

ارزیابی توسعه کالبدی شهر اصفهان بر اساس تحلیل خطر زمین لرزه

حسن علیزاده*^۱، محمد خلیج^۲

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور

۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور

(دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۳۰)

Evaluation of Physical Development of Isfahan City Based on Earthquake Risk Analysis

Hasan Alizadeh*¹, Mohammad Khalaj²

1. Assistant Professor, Department of Geology, Payame Noor University

2. Assistant Professor, Department of Geology, Payame Noor University

(Received: 13/Jan/2020

Accepted: 18/Apr/2020)

Abstract

In the present study, to analyze the earthquake risk of Isfahan, seismic studies and seismic hazard studies have been performed. In seismic studies of tectonics and seismic hazards of each region, it is necessary to study the active faults of that region with a radius of about 300 km, so in this study, active faults in Isfahan province were also studied. According to the obtained results, the north-south stress trend of Isfahan province due to the activity of straight-slip faults and the northwest-southeast stress trend indicate the reactivation of the rocky faults. The southern parts of the province, including Kolah Ghazi and Pirbakran faults, and part of Khansar fault, as well as the area of Najafabad fault in the northwest and part of Baharestan and Dehaq faults show the most activity in the region. The southern, southeastern and southwestern parts of Isfahan province have moderate activity compared to other parts of the province. According to this research, the city of Isfahan and especially its northern regions are in low risk and low activity in terms of earthquake risk. However, due to the density of identified faults, the southern parts of Isfahan are in the range of moderate seismic risk. Therefore, according to the seismic characteristics of the region and the seismic potential of active faults, necessary measures should be taken to strengthen buildings and structures in urban policies and programs.

Keywords: Tectonic Earthquake, Active Structures, Neo-tectonic, Isfahan, Sanandaj-Sirjan zone.

چکیده

در این پژوهش برای تحلیل خطر زمین‌لرزه شهر اصفهان، مطالعات لرزه زمین‌ساخت و مطالعات مخاطرات لرزه‌ای انجام شده است. در مطالعات لرزه زمین‌ساخت و مخاطرات لرزه‌ای هر منطقه لازم است گسل‌های فعال آن منطقه به شعاع حدود ۳۰۰ کیلومتر مورد بررسی قرار بگیرند، لذا در این تحقیق، گسل‌های فعال استان اصفهان هم مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج به دست آمده روند تنش شمالی-جنوبی استان اصفهان در اثر فعالیت گسل‌های راست‌لغز و روند تنش شمال‌غرب-جنوب‌شرق حاکی از فعالیت دوباره گسل‌های پی‌سنگی می‌باشد. قسمت‌های جنوبی استان شامل گسل‌های کلاه‌قازی و گسل پیربکران و بخشی از گسل خوانسار و همچنین محدوده گسل نجف‌آباد در شمال‌غرب و قسمتی از گسل بهارستان و دهق بیشترین فعالیت را در منطقه نشان می‌دهند. بخش‌های جنوب، جنوب‌شرق و جنوب‌غرب استان اصفهان، نسبت به سایر قسمت‌های استان فعالیت متوسطی دارند. بر اساس این تحقیق، شهر اصفهان و به ویژه مناطق شمالی آن از لحاظ خطر زمین‌لرزه در محدوده کم‌خطر و کم‌فعالیت قرار گرفته است. ولی بخش‌های جنوبی شهر اصفهان به دلیل تراکم گسل‌های شناسایی شده، در محدوده خطر متوسط لرزه‌ای قرار می‌گیرد. بنابراین با توجه به ویژگی‌های لرزه‌خیزی منطقه و توان لرزه‌زایی گسل‌های فعال، باید در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های شهری و یا توسعه شهر، نسبت به مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و سازه‌ها اقدامات لازم صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: لرزه زمین‌ساخت، ساختارهای فعال، نوزمین‌ساخت، اصفهان، زون سنندج-سیرجان.

مقدمه

ضروری می‌باشد. عدم شناسایی دقیق گسل‌های فعال از مهم‌ترین مشکلاتی است که غالباً در خصوص تعیین خطر زلزله در مناطق مختلف وجود دارد.

ریسک در مراکز شهری جهان سوم به دلیل شهرنشینی بدون برنامه، توسعه شهر در مناطق مخاطره‌آمیز با درجه ریسک بالا، اقدامات مدیریتی نارسا در شهر و اقدامات ساخت و ساز نامناسب در شهر افزایش چشمگیری داشته است (Lewis and Jaana, 2017: 52).

حريم امن شهرها در کشورهای در حال توسعه در مناطق لرزه‌خیز به برنامه‌ریزان و مدیران شهری در تقلیل خطرات زلزله و مدیریت ریسک کمک شایانی می‌کند. برای تهیه طرح توسعه شهر، آگاهی و شناخت کامل از طیف گسترده‌ای از عوامل مربوط به زمین از جمله مخاطرات لرزه‌ای آن ضروری است. کنترل توسعه زمین در مجاورت یا بر روی گسل‌های فعال بخشی از قانون مدیریت منابع در بریتانیا (۲۰۰۵) است. این خطوط راهنما مسیر دیدگاه‌های برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مجاورت یا روی این مناطق را بیان می‌دارد (Kerr and Nathan, 2016: 1).

از جمله زمین‌لرزه‌های تاریخی شهر اصفهان، زمین‌لرزه تاریخی سال ۷۲۲ هجری شمسی (۱۳۴۴ میلادی) می‌باشد. این زمین‌لرزه باعث تخریب برخی از خانه‌های شهر شد و طی آن حدود ۲۰ تن کشته شدند (Ambraseys and Melville, 1982: 213). وقوع این زمین‌لرزه و ثبت که لرزه‌ها در استان اصفهان اهمیت بررسی توان لرزه‌ای گسل‌های فعال را نشان می‌دهد. مهم‌ترین مطالعات منتشر شده در خصوص وضعیت زمین‌شناسی و گسل‌های محدوده مورد بررسی، نقشه‌های تکنونیک و سائزموکتونیک ایران به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور می‌باشند. نخستین مطالعه انجام گرفته در خصوص وضعیت لرزه‌خیزی استان اصفهان، تحقیقات انجام یافته توسط کارشناسان امور ویژه زلزله‌شناسی سازمان انرژی اتمی ایران می‌باشد (مهاجرشجعی، ۱۳۶۰: ۳۶).

به منظور شناخت وضعیت لرزه‌خیزی استان اصفهان در ارتباط با احداث مرکز تکنولوژی هسته‌ای اصفهان، شبکه حساس لرزه‌نگاری شامل هفت دستگاه تراپریذیر در اطراف شهر اصفهان نصب و به مدت بیش از دو سال، طی مرداد ماه سال ۱۳۵۵ تا آذرماه ۱۳۵۷ مورد بهره‌برداری واقع شدند. دومین مرحله از برداشت فعالیت‌های لرزه‌ای منطقه اصفهان طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ میلادی در کمتر از سه سال توسط پایگاه

شهر اصفهان با مختصات جغرافیایی ۵۱/۱ تا ۵۲/۲ درجه طول شرقی و ۳۲/۱ تا ۳۳/۱ درجه عرض شمالی در استان اصفهان و بخشی از زون سنندج-سیرجان است و واحدهای سنگی به سن کرتاسه تا عهد حاضر را در بر می‌گیرد. زون سنندج-سیرجان باریکه‌ای از جنوب باختری ایران میانی است که در بلافصل شمال شرقی راندگی اصلی زاگرس قرار گرفته و ویژگی‌های زمین‌شناختی آن با پهنه‌های مجاور تفاوت آشکاری دارد (آقا-نابتی، ۱۳۸۳: ۱۶۴). وجود گستره پایدار سپر اوراسیا (اروپا-آسیا) تنش‌های فشارشی ناشی از بازشدن دریای سرخ، حرکت صفحه آفریقا-عربستان (گندوانا) در راستای شمال-شمال-شرقی، با نرخ همگرایی ۲۵ تا ۳۰ میلی‌متر در سال (DeMets et al., 1994)، منجر به چین‌خوردگی‌های فراوان و سامانه‌های گسلی و عارضه‌های زمین‌ساختی شاخصی شده که نوار چین خورده-رانده زاگرس نامیده می‌شود. بر پایه نظر ورنانت و چری (2006)، از آن جا که بلوک ایران مرکزی با نرخ تقریبی ۱۳ میلی‌متر در سال به سوی شمال نسبت به اوراسیا حرکت می‌کند و این میزان بین بلوک ایران مرکزی و صفحه عربستان به ۷ میلی‌متر در سال کاهش می‌یابد، دگرشکلی‌های بزرگی در منطقه شکل گرفته است. همگرایی بین صفحات عربستان-اوراسیا، با ضخیم شدن و انتقال جانبی پوسته تعدیل شده است که گسل اصلی معکوس زاگرس و گسل اصلی عهد حاضر زاگرس به ترتیب ریختارهای اصلی در ضخیم‌شدگی و انتقال جانبی در پوسته هستند (حیدری و میرزائی، ۱۳۸۸: ۵۲).

