نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"
Iranian Journal of Mining Engineering
(IRJME)

دوره هشتم، شماره بیستم، سال ۱۳۹۲، صفحه ۴۷ تا ۶۲
Vol. 8, No. 20, 2013, pp. 47-62

کاربرد روش آنالیز تمایز در تهیه کلید اکتشافی در ذخایر مس با میزبان رسوبی در بلوک طبس- راور

رامین هندی[۱]، علی اصغر حسنی پاک[۲]

۱-دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن دانشکده مهندسی معدن دانشگاه تهران، raminhendi@ut.ac.ir
۲- استاد دانشکده مهندسی معدن دانشگاه تهران

(دریافت ۱۹ فروردین ۱۳۹۱، پذیرش ۲۶ تیر ۱۳۹۲)

چکیده

در اکتشاف مواد معدنی، بخصوص در اکتشافات کوچک مقیاس، تشخیص مناطق کانی‌سازی شده و رخساره‌های بارور از مناطق عقیم از اهداف مهم عملیات اکتشافی در هر ناحیه‌ای است. نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای در این نواحی از متداول‌ترین روش-های اکتشاف ژئوشیمیایی است. به دلیل تعداد زیاد متغیرهای مورد استفاده در پردازش نتایج آنالیز نمونه‌های ژئوشیمیایی، لازم است از روش‌های آماری چند متغیره برای مدلسازی تغییرپذیری میان داده‌ها استفاده نمود. یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره کارآمد در این میان، روش آنالیز تمایز است. در این مقاله مبانی، روش‌کار و چالشهای مطرح در کاربرد این روش به همراه ارائه یک مثال عملی در تهیه یک کلید اکتشافی برای کشف ذخایر مس با میزبان رسوبی در بلوک طبس- راور در ایران مرکزی آورده می‌شود. بدین منظور ۱۲۳ نمونه رسوب آبراهه برداشت شده از مناطق امید بخش، بر اساس شواهد زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، کانی‌سنگین و بازدیدهای صحرایی به دو گروه تقسیم شده‌اند. سپس بر اساس ۴۵ متغیر ژئوشیمیایی اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها، با استفاده از آنالیز تمایز یک تابع خطی متشکل از ۱۹ متغیر که بیشترین اثر را در طبقه‌بندی نمونه‌ها به دو گروه عقیم و بارور داشته‌اند، بدست آمده است. پس از ارزیابی میزان اعتبار آماری تابع حاصله و تعیین میزان دقت آن در طبقه بندی داده‌های اولیه، تابع حاصله را به عنوان یک کلید اکتشافی در تمیز حوضه‌های آبریز با شواهد کانی‌سازی احتمالی مس با میزبان رسوبی و فاقد شواهد کانی‌سازی مزبور معرفی نموده‌ایم. در پایان نیز به منظور کنترل توانایی کلید اکتشافی معرفی شده، از ۱۱۸ نمونه رسوب آبراهه‌ای کنترلی برداشت شده در برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ شمشیرآباد استفاده شده است. بر اساس کلید اکتشافی تهیه شده، برای تمامی نمونه‌های کنترلی مقدار امتیاز تمایز محاسبه شده و با توجه به مقادیر حاصله میزان پتانسیل کانی‌سازی احتمالی هر نمونه تعیین شده است. از میان نقاط کنترلی ۲۲ نقطه به منظور تعیین صحت طبقه بندی مورد بازدید صحرایی قرار گرفته و بر اساس نتایج حاصله مشخص گردید که به طور متوسط در ۹۰٪ موارد طبقه بندی بدرستی انجام می‌شود. لذا روش آنالیز تمایز به عنوان یک روش مناسب برای تهیه کلید اکتشافی در تعیین مناطق امید بخش و کشف کانسارهای مختلف در اکتشافات کوچک مقیاس و میان مقیاس معرفی می‌گردد.

کلمات کلیدی

آنالیز تمایز، روش چند متغیره، گروه بندی داده‌ها، کلید اکتشافی، مس با میزبان رسوبی، بلوک طبس- راو

۱- مقدمه

از آن‌جایی که اکتشاف مواد معدنی ماهیت احتمال پذیر دارد و در فضای عدم قطعیت انجام می‌گیرد، همواره دارای ریسک بالایی است [۴]. بدین منظور لازم است برداشت‌ها و مطالعات اکتشافی در چهارچوبی صورت گیرد که هدف آن به حداقل رساندن ریسک در طی عملیات اکتشافی باشد. در این راستا استفاده از تکنیک‌های جدید در کلیه مراحل مختلف پروژه‌های اکتشافی می‌تواند باعث کاهش ریسک و در کل باعث کارکرد بهینه پروژه اکتشافی گردد.

کاربرد روشهای پردازش چند متغیره که امکان آنالیز همزمان چندین متغیر را فراهم می‌سازد یکی از روش‌های مناسب در بهینه‌سازی پروژه‌های اکتشافی است. در طی سال‌های اخیر کاربرد روش‌های چند متغیره نظیر آنالیز رگرسیون چند متغیره، آنالیز واریانس چند متغیره ، آنالیز خوشه‌ای، آنالیز مولفه‌های اصلی و آنالیز فاکتوری در تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی و بخصوص داده‌های حاصل ازمطالعات ژئوشیمیایی توسعه فراوان یافته و امروزه به عنوان یک روش پردازش متداول در تمامی پروژه‌های اکتشافی و در مقیاس‌های مختلف بکار برده می‌شوند. یکی از روشهای چند متغیره کارآمد، آنالیز تمایز (Discriminant Analysis) یا آنالیز تفریقی است. آنالیز تمایز در واقع به نوعی یک روش آنالیز واریانس چند متغیره است [۲۵] و این روش را می‌توان یکی از اعضای خانواده رگرسیون خطی چند متغیره دانست.

در آنالیز تمایز بر اساس طبقه بندی مفروض و معلوم یک تابع جدید برای تفریق گروه‌های مختلف تعیین شده و سپس بر اساس نتایج بدست آمده برای ضرایب تابع تمایز، موارد جدید در هر یک از گروه‌های موجود طبقه‌بندی می‌شوند [۲۱] .در واقع آنالیز تمایز، برای گروه‌بندی مشاهدات به یکی از چندین گروه معلوم به کار می‌رود [۷]. در این مورد می‌توان از مثال‌های متعددی نظیر، تشخیص گوسن‌های حاصل از هوازدگی سنگ‌های مافیک و اولترامافیک که اغلب از نظر کانی‌زایی عقیم هستند، از گوسن‌های توسعه‌یافته در مناطق سولفوری که از نظر کانی‌زایی بارور هستند و یا تشخیص ژاسپروئیدهای عقیم نسبت به کانی‌سازی طلا، از ژاسپروئیدهای مرتبط با کانی‌سازی طلا، در کانسارهای طلای تیپ کارلین را می‌توان نام برد [۴] .

آنالیز تمایز در اوایل قرن نوزدهم معرفی و طی دهه‌های ۵۰ و ۶۰ میلادی در حوضه‌های علوم انسانی به سرعت توسعه یافت [۷].ولی کاربرد این روش در ایران و بخصوص در زمینه مطالعات اکتشافی بسیار محدود بوده است. دلیل محدودیت کاربرد آنالیز تمایز در مطالعات اکتشافی به نوع راهکار این روش در حل مسائل مربوط می‌گردد. در این روش لازم است برای هر دو گروه عقیم و بارور داده کافی وجود داشته باشد. بطور مثال در اکتشاف یک نوع خاص کانی‌سازی، بایستی از هر دو منطقه کانی‌سازی شده (بارور) و کانی‌سازی نشده (عقیم) نمونه کافی در دست داشت. این در حالی است که در اغلب پروژه‌های اکتشافی ناحیه‌ای در ایران به دلیل محدودیت بودجه‌های اکتشافی و عدم شناخت کارشناسان با این روش، تمامی نمونه‌ها از مناطق امیدبخش برداشت گردیده است و عملاً در اغلب پروژه‌های انجام شده امکان انجام این آنالیز وجود نداشته است. در این مقاله هدف اصلی، معرفی نحوه عملکرد آنالیز تمایز و نمایش قابلیت این روش در تهیه یک کلید اکتشافی با ذکر مثالی در رابطه با کشف ذخایر مس با میزبان رسوبی در ایران مرکزی است.

۲- آنالیز تمایز

عنوان آنالیز تمایز، عبارتی است که در مراجع مختلف [۱۱]،[۱۴]،[۱۶]،[۱۸]،[۱۹]،[۲۳]،[۲۴]،[۲۶]،[۳۱] برای بیان طیفی از روش‌های آنالیز آماری چند متغیره بکار می‌رود. این روش برای اولین بار توسط فیشر در سال ۱۹۳۶ ابداع گردید و بر پایه متدولوژی مورد استفاده در رگرسیون خطی چند متغیره، یعنی جبر ماتریس‌ها، جهت حل معادلات خطی توسعه یافت[۷].این روش تجزیه و تحلیل آماری وسیله‌ای است برای سنجش میزان وابستگی و ارتباط یک نمونه با یکی از جوامع مشخص و معلوم که در این روش لازم است جوامع مورد نظر از قبل معلوم باشند و یا حداقل تعریف شده باشند [۴]. در واقع، آنالیز تمایز، بر اساس مشخصه‌های مختلف، برای گروه‌بندی مشاهدات به یکی از چندین گروه معلوم به کار می‌رود [۷].

