

کاربرد شبکه عصبی نگاشت خود سامانده برای پهنه‌بندی رقومی زمین‌ساختی: راهکاری جدید برای پهنه‌بندی زمین‌ساختی ایران

احمد زمانی^{۱*} و مهناز ندائی^۲

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

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۰/۰۴

چکیده

یکی از اساسی‌ترین مباحث در علوم زمین، تهیه و رسم نقشه‌های مختلف پهنه‌بندی زمین‌ساختی است. روش‌های مرسوم و متداول در پهنه‌بندی زمین‌ساختی نه تنها با قضاوت‌های ذهنی همراه است، بلکه تفسیر حجم بالای داده‌ها مشکل و در عمل خارج از توانایی بشر است. برای پرهیز از این نواقص و اشکال‌ها، روش‌های علمی رقومی استخراج اطلاعات از داده‌ها (data mining) می‌تواند به عنوان ابزاری مفید و مؤثر برای تهیه و رسم نقشه‌های رقومی جدید در علوم زمین مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله، شبکه عصبی نگاشت خودسامانده (self-organizing map) که یکی از روش‌های متداول استخراج اطلاعات از داده‌ها است، برای پهنه‌بندی رقومی زمین‌ساختی ایران زمین به کار گرفته شده است. SOM نوعی شبکه عصبی مصنوعی غیرنظارتی (unsupervised artificial neural network) است که برای الگوشناسی (pattern recognition) و خوشه‌بندی (clustering) داده‌های چند بعدی به کار می‌رود. تجسم (visualization) داده‌های چند بعدی در پدیده نگاشت (feature map) دوبعدی با حفظ توپولوژی (مکان‌شناسی) (topological-preserving)، از دیگر ویژگی‌های بارز کاربرد روش SOM در تهیه نقشه‌های رقومی است که نمایانگر میزان همگنی و تقارب پهنه‌های تفکیک شده است. اگر چه نقشه‌های رقومی که در این پژوهش تهیه شده شباهت‌های بسیاری با نقشه‌های سنتی (conventional maps) دارد، لکن نقشه‌های SOM از توانمندی‌های بهتری برای تفکیک و تفسیر مناطق مختلف برخوردار هستند. روش جدید افزون‌بر تفکیک پهنه‌های زمین‌ساختی، میزان همگنی هر پهنه را نیز مشخص می‌نماید. مناطق با تاریخچه تحولات زمین‌شناسی مشابه، صرف‌نظر از موقعیت جغرافیایی‌شان، در یک پهنه قرار می‌گیرند. برای مثال نتایج حاصل از این روش حاکی از آن است که پهنه‌های لوت و گاوخونی اصفهان نسبت به پهنه‌های مکران و آذربایجان غربی از درجه همگنی بالاتری برخوردارند. مناطق کپه داغ و راندگی زاگرس نیز با وجود واقع شدن در دو منطقه جغرافیایی متفاوت، برای یک پهنه با ویژگی‌های مشابه منفک شده‌اند. افزون‌بر آن، در نقشه رقومی تهیه شده، پهنه مکران از رشته کوه‌های خاور ایران و پهنه آذربایجان غربی از رشته کوه‌های البرز تفکیک شده‌اند. قابل توجه است که نتایج به دست آمده توسط SOM فقط براساس متغیرهای ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی و لرزه‌خیزی یاد شده است، بنابراین باید در تعیین شباهت و تمایز بین نقشه‌های رقومی و زمین‌ساختی رایج دقت لازم به عمل آید.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی زمین‌ساختی، خوشه‌بندی، شبکه عصبی خودسامانده، شبکه‌های عصبی

*نویسنده مسئول: احمد زمانی

۱- مقدمه

تکامل زمین‌ساختی ایران زمین بسیار پیچیده و مرتبط با تاریخچه تحولات زمین‌شناسی حوضه تیس است (Meyer & Le Dortz, 2007). از همین رو، الگوی ساختاری، تحولات زمین‌ساختی، شرایط رسوبی و زیستی ایران در دوره‌های گوناگون زمین‌شناختی، پیچیدگی خاص دارد. بنابراین بررسی زمین‌ساخت این ناحیه کلید شناخت الگوی پهنه برخوردی بین صفحه تازی و اوراسیا است (Axen et al., 2001). پهنه‌بندی‌های زمین‌ساختی متعددی برای ایران ارائه شده که هر کدام ویژگی‌های مربوط به خود را دارا هستند. هر چند همه این پهنه‌بندی‌ها در کلیات مشترک هستند اما در جزئیات از تفاوت‌های قابل توجهی برخوردارند. قدیمی‌ترین تقسیم‌بندی توسط Stahl (1911) ارائه شد که از لحاظ جغرافیایی، ایران را به یک "توده میانی" پهناور و دو رشته کوه مرزی البرز در شمال و زاگرس-مکران در جنوب تقسیم کرد. پیدایش مفهوم تئوری زمین‌ساخت صفحه‌ای، منجر به تفسیرهای زمین‌شناسی بیشتری از کشور شد (Nowroozi, 1971). Stöcklin (1968) و Stöcklin & Nabavi (1973) ساختارهای مختلفی را که در اثر چین خوردگی و راندگی شدید طی کوهزایی آلپین در بیشتر مناطق ایران، بجز "بلوک لوت" در خاور کشور، ایجاد شده بود را تشریح کردند. بر اساس نظر Stöcklin (1977) ناحیه هیمالیا، بین ایران و آسیای مرکزی، براساس تفاوت‌های اصلی در خواص پوسته‌ای و سن تحکیم پی‌سنگ به ۴ پهنه (محدوده) تقسیم شد. معیارهای دیگر نظیر سبک ساختاری، سن و شدت تغییر شکل، سن و ماهیت فعالیت‌های آذرین و دگرگونی برای تقسیم بیشتر این پهنه‌های اصلی به واحدهای کوچک‌تر استفاده شد.

Takin (1972) ایران را از نظر زمین‌شناسی به دو ناحیه تقسیم کرد: کمربند چین خورده زاگرس با روند شمال باختر- جنوب خاور و بقیه کشور. او بقیه ایران را به ۳ ایالت تقسیم کرد که عبارتند از: کمربند کوهزایی ارومیه- اسفندقه، مرکز و خاور ایران، و ایالت البرز در شمال ایران. (Aghanabati (1986)؛ Berberian (1981)؛ Berberian & King (1981)؛ Boulin (1991)؛ Choubert & Faure-Muret (1980)؛ Davoudzadeh & Weber-Diefenbach (1987)؛ Davoudzadeh et al. (1986)؛ Eftekharnazhad (1980) و Nabavi (1976) از نظر زمین‌شناسی و براساس تاریخچه کوهزایی و سبک ساختاری، ایران را به واحدهای زمین‌ساختی- رسوبی مختلف تقسیم کردند. Nowroozi (1976, 1979) بر اساس رخداد‌های بین سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۷۲ و نیز با در نظر گرفتن اطلاعات زمین‌شناسی، ویژگی‌های ظاهری، پراکنندگی گنبد‌های نمکی، روندهای ساختاری و گسل‌های فعال، ۲۳ ایالت لرزه‌زمین‌ساختی را برای ایران تبیین کردند. Shoja-Taheri & Niazi (1981) براساس محاسبه انرژی استرین لرزه‌ای آزاد شده از بیش از ۴۰۰۰ زلزله با بزرگی ۴ و بالاتر طی سال‌های ۱۹۵۷ تا ۱۹۷۹، کشور را به ۳ پهنه اصلی لرزه‌ای به نام‌های زاگرس، البرز و ایران خاوری مرکزی، به ترتیب کاهش فعالیت تقسیم‌بندی کردند. Ambraseys & Melville (1982) تنها بر اساس داده‌های کلان لرزه‌ای، ۴ پهنه اصلی از فعالیت لرزه‌ای برای ایران تعیین کردند. Karakaisis (1994) بر اساس نواحی هم‌شدت زمین لرزه‌های ویرانگر و گسل‌های اصلی با سن کواترنری و ترشیری، ایران را به ۲۱ منطقه چشمه لرزه‌زایی تقسیم کرد.

