



جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های خاک در شرق منطقه نیسیان، استان اصفهان

سمانه برک^۱، عباس بحرودی^۲، گلناز جوزانی^۳، سهیلا اصلانی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف، گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشیار اکتشاف معدن، گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- دکتری اکتشاف معدن، گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴- استادیار اکتشاف معدن، گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: rezasharifi@shirazu.ac.ir

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۲/۴، پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۳/۱۹

چکیده

نتایج حاصل از بررسی‌های دورسنجی در منطقه شرقی نیسیان واقع در ۷۳ کیلومتری شمال شرق استان اصفهان، موید وجود دگرسانی‌های فیلیک، آرزلیک و پروپلیتیک است که این امر، احتمال وجود کانی‌سازی مس و مولیبدن پورفیری را در منطقه مطرح می‌سازد. هدف از انجام این پژوهش، تعیین مناطق غنی‌شدگی مرتبط با عناصر مس، مولیبدن و طلا براساس تحلیل ۹۴۵ داده ژئوشیمیایی از نمونه‌های خاک در منطقه شرقی نیسیان است. در این راستا، نمونه‌برداری از نمونه‌های خاک در محدوده ابعادی ۶۰-۴۰ م‌ش به صورت ردیفی-تصادفی و سپس آنالیز ۴۳ عنصری نمونه‌ها به روش طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP) انجام شد. در این تحقیق ابتدا محاسبات آماری شامل پیش‌پردازش، جایگزینی داده‌های سنسورد، تصحیح مقادیر خارج از ردیف و نرمال‌سازی و سپس پردازش‌های آماری چندمتغیره بر روی داده‌ها انجام شد. جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی به روش‌های سنتی و حاصل ضرب P.N انجام شد و صحت نتایج پس از ترسیم نقشه‌های پتانسیل عناصر مس، مولیبدن و طلا با اندیس‌های واقع در منطقه مقایسه و اعتبارسنجی شد. نتایج حاکی از تشکیل کانسار مس و مولیبدن پورفیری در منطقه می‌باشد و به دلیل غنی‌شدگی طلا در برخی نواحی، احتمال تشکیل کانسار طلای اپی‌ترمال نیز دور از انتظار نخواهد بود.

واژه‌های کلیدی: اکتشافات ژئوشیمیایی، نیسیان شرقی، پتانسیل‌یابی مس-مولیبدن و طلا

۱- مقدمه

دلیل خاصیت غیربرداری، وسعت پراکندگی عناصر در خاک‌های برجا نسبت به رسوبات رودخانه‌ای نسبتاً کمتر است. در ارتباط با عناصر بی‌تحرك مانند سرب و کروم، بررسی خاک‌ها در مرحله تفصیلی مفید واقع می‌شود (حسنی‌پاک، ۱۳۸۳ و یزدی، ۱۳۸۱). در تحقیقی روش بررسی خاک برجا در محدوده اکتشافی بیدستر در باختر کوه آتشفشان تفتان انجام گرفته است. در عملیات اکتشاف ژئوشیمی و زمین‌شناسی صورت گرفته دو محدوده جداگانه بصورت شبکه ۵۰×۱۰۰ متر (شبکه کوه مادوفتی) و شبکه ۱۰۰×۱۰۰ متر (شبکه دره بیدستر) به وسعت تقریبی کل ۳۳/۸ کیلومتر مربع با تعداد ۶۴۱ نمونه ژئوشیمی خاک طراحی شده است. در این بررسی روش تخمین مقادیر بر ساختار زمین‌آمار استوار بوده که شرح و مزایای آن در تعریف روش کریجینگ و در ابزار قدرتمند آن (واریوگرام) آورده شده است. در نهایت این روش تخمین با اعمال واریوگرام اساس ترسیم نقشه‌های ناهنجاری عناصر مختلف گردید و بخش پیشنهادی در غرب شبکه شمالی برای مرحله بعدی اکتشاف مشخص شد (شکوه‌زنگنه و همکاران، ۱۳۸۴). در مطالعه‌ای دیگر در محدوده تل‌مسی کوهستان کفوت بم در محدوده‌ای به وسعت ۵ کیلومتر مربع از روش ژئوشیمیایی خاک برجا جهت اکتشاف استفاده شده است این مطالعه سه مرحله اصلی را در بر می‌گیرد: ۱- طراحی شبکه نمونه‌برداری، ۲- آماده‌سازی و تجزیه‌ی نمونه‌ها، ۳- پردازش، تجزیه و تحلیل. پس از انجام مراحل مذکور، مناطقی به عنوان آنومالی درجه یک

