جغرافیا و توسعه شماره ۲۱ بهار ۱۳۹۰
وصول مقاله : ۱۳۸۸/۳/۶
تأیید نهایی : ۱۳۸۹/۸/۱۰
صفحات : ۸۰ - ۶۵

پهنه‌بندی خطر زمین لرزه با روش تحلیل چندمعیاره‌ی فضایی

هیمن شهابی — **دکتر محمد حسین قلیزاده**
دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز — **استادیار جغرافیای طبیعی دانشگاه کردستان**

هادی نیری
دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز

چکیده

حرکت گسل‌ها باعث رها شدن انرژی ذخیره شده، بروز زلزله، تلفات جانی و خسارت‌های مالی فراوان به ویژه در مناطق شهری می‌شود. در این راستا مدل فضایی چند معیاری، که دارای ساختاری تحلیلی بر مبنای مکان می‌باشد، می‌تواند به طور نامحدود متغیّرهای رخداد زمین‌لرزه را با ارایه‌ی وزن‌های درون‌گروهی و بین‌گروهی بررسی نماید. این مدل بر اساس ارزیابی چند متغیّره که در علوم ریاضی و آمار برای تحلیل بین متغیّرهای مختلف به کار می‌رود، فراهم شده است. از آنجایی‌که در برآورد توان لرزه‌خیزی یک محیط عناصر و عوامل متفاوت فراوانی تأثیرگذار هستند در نتیجه اثر هر کدام از پارامترها، بر روی توان لرزه‌خیزی محیط متفاوت است. ارزیابی چند متغیّره فضایی، توان همدیده‌بانی همه‌ی عناصر و عوامل مؤثر در برآورد توان لرزه‌خیزی را به صورت یکجا دارا است و نتایج مطلوب و منطقی را به صورت مکانی و نقشه ارایه می‌دهد. در این پژوهش با استفاده از این مدل و استفاده از اطلاعات زمین مرجع موجود و همچنین استفاده از تئوری‌های حاکم در خصوص پتانسیل رخداد زمین‌لرزه در محیط، رخداد زمین‌لرزه در استان کردستان به تفکیک شهرستان پهنه‌بندی شده است. در مجموع از تمام مساحت استان ۲۶/۲۳ درصد در پهنه با خطر بالا، ۶۵ درصد در پهنه با خطر پایین قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که نوار غربی در پهنه با خطر بالا، نوار مرکزی در پهنه با خطر متوسط و نوار شرقی در پهنه با خطر کم واقع شده است. پارامترهای مورد استفاده در این پهنه‌بندی شامل تعداد گسل، فاصله از خطوط گسل، جهت گسل، کانون‌های رخداد زمین‌لرزه، بررسی تمام ویژگی‌های برداشت شده از یک نقطه‌ی کانونی لرزه‌ای مانند بزرگای زمین‌لرزه، عمق رخداد زمین‌لرزه، تراکم زمین‌لرزه در یک محیط و وضعیت ساختار لیتولوژیکی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: استان کردستان، ارزیابی چندمتغیّره‌ی فضایی، پهنه‌بندی، زمین‌لرزه، ژئومورفولوژی شهری.

مقدمه

پهنه‌بندی مناطق بر اساس نقش عوامل مخرب محیطی، عبارت از تقسیم نواحی جغرافیایی به درجات مختلف بر حسب واکنش در مقابل بلایای طبیعی می‌باشد *(فاسسیولی و همکاران[1]، ۱۹۹۵: ۷۱۹-۷۱۴)*. با توجه به واقع شدن ایران بر روی یکی از دو کمربند زلزله‌خیز جهان و

1- Faccioli Ezio et al

وجود گسل‌های فراوان، وقوع زلزله در فلات ایران امری طبیعی است. کمربند زلزله، ۹۰ درصد از خاک کشور ما را در برگرفته است *(زمردیان، ۱۳۸۱: ۱۲۱- ۱۲۰)*. اما آنچه حائز اهمیت است، وضعیت اسفبار شهرها و کلان شهرهایی است که بر روی گسل‌ها یا در مجاورت آنها ساخته شده و در معرض خطر زلزله قرار دارند. هر چند پیش‌بینی دقیق این مخاطره‌ی بزرگ طبیعی، به صورت قطعی ممکن نیست ولی گسترش علوم زمینی و تلفیق آن با ریاضیات باعث شناخت دقیق‌تر شرایط محیطی و در نتیجه آگاهی بیشتر از مقاومت محیط طبیعی در برابر زمین‌لرزه شده است *(ماساشی و سابورو[1]، ۲۰۰۳: ۳۰۲-۲۲۵)*. ناهمواری‌های ایران جوان هستند و از نظر زمین‌ساختی در مرکز آخرین کمربند کوهزایی سیاره‌ی زمین (آلپی) واقع شده‌اند در نتیجه حرکات لرزه‌ای آرام نگرفته و برای نیل به تعادل ایزوستازی خود هنوز فعال است *(زمردیان، ۱۳۸۱: ۱۲۱-۱۲۰)*. پهنه‌بندی چنین محدوده‌هایی در نتیجه‌ی تلفیق علوم و مشخص کردن نقاط مساعد در برابر اثرات و تبعات زمین‌لرزه، از جمله فعالیت‌های با اهمیت و پیچیده به‌شمار می‌آید. در این میان، همدیده‌بانی تمام عناصر لرزه‌زا و دخیل در رفتار امواج لرزه‌ای، لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد *(نعیمی نظام‌آباد و حسینی صرافی، ۱۳۸۷: ۴۰۱-۳۲۵)*. این شناخت هنگامی نمود می‌یابد، که اولاً پارامترهای دخیل در لرزه‌زایی و محرک‌های لرزه‌ای به طورکامل شناخته شود و ثانیاً، تمام عناصر مزبور با همدیگر در یک مدل منسجم مورد ارزیابی قرار گیرند. نیاز به استفاده از ساختاری که توان ترکیب دیدگاهها و مدل‌های متفاوت کمی و ریاضی را برای رسیدن به هدفی که منتسب به مکان باشد، موجب شکل‌گیری تحلیل خاصی در ساختار سیستم اطلاعات جغرافیایی به نام ارزیابی چند معیاره فضایی[2] گردیده است. این ساختار که از جمله جدیدترین روش‌های تحلیل در سیستم اطلاعات جغرافیایی است، عناصر اطلاعاتی مختلف مکان مرجع که برای رسیدن به یک هدف خاص مورد استفاده هستند را بدون در نظر گرفته شدن ویژگی‌های ذاتی، به‌صورت نرمال شده، با همدیگر مورد استفاده قرار می‌دهد. مدل ارزیابی چند معیاره فضایی بر مبنای ارزیابی چند متغیّره که در علوم ریاضی و آمار برای تحلیل بین متغیّرهای مختلف به کار می‌رود بنا شده است *(رودگرمی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۲-۲۴)*.

