بررسی خطر زمین‌لرزه استان در کرمان با کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و به‌کارگیری روش منطق فازی

پیام اخلاص پور،احمدعباس نژاد، مجید نعمتی*
بخش زمین شناسی، دانشکده علوم و مرکز پژوهشی زمین لرزه، دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده

این پژوهش برای بررسی خطر زمین‌لرزه در استان کرمان، با به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی[1] و به‌کمک روش منطق[2] فازی انجام گرفته است. منطق فازی می‌تواند درباره استدلال و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان در سامانه‌های نیازمند به انتخاب، به ما کمک نماید. به‌کارگیری روش‌های چندمعیاره و منطق فازی، یک روش کارآمد برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه می‌باشد. فرآیند منطق فازی یکی از جامع‌ترین فرآیندهای طراحی شده برای تصمیم‌گیری با میارهای چندگانه است. هم‌چنین، این روش امکان تصمیم‌گیری میان معیارهای گوناگون کمی و کیفی را در بررسی ما فراهم می‌آورد. در این پژوهش، نخست، معیارهای لازم مانند گسل‌های جنبا، زمین‌لرزه‌های تاریخی، پیش‌دستگاهی و دستگاهی، سازوکار زمین‌لرزه‌های دستگاهی، زمین‌ریخت‌شناسی (ارتفاع و شیب)، استحکام ساختگاه و زمین‌ساخت[3] جنبا در گستره استان کرمان و هم‌چنین زیرمعیارهای آن‌هاکه در پهنه‌بندی خطرزمین‌لرزه دخیل بوده‌اند، بررسی و ارزیابی شده و به لایه‌های اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تبدیل گردیدند. اولویت زیرمعیارهایی چون درازا، سازوکار و جنبش گسل و هم‌چنین بزرگا و ژرفای زمین‌لرزه‌ها برای نخستین بار، درتهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه توسط روش فازی رعایت شده است. کاربرد منطق فازی در برآورد خطر زمین‌لرزه، یعنی، وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی و اولویت‌دهی به آن‌ها، به‌کمک روش منطق فازی و به‌کارگیری نرم‌افزارهای مرتبط صورت گرفت. در پایان، لایه‌های اطلاعاتی به‌دست آمده در محیط نرم‌افزار ArcGIS هم‌آمیخت شده و گستره‌های گوناگون استان از دیدگاه خطر زمین‌لرزه، در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه استان کرمان به گستره‌هایی با خطر لرزه‌ای خیلی زیاد (نوار کوه‌بنان- لکرکوه- گلباف - بم و گستره‌های بردسیر و ریگان)، گستره‌هایی با خطر متوسط (شهربابک، سیرجان و رفسنجان) تا گستره‌های کم‌خطر (باختر استان، لوت و جازموریان) دسته‌بندی شدند.

واژگان کلیدی: استان کرمان، زمین‌لرزه، پهنه‌بندی، خطر زمین‌لرزه، سامانه اطلاعات جغرافیایی، منطق فازی

[1] Geographical Information System (GIS)
[2] Fuzzy Logic
[3] Tectonic

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

۱- مقدمه:

استان کرمان، به‌دلیل وجود گسل‌های جنبا و زمین‌لرزه‌های فراوان، از لرزه‌خیزترین گستره‌های ایران به‌شمار می‌آید. این استان از جنوب باختر در نزدیکی محل برخورد دو صفحه زمین‌ساختی عربی و اوراسیا، از خاور و باختر به‌شماره، به دو بلوک لوت و کویر مرکزی کران دارد (نگاره ۱). برپایه داده‌های دستگاهی و تاریخی ثبت شده، دراین گستره از سال ۱۸۵۴ تاکنون یک رخداد $M_w \geq 7.0$، ۱۴ رخداد $6.0 \leq M_w < 7.0$ دستگاهی، و ۵ رخداد $5.5 \leq M_s < 6.5$ (اخلاص‌پور، ۱۳۹۲) رخ داده است. نرخ لرزه‌خیزی بالا در استان کرمان، ویرانی‌ها و زیان‌های جانی و مالی زیادی در دهه‌های گذشته به‌دنبال داشته است. یکی از رخدادهای تاریخی ثبت شده دراین گستره، زمین‌لرزه M_w~6.1 سال ۱۸۶۴ چترود است که باعث مرگ بسیاری شده و خرابی‌های فراوانی به بار آورده است (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲). زمین‌لرزه‌های ۱۹۱۱ راور با بزرگای M_w~6.2، ۱۹۲۳ لاله‌زار با بزرگای M_w~6.7، و ۱۹۷۷ زرند با بزرگای M_w~5.9 و زمین‌لرزه‌های سال ۲۰۰۳ بم با بزرگای M_w~6.6 و ۲۰۰۵ زرند با بزرگای M_w~6.4، زمین‌لرزه‌های سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ ریگان با بزرگای M_w~6.2, 6.0 و زمین‌لرزه‌های سال ۲۰۱۷ هجدک با بزرگای M_w~6.1 − 6.0 از رویدادهای ویران‌گر بزرگ گستره کرمان هستند (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲؛ طالبیان و هم‌کاران، ۲۰۰۶؛ واکر و هم‌کاران، ۲۰۱۳; سویج و هم‌کاران، ۲۰۱۹؛; GCMT, 2021) (نگاره ۱).