پس از تهی شدن کانسارهای نمایان و پرعیار، جستجو و بهره‌برداری از نهشته‌هایی با عیار کم توجیه اقتصادی یافته است. اما از آنجا که از نظر علمی، تعیین مکان واقعی این نهشته‌های کم عیار مشکل است، ژئوشیمی اکتشافی در چنین مواردی اهمیت زیادی می‌یابد (حسنی‌پاک، ۱۳۸۳). ژئوشیمی اکتشافی با تکیه بر اصول رفتار شیمیایی عناصر و مناسبات گروهی آنها، در پی یافتن کلیدهایی است که با استفاده از آنها نقاط امیدبخش و زون‌های کانی‌سازی را معرفی نماید (Borovec, 1996). معمولاً خاک‌های برجا به خوبی منعکس‌کننده توزیع عناصر در سنگ بستر هستند و نمونه‌برداری از آنها به منظور کشف مناطق پرتانسیل زیرین معمولاً نتایج بسیار موفقی داشته است. در ارتباط با خاک‌های نابرجا، کشف هر نوع ناهنجاری نشان‌دهنده احتمال وجود کانسار در سنگ منشاء آنهاست. معمولاً امید به یافتن ناهنجاری در خاک‌ها با تغییرات زیاد در میزان عناصر ردیاب در آنها افزایش می‌یابد. لذا در اکتشافات ژئوشیمیایی خاک‌ها، معمولاً عناصر ردیاب که عموماً جزء عناصر کمیابند، مورد بررسی قرار می‌گیرند و تغییر در عناصر اصلی مثل سیلیسیم، آلومینیم و آهن اهمیت چندانی ندارد (یزدی، ۱۳۸۱). اصولاً، عناصر پرتحرک مانند مس، روی و طلا بهترین نتیجه را در هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه خاک به دست می‌دهند. البته به

شده) و برای تعیین بهترین مناطق، جهت عملیات حفاری و نیل به نتایج بهتر و دقیق‌تر، از روش هاله‌های مرکب استفاده شد. سپس برای ارزیابی سطح فرسایش در محدوده کانساری از روش سولووف استفاده شد و مشخص شد که خوشبختانه کانسار در ژرفا قرار دارد و توسط فرسایش از بین نرفته است (فرمینی و همکاران، ۱۳۸۸).