خود سامانده پدیده نگاشت یک نوع رگرسیون غیر خطی از داده‌ها ایجاد می‌کند. از ویژگی‌های برجسته این روش، خوشه‌بندی و تجسم (visualization) همزمان خوشه‌ها همراه با حفظ مکان‌شناسی است. در عین داشتن این ویژگی‌های بارز، تعداد خوشه‌های به دست آمده از داده‌های ورودی توسط SOM (نیز مانند هر الگوریتم رده‌بندی کننده‌ای) بسته به میزان جزئی نگری در تحلیل دارد و توسط پژوهشگر تعیین می‌شود. برای مثال آرایه بزرگ SOM تعداد الگوهای بیشتر با ساختارهای جزئی‌تری را نشان می‌دهد، در حالی که آرایه کوچکی از SOM الگوهای کمتری را مشخص می‌کند. تصمیم برای تعداد گروه‌هایی که قرار است در تحلیل توسط SOM تعیین بشود، مثل این است که پژوهشگر برای حد شباهت لازم، در گروه‌ها تصمیم بگیرد، شباهت بیشتر در گروه‌ها تقسیم‌بندی جزئی‌تری را نیز می‌طلبد. هدف این مقاله بهینه ساختن و ارائه روشی جدید در تقسیم‌بندی زمین‌ساختی است که تفسیر آن کمک شایانی به درک مسائل زمین‌ساختی ایران خواهد کرد.

۲- زمین‌ساخت ایران

پیچیدگی زمین‌ساختی ایران در منطقه خاور میانه و نقش کلیدی آن در بررسی‌های زمین‌ساختی به گونه‌ای است که پژوهشگران را بر آن داشته است تا پهنه‌ها و ساختارهای مختلفی را براساس مبانی مورد نظرشان ارائه نمایند. در این میان به بیان مختصری از پهنه‌های ساختاری ارائه شده توسط Stöcklin (1968) که یکی از متداول‌ترین نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌ساختی ایران است، پرداخته می‌شود (شکل ۱). در این نقشه پهنه‌های زمین‌ساختی بر اساس سبک ساختاری، سن و شدت تغییر شکل، سن و ماهیت فعالیت‌های آذرین و دگرگونی تفکیک شده‌اند. این پهنه‌ها عبارتند از: در جنوب‌باختر، دشت اروندرود که بخش انتهایی سپر پی سنگ تازی است و تغییرات ساختاری آن به موج‌های ملایم در امتداد شمالی- جنوبی سپر تازی محدود می‌شود. در شمال خاور سکوی تازی، کمربند چین‌خورده زاگرس واقع شده، چین‌خوردگی این ناحیه فقط در فاز آخر کوهزایی آلپ در زمان پلیوسن- پلیستوسن رخ داده است. در این ناحیه حرکات خشکی‌زایی (اپیروژنی) در زمان‌های پیش از کوهزایی به موازات روند شمالی- جنوبی سکوی تازی صورت گرفته تا به موازات روند شمال خاوری- جنوب باختری پهنه راندگی زاگرس. ارتباط نزدیک میان کمربند چین‌خورده با سکوی تازی نشان می‌دهد که کمربند چین‌خورده ممکن است برای یک پهنه فعال حاشیه‌ای واقع بر این سکو در نظر گرفته شود. کمربند چین‌خورده به سمت شمال خاور به یک پهنه باریک روراندگی محدود می‌شود که مرز شمال خاوری آن خط راندگی اصلی زاگرس است. رشته کوه‌های سندج- سیرجان در کنار روراندگی اصلی در شمال خاوری واقع شده و گسترش آن در محدوده زمین‌درز میان سپر تازی و ایران است. پهنه ساختاری ایران مرکزی شامل یک منطقه مثلثی شکل محدود به دشت لوت در خاور، رشته کوه‌های البرز در شمال و خط راندگی زاگرس در جنوب باختر است. رشته کوه‌های البرز از نظر ساختاری و چینه‌شناسی با ایران مرکزی در ارتباط است، اما با شدت کمتری در طی دوره کوهزایی آلپین آغازی متأثر شده‌اند. چین‌خوردگی‌های کپه‌داغ شمالی‌ترین منطقه کوهزایی آلپ در ایران هستند که از بخش شمال به وسیله فلات توران و آسیای مرکزی محدود شده‌اند. رسوبات دوران‌های دوم و سوم در آن کم و بیش مانند زاگرس است. چین‌خوردگی‌های نامتقارن و موازی که ویژگی ساختمان منطقه کپه‌داغ و زاگرس است، به هنگام واپسین جنبش‌های کوهزایی آلپ ایجاد گشته‌اند. توده دشت لوت مرزهای نامنظمی دارد و با روند شمالی- جنوبی توسط رشته کوه‌های ایران مرکزی و خاور ایران محصور شده است. روند مشخص شمالی جنوبی رشته کوه‌ها در ظاهر تحت تأثیر این توده سخت بوده است. توده دشت لوت که

با وجود آن چه که در بررسی‌های زمین‌ساختی به دست آمده نیاز به روش رقومی پهنه‌بندی زمین‌ساختی بر اساس معیارهای رقومی از مدت‌ها پیش احساس شده است. روش‌های مرسوم در پهنه‌بندی زمین‌ساختی به صورت استقرایی (از کل به جزء) هستند که فلسفه حاکم بر آنها بر نحوه رده‌بندی آنها تأثیر می‌گذارد. این نوع رده‌بندی‌ها به طور معمول شامل دو محدودیت می‌شوند اول این که به خاطر تحلیل موضوعی و غیر رقومی دچار ابهامات اساسی هستند و دوم این که تفسیر دقیق حجم بالای داده‌ها با توجه به محدودیت ذهن بشر بسیار مشکل است (Zamani & Hashemi, 2004).

تجزیه‌های خوشه‌بندی (cluster analysis) که یکی از روش‌های استخراج اطلاعات از داده‌ها (data mining) است، قابلیت خوبی برای تقسیم‌بندی داده‌های بزرگ و پیچیده به گروه‌هایی با ویژگی‌های مشابه دارد (Lin & Chen, 2005). هدف از استخراج اطلاعات از داده‌ها که روش‌های متعدد و متنوعی از یادگیری رابطه‌ای گرفته تا آمار و شبکه‌های عصبی را در بر می‌گیرد، یافتن دانشی از داده‌های پیچیده با ابعاد و حجم بالاست که بدون رایانه قابل تحلیل نیستند. (Fayyad et al., 1996; Berthold & Hand, 1999; Hand et al., 2001).

شبکه‌های عصبی مصنوعی، که از روش‌های استخراج اطلاعات از داده‌ها به شمار می‌آید، فنی است که به طور مؤثر برای رده‌بندی و شناسایی الگوهای قابل تفسیر از داده‌های حجیم و پیچیده به کار می‌رود. این شبکه‌ها الگوریتم‌های رایانه‌ای هستند که توانایی بازسازی فرایندهای اطلاعاتی در مغز را با تقلید از ساختار مغزی دارا هستند (Dayhoff, 1990).