از آنجایی که در برآورد توان لرزه‌خیزی یک محیط، عناصر و عوامل متفاوت فراوانی تأثیرگذار هستند و همچنین اثر هر کدام از پارامترها، بر روی هدف (توان لرزه‌خیزی محیط) متفاوت است، ارزیابی چندمتغیّره فضایی توان همدیده‌بانی همه عناصر و عوامل مؤثر در برآورد

1- Masashi and Saburoh
2- Spatial Multi Criteria Evaluation

توان لرزه‌خیزی را به صورت یکجا دارا است. در علوم مختلف از جمله محیط زیست *(رودگرمی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۲-۲۴)* و زمین‌شناسی *(نعیمی‌نظام آباد و حسینی صرافی، ۱۳۸۷: ۴۰۱-۳۲۵)* مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان داده است که مدل فضایی چند معیاری با توجه به ارایه وزن‌های درون‌گروهی و برون‌گروهی توانایی کاربرد فراوان در ساختار و تحلیل مکانی به ویژه در امر پهنه‌بندی را زلزله دارد.

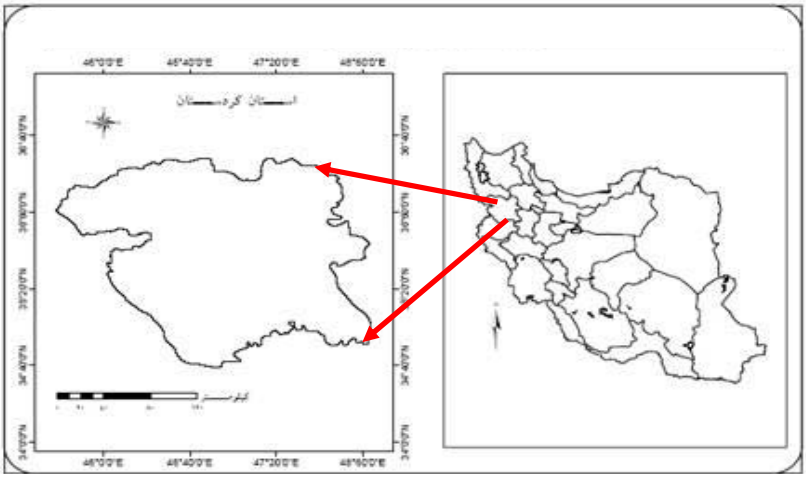
کشور ایران از جمله کشورهایی است که در آن مکان‌گزینی اکثر شهرها و تأسیسات بدون توجه به توان لرزه‌خیزی محیط صورت گرفته است. نگاهی به وضعیت موجود درمناطق شهری کشور نشان می‌دهد که در حال حاضر رقابت فزاینده برای استفاده و سودجویی بیشتر از زمین و تبدیل شدن آن به یک کالای صرف اقتصادی، مناطق شهری را به‌سوی وقوع پدیده‌های خطرناک و مشکل‌آفرین برای سکونتگاه‌های انسانی سوق داده‌است *(شهابی‌وهمکاران،۱۳۸۹: ۵۶)*.

با توجه به این شناخت از کشور ایران، استان کردستان به عنوان مطالعه‌ی موردی در این مقاله مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. بر اساس گزارشات پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، در این استان بیش از ۱۴۶ زمین لرزه در فاصله‌ی زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۸ اتفاق افتاده است *(گزارش آماری از اطلاعات زمین‌لرزه‌های کشور، ۲۰۰۸)*. در این تحقیق سعی شده است تا ابتدا خطرات زمین لرزه به تفکیک شهرستان با کمک عوامل متعدد پهنه‌بندی شود و اهمیت آن مورد بررسی قرار گیرد. تلفیق عناصر و پارامترهای مؤثر در زمین‌لرزه در این استان به‌وسیله‌ی روش ارزیابی چندمتغیّره فضایی، موجب تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لرزه در استان کردستان گردیده است.

جایگاه جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی جغرافیایی استان بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این استان که در دامنه‌ها و دشت‌های پراکنده‌ی سلسله جبال زاگرس میانی قرار گرفته است، از شمال به استان‌های آذربایجان غربی و زنجان، از شرق به همدان و زنجان، از جنوب به استان کرمانشاه و از غرب به‌کشور عراق محدود است.

استان‌کردستان شامل ۹ شهرستان به اسامی شهرستان‌های سنندج، سقز، مریوان، بانه، کامیاران، بیجار، قروه، دهگلان و شهرستان دیواندره می‌باشد *(ایرانی، ۱۳۸۵: ۲؛ شکل شماره ۱)*.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان کردستان در کشور ایران

مأخذ: نگارندگان

طرح مسأله

زلزله‌های مخرب و فاجعه‌آمیز چند دهه‌ی اخیر نشان داد که ایران کشوری زلزله‌خیز است و هیچ نقطه‌ای از آن از خطر زلزله در امان نیست، باید پذیرفت که پدیده‌ی زلزله هر چند وقت یکبار در کشورمان تکرار می‌شود و عدم آمادگی درمقابله با آن علاوه بر تحمل هزینه‌های مالی، خسارات جانی جبران‌ناپذیری را به‌بار خواهدآورد. استان کردستان، جهت توسعه فیزیکی در جهات مختلف با موانعی چون ارتفاع زیاد، شیب‌های تند و امکان ناپایداری دامنه‌ای روبرو می‌باشد، لذا پهنه‌بندی و تعیین نقاط لرزه خیزی دارای اهمیت است.