۲- زمین‌شناسی منطقه

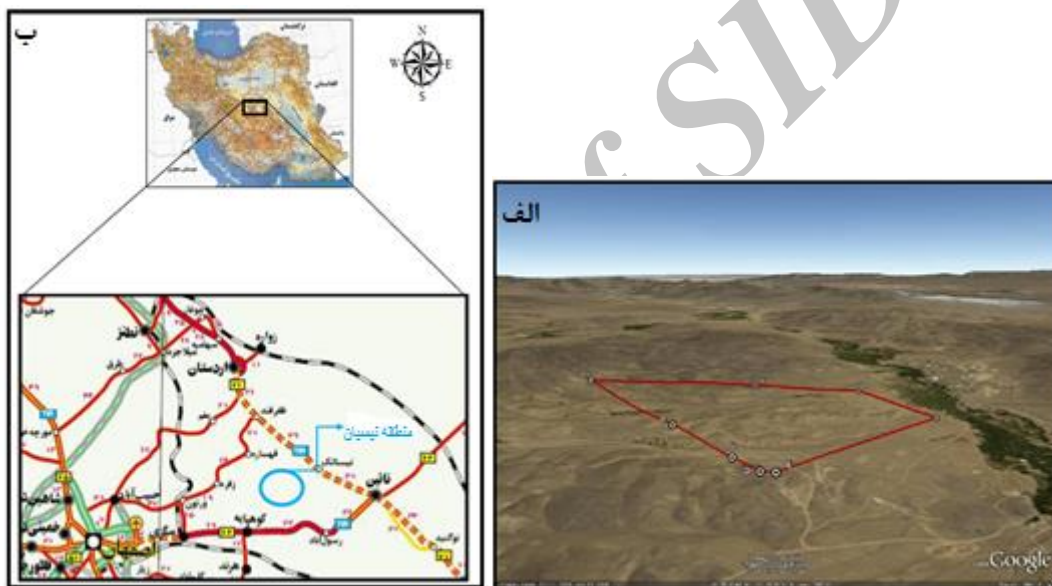
محدوده نسیان شرقی در استان اصفهان، ۷۳ کیلومتری شمال شرق شهرستان اصفهان، ۱۰ کیلومتری شرق روستای زفره و در همسایگی روستای نسیان واقع شده است. محدوده موردنظر در شمال شرق برکه ۱:۱۰۰۰۰۰، کوهپایه، در میان طول‌های جغرافیایی $28^{\circ} 28' 03''$ تا $29^{\circ} 29' 16''$ و عرض‌های جغرافیایی $55^{\circ} 45' 32''$ تا $56^{\circ} 12' 32''$ جای گرفته است. بر طبق نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ منطقه واحدهای زمین‌شناسی منطقه در جدول ۱ نمایش داده شده است. بیشتر اطراف محدوده کانسار کوهستانی است، ولی در محدوده زون آلتراسیون و کانی‌سازی ریخت تپه ماهوری دارد. نقشه محدوده مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. بر طبق تقسیمات ساختمانی (تکتونیک صفحه‌ای) این ناحیه و بخش موردنظر، در حاشیه باختری زون ایران مرکزی واقع شده است. گسل‌ها در این محدوده بخصوص از مرکز به سمت شرق و جنوب منطقه، تراکم بالایی دارند (گزارش شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۹). محدوده دگرسانی‌ها و کانسار توسط توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق تا ساب‌ولکانیک با ترکیب حدواسط تا اسید یا از نوع دیوریتی، مونزودیوریتی، داسیتی، گرانودیوریتی و کوارتز دیوریتی پوشیده شده است. در اطراف کانسار، واحدهای میزبان توده‌های نیمه‌عمیق، با ترکیب آندزیتی تا تراکی آندزیت و پیروکلاستیک‌های هم‌ارز آنها، به خصوص در بخش‌های شمالی، رخنمون یافته‌اند. همچنین خاک‌های ناشی از فرسایش این واحدهای سنگی نیز بخش مهمی از محدوده کانسار را پوشش می‌دهد (گزارش شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۹).

