دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۴
زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۱۴۰-۱۲۱

مجتبی رحیمی شهید [۱]
***فریبا کارگران** [۲]
نیما رحیمی [۳]

تحلیل لرزه‌خیزی و برآورد خطر زمین‌لرزه در ساختگاه سد شهید

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵

چکیده

در ساختگاه سدها تشخیص طرح لرزه‌ای جهت پیش‌گویی خطر زمین‌لرزه و همچنین پیش‌بینی خسارت وارده از طریق زمین‌لرزه به‌منظور جلوگیری از این فاجعه بسیار قابل اهمیت می‌باشد. برای ایمن‌سازی سد در برابر زمین‌لرزه در محاسباتی که برای طراحی سد استفاده می‌شود بدون توجه به شرایط زمین ساختگاه سد، شدت زمین‌لرزه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. با توجه به اهمیت ساختگاه سد مطالعات لرزه‌نگاری و تعیین گسل‌های فعال بسیار ضروری می‌باشد. در مقاله حاضر ارزیابی خطر زمین‌لرزه و پهنه‌بندی لرزه‌ای در ساختگاه سد شهید و نواحی مجاور آن به روش احتمالاتی صورت گرفته است. در این مطالعه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ یاسوج جهت بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و خطر لرزه‌ای منطقه انتخاب گردید. زمین‌لرزه‌های دستگاهی و تاریخی در شعاع ۲٦ کیلومتری سد شهید گردآوری گردید. منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس مرتفع قرار گرفته است. به کمک تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی، نقشه‌های زمین‌شناسی، تکتونیکی و مغناطیس هوایی، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد. بر اساس این نقشه، ساختگاه سد شهید در منطقه‌ای با خطر خیلی زیاد قرار می‌گیرد. تحلیل خطر لرزه‌ای گستره مورد مطالعه با استفاده از روش مقدماتی گوتنبرگ-ریشتر احتمال رخداد زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۵، ۵/۵ و ٦ ریشتر را در منطقه در ۱۰۰ سال آینده ۱۰۰٪ و زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۷/۵ ریشتر را کم‌تر از ٦۱/۷٦٪

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یزد.
*۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یزد. (نویسنده مسئول).
۳- دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران.
E-mail: Mr619htt@gmail.com

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

پیش‌بینی کرده است. در نهایت جهت مطالعه روند و سرشت لرزه‌خیزی در گستره نزدیک به ساختگاه سد، پیشنهادهایی کاربردی ارائه گردیده است.

کلید واژه‌ها: لرزه‌زمین‌ساخت، زمین‌شناسی، یاسوج، پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای، سد شهید، سنجش از دور.

مقدمه

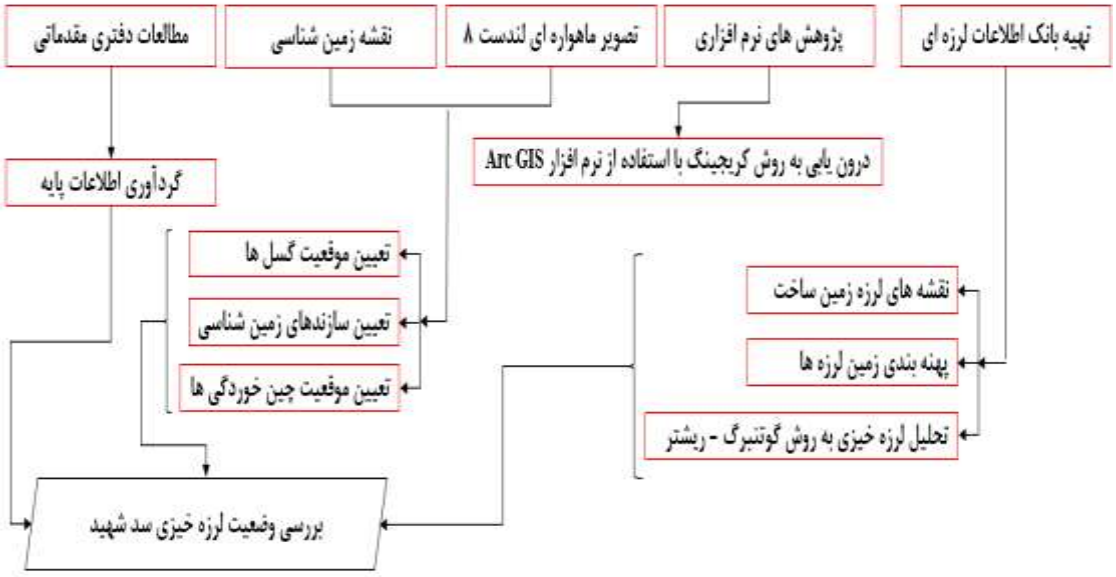
کشور ایران به‌عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ -هیمالیا، همواره از لرزه‌خیزی بالایی در طول تاریخ برخوردار بوده است، به‌گونه‌ای که بخش‌های مختلف کشور توسط زمین‌لرزه‌های ویرانگر متعددی پیوسته تخریب شده است و این پدیده تاکنون، به‌عنوان مهم‌ترین بلای طبیعی کشور، تلفات و خسارات سنگینی را به بار آورده است (Ambrasseys, 1978: 20; Armijo, 1999: 268; Armijo and et al, 2002: 82). خسارت‌های مالی و جانی قابل ملاحظه‌ای که در فواصل زمانی کوتاه در مناطق مختلف کشور روی داده است لزوم بررسی توان لرزه‌خیزی مناطق مسکونی به‌خصوص مناطقی که دارای سازه‌های بزرگ مهندسی مانند سد، پل و غیره هستند را بیش از پیش آشکار می‌سازد. هزینه‌های بسیار بالای احداث این سازه‌ها، نیاز مبرم به مطالعات برآورد خطر زمین‌لرزه و لرزه‌زمین‌ساخت را به‌خوبی توجیه می‌نماید زیرا با صرف وقت و هزینه بسیار کم‌تری نسبت به عملیات اجرای سازه‌ها، می‌توان به‌گونه‌ای مطمئن‌تر راجع به نوع طراحی و یا تعیین محل احداث آن‌ها اقدام نمود. زمین‌لرزه‌های بزرگ و کوچکی که گاه‌وبیگاه روی می‌دهند، نشان‌دهنده یک منطقه فعال زمین‌ساختی می‌باشند. سرزمین ایران با گسترش زیاد خود ویژگی‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی یکسانی ندارد. لیکن با افزایش سطح اطلاعات در رابطه با لرزه‌خیزی نقاط مختلف کشور می‌توان تا حد مطلوب تلفات و خسارات ناشی از زمین‌لرزه‌های آتی را کاهش داد. در ارتباط با موضوع لرزه‌خیزی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه تاکنون پژوهش‌های زیادی در کشور ایران و سطح جهان صورت گرفته است، ولی تا به حال در حوزه‌ی سد شهید مطالعات جامعی در این رابطه صورت نگرفته است. برخی از تحقیقات جدید صورت گرفته در این مورد می‌توان به تحقیقات (Amir Ahamdi et al, 2014; Dadgar and Jalalian, 2015; Hashemi et al, 2015; Rangzan et al, 2016; Soltani et al, 2016; Mousavi at al, 2015; karimi et al, 2016; Rahimi Shahid et al, 2016-a; Fotuhi Kyani, 2015; Kayal, 2014; Andrianopoulos et al, 2014; Hongmei et al, 2015; Lin et al, 2015; Liu et al, 2016; Rahimi Shahid Rahimi, 2017; Abedini Mousavi, 2018) اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

با توجه به ماهیت موضوع، روش تحقیق به‌صورت استنادی، تجربی و توصیفی-تحلیلی است. موادی که در این پژوهش به‌کار گرفته شد، مشتمل بر معیارهای فاصله از خطوط گسل‌های منطقه، فاصله از زمین‌لرزه‌ها، موقعیت زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره طرح (بزرگی و عمق زمین‌لرزه) است که برای تعیین نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه، به کار گرفته شدند. این معیارها از داده‌های زیر استخراج گردیدند: ۱) مطالعات دفتری مقدماتی جهت

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

گردآوری اطلاعات پایه؛ ۲) نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ یاسوج (Sedaghat and Shaverdi, 1975) برای تهیه‌ی نقشه‌ی خطوط گسل‌ها، چین‌خورگی‌ها و سازندهای زمین‌شناسی؛ ۳) تصویر ماهواره‌ای لندست ۸[4] (سنجنده ETM+[5]) محدوده‌ی موردمطالعه، جهت تعیین دقیق‌تر موقعیت گسل‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی منطقه؛ ٤) تهیه بانک اطلاعات لرزه‌ای گستره مورد مطالعه تا پایان سال (۲۰۱۵) میلادی (IIEES[7], 2015؛ ISC[6], 2015) برای تهیه‌ی نقشه‌های لرزه‌زمین‌ساخت و پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌ها و همچنین تحلیل لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه؛ ۵) استفاده از روش مقدماتی گوتنبرگ-ریشتر[8] جهت تحلیل لرزه‌خیزی منطقه؛ ٦) استفاده از تابع اینترپولیشن[9] از طریق عمل درون‌یابی به روش کریجینگ[10] با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS®10.1 جهت تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی بزرگی و عمق زمین‌لرزه‌ها؛ ۷) تجزیه، تحلیل و همپوشانی لایه های اطلاعاتی (وزن دهی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[11]) در محیط نرم‌افزار ArcGIS®10.1 به‌منظور ارائه‌ی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه؛ ۸) برآورد وضعیت لرزه‌خیزی ساختگاه سد شهید بر اساس یافته‌های پژوهش. خلاصه‌ای از روند انجام پژوهش در (شکل ۱) ارائه گردیده است.



