

مقایسه روش های ارزیابی خطر زمین لرزه، مطالعه موردی گستره دشت بیاض

اکبر ایران نژاد پاریزی^۱، مجید نعمتی^{۲*}، وحید جعفری^۳ و نجمه سیفی^۴

۴-۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته زمین ساخت دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

۲- دانشیار بخش زمین شناسی دانشکده علوم و مرکز پژوهشی زلزله دانشگاه شهید باهنر کرمان،

nematimajid_1974@uk.ac.ir

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک- زلزله شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

چکیده

گستره دشت بیاض در خاور ایران یکی از گستره های لرزه خیز ایران به شمار می رود که دارای گسل هایی با درازایی نسبتا زیاد و لرزه زا می باشد. زمین لرزه های سال ۱۹۶۸ و ۱۹۷۹ ($M_w > 7.0$) در این گستره خسارت های جانی و مالی فراوانی را به مردم تحمیل کرده است. با به کارگیری نقشه های موجود، تصاویر ماهواره ای و کاتالوگ پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، نقشه گسل های جنوبا و هم چنین نقشه لرزه زمین ساختی گستره تهیه شده و خطر زمین لرزه با روش های قطعی و احتمالی ارزیابی شد. هم چنین برای روش AHP پرسش نامه های ویژه ای طراحی شده که توسط پژوهشگران متخصص زلزله شناسی پاسخ داده شده و بر پایه آن خطر زمین لرزه به روش سلسله مراتبی برآورد شد. برونداد روش های قطعی نشان می دهد که احتمال رخداد زمین لرزه ای با بزرگای $7/6$ در یک دوره ۲۰ ساله در گستره دشت بیاض - قائن وجود دارد. هم چنین به کمک دو روش بالا بیشترین خطر لرزه خیزی در میان گسل های جنوبی گستره به گسل رانده فردوس در بین گسل های بررسی شده نسبت داده شده است. اگرچه، روش سلسله مراتبی که عوامل زیادی مانند روکانون و ژرفای زمین لرزه ها، سازوکار گسل ها و سنگ بستر را نیز در نظر می گیرد، گستره گسل دشت بیاض را یک گستره پرخطر معرفی می نماید.

واژگان کلیدی: لرزه خیزی، خاور ایران، خطر زمین لرزه، روش آماری و قطعی و روش سلسله مراتبی.

مقدمه

بربریان، ۱۹۷۵؛ بربریان، ۱۹۷۶؛ نوروزی و مهاجر اشجعی، ۱۹۸۵؛ بربریان و همکاران، ۱۹۹۹، واکر و همکاران، ۲۰۰۳؛ واکر و همکاران، ۲۰۰۴ و واکر و همکاران، ۲۰۱۱؛ رشیدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ نعمتی، ۲۰۱۷) تنها یک کار لرزه ای در این گستره روی گسل آبیض انجام شده است. در این کار با یک شبکه محلی به برداشت خرد لرزه های زمین لرزه های ۱۹۷۹ بنیاباد و کریزان پرداخته شده که در نتیجه به یک شیب تند برای این دو گسل دست پیدا نموده اند (نوروزی و مهاجر اشجعی، ۱۹۸۰ و واکر و همکاران، ۲۰۱۱). از کارهای انجام شده در گستره های دیگر با روش آماری می توان به کار شعاعی و رادفر، (۱۳۹۲) برای شهر

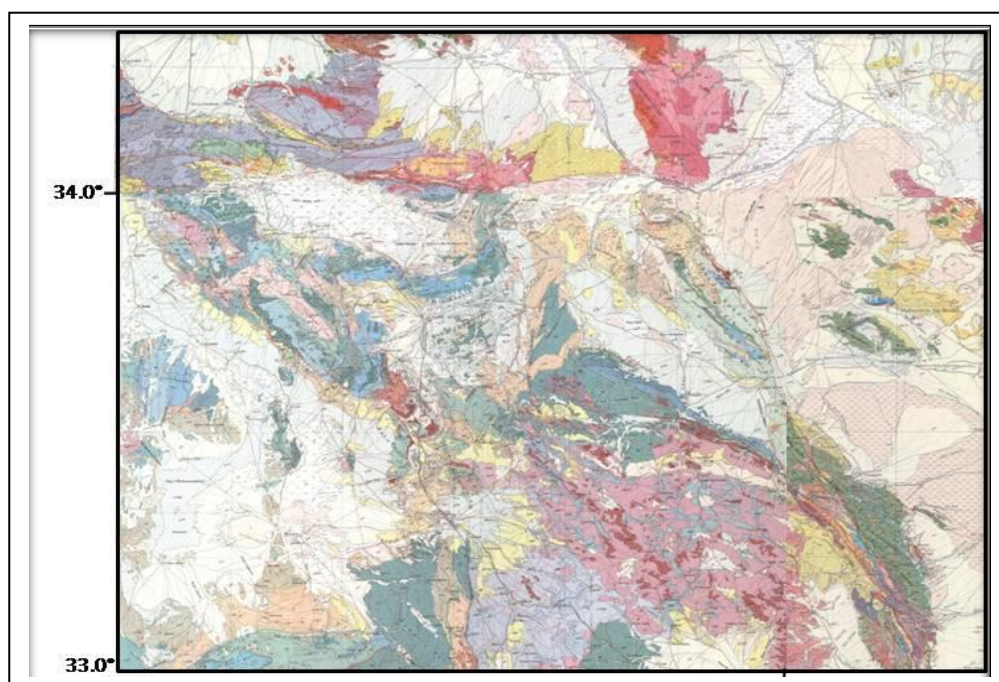
خطر زمین لرزه پیامد عواملی هم چون ویژگی های چشمه زمین لرزه و افت انرژی زمین از چشمه تا ساختگاه که در روش های قطعی و احتمالاتی به کار گرفته می شوند و ویژگی های ساختگاه که در روش هایی مانند تحلیل سلسله مراتبی می باشد. در این پژوهش بر آن شدیم تا نشان دهیم که ویژگی های ساختگاهی گستره های مختلف تاثیر زیادی روی برآورد خطر زمین لرزه می گزارد. این تاثیر، خود را در تفاوت روش های قطعی و احتمالاتی و تحلیل سلسله مراتبی نشان می دهد. اگرچه پژوهشگران زیادی در گستره دشت بیاض، فردوس، قائن و آبیض روی زمین شناسی سطحی زمین لرزه ها کار کرده اند (چالنگو و

شده از دیدگاه سنگ‌شناسی بیش‌تر از جنس سنگ‌آهک، رس، سنگ‌آهک ماسه‌ای، ماسه‌سنگ و هم‌چنین بخش‌های وسیعی از گستره بررسی شده را آبرفت‌های کواترنری پوشانده است. در بخش فردوس سنگ‌ها بیش‌تر از جنس لایه‌های آندزیتی، ریولیتی و قسمت‌هایی حاوی لایه‌های کواترنری می‌باشد. جنس سنگ‌ها در برآورد خطر به‌روش AHP مهم بوده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. گستره دشت بیاض-قائن از دیدگاه زمین‌ساختی دارای چند گسل جنب‌ای باشد که جنبش این گسل‌ها سرچشمه زمین‌لرزه‌های این گستره بوده است. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی گستره را نشان داده و در شکل ۲ گسل‌های اصلی و لرزه‌زای گستره آورده شده‌اند.