در آنالیز واریانس چند متغیره، متغیرهای مستقل تشکیل گروه‌های مختلف را می‌دهند و متغیرهای وابسته نقش تخمین‌گر را بازی می‌کنند ولی در روش آنالیز تمایز متغیرهای مستقل نقش تخمین‌گر را بازی می‌کنند و متغیرهای وابسته تشکیل گروها را می‌دهند. طبقه بندی نمونه‌ها می‌تواند بر اساس نوع تابع توزیع متغیرها با روش پارامتری یا ناپارامتری

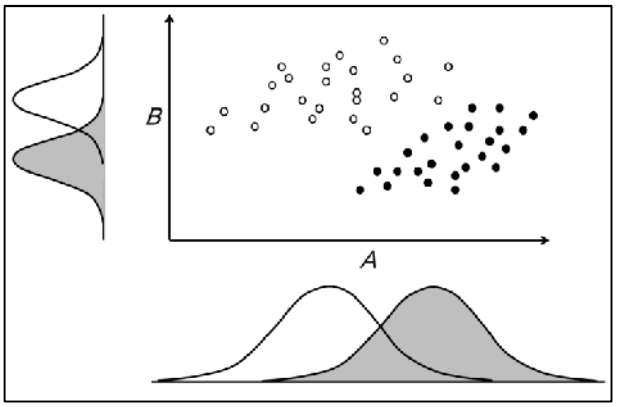
انجام شود. روش پارامتری در مواردی بکارمی‌رود که تابع توزیع متغیر مورد نظر در هر کلاس تقریباً نرمال باشد. در صورتیکه تابع توزیع متغیرها در درون هر کلاس دارای توزیع مشخص و واحدی نباشند و یا نتوان آن را نرمال فرض نمود، از روش‌های ناپارامتری نظیر روش کِرنل[1] یا روش نزدیک‌ترین همسایگی[2] استفـــاده می‌شود. در روش‌های پارامتری در صورتی که بتوان ماتریس‌های کورایانس درون هر کلاس را برابر فرض نمود از روش آنالیز تمایز خطی[3](LDA) و در غیر این صورت از روش آنالیز تمایز درجه دو استفاده می‌گردد . از آنجا که در مطالعات معدنی و بخصوص اکتشافات ژئوشیمیایی، می‌توان با استفاده از یک تبدیل مناسب متغیرهای مورد بررسی را نرمال نمود، از روش‌های آماری پارامتری و روابط خـطی در تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده می‌شود.

۲-۱- عملکرد آنالیز تمایز

فرض کنید دو جامعه M (کانی‌سازی شده) و U (عقیم) در اختیار باشد و تعدادی نمونه برای تعیین خصوصیات و ویژگی-های این دو جامعه برداشت شده و تعداد K خاصیت (مثلاً تعداد K عنصر) در آنها اندازه‌گیری شده است. حال برای تعیین وضعیت کانی‌سازی در یک محدوده جدید، نمونه جدیدی برداشت گردیده و در آن تعداد K خاصیت اندازه‌گیری شده است. هدف تصمیم‌گیری در مورد تعلق نمونه جدید به یکی از دو جامعه فوق می‌باشد.

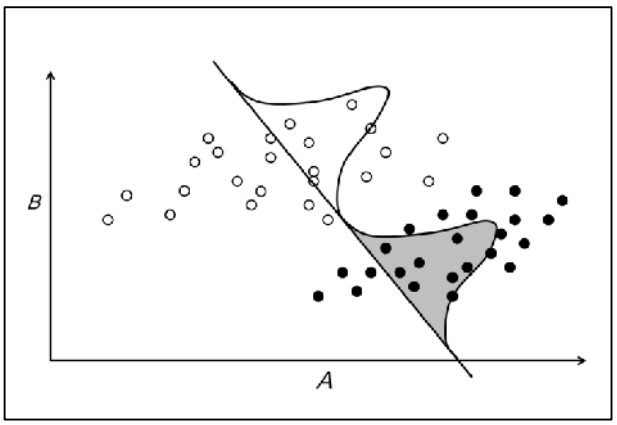
بدین منظور به یک تابع به نام تابع تمـایز یا تفریق نیاز داریم. این تابع در واقع برداری است که در جهت جداسـازی بهینه دو جامعه امتداد می‌یابـد و اگر داده‌های مربوط به دو جامعه را در امتداد تابـع تمایز ترسیم کنیم تا حد ممکن از یکدیگر جدا می‌شوند و موقعیت نمونه‌های مجهول که تعلق آنها به یکی از دو جامعه نا معلوم است در همین امتداد مشخص خواهد شد [۴].

به طور مثال در شکل ۱ دیاگرام پراکندگی یک مجموعه داده ساده، متشکل از دو گروه (نقاط تیره و روشن) و دو متغیر (A,B) نشان داده شده است. اگر امتیازات تمایز را بر اساس هر یک از دو متغیر اولیه بدست آوریم، توزیـع بدسـت آمده مطابق توابع ترسیم شده در امتداد هر یک از محـورها خواهد بود. بخوبی مشاهده می‌گردد که دو گروه به وسیله هر یک از متغیرهای A یا B قابل جدایش هستند، ولی همپوشانی زیادی با یکدیگر دارند (گرچه متغیر B تمایز بهتری دارد).



شکل۱: دیاگرام پراکندگی توزیع دو گروه مورد بررسی (نقاط تیره و روشن) بر اساس دو متغیر **A** و **B** (اقتباس از [۳۱]).

محتمل است که بتوان یک محور جدید تعریف نمود که از مرکز دو گروه (میانگین‌ها) گذر کرده و دو گروه در امتداد این محور همپوشانی نداشته باشند (شکل **۲**). لازم بذکر است که خطی که از اتصال میانگین‌ها ترسیم می‌شود، ضرورتاً بر جهت تابع تمایز منطبق نیست [۴].



شکل ۲: محور جدید ترسیم شده که بیشترین جدایش بین دو گروه را نمایش می‌دهد (اقتباس از [۳۱]).

۲-۲- آنالیز تمایز خطی

در آنالیز تمایز بر اساس طبقه بندی مفروض (و معلوم) یک تابع جدید برای تفریق گروه‌های مختلف تعیین شده و سپس بر اساس محاسبه ضرایب تابع تمایز، موارد جدید در هر یک از گروه‌های موجود طبقه‌بندی می‌شوند [۲۱]. مهم‌ترین کاربردهای این روش عبارت است از: الف- بررسی تفاوت‌های بین گروهی؛ ب- تعیین مناسـب‌ترین روش برای تفاوت‌گذاری بین گروه‌ها؛ ج- تشخیص و حذف متغیرهایی که در ایجاد تمایز بین گروه‌ها نقشی ندارند؛ د- طبقه بندی موارد مورد مطالعه در گروه‌های تعیین شده؛ ه- آزمون میزان صحت طبقه‌بندی

مشاهده شده با طبقه‌بندی پیش‌بینی شده [۴].تابع تمایز بکار رفته در این روش، مانند رگرسیون خطی، یک معادله خطی به شکل زیر است:

D (۱)

که در آن

D : تابع تمایز،a_nتاa_1: ضرایب تابع تمایز، a_0: مقدار ثابت تمایز،X_1 تا X_n: متغیرهای مستقل و n: تعداد متغیرهای تخمین‌گر می‌باشند.

فرضیاتی که بر این آنالیز حاکم است عبارتند از: الف- تمامی مشاهدات یک نمونه تصادفی هستند؛ ب- هر یک از متغیرهای تخمینگر (متغیرهای مستقل) دارای تابع توزیع نرمال هستند (فاقد چولگی و مقادیر خارج از ردیف)؛ ج- کلاسه بندی اولیه انجام شده بر اساس متغیرهای وابسته به درستی انجام شده باشد؛ د- حداقل دو گروه اولیه وجود داشت باشد و تمامی نمونه‌ها قادر به جایگیری در این دو گروه باشند؛ ه- هر گروه به خوبی تعریف شده و به وضوح از سایر گروه‌ها قابل تمایز باشد؛ و- توصیف و تعاریف بکار رفته برای جدایش گروه‌ها بایستی کاملاً شفاف باشد، بطوری که همپوشانی میان گروه‌ها وجود نداشته باشد یا در حداقل ممکن باشد؛ ز- تعداد نمونه‌ها در هر یک از گروه‌ها در مقایسه با تعداد متغیرهای مستقل نبایستی بسیار متفاوت باشد و بایستی در حد چند برابر تعداد متغیرهای مستقل باشد[۲۵].