شکل ۱: روش انجام تحقیق

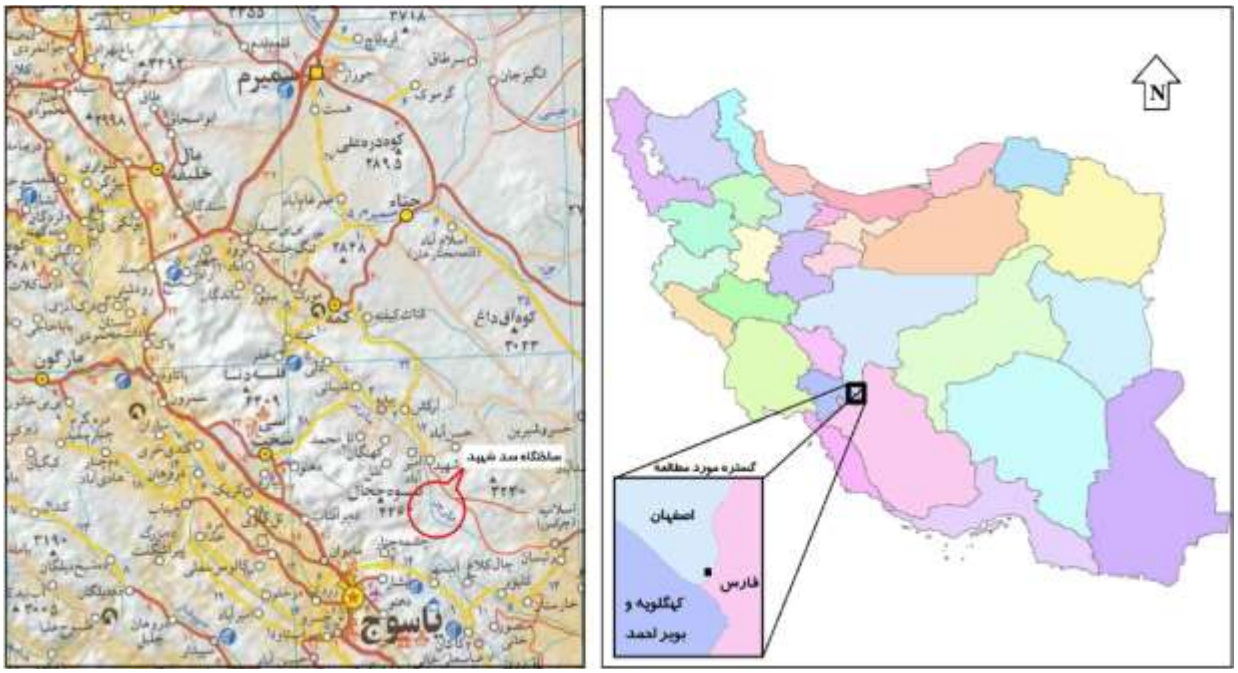
Figure 1: How to do research

4- Landsat 8
5- Enhanced Thematic Mapper Plus
6- Iranian Seismological Center
7- International Institute of Earthquake Engineeringand Seismology
8- Gutenberg - Richter
9- Interpolation
10- Kriging
11- Analytical Hierarchy Process

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

منطقه مورد مطالعه

ساختگاه سد شهید در ۳ کیلومتری روستای شهید و در ۱۱۰ کیلومتری از شهرستان سمیرم در استان اصفهان قرار گرفته است (شکل ۲). این سد در موقعیت جغرافیایی "۳۳ '٤٤ °۵۱ شرقی و "٤۹ '٤۸ °۳۰ شمالی، بر روی رودخانه ماربر قرار گرفته است. سد مخزنی شهید از نوع خاکی با هسته رسی است. طول تاج سد ۵٤۱ متر و ارتفاع سد از پی سنگی ۹۰ متر است. رقوم نرمال مخزن ۲۳۱۵ و رقوم تاج ۲۳۲٤ متر از سطح دریا در نظر گرفته شده است (Rahimi Shahid et al, 2016-b: 195). محدوده موردمطالعه بخشی از زون زمین‌شناسی زاگرس مرتفع می‌باشد که از ویژگی‌های این زیر پهنه، می‌توان به وجود راندگی‌های فراوان اشاره نمود. ازنظر سنگ‌شناسی تکیه‌گاه راست این سد از سازند آهکی سورمه و سازند ماسه‌سنگی گدوان با میان لایه‌های مارنی تشکیل شده است. محدوده میانی این محور توسط گسل به دو قسمت تقسیم شده است، شرق گسل از سازند گدوان و غرب گسل از برش‌های گسلی تشکیل شده است. تکیه‌گاه چپ این محور نیز از سازند نجمه و برش‌های گسلی شکل گرفته است.



شکل ۲: موقعیت سد شهید در کشور و استان اصفهان

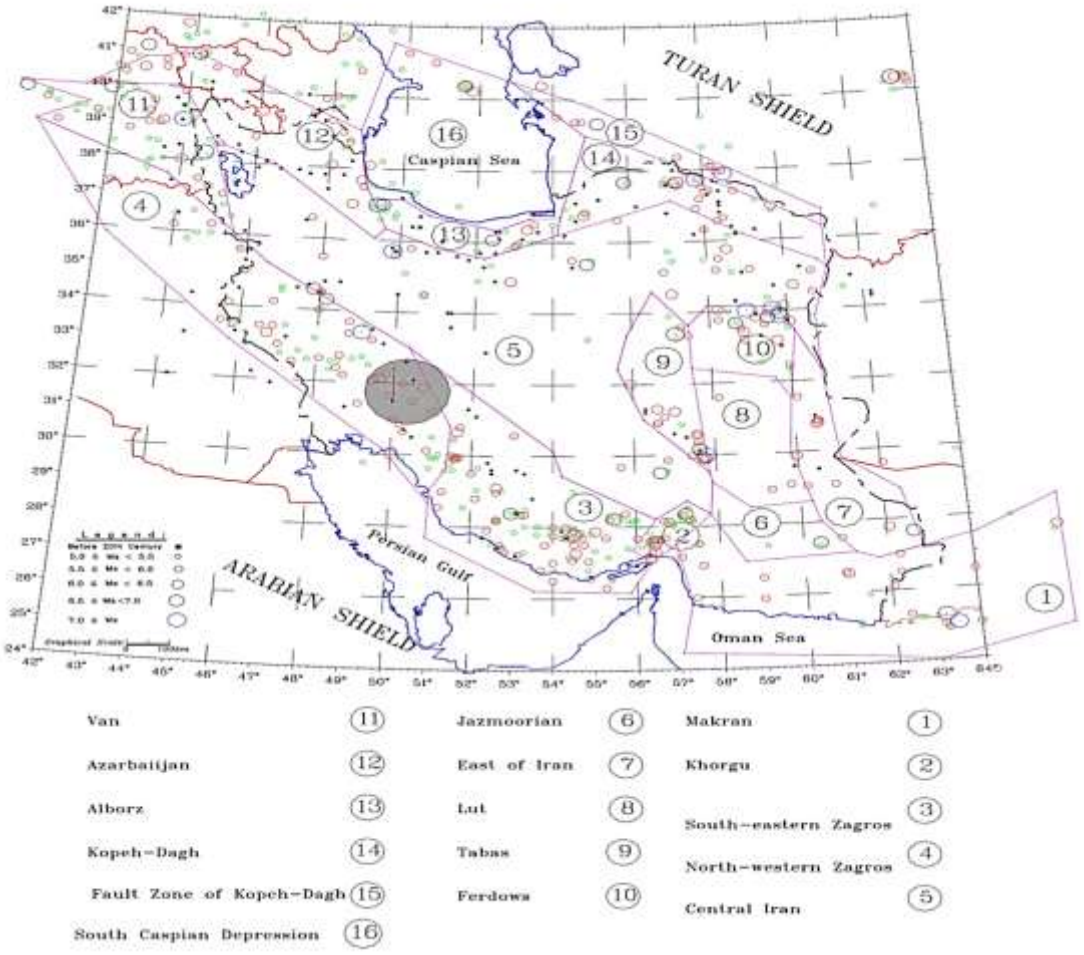
Figure 2: Shahid dam position in the country and Isfahan province

