نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۳، تابستان ۱۴۰۳

ارزیابی آسیب‌پذیری شهر سنندج در برابر زلزله با استفاده از مدل تحلیل طبقه‌بندی درختی (CTA)

دریافت مقاله: ۹۹/۱۱/۱۳ **پذیرش نهایی**: ۱۴۰۰/۲/۱

صفحات: ۹۲-۷۴

شهریور روستایی: دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
Gmail: srostaei@gmail.com
رحیم حیدری چیانه: دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
Email: rheydari@tabrizu.ac.ir
ایوب ذوقی: دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران[۱].
Gmail: ayoubzoghi.saghez@gmail.com

چکیده

هراندازه شهرها از لحاظ کالبدی و جمعیتی گسترده‌تر شوند، به‌تبع آن بر میزان بحران‌ها نیز افزوده می‌شود. آسیب‌پذیری شهرها در برابر بلایای طبیعی بنا به دلایل مختلفی از جمله فقر اقتصادی و فرهنگی، عدم رعایت حریم گسل‌ها و آیین‌نامه‌های مربوط به زلزله افزایش یافته است. آنچه اهمیت دارد، سطح آمادگی جامعه و درجه آسیب‌پذیری شهر و ساکنان در معرض خطر است که در صورت برنامه‌ریزی مناسب و اتخاذ سیاست‌های اصولی می‌توان آسیب‌ها را به پایین‌ترین سطح کاهش داد. در این پژوهش با توجه به پتانسیل بالای سنندج از لحاظ لرزه‌خیزی و وجود گسل‌های فراوان در مجاورت و اطراف شهر، سعی بر آن است تا با شناخت عوامل مؤثر بر زلزله و ترکیب شاخص‌ها با استفاده از مدل تحلیل طبقه‌بندی درختی به درک درستی از موضوع برسیم. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از این است که سطح وسیعی از شهر در طبقه‌بندی آسیب‌پذیری متوسط به بالا قرار دارد. ۵۲ درصد در طبقه آسیب‌پذیری متوسط، ۱۶,۵ درصد آسیب‌پذیری بالا و ۱ درصد از سطح شهر در طبقه با آسیب‌پذیری بسیار بالا قرار دارد که دقیقاً منطبق بر محلات حاشیه‌ای، قدیمی و پرتراکم است. این وضعیت ساختار مناسبی را ارائه نداده و نیازمند توجه بیشتر در طرح‌های توسعه آتی می‌باشد.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری شهری، زلزله، تحلیل طبقه‌بندی درختی، منحنی ROC، سنندج.

[۱] **نویسنده مسئول:** تبریز، دانشگاه تبریز، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

مقدمه

مخاطرات طبیعی از مهم‌ترین عوامل تخریب سکونتگاه‌های انسانی معرفی‌شده‌اند (کریمی صالح، ۱۳۸۵: ۱۹۷). مخاطرات طبیعی مانند سیل، آتش‌سوزی، طوفان، گردباد، زلزله و فوران‌های آتش‌فشانی می‌تواند به‌عنوان یک تهدید، شرایط فاجعه باری را برای مردم و سرمایه‌ها در سراسر جهان ایجاد کند (روبرت و بیسواجیت، ۲۰۱۹: ۴۰۴) که در این میان زلزله مخرب‌ترین پدیده طبیعی می‌باشد و به علت گستردگی قلمرو، کثرت وقوع و همچنین وسعت و شدت خساراتی که وارد می‌سازد، یکی از شناخته‌شده‌ترین بلایای طبیعی جهان است (ملکی، ۱۳۸۶: ۱۱۴). زلزله به جوامع انسانی به‌ویژه از لحاظ اقتصادی صدمه فراوانی می‌زند (یزدانفر، ۱۳۹۳: ۱۳۳). در اثر آزاد شدن مقادیر زیادی از انرژی درون زمین تغییرات عمده‌ای در قسمت‌های سطحی زمین رخ می‌دهد که زلزله یکی از این تغییرات است (لطفی، ۱۳۹۱: ۲). این تغییرات می‌تواند سکونتگاه‌های انسانی را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و آثار زیان باری از خود به‌جای بگذارد. نکته حائز اهمیت این است که زلزله ایجادشده بسته به میزان انرژی‌ای که آزاد می‌کند، از قدرت تخریب متغیری برخوردار است (عابدینی، ۱۳۹۵: ۳۵). رشد جمعیت و گسترش سکونتگاه‌ها بر روی نواحی پرمخاطره، تأثیرات حوادث طبیعی را در جوامع صنعتی و به‌ویژه کشورهای درحال‌توسعه افزایش داده است (جامی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۸) که این الگوی توسعه شهری بر روی پهنه‌های خطرآفرین و گسلی و تغییر مورفولوژی حریم گسل‌ها می‌تواند موجب بروز فاجعه انسانی شود. رویکرد جوامع پیشرفته در برابر رویارویی با چنین حوادثی بر اساس شناخت، پیشگیری، برنامه‌ریزی و ارائه راهکارهای مناسب می‌باشد. ارزش‌گذاری و بررسی مراحل فوق در مرحله قبل از بحران، اهمیت به‌مراتب بیشتری نسبت به اقداماتی که پس از وقوع بحران صورت می‌گیرد، دارد (مقیمی و منصفی پراپری، ۱۳۹۸: ۷۲). استقرار نامناسب عناصر کالبدی و کاربری‌های زمین شهری، شبکه ارتباطی ناکارآمد شهری، تأسیسات زیربنایی شهر و توزیع ناهمگون فضاهای باز شهری، قدمت بالا و کیفیت پایین بناها و ساختمان‌ها بخصوص در بافته‌ای قدیمی و فرسوده شهری و مواردی از این قبیل، نقش اساسی در بالا رفتن میزان تلفات و آسیب‌های وارده به شهرها و سکونتگاه‌های انسانی در برابر زلزله دارند (صیامی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۴).

آسیب‌پذیری ناشی از زلزله یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی مناطق شهری و به‌ویژه شهرهای بزرگ است (حاجی نژاد و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۳). طی سالیان اخیر به دلیل افزایش پیچیدگی‌ها در محیط‌های شهری و بخصوص شهرهای بزرگ، آسیب‌پذیری شهری در اثر زلزله، روندی صعودی داشته است. دلایل اصلی آسیب‌پذیری بالای محیط‌های شهری در برابر زلزله، قرار گرفتن شهرها در مناطق مستعد خطر، رشد شهرنشینی و جمعیت شهری و غیره است. در سال‌های اخیر، نمونه‌های فیزیکی این عوامل از طریق افزایش هزینه فاجعه‌های بزرگ در مناطق شهری، بسیار مشاهده گردیده که تقاضا برای ارزیابی استراتژی‌های احتمالی به‌منظور مدیریت اثرات مخرب در مقیاس‌های بزرگ زلزله را تحریک کرده است (دوزگون و همکاران، ۲۰۱۱: ۹۱۸). جوامع اغلب در معرض خطرات بزرگ‌تری به علت آسیب‌پذیری‌های اقتصادی، اجتماعی (ناشی از بلایای طبیعی) قرار می‌گیرند، بنابراین کاهش فجایع با تمرکز بر شیوه‌هایی که آسیب‌پذیری‌ها را کاهش و یا