شبکه‌های عصبی با نرون‌ها، مکان‌شناسی شبکه (ساختار) و الگوریتم‌های یادگیری که هدفشان را مشخص می‌کنند، تعریف می‌شوند. شبکه‌های عصبی براساس حالت‌های یادگیری به دو دسته عمده نظارتی (supervised) و غیر نظارتی (unsupervised) تقسیم می‌شوند. در حالت یادگیری نظارتی رده‌بندی مشاهدات معلوم است و خروجی یک شبکه عصبی با خروجی موجود مقایسه می‌شود. خطای کلی در طی زمان با اصلاح پیوسته وزنه‌های ورودی تا حاصل آمدن دقت قابل قبول کاهش می‌یابد. در برابر یادگیری غیر نظارتی بدون استفاده از هر نوع رده‌بندی پیشین داده‌ها صورت می‌گیرد. این شبکه‌ها به طور درونی عملکردشان را بهینه‌سازی می‌نمایند و نظم‌ها و روندها را در داده‌های ورودی پیدا می‌کنند.

در این پژوهش شبکه عصبی نگاشت خودسامانده، که یکی از متداول‌ترین نوع شبکه‌های غیر نظارتی است، برای پهنه‌بندی رقومی زمین‌ساختی ایران به کار گرفته شده است. SOM کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های متنوع شامل پزشکی، انگشت‌نگاری و گفتارسنجی، تحقیقات روی WEB و کنترل ربات‌ها دارد (به Kaski et al., 1998 رجوع شود). SOM همچنین به طور مؤثری در علوم جغرافیایی و آب و هواشناسی (Hewitson & Crane, 1994, 2002) به کار گرفته می‌شود. هرچند استخراج اطلاعات از داده‌ها موضوع جدیدی نیست اما کاربرد آن در مسائل زمین‌ساختی به ندرت صورت گرفته است (Caputo et al., 1980; Collyer & Merriam, 1973; Gelfand et al., 1972; Rotwain, 1974a, 1976b; Harff & Davis, 1990; Parks, 1966; Potter, 1996; Swan & Sandilands, 1995).

کاربرد SOM در پهنه‌بندی زمین‌ساختی برای اولین بار در این مقاله ارائه شده است. SOM با رسم ورودی‌های با ابعاد بالا در آرایه‌ای دو بعدی از نرون‌های به هم متصل، خود را نسبت به ورودی‌ها تطبیق می‌دهد. این آرایه دو بعدی یک پدیده نگاشت نامیده می‌شود و حفظ کننده مکان‌شناسی است که در آن نرون‌های مجاور در پدیده نگاشت به بردارهای ورودی مشابه تعلق دارند (Kohonen, 1995). با الگوریتم

هر داده به یکی از گره‌های موجود در نگاشت SOM تعلق می‌گیرد که به آن بهترین واحد تطبیقی (نرون برنده) گفته می‌شود. پیرامون این گره منطقه تأثیری به وجود می‌آید که آن را ناحیه Voronoi می‌نامند. بنابراین تمام فضای ورودی به صورت مناطق Voronoi در نگاشت SOM موزایک‌بندی می‌شوند. مناطق Voronoi ایجاد شده در واحدهای نگاشت یک مرحله حدواسط از خوشه‌بندی داده‌ها فراهم می‌کند. هر داده بر حسب بهترین واحد تطبیقی‌اش به دسته یکسانی تعلق می‌گیرد. مزیت خوشه‌بندی دو مرحله‌ای در این است که داده‌های اصلی با سری کوچک‌تر جانشین می‌شوند که اغتشاش و خطای کمتری نسبت به داده‌های اصلی دارد، همچنین SOM هر نوع وابستگی را آشکارتر از داده‌های اصلی نشان می‌دهد.

شکل شبکه نگاشت از پیش تعیین شده است و هر واحد نگاشت مکان و اندازه منحصر به فردی دارد. بنابراین نمودارهای مربوطه می‌توانند بدون ایجاد همپوشانی به کار بروند. تراکم پروتوتایپ‌های نگاشت از تراکم داده‌ها پیروی می‌کند. همچنین نگاشت خروجی همسایگی مکان‌شناختی را حفظ می‌کند. برای تجسم خوشه‌ها متداول‌ترین روش، روش ماتریس فاصله‌ای یکسان شده (The unified distance matrix) یا U-matrix است (Ultsch & Siemon, 1990). در این روش فواصل برای هر واحد نسبت به همسایگانش سنجیده شده و توسط رنگ یا روش‌های دیگر به نمایش در می‌آید (Iivarin et al., 1994; Häkkinen & Koikkalainen, 1997; Merkl & Rauber, 1997). در U-matrix مرز خوشه‌ها با کوه‌ها یا مقادیر زیاد و خوشه‌ها به صورت دره‌ها یا مقادیر فاصله کم قابل مشاهده هستند، به این ترتیب تجسم U-matrix به تعیین خوشه‌ها در نگاشت خروجی SOM کمک می‌کند.

۴- تحلیل داده‌ها

در این بررسی، ایران به ۱۷۵ چهارگوش $1^\circ \times 1^\circ$ تقسیم می‌شود، به طوری که از چهارگوش شماره ۱ میان نصف‌النهار $45^\circ E$ و $46^\circ E$ شروع و به ۱۷۵ برای چهارگوش میان نصف‌النهار $61^\circ E$ و $62^\circ E$ ختم می‌شوند (Zamani & Hashemi, 2000). متغیرهای مورد استفاده در تحلیل و محاسبات SOM در مجموع ۴۹ متغیر است که مجموعه آنها در جدول ۱ آورده شده است، عبارتند از (۱) متغیرهای مشتق شده از داده‌های ژئوفیزیکی که شامل شدت میدان مغناطیسی، بی‌هنجاری گرانشی، بی‌هنجاری هوای آزاد، بی‌هنجاری بوگه، بی‌هنجاری هم‌ایستایی، ژرفای موهو، بی‌هنجاری گرانشی ناحیه‌ای و بی‌هنجاری گرانشی باقیمانده است (Dehghani & Makris, 1983; Magnetic total intensity maps of Iran, 1989). (۲) متغیرهای مشتق شده از داده‌های زمین‌شناسی شامل ارتفاع، سن سنگ‌ها، جنس سنگ‌ها و تراکم طول گسلی است (اطلس ملی نقشه‌های موضوعی زمین‌شناسی و اکتشافی، ۱۳۸۳). (۳) پارامترهای مشتق شده از داده‌های زلزله‌خیزی که از زلزله‌های رخ داده در طی قرن اخیر (۲۰۰۷-۱۹۰۰) از Gutenberg & Richter (1954) و Engdahl et al. (2006); Ambraseys & Melville (1982) و ISC و USGS به دست آمده و شامل بزرگی (m_b)، بیشینه انرژی لرزه‌ای آزاد شده، مقادیر a و b و تعداد زمین‌لرزه است.