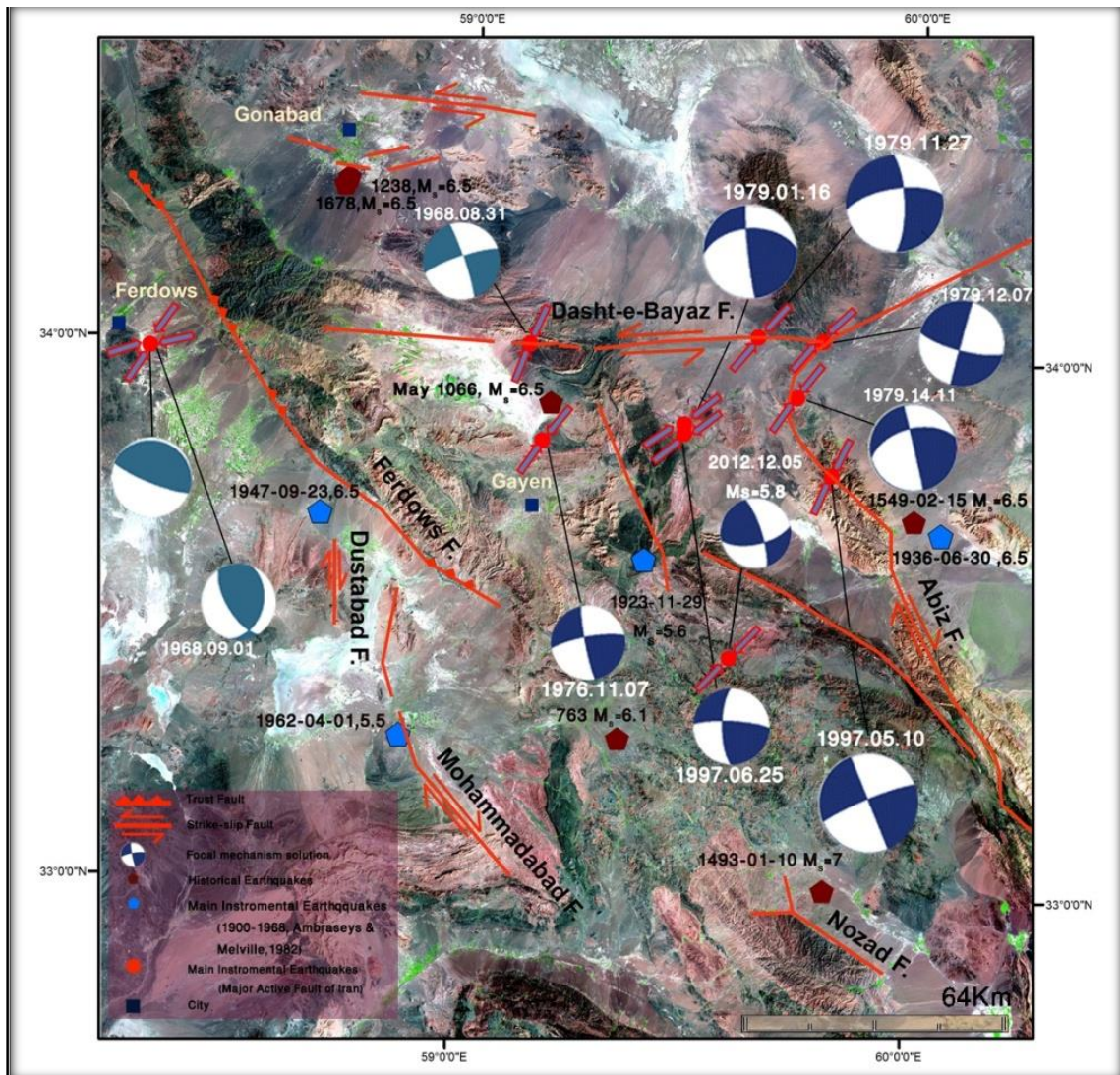
بردسیر و پیرامون آن در استان کرمان و کار نعمتی و همکاران، (۱۳۹۵) که برای شهر قزوین انجام شده است، اشاره نمود. شهرهای پرجمعیت زیادی در گستره دردست بررسی جای‌دارند (شهرهای بیرجند، قائن، دشت بیاض و فردوس) که از دیدگاه اقتصادی مهم بوده و ارزیابی خطر زمین‌لرزه می‌تواند برای آنها مفید باشد. این پژوهش می‌تواند داده‌های اولیه و ورودی روش‌های سامانه‌های هشدار زمین‌لرزه را فراهم نماید (گنگی، ۱۳۹۵). در این پژوهش روش سلسله‌مراتبی با دوروش از روش‌های روتین برآورد خطر زمین‌لرزه مقایسه می‌شود.

زمین‌شناسی گستره

بر پایه نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ گستره دشت بیاض-قائن (نبوی و هوشمندزاده، ۱۳۷۹) لایه‌های برجای گذاشته



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی گستره دشت بیاض قائن (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور).



شکل ۲- نقشه لرزه‌زمین‌ساختی گستره دشت بیاض در خاور ایران (پیکره ماهواره‌ای لندست با ترکیب باندی ۲-۴-۷). گسل‌های اصلی، فعال و لرزه‌زای گستره دشت بیاض (خم‌های قرمز) در خاور ایران از نقشه گسل‌های فعال ایران (حسامی و همکاران، ۱۳۸۲) و سازوکار زمین‌لرزه‌ها از کاتالوگ دانشگاه هاروارد آمریکا برگرفته شده است. پنج‌گوش‌های قهوه‌ای و آبی به‌شماره، زمین‌لرزه‌های تاریخی و پیش‌دستگاهی گستره هستند (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲).

روش تحقیق

(USGS) برای گستره دشت بیاض استخراج شده‌اند. در این بررسی برآورد خطرزمین‌لرزه با روش قطعی، روش آماری و روش AHP انجام شده است. در ادامه ویژگی‌های مهم‌ترین گسل‌های لرزه‌زا در گستره بیان شده و همچنین زمین‌لرزه‌های تاریخی بررسی شده در (جدول ۱) به نمایش گزارده شده است.

در این بررسی نخست به گسل‌های گستره و زمین‌لرزه‌های دستگاهی و زمین‌لرزه‌های تاریخی وابسته به آنها پرداخته شده است. این داده‌ها برپایه آخرین داده‌های دستگاهی و لرزه‌نگاری جدید بانک داده زمین‌لرزه‌ها (پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIIES)، مرکز لرزه‌نگاری جهانی (ISC) و سازمان زمین‌شناسی آمریکا

جدول ۱- زمین‌لرزه‌های تاریخی رخ داده در گستره خاور ایران دشت بیاض.

