

اهمیت پارامترهای مورد استفاده در پهنه‌بندی زمین‌ساختی خود سامانده ایران

احمد زمانی^۱ و صدیقه فراخی قصر ابونصر^۱

^۱ گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۹/۰۹

چکیده

وجود گسل‌های فعال، آتشفشان‌ها، رخداد زمین‌لرزه‌های ویرانگر و پستی و بلندی‌های فراوان در ایران، بررسی زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی این سرزمین را از اهمیت فراوان برخوردار کرده است. در گذشته پهنه‌بندی‌های زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی این کشور با استفاده از محدودی داده‌های سطحی شامل: مشاهدات صحرایی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و ... انجام شده است. افزایش حجم داده‌ها، و لزوم پهنه‌بندی دقیق و به دور از قضاوت‌های شخصی باعث شده که در سال‌های اخیر با استفاده از طیف وسیعی از داده‌های سطحی و زیر سطحی و کاربرد روش‌های آماری چند متغیره، اقدام به تهیه نقشه‌های رقوم‌ی خود سامانده شود. در این مقاله، ابتدا مجموعه گسترده‌ای از اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و زمین‌ریخت‌شناسی ایران گردآوری و سپس با استفاده از مدل‌های آماری، نقشه‌های رقوم‌ی خود سامانده تهیه شده است. بر اساس نتایج حاصل سرزمین ایران به ۷ زون زمین‌ساختی تقسیم شده است. چنانچه نقش و اهمیت هر یک از پارامترهای مورد استفاده در پهنه‌بندی مشخص شود، شاید بتوان به منظور سهولت و تسریع در کار پهنه‌بندی فقط پارامترهای مهم را مورد استفاده قرار داد. از این رو تعیین نقش و اهمیت هر یک از پارامترهای مورد استفاده در انجام پهنه‌بندی زمین‌ساختی از اهمیت فراوان برخوردار است. در این راستا با استفاده از روش‌های آماری تحلیل واریانس، نقش پارامترها در پهنه‌بندی مشخص شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که از بین پارامترهای مورد استفاده شاخص‌های زلزله‌خیزی، رخنمون سنگ‌های سنوزوییک و ناهنجاری‌های ثقلی به ترتیب بیشترین نقش را در این پهنه‌بندی ایفا نموده‌اند. در ادامه با کاربرد روش‌های کاهش ابعاد، پارامترهای مورد استفاده در پهنه‌بندی بر اساس ارتباط درونی و میزان همبستگی در ۱۲ گروه تفکیک شده‌اند. در اینجا نکته حائز اهمیت این است که برخلاف استفاده فراوان از مقادیر a ، b رابطه گوتنبرگ - ریشر در تهیه نقشه‌های زلزله‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساختی، این پارامترها نه تنها نقش مهمی در پهنه‌بندی نداشته، بلکه از همبستگی ضعیفی با دیگر پارامترهای مؤثر در زون‌بندی برخوردار هستند. بنابراین به نظر می‌رسد برآوردها و نقشه‌های تهیه شده با استفاده از این مقادیر ثابت از اعتبار علمی لازم برخوردار نیستند.

کلیدواژه‌ها: آمار چند متغیره، الگو شناسی، زمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت، لرزه‌خیزی، ایران

*نویسنده مسئول: احمد زمانی

E-mail: Zamani_a_geol@yahoo.com

۱- مقدمه

مشابهی را پشت سر گذاشته‌اند، شناسایی و تفکیک شوند. برای این منظور تاکنون تقسیم‌بندی‌های مختلفی انجام گرفته است، این تقسیم‌بندی‌ها با استفاده از روش‌های متداول (conventional methods) در گذشته آغاز شده است (Nowroozi, 1976; Stöcklin, 1968 & 1977, ...). با توجه به محدودیت‌های روش‌های سنتی در سال‌های اخیر نیز با استفاده از داده‌های رقوم‌ی سطحی و زیر سطحی و کاربرد مدل‌های ریاضی و آماری اقدام به پهنه‌بندی رقوم‌ی جدید شده است (Zamani & Hashemi, 2004). زمانی و ندایی، (۱۳۸۸). از جمله برتری‌های روش‌های الگو شناسی رقوم‌ی (numerical pattern recognition) این است که ابزاری قدرتمند برای تعبیر و تفسیر علمی حجم زیادی از داده‌ها به دور از تعصبات ذهنی محقق می‌باشد. روش‌های آماری چند متغیره نه تنها به منظور تقسیم‌بندی‌های زمین‌ساختی به کار می‌روند، بلکه در بررسی درجه اهمیت و ارتباط بین متغیرهای مؤثر در زون‌بندی نیز مفید هستند. تحلیل خوشه‌ای (cluster analysis) که یکی از روش‌های استخراج اطلاعات از داده‌ها است، قابلیت خوبی برای تقسیم‌بندی بر اساس داده‌های زیاد و پیچیده به گروه‌هایی با ویژگی‌های مشابه دارد (Line & Chen, 2005). تحلیل خوشه‌ای یک موضوع جدید نیست، بلکه کاربرد این روش در علوم زمین قابل توجه و جدید است (Caputo et al., 1980; Collyer & Merriam, 1973; Gelfand et al., 1972, 1974a, b, 1976; Harff & Davis, 1990; Parks, 1966; Potter, 1996; Swan & Sandilands, 1995; Zamani & Hashemi (2004) با کاربرد ۲۵ پارامتر و شاخص زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی و زمین‌ریخت‌شناختی اقدام به تهیه نقشه‌های کمی زون‌بندی زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی کرده و در نهایت ایران را بر این اساس به ۲۲ زون تقسیم‌بندی کردند. به دنبال آن، زمانی و خلیلی (۱۳۸۵) با افزایش پارامترها به ۵۳، اقدام به تهیه نقشه‌های زون‌بندی زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی کردند. همین‌طور زمانی و ندایی (۱۳۸۸) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی اقدام به پهنه‌بندی ایران نمودند. در این