همچنین جلوگیری از سیاست‌های نادرست در امر برنامه‌ریزی این استان می‌تواند تا حدی از خطرات احتمالی زمین لرزه بکاهد. در این مقاله سعی شده است خطرات زمین‌لرزه به تفکیک شهرستان با کمک عوامل متعدد، پهنه‌بندی شود و اهمیت و ضرورت شناخت ویژگی‌های محیط طبیعی استان جهت تعیین و تشخیص نقاط مناسب از مناطق نامساعد برای ایجاد و استقرار بناها و ساختمان‌ها، امری ضروری است.

مواد و روش کار

در این پژوهش از نقشه‌های مبنایی و دیگر اطلاعات مختلف مربوط به استان شامل نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده شده است، مدل ارزیابی چند

معیاره فضایی[1] در سری نرم‌افزارهایی که ساختارهای GIS را مدیریت می‌کنند، به صورت نمونه در برنامه ILWIS 3.3 تحت دستوری به نام ارزیابی چندمعیار مکانی[2] قابل اجرا است. به منظور استقرار این مدل بر روی داده‌ها، مرحله‌ی اول جمع‌آوری داده‌های رقومی زمین مرجع بود که به نحوی در مشخص نمودن توان لرزه‌خیزی در یک محیط مؤثر هستند. این داده‌های رقومی و زمین مرجع موجود در پهنه‌ی استان کردستان شامل لایه‌های اطلاعاتی ذیل می‌باشند:

– خطواره‌ها

– بزرگای زمین‌لرزه

– تراکم زمین‌لرزه

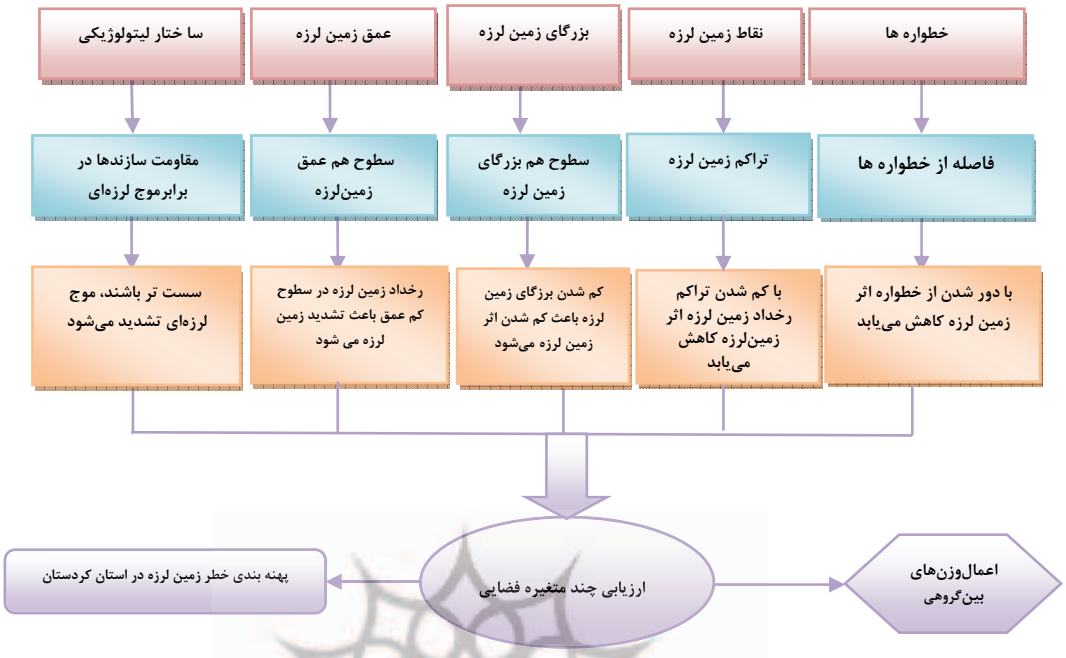
– عمق زمین‌لرزه

– ساختار لیتولوژیکی (سری‌های زمین‌شناسی با توجه به توان مقاومتی در برابر موج لرزه‌ای طبقه‌بندی می‌گردند).

این پنج پارامتر به عنوان اصلی‌ترین پارامترها با توجه به در دسترس بودن داده‌ها برای اجرای مدل ارزیابی چندمعیاره فضایی به‌منظور پهنه‌بندی زمین‌لرزه در استان کردستان استفاده شده است. مرحله‌ی دوم بعد از شناسایی داده‌های موجود، طراحی مدل مفهومی به منظور رسیدن به هدف است. مدل مفهومی مورد استفاده در این تحقیق بر اساس بررسی مطالعات پیشین در زمینه‌ی نحوه‌ی استفاده از پارامترهای لرزه‌زا و همچنین استفاده از نظرات کارشناسان ارشد زلزله، تهیه شده است. نرم‌افزار مورد استفاده به منظور تهیه‌ی مدل مفهومی، نرم‌افزار روز رشیونال[3] است‌که توان انتقال مدل‌های طراحی شده را به برنامه‌های GIS را دارا می‌باشد *(شکل شماره ۲)*.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1- SMCE
2- Spatial Multi Criteria Evaluation
3- Rational Rose



شکل ۲ : نمایی از مدل مفهومی پهنه‌بندی زمین‌لرزه با مدل ارزیابی چندمعیاره فضایی در استان کردستان

مأخذ: نگارندگان

بر اساس این مدل مفهومی، لایه‌ها و اطلاعات متناسب با ساختار مدل، وارد محیط نرم‌افزاری شده و مورد تحلیل نرم‌افزار قرار گرفت.

مرحله‌ی سوم مربوط به تجزیه و تحلیل اثرات و گزینه‌ها می‌باشد. برای تجزیه و تحلیل اثرات، ابتدا هرکدام از گزینه‌ها به عنوان فعالیت در اجزای محیط در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تلاقی[1] گردید و نقشه‌ی هر گزینه در نقشه‌ی هر کدام از اجزای محیط، ادغام شد. نقشه‌های تلاقی شده به‌صورت رستری در GIS تهیه شدند. با انجام عمل تلاقی نقشه‌ای جدید حاصل می‌شود که به همراه یک جدول به‌صورت مکانی و توصیفی، اثر توسعه را نشان می‌دهد. این مورد یکی از مزایای روش تحلیل چندمعیاره فضایی می‌باشد، در واقع به درستی دامنه و موقعیت اثر را نشان می‌دهد. همچنین می‌توانیم تشخیص دهیم که در محدوده‌ی اثرات توسعه یا پروژه، دامنه هر اثر چقدر است. برای اینکه وزن اثر مشخص گردد نیاز است ضریبی به عنوان اهمیت اثر بر دامنه ضرب شود. مقادیر اهمیت اثر و معیارهای کیفی در جدول شماره‌ی ۱ ارایه شده است.