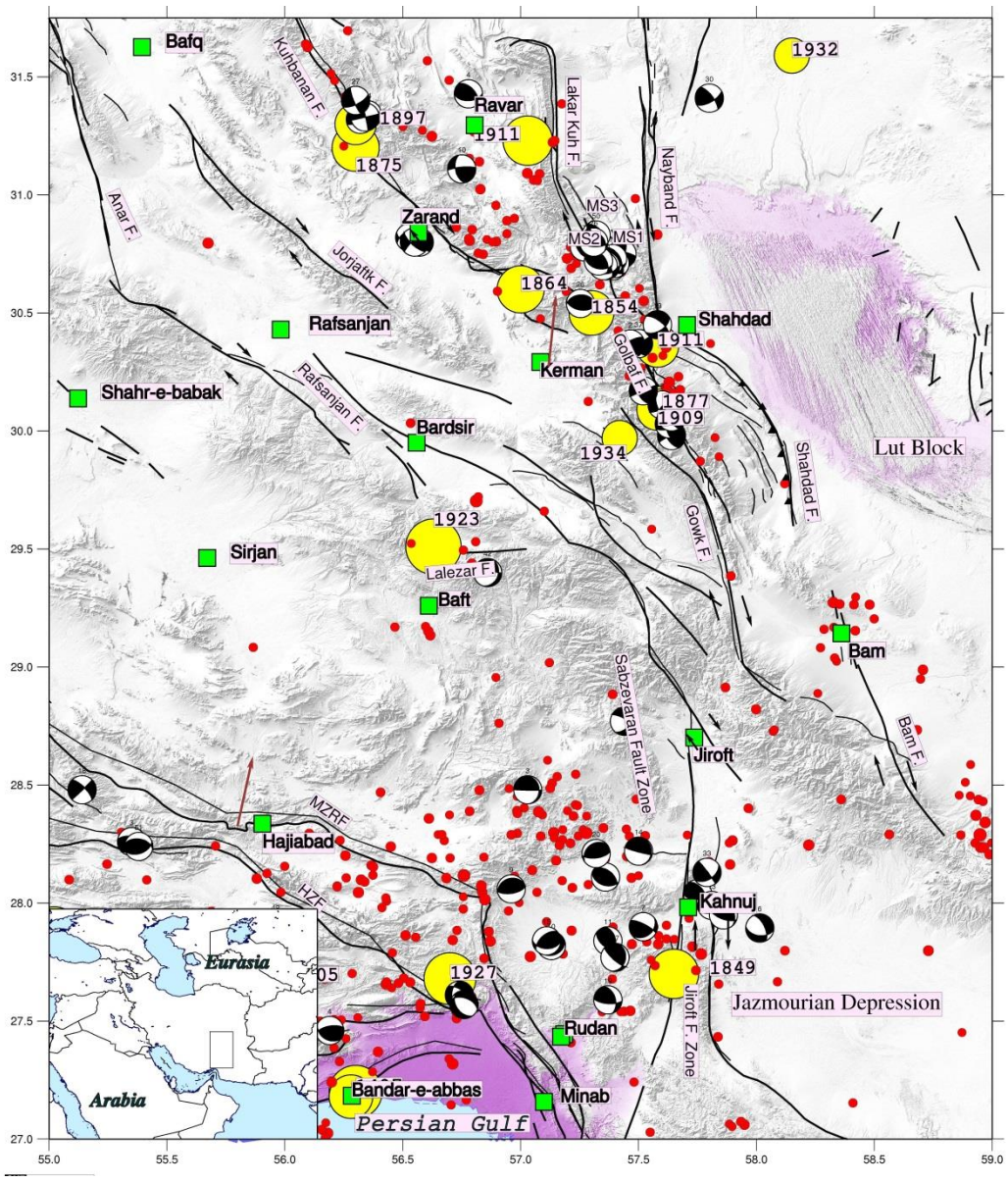
در استان کرمان، تاکنون بررسی‌های زیادی با عنوان خطر زمین‌لرزه صورت گرفته است (مانند بلوچ و همکاران، ۱۳۹۹). در این بررسی، گسل گلباف و گستره‌های فاریاب و شمال خاوری بندر عباس از خطر بالایی برخوردار بودند. نقشه‌هایی نیز برای خطر زمین‌لرزه توسط نهادهای دولتی تهیه شده است. از این نقشه‌ها می‌توان به نقشه پهنه بندی خطر زمین‌لرزه تهیه شده توسط مرکز مطالعات و راه، مسکن و شهرسازی ایران (۱۳۹۱) [۴] و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه تهیه شده توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (Tavakoli Ghafory-Ashtiany, 1999)[۵] اشاره نمود. در این پژوهش که برای کل ایران انجام شده است، بیشینه شتاب برای گسل‌های شمال تبریز، شمال تهران و دشت بیاض به دست آمده است.

روش‌های زیادی برای بررسی خطر زمین‌لرزه وجود دارد که بسیاری از آن‌ها برای ایران و هم‌چنین استان کرمان، به‌ویژه پس از زمین‌لرزه ۲۰۰۳ بم، به‌کار برده شده است: روش آماری، توابع احتمالی، روش تعینی یا قطعی و روش تحلیلی یا احتمالاتی (مانند بلوچ و همکاران، ۱۳۹۹). در این پژوهش کوشش شده که این کار با روش منطق فازی انجام گیرد. همه معیارهای به‌کار برده شده مانند گسل‌های جنبا، زمین‌لرزه‌های تاریخی، پیش‌دستگاهی و دستگاهی، سازوکار زمین‌لرزه‌های دستگاهی، زمین‌ریخت‌شناسی (ارتفاع و شیب)، استحکام ساخت‌گاه و زمین‌ساخت جنبا در این بررسی وزن یکسانی ندارند. در کارهای علمی، تصمیم‌گیری و اولویت‌دهی توسط ذهن انسانی به‌دلیل محدودیت‌های آن، به‌ویژه هنگامی‌که شمار متغیرها زیاد می‌شود،

[4] Road, Housing and Urban Development Research Center, RHRC, ۱۳۹۱
[5] International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, IIEES, ۱۳۸۲

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

بسیار دشوار و گاهی ناممکن می‌گردد. منطق فازی می‌تواند درباره استدلال و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان در سامانه‌های نیازمند به انتخاب، به ما کمک نماید. به‌کارگیری روش‌های چندمعیاره و منطق فازی، یک روش کارآمد برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه می‌باشد. فرآیند منطق فازی یکی از جامع‌ترین فرآیندهای طراحی شده برای تصمیم‌گیری با میارهای چندگانه است. هم‌چنین، این روش امکان تصمیم‌گیری میان معیارهای گوناگون کمی و کیفی را در بررسی ما فراهم می‌آورد.



[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

نگاره ۱- نقشه لرزه‌زمین‌ساختی استان کرمان و پیرامون. نشان‌گرهای زرد، قرمز و سیاه، به‌شماره زمین‌لرزه‌های تاریخی (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲) و دستگاهی (از ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ با بزرگای بیش‌تر از ۴/۰ و سازوکار آن‌ها (از موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران) را نمایش می‌دهند. سازوکارهای MS1, MS2, MS3 به‌شماره، به زمین‌لرزه‌های سه‌گانه سال ۲۰۱۷ هجدک اشاره دارند. گسل‌ها از حسامی و هم‌کاران، (۲۰۰۳) و گسل‌های نقشه‌های زمین‌شناسی (سازمان زمین‌شناسی کشور) برگرفته شده‌اند.

این فرآیند، گزینه‌های گوناگون را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. هم‌چنین، برپایه مقایسه دوتایی بنا نهاده شده، قضاوت و پردازش را آسان می‌نماید. در بررسی خطر زمین‌لرزه، چون عوامل زیادی دخیل هستند، انتخاب بود یا نبود یک یا چند عامل و درصد وزنی و انتخاب اولویت‌ها در آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. در یک تحلیل خطر زمین‌لرزه، روش منطق فازی می‌تواند کمک شایانی به ما در گزینش این عوامل و تصمیم گیری و اولویت‌دهی آنها بنماید.

روش فازی در ایران و جهان، در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه نیز استفاده شده است (فرانکوپول و هونگ، ۱۹۹۵؛ جلنا و هم‌کاران، ۲۰۱۷). از پیشینه پژوهش در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در ایران با به‌کارگیری GIS و روش فازی می‌توان به حسین‌آبادی و هم‌کاران، (۱۳۹۸) اشاره نمود. در این پژوهش، برپایه نقشه‌های خروجی فازی زمین‌لرزه مشخص شد که نتایج بررسی فازی، بهترین هم‌خوانی را با پراکنش زمین‌لرزه در گستره جنوب بیرجند دارد، به‌گونه‌ای که ۴۲ درصد این گستره در بخش خطر زیاد و خیلی زیاد زمین‌لرزه جای دارد. به‌شمار آوردن گزاره‌های دقیق به‌عنوان مرز گزاره‌های تقریبی، درجه‌پذیر بودن همه گزاره‌ها، تغییرپذیری محدودیت به‌عنوان دانش، از ویژگی‌های منطق فازی هستند.

۱- داده‌ها و روش کار

برای این پژوهش، داده‌های لرزه‌ای از نهاد لرزه‌شناسی جهانی[6] ISC (برای بازه زمانی سال‌های ۱۹۲۳ تا ۲۰۰۶ و داده‌های لرزه‌ای موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برای بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳، هم‌چنین از کتاب آمبراسیز وملویل، (۱۹۸۲) برای زمین‌لرزه‌های تاریخی و پیش‌دستگاهی تا سال ۱۹۲۳، گردآوری شده‌اند. مختصات روکانون زمین‌لرزه‌ها از درجه- اعشار (فرمت داده‌های شبکه لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران) به سامانه مختصات متریک[7]، تبدیل شده و بزرگای زمین‌لرزه‌ها نیز پس از گردآوری از پایگاه‌های اطلاعاتی یادشده، با به‌کارگیری پیوند یغمایی، (۱۳۷۱) (پیوند ۱) به مقیاس یکسانی تبدیل شدند. گسل‌ها نیز از نقشه گسل‌های جنبای ایران (حسامی و هم‌کاران، ۲۰۰۳) و گسل‌های نقشه‌های زمین‌شناسی (GSI[8]) برگرفته شده‌اند. نقشه‌های توپوگرافی نیز دیگر منبع داده‌های ما بوده است.

