

تصحیح سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی *k-means* و *fuzzy c-means*

زکریا جلالی^{1*}، سید مهدی موسوی نسب²

1- دانش آموخته کارشناسی، مجتمع آموزش عالی زرند، دانشگاه شهید باهنر کرمان

2- استادیار، بخش معدن، مجتمع آموزش عالی زرند، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(دریافت: فروردین 1394، پذیرش: مهر 1394)

چکیده

با توجه به اهمیت و کاربرد سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ در مهندسی سنگ، هدف از این مقاله تصحیح کلاس‌های نهایی این سیستم طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی *k-means* و *fuzzy c-means (FCM)* است. در سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ داده‌ها توسط یک سری از اطلاعات اولیه بر مبنای نظریات و قضاوت‌های تجربی طبقه‌بندی می‌شوند ولی با کاربرد الگوریتم‌های خوشه‌بندی در این سیستم طبقه‌بندی، کلاس‌بندی داده‌ها بعد از مراحل تحلیل خوشه‌ای انجام می‌شود، در نتیجه موجب تفکیک پذیری مناسب کلاس‌های نهایی سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ و رفع ابهامات حاصل از معیارهای زبانی آن می‌شود. جهت اعتبارسنجی الگوریتم خوشه‌بندی *k-means* از روش سیلهوت (SC) و اعتبارسنجی الگوریتم خوشه‌بندی *FCM* از چهار روش: ضریب توزیع پارتیشن (*PC*)، روش آنتروپی (*CE*)، روش فوکویاما و سوگنو (*FS*) و ضریب زی و بنی (*XB*) استفاده شده است. با توجه به نتایج اعتبارسنجی هر یک از الگوریتم‌های خوشه‌بندی، در نهایت مشخص شد که الگوریتم خوشه‌بندی *FCM* به دلیل شرایط عدم قطعیت در تعیین کلاس‌های سیستم طبقه‌بندی توده‌سنگ دارای نتایج بهتر و مناسب‌تری نسبت به الگوریتم خوشه‌بندی *k-means* است. این نتایج در مورد داده‌های برداشت شده از آنومالی B معادن سنگ آهن سنگان نشان می‌دهد که تکنیک مورد استفاده در این مقاله از اهمیت ویژه‌ای جهت ارزیابی کیفیت توده‌سنگ برخوردار است.

واژگان کلیدی

سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ، الگوریتم‌های خوشه‌بندی *k-means* و *FCM*، روش‌های اعتبارسنجی الگوریتم‌های خوشه‌بندی، آنومالی B معادن سنگ آهن سنگان

ارجاع به این مقاله:

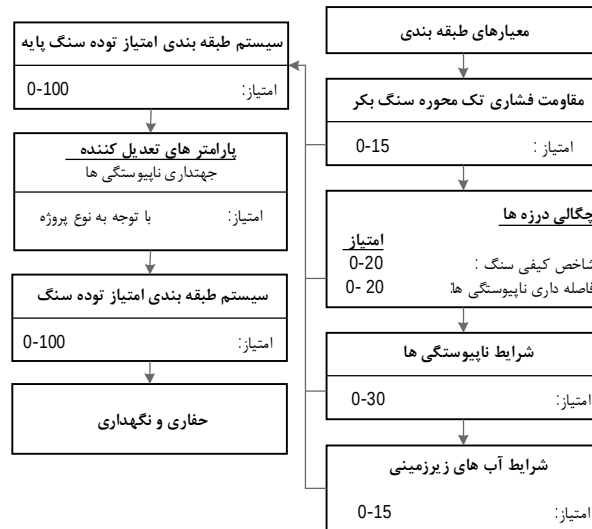
جلالی، ز.، موسوی نسب، م.، (1394)، تصحیح سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی *k-means* و *fuzzy c-means*، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، 5(9)، 73-84.

[http://dx.medra.org/10.17383/S2251-6565\(15\)940917-X](http://dx.medra.org/10.17383/S2251-6565(15)940917-X)

1- مقدمه

باعث ارائه امتیازبندی گسسته (پلکانی) برای سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ شده است [3]. نتایج نهایی در رابطه با امتیازبندی گسسته بستگی به مهارت و قضاوت شخصی دارد، بنابراین سن و همکارانش در سال 2003 امتیازبندی پیوسته را به کمک معادله خطوط مستقیم برای سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ به نحوی محاسبه کردند که فقط توصیف وضعیت درزه‌ها و راستای نسبی آن‌ها در محاسبات به تشخیص فردی منجر می‌شود. با به کارگیری سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ بر مبنای امتیازبندی پیوسته، بیشینه اختلاف حاصل از قضاوت‌های شخصی مهندسين با تجربه و کم تجربه به کمتر از 10% می‌رسد [3].

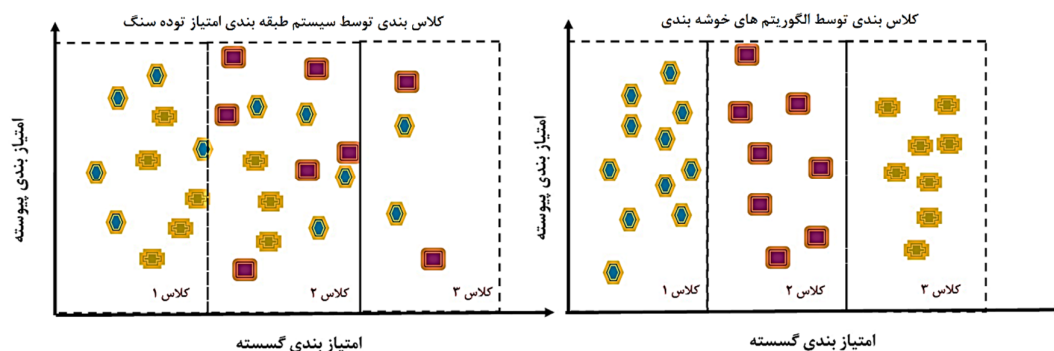
سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ به عنوان مهم‌ترین سیستم طبقه‌بندی، جهت بررسی کیفیت توده‌سنگ و به عنوان یک سیستم طبقه‌بندی مرجع دارای کاربرد است [1،2]. شکل 1، مراحل طراحی و شناسایی سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در این مقاله آخرین نسخه سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ بدون در نظر گرفتن جهات شیب و امتداد ناپیوستگی‌ها لحاظ شده است. با توجه به ماهیت پیچیده توده‌سنگ اطلاعات کیفی در رابطه با مقاومت توده‌سنگ، الگوی شکستگی‌ها، فاصله‌داری، زبری و شرایط آب زیرزمینی بر مبنای تجربیات شخصی لحاظ شده‌اند، که