1- Cross

جدول ۱: مقادیر اهمیت برای پهنه‌بندی خطر زمین لرزه

Benefit (فایده)	مقدار اهمیت	Cost (هزینه)
اثر خیلی سودمند	۵	اثر خیلی مخرب
اثر سودمند	۴	اثر مخرب
اثر سودمند متوسط	۳	اثر مخرب متوسط
اثر سودمند ضعیف	۲	اثر مخرب ضعیف
اثر سودمند ناچیز	۱	اثر مخرب ناچیز
بدون تاثیر	۰	بدون تاثیر

مأخذ: نعیمی نظام آباد و حسینی صرافی، ۱۳۸۷: ۴۰۱- ۳۲۵

لذا با ایجاد دو ستون و دادن مقادیری بین ۰ تا ۵ اهمیت اثر و مفید یا مضر بودن اثر بر محیط مشخص می‌گردد. این دو ستون با عنوان‌های ستون فایده[۱] و ستون هزینه[۲] می‌باشند. از این جهت از دو ستون استفاده شده است که در روش SMCE میزان یا علامت منفی به هر لایه در کار برنامه‌ریزی‌های کلان از ابعاد مختلف نمی‌تواند دخالت داده شود. بلکه اثرات مثبت به‌صورت لایه‌های فایده و اثرات منفی به صورت لایه‌های هزینه در نظر گرفته می‌شوند. سپس بر اساس مقادیر این دو ستون نقشه‌ی نهایی ترسیم می‌گردد.

مرحله‌ی چهارم مربوط به استاندارد کردن[۳] پارامترهای دخیل در تحقیق می‌باشد. نقشه‌های ورودی به سیستم ILWIS-SMCE دارای محتوی خصوصیات مختلفی هستند. برخی خصوصیات توصیفی چون بلندی و کوتاهی را در برمی‌گیرند، برخی ارقامی چون صفر یا یک یا ده و... را شامل می‌شوند. لذا نیاز است آنها استاندارد شوند. در این سیستم تمامی خصوصیات نقشه‌ها به مقادیر بین صفر تا یک استاندارد گشته‌اند. سه نوع روش استاندارد کردن در ILWIS-SMCE وجود دارد:

الف- استاندارد کردن نقشه‌های مقداری[۴] ب- استاندارد کردن نقشه‌های بولین[۵]

پ- استاندارد کردن نقشه‌هایی با خصوصیات کیفی[۶] *(چخار[۷]، ۲۰۰۳: ۷۱-۴۷)*.

در این تحقیق به دلیل مقداری بودن نقشه‌های ورودی از روش الف استفاده گردید. در این روش استاندارد کردن به‌وسیله‌ی یک‌تابع خطی که ازمقادیر حداقل و حداکثر نقشه اثر استفاده

1-Benefit
2-Cost
3-Standardization
4-Value maps
5-Boolean maps
6-Class maps
7-Chakhar

می‌کند، صورت می‌گیرد. نتیجه‌ی این‌استاندارد کردن مقادیری‌مثبت برای اثرات هزینه و فایده است. مقادیر استاندارد شده بین صفر تا یک هستند. ورودی‌ها به سیستم جهت استاندارد کردن نقشه‌های اثرات هزینه و فایده می‌باشد. روابط مورد استفاده در این روش برای نقشه‌های فایده به شرح زیر است:

%HQHILWP SDFW YDOXH± P IQIP XP IQSXWYDOXH P DJ IP XP IQSXWYDOXH± P IQIP XP IQSXWYDOXH
&RWWP SDFW YDOXH± P IQIP XP IQSXWYDOXH P DJ IP XP IQSXWYDOXH± P IQIP XP IQSXWYDOXH

مرحله‌ی پنجم مربوط به وزندهی به پارامترهای استفاده شده در تحقیق می‌باشد. برای اولویت‌دهی بین معیارهای مختلف در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه به معیارها، وزنی اختصاص داده می‌شود تا بدین ترتیب اولویت‌بندی و یا اهمیت بیشتری را به هر محیط بدهیم.

وزن‌دهی در این بخش نسبی است و برای اولویت‌دهی به معیارها می‌باشد و در این تحقیق با روش مقایسه‌ی دوتایی[1] در سیستم ILWIS-SMCE صورت گرفت. وزن‌ها مقادیری بین صفر تا یک هستند که به‌صورت نرمال شده در محاسبات اعمال می‌شوند.

در روش مقایسه‌ی دوتایی که به عنوان روش فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی[2] *(ابداع شده توسط ساعتی در ۱۹۸۰)* شناخته می‌شود. برای هر جفت از معیارها مشخص می‌کنیم کدام یک مهمتر هستند و در واژه‌های کیفی باید مشخص کنیم کدام معیار یا فاکتور مهمتر از دیگری است *(پرهیزگار و غفاری گیلانده، ۱۳۸۵: ۹۴)*. روش مقایسه‌ی دوتایی، مقایسات کیفی را به وزن‌های کمی برای تمامی فاکتورها تبدیل می‌کند (جدول شماره ۲).

