

بررسی خطر زمین لرزه - گسلش در گستره چهارگوش کرمان

مهران آرین

گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۸۸/۹/۱۶

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۱۶

چکیده

مقدمه: گستره چهارگوش کرمان در بخش جنوب باختری دشت لوت از منطقه ایران مرکزی که شاخصه آن زمین لرزه های مهم است، واقع گردیده است.

هدف: ارزیابی وضعیت خطر زمین لرزه - گسلش در گستره چهارگوش کرمان و تهیه نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لرزه.

روش بررسی: بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات سنجش از دور، گسل های اصلی کواترنری و جنبه مورد شناسایی و بررسی قرار گرفتند و به دنبال آن تاریخچه لرزه‌خیزی منطقه تحلیل گردید. برای ارزیابی خطر زمین لرزه در گستره مورد بررسی نیز، نرم افزار Seisrisk III مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج: سامانه گسلی شمال، شمال باختری - جنوب، جنوب خاوری گوک به عنوان مهم ترین سرچشمه لرزه‌زا در گستره چهارگوش کرمان مطرح شد و نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لرزه تهیه گردیدند.

نتیجه گیری: چهارگوش کرمان بخش فعالی از منطقه ایران مرکزی می باشد و بیشینه شتاب زمین لرزه در آن، شصت و پنج صدم گال محاسبه شده است.

واژه‌های کلیدی: لرزه‌خیزی، سنجش از دور، خطر زمین لرزه، گسل، کرمان

mehranarian@yahoo.com

مقدمه

گستره چهارگوش کرمان در بردارنده بخشی از باختر بلوک لوت و حاشیه اطراف آن می‌باشد. این گستره در منطقه ایران مرکزی از تقسیم بندی نبوی^(۱) و افتخارنژاد^(۲) قرار می‌گیرد. به طور کلی بلوک لوت، یک بخش نامنظم شمالی - جنوبی در شرق ایران است که در باختر منطقه فلیش و خاور گسل نایبند و ارتفاعات شتری قرار دارد. اشتوکلین^(۳) بلوک لوت را توده‌ای مستحکم و کشیده با طول ۹۰۰ کیلومتر می‌داند و استحکام آن را به تراکم و سخت‌شدگی سنگ‌های دگرگون شده زیرساخت آن در طی کوهزایی کیمرین پیشین (تریاس میانی) نسبت می‌دهند. اگر چه اثرات این کوهزایی در تمام نقاط ایران به جز زاگرس دیده می‌شود ولی در ایران مرکزی و بلوک لوت به ویژه در کوه‌های شتری و شمال ایران شدیدتر بوده است. برخی از محققین نظیر علوی^(۴) ایران مرکزی را به صورت بلوکی در نظر گرفته‌اند که در بخش خاوری، گسل نایبند و ارتفاعات شتری آن را به دو بلوک کوچک‌تر لوت در خاور و طبس در باختر تقسیم نموده‌اند. نبوی نیز با قبول لوت به عنوان یک بلوک، تمام واحدهای چین خورده با سن ژوراسیک یا جوان‌تر را بیرون از بلوک لوت قرار می‌دهد ولی بربریان^(۵) بلوک لوت را مقاوم ندانسته و معتقد است که به جای بلوک لوت باید از اصطلاح، ناحیه لوت استفاده شود. لیکن مطالعات جدیدتر بربریان^(۶) سبب شد تا ایشان، به دلیل فرازای کم و فقدان لرزه‌خیزی مشخص در دشت لوت، آن را به عنوان یک بلوک نسبتاً صلب در منطقه دگرشکلی خاور ایران در نظر بگیرند.

مواد و روش‌ها

در این بخش همراه با گردآوری داده‌های موجود و بررسی‌های روی زمین، گسل‌های گستره چهارگوشه کرمان با مروری کامل بر کارهای پیشین ارائه شده‌اند. نقشه گسل‌های کواترنری گستره طرح ترسیم شده (شکل ۱) و توان لرزه‌زایی آن‌ها با استفاده از روابط تجربی مورد اشاره در ذیل برآورد شده است (جدول ۱).

$$M = \text{Log}l + 5.4 \text{ (Mohajer Ashjai, Nowroozi, 1978)} - 1 \text{ (km)}$$

$$M_s = 1.404 + 1.169 \text{Log}l \quad \text{Log}l = -0.126 + 0.675 M_s \text{ (Nowroozi, 1985)} - 1 \text{ (m)}$$

$$\text{(Slemmons, 1982)} - 1 \text{ (m)}$$

گسل‌های با پیشینه لرزه‌خیزی شناخته شده

در این بخش ویژگی‌های گسل‌های کواترنری که دارای پیشینه شناخته شده لرزه‌خیزی باشند، آورده شده است.

جدول ۱ - برآورد توان لرزه زایی مهگسل های گستره کرمان با استفاده از روابط تجربی مورد اشاره در متن.

ردیف	نام گسل	درازای گسل (km)	درازای شکستگی گسل (km)	M,N (Ms)	Sel. (Ms)	Now. (Ms)	میانگین وزنی (Ms)
۱	باختر سیرچ	۲۵	۱۳	۶,۵	۶,۲	۶,۳	۶,۳
۲	باختر نایبند	۳۴	۱۷	۶,۶	۶,۳	۶,۵	۶,۵
۳	بلبلوییه	۲۰	۱۰	۶,۴	۶,۱	۶,۲	۶,۲
۴	پاسیب	۱۱	۵	۶,۱	۵,۷	۶	۵,۷
۵	چترود	۳۰	۱۵	۶,۶	۶,۳	۶,۴	۶,۴
۶	حرجند	۲۷	۱۴	۶,۵	۶,۳	۶,۴	۶,۳
۷	خاور کرمان	۳۰	۱۵	۶,۶	۶,۳	۶,۴	۶,۴
۸	درب آسیا	۱۸	۹	۶,۴	۶,۰	۶,۲	۶,۰
۹	دهزان	۳۰	۱۵	۶,۶	۶,۳	۶,۴	۶,۴
۱۰	دهران	۳۵	۱۷	۶,۶	۶,۳	۶,۵	۶,۵
۱۱	دهو	۵۲	۲۶	۶,۸	۶,۶	۶,۷	۶,۷
۱۲	رودخانه شهداد	۳۵	۱۷	۶,۶	۶,۳	۶,۵	۶,۵
۱۳	شهداد	۱۰۰	۵۰	۷,۱	۶,۹	۷,۰	۷,۱
۱۴	کوه سور	۱۵	۸	۶,۳	۶,۰	۶,۱	۶,۰
۱۵	کوهبنان	۲۱۷	۱۰۰	۷,۴	۷,۲	۷,۴	۷,۶
۱۶	کوه ملخ خورده	۱۳۰	۷۰	۷,۲	۷,۱	۷,۲	۷,۴
۱۷	گدار لکرکوه	۸۰	۴۰	۷,۰	۶,۸	۶,۹	۷,۰
۱۸	گوک	۱۶۰	۸۰	۷,۳	۷,۱	۷,۳	۷,۴
۱۹	لکرکوه	۱۶۰	۸۰	۷,۳	۷,۱	۷,۳	۷,۴
۲۰	نایبند	۳۰۰	۱۰۰	۷,۴	۷,۲	۷,۴	۷,۶
۲۱	نهضت آباد	۶۰	۳۰	۶,۹	۶,۶	۶,۸	۶,۸

گسل کوهبنان، فشاری با شیب به سمت شمال خاوری است و سبب راندگی سنگ‌های ژوراسیک و جوانتر (از سمت شمال خاوری) بر روی نهشته‌های آبرفتی جوان کواترنری شده است.

گسل فشاری کوهبنان، افزون بر سازوکار فشاری، دارای جنبش راستالغز راست بر نیز می‌باشد. مولفه راستالغز توسط آبراهه‌های بریده شده و تحلیل سازوکار ژرفی زمین‌لرزه‌ها به اثبات رسیده است. به هر حال گسله کوهبنان را می‌توان در محدوده مورد مطالعه به دو تکه ساختاری بازرگان و توکل‌آباد تفکیک نمود. این دو تکه به وسیله گسلی انتقالی یا رمپ جانبی باباکمال با راستای شمال‌خاوری - جنوب باختری (پوشیده شده به وسیله نهشته‌های آبرفتی کواترنری) از هم دیگر جدا گشته‌اند.