از آن جا که شباهت بر اساس فاصله اندازه‌گیری می‌شود و این فاصله نسبت به مقیاس متغیرها، حساس است، باید پیش از انجام هر خوشه‌بندی، داده‌ها بهنجار (نرمال) یا استاندارد شوند. به این منظور روش استاندارد کردن Z-score که متداول‌ترین روش بهنجارسازی است، به کار گرفته شد. در این روش همه بردارهای ورودی نسبت به هر متغیر بهنجار می‌شوند. میانگین هر متغیر برای همه داده‌های ورودی (۱۷۵ چهارگوش) محاسبه می‌شود سپس مقدار آن متغیر در هر بردار ورودی (یک چهارگوش 1°) از میانگین کم و بر انحراف معیار که مانند میانگین برای همه

از انتهای کراتاسه تکامل یافته است، یک "توده میانی" در ایران مرکزی است؛ هر چند کوچک‌تر از آنی است که زمین‌شناسان قبلاً برای همه مناطق محصور به رشته کوه‌های البرز و زاگرس در نظر می‌گرفته‌اند. توده دشت لوت گسل خوردگی در چندین جهت، چین‌خوردگی نامشخصی را از خود نشان می‌دهد و توسط گسل نایبند و کوه‌های شتری خاور طیس به دو بلوک تقسیم می‌شود. بلوک طیس در باختر و بلوک لوت در خاور، جایی که تنش‌های زمین‌ساختی منجر به رشته کوه‌های شتری شده، پهنه گسلی نایبند به صورت یک کمربند متحرک عمل کرده است. رشته کوه‌های خاوری-باختری مکران در جنوب خاوری ایران ادامه رشته کوه‌های زاگرس در مجاورت بندرعباس به باختر پاکستان است اما در محدوده خط عمان تغییرهای شگرفی در الگوی رخساره‌های رخ می‌دهد که ارتباط بین این دو رشته کوه را مبهم می‌سازد. دریای ژرف جنوب مکران به عنوان بخشی از پوسته اقیانوسی تیس در نظر گرفته می‌شود (White & Ross, 1979; Coleman, 1981). گسترش زیاد کراتاسه بالایی و مجموعه در هم سنگ‌های قلیایی و رسوبی همراه با فلیش ائوسن، ویژگی کوه‌های مکران و رشته کوه‌های خاور ایران است. جوان‌ترین چین‌خوردگی در ایران در زمان پلیوسن-پلیستوسن رخ داده است. ویژگی‌های ریخت‌زمین‌ساختی متنوع مثل کج‌شدگی پادگانه‌های کوتاه‌تری، گل‌فشان‌ها و سواحل بالا آمده، نوسانات خطوط ساحلی، حضور آتشفشان‌های کوتاه‌تری، گسل‌های فعال متعدد و فعالیت لرزه‌خیزی اخیر ثابت می‌کند که فعالیت زمین‌ساختی در ایران همچنان ادامه دارد.

۳- ساختار و الگوریتم یادگیری SOM

SOM با استفاده از الگوریتم یادگیری رقابتی غیرنظارتی آموزش می‌یابد که یک فرایند خودسامانده است. این الگوریتم به صورت زیر توصیف شود:

لایه ورودی شامل M نرون است که به صورت $X = [x_i]^T, i=1, 2, \dots, M$ مشخص می‌شود.

لایه خروجی شامل نرون‌های خروجی $u_j, j=1, 2, \dots, N$ است. وزنه‌ها از نرون لایه ورودی به نرون لایه خروجی W_{ij} هستند، که $i=1, 2, \dots, M$ و $j=1, 2, \dots, N$. بردار وزنه‌ای هر نرون بعد یکسانی را با الگوی ورودی دارد بنابراین بردار وزنه‌ای به صورت زیر نوشته می‌شود: $W_j = [W_{1j}, W_{2j}, \dots, W_{Mj}]^T, j=1, 2, \dots, N$. فرایند یادگیری با وزنه‌هایی که با مقادیر کوچک، تصادفی ایجاد شده‌اند، شروع می‌شود. الگوریتم SOM (فاصله) شباهت بین بردار ورودی X و بردار وزنه‌ای W_j هر نرون u_j را محاسبه می‌کند. نرون خروجی با بردار وزنه‌ای که کمترین فاصله را از بردار ورودی دارد، برنده است. بردارهای این نرون برنده در جهت بردار ورودی تنظیم می‌شوند. نه فقط نرون برنده بلکه نرون‌های همسایه نرون برنده هم از فرایند رقابت متأثر می‌شوند. اثر رقابت به طور متقارن از نرون برنده کاهش می‌یابد. نرون برنده مرکز همسایگی مکان‌شناختی است. یک نوع عمومی تابع همسایگی تابع گوسی است:

$$h_j = \exp\left(-\frac{\|u_j - u_j^s\|^2}{2\sigma^2}\right)$$

که h_j همسایگی مکان‌شناختی، σ پهنای مؤثر همسایگی مکان‌شناختی و u_j^s نرون برنده است. تفسیر بردار وزنه‌ای W_j می‌تواند از $\Delta W_j = \eta h_j (X - W_j)$ به دست آید که η پارامتر نرخ یادگیری الگوریتم است. طی تکرارهای متوالی داده‌ها، بردارهای وزنه‌ای در اثر به‌روز شدن همسایگی شروع به حرکت به سمت الگوی ورودی می‌نمایند. در نهایت، این تنظیمات به شباهت بردارهای وزنه‌ای به الگوی ورودی می‌انجامد. نرون برنده محل مکان‌شناختی الگوی ورودی را نشان می‌دهد. پس از پایان آموزش شبکه،

آنها ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد. نظر اشتوکلین و دیگر زمین‌شناسان هم گویای این مسئله است.

- فاصله زیاد مکران (پهنه ۴) از رشته کوه‌های خاور ایران، (شکل ۳- ب گوشه سمت چپ پایین) نشان می‌دهد، که بر خلاف نقشه اشتوکلین (شباهت مکران با رشته کوه‌های خاور ایران) به نظر می‌رسد مکران از لحاظ ساختاری به طور کامل متفاوت باشد.

- توده میانی "median mass" به خوبی در شکل ۲ آشکار است افزون‌بر این که شباهت خاصی نیز بین این توده میانی و کویر بزرگ وجود دارد (پهنه ۶، کویر بزرگ، بلوک لوت وطبس). بر اساس نظر (Stöcklin 1968) این توده در خاور ایران در قطعه لوت واقع شده است که مطابق فرضیه‌های پیشین زمین‌شناسان است با این تفاوت که توده میانی بسیار کوچک‌تر از میزانی است که آنان به تمام فلات ایران بین رشته کوه‌های حاشیه شمالی و جنوبی بسط داده بودند.

- شباهت بین کپه‌داغ، محل راندگی زاگرس و هسته پرکامبرین در ایران مرکزی آنها را در پهنه ۹ قرار داده است. این مسئله گویای این مطلب است که با وجود جدایی جغرافیایی این مناطق تاریخچه فرایندهای زمین‌ساختی یکسانی داشته‌اند. (Stöcklin 1968) هم بیان می‌دارد که رسوبات دوران‌های دوم و سوم در این دو منطقه یکسان بوده است. به احتمال فرایندهای زمین‌ساختی مشابهی در این دو منطقه عمل کرده‌اند.

- فاصله زیاد زاگرس چین‌خورده با محل راندگی زاگرس هم قابل توجه است و نشان می‌دهد که این پهنه در واقع مربوط به صفحه تازی است.

افزون‌بر این با توجه به شبکه خروجی SOM (شکل ۳- الف) می‌توان شباهت‌های دیگری را نیز بین خوشه‌ها پیدا کرد. از آنجا که خروجی SOM یک پدیده نگاشت حفظ‌کننده مکان‌شناسی است، واحدهایی که در نگاشت مجاور هم هستند در داده‌های اصلی نیز شباهت ذاتی دارند. برای مثال می‌توان به شباهت البرز با آذرین‌های ایران مرکزی، بلوک لوت و کویر بزرگ با جنوب کاسپین اشاره کرد. یافته‌های ۳، ۴ و ۵ با یافته‌های (Zamani & Hashemi 2004) مطابقت زیادی دارد.

