بندی خطر ناشی از سیل در شهر بیرجند انجام شده است. به دلیل محدودیت فضا برخی از نقشه‌های تهیه‌شده با استفاده از معیارهای فوق، ارائه شده و توضیحات لازم درباره آن‌ها در پی آمده است.

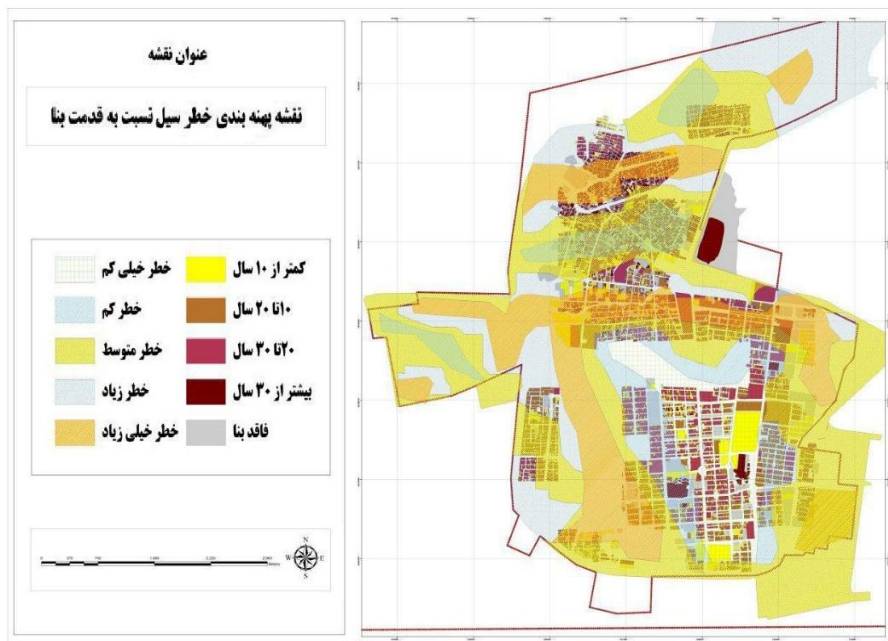
اولین مؤلفه مهم و اساسی در این بررسی، وضعیت کاربری اراضی بود. به‌طور معمول در اغلب شهرها، به استقرار کاربری‌ها در برابر خطر سیل و سیل‌خیزی توجه چندانی نمی‌شود. به همین دلیل، تراکم جمعیت و کاربری‌های تقلیل‌دهنده میزان خطر (فضای سبز و...) به نحوی صورت می‌گیرد که میزان خطرپذیری را افزایش می‌دهد. برای نمونه‌ای از این نابسامانی‌ها، نقشه‌های خطرپذیری نسبت به تراکم جمعیت (۲) و فضای سبز (۳) ارائه شده است.



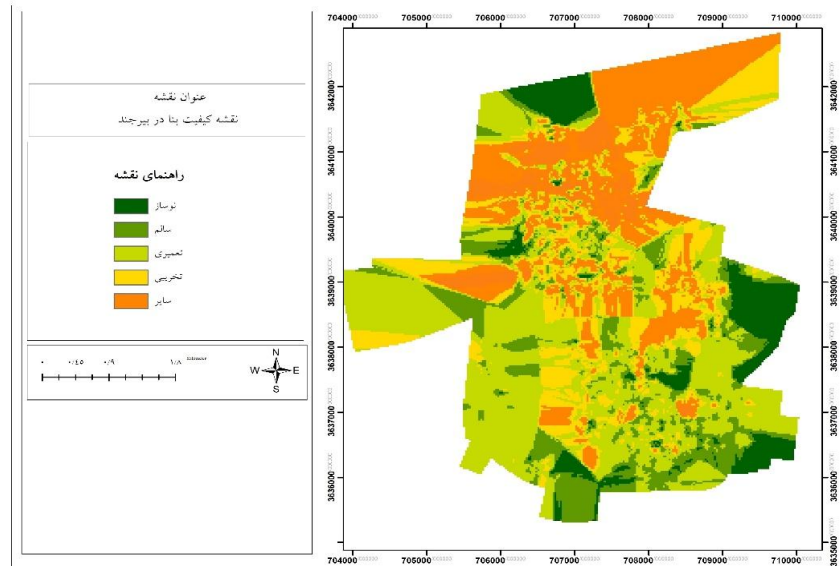
شکل ۲. خطرپذیری نسبت به تراکم جمعیت



شکل ۳. میزان خطرپذیری نسبت به کاربری اراضی (فضای سبز)