فلات ایران یکی از نواحی فعال زمین‌ساختی است. این فلات توسط صفحه توران در شمال و زون برخوردی زاگرس و منطقه فرورانش مکران با صفحه عربی در جنوب محدود شده است. همگرایی قاره‌ای در حدود ۳۵ میلی‌متر در سال بین صفحات آسیا و عربستان باعث شده سرزمینی با دگرشکلی‌های فراوان باعرض بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر توسعه یابد (Berberian and Yeat, 1999). دگرشکلی‌های فعال این سرزمین شامل کوتاه‌شدگی بین قاره‌ای و ستبرشدگی در بخش‌هایی از فلات، فرورانش صفحه عربستان به زیرمکران در جنوب‌خاوری و گسل خوردگی امتداد لغز در درون فلات است. این دگرشکلی‌ها به صورت یکنواخت پراکنده نشده‌اند. به صورتی که می‌توان گفت این فلات پویا در جنوب‌باختر توسط گسل اصلی زاگرس و در شمال به وسیله گسل البرز شمالی محدود شده است. بین این دو سامانه گسلی نیز یک سری گسل‌های منقطع از شمال تبریز تا خاور کرمان وجود دارد. بر اساس بررسی‌های باستان‌شناسی و تاریخی، فعالیت این گسل‌ها تنها به کواترنری پسین محدود نمی‌شود، بلکه گزارشات حاکی از رخداد زمین‌لرزه‌های تاریخی در بسیاری از این گسل‌ها است. البته پراکندگی و بزرگی زمین‌لرزه‌ها در مناطق مختلف متفاوت است. به عنوان مثال بر اساس آنچه تاکنون مشخص شده، می‌توان گفت پهنه زلزله‌خیز البرز دارای زلزله‌خیزی به نسبت کم، اما همراه با رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ و ویرانگر است، که بیشتر با گسل خوردگی سطحی همراه‌اند. در صورتی که پهنه زلزله‌خیز زاگرس دارای زلزله‌خیزی به نسبت زیاد و پراکنده بوده و رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ در آن نادر است (Zamani & Agh-Atabai, 2009). پراکندگی غیر یکنواخت دگرشکلی‌ها و فعالیت پایی گسل‌ها باعث پیچیدگی‌های زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی ایران شده است. بخش‌های مختلف کشور ما در طول زمان، ویژگی‌های متفاوتی نسبت به هم پیدا کرده و از هم متمایز شده است. بنابراین برای اطلاع از سرگذشت کامل آن، لازم است بخش‌هایی که حوادث زمین‌شناسی

برای فیلتر کردن داده‌های مربوط به تنش (استرین) به کار بردند. Allen et al. (1965) از این روش برای تعیین محل کانون سطحی (epicentral location) زمین‌لرزه‌های جنوب کالیفرنیا استفاده کردند. پس از آماده سازی داده‌ها با استفاده از شاخص کمینه واریانس وارد (Ward's minimum variance index; ESS) با استفاده از فرمول (۲) (Zamani & Hashemi, 2004) اقدام به تحلیل خوشه‌ای نمودیم.

$$ESS = \sum_{i=1}^n d_{i,e(t)}^2 \quad (2)$$

در این فرمول ESS شاخص کمینه پراکندگی، $d_{i,e(t)}$ فاصله اقلیدس (euclidean distance) و n تعداد مشاهدات است. برای پی بردن به میزان اهمیت و نقش هر پارامتر در پهنه‌بندی‌های زمین‌ساختی از روش تحلیل واریانس استفاده کرده و در نهایت پارامترهایی که نقش کلیدی‌تری در پهنه‌بندی داشتند مشخص شد. با استفاده از روش تحلیل عاملی (فرمول ۳) میزان همبستگی و ارتباط پارامترها مشخص شده است.

$$Y = \Phi\alpha + \varepsilon \quad (3)$$

در این فرمول Y بردار متغیرهای دیده شده، Φ بردار متغیرهای پنهان، α ماتریس وزنه گذاری و ε بردار خطاها است.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ابتدا مجموعه گسترده‌ای از اطلاعات بهنگام شده زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و زمین‌ریخت‌شناختی ایران گردآوری و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد و فاصله اقلیدسی که کارآمدتر از روش‌های دیگر هستند، نقشه‌های پهنه‌بندی خود سامانده رقومی جدید تهیه شده است. با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره بهینه‌ترین تعداد زون‌ها تعیین شده (Zamani & Hashemi, 2004)؛ زمانی و خلیلی، ۱۳۸۵)، و در نتیجه سرزمین ایران به ۷ زون زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی متمایز به شرح زیر تقسیم شده است (شکل ۱).