یکی از ویژگی‌های آشکار در روش‌های رقومی این است که صرف‌نظر از موقعیت جغرافیایی پهنه‌ها، در صورتی که تاریخچه زمین‌ساختی یکسانی داشته باشند، برای یک پهنه همگن شناسایی و تفکیک می‌شوند. شباهت‌های آشکار شده براساس برآیندی از کل متغیرها در پهنه‌هاست برای تعیین جزئی‌تر نوع و نحوه شباهت‌های به دست آمده به تجزیه‌های بیشتری احتیاج است که از حوصله این مبحث خارج است. از آنجا که داده‌های دقیق برای تمام مناطق ایران وجود ندارد، تفسیر درست روابط بین پهنه‌های زمین‌ساختی ناممکن است. تاکنون هم تلاش زیادی برای کمی کردن مشاهدات انجام شده صورت نگرفته است. در اینجا برای اولین بار از خواص ذاتی شبکه عصبی SOM برای رقومی کردن پهنه‌بندی زمین‌ساختی استفاده شد. این شبکه عصبی نه تنها قابلیت زیادی در خوشه‌بندی از خود نشان داد بلکه قدرت تجسم آن نیز کمک شایانی به درک روابط بین پهنه‌ها و همچنین بین متغیرها کرد.

۶- سپاسگزاری

از آقای برهان کظیمی‌پور دانشجوی کارشناسی ارشد کامپیوتر دانشگاه شیراز به خاطر تنظیم برنامه رایانه‌ای SOMToolbox برای اهداف مورد نظر این پژوهش سپاسگزاری می‌شود. از معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز و پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به خاطر فراهم آوردن بخشی از

بردارهای ورودی به دست آمده تقسیم می‌شود، به این ترتیب میزان هر متغیر در هر چهارگوش استاندارد می‌شود. با توجه به این که شواهد علمی مستدلی مبنی بر تعیین وزن متغیرها در دست نیست، همه متغیرها با وزن یکسان در تحلیل به کار گرفته شدند. سپس با کمک شبکه عصبی SOM، تجزیه خوشه‌ای صورت گرفت. در این پژوهش شبکه دو بعدی SOM با ابعاد ۱۰×۱۴ و خانه‌های شش‌گوش در نظر گرفته شد. خانه‌های شش‌گوش از این رو به خانه‌های مستطیلی ترجیح داده شد که در این حالت مکان‌شناسی، همسایه‌های بیشتری برای هر خانه فراهم می‌شود. در آموزش SOM از بسته نرم‌افزاری SOMToolbox (که به طور رایگان در سایت www.cis.hut.fi قابل پیاده‌سازی است) استفاده شد.

ابتدا SOM با الگوریتم آموزشی دسته‌ای (batch) در دو فاز rough training با وسعت همسایگی و نرخ یادگیری اولیه بزرگ و فاز fine-tuning با وسعت همسایگی و نرخ یادگیری اولیه کوچک آموزش یافت. طول یادگیری دو فاز به ترتیب ۸ و ۳۲ دوره بود و نرخ‌های یادگیری اولیه به ترتیب ۰/۵ و ۰/۰۵ انتخاب شدند. بر اساس خوشه‌بندی دو مرحله‌ای که از پیش توضیح داده شد، ابتدا هر داده به یکی از گره‌های موجود در نگاشت SOM تعلق می‌گیرد سپس مناطق Voronoi ایجاد شده در واحدهای نگاشت SOM، خوشه‌بندی می‌شوند. نتایج حاصل از SOM با ابعاد ۱۰×۱۴ بر روی داده‌ها ۱۰ پهنه بود که پس از پیاده‌سازی با کمک نرم‌افزار ArcView نقشه پهنه‌بندی رقومی ایران (شکل ۲) به دست آمد. مناطق همگن زمین‌ساختی حاصله به قرار زیر است: پهنه (۱) باختر آذربایجان غربی و اقیولیت‌های نیریز؛ پهنه (۲) البرز؛ پهنه (۳) جنوب کاسپین، قسمتی از کپه‌داغ و باختر ایران؛ پهنه (۴) مکران؛ پهنه (۵) پهنه ماگمای ارومیه- دختر؛ پهنه (۶) کویر بزرگ لوت و طبس؛ پهنه (۷) اصفهان و فروافتادگی گاوخونی و بخشی از جازموریان؛ پهنه (۸) سندج- سیرجان؛ پهنه (۹) کپه‌داغ، محل راندگی زاگرس و هسته پرکامبرین در ایران مرکزی؛ پهنه (۱۰) زاگرس چین‌خورده. همچنین نگاشت خروجی SOM که در آن موقعیت هر خوشه و همسایگان‌ش معلوم است و نمودار U-matrix (تجسم SOM برای خوشه‌ها) بر حسب فاصله بین خوشه‌ها در شکل ۳- الف و ۳- ب آمده است. از آنجا که موقعیت خوشه‌ها در هر دو نمودار یکی است، تفسیر روابط فاصله‌ای بین خوشه‌ها از مقایسه دو نمودار به آسانی امکان‌پذیر می‌شود. برای مثال گوشه سمت چپ پایین محل خوشه ۴ است و با توجه به این موقعیت می‌توان فاصله آن را از خوشه‌های همسایه تعیین کرد. همچنین درجه همگنی بین خوشه‌ها از مقایسه دو نمودار حاصل می‌شود.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

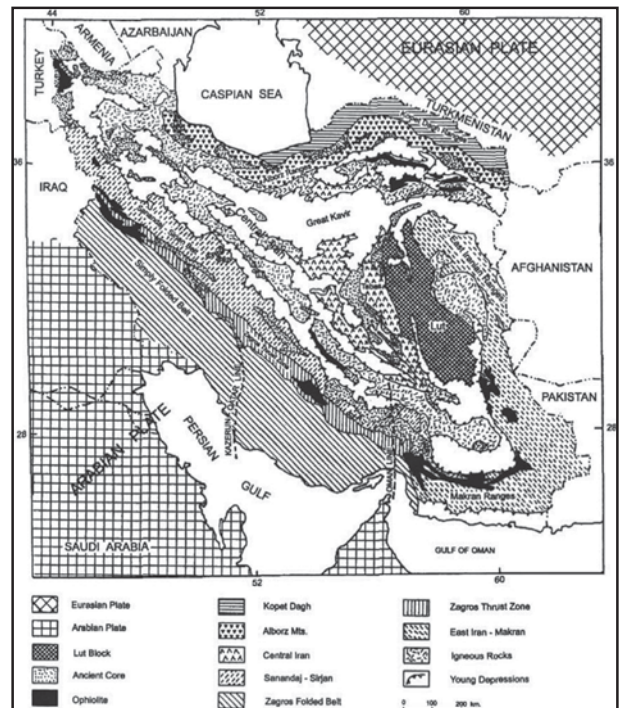
همان‌طور که از شکل ۲ پیداست در روش رقومی اعمال شده تفکیک پهنه‌های زمین‌ساختی به خوبی صورت گرفته است. شباهت‌های زیادی بین نقشه به دست آمده و نقشه‌های زمین‌ساختی مرسوم وجود دارد: برای مثال زاگرس چین‌خورده، بلوک لوت و کویر بزرگ، پهنه سندج سیرجان، البرز و کپه‌داغ مطابقت زیادی با نقشه زمین‌ساختی (Stöcklin 1968) دارد. از طرف دیگر نقشه‌های رقومی به دست آمده نکات جالب توجهی را آشکار می‌سازد. بدیهی است نتایج به دست آمده بر اساس ۴۹ متغیر به کار رفته در تجزیه خوشه‌ای به دست آمده است. برخی نکات قابل توجه شامل زیر است:

- از شواهد موجود در شکل ۲ و مقایسه بین موقعیت خوشه‌ها در خروجی SOM و U-matrix (شکل ۳- الف و ۳- ب) چنین بر می‌آید که تاریخچه تحولات زمین‌شناسی پهنه ۱ (آذربایجان غربی) متفاوت از البرز باشد (فاصله زیاد بین پهنه‌های ۱ و ۲ در شکل ۳- ب).