ردیف	تاریخ	محل زمین‌لرزه	طول جغرافیایی (درجه خاوری)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	بزرگا	رفرنس
۱	۷۶۳	قائنات، طبس و خاف	۵۹/۳	۳۳/۳	۶/۷	۲
۲	می ۱۰۶۶	قهستان و قائنات	۵۹/۲	۳۳/۹	۵/۶	۵ و ۴
۳	۱۲۳۸	گناباد	۵۸/۷	۳۴/۳	۳/۵	۵ و ۴
۴	ژانویه ۱۴۹۳	نوزاد و ماسک	۵۹/۸	۳۳/۰	۰/۷	۲
۵	۱۵ فوریه ۱۵۴۹	خاور قائنات و آبیز	۶۰/۰	۳۳/۷	۷/۶	۳ و ۲
۶	زمستان ۱۶۷۵	گناباد	-	-	-	۵ و ۴
۷	۱۶۷۸	گناباد	۵۸/۷	۳۴/۳	۵/۶	۲
۸	۱۸۴۷	قائنات	-	-	-	۳
۹	دسامبر ۱۸۵۶	-	-	-	-	۱
۱۰	۲۹ نوامبر ۱۹۲۳	جنوب خاوری قائنات	۵۹/۴	۳۳/۶۲	۶/۵	۳
۱۱	ژانویه ۱۹۳۶	آبیز	۵۹/۹۶	۳۳/۶۱	۰/۶	۳
۱۲	فوریه ۱۹۴۱	محمدآباد	۵۸/۸۷	۳۳/۴۱	۱/۶	۲
۱۳	۲۳ سپتامبر ۱۹۴۷	دوست آباد	۵۸/۴۹	۳۳/۶۳	۸/۶	۲
۱۴	اول آوریل ۱۹۶۲	موسویه	۵۸/۸۶	۳۳/۳۷	۸/۵	۲

1- Ambraseys and Tchalenko, (1969), 2- Ambraseys and Melville, (1982), 3- Berberian, et al., (1999), 4- Berberian and Yeats, (1999) and 5- Berberian and Yeats, (2001).

مهم‌ترین گسل‌های گستره گسل آبیز و گسل دشت بیاض

راستای خاوری- باختری در جنوب گسل درونه در خاور ایران جای داشته و سازوکار به‌دست آمده برای آن راستالغز چپ‌بر می‌باشد. جابه‌جایی چپ‌گرد این گسل توسط گسیختگی سطحی آن در زمین‌لرزه‌های آن مشخص شده است. سیمای گسل در روی زمین پیوسته نبوده بلکه از تکه‌های (Segments) نامساوی با ویژگی‌های هندسی یکسان تشکیل شده است. پهنه گسلی دشت بیاض به دو تکه اصلی بنام تکه خیدبس به درازای ۳۵ کیلومتر و تکه نیم‌بلوک به درازای حدود ۳۰

گسل آبیز با درازای ۱۲۵ کیلومتر دارای روند شمال‌شمال باختر - جنوب‌جنوب خاور می‌باشد که در بخش کوتاهی از خود روند شمالی- جنوبی به‌خود می‌گیرد. این ساختار جنبه از شمال به گسل دشت بیاض و از جنوب به گسل‌های گزیک و آواز می‌پیوندد. گسل آبیز با سازوکار راستالغز راست‌بر در خاور رشته کوه‌های سیستان جای دارد. بیشینه جابه‌جایی راستالغز ۲۳۰ سانتی‌متر و بیشینه جابه‌جایی عمودی ۹۰ سانتی‌متر در راستای این گسل گزارش

است. از دیدگاه جغرافیایی این گسل در نزدیکی روستای چاهک، جنوب باختر شهرستان قائن جای دارد. نهشته‌های هولوسن در این گستره با این گسل بریده شده است. زمین‌لرزه ۱۶ فوریه ۱۹۴۱ چاهک با بزرگای $M_b=6/4$ و زمین‌لرزه ۱ آوریل ۱۹۶۲ موسویه با بزرگای $M_s=5/5$ به گمان به این گسل وابسته هستند (واکر و همکاران، ۲۰۰۳).

گسل نوزاد

گسل نوزاد با درازای نزدیک به ۳۰ کیلومتر و راستای شمال باختری- جنوب خاوری در خاور بیرجند (شمال خاور سرپیشه) جای دارد. این گسل فلیش‌های پالئوسن را جابه‌جا نموده است. زمین‌لرزه ۱۰ ژانویه ۱۴۹۳ در گستره نوزاد- ماسک روی این گسل روی داده است (اشتوکلین، ۱۹۷۲).

زمین‌لرزه‌های دستگاهی

زمین‌لرزه ۳۱ آگوست ۱۹۶۸ دشت بیاض

در پی رخداد زمین‌لرزه آگوست ۱۹۶۸ در دره نیم‌بلوک روستاهای زیادی به‌طور کامل ویران شده (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲) و بین ۷ تا ۱۲ هزار نفر از مردم گستره جان خود را از دست دادند. این زمین‌لرزه ۷۰ هزار بی‌خانمان برجای گذاشت (آمبراسیس و چالنگو، ۱۹۶۹). در این زمین‌لرزه گستره دشت بیاض، کاخک و فردوس ویران شدند. نخستین زمین‌لرزه، به بزرگای گشتاوری ۷/۳ در ۹ شهریور ۱۳۴۷ دشت بیاض، خضری، کاخک و روستاها و شهرهای پیرامون را لرزاند. فردای آن روز، در بامداد ۱۰ شهریور ۱۳۴۷ شهر فردوس با زمین‌لرزه‌ای به بزرگای گشتاوری ۶/۴ ویران شد. بیش‌ترین اندازه جابه‌جایی چپ‌گرد گسل نزدیک به ۴/۵ متر بوده و بیش‌ترین اندازه جابه‌جایی شاقولی نزدیک به ۲/۵ متر مشاهده شده است (آمبراسیس و چالنگو، ۱۹۶۹).

زمین‌لرزه ۲۷ نوامبر ۱۹۷۹

این زمین‌لرزه (بنیاباد) با بزرگای $M_w=7/1$ نزدیک به ۶۰ کیلومتر گسیختگی سطحی در راستای بخش

کیلومتر و شمار زیادی تکه کوچک به درازای کم‌تر از ۵ کیلومتر تقسیم شده که دارای ویژگی‌های پیچیده‌ای می‌باشد. عناصر ریخت‌زمین‌ساختی فراوانی در راستای تکه‌های این گسل مشاهده شده و اندازه‌گیری شده‌اند که از آنها می‌توان به‌عنوان نشان‌گرهای مهمی برای ارزیابی رفتار دیرینه‌لرزه‌خیزی گسل دشت بیاض نام برد (چالنگو و بربریان، ۱۹۷۵).

گسل فردوس

گسل فردوس دارای روند شمال باختری- جنوب خاوری با شیب به‌سوی شمال خاور بوده و در باختر دشت بیاض جای دارد. این گسل از چندین گسل رانده تشکیل شده است. کوه سیاد در فرادپواره این گسل جای دارد، که ارتفاع زیاد آن بیان‌گر جنبش این گسل می‌باشد. این گسل نهشته‌های ترشیری و کواترنری را بالا رانده و چین داده است (واکر و همکاران، ۲۰۰۳). جابه‌جایی گسل رانده فردوس به سوی باختر در رشد پهنه گسلی راستالغز دشت بیاض نقش مهمی دارد (واکر و همکاران، ۲۰۰۳). زمین‌لرزه ۱۹۶۸ (۱۰ شهریور ۱۳۴۷) فردوس با بزرگای $M_s=6/4$ در پی جنبش این گسل رخ داده‌اند.

