Archive of SID

سیستم پیشنهاد دهنده برای شناسایی مکان مناسب برای اکتشاف معدن با استفاده از تجزیه مقدار تکین

سیدابوالفضل شاهزاده فاضلی[1*]، اعظم صادقیان[2]

۱- استادیار، دانشکده علوم ریاضی، پردیس علوم، دانشگاه یزد

۲- دانشجوی دکتری، دانشکده علوم ریاضی، پردیس علوم، دانشگاه یزد

(دریافت: خرداد ۱۳۹۶، پذیرش: دی ۱۳۹۷)

چکیده

اکتشاف معادن شامل چهار مرحله پی جویی، اکتشاف مقدماتی، اکتشاف تفضیلی و اکتشاف تکمیلی (یا حین استخراج) است. در مرحله پی‌جویی بعد از بررسی اطلاعات موجود محدوده اکتشافی و برداشت‌های اولیه بر اساس یک بررسی فنی و اقتصادی سرانگشتی، امکان‌سنجی ورود به مرحله اکتشاف مقدماتی صورت می‌گیرد. برای شروع مرحله پی‌جویی در مورد کانسار معدنی باید ابتدا ظرفیت کلی منطقه برای تشکیل مقدار قابل توجه ماده معدنی که دارای ارزش اقتصادی است، مشخص شود. به صورت معمول این ظرفیت یابی بر اساس دانش و تجربه بالای زمین‌شناسان و مهندسین معدن صورت می‌گیرد، لذا این مرحله از اکتشاف مستلزم صرف هزینه‌هایی با ریسک بالاست و روش‌هایی که بتواند هزینه را کاهش داده و یا از عدم قطعیت‌های موجود بکاهد، مورد توجه هستند. از طرفی مجموعه‌ای از داده‌های مرتبط با منطقه مورد مطالعه و مناطق اطراف با پراکندگی بالا موجود است که تحلیل آنها، می‌تواند هدف اشاره شده را برآورده نماید. با استفاده از روش‌های داده‌کاوی ریاضی مانند روش‌های مختلف خوشه‌بندی، می‌توان محدوده‌های دارای ماده معدنی مشخص را بر اساس شرایط زمین‌شناسی مشابه در مناطق مختلف دسته‌بندی کرد. تجزیه مقدار تکین یکی از ابزارهای پر استفاده در ریاضیات است و کاربرد آن بیشتر در مسائل خوشه‌بندی و سیستم‌های پیشنهاددهنده است. در این مقاله با استفاده از تجزیه مقدار تکین و اطلاعات معادن فلزی استخراج شده از پایگاه داده معادن ایران، استان‌ها خوشه‌بندی شده‌اند. استان‌هایی که در یک خوشه قرار می‌گیرند دارای بخش‌هایی با شرایط زمین‌شناسی مشابه‌اند و می‌توان انتظار داشت که اگر کانساری در یک استان وجود دارد، در استان‌های هم خوشه آن نیز امکان شناسایی آن کانسار وجود داشته باشد.

کلمات کلیدی

اکتشاف معدن، تجزیه مقدار تکین، خوشه‌بندی، سیستم‌های پیشنهاد دهنده

*عهده دار مکاتبات: *fazeli@yazd.ac.ir*

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در مرحله پی‌جویی اکتشاف معادن، کسب اطلاعات مقدماتی موقعیت جغرافیایی معدن، زمین‌شناسی، میزان تقریبی ذخیره، نحوه استخراج، حدود هزینه‌ها و درآمدها و شرایط بازار محصول و مواردی از این قبیل ما را به یک توجیه فنی و اقتصادی سرانگشتی می‌رساند. بنابراین در مرحله پیجویی برای یافتن ماده معدنی مورد نظر، ابتدا باید بررسی کرد که محتمل‌ترین مکان برای تمرکز ماده مورد نظر کجاست و آنگاه در این محدوده، به جستجو پرداخت. به بیان دیگر، ابتدا باید ناحیه‌هایی را که احتمال وجود ماده معدنی در آنجا هست را مشخص ساخت[۱]. مرحله اکتشاف مقدماتی و تفضیلی شامل نمونه‌برداری از منطقه و یافتن محلی است که در آن اجتماع ماده معدنی بیشتر است. به عبارت دیگر اگر هدف پی‌جویی تعیین محل ناهنجاری‌های مربوط به کانسار باشد، هدف اکتشاف تعیین حدود و ارزیابی آنها است. از آنجا که امروزه اغلب کانسارها در سطح زمین و در معرض دید نیستند، روش‌های جستجوی مستقیم باید با روش‌های غیر مستقیم تکمیل شوند[۲].