برای حل معادله (۱) در حالتی که تعداد گروه‌ها، دو عدد باشد، راه حل‌های مختلفی نظیر روش فیشر و روش ماهالانوبیس (Mahalanobis) ارائه شده است. در روش فیشر هدف یافتن یک ترکیب خطی از متغیرهای مستقل است که تفاوت میان گروه‌ها در آن بیشینه باشد[۱۴] و در روش ماهالانوبیس هدف یافتن مکان هندسی نقاطی است که دارای فاصله یکسان از میانگین گروه‌ها باشند[۲۰].اگر معادله خط تمایز (معادله۱) را بصورت زیر بیان کنیم:

D (۲)

که در آن

D : تابع تمایز ، $[a]$: بردار ضرایب تابع تمایز و $[X]$: بردار متغیرهای مستقل است.

در راه حل فیشر، مقادیر ضرایب تمایز به گونه‌ای تعیین می‌گردد که واریانس عبارت $[a][X]$ در میان گروه‌ها نسبت به واریانس آن در داخل گروه‌ها حداکثر باشد. در این حالت معادله فیشر بصورت زیر بیان می‌گردد[۲۸]و[۱۰].

F (۳)

که در آن

FLD: تابع تمایز خطی فیشر، $[a]$: بردار ضرایب تابع تمایز، $[a]^T$: ترانهاده بردار ضرایب، $[S_B]$: ماتریس کوواریانس بین گروهی، $[S_W]$: کوواریانس درون گروهی، $\bar{X}_1$: میانگین گروه اول و $\bar{X}_2$: میانگین گروه دوم می‌باشد.

به منظور درک ملموس‌تر روابط و مفاهیم فوق، عبارات ارائه شده در معادله۳ بصورت شماتیک در شکل ۳ نمایش داده شده است. در این شکل، دو گروه مورد بررسی با دوایر توپر تیره رنگ و دوایر توخالی نمایش داده شده است. مقادیر میانگین هر گروه به شکل مربع و با مقادیر $\bar{X}_1$ و $\bar{X}_2$ نمایش داده شده است. مقدار تغییرپذیری در هر گروه به صورت یک بازه و با مقدار پراش محاسبه شده در هر گروه به صورت ${S_1}^2$ و ${S_2}^2$در شکل مشخص شده است. تغییرپذیری درون گروهی S_W در واقع مجموع تغییرپذیری قابل مشاهده در هر گروه است که بصورت $S_W = S_1 + S_2$ قابل محاسبه است و تغییرپذیری میان گروهی S_B نیز که بر اساس اختلاف مابین نقاط میانگین (نقاط مربع شکل) در دو گروه قابل مشاهده است که از معادلهزیر قابل محاسبه است.

S (۴)

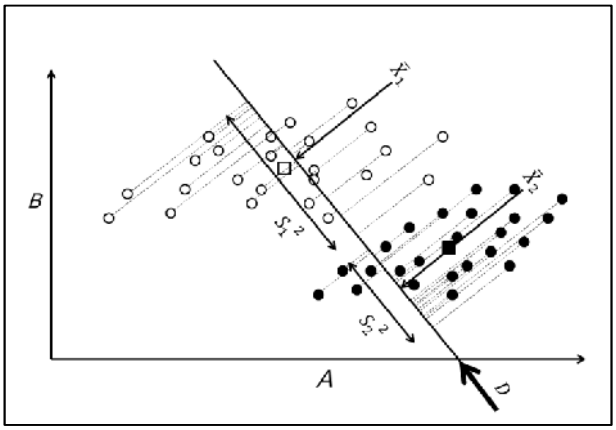
با مشتق‌گیری از معادله۳ نسبت به ضرایب تمایز و برابر صفر قرار دادن آن، مقدار ضرایب تابع تمایز به صورت معادله (۵) بدست می‌آید. اثبات این معادله در تمامی کتب پایه و مراجع آماری ارائه شده است[۱۱]،[۱۳]،[۱۵]،[۱۹]،[۲۸].

[؛ (۵)

که در آن

c : مقدار ضریب ثابت، $[S_W]^{-1}$: وارون ماتریس کوواریانس درون گروهی است.

ضرایب تمایز حاصل از معادله ۵ معرف یک بردار می‌باشدکه در شکل ۳ به صورت بردار $\boldsymbol{D}$ قابل مشاهده است و این امتدادی است که در آن تصاویر نقاط مربوط به دو گروه، بیشترین تمایز را نشان می‌دهند.

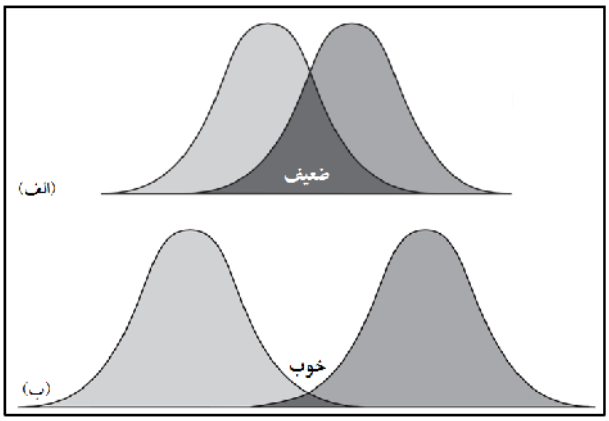


شکل۳ : نمایش شماتیک آنالیز تمایز خطی بر اساس دو گروه، دوایر توپر و توخالی که نتیجه آن برداری است که حداکثر جدایش بین دو گروه در آن امتداد (بردار $\boldsymbol{D}$) حاصل می‌گردد.

۲-۳- آزمون اعتبار آنالیز تمایز

قبل از تحلیل نتایج حاصل از آنالیز تمایز لازم است اعتبار مدل حاصله مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور تفاوت بین گروه‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری بررسی می‌گردد. این آزمون‌ها در واقع همان آزمون معنی‌داری اختلاف میانگین‌های دو جامعه مورد بررسی است [۷]. آزمون‌های متعددی برای اعتبارسنجی اختلافات میانگین‌ها، نظیر آماره‌های ساده تی‌استودنت و فیشر [۴] تا آماره‌های مختص آنالیز تمایز [۷]وجود دارد. در این میان متعارف‌ترین آزمون آماری که اغلب نرم‌افزارهای آماری نیز از آن استفاده می‌گردد، آماره U یا ویلکس‌لامبدا (Wilks' Lambda) است. ویلکس‌لامبدا در واقع یک آنالیز واریانس (ANOVA) بر اساس آماره F ، برای آزمودن اختلاف بین میانگین‌ها در تابع تمایز است. این آماره معادل نسبت مجموع مربعات انحراف از میانگین پارامتر دلخواه در هر گروه (مجموع مربعات خطای میان گروهی هر پارامتر) به مجموع مربعات انحراف هر پارامتر از میانگین کل است.

مقدار آماره ویلکس‌لامبدا عددی بین صفر و یک است. عدد یک معرف تساوی میانگین بین گروه‌ها است و تمامی پراش موجود در داده‌ها ناشی از عوامل دیگر (غیر از اختلاف میانگین‌ها) است. عدد صفر یا مقادیر کوچک لامبدا مواقعی بدست می‌آید که تغییرات درون گروهی در مقایسه با تغییرپذیری کل ناچیز است و بیشترین اختلاف را بین میانگین گروه‌ها شاهد هستیم. به طور مثال در شکل ۳ که دو جامعه اولیه کاملاً از یکدیگر مجزا هستند این آماره نزدیک صفر است. بر اساس فرضیات انجام شده، پس از انجام آنالیز تمایز نیز امید است که امتیازات تمایز حاصله نیز دارای تابع توزیع نرمال باشند. میزان همپوشانی تابع توزیع امتیازات تمایز می‌تواند بعنوان ملاکی برای موفقیت آنالیز بکار برود. به طور مثال در شکل ۴ دو حالت محتمل در نتایج آنالیز تمایز برای تابع توزیع امتیازات تمایزی ارائه شده است، در حالت اول (شکل ۴-الف) که میزان همپوشانی دو تابع توزیع زیاد است تابع تمایز دارای کارایی لازم نبوده و نتوانسته است بخوبی دو جامعه مورد بررسی را از یکدیگر متمایز نماید. ولی در حالت دوم (شکل ۴- ب) دو تابع تمایز بخوبی از یکدیگر جدا شده و کمترین میزان همپوشانی را دارا هستند.



شکل۴ : تعیین عملکرد تابع تمایز بر اساس میزان همپوشانی مقادیر تابع تمایز حاصله، (الف) بیانگر عملکرد نامناسب تابع تمایز و (ب) بیانگر عملکرد مناسب تابع تمایز است [۳۱].

۳- تهیه کلید اکتشافی

پس از بررسیفرضیات لازم جهت کاربرد صحیح این روش، به یک مطالعه موردی از کاربرد این روش در تهیه یک کلید اکتشافی در اکتشاف مقدماتی ذخایر مس با میزبان رسوبی در بلوک طبس- راور می‌پردازیم.

۳-۱- معرفی ذخایر مس رسوبی مورد مطالعه

ذخایر مسی رسوبی پس از ذخایر مس پرفیری در حدود ۲۳٪ از تولید جهانی مس را به خود اختصاص داده است و این ذخایر بطور وسیعی در آفریقا (کمربند مس زامبیا)، اروپا (ناحیه کوپرشیفر) و آمریکا بهره برداری می‌شوند [۲۹]. در کشور افغانستان، همسایه شرقی ایران نیز در سالهای اخیر ذخیره قابل توجهی از کانسار مس با میزبان رسوبی (کانسار آینک) در کلاس جهانی کشف شده است[۲۲]. با افزایش قیمت جهانی مس، توجه بخش‌های خصوصی و دولتی معدن به کشف ذخایر جدید مس با میزبان رسوبی در مناطق جدید معطوف گردید.