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

بهبودپذیری را افزایش می‌دهند، ضرورت پیدا کرده است (وانگ[۲]، ۲۰۱۳: ۵). ضرورت کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، به‌عنوان یکی از اهداف اصلی برنامه‌ریزی‌های شهری و کالبدی محسوب می‌شود. در این راستا اولین گام شناسایی میزان آسیب‌پذیری اجزاء و عناصر شهری و تحلیل و بررسی آن با استفاده از مدل‌های موجود در این زمینه می‌باشد که بتوان مناطق و بافت‌های آسیب‌پذیر شهری را با استفاده از مدل‌های کاربردی مورد شناسایی قرار داده و با ارائه راهکارهای علمی و عملی، مقدمات کاهش اثرات زلزله را فراهم آورد (عزیزی و اکبری، ۱۳۸۷ به نقل از ساسان پور و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰۴). با توجه به اینکه شهر سنندج به‌عنوان یکی از پرتراکم‌ترین شهرهای ایران و مرکزیت سیاسی استان کردستان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، وقوع یک فاجعه طبیعی می‌تواند موجب اختلال عملکردی گسترده‌ای در سطح استان و منطقه شده و منجر به خسارت‌های جبران‌ناپذیری گردد. ازآنجاکه مؤلفه‌های آسیب‌پذیری شهری را می‌توان در دو دسته اصلی ۱: آسیب‌پذیری بر اساس خطر لرزه‌ای و تجزیه‌وتحلیل شکنندگی عناصر ساختاری مناطق شهری مانند: ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها، خطوط ارتباطی و غیره و ۲: آسیب‌پذیری عناصر در معرض بلایای طبیعی مانند: ساختارهای اقتصادی، اجتماعی و دسترسی به خدمات مهم در نظر گرفت، اهمیت و ضرورت به‌کارگیری ابزارها و روش‌های جدید جهت بررسی موضوع دوچندان می‌گردد. پژوهش حاضر در پی آن است تا با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل تحلیل طبقه‌بندی درختی به تحلیل و بررسی موضوع آسیب‌پذیری در شهر سنندج بپردازد. در ارتباط با موضوع آسیب‌پذیری ناشی از زلزله تحقیقات فراوانی صورت گرفته است: ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر بردسکن در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی وارون به این نتیجه رسیده‌اند که بنا به دلایلی از جمله نزدیکی به گسل، بالا بودن شتاب افقی زمین، بالا بودن تراکم ساختمانی بنا و پایین بودن کیفیت و مصالح ساختمانی، با حرکت از سمت جنوب به‌طرف شمال بر میزان آسیب‌پذیری قطعات ساختمانی افزوده می‌شود. در پژوهشی دیگر احدنژاد روشتی و همکاران (۱۳۸۹)، آسیب‌پذیری ساختمانی شهر زنجان در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی را مدل‌سازی نمودند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که منطقه ۲ شهرداری به دلیل رعایت آیین‌نامه‌های زلزله و استفاده از مصالح مقاوم در ساخت‌وسازها از مقاومت بیشتری در مقایسه با سایر نقاط و مناطق شهر برخوردار است.

مقیمی و منصفی پراپری (۱۳۹۸)، در مقاله‌ای اقدام به مکان‌یابی فضای مناسب برای اسکان موقت زلزله‌زدگان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و ترکیب خطی وزنی بر مبنای GIS نمونه: شاهرود نمودند. در این پژوهش هشت مکان پیشنهادی با مجموع مساحت ۱۳۶ هکتار برای اسکان آسیب دیدگان مشخص گردیده که بر اساس معیارهای تأثیرگذار بر انتخاب مکان مناسب صورت گرفته است. خالق پناه و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی تحت عنوان پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با استفاده از مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس نمونه موردی شهر سنندج، میزان آسیب‌پذیری سنندج را در ۵ گروه طبقه‌بندی کردند، مقایسه دو مدل و نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که پهنه‌های آسیب‌پذیر مشابه هم‌اند. علیزاده و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر تبریز با استفاده از مدل شبکه عصبی MLP

[2]. Chich-hao Wang

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

اقدام به پهنه‌بندی لرزه‌ای کلان‌شهر تبریز نمودند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد، در قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی شهر تبریز، میزان آسیب‌پذیری در حد کم و متوسط هست. درحالی‌که برخی از مناطق شمال شرقی، شرایط بحرانی را نشان می‌دهد. کرمی (۱۳۹۱) در رساله خود تحت عنوان ارزیابی خطر زلزله و آسیب‌پذیری شهرها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نمونه موردی شهر تبریز به بررسی موضوع پرداخته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های مذکور بیشترین میزان انطباق هر چهار مدل در منطقه یک و پنج شهر تبریز است. لیکن در میان مدل‌ها به ترتیب مدل Fuzzy، Fuzzy-AHP، AHP و درنهایت مدل MCE بیشترین انطباق را با واقعیت موجود دارند و نتایج مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد، بین آسیب‌پذیری و تراکم جمعیت و تراکم ساختمانی رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.

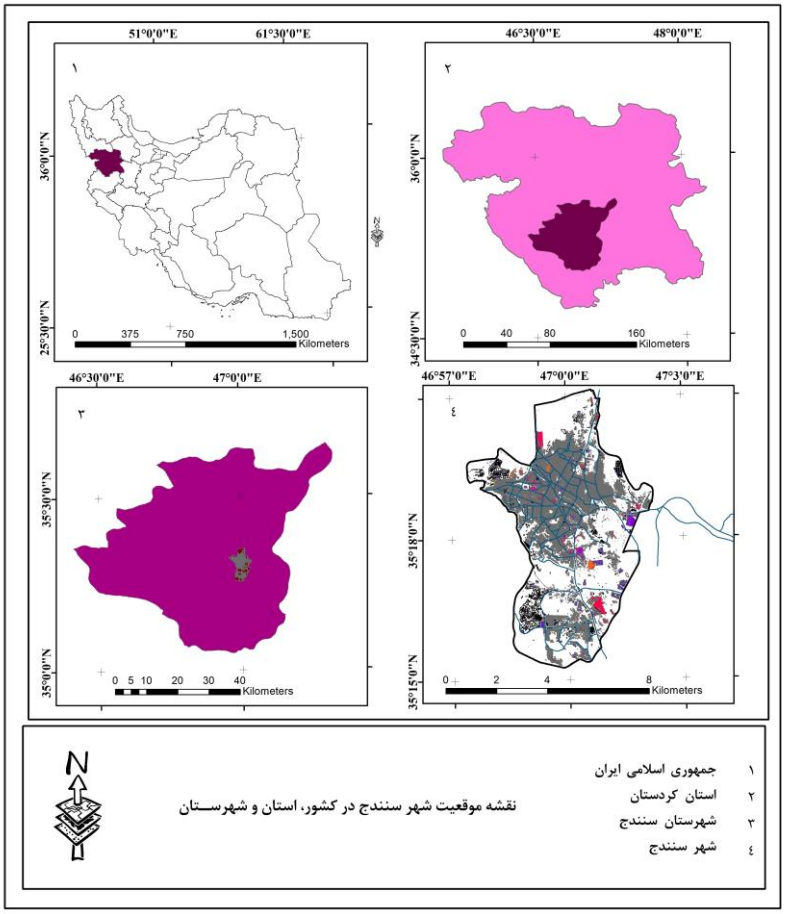
هدف از پژوهش حاضر این است که با استفاده از معیارهای مد نظر و ترکیب آن‌ها موضوع به‌صورت واقعی‌تر و کاربردی‌تر موردبررسی قرارگرفته و با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف آسیب‌پذیری شهری مانند: فیزیکی، کالبدی و اجتماعی – اقتصادی به درک بهتری از موضوع برسد. درک و تدوین آسیب‌پذیری ناشی از زلزله‌های شهری مستلزم در نظر گرفتن طیف گسترده‌ای از جنبه‌های آسیب‌پذیری است که در این پژوهش مدنظر قرارگرفته و می‌تواند در مدیریت زلزله‌های شهری و کاهش آسیب‌های ناشی از آن مؤثر واقع شود.

روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

شهر سنندج مرکز استان کردستان در موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۱۵ درجه از طول غربی نصف‌النهار تهران قرار دارد شکل (۱). کوه‌های آبیدر و کوچکه ره ش (سنگ سیاه) که از انشعابات سلسله جبال زاگرس می‌باشند، در سمت جنوب غربی و شمال شرقی شهر قرارگرفته‌اند. قسمت‌هایی از شهر بر فراز تپه‌های متعدد قرار دارند و بعضی از قسمت‌های دیگر شهر نیز در حواشی و عمق دره‌ها واقع شده است (تدبیر شهر، جلد اول: ۲۶). از لحاظ توسعه فیزیکی، با توجه به کوهستانی بودن منطقه، شهر با تنگناهایی روبروست و به‌تبع آن برنامه‌ریزی و امدادرسانی در مواقع بحران با مشکلاتی همراه خواهد بود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی شهر سنندج

داده‌ها و روش کار

این پژوهش از نوع پژوهش‌های کاربردی و بر مبنای روش پژوهش کاربردی– تحلیلی تدوین گردیده است. در راستای اهداف پژوهش که ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شهری در برابر خطر زلزله در شهر سنندج است، از روش میدانی جهت به روز کردن نقشه‌های شهر و از آمار و اطلاعات شهری و منابع کتابخانه‌ای جهت جمع‌آوری نظریات و تحقیقات گذشته استفاده گردیده است. داده‌های مکانی شامل: نقشه کاربری اراضی شهر سنندج و بلوک‌های جمعیتی سال ۱۳۹۵ شهر می‌باشد که از مرکز آمار ایران اخذ گردیده است. داده‌های غیر مکانی شامل: مساحت ساختمان‌ها، نوع مصالح به‌کاررفته در ساختمان‌ها، سازگاری کاربری اراضی، نوع کاربری‌ها، داده‌های طبیعی، فاصله از کاربری‌ها، خصوصیات جمعیتی و مشخصات اجتماعی- اقتصادی و ... است که جهت تهیه لایه‌های به‌کاررفته در پژوهش مورداستفاده قرارگرفته است. بدین منظور جهت اولویت‌بندی و همپوشانی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

معیارهای مؤثر بر میزان آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله و تهیه نقشه نهایی میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج از روش تحلیل طبقه‌بندی درختی (CTA)[3] استفاده گردید.

