اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته
اسفند ۱۳۸۸
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد طبس

ارائه مدل کمی شاخص احتمالی کانی سازی (MPI) به عنوان یک روش جدید در پردازش داده های اکتشافات ژئوشیمیایی □ مطالعه موردی معرفی شاخص کانی سازی فلورین در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ پل سفید

مسعود صالحی سروستانی [۱]، مهیار یوسفی [۲]
۱-عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه،تلفن: ۰۹۱۱۲۲۴۱۹۳۸ E-mail: Msalehi۷۶@yahoo.com
۲- مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه و دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، تلفن: ۰۹۱۱۳۳۸۵۴۴۳ E-mail: M.Yousefi.Eng@gmail.com

چکیده
در اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه ای، پس از برداشت نمونه و آنالیز آنها سعی می شود تا از نتایج به عنوان یک راهنما جهت دستیابی به محل حضور کانی سازی استفاده شود. در این مرحله با مقایسه غلظت عناصر در نمونه های مختلف و از طریق انطباق آنومالی های تک عنصری و همچنین پردازش های چند متغیره و نیز انطباق با زمین شناسی، سعی می شود تا مناطق امیدبخش انتخاب گردند. اما مسئله ای که وجود دارد این است که در این روش ها نوع کانی سازی احتمالی فقط از طریق قضاوت های کیفی روی نتایج پردازش های چند متغیره و مطالعه لیتولوژی منطقه مورد ارزیابی قرار می گیرد و هیچ روش سیستماتیکی که بتواند با کمک یک معیار کمی، احتمال حضور یک نوع کانی سازی خاص را پیش بینی کند در اکتشافات ژئوشیمیایی توسعه پیدا نکرده است. بنابراین مسئله این است که آیا برای یک نمونه برداشت شده، با توجه به نتایج آنالیز و غلظت عناصر مختلف، می توان کمیتی را معرفی نمود که بتواند مستقیما بیان کننده قدرت تولید آنومالی (قدرت شناسایی حضور کانی سازی) آن نمونه خاص باشد. با توجه به اینکه در اکثر مواقع تعیین مناطق امیدبخش اکتشافی بر اساس تلفیق قضاوت های کیفی و نیمه کمی صورت می گیرد، ارائه یک مدل کمی بر اساس یک رابطه ریاضی می تواند کمک موثری نماید. در این راستا هدف از مقاله حاضر ارائه یک روش جدید برای حل مشکل فوق می باشد بنابراین در ابتدا با استفاده از داده های ژئوشیمیایی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ پل سفید در استان مازندران، یک مدل و رابطه کمی تحت عنوان شاخص احتمالی کانی سازی، برای سنجش میزان قدرت تولید آنومالی یک نمونه (قدرت شناسایی و تخمین احتمال حضور کانی سازی) در یک منطقه، با استفاده از غلظت عناصر مختلف در آن نمونه ژئوشیمیایی ارائه شده است سپس این مدل به صورت کلی تعمیم داده شده تا به طور مستقیم با داشتن غلظت مجموعه عناصر مختلف در یک نمونه بتوان در مورد میزان احتمال معرف بودن آن نمونه اظهار نظر نمود.

Develop a new quantitative model, Mineralization probability Index, for evaluation of the degree of anomaly production of geochemical stream sediment samples: A special emphasis on Fluorite mineralization in ۱/۱۰۰۰۰۰ quadrangle map of Polsefid.

M. Salehi[۱] and M. Yousefi[۲]
۱- Faculty member of Azad University, Savadkooh branch, Mazandaran, Iran, E-mail: Msalehi۷۶@yahoo.com
۲- Lecturer of mining department, Azad University, Savadkooh branch, Mazandaran and PhD student, Department of Mining and Geophysics, Shahrood University of Technology, Iran, E-mail: M.Yousefi.Eng@gmail.com

Abstract
In geochemical stream sediment exploration, after sampling and obtain the results of analysis, the location of probability mineralization should be recognizing. In this stage the best area for further exploration generally obtain with comparative of the results of location of anomaly samples of per element, multivariate interpretation and geology of the study area. One of the problems that exist in the methods is lacked the systematic approach for quantitative evaluation of probability presence of certain mineralization, because this evaluation carried out base on qualitative judgment. The aim of this study is to develop a new approach for evaluation of the degree of anomaly production of a geochemical stream sediment sample. For this, at first, by using the data analyze of geochemical exploration of ۱/۱۰۰۰۰۰ quadrangle map of Polsefid, in Mazandaran province, a quantitative model as Mineralization probability Index introduced. Finally the model universalize for evaluation of a geochemical stream sediment sample base on the result of sample analysis.