گسل جوان کوهبنان، گسلی است فعال و لرزه‌زا ولی دور بودن آن از مراکز آبدی ها و کم بودن جمعیت در مسیر آن موجب شده تا داده‌های کمی از این گسل در دست باشد. دست‌کم، زمین‌لرزه‌های ویرانگر ذیل به سبب جنبش گسل کوهبنان روی داده‌اند.^(۸)

زمین‌لرزه ۱۸۵۴/۱۱ هوریجان (Io= VII+, Ms= 5.8)

زمین‌لرزه ۱۸۶۴/۱/۱۷ چترود (Io= VIII, Ms=6)

زمین‌لرزه ۱۸۷۱/۸/۴ چترود (Io= VIII)

زمین‌لرزه ۱۸۹۷/۵/۲۷ چترود (Io= VIII, Ms= 5.7)

زمین‌لرزه ۱۹۱۳/۴/۲۵ چترود (Io= VII, Ms= 4.5)

زمین‌لرزه ۱۹۳۷/۲/۱۳ باب‌تنگل (Io= VI, Ms= 4.7)

زمین‌لرزه ۱۹۷۷/۹/۱۷ ده‌زوئیه (mb=4.8, Ms= 5.6)

زمین‌لرزه ۱۹۷۷/۱۱/۱۰ ده‌زوئیه (Io= VI, mb= 4.8)

زمین‌لرزه ۱۹۷۷/۱۲/۱۹ باب‌تنگل (Io= VII, mb= 5.8, Ms= 5.7)

پهنه گسلی گوک

پهنه گسلی گوک یا گلباف، یک پهنه گسلی با راستای شمال، شمال باختری، جنوب - جنوب خاوری و درازای ۱۶۰ کیلومتر است که حدود ۶۰ کیلومتر آن در محدوده مورد مطالعه واقع می‌باشد. پهنه گسلی گوک را به عنوان یک سامانه گسلی مطرح ساخته‌اند.^(۸) این گسل در آغاز از سوی^(۹)، گسل سروستان نامیده شده و سپس آن را با نام گسل گوک (نام قدیمی شهرستان گلباف) و به عنوان گسل کواترنری و جنبه معرفی نمودند.^(۱۰) گسل گوک از شمال چهارفرسخ آغاز و تا جنوب سروستان ادامه یافته است.

سامانه گسلی گوک در واقع یک دره خطی باریک است و هفت فرونشست ژرف را به هم متصل نموده است که از شمال به جنوب عبارتند از: چهارفرسخ، جوشان - هشتادان، فندقا، گلباف، جنوب گلباف، شمال خانه‌خاتون و خانه‌خاتون.^(۱۱)

ارتفاع در باختر سامانه گسلی گوک تا ۴۲۰۰ متر در خاور آن تا ۲۷۰۰ متر می‌رسد و ارتفاع کف دره نیز ۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متر می‌باشد. دره گسلی در مقطع عرضی به صورت نامتقارن بوده و دیواره خاوری آن پرشیب‌تر است (شکل ۲).

در منطقه گلباف، کوه‌های سکنج (متشکل از سنگ‌های چین خورده مزوزوئیک و ترشیاری) در باختر و کوه‌های آب‌باریک (متشکل از سنگ‌های فشرده چین خورده و گسلیده کرتاسه و اتوسن) در خاور سامانه گسلی گوک جای دارند.⁽⁷⁾ به طور کلی ایشان، ساختار کلی سامانه گسلی گوک را به صورت یک راندگی دارای هندسه رمپ و فلت در مقطع عرضی پیشنهاد نموده‌اند که حرکات راستالغز راست بر آن منطبق شده است. جنبش گسل جنباً و لرزه‌زای گوک سبب رویداد زمین‌لرزه‌های ذیل گردیده است.⁽⁸⁾ زمین‌لرزه ۱۸۷۷ سیرچ (I0=VII, Ms=5.6)

زمین‌لرزه	۱۹۰۹/۱۰/۲۷	جوشان	(I0=VII, Ms=5.6)
زمین‌لرزه	۱۹۰۹/۱۱/۶	جوشان	(I0=VII, Ms=5.0)
زمین‌لرزه	۱۹۱۱/۴/۲۹	فیض‌آباد	(I0=VII, mb=5.6, Ms=6.4)
زمین‌لرزه	۱۹۴۸/۷/۵	گوک	(I0=VII, mb=5.9, Ms=6.0)
زمین‌لرزه	۱۹۶۹/۹/۲	سیرچ	(I0=VI, mb=5.3, Ms=5.2)
زمین‌لرزه	۱۹۸۱/۶/۱۱	گلباف	(I0=VIII, mb=6.1, Ms=6.7)
زمین‌لرزه	۱۹۸۱/۷/۲۸	سیرچ	(I0=IX, mb=5.7, Ms=7.1)
زمین‌لرزه	۱۹۸۹/۱۱/۲۰	جنوب گلباف	(I0=VII, mb=5.6, Ms=5.7)
زمین‌لرزه	۱۹۹۸/۳/۱۴	فندقا	(I0=VIII+, mb=5.9, Ms=6.9)
زمین‌لرزه	۱۹۹۸/۱۱/۱۸	چهارفرسخ	(I0=VI+, mb=4.9, Ms=5.1)



شکل ۲- نمایی از پهنای دره گسلی گوک در خاور سیرچ که در آن سازند هجدک و سنگ‌های کرتاسه به ترتیب دیواره‌های سمت راست و چپ آن را تشکیل داده‌اند. میدان دید از جنوب باختری (سمت راست) تا خاور (سمت چپ) است.



در شکل ۳- نمایی از ویرانه‌های برج‌مانده از شهر قدیمی شهداد (در جنوب خاوری شهر کنونی شهداد) به سبب رویداد زمین‌لرزه‌های ویرانگر ۱۹۸۱ سپرچ و گلباف قابل مشاهده است.

زمین‌لرزه ۱۴ مارس ۱۹۹۸ فندقا با بزرگی گشتاوری $M_w=6.57$ بزرگ‌ترین فعالیت لرزه‌ای اخیر سامانه گسلی گوک است که بدون هیچ گونه پیش‌لرزه هشدار دهنده‌ای در ساعت ۲۳ و ۱۰ دقیقه به وقت محلی به وقوع پیوست. در اثر این زمین‌لرزه، ۵ نفر در گلباف کشته شدند، ۱۵ نفر زخمی و ۷ روستا آسیب دیدند. زمین‌لرزه یادشده سبب ۲۳ کیلومتر گسلس سطحی گردید که در شکل ۴، نمایی از شکستگی‌های اصلی، ترک‌ها و شکاف‌های حاصل از آن قابل مشاهده است.

مه گسل‌های گستره کرمان

در این بخش، گسل‌های بنیادی جوان با درازای بیش از ۱۰ کیلومتر بررسی شده است. سن جوان، درازای قابل توجه و قرارگیری رومرکز زمین‌لرزه‌های ثبت شده در اطراف گسل‌ها، آن‌ها را در گروه گسل‌های لرزه‌زا و خطرناک گستره چهارگوش کرمان قرار می‌دهد (جدول ۱).

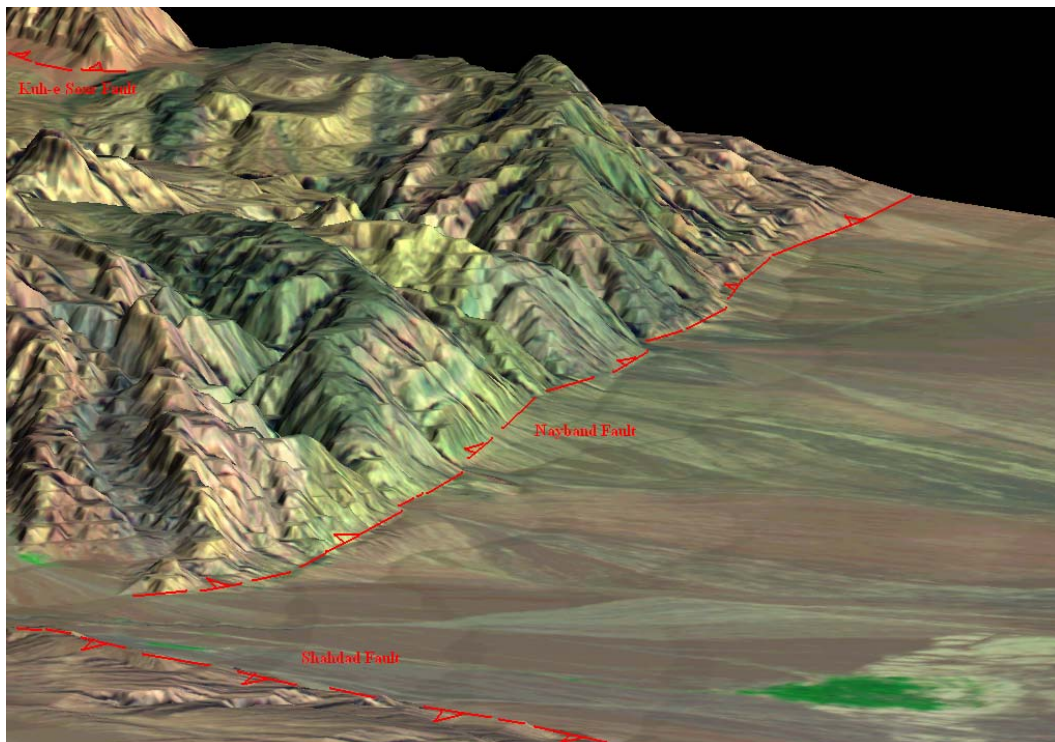


شکل ۴- نمایی از شکستگی های حاصل از زمین لرزه ۱۹۹۸ در پلایای فندقا واقع در شمال آن (دید به سمت جنوب).