گسل دوست‌آباد

گسل دوست‌آباد در باختر شهر قائن جای داشته و دارای سازو کار راستالغز راست‌بر می‌باشد. جابه‌جایی افقی به‌اندازه ۱ متر و جابه‌جایی شاقولی ۸۰-۳۰ سانتی‌متر از این گسل گزارش شده است. به‌گمان، زمین‌لرزه ۲۳ سپتامبر ۱۹۴۷ دوست‌آباد با $M_s=6/8$ پیامد جنبش این گسل بوده و گسیختگی این زمین‌لرزه شکاف‌هایی به درازی ۲۰ کیلومتر و با روند ۳۵۰ درجه ایجاد کرده است (واکر و همکاران، ۲۰۰۳).

گسل محمدآباد (چاهک)

گسل محمدآباد دارای درازای ۳۰ کیلومتر بوده و روند شمال‌شمال باختری- جنوب‌جنوب خاوری دارد. سازوکار این گسل، راستالغز راست‌بر می‌باشد. جابه‌جایی شاقولی این گسل ۵۰ سانتی‌متر گزارش شده

خاوری گسل دشت بیاض میان روستاهای چاه‌زندر و بنیاد ایجاد کرد. در این گستره جمعیت کمی ساکن بوده به‌گونه‌ای که خوش‌بختانه زمین‌لرزه جمعیت کمی را تحت تاثیر خود قرار داد. افت شاقولی بیش از ۲/۵ متر و جابه‌جایی تراز بین ۱ تا ۴ متر در پایانه خاوری گسل گزارش شده است (آمبریاسیس و ملویل، ۱۹۸۲).

زمین‌لرزه شمال بیرجند

رو کانون زمین‌لرزه شمال بیرجند (نهم مارچ ۲۰۰۸) برپایه لرزه‌نگاشت‌های برداشت شده در شبکه ملی لرزه‌نگاری باندپهن پژوهشگاه زلزله‌شناسی در مختصات ۳۳/۱۳ درجه عرض شمالی و ۵۹/۲۲ درجه طول خاوری جای دارد. این رویداد در ۱۸ ایستگاه لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه به خوبی ثبت شده است. وب سایت موسسه ژئوفیزیک یک پیش‌لرزه به بزرگای ۳/۲ و پس‌لرزه‌هایی به بزرگای ۳/۷ و ۱/۷ در مقیاس بزرگای ناتلی در گستره گزارش نموده است.

زمین‌لرزه زهان

در ۳ سپتامبر ۲۰۱۲ زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۵/۲ در مقیاس امواج محلی بخش زهان و روستاهای پیرامون آن از توابع شهرستان قائنات استان خراسان جنوبی را لرزاند (IIEES, 2017). روکانون این رخداد توسط مرکز لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران با مختصات ۵۹/۰۹ درجه طول خاوری و ۳۳/۷۴ درجه عرض شمالی در حدود ۱۲ کیلومتری شمال خاوری زهان ۲۷ کیلومتری جنوب آبیز و ۷۵ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان قائنات با ژرفای ۱۲ کیلومتر گزارش شده است. سامانه گسلی آبیز را می‌توان به‌عنوان ساختار گسلی چشمه این رویداد لرزه‌ای به‌شمار آورد. خسارت‌های ناشی از زمین‌لرزه ترک خوردن دیوارهای منازل مسکونی و شکستن شیشه‌ها بوده و خوش‌بختانه تلفات جانی در پی نداشته است. ریزش کوه افین و مسدود شدن جاده بم‌رود پس از زمین‌لرزه از پیامدهای این رخداد لرزه‌ای بوده است.

بحث و نتایج

بررسی خطر زمین‌لرزه به روش آماری

در روش آماری، پیش‌بینی لرزه‌خیزی در گستره، بر پایه ویژگی‌های زمین‌لرزه‌های پیشین و بررسی آماری زمین‌لرزه‌های رخ داده صورت می‌پذیرد. در اینجا بررسی خطر زمین‌لرزه در گستره، ژرفای کانونی، بزرگای زمین‌لرزه و محاسبه دوره‌بازگشت با به‌کارگیری رابطه گونتبرگ-ریشتر (گونتبرگ و ریشتر، ۱۹۵۴) انجام شده است. این روش برآورد خطر، از دقت کم‌تری نسبت به روش قطعی برخوردار است. در اینجا زمین‌لرزه‌ها و خرد لرزه‌ها در یک دوره ۱۱۰ ساله (دوره‌ای که داده‌های لرزه‌ای در ایران موجود است) بررسی می‌شوند.

برای بررسی خطر زمین‌لرزه به روش آماری نیاز است بزرگای زمین‌لرزه‌های رویداده در گستره بر پایه یک واحد یکسان (M_w) محاسبه شود. واحدهای M_s و M_b را برپایه فرمول‌های زیر به M_w تبدیل کرده‌ایم (رابطه ۱).

$$M_w = 1.0 \times M_b + 0.19 \quad (3.5 \leq M_b \leq 6.7) \quad (1)$$

$$M_w = 0.59 \times M_s + 2.46 \quad (3.0 \leq M_s < 6.1)$$

$$M_w = 0.92 \times M_s + 0.51 \quad (6.1 \leq M_s \leq 7.4)$$

$$M_w = 0.54 \times M_L + 2.34 \quad (3.4 \leq M_L \leq 6.3)$$

برای بررسی نرخ رخداد زمین‌لرزه‌ها نسبت به بزرگای آن‌ها در یک دوره ۱۱۰ ساله (۲۰۱۳ - ۱۹۰۳) نزدیک به ۳۰۰ زمین‌لرزه روی داده در گستره که بزرگای بیش از ۳/۰ داشته اند، ارزیابی شده‌اند. فراوانی انباشتی در هر بازه بزرگا در نموداری رسم شده و نزدیک ترین خط ممکن به نقاط در روی نمودار با ضریب همبستگی ۰/۹۷۶۷ درصد برازش داده شد (شکل ۳). نیاز پایه‌ای برای هر کاتالوگ زمین‌لرزه همگن بودن بزرگا و هم‌چنین کامل بودن داده‌ها است. مفهوم کامل بودن این است که داده‌ها باید در بردارنده همه زمین‌لرزه‌های رخ داده در یک دوره زمانی باشند. یک کاتالوگ کامل بایستی کوچک‌ترین زمین‌لرزه‌های روی داده با بزرگای بالاتر از بزرگای کاملی را به گونه کامل گزارش دهد. بزرگای کاملی در هر کاتالوگ بزرگایی است که از آن بزرگا بالاتر آن کاتالوگ کامل می‌شود. بزرگای کاملی از روی خمش در نمودار گونتبرگ - ریشتر بدست می‌آید. در اینجا با تقریب خوبی بزرگای