(شمال‌غرب- جنوب شرق) مربوط به عناصر روی، سرب، مس و نقره برای انجام مطالعات بعدی معرفی شدند. همچنین وجود احتمالی کانه‌سازی مس در سنگ‌های ریولیتی این منطقه بیان شد (قلی‌زاده و رسا، ۱۳۸۶)، در پژوهشی از منطقه نسیان نخست زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته و نقشه واحدهای سنگی ترسیم شده است. سپس با استفاده از روش‌های دورسنجی، گسل‌ها و دگرسانی‌ها در منطقه مورد مطالعه مشخص شده‌اند. داده‌های مغناطیس‌سنجی توانسته مناطق کم شدت و با شدت زیاد میدان مغناطیسی را از یکدیگر جدا سازد. در مرحله بعد، مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه صورت گرفته است که بر این اساس دو محدوده آنومالی با اولویت بالای مس تعیین شده است. در نهایت تلفیق این لایه‌ها بسته نرم‌افزاری RockWorks صورت گرفته و مناطق امیدبخش جهت اکتشاف مس در این منطقه تعیین شدند (افضل و همکاران، ۱۳۸۹). بر اساس این مطالعات، دو منطقه امیدبخش جهت اکتشاف مس در این منطقه معرفی گردید در مطالعه‌های دیگر از محدوده اکتشافی نسیان که در آن ۱۷۴ نمونه از خاک‌های منطقه به روش سیستماتیک و ۱۴۳ نمونه سنگی از رخنمون‌های موجود در منطقه برداشت شده و تحت تجزیه شیمیایی ۴۵ عنصری قرار گرفتند. پس از حصول اطمینان از دقت در نتایج تجزیه، اقدام به پردازش داده‌ها و محاسبه پارامترهای آماری شد. سپس به کمک روش‌های آماری دو متغیره و چند متغیره میزان همبستگی بین عناصر بررسی شدند. در مرحله بعد، برای بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر مرتبط با مس و مولیبدن و تشخیص محدوده‌های بی‌هنجاری، نقشه‌هایی رسم شد. رسم نقشه‌ها در یک مرحله بر اساس داده‌های نرمال استاندارد و محاسبه درصدها و در مرحله بعد به روش حد آستانه‌ای به اضافه مقادیری از انحراف معیار صورت گرفت و مشخص شد که بیشترین تمرکز عناصر تحت کانساری مانند مس و مولیبدن در قسمت‌های مرکزی منطقه و در کوارتز مونزونیت‌ها و دیوریت‌ها صورت گرفته در صورتی که بیشترین میزان غلظت عناصر فوق کانساری همچون سرب، روی و نقره در قسمت‌های حاشیه‌ای و در سنگ‌های آندزیتی منطقه اتفاق افتاده است. پس از آن برای تفکیک و تشخیص ناهنجاری‌های با اهمیت، از روش حاصل‌ضرب $P.N$ (P، احتمال پیدایش نمونه‌ای با مقدار مطلوب موردنظر و N، تعداد نمونه‌های برداشت

جدول ۱- خلاصه مشخصات واحدهای زمین‌شناسی در منطقه نسیان شرقی

نوع سنگ	ردیف	نام سنگ	سن	علامت
واحدهای رسوبی	۱	رسوبات عهد حاضر	پلیوستوسن هولوسن	Qa1
	۲	تراس‌های جوان	پلیوستوسن هولوسن	Qt1
	۳	تراس‌های قدیمی	پلیوستوسن هولوسن	Qt2
واحدهای ولکانیکی	۱	توف درشت دانه	ائوسن	Eft
	۲	آندزیت تا بازالت آندزیتی	ائوسن	Eab
واحدهای نفوذی و ساب‌ولکانیک	۱	کوارتز پورفیری	پس از ائوسن (احتمالا الیگومیوسن)	qp

dap1	پس از ائوسن (احتمالا الیگومیوسن)	داسیت پورفیری (ساب‌ولکانیک)	۲	
dap2	پس از ائوسن (احتمالا الیگومیوسن)	داسیت پورفیری (کم عمق تا ساب‌ولکانیک)	۳	
qdi	پس از ائوسن (احتمالا الیگومیوسن)	کوارتز دیوریت پورفیری تا دیوریت پورفیری (ساب‌ولکانیک)	۴	
qm	پس از ائوسن (احتمالا الیگومیوسن)	کوارتز مونزونیت تا کوارتز مونزودیوریت	۵	
di	پس از ائوسن (احتمالا الیگومیوسن)	دیوریت	۶	
dqdi	-	دایک کوارتز دیوریت	۱	دایک‌ها
ddi	-	دایک پورفیری	۲	



