تعيين تركيب مناسبي از عناصر ژئوشيميايي براي جداسازي واحدهاي سنگ‌شناسي حوضه پخش سيلاب پلدشت

شاهرخ حكيم‌خاني*[۱]، حسن احمدي[۲]، جعفر غيوميان[۳]، سادات فيض‌نيا[۴] و محمدرضا بي‌همتا[۵]
[۱] استاديار دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه اروميه، ايران
[۲] استاد گروه احياء مناطق خشک و كوهستاني، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران
[۳] دانشيار پژوهشي فقيد مركز تحقيقات حفاظت خاك و آبخيزداري، ايران
[۴] استاد گروه احياء مناطق خشک و كوهستاني، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران
[۵] استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشكده علوم زراعي و دامي، دانشگاه تهران، ايران
(تاريخ دريافت: ٨۴/٧/١٩، تاريخ تصويب:٨۵/٣/٢٩)

چكيده

به دليل وجود مشكلات زياد در كاربرد روش‌هاي سنتي، روش انگشت‌نگاري يا ردیابي يا به‌طور ساده‌تر منشأيابي كه بر استفاده از خصوصيات فيزيكي، ژئوشيميايي و آلي رسوب و منابع رسوب متكي است، به عنوان روشي جايگزين و مناسب براي تعيين منابع اصلي رسوب و اهميت نسبي آنها مورد توجه محققان قرار گرفته است. اولين مرحله روش يادشده، انتخاب تركيبي از ويژگي‌هاي متمايز كننده است كه منابع رسوب را به‌طور دقيق و واضح جدا كنند. در اين تحقيق، سعي شده است تركيبي مناسب از عناصر ژئوشيميايي كه قادر به جداسازي واحدهاي سنگ‌شناسي باشند، در يكي از زيرحوضه‌هاي حوضه ايستگاه پخش سيلاب پلدشت واقع در شهرستان ماكو استان آذربايجان غربي تعيين شود. با تهيه نقشه سنگ‌شناسي، واحدهاي سنگ‌شناسي حوضه به‌عنوان منابع رسوب در پنج گروه طبقه‌بندي شدند. نمونه‌هاي معرف تغييرات هر يک از گروه‌هاي سنگ‌شناسي شامل تغييرات كاربري، فرسايش‌هاي زير سطحي و شيب، در مجموع به تعداد ١٠۶ نمونه برداشته شد. با جدا كردن نمونه‌هاي كوچك‌تر از ۶٣ ميكرون، غلظت ١٨ عنصر ژئوشيميايي براي بخش ياد شده اندازه‌گيري شد. در ادامه، بعد از اطمينان از نبود داده‌هاي پرت و تاثيركم عدم برقراري فرض‌هاي نرمال و برابري ماتريس‌هاي كواريانس بر نتايج، براي انتخاب تركيب مناسب از روش تحليل تشخيص استفاده شد. براي حذف تاثير مسئله هم‌خطي بر نتايج تحليل تشخيص، تركيبي از عناصر طوري انتخاب شد كه علاوه بر داشتن كمترين هم‌خطي، بيشترين درصد طبقه‌بندي صحيح يا توان جداسازي را داشته باشد. تركيب به‌دست آمده شامل ١٢ عنصر از عناصر ياد شده (Co، Cr، Cu، Ni، Pb، Sb، Zn، Al، Mn، K، Na و Mg) است كه حدود ٨٧/٧ درصد نمونه‌هاي خاک را درست طبقه‌بندي مي‌كند. در ضمن ١٨ عنصر مورد بررسي از نظر توان جداسازي واحدهاي سنگ-شناسي رتبه‌بندي شدند كه از ميان آنها عنصر Ni، مهم‌ترين و دو عنصر As و Sr كم‌اهميت‌ترين هستند.

واژه‌هاي كليدي: عناصر ژئوشيميايي، منابع رسوب، واحدهاي سنگ‌شناسي، پلدشت، تحليل تشخيص و منشأيابي

نويسنده مسئول: تلفن: ٠٩١۴-۴١٧٢٠١٩ فاكس: ٠۴۴١-٢٧٧٠۴٨٩ Email: Hakimkhani@yahoo.com

مقدمه

لازمه اجراي برنامه‌هاي حفاظت خـاك و كنتـرل رسـوب، كسب اطلاعات از اهميت نسبي منابع رسوب و سهم آنها در توليد رسوب و در نتيجه شناسايي مناطق بحراني در داخـل آبخيز است. از اطلاعات در زمينه منابع رسوب مـي‌تـوان در تهيه بيلان رسوب آبخيـز و در نتيجـه، شناسـايي سيسـتم ايجاد رسوب، حمل و رسوبگذاري (۳۳)، ارزيابي مـدل‌هـاي فرسايش و توليـد رسـوب (۲۵) و تفسـير داده‌هـاي توليـد رسوب برحسب عوامل اقليم و فيزيوگرافي و مقدار و توزيـع مكاني فرسايش و الگوي شكل‌گيري سطح زمين (۲۰) نيـز اسـتفاده كـرد. از روش‌هـاي سـنتي جمـع‌آوري اطلاعـات يادشده در زمينـه منـابع رسـوب، مـي‌تـوان بـه پـين‌هـا و پلات‌هاي فرسايشي، بررسي‌هاي چشـمي منـابع رسـوب از طريق عكس‌ها و مشاهدات صحرايي (۹) و اندازه‌گيـري بـار رسوبي در انتهاي زيرحوزه‌هاي آبخيـز اصـلي بـراي تعيـين اهميت نسبي آنهـا در توليـد رسـوب (۲۹) اشـاره‌كـرد. امـا كاربرد اين روش‌ها، به‌طور معمول با مشكلات نمونـه‌گيـري مكاني و زماني و تنگناهاي اجرايي مواجه اسـت و بعضـي از آنها به زمان و هزينه زيادي نياز دارند (۷ و ۱۶).

به دليل وجـود مشـكلات يـادشـده در كـاربرد روش‌هـاي سنتي، روش انگشت‌نگاري يا رديابي[۱] يـا بـه‌طـور سـاده‌تـر، منشأيابي كه بر استفاده از ويژگي‌هاي رسوب متكـي اسـت، به عنوان روشي جايگزين و مناسب براي تعيين منابع اصلي رسوب و اهميت نسبي آنها مورد توجه محققان قرار گرفتـه است (۲۰، ۷ و ۳۰). در طول بيش از دو دهـه گذشـته و از زمان نخستين پژوهش‌ها، مانند تحقيقـات وال و ويلـدينگ (۲۷)، اولدفيلد و همكاران (۱۸) و والينگ و همكاران (۳۲) كارايي روش منشأيابي يا انگشت‌نگـاري بـه عنـوان روشـي موفق و مؤثر براي تعيين منـابع رسـوب بـه اثبـات رسـيده است. در اين روش از ويژگي‌هـاي فيزيكـي، ژئوشـيميايي و آلي رسوب براي تعيين منابع رسوب و اهميت آنها اسـتفاده مي‌شود. در اين روش فرض بر اين است كه منـابع مختلـف رسوب با استفاده از ويژگي‌هاي شيميايي، فيزيكي و آلي از هم تفكيک مي‌شوند. به‌طـور كلـي روش منشـأيابي رسـوب شامل دو مرحله است. مرحله اول شامل انتخاب يك يا چند ويژگي متمايزكننده است كه بر اين اساس مي‌تـوان منـابع رسوب را به‌طور دقيـق و واضـح جـدا كـرد. در مرحلـه دوم نمونه‌هاي خاك منابع رسوب و نمونه‌هاي رسـوب (در حـال انتقال يا نهشته شده) با استفاده از ايـن ويژگـي‌هـاي بـراي تعيين سهم و اهميت منابع رسوب مقايسه مـي‌شـود. روش يادشده در تعيين سهم و اهميت نسبي نوع منابع رسوب از جمله انواع كاربري‌ها، فرسايش‌هاي سـطحي و زيـرسـطحي (مانند رودخانه‌اي و خندقي) (۲۶)، منـابع مكـاني از جملـه واحدهاي سنگ‌شناسـي (۳۱) يـا زيـرحوضـه‌هـا (۴ و ۳) و تركيبي از تمام منابع (۳۱) موفقيت‌هاي زيادي داشته است.

پژوهش‌هاي اوليه در مورد منشأيابي رسوبات بر بررسـي و تفسير يك ويژگي منفرد متكي بود، ولي در سال‌هاي اخير، با پي بردن به‌اين مسئله كه استفاده از يك ويژگي بويژه در مواردي كه بيش از دو منبـع رسـوب وجـود داشـته باشـد، ممكن است نتايج غيـرواقعـي و گمـراه‌كننـده بدهـد، روش منشأيابي يا انگشت نگاري مركب پيشنهاد شده است كه بر استفاده از تركيبـي از ويژگـي‌هـا در منشـأيابي تأكيـد دارد (۳۵، ۲۰ و ۳۰). تركيبي از خصوصيات يك گروه يا تركيبي از خصوصيات دو يا چند گروه، دقت نتـايج منشـأيابي را تـا حد زيادي افزايش دهد. همزمان با اين پيشرفت، روش‌هاي كمي نيز توسعه يافته است. امروزه، از ميان روش‌هاي كمي، بررسي آماري توانايي ويژگي‌هـاي منشـأياب مـورد نظـر در تفكيـك منـابع رسـوب و اسـتفاده از مـدل‌هـاي تركيبـي چندمتغيره براي تعيين سهم نسبي هر يك از منابع بيش از ديگـــر روش‌هـــا مـــورد توجـــه اســـت (۳۱، ۸ و ۱۹). در پـژوهش‌هـاي امـروزي از روش منشـأيابي مركـب و كمـي استفاده مي‌شود. به‌اين نحو كه ابتدا تركيبي از ويژگي‌هـاي منشأياب انتخاب شـده و سـپس بـا اسـتفاده از روش‌هـاي

۱- Fingerprinting techniques

آماري، تركيبي بهينه از تركيب اوليه كه قادر به جداسازي دقيق منابع رسوب باشند، استخراج مي‌شود. در پايان اين ويژگي‌ها براي تعيين سهم نسبي هر يك از منابع رسوب با استفاده از مدل‌هاي تركيبي چندمتغيره به‌كار برده مي‌شوند. تاكنون اطلاعات كافي در مورد ويژگي متمايزي از ويژگي‌هاي هر يك از گروه‌ها، تركيبي از ويژگي‌هاي يك گروه يا تركيبي از گروه‌هاي مختلف كه به عنوان منشأياب قابليت كاربرد جهاني داشته باشند، بدست نيامده است (١٠ و ٩) و اين مسئله يكي از مشكلات اصلي تحقيقات جديد در مورد منشأيابي رسوب است. بنابراين در پژوهش‌هاي جديد، اولين و مهم‌ترين مسئله تعيين ويژگي‌هاي مناسب است.