شکل 1: مراحل طراحی و شناسایی سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ [5]

مطابق با شکل 2 (ب)، با کاربرد الگوریتم‌های خوشه‌بندی [4] کلاس‌بندی مناسب‌تری برای سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ ارائه می‌شود، در این کلاس‌بندی، هیچ گونه قضاوتی از قبل در مورد تعداد کلاس‌های تشکیل شده توسط الگوریتم‌های خوشه‌بندی انجام نشده است. تنها پس از انجام مراحل تحلیل از طریق روش‌های مختلف آماری و ملاحظات است که کلاس‌های جدیدی برای سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ بر مبنای امتیازبندی پیوسته و گسسته تعیین شده است.

در سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ داده‌ها به گروه‌ها یا کلاس‌هایی از پیش تعیین شده بر اساس نظریات تجربی تخصیص یافته‌اند، به این منظور، در این مقاله جهت رفع ابهامات حاصل از نظریات تجربی شخص قضاوت کننده کلاس‌بندی سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ در حالات امتیازبندی پیوسته و گسسته با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی تصحیح شده است. شکل 2 (الف)، کلاس‌بندی سیستم طبقه‌بندی توده‌سنگ را بر مبنای طبقه‌بندی نشان می‌دهد، با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که مرز بین دو کلاس طبقه‌بندی از یکدیگر به خوبی تفکیک نشده‌اند.



شکل 2: تفاوت در کلاس‌بندی سیستم طبقه‌بندی توده‌سنگ با کلاس‌بندی توسط الگوریتم‌های خوشه‌بندی

در روابط بالا r_{RQD} شاخص کیفی مغزه‌ها بر حسب درصد، $\bar{X}$ متوسط فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها بر حسب متر، σ_p شاخص بار نقطه‌ای بر حسب مگاپاسکال، σ_c مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر بر حسب مگاپاسکال، r_f فاکتور مربوط به شرایط ناپیوستگی‌ها و G شاخص مربوط به جریان آب موجود در ناپیوستگی‌هاست که بر حسب لیتر در هر 10 متر بر دقیقه بیان می‌شود. روش دقیق‌تری برای محاسبه شاخص آب زیرزمینی (r_G) وجود دارد که مطابق با رابطه (6) محاسبه می‌شود [7]:

$$r_G = -10 \log r_u - 1.5, r_u = u / \sigma_v \quad (6)$$

در رابطه (6)، u فشار منفذی آب زیرزمینی و σ_v تنش قائم موجود در عمق مورد نظر است، همچنین میزان اختلاف r_u بین 0/02 تا 0/7 است. در نتیجه، با در نظر گرفتن امتیازبندی پیوسته برای محاسبه امتیاز پایه سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ (RMR_b)، روابط زیر پیشنهاد می‌شود [3، 7]:

$$RMR_b = 0.2RQD + 15.1 \log \bar{X} + 1.670 \sigma_p - 2.9 \log G + 35.67 + r_f \quad (7)$$

$$RMR_b = 0.2RQD + 15.1 \log \bar{X} + 0.075 \sigma_c - 2.9 \log G + 34.00 + r_f \quad (8)$$

$$RMR_b = 0.2RQD + 15.1 \log \bar{X} + 1.670 \sigma_p - 10 \log r_u + 24.17 + r_f \quad (9)$$

$$RMR_b = 0.2RQD + 15.1 \log \bar{X} + 0.075 \sigma_c - 10 \log r_u + 22.50 + r_f \quad (10)$$

$$RMR_b = 0.2RQD + 15.1 \log \bar{X} + 1.670 \sigma_p + 25.67 + r_G + r_f \quad (11)$$

$$RMR_b = 0.2RQD + 15.1 \log \bar{X} + 0.075 \sigma_c + 24.00 + r_G + r_f \quad (12)$$

2- سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده سنگ بر مبنای امتیازبندی پیوسته

با توجه به شکل 1، امتیاز پایه سیستم طبقه‌بندی توده‌سنگ شامل پنج پارامتر: مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر، فاصله‌داری و شرایط ناپیوستگی‌ها، وضعیت آب زیرزمینی و شاخص کیفی سنگ است که پارامتر مربوط به راستای نسبی درزه‌ها از این سیستم طبقه‌بندی کم می‌شود [1، 5]. روابط زیر به منظور ارائه سیستم طبقه‌بندی توده سنگ بر مبنای امتیازبندی پیوسته پیشنهاد می‌شوند [3]:

$$r_{RQD} = 0.2RQD \quad (1)$$

$$r_{\bar{X}} = 24 + 15.1 \log \bar{X} \quad (2)$$

$$r_{\sigma} = 1.67(1 + \sigma_p) \quad (3)$$

$$r_{\sigma} = 0.075 \sigma_c \quad (4)$$

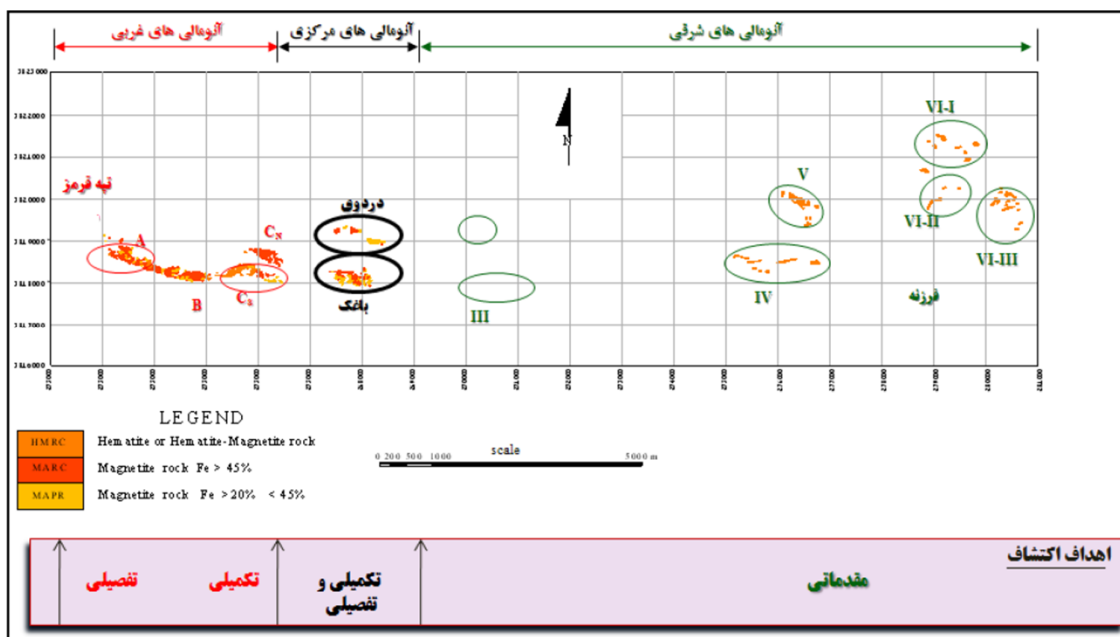
$$r_G = 10 - 2.9 \log G \quad (5)$$

3- بررسی‌های ژئوتکنیکی آنومالی B معادن سنگ آهن سنگان

کانسار سنگ آهن سنگان در استان خراسان رضوی و در فاصله 300 کیلومتری جنوب شرقی مشهد و 16 کیلومتری شهر سنگان از توابع شهرستان خواف واقع شده است. با توجه به شکل 3، کانسار سنگان متشکل از سه ناحیه شرقی، مرکزی و غربی است که بیشترین میزان ذخیره سنگ آهن مربوط به ناحیه غربی است. ناحیه غربی به آنومالی‌های A، B و C شمالی و C جنوبی تقسیم‌بندی می‌شود. در این پروژه، بررسی‌های ژئوتکنیکی در آنومالی B معادن سنگ آهن سنگان توسط سه گمانه

ژئوتکنیکی (جدول 1) و 20 سایت مختلف با توجه به مراحل زیر انجام شده است [8، 9]:

- مطالعات زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی
 - تخمین مقاومت سنگ (توسط آزمایش بار نقطه‌ای و مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ بکر)
 - اندازه‌گیری شاخص کیفی سنگ به طور مستقیم توسط 3 گمانه ژئوتکنیکی
 - بررسی میزان فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها و وضعیت آب‌های زیرزمینی
 - تخمین پایداری اولیه هر یک از بلوک‌ها توسط زاویه اصطکاک داخلی بلوک‌های سست
- محدوده‌ی نتایج برداشت‌های ژئوتکنیکی در آنومالی B معادن سنگ آهن سنگان مطابق با جدول 2 به دست آمده است:



شکل 3: موقعیت و مراحل مطالعاتی آنومالی‌های معادن سنگ آهن سنگان [۱۰، ۱۱]

جدول 1: مشخصات گمانه‌های ژئوتکنیکی آنومالی B معادن سنگ آهن سنگان [۸، ۹]

موقعیت	شماره گمانه	شماره مقطع	شیب (درجه)	آزیموت	عمق حفاری شده (متر)
جنوب	166	18	70	180	240
شرق	168	12	70	120	380
شمال	169	20	60	180	320

جدول 2: نتایج ارزیابی کیفیت توده سنگ توسط سیستم طبقه‌بندی توده سنگ در گمانه های ژئوتکنیکی آنومالی B

پارامتر	گمانه 166		گمانه 168		گمانه 169	
	متوسط مقادیر	امتیاز	متوسط مقادیر	امتیاز	متوسط مقادیر	امتیاز
مقاومت سنگ بکر (MPa)	80/18	7	77/21	7	84/48	7
شاخص کیفی سنگ (%)	44/17	8	53/15	13	66/75	13
فاصله داری ناپیوستگی ها (cm)	62	8	53	5	62	8
زبری سطح ناپیوستگی ها	اندکی زیر	8	اندکی زیر	8	اندکی زیر	8
میزان بازشدگی (اندازه دهانه)	باز	7	باز	7	خیلی باز	0
پایایی ناپیوستگی ها	ندارد	5	ندارد	5	ندارد	5
میزان هوازدگی	شدیدا هوازده	0	اندکی هوازده	5	اندکی هوازده	5
وضعیت آب های زیرزمینی	مرطوب	10	تقریبا خشک	10	مرطوب	10
امتیاز توده سنگ	کیفیت متوسط	53	کیفیت خوب	63	کیفیت متوسط	56

الگوریتم خوشه بندی k -means کمینه کردن تابع هدف $j(v)$ است که با توجه به رابطه (13) محاسبه می شود:



شکل 4: سه مرحله اولیه خوشه بندی داده ها [12]

$$j(v) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^c \|x_{ij} - v_j\|^2 \quad (13)$$

در رابطه (13)، $\|x_{ij} - v_j\|$ فاصله اقلیدسی بین x_{ij} و v_j است، C_i نقاط داده های خوشه i ام است، مرکز i امین v_i با رابطه (14) محاسبه می شود:

$$v_i = \frac{1}{C_i} \sum_{j=1}^{C_i} x_{ij}, i = 1, 2, \dots, c \quad (14)$$

الگوریتم خوشه بندی k -means یک الگوریتم نظارت نشده است و دارای فرایند تکرار است که در آن مجموعه ای از داده ها به K خوشه تقسیم بندی می شوند و نقاط داده به

4- بحث

4-1- مراحل خوشه بندی داده ها

فرایند کلی خوشه بندی داده ها شامل مراحل زیر است [12]:

1. نمایش الگو که معمولاً شامل انتخاب و استخراج خصیصه است.
 2. تعریف معیار ارزیابی شباهت با توجه به دامنه داده ها
 3. فرایند خوشه بندی یا گروه بندی
 4. خلاصه سازی داده ها در صورت نیاز
 5. اعتبارسنجی سیستم
- سه مرحله اولیه این فرایند که شامل بازخورد حاصل از نتایج خوشه بندی است در شکل 4، نشان داده شده است.