$$M_w = (\log_{10}(T_r/T) + a) / b \quad (3)$$

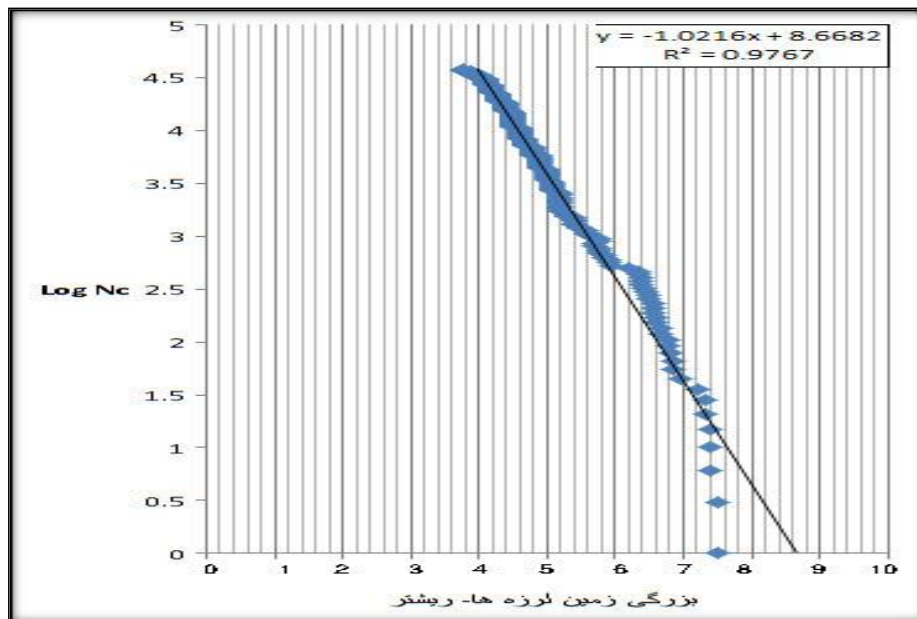
اعداد و ارقام بدست آمده از ارزیابی لرزه‌خیزی گستره به طول دوره آماری، کیفیت داده‌ها، کامل بودن کاتالوگ و دقت در انجام ارزیابی بستگی دارد. بر پایه فرمول بالا T دوره ۱۱۰ ساله و T_r دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های گستره می‌باشند. نتایج پردازش‌های بالا در شکل ۴ آمده است. در پایان می‌توان در روش آماری با به‌کارگیری پیوندهای زیر احتمال رخداد (ρ) زمین‌لرزه‌ای با بزرگای مشخص را برای دوره‌های گوناگون بدست آورد (جدول ۲) (رابطه ۴).

$$n_i = N_i / 110, \rho = 1 - e^{-n_i / t} \quad (4)$$

کاملی این کاتالوگ ۴/۰ می‌باشد (شکل ۳). پس از تکامل و رسم نمودار خطی که بیش‌ترین برآزش را با نقاط روی نمودار دارد، می‌توان اندازه a و b را از روی نمودار بدست آورد. بر پایه نمودار اندازه‌های $a=8.6682$ و $b=1.0216$ می‌باشد. در اینجا رابطه گوتنبرگ-ریشتر به گونه زیر نوشته می‌شود (رابطه ۲).

$$\log_{10} N_c = 8.6682 - 1.0216 * M_w \quad (2)$$

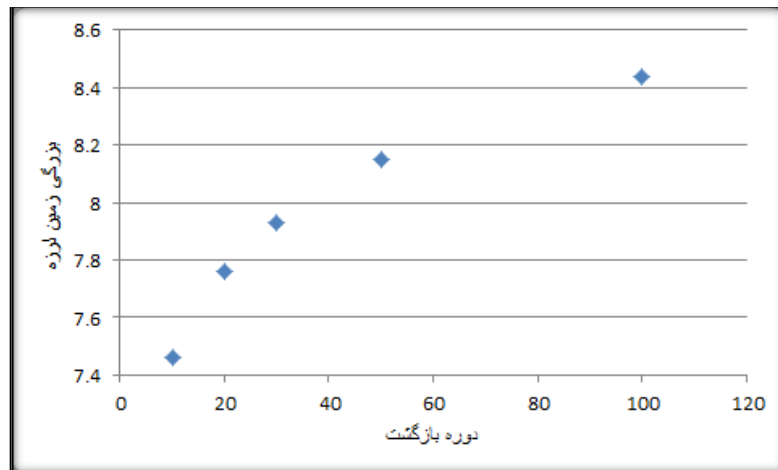
می‌توان به روند رخداد زمین لرزه‌ها در گستره بررسی شده پی برد. در روش آماری ما به بررسی خطر زمین‌لرزه در یک دوره دراز مدت پرداخته‌ایم. بنابر آنچه گفته شد در دوره زمانی معین ($T=110$ سال) و با به‌کارگیری رابطه زیر می‌توان بزرگای زمین‌لرزه‌ها را برای دوره بازگشت‌های گوناگون به‌دست آورد (رابطه ۳).



شکل ۳- نمودار بزرگای زمین لرزه‌ها (M_w) در برابر فراوانی انباشتی آنها ($\log N_c$)

شکل ۴- نمودار بزرگای زمین‌لرزه‌ها و دوره بازگشت آنها.

M_w	۵/۰	۶/۰	۷/۰
(سال) T			
۱۰	۸۹	۸۷/۶۳	۲۹/۵۷
۵۰	۹۹/۹۹	۹۹/۹۹۷	۹۷/۲۶
۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۹۹۹	۹۹/۹۲



جدول ۲ - دوره بازگشت و احتمال رخداد زمین لرزه ها با بزرگای ۵/۰، ۶/۰ و ۷/۰.

M_S و L به شماره، نشان دهنده بزرگا و درازای گسل می باشند. برای ارزیابی بزرگای زمین لرزه روابط تجربی زیادی وجود دارد که شماری از آنها در زیر آمده است سلمونز، (۱۹۸۲) (رابطه ۵).

$$M_S = 1.404 + 1.169 \log_{10} L \quad (\text{گسل امتداد لغز})$$

$$M_S = 2.02 + 1.142 \log_{10} L \quad (\text{گسل رانده})$$

$$M_S = 0.809 + 1.341 \log_{10} L$$

$$M_S = 1.429 \log_{10} L + 4.629$$

$$M_S = 4.38 + 1.49 \log_{10}(L * 0.6)$$

بررسی خطر زمین لرزه به روش قطعی

در روش قطعی با بررسی عوامل زمین لرزه و شواهد فیزیکی وابسته به سازوکار رخداد زمین لرزه در یک گستره، مانند شناسایی گسل و گزینش روابط تجربی موجود میان ویژگی های زمین لرزه، لرزه خیزی گستره ارزیابی می شود. با بهره جستن از پارامترهایی هم چون درازای گسل، ژرفای کانونی زمین لرزه و فاصله گسل از ساخت گاه می توان بیشینه بزرگا را برای هر گسل از روابط تجربی زیر به دست آورد (جدول ۳) که در آنها

جدول ۳ - اندازه M_{max} گسل ها نسبت به ساخت گاه (شهر قائن).