[6] International Seismological Center
[7] Universal Transverse Mercator (UTM)
[8] Geological Survey of Iran (GSI)

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

پیوند ۱ $M_S=1.4m_b-2.3$

از مزایای این پیوند استفاده از داده‌های ایران برای تدوین آن می‌باشد.

نخست، داده‌ها در این روش فازی‌سازی می‌شوند. در این مرحله، داده‌های ورودی به‌کمک کنترل‌گر تبدیل و تفسیر می‌شوند. پس از اختصاص تابع عضویت برای هرکدام از گزاره‌ها، پردازش در این روش برپایه توابع عضویت انجام می‌شود. درپایان، دامنه خروجی‌های هر گزاره، رتبه‌بندی آن‌را تعیین می‌نماید.

درجه عضویت معیارها و زیرمعیارهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی آن‌ها به‌گونه جداگانه، مشخص شده است (جدول ۱). این وزن‌ها با توجه به نظرات کارشناسان وهمچنین وزن‌های حاصله از تصمیم‌گیری گروهی و پرسش‌نامه‌ها درنظر گرفته شده‌اند. نقشه پایانی، به‌کمک عمل‌گر گاما (۰/۹۵ =γ) و برهم‌نهی لایه‌ها ترسیم شده است.

در این‌جا بایستی عمل‌گرهای فازی معرفی شوند. این عمل‌گرها شامل ساده‌ترین عمل‌گرهای فازی مانند AND و OR تا عمل‌گر پیچیده گاما که در این پژوهش کاربرد زیادی دارد، می‌شوند. عمل‌گر AND بیشینه مقدار و عمل‌گر OR کمینه مقدار متغیرها را گزینش می‌نماید. عمل‌گر گاما، حاصل‌ضرب جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی می‌باشد (حیدری و هم‌کاران، ۱۳۹۴؛ رحیمی و رحیمی، ۱۳۹۶).

پیوند ۱- $\mu=(\text{Fuzzy Logic Summation})^{\gamma}\times(\text{ Fuzzy Logic Production})^{1-\gamma}$

در این پیوند، γ پارامتر گزینش شده است که بایستی در بازه صفر و یک باشد. به‌عنوان مثال، اگر γ یک باشد، ترکیب، همان جمع جبری فازی و اگر صفر باشد، ترکیب، همان ضرب جبری فازی خواهد بود.

جدول ۱- معیارهای روش فازی و درجه عضویت آن‌ها (صفر تا یک).

شماره	معیار	درجه عضویت فازی	شماره	معیار	درجه عضویت فازی
1	*جنبش گسل	0/8	**6**	ژرفای زمین‌لرزه	0/2
2	درازای گسل	0/5	**7**	ارتفاع	0/1
3	زمین‌ساخت جنبا	0/5	**8**	شیب توپوگرافی	0/1
4	بزرگای زمین‌لرزه	0/4	**9**	سنگ‌شناسی	0/1
5	سازوکار گسل	0/3			

*گسل‌های استان از دیدگاه میزان جنبش به ۴ گروه با توان جنبش، جنبا، خیلی جنبا و نبود لرزه‌ای دسته‌بندی شده‌اند.

برای ارزیابی خطر زمین‌لرزه در استان کرمان با روش فازی درآغاز، معیارها و زیر معیارهای دخیل در خطرپذیری یک گستره در برابر رخداد زمین‌لرزه تعیین گردیده و براین پایه، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و در نرم‌افزار ArcGIS و Expert Choice تهیه گردیدند (جدول ۱). معیارهای وابسته با بهره‌گیری از نظر کارشناسان زمین‌لرزه و اطلاعات لرزه‌ای و زمین‌شناسی برای استان کرمان در نظرگرفته شدند. نمودار جریانی[۹] ۱ چگونگی تهیه لایه زیرمعیارهای وابسته به زمین‌لرزه‌ها را نمایش می‌دهد. دیگر لایه‌ها نیز چنین مراحلی را گذرانده‌اند. پس از تعیین معیارها و زیرمعیارهای دخیل در ارزیابی خطر زمین‌لرزه، با توجه به مزایای تصمیم‌گیری فازی عمل شد. لایه‌ها به فرمت رستری تبدیل شده، یک مرحله فازی‌سازی برای یکسان کردن آن‌ها اعمال گردیده و سپس ضرائب یا وزن‌های به‌دست آمده به لایه‌های اطلاعاتی داده شدند. درپایان، تمامی لایه‌ها برای به‌دست آوردن نقشه پایانی پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه به روش فازی در استان کرمان در محیط نرم‌افزار Arc GIS، هم‌آمیخت وهم‌پوشانی گردیدند.

۱-۲- معیارهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه

۱-۱-۲- معیارگسل

در این پژوهش بایستی گسل‌ها را به‌عنوان یکی از معیارهای اصلی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در نظر بگیریم (نگاره آ ۲). بنابراین، نخست به‌کمک نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰، نقشه گسل‌های استان تهیه شد. هم‌چنین، علاوه بر در نظر گرفتن محل گسل ،پارامترهای دیگر مانند درازا (نگاره ۲)، سازوکار (نگاره ۱)، میزان جنبش آن گسل در گذشته و زمین‌ساخت جنبا نیز درنظر گرفته شدند (جدول ۱).

