

نشریه مطالعات نواحی شهری دانشگاه شهید باهنر کرمان

سال سوم، شماره ۱، پیاپی ۶، بهار ۱۳۹۵

### امکان‌سنجی آسیب‌پذیری شهر سنندج در برابر زلزله با استفاده از مدل متوسط وزنی مرتب‌شده (OWA) \*

دکتر هادی تیری \*\*

استادیار ژئومورفولوژی دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

دکتر محمدرضا کرمی

استادیار گروه جغرافیای دانشگاه پیام‌نور

#### چکیده

ایران در مرکز کمربند زلزله‌خیز دنیا واقع شده است. وقوع زلزله‌های مخرب چند دهه اخیر نشان داده که هیچ نقطه‌ای از این کشور از خطر زلزله در امان نیست. این مخاطره برای توسعه جوامع شهری تهدید محسوب می‌شود. با شناخت متغیرها و پهنه‌بندی مناطق می‌توان میزان آسیب‌های زلزله را کاهش داد. این پژوهش با هدف پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری ناشی از این مخاطره در شهر سنندج بر اساس متغیرهای تأثیرگذار، تدوین شده است. در این راستا، لایه‌های متغیرهای طبیعی، کالبدی و انسانی-اجتماعی تهیه و به صورت رستری آماده شدند. مدل خطی وزنی مرتب شده با دو روش ریسک‌گریز و ریسک‌پذیر به کار گرفته شدند تا میزان آسیب‌پذیری شهر با دقت و جزئیات بیشتری آشکار و طبقه‌بندی شود. نتایج نشان داد که قسمت‌های شمال و شمال‌غربی از آسیب‌پذیری بالایی با منشأ کالبدی و انسانی برخوردارند درحالی‌که قسمت‌های جنوبی که در درجه بعدی از آسیب‌پذیری قرار دارد، منشأ طبیعی دارند. بر این مبنا چنین استنباط شده که می‌توان با محدود کردن توسعه به سمت جنوب و تغییر کالبدی و ویژگی‌های اجتماعی در قسمت‌های شمال و شمال‌غربی شهر؛ میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، ریسک، زلزله، مدل خطی وزنی مرتب شده، سنندج.

## مقدمه

ایران در مرکز آخرین کمربند کوهزایی کره زمین واقع شده است و هنوز پوسته زمین در آن آرام نگرفته است (زمردیان، ۱۳۸۱: ۱۲۰). زلزله‌های مخرب چند دهه اخیر، نشان می‌دهد که ایران جزء مناطق زلزله‌خیز است (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۳). این کشور در زمره شش کشور قرار دارد که ۸۰ درصد مرگ‌ومیرهای ناشی از زلزله در آنها اتفاق افتاده است (عبدلهی، ۱۳۹۱: ۱۲۷). مشکلات اقتصادی و اجتماعی مزید بر ویژگی‌های طبیعی سبب شده، سطح آسیب‌پذیری در برابر زمین‌لرزه در این کشور بالا باشد، به طوری که ۳۲ درصد از مساحت، ۷۰ درصد از جمعیت و ۶۷ درصد از تولید ناخالص این کشور در مناطق واقع در معرض خطر زلزله قرار دارد (دبلیو دی آی، ۲۰۰۴: ۸۴).

آسیب‌های ناشی از این مخاطره در سال‌های اخیر به دلیل فرایند شهرنشینی، افزایش پیدا کرده است (غفوری آشتیانی، ۱۳۷۶: ۱۶۸؛ عبدلهی، ۱۳۹۱: ۱۲۷). بنابراین بررسی آسیب‌پذیری شهرهای ایران بالاخص شهرهایی که در معرض فاجعه هستند می‌تواند در راستای بهینه‌سازی و مدیریت بهتر شهری راهگشا باشد؛ هرچند که ایمنی مطلق غیرممکن است (اریکسون، ۲۰۰۵: ۳-۱).

شهر سنندج اگرچه در زون ساختاری نسبتاً آرام سنندج- سیرجان واقع شده است، اما با توجه به عبور دو گسل معروف زاگرس جوان و گسل مریوان - سیرجان در معرض زلزله‌های اطراف قرار دارد. بر اساس مطالعات قبادی و همکاران (۱۳۹۰) بزرگی زلزله ناشی از فعالیت این گسل‌ها در اطراف سنندج به ۶/۱ تا ۶/۹ در مقیاس ریشتر می‌رسد که در عمق ۱۵-۲۵ کیلومتر اتفاق خواهد افتاد؛ چنین ویژگی‌ای از پتانسیل خطر لرزه‌خیزی بالا در این ناحیه حکایت می‌کند که این پتانسیل خطر بر اساس تحقیقات پناهی کایوشه و متشرعی (۱۳۹۲) در شرق شهر سنندج، بیشتر از دیگر مناطق است؛ با این حال، قسمت‌های زیادی از شهر دارای بافت فرسوده بوده و بدون ملاحظات ایمنی از نظر حوادث طبیعی و صرفاً برای پاسخ‌گویی به نیازهای سکونتی در کوتاه مدت تأسیس شده است.

زلزله به عنوان تهدیدی در حال رشد، همواره در زمینه‌های مربوط به توسعه جوامع مطرح بوده (پور طاهری و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۳) و درباره آسیب‌پذیری و مخاطرات ناشی از آن تحقیقات نسبتاً خوبی صورت گرفته است؛ از جمله: ملکی (۱۳۸۵) و شهابی و همکاران (۱۳۹۰) به پهنه‌بندی خطر زلزله در استان کردستان پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که شهر سنندج در موقعیت با خطر نسبی متوسط قرار دارد این تحقیقات صرفاً به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در این محدوده صورت گرفته‌اند که نمی‌توانند جوابگوی تمام نیازهای شهری باشند؛ زیرا آنچه امروز اهمیت دارد، آسیب‌پذیری جوامع از این مخاطره است.