- ویژگی‌های گستره مورد مطالعه

در مطالعات لرزه‌زمین‌ساختی سعی می‌شود که با استفاده از زمین‌لرزه، یک الگوی زمین‌ساختی برای گسلش فعال و لرزه‌زا ارائه گردد. بدین‌جهت شناسایی پارامترهای لرزه‌خیزی گسل‌های فعال گستره طرح مهم‌ترین عامل به‌شمار می‌آیند. محققان بسیاری ایران را بر پایه میزان فعالیت لرزه‌ای به پهنه‌های مختلف تقسیم‌بندی کرده‌اند. یکی از

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها، تقسیم‌بندی ایالات لرزه‌زمین‌ساختی کشور بر مبنای مدل کمیته ملی سدهای بزرگ (ICOLD[۱۲]) می‌باشد (ICOLD, 1995). همان‌طور که در (شکل ۳) نمایش داده شده است بر اساس این تقسیم‌بندی گستره مورد بررسی در ایالت‌های لرزه زمین‌ساختی شمال غرب زاگرس و زاگرس جنوب‌شرق قرار دارد.



شکل ۳: موقعیت گستره مورد بررسی در نقشه‌ی ایالت‌های لرزه زمین‌ساختی ایران بر اساس مدل کمیته ملی سدهای بزرگ ایران (ICOLD, 1995)

Figure 3: Position of the studied area in the map of Iran's land-based seismic states based on the model of the National Committee of the Great Dams of Iran (ICOLD, 1995)

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های گستره زاگرس وجود تعداد زیاد گسل، راندگی و پتانسیل لرزه‌خیزی بالا می‌باشد (Mousavi et al, 2014: 29; Kalane and Agh-Atabai, 2015: 371). مهم‌ترین سیستم‌های راندگی شناخته شده‌ی گستره مطالعاتی به اختصار تبیین گردیده که عبارت‌اند از:

12- International Commission On Large Dams

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

- سیستم راندگی دنا

گسل دنا با راستای شمال-شمال‌غربی و شیب به سمت شرق-شمال‌شرقی، یکی از گسل‌های اصلی زاگرس است که بیش از یک‌صد کیلومتر طول دارد و طرفین آن به دو بخش با ویژگی‌های زمین‌ساختی، لرزه‌زمین‌ساختی و ریخت‌شناسی متفاوت تقسیم شده است (Agha-Nabati, 2007: 223). این سیستم همچنین در برگیرنده ارتفاعات انتهایی مخزن است که بیش‌ترین برخاستگی در این قسمت به چشم می‌خورد. این راندگی در قسمت انتهایی مخزن به حالت امتدادلغز تغییر می‌کند (Mahab Ghodss, 2012).

- سیستم راندگی کوه سیاه

این راندگی در جنوب شرق محور سد قرار دارد و تا نزدیکی محور سد کشیده شده است. این سیستم راندگی نیز از روند زاگرس تبعیت می‌کند (Regional Water Company of Fars, 2013). این گسلش به ناحیه سد شهید با تغییر راستا به روند شمالی-جنوبی نزدیک می‌شود و شاخه‌هایی از آن در بالا و پایین محور سد گسترش می‌یابد (شکل ٤).

- سیستم راندگی اطراف محور سد

بارزترین سیستم گسلی، مجموعه تراست‌هایی است که بلافاصله در بالادست محور سد شهید تشکیل شده‌اند و با عنوان مجموعه تراستی محور سد معرفی شده‌اند. این سیستم تراستی سبب راندن آهک‌های ژوراسیک و کرتاسه بر روی سازندهای دیگر به سن ائوسن و الیگوسن شده است (Regional Water Company of Fars, 2013).

- گسل‌های امتداد لغز

در بالادست و پایین‌دست محور سد دو سیستم گسلی مشخص‌شده است که با نام‌های سیستم گسلی بالادست محور سد و سیستم گسلی پایین‌دست محور سد، از آن‌ها یاد می‌شود. در حدفاصل این دو سیستم گسل‌های امتدادلغزی به وجود آمده است که از روند زاگرس تبعیت نمی‌کنند (Mahab Ghodss, 2012).

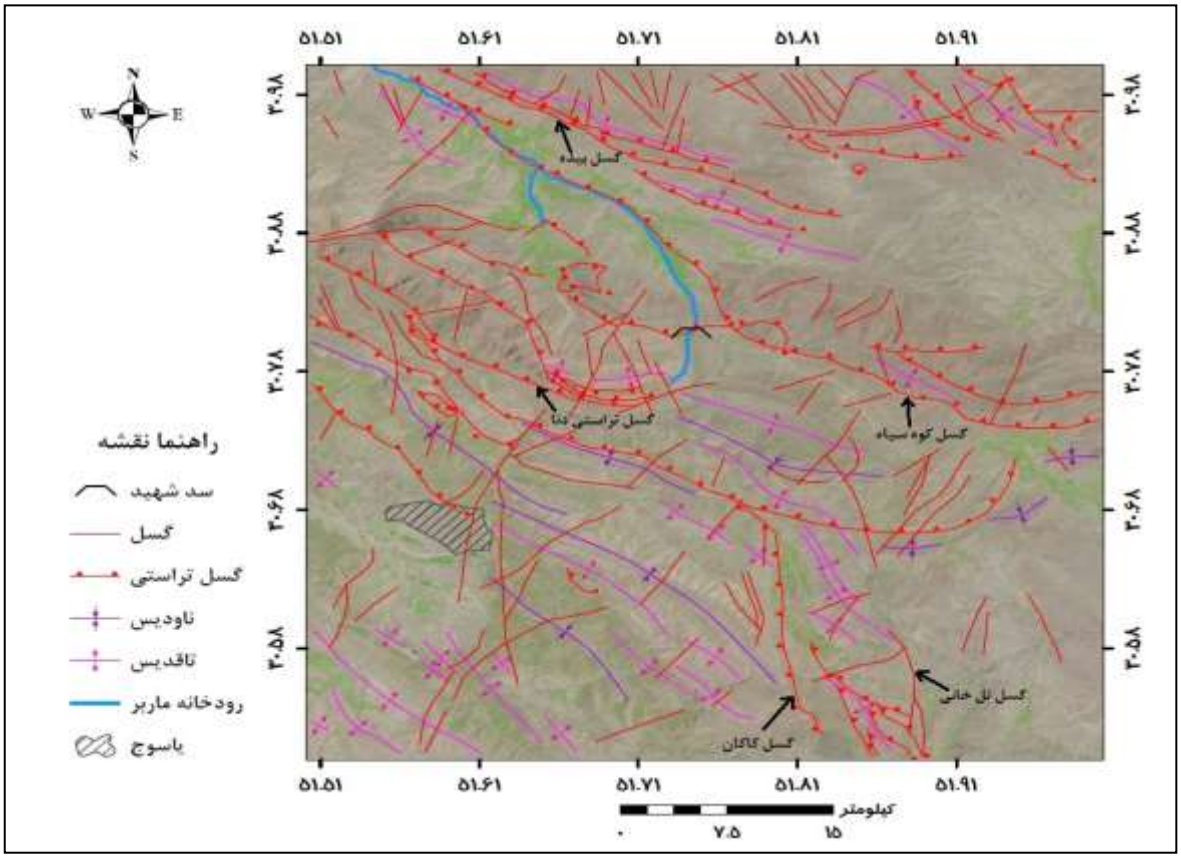
یافته‌ها و بحث

میزان لرزه‌خیزی در هر منطقه با فراوانی و نوع زمین‌لرزه‌های (کوچک، متوسط یا بزرگ) روی‌داده در آن منطقه و همچنین تعداد و نوع گسل‌ها و ساختارهای تکتونیکی منطقه متناسب است. به اعتقاد برخی محققان ساده‌ترین شکل برای بررسی خطر زمین‌لرزه مطالعه‌ی دقیق روند، پراکندگی رومرکز، فراوانی رویداد زمین‌لرزه‌ها، بررسی گسل‌ها و ساختارهای تکتونیکی در گستره مورد بررسی و همچنین مشخص نمودن مناطقی می‌باشد که از دیرباز تاکنون در اثر رویداد زمین‌لرزه‌ها دچار آسیب شده‌اند (Rahimi Shahid et al, 2016-a: 50; Azarafza et al, 2015: 52; Dehghan Manshadi et al, 2013: 7). در این راستا با گردآوری فهرستی از زمین‌لرزه‌های رخ‌داده در منطقه به تعیین میزان لرزه‌خیزی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه نقاط مختلف پرداخته می‌شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