مقدمه
یکی از مسائلی که در اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه ای وجود دارد، ارزیابی میزان معرف بودن یک نمونه، برای کانی سازی می باشد و اغلب سعی می شود تا با استفاده از روش های مختلف، نمونه های دارای غلظت های آنومالی از نمونه های دارای غلظت زمینه جدا شوند. سپس با مقایسه غلظت عناصر در نمونه های مختلف و از طریق انطباق آنومالی های تک عنصری و همچنین پردازش های چند متغیره و نیز انطباق با زمین شناسی، سعی می شود تا مناطق امیدبخش انتخاب گردند. اما مسئله ای که وجود دارد این است که در این روش ها نوع کانی سازی احتمالی فقط از طریق قضاوت های کیفی روی نتایج پردازش های چند متغیره و مطالعه لیتولوژی منطقه مورد ارزیابی قرار می گیرد و هیچ روش سیستماتیکی که بتواند با کمک یک معیار کمی، احتمال حضور یک نوع کانی سازی خاص را پیش بینی کند، در اکتشافات ژئوشیمیایی توسعه پیدا نکرده

است. در مطالعه حاضر فرض این است که بین غلظت عناصر مختلف در یک نمونه ژئوشیمیایی رسوب آبراهه ای و میزان قدرت تولید آنومالی (قدرت شناسایی حضور کانی سازی احتمالی) یک رابطه مستقیم وجود دارد. در این راستا هدف از مقاله حاضر ارائه یک روش جدید برای حل مشکل فوق می باشد بنابراین یک مدل و رابطه کمی تحت عنوان شاخص احتمالی کانی سازی، برای سنجش میزان قدرت تولید آنومالی یک نمونه ژئوشیمیایی(قدرت شناسایی و تخمین احتمال حضور کانی سازی) در یک منطقه، با استفاده از غلظت عناصر مختلف در آن نمونه ژئوشیمیایی ارائه شده است تا به طور مستقیم با داشتن غلظت مجموعه عناصر مختلف در یک نمونه بتوان در مورد میزان احتمال معرف بودن آن نمونه اظهار نظر نمود. به عنوان مطالعه موردی از اطلاعات و نتایج آنالیز نمونه های رسوبات رودخانه ای در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ پل سفید در جنوب استان مازندران برای پیش بینی احتمال معرف بودن هر نمونه برای حضور کانی سازی فلورین استفاده شده است. بنابراین ابتدا مدل کانسارهای فلورن با دو روش توصیفی و کمی به دست آمده و پس از شناسایی عناصر معرف کانی سازی فلورین در منطقه، با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره، شاخص کانی سازی فلورین (MI_F) به دست آمد سپس با توجه به اینکه کانی سازی یک رخداد احتمالی است به منظور احتمالی نمودن شاخص فوق بین بازه ۰ و ۱، از روش رگرسیون لجستیکی استفاده شد و شاخص احتمالی کانی سازی یعنی MPI_F به عنوان یک روش کمی جدید برای سنجش میزان معرف بودن و همچنین میزان اهمیت یک نمونه در پیش بینی احتمال حضور کانی سازی معرفی گردید. دو کمیت MI_F و MPI_F شاخص های جدیدی می باشند که اولین بار در ژئوشیمی اکتشافی ارائه می شوند و در واقع جنبه پژوهشی مطالعه حاضر را شامل می گردند. در مطالعه حاضر شاخص احتمالی کانی سازی به صورت یک مدل کلی قابل استفاده برای موارد مختلف در مناطق گوناگون تعمیم داده شده است. فرآیندهای فوق در ادامه تشریح شده است.

استخراج مدل پاراژنزی کانی سازی فلورین با استفاده از روش کیفی توصیفی

به منظور به دست آوردن مدل توصیفی ذخایر فلورین از خصوصیات مهمترین نشانه‌ها و اندیس‌های شناخته شده این ماده در منطقه مورد مطالعه به عنوان الگو و شاخص استفاده شده است. با مطالعه روی این اندیس ها برجسته ترین مشخصات مربوطه شناسایی شده تا در مدل سازی استفاده شوند[۶]. در ادامه برجسته ترین خصوصیات شناسایی شده این کانسارها با تمرکز روی مشخصاتی که می توانند در اکتشافات ژئوشیمیایی استفاده شوند، تشریح می شوند. به طور کلی سنگ میزبان کانسارهای فلورین در البرز مرکزی آهک های دولومیتی بخش فوقانی سازند الیکا با سن تریاس میانی می باشد. البته در بعضی موارد بسیار اندک جایگذینی فلورین در سازند تیزکوه گزارش شده است [۳]،[۴]، [۶]. پاراژنزهای ذخایر فلورین به صورت فلورین و باریت به عنوان کانی های اصلی، با حضور یا عدم حضور اسفالریت، گالن، کلسیت، دولومیت، سلستین و کوارتز به عنوان کانی های فرعی می باشد. آلتراسیون های همراه و اطراف ذخایر فلورین از نوع سیلیسی، دولومیتی و کائولینیتی بوده، مگر در برخی موارد اندک که کانسار تحت تاثیر لیتولوژی توده های آذرین و در تماس با سازالت های آلکالن باشد. در این صورت آلتراسیون از نوع آلونیتی می باشد از آنجایی که این کانسارها با سرب و روی همرا هستند تیپ کانی سازی های فلورین منطقه را به می سی سی پی نسبت داده اند زیرا این کانی سازی ها در واقع کانسارهای سرب و روی دارای فلورین هستند[۴]، [۶]. بنابرین از خصوصیات کانسارهای تیپ می سی سی پی می توان در پی جویی ذخایر فلورین استفاده نمود. با توجه به مطالعاتی که روی اندیس های شناخته شده صورت گرفت، خصوصیات و مشخصات برجسته ذخایر و اندیس های فلورین به دست آمده است. البته مدل توصیفی فوق بیشتر بر روی خصوصیاتی که به لحاظ ژئوشیمیایی می توانند کاربرد داشته باشند تمرکز داشته و از سایر خصوصیات نظیر مسائل ساختاری با توجه به اینکه در اینجا هدف نیستند صرفه نظر شده است. بنابراین این مدل می تواند الگویی فرض شود که برای تشخیص نواحی امید بخش و شناسایی اندیس های مشابه مفید و راهنما است[۵].