شکل ۱- الف) تصویر ماهواره‌ای منطقه اکتشافی، محدوده مطالعاتی مشخص شده است. ب) موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی این پروژه و راه‌های دسترسی محلی در منطقه اکتشافی

۳- مواد و روش‌ها

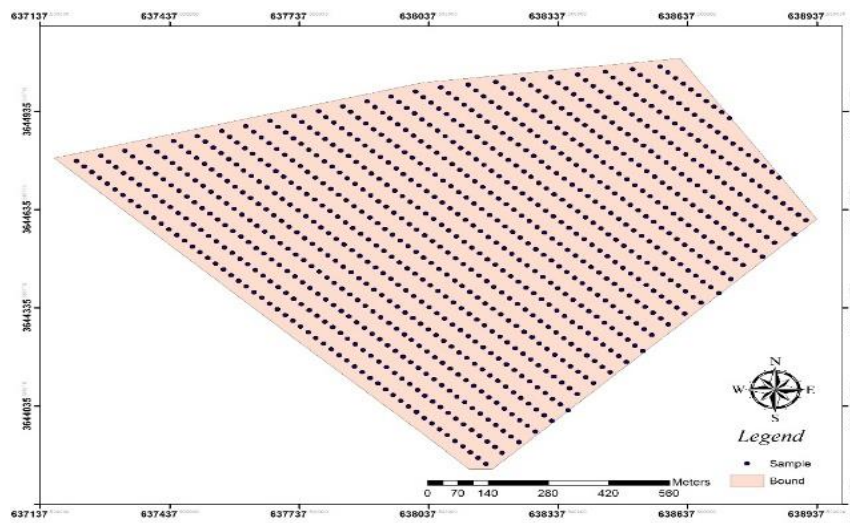
بررسی ژئوشیمیایی خاک‌ها، بیشتر در مواردی به کار برده می‌شود که رخنمون سنگ بسیار نادر است و روش‌های دیگر اکتشافی دلالت بر وجود احتمالی کانی‌سازی دارند (حسینی‌پاک، ۱۳۸۳). بررسی ژئوشیمیایی خاک‌ها، به ویژه خاک‌های برجا در نواحی خشک و مسطح که سایر روش‌های اکتشافی کاربرد چندانی ندارند، از نظر اکتشافی بسیار مفید است. نتیجه استفاده از این روش چه به عنوان یک روش مقدماتی یا تفصیلی با موفقیت گزارش شده است (حسینی‌پاک، ۱۳۸۳). از این رو در این پژوهش، به دلیل خشک بودن منطقه، نمونه‌برداری از خاک‌های برجا انجام شده است. بر اساس نتایج مطالعات مقدماتی سنجش از دور به وسیله تصاویر استر و بررسی‌های این تصاویر به کمک آنالیز مولفه‌های اصلی، نسبت بانندی و ترکیب رنگی کاذب حضور آلتراسیون‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک در منطقه تثبیت شده و بر این اساس در مقیاس ۱:۵۰۰۰، برداشت نمونه‌های

ژئوشیمیایی خاک مناسب تشخیص داده شد. در مجموع ۹۴۵ نمونه ژئوشیمیایی خاک از منطقه مورد بررسی به روش ردیفی- تصادفی برداشت شده است (شکل ۲). هر نمونه شامل ۳۰۰ گرم خاک با اندازه ابعادی در محدوده ۴۰-۶۰ مش است که برای ۴۳ عنصر آنالیز شد. روش آنالیز همه عناصر به استثنای طلا به روش طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP) انتخاب شد و عیار طلا به روش طیف‌سنجی جذب اتمی با شعله (F.A.A) در آزمایشگاه زرآزما اندازه‌گیری شد. عناصر آنالیز شده عبارتند از:

Ag, Al, As, Au, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Sn, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr.