جدول ۲: مقادیر ترجیح برای مقایسه دوتایی

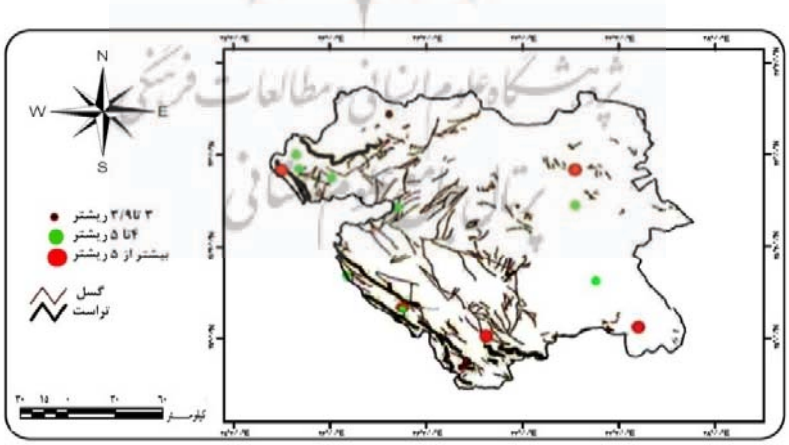
ترجیحات (قضاوت شفاهی)		مقدار عددی
کاملاً مرجح یا کاملاً مهمتر و یا کاملاً مطلوبتر	([WHP HO) 3UHIHUUHG	۹
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	9HU VWURQJO 3UHIHUUHG	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	6WURQJO 3UHIHUUHG	۵
کمی مرجح یا کمی مهمتر یا کمی مطلوبتر	0 RGHUDWHO 3UHIHUUHG	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	(TXDO) 3UHIHUUHG	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	,QWHUPHGLDWH3UHIHUUHG	۲و۴و۶و۸

مأخذ: پرهیزگار و غفاری گیلانده، ۱۳۸۵: ۹۴

1- Pair wise Comparison
2- Analytical Hierarchy Process (AHP)

بحث

امروزه در مکان‌یابی و استقرار مراکز سکونتی جدید، تنها عامل اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرد و در برابر ارزانی قیمت زمین، اهمیت نیروهای طبیعی و مخاطرات طبیعی صورت گرفته در اثر این نیروهای مخرب نادیده گرفته می‌شود *(اسمیت، ۱۳۸۲: ۱۲۴)*. می‌توان گفت که بیش از ۹۰ درصد خسارات به جایگزینی ساختمان‌ها و معماری مربوط نمی‌شود. بلکه مکان‌یابی نادرست و یا عدم اجرای صحیح برنامه‌ریزی‌های محیطی و آمایشی باعث خسارات شدید جانی و مالی می‌شود *(رجایی، ۱۳۸۲: ۱۳۱)*. اغلب مهندسان از عواقب مخاطرات طبیعی همچون زلزله کاملاً بی‌خبر هستند و بیشتر به استحکام بناها توجه می‌کنند؛ در صورتی‌که شناخت زمینی که شهر بر روی آن بنا شده است و درک و تشخیص فرآیند ژئومورفیک کنونی که بر اثر شهرنشینی و شهرگرایی تغییر می‌یابد و همچنین پیش‌بینی تغییرات آتی که احتمالاً از توسعه‌ی شهر ناشی می‌شود؛ از جمله وظایف اصلی ژئومورفولوژیست شهری می‌باشد که حائز اهمیت است *(هوک، ۱۳۷۳: ۸۵)*. منطقه‌بندی مناطق زلزله‌خیز از اقدامات مفید جهت کاستن از شدت خسارات ناشی از آن به شمار می‌آید، زیرا بدین وسیله می‌توان استفاده از مناطق پر خطر را محدود ساخت و از احداث برخی بناها در این محدوده‌ها جلوگیری به عمل آورد. با مشخص کردن پهنه‌های خطر در شهر می‌توان در مورد استقرار شریان‌های حیاتی در مناطق کم‌خطر تصمیم گرفت. خطواره‌ها به‌عنوان چشمه‌های لرزه‌ای، ازجمله اصلی‌ترین عوامل در جابجایی‌های صفحه‌ای و خروج نیرو محسوب می‌شوند، بنابراین، دورشدن از گسل‌ها می‌تواند به عنوان یکی از اصلی‌ترین پارامترها در زمینه‌ی لرزه‌خیزی باشد. بررسی گسل‌های استان کردستان و وزن‌دهی براساس فاصله از گسل حاکی از این است که استان کردستان، از استان‌های با لرزه‌خیزی متوسط محسوب می‌شود *(شکل شماره ۳ و جدول شماره ۳)*.



شکل ۳: نقشه‌ی موقعیت گسل‌ها، تراست‌ها و کانون‌های لرزه‌ای استان کردستان

مأخذ: ملکی، ۱۳۸۶ (همراه با تغییرات صورت گرفته توسط نگارندگان)

جدول ۳: ارزش وزنی براساس فاصله از خطوط گسل

عامل	گسل		
فاصله از گسل (به کیلومتر)	۰-۳۰	۳۰-۵۰	بیشتر از ۵۰
ارزش وزنی	۳	۲	۱

مأخذ: نگارندگان

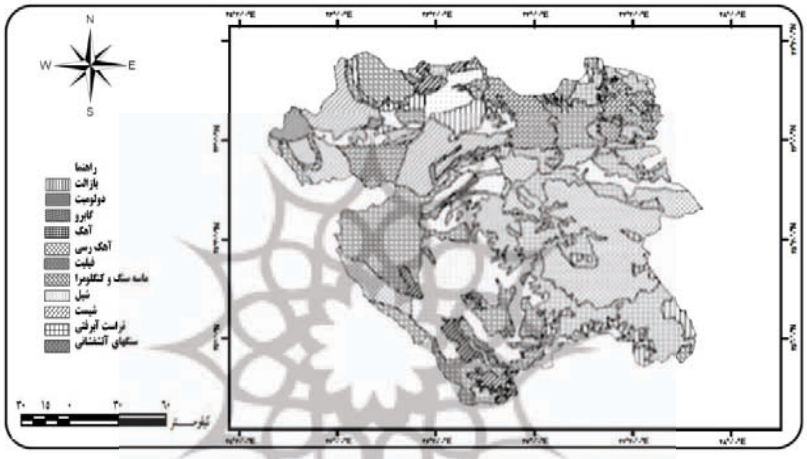
بررسی کانون‌های لرزه‌ای و بررسی وضعیت پراکنش این واحدها در سطح نیز به عنوان تراکم رخداد زمین‌لرزه در استان کردستان، نشانگر این موضوع است که۲۳/۶ درصد از مساحت استان در پهنه‌ی پرتراکم و ۳۰ درصد از مساحت استان در پهنه‌ی باتراکم کمتر از نظر رخداد زمین‌لرزه واقع شده است. بقیه مساحت استان در پهنه‌ی باتراکم متوسط رخداد زمین لرزه واقع است (شکل شماره ۳). بررسی وضعیت بزرگای زمین‌لرزه یا شدت رخداد زمین‌لرزه، در استان کردستان نشانگر وقوع زمین‌لرزه‌های با شدت متوسط در طی دوره‌های زمانی است. بررسی وضعیت بزرگای زمین‌لرزه دراستان کردستان نشان می‌دهد که پهنه‌های با شدت کم زمین‌لرزه به‌طور پراکنده در نواحی شمالی و شمال شرقی استان، پخش شده‌اند *(جدول شماره ۳ و شکل شماره ۳)*. عمق رخداد زمین‌لرزه نیز از جمله عناصر و عوامل مهم دیگر در زمینه‌ی شدت تخریب زلزله است. هر چه قدر عمق رخداد زمین‌لرزه کمتر باشد، یعنی به سطح زمین نزدیکتر باشد، شدت و قدرت‌تخریبی بالاتری نسبت به زمین‌لرزه‌های رخداده درسطوح پایین‌تر دارد و با افزایش نیروهای لرزه‌ای در مراکز سطحی، قدرت تخریبی آنها نیز افزایش می‌یابد *(آصف و کستمی، ۱۳۸۴: ۱۸-۱۳)*. وضعیت زمین‌شناسی یا شرایط لیتولوژیکی، از نظر رفتار در برابر موج لرزه‌ای، نیز از جمله مهمترین پارامترهای محیطی در خصوص رخداد زمین‌لرزه *است (شاه و همکاران[1]، ۲۰۰۴: ۵۱۷-۴۸۷)*. در این خصوص لازم به یادآوری است که هر چقدر سری زمین‌شناسی سست‌تر باشد، باعث تشدید توان موج‌لرزه‌ای شده و هر قدر سری زمین‌شناسی سخت‌تر باشد باعث کم شدن توان انتقال موج زمین‌لرزه و در نتیجه تضعیف قدرت تخریبی زمین‌لرزه می‌گردد *(کوبورن و اسپیئس[2]، ۲۰۰۲: ۴۲۰)* (جدول شماره ۴).