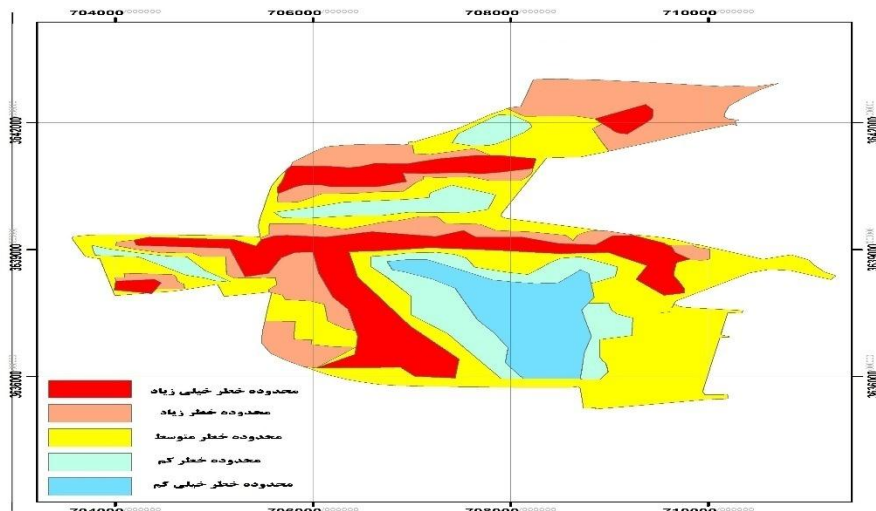
شکل ۴. خطرپذیری نسبت به قدمت بنا



شکل ۵. خطرپذیری نسبت به کیفیت بنا

در بین نقشه‌های تهیه شده در خصوص عوامل تأثیرگذار بر میزان خطرپذیری، قدمت و کیفیت بناها هم جالب توجه به نظر می‌رسید. همان‌طور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، مناطق بخش شمالی شهر که اغلب محل سکونت گروه‌های حاشیه‌نشین و فقیر است، در شمار خطرناک‌ترین مناطق محسوب می‌شوند.

با توجه به نقشه‌ها و سایر اطلاعاتی که در همین ارتباط تهیه شد و برای رعایت اختصار، از ذکر جزئیات آن خودداری شد، در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر سیل در شهر بیرجند تهیه و تدوین شد (شکل ۶). بر این اساس می‌توان عنوان کرد که قریب به ۲۰ درصد از مساحت شهر بیرجند در پهنه‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد. این در حالی است که پهنه‌های دارای خطر متوسط نیز بیش از ۵۰ درصد مساحت شهر را شامل می‌شود. در نهایت می‌توان گفت قریب ۷۰ درصد شهر با خطر سیل مواجه بوده و تهدید می‌شود. با توجه به این اطلاعات، صرفاً ۳۰ درصد شهر بیرجند در پهنه‌های خطر کم و بسیار کم واقع است. در تحلیل نهایی می‌توان گفت که شهر بیرجند، همان‌طور که متولیان مدیریت و سیاست‌گذاری اعلام می‌کنند، واقعاً شهری تهدیدشونده توسط سیل محسوب شده و بایستی در این باره تمهیدات لازم اندیشیده شود.



شکل ۶. وضعیت آسیب‌پذیر شهر بیرجند از خطر سیل

### بحث و نتیجه‌گیری

فرض بررسی آن بود که به دلیل وضعیت استقرار شهر بیرجند در خروجی حوضه آبریز، این شهر دائم با خطر سیلاب مواجه بوده و این وضعیت با توسعه کنترل‌ناپذیر شهر بر پهنه‌های سیلابی، وضعیت نامناسب‌تری پیدا کرده است. به این منظور، بر اساس شاخص‌های متعدد از جمله کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مشخصات مسیل‌های موجود، شیب، تراکم مسکونی و جمعیت، ضریب CN، رواناب، قدمت ابنیه، فضاهای باز و سایر مؤلفه‌های مؤثر، وضعیت شهر بیرجند مورد مطالعه قرار گرفت. در ابتدا داده‌های لازم گردآوری و تصحیح و تبدیل شد و بعد از وزندهی و انجام مقایسات زوجی و تعیین ضرایب نهایی هر لایه، نقشه‌های مورد نیاز تهیه گردید. بعد از تهیه نقشه‌های لازم و تعیین وزن و ضرایب نهایی، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل برای شهر بیرجند تهیه شد. بر اساس این نقشه، مشخص شد که توسعه شهر بیرجند به زیرحوضه‌های مسیل‌های موجود صورت گرفته و تقریباً تمام وسعت شهر در معرض خطر سیلاب قرار دارد. با وجود این، پهنه‌های جنوب و جنوب شرقی که قریب به ۲۰ درصد از وسعت شهر را به خود اختصاص داده‌اند، در معرض خطرپذیری زیاد و خیلی زیاد، محدوده‌های شمال غربی و جنوب غربی با ۵۰ درصد وسعت در محدوده خطرپذیری متوسط و سایر بخش‌های شهر که کمتر از ۳۰ درصد وسعت را به خود