تاكنون ويژگي‌هايي چون كاني‌شناسي (١٢، ٢٧ و ٣)، رنگ خاک و رسوب (١٣)، ويژگي‌هاي مغناطيسي (١٨، ٣۵ و ٢۶)، عناصر ژئوشيميايي (٢٧،١١، ٩، ٢ و ١)، موادآلي (٢٠)، عناصر راديواكتيو (٢٩ و ٢٨) و اندازه ذرات (٢٣) در منشأيابي رسوبات به‌كار رفته‌اند. از ميان ويژگي‌هاي ياد شده، عناصر ژئوشيميايي منعكس‌كننده و شاخص منابع مكاني از جمله واحدهاي سنگ‌شناسي هستند (٣۴) و در بسياري از پژوهش‌ها (١١، ٨ و ٩) كارايي آن در تفكيک و جداسازي واحدهاي سنگ‌شناسي به اثبات رسيده است. بنابراين از عناصر ياد شده مي‌توان براي منشأيابي و تعيين سهم واحدهاي سنگ‌شناسي در رسوبدهي استفاده كرد. ولي آنچه بايد به آن توجه شود اين است كه تعداد عناصر يادشده خيلي زياد است و همه آنها داراي توان جداسازي نيستند و براي استفاده در تعيين سهم منابع بايد تعداد آنها كاهش يابد. در ضمن اندازه‌گيري تمام آنها براي هر پژوهشي توجيه مالي ندارد. ازاين‌رو بايد در قالب طرح‌هاي تحقيقاتي، تركيبي مناسب از عناصر ژئوشيميايي كه قادر به جداسازي واحدهاي سنگ‌شناسي باشند تعيين شود تا در پژوهش‌هاي بعدي براي حوضه‌هايي با واحدهاي سنگ‌شناسي مشابه مورد استفاده قرار گيرد. در اين تحقيق، سعي شده است تركيبي مناسب از عناصر ژئوشيميايي كه قادر به جداسازي واحدهاي سنگ‌شناسي در يكي از زيرحوضه‌هاي حوضه ايستگاه پخش سيلاب پلدشت واقع در شهرستان ماكو در استان آذربايجان غربي هستند، تعيين شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات حوضه مورد بررسي و سنگ‌شناسي آن

منطقه مورد بررسي از حوزه‌هاي آبخيز مشرف به سد ارس و در جنوب بخش پلدشت از توابع شهرستان ماكو در استان آذربايجان غربي قرار دارد. اين حوضه يكي از دو زيرحوضه ايستگاه پخش سيلاب پلدشت است و در محدوده ″٢۴,′۴٧,°۴۴ تا ″۵١,′۵٩,°۴۴ طول شرقي ″٢١,′٠٠,°٣٩ تا ″٢٧,′١١,°٣٩ عرض شمالي واقع شده است. مساحت حوزه، حدود ٩٧ كيلومتر مربع است. كاربري‌هاي موجود در منطقه شامل مرتع، كشت ديم و آبي و باغ است. متوسط بارندگي سالانه منطقه، ٢٢٣ ميليمتر است. مشخصات سنگ‌شناسي در جدول ١ آورده شده است. بعضي از واحدهاي سنگ‌شناسي با توجه به شباهت زياد و مساحت خيلي كم در هم ادغام شده‌اند. در اين زمينه، واحدهاي Q_f، Q_{al} و Q_t با نام رسوبات كواترنري و واحدهاي t (تراورتن)، OMq^2 (آهک) و UT (آهك و دولوميت) با نام واحد آهک و دولوميت در هم ادغام شدند. بنابراين واحدهاي سنگ‌شناسي حوضه در پنج گروه به نام‌هاي آهك و دولوميت (گروه يک)، شيل و اسليت (گروه دو)، كنگلومرا (گروه سه)، مارن (گروه چهار) و رسوبات كواترنري (گروه پنج) طبقه‌بندي شدند. شكل ١ نقشه سنگ‌شناسي حوضه را براساس طبقه‌بندي يادشده نشان مي‌دهد. پايه نقشه حاصل، نقشه زمين‌شناسي حوضه‌هاي مشرف به سد ارس (كه در مقياس ١:۵٠٠٠٠ تهيه شده) بوده و با استفاده از تصاوير ماهواره‌اي ETM^+، عكس‌هاي هوايي و بازديدهاي صحرايي اصلاح شده است.

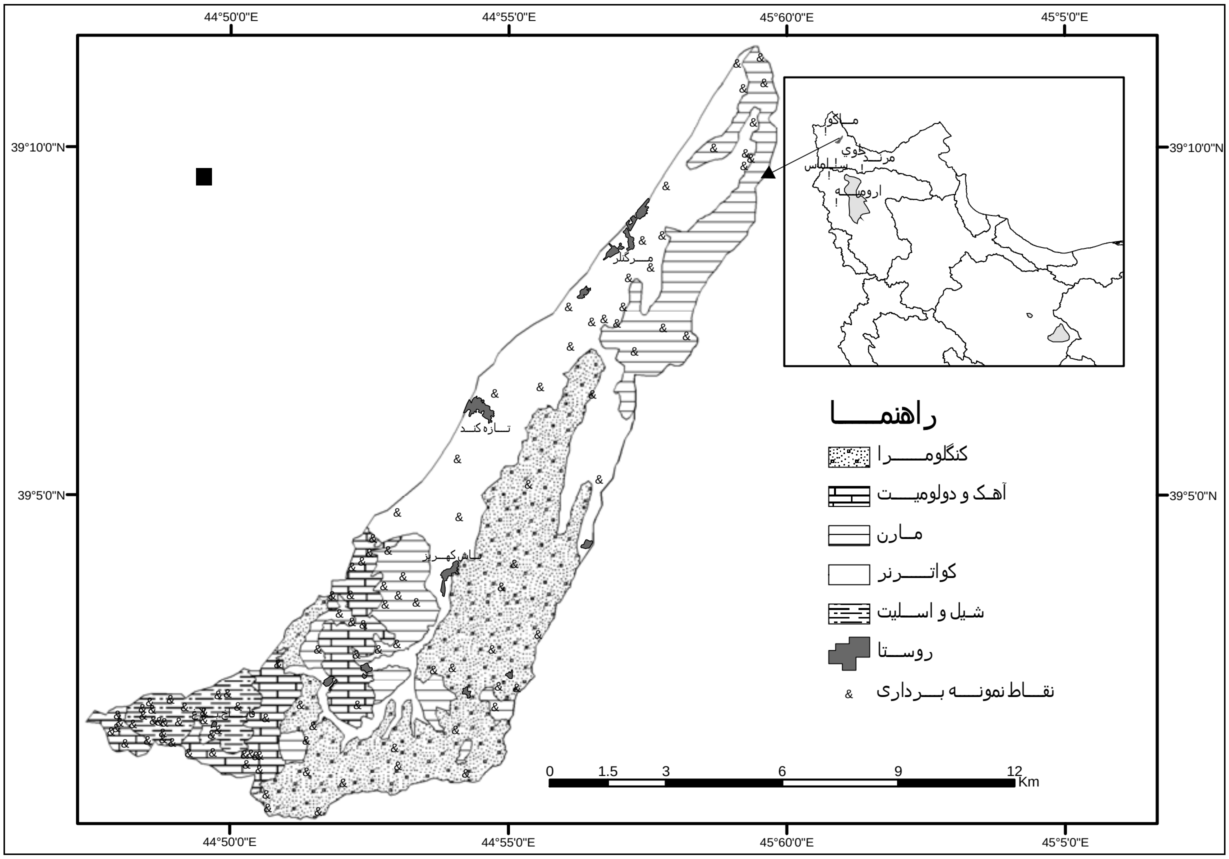
نمونه‌برداري و تجزيه آزمايشگاهي

نمونه‌هاي معرف خاک از تغييرات هر یک از گروه‌هاي سنگ‌شناسي شامل تغييرات کاربري، فرسايش‌هاي زيرسطحي (آبراهه، خندق و رودخانه) و شيب برداشته شد. تعداد نمونه‌ها از هر یک از گروه‌ها، ۲۱ عدد (به غير از واحد شيل و اسليت که ۲۲ نمونه گرفته شد) و مجموع نمونه‌ها ۱۰۶ عدد است. پراکنش نقاط نمونه‌برداري در شکل ۱ مشاهده مي‌شود. نمونه‌هاي خاك سطحي از عمق ۲-۰ سانتيمتري و در صورت وجود فرسايش خندقي، آبراه‌هاي و رودخانه‌اي، از کناره‌هاي در حال فرسايش به مقدار کافي (حدود دو کيلوگرم) و به‌وسيله يك بيلچه استيل برداشت شد. براي جلوگيري از مخلوط شدن نمونه‌ها، بيلچه استيل بعد از هر بار نمونه‌برداري تميز شد. نمونه‌هاي گرفته شده از واحدهاي کاري معرف فرسايش نيز هستند. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمايشگاه در هواي آزاد و دماي اتاق خشك شدند (براي جلوگيري از تغييرات شيميايي احتمالي که ممکن است در دماي بيشتر اتفاق بيفتد). سپس براي شکستن خاکدانه‌هاي احتمالي نمونه‌ها از يك هاون استفاده شد. در پايان براي جدا کردن نمونه‌هاي کوچك‌تر از ٦٣ ميکرون از الك مخصوص اين کار استفاده شد و اين بخش براي اندازه‌گيري ردياب‌هاي انتخابي در مرحله بعد به کار رفت. علت استفاده از اين بخش، اهميت زياد رسوبات ريزدانه در جذب و حمل قسمت اعظم عناصر ردياب است.