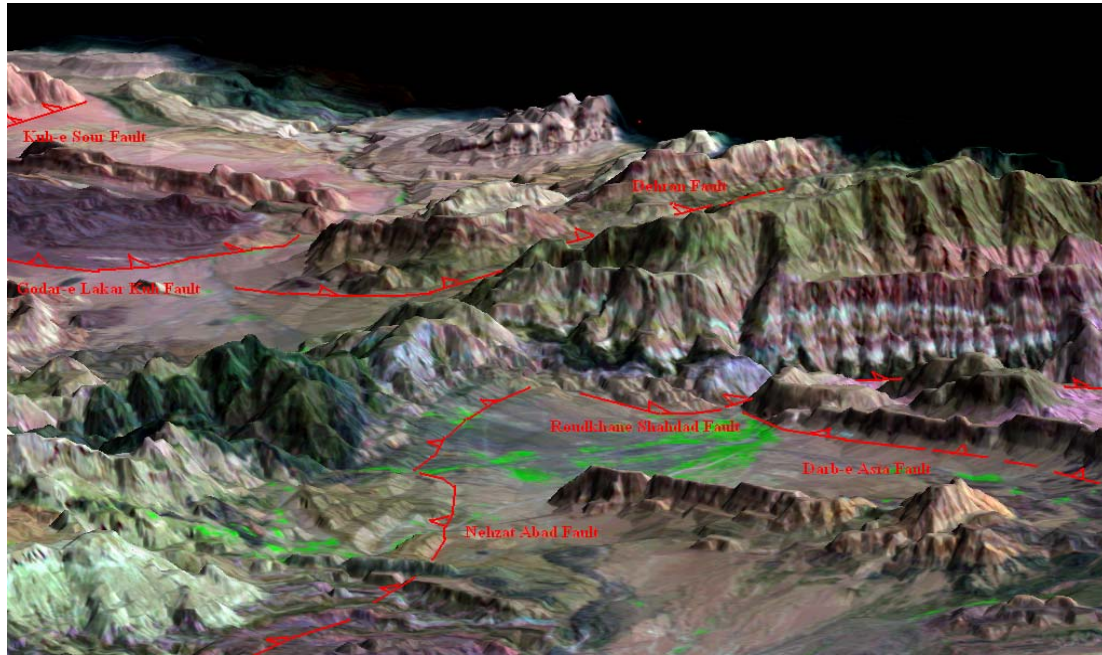
سنجش از دور

در این بخش، ابتدا داده‌های ماهواره‌ای سنجنده Landsat T.M. مورد پردازش رقومی قرار گرفتند. سپس با به کارگیری فیلتر Edge Enhancement که از نوع فیلترهای بالاگذر (High Pass) می‌باشد لبه‌ها بر روی داده‌های باندهای ۲ - ۴ - ۷ و ۱ - ۴ - ۷ بارز شدند تا پدیده‌های خطی بهتر شناسایی گردند. از این فیلتر برای تشخیص گسل‌ها استفاده شده است.

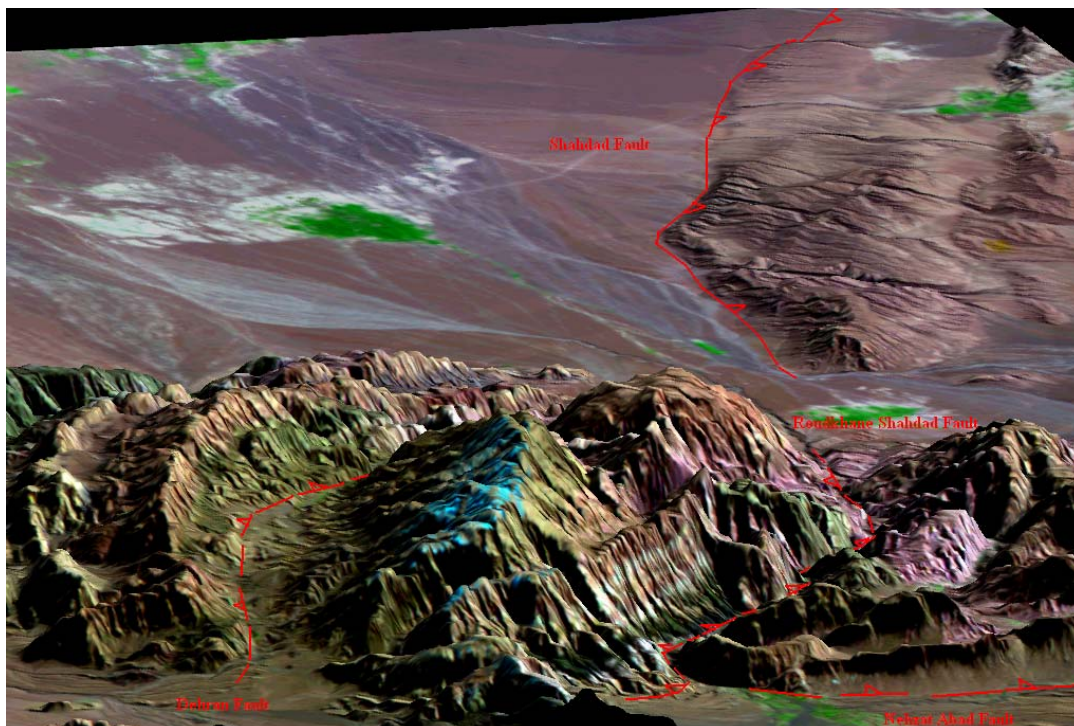
در شکل‌های ۵ الی ۸، الگوهای سه بعدی بخش‌هایی از گستره چهارگوش کرمان نمایش داده شده‌اند.



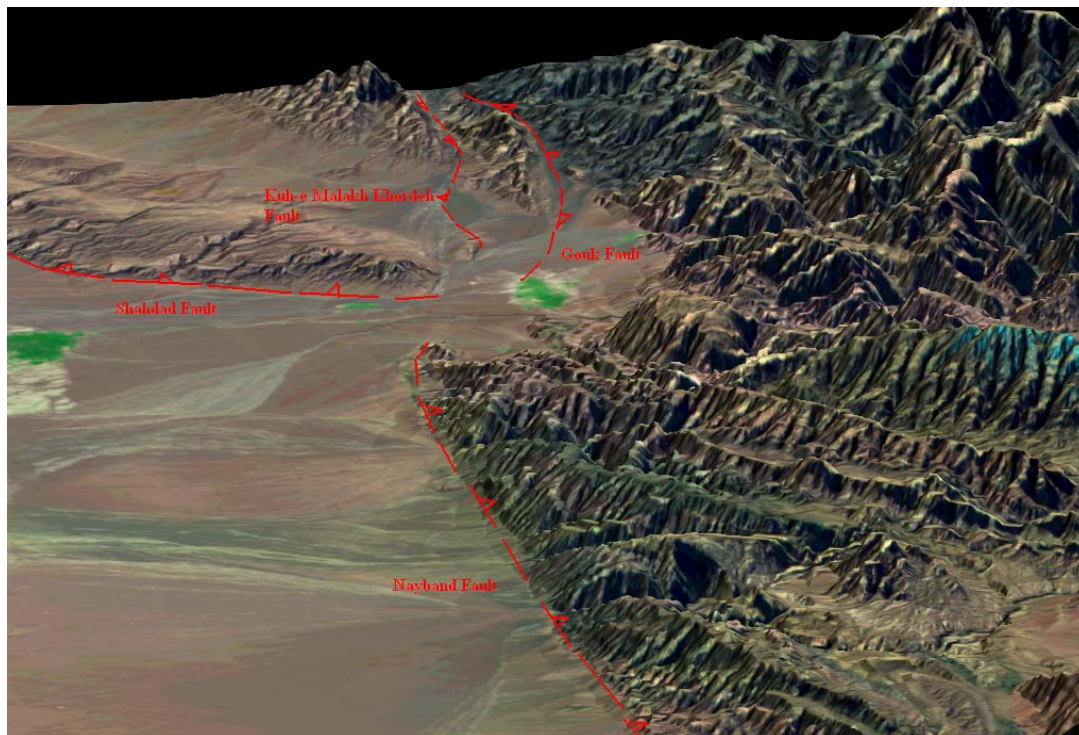
شکل ۵- نمای به سمت شمال باختری از بخش جنوبی گسل نایبند (وسط) و راندگی شهداد (پایین) و پایانه جنوبی گسل کوه سور (بالا سمت چپ) با ترکیب رنگی ۲ - ۴ - ۷ و اغراق قائم ۱/۵ برابر.