کاهش میزان آسیب‌پذیری، نیازمند شناخت ماهیت طبیعی و مکانی - فضای آن و شرایط اجتماعی - فضای جامعه است؛ زیرا آسیب واقعی وابسته به در معرض خطر بودن و خصیصه‌های واحد دریافت کننده است؛ بنابراین، یک سیستم اجتماعی نظیر شهر بایستی هم در ابعاد محیطی و هم در ابعاد انسانی خود به‌طور فراگیر مطالعه شود (قدیری و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۰). به همین خاطر، بخشی از مطالعات مربوط به بلایا به فاکتورهای فردی، اجتماعی و فوق اجتماعی مؤثر در آسیب‌پذیری نظر دارد (السیرا و مارگارت، ۲۰۰۰: ۱۳۶-۱۳۵) جنبه‌های مهم اجتماعی که به افزایش آسیب‌پذیری منجر شود عبارتند از: شیوه توزیع جغرافیایی آن مردم (حسین، ۲۰۰۲: ۱۶-۱۵) درصد تراکم‌های جمعیتی بالا، تمرکزگرایی بالای ساختمان‌ها و زیرساختارها در شهرها، تمرکز شدید و ازدحام جمعیت در نواحی در معرض بلایا، تمرکز بالای گروه‌های جمعیتی بی‌دفاع در شهرها (غالباً گروه‌های با درآمد اقتصادی اندک)، جمعیت‌های فقیر زیاد و در حال افزایش و افراد نیازمند است (لی، ۲۰۰۸: ۳۲۶).

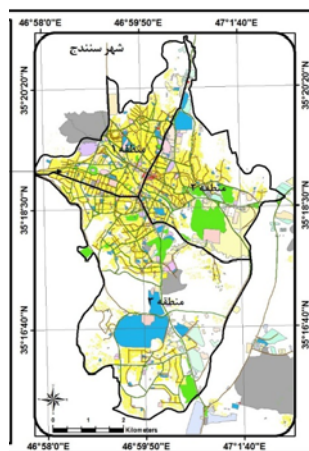
در ایران از مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته در زمینه آسیب‌پذیری شهری می‌توان به تحقیقات امیر احمدی و آب باریکی (۱۳۹۳)، ولی‌زاده (۱۳۸۰)، قنبری و همکاران (۱۳۹۲)، کریمی و همکاران (۱۳۹۲)، احدنژاد روشتی (۱۳۸۹)، شیعه و همکاران (۱۳۸۹)، قدیری و افتخاری (۱۳۹۲)، مشک‌ساز و همکاران (۱۳۹۲)، فرجی و قراخلو (۱۳۸۹) و فرج‌زاده و بصیرت (۱۳۸۵) اشاره کرد که بر روی معیارهای طبیعی از جمله

شیب، گسل، لیتولوژی و معیارهای کالبدی هم‌چون تراکم سازه، کاربری و اجتماعی تأکید کرده‌اند.

با داشتن نقشه‌های میزان آسیب‌پذیری زلزله می‌توان با دقت بیشتری به هزینه و ساخت‌وساز اقدام کرد. قبل از وقوع حوادث، کاربری‌ها را متناسب با میزان مخاطره تعریف نمود و در موقع مخاطره از نقاط امن استفاده کرد. این پژوهش با هدف شناسایی و پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج در برابر زلزله با دو روش ریسک‌گریز و ریسک‌پذیر تدوین شده‌است، پهنه‌بندی که بتواند میزان آسیب‌پذیری محدوده را در برابر خطر زلزله نشان دهد و پاسخگوی نیاز مدیریت شهری باشد و در فرایند تصمیم‌گیری به مدیران کمک کند.

#### داده‌ها و روش‌شناسی

محدوده پژوهش، شهر سنندج است که در طول ۴۴ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی و در غرب ایران قرار گرفته است. شهر سنندج در منطقه‌ای کوهستانی واقع شده که این ویژگی، تنگنهایی برای توسعه فیزیکی شهر به وجود آورده‌است. بر اساس تحقیقات ثروتی و همکاران (۱۳۸۸) ارتفاعات آبدار، تپه‌های داخل شهر همراه با رودخانه قشلاق سبب شده تنها ۸۱/۴ درصد از محدوده پژوهش، مناسب توسعه شهر باشد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده پژوهش

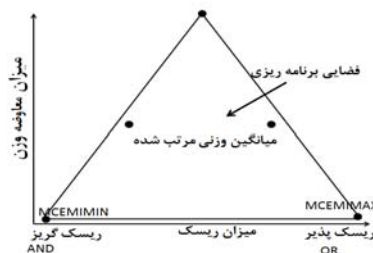
امکان‌سنجی آسیب‌پذیری شهری توسط معیارهای فیزیکی، کالبدی و انسانی که از درجه مناسب متفاوتی در فضاهای جغرافیایی برخوردارند و در یک قالب پیوسته، میزان آسیب‌پذیری را تعریف می‌کنند، تعیین می‌شود. بعضی لایه‌های به‌کار رفته در این تحقیق، متغیر مکانی پیوسته را نشان نمی‌دهد، مناسب نسبی این متغیرها با در نظر گرفتن هدف، از بسیار کم‌خطر تا بسیار خطرناک به‌طور پیوسته رده‌بندی و به‌عنوان داده‌های رستری بیان شدند.