با توجه به اینکه امروزه ابزارهای ریاضی در بیشتر زمینه‌های علمی از جمله علوم طبیعی، مهندسی، پزشکی و علوم اجتماعی کاربرد دارند، می‌توان از این ابزار در مراحل مختلف اکتشاف کانسارها نیز استفاده کرد. در این مقاله از تجزیه مقدار تکین که یکی از ابزارهای قدرتمند در ریاضیات است در مرحله پی‌جویی برای انتخاب یک مکان مناسب برای اکتشاف معدن، استفاده شده است. با استفاده از تجزیه مقدار تکین، اطلاعات موجود خوشه‌بندی می‌شوند. در این کاربرد استان‌ها بر اساس معادن اکتشاف شده در آنها به خوشه‌هایی تقسیم می‌شوند که در هر خوشه استان‌هایی با معادن مشابه قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهند که استان‌های هم خوشه از لحاظ زمین‌شناسی نیز به هم نزدیک هستند و از این اطلاعات می‌توان مکان مناسب برای کشف یک معدن جدید را پیش‌بینی نمود.

۲- مواد و روش‌ها

تجزیه مقدار تکین (SVD) یکی از ابزارهای قدرتمند در ریاضیات است و با استفاده از آن بسیاری از مسایل روزمره قابل حل است. برای مثال در فشرده‌ساری تصویر، کاهش نویز صدا و تصویر، خوشه‌بندی اطلاعات، سیستم‌های پیشنهاد دهنده[۳، ۴] و پردازش سیگنال مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تجزیه، ماتریس اولیه به سه ماتریس تجزیه می‌شود، که به ترتیب ماتریس بردارهای تکین راست، ماتریس مقادیر تکین و ماتریس بردارهای تکین چپ نام دارند. ماتریس‌های بردارهای تکین حاوی اطلاعات وابستگی درایه‌های ماتریس هستند. ماتریس بردارهای تکین راست، وابستگی سطرهای ماتریس را نشان می‌دهد و ماتریس بردارهای تکین چپ، وابستگی ستون‌های ماتریس را نشان می‌دهد. برای خوشه‌بندی استان‌ها سطرهای ماتریس نشان دهنده معادن موجود و ستون‌های ماتریس نشان دهنده استان‌ها است. بنابراین با تجزیه مقدار تکین و به دست آوردن ماتریس بردارهای تکین چپ، می‌توان استان‌ها را خوشه‌بندی نمود. در ادامه تجزیه مقدار تکین و نحوه خوشه‌بندی، توضیح داده شده است.

۲-۱- تجزیه مقدار تکین و کاربرد آن در سیستم‌های پیشنهاددهنده

در این قسمت ابتدا دو قضیه مربوط به مقدارتکین و همچنین نتیجه آن بیان و سپس به معرفی الگوریتم‌های مورد استفاده پرداخته می‌شود.

قضیه تجزیه مقدار تکین: فرض کنید A یک ماتریس حقیقی $m\times n$ باشد. آنگاه ماتریس‌های متعامد V و U و ماتریس شبه‌قطری S وجود دارند به طوری که $A = USV^T$ که در آن:

$$S = diag(\sigma_1,\sigma_2,\ldots,\sigma_r)$$
$$r = \min(m,n) \qquad (۱)$$
$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \ldots \geq \sigma_r$$

عناصر روی قطر S مقادیر تکین ماتریس A هستند[۵].

برای به دست آوردن تجزیه مقدار تکین روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از روش‌ها استفاده از محاسبه مقدار ویژه برای دو ماتریس AA^T و A^TA است. بنابراین رابطه نزدیکی بین تجزیه مقدار تکین و مقدار ویژه ماتریس وجود دارد. با توجه به اینکه مقدار ویژه ماتریس اطلاعاتی در مورد همبستگی و ارتباط عناصر ماتریس دارد، در نتیجه در تجزیه مقدار تکین ماتریس نیز این اطلاعات نهفته است[۶].

www.SID.ir

Archive of SID

قضیه: فرض کنید A یک ماتریس m×n و $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \cdots \geq \sigma_r$ ، r مقدار تکین مخالف صفر A باشد، آنگاه:

$$A = \sum_{j=1}^{r} \sigma_j u_j {v_j}^T \qquad (۲)$$

اثبات: رجوع شود به[۵].