- روند زمین‌ساختی

برای تعیین هر چه دقیق‌تر خطر زمین‌لرزه لزوماً بایستی عناصر ساختاری نزدیک به ساختگاه و فرآیندهای زمین‌ساختی گستره ساختگاه شناسایی شوند. تعیین عناصر ساختاری نزدیک به ساختگاه از طریق مطالعه‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر است. تصاویر ماهواره‌ای جابجایی‌های سازندهای زمین‌شناسی که در اثر گسل‌خوردگی ایجاد شده‌اند را به‌خوبی نشان می‌دهند. بر روی این تصاویر جابجایی ایجاد شده توسط گسل‌ها مشخص می‌شود، سپس گسل‌های فعال از غیرفعال تفکیک شده و مناطق لرزه‌خیز جهت برنامه‌ریزی‌های بعدی برای مقاوم‌سازی سازه معرفی می‌شود. قسمت اعظم زمین‌لرزه‌ها بر روی گسل‌ها متمرکزند به عبارتی گسل‌ها بیش‌ترین پتانسیل را برای ایجاد زمین‌لرزه‌ها دارند؛ بنابراین شناسایی محل دقیق گسل‌های اصلی و فرعی نزدیک به ساختگاه بیش‌ترین کمک را در مشخص نمودن مناطق خطرپذیر زمین‌لرزه دارند. همان‌طور که در (شکل ٤) دیده می‌شود روند ساختمانی و زمین‌ساختی منطقه از روند حاکم بر پهنه زاگرس پیروی می‌کند و منطبق بر داده‌های توپوگرافی است. به عبارتی گسل‌ها و ساختارهای اصلی منطقه دارای روند کلی شمال غربی-جنوب‌شرقی هستند.



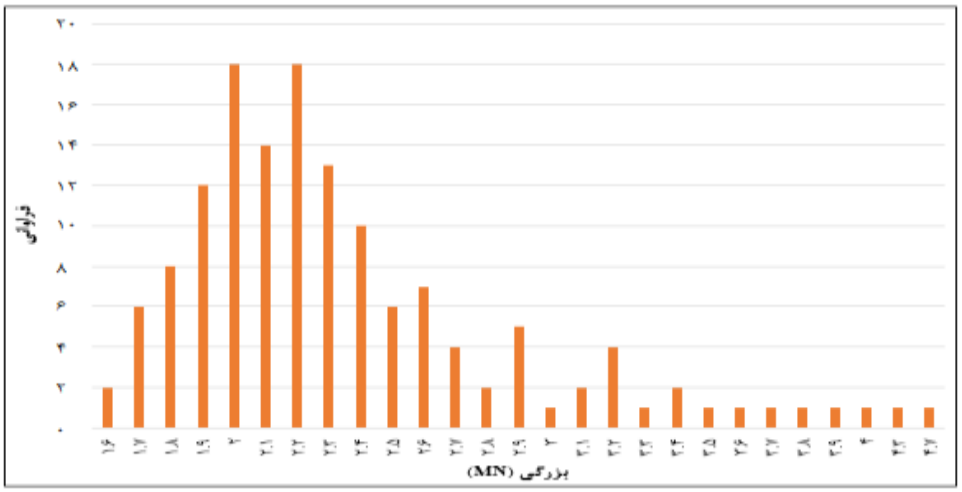
شکل ٤: نقشه گسل‌های اصلی و همچنین روند زمین‌ساختی گستره مطالعاتی

Figure 4: Main fault maps as well as land-based process of study scope

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

- داده‌های زمین‌لرزه‌ای

بانک اطلاعات داده‌های زمین‌لرزه‌ای شامل اطلاعات، مشخصات و تعداد زمین‌لرزه‌های رخ‌داده از سال (۱۹۹۵) تا پایان سال (۲۰۱۵) میلادی مورد استفاده قرار گرفت (ISC, 2015؛ IIEES, 2015). فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌های روی‌داده در گستره مورد بررسی در (شکل ۵) نمایش داده شده است.



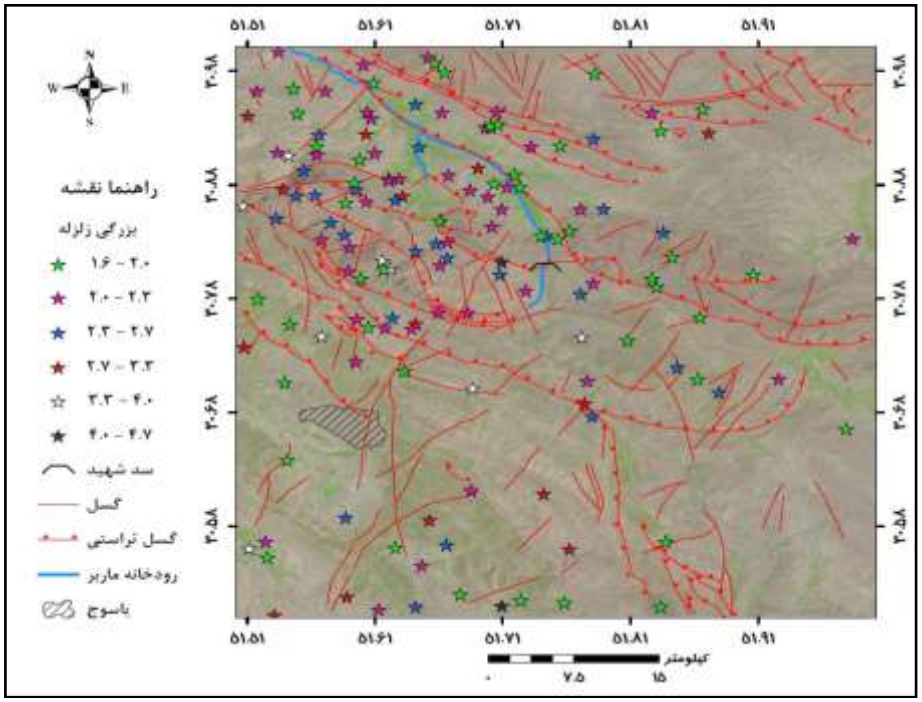
شکل ۵: فراوانی بزرگی (MN) زمین‌لرزه‌های گستره مورد بررسی (ISC, 2015؛ IIEES, 2015)

Figure 5: Major frequency (MN) of the explosive earthquakes (ISC, 2015; IIEES, 2015)