استخراج مدل پاراژنزی کانی سازی فلورین با استفاده از تحلیل ها و پردازش های چند متغیره ژئوشیمیایی

عناصر همراه در کانسارهای گوناگون می توانند مختلف باشند. بنابراین به منظور به دست آوردن نحوه تغییرات گروهی عناصر، از تجزیه و تحلیل های چند متغیره یعنی بررسی و تجزیه و تحلیل همزمان بیش از دو متغیر، استفاده می شود. وقتی بر روی داده ها تجزیه و تحلیل چند متغیره انجام می شود، ارتباط بین عناصر به دست می آید. بنابراین ماهیت تجزیه و تحلیل چند

متغیره شناخت روابط میان چند عنصر است. در نتیجه پارژنزها و گروه عناصری که با هم تغییر می کنند، تشخیص داده می شوند. شناخت ارتباط و وابستگیهای ژنتیکی متقابل میان عناصر گوناگون، می‌تواند در شناخت دقیق تر تغییرات موجود در محیط های ژئوشیمیایی و تفسیر صحیح تر داده های ژئوشیمیایی به کار گرفته شود. در ضمن تجمع ژنتیکی بعضی عناصر ممکن است به عنوان راهنمای مستقیمی در تفسیر نوع نهشته‌ای که احتمالاً در ناحیه وجود دارد به کار رود. البته باید توجه داشت که تجمع بعضی از عناصر ممکن است دلالت بر وجود آنومالی هایی بی‌اهمیت داشته باشد. بنابراین اگر ترکیبی از مقادیر یک گروه از عناصر معرف به جای مقدار یک عنصر خاص به کار گرفته شود، هاله‌های ژئوشیمیایی در اطراف توده‌های کانساری بهتر مشخص می‌شوند و در ضمن اثر خطاهای تصادفی در آنها به حداقل می‌رسد. به طور کلی هاله‌های مرکبی که از روشهای آماری چند متغیره به دست می‌آید نسبت به سیمای ساختمانی، زمین‌شناسی و ماهیت ژنتیکی نهشته‌های کانساری رابطه نزدیک تری را نشان می‌دهند و در نتیجه ارتباط میان عناصر بهتر مشخص می‌شود. بنابراین با انجام بررسی های چند متغیره و نیز با بررسی زمین شناسی در یک منطقه، نوع کانی سازی احتمالی را می توان حدس زد. وقتی نوع کانی سازی احتمالی مشخص شود، با مدل سازی کانسار و نسبت دادن آن به مدل خاصی، می توان برای هر یک از ویژگی های کمی و کیفی آن، با تکیه به مقدار پارامترهای مشابه در مدل انتخاب شده، تخمین لازم را با دقت کافی به انجام رساند. این امر موجب می گردد که تصمیم گیری های اکتشافی با دقت بیشتری انجام شده و طراحی اکتشاف آسانتر صورت گیرد و علاوه بر این می توان در هزینه و وقت نیز صرفه جویی نمود. در این بررسی ها روش های مختلفی استفاده می شوند. یکی از این روش ها تجزیه و تحلیل برداری (فاکتوری) است. تجزیه و تحلیل فاکتوری بین مجموعه ای از متغیرها که ظاهراً بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند و یکی از اهداف اصلی آن کاهش ابعاد داده‌هاست. بنابراین پس از انجام تجزیه و تحلیل فاکتوری، تعداد متغیرهای به دست آمده (تعداد فاکتورها) کمتر از تعداد متغیرهای اصلی می باشد. فرض اساسی در این روش، وجود ارتباط بین متغیرهاست که این ارتباط در قالب یک فاکتور در یک مدل فرضی ظاهر می‌شود و به طور کلی هدف از تجزیه و تحلیل فاکتوری عبارت است از تعیین متغیرهای کنترل کننده اصلی در بین یک سری داده های ژئوشیمیایی یا به عبارت دیگر یافتن حداقل تعداد متغیرهایی است که بیشترین تغییرات مشاهده شده را در بین سری داده‌ها نشان می دهند. تجزیه فاکتوری در واقع روشی جهت کاهش تعداد متغیرها و گروه‌بندی آنها می‌باشد. به این ترتیب که براساس یک مدل خاص ارتباط پیچیده بین متغیرها را تعیین می‌کند [۱]، [۵]، [۸]، [۱۱]، [۱۳]. در مطالعه حاضر نیز پس از آماده سازی داده ها از تجزیه و تحلیل فاکتوری استفاده شده است به این منظور ابتدا میزان اعتبار تجزیه فاکتوری بر روی مقادیر داده ها بررسی گردید. برای این منظور از آزمون Bartlet Kmo بهره گرفته شد. هر چه مقدار Kmo به ۱ نزدیکتر باشد دلالت بر تأیید بیشتر تجزیه فاکتوری دارد. این مقدار برای داده‌های مطالعه حاضر ۰/۸۸۱ تعیین گردید که در حد قابل قبولی است. علاوه بر این نمودار صخره‌ای شکل ۱ (Scree plot) مربوط به داده‌های مطالعه حاضر نیز تهیه شد. این نمودار جهت تعیین تعداد عامل ها کمک می‌کند. همانطور که ملاحظه می‌شود این نمودار تا فاکتور چهارم شیب تندی دارد و پس از آن به یک حالت ملایم با شیب تقریباً ثابت می‌رسد. بر این اساس چهار فاکتور برای متغیرهای این پروژه در نظر گرفته شد. از آنجا که یک عامل چند متغیر را کنترل می‌کند روشهائی به وجود آمده‌اند که بدون تغییر میزان اشتراک، تفسیر عوامل را ساده‌تر می‌سازد. این روش ها همان دوران عوامل هستند بنابراین در مورد داده های مطالعه حاضر نیز با استفاده از روش Varimax که دوران متعامد است بر روی ضرایب عاملی دوران صورت گرفت. در نهایت پس از انجام آنالیز فاکتوری، طبق جدول شماره ۱ چهار فاکتور معرفی گردید که به صورت ذیل می‌باشد. فاکتور اول شامل ۸ عنصر Co, Ni, Cu, Cr, Fe, V, Mn, As. فاکتور دوم شامل ۷ عنصر Ba, Zn, Pb, Ag, Sb, Hg, Sr . فاکتور سوم شامل عنصر Sn و همچنین فاکتور چهارم شامل عنصر Au می باشد.