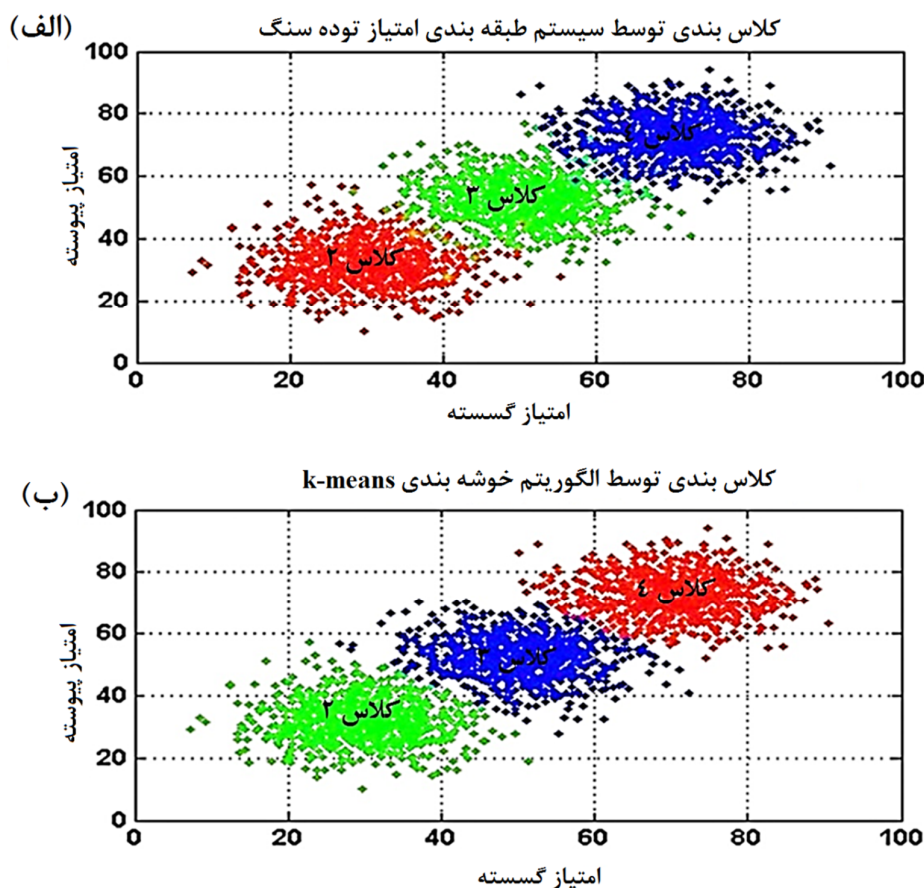
4-2- تصحیح سیستم طبقه بندی امتیاز توده سنگ توسط الگوریتم خوشه بندی k -means

الگوریتم خوشه بندی k -means از جمله متداول ترین الگوریتم های خوشه بندی داده ها است. این الگوریتم در سال 1967 اولین بار توسط مک کوئین ارائه شده است [12]. در این الگوریتم هر الگو در یک زمان می تواند فقط دارای یک مرکز باشد بطوری که اگر $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ شامل مجموعه ای از داده ها باشد، در این مجموعه n بیان کننده تعداد نقاط آن مجموعه است، همچنین اگر $V = \{V_1, V_2, \dots, V_C\}$ مجموعه ای از مراکز خوشه ها باشد، در این مجموعه C تعداد خوشه ها را نشان می دهد. هدف از

سنگ مطابق با شکل‌های 5 (الف) و (ب) تشکیل می‌شود. با توجه به نتایج شکل 5 (الف)، که مبتنی بر طبقه‌بندی بر مبنای قضاوت‌های تجربی است، ملاحظه می‌شود که مرز دو کلاس طبقه‌بندی به وضوح قابل تشخیص نیستند و داده‌های هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی در یکدیگر ادغام شده‌اند. در مورد نتایج کلاس‌بندی به کمک الگوریتم خوشه‌بندی k -means مطابق با شکل 5 (ب) ملاحظه می‌شود که مرز کلاس‌های طبقه‌بندی در هر یک از طبقات بین دو کلاس کاملاً به وضوح مشخص شده است و داده‌های هر کلاس طبقه‌بندی از یکدیگر کاملاً به خوبی تفکیک شده‌اند. جهت اعتبارسنجی کلاس‌های تشکیل شده با الگوریتم خوشه‌بندی k -means از روش اعتبارسنجی سیلهوت (SC) استفاده شده است.

صورت تصادفی به هر یک از خوشه‌ها تعلق می‌گیرد، سپس برای هر نقطه، فاصله آن نقطه تا مرکز خوشه محاسبه شده و نقطه مورد نظر به مرکز خوشه تعلق می‌گیرد. این مراحل تا جایی تکرار می‌شوند که دیگر هیچ نقطه‌ای تغییر مکان ندهد. جهت تصحیح کلاس‌های طبقه‌بندی سیستم امتیاز توده‌سنگ، با توجه به داده‌های برداشت شده از آنومالی B معادن سنگ آهن سنگان (133 نمونه داده برداشت شده)، ابتدا امتیازبندی پیوسته برای سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ محاسبه شد و سپس برنامه‌نویسی الگوریتم خوشه‌بندی k -means توسط نرم‌افزار *Matlab R.2012a* انجام شده است.

بعد از برنامه‌نویسی الگوریتم خوشه‌بندی k -means کلاس‌بندی جدید برای سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده



شکل 5: کلاس‌بندی سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ با الگوریتم خوشه‌بندی k -means

این روش برای هر یک از نقاط X در یک خوشه، $S(X)$ توسط رابطه (15) محاسبه می‌شود:

روش سیلهوت یکی از متداولترین و بهترین روش‌های اعتبارسنجی الگوریتم خوشه‌بندی k -means است. این روش اولین بار توسط کافمن و روسیو پیشنهاد شد [14]. در

گونه تفکیکی بین خوشه مورد نظر و خوشه‌های همسایه وجود ندارد. بالاخره حالت 1- نشان دهنده احتمالات اختصاص خوشه مورد نظر به صورت اشتباه است [14].

نتایج اعتبارسنجی الگوریتم خوشه‌بندی k -means توسط روش سیلهوته در شکل 7 نشان داده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که نتایج به دست آمده توسط روش سیلهوته در تحلیل خوشه‌های تشکیل شده بیشتر از 0/7 و نزدیک به 1 است. در نتیجه حدود کلاس‌های تشکیل شده توسط الگوریتم خوشه‌بندی k -means به نحو مطلوب انجام شده است.