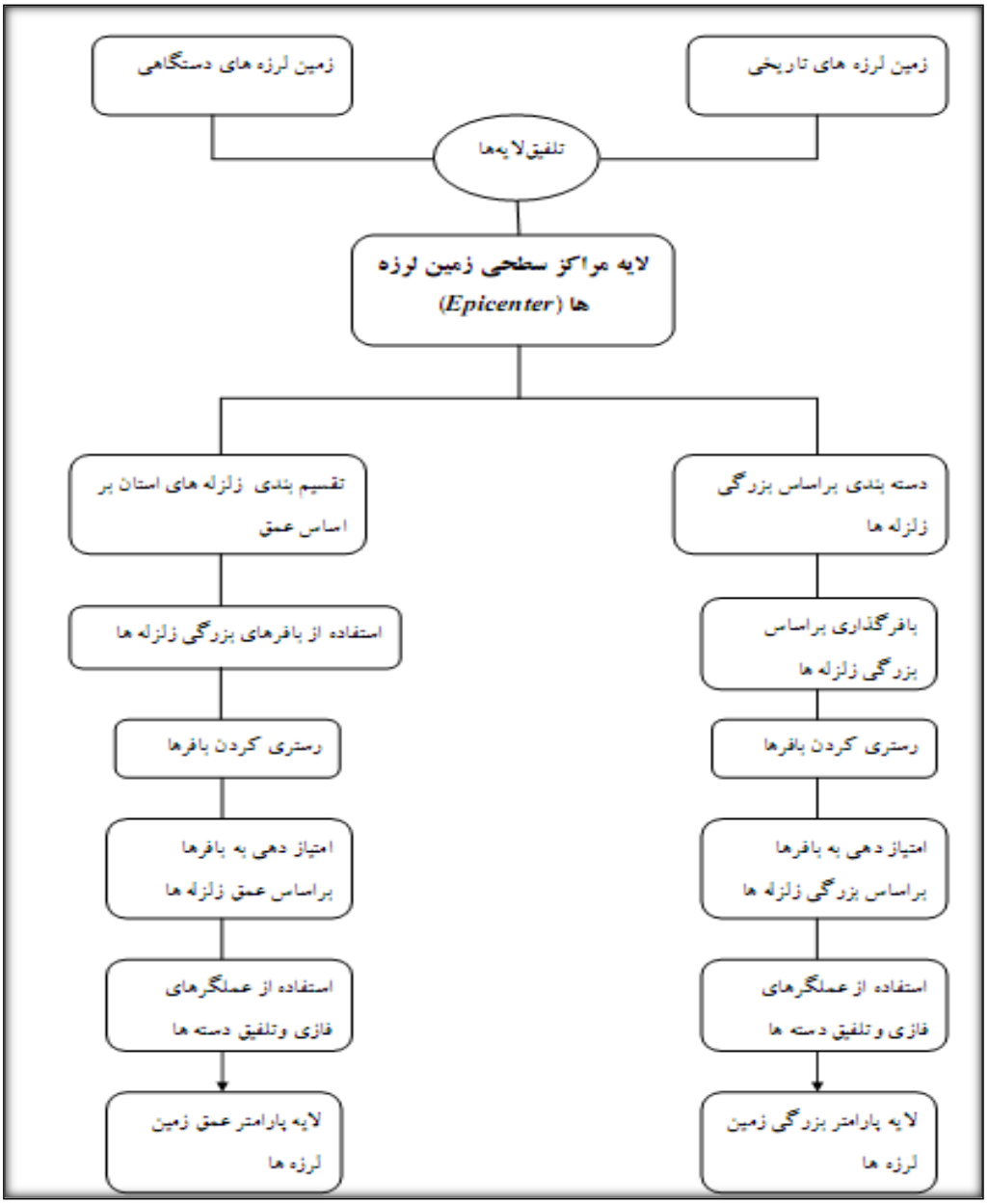
هرچه درازای تکه[۱۰] گسل بلندتر باشد، انرژی آزادشده آن گسل و هم‌چنین مساحت گستره باخطر لرزه‌خیزی پیرامون آن گسل نیز افزایش می‌یابد. درمورد سازوکار گسل بایستی گفت که سازوکار گسل در خطر زمین‌لرزه تاثیر به‌سزایی دارد. گسل‌های استان از دیدگاه میزان جنبش به ۴ گروه با توان جنبش (میزبان زمین‌لرزه بزرگ یعنی بیش از۵/۵ نبوده، نهشته‌های دوران چهارم را نبریده و در زون زمین‌ساختی جنبا نیز جای نگرفته‌اند)، جنبا (نهشته‌های دوران چهارم را قطع کرده، میزبان زمین‌لرزه بزرگ بوده و دارای نبود لرزه‌ای نیز نمی‌باشند، اگرچه، در زون جنبای زمین‌ساختی جای گرفته‌اند)، خیلی جنبا (نهشته‌های دوران چهارم راقطع کرده، میزبان زمین‌لرزه بزرگ بوده و در زون جنبای زمین‌ساختی جای دارند) و نبود لرزه‌ای (هم‌اکنون دارای لرزه‌خیزی نبوده، اگرچه پیش‌تر بوده است) دسته‌بندی شدند.

لایه اطلاعاتی گسل‌های جنبا در استان با تکیه بر گواهی‌های زمین‌ریخت‌شناسی[۱۱]، عکس‌های هوایی، نقشه تپه‌سایه‌ای[۱۲] استان و پژوهش‌های انجام شده پیشین، تهیه گردید. گسل‌های استان نیز از نقشه‌های زمین‌شناسی (با مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰) و کارهای انجام شده قبلی استخراج شده‌اند (نگاره ۳).

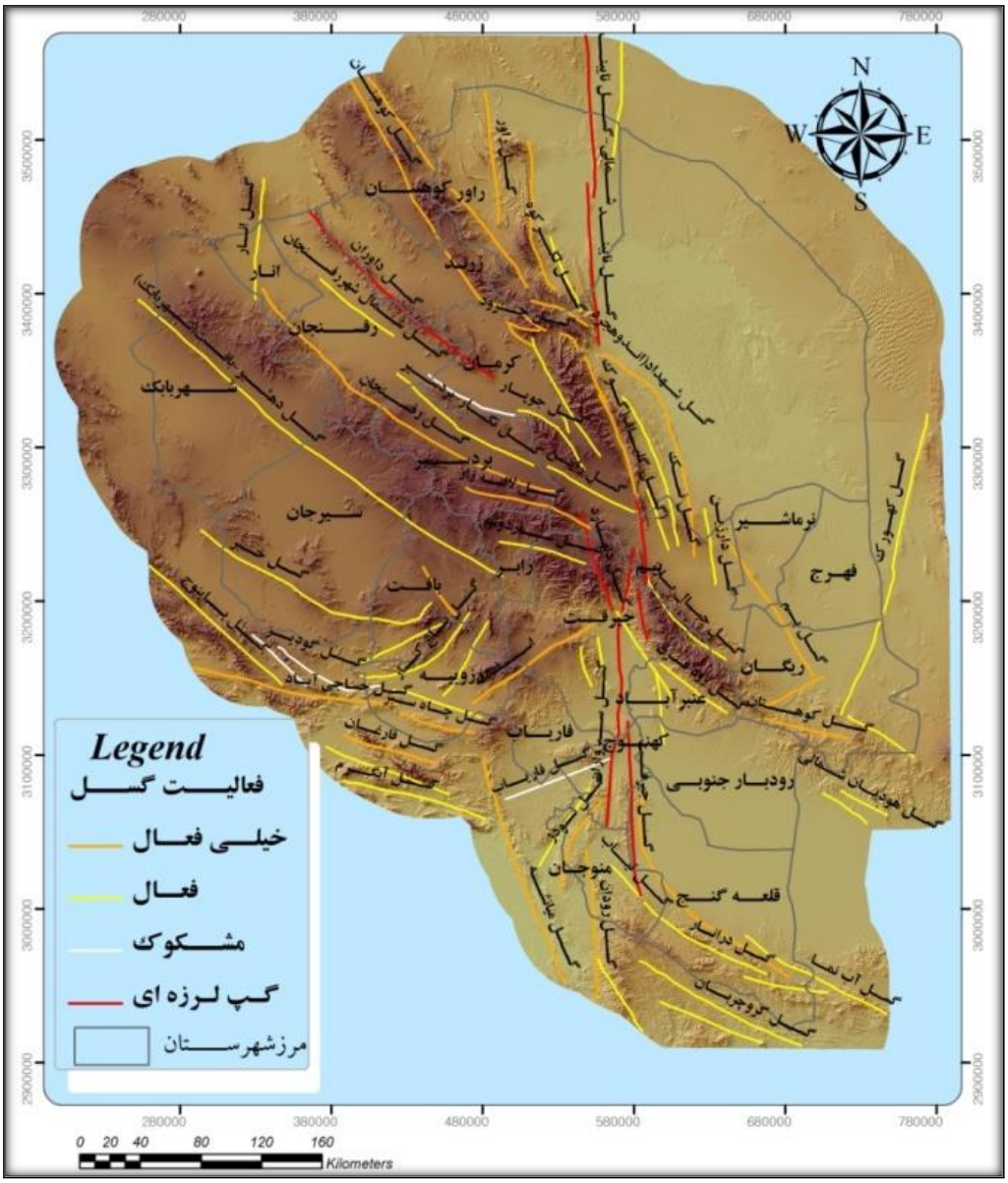
[۹] Flow Chart
[10] Segment
[11] Geomorphology
[12] Hillshde

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

نمودار جریانی ۱- چگونگی تهیه لایه زیرمعیارهای وابسته به زمین‌لرزه‌ها.