ارائه معیار اکتشافی شاخص کانی سازی فلورین

با توجه به اینکه هدف در مطالعه حاضر معرفی شاخص کانی سازی فلورین می باشد بنابراین فاکتور دوم شامل عناصر Pb, Ba, Zn , Ag, Sb, Hg, Sr به عنوان بهترین ترکیب برای شاخص کانی سازی فلورین، طبق نتایج تحلیل های چند متغیره و مدل توصیفی تشخیص داده شد. زیرا این عناصر هم نسبت به هم دارای همبستگی بالایی بوده و هم اینکه در اکثر کانسارهای مشابه و هم تیپ فلورین های منطقه طبق مدل توصیفی حضور دارند. جدول ۲ همبستگی عناصر فوق را با فاکتور

دوم نشان می دهد. اغلب کانسارهای فلورین منطقه طبق مدل پاراژنزی توصیفی و مطالعه اندیس های شناخته شده دارای کانی های فلورین، گالن، اسفالریت، باریت و همچنین گاهی سلستین می باشند. همچنین علاوه بر سلستین حضور لایه های گچ در منطقه نیز می تواند حضور عنصر Sr را توجیه کند. علاوه بر این در اکتشافات ژئوشیمیایی حضور Sb نیز جزء ردیاب های این نوع کانی سازی می باشد. بنابراین حضور همزمان مجموعه عناصر Pb, Ba, Zn , Ag, Sb, Hg, Sr را می توان به عنوان شاخص کانی سازی فلورین معرفی نمود [۱]، [۲]، [۳]، [۴]. همچنین با توجه به اینکه در منطقه ذخایر سرب و روی بدون فلورین نیز حضور دارند حضور Hg همراه با این فاکتور ژئوشیمیایی در ردیابی کانسارهای فلورین و سرب و روی قابل توجیه است. ولی از آنجا که هدف فلورین است بیشتر تمرکز مطالعه بر روی این کانی سازی بوده و از این پس در مقاله حاضر شاخص کانی سازی فلورین با علامت MI_F معرفی می گردد که MI مخفف کلمه Mineralization Index و اندیس F نشان دهنده فلورین و در واقع نوع کانی سازی مورد پی جویی است که می تواند برای هر کانی سازی متفاوت باشد.