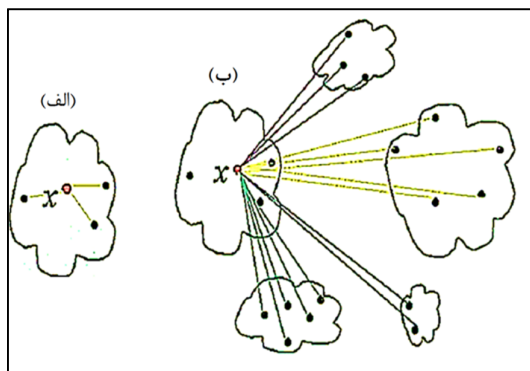
4-2- تصحیح سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده سنگ توسط الگوریتم خوشه‌بندی FCM

نظریه مجموعه‌های فازی برای اولین بار توسط لطفی‌زاده در سال 1964 با هدف مدل‌سازی ابهامات و عدم قطعیت رویدادها مطرح گردید [13]. خوشه‌بندی فازی شامل دو بخش تحلیل داده‌های فازی و تحلیل داده‌های قطعی با استفاده از تکنیک‌های فازی است که در این مقاله به تحلیل داده‌های قطعی توسط تکنیک‌های فازی می‌پردازیم. مطابق با شکل 8 مجموعه‌های فازی در مقابل مجموعه‌های کلاسیک قرار دارند و دلیل استفاده از مجموعه‌های فازی ارجحیت آن‌ها بر مجموعه‌های کلاسیک است. در تعریف این دو مجموعه می‌توان گفت که در مجموعه‌های کلاسیک تصریح در ترسیم مرزهای این مجموعه‌ها به طریقی است که عضویت و عدم عضویت یک عضو در این مجموعه با قطعیت و با اطمینان کامل مشخص می‌شود، این تمایز صریح در منطق کلاسیک نیز وجود دارد به طوری‌که هر قضیه یا کاملاً صحیح و یا به طور کلی اشتباه است. لیکن، بسیاری از مجموعه‌ها و قضایا را نمی‌توان به صورت کاملاً صریح و مشخص تعریف و مرزهای آن را ترسیم نمود.

$$S(x) = \frac{b(x) - a(x)}{\max\{a(x), b(x)\}} \quad (15)$$

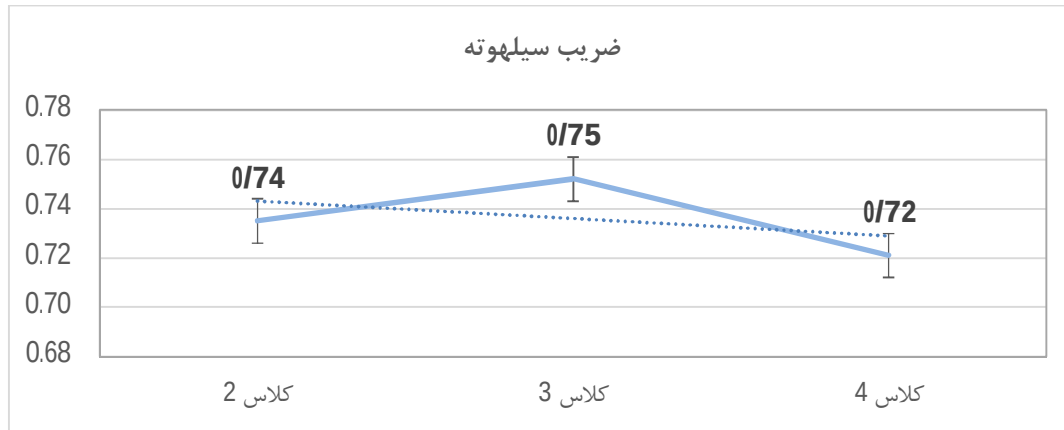
بر اساس رابطه (15)، شکل 6 (الف) میانگین فاصله یک خوشه را با همبستگی $a(x)$ بیان می‌کند و شکل 6 (ب) متوسط فاصله هر خوشه را نسبت به سایر خوشه‌ها (جهت تشخیص حداقل فاصله بین خوشه‌ها) تعیین می‌کند. با توجه به بازه $S(x)$ ، در این حالت ضریب سیلهوته توسط رابطه (16) محاسبه می‌شود: [14]

$$SC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S(x) \quad (16)$$

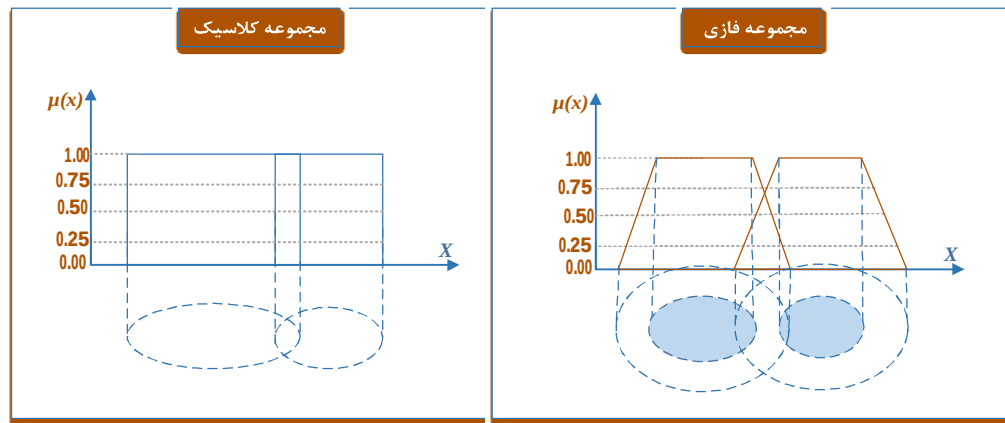


شکل 6: نحوه عملکرد میزان همبستگی و جدایی خوشه‌ها در روش اعتبارسنجی SC (الف) همبستگی، (ب) جدایی

با توجه به شکل 6، رابطه همبستگی $a(x)$ ، متوسط فاصله (x) نسبت به بردارهای دیگر در همان خوشه را نشان می‌دهد، شاخص تفکیک $b(x)$ متوسط فاصله (x) نسبت به سایر خوشه‌ها را بیان می‌کند. $S(x)$ اندازه میزان نزدیکی هر نقطه در یک خوشه است که امتیاز آنها نسبت به خوشه‌های مجاورش سنجیده می‌شود. محدوده امتیازدهی آن بین 1+ تا 1- است، اگر این اندازه‌گیری در محدوده 1+ باشد، بیان می‌کند که خوشه مورد نظر نسب به خوشه مجاورش بسیار دور است. حالت صفر نشان می‌دهد که هیچ