M_{MAX}	فاصله گسل تا ساخت گاه (m)	درازای گسل (m)	سازوکار	نام گسل	ردیف
۷/۵۰	۳۲۳۹۸	۱۶۶۹۲۰	راستالغز چپ بر	دشت بیاض	۱
۷/۸۵	۴۲۲۰	۱۲۷۴۵۶	رانده	فردوس	۲
۷/۳۷	۶۴۷۵۰	۱۲۵۳۱۲	راستالغز راست بر	آبیز	۳
۷/۵۰	۲۹۸۵۳	۲۹۲۶۷	رانده	نوزاد	۴
۷/۱۳	۲۶۵۷۷	۷۹۸۳۷	راستالغز راست بر	محمدآباد	۵
۶/۴۸	۴۳۳۴۰	۲۲۰۳۰	راستا لغز راست بر	دوست آباد	۶

سازوکار رانده با بیشترین M_{max} که نزدیک به ۷/۸ بوده و در بخش باختری شهر قائن جای دارد، بیشترین خطر را نسبت به سایر گسل ها نشان می دهد.

با توجه به اندازه گیری های انجام شده بر روی ۶ گسل اصلی و لرزه زای گستره و اندازه فاصله موجود گسل ها تا شهر قائن که خاستگاه ما در این بررسی می باشد، و با به کارگیری روابط سلمونز، (۱۹۸۲) گسل فردوس با

روش تحلیل سلسله مراتبی AHP

روش تحلیل سلسله مراتبی AHP شامل مراحل زیر است که با به کارگیری داده‌های حاصل از نظرات کارشناسی اساتید متخصص در زمینه زلزله‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساخت انجام می‌شود:

- ۱- ساختن سلسله مراتب و طبقه‌بندی که در راس آن گزینه‌ها و در مراتب پایین‌تر، زیرمعیارها قرار دارند.
- ۲- مقایسات زوجی شامل مقایسه دوبه‌دوی عوامل موجود در هر سطح سلسله مراتب.
- ۳- محاسبات وزن‌های نسبی که با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی وزن نسبی عوامل هر سطح تعیین می‌گردد.

۴- ادغام نسبی و وزن‌دهی نهایی که شامل اهمیت نسبی هر یک از گزینه‌های تصمیم‌گیری است (اخلاص‌پور، ۱۳۹۲).

گزینه‌ها و زیرمعیارهای آنها شامل سازوکار و درازای گسل‌ها، زمین‌ساخت گستره، بزرگا، فاصله از ساخت‌گاه و ژرفای زمین‌لرزه‌ها و استحکام مواد بستری است. در این راستا زمین‌لرزه‌های کاتالوگ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و کاتالوگ آمبراسیس و ملویل، (۱۹۸۲) به کار برده شد. ژرفای زمین‌لرزه‌ها با توجه به ژرفای لایه لرزه‌زا در ایران به سه دسته زیر ۱۰ کیلومتر، میان ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر و بیش از ۲۰ کیلومتر دسته‌بندی شدند. مواد بستری نیز به موادی با استحکام سست (آبرفت‌ها)، نیمه‌سست (کنگومراها) و سخت (دیگر بیرون‌زدگی‌های سنگی) دسته‌بندی شدند. معیار زمین‌ساخت نیز شامل دشت، کوهستان، فرازهای گسلی و چین‌های جوان بود (جدول ۴). هر یک از گزینه‌ها و زیرمعیارهای گفته‌شده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS به گونه لایه‌های اطلاعاتی تهیه شدند. یکی از نقشه‌هایی که با به کارگیری نقشه‌های زمین‌شناسی گستره دشت بیاض تهیه شده برای استحکام مواد بستری بوده و در شکل ۵ آ نشان داده شده است.

لایه‌های اطلاعاتی پس از تبدیل فرمت به رستر و لحاظ نمودن وزن‌های به دست آمده برهم‌نهی شده و یک نقشه نهایی تهیه گردید (شکل ۵ ب). از برتری‌های روش AHP نسبت به دیگر روش‌ها امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای معیارها و زیرمعیارها بوده که کیفیت این روش را می‌سنجد. برپایه نقشه نهایی روش AHP گستره‌های دشت بیاض و فردوس پرخطر و گستره‌های دوست‌آباد، کاخک و نیم‌بلوک کم‌خطر می‌باشند. علت نایک‌نواختی در نقشه ۴ ب برهم‌نهی ناهم‌خوانی معیارهای مختلف با یکدیگر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

۱- روش‌های برآورد خطر زمین‌لرزه هرکدام از دیدگاه داده‌های به کارگرفته شده و روش‌های برآورد، با یکدیگر تفاوت دارند.

۲- گستره‌ای از ایران که مورد مطالعه موردی با روش‌های نام‌برده قرار گرفته است، گستره دشت بیاض و پیرامون آن می‌باشد. این گستره که جز استان لرزه‌زمین‌ساختی ایران مرکزی و خاور ایران به شمار می‌رود، به دلیل رخداد زمین‌لرزه‌های ویران‌گر ۱۹۶۸ دشت بیاض و فردوس، ۱۹۷۹ بنیاباد و ۱۹۹۷ قائن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۳- این گستره هم‌چنین شامل گسل‌هایی هم‌چون گسل نوزاد، گسل دشت بیاض و به‌ویژه گسل فردوس که در صورت جنبش، برپایه برآورد قطعی، می‌توانند زمین‌لرزه‌هایی را با بزرگایی نزدیک به ۷/۸ ایجاد نمایند، می‌باشد.