از نظر زمین‌شناسی، در استان اصفهان سنگ‌های دگرگونی منسوب به پرکامبرین پالئوزوئیک به طور عمده در نواحی خاوری و نهشته‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک در دیگر بخش‌های استان برونزد دارد و علاوه بر دگرشیبی زاویه‌ای رسوب‌گذاری کرتاسه که روی چین‌خوردگی و شکستگی‌های شیب‌ها و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک را پوشانده‌اند، دگرشیبی دیگری بین رسوب‌های دوران سوم و کرتاسه وجود دارد که بیانگر فاز دیگری از حرکت‌های آلپی در این منطقه است (تاجمیری‌یاحی، ۱۳۹۲: ۵۸).

استان اصفهان به عنوان یکی از استان‌های صنعتی و مهم کشور نقش به‌سزایی در توسعه کشور ایفا می‌کند. با توجه به سرمایه‌گذاری‌های کلان اقتصادی در پروژه‌های مختلف عمرانی و گسترش قطب‌های صنعتی و همچنین بالا بودن خطر زمین‌لرزه در ایران، تعیین این خطر در شهر اصفهان امری

بررسی‌های دقیق صحرایی بر مبنای داده‌های لغزش گسلی و درزه‌ها، با استفاده از روش گرافیکی صورت گرفت. این روش در مواردی که تعداد داده‌ها کم باشند مناسب است (Anglier and Michler, 1977: 71). برای آنالیز گسل‌های منطقه از جمله گسل‌های کلاه‌قازی و پیربکران، گسل خوانسار، گسل نجف‌آباد، گسل بهارستان و برخی دیگر از گسل‌های اصلی استان که فعالیت لرزه‌خیزی آن‌ها شهر اصفهان را هم تحت تاثیر قرار می‌دهد، از روش وارون‌سازی استفاده شد که شامل مشخص کردن تانسور اصلی تنش با توجه به جهت‌ها و سوی لغزش بر روی گسل‌های متعدد است (Anglier, 1994: 53).

کام اساسی در تعیین مخاطرات لرزه‌خیزی منطقه، تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی است که مبنای پهنه‌بندی خطر لرزه-خیزی می‌باشد. در این پژوهش ضرایب لرزه‌خیزی منطقه، میزان احتمال وقوع رویداد و دوره بازگشت، بر مبنای روش احتمالاتی تعیین خطر زمین‌لرزه، با استفاده از بررسی فهرست زمین لرزه‌های تاریخی و دستگاهی در منطقه بر گرفته از منابع و کتاب‌های تاریخی و اطلاعات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله-شناسی و مهندسی زلزله و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، و با به کارگیری نرم افزار کیکو (Kijko) محاسبه شده است.

به منظور پهنه‌بندی شهر اصفهان، منطقه مورد بررسی به واحدهای کوچک‌تر به ابعاد 10×10 کیلومتر تقسیم شد. پارامترهایی که به عنوان تعیین کننده میزان لرزه‌خیزی، مورد توجه قرار گرفت عبارتند از: تعداد زمین‌لرزه‌ها و بزرگی آن‌ها در هر واحد، میانگین عمق کانونی، مقدار b value در رابطه گوتنبرگ-ریشتر، شاخص توپوگرافی ریلیف (Relief) و سرانجام تعداد گسل‌ها در هر ناحیه. انتخاب این پارامترها بر اساس تجربه و شهود زمین‌ساختی انجام شده است (MehdiZadeh, et al., 2016: 18).

به طور کلی گسل‌های اصلی شناسایی شده در استان اصفهان به سه دسته اصلی قابل تقسیم می‌باشند:

الف- دسته اول به تبعیت از روند زاگرس دارای راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی هستند.

ب- دسته دوم دارای راستای تقریباً شرقی-غربی هستند.

ج- دسته سوم دارای راستای شمالی-جنوبی می‌باشد (صفایی، ۱۳۸۴: ۲۱).

به جز گسل‌های دارای راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی که شناخت بیشتری از آن‌ها وجود داشته و تعدادی از آن‌ها در نقشه‌های موجود زمین‌شناسی نشان داده شده‌اند، گسل‌های دو

لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در استان اصفهان انجام گرفته است.

دهقان‌منشادی و همکاران (۱۳۹۱) لرزه زمین‌ساخت منطقه اصفهان را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که اغلب زمین‌لرزه‌های استان اصفهان به دلیل فعالیت گسل‌های معکوس است.

قائدرحمتی و حیدری‌نژاد (۱۳۹۷) چالش‌ها و راهکارهای گسترش شهر اصفهان را مورد بررسی قرار دادند، مطابق این تحقیق ادغام تعداد زیادی از سکونتگاه‌های روستایی، بخش‌ها، شهرک‌ها و شهرها در شهر اصفهان به خاطر گسترش فیزیکی آن، موجب رشد بی‌قواره شهری و افزایش آسیب‌پذیری شده است، همچنین گسترش بی‌برنامه شهر، به ویژه جنوب شهر بدون در نظر گرفتن جهت گسل‌ها، احتمال پیوستن شهر را به منطقه لرزه‌خیز بالا برده است.

مطابق مطالعات مهندسین مشاور آتک (۱۳۹۵)، ساخت و سازهای جدید و بلندمرتبه در سال‌های اخیر باعث مسدود شدن چشم‌انداز به کوه صفه از حاشیه شمالی زاینده‌رود و بالعکس، مسدود شدن دید به شهر و عناصر واجد ارزش تاریخی از ارتفاعات شده است و مخاطرات لرزه‌ای را به دلیل نزدیکی به گسل‌های شهر افزایش داده است.

خطر زمین‌لرزه به واسطه وجود گسل‌ها، ساخت‌وساز و توسعه شهری در مناطق مستعد ناپایدار را با محدودیت مواجهه می‌سازد. نبود توانمندی‌ها و برنامه‌ریزی‌های عملیاتی جهت مدیریت بحران و وجود بافت‌های آسیب‌پذیر متعدد از دلایل اصلی پرداختن به این مسأله است.

در مطالعات لرزه زمین‌ساختی و ارزیابی مخاطرات لرزه‌ای یک منطقه، که می‌تواند ساختگاه سازه‌های مهم مهندسی مثل سد و نیروگاه اتمی یا یک شهر باشد، ضروری است ساختارهای فعال مانند گسل‌های فعال منطقه، به شعاع حدود ۳۰۰ کیلومتر، مورد بررسی قرار گیرند. لذا در این تحقیق علی‌رغم این که مخاطرات لرزه‌ای شهر اصفهان مورد نظر است، ولی گسل‌های استان اصفهان هم که فعالیت آن‌ها می‌تواند شهر اصفهان را تحت تاثیر قرار بدهند، مورد بررسی‌های مختلف لرزه‌ای قرار گرفتند.