شکل 7: نتایج اعتبارسنجی الگوریتم خوشه‌بندی k -means توسط روش سیلهوته



شکل 8: نمایش توابع عضویت در مجموعه کلاسیک و فازی

خوشه‌بندی فازی [6] است برای کلاس‌بندی نهایی سیستم امتیاز توده سنگ بر مبنای امتیازبندی پیوسته و گسسته استفاده شده است. الگوریتم خوشه‌بندی FCM همانند الگوریتم k -means جزء خانواده الگوریتم‌های خوشه‌بندی دارای تابع هدف است. تابع هدف برای الگوریتم خوشه‌بندی FCM مطابق با رابطه (17) محاسبه می‌شود:

$$J_m(U, V) = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^c \mu_{ik}^m \|x_k - v_i\|^p \quad (17)$$

در رابطه بالا m پارامتر فازی‌سازی است که ارزش آن بزرگتر از 1 است، $v_i \in R^s, R^s \subset \{X_1, \dots, X_n\}$ مرکز i امین خوشه است، همچنین $\mu_{ik} \in [0, 1]$ درجه تعلق داده‌ها به هر خوشه است و P درجه توان فاصله اقلیدسی است. به منظور بهینه‌سازی تابع هدف $J_m(U, V)$ باید مراکز خوشه‌ها V توسط رابطه (18) محاسبه شوند:

با توجه به شکل 8، در یک مجموعه کلاسیک ویژگی‌های مجموعه کاملاً روشن و دقیقاً مشخص است و لذا تابع درجه عضویت یک شیء یا فرد در این مجموعه به طور قطعی دارای ارزش صفر یا 1 خواهد بود. در صورتی که این ویژگی کاملاً مشخص نباشد و یا به عبارت دیگر عضویت بعضی یا تمام اعضا کاملاً روشن و مشخص نباشد یک مجموعه فازی خواهیم داشت، در این صورت یک عضو می‌تواند تا درصدی (درجه‌ای) به مجموعه تعلق داشته باشد. در تحلیل خوشه‌بندی سخت یا کلاسیک همانند الگوریتم خوشه‌بندی k -means یک شیء یا نمونه به طور قطعی با درجه عضویت صفر یا 1 به یک مجموعه تعلق می‌گیرد، ولی در مورد روش‌های نرم یا فازی یک شیء به یک خوشه با درجه عضویت‌های متفاوت تعلق خواهد گرفت. جهت تحلیل خوشه‌ای فازی یا نرم در این مقاله از الگوریتم خوشه‌بندی FCM که جزء مؤثرترین الگوریتم‌های

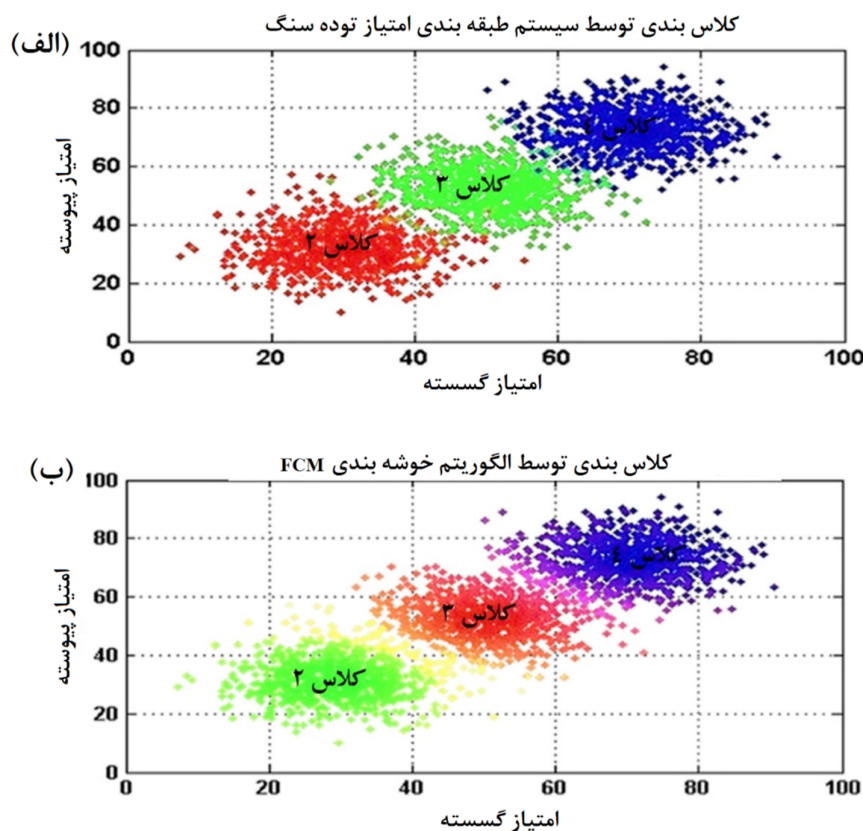
استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی FCM در حالات امتیازبندی پیوسته و گسسته نشان می‌دهد. با مقایسه تفکیک پذیری مرز بین کلاس‌های تشکیل شده توسط الگوریتم خوشه‌بندی FCM ، ملاحظه می‌شود که نتایج این الگوریتم خوشه‌بندی به دلیل لحاظ کردن عدم قطعیت‌های موجود در تعیین مرز کلاس‌های طبقه‌بندی سیستم امتیاز توده سنگ دارای نتایج مناسب‌تری نسبت به الگوریتم خوشه‌بندی k -means است. در شکل 9 (ب) ملاحظه می‌شود که تفکیک پذیری داده‌ها در بین مرز دو کلاس 2 و 3 و مرز دو کلاس 3 و 4 با توجه به میزان دوری و یا نزدیکی هر یک از نقاط داده‌ها نسبت به مراکز خوشه با درجه عضویت‌های متفاوت توسط الگوریتم خوشه‌بندی FCM بهتر انجام شده است.