زون ۱- این ناحیه دارای بالاترین رخنمون سنگ‌های افیولیتی، مزوزوییک، پالئوزوییک، پرکامبرین و دگرگونی می باشد (جدول ۲).

زون ۲- این ناحیه کمترین مقدار تغییرات مغناطیس، کمترین رخنمون سنگ‌های سنوزوییک و رسوبات سخت نشده را به خود اختصاص داده است. البته رخنمون سنگ‌های مزوزوییک در این نواحی به نسبت زیاد است (جدول ۲).

زون ۳- در این پهنه تغییرات ثقل، تغییرات مغناطیس، تغییرات ارتفاع، رخنمون سنگ‌های آذرین و سنگ‌های سنوزوییک بیشترین مقدار را در مقایسه با دیگر زون‌ها به خود اختصاص داده است (جدول ۲).

زون ۴- این زون بیشترین رخنمون رسوبات سخت نشده را داشته و سنگ‌های سنوزوییک نیز دارای رخنمون به نسبت زیادی در این زون هستند. به طور کلی این زون از نظر تغییرات مغناطیس، ارتفاع، ثقل، میزان رخنمون سنگ‌های رسوبی، آذرین و میانگین ستبرای پوسته یک حالت حد واسط را نسبت به دیگر زون‌ها دارا است. لرزه‌خیزی و انرژی لرزه‌ای در این زون نسبت به دیگر نواحی کمتر است (جدول ۲).

زون ۵- این نواحی دارای کمترین تغییرات ایزوستازی، ارتفاع و بی‌هنجاری ناحیه‌ای بوگر بوده و سنگ‌های افیولیتی و سنوزوییک دارای رخنمون به نسبت زیاد و سنگ‌های رسوبی دارای کمترین مقدار رخنمون نسبت به دیگر نواحی هستند. این زون کمترین مقادیر b, a فرمول گوتنبرگ ریشتر را به خود اختصاص داده است (جدول ۲).

زون ۶- این زون بیشترین تغییرات ایزوستازی و کمترین تغییرات بی‌هنجاری بوگر را داشته و سنگ‌های دگرگونی کمترین رخنمون و چگالی طول گسل‌ها در این زون کمترین مقدار را دارا است. پراکندگی لرزه‌ای در این منطقه بیشتر از دیگر زون‌ها است (جدول ۲).

زون ۷- در این پهنه کمترین تغییرات ثقلی و ارتفاع و کمینه میانگین ستبرای پوسته

مقاله نیز با استفاده از ۴۹ پارامتر زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی و زمین‌ریخت‌شناختی بهنگام شده اقدام به پهنه‌بندی ایران با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره کرده و در نهایت این پارامترها بر اساس نقشی که در پهنه‌بندی دارند درجه‌بندی شده و بر اساس ارتباط درونی گروه‌بندی شده‌اند.

۲- جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور جمع‌آوری دقیق اطلاعات و استفاده بهینه از آنها پیش از هر چیز باید منطقه مورد بررسی را به بخش‌هایی تقسیم کنیم، به گونه‌ای که در هر یک از این بخش‌ها اطلاعات مورد نظر کامل بوده و تعداد متغیرهای نامعلوم (missing values) به کمترین میزان برسد، بدیهی است که هر چه اندازه این بخش‌ها کوچک‌تر باشد اطلاعات در آن بخش دقیق‌تر و با جزئیات بیشتری خواهد بود اما نکته‌ای را که در باب متغیرهای نامعلوم گفته شد، نیز نباید فراموش کرد. با توجه به جنبه‌های مختلف اطلاعات با بررسی‌هایی که انجام شده، منطقه مورد بررسی بر اساس طول و عرض جغرافیایی به ۱۷۵ چهارگوش به ابعاد $1^\circ \times 1^\circ$ تقسیم شده است. در این مقاله ۴۹ متغیر مختلف ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناختی در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. این سه گروه عبارتند از:

الف) داده‌های ژئوفیزیکی که شامل شتاب گرانش مطلق (gravity data) ناهنجاری بوگر (bouguer anomaly)، ناهنجاری هوای آزاد (free air anomaly)، ناهنجاری ناحیه‌ای بوگر (regional bouguer anomaly)، ناهنجاری باقیمانده بوگر (anomaly residual bouguer)، ناهنجاری ایزوستازی (isostasy anomaly) هستند (سازمان نقشه‌برداری، Magnetic total, 1983; Dehghani & Makris, 1989 intensity maps of Iran) میانگین ستبرای پوسته، داده‌های شدت مغناطیسی (magnetic intensity data) داده‌های مورد استفاده در این جا شامل اطلاعات مغناطیس هوایی (aeromagnetic) است (نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ مغناطیس هوایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور)، داده‌های لرزه‌خیزی (seismological data) زمین لرزه‌های رخ داده در یک دوره ۱۰۷ ساله بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۷ در بر دارد و شامل بیشترین بزرگی (m_b)، انرژی لرزه‌ای آزاد شده، مقادیر a و b و تعداد زلزله است (Engdahl et al., 2006; Ambraseys & Melville, 1982; Gutenberg & Richter, 1954) و پایگاه‌های داده‌ای ISC, 2007 و NEIC و USGS.

ب) داده‌های زمین‌شناسی شامل سن سنگ‌ها، جنس سنگ‌ها، تراکم طول گسلی است (اطلس ملی نقشه‌های موضوعی زمین‌شناسی و اکتشافی، ۱۳۸۳).