درخت تصمیم یکی از روش‌های ناپارامتری طبقه‌بندی (رده‌بندی) کردن است که با توجه به نوع متغیر وابسته به دو دسته طبقه‌بندی درختی برای متغیر رسته‌ای و رگرسیون درختی برای متغیر پیوسته تقسیم می‌شود (بهنام‌پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۹). تحلیل طبقه‌بندی درختی یک تکنیک غیرمتغیری و ناپارامتری جهت طبقه‌بندی داده‌ها است. این روش با استفاده از داده‌های سایت آموزش، به‌طور پی‌درپی داده‌ها را تقسیم می‌کند و زیرمجموعه‌های همگن را ایجاد می‌کند. در نتیجه یک درخت سلسله مراتبی از قوانین تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند. این الگوریتم به همراه قوانین تصمیم، یکی از روش‌های داده‌کاوی به شمار می‌آید (کانتاردزیک، ۱۳۸۵: ۷۸) که یکی از ابزارهای قوی و متداول برای دسته‌بندی و پیش‌بینی می‌باشد. مدل تحلیل طبقه‌بندی درختی بر خلاف مدل شبکه عصبی به تولید قانون می‌پردازد. در ساختار این مدل آنچه به دست می‌آید، پیش‌بینی‌هایی است که در قالب یک سری قاعده و قانون توضیح داده‌شده و ضرورتی بر این‌که داده‌ها الزاماً عددی باشند، وجود ندارد (مشکانی و ناظمی، ۱۳۹۱: ۱۸ به نقل از مظفری و همکاران، ۱۳۹۴: ۳).

به‌طورکلی می‌توان اهداف اصلی در تشکیل یک درخت تصمیم را به این صورت بیان نمود:

۱. داده‌های ورودی را تا حد ممکن درست طبقه‌بندی کند.
۲. دانش یادگیری شده از داده‌های آموزشی را به‌گونه‌ای تعمیم دهد که داده‌های مشاهده نشده را با بالاترین دقت ممکن طبقه‌بندی کند.
۳. در صورت اضافه شدن داده‌های آموزشی جدید، بتوان به‌راحتی درخت تصمیم‌گیری را گسترش داد.
۴. ساختار درخت حاصل به ساده‌ترین شکل ممکن باشد (مکرم، ۱۳۹۶: ۴۳).

درخت تصمیم از عناصر ریشه، میانگره و برگ تشکیل شده است. در CTA سه الگوریتم تقسیم ارائه می‌شود: نسبت (ضریب) بهره، آنتروپی و جینی.

آنتروپی:

$$Entropy = -\sum_{j=1}^{k} \frac{freq(C_j,S)}{|S|} \times log_2\left(\frac{freq(C_j,S)}{|S|}\right)$$ رابطه (۱)

که در رابطه (۱):

$|S|$ تعدادی از پیکسل‌های گروه S

C_j تعدادی از پیکسل‌های کلاس j در گروه

بهره: بهره طبقه‌بندی واحد X به‌عنوان آنتروپی پس از طبقه‌بندی X تعریف می‌شود:

$$Entropy_x(S) = \frac{|S_i|}{|S|} \times Entropy(S_i)$$ رابطه (۲):

$$Gain(X) = Entropy(S) - Entropy_X(S)$$ رابطه (۳):

بهره (X) حداکثر میزان به دست آوردن اطلاعات را آزمایش می‌کند.

نسبت بهره:

[3]. classification tree analysis

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

الگوریتم آنتروپی به تقسیم بیش‌ازحد داده می‌شود، زیرا هر تقسیم می‌تواند به‌طور بالقوه در به دست آوردن اطلاعات کمک کند. الگوریتم نسبت بهره تلاش می‌کند تا بر این سوگیری بالقوه از طریق فرایند نرمال‌سازی غلبه کند. اگر اطلاعات تقسیم‌شده (X) را به صورت رابطه (۴) تعریف کنیم:

$$Splitinfo(X) = -\sum_{i=1}^{n} \frac{|S_i|}{S} \times log_2\left(\frac{|S_i|}{|S|}\right)$$ رابطه (۴)

که نشان‌دهنده اطلاعات بالقوه تولیدشده از تقسیم S به زیرمجموعه n است. سپس اطلاعات به‌دست‌آمده، اطلاعات را به‌صورت رابطه (۵) اندازه‌گیری می‌کند:

نسبت به دست آوردن (X) مساوی است با (X) به‌دست‌آمده تقسیم‌بر اطلاعات تقسیم‌شده (X)، جایی که نسبت سود تمایل دارد تا نسبت فوق را به حداکثر برساند.

قانون تقسیم جینی: قانون تقسیم جینی اندازه‌گیری ناخالصی در یک میانگیره معین در یک حداکثر زمانی است که همه پیکسل‌ها به‌طور مساوی بین همه طبقات توزیع شده باشد. به‌طورکلی قانون تقسیم جینی تلاش می‌کند تا بزرگ‌ترین دسته همگن را در مجموعه داده‌ها پیدا کرده و از بقیه داده‌ها جدا کند (زامبون و همکاران[4]، ۲۰۰۵: ۲۶).

$$Gini(S) = \sum_i freg(C_j,S) \times (1 - freg(C_j,S))$$ رابطه (۵)

درحالی‌که تجزیه‌وتحلیل در حال اجراست، نمودار مانیتورینگ اختصاص انتزاعی پیکسل‌های سایت آموزش به هر کلاس را نشان می‌دهد. هنگامی‌که تجزیه‌وتحلیل کامل شد، نمودار مانیتورینگ نسبت پیکسل‌های سایت آموزش طبقه‌بندی نادرست یا تعیین مجدد را نشان می‌دهد. آنچه مهم است، مقدار انحراف از (۰) و اینکه چه تعداد کلاس از (۰) انحراف پیدا کرده است. نتیجه نهایی از طریق رابطه (۶) تعیین می‌گردد:

$$\left|\sum_{i=1}^{k}(c_i \times p_i\right| = \left|\sum_{i=1}^{k}(c_i \times p_i -\right|$$ رابطه (۶)

جایی که c_i مساوی است با تعداد اولیه پیکسل‌های مشاهده‌شده برای کلاس/ آنچه از تصاویر سایت آموزش به‌دست‌آمده است.