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^n (\mu_{ik})^m}, V_i \in R^n \quad (18)$$

با استفاده از مقدار محاسبه شده برای V مقدار جدید U مطابق با رابطه (19) به دست می‌آید:

$$\mu_{ik} = \sum_{j=1}^c \left(\frac{\|x_k - V_i\|}{\|x_k - V_j\|} \right)^{-2/(m-1)} \quad (19)$$

در نهایت پارتیشن فازی ماتریس U باید مقداردهی اولیه گردد، که در آن تعداد c خوشه مهم‌ترین پارامتر است. رویکرد اندازه‌گیری میزان اعتبارسنجی داده‌ها و تعداد تکرارها با توجه به نوع الگوریتم خوشه‌بندی از جمله مهم‌ترین فاکتور در تعیین مناسب خوشه‌ها است. شکل 9، نتایج کلاس‌بندی سیستم طبقه‌بندی توده‌سنگ را با



شکل 9: کلاس‌بندی سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ توسط الگوریتم خوشه‌بندی FCM

ضریب توزیع پارتیشن‌ی (PC)، طبقه‌بندی آنتروپی (CE)، روش فوکویاما و سوگنو (FS) و ضریب زی و

جهت اعتبارسنجی کلاس‌های تشکیل شده توسط الگوریتم خوشه‌بندی FCM از چهار روش اعتبارسنجی

تفکیک پذیری انجام می‌شود، که رابطه آن به شرح زیر ارائه می‌شود: [17]:

$$FS(U;V;X) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m (\|X_j - V_i\|^2 - \|V_i - \bar{V}\|^2); \quad (22)$$

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_i x_i$$

در رابطه بالا $\|X_j - V_i\|^2$ شاخص تراکم پذیری خوشه‌ها و $\|V_i - \bar{V}\|^2$ میزان جدایش خوشه‌ها و متوسط جرم هر خوشه را بیان می‌کند. آخرین روش جهت اعتبارسنجی الگوریتم خوشه‌بندی FCM ضریب زی وینی (XB) است. این روش جهت اعتبارسنجی از دو خاصیت میزان تراکم و جدایش با استفاده از رابطه (23) استفاده می‌کند [16]:

$$XB(U;V;X) = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^2 \|V_i - X_j\|^2}{nd_{min}^2} \quad (23)$$

$$d_{min} = \min \|V_i - V_j\|$$

در رابطه (23) بخشی از صورت کسر نشان دهنده میزان فشردگی پارتیشن فازی است، در صورتی که بخشی از مخرج کسر توانایی جدایش بین هر خوشه را تعیین می‌کند. در این رابطه مطلوب‌ترین پارتیشن به دست آمده با کمینه کردن بیشترین مقادیر خاص C تعیین می‌شود. عبارت d_{min} نشان دهنده کمینه فاصله بین هر خوشه است [16]. نتایج نهایی اعتبارسنجی الگوریتم خوشه‌بندی FCM در شکل 10، نشان داده شده است.

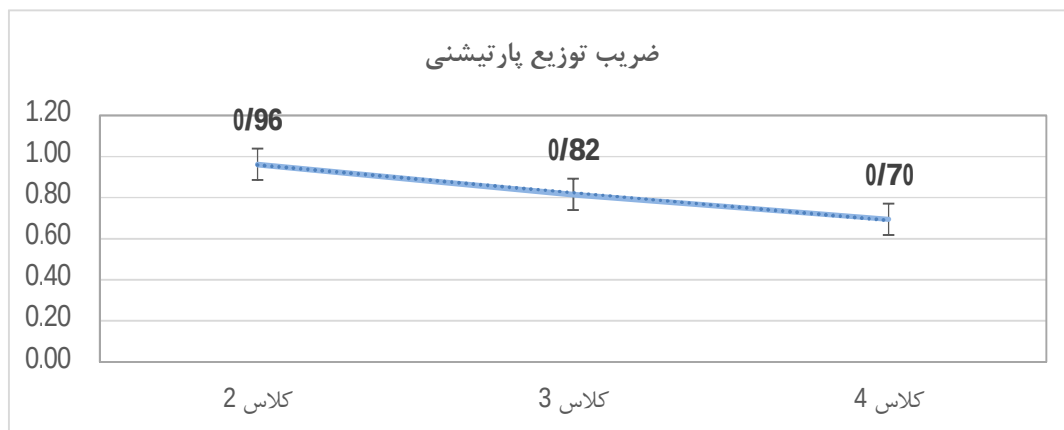
بنی (XB) استفاده شده است. ضریب توزیع پارتیشنی (PC) مطابق با رابطه (20) محاسبه می‌شود [15]:

$$PC(U;c) = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ij})^2}{n} \quad (20)$$

در رابطه بالا n تعداد نمونه‌ها و C تعداد خوشه‌هاست. پارتیشن بهینه با بیشینه کردن ارزش PC در راستای تعیین مقادیر خاص C به دست می‌آید، اما این شاخص در مورد مجموعه داده‌هایی که دارای چندین کلاس هستند، دارای نتیجه مناسبی نیست. به همین دلیل هرچه مقادیر C افزایش یابد ارزش PC به طور یکنواخت کاهش می‌یابد. رابطه بعدی جهت اعتبارسنجی الگوریتم FCM روش طبقه‌بندی آنتروپی (CE) است که این روش یکی از گسترده‌ترین روش‌های اعتبارسنجی داده‌های خوشه‌بندی و مشابه به روش PC است با این تفاوت که عضویت u_{ij} طولانی‌تر است. رابطه آن به شرح زیر محاسبه می‌شود [15]:

$$CE(U;c) = \frac{-\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ij} \log_a u_{ij}}{n} \quad (21)$$

سومین روش اعتبارسنجی، روش فوکویاما و سوگنو (FS) است. این روش با دو روش اولیه در مورد اعتبار سازی الگوریتم خوشه‌بندی FCM متفاوت است. اعتبارسنجی نتایج این مدل در دو حالت تراکم و



شکل 10: نتایج نهایی اعتبارسنجی الگوریتم خوشه‌بندی FCM



ادامه شکل 10: نتایج نهایی اعتبارسنجی الگوریتم خوشه‌بندی FCM

نتایج اعتبارسنجی الگوریتم خوشه‌بندی FCM نشان می‌دهد که این الگوریتم خوشه‌بندی به دلیل لحاظ کردن شرایط عدم قطعیت‌ها در تعیین مرز کلاس‌های سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده سنگ از اهمیت بالایی برخوردار است.