بر اساس مدل‌های کانساری[۱۲]،[۱۷] و اکتشافی[۶] ارائه شده برای کانسارهای مس با میزبان رسوبی، این ذخایر در سه تیپ رخساره احیایی[۴] (RF)، رخساره اکسیدی[۵] (RB) و رخساره ریوت[۶] (RV) تشکیل می‌شوند. با توجه به گسترش واحدهای رسوبی اکسیدی (لایه‌های قرمز رنگ) و احیایی (نظیر سازند شمشک) در بلوک طبس و همچنین پژوهش‌های انجام شده در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد [۸]و دکتری، پتانسیل تشکیل ذخایر مس با میزبان رسوبی تیپ احیایی و اکسیدی در این بلوک وجود دارد و تشکیل رخساره ریوت محتمل نیست.

بر اساس مطالعات انجام شده در بلوک طبس- راور [۸]، [۹]یک واحد امید بخش برای تشکیل ذخایر مس با میزبان رسوبی، متشکل از لایه‌های سرخ رنگ به نام سازند گره‌دو (Garedo) در ایران مرکزی گسترش دارد. این سازند متشکل از سنگهای سیلیسی-آواری با سنی حدفاصل ژوراسیک تا کرتاسه است که با امتداد کلی شمالی- جنوبی در حد فاصل کرمان تا شمال طبس رخنمون دارد [۲]،[۲۷]،[۳]،[۳۲]،[۱].کانی‌سازی مس با میزبان رسوبی در اطراف شهرستان راور در این سازند دارای رخنمون‌های متعددی است. عامل اصلی تشکیل کانی‌سازی در این سازند توسعه شرایط احیایی محلی به دلیل وجود بقایای گیاهی و پیریت در میان لایه‌های سرخ رنگ سازند گره‌دو است که باعث جایگزینی کانی کالکوسیت در چنین شرایطی شده است [۸]، [۹] (شکل ۵).

شکل۵ : جانشینی کامل کالکوسیت در دیواره‌ها، فضاهای خالی و حجره مانند بقایای گیاهی.

۳-۲- گروه بندی داده‌ها

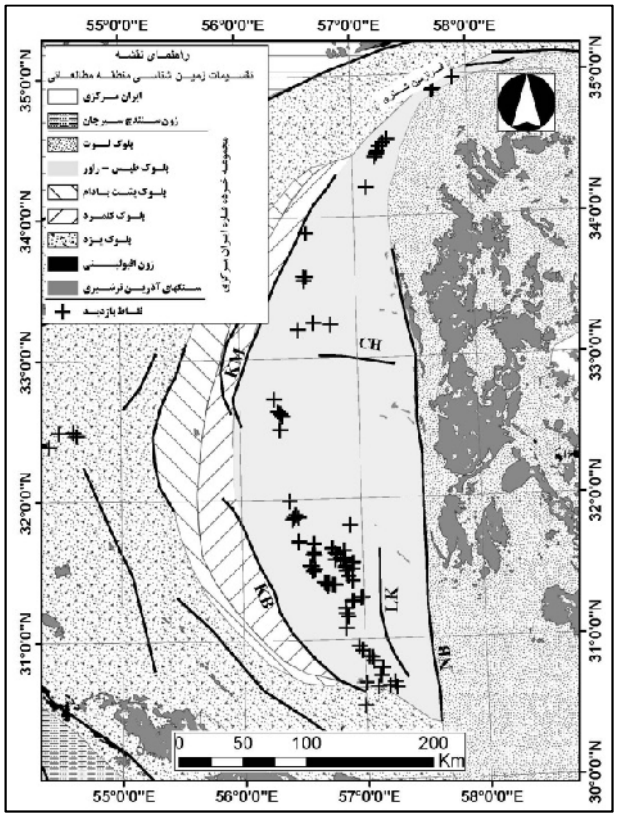
از مناطق امیدبخش در مجموع تعداد ۱۲۳ عدد نمونه ژئوشیمیایی از رسوبات آبراهه‌ای در حوضه‌های آبریز مختلف برداشت شده که در شکل ۶محل برداشت نمونه‌ها نمایش داده شده است. کلیه نمونه‌ها پس از طی مراحل آماده سازی به آزمایشگاه ارسال شده و برای تعداد ۴۵ عنصر آنالیز شده است.از کل نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۷۸ عدد نمونه در حوضه‌های آبریزی که سنگ بالادست آن تنها از سازند گره‌دو و یا معادل‌های آن تشکیل شده، برداشت شده است.

یکی از اهداف برداشت این نمونه‌ها، تعیین ویژگی ژئوشیمیایی توزیع عناصر مرتبط با کانی‌سازی مس با میزبان رسوبی در هاله‌های ثانویه و تعیین یک ملاک اکتشافی برای شناسایی و تمیز حوضه‌های آبریز دارای شواهد کانی‌سازی مس و حوضه‌های فاقد کانی‌سازی مس است. بهترین روش برای تمیز موارد فوق استفاده از روش آنالیز تمایز بر اساس نمونه‌های برداشت شده از دو جامعه بارور و عقیم فوق الذکر است.بدین منظور ابتدا دو جامعه فوق با دقت لازم و بر اساس شواهد جمع‌آوری شده نظیر محل رخنمون‌های گزارش شده کانی-سازی مس با میزبان رسوبی، محل معادن موجود، نتایج مطالعات نمونه‌های کانی‌سنگین، نتایج آنالیز نمونه‌های ژئوشیمیایی، نتایج بازدید و برداشت‌های صحرایی انجام شده، تعیین و تفکیک شده است. بدین ترتیب از ۷۸ نمونه فوق، تعداد ۴۱ نمونه در یک گروه (حوضه‌های آبریز فاقد کانی‌سازی) و ۳۷ نمونه در گروه دیگر (حوضه‌های دارای شواهد کانی‌سازی) تقسیم بندی شده‌اند. به منظور مقایسه رفتار ژئوشیمیایی این دو گروه، در جدول ۱ پارامترهای آماری پنج عنصر شاخص کانسارهای مس با میزبان رسوبی ارائه شده است.

۳-۳- آماده سازی داده‌ها

قبل از انجام آنالیز تمایز، مطالعات آماری جامعی توسط نرم‌افزار SPSS بر روی تمامی ۴۵ متغیر اندازه‌گیری شده به منظور تعیین خصوصیات آماری جوامع مورد مطالعه صورت پذیرفته است. بر اساس مطالعات اولیه نوع تابع توزیع هر متغیر تعیین و در صورت انحراف از توزیع نرمال با تبدیل مناسب (عموماً تبدیل لاگ‌نرمال) به تابع نرمال تبدیل شده است.

تمامی مقادیر خارج از ردیف (کران بالا و کران پائین) در هر متغیر با دو روش ترسیمی و دورفل (Doerffel) تعیین و با مقادیر مناسب جایگزین شده است. به منظور آشنایی با خصوصیات ژئوشیمیایی محیط نمونه‌برداری نتایج آنالیز خوشه‌ای و فاکتوری انجام شده بر روی نمونه‌های سنگ میزبان کانی‌سازی در شکل ۷ و جدول ۲ ارائه شده است.



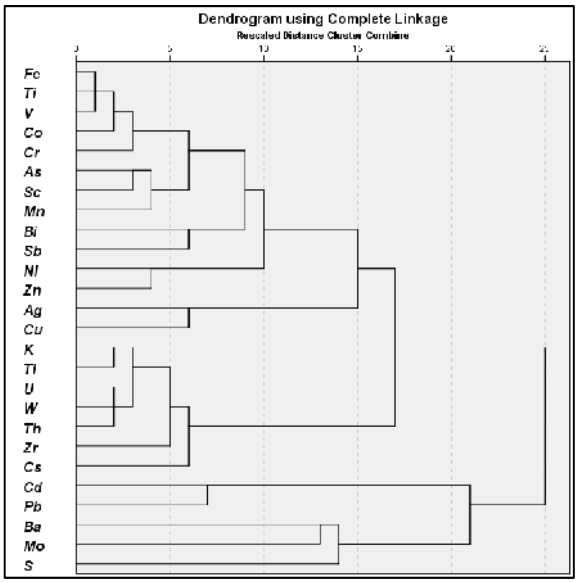
شکل۶ : نقاط برداشت ۱۲۳ نمونه ژئوشیمیایی در نقاط امیدبخش تشکیل ذخایر مس با میزبان رسوبی.

جدول ۱ : پارامترهای آماری پنج متغیر شاخص در کانسارهای مس با میزبان رسوبی در حوضه‌های دارای شواهد کانی‌سازی و حوضه‌های فاقد شواهد کانی‌سازی.