K مساوی است با تعداد کل کلاس‌ها

p_{i+} نسبت (مثبت) بیش‌ازحد طبقه‌بندی‌شده برای کلاس / در پایان $p_{i+} > 0$

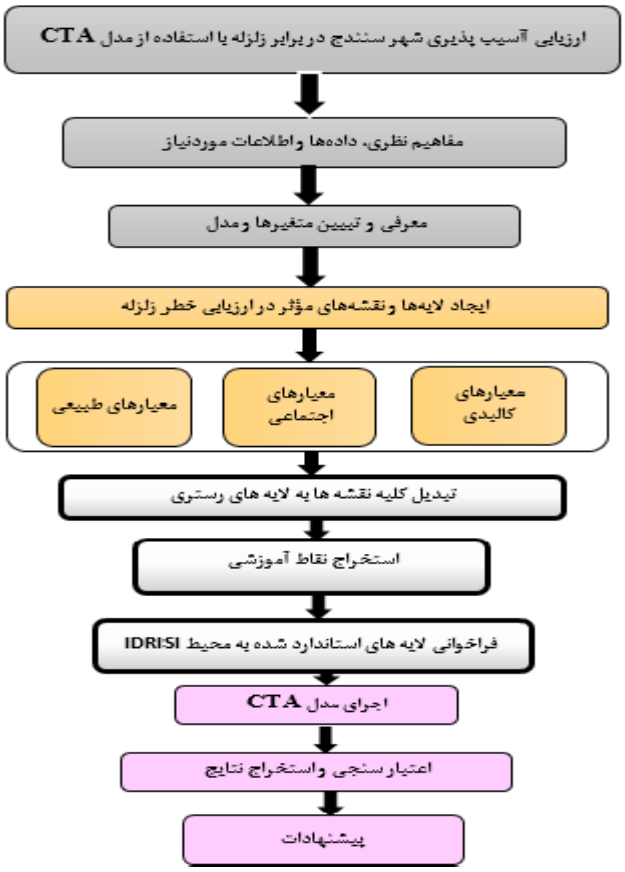
p_{i-} نسبت (منفی) کمتر از حد طبقه‌بندی‌شده برای کلاس / در پایان $p_{i+} < 0$

رابطه (۶) بدین معناست که تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده بیش‌ازحد برای همه کلاس‌ها باید برابر با تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی نشده (کمتر از حد طبقه‌بندی‌شده) برای کلاس‌ها باشد. به عبارتی بهره کل باید برابر تلفات کل باشد.

شکل (۲) فرایند انجام پژوهش را به‌صورت نموداری آورده است.

4. Zambon et al

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]



شکل (۲). فرآیند انجام پژوهش

نتایج

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان این‌چنین استنباط کرد که پراکندگی میزان آسیب‌پذیری در مناطق مختلف شهر به‌صورت منطقه‌ای متفاوت می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد، جهت اجرای مدل از معیارهای اجتماعی- اقتصادی، کالبدی و طبیعی، شامل ۲۸ زیر معیار استفاده گردید. زیر معیارها از بلوک‌های آماری سال ۹۵ (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، نقشه کاربری اراضی شهری و نقشه‌های موضوعی سنندج استخراج گردید. سپس در نرم‌افزار Arc GIS لایه‌های استخراج‌شده، ارزش‌گذاری و استانداردسازی شد. جهت تعیین نقاط آموزشی و نقاط تست، نقشه نهایی حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی، استفاده گردید. سپس لایه‌ها و نقاط آموزشی به محیط نرم‌افزار IDRISI انتقال و از طریق مدل CTA لایه‌ها همپوشانی و نقشه نهایی آسیب‌پذیری شهر سنندج تولید گردید. در بررسی لایه‌های مورداستفاده، لایه‌های اجتماعی- اقتصادی شکل (۳)، نتایج حاکی از آن است که بیشترین تراکم و به‌تبع آن بیشترین آسیب‌ها در محلات شمالی شهر شامل محلات فرجه، عباس‌آباد، کانی کوزله، گلشن، کارآموزی، جورآباد، حاجی‌آباد، دانشگاه کردستان (به دلیل تراکم دانشجو و وجود خوابگاه‌های دانشجویی)، نظام‌آباد، شیخ محمدصادق و غیره است. بالاترین تراکم جمعیتی برابر با حدوداً ۴۴۴,۴ نفر در هکتار می‌باشد که از طرف شمال به سمت محلات جنوبی، از این تراکم کاسته می‌شود. از لحاظ

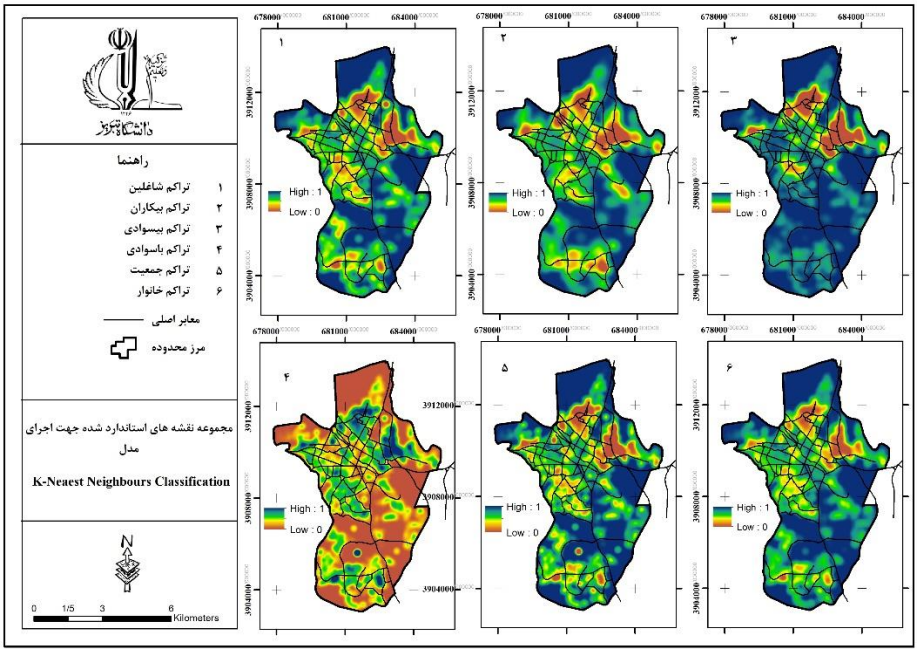
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

میزان اشتغال، بیکاری، تعداد افراد باسواد و بی‌سواد نیز مناطق شمالی دارای بالاترین میزان تراکم می‌باشند که این موضوع نیز ناشی از تراکم بالای جمعیتی و مسکونی در این محلات بوده و می‌تواند اثرات منفی و مثبت (میزان باسوادی) داشته باشد. در بررسی لایه‌های کالبدی اشکال (۴ تا ۶)، ساختمان‌ها به ۳ گروه از لحاظ مساحت تقسیم گردید. واضح است هراندازه مساحت کمتر باشد، امکان آسیب‌پذیری بالاتر می‌رود. بیشترین تراکم ساختمان‌های با مساحت کمتر از ۱۵۰ متر برابر با حدوداً ۱۰۹ واحد در هکتار می‌باشد که غالباً منطبق با محلات دارای بیشترین تراکم جمعیتی در شمال شهر قرارگرفته است. بر طبق شاخص مساحت ساختمانی نیز نتایج بدین گونه است که از محلات شمالی به سمت جنوب از تراکم ساختمان‌های کمتر از ۱۵۰ مترمربع کاسته می‌شود. این عامل باعث افزایش احتمال آسیب‌پذیری محلات شمال شهر از جمله فرجه، حاجی‌آباد، عباس‌آباد، تقتقان و غیره به نسبت سایر محلات و قسمت‌های شهر شده است. از لحاظ مصالح ساختمانی مورداستفاده در ساختمان‌ها و رعایت استانداردها و آیین‌نامه‌های مربوط به ساخت‌وساز، بیشترین تراکم سازه‌های کم‌دوام و آلونک‌ها ۸۶ واحد در هکتار و مربوط به قسمت‌های شمال شهر شامل محلات کانی کوزله، جورآباد، تپه اولیابگ، قسمت‌هایی از عباس‌آباد، اسلام‌آباد و حاجی‌آباد می‌باشد. از این لحاظ بیشترین ارزش مربوط به قسمت‌های جنوبی و مرکزی شهر است. علت این امر را می‌توان در تراکم بالای سازه‌های کم‌دوام در محلات شمال شهر و تراکم بسیار پایین این سازه‌ها در محلات جنوبی و مرکزی شهر دانست که باعث ایجاد شکنندگی محلات شمالی به نسبت سایر قسمت‌های شهر گردیده است. از لحاظ سازگاری اراضی شهری، کمترین میزان سازگاری در مناطق مختلف شهر وجود دارد که این میزان هرچه از سمت جنوب به‌طرف محلات شمالی می‌رویم، بیشتر می‌گردد. علت این امر نیز تراکم بالای مسکونی و جمعیتی در قسمت‌های شمالی و فشردگی بیشتر قطعات ساختمانی است. همچنین گسترش بدون برنامه شهر در طول دهه‌ها باعث ایجاد حاشیه‌ها و ادغام چندین روستا در محدوده شهری گردیده است که این عامل خود باعث ایجاد ناسازگاری بیشتر در کاربری‌های اراضی شهری و همچنین ارائه خدمات ضعیف‌تر در این محلات گردیده است. از لحاظ شاخص‌های طبیعی شکل (۷) نتایج نشان می‌دهد، محلاتی که در محدوده گسل شمال غربی شهر ایجادشده‌اند، در معرض خطرات بیشتری قرار دارند. این قسمت‌ها بیشتر شامل مراکز و پادگان‌های نظامی است و تراکم جمعیتی کمتری به نسبت سایر محلات دارد. از لحاظ سایر شاخص‌های طبیعی، بیشترین چاه‌های آب در قسمت‌های مرکزی به‌طرف شمال شهر قرار دارد و به‌صورت خطری بالقوه، تهدید جدی برای این محلات در زمان زلزله و بحران‌های طبیعی است.