ارائه مدل رگرسیون چند متغیره برای شاخص کانی سازی فلورین

مدل های رگرسیون چند متغیر می توانند در نقشه برداری پتانسیل معدنی برای شناسایی همراهی احتمالی نقاط دارای ذخایر معدنی از نوع مشخص به کار برده شوند. در روش رگرسیون وزن ها و میزان اهمیت کلاس های مختلف نقشه های شاهد بر اساس توزیع فضایی نمونه های آموزشی (نه قضاوت شخصی) در جاهایی که مجموعه نقاط آموزشی در دسترس هستند محاسبه می شود[۷]، [۹]، [۱۰]، [۱۲]. نمونه های آموزشی (نقاط) مکان واقعی پدیده مورد پی جویی را نشان می دهند که در مورد مطالعه حاضر نمونه های رسوب برداشت شده از آبراهه های منطقه می باشد. رابطه کلی رگرسیون چند متغیره در معادله ۱ نشان داده شده است.

$$p = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_nx_n$$ معادله (۱)

بر اساس معادله فوق برای معرفی شاخص کانی سازی فلورین نیز در ابتدا از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شد و پس از به دست آوردن ضرایب رگرسیون و شیب خط برای هر عنصر، معادله رگرسیون برای فلورین به صورت معادله ۲ به دست آمد در زیر نشان داده شده است.

$$RMI_{Fluorite} = -1.123 + 0.003Pb + 2.466Ag + 0.002Zn + 0.001Sr + 0.0001Ba + 0.345Sb + 6.228Hg$$ معادله (۲)

همان طور که از معادله فوق مشخص است شاخص رگرسیونی کانی سازی فلورین (Regression Mineralization Index) یا RMI_F متغیری وابسته به عناصر فاکتور دوم تعیین شده است. به منظور تعیین دقت معادله فوق از نمودار احتمال – احتمال برای سنجش میزان اعتبار مدل استفاده شد که این نمودار در شکل ۲ نشان داده شده است و همان طور که مشاهده می شود نقاط تقریبا به طور کامل برروی یک خط قرار دارند که نشان دهنده کیفیت بسیار مناسب مدل برازش شده می باشد. در شکل ۳ نیز پراکندگی هر عنصر نسبت به فاکتور دوم ژئوشیمیایی به طور مجزا نشان داده شده است و همان طور که مشاهده می شود تمام عناصر از همبستگی بالایی با فاکتور دوم برخوردار هستند.

ارائه مدل کمی شاخص احتمالی کانی سازی فلورین به عنوان یک روش جدید، با استفاده از رگرسیون لجستیکی

مسئله ای که در رگرسیون چند متغیره معمولی وجود دارد این است که متغیر جواب، پیوسته بوده و بدون حد و مرز می باشد. بنابراین رگرسیون چند متغیره معمولی روش مناسبی برای پیش بینی احتمال وقوع یک رویداد دوتایی (یعنی حضور یا عدم حضور کانی سازی)، بر اساس ارزش های ثبت شده از متغیرهای مختلف (ارزش نقشه های شاهد و در اکتشافات ژئوشیمیایی مقدار عناصر) در محل های مشخص و مناطق مختلف نیست. در واقع مسئله این است که در حالاتی که متغیر جواب دوتایی است (حضور یا عدم حضور) متغییر پیشگوی جواب باید بین ۰ و ۱ باشد تا حالت احتمالی در نظر گرفته شود (زیرا احتمال بین ۰ و ۱ است) در حالی که در معادله رگرسیون چند متغیره p می تواند هر مقداری را به خود بگیرد در صورتی که مقادیر خارج از بازه ۰ و ۱ در بیان احتمالی رخدادها به کار نمی روند و نامناسب هستند [۸]،[۹]،[۱۴]. برای یک سلول (سلول واحد)

مشخص از یک نقشه ژئوشیمیایی، در معادله ۱، p احتمال حضور یک پدیده می باشد و Xi ها عناصر و همچنین α_i ارزش هر عنصر می باشد. در این حالت برای حل مشکل می توان تابع لجستیکی Logit(p) را به صورت معادله ۳ تعریف نمود.

معادله۳
$$Logit(p) = \ln(\frac{p}{1-p})$$

بنابراین با توجه به معادله ۳ معادله ۴ به صورت زیر قابل نتیجه گیری است

معادله ۴
$$e^{Logit(p)} = \frac{p}{1-p}$$

اگر در حالت لجستیکی به جای ضرایب a_i از ضرایب b_i استفاده شود معادله ۱ می تواند به صورت معادله ۵ را نوشته شود.