5- نتیجه‌گیری

بیشترین میزان تولید استخراج سنگ آهن در معادن سنگ آهن سگان مربوط به ناحیه غربی و به خصوص آنومالی B است. به این منظور تعیین خواص ژئومکانیکی و بررسی کیفیت توده سنگ در دیواره‌های پیت آنومالی B از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله توسط سه گمانه ژئوتکنیکی (حدود 825 متر حفاری) و 20 سایت مختلف در بررسی‌های سطحی پیت آنومالی B به بررسی

- [4] Keller F, Clustering. (2000). Computer University Saarland's Tutorial Slides.
- [5] Aydin, A. (2004). Fuzzy set approaches to classification of rock masses. *Engineering Geology*, 74(3), 227-245.
- [6] Bezdek, J. C., Ehrlich, R., Full, W. (1984). FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers & Geosciences*, 10(2), 191-203.
- [7] Tomás, R., Delgado, J., Serón, J. B. (2007). Modification of slope mass rating (SMR) by continuous functions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44(7), 1062-1069.
- [8] BHP Engineering Report. (1992). Mine Study geotechnical Report. Ore body B. Joint venture-Sangan.
- [9] BHP Engineering Report. (1992) Mine Study geotechnical Report, Ore body B and C North. Joint venture-Sangan.
- [10] AMEC Engineering Report. (2008). Mining Report of anomalies B and C North. (148831).
- [11] AMEC Engineering Report. (2008). Geology model and model update. (148831).
- [12] MacQueen, J. (1967, June). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, 1(14), 281-297.
- [13] Zadeh L.A.(1990). Fuzzy sets and systems, *International Journal of General Systems*; 17(2-3):129-138.
- [14] Kaufman, L., Rousseeuw, P. J. (2009). Finding groups in data: an introduction to cluster analysis (Vol. 344). John Wiley & Sons.
- [15] Bezdek, J. C. (1973). Cluster validity with fuzzy sets.
- [16] Xie, X. L., Beni, G. (1991). A validity measure for fuzzy clustering. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 13(8), 841-847.
- [17] Fukuyama, Y., Sugeno, M. (1989, July). A new method of choosing the number of clusters for the fuzzy c-means method. In *Proc. 5th Fuzzy Syst. Symposium* (Vol. 247, pp. 247-250).

کیفیت توده‌سنگ با استفاده از سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ مبتنی بر الگوریتم‌های خوشه‌بندی پرداخته شده است. ابتدا به منظور ساده‌سازی محاسبات سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ بر مبنای امتیازبندی پیوسته محاسبه شد و سپس به منظور رفع معیارهای زبانی حاصل از قضاوت‌های تجربی کلاس‌بندی نهایی سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ توسط دو الگوریتم خوشه‌بندی *K-Means* و *FCM* مبتنی بر تکنیک‌های داده‌کاوی تصحیح شد. با کاربرد الگوریتم‌های خوشه‌بندی، داده‌ها پس از مراحل تحلیل و با توجه به نوع الگوریتم خوشه‌بندی به کلاس‌های خاصی تعلق می‌گیرند؛ به طوریکه هیچ‌گونه قضاوت شخصی از قبل در مورد تعداد کلاس‌های استخراجی سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ انجام نمی‌شود و تنها پس از انجام مراحل تحلیل با توجه به نوع الگوریتم خوشه‌بندی است که کلاس‌بندی جدید برای سیستم طبقه‌بندی امتیاز توده‌سنگ توسط الگوریتم‌های خوشه‌بندی تعیین می‌شود. با مقایسه نتایج اعتبارسنجی الگوریتم‌های خوشه‌بندی مشخص شد که الگوریتم *FCM* به دلیل شرایط عدم قطعیت‌ها در تعیین مرز کلاس‌ها دارای نتایج مناسب‌تری نسبت به الگوریتم خوشه‌بندی *k-means* است. با توجه به نتایج به دست آمده جهت بررسی کیفیت توده‌سنگ در آنومالی B معادن سنگ آهن سنگان، در نهایت رویکرد ارائه شده در این مقاله جهت بررسی کیفیت توده‌سنگ در این پروژه پیشنهاد می‌شود.

6- تشکر و قدردانی

از کلیه پرسنل و مهندسين بخش مدیریت معادن سنگ آهن سنگان به خصوص شرکت کانی‌کاوان شرق صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

9- مراجع

- [1] Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- [2] Singh B, Goel R. K. (1999). *Rock mass classification: a practical approach in civil engineering* (Vol. 46). Elsevier.
- [3] Şen, Z, Sadagah, B. H. (2003). Modified rock mass classification system by continuous rating. *Engineering Geology*, 67(3), 269-280.

Modification of Rock Mass Rating Classification System By K-Means And Fuzzy C-Means Clustering Algorithms

Z. Jalali^{1*}, S. M. Mousavi Nasab²

1- B.Sc. of Mining, Higher Educational Complex of Zarand, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

2- Assistant Professor, Higher Educational Complex of Zarand, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

* Corresponding Author: zakaria.jalaly@gmail.com

(Received: April 2015, Accepted: October 2015)

Abstract

Given the importance of the rock mass rating classification system in rock engineering, the aim of this paper is to improve final classes of this classification system using k-means and fuzzy c-means clustering algorithms. The data classification in the rock mass rating classification system were allocated to certain classes via a set of initial information based on the opinions and judgments of experience, which the use of clustering algorithms in this system of classification, dataset were divided into specific classes after going through the stages of clustering analysis, therefore resulting in clarification of the final rock mass rating classification systems and removal of uncertainties from the linguistic criteria. Silhouette coefficient (SC) method was used for validation k-means clustering algorithm. Furthermore, for validation of FCM clustering algorithm, four validation methods including partition distribution coefficient (PC), clustering entropy (CE), Fukuyama and Sugeno (FS) and Xie and Beni index (XB) were used. It becomes clear that due to uncertainty condition on determination of rock mass rating clustering system classes, FCM clustering algorithms yields better results than k-means clustering algorithm. Results of data extracted from Anomaly B of Sangan iron mines indicated that the technique used in this paper is of high importance in rock mass quality.

Keywords

Rock Mass Rating Classification System, K-Means And FCM Clustering Algorithms, Clustering Validation Methods, Anomaly B of Sangan Iron Mines

Cite This Paper:

Jalali, Z., Mousavi Nasab, S. M. (2015). "Modification of Rock Mass Rating Classification System by K-Means and Fuzzy C-Means Clustering Algorithms." Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering 5(9): 73-84. [http://dx.medra.org/10.17383/S2251-6565\(15\)940917-X](http://dx.medra.org/10.17383/S2251-6565(15)940917-X)