ج) داده‌های زمین‌ریخت‌شناختی شامل اطلاعات ارتفاعی و توپوگرافی هستند. این متغیرها با استفاده از نقشه‌های رقومی ۱/۲۵۰۰۰ ارتفاع مربوط به سازمان نقشه‌برداری تهیه شده است. فهرست ۴۹ پارامتر استفاده شده در این مقاله در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به این که متغیرهای این پژوهش دارای مقیاس‌های متفاوتی هستند و محاسبات با فاصله تغییرات متفاوتی انجام می‌شود، پیش از انجام هرگونه محاسبه و تحلیلی بر روی داده‌ها، باید تغییراتی بر روی داده‌های خام صورت گیرد. از این رو منظور روش Z-score که متداول‌ترین روش استاندارد کردن است، به کار برده شده است (فرمول ۱).

$$Z_{ij} = \frac{(X_{ij} - \bar{X}_j)}{S_j} \quad (1)$$

در این فرمول \bar{X}_j مقدار متوسط و S_j انحراف معیار متغیرها هستند. افزون بر عملیات استانداردسازی که برای کل متغیرها اعمال می‌شود برای تعدیل و بهنجار کردن داده‌های مربوط به لرزه‌خیزی، اقدام به وزن‌دار کردن داده‌های هر چهارگوش بر اساس چهارگوش‌های اطراف می‌شود. در این روش وزنه‌ای که به هر چهارگوش داده می‌شود به قرار زیر است: ۳۷/۵ درصد به چهارگوش اصلی، ۳۷/۵ درصد به ۴ چهارگوشی که با چهارگوش مورد نظر ضلع مشترک دارند، ۲۵ درصد به ۴ چهارگوشی که با چهارگوش مورد نظر در رأس مشترکند. (Shoja Taheri & Niazi (1981) این روش را

که به رغم استفاده فراوان از مقادیر a ، b رابطه گوتنبرگ - ریشر در تهیه نقشه‌های زلزله‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساختی، این پارامترها نه تنها نقش مهمی در پهنه بندی نداشته، بلکه از همبستگی ضعیفی با دیگر پارامترهای مؤثر در زون‌بندی برخوردار هستند. بنابراین به نظر می‌رسد که محاسبات و نقشه‌های تهیه شده با استفاده از این مقادیر ثابت از اعتبار علمی لازم برخوردار نیستند.

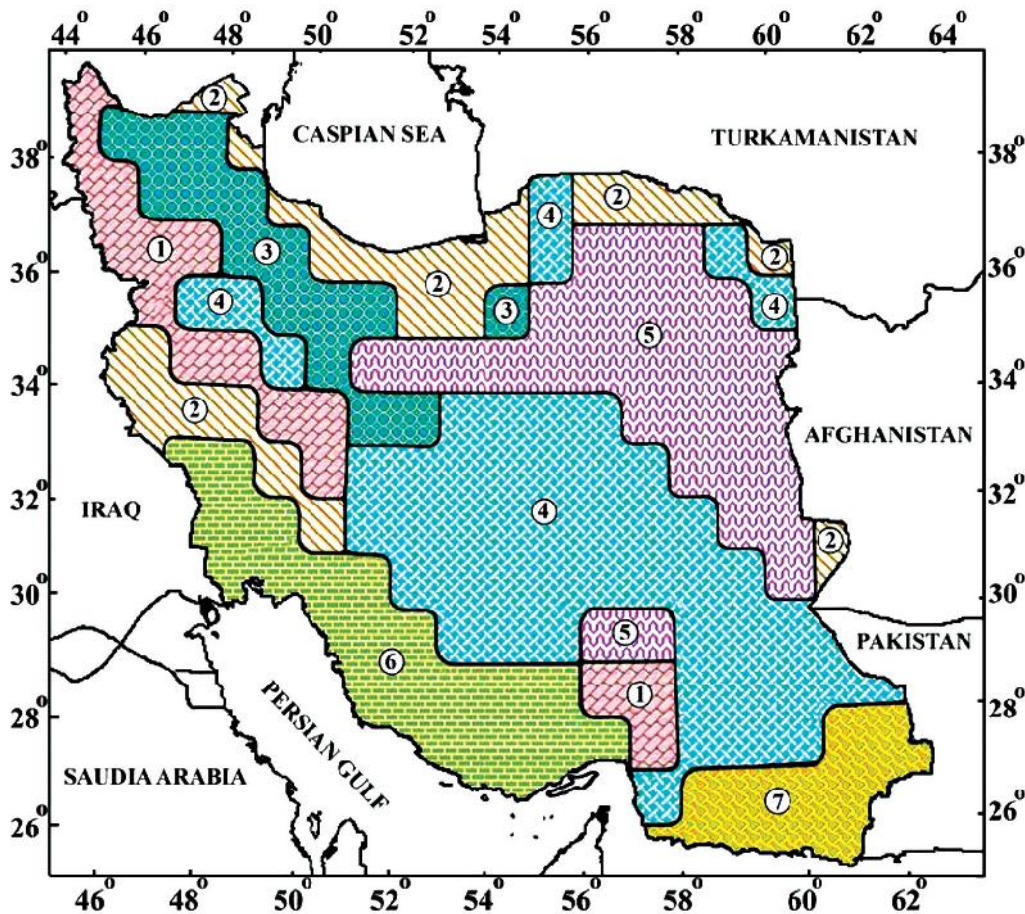
چنین به نظر می‌رسد که به علت کوتاه بودن سابقه ثبت زمین لرزه‌های دستگاهی و در دسترس نبودن آمار و اطلاعات کافی از زمین لرزه‌های تاریخی و دیرینه در ایران، مقادیر به دست آمده برای این ثابت‌ها وابستگی لازم را با الگوی زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی مناطق مربوطه ندارند. نتایج حاصل از این مقاله می‌تواند برای الگو شناسی مناطق مختلف و تعیین روند رویدادهای زمین‌شناسی مفید و راه گشا باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از آقای حیدر علی مردانی فرد دانشجوی دکتری بخش آمار دانشگاه شیراز به دلیل راهنمایی‌های مفیدشان قدرانی می‌شود. دبیرخانه قطب‌های علمی ایران و معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز بخشی از امکانات مورد نیاز در انجام این پژوهش را فراهم نمودند. از پژوهشکده علوم زمین سازمان زمین‌شناسی کشور به خاطر همکاری در تهیه این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