یکی از مهم‌ترین معیارهای مورد استفاده در این پژوهش، معیارهای طبیعی (فاصله از گسل، شیب، لیتولوژی و سطح ایستایی آب است که اکثر محققان از جمله شهابی و همکاران (۱۳۹۰)، نگارش (۱۳۸۲) و اسمیت (۱۹۹۲) برای آسیب‌پذیری طبیعی از آن استفاده نموده‌اند. معیارهای مورد استفاده جهت پهنه‌بندی کالبدی؛ شامل تراکم واحد مسکونی، کاربری اراضی، فاصله از فرودگاه، تعداد طبقات، فاصله از مراکز درمانی است. این معیارها قبلاً توسط احمدیانی و همکاران (۱۳۸۹) برای شهر جهرم، احدنژاد روشتی و همکاران (۱۳۸۹) برای منطقه ۱ شهر تبریز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مقاله حاضر نیز از چنین معیارهایی استفاده شده‌است. معیارهای مورد استفاده در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اجتماعی شامل تراکم جمعیت، تراکم تعداد شاغلین، تراکم تعداد خانوار در هکتار و تراکم تعداد بیکاران در هکتار است که لی (۲۰۰۸) برای ارزیابی آسیب‌پذیری به آن‌ها اشاره نمودند. لایه‌ها کالبدی و اجتماعی از طرح تفصیلی شهر سنندج (۱۳۹۰) فراهم شدند. در مجموع ۱۳ لایه اطلاعاتی تهیه شده که هر کدام به‌تنهایی ممکن است اهمیت زیاد (بالا) و یا کم (پایین) داشته باشند؛ اما روی هم‌رفته درجه آسیب‌پذیری به روش تجمیع بستگی دارد که در این مطالعه از مدل میانگین وزنی مرتب‌شده (OWA) برای فرایند تجمیع استفاده شده‌است.

این مدل شامل دو گروه وزنی؛ یکی وزن اهمیت فاکتورها در حل مسأله و دیگری وزن رتبه‌ای است که اجازه معاوضه وزن‌ها و کنترل میزان ریسک‌پذیری را می‌دهد. این مدل بر حسب انحراف و پراکندگی وزن رتبه‌ای، می‌تواند طیف تقریباً زیادی از راه‌حل‌های ممکن برای پهنه‌بندی ارائه دهد. در این پژوهش با انحراف نسبی وزن‌های

رتبه‌ای به‌طرف چپ روش ریسک‌پذیر که برای برنامه‌ریزی شهری به‌ویژه مسکن خطرناک است و با انحراف آن‌ها به‌سمت راست روش ریسک‌گریز که به‌شدت تخصیص زمین را محدود می‌کند. نقشه آسب‌پذیری در برابر مخاطره زلزله برای شهر سنندج تهیه شده‌است (شکل ۳).

برای اجرای این مدل، نیاز به وزن اولیه معیارهاست. در این پژوهش، وزن اولیه برای مدل با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی به‌دست آمد (جدول ۱). در نهایت، وزن معیارها با وزن رتبه‌ای متناظر آن ضرب و سپس جمع شدند و جمع آن‌ها بر تعداد معیار تقسیم گردید. بعد از محاسبه میانگین وزنی، تصویر حاصل شده طبقه‌بندی شد.



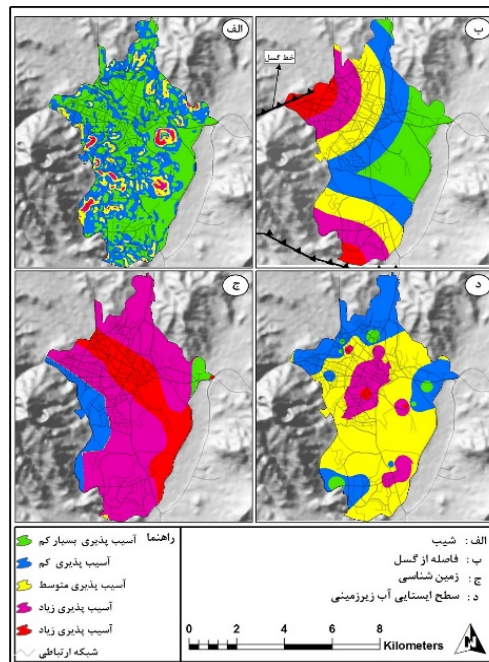
شکل ۲- موقعیت قرارگیری میانگین وزنی مرتب‌شده داخل فضای تصمیم‌گیری

## بحث

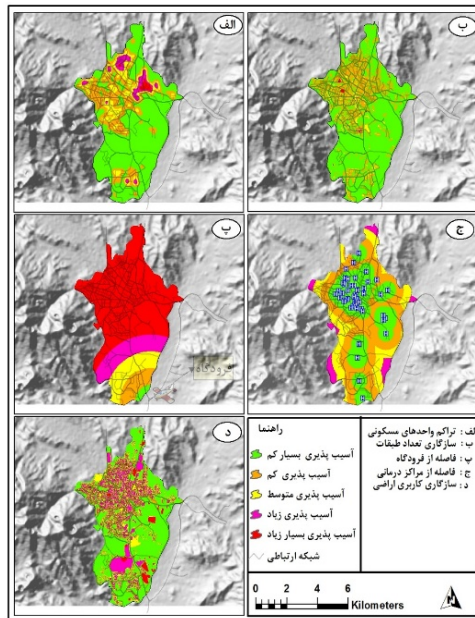
سیستم‌های طبیعی به‌دلیل تأثیر عوامل متنوع، پیچیده هستند؛ لذا ترکیب داده‌ها در چنین سیستم‌هایی ضروری است تا اطلاعات بیشتری از فضای ناشناخته اطراف فراهم شود. مدل‌های متعدد در این سیستم‌ها جهت شناسایی دقیق‌تر به‌کار می‌رود که بعضی ریسک‌پذیر و بعضی ریسک‌گریز هستند. اگرچه ریسک‌گریزی برای بسیاری از پروژه‌ها و مکان‌ها شهری به‌ویژه کاربری مسکونی مناسب است؛ اما از یک‌سو، محدودیت زمین به‌ویژه در شهرهای مناطق کوهستانی، افزایش مهاجرت و رشد سریع شهرها مانع از اجرای روش‌های ریسک‌گریز می‌گردد؛ از سوی دیگر فقر، نبود امکانات و هزینه بالا عمرانی، سبب شده در بسیاری از مناطق نتوان از روش‌های ریسک‌پذیر استفاده کرد.