در اين تحقيق، ۱۸ عنصر ژئوشيميايي شامل As، Cd، Co، Cr، Cu، Ni، Pb، Sb، Sn، Sr، Zn، Fe، Al، Mn، K، Na، Ca و Mg که در پژوهش‌هاي گذشته به عنوان ردياب مورد استفاده قرار گرفته‌اند انتخاب شدند. روش تجزيه آزمايشگاهي و تعيين غلظت عناصر ياد شده ترکيبي از دو روش ICP- MS و ICP- AES بود و استخراج عصاره توسط چهار اسيد (HF، HNO_3، $HCLO_3$ و HCL) انجام شد.

جدول ۱- سنگ‌شناسي منطقه مورد بررسي

دوران زمين‌شناسي	دوره	واحد چينه شناسي	سنگ‌شناسي	درصد نسبت به سطح حوضه
سوم	کواترنر	Q_{al}	رسوبات رودخانه‌اي جديد	۰/۵۱
		Q_f	مخروط افکنه‌هاي جديد	۴/۱۴
		Q_t	تراس‌هاي آبرفتي قديم	۲۸/۲۵
		t	تراورتن	۰/۱۳
		QPL	کنگلومرا	۳۲/۴۵
	ترشيري (اوليگو- ميوسن)	OMs	مارن	۱۹/۲۹
		OMq^2	آهك	۲/۵
دوم	ترياس	UT	آهك و دولوميت	۸/۲
		LT	شيل و اسليت	۴/۵۲



شكل ١- نقشه سنگ‌شناسي حوضه و موقعيت نقاط نمونه‌برداري

تحليل تشخيص

روش‌هاي مختلفي از جمله شبكه عصبي، نزديك‌ترين همسايه، درخت تصميم‌گيري رگرسيون لوجستيك و تحليل تشخيص براي طبقه‌بندي مورد استفاده قرار مي‌گيرند كه هر كدام محدوديت‌ها و محاسني دارند (١۵). از ميان روش‌هاي يادشده، تحليل تشخيص بيشترين كاربرد را دارد (١٧). مزيت ديگر روش ياد شده، استفاده از آن در تعيين تركيب مناسبي از متغيرهاي متمايزكننده گروه‌ها است و در منشأيابي رسوبات آبي نيز تاكنون تنها از اين روش استفاده شده است (٣٠).

تحليل تشخيص عبارت است از به‌دست آوردن یک يا چند تركيب خطي از متغيرهاي مستقل كه بتوانند تعدادي از گروه‌هاي از پيش تعيين‌شده را از هم تفكيك كنند. تفكيك گروه‌ها با دادن وزن‌هاي مناسب به هر يك از متغيرها بر اساس حداكثر كردن واريانس بين‌گروهي نسبت به واريانس درون‌گروهي انجام مي‌شود. تركيب خطي در تحليل تشخيص كه به تابع تشخيص نيز معروف است، از معادله زير بدست مي‌آيد:

$$Z_{jk}= a + W_1X_{lk} + W_2X_{2k} + \dots +W_nX_{nk} \quad (١)$$

در اين رابطه، Z_{jk}؛ نمره Z تابع تشخيص j ام براي شي (فرد، مشاهده، مورد...) k ام؛ a عرض از مبدا؛ W_i؛ وزن متغير مستقل i ام و X_{ik} متغير مستقل i ام براي شي k ام است. در اين روش متغير وابسته (گروه‌ها) غيرمتريك (اسمي‌يا طبقه‌اي) و متغيرهاي مستقل متريك هستند. اين روش هنگامي‌كه دو گروه مورد نظر باشد، به تحليل تشخيص دوگروهي و هرگاه بيش از دو گروه مورد بررسي

قرار گيرد، به تحليل تشخيص چندگانه معروف است. تعداد توابع ممكن است مساوي با (NG-1) تابع باشد (NG برابر با تعداد گروه است). دو روش براي محاسبه و تعيين توابع تشخيص يعني روش‌هاي همزمان و گام به گام به كار مي‌روند. برآورد همزمان شامل محاسبه تابع تشخيص است، به‌طوري‌كه تمام متغيرهاي مستقل همزمان وارد مدل مي‌شوند. در روش گام به گام، تركيبي از متغيرهاي مستقل كه توان جداسازي بيشتري دارند، در مدل وارد شده و متغيرهاي زايد حذف مي‌شوند. بنابراين يكي از مهم‌ترين كاربردهاي اصلي روش تحليل تشخيص علاوه بر طبقه‌بندي صحيح مشاهدات در گروه‌هاي از پيش تعيين‌شده، تعيين تركيبي از متغيرها با بيشترين توان تفكيك و جداسازي گروه‌هاست. علاقه‌مندان براي مطالعه بيشتر مي‌توانند به منابع هاير و همكاران (۱۴) و تاباكنيك و فيدل l (۲۴) مراجعه كنند.

در اين تحقيق براي محاسبه و تعيين توابع تشخيص از روش گام به گام و براي انتخاب متغيرهاي مستقل از روش مربع فاصله ماهالانوبيس استفاده شد. سطح معني‌داري آماره F براي ورود و حذف متغير نيز به ترتيب برابر با ۰/۰۵ و ۰/۱ در نظر گرفته شد. براي نشان دادن توان جداسازي يا طبقه‌بندي تحليل تشخيص، معني‌داري توابع، اختلاف گروه‌ها و درصد طبقه‌بندي صحيح[1] بررسي شد. درصد طبقه‌بندي صحيح مهم‌ترين معيار بررسي توان طبقه‌بندي تحليل تشخيص است كه براي تعيين آن از ماتريس طبقه‌بندي و براي تعيين سطح قابل قبول آن، از معيارهاي مبتني بر شانس استفاده شد. شانس، درصدي است كه آن را به طور صحيح مي‌توان بدون كمك تابع تشخيص و با استفاده از شانس طبقه‌بندي كرد. با توجه به‌اينكه در اين تحقيق تعداد نمونه‌ها در گروه‌هاي مختلف تقريبا برابر هستند، معيارهاي شانس مورد استفاده شامل شانس برابر (با تقسيم تعداد نمونه‌ها در هر طبقه بر تعداد كل نمونه‌ها، در حالتي كه تعداد نمونه‌ها در گروه‌هاي مختلف برابر باشند)، درصد شانس به اضافه ۰/۲۵ آن و آماره Press's Q هستند. اگر مقدار محاسبه شده آماره Q Press's بزرگ‌تر از مقدار بحراني (مقدار كاي اسكوير با درجه آزادي يك در سطح اعتماد مورد نظر) باشد، ماتريس طبقه‌بندي بهتر از شانس فرض خواهد شد. آماره **Q** از معادله زير محاسبه مي‌شود:

$$press's\,Q = \frac{[N-(nK)]^2}{N(K-1)} \qquad (۲)$$

در اين معادله،N تعداد نمونه؛ n تعداد مشاهدات درست طبقه‌بندي شده و K تعداد گروه‌هاست.

براي بررسي بيشتر توان توابع تشخيص بدست آمده در جداسازي گروه‌ها و همپوشاني احتمالي، نمودار پراكنش تابع يک در مقابل تابع ۲ به‌كار رفت. در ضمن به منظور ارزيابي نتايج تحليل تشخيص از روش ارزيابي متقابل استفاده شد. در اين تحقيق براي تعيين اهميت نسبي هر يك از متغيرها و تعيين مهم‌ترين آنها از روش‌هاي F يک‌متغيره، ضرايب ساختاري تشخيص[2] و شاخص قدرت[3] استفاده شد. شاخص قدرت، معياري نسبي در ميان تمام متغيرهاي مستقل است كه بيانگر قدرت تفكيك كلي هر يك از آنهاست. شاخص يادشده در دو مرحله محاسبه مي‌شود. در مرحله اول، قدرت تفكيك يك متغير در يک تابع به‌صورت زير به‌دست مي‌آيد:

(۳) ريشه پنهان نسبي تابع j ام *^{2}(ضريب ساختاري متغير i ام درتابع j ام) = مقدار قدرت متغير i ام در تابع j ام

(۴) (مجموع ريشه‌هاي پنهان تمام توابع معني‌دار)/ (ريشه پنهان تابع j ام) = ريشه پنهان نسبي تابع j ام

۱- Hit ratio

۲- Discriminant loadings

۳- Potency index

در مرحله دوم، شاخص قدرت مركب بـه‌صـورت مجمـوع مقادير قدرت متغير مورد نظر در بين تمام توابـع تشـخيص معني‌دار محاسبه مي‌شود.

قبل از پرداختن به تحليل تشخيص، براي بررسي توان هر يـک از عناصـر در جداسـازي واحـدهاي سـنگ‌شناسـي، از آزمـون تجزيـه واريـانس يكطرفـه و آزمـون غيرپـارامتري Kruskal – Wallis استفاده شد.

فرض‌هاي تحليل تشخيص

بهتر است براي كاربرد صحيح تحليـل تشـخيص، شـرايط معيني برقرار باشد. فرض‌هاي اصلي روش تحليل تشـخيص شامل فرض‌هاي نرمال چندمتغيـره، برابـري مـاتريس‌هـاي كواريانس و نبود هـم‌خطـي چندگانـه قـوي بـين متغيرهـا هستند. شواهدي از حساسيت تحليل تشـخيص نسـبت بـه عدم تبعيت از فرض‌هاي يادشـده وجـود دارد. محقـق بايـد وضعيت برقراري فرض‌هاي يادشده را روي داده‌هـا بررسـي كند و از عواقب عدم تبعيت از اين فرض‌ها آگـاه باشـد و در صورت نياز از روش‌هاي جايگزين استفاده كنـد. در ضـمن، مشاهدات پرت ممكن است اثر زيادي بر صحت طبقه‌بنـدي تحليل تشخيص داشته باشند. توصيه مي‌شود محقـق تمـام داده‌ها را با هدف تعيين مشـاهدات يـا افـراد پـرت بررسـي كرده و موارد واقعا پرت را حذف كند (١۴).