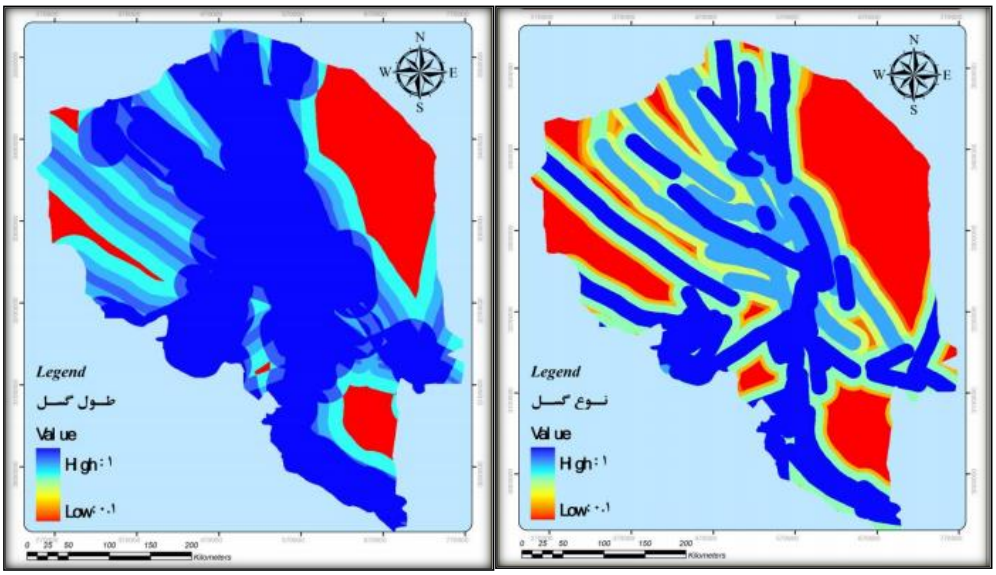
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]



نگاره ۲: آ) نقشه معیار گسل در استان کرمان. ب) نقشه زیرمعیار جنبش گسل‌های نشان داده شده در نگاره آ (مشکوک: با توان جنبش).

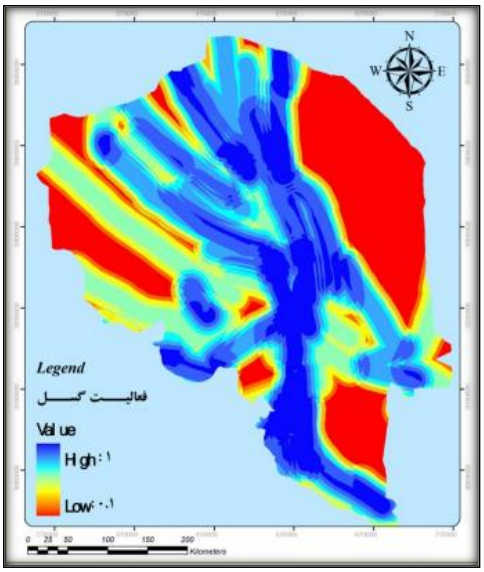
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

آ)

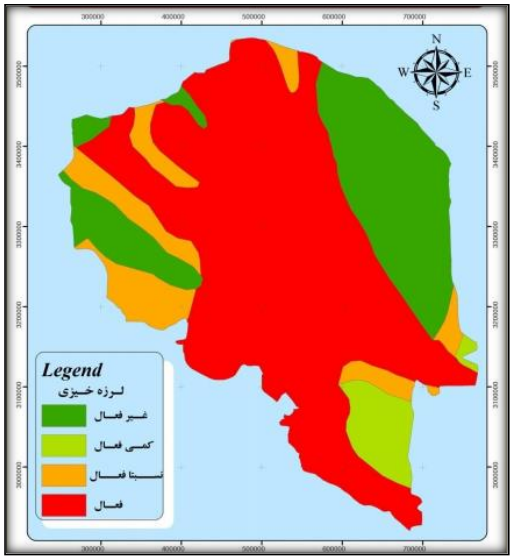


ب)

پ)



ت)



نگاره ۳- آ) زیرمعیار درازا ، ب) زیرمعیار سازوکار، پ) زیرمعیار جنبش گسل‌ها و ت) زیرمعیار زمین‌ساخت جنبا در استان.

۲-۱-۲- معیار زمین‌لرزه‌ها

رخداد زمین‌لرزه در یک محل نشان ازخطر لرزه‌خیزی آن محل داشته و نشان‌دهنده احتمال تکرار زمین‌لرزه و آزادشدن انرژی در همان محل در آینده می‌باشد، اگرچه همیشه این‌گونه نیست. روکانون[۱۳] زمین‌لرزه‌ها و دو پارامتری که درپهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه تاثیر دارند، یعنی بزرگا (نگاره ۴) و ژرفای آن‌ها در

[13] Epicenter

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

این مرحله بررسی می‌گردد، با این تفاوت که به آن‌ها وزن کم‌تری نسبت داده می‌شود. این نکته بدیهی است که هرچه زمین‌لرزه بزرگ‌تر باشد، بیشینه شدت آن نیز بیش‌تر بوده و گستره بزرگ‌تری را دربر می‌گیرد. هم‌چنین، هرچه زمین‌لرزه‌های یک گستره ژرفای کم‌تری داشته باشند (مانند ژرفای ۲-۴ کیلومتری مرکز لغزش در زمین‌لرزه ۲۰۱۷ هجدک، سویج و هم‌کاران، ۲۰۱۹)، شدت ویرانی بیش‌تر بوده و ژرف بودن زمین‌لرزه‌ها در یک گستره از ویرانی آن‌ها می‌کاهد (زمین‌لرزه‌های مرز قاره‌ای مانند زمین‌لرزه‌ها ۲۰۰۴ فیروزآباد کجور؛ تاتار و هم‌کاران، ۲۰۰۷).

از آن‌جایی‌که، زمین‌لرزه‌های بابزرگای M_S بیش از ۴/۵ تاثیر بیش‌تری در لرزه‌خیزی یک گستره دارند، تنها این زمین‌لرزه‌ها در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطرزمین‌لرزه به‌کاربرده شده‌اند (نگاره ۳ آ). برای به‌دست آوردن داده‌های ژرفی زمین‌لرزه‌ها نیز، از پایگاه اطلاعاتی IRSC وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران بهره گرفته شد، چون ژرفای اعلام شده از سوی این پایگاه برای هدف ما از دقت کافی برخوردار است.

۳-۱-۲- دیگر معیارها

با توجه به وابستگی تنگاتنگ شدت و شتاب زمین‌لرزه در یک گستره باید گفت، در شرایط یکسان، شتاب و در نتیجه شدت زمین‌لرزه در سطح مواد سست بیش‌تر از سنگ‌های سخت است. پس از رخداد زمین‌لرزه، یکی از عواملی که برشدت و اندازه تخریب تاثیر می‌گذارد، استحکام نهشته‌ها است. هرچه جنس موادبستری سست‌تر باشد، به‌دلیل کاهش ضرایب کشسانی[14] λ و μ، سرعت عبور موج در آن، کم‌تر و دامنه آن به‌دلیل تشدید ناشی از تنوع دانه‌بندی نهشته‌ها بیش‌تر شده، درنتیجه شدت و ویرانی بیش‌تری ایجاد می‌کند.