نتیجه: معمولاً ماتریس A دارای تعداد زیادی مقادیر تکین کوچک و صفر است. فرض کنید $n-j$ مقدار تکین کوچک از ماتریس وجود داشته باشد، آنگاه ماتریس

$$A = \sigma_1 u_1 {v_1}^T + \sigma_2 u_2 {v_2}^T + \cdots . + \sigma_j u_j {v_j}^T \qquad (۳)$$

تقریب خوبی از ماتریس A است و این تقریب در بسیاری از کاربردها استفاده می‌شود. برای مثال در پردازش تصویر، هنگامی که j خیلی کوچک‌تر از n انتخاب شود، تصویر به دست آمده از حذف آن j مقدار تکین و بردارهای متناظر هنوز خیلی به تصویر اصلی نزدیک است. در خوشه‌بندی نیز کافی است از مقادیر تکین بزرگ و بردارهای تکین متناظر با آنها استفاده شود، زیرا اطلاعات ماتریس در این مقادیر تکین و بردارهای متناظر با آنها نهفته است[۵].

برای خوشه‌بندی اطلاعات با استفاده از تجزیه مقدار تکین، ابتدا دو ماتریس U و V محاسبه می‌شود. در مرحله بعد k تا از اولین ستون‌های U و V انتخاب شده و با استفاده از الگوی علامت‌های این k ستون، سطرها و ستون‌های ماتریس ابتدایی جابجا می‌شود[۷]. برای مثال فرض کنید در شکل ۱ از دو بردار ابتدای U برای خوشه‌بندی استفاده شده است و علامت‌های هر درایه مقابل آن نمایش داه شده است. سطرها یا ستون‌هایی که در کنار هم قرار می‌گیرند، به این معنی است که شباهت بیشتری به هم دارند و خواص آنها یکسان است. در این مثال سطر ۲ و ۵ در یک گروه و سطر ۳ و ۴ در گروه دیگر و سطر ۱ در یک گروه مجزای دیگر قرار می‌گیرند. در این مثال ۳ خوشه به دست آمده است. در روش خوشه‌بندی با استفاده از تجزیه مقدار تکین، تعداد خوشه‌ها بین ۱ تا 2^k خوشه است.

مقدار k برای هر سیستم متفاوت است و بنا به کاربرد می‌تواند کم و یا زیاد شود. هر چه مقدار k بیشتر باشد، تعداد خوشه‌ها بیشتر و هر چه مقدار k کمتر باشد، تعداد خوشه‌ها کمتر است.

-0.8839	0.053	−	+
0.2207	0.1961	+	+
0.089	-0.7467	+	−
0.3701	-0.0798	+	−
0.1585	0.6283	+	+

شکل ۱: خوشه‌بندی سطرها با توجه به الگوی علامت بردارهای تکین

الگوریتم ۱: خوشه‌بندی ماتریس A بر اساس علامت k تا از اولین ستون ماتریسU و V است.

ورودی: ماتریس A و عدد صحیح K و روش خوشه‌بندی سطری و یا ستونی

خروجی: ماتریس A که در آن بر اساس ورودی، سطرها و یا ستون‌های آن خوشه‌بندی شده است.

سه ماتریس U, S, V با اجرای تجزیه مقدار تکین مانند رابطه (۱) به دست آورده شود.

اگر خوشه‌بندی سطری است:

الگوی علامت k ستون ابتدای ماتریس U به دست آورده شود.

اندیس ستون‌هایی که دارای الگوی علامت یکسان هستند در کنار هم قرار می‌گیرند.

شماره سطرهای ماتریس به اساس اندیس‌های هم گروه، در کنار هم قرار می‌گیرند.

در ماتریس به دست آمده سطرهای کنار هم در یک خوشه هستند.