که همگی با تضمین حد حساسیت کمتر از مقدار زمینه مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند، در این تحقیق ابتدا محاسبات آماری شامل پیش‌پردازش، جایگزینی داده‌های سنسورد، تصحیح مقادیر خارج از ردیف،

نرمال سازی و سپس پردازش های آماری چندمتغیره بر روی داده ها انجام P.N انجام گرفته است. شد. جداسازی آنومالی های ژئوشیمیایی به روش های سنتی و حاصل ضرب



شکل ۲- موقعیت نمونه های برداشت شده

۴- بحث و بررسی

۴-۱- آماده سازی و پیش پردازش داده ها

قبل از استفاده از داده های ژئوشیمیایی یکسری عملیات تحت عنوان پیش پردازش بر روی داده های خام انجام می شود. در این تحقیق به دلیل استفاده از نمونه های خاک بر جا نیازی به خنثی سازی مولفه سن ژنتیک از طریق محاسبه شاخص غنی شدگی نبود.

۴-۳- پردازش داده های خام

ابتدا برای کلیه داده های خام به وسیله نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ هیستوگرام و نمودار تابع تجمعی رسم شد و سپس بررسی های آماری تک متغیره به وسیله نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ به منظور استخراج پارامترهای آماری شامل تعداد نمونه های به کار رفته در تحلیل، تعداد نمونه های از دست رفته، میانگین، میانه، انحراف معیار، واریانس، چولگی، کشیدگی، مقادیر بیشینه، کمینه و غیره بررسی شد (جدول ۲). با بررسی های انجام شده بر روی هیستوگرام و نمودار تابع تجمعی با توجه به مقادیر p-value مربوط به این متغیرها، غیرنرمال بودن تابع توزیع عناصر اثبات شد. تابع توزیع تمام عناصر عمدتاً دارای چولگی مثبت و منفی هستند.

۴-۲- شناسایی و جایگزینی مقادیر سنسورد

داده های سنسورد به داده هایی گفته می شود که در بین آنها به علت بالا بودن حد حساسیت دستگاه های اندازه گیری تعدادی داده به صورت مقادیر کوچکتر یا بزرگتر از حد تشخیص دستگاه یافت می شوند (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). وجود این داده ها باعث بروز مشکلاتی در پردازش های ژئوشیمیایی می شوند، لذا باید توسط روش های آماری اصلاح شوند. روش های مختلفی برای اصلاح این داده ها وجود دارد که می توان به

جدول ۲- پارامترهای آماری تک متغیره توزیع عناصر مختلف

دامنه	مینیمم	ماکسیمم	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
Ag	۰/۲۸	۲/۳۰	۰/۳۵۳۴	۰/۰۹۲۶۰	۰/۰۰۹	۱۲/۳۱۳	۲۲۱/۸۶۵
Al	۴۰۵۲۷	۱۲۵۲۹۵	۶۹۷۱۸/۷۶	۱۱۷۵۳/۰۷۷	۱۳۸۱۳۴۸۲۱/۴۵۳	۰/۵۷۶	۰/۱۸۵۵
As	۶/۵	۵۲/۸	۱۳/۷۵۱	۳/۳۵۷۳	۱۱/۲۷۱	۲/۷۷۱	۲۱/۷۸۶
Au	۱	۸۰	۵/۶۷	۶/۶۵۷	۴۴/۳۱۲	۴/۴۲۹	۳۰/۳۰۹