نوع طبقه بندی	پارامترهای آماری	نام متغیرها (گرم در تن)				
		Ag	Cu	Pb	U	V
حوضه رسوبی به همراه شواهد کانی سازی	تعداد	**37**	**37**	**37**	**37**	**37**
	میانگین	0.12	4.17	18.92	1.69	73.70
	میانه	0.10	30.40	15.70	1.72	71.00
	انحراف معیار	0.12	55.40	9.84	0.33	19.68
	حداقل	0.06	17.90	10.70	1.03	41.00
	حداکثر	0.78	321.80	51.20	2.61	129.00
حوضه رسوبی فاقد شواهد کانی سازی	تعداد	**41**	**41**	**41**	**41**	**41**
	میانگین	0.09	25.72	16.79	1.58	91.51
	میانه	0.08	23.20	13.80	1.52	71.00
	انحراف معیار	0.02	7.50	7.67	0.30	74.68
	حداقل	0.05	17.00	10.30	1.08	50.00
	حداکثر	0.18	51.90	46.00	2.29	487.00

در آنالیز خوشه‌ای به منظور بارزتر نمودن ساختار پاراژنزهای کانی‌سازی احتمالی، از عناصر سنگ ساز که دارای مولفه تغییرپذیری بالایی هستند، استفاده نشده است. چراکه باعث بروز اخلال در نمودار درختی ترسیم شده می‌گردند. بر اساس نمودار درختی ترسیم شده مجموع عناصر مس ونقره با میزان تشابه متوسط به خوشه حاوی عناصر Fe, Ti, V, Co, Cr, As, Sc, Mn, Bi, Sb, Ni, Zn متصل شده است و تمامی این عناصر به خوشه K, Tl, U, W, Th, Zr, Cs متصل شده است. با توجه به اینکه نمونه‌های رسوب آبراهه از رخساره‌های رسوبی آواری برداشت شده‌اند، مجموعه عناصر و خوشه‌بندی فوق می‌تواند بیانگر چند سنگ منشاء متفاوت باشد. بررسی‌های بعمل آمده برای تعیین سنگ منشاء این رسوبات بر اساس شواهد ژئوشیمیایی و سنگ‌نگاری در نمونه‌های برداشت شده در شکل ۶ بیانگر وجود سنگ مادر دگرگونی و آذرین در حاشیه غربی بلوک طبس است [۹] که می‌تواند وجود پاراژنزهای فوق را توجیه نماید.

در جدول ۲نتایج بارهای فاکتوری چرخش یافته با روش Varimax ارائه شده است.در آنالیز فاکتوری صورت گرفته، ۴۲ متغیر شرکت داده شده‌اند و عناصر Te، Hg و Re به دلیل سنسورد بودن و نداشتن داده کافی از پردازش حذف شده‌اند. درآنالیز انجام شده تعداد ۷ فاکتور استخراج شده است که در مجموع ۸۶/۵ درصد کل تغییرپذیری موجود را بیان می‌کند. فاکتورهای اول و دوم که شامل عمده عناصر می‌باشد معرف مولفه سنگ‌سازی است که مرتبط با توزیع عناصر سنگ‌ساز موجود در اجزاء تخریبی سازند گره‌دو است.



شکل۷ : نمودار درختی ترسیم شده بر اساس ۷۸ نمونه رسوب آبراهه در حوضه‌های آبریز واقع در سنگ میزبان کانی‌سازی مس با میزبان رسوبی.

ترکیب عناصر قرار گرفته در این دو فاکتور بخوبی بیانگر

چند منشاء متفاوت برای رسوبات آواری در حوضه رسوبی است. فاکتورهای سوم، ششم و هفتم در رابطه با مولفه‌های مرتبط با مقادیر نابهنجار و کانی‌سازی احتمالی در این سازند است که در فاکتور سوم مقادیر بار فاکتوری عناصر کادمیوم، سرب و روی بالا است، در فاکتور ششم مقادیر بار فاکتوری عناصر نقره و مس بالا است و در نهایت در فاکتور هفتم تنها بار فاکتوری عنصر باریوم بالا است. کانی‌سازی مس در بخش جنوبی منطقه مطالعاتی بخصوص در محدوده شهرستان راور و در شمال طبس (اطراف عشق‌آباد) گسترش دارد. کانی‌سازی سرب (و روی) در محدوده شمال غرب راور (معدن گوجر) و شمال شرق طبس گزارش شده است و در نمونه‌های کانی‌سنگین برداشت شده از مناطق مطالعاتی نیز تا ۳۰۰ ذره گالن در اطراف عشق‌آباد (شمال شرق طبس) گزارش شده است. کانی‌سازی باریوم نیز بصورت رگه‌های کوچک و پراکنده در تمامی محدوده مطالعاتی قابل مشاهده است و در محدوده عشق‌آباد نیز معادن باریت فعال قابل مشاهده‌اند. در فاکتورچهارم بار فاکتوری عناصر گوگرد و استرانسیوم و در فاکتور پنجم، تنها بار فاکتوری عنصر سدیم بالا است.دلیل بالا بودن بار فاکتوری این عناصر در دو فاکتور مذکور را می‌توان در رابطه با توسعه رسوبات شیمیاییبه صورت میان لایه‌های حاوی رسوبات کربناته، گچ‌دار و نمک موجود در میان طبقات قرمز دانست.

جدول۲ : نتایج آنالیز فاکتوری چرخش یافته بر اساس نمونه‌های رسوب آبراهه در سنگ میزبان کانی‌سازی .

ماتریس مولفه های چرخش یافته (روش چرخش = VARIMAX)							
نام متغیرها	مولفه های استخراج شده						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Ag	.418	.109	.076	-.181	.073	***.723***	.284
Al	***.930***	.150	-.068	-.082	.183	.130	.114
As	.438	***.799***	.051	.193	-.098	.037	.030
Ba	.244	.310	-.064	.195	.003	.079	***.787***
Be	***.847***	.233	-.094	.046	.172	.003	-.144
Bi	.582	.661	-.049	-.032	-.115	-.062	-.119
Ca	-.762	.034	.512	.243	-.044	-.070	.049
Cd	-.317	.049	***.862***	.081	.115	-.074	.016
Ce	***.763***	.238	.050	-.040	-.112	.067	.497
Co	.231	***.851***	.310	.059	.108	.109	.118
Cr	-.040	***.854***	.367	.008	.261	.005	.116
Cs	***.861***	.004	.191	.036	-.134	-.039	-.203
Cu	.169	.220	.051	-.012	.056	***.904***	-.053
Fe	.331	***.902***	.089	.014	.135	.057	.121
In	.544	.438	-.064	-.042	.023	-.073	.041
K	***.901***	.081	.036	.100	.181	.035	.133
La	***.804***	.277	-.003	-.099	-.144	.096	.355
Li	***.927***	.074	-.042	.167	.010	.042	.091
Mg	.161	.265	.130	.426	.630	-.061	.089
Mn	.175	***.883***	.006	-.018	.116	.165	-.070
Mo	-.488	.629	-.225	.303	.007	.010	.157
Na	.057	.217	-.002	.025	***.885***	.115	-.077
Nb	***.837***	.346	.078	.012	.110	.051	.276
Ni	.420	.437	.633	-.036	.256	.122	.149
P	.682	.436	.376	.034	.313	-.001	.188
Pb	-.183	.409	***.714***	-.110	-.122	.299	-.076
Rb	***.956***	-.005	-.059	.076	.001	.094	.010
S	.122	-.048	-.088	***.886***	.053	-.087	.062
Sb	.459	.583	.278	-.112	.002	.097	.372
Sc	.569	***.743***	.025	-.058	.167	.085	.121
Se	-.157	***.701***	.229	.111	-.124	.266	.201
Sn	***.919***	.288	.045	-.031	.057	.035	.137
Sr	-.122	.135	.099	***.839***	.094	-.014	.024
Th	***.944***	.129	-.110	-.088	.000	.076	.166
Ti	.385	***.835***	.169	-.032	.165	.048	.168
Tl	***.931***	.072	.098	-.025	.066	.049	.069
U	***.880***	.291	-.200	.125	-.002	.141	-.039
V	.176	***.945***	.126	.025	.168	.021	.028
W	***.898***	.289	.019	-.036	.048	.116	-.058
Y	***.764***	.226	.045	-.137	-.131	.265	.293
Zn	.372	.421	***.768***	-.010	-.059	.021	-.104
Zr	***.799***	.169	.156	-.009	.121	.115	.016

۳-۴- انجام آنالیز تمایز

بر اساس مقادیر نرمال و فاقد مقادیر خارج از ردیف، آنالیز تمایز خطی بر روی تمامی متغیرهای ژئوشیمیایی انجام شده است. آنالیز تمایز در نرم‌افزار SPSS و به روش مرحله‌ای (Stepwise)انجام شده است. در روش مرحله‌ای، در هر گام، متغیری که بر اساس آزمون‌های آماری کمترین اثر را در تابع تمایز دارد تشخیص دادهشده و از مجموعه متغیرها خارج می‌گردد. بدین ترتیب از میان ۴۵ عنصر شرکت کننده در آنالیز تعداد ۱۹ عنصر که بیشترین تاثیر را در تعیین مناطق باور و عقیم دارا هستند استخراج شده‌اند. در رابطه ۶ تابع تمایز محاسبه شده به همراه ضرایب تمایز محاسبه شده برای هر یک از ۱۹ متغیر استخراج شده ارائه شده است.