بـراي بررسـي فـرض نرمـال هـريـک از عناصـر از روش گرافيكي چندك- چندك[١] و آزمون هاي Kolmogorov - Smirnov و Shapiro – Wilks، براي بررسي نرمال چندمتغيره از روش گرافيكي چندك- چندك مربـع فاصـله ماهـالانوبيس مرتـب‌شـده در مقابـل توزيـع مربـع كـاي مرتـب‌شـده (٢٢) و بـراي بررسـي برابـري مـاتريس‌هـاي كواريانس از آزمون Box's M (١۴) اسـتفاده شـد. وجـود رابطه بين دو متغير مستقل را هم‌خطي[٢] و بين چند متغيـر مستقل را هم‌خطي چندگانه[٣] مي‌گوينـد. وجـود هـم‌خطـي چندگانه سـبب مشـكلاتي در تفسـير اهميـت هـر يـک از متغيرها و ناپايداري نتايج طبقه‌بندي مـي‌شـود (١٧ و ١۴). در ضـمن يكـي از اثرهـاي هـم‌خطـي چندگانـه در بـين متغيرهاي مستقل، تاثير بـر انتخـاب متغيرهاسـت. ممكـن است بعضي از متغيرهايي كه همبسـتگي زيـادي بـا متغيـر وابسته دارند، به علت همبستگي زياد با يك يا چنـد متغيـر مستقلي كـه پيشـتر در مـدل وارد شـده‌انـد حـذف شـوند. روش‌هاي گام به گام در مواقعي كه هم‌خطـي چندگانـه در متغيرها وجود دارد، عملكرد خوبي ندارند (۶). بنابراين بايـد در هنگام استفاده از روش‌هاي گام بـه گـام بـه‌ايـن مسـئله توجه شود كه ممكـن اسـت متغيرهـايي كـه در مـدل وارد نشده‌اند، بي‌اثر و زائد نباشند و تعـدادي از آنهـا همبسـتگي زيادي با متغير وابسته داشته باشند. بـراي تشـخيص هـم-خطي چندگانه از ماتريس همبستگي، تجزيه عاملي و عـدد تحمل و عكس آن (عامل تورم واريانس) استفاده شد (١۴). عدد تحمل برابر يا كوچک‌تر از ٠/١ و عامل تـورم واريـانس برابـر يـا بـزرگ‌تـر از ١٠ بيـانگر هـم‌خطـي قـوي بـين متغيرهاست. معمول‌ترين روش براي مقابله با مسـئله هـم-خطي، انتخاب تركيب‌هاي مختلف از متغيرهـا بـا كمتـرين هم‌خطي چندگانه است كه در ايـن تحقيـق بـه‌ايـن طريـق عمل شد.

براي تشخيص يك‌متغيـره مشـاهدات پـرت از روش‌هـاي ($\text{Median} \pm ٣\ \text{MAD}$) و نمـــودار جعبـــه‌اي[۴] (٢١) استفاده شد كه تحت تاثير داده‌هاي پرت قـرار نمـي‌گيرنـد. Median ميانـه داده‌هـا و MAD، ميانـه انحـراف‌هـاي مختلف تمام داده‌ها از ميانه است كه از معادله زير محاسبه مي‌شود (۵):

$$\text{MAD} = ١/٤٨٢\,\text{Median}\,(|x_١ - x_{median}|) \qquad (۵)$$

براي تشـخيص چندمتغيره مشاهدات پرت از فاصله ماهـالانوبيس اسـتفاده شده است. براي يك نمونه چند متغيره P (تعداد متغيرهـا)

١- Quantile – Quantile plot

٢- Collinearity

٣- Multicollinearity

۴- Boxplot

بعدي، فاصله ماهالانوبيس براي مشـاهده i ام از رابطـه زيـر به‌دست مي‌آيد:

$$MD_i = \left((X_i - \overline{X})^T C^{-1} (X_i - \overline{X})\right)^{1/2} \qquad (۶)$$

كه در آن، X_i بردار متغيرها براي مشاهده i ام؛ $\overline{X}$ بـردار ميـانگين متغيرهـا (مركـز ثقـل مشـاهدات) و C مـاتريس كواريانس نمونه است. خصوصيات مربع فاصله ماهـالانوبيس (MD^2) طـوري اسـت كـه اجـازه اسـتفاده از آزمـون‌هـاي آماري، از جمله آزمون t و آزمون مربع كاي را براي بررسـي داده‌هاي پرت مي‌دهـد. در ايـن تحقيـق از مقايسـه $\frac{MD^2}{df}$ و توزيع t (۱۴) استفاده شد. هرگاه مقدار يادشده با توجه بـه درجه آزادي (df) و سطح معني‌داري مورد نظر، بيشـتر از t جدول باشد، داده مربوط به آن پرت محسوب مـي‌شـود. در ضمن براي بررسي بيشـتر، نمـودار جعبـه‌اي مربـع فاصـله ماهالانوبيس به تفكيك گروه‌ها نيز ترسيم شده است.

نتايج

نتايج آمار توصيفي و بررسي يک‌متغيره داده‌هاي پرت بـر اساس معيار (Median ± ۳ MAD) در جدول ۲ مشاهده مي‌شود. براساس اين جـدول، عناصـر Ca، As، Sr و Cd به ترتيب با داشتن۹، ۷، ۶ و ۵ نمونه پرت، بيشترين تعـداد نمونه‌هاي پرت را دارا هستند. از نمونه‌هاي پرت، ۱۵ مـورد يک بار، ۹ مورد دو بار و يک مورد (نمونه ۴۳) سه بار تكرار شده‌اند. در بررسي چندمتغيره داده‌هاي پرت، مقايسه $\frac{MD^2}{df}$ و توزيـع **t** بـا درجـه آزادي (df) برابـر بـا ۱۸ و سـطح معنـي‌داري يـک درصـد نشـان مـي‌دهـد كـه مقـدار $\frac{MD^2}{df}$ نمونه‌هاي ۹، ۳۶، ۴۱، ۴۳ و ۴۹ (به ترتيب برابـر بـا ۴/۷۲، ۲/۹۶، ۳/۸۲، ۳/۳۱ و ۴/۷۰) بيشـــتر از t جـــدول (۲/۵۴) اسـت، ازايـن‌رو از نظـر آزمـون يـاد شـده پـرت محسـوب مـي‌شـوند. نمـودار جعبـه‌اي (شـكل ۲) مربـع فاصـله ماهالانوبيس كه به تفكيک واحدهاي سنگ‌شناسي ترسـيم شده نيز پـنج نمونـه يـادشـده را پـرت نشـان مـي‌دهـد. از نمونه‌هاي يادشده به جز از نمونه ۴۳، بقيـه تنهـا دو بـار در مرحله تشخيص يک‌متغيره تكرار شده‌اند. در كـل بـا توجـه به‌اينكه هـيچ يـک از نمونـه‌هـا در تعـداد قابـل تـوجهي از متغيرها (عناصر)، پرت نيستند، شواهد قوي مبني بـر پـرت بودن و عضو جامعه نبـودن آنهـا وجـود نـدارد و نمـي‌تـوان نسبت به حذف آنها اقدام كرد. به عقيـده هـاير و همكـاران (۱۴) نيز داده‌هايي با شرايط يادشده نبايد حذف شوند.

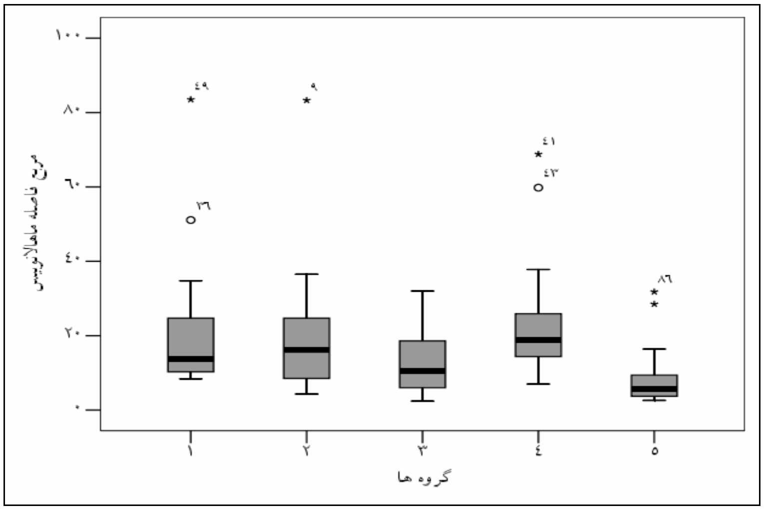
با توجه به جدول ۳ و نمودارهاي چندک-چندک، تنها پنج عنصر Cr، Cu، Pb، K و Na از توزيع نرمال تبعيت مي‌كنند. شكل ۳ نمودار چندك-چندك مربع فاصله ماهالانوبيس مرتب شده را در مقابل توزيع مربع كاي مرتب‌شده نشان مي‌دهد. همان‌طور كه در اين شكل ديده مي‌شود، مجموعه متغيرها از توزيع نرمال چندمتغيره نيز تبعيت نمي‌كنند. عدم تبعيت مجموعه متغيرها از فرض نرمال حياتي نيست و آزمون معني‌داري حاصل تا زماني كه غيرنرمال بودن ناشي از چولگي است، نه داده‌هاي پرت، معتبر است (۲۵). از آنجا كه پيشتر مسئله وجود داده‌هاي پرت بررسي شد و هيچ نمونه‌اي به طور قطع پرت تشخيص داده نشد، مي‌توان نتيجه گرفت كه عدم تبعيت مجموعه متغيرها از فرض نرمال ناشي از چولگي است و تحليل را ادامه داد. آزمون Box's M معني‌دار است و اين نشان‌دهنده نا برابري ماتريس‌هاي كواريانس گروه‌هاي مختلف است. آزمون يادشده تا حد زيادي تحت تاثير نرمال بودن يا نبودن داده‌هاست (۱۴). چون در اينجا داده‌ها از توزيع نرمال تبعيت نمي‌كنند، آزمون يادشده نيز عدم برقراري فرض برابري ماتريس‌هاي كواريانس را نشان مي‌دهد. در چنين حالت‌هايي براي به حداقل رساندن تاثير فرض يادشده بر نتايج تحليل تشخيص مي‌توان به‌جاي ماتريس كواريانس ادغام‌شده (كلي) از ماتريس‌هاي كواريانس جداگانه (هريک از گروه‌ها) استفاده كرد (۱۴). در اين پژوهش اين كار انجام شد و به علت نداشتن اختلاف زياد با حالت معمولي، نتيجه گرفته شد كه عدم برقراري فرض برابري ماتريس‌هاي كواريانس در اين تحقيق تاثير كمتري بر نتايج دارد.