۴/۸۸۰	۱/۸۴۲	۱۰۱۳۵/۹۵۶	۱۰۰/۶۷۷	۲۶۱/۸۸	۱۱۴۹	۳۱۲	۸۲۷	Ba
۱/۶۶۱	۰/۶۵۷	۰/۰۵۲	۰/۲۲۷۱	۱/۸۱۲	۳/۰	۱/۰	۲/۰	Be
۱۱۹/۰۸۳	۸/۷۵۰	۰/۰۲۰	۰/۱۴۰۷۴	۰/۴۸۴۵	۳/۰۰	۰/۳۷	۲/۶۳	Bi
۲/۹۲۷	۱/۱۶۷	۲۹۳۷۱۴۱۸۲/۷۶۷	۱۷۱۳۸/۰۹۲	۴۲۲۳۶/۸۲	۱۶۱۴۹۰	۱۲۵۲۳	۱۴۸۹۶۷	Ca
۲۳۲/۱۶۹	۱۴/۵۸۴	۰/۰۰۵	۰/۰۶۷۴۷	۰/۲۷۹۰	۱/۵۴	۰/۲۳	۱/۳۱	Cd
۰/۹۵۴	۰/۷۲۱	۴۰/۸۶۳	۶/۳۹۲	۴۳/۹۰	۷۸	۲۲	۵۶	Ce
۱۳/۲۹۵	۲/۷۴۹	۲۴/۵۶۷	۴/۹۵۷	۲۱/۸۲	۶۹	۹	۶۰	Co
۲/۴۰۳	۱/۲۲۲	۱۴۲۳/۳۴۷	۳۷/۷۲۷	۱۴۷/۹۹	۳۲۳	۵۸	۲۶۵	Cr
۳۹/۹۷۵	۳/۰۶۰	۰/۰۴۲	۰/۲۰۴۴	۲/۱۴۳	۵/۰	۱/۶	۳/۴	Cs
۲۰/۴۸۸	۴/۰۷۵	۱۲۱۴۹/۱۲۱	۱۱۰/۲۲۳	۱۲۱/۸۲	۹۸۸	۳۵	۹۵۳	Cu
۶۶۱/۴۴۱	۲۳/۶۲۲	۱۵۹۴۱۳۹۶۷/۴	۱۲۶۲۵/۹۲۴	۴۳۱۶۶/۷۴	۳۹۷۰۶۰	۲۴۵۵۱	۳۷۲۵۰۹	Fe
۰/۸۸۳	۰/۴۸۰	۱۴۸۳۳۰۷۴/۹۹۹	۳۸۵۱/۳۷۳	۱۹۰۵۶/۱۶	۳۸۷۸۷	۷۶۴۵	۳۱۱۴۲	K
۱/۱۱۷	۰/۷۵۶	۱۳/۱۳۸	۳/۶۲۵	۲۴/۴۰	۴۴	۱۲	۳۲	La
۰/۱۶۴	۰/۱۲۶	۲۴/۳۱۵	۴/۹۳۱	۳/۱۷۸	۴۹	۱۶	۳۳	Li
۰/۸۴۴	۰/۲۲۱	۵۲۸۶۷۹۱/۷۰۱	۲۲۹۹/۲۸۹	۱۹۶۵۴/۴۶	۲۸۲۲۳	۱۰۶۶۹	۱۷۶۵۴	Mg
۱۸/۰۷۷	۲/۷۱۴	۸۶۶۶۸/۱۵۲	۲۹۴/۳۹۵	۱۰۰۶/۰۶	۴۰۹۵	۲۶۶	۳۸۲۹	Mn
۷۲/۴۶۷	۷/۴۴۶	۱۴/۶۸۲	۳/۸۳۱۶۸	۱/۶۸۷۰	۵۶/۸۰	۰/۶۲	۵۶/۱۸	Mo
۱/۲۶۱	۰/۸۹۵	۱۹۵۴۵۹/۹۷۴	۴۴۲/۱۰۹	۵۴۹۸/۰۱	۷۴۹۴	۴۵۵۷	۲۹۳۷	Na
۰/۵۶۸	۰/۵۱۳	۴۶/۹۲۳	۶/۸۵۰	۳۹/۹۷	۶۴	۱۶	۴۸	Nb
۰/۹۷۱	۰/۲۶۳	۱۳۶/۷۱۱	۱۱/۶۹۲	۷۶/۸۹	۱۳۰	۳۴	۹۶	Ni