معادله (۵)
$$Logit(p)=b_0+b_1x_1+b_2x_2+\cdots+b_nx_n$$

بنابراین با جاگذاری معادله ۵ در معادله ۴، طبق روابط و معادلات ۶ و ۷ احتمال تجربی قابل محاسبه خواهد بود

معادله (۶)
$$\frac{p}{1-p} = e^{(b_0+b_1x_1+b_2x_2+\cdots+b_nx_n)}$$

معادله (۷)
$$p = \frac{e^{(b_0+b_1x_1+b_2x_2+\ldots+b_nx_n)}}{1+e^{(b_0+b_1x_1+b_2x_2+\ldots+b_nx_n)}}$$

و در این حالت یعنی در معادله p،۷ یک عدد احتمالی بین ۰ و ۱ خواهد بود که با استفاده از آن یک معیار خوب و احتمالی برای سنجش میزان قدرت تولید آنومالی یک نمونه ژئوشیمیایی برای یک نوع کانی سازی خاص قابل محاسبه خواهد بود. بنابراین با توجه به معادله ۷ و همچنین معادله ۲ روابط معادلات ۸ و ۹ برای محاسبه شاخص احتمالی کانی سازی فلورین Mineralization Probability Index یا MPI به دست می آید.

معادله (۸)
$$MPI_{Fluorite} = \frac{e^{RMI_{Fluorite}}}{1+e^{RMI_{Fluorite}}}$$

معادله (۹)
$$MPI_{Fluorite} = \frac{e^{-1.123+0.003Pb+2.466Ag+0.002Zn+0.001Sr+0.0001Ba+0.345Sb+6.228Hg}}{1+e^{-1.123+0.003Pb+2.466Ag+0.002Zn+0.001Sr+0.0001Ba+0.345Sb+6.228Hg}}$$

بنابراین با توجه به معادله ۹ اگر نتایج آنالیز یک نمونه رسوب آبراهه ای برداشت شده از منطقه مورد مطالعه در دست باشد با جاگذاری مقادیر عناصر معرف کانی سازی مورد پی جویی در رابطه فوق سریعا می توان در مورد میزان معرف بودن و قدرت تولید آنومالی نمونه فوق و همچنین احتمال حضور کانی سازی در بالادست نمونه برداشت شده اظهار نظر نمود.

توسعه مدل کلی برای معرفی شاخص احتمالی کانی سازی

با توجه به مدل به دست آمده در رابطه ۹ و همچنین با توجه به اینکه عناصر همراه، ردیاب و معرف هر نوع کانی سازی خاص در هر منطقه ممکن است با سایر مناطق و همچنین با سایر تیپ های کانی سازی فرق داشته باشد. بنابراین رابطه معادله ۹ برای استفاده در سایر مناطق و همچنین برای پی جویی سایر کانی سازی هایی که برای آنها روش های ژئوشیمیایی توسعه یافته اند به صورت معادله ۱۰ قابل تعمیم می باشد.

$$MPI_x = \frac{e^{\alpha_0+\alpha_1 y_1+\alpha_2 y_2+\alpha_3 y_3+\cdots+\alpha_n y_n}}{1+e^{\alpha_0+\alpha_1 y_1+\alpha_2 y_2+\alpha_3 y_3+\cdots+\alpha_n y_n}}$$

معادله (۱۰)

در معادله فوق y_1 تا y_n عناصر ردیاب و معرف شاخص کانی سازی ماده معدنی مورد پی جویی به دست آمده از مدل پارژنزی توصیفی و همچنین تجزیه و تحلیل چند متغیره می باشد. α_0 تا α_n نیز ضرایب رگرسیونی می باشند و همان طور که گفته شد MPI_x شاخصی برای سنجش میزان معرف بودن نمونه مورد نظر یعنی شاخص احتمالی حضور کانی سازی (از نوع مدل سازی شده و مورد پی جویی) در بالادست نمونه رسوب آبراهه ای مورد نظر می باشد. لازم به ذکر است که این شاخص باید برای هر نمونه و برای هر تیپ کانی سازی به طور جداگانه محاسبه شود.