D

(۷)

۳-۵- اعتبار سنجی آنالیز تمایز

خلاصه ارزیابی صحت آنالیز تمایز ارائه شده در رابطه ۶ در جداول ۳ و ۴ ارائه گردیده است. در جدول ۳ مقدار بردار ویژه حاصل از تابع تمایز فوق محاسبه شده و در ستون آخر این جدول نیز مقدار ضریب همبستگی معیار (Canonical Correlation) ارائه شده است. این ضریب معرف همبستگی پیرسن بین امتیازات تمایز محاسبه شده توسط تابع فوق و مقادیر اولیه گروه‌بندی است. مقدار بردار ویژه محاسبه شده معرف میزان واریانسی است که توسط تابع فوق بیان شده است بطوریکه مقادیر بزرگتر بردار ویژه (بیش از یک) بیانگر تابع تمایز مناسب‌تری است. ضریب همبستگی معیار نیز بیانگر همبستگی امتیازات تمایز و متغیر وابسته آنالیز است و مقادیر بزرگتر این پارامتر معرف توان بالاتر تابع تمایز است[۳۰]. در جدول ۳ مقدار محاسبه شده برای ضریب همبستگی معیار برابر ۰/۸۲۵ است و این بدین معنی است که تابع تمایز رابطه ۶ توانسته ۶۸٪ (معادل توان دوم ۰/۸۲۵) تغیرپذیری مربوط به متغیر گروه‌بندی را مدلسازی کند و ۳۲٪ (۶۸-۱۰۰) آن توسط این تابع قابل بیان نیست. این مقدار برای داده‌های بکار رفته در آنالیز با توجه به مقیاس عملیات اکتشافی، مقدار بسیار بالایی است. در جدول ۴ مقدار آماره ویلکس‌لامبدای محاسبه شده در آنالیز تمایز فوق ارائه شده که مقدار بسیار پائینی است و بیانگر توانایی بالای تابع در طبقه بندی صحیح داده‌ها است. این عدد از طرف دیگر معادل درصدی از پراش کل است که توسط این تابع تمایز نمی‌تواند بیان شود.

به منظور درک ملموس‌تر توانایی آنالیز تمایز انجام شده، هیستوگرام فراوانی مقادیر امتیاز تمایز محاسبه شده بر اساس رابطه ۶ برای ۷۸ نمونه بکار رفته در آنالیز ترسیم شده است که نتیجه حاصل در شکل ۸ نشان داده شده است. در این شکل امتیازات تمایز محاسبه شده برای نمونه‌های جامعه کانی‌سازی شده و عقیم بخوبی از یکدیگر جدا شده‌اند و میزان همپوشانی این دو بخش بسیار کم است که بیانگر قابلیت بالای آنالیز تمایز انجام شده است.

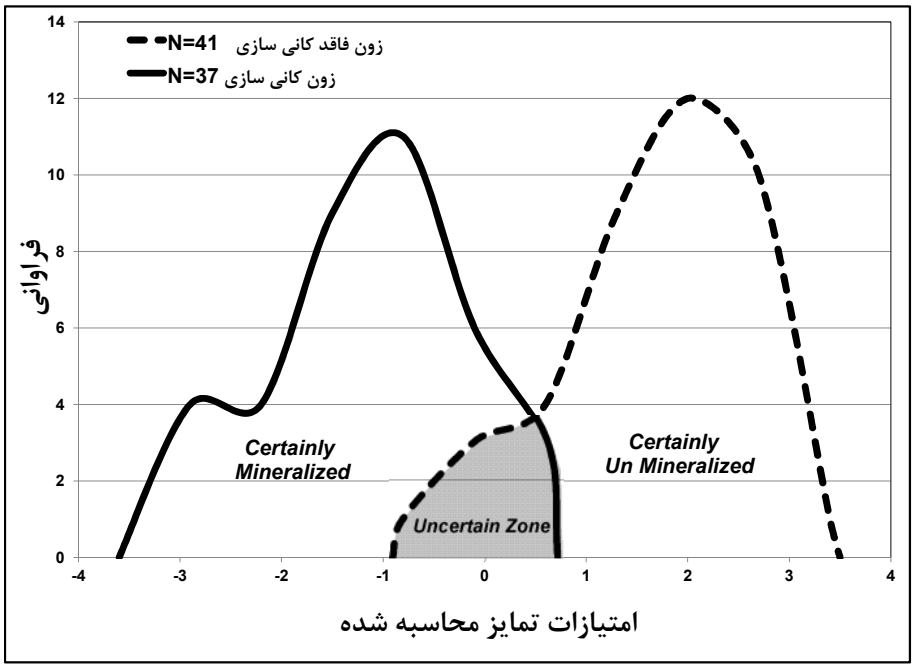
جدول۳ : مقدار بردار ویژه و ضریب همبستگی معیار محاسبه شده در آنالیز تمایز انجام شده بر اساس ۱۹ متغیر.

تابع	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی	ضریب همبستگی Canonical
1	2.137a	100.0	100.0	.825

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

جدول۴ : مقدار ویلکس‌لامبدای محاسبه شده در آنالیز تمایز انجام شده بر اساس ۱۹ متغیر.

آزمون تابع	ضریب ویلکس لامبدا	آماره کای دو	درجه آزادی	سطح اعتماد
1	.319	74.881	19	.000



شکل۸ : کلاسه‌بندی بخش کانی‌سازی و عقیم در سنگ میزبان بر اساس نمونه‌های رسوب آبراهه به روش آزمون تمایز بر اساس ۱۹ متغیر انتخاب شده از میان ۴۵ متغیر بکار رفته در آنالیز.

برای تعیین میزان دقت کلاسه بندی یا طبقه بندی دو جامعه بارور و عقیم، بر اساس تابع ارائه شده در رابطه ۶ برای هر یک از نمونه‌ها مقدار امتیاز تمایز محاسبه شده و با طبقه بندی اولیه انجام شده بر اساس شواهد موجود (رخنمون‌های کانی‌سازی، کانی‌سنگین و ...) مقایسه شده است. نتایج مقایسه در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳ : مقایسه نتایج طبقه بندی تابع تمایز محاسبه شده بر اساس ۷۸ نمونه بکار رفته در آنالیز.

ردیف	وضعیت نمونه اولیه	وضعیت طبقه بندی توسط تابع تمایز	تعداد موارد مشاهده شده
۱	نمونه متعلق به گروه عقیم است	تابع به عنوان عقیم طبقه بندی کرده	۳۷
۲	نمونه متعلق به گروه عقیم است	تابع به عنوان بارور طبقه بندی کرده	۳
۳	نمونه متعلق به گروه بارور است	تابع به عنوان بارور طبقه بندی کرده	۳۵
۴	نمونه متعلق به گروه بارور است	تابع به عنوان عقیم طبقه بندی کرده	۳
جمع کل			۷۸

بر اساس مقایسه فوق مناطق مختلف سازند گره‌دو با صحت معادل ۹۲٪ (۱۰۰ X (۳+۳) / (۳۷+۳۵)) طبقه بندی شده‌اند و تنهادر ۸ ٪ موارد طبقه بندی بدرستی انجام نمی‌شود که این بخش نیز مربوط به نقاط با پتانسیل کم کانی‌سازی است.