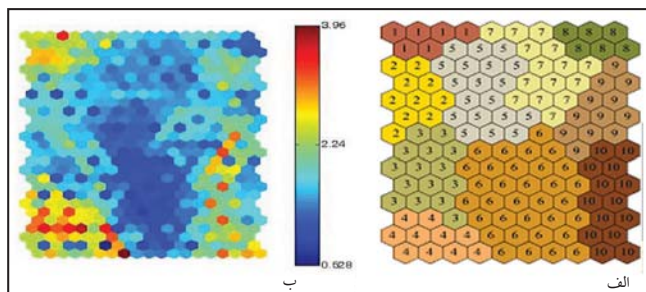
- همچنین به نظر می‌رسد پهنه‌های ۵، ۶ و ۷ شباهت زیادی با هم دارند و مجموعه

جدول ۱- متغیرهای اندازه‌گیری شده در هر چهار گوش ۱۰ که به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی SOM مورد استفاده واقع شدند.

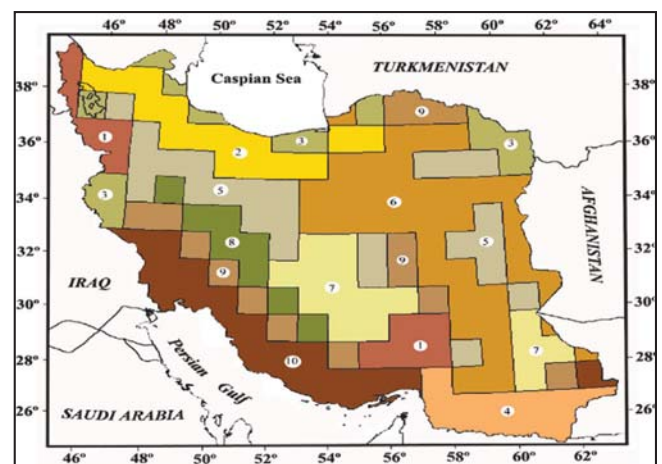
شماره متغیر	نام متغیر اندازه‌گیری شده	شماره متغیر	نام متغیر اندازه‌گیری شده
۱	کمینه شدت میدان مغناطیسی (گاما)	۲۶	کمینه بی‌هنجاری ثقلی باقیمانده (میلی گال)
۲	بیشینه شدت میدان مغناطیسی (گاما)	۲۷	بیشینه بی‌هنجاری ثقلی باقیمانده (میلی گال)
۳	دامنه شدت میدان مغناطیسی (گاما)	۲۸	دامنه بی‌هنجاری ثقلی باقیمانده (میلی گال)
۴	میانگین شدت میدان مغناطیسی (گاما)	۲۹	میانگین بی‌هنجاری ثقلی باقیمانده (میلی گال)
۵	کمینه بی‌هنجاری ثقلی (میلی گال)	۳۰	کمینه ارتفاع (متر)
۶	بیشینه بی‌هنجاری ثقلی (میلی گال)	۳۱	بیشینه ارتفاع (متر)
۷	دامنه بی‌هنجاری ثقلی (میلی گال)	۳۲	دامنه ارتفاع (متر)
۸	میانگین بی‌هنجاری ثقلی (میلی گال)	۳۳	میانگین ارتفاع (متر)
۹	کمینه بی‌هنجاری هوای آزاد (میلی گال)	۳۴	مساحت نسبی سنگ‌های سنوزویک (%)
۱۰	بیشینه بی‌هنجاری هوای آزاد (میلی گال)	۳۵	مساحت نسبی سنگ‌های مزوزویک (%)
۱۱	دامنه بی‌هنجاری هوای آزاد (میلی گال)	۳۶	مساحت نسبی سنگ‌های پالئوزویک (%)
۱۲	میانگین بی‌هنجاری هوای آزاد (میلی گال)	۳۷	مساحت نسبی سنگ‌های پروتوزویک (%)
۱۳	کمینه بی‌هنجاری بوگه (میلی گال)	۳۸	مساحت نسبی سنگ‌های آذرین (%)
۱۴	بیشینه بی‌هنجاری بوگه (میلی گال)	۳۹	مساحت نسبی سنگ‌های دگرگونی (%)
۱۵	دامنه بی‌هنجاری بوگه (میلی گال)	۴۰	مساحت نسبی سنگ‌های افولیت (%)
۱۶	میانگین بی‌هنجاری بوگه (میلی گال)	۴۱	مساحت نسبی سنگ‌های رسوبی (%)
۱۷	کمینه بی‌هنجاری هم‌ایستایی (میلی گال)	۴۲	مساحت نسبی رسوبات تحکیم نیافته (%)
۱۸	بیشینه بی‌هنجاری هم‌ایستایی (میلی گال)	۴۳	درصد تراکم طول گسل‌ها
۱۹	دامنه بی‌هنجاری هم‌ایستایی (میلی گال)	۴۴	تعداد زلزله‌های با بزرگی بیشتر از m_1
۲۰	میانگین بی‌هنجاری هم‌ایستایی (میلی گال)	۴۵	تعداد زلزله‌های با بزرگی کم‌تر از m_2
۲۱	میانگین ژرفای موهو (کیلومتر)	۴۶	بیشینه m_3
۲۲	کمینه بی‌هنجاری ثقلی ناحیه‌ای (میلی گال)	۴۷	بیشینه لرزه‌های آزاد شده (ژول)
۲۳	بیشینه بی‌هنجاری ثقلی ناحیه‌ای (میلی گال)	۴۸	مقدار a در فرمول گوتنبرگ-ریشتر
۲۴	دامنه بی‌هنجاری ثقلی ناحیه‌ای (میلی گال)	۴۹	مقدار b در فرمول گوتنبرگ-ریشتر
۲۵	میانگین بی‌هنجاری ثقلی ناحیه‌ای (میلی گال)		



شکل ۱- نقشه زمین‌ساختی ایران (برگرفته شده از Stöcklin, 1968)



شکل ۳- الف) پدیده نگاشت SOM و موقعیت هر پهنه در آن، رنگ و شماره انتخاب شده پهنه‌ها در نقشه ایران و در پدیده نگاشت SOM یکسان است. ب) نمایش ماتریس فاصله‌ای یکسان شده (U-matrix) نشان دهنده میزان شباهت پهنه‌های زمین‌ساختی



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی رقومی زمین‌ساختی ایران حاصل از شبکه عصبی نگاشت خودسامانده (SOM)