استحکام مواد بستری به‌عنوان یک لایه اطلاعاتی برپایه اطلاعات حاصل از نقشه‌های زمین‌شناسی و هم‌چنین گواهی‌های زمین‌ریخت‌شناسی تهیه گردیده است. همه نهشته‌های جوان که بیش‌تر درسطح دشت‌ها گسترش دارند، در گروه سست جای داده شدند. همه سنگ‌های سخت که بیش‌تر درکوهستان‌ها دیده می‌شوند، درگروه سخت جای داده شده وکنگلومراهای سست پلیوکواترنر که نه هنوز مانند سنگ‌های سخت، سفت[15] شده و نه مانند نهشته‌های جوان فاقد سیمان می‌باشند، درگروه نیمه‌سست جای داده شدند.

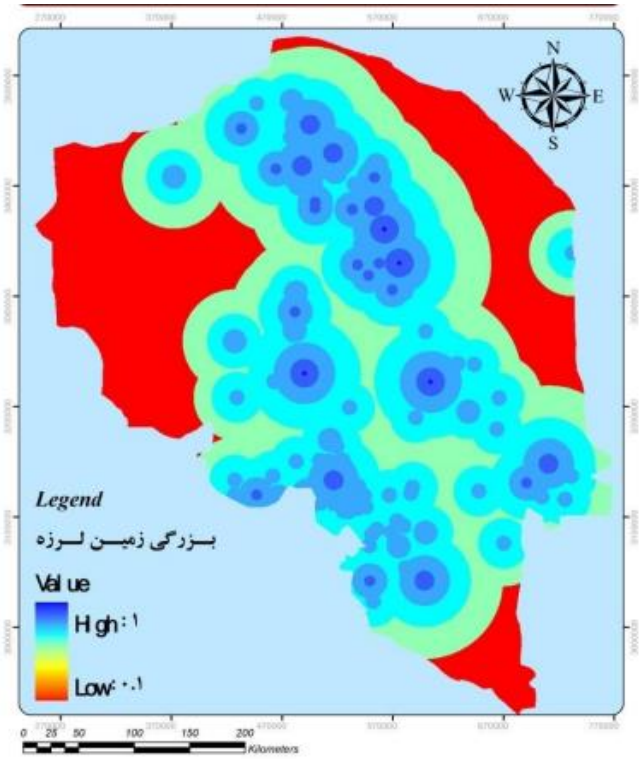
لایه زمین‌ساخت جنبا (نگاره ۳-۱) در گستره، با هم‌آمیخت گواهی‌های زمین‌ساختی مانند وجود چین‌ها و ساختارهای جنبا با گواهی‌های لرزه‌ای و داده‌های حاصل از کارهای پیشین تهیه گردیده است. استان کرمان برپایه پارامتر زمین‌ساخت جنبا به چهار واحد جنبا، نسبتاً جنبا، ناجنبا و کمی جنبا دسته‌بندی شده است.

لایه زمین‌ساخت جنبا برپایه معیارهایی چون کوهستان‌های فرازیافته (بلندا بیش از ۳۰۰۰ متر)، مرز گسلی و بارز میان کوه و دشت (راست، بارز بودن و محدب بودن دیواره مرز کوه و دشت)، وجود پرتگاه[16]

[14] Elastic Coefficients
[15] Diagenesis
[16] Scarp

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

گسلی آشکار (وجود پرتگاه گسلی بارز در نهشته‌های دوران چهارم) و چین‌های جوان (چین‌خوردگی‌های سنگ‌ها و نهشته‌های دوران چهارم) تکمیل شد.



نگاره ۴- زیرمعیار بزرگای زمین‌لرزه‌ها. به‌دلیل پراکندگی روکانون زمین‌لرزه‌ها، نقشه یکنواختی خود را از دست داده است.

لایه زمین‌ساخت نسبتاً جنبا برپایه معیارهایی چون کوهستان با مرز تدریجی، گسل‌های بدون نشانه‌های سطحی بارز از دیدگاه جابه‌جایی، زمین‌لرزه‌خیزی متوسط (رخداد زمین‌لرزه‌های با بزرگای متوسط) شکل گرفت. لایه زمین‌ساخت ناجنبا برپایه معیارهایی چون سطوح هموار با ریخت‌شناسی پدیمنت و گنبد بیابانی و زمین‌لرزه‌خیزی ناچیز تدوین شد. لایه زمین‌ساخت کمی جنبا نیز برپایه گستره‌هایی که با هیچ‌کدام از گروه‌ها هم‌خوانی ندارند، تعریف شده است.

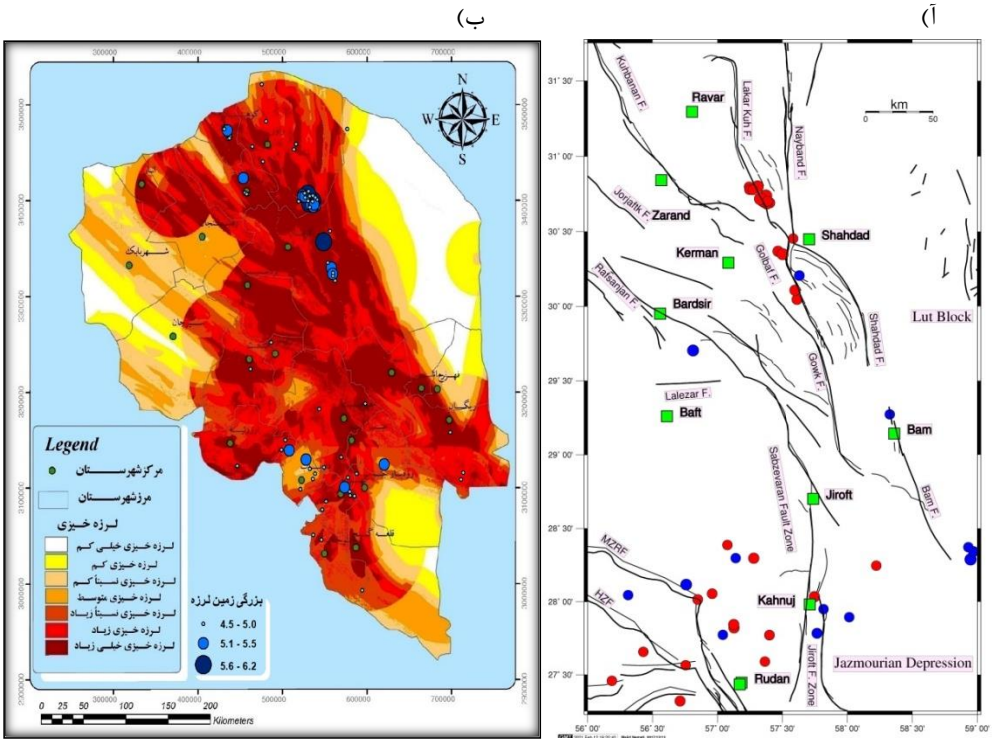
معمولا، زمین‌لرزه‌ها در گستره‌های پست و سپرها رخ نمی‌دهند، اگرچه این مطلب عمومیت ندارد. بنابراین، یکی دیگر از عوامل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه، ریخت‌شناسی و نقشه ارتفاعی گستره است. این پارامتر را نیز می‌توان در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه به‌کار برد. داده‌ها و نقشه‌های وابسته به این لایه از نقشه مدل ارتفاعی رقومی یا DEM[۱۷] استان استخراج گردید. در این نقشه، هر گستره یا سطح تراز زمین با یک رنگ خاص نمایش داده می‌شود. این مدل به‌عنوان مبنای کار پردازش‌ها برای تهیه لایه‌های شیب و ارتفاع استان کرمان به‌کارگرفته شد.