۳-۶- کاربرد تابع تمایز در سری نمونه‌های جدید

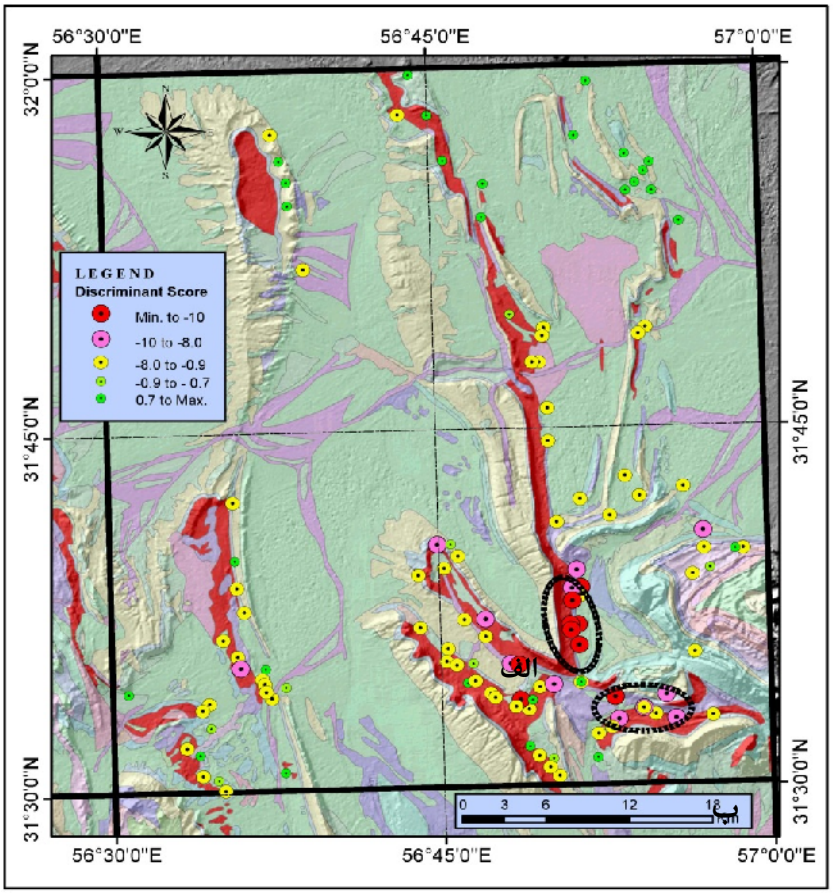
مهمترین کاربرد تابع تمایز، طبقه بندی نمونه‌های جدید در گروه‌های مورد بررسی است. بدین منظور بایستی در نمونه‌های جدید تمام پارامترهای دخیل در تابع تمایز اندازه‌گیری شده و بر اساس قرار دادن این مقادیر در تابع تمایز بدست آمده مقدار امتیاز تمایز مربوطه محاسبه شده و بر اساس آن در مورد طبقه‌بندی نمونه تصمیم‌گیری نمود. بطور مثال در اکتشاف ذخایر مس با میزبان رسوبی تیپ RB در سازند گره‌دو بر اساس تابع تمایز ارائه شده در رابطه ۶ ، یک سری نمونه در نقاط جدید که رخنمون‌های واحد سنگی سازند گره‌دو در آنها توسعه دارد برداشت می‌گردد. تمامی نمونه‌ها برای تعیین مقادیر غلظت عناصر مختلف (شامل ۱۹ عنصر بکار رفته در تابع تمایز) آنالیز می‌گردد و سپس با جای‌گذاری نتایج آنالیز در تابع تمایز و محاسبه امتیازات تمایز برای نمونه‌ها در مورد طبقه بندی نمونه‌ها در دو گروه (مناطق کانی‌سازی شده و عقیم) تصمیم‌گیری می‌گردد. بر اساس شکل شماره ۸ برای مقادیر امتیاز تمایز محاسبه شده کمتر از ۰/۹- نمونه قطعاً در گروه کانی‌سازی شده قرار می‌گیرد و برای مقادیر امتیاز تمایز محاسبه شده بیش از ۰/۷+ نمونه قطعاً در گروه فاقد کانی‌سازی طبقه بندی می‌گردد و برای مقادیر بین این دو مقدار ابهام

وجود دارد و طبقه بندی بدرستی انجام نخواهد شد.

۴- آزمون صحت عملکرد کلید اکتشافی

آزمون صحت عملکرد کلید اکتشافی تهیه شده، بر اساس داده‌های حاصل از برداشت نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای در یکی از پروژهای سازمان زمین شناسی ایران در مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ در ایران مرکزی انجام پذیرفته است. داده‌های آزمون در محدوده برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ شمشیرآباد (در شمال شرق برگه ۱:۲۵۰،۰۰۰ راور) واقع شده است که دارای رخنمون‌های زیادی از واحدهای معادل سازند گره‌دو می‌باشد. برای تمامی نمونه‌هایی که در حوضه بالادست آنها واحدهای معادل گره‌دو رخنمون دارد، مقدار تابع تمایز (رابطه ۶) محاسبه شده است. مقدار حداقل و حداکثر محاسبه شده برای تابع تمایز بر اساس داده‌های اولیه (داده‌های کل بلوک طبس- رارو) دارای دامنه ۳+ الی ۴- بوده است. در داده‌های برگه شمشیرآباد برای مناطق عقیم، مقدار تابع تمایز تا حداکثر ۸/۱۲+ و برای بخش‌های دارای شواهد کانی‌سازی این مقدار تا حداقل ۱۴-

محاسبه شده است که بیانگر پتانسیل بالای کانی‌سازی مس با میزبان رسوبی در این برگه می‌تواند باشد. در شکل ۹ محدوده برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ شمشیرآباد به همراه مرز واحدهای زمین‌شناسی نمایش داده شده است که واحدهای معادل سازند گره‌دو با رنگ قرمز در آن قابل مشاهده است. امتیازات تابع تمایز محاسبه شده برای نمونه‌های فوق نیز به صورت دوایر رنگی در شکل نشان داده شده است. دوایر سبز رنگ معرف نقاطی است که بر اساس امتیاز تمایز فاقد شواهد کانی-سازی هستند و دوایر زرد، صورتی و قرمز نقاطی هستند که بر اساس امتیاز تمایز دارای شواهد کانی‌سازی می‌باشند که به ترتیب افزایش پتانسیل کانی‌سازی از (زرد تا قرمز) در شکل مشخص شده‌اند.پس از تهیه نقشه فوق اکثر نقاطی که مقدار امتیاز تمایز برای آنها محاسبه شده است مورد بازدید صحرایی قرار گرفت بخصوص نواحی که در آن‌ها تمرکز نقاط امیدبخش بیشتر قابل مشاهده است که در جنوب شرقی برگه با خطوط نقطه چین سیاه رنگ مشخص شده‌اند.



شکل۹ : توزیع امتیاز تمایز محاسبه شده در نمونه‌های رسوب آبراهه برداشت شده در محدوده برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ شمشیرآباد، نقاط (الف) و (ب) معرف دو محدوده با چگالی بالای نقاط پرپتانسیل معرفی شده با روش آنالیز تمایز.

در تمامی حوضه‌های آبریز که با نقاط قرمز، صورتی و حتی زرد رنگ مشخص شده و مورد بازدید قرار گرفتند، شواهد

کانی‌سازی مس با شدت و ضعف مختلف مشاهده گردید و حتی در نواحی (الف) و (ب) در شکل ۹ ، آثار معدنکاری قدیمی که در آنها ترانشه و تونل حفر شده است، مشاهده گردید، در شکل ۱۰ و ۱۱ نمونه‌ای از توسعه کانی‌سازی در مناطق معرفی شده توسط آنالیز تمایز نمایش داده شده است.

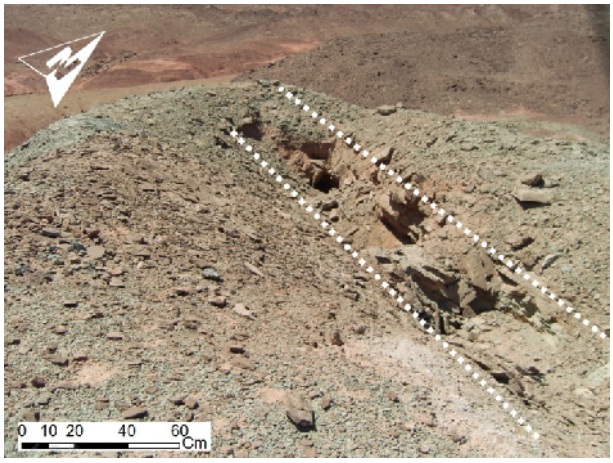
در چهارچوب بررسی‌های آکادمیک انجام شده در منطقه برای تعیین ویژگی‌های کانسارهای مس با میزبان رسوبی در این برگه در مجموع ۲۲ نقطه طی عملیات صحرایی بازدید شده است که عمدتاً در بخش جنوبی برگه شمشیرآباد قرار داشته است (مناطق شمالی به دلیل عدم راه‌های دسترسی و امنیت منطقه دارای محدودیت بوده است) که از این تعداد، ۲۰ محل بر روی نقاط کنترلی ارائه شده در شکل ۹ منطبق است. از ۲۰ نقطه مذکور تعداد شش نقطه در مناطق بسیار پرپتانسیل (نقاط قرمز و صورتی)، نه نقطه در نواحی با پتانسیل متوسط، پنج نقطه در مناطق فاقد پتانسیل واقع شده است.بررسی شواهد صحرایی در نقاط بازدید بیانگر این نکته بوده است که در مناطق بازدید شده برای نقاط کنترلی پرپتانسیل، با پتانسیل متوسط و بدون پتانسیل به ترتیب در ۱۰۰٪، ۸۸/۹٪ و ۸۰٪ موارد بدرستی طبقه بندی شده‌اند و به طور متوسط در ۹۰٪ موارد طبقه بندی بدرستی صورت گرفته است. طی بازدید صحرایی در برخی نقاط نیز آثار کانی‌سازی و حتی آثار معدنکاری در این برگه مشاهده گردید که به دلیل عدم برداشت نمونه از رسوب آبراهه در خروجی حوضه‌های آبریز آنها (طی مطالعات ۱:۱۰۰،۰۰۰)، در این نواحی امکان آزمودن تابع میسر نبوده است.