دیده می‌شود. سنگ‌های مزوزوییک، پالئوزوییک و پرکامبرین کمترین رخنمون و سنگ‌های رسوبی بیشترین رخنمون را در این زون دارا هستند. پراکندگی لرزه‌ای در این منطقه نسبت به دیگر نواحی کمتر است. چگالی طول گسل‌ها در این منطقه بیشتر از دیگر مناطق است (جدول ۲).

استفاده از روش‌های آماری چند متغیره نه تنها برای بهنگام کردن تقسیم‌بندی‌های زمین‌ساختی به کار می‌روند، بلکه در بررسی درجه اهمیت و ارتباط بین متغیرهای مؤثر در زون‌بندی نیز مفید هستند. چنانچه نقش و اهمیت هر یک از پارامترهای مورد استفاده در پهنه‌بندی مشخص شود، شاید بتوان برای سهولت و تسریع در کار پهنه‌بندی فقط پارامترهای مهم را مورد استفاده قرار داد. از این رو تعیین نقش و اهمیت هر یک از پارامترهای مورد استفاده در انجام پهنه‌بندی زمین‌ساختی از اهمیت فراوان برخوردار است. در این راستا با استفاده از روش‌های آماری تحلیل واریانس و کاهش ابعاد، نقش پارامترها در پهنه‌بندی مورد بررسی و ارتباط درونی آنها مشخص شده است. ترتیب اهمیت پارامترها در پهنه‌بندی همراه با ضرایب مربوطه در جدول ۳ ارائه شده است. بدیهی است که هر چه ضریب یک پارامتر بزرگ‌تر باشد، اهمیت پارامتر مربوطه در پهنه‌بندی بیشتر است. پارامترها بر اساس همبستگی در ۱۲ گروه تفکیک شده‌اند که این ۱۲ گروه در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل شاخص‌های زلزله‌خیزی، رخنمون سنگ‌های سنوزوییک و ناهنجاری‌های تفرقی به ترتیب بیشترین نقش را در این پهنه‌بندی ایفا نموده‌اند. نکته حائز اهمیت این است



شکل ۱- نقشه رقومی پهنه‌بندی زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی ایران

جدول ۲- تفسیر ویژگی‌های رقوم‌های هر زون در پهنه‌بندی رقوم‌ی خود سامانده

zone	out crop lithology	out crop age	gravity anomalies
1	predominant ophiolite	predominant mesozoic	high gravity anomaly
	predominant metamorphic	predominant paleozoic	
		predominant precombrian	
2	rare unconsolidated sediments	rare mesozoic	high gravity anomaly
3	predominant igneous	predominant cenozoic	high gravity anomaly
4	predominant unconsolidated sediments		average gravity anomaly
5	rare consolidated sedimentary		low isostasy anomaly low bouguer anomaly
6	rare metamorphic		high isostasy anomaly low bouguer anomaly
7	predominant consolidated sedimentary	rare mesozoic rare paleozoic rare precombrian	low gravity anomaly

جدول ۱- لیست پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش.