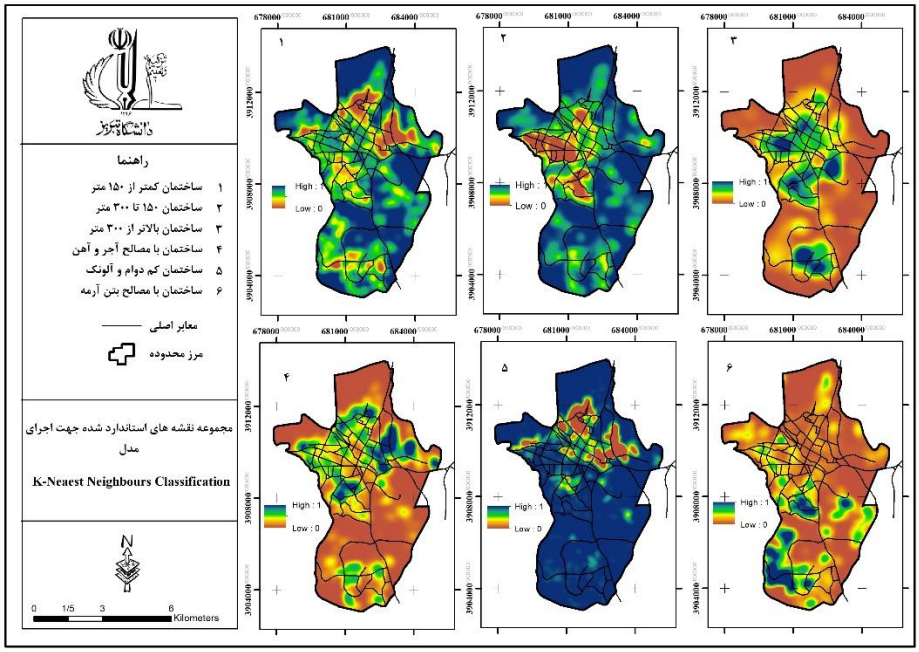
بر اساس شاخص‌های آسیب‌پذیری و همچنین نقشه نهایی آسیب‌پذیری شهر سنندج در برابر زلزله با روش CTA، گسترش نقاط آسیب‌پذیر بیشتر در قسمت‌های شمالی شهر واقع در مناطق ۱ و ۲ می‌باشد. بر اساس شکل (۸) و همچنین نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۱)، حدود ۳,۲ درصد از مساحت منطقه ۲ برابر با ۳۱ هکتار دارای آسیب‌پذیری بسیار بالا می‌باشد. همچنین ۲۰۰ هکتار معادل ۲۱ درصد سطح منطقه ۲ را محدوده با آسیب‌پذیری بالا تشکیل می‌دهد. این در حالی است که منطقه ۴ از لحاظ میزان آسیب‌پذیری شرایط مطلوب‌تری را نشان داده و فقط ۲ هکتار برابر با ۰,۱۵ درصد از مساحت این منطقه دارای آسیب‌پذیری بسیار

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

بالا می‌باشد. ۲۲,۰۵ درصد از مساحت منطقه ۳ شهرداری در محدوده با آسیب‌پذیری بالا قرارگرفته که برابر با ۲۰۶ هکتار از مساحت کل شهر می‌باشد.

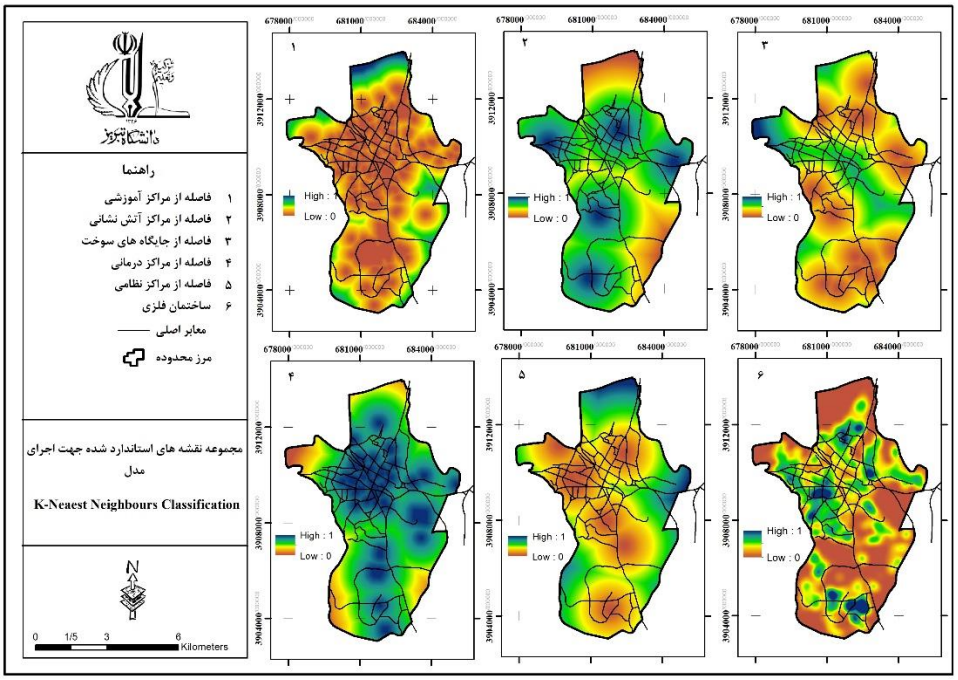


شکل (۳). لایه‌های استاندارد شده جهت اجرای مدل (اجتماعی - اقتصادی)

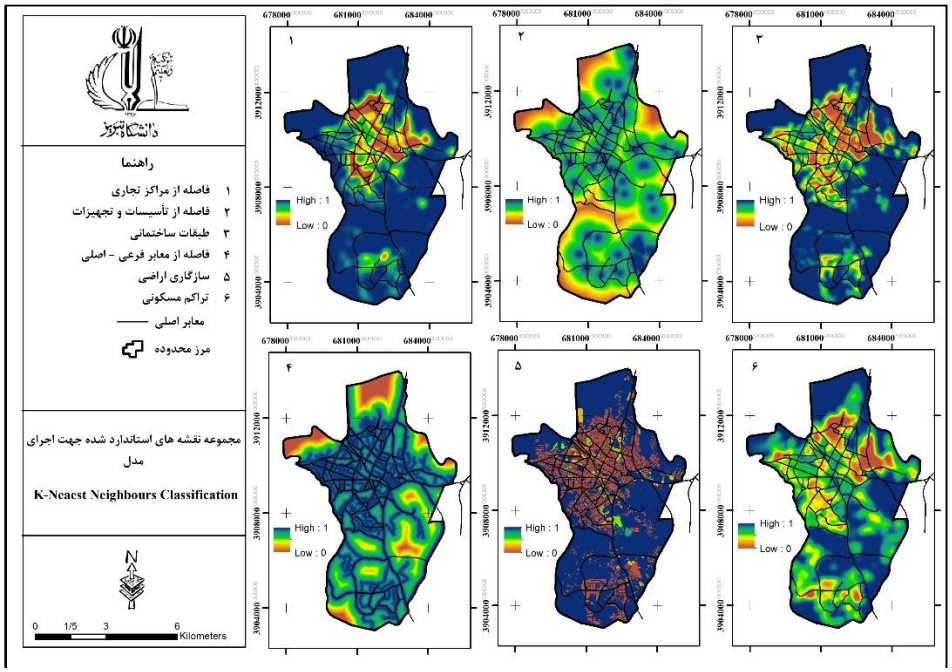


شکل (۴). لایه‌های استاندارد شده جهت اجرای مدل (کالبدی)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