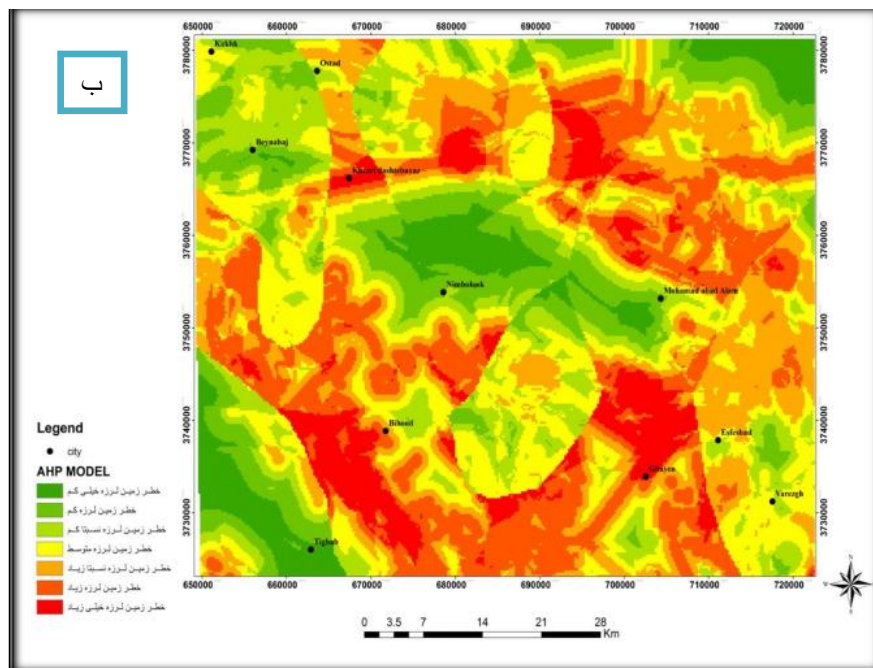
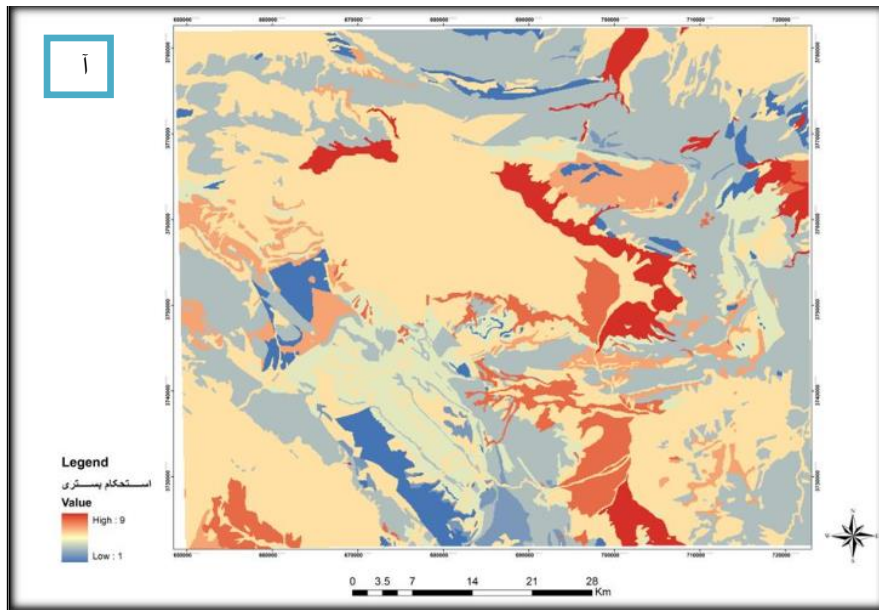
۴- روش آماری بیان می‌کند زمین‌لرزه‌ای با بزرگایی ۷/۰ در یک دوره ۵۰ ساله در گستره روی می‌دهد که خبرچندان دقیقی نیست. شبکه‌های لرزه‌نگاری بزرگای زمین‌لرزه را با مقیاس‌های گوناگون گزارش می‌کنند که این خود باعث کاهش دقت و ایجاد خطاهایی در پردازش‌ها و تبدیل واحدهای بزرگا به هم می‌شود. این خطاها کیفیت و قطعیت در بیان نتایج را کاهش می‌دهد. از طرفی یکسان بودن رفتار لرزه‌ای زمین در

گذشته و آینده که در روش آماری فرض می‌شود، همیشه درست نیست. روش‌هایی مانند روش سلسله‌مراتبی که پارامترهای دیگری مانند ژرفای زمین‌لرزه و استحکام مواد بستری را نیز علاوه بر فاصله گسل تا ساختگاه در نظر می‌گیرند، طبیعتاً نتایج بهتری نیز ارائه می‌دهند. برپایه نقشه نهایی روش AHP گستره‌های گسل دشت بیاض و فردوس پرخطر و گستره‌های دوست‌آباد، کاخک و

نیم‌بلوک کم‌خطر می‌باشند. این روش به‌جای ارائه اعداد و ارقام و ارائه نتایج تعینی به گستره‌های کم‌خطر و پرخطر اشاره نموده و یک برآورد کیفی از خطر زمین‌لرزه ارائه می‌دهد. برخی از پژوهش‌گران به روش‌هایی با برآورد کیفی خطر زمین‌لرزه اعتقاد بیشتری دارند تا برآوردهای کمی و برآورد یک عدد دقیق به‌عنوان یک پارامتر لرزه‌خیزی (پاپازاچوز و همکاران، ۱۹۸۷).

جدول ۴- کل معیارها و زیرمعیارها در روش سلسله‌مراتبی AHP به‌کار برده شده در گستره دشت بیاض.

معیار	زیر معیار	بخش بندی	معیار	بخش بندی
گسل و	درازا	کمتر از ۲۰ کیلومتر	فاصله از گسل	کمتر از ۱۰ کیلومتر
		بین ۲۰ تا ۴۰ کیلومتر		بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر
		بین ۴۰ تا ۶۰ کیلومتر		بین ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر
		بین ۶۰ تا ۸۰ کیلومتر		بین ۳۰ تا ۴۰ کیلومتر
		بین ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتر		بین ۴۰ تا ۵۰ کیلومتر
		بیش از ۱۰۰ کیلومتر		بین ۵۰ تا ۶۰ کیلومتر
	سازوکار	عادی		بین ۶۰ تا ۷۰ کیلومتر
		معکوس		بین ۷۰ تا ۸۰ کیلومتر
		راست‌الغز عادی		بین ۸۰ تا ۹۰ کیلومتر
		راست‌الغز معکوس		بین ۹۰ تا ۱۰۰ کیلومتر
جنبش	نبود لرزه ای	بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر		
	بی لرزه	نهشته های سست		
	جنبها	نهشته های نیمه سست		
زمین لرزه و	بزرگا	بین ۰/۳ تا ۰/۴	زمین ساخت برپایه زمین ریخت شناسی	جنبها
		بین ۰/۴ تا ۰/۵		نسبتا جنبها
		بین ۰/۵ تا ۰/۶		کمی جنبها
		بین ۰/۶ تا ۰/۷		ناجنبها
		بیشتر از ۰/۷		
	ژرفا	کمتر از ۱۰ کیلومتر		
		بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر		
		بیشتر از ۲۰ کیلومتر		



شکل ۵- (آ) نقشه استحکام مواد بستری و (ب) نقشه کلی روش سلسله مراتبی AHP در گستره دشت بیاض.

پیش‌نشانگرهای فیزیکی انجام گرفته است. پیش‌بینی زمین‌لرزه ۱۹۷۵ های چنگ در چین که جان ۱۵۰,۰۰۰ نفر در پی تخلیه شهر نجات یافت، برپایه سه پیش‌نشانگر رفتار حیوانات، پیش‌لرزه‌ها و ژئوالکتریک استوار بود (وانگ و همکاران، ۲۰۰۶).

۶- با روش‌های آماری، تعینی و احتمالی تنها می‌توان یک ارزیابی اولیه از رویداد زمین‌لرزه‌های آینده در یک گستره لرزه‌ای داشت. به بیان دیگر با تکیه بر این روش‌ها نمی‌توان زمین‌لرزه را با قطعیت بالا پیش‌بینی نمود. تنها پیش‌بینی موفق در تاریخ با تکیه بر

along the Sistan suture zone of eastern Iran". *Geophys. J. Int.*, 136, pp671-694.

-**Berberian, M. and Yeats, R.S., (1999)**, "Patterns of Historical Earthquake Ruptures in the Iranian Plateau". *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89: pp120-139.