1-Shah et al
2-Coburn and Spence

جدول ۴: ارزش وزنی براساس نوع لیتولوژی در استان کردستان

قدرت سطحی زمین‌لرزه (برحسب ریشتر)	آهک	آتشفشانی	گدازه آندزیتی	ماسه سنگ و کنگلومرا	دولومیت	رس آهکی	گابرو	فیلیت	شیل	شیست	پادگانه و آبرفت
ارزش وزنی	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲

مأخذ: نگارندگان



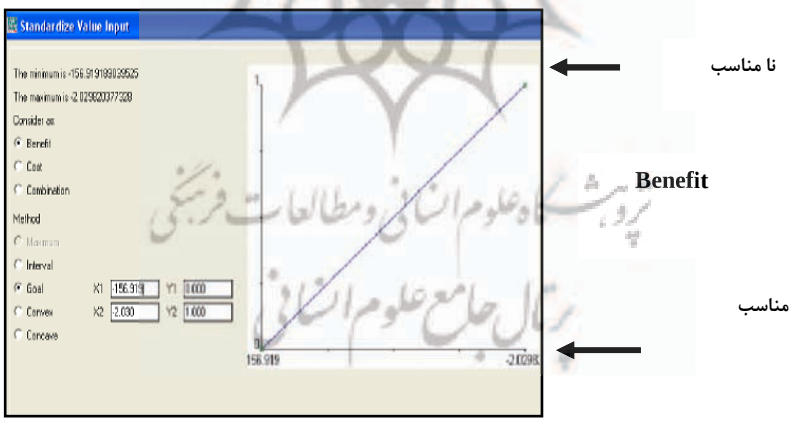
شکل ۴: نقشه لیتولوژی استان کردستان
مأخذ: ملکی، ۱۳۸۶
همراه با تغییرات صورت گرفته توسط نگارندگان

بنابراین مطالعه‌ی سازندها و سنگ‌های زیربنایی مراکز شهری از دیدگاه ژئومورفولوژی، در راستای ارزیابی میزان مقاومت آنها دربرابر امواج زلزله اهمیت زیادی دارد. جنس زمین در تأثیر بر شدت امواج مخرب دخالت دارد و می‌توان آن را افزایش یا کاهش بدهد *(کینگ و کیرمیدنجان[1]، ۱۹۹۵: ۴۰۱- ۳۲۵)*.

بیشتر گستره‌ی استان از دیدگاه زمین‌شناسی در دو زون ایران مرکزی و سنندج- سیرجان قرار دارد و تنها بخش‌های کوچکی از این گستره در جنوب و در زون رانده شده زاگرس واقع می‌شود، اما به نظر می‌رسد که بخش‌های شمال غربی استان، یعنی محدوده‌ای که از مریوان به سوی بانه ادامه پیدا می‌کند، علی‌رغم تشابه ویژگی‌های موجود به زون سنندج- سیرجان از