[17] Digital Elevational Model

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

۳- نتایج

از هم‌آمیخت لایه‌های اطلاعاتی چندگانه که اسامی آن‌ها در جدول ۱ مشخص شده و با درنظرگرفتن ضرائب اعلام شده در آن، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با روش فازی در استان کرمان تهیه گردید (نگاره ۵ آ). گرد بودن و یکنواخت نبودن گستره‌های با خطر بالا در خاور استان، به نبود داده لرزه‌ای و... در پیرامون آن گستره در نقشه باز می‌گردد. نگاره ۵ آ نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه را در استان کرمان نشان می‌دهد. این نقشه با به‌کارگیری روش منطق فازی ترسیم شده و زمین‌لرزه‌های با بزرگای بیشتر از ۴/۵ از موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در بازه زمانی پس از سال ۱۳۹۲ (سال انجام پژوهش) تاکنون می‌باشد.



نگاره ۵- آ) زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ۵/۰ که پیش (نشان‌گرهای آبی) و پس (نشان‌گرهای قرمز) از انجام این پژوهش در گستره بررسی شده روی داده‌اند. بازه زمانی داده‌های نقشه ب که از شبکه لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برگرفته شده‌اند، از سال ۲۰۰۶ تاکنون می‌باشد. شهرها با چهارگوش سبز نمایش داده شده‌اند. ب) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در استان کرمان با به‌کارگیری روش فازی و زمین‌لرزه‌های روی داده با بزرگای بیشتر از ۴/۵ از موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران پس از سال ۱۳۹۲ (سال انجام پژوهش).

نقشه ۵ آ زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ۵/۰ را که پیش (نشان‌گرهای آبی) و پس (نشان‌گرهای قرمز) از انجام این پژوهش در گستره بررسی شده روی داده‌اند، نمایش می‌دهد. دست‌کم، شمار ۶ زمین‌لرزه از سال ۲۰۰۶ تا پس از انجام این پژوهش در گستره با خطر زیاد در استان روی داده‌اند. دست‌کم، شمار ۱۵ زمین‌لرزه نیز پیش از انجام این پژوهش در گستره با خطر زیاد در استان کرمان روی داده‌اند. این نقشه در

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

مقایسه با نقشه‌های پیشین که برای خطر زمین‌لرزه تهیه شده بودند (نقشه مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران (۱۳۹۱) و نقشه پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (Tavakoli Ghafory-Ashtiany, 1999) از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش، بررسی خطر زمین‌لرزه به کمک داده‌های لرزه‌ای که با منطق فازی ضریب گرفته و وزن داده شده‌اند، می‌باشد. همه بررسی‌های خطر زمین‌لرزه در کشور، از کل یا بخشی از یک بانک داده لرزه‌ای موجود که از نهادهای گوناگون به‌دست آمده است استفاده می‌کنند. این بانک داده لرزه‌ای تا حدود زیادی میان تمام کارهای پژوهشی مشترک است. تفاوت آنها در روش کار و روش ارائه مطالب است. صحت سنجی منطقی نتایج به‌دست آمده هر روشی، مقایسه آن نتایج با نتایج کارهای پیشین و دیگر روش‌ها است. بدون این بخش صحت سنجی، ارائه کار پژوهشی برمبنای منطق علمی نبوده و ارزش نخواهد داشت. در این پژوهش نیز همین کار صورت گرفته است.

در این پژوهش از ۹ عامل تاثیرگذار در رخداد زمین‌لرزه در استان، جنبش گسل با بالاترین درجه عضویت را بیش از دیگر عوامل داشته، پس از آن درازای گسل، زمین‌ساخت جنبا و بزرگای زمین‌لرزه‌ها بوده و سازوکار گسل و ژرفای زمین‌لرزه‌ها درجه عضویت فازی کمتری را دارا بوده‌اند. کمترین درجه نیز که به معنای کمترین تاثیرگذاری است، به ارتفاع محل، شیب توپوگرافی و سنگ‌شناسی تعلق گرفت.

برآورد خطر زمین‌لرزه با روش‌های گوناگون، اگرچه مستقیما به پیش‌بینی زمین‌لرزه نمی‌انجامد، یکی از مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی است‌که می‌تواند به این فرآیند کمک شایانی بنماید. در این پژوهش، برای برآورد خطر زمین‌لرزه، روش فازی که پیش‌تر در ایران کم‌تر به آن پرداخته شده است، برگزیده شده است.

در این پژوهش، روند گسلی کوه‌بنان، لکرکوه، گلباف و بم به‌عنوان یک زون پیوسته و پرخطر معرفی شده است. در کار پژوهشگاه (Tavakoli Ghafury Ashtiani, 1999) نیز این گستره دارای بیشترین بزرگای احتمالی زمین‌لرزه است. گستره‌های پراکنده پرخطر در پیرامون جیرفت و بردسیر نیز وجود دارند. گستره این گسل‌ها به دلیل جنبش آنها و رویداد زمین‌لرزه روی آنها و شرایط زمین‌ساختی دارای بالاترین خطر زمین‌لرزه بوده‌اند. بیش‌تر زمین‌لرزه‌های بزرگ استان از سال ۲۰۰۶ تا زمان انجام این پژوهش و همچنین زمین‌لرزه‌های روی داده پس از انجام این پژوهش (زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۷ هجدک، ۶/۲-۶/۰) در گستره‌هایی از استان با خطر زیاد روی داده‌اند. بیشینه بزرگای زمین‌لرزه احتمالی در بررسی خطر زمین‌لرزه در کار پژوهشگاه (Tavakoli Ghafury Ashtiani, 1999) در گستره استان کرمان بیش از ۷/۰ به‌دست آمده است.

گستره‌های پرخطر در استان

مراکز شهرستان‌های استان برپایه میزان خطر در نقشه پهنه‌بندی حاصله درسه گروه جای می‌گیرند: گروه پرخطر (بم، زرند، کهنوج، جیرفت، اورزوئیه، کوهبنان، ریگان، بردسیر، راور و کرمان)، باخطرمتوسط (بافت، رابر، رفسنجان، شهربابک و فاریاب) و کم خطر (سیرجان).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

گستره‌های امن استان

گستره لوت به‌دلیل دشت بودن و یک‌پارچه و سخت بودن، هیچ گسل و زمین‌لرزه‌ای در خود جای نداده است. شاید هم به دلیل پوشیده بودن گسلی بر روی آن به نقشه در نیامده است. این گستره در نقشه، از امن‌ترین گستره‌های استان به‌شمار می‌آید. در چاله سیرجان[18] و چاله جازموریان[19] نبود گسل جنبا، نبود نشانه‌های زمین‌ساخت جنبا و نبود زمین‌لرزه‌های بزرگ و کم ژرفا باعث شده که این گستره‌ها در نقشه پهنه‌بندی به‌عنوان گستره‌ای تقریبا امن تعیین شوند. در گستره ژرف در زیر جازموریان به‌دلیل فرورانش پوسته اقیانوسی عمان در زیر این گستره (زمین‌لرزه‌های ۱۳۹۲/۰۱/۲۷ M_W 7.8 سراوان؛ نعمتی، ۲۰۱۸)، امکان رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ و ژرف دراین گستره وجوداشته که به‌دلیل ژرف بودن تاثیر زیادی روی خطر زمین‌لرزه ندارند.