-**Berberian, M. and Yeats, R.S., (2001)**, "Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian plateau". *J. Struct. Geol.* 23, pp563-584.

-**Gutenberg, B. and Richter, C.F. (1954)**, "Seismicity of the Earth", Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 131 p.

-**Nemati, M., (2017)**, "Probabilistic View of Occurrence of Large Earthquakes In Iran". *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran (Iran, ISSN: 1016-1104, under press)*.

-**Nowroozi, A.A. and Mohajer- Ashjai, A., (1985)**, "Fault movements and tectonics of eastern Iran: boundaries of the Lut plate". *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 83, pp215-237.

-**Nowroozi, A.A. and Mohajer-Ashjai, A., (1980)**, "Faulting of Kurizan and Koli (Qaenat Iran) earthquakes of November 1979: a field report, Iran". *Pet. Inst. Bull.*, 78, pp8-20.

-**Papazachos BC., Papadimitriou EE., Kiratzi AA., (1987)**, "Papaioannou IChA., Karakisis GF. Probabilities of Occurrence of Large Earthquakes in the Aegean and Surrounding Area During the Period 1986-2006". *Pure Appl. Geophys.* 125(4): pp597-612.

-**Selmons, B., (1982)**, "Determination of Design Earthquake Magnitude for Mocozonation, National Science Foundation". *Washington*, 3, pp119-130.

-**Tchalenko, J. S. and berberian, M., (1975)**, "Dasht-e Bayaz fault, Iran: Earthquake and earlier related structures in bed rock". *Geological Society of America Bulletin*, 86, pp703-709.

-**Wang, K., Chen, Q.F., Sun, S. and Wang, A., (2006)**, "Predicting the 1975 Haicheng earthquake". *Bull. Seismol. Soc. Am.* 96, pp757-795.

-**Walker, R., Jackson, J. and Baker, C., (2003)**, " Surface expression of thrust faulting in eastern Iran: source parameters and surface deformation of the 1978 Tabas and 1968 Ferdows earthquake sequences". *Geophys. J. Int.*, 152, pp749-765.

-**Walker, R., Jackson, J. and Baker, C., (2004)**, "Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran". *Geophys. J. Int.*, 157, pp265-282.

-**Walker, R.T, Bergman, E.A, Szeliga, W and Fielding, E.J (2011)**, Insights into the 1968-1997 Dasht-e-Bayaz and Zirkuh earthquake sequences, eastern Iran, from calibrated relocations, InSAR and high-resolution satellite

منابع

- اخلاص پور، پ.، (۱۳۹۲)، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در استان کرمان با کاربرد GIS و روش‌های چند معیاری و فازی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهیدباهنر کرمان، ۲۰۵ ص.

- حسامی، خ.، جمالی، ف. و طبسی، م.، (۱۳۸۲)، "نقشه گسل‌های فعال ایران". پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، نقشه داخلی.

- رشیدی، ا.، خطیب، م.م.، جمور، ی.، موسوی، م. و نعمتی، م.، (۱۳۹۶)، "برآورد پارامترهای دینامیکی زمین‌لرزه‌ها و نرخ گشتاور ژئودتیک در جنوب و باختر بلوک لوت، خاور ایران". نشریه علمی- پژوهشی پژوهش‌های دانش زمین (دانشگاه شهید بهشتی)، سال هشتم، شماره ۳۰، تابستان ۹۶، ۱۷-۱.

- گنگی، ع.، (۱۳۹۵)، "سامانه هشدار و تخمین سریع خسارات زلزله: روشی جدید در تخمین سریع خسارات و تلفات زلزله در ایران". نشریه زمین‌شناسی، ژئوتکنیک، سال ۹۵(۱۲)، شماره ۲، ۲۳۰.

- شعاعی، ف. و رادفر، ش.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی خطر لرزه‌خیزی شهر بردسیر به روش آماری و تحلیلی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)"، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی، ۹ ص.

- نبوی، م.، هوشمندزاده، ع.، (۱۳۷۹)، "نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ دشت‌بیاض"، شماره ۷۰۵۶. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

- نعمتی، م.، اکبرزاده، ا. و معین‌الدینی، ا.، (۱۳۹۵)، "ارزیابی خطر زمین‌لرزه برای شهر قزوین و گستره پیرامون". فصل‌نامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی زمین‌پویا (سال چهارم، شماره پیاپی ۱۶)، ۴(۳)، ۴۱-۵۱.

-**Ambraseys, M.M. and Melville, C.P., (1982)**, "A History of Persian Earthquakes" [M], London Cambridge University press, 219 p.

-**Ambraseys, N. and Tchalenko J.S., (1969)**, "The Dasht-e-Bayaz (Iran) earthquake of August 31, 1968: A field report". *Bull. Seism. Soc. Am.* 59: pp1751- 1792.

-**Berberian, M., (1976)**, "Contribution to the seismotectonics of iran (part 2)". [J]. *Rep. Geol. Surv. Iran*, 39, 516 p.

-**Berberian, M., Jackson, J. A., Qorashi, M., Khatib, M. M., Priestley, K., Talebian, M. and Ghafari-Ashtiani, M., (1999)**, "The 1997 May 10 Zirkuh (Qa'enat) earthquake (Mw7.2): faulting

imagery.(Report)". Geophysical Journal International. 187.3-2011-12-01. 1577 (27 p).
-Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., (1994), "New Empirical Relationship among Magnitude, Rupture Length, Rupture Area and Surface Displacement". Bulletin of the Seismological Society of America, 84, pp974-1002.

Comparison of methods of seismic hazard assessment, case study: Dasht-e-Bayaz area, E Iran

Akbar Irannejad Parizi¹, Majid Nemati^{2*}, Vahid Jafari³, Najme Sifi⁴

1,4-Graduated Master of Science (MSc) in Space Engineering at Kerman University of Technology

2-Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science and Earthquake Research Center, Shahid Bahonar Kerman University

3-Graduated Master of Geophysics - Seismology at Islamic Azad University, Kerman Branch

Abstract

Dasht-e-Bayaz region is one of the most seismically active areas in eastern Iran, which has relatively long and active faults. 1968 and 1979 catastrophic earthquakes ($M_w > 7.0$) in this area show that the area has experienced significant damages. Using existing maps including active faults map and satellite images and Seismological catalog of International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, seismotectonic map was prepared and seismic hazard was investigated using deterministic and probabilistic methods. Also, for AHP method, special questionnaire was designed, which answered with seismologists and the seismic hazard was evaluated using AHP method. The deterministic and probabilistic results show that there is probability of occurrence of an earthquake with magnitude of 7.6 during a 20-year period in Dasht-e-Bayaz and Qaen regions. Also, using the two above methods the highest risk is related to Ferdows thrust fault within the investigated active faults in the Dasht-e Bayaz-Qaen area. Although, the AHP method, which considers hypocentral and epicentral distances of the earthquakes, mechanism of the faults and kind of the bedrock, introduces Dasht-e-Bayaz fault region as a high risk area.

Keywords: Seismicity, Eastern Iran, Hazard assessment, Statistical and deterministic methods and AHP method.