نتیجه گیری

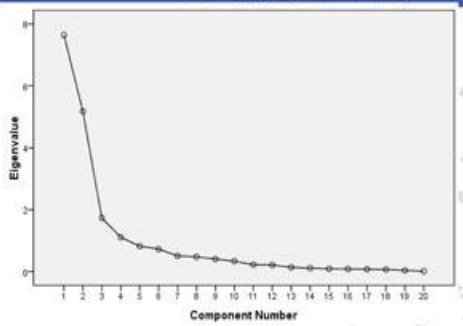
با توجه به بررسی های صورت گرفته در مطالعه حاضر و ارائه دو معیار کمی جدید در اکتشافات ژئوشیمیایی، تحت عناوین شاخص کانی سازی رگرسیونی (RMI) و همچنین شاخص احتمالی کانی سازی (MPI)، به نظر می رسد که با کاربرد این روش در اکتشافات ژئوشیمیایی و به دست آوردن این شاخص ها برای هر نمونه ژئوشیمی برداشت شده از رسوبات آبراهه ای می توان با استفاده از یک معیار مناسب نمونه های دارای آنومالی و با اهمیت را تفکیک نمود و نمونه های معرف کانی سازی و حتی احتمال معرف بودن را شناسایی نمود. به این منظور باید ابتدا با استفاده از تلفیق نتایج مدل توصیفی ذخایر مورد پی جویی و همچنین خروجی تجزیه و تحلیل های چند متغیره، عناصر معرف و شاخص کانی سازی برای هر تیپ کانی سازی و ماده معدنی، در هر منطقه مورد اکتشاف را شناسایی نمود و سپس با استفاده از تحلیل رگرسیون رابطه بین غلظت عناصر و شاخص کانی سازی را به دست آورد و در نهایت با محاسبه شاخص احتمالی کانی سازی MPI احتمال حضور کانی سازی از نوع مورد پی جویی و مدل سازی شده را نیز محاسبه نمود.

منابع

[۱] حسنی پاک، علی اصغر، ۱۳۷۴، بهینه سازی پروژه های اکتشافی، انتشارات دانشگاه یزد.
[۲] گروه اکتشاف سازمان صنایع و معادن استان مازندران، ۱۳۸۳، گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ پل سفید.
[۳] مونسه تحقیقات و مواد معدنی ایران، ۱۳۷۳، پی‌جوئی فلورین منطقه شرق دوآب مازندران.
[۴] وهاب‌زاده، قربان، ۱۳۸۵، اکتشاف فلورین در شرق البرز مرکزی، مهندسان مشاور یاران معدن آرا.
[۵] یوسفی، مهیار، خالوکاکائی، رضا، ۱۳۸۵، کاربرد کامپیوتر در معدن (اکتشاف، استخراج، زمین شناسی)، جهاد دانشگاهی صنعتی امیرکبیر.
[۶] یوسفی، مهیار، ۱۳۸۶، طرح شناسائی پتانسیل‌های فلورین در شهرستان سوادکوه(مطالعات زمین شناسی)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه.
[۷] Agterberg, F. P., ۱۹۹۲, Estimating the probability of occurrence of mineral deposits from multiple map patterns, *in* Merriam, D. F., and Kurzl, H., eds., Use of Microcomputers in Geology: Plenum Press, New York, p. ۷۳–۹۲.
[۸] Cheng, Q., Agterberg, F.P., Ballantyne, S.B., ۱۹۹٤. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. J. Geochem. Explor. ۵۱, ۱۰۹–۱۳۰.
[۹] Daneshfar, B., Desrochers, A., and Budkewitsch, P., ۲۰۰۶, Mineral-Potential Mapping for MVT Deposits with Limited Data Sets Using Landsat Data and Geological Evidence in the Borden Basin, Northern Baffin Island, Nunavut, Canada.
[۱۰] Hosmer Jr., D. W., and Lemeshow, S., ۱۹۸۹, Applications of logistic regression: John Wiley & Sons, Inc. New York, ۳۰۷ p.
[۱۱] levinson.A.A, ۱۹۸۰, Introduction to exploration geochemistry (second edition), Department of geology and geophysics university of Calgary-Calgary, Alberta, Canada.
[۱۲] Miesch, A.T., Riley, L.B., ۱۹۶۱, Basic statistical methods used in geochemical investigation of Colorado Plateau uranium deposits. HIMMP Trans. (Mining) ۲۲۰, ۲٤۷–۲۵۱.
[۱۳] M. Hale, J.A. Plant, ۱۹۹٤, Handbook of Exploration Geochemistry, Vol. ٦, Elsevier science B.V, Amesterdam.
[۱٤] Sichel, H.S., ۱۹۵۲, New methods in the statistical evaluation of mine sampling data. London Inst. Mining Metall. Trans. ٦۱, ۲٦۱–۲۸۸.

تشکر و قدر دانی

با توجه به اینکه مقاله حاضر حاصل طرح پژوهشی تحت حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه اجرا شده به این وسیله کمال تشکر و قدردانی را از ایشان و همچنین ریاست محترم دانشگاه اعلام می داریم.