شماره	پارامتر
۱	کمترین ثقل
۲	بیشترین ثقل
۳	میانگین ثقل
۴	بیشترین تغییرات ثقل
۵	کمترین ناهنجاری هوای آزاد
۶	بیشترین ناهنجاری هوای آزاد
۷	میانگین ناهنجاری هوای آزاد
۸	بیشترین تغییرات ناهنجاری هوای آزاد
۹	کمترین ناهنجاری بوگر
۱۰	بیشترین ناهنجاری بوگر
۱۱	میانگین ناهنجاری بوگر
۱۲	بیشترین تغییرات ناهنجاری بوگر
۱۳	کمترین ناهنجاری ناحیه ای بوگر
۱۴	بیشترین ناهنجاری ناحیه ای بوگر
۱۵	میانگین ناهنجاری ناحیه ای بوگر
۱۶	بیشترین تغییرات ناهنجاری ناحیه ای بوگر
۱۷	کمترین ناهنجاری باقیمانده بوگر
۱۸	بیشترین ناهنجاری باقیمانده بوگر
۱۹	میانگین ناهنجاری باقیمانده بوگر
۲۰	بیشترین تغییرات ناهنجاری باقیمانده بوگر
۲۱	کمترین ناهنجاری ایزوستازی
۲۲	بیشترین ناهنجاری ایزوستازی
۲۳	میانگین ناهنجاری ایزوستازی
۲۴	بیشترین تغییرات ناهنجاری ایزوستازی
۲۵	کمترین شدت مغناطیس
۲۶	بیشترین شدت مغناطیس
۲۷	میانگین شدت مغناطیس
۲۸	بیشترین تغییرات شدت مغناطیس
۲۹	میانگین سبزی پسته
۳۰	ضریب ثابت a فرمول گوتنبرگ- ریشتر
۳۱	ضریب ثابت b فرمول گوتنبرگ- ریشتر
۳۲	تعداد زمین‌لرزه بزرگ‌تر مساوی ۴/۵
۳۳	تعداد زمین‌لرزه کوچک‌تر از ۴/۵
۳۴	بیشترین بزرگی زمین‌لرزه
۳۵	انرژی زمین‌لرزه
۳۶	پوشش نسبی سنگ‌های آذرین
۳۷	پوشش نسبی سنگ‌های دگرگونی
۳۸	پوشش نسبی سنگ‌های رسوبی
۳۹	پوشش نسبی سنگ‌های آفیولیتی
۴۰	پوشش نسبی رسوبات سخت نشده
۴۱	پوشش نسبی سنگ‌های سنوزویک
۴۲	پوشش نسبی سنگ‌های مزوزویک
۴۳	پوشش نسبی سنگ‌های پالئوزویک
۴۴	پوشش نسبی سنگ‌های پرکامبرین
۴۵	چگالی طول گسل‌ها
۴۶	کمترین ارتفاع
۴۷	بیشترین ارتفاع
۴۸	میانگین ارتفاع
۴۹	بیشترین تغییرات ارتفاع

zone	magnetic anomaly	topographic relief	seismicity	crutal thickness
1	relatively high	relatively high	relatively low seismicity relatively low severity relatively low energy release	relatively thick
2	relatively low	relatively high	average seismicity relatively high severity relatively low energy release	relatively thin
3	relatively low	relatively high	relatively low seismicity relatively low severity relatively low energy release	relatively thick
4	relatively high	relatively high	relatively low seismicity relatively low severity relatively low energy release	relatively thick
5	relatively low	relatively low	relatively low seismicity relatively low severity relatively low energy release	relatively thick
6	relatively low	relatively low	relatively high seismicity relatively high severity relatively low energy release	relatively thick
7	relatively low	relatively low	relatively high seismicity relatively high severity relatively high energy release	relatively thin

جدول ۳- ترتیب اهمیت پارامترها در پهنه‌بندی ایران. ضرایب مربوطه بیانگر اهمیت نسبی پارامترهای به کار رفته در زون‌بندی است.

ادامه جدول ۳

ردیف	پارامتر	ضرایب
۴۴	انرژی زلزله	۴/۱۸۳۷
۴۵	بیشترین ناهنجاری باقیمانده بوگر	۳/۶۳۸۴
۴۶	میانگین ناهنجاری باقیمانده بوگر	۲/۶۷۸۹
۴۷	کمترین ناهنجاری باقیمانده بوگر	۲/۴۸۸۸
۴۸	بیشترین تغییرات ناهنجاری بوگر	۲/۱۹۳
۴۹	بیشترین تغییرات ارتفاع	۱/۷۵۹۳

ردیف	پارامتر	ضرایب
۱	تعداد زمین لرزه کوچک‌تر از ۴/۵	۵۰/۶۶۸
۲	تعداد زمین لرزه بزرگ‌تر مساوی ۴/۵	۳۴/۶۶۲
۳	پوشش نسبی سنگ‌های سنوزوییک	۲۷/۳۵
۴	بیشترین تغییرات ناهنجاری بوگر	۲۶/۵۳۵
۵	کمترین ناهنجاری ایزوستازی	۲۶/۰۱۸
۶	پوشش نسبی سنگ‌های دگرگونی	۲۳/۷۴۶
۷	میانگین ناهنجاری هوای آزاد	۲۲/۸۷۳
۸	میانگین ناهنجاری ایزوستازی	۲۱/۲۳
۹	بیشترین ثقل	۲۱/۰۱۱
۱۰	بیشترین تغییرات شدت مغناطیس	۱۹/۶۷۸
۱۱	میانگین ثقل	۱۸/۱۴۳
۱۲	پوشش نسبی سنگ‌های پرکامبرین	۱۷/۴۸۴
۱۳	پوشش نسبی سنگ‌های آذرین	۱۷/۴۵۳
۱۴	بیشترین شدت مغناطیس	۱۷/۱۳۹
۱۵	میانگین شدت مغناطیس	۱۵/۸۳۲
۱۶	بیشترین ناهنجاری ناحیه‌ای بوگر	۱۵/۶۰۸
۱۷	پوشش نسبی رسوبات سخت نشده	۱۵/۳۲۵
۱۸	ضریب ثابت a فرمول گوتنبرگ-ریشتر	۱۳/۰۶۹
۱۹	کمترین ثقل	۱۷/۲۹۲
۲۰	بیشترین ناهنجاری ایزوستازی	۱۲/۴۲۱
۲۱	میانگین ناهنجاری ناحیه‌ای بوگر	۱۲/۱۴۵
۲۲	کمترین ناهنجاری ناحیه‌ای بوگر	۱۱/۲۲۷
۲۳	بیشترین ناهنجاری هوای آزاد	۱۱/۰۲۷
۲۴	میانگین ارتفاع	۱۱/۰۱
۲۵	کمترین شدت مغناطیس	۱۰/۹۲۸
۲۶	ضریب ثابت b فرمول گوتنبرگ-ریشتر	۱۰/۱۶۳
۲۷	میانگین ناهنجاری بوگر	۹/۲۵۳۸
۲۸	چگالی طول گسل‌ها	۸/۹۷۴۱
۲۹	کمترین ناهنجاری هوای آزاد	۸/۹۵
۳۰	کمترین ناهنجاری بوگر	۸/۱۴۹۸
۳۱	میانگین سترای پوسته	۷/۹۸۷۳
۳۲	پوشش نسبی سنگ‌های مزوزوییک	۷/۸۳۵۸
۳۳	بیشترین تغییرات ناهنجاری ایزوستازی	۷/۴۵۵۹
۳۴	بیشترین تغییرات ثقل	۷/۲۵۴۴
۳۵	بیشترین ناهنجاری بوگر	۶/۹۹۱۹
۳۶	کمترین ارتفاع	۶/۹۱۱
۳۷	بیشترین تغییرات ناهنجاری هوای آزاد	۶/۷۷۸۲
۳۸	بیشترین بزرگی زلزله	۶/۳۸۴۹
۳۹	پوشش نسبی سنگ‌های افیولیتی	۶/۰۰۴۴
۴۰	پوشش نسبی سنگ‌های پالئوزوییک	۵/۰۹۴۴
۴۱	بیشترین ارتفاع	۵/۰۰۳۶
۴۲	بیشترین تغییرات ناهنجاری باقیمانده بوگر	۴/۴۱۱۶
۴۳	پوشش نسبی سنگ‌های رسوبی	۴/۲۵۳۹