به‌نظر می‌رسد ترکیبی از هر دو روش بتواند پاسخگوی این مسائل باشد. در این پژوهش این دو روش برای شهر سنندج که از یک‌سو با محدودیت توسعه فیزیکی و از سوی دیگر با رشد سریع شهرنشینی و فقر مواجه است، به‌کار رفته‌است. برای این

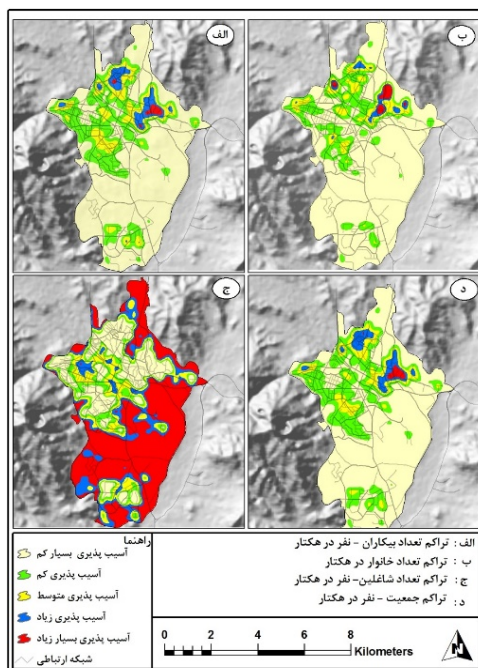
منظور پس از شناسایی عوامل و تهیه لایه‌های مورد نیاز، لایه‌ها در محیط GIS به شکل رستری درآمد و در پنج طبقه خطر، از بسیار کم خطر تا بسیار خطرناک طبقه‌بندی شدند (شکل‌های ۳ تا ۵) و با دو روش ریسک‌پذیر و ریسک‌گریز با استفاده از مدل وزنی مرتب‌شده، پهنه‌بندی صورت گرفت. چون به‌کارگیری این روش‌ها نیاز به وزن اولیه داشت؛ از روش AHP برای وزن اولیه معیارها استفاده شد. برای این منظور، ماتریسی برای معیارهای به‌کار رفته، تهیه گردید و برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها دو به دو باهم مقایسه شدند. مبنای قضاوت در تعیین ضریب اهمیت معیارهای جدول (۱) کمیّتی ساعتی در نظر گرفته شد. با توجه به هدف بررسی و تحقیقات قبلی (شيعه و همکاران، ۱۳۸۹؛ روستایی ۱۳۹۰ و زارع، ۱۳۸۰) شدت برتری معیارها، مشخص و دو به دو باهم مقایسه شد و از طریق نرمال کردن میانگین هندسی ردیف‌های ماتریس، وزن اهمیت معیارهای مورد نظر به دست آمد (جدول ۱). هر وزن به‌عنوان وزن اولیه مدل میانگین وزنی مرتب‌شده به‌کار گرفته شد.



شکل ۳- لایه‌های طبیعی به‌کار رفته برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر سنندج در برابر زلزله



شکل ۴- لایه‌های کالبدی به کار رفته برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر سنندج در برابر زلزله



شکل ۵- لایه‌های انسانی به کار رفته برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر سنندج در برابر زلزله



جدول ۱- اولویت و وزن لایه‌های به‌کار رفته برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر سنندج

خوشه	وزن نهایی معیارها	وزن معیارها در AHP	نوع لایه	شیب	زمین‌شناسی	سطح ایستایی آب	گسل	تراکم جمعیت	تراکم شاغلین	تراکم خانوار	تراکم بیکاران	تراکم طبقات	فاصله از مراکز درمانی	فاصله از فرودگاه	تراکم مسکونی	تراکم کاربری
طبیعی	۰/۰۹۲	۷	شیب	۱	۰/۹	۱/۴	۰/۹	۱	۱/۸	۱/۴	۱/۸	۱/۷	۱/۷	۱/۴	۱	۱/۲
	۰/۰۹۸	۸	زمین‌شناسی	۱/۱	۱	۱/۶	۰/۹	۱/۱	۲	۱/۶	۲	۱/۳	۱/۴	۱/۶	۱/۱	۱/۳
	۰/۰۹۴	۵	سطح ایستایی آب	۰/۷	۰/۶	۱	۰/۶	۰/۷	۱/۳	۱	۰/۷	۰/۸	۸/۳	۱	۰/۷	۰/۸
	۰/۱۰۹	۹	گسل	۱/۲	۱/۱	۱/۸	۱	۱/۳	۲/۳	۱/۸	۲/۳	۱/۵	۱/۵	۱/۸	۱/۳	۱/۵
انسانی	۰/۰۸۸	۷	تراکم جمعیت	۱	۰/۹	۱/۴	۰/۸	۱	۱/۸	۱/۴	۱/۸	۱/۲	۱/۲	۱/۴	۱	۱/۷
	۰/۰۴۹	۴	تراکم شاغلین	۰/۶	۰/۵	۰/۸	۰/۴	۰/۶	۱	۰/۸	۱	۰/۷	۰/۷	۰/۸	۰/۶	۰/۷
	۰/۰۶۱	۵	تراکم خانوار	۰/۷	۰/۶	۱	۰/۶	۰/۷	۱/۳	۱	۱/۳	۰/۸	۰/۸	۱/۰	۰/۷	۰/۸
	۰/۰۵۳	۴	تراکم بیکاران	۰/۶	۰/۵	۱/۴	۰/۴	۰/۶	۱	۰/۸	۱	۰/۷	۰/۷	۰/۸	۰/۶	۰/۷
کالبدی	۰/۰۷۰	۶	تراکم طبقات	۰/۶	۰/۸	۱/۲	۰/۷	۰/۹	۱/۴	۱/۲	۱/۴	۱	۱/۰	۱/۲	۰/۸	۱
	۰/۰۶۴	۶	فاصله از مراکز درمانی	۰/۶	۰/۷	۰/۱	۰/۷	۰/۹	۱/۵	۱/۲	۱/۴	۱	۱	۱/۲	۰/۹	۱
	۰/۰۶۱	۵	فاصله از فرودگاه	۰/۷	۰/۶	۱	۰/۶	۰/۷	۱/۳	۱	۱/۳	۰/۸	۰/۸	۱	۰/۷	۰/۸
	۰/۰۹۰	۷	تراکم مسکونی	۱	۰/۹	۱/۴	۰/۸	۱	۱/۸	۱/۵	۱/۸	۱/۳	۱/۲	۱/۴	۱	۱/۷
	۰/۰۷۰	۶	تراکم کاربری	۰/۹	۰/۸	۱/۲	۰/۷	۰/۶	۱/۵	۱/۲	۱/۴	۱	۱	۱/۲	۰/۶	۱