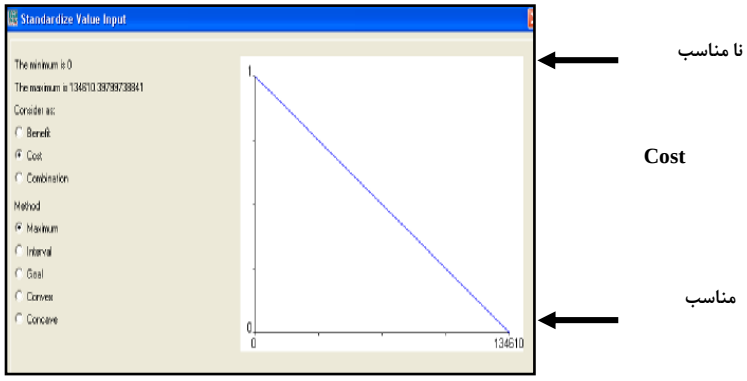
1- King Stephanie and Kiremidndjian

نظر ساختمانی و با توجه به موقعیت آنها که از جنوب غربی بخش تداوم یافته گسل بزرگ زاگرس (در عراق) قرار می‌گیرند، بیشتر با زون رانده شده زاگرس در ارتباط می‌باشند *(نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰؛ درویش‌زاده، ۱۳۷۰: ۱۱۳)*. قرارگیری استان در دو زون فوق سبب افزایش پتانسیل زلزله‌خیزی منطقه شده است *(سازمان برنامه و بودجه استان کردستان، ۱۳۷۵: ۵۴-۵۱؛ جدول شماره ۴ و شکل شماره ۴)*. به عبارت دیگر در برخی از پارمترها مانند فاصله از گسل، بالا بودن عدد فاصله نشانگر منفعت محیطی و کم بودن عدد فاصله نشانگر ضرر (هزینه) محیطی و بالا بودن خطر لرزه‌ای می‌شود *(اشکال شماره ۵ و۶)*. با تعریف این‌گونه دستورات آماری بر روی اطلاعات، نوبت به تلفیق این سری از اطلاعات و رسیدن به نتیجه‌ای مستقل که همان پهنه‌بندی زمین‌لرزه در استان کردستان است، می‌رسد. در مرحله‌ی بعدی قبل از تهیه‌ی نتیجه،بایستی بین خود پارامترها نیز وزن‌های بین‌گروهی اعمال شود. اساس این‌گونه وزن‌دهی در مجموعه اطلاعات موجود به وسیله‌ی نرم‌افزار صورت گرفته است. "البته لازم به یادآوری است که نظرات کارشناسی نیز بر این مجموعه قابل دخالت می‌باشند". در این بخش سری‌های اطلاعاتی فاصله از خطواره‌ها و بزرگای زلزله به دلیل غالب بودن اثر بر تخریب لرزه‌ای و به عبارت دیگر اثر بالا در مشخص نمودن پهنه‌بندی لرزه‌ای، از وزن بالاتری نسبت به سایر عوامل برخوردار شده‌اند *(جدول شماره ۵)*.



شکل ۵: وزندهی به هر کدام از پارامترهای مطالعاتی در پهنه‌بندی لرزه‌ای به روش Benefit.

مأخذ: نگارندگان



شکل ۶: وزن‌دهی به هر کدام از پارامترهای مطالعاتی در پهنه‌بندی لرزه ای به روش Cost

مأخذ: نگارندگان

جدول ۵ : وزن‌دهی در میان لایه‌های موجود

نام لایه	تراکم زمین لرزه بر اساس شدت زمین لرزه	هم بزرگای زمین لرزه	هم عمق زمین لرزه	ساختار لیتولوژیکی	فاصله از گسل‌های فعال و لرزه زا
* وزن	۴	۷	۳	۴	۸

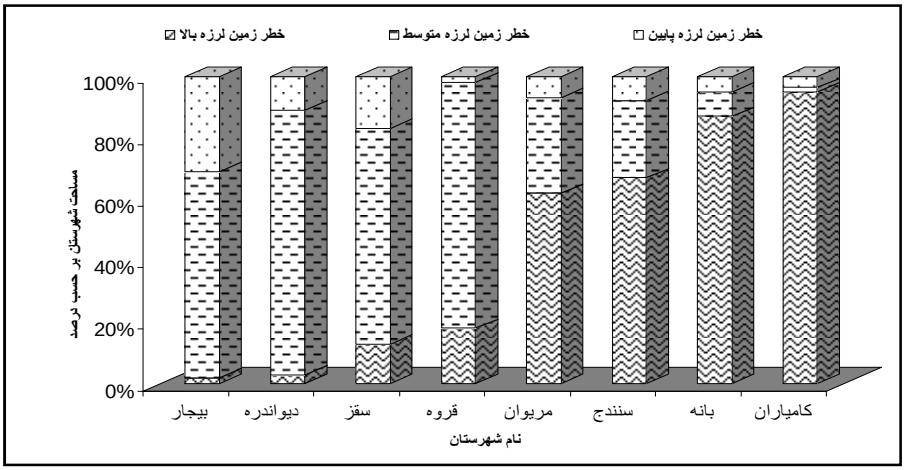
* این اعداد بر مبنای عدد ۱ نرمال می‌گردند. *مأخذ: نگارندگان*

همان‌گونه که نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه به تفکیک شهرستان در جدول شماره ۶ و شکل شماره ۷ نشان داده شده، شهرستان کامیاران به‌طور کامل در منطقه با خطر بالا قرار گرفته است و بیش از ۲/۳ از مساحت شهرستان‌های مریوان، بانه و سنندج هم در منطقه با خطر بالا قرار گرفته و سایر شهرستان‌های استان مثل قروه، سقز، دیواندره و بیجار در منطقه با خطر متوسط و یا پایین قرار گرفته‌اند *(ملکی، ۱۳۸۶: ۱۲۴ - ۱۱۵)*.

جدول ۶: درجه‌بندی خطره زمین‌لرزه در شهرستان‌های استان کردستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

نام شهرستان / میزان خطر نسبی زلزله	بانه	بیجار	سقز	سنندج	قروه	کامیاران	مریوان	دیواندره
خیلی زیاد	*			*		*		
زیاد							*	
متوسط			*		*			*
کم		*						
رتبه زلزله خیزی	۲	۸	۵	۳	۶	۱	۴	۷

مأخذ: محاسبات نگارندگان



شکل ۷: نمودار درصد قرارگیری مساحت شهرستان‌های استان کردستان در پهنه‌بندی خطر زمین لرزه

مأخذ: محاسبات نگارندگان

نقشه‌ی نهایی، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه حاصل انبوهه‌سازی یا جمع‌بندی نقشه‌های اثرات هزینه و نقشه‌های اثرات فایده در تمامی گروهها تأثیرپذیر است. مقادیر نقشه بین صفر تا یک می‌باشد و نواحی که به مقدار یک نزدیکتر است، دارای منافع بیشتری نسبت به هزینه برای انواع برنامه‌ریزی‌ها و عملکردها است *(شکل شماره ۸)*.