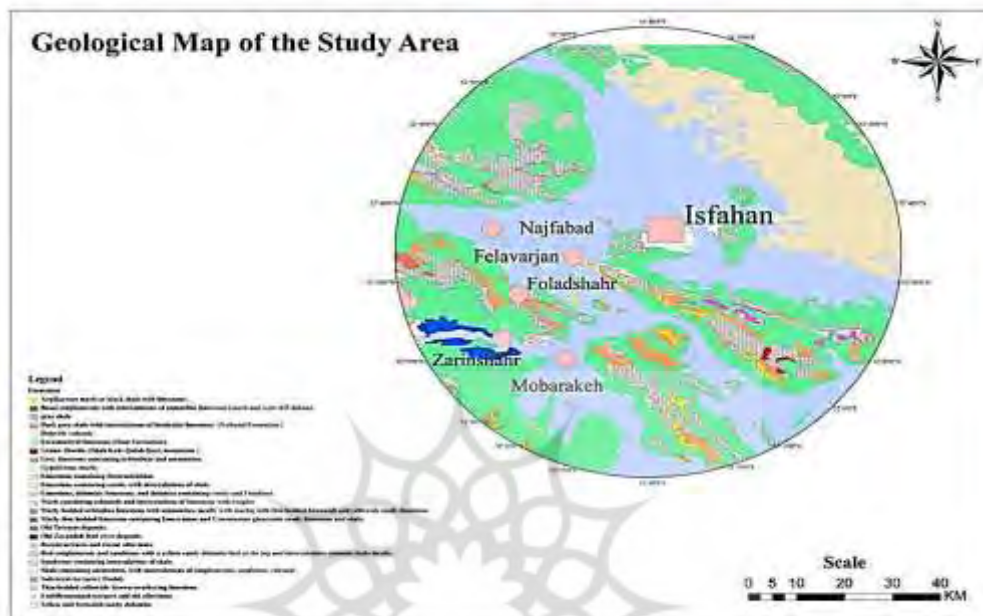
شکل ۱ موقعیت زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

داده‌ها و روش کار

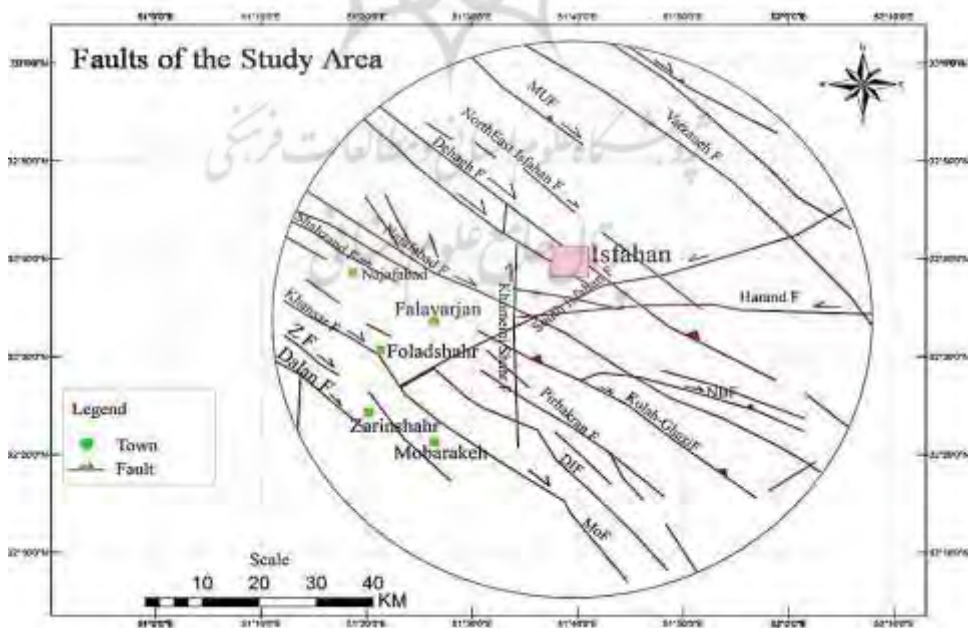
در این پژوهش برای اندازه‌گیری تنش وارده بر استان اصفهان،

دیده نمی‌شوند. شکل ۲ گسل‌های گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

دسته دیگر برای اولین بار در پژوهشی در سال ۱۳۸۲ به کمک پردازش داده‌های رقومی ماهواره‌ای شناسایی شده‌اند و متأسفانه هنوز در نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. گسل‌های محدوده مورد مطالعه

سیستم گسلی اصفهان

سیستم گسلی اصفهان، یک سیستم گسلی فعال پی‌سنگی است که از غرب شهر اصفهان عبور کرده و دارای دو گسل با امتداد تقریباً شمالی-جنوبی، به فاصله ۱۰ کیلومتری از هم می‌باشند (صفایی، ۱۳۸۴: ۳۲).

این سیستم گسلی دارای حرکت‌های نرمال و راستالغز راستگرد می‌باشد. گسلی که در سمت غرب می‌باشد دارای ۲۲۰ کیلومتر طول بوده و گسل اصفهان نامیده شده است. گسل دوم که ۱۶۰ کیلومتر طول داشته و در سمت شرق گسل اصفهان قرار گرفته، گسل خمینی شهر نام‌گذاری شده است. این سیستم گسلی به عنوان مرز بین زون سندج-سیرجان شمالی و زون سندج-سیرجان جنوبی معرفی شده و مرز بین تفاوت‌های آن‌ها از نظر چینه‌شناسی، پترولوژی، ژئومورفولوژی و لرزه‌خیزی می‌باشد. سیستم گسلی اصفهان از سمت شمال به زون ارومیه-دختر و از سمت جنوب به تراس اصلی زاگرس می‌رسد (صفایی، ۱۳۸۴: ۱۴).

گسل خمینی شهر

در ارتفاعات شمال دانشگاه صنعتی اصفهان قابل تشخیص می‌باشد. هر چند که می‌توان عملکرد این گسل را تا ارتفاعات شرق پلیس راه اصفهان-میمه در نظر گرفت، ولی به دلیل پوشش مناطق زراعی این پیوستگی در نظر گرفته نشده است. در غرب اصفهان آثار آن توسط پوشش گیاهی پوشیده شده، ولی بریدگی ارتفاعات ایرانکوه توسط این گسل به خوبی قابل تشخیص می‌باشد. در معدن ایرانکوه میانگین وضعیت گسل‌های فرعی موازی این گسل به صورت 5/50ESE می‌باشد. در تعدادی از این گسل‌ها مؤلفه حرکتی شیب‌لغز نرمال نیز مشاهده می‌شود. در محدوده معدن پیربکران میانگین وضعیت گسل‌های فرعی موازی این گسل به صورت NE170/60 می‌باشد (صفایی و تاجمیرریاحی، ۱۳۹۰: ۴).

گسل شمال شرق اصفهان

این گسل با درازای بیش از ۲۴۵ کیلومتر و راستای کلی AZ130 درجه در بخش شمال غربی و AZ150 درجه در بخش جنوب شرقی یکی از گسل‌های اصلی محدوده مورد مطالعه است که از بخش‌های شمال شرقی شهر اصفهان عبور می‌کند. انتهای شمال غربی این گسل در خارج از محدوده مورد مطالعه تا آبرفت‌های شرق گلپایگان شناسایی شده است. در

ارتفاعات گردنه زینل در شرق اصفهان عملکرد این گسل به صورت بریدگی در آهک‌های کرتاسه زیرین به صورت میانگین 150/75NE مشاهده می‌شود. در مجاورت این گسل بیش از ۳۰ کانون کهلرزه‌ای ثبت شده است (صفایی و تاجمیرریاحی، ۱۳۹۰: ۱۴).

در پی عملکرد بخش شمال غربی این گسل ارتفاعات آهکی کرتاسه زیرین به صورت خطی بریده شده و در مجاورت آبرفت‌های دشت و یا واحدهای جوان تر کرتاسه قرار گرفته‌اند. بخش‌های میانی این گسل نیز باعث بریدگی و جابجایی واحدهای کرتاسه و سازند ناپیند شده است. در نزدیکی اصفهان به دلیل پوشش مناطق زراعی، به غیر از منطقه گردنه زینل عملکرد این گسل قابل تشخیص نیست. البته در ارتفاعات ۴۰ کیلومتری جنوب شرق اصفهان و شمال محمدآباد، بریدگی خطی این گسل به خوبی مشاهده می‌شود.

گسل جنوب اصفهان

این گسل با درازای بیش از ۱۶۵ کیلومتر و راستای کلی ۷۰ الی ۷۵ درجه یکی از مهم‌ترین گسل‌های دارای راستای شمال شرقی-جنوب غربی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد که از جنوب شهر اصفهان عبور می‌کند. بریدگی و جابجایی ارتفاعات آهکی کرتاسه در شمال زین شهر و ارتفاعات کوه صفه در جنوب غرب شهر اصفهان در اثر عملکرد این گسل به خوبی قابل تشخیص می‌باشد. وضعیت میانگین آن در کوه صفه به صورت SW70/85 می‌باشد. زاویه افتادگی خش‌لغزهای گسلی نیز به صورت SE ۴۰ می‌باشد. در ارتفاعات گردنه زینل وضعیت میانگین گسل‌های فرعی موازی با آن به صورت SE 70/80 بوده و شیب تعداد قابل توجهی از آن‌ها نیز نزدیک به قائم است. در مجاورت این گسل بیش از ۵۰ کانون کهلرزه ای غالباً در جنوب غرب اصفهان در محل برخورد با دیگر گسل‌های اصلی ثبت شده است (صفایی و تاجمیرریاحی، ۱۳۹۰: ۱۸).