اگر خوشه‌بندی ستونی است:

الگوی علامت k ستون ابتدای ماتریس V به دست آورده شود.

اندیس ستون‌هایی که دارای الگوی علامت یکسان هستند در کنار هم قرار می‌گیرند.

شماره ستون‌های ماتریس به اساس اندیس‌های هم گروه، در کنار هم قرار می‌گیرند.

در ماتریس به دست آمده ستون‌های کنار هم در یک خوشه هستند.

در سیستم‌های پیشنهاد دهنده با تجزیه مقدار تکین، در ابتدا بسته به اینکه سطرها و یا ستون‌ها باید خوشه‌بندی شوند، براساس علامت k ستون ابتدایی U و یا V (برای خوشه‌بندی سطری از ستون‌های U و برای خوشه‌بندی ستونی از ستون‌هایV)، سطرها و یا ستون‌ها خوشه‌بندی می‌شوند. عناصری که در یک خوشه هستند، خاصیت‌های تقریباً یکسانی دارند و بنابراین ویژگی هر یک از عناصر

www.SID.ir

Archive of SID

داخل خوشه را می‌توان به بقیه عناصر آن خوشه نسبت داد[۳].

۲-۲- تجزیه مقدار تکین در خوشه‌بندی و سیستم پیشنهاد د هنده معادن ایران

برای استفاده از تجزیه مقدار تکین در خوشه‌بندی و سیستم پیشنهاد دهنده معادن ایران، در ابتدا باید ماتریس حاوی اطلاعات معادن ایران استخراج شود. در این پژوهش از اطلاعات پایگاه داده معادن ایران [۸] استفاده شده است.

اطلاعات به دو صورت جمع‌آوری شده است. یکی اطلاعات برای معادن فلزی کشف شده به تفکیک هر استان و دیگری اطلاعات برای معادن فلزی کشف شده به تفکیک هر استان و ژنر آنها به دست آمده است.

در ساخت ماتریس اول، هر سطر ماتریس شامل یک ماده معدنی و هر ستون ماتریس حاوی اطلاعات معادن هر استان برای آن ماده معدنی است. در شکل ۲، اطلاعات ماتریس اول برای شش استان و پنج ماده معدنی آورده شده است که تعداد معادن کشف شده از هر ماده معدنی در هر استان را نشان می‌دهد. برای ماتریس اول نشان می‌دهد که استان اصفهان دارای شش معدن باریت، چهار معدن سرب، هشت معدن مس، یک معدن سنگ آهن و یک معدن روی است.

	اصفهان	تهران	خراسان	زنجان	سمنان	یزد
باریت	6	7	0	2	8	1
سرب	4	7	18	3	28	13
مس	8	1	11	4	22	10
سنگ آهن	1	0	7	10	10	3
روی	1	2	16	3	12	13

شکل ۲: نمونه اطلاعات جمع آوری شده برای معادن چند ماده معدنی در برخی استان‌ها

با توجه به اطلاعات پایگاه داده، ماتریس خروجی از نوع اول، یک ماتریس با ۱۰ سطر و ۲۳ ستون شده است.

برای ساخت ماتریس دوم، هر سطر ماتریس شامل یک ماده معدنی و یک ژنز است، بنابراین برای هر ماده معدنی پنج سطر وجود دارد. برای مثال سنگ آهن دارای پنج سطر آهن-آذرین، آهن-رسوبی، آهن-رسوبی آتشفشانی، آهن-دگرگونی و آهن-نامعلوم است و هر ستون ماتریس حاوی تعداد معادن اکتشاف شده در هر استان است. برای مثال استان یزد دارای یک معدن مس آذرین است، بنابراین در سطر مس-آذرین و ستون یزد مقدار یک قرار می‌گیرد. بدین صورت تمام درایه‌های ماتریس کامل می‌شود. شکل ۳ اطلاعات ماتریس دوم، شامل اطلاعات معادن مس ایران به همراه انواع ژنز برای شش استان است. برای مثال ماتریس دوم نشان می‌دهد که در استان اصفهان چهار معدن مس-آذرین، یک معدن مس-رسوبی و سه معدن مس نامعلوم وجود دارد.