شکل ۶- نمای به سمت شمال خاوری از گسل نهضت آباد (پایین سمت چپ)، پایانه شمال باختری گسل رودخانه شهداد (پایین وسط) و گسل درب آسیا (پایین سمت راست)، گسل دهران (بالا وسط)، پایانه جنوبی گسل های گودار لکرکوه (وسط سمت چپ) و کوه سور (بالا سمت چپ) با ترکیب رنگی ۲ - ۴ - ۷ و اغراق قائم ۱/۵ برابر.



شکل ۷- نمای به سمت خاور از گسل های شهداد (بالا)، نهضت آباد (پایین سمت راست)، رودخانه شهداد (پایین وسط) و دهران (پایین سمت چپ) با ترکیب رنگی ۲ - ۴ - ۷ و اغراق قائم ۱/۵ برابر.



شکل ۸- نمای به سمت جنوب باختری از گسل های ناینبد (پایین) و گوک، کوه ملخ خورده و شهداد (بالا به ترتیب از سمت راست) با ترکیب رنگی ۲ - ۴ - ۷ و اغراق قائم ۱/۵ برابر.

لرزه خیزی گستره‌ی چهارگوش کرمان

در این بخش داده‌های موجود در باره لرزه خیزی گستره چهارگوش کرمان از منبع‌های گوناگون گردآوری و مورد بررسی لرزه‌زمین‌ساختی قرار گرفته است.

زمین لرزه‌های باستانی

همان‌طور که می‌دانیم زمین‌لرزه‌های باستانی (پیش از تاریخ)، از بررسی‌های باستان‌شناسی سازه‌های باستانی پیش از تولد مسیح استنتاج می‌گردند. لذا از آن جا که پژوهش‌های باستان‌شناسی به صورت کامل و در تمامی گستره ایران زمین به انجام نرسیده است، آگاهی ما از زمین‌لرزه‌های باستانی بسیار اندک و تصادفی است. به همین خاطر بررسی‌های انجام پذیرفته نشان داده‌اند که هیچ گونه داده لرزه‌ای باستانی مربوط به گستره چهارگوش کرمان در دسترس نیست.

زمین لرزه‌های تاریخی

در این بخش نتایج حاصل از داده‌های لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های تاریخی (پیش از سده بیستم) گستره چهارگوش کرمان که قدیمی‌ترین آن‌ها به سال ۱۸۵۴ میلادی بازمی‌گردد^(۱۲)، به اختصار ارائه شده‌اند.

۱- بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی اندک (۵ مورد) موجود در گستره چهارگوش کرمان نشان داد که بزرگ‌ترین زمین‌لرزه روی داده در این گستره، زمین‌لرزه ۱۷ ژانویه ۱۸۶۴ میلادی چترود با بزرگی‌های برآورد شده $M_s = 6.0$ و شدت $M_w = 5.9$ و $I_0 = VII+$ بوده که در باختر حرجند روی داده است.

۲- قدیمی‌ترین مه‌لرزه ثبت شده، مربوط به ماه نوامبر ۱۸۵۴ میلادی بوده که به گمان ناشی از کارکرد راندگی رودخانه شهداد در بخش شمال باختری آن است.

۳- با توجه به بررسی‌های انجام پذیرفته، رو مرکز مه لرزه‌های ۱۸۶۴، ۱۸۷۱ و ۱۸۹۷ در پایانه باختری راندگی دهو قرار می‌گیرند که این امر، گویای فعالیت و گسترش جانبی (به سمت باختر) این راندگی است.

۴- منطقه گسلی گوک را نیز باید به واسطه رویداد لرزه‌ای ۱۸۷۷ میلادی، در زمره گسل‌های مسبب زمین‌لرزه‌های تاریخی شناخته شده قرار دارد.

۵- فعالیت پایانه جنوب خاوری گسل کوهبنان، به گمان از نوع بدون لرزه و شاید به صورت چین‌خوردگی در فرادیواره گسل است.

۶- کم بودن جمعیت و پراکندگی بسیار زیاد نواحی مسکونی در حوالی گسل نایبند، ممکن است عامل عدم ثبت مه لرزه‌های مرتبط با آن باشد.

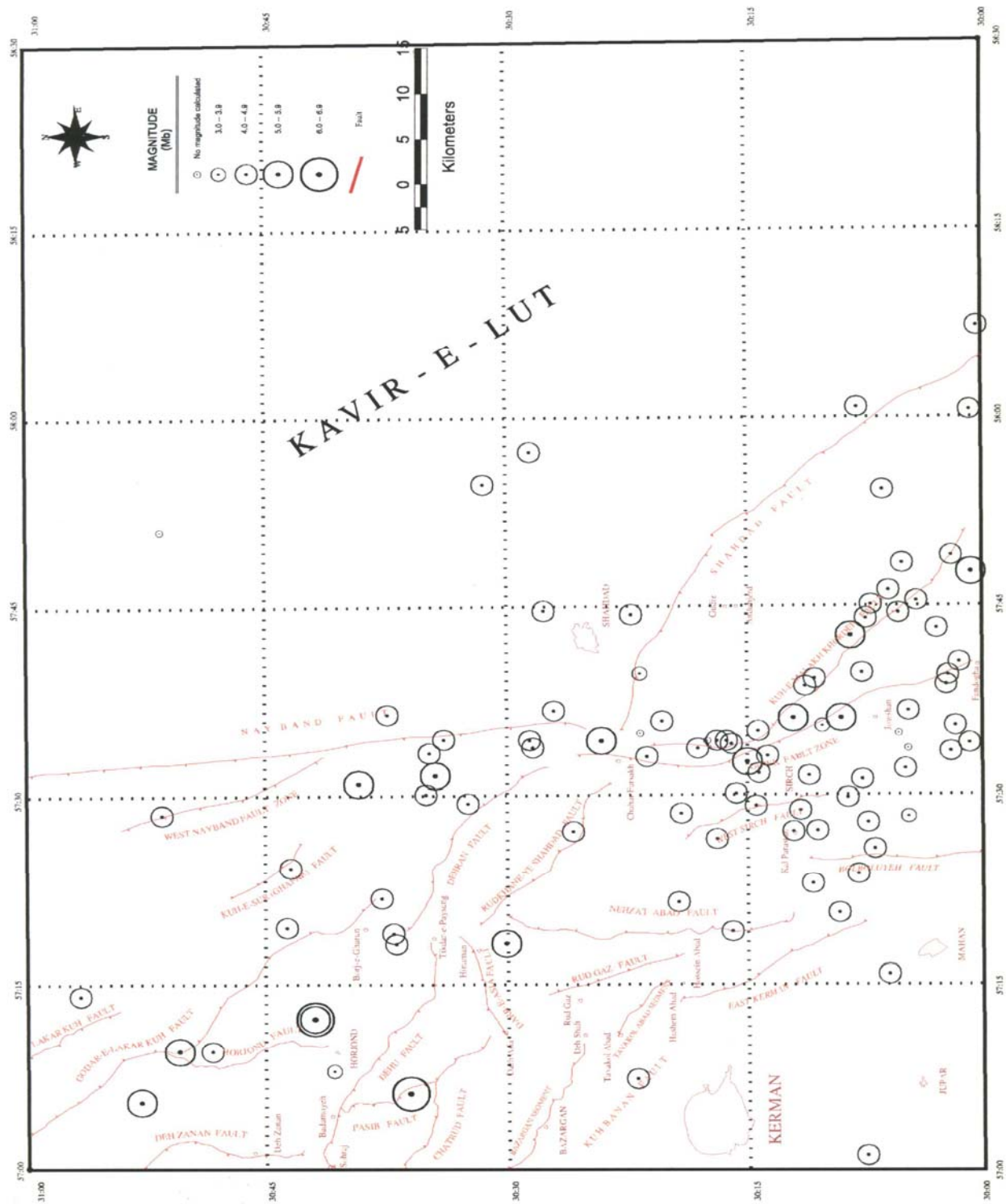
زمین‌لرزه‌های دستگاهی گستره چهارگوش کرمان