در شرق شهرکرد، منطقه گردنه رخ در اثر عملکرد گسل‌های F56, F58, F60 گسل جنوب اصفهان جابجا شده و به صورت ۲ گسل تقریباً موازی منشعب شده است. بریدگی خطی شیل‌های سازند شمشک در غرب باغبان‌داران ناشی از عملکرد این گسل می‌باشد که میزان حداکثر بزرگی زمین‌لرزه احتمالی در آن ۷/۳۴ و بیشینه شتاب افقی ۰/۳۴ شتاب گرانش زمین به دست آمده است.

گسل مبارکه

گسل مبارکه با روند NW-SE و سازوکار معکوس و امتدادلغز راستگرد در شمال شرق شهرستان مبارکه قرار گرفته است (شکل ۳).

گسل مبارکه و زرین شهر و همچنین تغییر مسیر رودخانه زاینده رود توسط این دو گسل را نشان می‌دهد (ندیمی و کانن، ۲۰۱۲: ۱۳) بخش شمال غربی و میانی این گسل دارای راستای AZ135 و بخش جنوب شرقی آن دارای راستای AZ145 می‌باشد. بخش شمال غربی آن باعث قرارگیری ارتفاعات کرتاسه در مجاورت سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین شده و بخش میانی آن قبل از زرین شهر آهک‌های کرتاسه را به

صورت کاملاً خطی در مجاورت دگرگونی‌های پرکامبرین و بخش‌هایی از سازند شمشک قرار داده است. در مناطق زرین شهر و مبارکه آثار این گسل توسط آبرفت‌ها و پوشش گیاهی پوشیده شده ولی بریدگی خطی ارتفاع کوچک شرق زرین شهر با درازای بیش از ۲ کیلومتر شاهد خوبی از عملکرد آن می‌باشد. بخش جنوب شرقی این گسل تا جنوب شهرضا که به گسل F44 می‌رسد قابل تشخیص است و حداکثر بزرگی زمین‌لرزه احتمالی ۷/۳۴ و بیشینه شتاب افقی ۰/۳۹ شتاب ثقل زمین برای آن به دست آمده است (صفایی، ۱۳۸۴: ۱۶؛ سهرابی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶).



شکل ۳. الف: عبور گسل مبارکه و زرین شهر از منطقه و جابجایی مسیر رودخانه زاینده رود به وسیله این دو گسل ب: تغییر مسیر رودخانه زاینده رود توسط گسل زرین شهر

گسل ایرانکوه

این گسل با درازای بیش از ۲۰۰ کیلومتر و با راستای کلی AZ125 تا AZ145 به صورت مورب از کل محدوده مورد مطالعه عبور می‌کند. در جنوب شرق محدوده، عملکرد این گسل به صورت بریدگی خطی ارتفاعات ساخته شده از آهک-های کرتاسه می‌باشد. آبرفت‌های جنوب غربی محمدآباد باعث پوشیده شدن بخشی از این گسل شده ولی مجدداً این گسل باعث قرارگیری ارتفاعات کلاه‌قازی و ایرانکوه در مجاورت

آبرفت‌های دشت شده است. این بخش از گسل که بیش از ۴۰ کیلومتر طول دارد، قبلاً در نقشه زمین‌شناسی اصفهان معرفی شده است. در معدن ایرانکوه وضعیت میانگین اغلب گسل‌های فرعی موازی این گسل به صورت 130/50NE می‌باشد. تاثیر گسل شمالی-جنوبی F26 بر روی گسل ایرانکوه چشمگیر نبوده و در غرب آن نیز گسل ایرانکوه به صورت پوشیده توسط پوشش گیاهی تا ارتفاعات شمال غرب نجف‌آباد قابل پیگیری است.

گسل هرنند

(تاجمیر ریاحی، ۱۳۹۲: ۳۴).

این گسل با طول ۱۳۰ کیلومتر و راستای شرقی-غربی از جنوب شهر اصفهان عبور می‌کند. انتهای شرقی آن تا گسل F12 در آبرفت‌های دشت جنوب زفره قابل تشخیص بوده و تأثیر آن بر نهشته‌های جوان کواترنری و همچنین گسترش رطوبت سطحی منطقه سگزی به خوبی دیده می‌شود. در جنوب شرق اصفهان به علت عملکرد این گسل ارتفاعات آهکی گردنه زینل بریده و در کنار آبرفت‌ها قرار گرفته است. در جنوب شهر، شیل‌های ژوراسیک توسط این گسل قطع شده و در جنوب کوه صفا آهک‌های کرتاسه دچار بریدگی شده‌اند.

بخش غربی آن بعد از برخورد با گسل شمالی-جنوبی F26 در زیر پوشش زراعی و آبرفت‌های دشت پوشیده شده است. بخش انتهایی غربی این گسل در جنوب غرب شهر نجف-آباد ارتفاعات کرتاسه را بریده ولی ادامه آن به خوبی قابل تشخیص نیست. در راستای این گسل بیش از ۳۰ کانون کهلرزه‌ای ثبت شده که بیشتر آنها در جنوب شهر اصفهان در محل تلاقی این گسل با سایر گسل‌ها متمرکز شده است.

گسل دهق

این گسل با طول حدود ۲۰۰ کیلومتر و با روند NE ۶۰°/۳۲۰- ۲۹۰ از حدود موته شروع شده و از جنوب غرب میمه عبور می‌کند (شکل ۴).

گسل کلاه قاضی

طول گسل کلاه‌قاضی حدود ۵۰ کیلومتر است و با راستای شمال غرب-جنوب شرق در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه واقع شده است (شکل ۵).

گسل نجف آباد

گسلی است با طول ۲۳۵ کیلومتر و با روند غالب بیشتر گسل-های منطقه، یعنی شمال غرب-جنوب شرق و با سازوکار معکوس مایل راستگرد و راستالغز راستگرد که در شمال غرب منطقه از شهر نجف آباد عبور می‌کند.



شکل ۴. عبور گسل دهق از شهر اصفهان و تغییر مسیر رودخانه زاینده‌رود توسط این گسل



شکل ۵. الف: تأثیر گسل دالان بر مسیر زاینده‌رود ب: گسل کلاه‌قازی ج: تأثیر گسل کلاه‌قازی بر مسیر زاینده‌رود