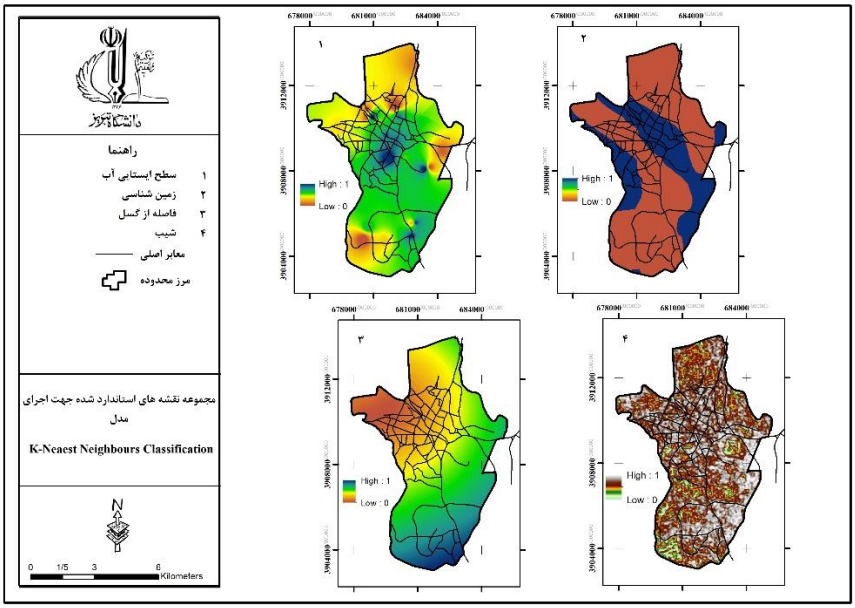


شکل (۵). ادامه لایه‌های استاندارد شده جهت اجرای مدل (کالبدی)



شکل (۶). ادامه لایه‌های استاندارد شده جهت اجرای مدل (کالبدی)

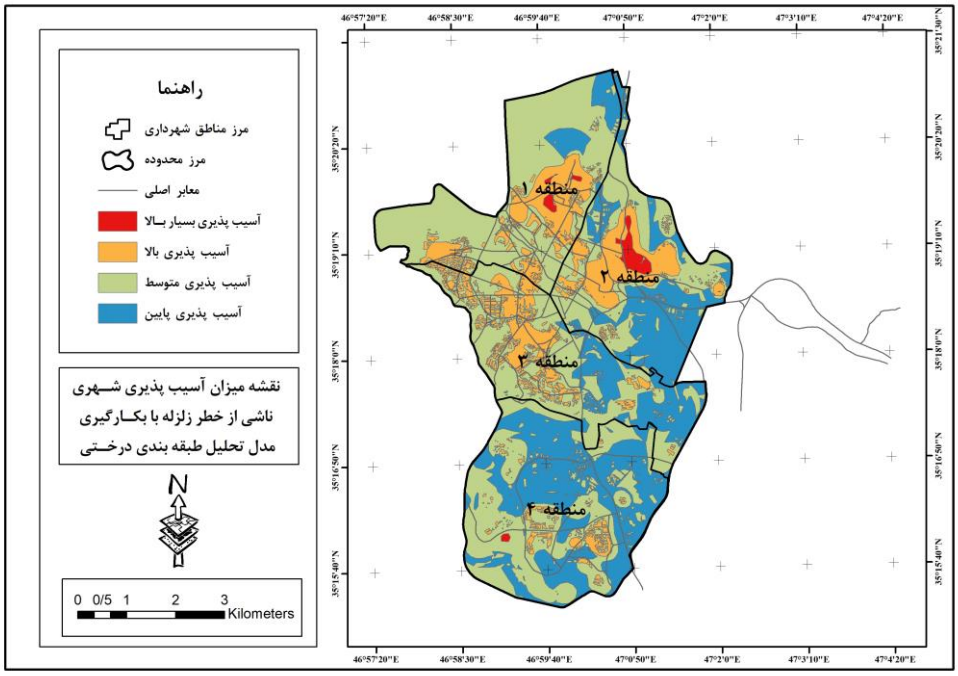
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]



شکل (۷). لایه‌های استاندارد شده جهت اجرای مدل (طبیعی)

بنابراین با توجه به تحلیل لایه‌ها و نقشه نهایی می‌توان گفت محلات شمالی شرایط نامناسبی از لحاظ آسیب‌پذیری نشان می‌دهد و مناطق جنوبی و جنوب شرقی شرایط مناسبی را نشان داده و میزان آسیب‌پذیری در سطح پایین می‌باشد. از دلایل اصلی این نتایج می‌توان به شرایط نامناسب مسیرهای ارتباطی، نزدیکی به گسل، قدمت بالای ساختمان‌ها، تراکم بالای جمعیت، تراکم بالای مسکونی، وجود ساختمان‌های با مصالح کم‌دوام و فاقد استانداردها و آیین‌نامه‌های زلزله اشاره کرد که دارای اثر منفی بوده و در مقایسه با سایر عوامل وزن بیشتری داشته‌اند. ذکر این نکته الزامی است که محلات قدیمی و بافت ناکارآمد و فرسوده شهر سنندج نیز در قسمت‌های شمالی و منطبق با مناطق با آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا می‌باشد که فرسودگی کالبدی و ناکارآمدی سازه‌ها، تراکم مسکونی و ساختمانی بالا، کمبود امکانات زیربنایی، مشکلات اقتصادی و اجتماعی و غیره، ساختار شهر را دچار مشکل کرده و باعث اختلال کارکردی این مناطق و محلات گردیده است. محلات حاجی‌آباد، کانی کوزه له، قسمت‌هایی از محلات فرجه، کارآموزی، گله خان، برشت و سپورآباد، محله شهرک ارشاد، محله عباس‌آباد، جورآباد، اولیاء بگ، شهدا، اسلام‌آباد، شیخ محمدصادق در این طبقه قرارگرفته‌اند. از لحاظ سازگاری کاربری‌ها، قسمت‌های شمالی کمترین سازگاری را نشان می‌دهد که نیازمند بازنگری در طرح‌های آتی و اجرای طرح‌های ساماندهی جهت بالا بردن عملکرد کالبدی این محلات است. همچنین با توجه به تراکم جمعیت بالا و کمبود فضاهای باز شهری در قسمت‌های شمالی، باید متناسب با وضع موجود در راستای ایجاد این فضاها اقدام و زیرساخت‌ها و کاربری‌های موردنیاز گسترش یابند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]



شکل (۸). نقشه نهایی میزان آسیب‌پذیری شهری ناشی از زلزله با مدل تحلیل طبقه‌بندی درختی

جدول (۱). نتایج طبقه‌بندی آسیب‌پذیری شهر سنندج با روش تحلیل طبقه‌بندی درختی

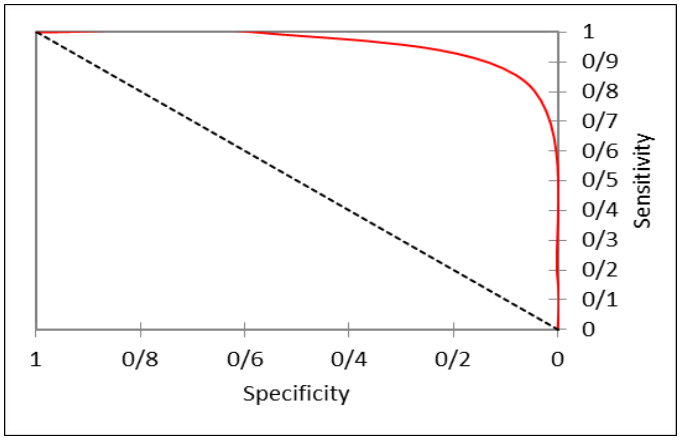
میزان آسیب / منطقه		منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴
آسیب‌پذیری بسیار بالا	مساحت (هکتار)	۱۰	۳۱	-	۲
	درصد	۰,۹	۳,۲	-	۰,۱۵
آسیب‌پذیری بالا	مساحت (هکتار)	۲۵۴	۲۰۰	۲۰۶	۵۶
	درصد	۲۳,۳	۲۱	۲۲,۰۵	۴,۳۴
آسیب‌پذیری متوسط	مساحت (هکتار)	۷۴۴	۳۷۸	۵۱۴	۶۰۲
	درصد	۶۸,۳	۳۹,۵	۵۵,۰۳	۴۶,۵۵
آسیب‌پذیری پایین	مساحت (هکتار)	۸۱	۳۴۷	۲۱۴	۶۳۳
	درصد	۷,۵	۳۶,۳	۲۲,۹۲	۴۸,۹۶