داده‌های نگاشته شده دستگاهی زمین‌لرزه‌های گستره چهارگوش کرمان در فاصله زمانی ۱۹۰۹ الی ۲۰۰۷ نشان می‌دهند (شکل ۷) که آهنگ لرزه‌خیزی این دوره در بخش‌هایی از گستره مورد مطالعه پایین است. لیکن این مطلب را نباید دلیلی بر آرامش و بی‌لرزه بودن بخش‌های یاد شده دانست. زیرا اولاً داده‌های دورلرزه‌ای مورد استفاده، فاصله زمانی کوتاهی را می‌پوشانند و ثانیاً گسل‌های کوتاه‌تری متعددی در گستره مورد بررسی شناخته شده‌اند که فاقد رکورد لرزه‌ای هستند. نتایج بررسی زمین‌لرزه‌های سده بیستم چهارگوش کرمان به اختصار عبارتند از: بررسی لرزه‌خیزی سده بیستم چهارگوش کرمان نشان داد که بزرگ‌ترین زمین‌لرزه روی داده در گستره این چهارگوش، زمین‌لرزه ۲۸ ژوئیه ۱۹۸۱ سیرچ بوده است. گسل جنباً مربوط به این زمین‌لرزه، پهنه گسلی گوک است که در اثر آن دچار ۶۵ کیلومتر گسیختگی سطحی ناپیوسته در هر دو طرف دره گسلی از زمان‌آباد تا شمال چهارفرسخ گردید.

لرزه‌خیزی سده بیستم، نشانگر ژرفای کانونی تا حدود ۲۰ کیلومتر در گستره مورد مطالعه است. سامانه گسلی شمال، شمال باختری - جنوب، جنوب خاوری گوک مهم‌ترین سرچشمه لرزه‌زا در گستره چهارگوش کرمان است. گستره کویر لوت در محدوده مورد مطالعه، فاقد رکوردهای لرزه‌ای است که شاید این مطلب مؤید پایداری آن باشد.

توسعه گسیختگی‌ها در چهارفرسخ و گسترش رو به شمال سامانه گسلی گوک باعث شده تا گسل نایبند و سامانه گسلی گوک به عنوان یک روند شکستگی کم و بیش شمالی - جنوبی راست بر راست‌پله جداکننده کویر لوت از منطقه دگرشکل شده باختر آن در نظر گرفته شود.

فروافتادگی کرمان - ماهان در گوشه جنوب باختری گستره مورد مطالعه فاقد لرزه‌خیزی قابل توجه است که این امر می‌تواند گویای سکون لرزه‌ای یا حرکات بدون لرزه در طول تکه‌های بازرگان و توکل‌آباد از گسل فشاری کوهبنان و راندگی خاور کرمان باشد.



شکل ۹- نقشه رومرکز زمین لرزه های دستگاهی انطباق یافته بر روی گسل های گسترده طرح

ساختمان پوسته زمین و ارتباط احتمالی آن ها با ساخت های موجود در روی زمین

ستبری پوسته

داده های اندکی از ویژگی های ساختمان پوسته زمین در گستره کرمان در دست است. نقشه ژرفای موهوی گرانی سنجی^(۱۳) نشان می دهد که پوسته جامد زمین در محدوده مورد مطالعه دارای ستبرای بین ۳۶ الی ۴۱ کیلومتر است.

ژرفای پی سنگ مغناطیسی

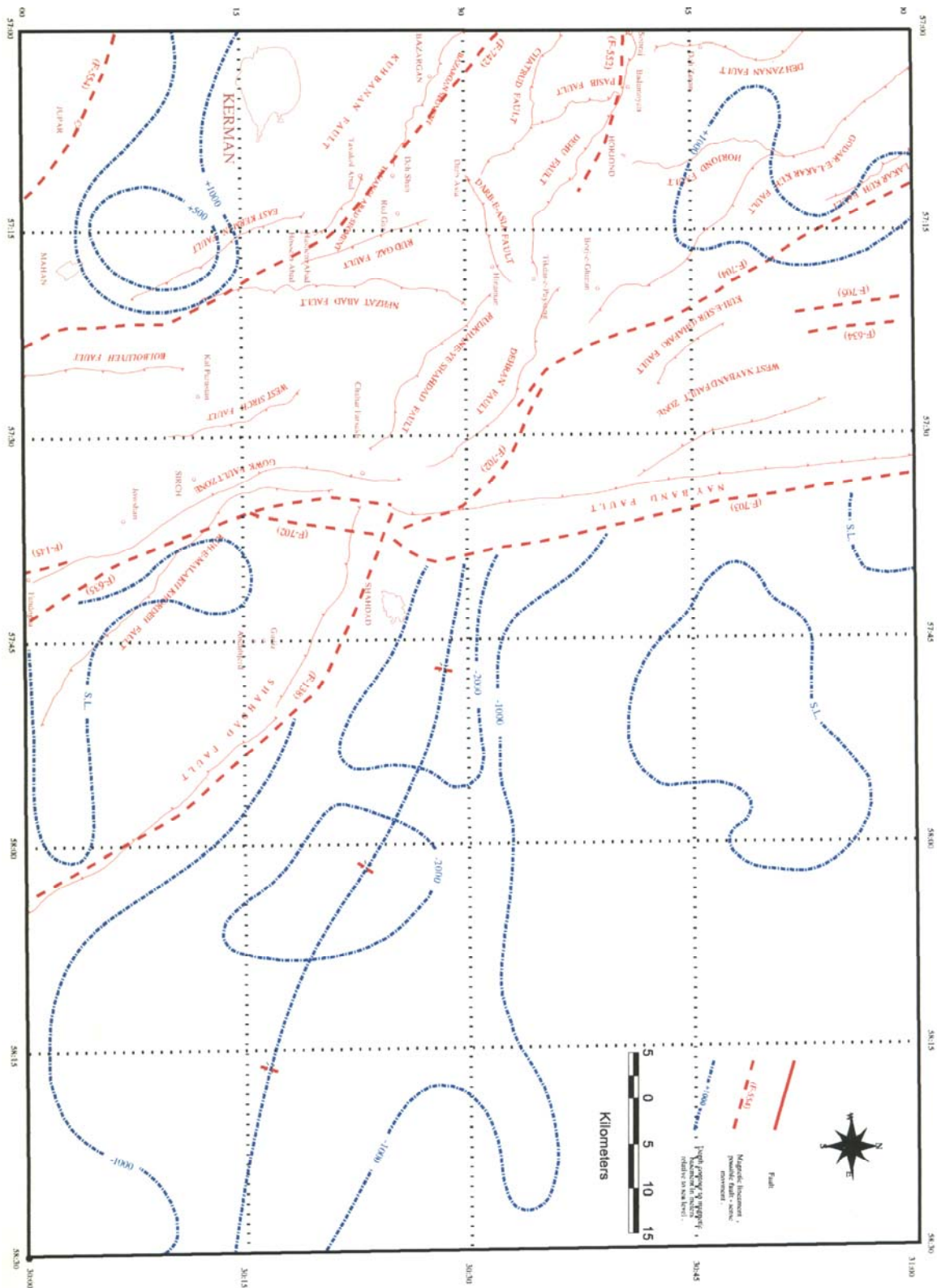
نقشه هوامغناطیسی چهارگوش کرمان^(۱۴) نشان می دهد که خم هم ژرفای مغناطیسی ۱۰۰۰+ متر بالای رویه دریا از حدود ۵ کیلومتری جنوب کرمان می گذرد. در خاور گسل نایبند و دره گسلی گوک، خم ۲۰۰۰- متر نیز دیده می شود که گویای اختلاف ارتفاع حدود ۳۰۰۰ متری پی سنگ مغناطیسی در دو سوی گسل های یاد شده است. به گمان پی سنگ مغناطیسی گستره بررسی شده را سنگ های آتشفشانی حدواسط تا بازیک دونین بالایی تشکیل می دهند.