شرح و تفسیر نتایج

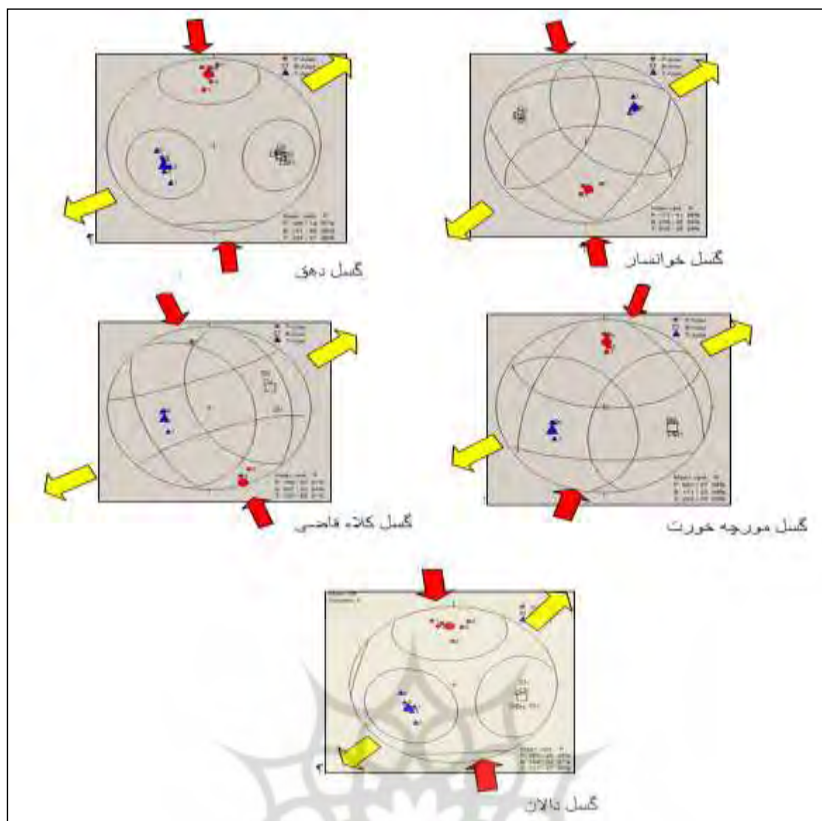
تحلیل داده‌های گسل

گام نخست در مشخص کردن الگوی استرس در منطقه تعیین ایستگاه‌هایی در نقاط مختلف و جمع‌آوری داده‌های مربوط به گسل‌ها (شیب، امتداد، خش‌لغز) در یک محدوده مشخص و آنالیز داده‌ها در نرم‌افزارهای Tectonic Fp و ArcGIS و تعیین جهت محورهای اصلی تنش (σ_1 ، σ_2 و σ_3) بود. گسل‌های اصلی مطالعه شده در منطقه شامل دهق، خوانسار، کلاه‌قازی، مورچه‌خورت واقع در منطقه سندج - سیرجان می‌باشد. طول این گسل‌ها صدها کیلومتر است و به قطعات کوچکتر تقسیم می‌شوند. در برخی مناطق قطعات گسلی خم‌شده با شیبی به سمت شمال‌غرب مانند گسل خوانسار و در برخی مناطق دارای شیب به سمت شمال‌شرق

مانند گسل دالان، کلاه‌قازی، دهق و مورچه‌خورت می‌باشد. با آنالیز داده‌های به دست آمده از گسل تصویر استریوپلات مربوط به هر کدام ترسیم شد.

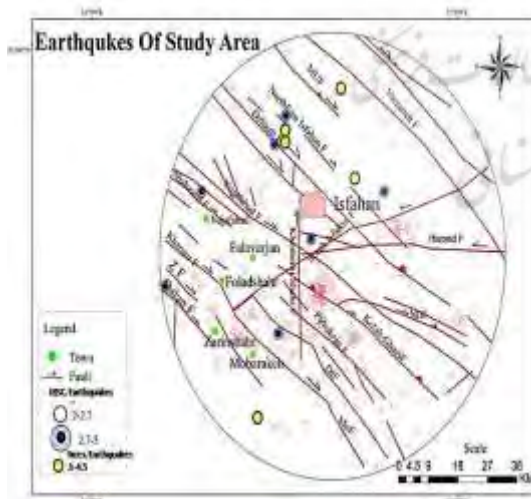
برای تحلیل داده‌های به دست آمده مربوط به گسل‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار Tectonic Fp روش P&T axis که براساس dip/dip direction/rake در هر گسل است، استفاده شد. در این روش (بنابر فرض اولیه) زاویه اصطکاک داخلی (θ)، ۳۰ درجه در نظر گرفته شده است و برای هر گسل به طور جداگانه نمودار Pt axis ترسیم شد (شکل ۶).

برای هر گسل، میانگین σ_1 ، σ_2 و σ_3 ارائه شده توسط نرم‌افزار بهترین جهت تنش است. دایره‌های قرمز در تصویر جهت σ_1 مثلث آبی جهت σ_3 و مربع جهت σ_2 را نشان می‌دهد.



شکل ۶. استریوپلات گسل‌ها

این در این تحقیق روش دوم یعنی ورود داده‌های دستگاهی مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۷).



شکل ۷. موقعیت گسل‌ها و زمین‌لرزه‌های با بزرگای بیش از ۲ در منطقه مورد مطالعه

نتایج به دست آمده از آنالیز داده‌های مربوط به گسل‌های دهق، خوانسار، کلاه‌قازی، دالان و مورچه‌خورت نشان می‌دهد که شهر اصفهان تحت تاثیر تنش‌های کلی وارد بر استان اصفهان، تحت تاثیر دو جهت تنش تقریبی NW-SE و N-S می‌باشد. با توجه به روند چین‌خوردگی در منطقه می‌توان نتیجه گرفت روند تنش N-S در اثر فعالیت گسل‌های راست‌الغز و روند تنش NW-SE حاکی از فعالیت گسل‌های پی‌سنگی در منطقه می‌باشد.

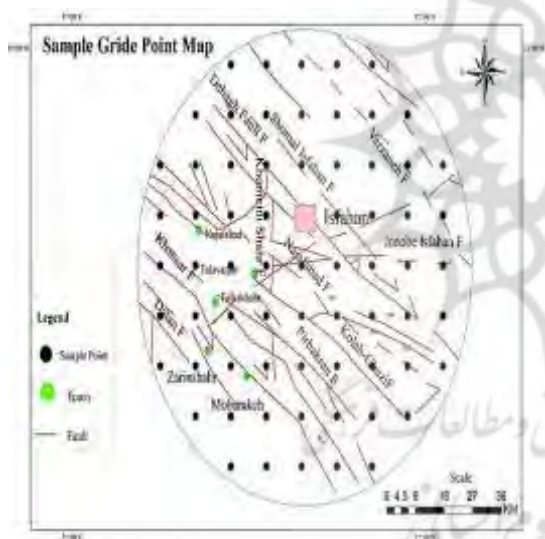
محاسبه ضرایب لرزه‌خیزی

یکی از معیارهای لرزه‌خیزی هر منطقه ضرایب لرزه‌خیزی است که در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار کیکو محاسبه شده است. به این منظور ابتدا فهرست زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی در منطقه‌ای به شعاع ۳۰۰ کیلومتر از شهر اصفهان تهیه شد. سپس زمین‌لرزه‌های داخل محدوده مورد نظر استخراج شد که در نهایت مشخص شد علی‌رغم احساس شدن لرزه‌های متعدد، به‌هیچ‌وجه مرکز زلزله مربوط به بیش از قرن بیستم (زلزله تاریخی) در این محدوده گزارش نشده است. بنابر

نمودار لگاریتمی فراوانی-بزرگا که از رابطه گوتنبرگ-ریشتر نتیجه می‌شود در صورت حذف صحیح پس لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها به صورت خطی خواهد بود. همان طور که مشاهده می‌شود، این نمودار تا بزرگای حدود $4/7$ خطی است. شیب نمودار، نشان‌دهنده مقدار b است که برابر $0/07-0/91$ است. به همین ترتیب نمودار لگاریتمی دوره‌ی بازگشت - بزرگا نیز تا حدود بزرگای $4/6$ به صورت خطی می‌باشد.

پهنه‌بندی لرزه‌ای

به منظور پهنه‌بندی منطقه بر اساس شدت لرزه‌خیزی، چند پارامتر مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا منطقه مورد مطالعه به واحدهای کوچک‌تر به ابعاد 10×10 کیلومتر تقسیم شد و مطابق شکل ۹ هر نقطه نشانگر مرکز یک ناحیه است. بنابراین ۶۹ نقطه یا به عبارت دیگر ۶۹ ناحیه در شکل قابل مشاهده است.