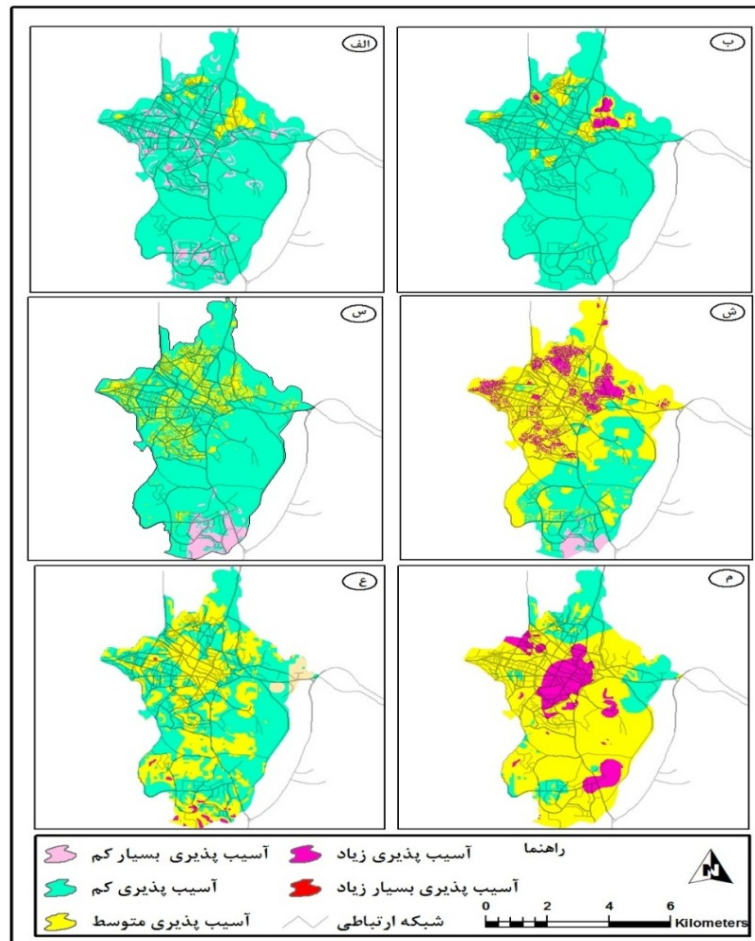
نتایج حاصل از مدل AHP (وزن‌ها) به دو صورت اُریب به‌سمت چپ و اُریب به‌سمت راست با استفاده از تکنیک میانگین وزنی برای هر یک از معیارهای طبیعی، انسانی و کالبدی به‌صورت جداگانه تهیه شد. سپس نقشه نهایی از مناسبت‌های پیوسته برای مخاطره زلزله در شهر سنندج به‌شکل ریسک‌پذیر (اُریب به سمت چپ) و ریسک‌گریز (اُریب به سمت راست) فراهم گردید (شکل ۶).

نقشه حاصل از پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری انسانی شهر سنندج بر اساس هر دو روش ریسک‌گریز و ریسک‌پذیر نشان از میزان آسیب‌پذیری اجتماعی کم است. فقط به‌صورت محدودی در قسمت شمال شرق مناطقی در طبقات خطرناک (بر اساس روش ریسک‌گریز) و خطر متوسط (بر اساس روش ریسک‌پذیر) قرار می‌گیرند که این مناطق منطبق با محلات کانی‌کوزله، عباس‌آباد و فرجه است. در شمال‌غرب محدوده شهر سنندج بر اساس روش ریسک‌گریز، محلاتی در طبقه با خطر متوسط و به‌مقدار کمی در طبقه خطرناک واقع شده است. این محدوده‌ها در مقایسه با محدوده‌های شمال شرقی از خطر کمتری برخوردارند (شکل ۶ الف و ب). این مناطق بر اساس تحقیقات احمدی (۱۳۹۳) با آسیب‌پذیری زیاد مشخص شده‌اند و در طرح تفضیلی شهر سنندج (۱۳۸۵) در طبقات پایین اجتماعی قرار گرفته‌اند. در بین متغیرهای به‌کار رفته برای پهنه‌بندی انسانی، تراکم تعداد شاغلان وضعیت مطلوبی را نشان نمی‌دهد. بر اساس این لایه، غیر از قسمت‌های مرکزی، بقیه قسمت‌های شهر از وضعیت خطرناکی برخوردار است. در سه متغیر دیگر از جمله تعداد بیکاران، تراکم خانوار و تراکم شاغلان محلات عباس‌آباد، فرجه، کارآموزی و تققان از وضعیت مناسبی برخوردار نیستند.

برای مشخص کردن آسیب‌پذیری کالبدی از معیارهای هم‌چون تعداد طبقات، فاصله از فرودگاه، فاصله از مراکز درمانی، کاربری اراضی و تراکم واحد مسکونی استفاده شد که این معیارها بر اساس شکل (۴)، میزان آسیب‌پذیری را به‌صورت زیر نشان می‌دهند: تراکم بالای واحدهای مسکونی در قسمت شمال شرقی منطقه منطبق با کانی‌کوزله، فرجه، عباس‌آباد، تققان و کارآموزی این مناطق را به‌لحاظ آسیب‌پذیری در سطح بالایی قرار داده است در مقابل در جنوب شهر تراکم کم است؛ در نتیجه میزان آسیب‌پذیری شهر در این محلات، شدت کمی را نشان می‌دهد.