خطواره های موجود در پی سنگ مغناطیسی

بر پایه نقشه هوامغناطیسی موجود گروهی از خطواره های مغناطیسی که دارای گسل همتا روی زمین می باشند (شکل ۷)، در جدول ۲ آورده شده اند.

جدول ۲- معرفی خطواره های مغناطیسی دارای گسل همتا روی زمین

ردیف	نام گسل روی زمین	شماره خطواره پی سنگ مغناطیسی
۱	نایبند	F- 703
۲	شهداد	F- 138
۳	گوک	F- 635
۴	دهران	F- 702 بخش شمالی
۵	کوه ملخ خورده	F- 702 بخش جنوبی
۶	لکرکوه	F- 704
۷	دهو	F- 552
۸	کوه بنان	F- 742 بخش شمالی
۹	خاور کرمان	F- 742 بخش جنوبی



شکل ۱۰- نقشه هومغناطیسی انطباق یافته بر گسل های گستره طرح.

بررسی خطر زمین لرزه

روش‌های متنوعی برای برآورد خطر زمین لرزه در هر محل وجود دارد. مبانی نظری این روش‌ها کمابیش متفاوت هستند و انتخاب هر کدام در یک برنامه تحلیل خطر زمین لرزه تابع نوع داده‌ها، دقت مورد نیاز، درازای زمانی و کیفیت داده‌ها می‌باشد.

برآورد خطر زمین لرزه به روش آماری

یغمایی^(۱۵) با استفاده از سه تابع توزیع نوع I, III (Gumbel) و S (Howell) بیشینه بزرگی زمین لرزه برای دوره بازگشت ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال را محاسبه نموده است. وی جهت برآورد خطر به روش آماری، از داده‌های دستگاهی زمین لرزه‌های استان کرمان در فاصله زمانی ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۲ استفاده کرده است. با تحلیل خطر زمین لرزه به روش آماری نتیجه گرفته است که بیشینه بزرگی باور کردنی برای دوره بازگشت ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال به ترتیب $M_s=7.4$ و $M_s=7.8$ می‌باشد.

برآورد خطر زمین لرزه به روش احتمالات

یک روش برآورد خطر زمین لرزه، استفاده از آمار زمین لرزه‌های رخ داده در منطقه است که در این حالت از الگوهای ریاضی استفاده می‌کنند. نتایج حاصل از این روش، زمانی اعتبار دارند که آمار معتبر و کافی از زمین لرزه‌های قبلی منطقه در دسترس باشند. این نوع تحلیل‌ها، احتمال وقوع زمین لرزه با بزرگی مشخص در یک محل را به دست می‌دهند.

ارزیابی میزان بیشینه شتاب زمین لرزه در درازای عمر سازه از اهمیت زیادی در طراحی سازه‌ها در مقابل زمین لرزه، برخوردار است. از آن جا که معمولاً ساختمان‌ها شتاب عمودی ناشی از زمین لرزه را راحت‌تر تحمل می‌کنند، بررسی شتاب افقی حرکت زمین، بیشتر حائز اهمیت است.

شتاب افقی را اغلب با احتمال رویداد ۱۰ درصد و ۶۴ درصد انتخاب می‌کنند که اولی را بیشینه شتاب باور کردنی (Maximum Credible Earthquake) و دومی را زمین لرزه مبنای طرح (Design Base Earthquake) می‌نامند. نظر به این که طراحی ساختمان‌های معمولی با احتمال ۱۰ درصد رویداد به نسبت پرهزینه است، می‌توان برای این گونه ساختمان‌ها طراحی را با احتمال وقوع ۵۰ درصد خطر نیز انجام داد.

برای تعیین زمین لرزه مبنای طرح، باید درصد احتمال وقوع زمین لرزه با بزرگی خاص را برای مدت زمان معینی که به طور معمول درازای عمر مفید سازه است، تعیین کرد. جهت انجام این کار از الگوهای مختلفی نظیر الگوی پواسون استفاده می‌شود.

برآورد خطر زمین لرزه به روش تحلیلی

چنانچه درازای دوره آماری کم بوده و یا تعداد داده‌ها کافی نباشد، بهتر است برای برآورد خطر زمین لرزه در هر منطقه از این روش استفاده شود. یکی از اقدامات مهم در این روش، شناسایی گسل‌های جنبای منطقه است. مقدار انرژی لرزه ای آزاد شده یا بزرگی زمین لرزه با درازای گسل ارتباط مستقیم دارد.

البته اغلب تمام درازای گسل در هنگام بروز یک زمین لرزه نقش ندارد. به همین دلیل، در برآورد خطر به روش قطعی، یکی از سؤالات اساسی این است که چه مقدار از درازای گسل در محاسبات منظور شود. برای محاسبه

بیشترین توان لرزه زایی هر یک از گسل های جنبنا از 0.2 رابطه ^(۱۶) $[Log]=-0.126+0.675Ms]$ ، 0.4 رابطه ^(۱۷)
 $Ms=1.404+1.169\text{Log}l$ و 0.4 رابطه ^(۱۸) $[M=\text{Log}l+5.4]$ استفاده گردیده است (جدول ۱).

با استفاده از این روابط، بزرگی زمین لرزه مربوط به هر گسل تعیین می شود و در مرحله بعد، به کمک روابط تجربی موجود بین بزرگی با شتاب بیشینه زمین است، مقدار شتاب را محاسبه می گردد.

رابطه کاهیدگی جنبش زمین

تحلیل خطر زمین لرزه، نیازمند برآوردی از جنبش نیرومند زمین (با دامنه بزرگ) در فاصله ای معین از مکان یک زمین لرزه مشخص است. این برآوردها معمولاً از معادلاتی موسوم به روابط کاهیدگی به دست می آیند که بیان کننده جنبش زمین به صورت تابعی از بزرگی و فاصله چشمه تا ساختگاه و دیگر متغیرها نظیر نوع گسلش، شرایط محلی ساختگاه و غیره می باشد.

انتخاب الگوی کاهیدگی جنبش زمین دارای اهمیت زیادی است، زیرا رابطه کاهیدگی تا حد زیادی بر نتایج تحلیل های خطر لرزه ای مؤثر می باشد. به دلیل کمبود داده های مناسب برای بسیاری از مناطق، از روابط کاهیدگی میانگین به دست آمده در گستره جهانی استفاده می شود. غالباً، برای انجام مطالعات برآورد خطر زمین لرزه در مناطقی که دست یابی به رابطه کاهیدگی مناسب قابل حصول نیست، از روابط کاهیدگی به دست آمده از نواحی با مشخصات لرزه زمین ساختی مشابه استفاده می شود. به هر حال با در نظرگیری کلیه جوانب، از رابطه ^(۱۹) برای کاهیدگی استفاده گردید

در جدول ۳، پارامترهای چشمه ای مه گسل های چهارگوش کرمان براساس بیشینه توان لرزه زایی گسل ها و روابط تجربی ^(۲۰) ذیل و با فرض برابر بودن Ms میانگین محاسبه شده با Mw برآورد و ارائه گردیده اند.

$Mw=5.08+1.16\text{Log}S.R.L$ (km)	درازای گسیختگی سطحی
$Mw=6.69+0.74\text{Log}M.D$ (m)	بیشینه جابه جایی
$Mw=6.93+0.82\text{Log}A.D$ (m)	میانگین جابه جایی
$Mw=4.38+1.49\text{Log}S.R.L$ (km)	درازای گسیختگی زیر سطحی
$Mw=4.06+2.25\text{Log}S.R.W$ (km)	پهنای گسیختگی زیر سطحی
$Mw=4.07+0.98\text{Log}R.A$ (km ²)	مساحت گسیختگی