شکل ۹. تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه به ۶۹ ناحیه

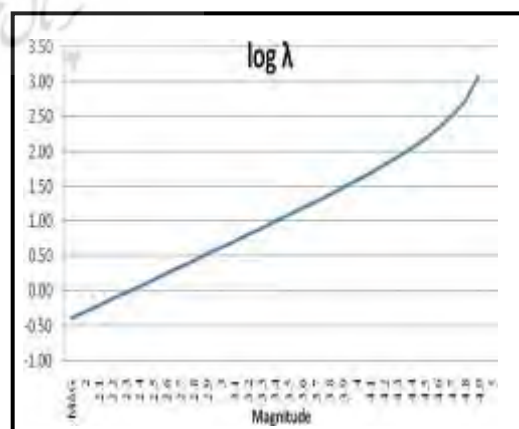
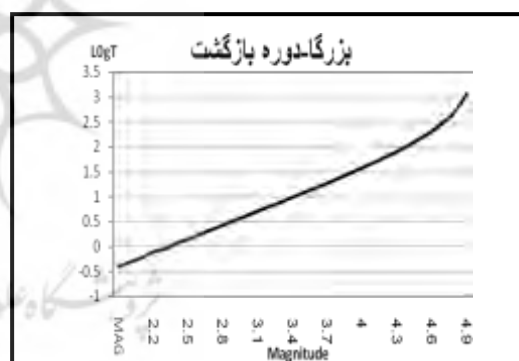
پهنه‌بندی بر اساس b value

پس از تقسیم‌بندی منطقه ابتدا مقدار ضریب b value برای بخش‌های مختلف، با استفاده از نرم افزار کیکو محاسبه شد. آن جا که منطقه متحمل زمین لرزه‌های بزرگ نبوده است در هر ناحیه زلزله‌ها با اندازه آستانه ۲ به عنوان داده‌های ورودی نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت بیشترین مقدار ضریب b خروجی برابر $1/08$ محاسبه شد. شکل ۱۰ نقشه پهنه‌بندی رسم شده توسط نرم‌افزار ArcGIS را نشان می‌دهد. با وجود دامنه کم تغییرات این ضریب در سطح منطقه،

از تعداد ۳۹۴ که لرزه ثبت شده توسط لرزه‌نگارها در منطقه، از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۸ با اندازه بیش از ۲ که در شکل ۹ نشان داده شده است؛ تعداد ۳۷۶ زمین لرزه با ابعاد بین ۲ تا ۳ و ۱۴ زمین لرزه بین ۳ تا ۴ و تنها ۴ زمین لرزه با اندازه بین ۴ تا ۵ می‌باشد، که دو گروه اخیر در محاسبه ضرایب لرزه‌خیزی کل منطقه، مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس این نتایج و با استفاده از رابطه گوتنبرگ-ریشتر برای محاسبه مقدار a و b ، برای کل منطقه ضرایب لرزه‌خیزی به شرح جدول ۱ می‌باشد. نمودارهای دوره بازگشت زمین لرزه‌ها و آهنگ سالانه میانگین رویداد بر حسب بزرگا بر اساس نتایج خروجی رسم شده است (شکل ۸).

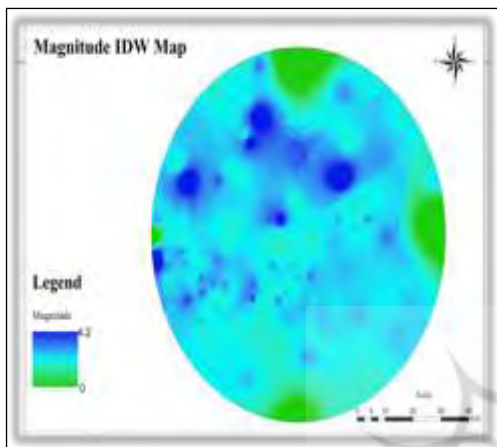
جدول ۱. ضرایب لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه

مقدار خطا	مقدار	ضرایب لرزه‌خیزی
۰/۰۷	۰/۹۱	b
۰/۲۳	۲/۲۱	a
۰/۵۷	۲/۴۷	λ (برای کمترین بزرگا با اندازه ۲)
۰/۵۱	۵/۱۰	M_{max}



شکل ۸. نمودار دوره بازگشت زمین لرزه‌هایی با بزرگی‌های از ۲ تا ۵ و نمودار لگاریتمی فراوانی-بزرگا

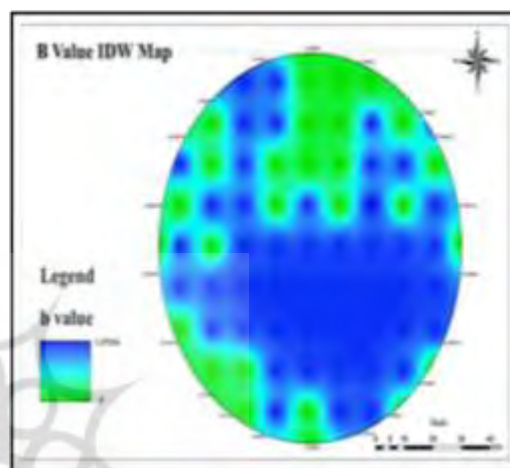
پهنه‌بندی بر اساس عمق کانون زمین‌لرزه‌ها
 با توجه به نقشه عمق زمین‌لرزه‌های اطراف شهر اصفهان بین ۱ تا ۳۶ کیلومتر متغیر است و چگونگی این تغییرات در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود. این نقشه نشان می‌دهد که کانون زمین-لرزه‌های جنوب و شرق شهر اصفهان و قسمتی از جنوب شرق و جنوب غرب و همچنین شمال غرب منطقه مورد مطالعه نسبت به نواحی دیگر، عمق بیشتری دارند.



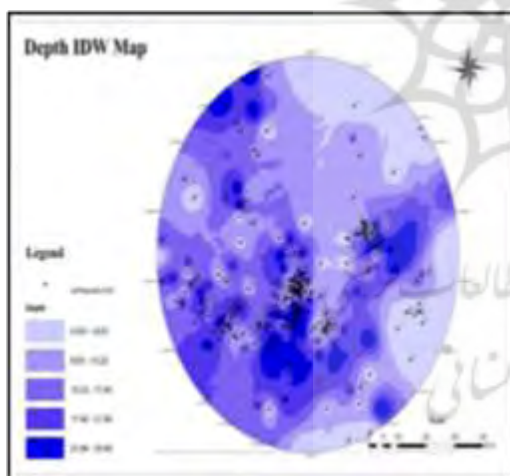
شکل ۱۲. نقشه پهنه‌بندی بر اساس اندازه زمین‌لرزه‌ها

مقدار آن در ناحیه جنوب و جنوب شرق اصفهان و همچنین در بخشی از شمال غرب بیشتر از نواحی شمال، شمال شرق و جنوب غرب است.

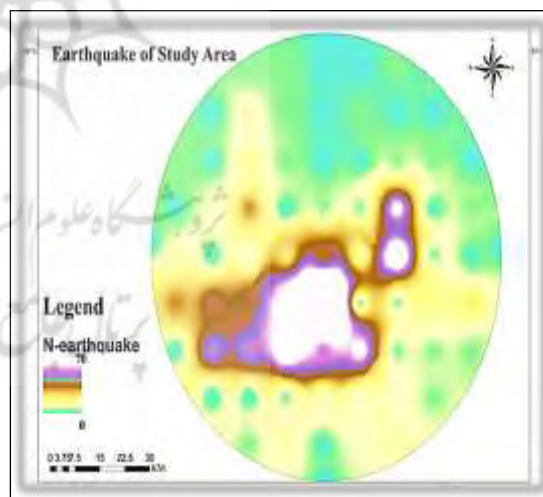
پهنه‌بندی بر اساس تعداد زمین‌لرزه‌ها
 با استفاده از زمین‌لرزه‌های دستگاهی منطقه و نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی تعداد کهرزه‌های با اندازه بیش از ۲ انجام شد (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. نقشه پهنه‌بندی بر اساس b value



شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی بر اساس عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها



شکل ۱۱. نقشه پهنه‌بندی بر اساس تعداد زمین‌لرزه‌ها با بزرگای بیش از ۲

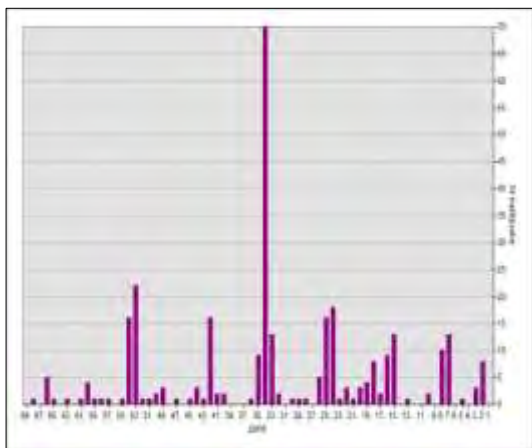
پهنه‌بندی بر اساس توپوگرافی
 نوعی نگاه دیگر به منطقه توجه به اختلاف ارتفاع نقاط هر ناحیه یا ریلیف می‌باشد که می‌تواند یک شاخص احتمالی مقدار تنش در بخش بالایی زمین باشد. در شکل ۱۴ بر اساس رابطه زیر: ارتفاع ماکزیمم و Z: ارتفاع می‌نیمم، می‌باشد.