- منابع لرزه‌ای چشمه‌های لرزه‌زا

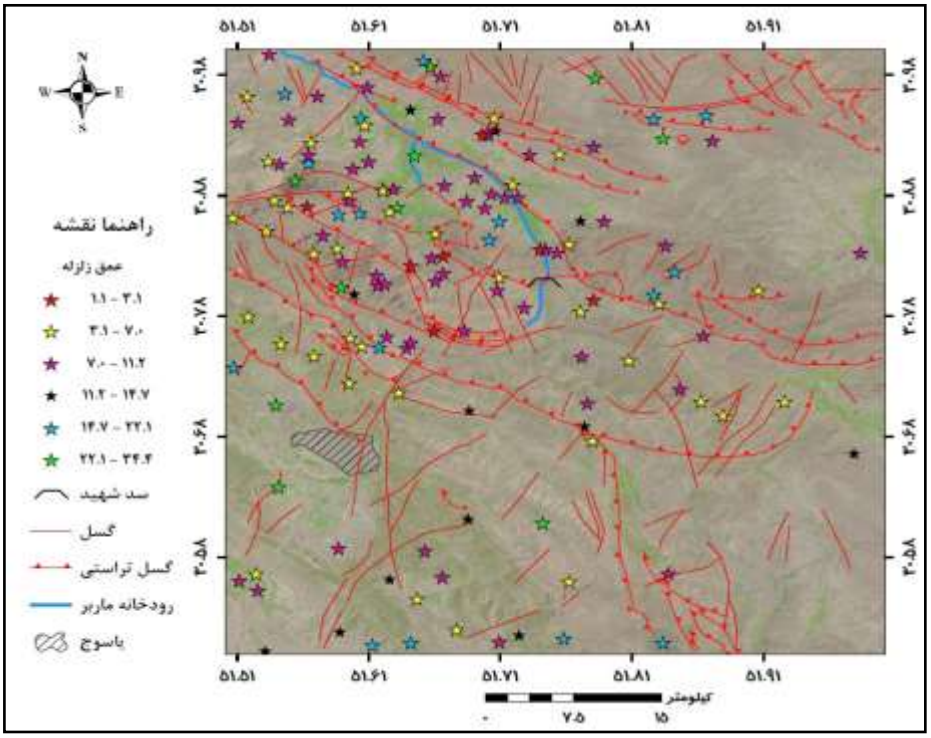
با ترکیب اطلاعات حاصل از مطالعات زمین‌ساختی و داده‌های لرزه‌خیزی، نقشه‌های لرزه‌زمین‌ساختی تهیه شد (شکل‌های ٦ و ٧). بر اساس این نقشه‌ها که کانون زمین‌لرزه‌ها نیز بر روی آن پیاده شده است، می‌توان سرچشمه‌های لرزه‌ای را مشخص نمود. برای انجام تحلیل خطر لرزه‌ای، چشمه‌های لرزه‌ای به سه شکل چشمه نقطه‌ای، چشمه خطی و چشمه ناحیه‌ای (سطحی) تقسیم می‌شوند. در صورت کمبود اطلاعات روی گسل‌ها و عدم ارتباط قطعی رخدادهای لرزه‌ای با گسل مسبب، غالباً چشمه‌های لرزه‌ای به شکل سطحی مدل می‌شوند (Wells and Coppersmith, 1994: 988). با توجه به (شکل ٦) می‌توان عنوان نمود که چشمه‌های لرزه‌ای از نوع ناحیه‌ای هستند و اکثر زمین‌لرزه‌های رخ‌داده در گستره در بخش شمال غربی متمرکز شده‌اند. زمین‌لرزه‌های روی‌داده در نزدیکی ساختگاه سد عمدتاً کم‌عمق (عمق بین ۳/۱-۱۱/۲ کیلومتر) می‌باشند که این موضوع می‌تواند پایداری سازه را پس از آبگیری به خطر بیندازد (شکل ۷). نقشه‌های پهنه‌بندی بزرگی و عمق زمین‌لرزه با درون‌یابی به روش کریجینگ و در ٦ رده در محیط نرم‌افزار ArcGIS®10.1 تهیه شد (شکل‌های ۸ و ۹). بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی بزرگی و عمق زمین‌لرزه تهیه شده برای منطقه مطالعاتی، ساختگاه سد شهید در پهنه‌ای با بزرگی زمین‌لرزه‌های بین ۲/۲۷-۲/۵۷ ریشتر و عمق بین ٦/۲-۹/۳ کیلومتر قرار گرفته است (شکل‌های ۸ و ۹).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ٦: نقشه لرزه‌زمین‌ساختی تهیه شده بر اساس بزرگی برای گستره مورد بررسی

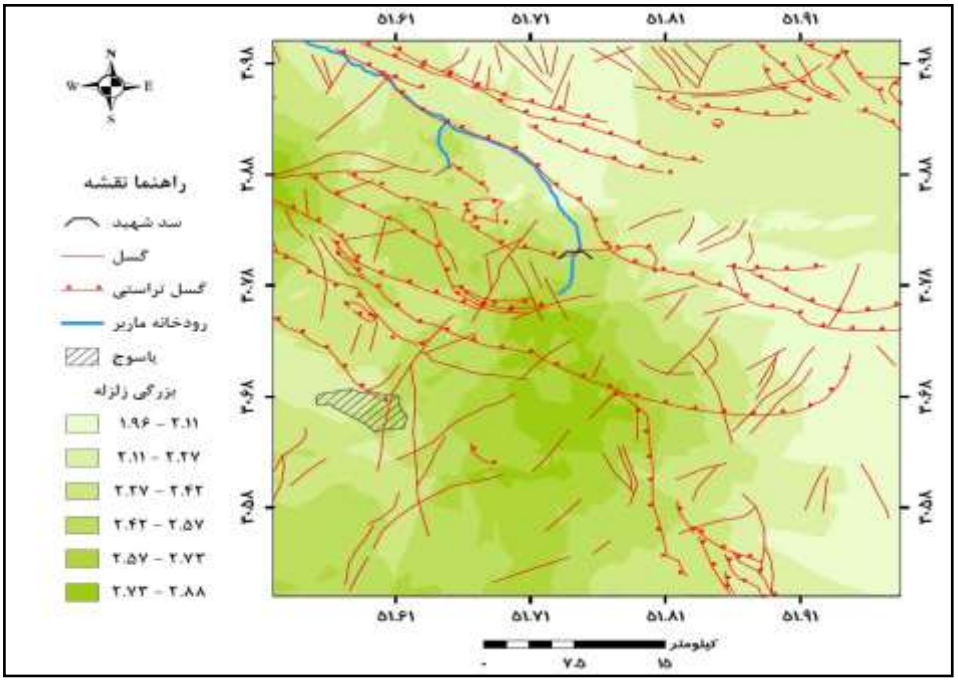
Figure 6: Seismotectonic map prepared on the basis of magnitude for the studied range



شکل ۷: نقشه لرزه‌زمین‌ساختی تهیه شده بر اساس عمق (کیلومتر) برای گستره مورد بررسی

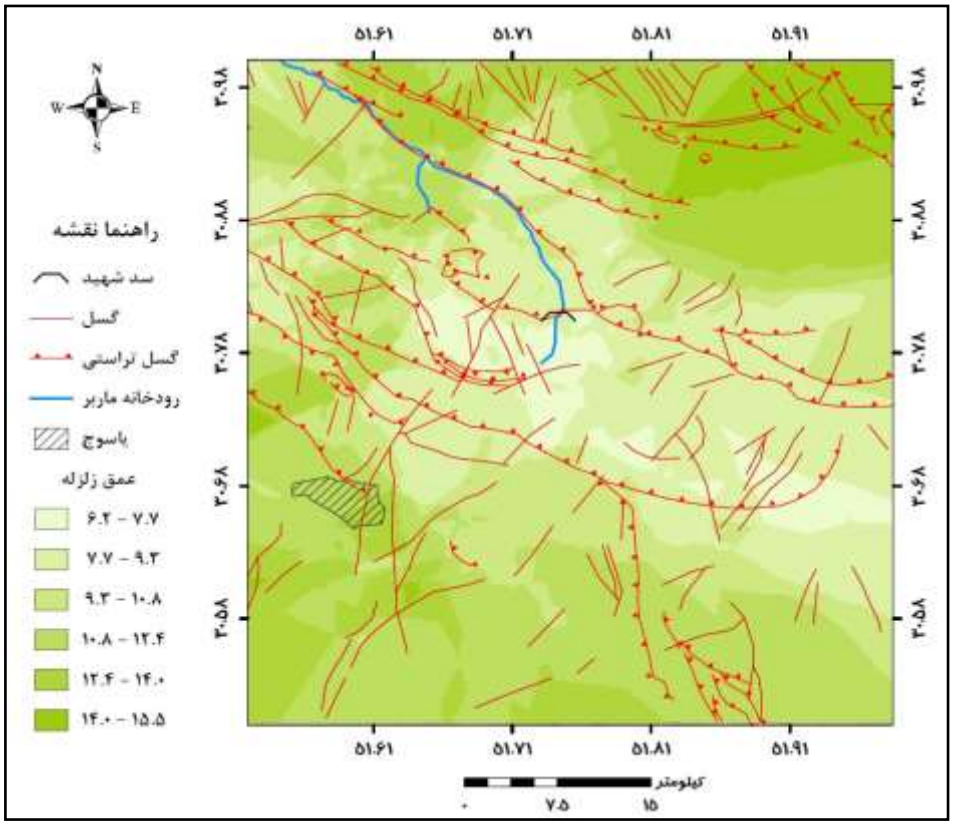
Figure 7: Seismic map prepared based on depth (km) for the studied area

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی بزرگی برای گستره مورد بررسی