	اصفهان	آذربایجان شرقی	آذربایجان غربی	تهران	خراسان	یزد	کرمان
مس-دگرگونی	0	1	0	0	1	0	0
مس-آذرین	4	2	2	0	6	1	5
مس-رسوبی	1	0	0	0	1	0	0
مس -رسوبی اتشفشانی	0	0	0	0	0	0	0
مس-نامعلوم	3	4	0	1	3	9	9

شکل ۳: نمونه اطلاعات جمع آوری شده برای معادن مس چند استان

با توجه به اطلاعات پایگاه داده، ماتریس خروجی معادن- ژنز، یک ماتریس با ۵۰ سطر و ۲۳ ستون است.

بعد از ساخت ماتریس، تجزیه مقدار تکین ماتریس به دست می‌آید و با استفاده از علامت k تا از اولین ستون‌های ماتریس V، استان‌ها به حداکثر 2^K خوشه دسته‌بندی می‌شود. در الگوریتم شماره (۱)، روش کار برای خوشه‌بندی استان‌ها با توجه به معادن اکتشاف شده آنها آمده است. با توجه به ویژگی خوشه‌بندی با استفاده از تجزیه مقدارتکین، استان‌های موجود در هر خوشه از لحاظ زمین‌شناسی و معادن فلزی کشف شده در آنها تقریبا یکسان هستند. در این سیستم پیشنهاد دهنده برای معادن ایران، استان‌هایی که در یک خوشه قرار می‌گیرند، تقریبا دارای معادن اکتشاف شده یکسان هستند. اگر در یک استان معدنی وجود داشته باشد که در بقیه استان‌ها کشف نشده است، بهتر است در ابتدا در استان‌های هم خوشه با آن استان رگه‌هایی از آن نوع معدن جستجو شود.

الگوریتم ۲: خوشه‌بندی استان‌ها با توجه به معادن آنها و سیستم پیشنهاد دهنده

www.SID.ir

Archive of SID

ورودی: ماتریس A و عدد صحیح K
خروجی: ماتریس A که در آن استان‌های هم خوشه در کنار هم قرار دارند.
به دست آوردن ماتریس A حاوی اطلاعات معادن استان‌ها که در سطرها معادن و در ستون‌ها استان‌ها قرار دارند.
ماتریس A به دست آمده و عدد k و نوع خوشه‌بندی ستونی به عنوان ورودی به الگوریتم خوشه‌بندی بر اساس علامت(الگوریتم ۱) داده می‌شود.
خروجی الگوریتم ماتریس A است که در آن استان‌های هم خوشه در کنار هم قرار دارند.
استان‌هایی که در یک خوشه قرار گرفته‌اند، از لحاظ زمین‌شناسی مشابه هستند و معادن کشف شده در هر یک از آنها می‌تواند در استان‌های هم خوشه آن نیز جست‌وجو شود.

۳- نتایج و بحث

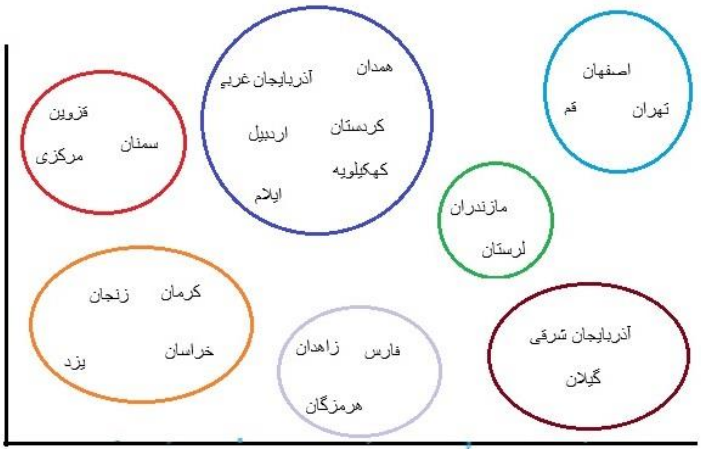
الگوریتم سیستم پیشنهاد دهنده در محیط برنامه‌نویسی متلب کدنویسی شده است و دو آزمایش برای ماتریس‌های معرفی شده در بخش قبل انجام شده است. در آزمایش اول با توجه به اینکه ژنز برخی از معادن در پایگاه داده ثبت نشده است، هر سطر ماتریس برای یک ماده معدنی و هر ستون برای یک استان است. در این آزمایش$k=3$ در نظرگرفته شده و نتایج در جدول ۱ و شکل ۴ آمده است.