آنچه در انتخاب یک مدل جهت تحلیل و بررسی موضوع مهم است، این است که چه مدلی با چه ویژگی‌هایی مناسب است، مدلی که دارای صحت بالاست، یا مدلی که ویژگی و حساسیت آن بالاست؟ احتمال خطا در مدل‌ها همیشه وجود دارد. این امکان وجود دارد، یک مدل نقاطی را کم‌خطر نشان دهد، درحالی‌که همان نقطه جزو نقاط پرخطر یا با خطر متوسط است؛ بنابراین در انتخاب مدلی که حساسیت بالا، ویژگی و صحت بالایی دارد، باید برحسب نوع موضوع و هدف، مدل را انتخاب کرد. اگر حساسیت، ویژگی و صحت بالا باشد و سطح زیر منحنی آن در نمودار ROC[5] میزان بالایی را نشان دهد، می‌توان به این نتیجه رسید که مدل انتخاب‌شده،

[5]. receiver operating characteristic

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

مناسب موضوع است (جهانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۰). نمودار ROC شکل (۹)، نموداری است که در آن محور X نشان‌دهنده ویژگی و محور Y نشان‌دهنده حساسیت است که هرچه نمودار به سمت مساحت ۱ نزدیک باشد و سطح زیر منحنی آن بیشتر باشد، وضعیت بهتری را نشان می‌دهد (برادلی[6]، ۱۹۹۷: ۱۱۵۳؛ هانلی[7]، ۱۹۷۳: ۳۳). در این پژوهش به‌منظور اعتبارسنجی مدل و نتایج به‌دست‌آمده از نمودار سطح زیر منحنی ROC استفاده گردید. شکل (۹) نشان‌دهنده سطح زیر منحنی (AUC) است. مقدار عددی سطح زیر منحنی که عددی بین صفر و یک است، هرچقدر به یک نزدیک‌تر باشد، به معنای آن است که داده‌ها عموماً بالای خط نیمساز قرارگرفته و میزان نرخ مثبت صحیح بالاست. چنانچه مساحت زیر منحنی ROC بین ۰,۷ تا ۰,۸ باشد عملکرد مدل قابل‌قبول است، چنانچه بین ۰,۸ تا ۰,۹ باشد عملکرد عالی و چنانچه مقدار AUC بیشتر از ۰,۹ باشد عملکرد مدل خیلی عالی می‌باشد (موحدی نسب و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۵۶). در بررسی مدل‌ها، مدلی مناسب‌تر است که دارای میزان حساسیت، ویژگی و ارزش اخباری مثبت بالاتر و درست نمایی منفی پایین باشد. بر این اساس و با توجه به اینکه مقدار شاخص سطح زیر منحنی برابر با ۰,۹۲۶ به‌دست‌آمده، عملکرد مدل تحلیل طبقه‌بندی درختی (CTA) خیلی عالی می‌باشد. همچنین میزان حساسیت خیلی بالا و میزان ویژگی و نسبت درست نمایی مثبت بالا، نشان‌دهنده عملکرد بسیار مطلوب مدل است جدول (۲).



شکل (۹). منحنی ROC مربوط به مدل مورداستفاده در پژوهش

جدول (۲). نتایج به‌دست‌آمده از منحنی ROC

صحت	کران پایین	کران بالا	خطای استاندارد	نسبت درست نمایی مثبت	نسبت درست نمایی منفی	حساسیت	ویژگی	سطح زیر منحنی ROC
۰,۹۱۰	۰,۰۸۸۳	۰,۹۶۹	۰,۰۲۲	۱۳,۴۷۲	۰,۱۷۸	۰,۸۳۳	۰,۹۳۸	۰,۹۲۶

نتیجه‌گیری

وقوع زلزله یکی از مهم‌ترین و زیان‌بارترین نوع مخاطرات محیطی در سطح جهان، بالأخص در ایران است که شهرها و ساختارهای شهری را همواره در معرض تهدید و تخریب قرار داده است. لذا تنها راه مقابله با اثرات

6. Bradley
7. Hanley

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

زیان‌بار آن برنامه‌ریزی‌های کارکردی- ساختاری در راستای کاهش اثرات آن است. موقعیت جغرافیایی سنندج و وجود گسل‌های فراوان در هم‌جواری آن، همچنین عدم برنامه‌ریزی‌های مناسب و توجه به ساخت شهر بر اساس اصول و آیین‌نامه‌های زلزله باعث شده تا شهر در مقابل زلزله‌های محتمل در نقاط پرتراکم مسکونی و جمعیتی آسیب‌پذیرتر باشد. به همین دلیل ارائه تصویری واضح از وضع موجود شهر به لحاظ اجتماعی، اقتصادی، طبیعی، کالبدی و غیره که بتوان بر مبنای آن پهنه‌های آسیب‌پذیر را مشخص کرد، امری لازم و ضروری است. بر این اساس در دهه‌های اخیر از طریق مدل‌سازی و شناخت نقاط آسیب‌پذیر، نقشه‌های موضوعی مختلفی تهیه و مبنای تحلیل و ارزیابی متخصصان و کارشناسان، جهت کاهش اثرات زلزله، قرارگرفته است. بروز رسانی اطلاعات کالبدی شهرها، تهیه نقشه‌های موضوعی در سازمان‌های زیربط، تهیه بانک اطلاعات زلزله، حذف اصطکاک بین سازمانی و غیره از مهم‌ترین اقداماتی است که در برنامه‌ریزی‌های پیشگیری و کاهش اثرات خطر زلزله باید توسط سازمان‌های متولی انجام پذیرد. گسترش شهرنشینی بی‌رویه در شهر سنندج و ساخت‌وسازهای غیراصولی و غیرمجاز در حواشی شهر سنندج، رشد جمعیت شهری بالأخص در محلات قدیمی و پرتراکم، ضعف مدیریت بحران، فقر فرهنگی و اقتصادی و غیره از مهم‌ترین عواملی هستند که در افزایش و تشدید آسیب‌ها نقش بسزایی ایفا می‌کنند. آنچه در بررسی و تحلیل آسیب‌پذیری اهمیت دارد، ارزیابی همه‌جانبه عوامل و معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری شهرهاست که مجموعه‌ای از معیارهای اقتصادی، اجتماعی، طبیعی، کالبدی – زیرساختی و زیست‌محیطی را در بر می‌گیرد. در این پژوهش مجموعه‌ای از معیارهای اجتماعی – اقتصادی، کالبدی و طبیعی و ۲۸ زیر معیار تعیین و با استفاده از روش تحلیل طبقه‌بندی درختی (CTA) ترکیب و مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه نهایی و نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که قسمت‌های شمالی شهر منطبق با محلات پرتراکم مسکونی و جمعیتی شهر سنندج واقع در مناطق ۱ و ۲ شهرداری دارای پهنه‌های با میزان آسیب‌پذیری بسیار بالا و آسیب‌پذیری بالا می‌باشند. محلات پرتراکم قدیمی در پهنه‌های با آسیب‌پذیری بسیار بالا واقع گردیده و نیاز به بازنگری در طرح‌های توسعه آتی شهر بسیار ضروری می‌باشد. از طرف دیگر عدم وجود فضاهای باز کافی در محلات و قسمت‌های آسیب‌پذیر شمال شهر از عوامل مهمی است که می‌تواند باعث تشدید آسیب‌ها شود، به همین دلیل نیاز به فضاهای باز شهری در برنامه‌ریزی‌های مربوط به آسیب‌پذیری شهری و بحران ناشی از زلزله به‌شدت احساس می‌شود. یافته‌ها حاکی از این موضوع است که از قسمت‌های شمالی به‌طرف جنوب شهر، از شدت آسیب‌ها کاسته می‌شود و محلات واقع در مرکز، جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق شهر در طیف با میزان آسیب‌پذیری متوسط و پایین طبقه‌بندی گردیده و شرایط مطلوب‌تری را نشان می‌دهند. شکل (۳) به‌وضوح نشان می‌دهد که بیشترین تراکم سازه‌های مقاوم و استاندارد در قسمت‌های جنوب شهر واقع شده است.