References

Aghanabati, A., 1986- 1/5,000,000 Sheet, Geological Map of the Middle East. Commission for the Geological Map of the World, Geological Survey of Iran. Ambraseys, N. N. & Melville, C. P., 1982- A History of Persian Earthquakes. Cambridge University Press, Cambridge, England, 219p. Axen, G. J., Lam, P. S., Grove, M., Stockli, D. F. & Hassanzadeh, J., 2001- Exhumation History of the Alam Kuh Area, Central Alborz Mountains, Northern Iran: Implications for Caspian subsidence and Collision-Related Tectonics
Berberian, M. & King, C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Science, 18: 210-265. Berberian, M., 1981- Active faulting and tectonics of Iran. In: Gupta, H.K., Delany, F.M. (Eds.), Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution: Geodynamic Series, 3, American Geophysical Union, Washington, DC and Geological Society of America, Boulder, CO, pp. 33-69. Berthold, M. & Hand, D. J. editors, 1999- Intelligent Data Analysis: an Introduction. Springer.
Boulin, J., 1991- Structures in Southwest Asia and evolution of the eastern Tethys. Tectonophysics, 196: 211-268.
Caputo, M., Keilis-Borok, V. I., Oficerova, E., Ranzman, E. Ya., Rotwain, I., Solovjeff, A., 1980- Pattern recognition of earthquake-prone areas in Italy. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 21: 305-320.
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.
Coleman, R. J., 1981- Tectonic setting for ophiolite obduction in Oman. Journal of Geophysical Research. (Special Issue), 86: 2497-2508.
Collyer, P. L., Merriam, D. F., 1973- An application of cluster analysis in mineral exploration. Mathematical Geology, 5:213-223
Davoudzadeh, M. & Weber-Diefenbach, K., 1987- Contribution to the paleogeography, stratigraphy and tectonics of the Upper Paleozoic of

- Iran. Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaontologie, 175: 121–145.
- Davoudzadeh, M., Lensch, G. & Weber-Diefenbach, K., 1986- Contribution to the paleogeography, stratigraphy and tectonics of the Infracambrian and Lower Paleozoic of Iran. Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaontologie, 172: 245–269.
- Dayhoff, J. E., 1990- Neural network architectures—An introduction. New York: Van Nostrand Reinhold
- Dehghani, G. A. & Makris, J., 1983- The gravity field and crustal structure of Iran. In: Geodynamic Project (Geotraverse) in Iran, Geological Survey of Iran, 51: 51–68.
- Eftekharneshad, J., 1980- Subdivision of Iran into different structural realms with relation to sedimentary basins (in Farsi). Bulletin of the Iranian Petroleum Institute, 82: 19–28.
- Engdahl, E. R., Jackson, J., Myers, S. C., Bergman, E. A., Priestley, K., 2006- Relocation and assessment of seismicity in the Iran region. Geophysical Journal International, 167: 761–778
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G. & Smyth, P., 1996- Knowledge discovery and data mining: Towards a unifying framework, In Proceeding of The Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'96), 82–88.
- Gelfand, I. M., Guberman, Sh. I., Izvekova, M. L., Keilis-Borok, V. I., Ranzman, E. Ja., 1972- Criteria of high seismicity, determined by pattern recognition. Tectonophysics, 13:415–422.
- Gelfand, I. M., Guberman, Sh. A., Kalezkaja, M. S., Keilis-Borok, V. I., Ranzman, E. Ja., Rotwain, I. M., Zhidkov, M. P., 1974a- Recognition of places where strong earthquakes may occur, II. Four regions of Asia Minor and S-E Europe (in Russian). Computational Seismology 7: 1–40.
- Gelfand, I. M., Guberman, Sh. A., Keilis-Borok, V. I., Knopoff, L., Press, F., Ranzman, E. Ya., Rotwain, I. M., Sadovsky, A. M., 1976- Pattern recognition applied to earthquake epicenters in California. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 11: 227–283.
- Gutenberg, B. & Richter, C. F., 1954- Seismicity of the Earth and its Associate Phenomena. Princeton University Press, Princeton, NJ, 310p.
- Häkkinen, E. & Koikkalainen, P., 1997- The neural data analysis environment. In Proceedings of the Workshop on Self-Organizing Map, 69–74.
- Hand, D., Mannila, H. & Smyth, P., 2001- Principles of Data Mining. The MIT Press.
- Harff, J., Davis, J. C., 1990- Regionalization in geology by multivariate classification. Mathematical Geology, 22: 573–588.
- Hewitson, B. C., & Crane, R. G., 1994- Neural nets: Applications in geography. London: Kluwer Academic Publishers.
- Hewitson, B. C., & Crane, R. G., 2002- Self-organizing maps: Applications to synoptic climatology. Climate Research, 22: 13–26.
- Iivarinen, J., Kohonen, T., Kangas, J. & Kaski, S., 1994- Visualizing the Clusters on the Self-Organizing Map. In Christer Carlsson, Timo Järvi, and Tapio Reponen, editors, Proceedings of Conference on Artificial Intelligence Research in Finland, number 12 in Proceedings of Conference of Finnish Artificial Intelligence Society, pp. 122–126, Helsinki, Finland, Finnish Artificial Intelligence Society.
- Karakaisis, G. F., 1994- Long-term earthquake prediction in Iran based on the time- and magnitude-predictable model. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 83: 129–145.
- Kaski, S., Kangas, J. & Kohonen, T., 1998- Bibliography of self-organizing map (SOM) papers: 1981-1997. Neural Computing Surveys, 1:102–350.
- Kohonen, T., 1995- Self-organizing maps. Springer, Berlin.
- Lin, G. F. & Chen, L. H., 2006- Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map, Journal of Hydrology, 324:1-9
- Merkel, D. & Rauber, A., 1997- Alternative ways for cluster visualization in self-organizing maps. In Proceedings of the Workshop on Self-Organizing Map, pp.106–111.
- Meyer, B. & Le Dortz, K., 2007- Strike slip kinematics in Central and Eastern Iran: Estimating fault slip-rate averaged over the Holocene, Tectonics, 26: TC5009
- Nabavi, M. H., 1976- An introduction to the Iranian geology (in Farsi). Geological Survey of Iran, 38: 110pp.
- Nowroozi, A. A., 1971- Seismotectonics of the Persian Plateau, eastern Turkey, Caucasus, and Hindu-Kush regions. Bulletin of the Seismological Society of America, 61: 317–341.
- 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 instrumental and macroseismic epicenters. Bulletin of the Seismological Society of America, 69: 641–649.
- Parks, J. M., 1966- Cluster analysis applied to multivariate geologic problems. Journal of Geology, 74: 703–715.
- Potter, D. R., 1996- Correlation between observed seismicity and GPS-derived aseismic crustal deformation rates in Southern California. EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 77: 148–149
- Reiben, H., 1955- The geology of the Tehran plain: American Journal of Science, 253 (11): 617-639.
- Shoja-Taheri, J. & Niazi, M., 1981- Seismicity of the Iranian Plateau and bordering regions, Bulletin of the Seismological Society of America, 71: 477–489.
- Stahl, A. F., 1911- Zur geologie von Persien. In: Handbuch der Regionalen Geologie, Band 5, Heft 8, Heidelberg, Germany, 46pp.
- Stöcklin, J. & Nabavi, M.H., 1973- 1/2,500,000 sheet, tectonic map of Iran. Geological Survey of Iran.
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: a review, Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 52: 1229–1258.
- Stöcklin, J., 1977- Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and Central Asia. Mémoire H series, Société géologique de France, 8: 335–353.
- Swan, A. R. H., Sandilands, M., 1995- Introduction to Geological Data Analysis, Blackwell Science, Oxford, 446pp.
- Takin, M., 1972- Iranian geology and continental drift in the Middle East. Nature, 235: 147–150.
- Utsch, A. & Siemon, H. P., 1990- Kohonen's Self Organizing Feature Maps for Exploratory Data Analysis. In Proceedings of International Neural Network Conference (INNC'90), pp. 305–308, Dordrecht, Netherlands., Kluwer.
- URL <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/>
- White, R. S. & Ross, D. A., 1979- Tectonics of the western Gulf of Oman, Journal of Geophysical Research, 84:3479-3489.
- 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, Computers & Geosciences, 30: 705–718

and similarity between clusters. Although there are some similarities between SOM's numerical maps constructed here and the conventional maps but SOM method is more powerful for identification and interpretation of different zones than conventional methods. Utilizing SOM method enables us not only to evaluate the degree of homogeneity in each zone, but also to separate regions zone that experience similar geological evolutionary despite of their geographical locations. For instance Lut and Gavkhuni zones show more homogeneity than Makran and Azerbayejan zones also Kopeh-Dagh and Zagros are located at different regions, they have similar features. The results obtained here represent separation between Makran from East Iranian Ranges and Western Azerbaijan from Alborz Ranges, too. It is important to recognize that the SOM's results are based purely on the geophysical, geological and seismic features presented previously. So correspondences and differences between the SOM's zones and a given zone based on conventional method must receive careful thought.