بالا بودن آماره KMO (۰/۸۲۲) و معني‌دار بودن آزمـون Bartlett در سطح معني‌داري چند هـزارم درصـد، بيـانگر همبستگي زياد بين متغيرها و مناسب بودن كاربرد تحليـل عاملي جهت كاهش ابعاد (تعـداد متغيرهـا) اسـت. در ايـن تحقيق معيار انتخاب عامل ها، مقدار مشخصه بيش از ۱ در

نظر گرفته شد و در نتيجه سه عامل اول كه حدود ۷۲/۹۴ تغييرات داده‌ها را بيان مي‌كنند، انتخاب شدند. عامل‌هاي اول، دوم و سوم به ترتيب ۳۷/۹۸، ۲۷/۹۳ و ۷/۰۳ درصد از تغييرات داده‌ها را بيان مي‌كنند. جدول ۴ ضرايب ساختاري يا همبستگي عناصر را با سه عامل ياد شده نشان مي‌دهد. ماتريس همبستگي بين عناصر، معيارهاي عدد تحمل و عامل تورم واريانس (جدول ۳) و ضرايب ساختاري عامل‌ها، هم‌خطي قوي بين عناصر مورد استفاده را نشان مي‌دهد. شش عنصر Al، Ca، Co، Fe، Ni و Sn با داشتن عامل تورم واريانس بيش از ۱۰، بيانگر هم‌خطي قوي بين خود و ساير عناصر هستند. حد آستانه يادشده براي ماتريس همبستگي (همبستگي بين دو متغير) و ضرايب ساختاري تحليل عاملي به‌طور تقريبي برابر با ۰/۹۵ است. مقادير در ماتريس همبستگي و ضرايب ساختاري (جدول ۴) كوچك‌تر از ۰/۹۵ هستند، بنابراين در اينجا نمي‌توان از جدول‌هاي همبستگي و ضرايب ساختاري تحليل عاملي براي انتخاب تركيب‌هايي از عناصر با كمترين هم‌خطي به منظور انجام تحليل تشخيص استفاده كرد. در نتيجه انتخاب تركيب‌هاي مختلف با كمترين هم‌خطي، با استفاده از عدد تحمل يا عامل تورم واريانس انجام شد. در جدول ۳ نتايج آزمون‌هاي آماري بررسي توان عناصر در جداسازي منابع رسوب نشان داده شده است.

جدول ۲- آماره‌هاي توصيفي عناصر مورد استفاده و نمونه‌هاي پرت

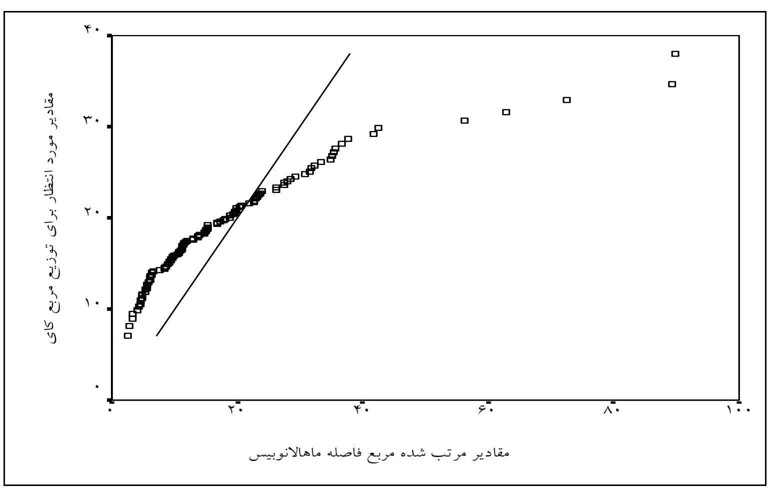
عنصر (واحد)	آماره‌هاي توصيفي					شماره نمونه‌هاي پرت براساس معيار Median ± ۳MAD
	ميانگين	ميانه	انحراف معيار	حداقل	حداكثر	
Al (%)	۶/۳۰	۶/۴۵	۱/۰۸	۳/۰۱	۸/۷۴	۰
As (ppm)	۱۹/۹۷	۱۲/۸۰	۲۹/۸۵	۲/۷۰	۲۵۴/۰۰	۳۶، ۳۷، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۵۹ و ۶۵
Ca (%)	۹/۰۹	۸/۰۸	۴/۸۶	۰/۸۱	۲۶/۷۰	۶، ۷، ۲۷، ۲۹، ۳۴، ۴۰، ۴۱، ۴۹ و ۵۶
Cd (ppm)	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۵۶	۱، ۸، ۱۰، ۳۶ و ۳۸
Co (ppm)	۲۱/۷۴	۲۲/۶۵	۵/۳۳	۷/۸۰	۴۱/۹۰	۴۳
Cr (ppm)	۲۳۱/۹۸	۲۲۰/۵۰	۱۰۶/۷۳	۴۰/۰۰	۵۲۵/۰۰	۰
Cu (ppm)	۳۷/۶۶	۳۷/۳۵	۹/۷۴	۱۴/۰۰	۶۴/۳۰	۵۴ و ۸۶
Fe (%)	۳/۹۷	۴/۱۱	۰/۷۹	۱/۵۸	۷/۲۸	۹
K (%)	۱/۳۶	۱/۳۹	۰/۳۳	۰/۶۲	۲/۱۵	۰
Mg (%)	۲/۶۴	۲/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۳	۵/۶۳	۴۳
Mn (ppm)	۷۶۷/۰۵	۸۱۸/۰۰	۱۹۰/۳۲	۲۰۰/۰۰	۱۱۸۰/۰۰	۰
Na (%)	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۲۷	۰/۰۷	۱/۵۷	۰
Ni (ppm)	۱۵۳/۶۸	۱۵۵/۰۰	۷۳/۷۳	۳۶/۴۰	۵۰۲/۰۰	۴۳
Pb (ppm)	۱۳/۱۱	۱۲/۷۵	۳/۸۳	۵/۹۰	۲۹/۳۰	۲۴
Sb (ppm)	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۲۰	۰/۲۵	۱/۱۰	۰
Sn (ppm)	۱/۷۴	۱/۷۰	۰/۵۵	۰/۷۰	۳/۳۰	۰
Sr (ppm)	۳۶۱/۵۲	۳۰۷/۵۰	۳۲۴/۴۱	۱۰۳/۰۰	۳۲۳۰/۰۰	۱۸، ۲۷، ۲۹، ۴۹، ۸۲ و ۸۶
Zn (ppm)	۷۵/۱۹	۷۶/۰۰	۱۴/۹۶	۳۴/۰۰	۱۲۴/۰۰	۶۵



شكل ۲- نمودار جعبه‌اي مربع فاصله ماهالانوبيس به تفكيک گروه‌ها

جدول ۴- ماتريس ضرايب ساختاري تحليل عاملي

عامل / عنصر	۱	۲	۳	عامل / عنصر	۱	۲	۳	عامل / عنصر	۱	۲	۳
Al	۰/۹۳	۰/۱۴	-۰/۲	Cu	۰/۲۲	۰/۷۸	۰/۰۴	Ni	-۰/۲	۰/۹۲	-۰
As	-۰/۲	۰	۰/۷۸	Fe	۰/۶۴	۰/۵۹	-۰/۲	Pb	۰/۸	-۰/۱	۰/۱۳
Ca	-۰/۸	-۰/۴	۰/۲۶	k	۰/۸۸	-۰/۱	-۰/۱	Sb	۰/۶۷	-۰/۶	۰/۰۷
Cd	۰/۲۶	-۰/۲	۰/۶۵	Mg	-۰/۲	۰/۷۸	-۰/۱	Sn	۰/۸۴	-۰/۵	-۰
Co	۰/۲۸	۰/۸۹	-۰/۱	Mn	۰/۵۶	۰/۷	-۰/۱	Sr	-۰/۵	-۰/۲	-۰/۱
Cr	-۰/۱	۰/۸۳	۰/۰۱	Na	۰/۲۵	۰/۶	-۰/۴	Zn	۰/۷۹	۰/۳۲	۰/۱۹



شكل ۳- نمودار چندک – چندک مربع فاصله ماهالانوبيس در مقابل مربع كاي

جدول ۳- آزمون‌هاي نرمال و آزمون هاي بررسي توان عناصر در جداسازي واحدهاي سنگ‌شناسي و معيارهاي تشخيص همخطي