Figure 8: Large zoning map for the studied range



شکل ۹: نقشه پهنه‌بندی عمق (کیلومتر) برای گستره مورد بررسی

Figure 9: Depth mapping (km) map for the examined range

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

بر اساس پارامترهایی مانند فاصله از گسل، بزرگی زمین‌لرزه، فاصله از زمین‌لرزه‌ها و عمق زمین‌لرزه‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه برای گستره مورد بررسی در (شکل ۱۰) ارائه شده است. جهت وزن‌دهی به هریک از پارامترها از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی شامل سه عنصر هدف، تعدادی معیار و گزینه است. برای رسیدن به هدف به تعدادی معیار مؤثر امتیاز داده می‌شود و وزن نسبی و وزن نهایی معیارها مشخص می‌گردد (Saaty, 1980). مراحل اصلی تحلیل سلسله مراتبی جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه گستره موردبررسی شامل ساختن سلسله مراتب، تعیین ضریب اهمیت معیارها، تهیه‌ی ماتریس مقایسه‌ی زوجی، تعیین وزن معیارها و رده‌های معیارها و محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری می‌باشد. در مقایسه‌ی زوجی بر حسب هر معیاری میزان ارجحیت گزینه‌ها به صورت دوتایی مقایسه می‌شود و ارجحیت آن‌ها به صورت عبارتی مشخص می‌گردد و به ازای هر عبارت عددی به ارجحیت گزینه‌ها تخصیص داده می‌شود. مقدار ارجحیت گزینه‌ها طبق (جدول ۱) است.

جدول ۱- مقیاس قضاوت شفاهی برای مقایسه زوجی (Saaty, 1980)

Table 1- Oral judgment scale for couples comparison (Saaty, 1980)

اهمیت پارامترها نسبت به یکدیگر	مقدار عددی
اهمیت مساوی	۱
اهمیت نسبتا بیش‌تر	۳
اهمیت بیش‌تر	۵
خیلی مهم‌تر	۷
بسیار مهم‌تر	۹
اهمیت بین فواصل	۲، ٤، ٦ و ۸

با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی برای انجام مقایسه، ماتریسی به ابعاد ٤×٤ ایجاد شد و معیارهای مختلف دوبه‌دو با هم مقایسه گردید و مقادیر مربوط بر اساس غربال ساعتی اختصاص یافت (جدول ۲). برای محاسبه وزن هر معیار، میانگین هندسی هر سطر از ماتریس بر مجموع میانگین هندسی ستون‌ها تقسیم شد. به‌طور مشابه در (جدول‌های ۳ تا ٦) مقادیر وزنی رده‌های پارامتر مؤثر در خطر زمین‌لرزه ارائه شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

جدول ۲- وزن‌دهی به معیارهای مؤثر در خطر زمین‌لرزه

Table 2- Weighting of effective criteria in earthquake hazard

معیارها	فاصله از گسل	بزرگی زمین‌لرزه	فاصله از زمین‌لرزه	عمق زمین‌لرزه	وزن
فاصله از گسل	۱	۳	۵	۷	۰/۵۶۵
بزرگی زمین‌لرزه	۰/۳۳	۱	۳	۵	۰/۲۶۲
فاصله از زمین‌لرزه	۰/۲	۰/۳۳	۱	۳	۰/۱۱۸
عمق زمین‌لرزه	۰/۱۴۳	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۰۵۵

جدول ۳- وزن‌دهی بر اساس فاصله از خطوط گسل (کیلومتر)

Table 3- Weighting based on distance from fault lines (km)

فاصله از گسل	۰-۱/۵	۱/۵-۳	۳-۴/۵	۴/۵-۶	۶-۷/۵
وزن	۰/۵۱۳	۰/۲۶۱	۰/۱۲۹	۰/۰۶۳	۰/۰۳۳

جدول ٤- وزن‌دهی بر اساس بزرگی زمین‌لرزه (MN)

Table 4- Weighting based on the magnitude of the earthquake (MN)

بزرگی	۱/۹۶-۲/۱۱	۲/۱۱-۲/۲۷	۲/۲۷-۲/۴۲	۲/۴۲-۲/۵۷	۲/۵۷-۲/۷۳	۲/۷۳-۲/۸۸
وزن	۰/۰۴۳	۰/۰۶۴	۰/۱۰۱	۰/۱۶۰	۰/۲۵۰	۰/۳۸۲

جدول ۵- وزن‌دهی بر اساس فاصله از زمین‌لرزه (کیلومتر)

Table 5- Weighting based on the distance from the earthquake (km)

فاصله از زمین‌لرزه	۰-۲/۸	۲/۸-۵/۶	۵/۶-۸/۴	۸/۴-۱۱/۲	۱۱/۲-۱۴
وزن	۰/۵۱۳	۰/۲۶۱	۰/۱۲۹	۰/۰۶۳	۰/۰۳۳

جدول ٦- وزن‌دهی بر اساس عمق زمین‌لرزه (کیلومتر)

Table 6- Weighting based on earthquake depth (km)

عمق زمین‌لرزه	۶/۲-۷/۷	۷/۷-۹/۳	۹/۳-۱۰/۸	۱۰/۸-۱۲/۴	۱۲/۴-۱۴	۱۴-۱۵/۵
وزن	۰/۳۸۲	۰/۲۵۰	۰/۱۶۰	۰/۱۰۱	۰/۰۶۴	۰/۰۴۳

اگر نرخ ناسازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل‌قبول است و اگر بیش‌تر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند (Dey and Ramcharan, 2000). به‌طور کلی نرخ ناسازگاری معیاری است جهت تشخیص معنی‌داری ماتریس‌های مقایسه زوجی که مقدار آن باید کم‌تر از ۰/۱ باشد. نرخ ناسازگاری برای ماتریس‌های عوامل مؤثر در خطر زمین‌لرزه گستره مورد مطالعه به‌صورت (جدول ۷) می‌باشد. نتایج بیانگر سازگاری ماتریس‌های عوامل مؤثر در پهنه‌بندی می‌باشد.

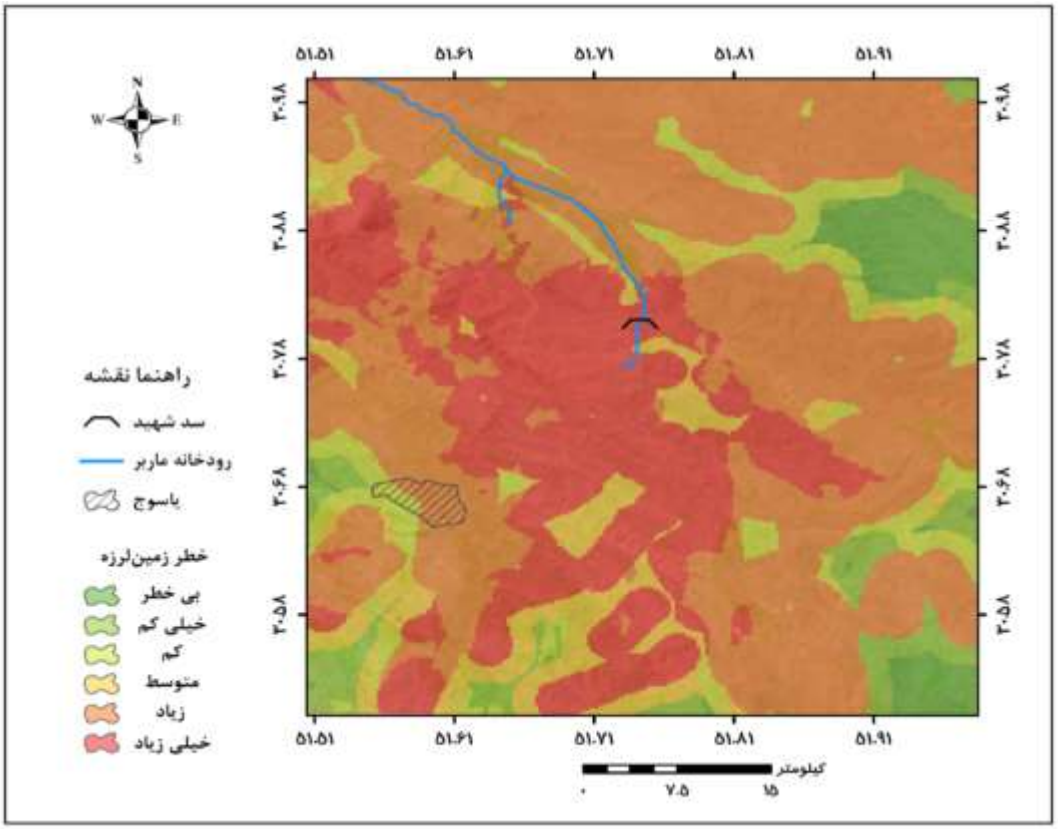
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

جدول ۷- نرخ ناسازگاری ماتریس‌های عوامل مؤثر در خطر زمین‌لرزه

Table 7- Incompatibility rate of the matrix factors affecting earthquake risk

ماتریس	فاصله از گسل	بزرگی زمین‌لرزه	فاصله از زمین‌لرزه	عمق زمین‌لرزه	معیارها
نرخ ناسازگاری	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳

گستره مورد مطالعه ازنظر خطر زمین‌لرزه به شش بخش با خطرپذیری خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی‌کم و بی‌خطر تقسیم شده است. بر این اساس محور و مخزن سد شهید در منطقه‌ای با خطر خیلی‌زیاد قرارگرفته است (شکل ۱۰). با توجه به لرزه‌خیزی بالای گستره ساختگاه سد، انتخاب سد از نوع خاکی، گزینه مناسبی می‌باشد.



شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه تهیه‌شده برای گستره مطالعاتی

Figure 10: Earthquake hazard zonation map prepared for study scope

- تحلیل لرزه‌خیزی

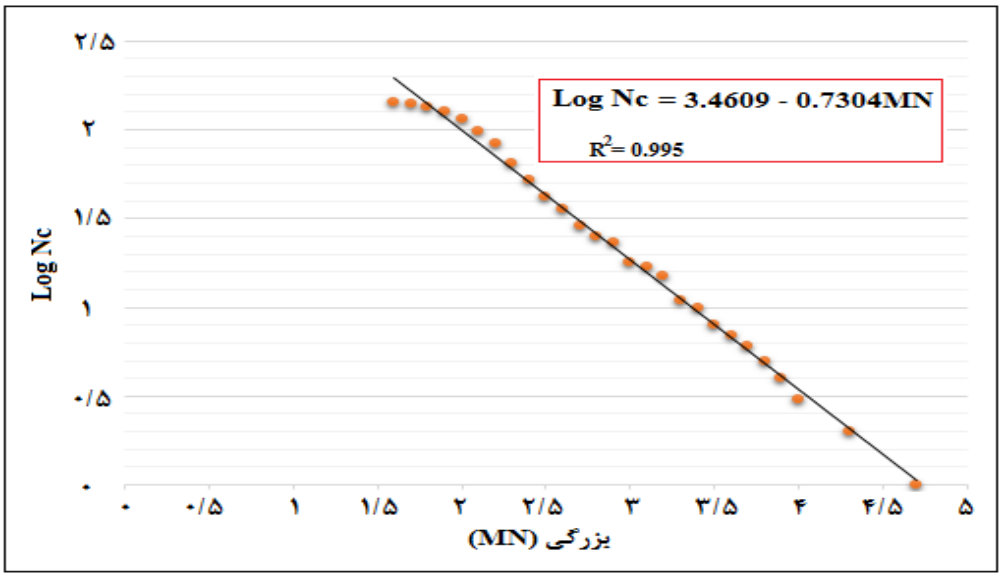
بر اساس فراوانی رویداد زمین‌لرزه‌ها برحسب بزرگی آن‌ها که برحسب روابط مختلف گوتنبرگ-ریشتر بیان می‌گردد و استفاده از روش‌های مختلف آماری، پارامترهای لرزه‌خیزی که همان ضرایب ثابت رابطه گوتنبرگ-ریشتر می‌باشند،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

محاسبه می‌شوند (Gutenberg and Richter, 1956: 140). در این رابطه فراوانی تجمعی زمین‌لرزه‌ها (NC) به‌طور خطی و با در نظر گرفتن رابطه ساده زیر به بزرگی (M) نسبت داده می‌شود (شکل ۱۱).

$$\text{Log } N_c = a\text{-}bM$$ رابطه (۱)

در این رابطه، Nc فراوانی تجمعی زمین‌لرزه‌ها، a ضریب ثابت که با تغییر طول دوره آماری تغییر می‌کند و b ضریب لرزه‌خیزی که افزایش اندازه b در یک دوره زمانی مشخص نشان‌دهنده افزایش بزرگی زمین‌لرزه قابل رویداد بوده و M بزرگی زمین‌لرزه‌ها می‌باشد. نهایتا در روش آماری، کم‌ترین مربعات ضرایب a و b به‌ترتیب ۳/٤٦۰۹ و ۰/۷۳۰٤ به‌دست آمده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: نمودار بزرگی زمین‌لرزه‌ها (MN) و فراوانی تجمعی آن‌ها (Log Nc)

Figure 11: Major earthquakes magnitude (MN) and cumulative frequency (Log Nc)

با توجه به محدودیت‌های این رابطه که از یک طرف امکان استفاده از زمین‌لرزه‌های تاریخی وجود نداشته و از سوی دیگر به دلیل نداشتن حد بالا و پایین برای بزرگی، نتایج به‌دست آمده تنها تابع ماهیت ریاضی رابطه بوده و با واقعیت لرزه‌خیزی منطقه سازگار نمی‌باشد، لذا نتایج تنها برای بازه‌های زمانی که اطلاعات لرزه‌ای نسبتا همگن و پیوسته باشند (زمین‌لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در سده بیستم) در بازه محدودی از بزرگی نسبتا قابل قبول می‌باشند. با استفاده از رابطه خطی گوتنبرگ-ریشتر، احتمال وقوع زمین‌لرزه در طول عمر مفید سازه برای دوره‌های زمانی ۱۰ تا ۱۰۰ سال به‌دست می‌آید (روابط ۲ و ۳).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

$$N = 10^{(a-bM)}$$ رابطه (۲)

$$P = 1 - [EXP(-T \times N)]$$ رابطه (۳)

در روابط فوق، P احتمال وقوع زمین‌لرزه، M بزرگی زمین‌لرزه و T طول عمر مفید سازه برحسب سال می‌باشد. تحلیل خطر لرزه‌ای گستره مورد مطالعه به روش گوتنبرگ–ریشتر نشان می‌دهد که منطقه مورد بررسی بسیار لرزه‌خیز می‌باشد. در این منطقه احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۵، ۵/۵ و ٦ ریشتر طی ۳۰، ٤۰ و ۹۰ سال آینده ۱۰۰٪ می‌باشد. همچنین احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۷/۵ ریشتر طی ۱۰۰ سال آینده کم است (جدول ۸).

جدول ۸- احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ها با بزرگی‌های مختلف در گستره مورد مطالعه (برحسب درصد)

Table 8- Probability of earthquakes with different magnitudes in the studied area (in percent)

MN سال	۵	۵/۵	٦	٦/۵	۷	۷/۵	۸
۱۰	۹۹/۸٤	۹۳/۷۸	٦۹/۸۲	٤۰/۳۵	۱۹/۹۸	۰/۹۲	۰/٤۱
۲۰	۹۹/۹۹	۹۹/٦۱	۹۰/۸۹	٦٤/٤۲	۳۵/۹۷	۱۷/٤۹	۰/۷۹
۳۰	۱۰۰	۹۹/۹۷	۹۷/۲۵	۷۸/۷۸	٤۸/۷۱	۲۵/۰۵	۱۱/۷۰
٤۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۱۷	۸۷/۳٤	٦۰/۰۰	۳۱/۹۲	۱۵/۲۸
۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۷۵	۹۲/٤۵	٦۷/۱۹	۳۸/۱٦	۱۸/۷۲
٦۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۲	۹۵/۵۰	۷۳/۷۵	٤۳/۸۳	۲۲/۰۳
۷۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۸	۹۷/۳۱	۷۸/۹۹	٤۸/۹۸	۲۵/۱۹
۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۹	۹۸/٤۰	۸۳/۱۹	۵۳/٦٦	۲۸/۲۳
۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۰٤	۸٦/۵۵	۵۷/۹۰	۳۱/۱۵
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/٤۳	۸۹/۲۳	٦۱/۷٦	۳۳/۹٤

نتیجه‌گیری

بر پایه‌ی دستاوردهای این تحقیق موارد زیر قابل بیان است:

– با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه تهیه شده، ساختگاه سد شهید در منطقه‌ای با خطر خیلی‌زیاد قرار گرفته است.