جدول ۴- پارامترهای مورد استفاده در تهیه نقشه‌های خودسامانده زمین‌ساختی که بر اساس همبستگی گروه‌بندی شده‌اند.

گروه	پارامتر	ردیف	پارامتر
۱	کمترین ناهنجاری بوگر	۶	بیشترین شدت مغناطیس
	بیشترین ناهنجاری بوگر		کمترین شدت مغناطیس
	میانگین ناهنجاری بوگر		بیشترین تغییرات شدت مغناطیس
	میانگین ناهنجاری ناحیه‌ای بوگر		پوشش نسبی سنگ‌های سنوزوییک
	بیشترین ناهنجاری ناحیه‌ای بوگر		پوشش نسبی سنگ‌های آذرین
	کمترین ناهنجاری ناحیه‌ای بوگر		پوشش نسبی رسوبات سخت نشده
	میانگین سترای پوسته		بیشترین تغییرات ناهنجاری ناحیه‌ای بوگر
۲	کمترین ارتفاع	۷	ضریب ثابت b فرمول گوتنبرگ-ریشتر
	میانگین ارتفاع		ضریب ثابت a فرمول گوتنبرگ-ریشتر
	بیشترین تغییرات گرانی		میانگین ناهنجاری باقیمانده بوگر
۳	بیشترین ناهنجاری هوای آزاد	۸	بیشترین ناهنجاری باقیمانده بوگر
	بیشترین تغییرات ناهنجاری هوای آزاد		کمترین ناهنجاری باقیمانده بوگر
	بیشترین تغییرات ناهنجاری بوگر		پوشش نسبی سنگ‌های مزوزوییک
	پوشش نسبی سنگ‌های پالئوزوییک		پوشش نسبی سنگ‌های رسوبی
	بیشترین تغییرات ناهنجاری ایزوستازی		بیشترین ارتفاع
۴	میانگین ناهنجاری هوای آزاد	۹	بیشترین تغییرات ارتفاع
	بیشترین ناهنجاری ایزوستازی		چگالی طول گسل‌ها
	بیشترین ناهنجاری ایزوستازی		پوشش نسبی سنگ‌های پرکامبرین
	بیشترین ناهنجاری ایزوستازی		پوشش نسبی سنگ‌های دگرگونی
۵	کمترین گرانی	۱۰	بیشترین تغییرات ناهنجاری باقیمانده بوگر
	بیشترین گرانی		انرژی زمین لرزه
	میانگین گرانی		پوشش نسبی سنگ‌های افیولیتی
۶	میانگین شدت مغناطیس	۱۱	بیشترین تغییرات ناهنجاری ایزوستازی
	بیشترین تغییرات ناهنجاری ایزوستازی		تعداد زمین لرزه کوچک‌تر از ۴/۵
	تعداد زمین لرزه بزرگ‌تر مساوی ۴/۵		تعداد زمین لرزه بزرگ‌تر مساوی ۴/۵
	بیشترین بزرگی زمین لرزه		بیشترین بزرگی زمین لرزه

کتابنگاری

زمانی، ا.، خلیلی، م.، ۱۳۸۵- نقش و ارتباط عوامل مورد استفاده در پهنه‌بندی‌های زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی، هشتمین کنفرانس آمار ایران. زمانی، ا.، نادایی، م.، ۱۳۸۸- کاربرد شبکه عصبی SOM در پهنه‌بندی تکنونیک رقومی: یک روش جدید در پهنه‌بندی تکنونیک ایران، مجله علوم زمین، در دست چاپ.