درکل می‌توان گفت که باختر استان یعنی پیرامون شهرهای رفسنجان، سیرجان، انار و شهربابک با این‌که گسل‌های راستالغز راست‌گرد زیادی دارد، به‌دلیل پایین بودن نرخ لرزه‌خیزی و نبود و کمبود شواهدی مانند زمین‌لرزه، گسل‌های جنبا و توپوگرافی، در دسته گستره‌های با خطر پایین جای گرفته است. خاور استان یعنی شهرهای کرمان، ماهان، بردسیر، زرند، ریگان، جیرفت و گلباف به‌عنوان پرخطر ترین گستره در نقشه معرفی شده است. در خاور ایران لرزه‌خیزی در پیرامون (مرز) بلوک های ناجنبا و سخت لوت، ایران مرکزی و جازموریان روی می‌دهد. این لرزه‌خیزی بیش‌تر روی گسل‌های راستالغز راست‌گرد با بلندای زیاد روی می‌دهد. در خاور ایران به‌جز گستره دشت‌بیاض و طبس، گستره گسلی کوه‌بنان، لکرکوه، گلباف و بم نیز یک زون پیوسته و پرخطر می‌باشد که در استان کرمان جای گرفته است.

منابع فارسی:

- اخلاص پور، ۱۳۹۲. پهنه‌بندی خطر زمین لرزه با کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش چندمعیاری فازی و AHP. دانشگاه شهیدباهنر کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۲۰۵ ص.

- بلوچ، م.، باقری‌پور، م. ح. و نعمتی، م.، ۱۳۹۹. نقشه‌های خطر لرزه‌ای استان کرمان با استفاده از تحلیل احتمالاتی زلزله. دهمین کنفرانس ملی عمران، معماری و شهرسازی، ۱۹ اسفندماه ۱۳۹۹، ۹۹/p۱۸/۱۱۲.

حسین‌آبادی، م.، موسوی، م. و ناظمی، م.، ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر زمین لرزه و زمین‌لغزش به روش منطق فازی در رشته کوه باقران (جنوب بیرجند). فصل‌نامه توسعه جغرافیا، ۱۷، ۵۵، ۱۷۴-۱۵۳.

حیدری آقاگل، م. و خطیب، م.، هیهات، م.، منصوری، ه.، ۱۳۹۴، پهنه‌بندی خطر زمین لرزه به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی (منطقه موردمطالعه: استان خراسان جنوبی) https://civilica.com/doc/944697.

[18] Sirjan Depression
[19] Jazmurian Depression

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

- رحیمی، م. و رحیمی، ن.، ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خ طر زمین لرزه با ا ستفاده از فرآی ند تحل یل سل سله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مطال عه موردی: ب خش مر کزی شهر ستان سمیرم. ژئومورفولوژی کمی، ۱۱-۲۲، ۱۱۸-۱۰۹.

- قدسی پور، ح. ۱۳۸۵. فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر ،چاپ پنجم، ۱۰۰ ص.

- مشیری ،ا. ۱۳۸۰. مدل تعدیل شده AHP برای نظرسنجی و تصمیم‌گیری‌های گروهی، نشریه دا نش مدیریت، شماره ۵۲، ۶۳ - ۹۲.

- یغمائی،م. ع. ۱۳۷۱. طرح مطالعه لرزه‌خیزی استان کرمان، جلد اول، وزارت معادن و ف لزات، شرکت توسعه علوم زمین.

English References:

Ambraseys, N.N. and Melville, C.p., 1982. A history of Persian earthquakes. Cambridge University Press, 219P.

Frangopol D.M., Hong K. (1995) A Probabilistic-Fuzzy Model for Seismic Hazard. In: Onisawa T., Kacprzyk J. (eds) Reliability and Safety Analyses under Fuzziness. Studies in Fuzziness, vol 4. Physica, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1898-7_20.

Hessami, K., Jamali, F., Tabassi, H., 2003b, Map of Major Active Faults of Iran. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Iran

Jelena M. Andrić & Da-Gang Lu, 2017. "Fuzzy probabilistic seismic hazard analysis with applications to Kunming city, China," Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, Springer; International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, vol. 89(3), 1031-1057.

Nemati, M., 2018. Seismicity and seismotectonic of Makran, a bimodal subduction zone. J of Asian Earth Science, 169: 139-161.

Savidge, E., Nissen, E., Nemati, M., Karas¨ozen, E., Hollingsworth, J., Talebian M., Bergman, E., Ghods, A., Ghorashi, M., Kosari, E., Rashidi A. and Rashidi, A., 2019. The December 2017 Hojedk (Iran) earthquake triplet — sequential rupture of shallow reverse faults in a strike-slip restraining bend. Geophys. J. Int., 217(2), 909-925.

Talebian, M., Biggs, J., Bolourchi, M., Copley, A., Gassemi, A., Ghorashi, M., Hollingsworth, J., Jackson, J., Nissen, E., Oveisi, B., Parsons, B., Priestley, K., Saiidi, A., 2006. The Dahuiyeh (Zarand) earthquake of 2005 February 22 in central Iran: Reactivation of an intramountain reverse fault. Geophys. J. Int. 164 (1), 137–148.

Tatar, M., J. Jackson, D. Hatzfeld and E. Bergman (2007). The 2004 May 28 Baladeh earthquake (Mw 6.2) in the Alborz, Iran: overthrusting the South Caspian Basin margin, partitioning of oblique convergence and the seismic hazard of Tehran. Geophys. J. Int., 170, 249-261.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]

Tavakoli B, Ghafory-Ashtiany M. (1999). Seismic hazard assessment of Iran. Ann. Geophys. 1999 Nov.25; 42(6): https://www.annalsofgeophysics.eu/index.php/annals/article/view/3781.

Walker, R.T., Bergman, E.A., Elliott, J.R., Fielding, E.J., Ghods, A.R., Ghoraishi, M., Jackson, J., Nazari, H., Nemati, M., Oveisi, B., Talebian, M., Walters, R.J., 2013a. The 2010–2011 South Rigan (Baluchestan) earthquake sequence and its implications for distributed deformation and earthquake hazard in southeast Iran. Geophy. J. Int. 193 (1), 349–374.

Earthquake hazard zoning in Kerman Province using GIS and Fuzzy Logic method

Abstract:

This research is performed to investigate earthquake hazard using Geographical Information System (GIS) and Fuzzy Logic method. Fuzzy Logic could help us in decision in condition of untrusted systems. Using multi-parameters methods and fuzzy logic are efficient ways to seismic hazard zoning. Fuzzy logic is one of the most comprehensive processes designed for decision making with multiple components. It also allows us to decide between different quantitative and qualitative criteria in our study. First, the necessary factors like active faults; historical, pre-instrumental and instrumental earthquakes; focal mechanism of instrumental earthquakes; geomorphology (elevation and dip), toughness of sediments and active tectonic and also their sub-criteria, which impress earthquake hazard are investigated and changed as information layer in GIS. For the first time, preference of sub- criteria like magnitude and depth of the earthquakes have been regarded. Fuzzy Logic (weighting layers and preferencing them using ArcGIS and Expert Choice software) is applied in earthquake hazard investigation. Finally, in earthquake hazard map of Kerman province, achieved information layers in Arc GIS were merged and various areas (earthquake hazard point of view) were classified to high risk (Kuhbanan, Lakarkuh, Golbaf, Bam, Bardsir and Rigan), moderate risk (Shar-e Babak, Sirjan and Rafsanjan) and low risk (west of the province, Lut and Jazmurian) areas.

Keywords: Kerman province, Earthquake, Zoning, Earthquake Hazard, Geographic Information System, Fuzzy Logic

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-17]