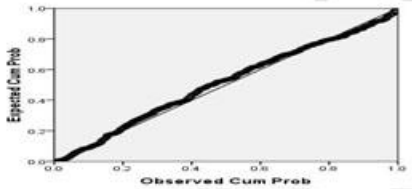
شکل ۱. نمودار صخره‌ای مربوط به داده‌ها تحلیل چند متغیره

جدول ۱. نتایج تجزیه و تحلیل چند متغیره و شناسایی فاکتورهای ژئوشیمیایی

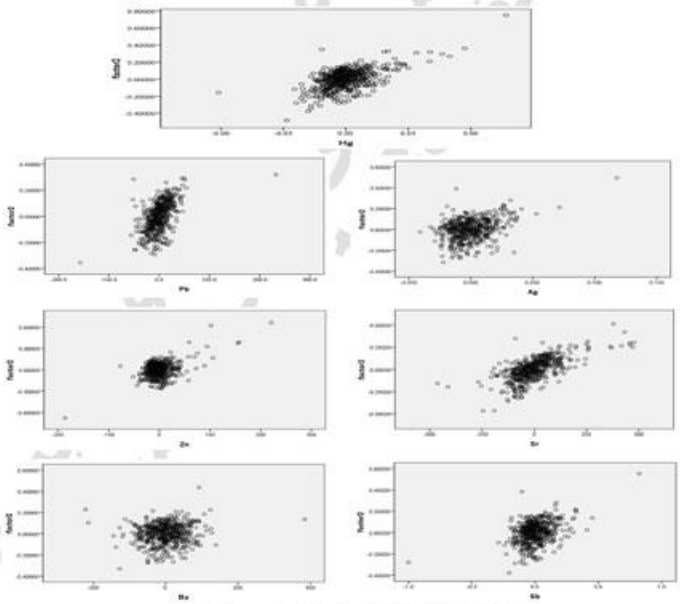
	۱	۲	۳	۴
Cu	.۸۲۶	.۰۸۱	.۲۹۴	.۲۳۹
Pb	.۰۶۸	.۹۷۶	-.۰۳۱	-.۰۱۴
Ni	.۷۱۱	.۰۳۴	.۵۷۵	.۰۴۸
Mo	-.۱۰۴	.۲۳۳	.۶۶۴	-.۲۲۳
Sn	.۲۳۹	-.۰۲۶	.۷۳۲	.۴۰۴
Ag	.۰۳۲	.۹۰۰	.۲۴۱	.۰۴۶
Zn	.۰۰۴	.۹۵۰	.۱۵۳	.۰۳۲
Co	.۷۰۶	.۱۰۰	.۵۱۵	-.۰۰۵
Cr	.۸۱۹	.۰۷۷	-.۲۱۰	-.۰۳۴
V	.۹۰۷	.۱۹۲	-.۰۰۵	-.۰۱۴
Mn	.۸۲۲	.۰۴۲	-.۰۹۵	.۰۲۹
Sr	-.۴۲۲	.۷۴۳	.۲۵۹	-.۰۳۵
Ba	.۲۶۲	.۹۴۳	-.۰۶۲	.۰۱۳
Fe	.۹۳۰	.۱۶۷	-.۰۱۸	.۰۰۳
As	.۷۲۲	.۱۴۲	.۲۰۱	-.۱۷۶
Sb	.۲۷۶	.۹۱۱	.۰۵۲	-.۰۳۵
Bi	.۶۴۵	-.۰۰۷	.۱۰۹	.۰۵۷
Hg	.۱۸۲	.۹۲۹	-.۰۸۶	-.۰۲۲
W	.۶۸۷	-.۰۵۲	.۰۲۲	.۲۲۱
Au	.۰۶۱	.۰۳۱	.۰۰۶	.۹۱۶

جدول ۲. همبستگی بین عناصر و فاکتور دوم ژئوشیمیایی معرف کانی سازی مورد پی جویی

	factor۲	Pb	Ag	Zn	Sr	Ba	Sb	Hg
factor۲	۱,۰۰۰	.۹۷۶	.۹۰۰	.۹۵۰	.۷۴۳	.۹۴۳	.۹۱۱	.۹۲۹
Pb	.۹۷۶	۱,۰۰۰	.۸۵۵	.۹۱۷	.۶۸۷	.۹۶۲	.۸۸۴	.۹۱۴
Ag	.۹۰۰	.۸۵۵	۱,۰۰۰	.۸۷۸	.۶۸۹	.۸۴۰	.۸۳۲	.۷۹۶
Zn	.۹۵۰	.۹۱۷	.۸۷۸	۱,۰۰۰	.۷۰۳	.۸۷۲	.۸۵۸	.۸۷۰
Sr	.۷۴۳	.۶۸۷	.۶۸۹	.۷۰۳	۱,۰۰۰	.۵۶۸	.۵۴۹	.۵۵۰
Ba	.۹۴۳	.۹۶۲	.۸۴۰	.۸۷۲	.۵۶۸	۱,۰۰۰	.۹۲۰	.۹۰۹
Sb	.۹۱۱	.۸۸۴	.۸۳۲	.۸۵۸	.۵۴۹	.۹۲۰	۱,۰۰۰	.۸۸۱
Hg	.۹۲۹	.۹۱۴	.۷۹۶	.۸۷۰	.۵۵۰	.۹۰۹	.۸۸۱	۱,۰۰۰



شکل۲. نمودار احتمال- احتمال



شکل۳. نمودارهای پراکندگی عناصر شاخص نسبت به فاکتور دوم