References

- Allen, C. R., Amand, P. S. T., Richter, C. F. & Nordquist, J. M., 1965- Relationship between seismicity and geologic structure in the southern California region. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 55(4): 753-797.
- Ambraseys, N. N. & Melville, C. P., 1982- A history of Persian Earthquakes. Cambridge, University Press Cambridge, England, 219pp.
- Bender, B., 1983- Maximum likelihood estimation of b values for magnitude grouped data. *Bulletin of the Seismological Society America*, 73(3): 831-851.
- Berberian, M. & Yeat, R. S., 1999- Pattern of Historical Earthquake Rupture in the Iranian plateau. *Bulletin of the Seismological Society America*, 89(1): 120-139.
- Boulin, J., 1991- Structures in southwest Asia and evolution of the eastern Tethys. *Tectonophysics*, 196: 211-268.
- Choubert, G. & Faure-Muret A.M., 1980- Geological World Atlas, 1/10,000,000 Sheets 9, 10 and 11. Commission for the Geological Map of the World, UNESCO, Paris.
- Davis, J. C., Wiley, J. & Inc. S., 1973- Statistics and data analysis Geology. Translate H. memarian., M. sedaghat., k. Tafogh. 265P.
- Dehghani, G. A. & Makris, J., 1981- The Gravity Field and Crustal Structural of Iran. Institut fur Geophysik, Hamburg.
- Giri, N. C. Translate: Bozorg Nia, A., 1987- Multivariate statistical inference. Astan Ghods. Publis.399P.
- Gordon, A. D., 1999- Classification. Chapman and Hall, London, 417p.
- Gutenberg, B. & Richter, C.F., 1954- Seismicity of the Earth and its Associate Phenomena. Princeton University Press, Princeton, NJ, 310p.
- ISC., 2007- International Seismological Center, Edinburgh, Scotland, Earthquake Bulletins.
- Jackson, J. A. & Mckenzie, D. P., 1984- Active tectonics of the Alpine- Himalayan Belt between Western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 77: 185-264.
- Kalantari, Kh., 2003- Data processing and Analysis in Socia – Economic Research. Sharif Spec.Publ.388P.
- Karakaisis, G. F., 1994- Long- term earthquake prediction in Iran based on the time- and magnitude- predictable model.
- Kulhanek, O., 2005- Seminar on b-value. Dept. of Geophysics, Charles University.
- Kulhanek, O., 2005- Seminar on b-value. Dept. of Geophysics, Charles University, Prague.
- Mardia, K. V., Kent, J. T. & Bibby, J. M., 1979- Multivariate Analysis. London. New. York. Academic Press.521P.
- National atlas of thematic geological & exploration maps, Geological Survey of Iran, Ministry of Industries and Mines., 2004.
- NEIC., 2007- National Earthquake Information Center. Golden. Co.USA.
- Nowroozi, A. A., 1976- Seismotectonic provinces of Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America* 66, 1249-1276
- Nowroozi, A. A., 1979- Reply to M. Berberian: comparison between instrumwntal and macroseismic epicenters. *Bulletin of the Seismological Society of America* 69: 641-649.
- Rencher, C. & Scott, T., 1990- Assessing the contribution of individual variables following rejection of a multivariate hypothesis. 19(2): 535-553.
- Richard, A. Janson & Dea, W. Wichern, 1992- Applied multivariate statistical analysis.740P.
- Robert Engdahl, E., Jackson, A., Myers, C., Bergman, A. & Priestley, K., 2006- Relocation and assessment of seismicity in the Iran region. *Geophys. J. Int.*, 167: 761-778.
- Shoja-Taheri, J. & Niazi, M., 1981- Seismicity of the Iranian plateau and bordering regions. *Bulletin of the Seismological Society America*, 71(2): 477-489.
- Stahl, A. F., 1911- Zur geologie von Persien. In: *Hunduch der Regionalen Geologie*, Band, Heft 8, Heidelberg, Germany, 46p.
- Stocklin, J., 1966- Tectonic of Iran (in Russian). In: *Geotektonika*, vol. 1, USSR Academy of science, Mosc.21
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran; a review, *American Association of petroleum Geologists Bull.*,52(7): 1229-1258.
- Stocklin, J., 1977- Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and Central Asia. *Mem. H. ser. Soc. Geol. France.*, 8: 333-353.
- Takin, M., 1972- Iranian geology and continental drift in the Middle East. *Nature* 235: 147-150.
- USGS, United States Geological Survey. 2007.
- Zamani, A. & Hashemi, N., 2000- A comparison between seismicity, topographic relief, and gravity anomalies of the Iranian Plateau. *Tectonophysics*, 327: 25-36.
- Zamani, A. & Hashemi, N., 2004- Computer - based self - organized tectonic zoning: a tentative pattern recognition for Iran, *Computer & Geosciences*, 30: 705-718.
- Zamani, A. & Agh-Atabai., M., 2009- Multifractal analysis of the spatial distribution of earthquake epicenters in the Zagros and Alborz-Kopeh Dagh Regions of Iran, in preparation.
- Zamani, A. & Khajavi, N. & Tohidi, M., 2006- Study of earthquake activity in the Alpine – Himalaian orogenic belt with emphasis on the scismicity of Iran, 6th International Conf. on the Geology of the M.East, U.A.E.