نقشه فاصله از مراکز درمانی از شمال تا جنوب در تمام منطقه از شرایط یکسانی نسبت به آسیب‌پذیری تقریباً برخوردارند. تنها حواشی کوچکی در شرق و غرب دارای شرایط ناهمگون و فاصله زیاد است؛ بنابراین، تأثیر زیادی در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ندارد. بالا بودن وسعت کاربری مسکونی و پادگان نظامی در قسمت شمال و

شمال‌شرقی، تجاری و خدماتی در مرکز، فضای سبز در غرب و جنوب باعث شده میزان آسیب‌پذیری در یک دید کلی بر اساس معیار کاربری از شمال به جنوب کاهش یابد. در قسمت جنوبی، قرارگیری کاربری هم‌چون شرکت نفت در ۴/۱۹ سبب شده به‌صورت پراکنده در این نواحی هم محلاتی با آسیب‌پذیری بالا دیده شود. فاصله از فرودگاه به‌علت نقشی که در امدادسانی دارد، دارای اهمیت بالایی است. قرارگیری فرودگاه در جنوب شهر، سبب شده از جنوب به‌طرف شمال که فاصله از فرودگاه بیشتر می‌شود، به‌همان نسبت هم میزان آسیب‌پذیری افزایش پیدا کند.



شکل ۶- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری انسانی (الف ریسک‌پذیر- ب ریسک‌گریز) کالبدی (ش ریسک‌گریز- س ریسک‌پذیر) و طبیعی (ع ریسک‌پذیر- م ریسک‌گریز) با استفاده از روش میانگین وزنی مرتب‌شده

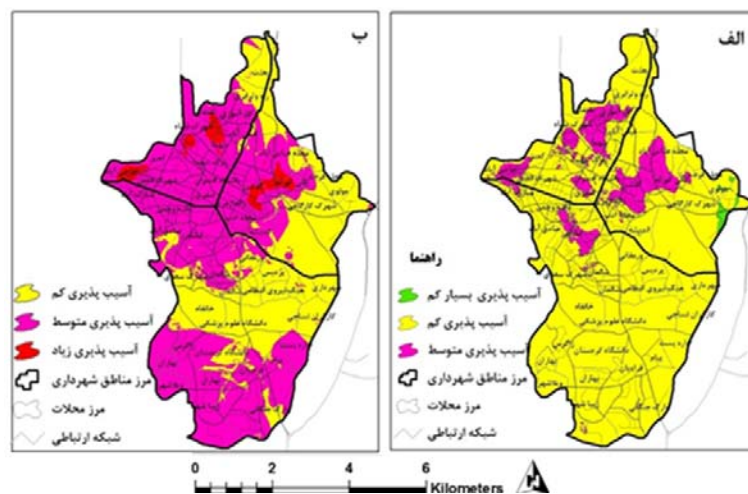
تجمیع نقشه آسیب‌پذیری کالبدی بر اساس دو روش ریسک‌گریز و ریسک‌پذیر در مدل میانگین وزنی مرتب‌شده نشان می‌دهد که بیشترین آسیب‌پذیری در قسمت شمالی، کمترین آسیب‌پذیری در جنوب است و نواحی مرکزی شهر نیز از آسیب‌پذیری متوسط برخوردار است. این نتایج با نتایج احمدی (۱۳۹۳) همسان است. در روش ریسک‌گریز محله‌های کانی کوزله، عباس‌آباد، فرجه، تفتقان، کمیز و حاجی‌آباد در طبقه خطرناک قرار می‌گیرند؛ که نشان‌دهنده آن است این مناطق در مقایسه با دیگر نواحی شمالی بر اساس معیارهای به‌کار رفته از وضعیت مطلوبی برخوردار نیستند که به‌نظر می‌رسد طرح‌های کالبدی در این محلات اجرا نشده یا موفق نبوده‌است (شکل ۶ ش).

لایه‌های به‌کار رفته برای آسیب‌پذیری طبیعی نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری لایه شیب به‌صورت پراکنده است که ناشی از وجود تپه‌های پراکنده در محدوده جغرافیایی شهر سنندج است. در لایه گسل از غرب و جنوب به‌سمت شرق، میزان آسیب‌پذیری کمتر می‌شود. در لایه لیتولوژی و سطح ایستابی آب زیرزمینی، میزان آسیب‌پذیری از حواشی به‌سمت مرکز شهر بیشتر می‌شود. در مجموع، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری طبیعی نشان می‌دهد که بخش‌های شمال و شرق شهر سنندج دارای آسیب‌پذیری کمتری نسبت به دیگر مناطق هستند (شکل ۶ ع و م).

برای اینکه نتایج تحقیق با اهداف تعیین شده در این پژوهش همسان و قابل استفاده باشد، از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ترکیب اطلاعات و شناسایی محدوده‌های با خطر متفاوت کمک گرفته شد. لایه‌ها در محیط ArcGIS با مدل میانگین وزنی مرتب‌شده با دو روش ریسک‌گریز و ریسک‌پذیر ترکیب شدند. سپس طبقات خطر از هم تفکیک شدند. برای تفکیک طبقات خطر، مدل به‌صورت هوشمندانه بر اساس ویژگی‌های محدوده پژوهش، پهنه‌های خطر را تعیین و تشخیص داد؛ به همین خاطر، بر اساس خروجی مدل، سه منطقه خطر در نقشه فراهم شده به‌وسیله هر یک از روش‌ها، دیده می‌شود. ترکیب مجموع لایه‌ها با استفاده از مدل میانگین وزنی مرتب‌شده با روش ریسک‌گریز نشان می‌دهد که به‌صورت پراکنده محلات عباس‌آباد، کانی کوزله، فرجه، کارآموزی، تفتقان و حاجی‌آباد که شامل ۲/۹ درصد از شهر سنندج

است در طبقه خطرناک (آسیب‌پذیری بالا) قرار دارند (شکل ۷-الف و جدول ۲) و نزدیک به ۵۷/۸ درصد از شهر سنندج در طبقه خطر متوسط قرار گرفته است (جدول ۲) که شامل شمال‌غرب و جنوب شهر سنندج می‌باشد. محدوده‌های شمالی با نتایج احمدی (۱۳۹۳) که به‌وسیله دو مدل تاپسیس و تحلیل سلسله‌مراتبی به‌عنوان مناطق با آسیب‌پذیری بالا معرفی شده بود، هم‌خوانی دارد.