نتایج نشان می‌دهد که برای مثال استان‌های اصفهان، تهران و قم در یک خوشه هستند و اگر در استان اصفهان معدن طلا وجود دارد، احتمال اینکه این ماده معدنی در استان‌های تهران و قم نیز وجود داشته باشد، بیشتر از بقیه استان‌ها است.

در آزمایش دوم طبق روش بیان شده در بخش قبل، هر سطر ماتریس برای یک ماده معدنی- ژنز و هر ستون برای یک استان است. در این آزمایش $k=3$ در نظرگرفته شده و نتایج در جدول ۲ و شکل ۵ آمده است.

جدول ۱: خوشه‌بندی استان‌ها بر اساس معادن فلزی

خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	خوشه ۴	خوشه ۵	خوشه ۶	خوشه ۷
مرکزی	یزد	اصفهان	اردبیل	فارس	مازندران	آذربایجان شرقی
سمنان	خراسان	تهران	همدان	هرمزگان	لرستان	گیلان
قزوین	کرمان	قم	کردستان	زاهدان		
	زنجان		ایلام			
			آذربایجان غربی			
			کهکیلویه			



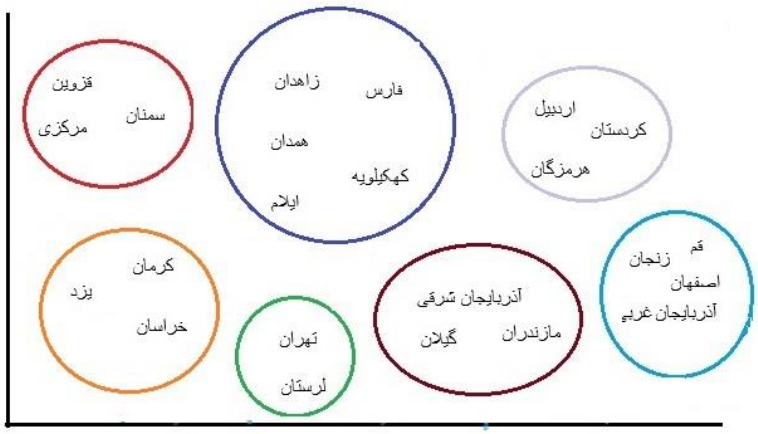
شکل ۴: خوشه‌بندی استان‌ها بر اساس معادن فلزی

جدول ۲: خوشه‌بندی استان‌ها بر اساس معادن فلزی تفکیک ژنز

www.SID.ir

Archive of SID

خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	خوشه ۴	خوشه ۵	خوشه ۶	خوشه ۷
مرکزی	یزد	اصفهان	اردبیل	فارس	تهران	آذربایجان شرقی
سمنان	خراسان	آذربایجان غربی	هرمزگان	کهکیلویه	لرستان	گیلان
قزوین	کرمان	زنجان	کردستان	ایلام		مازندران
		قم		زاهدان		
				همدان		



شکل۵: خوشه‌بندی استان‌ها بر اساس معادن فلزی تفکیک ژنز

نتایج نشان می‌دهد که برای مثال استان‌های مرکزی، سمنان و قزوین در یک خوشه هستند و اگر در استان مرکزی معدن هماتیت وجود دارد، احتمال اینکه این ماده معدنی در استان‌های سمنان و قزوین نیز وجود داشته باشد، بیشتر از بقیه استان‌ها است. در این آزمایش‌ها k برابر با سه انتخاب شده است که حداکثر استان‌ها را به هشت خوشه افراز می‌کند و برای k برابر با دو، استان‌ها به چهار خوشه افراز شدند که تفکیک زیاد مناسب نبود و برای k=۴ و بالاتر خوشه‌های با فقط یک استان زیاد بودند. باید توجه شود برای دستیابی به نتیجه با حداکثر کارایی، باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