– تحلیل لرزه‌خیزی منطقه نشان می‌دهد که احتمال وقوع زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ۵، ۵/۵ و ٦ ریشتر در صد سال آینده در گستره مورد بررسی ۱۰۰٪ می‌باشد. احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۷/۵ ریشتر در گستره مورد بررسی بعید

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

(کم‌تر از ٦١/٧٦٪) پیش‌بینی می‌شود.

- با توجه به پتانسیل بالای لرزه‌خیزی گستره طرح سد شهید، انتخاب سد از نوع خاکی، بهترین گزینه می‌باشد.

- به دلیل قرارگیری محور سد بر روی گسل و منطقه با خطر خیلی زیاد، پیشنهاد می‌شود تا شبکه لرزه‌نگاری با طراحی سیستمی رقمی و غیر تله‌متری حداقل دو سال قبل از ساخت سد، برای مطالعه روند و سرشت لرزه‌خیزی در گستره نزدیک به ساختگاه (شعاع حدود ۲۰ کیلومتر) طراحی و نصب گردد. به‌منظور مشاهده رفتار سد، پی و تکیه‌گاه‌های آن در صورت وقوع زمین‌لرزه توصیه می‌شود حداقل یک دستگاه شتاب‌نگار بر روی زمین طبیعی (ترجیحاً مشابه با پی ساختگاه) و پس از ساخت بدنه سد، چندین دستگاه شتاب‌نگار دیگر بر روی ترازهای مختلف و تکیه‌گاه‌های آن به‌صورت شبکه نصب گردد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

References

- Abedini, M., Mousavi, M., (2018), "Evaluation of the environmental hazards in Watershed Izeh City using models; WLC and Topsis", ***Journal of Geographical Space***, 61: 41-62. [In Persian].
- Agha-Nabati, A., (2007), "***Geology of Iran***", Tehran: Geological survey and mineral exploration of Iran press. [In Persian].
- Ambraseys, N. N., (1978), "Middle East-A reappraisal of the seismicity", ***Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology***, 11: 19-32.
- Amirahamdi, A., Abbariki, Z., (2014), "Sub zoning of earthquake risk in Sabzevar City by using GIS", ***Geography and Development Iranian Journal***, 35: 133-152. [In Persian].
- Andrianopoulos, K., Papadimitriou, A., Bouckovalas, G., Karamitros, D., (2014), "Insight into the seismic response of earth dams with an emphasis on seismic coefficient estimation", ***Computers and Geotechnics***, 55: 195-210.
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A., Barka, A., (1999) ,"Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: timing and kinematics", ***Geology***, 27: 267-270.
- Armijo, R., Meyer, B., Navarro, S., King, G., Barka, A., (2002), "Asymmetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart: a clue to propagation processes of the North Anatolian fault", ***Terranova***, 14: 80-86.
- Azarafza, M., Nikoobakht, Sh., Asghari-Kaljahi, E., Nogol Sadat, M., (2015), "Estimating of seismicity parameters in Golab 2 conveyance water tunnel with preliminary Gutenberg - Richter method", ***Journal of Geotechnical Geology***, 4: 277-278. [In Persian].
- Dadgar, H., Jalalian, H., (2015), "Rural settlements vulnerability zoning for the earthquake risk using AHP model in GIS software, a case of Chavarzagh district in Tarom Township (Iran)", ***Geography And Environmental Iranian Journal***, 3: 29-42. [In Persian].
- Dehghan-Manshadi, S. H., Mirzaei, N., Eskandari-Ghadi, M., (2013), "Study of seismotectonic and seismicity of Isfahan region", ***Journal of the Earth and Space Physics***, 4: 1-22. [In Persian].
- Dey, P. K., Ramcharan, E. K., (2000), "Analytic hierarchy process helps select site for limestone uarry expansion in Barbados", ***Journal of Environmental Management***, 88: 1384-1395.
- Fotuhi, S., Kyani, S., (2015), "Risk assessment of Nahavand city against seismic risk based on seismotectonic and urban criteria using AHP", ***Geodynamics research international Bulletin***, 1: 88-99. [In Persian].
- Gutenberg, B., Richter, C. F., (1956), "Earthquakes magnitude, intensity, energy and acceleration", ***Bulletin of the Seismological Society of American***, 46: 105-145.
- Hashemi, M., Alesheikh, A., Malek, M., (2015), "Zoning earthquake vulnerability using GIS (Case study: Tehran city)", ***Journal of Environmental Science and Technology***, 1: 349-359. [In Persian].
- Hongmei, G., Zhihua, W., Dandan, J., Guoxing, C., Liping, J., (2015), "Fuzzy evaluation on seismic behavior of reservoir dams during the 2008 Wenchuan earthquake, China", ***Engineering Geology***, 197: 1-10.
- ICOLD., (1995), "International commission on large dams", tailings dams and seismicity", ***Review and recommendations, Bulletin***, 98: 30- 45.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

- IIEES., (2015), "Earthquake data", International institute of earthquake engineeringand seismology. [on line]: http://www.iiees.ac.ir.
ISC., (2015), "Earthquake data", Iranian seismological center. [on line]: http://www.irsc.ut.ac.ir.
- Kalane, S., Agh-Atabai, M., (2015), "Seismic activity zoning of Zagros fold and thrust belt using fractal parameters", ***Journal of the Earth and Space Physics***, 3: 363-375. [In Persian].
- Karimi, M., Najafi, E., (2015), "Earthquake risk assessment using with AHP-Fuzzy combined model in order to urban safety (Case study: Region of Tehran Metropolitan)", ***Journal of Research and Urban Planning***, 20: 17-34. [In Persian].
- Kayal, J.R, (2014), "Seismotectonics of the great and large earthquakes in Himalaya", ***Current science***, 106: 188-197.
- Lin, P., Huang, B., Li, Q.,Wang, R., (2015), "Hazard and seismic reinforcement analysis for typical large dams following theWenchuan earthquake", ***Engineering Geology***, 194: 86-97.
- Liu, J., Xie, F., Lv, Y., (2016), "Seismic hazard assessments for the Ordos Block and its periphery in China", ***Soil Dynamics and Earthquake Engineering***, 84: 70-82.
- Mahab Ghodss, (2012), "Shahid dam report (Phase 1)", Mahab Ghodss consulting engineering company press. [In Persian].
- Mousavi, H., Mirzaei, N., Shabani, E., Eskandari-Ghadi, M., (2014), "Seismic hazard zoning in Iran and estimating peak ground acceleration in provincial capitals", ***Journal of the Earth and Space Physics***, 4: 15-38. [In Persian].
- Mousavi, M., Abedini, M., Esmeali Ouri, A., (2015), "Evaluation seismic hazard in Izeh urban catchment with using models, Multi-criteria: WLC and AHP. in GIS", ***Journal of Emergency Management***, 1: 93-101. [In Persian].
- Rahimi Shahid, M., Kargaran, F., Rahimi, N., (2016-a), "Using remote sensing data and GIS tools for preparation seismic zones map of Isfahan, Iran", ***Journal of RS and GIS for Natural Resources***, 4: 47-59. [In Persian].
- Rahimi Shahid, M., Kargaranbafghi, F., Moosavi, S. M., Rahimi, N., (2016-b), "Engineering geological assessment of the Shahid dam site (Semirom, Iran)", ***Journal of Geotechnical Geology***, 2: 193-205.
- Rahimi Shahid, M., Rahimi, N., (2017), "Earthquake hazard zoning using analytical hierarchy process (AHP) and GIS techniques (Case study: central part of the Semirom city)", ***New Findings in Applied Geology***, 22: 109-118. [In Persian].
- Rangzan, K., Kaboulizade, M., Mansour Naeimi, E., (2015), "The zoning of earthquake risk by using fuzzy inference system and fuzzy analytic hierarchy process", ***Journal of RS and GIS for Natural Resources***, 2: 1-18. [In Persian].
- Regional Water Company of Fars, (2013), "Providing Marbor water to Abadeh from Shahid dam; Second Phase Studies", ***Engineering Geology Report***, 2: 138-152. [In Persian].
- Saaty, T., (1980), "The analytical hierarchical process: planning, priority setting resource allocation", New York: Mc Graw-Hill.
- Sedaghat, A., Shaverdi, T., (1975), "***Yasuj Geological map (1:100000)***", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran: Tehran.
- Soltani, A., Hajipor, A., Jahantigh, H., (2016), "Analysis of communications network abilities of Tabriz city during earthquake using GIS", ***Journal of Geographical Space***, 52: 251-266. [In Persian].
- Wells, D. L, Coppersmith, K. J., (1994), "New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement", ***Bull. Seism. Soc. AM.***, 84: 974-1002.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]