بر اساس روش ریسک‌گریز تنها ۳۹/۴ درصد از محدوده شهر سنندج در طبقه کم‌خطر قرار می‌گیرد که عمدتاً در شرق شهر سنندج واقع شده‌است. در روش ریسک‌پذیر به‌صورت پراکنده محلات عباس‌آباد، کانی کوزله، فرجه، کارآموزی، تققان، حاجی‌آباد و غفور در طبقه آسیب‌پذیری متوسط قرار گرفتند (شکل ۷-الف) که شامل ۱۰/۵ درصد از مساحت شهر سنندج هستند (جدول ۲). این مناطق در مدل ریسک‌گریز هم جزو محلات با خطر آسیب‌پذیری متوسط مشخص شده‌اند. در این روش ۸۸/۹ درصد از شهر سنندج جزو مناطق با آسیب‌پذیری کم مشخص شده‌است که محدوده‌های گسترده‌ای از شهر سنندج را شامل می‌شود. همچنین ۰/۶ درصد جزء محدوده بسیار کم‌خطر قرار گرفته که در شرق سنندج قرار دارد (شکل ۷-الف) که تمام معیارهای به‌کار رفته برای آسیب‌پذیری در این محدوده کوچک، به‌غیر از تراکم جمعیت و فاصله از فرودگاه، آسیب‌پذیری کمی را نشان داده است (شکل ۴).



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری با دو روش ریسک‌گریز (الف) ریسک‌پذیر (ب)

جدول ۲- نتایج طبقه‌بندی آسیب‌پذیری در مقابل زلزله با استفاده از مدل وزنی مرتب‌شده

روش ریسک‌پذیر		روش ریسک‌گریز		روش دامنه خطر
درصد مساحت	مساحت به هکتار	درصد مساحت	مساحت به هکتار	
۰/۶	۲۲/۷	-	-	بسیار کم خطر
۸۸/۹	۳۳۷۳/۳	۳۹/۴	۱۴۹۳/۹	کم خطر
۱۰/۵	۳۹۸/۳	۵۷/۸	۲۱۹۱/۴	خطر متوسط
-	-	۲/۹	۱۰۹/۲	خطرناک

### نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مناطق مختلف شهری یکی از مباحث مهم در مدیریت بحران محسوب می‌شود. این پژوهش با هدف مشخص کردن میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج با دو روش ریسک‌گریز و ریسک‌پذیر انجام شد. مزیت به‌کارگیری این روش‌ها طبقه‌بندی جزئی‌تر و دقیق‌تر در مقایسه با تحقیقات قبلی، با توجه به تفکیک مناطق خطر در سطوح خطر متفاوت است. این تقسیم‌بندی و به‌کارگیری این دو روش اجازه می‌دهد کاربری‌ها، هزینه‌ها و نوع مصالح را بر اساس میزان ریسک تعریف نمود تا در مناطقی که با روش ریسک‌گریز کم‌خطر هستند، نیاز به‌کارگیری مصالح و هزینه بالا در ساخت‌وساز نباشد و در مناطقی که با روش ریسک‌پذیر در منطقه کم‌خطر هستند، مصالح بهتر استفاده کرد تا میزان آسیب را کاهش داد.

مدل میانگین وزنی مرتب‌شده که اجازه تغییر سطح خطر و معاوضه وزن‌ها را می‌دهد و نتایج را به‌صورت مناسب نشان می‌دهد، برای اجرای این دو روش به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد نواحی شمال‌غرب شهر سنندج بسیار آسیب‌پذیر است که در این میان، محلات فرجه، کانی کوزله، کارآموزی، تفتقان، حاجی‌آباد و غفور آسیب‌پذیرترین؛ سپس، قسمت‌های جنوبی در رده بعدی از آسیب‌پذیری قرار دارند. محلاتی که در شرق و مرکز قرار دارند، آسیب‌پذیری کمتری دارند.

آسیب‌پذیری بالای محلات شمال‌غربی و شمال عمدتاً منشأ کالبدی دارد؛ در حالی که آسیب‌پذیری جنوبی شهر، غالباً ناشی از مسائل طبیعی است که در نواحی شمالی و

شمال‌غربی، بعضی از محلات مثل کانی‌کوزله، کارآموزی و حاجی‌آباد مسائل انسانی هم دخالت کرده و این نواحی از شهر را در روش ریسک‌گریز در طبقات با آسیب‌پذیری بالا (خطرناک) قرار داده است. محله کمیز در ناحیه شمال‌غربی به لحاظ طبیعی هم بسیار آسیب‌پذیر است؛ بر این اساس، به‌نظر می‌رسد با محدود کردن توسعه شهر به سمت جنوب، تغییرات کالبدی و انسانی در قسمت‌های شمال و شمال‌غربی و تغییر کاربری به فضای غیرمسکونی در محله کمیز، بتوان میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج را کاهش داد.