$$H = Z - z \quad (۱) \text{ فرمول}$$

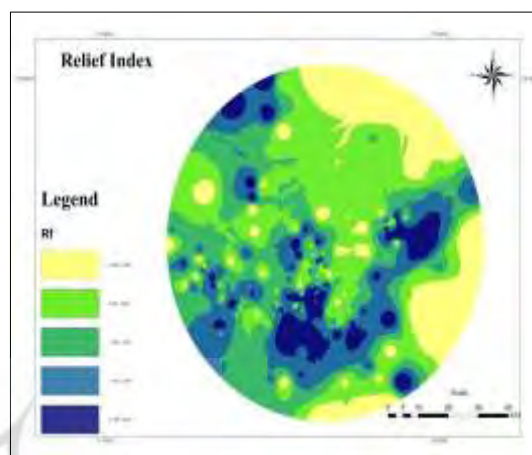
نقشه حاصل از این نوع پهنه‌بندی در شکل ۱۴ ارائه شده

پهنه‌بندی بر اساس اندازه زمین‌لرزه‌ها
 دو نکته که به وضوح در نقشه قابل مشاهده است آن است که اندازه زمین‌لرزه‌ها در این منطقه کوچک و حداکثر در حدود ۴/۵ بوده است که این مقادیر حداکثر نیز عمدتاً در شمال و شمال-شرق شهر اصفهان رخ داده است (شکل ۱۲).

است. مطابق شکل، بیشترین اختلاف ارتفاع در منطقه حدود ۶۹۰ متر است. بیشترین مقدار شاخص ریلیف در جنوب و جنوب غرب شهر اصفهان و غرب و شرق منطقه مشاهده می شود که نشان دهنده افزایش این شاخص نشان از بالآمدگی در منطقه و فعال بودن منطقه می باشد.



شکل ۱۵. نمودار تعداد زمین لرزه ها و مقدار شاخص ریلیف در مناطق مختلف منطقه



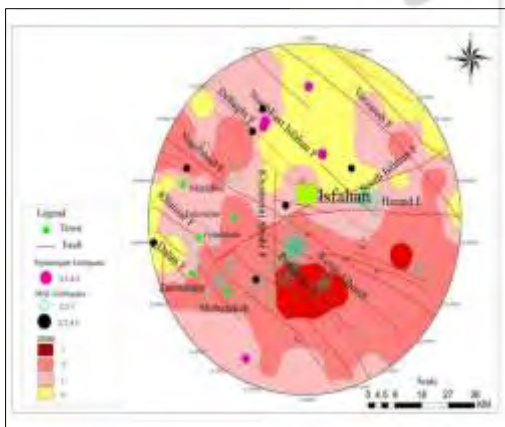
شکل ۱۴. نقشه پهنه بندی منطقه بر اساس شاخص توپوگرافی ریلیف

به منظور جمع بندی نتایج به دست آمده، و بر اساس اطلاعات موجود، نقشه پهنه بندی کلی منطقه با رویکرد شناخت وضعیت لرزه خیزی محدوده ۵۰ کیلومتری اطراف شهر اصفهان، تهیه شد که در شکل ۱۶ مشاهده می شود.

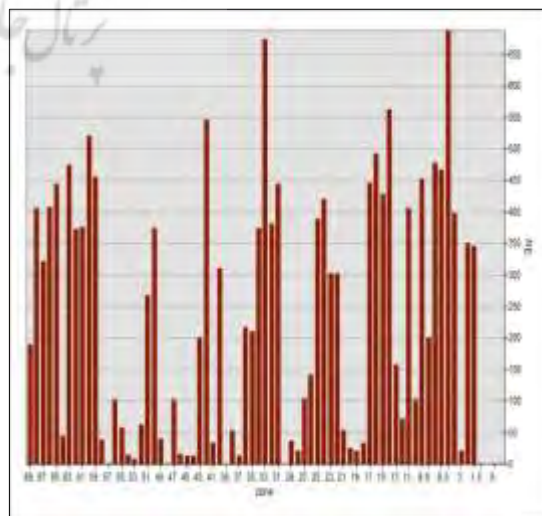
در پهنه بندی منطقه از روش وزن دهی استفاده شد. در این روش پس از تقسیم منطقه به ۶۹ زون در هر ناحیه، پارامترهای تعداد زلزله، اندازه زمین لرزه، تعداد قطعه های گسلی، b value و شاخص ریلیف بررسی شد. به طور نمونه نمودارهای تعداد زمین لرزه و شاخص ریلیف در هر ناحیه در شکل ۱۵ مشاهده می شود. بر این اساس به هر منطقه درجه ای از ۱ تا ۴ اختصاص داده شد. جدول ۳ معیارهای وزن دهی را نشان می دهد. بر این مبنا منطقه مورد مطالعه از نظر فعال بودن به ۴ پهنه نسبی تقسیم شد که عبارتند از: پهنه ۱ (فعال)، پهنه ۲ (نسبتاً فعال)، پهنه ۳ (نسبتاً کم فعالیت) و پهنه ۴ (کم فعالیت).

پهنه بندی نهایی بر اساس لرزه خیزی

در یک نگاه اجمالی به نقشه های پهنه بندی ارائه شده هماهنگی قابل توجهی میان نتایج قابل مشاهده است. از جمله با دقت در شکل های ارائه شده به وضوح دیده می شود که نواحی با مقدار b بیشتر، همان مناطقی هستند که تعداد زمین لرزه های بیشتر با بزرگی کمتر دارند و در همین مناطق عمق کانون زمین لرزه ها نیز بیشتر و بر اساس شاخص ریلیف، بالآمدگی در این بخش ها بیشتر است. همچنین تعداد گسل ها بیش از سایر نواحی است (شکل ۱۵).



شکل ۱۶. پهنه بندی کلی لرزه ای منطقه مورد مطالعه به همراه گسل ها



تلاقی گسل‌ها تطبیق دارد و می‌توان نتیجه گرفت که مناطقی از اطراف شهر اصفهان در معرض خطر زمین‌لرزه بوده و باید از نظر لرزه‌خیزی مورد توجه قرار گیرد.

به نظر می‌رسد وضعیت و سازوکار گسل‌های شناسایی شده در این محدوده با گسل‌هایی که در یک زون فشارشی- برشی راستگرد ایجاد می‌شوند تطابق خوبی داشته و قابل توجه می‌باشند. جهت تنش تقریبی NW-SE و N-S می‌باشد. با توجه به روند چین‌خوردگی در منطقه می‌توان نتیجه گرفت روند تنش NW-S در اثر فعالیت گسل‌های راستالغز و روند تنش NW-SE حاکی از فعالیت گسل‌های پی سنگی در منطقه می‌باشد.

با توجه به نتایج به دست‌آمده از نرم‌افزار کیکو مطابق جدول ۱ مقدار b کوچک‌تر از ۱ یعنی بسیار کوچک است؛ علاوه بر این، زمین‌لرزه با بزرگی بیش از ۵ در منطقه ثبت نشده و این بدان معناست که منطقه به طور کلی دارای توان لرزه‌خیزی کم است. کوچک بودن مقدار λ نیز بیانگر کم بودن آهنگ سالانه تکرار زمین‌لرزه‌هاست. به‌طور کلی، با توجه به مقدارهای به دست‌آمده برای λ استان اصفهان دارای لرزه‌خیزی کم با دوره بازگشت طولانی (بیش از ۱۰۰۰ سال) برای زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیش از ۵ است. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس پارامترهای متفاوت لرزه‌ای، نتایج مشابهی را برای نقاط مختلف نشان می‌دهد. نواحی با مقدار b بیشتر، همان مناطقی هستند که تعداد زمین‌لرزه‌های بیشتر ولی با بزرگی کمتر دارند. در همین مناطق عمق کانون زمین‌لرزه‌ها نیز بیشتر و براساس شاخص رلیف، بالاآمدگی در این قسمت از منطقه بیشتر است. همچنین تعداد گسل‌ها بیش از سایر نواحی است.