۵- نتیجه گیری

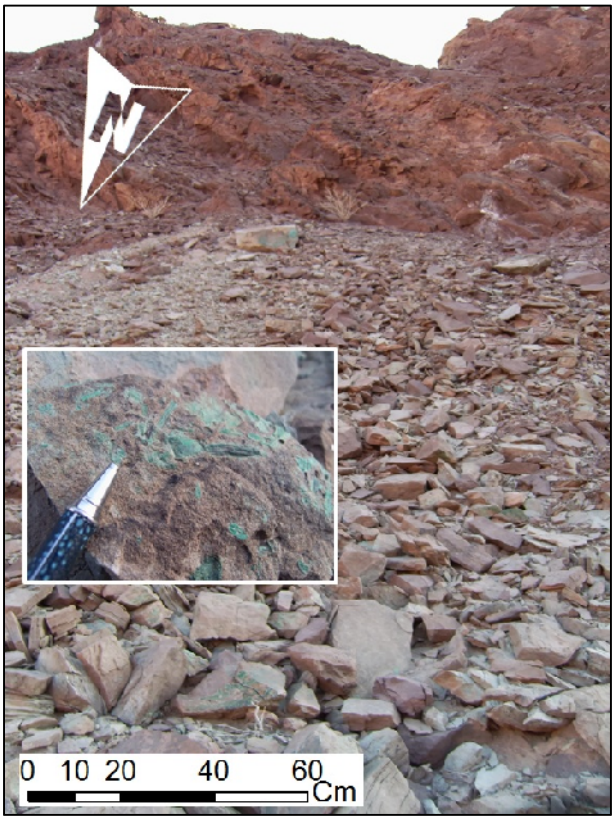
آنالیز تمایز به عنوان یک روش چند متغیره که دارای توانایی قرار دادن نمونه‌های جدید در جوامع مشخص و معلوم از قبل تعیین شده است، می‌تواند یک ابزار مفید در اکتشاف مواد معدنی باشد. در پروژه‌های اکتشافی، بخصوص در اکتشافات کوچک مقیاس که ریسک اکتشافی بالاتر است، هدف تعیین مناطق امید بخش با حداقل هزینه ممکن است. در این میان اگر بتوان از ابزاری برای تعیین حوضه‌ها و نواحی امیدبخش استفاده نمود، از برداشت نمونـه‌های اضافی و اتلاف هزینه جلـــوگیری شده و می‌توان مناطق وسیع‌تری را تحت پوشش عملیات اکتشافی برد. لذا روش آنالیز تمـایز می‌تواند به عنوان یک ابـــزار مفید در بهینه‌سازی عملیات اکتشافی و شناسایی انواع کانی‌سازی بکار گرفته شود.

۶- تقدیر و تشکر

از شرکت صنایع ملی مس ایران که بخشی از هزینه این پژوهش را در قالب انجام رساله دکتری بر عهده داشته‌اند و همچنین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به جهت تأمین برخی از داده‌ها و اطلاعات بکار رفته در این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.



شکل ۱۰: آثار کانی‌سازی و حفریات معدنی قدیمی مشاهده شده در محدوده پرپتانسیل معرفی شده توسط روش آنالیز تمایز در جنوب شرقی برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ شمشیرآباد (در محل نقطه الفدر شکل شماره ۹)، خطوط نقطه چین معرف امتداد افق احیایی حاوی کانی‌سازی مس می‌باشد.



شکل۱۱: آثار کانی‌سازی و حفریات معدنی قدیمی مشاهده شده در محدوده پرپتانسیل معرفی شده توسط روش آنالیز تمایز در جنوب شرقی برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ شمشیرآباد (در محل نقطه بدر شکل شماره ۹).

۷- مراجع

[۱]آقانباتی، سیدعلی؛ (۱۳۷۷)، **چینه‌شناسی ژوراسیک ایران**، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.

[۲] آقانباتی، سیدعلی؛ (۱۳۸۳)، **زمین‌شناسی ایران**، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

[۳]سید امامی، کاظم؛ فورزیش، فرانتس؛ ویلمسن، مارکوس؛ (۱۳۸۴)، **"یافته‌های تازه پیرامون سیستم ژوراسیک در شمال بلوک طبس (خاور ایران مرکزی)"**، فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۷، ص ۵۸ تا ۹۷.

[۴]حسنی‌پاک، علی اصغر؛ (۱۳۸۰)،**تحلیل داده‌های اکتشافی**، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

[۵] حسنی‌پاک، علی اصغر؛ (۱۳۸۵)،**طراحی پروژه‌های اکتشافی (ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و حفاری)**، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

[۶]حسنی‌پاک، علی اصغر؛ هندی، رامین؛ (۱۳۹۰)، **"مدل اکتشافی کانسارهای مس بامیزبان رسوبی"**، فصلنامه سنگ و معدن، شماره ۱۹-۱۸، صفحه ۲۳-۲۸.

[۷] منصورفر، کریم؛ (۱۳۸۵)، **روشهای پیشرفته آماری همراه با برنامه‌های کامپیوتری**، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

[۸] مهدوی، امیر؛ (۱۳۸۶)، **"کانی‌شناسی و ساخت و بافت افق‌های کانه‌دار کانسار مس رسوبی مارکشه (Redbed Type) در شمال غرب راور"**، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ، بیست و شمین گردهمایی علوم زمین.

[۹] هندی، رامین؛ (۱۳۹۱)، **معرفی ویژگی ژئوشیمیایی ذخایر مس با میزبان رسوبی در حوضه رسوبی راور-طبس به همراه تعیین منشاء سنگ درونگیر احتمالی این ذخایر**، سمینار تخصصی کانه‌زایی مس در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

[10] Alpaydin, E.; 2004, *Introductıon to Machine Learning (Fisher's Linear Discriminant)* ,http://www.cmpe.boun.edu.tr/~ethem/i2ml, pp 1-21.

[11] Cooley, W.W. and P. R. Lohnes; 1971; *Multivariate Data Analysis*, John Wiley & Sons Inc.

[12] Cox et al.; 2003, *Sediment-Hosted Copper Deposits of the World: Deposit Models and Database*, http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of03-107/, pp 1-50

[13] Dillon, W. R. and Goldstein, M.; 1984,*Multivariate Analysis Methods and*

*Applications,*New York, Chichester, Toronto, Brisbane, Singapore, Wiley.
[14] Fisher, R. A.;1936, *The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems*, Annals of Eugenics.
[15] Wei-Yin Loh, NuntaVanichsetakul; 1988; "*Tree-structured classification via generalized discriminantanalysis"*, Journal of the American Statistical
Association , Volume 83, Issue 403, pp 715-725
[16] George H. Dunteman; 1984; *Introduction to multivariate analysis*, Thousand Oaks CA: Sage Publications.
[17] Hitzman M, Kirkham R, Broughton D, Thorson J., Selly D; 2005, " *The sedimenthostedstratiform copper ore system"*, Society of Economic Geologists, pp 609–642
[18] Klecka, William R.; 1980; *Discriminant Analysis (Quantitative Applications in the Social Sciences Series* , No. 19, Thousand Oaks CA: Sage Publications.
[19] Lachenbruch, P. A.; 1975; *Discriminant Analysis*, Hafner.
[20]Mahalanobis, P. C.; 1936, *"On the generalised distance in statistics"*, *Proceedings of the National Institute of Sciences of India* 2, 49–55.
[21] Melissa, A.; 2009, "*Data Analysis and Modelingfor Engineering and Medical Applications*", M.S. Thesis, National University of Singapore.
[22] Mitchell, Clive; Benham, Antony (2008).*"Afghanistan revival and redevelopment"*(pdf).Industrial minerals.
[23] Morrison, D.F.; 1967; *Multivariate Statistical Methods*, McGraw-Hill: New York.
[24] Overall, J.E. and C.J. Klett.; 1972; *Applied Multivariate Analysis*, McGraw-Hill New York.
[25] J. Poulsen and Aaron French;2011 ; *Discriminant FunctionAnalysis (DA),* www.sfsu.edu/~efc /lasses/biol710/discrim.pdf, p 1-7.
[26] Press, S. J.; S. Wilson; 1978; "*Choosing between logistic regression and discriminant analysis"*, Journal of the American Statistical Association, Vol. 73, 699-705.
[27] Ruttner, A.;Nabavi, M.H.; Hajian, J.(1968b), "*Geology of the Shirgesht area (Tabasarea,East Iran)*", G.S. of Iran, No. 4, p133.
[28]Sharma, S.;1996,*Applied Multivariate Techniques*, Willey and Son, Newyork.
[29] Selley, D. etal. ; 2005, "*A New Look at the Geology of the Zambian Copperbelt*", Society of Economic Geologists Inc., 100th Anniversary Volume.
[30] SPSS User Manual; (2005),*"SPSS – Chapter 6 DiscriminantAnalyses"*,http://www.cs.uu.nl/docs/vakken/arm/SPSS/spss6.pdf , pp 1- 3
[31] SAGE; (2011), *"Discriminant Analysis", Chapter 25*,http://www.uk.sagepub.com/burns/website%20material/Chapter%2025%20-%20Discriminant%20Analysis .pdf, pp.589-608
[32] Tabachnick, B.G.; L.S. Fidell; 1996; *Using Multivariate Statistics*, Harper Collins College Publishers, New York.
[33] Wilmsen et al.; 2009, "*An overview of the stratigraphy and facies development of the Jurassic System on the Tabas Block, east-central Iran*", The Geological Society, London, Special Publications, pp 323-343

زیرنویس‌ها

[1]Kernel method
[2]Nearest neighbor method
[3]Linear Discriminant Analysis (LDA)
[4] Reduce Facies (RF)
[5] Red bed Facies (RB)
[6]RevetteFacies (RV)