Keywords: Tectonic Zoning, Clustering, Self-Organizing map, Neural Network

For Persian Version see pages 83 to 88

* Corresponding author: A. Zamani; E_mail: Zamani_a_geol@yahoo.com

Lithostratigraphy and Biostratigraphy of the Dalichai Formation (Middle Jurassic) in Parvar Area, North of Semnan, Central Alborz

M. Shams^{1*} & K. Seyed-Emami²

¹ School of Geology, University College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

² School of Mining Engineering, University Collage of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2008 June 28

Accepted: 2008 December 24

Abstract

The Dalichai Formation and its ammonite fauna is studied for the first time in the Parvar area, Central Alborz. At Parvar the Dalichai Formation, with a thickness of about 70 m, consist of an alternation of grayish silty marls, marlstones, marly limestone and limestone and is subdivided into 5 members. A rich ammonite fauna (407 specimens) have been collected from the member 4 and 5, comprising the following families: Phylloceratidae, Lytoceratidae, Opeleidae, Haploceratidae, Sphaeroceratidae, Parkinsoniidae, Morphoceratidae and Perisphinctidae. These indicate a Late Bajocian and Bathonian age. Member five consists of greenish to reddish, nodular and flaggy limestones and is a typical condensed horizon.

Keywords: Lithostratigraphy, Biostratigraphy, Dalichai Formation, Ammonite, Middle Jurassic, Parvar, Central Alborz.

For Persian Version see pages 89 to 94

*Corresponding author: M. Shams; E_mail: Me_shams59@yahoo.com

Evaluation of Organic Geochemical Characteristics of Kangan Formation in South Pars Field

A. Rajabi-Harsini^{1*} & M. Memariani²

¹ Islamic Azad University- North Tehran Branch, Tehran, Iran

² Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

Received: 2008 August 12

Accepted: 2009 January 12

Abstract

In this study, in order to evaluate the geochemical characterization of Kangan Formation in well B in South Pars Gas Field, geochemical analysis (including preliminary and complementary analysis such as Rock-Eval Pyrolysis, extraction of organic matter (EOM), bitumen fractionation, Gas chromatography and Gas chromatography-Mass Spectrometry) were carried out on core samples. Geochemical results reveal that these samples have kerogen type III and II, indicating a marine organic matter with a little terrestrial input. The organic matter of these samples was derived from source rock(s), with clastic-carbonate lithology which deposited under anoxic to subanoxic conditions. In addition, the above samples exhibit poor to moderate genetic potential with kerogen maturity at the beginning of oil generation (late diagenesis to early catagenesis). Also, based on column chromatography, the above samples are mainly composed of paraffinic-naphthenic and paraffinic hydrocarbons. A negligible amount of hydrocarbons seems to have been generated locally from Kangan Formation.

Key words: Kangan Formation, Rock-Eval Pyrolysis, Gas chromatography, Gas Chromatography-Mass Spectrometry, Source Rock.

index of mountain front sinuosity (Smf). Results from the analysis are accumulated and expressed as an index of relative active tectonics (Iat), which divided into four classes from relatively low to highest tectonic activity. The study area along the south flank of the central Alborz mountain range in north Iran is an ideal location to test the concept of an index to predict relative tectonic activity on a basis of area rather than a single valley or mountain front. The recent investigations show that neotectonism has played a key role in the geomorphic evolution of this part of the Alborz mountain range. Geomorphic indices indicate the presence of differential uplifting in the geological past. The high class values (low tectonic activity) for Iat mainly occur in the south and southeast of the Karaj drainage basin, while the rest of the study area has classes of Iat suggesting moderate to high tectonic activity. Around the Amirkabir Lake, Iat has the highest value. The distribution of the indices defines areas associated with different mountain fronts and estimates of relative rates of tectonic activity. More than half of the study area is classified into classes 2 or 1 of high to very high tectonic activity in terms of the apparent geomorphic response. In different tectonic environments with greater rates of active tectonics, the values of indices would differ as well as their range in value. The stream network asymmetry (T) was also studied using morphometric measures of Transverse Topographic Symmetry. Analysis of the drainage basin and a number of sub-basins in the study area results in a field of T-vectors that defines anomalous zones of the basin asymmetry. We test the hypothesis that areas with great stream migration are associated with indicative values of Iat.

Keywords: Geomorphic Indices of Active Tectonics, Drainage Basin, Asymmetry, Central Alborz.

For Persian Version see pages 67 to 74

* Corresponding author: R. Khavari; E_mail: Re_khavari@yahoo.com

Folding Style in Kermanshah Radiolarites and its Significance in Collision Tectonic of Northwest Iran

M. Mohajjel^{1*} & M. Biralvand¹

¹Tectonic Group, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received: 2008 June 30

Accepted: 2008 December 24

Abstract

Abundant chevron folds were produced in well-bedded red thin layers radiolarites in Kermanshah area. Various fold hinge area structures were produced due to competency contrast and change of thickness in radiolarian shale and thick-bedded limestone intercalation in radiolarite sequence. Different styles of folding exist in massive to thick-bedded limestone and shale where they are inter-bedded with radiolarites. Unique thin layers of the radiolarite layers were folded in parallel shape but change of folds shape and mechanism were produced where thick bedded limestone or thin layers of radiolarian shale intercalations exist. Fold accommodation faults were generated in cases during folding. Geometry and style of folding indicate that deformation in radiolarites was produced by parallel folding due to buckling mechanism with southwest vergence. Thrust faults were generated during later stages, displacing some parts of the folded radiolarites.

Keywords: Folding, Chevron folds, Radiolarite, Collision Tectonic, Thick-skinned tectonic, Kermanshah.

For Persian Version see pages 75 to 82

*Corresponding author: M. Mohajjel; E-mail: Mohajjel @modares.ac.ir

Application of SOM Neural Network for Numerical Tectonic Zoning: A New Approach for Tectonic Zoning of Iran

A. Zamani^{1*} & M. Nedaei¹

¹ Earth Sciences Department, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 2008 August 09

Accepted: 2008 December 24

Abstract

One of the basic discussions in geosciences is construction of different tectonic zoning maps. In conventional tectonic zoning, not only the great amounts of subjective judgment are involved but also accurate interpretation of high-dimensional data is so difficult and out of human capability. To alleviate these deficiencies, quantitative scientific methods in data mining domain can be applied as an effective and useful tool to construct the new numerical maps in geosciences. In this paper self-organizing map (SOM) neural network that is one of the common methods in data mining has been applied for numerical tectonic zoning of Iran. SOM is an unsupervised artificial neural network particularly adept at pattern recognition and clustering of high-dimensional data. Visualization of high-dimensional data in two-dimensional topological-preserving feature map is another specific capability of SOM that represent both homogeneity within