بر اساس پهنه‌بندی کلی لرزه‌ای همراه با گسل‌های فعال منطقه، مطابق شکل ۱۸، قسمت‌های جنوبی منطقه شامل گسل‌های کلاه‌قازی و پیربکران و بخشی از گسل خوانسار و همچنین محدوده گسل نجف‌آباد در شمال غرب و قسمتی از گسل بهارستان و دهق در شمال شهر بهارستان، بیشترین فعالیت را در استان اصفهان نشان می‌دهند که احتمالاً به دلیل ناهمگنی سنگ‌ها در این مناطق است؛ به همین دلیل برخی از شهرهای استان اصفهان از قبیل کاشان، فریدن، سمیرم و شهرضا دارای پتانسیل لرزه‌خیزی بیشتری هستند. به علت پوشش وسیع آبرفت‌های دشت اصفهان توسط مناطق کشاورزی و مسکونی، تشخیص گسل‌ها در این مناطق به سادگی میسر نیست.

مطابق این تحقیق، مناطق شمال، شمال‌شرق و شمال-غرب شهر اصفهان در محدوده آرام لرزه‌ای و کم فعالیت قرار گرفته است. دیگر نواحی شهر شامل بخش‌های جنوب، جنوب-

جدول ۳. معیارها و مقدار وزن‌دهی کمیت‌ها

وزن	معیار	کمیت
۱	۰/۹۹	مقدار b
۲	۱	
۳	۱/۰۲	
۴	۰	
۴	۰-۱۷۵	شاخص ریلیف
۳	۱۷۵-۳۵۰	
۲	۳۵۰-۵۲۵	
۱	۵۲۵-۷۰۰	
۴	۰-۲۰	تعداد زمین‌لرزه‌ها
۳	۲۰-۴۰	
۲	۴۰-۶۰	
۱	۶۰-۸۰	
۴	۰-۲	اندازه زمین‌لرزه‌ها
۳	۲-۳	
۲	۳-۴	
۱	۴-۵	
۴	۰	تعداد قطعه‌های گسلی
۳	۱	
۲	۲	
۱	۳	

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق شهر اصفهان از دو جنبه مورد بررسی دقیق قرار گرفت: مطالعات لرزه زمین‌ساخت و مطالعات مخاطرات لرزه‌ای. ۱- در مطالعات لرزه زمین‌ساخت و زمین‌ساخت فعال هر منطقه، باید ساختارهای فعال مانند گسل‌های فعال تا شعاعی حدود ۳۰۰ کیلومتر مورد بررسی قرار بگیرند. لذا برای تحلیل و ارزیابی لرزه‌خیزی شهر اصفهان، گسل‌های فعال استان اصفهان هم مورد بررسی لرزه زمین‌ساختی قرار گرفتند. ۲- در مطالعات مخاطرات لرزه‌ای، پارامترهای لرزه‌ای شامل ضرایب لرزه‌خیزی، دوره بازگشت لرزه‌ها، ضریب b ، اندازه لرزه‌ها، عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها و توپوگرافی مورد ارزیابی دقیق قرار گرفتند. در این مطالعات شهر اصفهان و به تبع آن برخی از شهرهای این استان که در پهنه و شعاع مورد بررسی قرار داشتند، تحت پهنه‌بندی لرزه‌ای قرار گرفتند. تاکنون در ارزیابی لرزه‌خیزی شهر اصفهان از هر دو پارامتر لرزه زمین‌ساخت و مخاطرات لرزه‌ای به صورت هم‌زمان استفاده نشده است. در این تحقیق برای اولین بار، به منظور تحلیل خطر شهر اصفهان، هر دو جنبه بررسی شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. چون نتیجه نهایی حاصل تلفیق این دو جنبه با یکدیگر است، نتایج دقیق‌تری به دست آمده است.

راستای بیشتر گسل‌های منطقه با کهرلرزه‌های ثبت شده توسط شبکه‌های لرزه‌نگاری استان اصفهان، به ویژه در محل

سهرابی، آذر، صفایی، همایون و ندیمی، علی (۱۳۹۱). بررسی لرزه-خیزی محدوده مبارکه با توجه به وضعیت زمین ساخت و گسل‌های موجود. اولین همایش زمین‌شناسی فلات ایران. کرمان. دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته. دهقان‌منشادی، سیدهادی، میرزایی، نوربخش و اسکندری‌قادی، مرتضی (۱۳۹۱). بررسی لرزه زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی منطقه اصفهان. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۸ (۴)، ۱-۲۲.

صفایی، همایون (۱۳۸۴). *طرح پژوهشی شناسایی و بررسی توان لرزه‌ای گسل‌های اطراف اصفهان*. معاونت شهر سازی و معماری شهرداری اصفهان.

صفایی، همایون و تاجمیرریاحی، زهرا (۱۳۹۰). گسل‌های فعال محدوده شهر اصفهان. هجدهمین همایش زمین‌شناسی ایران. تهران: دانشگاه تربیت معلم.

قائدرحمتی، صفر و حیدری‌نژاد، نسیم (۱۳۹۷). گسترش فیزیکی شهرها و ضرورت تعیین حرم امن شهری (نمونه: شهر اصفهان). *مجله جغرافیا و مطالعات محیطی*، ۱ (۱)، ۱۴-۲۴.

مهندسین مشاور آتک (۱۳۹۵). *طرح بازنگری طرح تفصیلی اصفهان*، مناطق ۵ و ۶ شهر اصفهان، مرحله چهارم: نظام کلی ارتفاعات. شهرداری اصفهان. معاونت شهرسازی و معماری.

مهاجر اشجعی، احمد (۱۳۶۰). *ثبت و تفسیر لرزه‌های محلی و ویژگی‌های زلزله‌خیزی مناطق اصفهان و شهرکرد*. امور ویژه زلزله‌شناسی سازمان انرژی اتمی ایران، ۴۱ صفحه.

شرق و جنوب غرب به دلیل وجود گسل‌های متعدد و مترکم، فعالیت لرزه‌ای متوسطی دارند.

بر اساس این تحقیق و نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای ترسیم شده، بیشتر جمعیت شهر اصفهان در محدوده خطر متوسط لرزه‌ای قرار دارند و بافت‌های فرسوده نیز در این مناطق بیشتر از مناطق دیگر است. گرچه مطابق این تحقیق، زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۵ در منطقه ثبت نشده ولی از آن جا که با دوره بازگشت طولانی، امکان وقوع زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۵ نیز در استان اصفهان و به تبع آن در شهر اصفهان امکان‌پذیر است، بنابراین مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و سازه‌های مهم مانند پل‌ها و بزرگراه‌ها و بازسازی بافت‌های فرسوده کاری بسیار مهم است و باید در اولویت قرار بگیرد. نتایج این تحقیق می‌تواند در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های شهر اصفهان کاربرد داشته باشد. با رعایت قوانین و مقررات شهرسازی، مسائل و مشکلات ناشی از وقوع زمین‌لرزه‌های استان اصفهان و به ویژه شهر اصفهان قابل پیشگیری است.

منابع

- آقائباتی، س، ع. (۱۳۸۳). *زمین‌شناسی ایران*. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. تهران، ۵۸۶ صفحه.
- تاجمیر ریاحی، زهرا (۱۳۹۲). *بررسی ساینموتکتونیک و پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر اصفهان*. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان.
- Ambraseys, N, N. and Melville, C, P. (1982). *A history of Persian earthquakes*. Cambridge University press. Britain. Cambridge. 219 pages.
- Anglier, M. and Michler, P. (1977). *Right dihedral method of fault analyses continental deformation*. Wood cock. 71-76.
- Anglier, J. (1994). *Fault slip Analysis & paleostress reconstruction In: Hancock, P.L.1994. Continental Deformation*. Pergamon press Ltd. 53-100.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. and Stein, S. (1994). Effects of recent revisions to the geomagnetic time scale on estimates of current plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 21, 2191-2194.
- Kerr, J. and Nathan, S. (2016). *Planing for development of land on or close to active faults*, Wellington. New Zealand.
- Lewis, D. and Jaana M. U. (2017). Urban vulnerability and good government. *Journal of contingencies and crisis management* 22. Max, Wyss and Azms. Al homoud, (2017). *Scenarios of seismic risk in the United Arab Emirates, an approximate estimate*. Switzerland.
- MehdiZadeh, R. Sarkarinejad, K. and Webster, R. (2016). *Spatial Heterogeneity of Tectonic Features in the Area between the Qatar-Kazerun and the Minab Faults, the Southeast of the Zagros Fold-and-Thrust Belt, Iran*. Geoinfor Geostat: An Overview 1:3.
- Vernant, P. and Chery, J. (2006). Mechanical modeling of oblique convergence in the Zagros: Iran. *Geophys. J. Int.*, 165, 991-1002.