## فهرست منابع

۱. احدنژادروشتی، محسن. (۱۳۸۹). ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله (نمونه موردی: شهر زنجان). مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، شماره ۷، صص ۷۱-۹۰.
۲. احمدی، خه‌بات. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی مخاطره ژئومورفیک زلزله شهر سنندج و تحلیل تأثیر بخش خصوصی در بروز آسیب‌پذیری بناهای شهری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
۳. اداره کل مسکن و شهرسازی استان کردستان. (۱۳۹۰). طرح تفصیلی شهر سنندج.
۴. امیراحمدی، ابوالقاسم. آب باریکی، زکیه. (۱۳۹۳). ریزپهنه‌بندی خطر زلزله شهر سبزوار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، صص ۱۵۲-۱۳۲.
۵. پناهی کایوشه، محمدحسین. متشرعی، آرش. (۱۳۹۲). تحلیل خطر زمین‌لرزه‌ای به روش قطعی در ناحیه سنندج استان کردستان، هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۷ تا ۹ آبان، دانشگاه شهید بهشتی.
۶. پورطاهری، مهدی. عینالی، جمشید. رکن‌الدین، رضا. (۱۳۸۹). نقش ظرفیت‌سازی در کاهش تأثیرات مخاطرات طبیعی (زلزله) در مناطق روستایی با تأکید بر روش کمی (مطالعه موردی: مناطق زلزله‌زده شهرستان خدابنده). پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۴، صص ۳۹-۲۳.
۷. ثروتی، محمدرضا. خضری، سعید. رحمانی، توفیق. (۱۳۸۸). بررسی تنگناهای طبیعی توسعه فیزیکی شهر سنندج. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۷، صص ۲۹-۱۳.
۸. زبردست، اسفندیار. محمدی، عسل. (۱۳۸۴). مکان‌یابی مراکز امدادرسانی در شرایط وقوع زلزله با استفاده از روش GIS و مدل AHP. هنرهای زیبا، شماره ۲۱، صص ۲۱-۱۶.
۹. زمردیان، محمدجعفر. (۱۳۸۱). ژئومورفولوژی ایران، جلد اول، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی.
۱۰. سازمان آمار کشور. (۱۳۹۰). سرشماری سال ۱۳۹۰ استان کردستان.



۱۱. شهابی، هیمن. قلی‌زاده، محمدحسین. نیری، هادی. (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با روش تحلیل چند معیاره فضایی. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۱، صص ۸۰-۶۵.
۱۲. شیعه، اسماعیل. حبیبی، کیومرث. ترابی، کمال. (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش سلسله‌مراتبی معکوس و GIS (مطالعه موردی: منطقه ۶ تهران). چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، صص ۱۲-۱.
۱۳. فرج‌زاده‌اصل، منوچهر. بصیرت، فروغ. (۱۳۸۵). پهنه‌بندی حساسیت تشکیلات زمین‌شناسی در مقابل زلزله منطقه شیراز. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۵، صص ۷۲-۵۹.
۱۴. فرجی، امین. قرخلو، مهدی. (۱۳۸۹). زلزله و مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: شهر بابل). فصلنامه جغرافیا، شماره ۲۵، صص ۱۶۴-۱۴۳.
۱۵. فلیک، اووه. (۱۳۹۱). درآمدی بر تحقیق کیفی، ترجمه هادی جلیلی، تهران، نشر نی.
۱۶. قبادی، محمدحسین. اصغری، ژیلا. گودرزی، ذبیح‌الله. (۱۳۹۰). بررسی پتانسیل لرزه‌خیزی شهرستان سنندج. پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور استان زنجان.
۱۷. قدیری، محمود. رکن‌الدین افتخاری، علیرضا. (۱۳۹۲). رابطه ساخت اجتماعی شهرها و میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زلزله (مطالعه موردی: محلات کلان‌شهر تهران). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۵۰، صص ۱۷۴-۱۵۳.
۱۸. قدیری، محمود. رکن‌الدین افتخاری، علیرضا. پرهیزکار، اکبر. شایان، سیاوش. (۱۳۸۸). تحلیلی بر دیدگاه‌های نظری آسیب‌پذیری جامعه نسبت به مخاطرات طبیعی. فصلنامه علوم انسانی مدرس، شماره ۱، صص ۶۲-۳۰.
۱۹. قنبری، ابوالفضل. سالکی، محمدعلی. قاسمی، معصومه. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهرها در برابر خطر زلزله (نمونه موردی: شهر تبریز). مجله جغرافیا و مخاطرات طبیعی، شماره ۵، صص ۳۵-۲۱.
۲۰. محمدی‌احمدیانی، جمال. صحرائی، زهرا. خسروی، فرامرز. (۱۳۸۹). نقش عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری کالبدی شهرها در برابر زلزله. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیا، شماره ۱۷، صص ۱۴۳-۱۲۱.

۲۱. مشک‌ساز، پریسا. ایزدی، حسن. سلطانی، علی. برزگر، محمدرضا. (۱۳۹۲). ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی بافت‌های شهری در برابر زلزله در روش Radius (مورد: منطقه ۳ شهرداری تبریز). مجله پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، شماره ۱، صص ۱۱۵-۱۲۹.
۲۲. ملکی، امجد. (۱۳۶۸). پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و اولویت‌بندی بهسازی مسکن در استان کردستان. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹، صص ۱۱۵-۱۲۴.
۲۳. نگارش، حسین. (۱۳۸۲). زلزله، شهرها و گسل‌ها. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۲۱، صص ۱۲-۲۵.
۲۴. ولیزاده‌کامران، خلیل. (۱۳۸۰). پهنه‌بندی خطر زلزله در شهرستان تبریز با استفاده از سنجش از دور و GIS. نشریه فضای جغرافیایی، شماره ۴، صص ۴۹-۶۶.
25. Alcira, Kreimer., Margaret, Arnold., (2000). **Managing Disaster Risk in Emerging Economies**. Disaster Risk Management Series, publisher: World Bank, No.2.
26. Ericson, Clifton.A., (2005). **Hazard Analysis Techniques for System Safety**. Published by John Wiley & Sons, Inc.
27. Hossain, Sheikh.Mahmood., (2002). **Human Vulnerability due to Natural Disasters in South Asia: A GIS Aided Characterization of Arsenic Contamination in Bangladesh**. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements of the degree of Masters of Science (Management of Natural Resources and Sustainable Agriculture).
28. Lee, Bosher., (2008). **Hazards and the Built Environment : Attaining Built-in Resilience**. Taylor & Francis Routledge.
29. Thomos.L, satty., (1990). **Decision-making for leaders**. RWS publication, pp: 142-164
30. WDI., (2004). **Natural Disaster Hotspot: A Global Risk Analysis(the world Bank)**, WDI for some contrise.
31. Wisner, B., (2004). **At Risk: Nautral hazards, peoples Vulnerability and Disaster**, 2 edition, Routledge.