عنصر	آزمون‌هاي نرمال				آزمون‌هاي آماري بررسي توان جداسازي				معيارهاي تشخيص همخطي چندگانه	
	Kolmogorov - Smirnov		**Shapiro - Wilk**		تجزيه واريانس يک‌طرفه		**Kruskal - Wallis**			
	مقدار	سطح معني‌داري	مقدار	سطح معني‌داري	آماره **F**	سطح معني‌داري	آماره **H**	سطح معني‌داري	عدد تحمل	عامل تورم واريانس
Al	۰/۱۱	۰/۰۰۳	۰/۹۵	۰/۰۰۱	۵/۵۷	۰/۰۰۰	۱۸/۹۷	۰/۰۰۱	۰/۰۶	۱۷/۴۶
As	۰/۲۸	۰	۰/۴۵	۰	۱/۴۷	۰/۲۱۷	۳۵/۰۳	۰/۰۰۰	۰/۷۲	۱/۳۸
Ca	۰/۱۶	۰	۰/۸۹	۰	۴/۸۵	۰/۰۰۱	۱۱/۵۰	۰/۰۲۱	۰/۰۶	۱۷/۳۳
Cd	۰/۲	۰	۰/۷۷	۰	۵/۷۲	۰/۰۰۰	۱۸/۲۷	۰/۰۰۱	۰/۶۴	۱/۵۶
Co	۰/۱	۰/۰۱	۰/۹۴	۰	۱۹/۱۳	۰/۰۰۰	۵۷/۵۵	۰/۰۰۰	۰/۰۵	۱۸/۶۵
Cr	۰/۰۶	۰/۲	۰/۹۸	۰/۰۷۴	۲۵/۲۲	۰/۰۰۰	۵۸/۳۱	۰/۰۰۰	۰/۲۰	۵/۱۰
Cu	۰/۰۸	۰/۰۶۱	۰/۹۷	۰/۰۳۸	۱۶/۹۰	۰/۰۰۰	۴۹/۳۳	۰/۰۰۰	۰/۳۳	۳/۰۱
Fe	۰/۱۵	۰	۰/۹	۰	۸/۴۳	۰/۰۰۰	۲۷/۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۶	۱۶/۵۲
K	۰/۰۶	۰/۲	۰/۹۹	۰/۴۳۸	۹/۲۸	۰/۰۰۰	۲۹/۱۸	۰/۰۰۰	۰/۱۴	۶/۹۳
Mg	۰/۱۳	۰	۰/۹۳	۰	۳۷/۴۸	۰/۰۰۰	۵۵/۴۷	۰/۰۰۰	۰/۲۱	۴/۷۱
Mn	۰/۱۳	۰	۰/۹	۰	۹/۴۱	۰/۰۰۰	۲۵/۶۹	۰/۰۰۰	۰/۱۳	۷/۸۵
Na	۰/۰۷	۰/۲	۰/۹۸	۰/۱۲۸	۱۴/۲۷	۰/۰۰۰	۴۱/۹۸	۰/۰۰۰	۰/۳۲	۳/۱۲
Ni	۰/۱	۰/۰۱۳	۰/۹۳	۰	۵۲/۷۷	۰/۰۰۰	۸۲/۹۱	۰/۰۰۰	۰/۰۸	۱۲/۴۵
Pb	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۹۶	۰/۰۰۳	۶/۱۰	۰/۰۰۰	۱۹/۷۳	۰/۰۰۱	۰/۱۶	۶/۳۳
Sb	۰/۱۱	۰/۰۰۶	۰/۹۶	۰/۰۰۷	۲۵/۰۹	۰/۰۰۰	۵۱/۹۸	۰/۰۰۰	۰/۲۲	۴/۴۶
Sn	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۹۷	۰/۰۰۸	۲۴/۵۸	۰/۰۰۰	۴۶/۸۷	۰/۰۰۰	۰/۰۹	۱۱/۰۳
Sr	۰/۲۸	۰	۰/۴۲	۰	۱/۴۶	۰/۲۲۰	۱۲/۰۵	۰/۰۱۷	۰/۶۲	۱/۶۱
Zn	۰/۰۷	۰/۲	۰/۹۷	۰/۰۱۷	۳/۵۳	۰/۰۱۰	۱۵/۷۸	۰/۰۰۳	۰/۲۰	۵/۰۳

جدول ۵- گام هاي مختلف ورود عناصر به مدل و تاثير آنها بر توان جداسازي تحليل تشخيص

گام	اضافه‌شدن عنصر ردياب	حداقل مربع فاصله ماهالانوبيس	Wilks' Lambda	سطح معني‌داري F	درصد تجمعي طبقه‌بندي درست نمونه‌ها	عامل تورم واريانس
۱	Al	۰/۰۵	۰/۸۱۹	۰/۴۶۰	۳۵/۸	۸/۰۰
۲	Sb	۰/۳۵	۰/۲۸۰	۰/۱۶۴	۵۶/۶	۳/۱۳
۳	Zn	۱/۰۹	۰/۱۹۶	۰/۰۱۴	۶۴/۲	۳/۵۱
۴	K	۲/۲۴	۰/۱۳۹	۰/۰۰۰	۷۲/۶	۵/۲۷
۵	Ni	۳/۶۴	۰/۰۸۵	۰/۰۰۰	۷۷/۱	۳/۶۱
۶	Mn	۴/۱۹	۰/۰۷۴	۰/۰۰۰	۷۹/۲	۶/۰۹
۷	Cu	۴/۷۲	۰/۰۶۱	۰/۰۰۰	۸۱/۱	۱/۹۸
۸	Co	۵/۲۸	۰/۰۵۳	۰/۰۰۰	۸۲/۱	۶/۷۳
۹	Cr	۵/۷۱	۰/۰۴۴	۰/۰۰۰	۸۳	۲/۷۳
۱۰	Na	۶/۰۶	۰/۰۳۰	۰/۰۰۰	۸۴/۹	۲/۲۶
۱۱	Mg	۶/۷۶	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰	۸۶/۸	۱/۹۸
۱۲	Pb	۷/۳۹	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰	۸۷/۷	۴/۰۱

جدول ۶- مشخصات توابع تشخيص حاصل

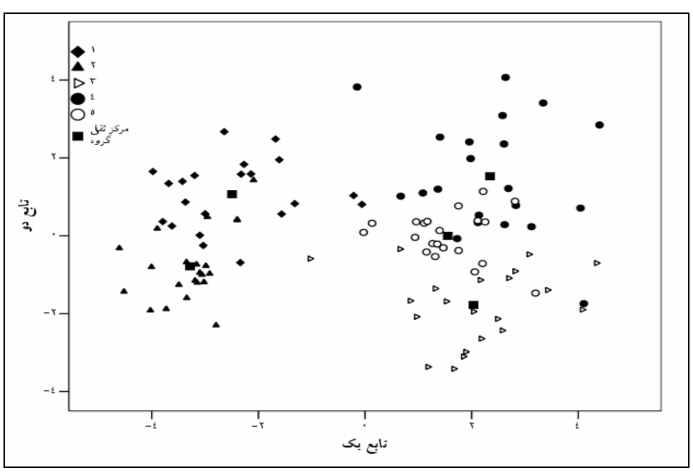
تابع	مقدار مشخصه	درصد واريانس	درصد تجمعي واريانس	همبستگي كانوني	بيان درصد تغييرات	Wilks' Lambda	مربع كاي	سطح معني‌داري
۱	۶/۱۵	۶۶/۷۳	۶۶/۷۳	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۰۲	۳۸۷/۶۱	۰/۰۰۰
۲	۱/۵۱	۱۶/۴۳	۸۳/۱۶	۰/۷۸	۰/۰۸	۰/۱۳	۱۹۷/۸۲	۰/۰۰۰
۳	۱/۰۳	۱۱/۱۳	۹۴/۲۹	۰/۷۱	۰/۰۳	۰/۳۲	۱۰۸/۸۹	۰/۰۰۰
۴	۰/۵۳	۵/۷۱	۱۰۰/۰۰	۰/۵۹	۰/۰۱	۰/۶۶	۴۰/۷۹	۰/۰۰۰

جدول ۷- ماتریس طبقه‌بندي

	واحد سنگ‌شناسي		پیش‌بیني عضویت در گروه‌ها					کل نمونه‌ها
			۱	۲	۳	۴	۵	
نتایج تحلیل اصلي	تعداد	۱	۱۸	۲	۰	۰	۱	۲۱
		۲	۲	۲۰	۰	۰	۰	۲۲
		۳	۱	۰	۱۹	۰	۱	۲۱
		۴	۰	۰	۱	۱۷	۳	۲۱
		۵	۰	۰	۲	۰	۱۹	۲۱
	درصد	۱	۸۵/۷۱	۹/۵۲	۰	۰	۴/۷۶	۱۰۰
		۲	۹/۰۹	۹۰/۹۱	۰	۰	۰	۱۰۰
		۳	۴/۷۶	۰	۹۰/۴۸	۰	۴/۷۶	۱۰۰
		۴	۰	۰	۴/۷۶	۸۰/۹۵	۱۴/۲۹	۱۰۰
		۵	۰	۰	۹/۵۲	۰	۹۰/۴۸	۱۰۰
نتایج ارزیابي متقابل	تعداد	۱	۱۶	۳	۰	۱	۱	۲۱
		۲	۴	۱۸	۰	۰	۰	۲۲
		۳	۱	۰	۱۸	۰	۲	۲۱
		۴	۰	۰	۲	۱۵	۴	۲۱
		۵	۰	۰	۲	۰	۱۹	۲۱
	درصد	۱	۷۶/۱۹	۱۴/۲۹	۰	۴/۷۶	۴/۷۶	۱۰۰
		۲	۱۸/۱۸	۸۱/۸۲	۰	۰	۰۰	۱۰۰
		۳	۴/۷۶	۰	۸۵/۷۱	۰	۹/۵۲	۱۰۰
		۴	۰	۰	۹/۵۲	۷۱/۴۳	۱۹/۰۵	۱۰۰
		۵	۰	۰	۹/۵۲	۰	۹۰/۴۸	۱۰۰

جدول ۸- اهميت نسبي عناصر ردياب در جداسازي واحدهاي سنگ‌شناسي

عنصر	ضرايب ساختاري توابع				مقادير قدرت به تفكيك توابع				شاخص قدرت	آماره F
	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴		
Ni	۰/۵۷	−۰/۰۲	۰/۰۱	−۰/۴۳	۰/۲۱۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۱	۰/۲۲۷	۵۲/۷۷
Mg	۰/۴۶	۰/۳۰	−۰/۲۴	−۰/۰۹	۰/۱۴۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰	۰/۱۶۱	۳۷/۴۸
Cr	۰/۴۰	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۰۸	۲۵/۲۲
Sb	−۰/۳۹	۰/۱۴	−۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۱۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۱۰۸	۲۵/۰۹
Sn	۰/۳۳	−۰/۱۲	۰/۱۹	−۰/۲۶	۰/۰۵۶	۰/۰۰۰	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۷۵	۲۴/۵۸
Co	۰/۳۰	−۰/۲۵	−۰/۰۳	−۰/۰۱	۰/۰۷۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۸۲	۱۹/۱۳
Cu	۰/۲۹	−۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۰۶۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۷۳	۱۶/۹۰
Na	۰/۲۱	−۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۵۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۶۱	۱۴/۲۷
Mn	−۰/۰۶	۰/۲۲	−۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۲۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۴۰	۹/۴۱
K	۰/۰۴	−۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲	۰/۰۲۰	۰/۰۰۷	۰/۰۴۰	۹/۲۸
Fe	−۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۴۲	۰/۳۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۲۱	۸/۴۳
Pb	−۰/۲۹	−۰/۰۵	۰/۳۹	۰/۱۷	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۲۶	۶/۱۰
Cd	−۰/۰۵	−۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۵/۷۲
Al	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۳۱	−۰/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۲۴	۵/۵۷
Ca	−۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۳۰	۰/۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۶	۴/۸۵
Zn	−۰/۰۵	۰/۰۹	−۰/۳۰	−۰/۲۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	۰/۰۱۵	۳/۵۳
As	۰/۱۱	−۰/۱۹	۰/۲۷	−۰/۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۴۷
Sr	−۰/۰۱	−۰/۰۳	−۰/۰۴	−۰/۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۱۱	۱/۴۶