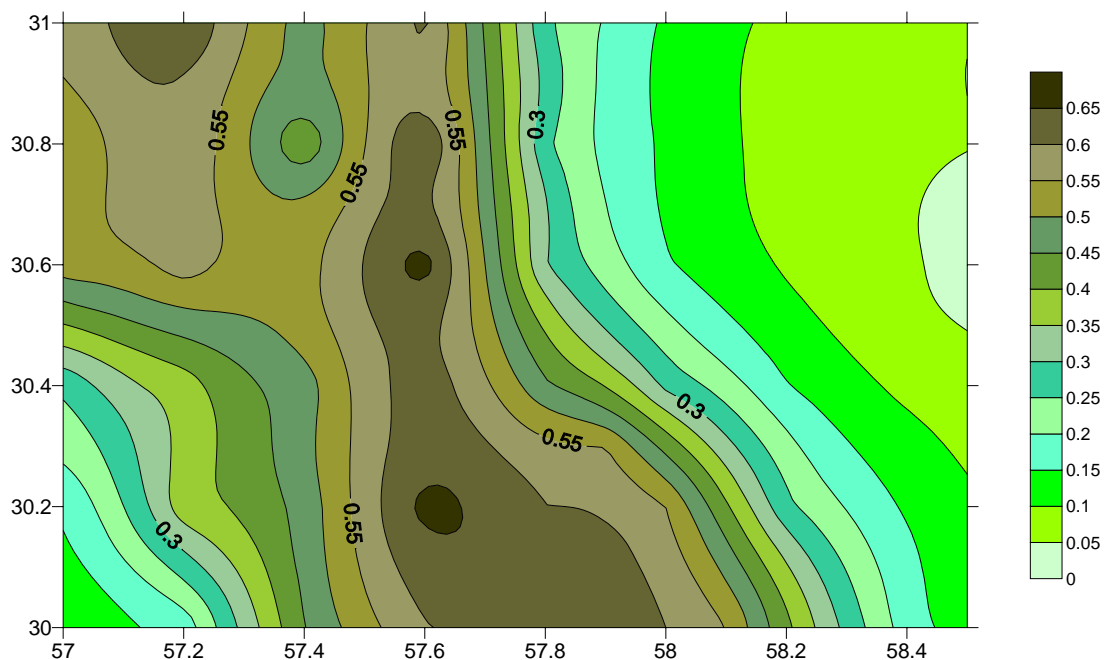
جدول ۳ - برآورد بیشینه و میانگین جا به جایی، درازای گسیختگی سطحی، درازا و پهناى گسیختگی زیر سطحی و مساحت گسیختگی حاصل از کارکرد مهگسل های گستره چهارگوش کرمان.

ردیف	نام گسل	شکستگی (km)	Ms	S.R.L(km)	M.D(m)	A.D(m)	S.R.L(km)	S.R.W(km)	R.A(km ²)
۱	باختر سیرچ	۱۳	۶,۳	۱۶	۰,۳	۰,۲	۲۱	۱۰	۲۱۱
۲	باختر نایبند	۱۷	۶,۵	۲۲	۰,۵	۰,۳	۲۶	۱۲	۲۹۰
۳	بلبلویه	۱۰	۶,۲	۱۲	۰,۲	۰,۱	۱۷	۹	۱۵۴
۴	پاسیب	۵	۶,۰	۷	۰,۱	۰,۱	۱۲	۷	۹۳
۵	چترود	۱۵	۶,۵	۲۳	۰,۶	۰,۳	۲۶	۱۲	۳۰۲
۶	حرجند	۱۴	۶,۴	۱۷	۰,۴	۰,۲	۲۲	۱۱	۲۳۰
۷	خاور کرمان	۱۵	۶,۴	۱۹	۰,۴	۰,۲	۲۳	۱۱	۲۵۰
۸	درب آسیا	۹	۶,۲	۱۰	۰,۲	۰,۱	۱۶	۹	۱۳۶
۹	دهران	۱۷	۶,۵	۲۲	۰,۵	۰,۳	۲۶	۱۲	۲۹۰
۱۰	دهزنان	۱۵	۶,۴	۱۹	۰,۴	۰,۲	۲۳	۱۱	۲۵۰
۱۱	دهو	۲۶	۶,۷	۳۶	۱,۰	۰,۵	۳۶	۱۵	۴۸۰
۱۲	رودخانه شهداد	۱۷	۶,۵	۲۲	۰,۵	۰,۳	۲۶	۱۲	۲۹۰
۱۳	شهداد	۵۰	۷,۰	۷۶	۲,۹	۱,۳	۶۰	۲۱	۱۰۴۳
۱۴	کوه سور	۸	۶,۱	۹	۰,۲	۰,۱	۱۴	۸	۱۱۸
۱۵	کوهبنان	۱۰۰	۷,۴	۱۷۱	۸,۵	۳,۵	۱۰۳	۳۰	۲۳۷۵
۱۶	کوه ملخ خورده	۷۰	۷,۲	۱۱۳	۴,۹	۲,۱	۷۸	۲۵	۱۵۵۵
۱۷	گدار لکر کوه	۴۰	۶,۹	۵۹	۲,۰	۱,۰	۵۰	۱۹	۸۰۰
۱۸	گوک	۸۰	۷,۳	۱۳۲	۶,۰	۲,۶	۸۶	۲۷	۱۸۲۲
۱۹	لکر کوه	۸۰	۷,۳	۱۳۲	۶,۰	۲,۶	۸۶	۲۷	۱۸۲۲
۲۰	نایبند	۱۰۰	۷,۴	۱۷۱	۸,۵	۳,۵	۱۰۳	۳۰	۲۳۷۵
۲۱	نهیضت آباد	۳۰	۶,۸	۴۲	۱,۳	۰,۶	۴۰	۱۶	۵۶۸

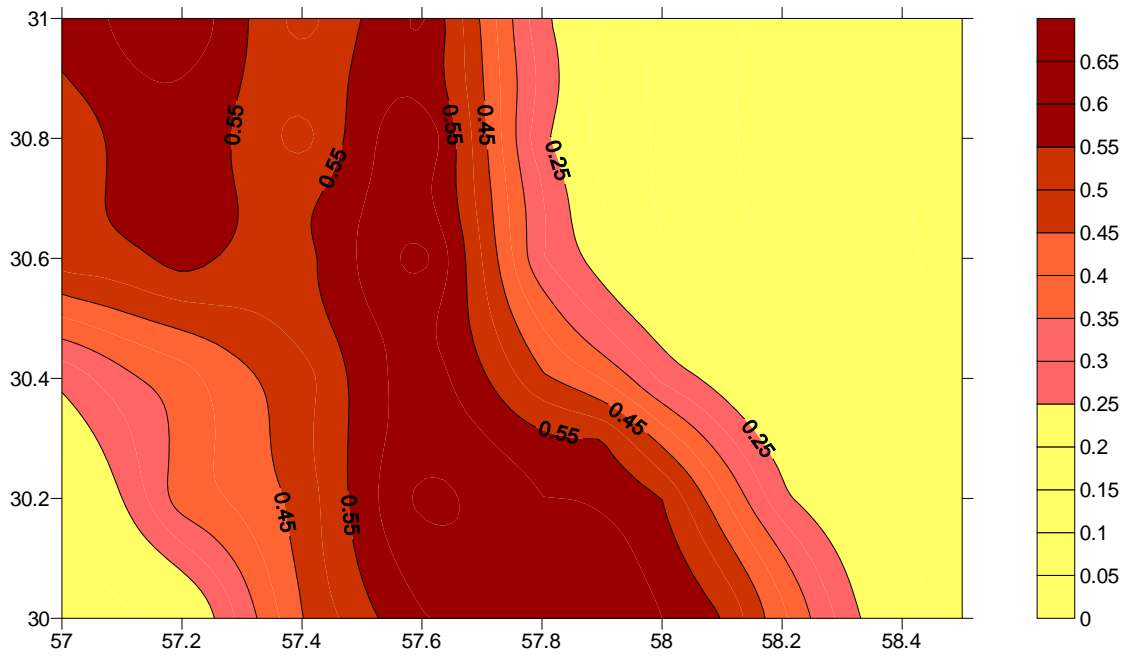
نتایج و بحث

در گستره مورد مطالعه نقشه پهنه‌بندی زمین لرزه به صورت مناطق با درجات مختلف خطر لرزه‌ای، بر اساس داده‌های زمین شناختی، زمین ساختی، لرزه شناختی و ژئوفیزیکی تهیه شده است. این نقشه‌ها هنگامی که مطالعه موردی و خاص برای یک ساختگاه معین امکان پذیر نباشد، ابزار عملی مناسب و راهنمای مفیدی برای طراحی سازه های مقاوم در برابر زمین لرزه به شمار می‌آیند. در این بخش با تقسیم ناحیه مورد