اختصاص داده‌اند، در پهنه خطرپذیری کم و بسیار کم قرار دارند. در واقع، ادعای مسئولان که بیرجند را سومین شهر خطرپذیر در ایران معرفی می‌کنند نمی‌توان مردود اعلام کرد. در این بررسی، بیشترین خسارات مربوط به مناطقی بود که بافت فرسوده داشتند و از مصالح غیراستاندارد و نامقاوم استفاده کرده بودند. انطباق نسبی مناطق با خطر زیاد و بسیار زیاد بر محدوده حاشیه‌نشین شهر، یکی از هشدارهای اصلی این مطالعه محسوب می‌شود؛ چراکه این مناطق با آنکه تراکم مسکونی چندانی ندارند و اغلب واحدهای مسکونی یک یا حداکثر سه طبقه هستند، تراکم جمعیت بسیار بیشتری دارند و حداقل امکانات مقابله با انواع پدیده‌های طبیعی و از جمله سیلاب را در اختیار دارند.

به هر حال، از آنجا که این پژوهش با هدف تهیه نقشه خطر سیل به انجام رسیده‌است، می‌توان از نتایج آن به منظور تعیین مکان‌های مناسب توسعه آبی استفاده کرد تا از ریسک آسیب‌پذیری مردم و خسارت به کاربری‌های مختلف کاست. همچنین می‌توان پیشنهاد کرد که مسئولان در قسمت‌هایی که آسیب‌پذیری بیشتری پیش‌بینی می‌شود، به عملیات کنترل سیلاب و سیستم‌های هشداردهنده سیل اقدام کرده و برای رفع تصرف‌های غیرقانونی که در بستر و حریم مسیل‌های موجود صورت گرفته است، اقدام لازم را به عمل آورند.

### پیشنهادها

با توجه به اینکه افزایش جمعیت بیرجند و تراکم بخش چشمگیری از جمعیت استان در این شهر، نابودی بیشتر پوشش گیاهی را در پی دارد، ضرورت آمایش سرزمین در این استان بسیار جدی و اساسی است.

باید تعدیل اختلاف فاحش کیفیت زندگی در مناطق روستایی و شهری، برای جلوگیری از مهاجرت گسترده روستائیان به شهر بیرجند، مورد تأکید قرار گیرد.

تمرکز بر فعالیت‌های تولیدی مبتنی بر زمین و آب، بنیان‌های اساسی محیط‌زیست را به نابودی کشانده و حوادث طبیعی را شدت بخشیده است. به همین دلیل تنوع‌بخشی به زمینه‌های تأمین ضرورت دارد.