شكل ۴- وضعيت جداسازي گروه‌ها توسط توابع يک و دو

بحث

همان‌طوركه جـدول ٣ نشـان داده شـده، از نظـر آزمـون Kruskal – Wallis اخـتلاف ميـانگين‌هـاي هريـک از عناصر در واحـدهاي سـنگ‌شناسـي در سـطح كمتـر از دو درصد معني‌دار است كه نشان مي‌دهد همه عناصر انتخابي، قدرت تفكيک و جداسازي واحدهاي يادشـده را دارنـد. بـه عبارت ديگر، ميانگين غلظت هر يک از عناصر، دست‌كم در يكي از واحدها (گروه‌ها) متفاوت از واحـدهاي ديگـر اسـت. البته آزمون Kruskal – Wallis بـه علـت عـدم تبعيـت بيشتر عناصر از توزيع نرمال، مناسـب‌تـر از آزمـون تجزيـه واريانس يكطرفه است. ولي بـراي بررسـي بيشـتر از هـر دو آزمون استفاده شد. آزمون تجزيه واريانس يـک طرفـه نيـز نتايج آزمون Kruskal – Wallis را بـه غيـر از دو مـورد (As و Sr) تاييد مي‌كند. كـاربرد آزمـون تجزيـه واريـانس يكطرفه براي دو عنصر يادشده نيز به‌علت عدم تبعيت آنهـا از توزيع نرمال صحيح نيست.

عناصر ردياب موجود در جدول ٥ به اضافه سه عنصر As، Cd و Sr (در مجمـــوع ١٥ عنصـــر)، بيشـــترين درصـــد طبقه‌بندي درست را نسبت به سـاير تركيـب‌هـا نشـان داد. جدول يادشده، مراحل مختلف اضافه‌شدن عناصر ردياب در توابع تشخيص به روش گام به گـام و تـاثير آنهـا بـر تـوان جداسازي تحليـل تشـخيص را نشـان مـي‌دهـد. Wilks' Lambda، معياري از نسبت اختلاف هاي درون‌گروهي بـه اختلاف‌هاي بين‌گروهي است. در هر مرحلـه، متغيـري وارد تابع تشخيص شده كه در سطح ٥ درصد يا كمتر معنـي‌دار باشد و بيشترين فاصله ماهالانوبيس را داشته باشد. همزمان با ورود متغيرهاي اضافي، ممكن است متغيرهايي كه از قبل انتخاب شده‌اند، در صـورت داشـتن آمـاره F بـراي حـذف بيشتر از ٠/١ حذف شده باشند. همان طـور كـه در جـدول يادشده ديده مي‌شود با اضافه شدن هر عنصر مقـدار مربـع فاصله ماهالانوبيس افزايش، Wilks' Lambda كـاهش و درصد تجمعي طبقه‌بندي درست نمونه‌هـا افـزايش يافـت و سطح معنـي‌داري بهتـر شـد و در نتيجـه تـوان جداسـازي تحليل و ميزان تفكيک بين گروه‌ها افزايش يافت. عنصر Al اولين و Pb آخـرين متغيرهـاي ورودي هسـتند. در نتيجـه تركيب مناسبي از عناصر كه قادر بـه جداسـازي واحـدهاي سنگ‌شناسي باشند، متشكل از ١٢ عنصر موجود در جدول ٥ هستند. سه عنصر As، Cd و Sr بـه‌ترتيـب بـا داشـتن سـطح معنـي‌داري آمـاره F بـراي ورود ٠/٣٦٣، ٠/٠٧٧ و ٠/٨٤٤ و به‌علت نداشتن توان جداسازي كافي حذف شدند.

همان‌طوركه در جدول ٦ ديده مـي‌شـود، چهـار تـابع بـر اساس عناصر مورد نظر استخراج شده است. جدول يادشده معني‌داري توابع را به‌وسيله آماره مربع كاي نشان مي‌دهـد. تابع اول حدود ٦٦/٧٣ درصد از تغييرات بيان شـده توسـط چهار تابع را به خود اختصاص داده اسـت. مقـدار تغييـرات متغير وابسته (واحدهاي سنگ‌شناسي) بيان‌شده توسط تابع يک، حدود ٨٦ درصد (مربع همبستگي كـانوني) اسـت كـه بيشترين تغييرات و اختلاف‌ها در گروه‌ها را توصيف مي‌كند و توابع دوم، سوم و چهارم به ترتيـب ٨ (مربـع همبسـتگي كانوني ضربدر ١٤)، ٣ و يک درصد از تغييرات متغير وابسته را بيان مي‌كنند. در كل چهار تابع يادشده، حدود ٩٨ درصد از تغييرات گروه‌ها را نشان مي‌دهند. معني‌داري توابع بـراي اثبات توان طبقه‌بندي و جداسازي آنها كافي نيسـت و بايـد بررسي‌هاي بيشتري با استفاده از اختلاف گروه‌ها و ماتريس طبقه‌بنـدي انجـام شـود (١٤). در ايـن پـژوهش، اخـتلاف گروه‌ها به صورت دو بـه دو معنـي‌دار اسـت و هـيچ جفـت گروهي وجود ندارد كه اخـتلاف معنـي‌دار بـا هـم نداشـته باشند. درصد طبقه‌بندي صحيح در اينجا ٨٧/٧ است و قطر قسمت اول جدول ٧، درصد طبقه‌بندي صحيح در هر گروه و تعداد نمونه‌هاي درست طبقه‌بندي‌شده را نشان مي‌دهـد. درصد طبقه‌بندي صحيح بزرگ‌تر از معيار شانس برابـر (٢٠ درصد) و ٢٥ درصد (٢٠×١/٢٥) است و آمـاره press's Q نيز برابر با ٣٠٤ بـوده و در سـطح معنـي‌داري يـک درصـد بسيار بيشتر از مقدار جدول (٦/٦٣) است. در نتيجـه مـي-توان گفت تحليل تشخيص يادشـده در سـطح اعتمـاد بـالا بهتر از شانس قادر به جداسازي و طبقه‌بندي يا پيش‌بينـي عضويت گروه‌هاست و درصد طبقه‌بنـدي صـحيح بـه‌دسـت آمده در سطح بسيار بالايي قابل‌قبول اسـت. بـراي بررسـي بيشتر توان توابـع تشـخيص بـه‌دسـت آمـده در جداسـازي

گروه‌ها و همپوشاني احتمالي، نمودار پراكنش تابع يـک در مقابل تابع ۲ (شكل ۴) كه بيشتر تغييرات گروه‌هـا را بيـان مي‌كنند، تهيه شده است. براساس شكل يادشـده، تفكيـک گروه‌ها بويژه گروه‌هاي يک (آهک و دولوميت) و دو (شيل و اسليت) از گروه‌هاي سه (كنگلـومرا)، چهـار (مـارن) و پـنج (رسوبات كواترنر) توسط توابع يک و دو به خوبي انجام شده است. قسمت دوم جدول ۷ نتـايج ارزيـابي متقابـل تحليـل تشخيص يادشده را نشان مي‌دهـد. در مرحلـه ارزيـابي نيـز درصد طبقه‌بندي درست برابر با ۸۱/۱ و آمـاره press's Q حـدود ۲۴۷ اسـت. قسـمت دوم جـدول يـادشـده (نتـايج ارزيابي) نيز نتايج تحليل تشخيص را تاييد مي‌كند.

بعد از بررسي معني‌داري توابع تشخيص و قابل قبول بودن صحت طبقه‌بندي، يعنـي نشـان دادن تـوان طبقـه‌بنـدي و جداسازي تحليل تشخيص، نوبت به تعيـين اهميـت نسـبي هر يك از متغيرها در جداسازي گروه‌ها مي‌رسد. بـراي ايـن كار از روش‌هاي F يک‌متغيره و شاخص قدرت استفاده شد. البته در اين مرحله همه عناصر براي تعيين توابع تشـخيص به‌منظور بررسي اهميت و رتبه‌بندي آنها به كار رفتند. نتايج در جدول ۸ كه از نظر آمـاره F يـک‌متغيـره مرتـب شـده، نشـان داده شـده اسـت. دو روش آمـاره F يـک‌متغيـره و شـاخص قـدرت در اولويـت‌بنـدي عناصـر از نظـر تـوان جداسازي، تفاوت‌هاي كمي با هم دارند. تفاوت‌هـا در مكـان Sn با Co و As بـا Sr و قرارگـرفتن Cd قبـل از عناصـر Al، Ca و Zn از نظر شاخص قـدرت هسـتند. عنصـر Ni، مهم‌ترين و دو عنصر As و Sr كم اهميت‌تـرين عناصـر در جداسازي واحدهاي سنگ‌شناسي هستند.