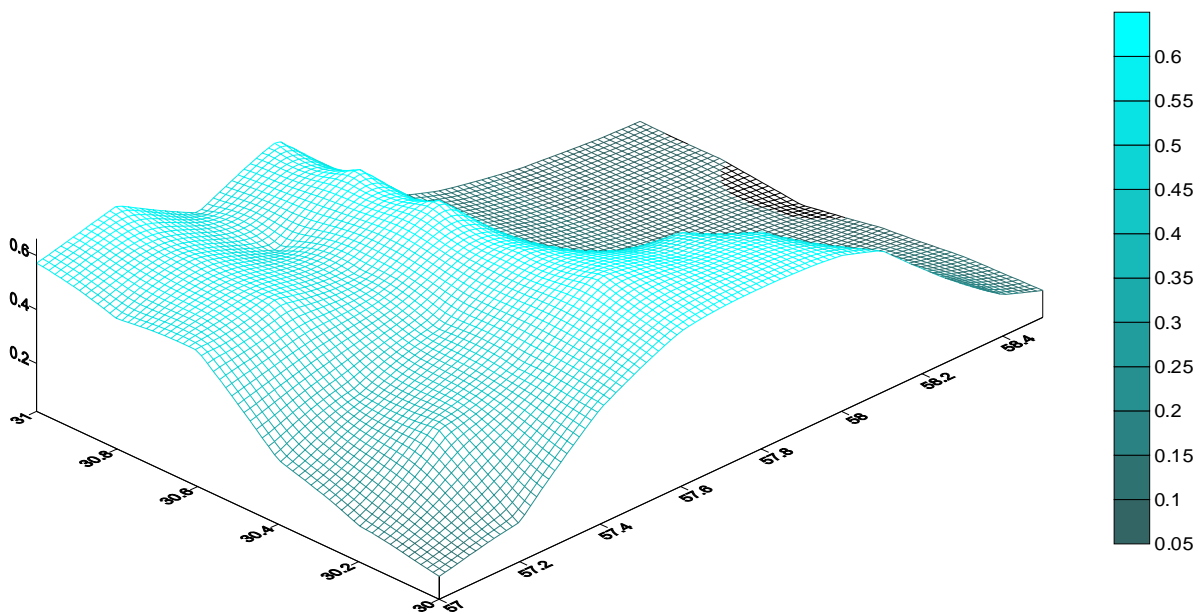
نظر به صورت شبکه ای از نقاط (به فاصله هر ۰/۱ درجه عرض و طول جغرافیایی) و با استفاده از روابط کاهیدگی برای هر نقطه شبکه، خم‌های هم شتاب در هر فاصله $0.05g$ در گستره مورد مطالعه ترسیم شده‌اند (شکل ۱۰). در شکل ۱۱، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در چهارگوش کرمان به روش قطعی با استفاده از الگوی کاهیدگی^(۱۹) نشان داده شده است. در شکل ۱۱، نقشه سه بعدی پهنه بندی چهارگوش کرمان نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش از برنامه کامپیوتری SeisriskIII استفاده شده و در آن زمین لرزه‌ها در راستای گسل‌ها به صورت شکستگی‌هایی با درازای معین فرض شده‌اند.



شکل ۱۱ - نقشه پهنه بندی بیشینه شتاب زمین‌لرزه در چهارگوش کرمان



شکل ۱۲- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لرزه در چهارگوش کرمان بر اساس رابطه^(۱۹)



شکل ۱۳- نقشه سه بعدی چهارگوش کرمان بر اساس بیشینه شتاب مهگسل های گسترده طرح.

نتیجه گیری

۱ - با توجه به مجموع مطالعات انجام پذیرفته، گستره مورد مطالعه از نظر لرزه خیزی جزء مناطق جنبای ایران مرکزی می باشد که با توجه به دوره بازگشت طولانی زمین لرزه ها در این منطقه، رخداد زمین لرزه های شدید در آن دور از ذهن نیست.

۲ - برای شهرهای مهم نظیر کرمان، ماهان، شهداد و سیرچ به دلیل نزدیک بودن به گسل های جنبای، رعایت ضوابط مهندسی در ساخت وسازها ضروری است.

۳ - ضریب D.B.E که زمین لرزه مبنای طرح و سازه ها می باشد، در ۲۵ سال آینده، زمین لرزه ای با بزرگی ۵/۲، در ۵۰ سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی ۵/۵، در ۷۵ سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی ۵/۸ و در صد سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی ۵/۹، با احتمال وقوع ۶۴ درصد را مطرح می سازد.

۴ - ضریب M.C.E که بیشینه زمین لرزه باور کردنی است، در ۲۵ سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی ۶/۳، در ۵۰ سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی ۶/۶، در ۷۵ سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی ۶/۸ و در صد سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی ۶/۹، با احتمال وقوع ۱۰ درصد را مطرح می سازد.

۵ - رابطه گوتنبرگ - ریشتر با استفاده از داده های بولتن جهانی USGS برای محدوده بزرگی بیشتر یا برابر چهار در گستره ای به وسعت چهار درجه مربع برای ۱۴۸ سال به صورت ذیل محاسبه شد:

$\text{Log}N=5.7-0.836mb$ که در آن مقدار a برابر ۵/۷ و مقدار b برابر ۰/۸۳۶ می باشد و بر طبق آن دوره بازگشت زمین لرزه ای با بزرگی هفت، تقریباً برابر ۸۵۰ سال است. این رابطه برای یک سال و به گستره ای به مساحت چهار درجه مربع بدین صورت می باشد:

$\text{Log}N=3.53-0.836mb$ اگر محدوده را به یک درجه در یک درجه محدود کنیم و رابطه گوتنبرگ - ریشتر را محاسبه کنیم، خواهیم داشت:

$\text{Log}N=2.93-0.836mb$ بنابراین در منطقه مورد مطالعه که مقدار a برابر ۲/۹۳ و مقدار b برابر ۰/۸۳۶ می باشد، دوره بازگشت زمین لرزه های کوچک تر از چهار کمتر از سه سال است.

۶- از آن جا که شهرهای مهم گستره چهار گوش کرمان بر روی رسوبات کواترنری بنا شده اند، طراحی سازه ها در آن ها باید با توجه به این امر صورت پذیرد که شتاب افقی در رسوبات آبرفتی به مراتب بیشتر از سنگ های آذرین و سخت می باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور که هزینه های این بررسی را فراهم ساخته است، سپاسگزاری می گردد.

References:

1. Nabavi, M.H., *an Introduction to Geology of Iran*, Geol. Sur. of Iran, Tehran (1976).
2. Eftekharneshad, J., *Jour. Iran. Petrol. Inst.*, **82**, 19 (1980).
3. Stocklin, J., Eftekhar – Nezhad, J., Hushmand – Zadeh, A., *Geol. Sur. of Iran*, **22**, 62 (1972).
4. Alavi, M., *Tectonic map of the Middle East*, Geol. Sur.of Iran, Tehran (1991).
5. Berberian, M., *Geol. Sur. of Iran*, **40**, 39(1977).
6. Berberian, M., Baker, C., Fielding, E., Jackson, J.A., Parsons, B.E., Priestley, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T.J., *Geophys. J. Int.* **146**, 371 (2001).
7. Berberian, M., Asudeh, I., Arshadi, S., *Ear. And Plan. Sci. Let.*, **42**,456 (1979).
8. Berberian, M., Jackson, J.A., Ghorashi, M., Kadjar, M.H., *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **77**, 809 (1984).
9. Dimitrijvic, M.D., *Geology of Kerman Region*, Geol. Sur.of Iran, Tehran (1973).
10. Berberian, M., *Documented Earthquake Faults in Iran*, Geol. Sur. of Iran, Tehran (1976).
11. Walker, R., Jackson, J., *Jour. Stru. Geol.*, **24**, 1677 (2002).
12. Ambraseys, N.N., Melville, C.P., *A History of Persian Earthquakes*, Cambridge University Press, Cambridge (1982).
13. Dehghani, G.A., Makris, J., *the Gravity Field and Crustal Structure of Iran*, Geol. Sur. of Iran, Tehran (1983).
14. Yousefi, E., Friedberg, J.L., *Aeromagnetic Map of Kerman Area*, Geol. Sur. of Iran, Tehran (1978).
15. Yaghmaei, M.A., *Seismicity of the Kerman Province*, Geol. Sur. of Iran, Tehran (1993).
16. Nowroozi, A.A., *BSSA*, **75**, 5 (1985).
17. Slemmons, D.B., *Proc. Of the third Int. Earthquake Microzonation Conference*, **1**, 119 (1982).
18. Mohajer-Ashjai, A., Nowroozi, A.A., *Geophys. J. R. Astro. Soc.*, **83**, 215 (1978).
19. Campbell, K.W., *Seism. Res. Let.*, **68**, 154 (1997).
20. Wells, D.L., Coppersmith, K.J., *BSSA*, **14**, 974 (1994).