- برای برخی از معادن ایران ژنز شناسایی نشده است و در ابتدا باید ژنز هر کدام از معادن شناسایی شود.
- در اینجا ستون‌ها، استان‌ها هستند، ولی بهتر است محدوده‌ها از استان به مساحت‌های مساوی از کشور تقسیم شود به دلیل اینکه برخی از استان‌ها وسیع‌تر بوده و از لحاظ زمین‌شناسی دارای چند گونه مختلف هستند.
- هر چه مساحت‌های انتخابی کوچک‌تر باشند، نتیجه کار بهینه‌تر است.
- تعداد خوشه‌ها با توجه به تعداد محدوده‌ها می‌تواند بیشتر و یا کمتر شوند.
- در این مقاله فقط معادن فلزی هر استان در خوشه‌بندی استفاده شده است، برای بهبود نتیجه می‌توان از انواع معادن فلزی و غیرفلزی و مصالح ساختمانی نیز استفاده کرد.

۴- نتیجه‌گیری

برای پی‌جویی و اکتشاف یک معدن، تمرکز بر روی نقاط محتمل بسیار مهم است. بدین منظور با استفاده از موقعیت معادن اکتشاف شده و یا در حال استخراج می‌توان موقعیت‌های مناسب را پیش‌بینی کرد. روش تجزیه مقدار تکین با توجه به کاربرد وسیع در سیستم‌های پیشنهاد دهنده و پیش‌بینی کننده، انتخاب گردیده است، زیرا این روش برای هرگونه داده و پراکندگی داده قابل استفاده و دارای دقت بالایی است. در این مقاله، با استفاده از اطلاعات معادن موجود در استان‌ها، ماتریس مجاورت به این صورت که در سطرها لیست معادن و در ستون‌ها لیست استان‌ها قرار دارند، به دست آمده است. با استفاده از تجزیه مقدار تکین، ماتریس بردارهای تکین چپ را به دست آورده و با استفاده از علامت درایه‌های این ماتریس، استان‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

خوشه‌بندی می‌شوند. در ابتدا استان‌ها بر اساس معادن فلزی موجود در آنها خوشه‌بندی شده‌اند که با استفاده از این داده‌ها برای مثال کرمان، زنجان، یزد و خراسان در یک خوشه قرار گرفته‌اند. برای دقت بیشتر، معادن بر اساس نوع ژنز نیز تفکیک شده‌اند که با استفاده از این داده‌ها کرمان، یزد و خراسان در یک خوشه قرار گرفته‌اند و استان زنجان در خوشه استان‌های اصفهان و قم قرار گرفت. برای اینکه خوشه‌بندی دقیق‌تری به دست آورده شود، بهتر است همه معادل فلزی و غیرفلزی و مصالح ساختمانی به تفکیک ژنز به عنوان ورودی داده به الگوریتم داده شوند. این خوشه‌بندی از این لحاظ دارای اهمیت است که برای شروع اکتشاف یک معدن جدید با ماده معدنی خاص، بهتر است استان‌هایی که آن ماده معدنی مورد نظر در آنجا کشف شده است، را پیدا نموده و استان‌های هم‌خوشه با آنها مشخص شوند. امکان پیدا کردن آن ماده معدنی در استان‌های این خوشه بیشتر است و بهتر است برای شروع اکتشاف از این استان‌ها نمونه‌برداری شود. برای نتیجه بهتر پیشنهاد می‌شود که مناطق مورد بررسی از استان به محدوده‌های جغرافیایی کوچک‌تر و با مساحت یکسان تقسیم شوند و همه معادن موجود در هر محدوده به تفکیک ژنز به عنوان ورودی به سیستم داده شوند.

مراجع

[1] Madani, S.H. (2011) Mineral Exploration, Publishing Company of textbooks (In Persian).

[2] Moon, C. J., Whateley, K.G. (2006) Introduction to Mineral Exploration BLACKWELL PUBLISHING.

[3] Zhou, X. (2015) SVD-based incremental approaches for recommender systems. Computer and System Sciences, 717-733.

[4] Rokach, L. Maimon, O. (2005) Data Mining and Knowledge Discovery Handbook chapter: Clustering Methods, Springer US, 321-352.

[5] Datta, B. (2010) Numerical linear algebra and Applications. SIAM.

[6] Golub, G. H., Van Loan, C. F. (1996) Matrix computations, Hopkins University Press.

[7] Schaeffer, S. E, (2007) Survey: Graph clustering, Computer Science Review 1, 27-64.

[8] http://www.ngdir.ir.

www.SID.ir