مي‌توان گفت با توجه به جدول‌هاي (۳، ۵ و ۸)، توان همه عناصــر بــه غيــر از As و Sr در جداســازي واحـــدهاي سنگ‌شناسي حوضه مورد بررسي از نظـر آمـاري معنـي‌دار است و اين عناصـر بـه عنـوان رديـاب قـادر بـه جداسـازي واحدهاي ياد شـده هسـتند. بهتـرين تركيـب از ۱۸ عنصـر مورد بررسي نيز كه بيشترين قدرت تفكيک را داراست، ۱۲ عنصر مندرج در جدول ۵ است. علت عدم ورود چهار عنصر ديگـر (Ca، Cd، Fe و Sn) مسـئله همخطـي و داشـتن همبستگي زيـاد بـا عناصـر ديگـر اسـت. در واقـع بـا ورود عناصري كه همبستگي زيادي بـا عناصـر يـادشـده دارنـد، اهميت خود را از دست مي‌دهند. بنابراين مي‌توان از تركيب حاصل براي تعيين سهم واحـدهاي سـنگ‌شناسـي حوضـه مورد بررسي و حوضه‌هاي مشابه در توليد رسـوب اسـتفاده كرد. البته توصيه مي‌شود در تحقيقات بعدي براي افـزايش توان جداسازي تركيب بهينه، از عناصـر بيشـتري اسـتفاده شود.

منابع

۱- اميري، منوچهر، ۱۳۸۱. منشأيابي كلوئيدها (رس‌ها) و سيلت‌هاي ايستگاه پخش سيلاب كبودرآهنگ، مركز تحقيقات حفاظت خاك و آبخيزداري، گزارش نهايي طرح تحقيقاتي، ۱۰۱ص.

۲- قديمي‌عروس‌محله، فريدون و افشين پورمتين،۱۳۸۱. تجزيه و تحليل آماري منشا رسوب در پايين‌دست حوزه آبخيز قره‌چاي از استان مركزي، مجموعه مقالات همايش ملي مديريت اراضي-فرسايش خاك و توسعه پايدار، اراك، ٤-۲ بهمن۱۳۸۰، ص ۳٤۱- ۳۲۸.

۳- عطاپور، عباس و شاهرخ حكيم خاني، ۱۳۸۲. تعيين سهم زيرحوزه‌هاي حوزه آبخيز چنداب در توليد رسوب با به‌كارگيري كاني‌هاي رسي. مجموعه مقالات سومين همايش آبخوانداري، دستاوردها و چشم اندازهاي آينده، اروميه، ٤ و ۵ شهريور ۱۳۸۲، ص ۷٤ – ۸۲.

4- Bottrill, L.J., Walling, D.E.& Leeks, G.J.L., 2000. Using recent overbank deposits to investigate contemporary sediment sources in larger river basins. In: Foster, I.D.L. (Ed.). Tracers in Geomorphology. Wiley, pp. 369-387.

5- Chiang, L. H., Pell, R.J., & Seasholtz, M. B., 2003. Exploring process data with the use of robust outlier detection algorithms. Journal of Process Control 13, 437–449.

6- Chong, I.G., & Jun, C. H., 2005. Performance of some variable selection methods when multicollinearity is present. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 78: 103–112.

7- Collins, A. L. **&** Walling, D. E., 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. Progress in Physical Geography, 28: 159–196.

8- Collins, A.L., Walling, D.E., Sichingabula, H.M.,& Leeks, G.J.L., 2001. Suspended sediment source fingerprinting in a small tropical catchment and some management implications. Applied Geography, 21: 387-412.

9- Collins, A.L.,& Walling, D.E., 2002. Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. Journal of Hydrology, 261: 218-244.

10- Foster, I.D.L.,& Lees, J.A., 2000. Tracers in geomorphology. In: Foster, I.D.L. (Ed.). Tracers in Geomorphology. Wiley, Chichester, pp. 3-20.

11- Foster, I.D.L.,& Walling, D.E., 1994. Using reservoir deposits to reconstruct changing sediment yields and sources in the catchment of the Old Mill Reservoir, South Devon, UK, over the past 50 years. Hydrological Sciences Journal, 39:, 347-368.

12- Garrad, P. N.,& Hey, R. D., 1989. Sources of suspended and deposited sediment in a Broadland river. Earth Surface Processes and Landforms, 14: 41-62.

13- Grimshaw, D.L.,& Lewin, J., 1980. Source identification for suspended sediment. Journal of Hydrology, 47: 151 -162.

14- Hair, J.F., Andersen, R.E., Tatham, R.L.,& Black, W. C., 1998. Multivariate Data Analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

15- Kiang, M. Y., 2003.A comparative assessment of classification methods. Decision Support Systems, 35: 441– 454.

16- Loughran, R.J.,& Campbell, B.L., 1995. The identification of catchment sediment sources. In: Foster, I.D.L., Gumell, A.M., Webb, B.W. (Eds.). Sediment and Water Quality in River Catchments. Wiley, Chichester, pp. 189-205.

17- Næs, T., & Mevic. B. H., 2001.Understanding the collinearity problem in regression and discriminant analysis. J. Chemometrics 15, 413–426.

18- Oldfield, F.,& Rummery, T. A., Thompson, R., Walling, D.E., 1979. Identification of suspended sediment sources by means of mineral magnetic measurements: some preliminary results. Water Resources Research, 15: 211-219.

19- Owens, P.N., Walling, D.E.,& Leeks, G. J. L., 2000. Tracing fluvial suspended sediment sources in the catchment of the River Tweed, Scotland, using composite fingerprints and a numerical mixing model. In: I.D.L. Foster (Ed.). Tracers in geomorphology.Jon Wiley, Chichester, pp. 291-308.

20- Peart, M. R.,& Walling, D. E., 1988. Techniques for establishing suspended sediment sources in two drainage basins in Devon, UK: a comparative assessment. In M. P. Bordas, & D. E. Walling, Sediment budgets: IAHS Publication No. 174: 269–279.

21- Reimann, C., Filzmoser, P.,& Garrett, R. G., 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. Science of the Total Environment, 346: 1– 16.

22- Reimann, C.,& Filzmoser, P., 2000. Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. Environ Geol. 39/9:1001 –1014.

23- Stone, M.,& Saunderson, H., 1992. Particle size characteristics of suspended sediment in southern Ontario rivers tributary to the Great Lakes. Geological Society Special Publication, 57: 31-45.

24- Tabachnick, B.G. & Fidell, L.S., 1996. Using Multivariate Statistics. Harper Collins College Publishers, New York.

25- Takken, I., Beuselinck, L., Nachtergaele, J., Govers, G., Poesen, J.,& Degraer, G., 1999. Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM). Catena, 37: 431-447.

26- Walden, J., Slattery, M.C., & Burt, T.P., 1997. Use of mineral magnetic measurements to fingerprint suspended sediment sources: approaches and techniques for data analysis. J. of Hydrol., 202: 353–372.

27- Wall, G. J.,& Wilding, L. P., 1976. Mineralogy and related parameters of fluvial suspended sediments in Northwestern Ohio. Journal of Environmental Quality, 5: 168-173.

28- Wallbrink, P.J., Olley, J.M., Murray, A.S.,& Olive, L.J., 1998. Determining sediment sources and transit times of suspended sediment in the Murrumbidgee River, NSW, Australia using fallout 137Cs and 210Pb. Water Resour. Res. 34 (4): 879–887.

29- Walling, D. E., & Woodward, J. C., 1995. Tracing sources of suspended sediment in river basins: a case study of the River Culm, Devon, UK. Marine and Freshwater Research, 46, 327–336.

30- Walling, D. E., 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. Science of the Total Environment, 344: 159– 184.

31- Walling, D. E., Owens, P. N., & Leeks, G. J. L., 1999. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. Hydrological Processes, 13: 955–975.

32- Walling, D.E., Peart, M.R., Oldfield, F., & Thompson, R., 1979. Suspended sediment sources identified by magnetic measurements. Nature, 281: 110–113.

33- Walling, D.E., Russell, M.A., Hodgkinson, R.A., & Zhang, Y., 2002. Fine-grained sediment budgets for two small lowland agricultural catchments in the UK. Catena, 47: 323-353.

34- Walling, D.E.,& Collins, A.L., 2000. Integrated assessment of catchment sediment budgets: A technical manual. University of Exeter, 168p.

35- Yu, L.,& Oldfield, F., 1993. Quantitative sediment source ascription using magnetic measurements in a reservoir system near Nijar, S.E. Spain. Earth Surface Processes and Landforms, 18: 441-454.

Determinining a suitable subset of geochemical elements for Separation of lithological types of Poldasht waterspreading station basin

Sh. Hakimkhani*[1], H. Ahmadi[2], J. Ghayoumian[3], S. Feiznia[4] and M. R. Bihamta[5]

[1] Assistant professor, University of Uromia, I. R. Iran

[2] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

[3] Associate professor of Soil and Water Conservation Research Center, I. R. Iran

[4] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

[5] Professor, Faculty of Animal and Agronomy Sciences, University of Tehran, I. R. Iran

(Received 2006 June 19, Accepted 2005 Oct 11)

Abstract

Because of many problems associated with traditional procedures for identifying sediment sources, fingerprinting techniques, based on physical, chemical and organic properties of sediment and source materials, are increasingly being used as a valuable and effective alternative approach to assemble such information. The first step involved in the application of this approach is the selection of a composite of diagnostic properties which clearly discriminate sediment sources. In this study, it is tried to choose a suitable composite of geochemical elements with the ability to discriminate lithological types in subareas of main subbasin of Pouldasht water spreading station basin, located in Makoo County, West Azarbaijan Province. The lithological maps were prepared, and lithological types as sediment sources were classified in five groups. Totally, 106 samples representing lithological characteristics, including uses, slope steepness and surface and subsurface erosions, were selected. Samples below 63 µm were separated and concentration of 18 geochemical elements was measured. Then, after being assured of the absence of outliers and insubstantial contribution of non-normality and inequality of covariance matrices to the results, the discriminant analysis was used to select the suitable subset of elements from the 18 geochemical elements. In order to eliminate the effects of multicollinearity on the discriminant analysis results, a subset (composite fingerprint) of elements, which enjoys both characteristics of least multicollinearity and highest discriminating power, was selected. The identified subset included 12 elements (Al, Co, Cr, Cu, Na, Zn, Mn, Ni, Pb, Mg, Sb and K) and was able to discriminate and classify over 87.7 percent of soil samples correctly. Meanwhile, all the 18 elements were ranked based on their relative ability to distinguish lithological groups, among which Ni was the most important and As and Sr played the least important role.

Key words: Geochemical elements, Sediment sources, Lithological types, Poldasht, Source fingerprinting, Discriminant analysis

* Corresponding author: Tel: 0914-4172019 , Fax: 0441-2770489 Email: Hakimkhani@yahoo.com