## منابع

۱. اصغرپور، محمدجواد (۱۳۸۸). تصمیم‌گیری چندمعیاره، تهران: دانشگاه تهران.
۲. اکارت، جان (۱۳۸۴). زمین‌شناسی کواترنری کاربردی، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی.
۳. بهبهانی، ایران (۱۳۸۱). بقای محیط درون‌شهری و نحوه استفاده بهینه از آن، تهران: دانشگاه آزاد.
۴. پرهیزگار، اکبر و غفاری گیلانده، عطا (۱۳۸۵). سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاری، تهران: سمت.
۵. تلوری، عبدالرسول (۱۳۷۶). مدیریت مهار سیلاب و کاهش خسارت سیل، همدان: کارگاه آموزشی تخصصی مهار سیلاب رودخانه‌ها.
۶. ثروتی، محمدرضا؛ احمدی، محمود؛ نصرتی، کاظم و مزبانی، مهدی (۱۳۹۲). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز سراب دره شهر، جغرافیا، ۳۶، ۵۵-۷۷.
۷. جهاد سازندگی خراسان (۱۳۸۰). گزارش هوا و اقلیم پروژه امکان‌سنجی بهره‌وری از سیلاب در شرق دشت بیرجند، مشهد: مرکز تحقیقات منابع طبیعی و دام.
۸. جوان، جعفر و فال‌سلیمان، محمود (۱۳۸۵). ضرورت اجرای طرح حوضه‌های آبخیز در نواحی خشک (بیرجند)، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۶، ۵۰-۲۷.
۹. رامشت، محمد (۱۳۸۵). کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی- منطقه‌ای، اصفهان: دانشگاه اصفهان.
۱۰. رسولی، مسعود (۱۳۹۳). مطالعه عوامل اثرگذار بر کاهش خسارات سیلاب‌های شهری، نمونه موردی: شهر فردوس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور.
۱۱. زبردست، اسفندیار (۱۳۸۰). کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۱۰، ۱۳-۲۱.
۱۲. صابری‌فر، رستم (۱۳۹۱). مطالعه توسعه فیزیکی شهر بیرجند با معیار مخاطرات محیطی، پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، شماره ۶، ۸۷-۹۷.
۱۳. صراطی، نرگس (۱۳۸۵). مدل‌سازی پهنه‌بندی سیل‌خیزی مناطق شهری در وب، منطقه مورد مطالعه شمال تهران (دریوند)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران.
۱۴. عبدی، پروانه (۱۳۸۵). بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه زنجان رود با روش SCS و سیستم اطلاعات

- جغرافیایی، مجله آبیاری و زهکشی، ۱۷، ۲۲-۳۳.
۱۵. قدسی‌پور، سیدحسین (۱۳۸۷). فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تصمیم‌گیری، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۶. محمودزاده، حسن؛ امامی‌کیا، وحید و رسولی، علی‌اکبر (۱۳۹۴). ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از روش AHP، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۰ (۱)، ۱۶۷-۱۸۰.
۱۷. مؤمنی، منصور (۱۳۸۹). مباحث نوین تحقیق در عملیات، تهران: انتشارات مؤمنی.
۱۸. وهابی، جلیل (۱۳۸۵). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی (مطالعه موردی: طالقان رود)، پژوهش و سازندگی، ۷۱، ۳۳-۴۰.
۱۹. حدیدی‌نژاد، مهدی (۱۳۹۶). مطالعه و معرفی تکنیک‌های مؤثر در مدیریت و کنترل ترافیک شهری (بیرجند)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور.
۲۰. مختاری هشی، حسین و رحیمی، داریوش (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۶۱، ۱۹۹-۲۱۶.
21. Barron, O. D. Pollock & W. Dawes (2011). Evaluation of catchment contributing areas and storm runoff in flat terrain subject to urbanization. *Hydrol Earth Syst Sci*, 15, 547-559.
22. Campana, N. A. (2001). *Prediction floods in the Diluvio Basin, Porto Alegre*. Brazil: Elsevier.
23. Correia, F. N. Saraiva, & R. Isabel (1999). *Floodplain Management in Urdan Development Area*. Porto: Dertiu.
24. Huang, G. & Z. Shen (2019). *Urban planning and water related disaster Management*. Switzerland: Springer International Publishing.
25. Lindh, G. (1994). *Flooding cities*. London: published Rudaki.
26. Motta, L. C. & C. E. M. Tucci (1984). Simulation of Urbanization effect in Flow. *Hydrological Science Journal*, 29(2), 21-30.
27. Neter, J. M. H. Kutner, C. J. Nachtsheim & W. Wasserman (1996). *Applied Linear Regression Models*. Irwin Press, Illinois.
28. Saberifar, R. (2009). *Prediction Floods from Urban Development Scenarios: Case Study of the Cabotar Khan Basin*. Birjand: PNU.
29. Saberifar, R. & H. Shokri (2016). Analyzing the Effects of Urban Development on Flooding in the Cities (Case Study: Birjand City). *Natural Environment Change*, 2(2), 177-186.
30. SCS. (1975). *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Washington: US Department of Agriculture (Technical Release).
31. Tucci, C. E. M. (1987). *Hydraulic and Water Quality Model for a River Network*, Colorado State University. Colorado: Fort Collins Co.
32. United Nations, Development Program (2004). A global report reducing disaster risk. *Development*, 2(7), 2541-2553.