شکل ۸ : نقشه پهنه‌بندی خط زمین‌لرزه در استان کردستان با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره فضایی

مأخذ: نگارندگان

نتیجه

تحلیل چندمعیاره فضایی براساس مشکلات سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در تصمیم‌گیری و ارزیابی معیارها طراحی شده است. مدل ارزیابی چندمتغیّره فضایی به دلیل اینکه توان یکپارچه نمودن اطلاعاتی با ساختارهای متفاوت را به منظور رسیدن به یک هدف دارد، در پهنه‌بندی زمین‌لرزه برای استان کردستان مورد استفاده قرار گرفت. باتوجه به نتایج حاصل از این پژوهش، استان کردستان از نظر درجه لرزه‌خیزی به‌دو ناحیه‌ی شرقی و غربی قابل تقسیم است. ناحیه‌ی غربی که شامل شهرستان‌های کامیاران، سنندج، مریوان و بانه می‌باشد که بیش از ۶۰ درصد از مساحت هر کدام در پهنه با خطر بالا قرار می‌گیرند و ناحیه‌ی شرقی که شامل شهرستان‌های قروه، بیجار، دیواندره و سقز می‌باشد که بیشتر مساحت آنها در پهنه با خطر متوسط و پایین قرار می‌گیرد. در مجموع از تمام مساحت استان ۲۶/۲۳ درصد در پهنه با خطر بالا، ۶۵ درصد در پهنه با خطر پایین قرار می‌گیرد. با کمی اغماض می‌توان استان را به سه نوار به موزات هم تقسیم کرد. نوار غربی در پهنه با خطر بالا، نوار مرکزی استان در پهنه با خطر زمین‌لرزه متوسط و نوار شرقی در پهنه با خطر زمین‌لرزه پایین محسوب می‌شود و از جنوب به شمال و از غرب به شرق استان از میزان نسبی خطر زمین‌لرزه کاسته خواهد شد که انطباق تراست جوان زاگرس با مناطق دارای زمین‌لرزه بالا حاکی از آن است که مهمترین زمین‌لرزه‌ها در ارتباط با این پهنه‌ی گسلی صورت می‌گیرد. بر اساس این تحقیق، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی به‌وسیله‌ی تکنیک‌های تحلیل چندمعیاره، قادر به تصمیم‌گیری و انتخاب با داده‌های مکانمند چون نقشه است که این توانایی اهمیت بسیاری در علوم برنامه‌ریزی و ارزیابی‌ها دارد.

منابع

۱- آصف، محمدرضا و محمدرضا کستمی(۱۳۸۴). آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر زلزله، [مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آنها]. مهرماه. دانشگاه تبریز.

۲- اسمیت، کیت (۱۳۸۲). مخاطرات محیطی، ترجمه شاپورگودرزی. انتشارات سمت.

۳- ایرانی، جمال (۱۳۸۵). جغرافیای استان کردستان، وزارت آموزش و پرورش. سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی. چاپ هفتم.

۴- پرهیزگار، اکبر و عطا غفاری‌گیلانده (۱۳۸۵). سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاری، انتشارات سمت.

۵- درویش‌زاده، علی (۱۳۷۰). زمین‌شناسی ایران، چاپ اول. تهران. انتشارات امیر کبیر.

۶- رجایی، عبدالحمید (۱۳۸۲). کاربرد ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط، چاپ دوم. انتشارات قومس.
۷- رودگرمی، پژمان؛ نعمت‌الله خراسانی؛ سیدمسعود منوری و جعفر نوری (۱۳۸۴). تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی توسعه به روش تحلیل چندمعیاره فضایی، کنفرانس ژئوماتیک ۸۴.
۸- زمردیان، محمدجعفر (۱۳۸۱). ژئومورفولوژی ایران، جلد اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
۹- سازمان برنامه و بودجه کردستان(۱۳۷۵). مطالعات جامع توسعه اقتصادی- اجتماعی استان، گروه هامون.
۱۰- شهابی، هیمن؛ محمد حسینی؛ عثمان رحیمی و مسعود علایی (۱۳۸۹). ارزیابی مخاطرات ناشی از گسل‌های لرزه‌ای بر روی مناطق شهری و پیامدهای ژئومورفولوژیکی آن (مطالعه موردی: شهر سقز)، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری. اردیبهشت‌ماه، مشهد.
۱۱- گزارش آماری از اطلاعات زمین‌لرزه‌های کشور (۲۰۰۸). پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور.
۱۲- ملکی،امجد (۱۳۸۶). پهنه‌بندی خطرزمین‌لرزه و اولویت‌بندی بهسازی مساکن دراستان کردستان، شماره ششم. پژوهش‌های جغرافیایی.
۱۳- نعیمی‌نظام‌آباد، علی و نساءالسادات حسینی‌صرافی (۱۳۸۷). پهنه‌بندی زلزله با به کارگیری مدل فضایی چندمعیاری برای استان فارس، کنفرانس بین‌المللی مدیریت بحران محیط.
۱۴- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی کشور.
۱۵- هوک، جانت‌ام (۱۳۷۳). ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، ترجمه محمدجعفر زمردیان. انتشارات سمت.
16- CKDNKDU V (QKDQFLQJ * HRJUDSKLFDO ,QIRUP DWRQ 6\VWHP V 0 XOWL &ULWHULD (YDOXDWRQ) XQFWRQV -RXUQDORI * HRJUDSKLF ,QIRUP DWRQ DQG' HFLVRQ $ QDO VLV 9RO 1R
&REXLQ $ 6SHQFH 5 (DUWKTXDNH 3URWHFWRQ-RKQ : LOH 6RQV / 7'
18-) DFFLRO ( ]IR $ QGHUJKWWWR 5REHUW 3HWWLQD 9HU 6HLVP IF 5LVN =RQDWRQ (DUWKTXDNH 6FHQDULRV XVLQJ *,6 7HFKQRORJ\ 3URFHHGLQJ RI HDUWKTXDNHHQJLQHHULQJ 6SLQ
. LQJ 6WUSKDQLH$. LUHP LGQGWDQ$ QQH / DZ / LQFKR + %DVR] 1 HLVLQ , (DUWKTXDNH ' DP DJH DQG ORVV (VWP DWRQ WKURXJK *,6 3URFHHGLQJ RI HDUWKTXDNHHQJLQHHULQJ 6SLQ
0 DWXRND 0 DVDKL 0 IGRUNDZD 6DEXURK E *,6 %DVHG ,QWHUDFW Seismic KD]DUG P DSSLQJ IRU D ORJH 0 HWURSROWDQ $UHD 3URFHHGLQJ RI HDUWKTXDNHHQJLQHHULQJ 6SLQ
6KDK + HP DQW%R\OH5 IFKDUG ' RQJ : HP LQ *HRJUDSKLF ,QIRUP DWRQ 6\VWHP DQG $UWLFLDO ,QWHOOLHQFH DQG DSSOLFDWRQ IRU VHLVP IF KD]DUG 3URFHHGLQJ RI HDUWKTXDNHHQJLQHHULQJ 6SLQ