پیشنهادات

جهت کاهش مخاطرات و آسیب‌های ناشی از آن در شهر سنندج پیشنهاد می‌گردد: قسمت‌های آسیب‌پذیر شمال شهر بهسازی و در طرح‌های آتی توسعه شهر موردتوجه خاص قرار گیرد، از گسترش و توسعه شهر در حریم گسل و نواحی با آسیب بالا جلوگیری شود و با اجرای طرح‌ها و برنامه‌های شهری و دادن امتیازاتی به شهروندان از طریق سازمان‌های مربوطه، شاهد کاهش تراکم جمعیتی و مسکونی در مناطق پرخطر باشیم.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

منابع

ابراهیمی، مجید؛ سلمانی مقدم، محمد، امیر احمدی، ابوالقاسم و نوری، مریم. (۱۳۹۴). **ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر بردسکن در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی وارون (IHPW)**، مخاطرات محیط طبیعی، ۴(۶): ۱۰۵-۱۳۷.

احدنژاد روشتی، محسن؛ قرخلو، مهدی و زیاری، کرامت الله. (۱۳۸۹). **مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی**، جغرافیا و توسعه، (۱۹): ۱۷۱-۱۹۸.

بهنام پور، ناصر؛ حاجی‌زاده، ابراهیم؛ سمنانی، شهریار و زایری، فرید. (۱۳۹۲). **معرفی الگوریتم‌های مدل رده‌بندی درختی و کاربرد آن در تعیین عوامل مؤثر بر سرطان مری در استان گلستان**، کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی گلستان (حکیم سید اسماعیل جرجانی)، ۱(۲): ۳۸-۴۶.

جامی، محسن؛ فریمان خطیب، محمدمهدی؛ مریدی، علی‌اصغر و مظلوم، غلامرضا. (۱۳۹۲). **هندسه فرکتالی گسل‌ها و لرزه‌خیزی در شمال شرق ایران**، مخاطرات محیطی، ۲(۳): ۱۷-۲۸.

جهانی، میثم؛ رضایی نور، جلال؛ هداوندی، اسماعیل؛ صالحی، ایرج و تحسینی، حبیب اله. (۱۳۹۴). **مقایسه سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در پیش‌بینی دیابت**، تخصصی اپیدمیولوژی ایران، ۱۱(۲): ۴۶-۵۳.

حاجی نژاد، علی؛ بدلی، احد و آقایی، واحد. (۱۳۹۴). **بررسی عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در مناطق شهری دارای سکونتگاه‌های غیررسمی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: مناطق ۱ و ۵ شهر تبریز**، مخاطرات محیط طبیعی، ۴(۶): ۳۳-۵۶.

خالق پناه، کمال، نیری، هادی، کرمی، محمدرضا و احمدی، خبات. (۱۳۹۵). **پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج ناشی از زلزله با استفاده از دو مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل تاپسیس**، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۰(۵۷): ۲۹۴-۲۷۷.

ساسان پور، فرزانه؛ شماعی، علی؛ افسر، مجید و سعیدپور، شراره. (۱۳۹۶). **بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر در برابر مخاطرات محیطی (زلزله)، مطالعه موردی: محله محتشم کاشان**، مخاطرات محیط طبیعی، ۶ (۱۴): ۱۲۲-۱۰۳.

صیامی، قدیر؛ تقی نژاد، کاظم و زاهدی کلاکی، علی. (۱۳۹۴). **آسیب‌شناسی لرزه‌ای پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) و GIS، مطالعه موردی: شهر گرگان**، مطالعات برنامه‌ریزی شهری، ۳(۹): ۴۳-۶۳.

عزیزی، محمدمهدی و اکبری، رضا. (۱۳۸۷). **ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله، مطالعه موردی: منطقه فرحزاد تهران**، هنرهای زیبا، (۳۴): ۲۵-۳۶.

عابدینی، موسی و سرمستی، نادر. (۱۳۹۵). **ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زلزله و برآورد تلفات انسانی**، جغرافیای طبیعی، ۹(۳۲): ۳۵-۵۶.

کانتاردزیک (۱۳۸۵)، **داده‌کاوی**، ترجمه: امین علیخان زاده، نشر علوم رایانه، بابل، چاپ اول.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

کرمی، محمدرضا. (۱۳۹۱). **ارزیابی خطر زلزله و آسیب‌پذیری شهرها با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نمونه موردی: شهر تبریز**، رساله دکتری به راهنمایی دکتر محمدرضا پورمحمدی، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی.

کریمی صالح، محمدجعفر. (۱۳۸۵). **برنامه‌ریزی شهری مقابله با سوانح طبیعی**، اولین همایش ملی مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

لطفی، خداداد. (۱۳۹۱). **مدل‌سازی ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از GIS و GA، مطالعه موردی: شهر اردبیل**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر فریبا اسفندیاری، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.

مشکانی، علی و ناظمی، عبدالرضا. (۱۳۸۸). **مقدمه‌ای بر داده‌کاوی**، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول.

مظفری، غلامعلی؛ شفیعی، شهاب و تقی زاده، زهرا. (۱۳۹۴). **ارزیابی کارایی مدل درخت تصمیم رگرسیونی در پیش‌بینی خشک‌سالی، نمونه موردی: ایستگاه سینوپتیک سنندج**، مخاطرات محیط طبیعی، ۴(۶).

مقیمی، ساجده و منصفی پراپری دانیال. (۱۳۹۸). **مکان‌یابی فضای مناسب برای اسکان موقت زلزله‌زدگان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و ترکیب خطی وزنی بر مبنای GIS، نمونه موردی: شهر شاهرود**، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶(۱): ۷۱-۹۴.

مکرم، رضا. (۱۳۹۶). **مقایسه مدل‌های شبکه عصبی، درخت تصمیم و کاکس در طبقه‌بندی داده‌های بقا**، رساله دکتری در رشته آمار گرایش استنباط، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم ریاضی، گروه آمار.

ملکی، امجد. (۱۳۸۶). **پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و اولویت‌بندی بهسازی مساکن در استان کردستان**، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹(۵۹): ۱۱۵-۱۲۴.

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). **سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵**. شهرستان سنندج.

مهندسین مشاور تدبیر شهر. (۱۳۸۷). **طرح توسعه و عمران شهر سنندج**. مرحله اول. جلد اول.

یزدانفر، کاملیا. (۱۳۹۳). **تعیین فعالیت گسل پیرانشهر به‌عنوان شمال غربی‌ترین قطعه راندگی جوان زاگرس با کاربرد مدل DTM و نرم‌افزار GIS**، تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۴): ۱۳۳-۱۴۶.

Alizadeh, M.; alizadeh, E.; Asadollahpour Kotenaee, S.; Shahabi, H.; Beiranvand Pour, A.; Panahi, M.; Baharin Bin, A. and Lee, S., (2018), **Social Vulnerability Assessment Using Artificial Neural Network (ANN) Model for Earthquake Hazard in Tabriz City, Iran**, Sustainability, 10, 3376; doi:10.3390/su10103376.

Bradley, AP., (1997), **the use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms.** Pattern Recognit.30: 1145-1159.

Chich-hao Wang, (2013), **"Land-use allocation and earthquake damage mitigation: a combined spatial statistics and optimization approach",** presented in partial fulfillment of the requirements for the degree doctor of philosophy in the graduate school of the OHIO state university.

Duzgun, H. S. B., Yucemen, M. S., Kalaycioglu, H. S., Celik, K., Kemec, S., Ertugay, K., and Deniz, A. (2011), **An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas**. Natural Hazards, 59(2), 917–947. Doi: 10.1007/s11069-011-9808-6

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]

Hanley, A and Mcneil, J., (1982), **the meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve.** Radiology. 143: 29-36.
Ogie, R., I. and Pradhan, B, (2019), **Natural Hazard and Social Vulnerability of Place: The Strength-Based Approach Applied to Wollongong, Australia.** International Journal of Disaster Risk Science, volume 1: 404-420.
Zambon, M., R. Lawrence, A. Bunn, and S. Powell., (2006), **Effect of alternative splitting rules on image processing using classification tree analysis**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 72(1): 25–30.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.238.1]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.74]