۸۲۶/۴۵۸	۲۷/۸۸۰	۶۳۴۱۸۸/۰۳۰	۷۹۶/۳۵۹	۱۱۴۶/۳۶	۲۴۷۴۱	۶۴۸	۲۴۰۹۳	P
۱۲/۶۱۷	۲/۸۹۳	۸۴۷/۵۷۵	۲۹/۱۱۳	۵۴/۸۷	۲۷۵	۱۰	۲۶۵	Pb
۱/۲۶۳	۰/۷۲۸	۱۹۱/۵۱۱	۱۳/۸۳۹	۷۷/۶۰	۱۴۶	۴۳	۱۰۳	Rb
۱۹۵/۹۷۰	۱۰/۹۳۹	۳۱۷۴۶۹/۹۰۳	۵۶۳/۴۴۵	۵۸۷/۰۶	۱۲۰۹۰	۳۱۰	۱۱۷۸۰	S
۳/۷۶۲	۱/۰۱۹	۰/۰۰۶	۰/۰۷۴۸۴	۱/۰۱۶۰	۱/۵۲	۰/۸۳	۰/۶۹	Sb
۱/۱۰۰	۰/۶۶۳	۴/۵۵۵	۲/۱۳۴۳	۱۳/۳۴۹	۲۲/۶	۶/۹	۱۵/۷	Sc
۵۱۹/۳۷۴	۱۹/۷۱۰	۰/۰۸۵	۰/۲۹۰۹	۲/۳۲۲	۱۰/۰	۱/۸	۸/۲	Sn
۳/۲۳۳	۱/۳۱۵	۱۱۶۲۸/۷۲۰	۱۰۷/۸۲۷	۴۳۲/۵۷	۱۰۶۸	۲۳۰	۸۲۸	Sr
۱/۹۷۵	۰/۹۳۵	.	۰/۰۰۹۰۱	۰/۱۵۵۳	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۰۷	Te
۳/۰۸۶	۱/۳۵۹	۲/۶۶۳	۱/۶۳۱۷	۸/۳۵۲	۱۷/۸	۴/۱	۱۳/۷	Th
۱/۴۷۵	۰/۵۱۴	۱۵۸۴۵۴/۰۶۴	۱۲۵۸/۷۵۱	۵۴۵۵/۴۹	۱۰۹۹۴	۱۱۱۶	۹۸۷۸	Ti
۰/۲۲۱	۰/۲۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۸۵۲۴	۱/۰۷۲۴	۱/۳۲	۰/۷۷	۰/۵۵	Tl
۲/۰۵۴	۰/۳۷۹	۰/۰۳۱	۰/۱۷۶۷	۲/۲۸۹	۳/۳	۱/۸	۱/۵	U
۱/۷۵۳	۰/۷۲۳	۳۱۲/۹۹۷	۱۷/۶۹۲	۱۱۹/۹۴	۱۹۵	۵۴	۱۴۱	V
۸۲۲/۶	۲۸/۰۰۴	۱۴/۵۶۷	۳/۸۱۶۷۳	۱/۲۳۰۳	۱۱۴/۱۴	۰/۸۶	۱۱۳/۲۸	W
۱۴/۸۹۱	۱/۷۱۲	۵/۹۶۶	۲/۴۴۲	۲۳/۵۷	۴۹	۱۴	۳۵	Y
۲/۹۲۳	۰/۱۱۹	۰/۰۴۷	۰/۲۱۶۳	۲/۶۸۰	۴/۱	۱/۶	۲/۵	Yb

۱۳/۲۷۰	۲/۵۲۷	۲۱۱۱/۳۴۷	۴۵/۹۴۹	۱۳۷/۴۳	۵۴۰	۴۰	۵۰۰	Zn
۰/۲۳۱	۱۴۵	۱۰۸۸/۸۵۰	۹۹۸/۳۲	۱۲۷/۷	۲۳۰	۴۶	۱۸۴	Zr

۴-۴- تصحیح مقادیر خارج از ردیف

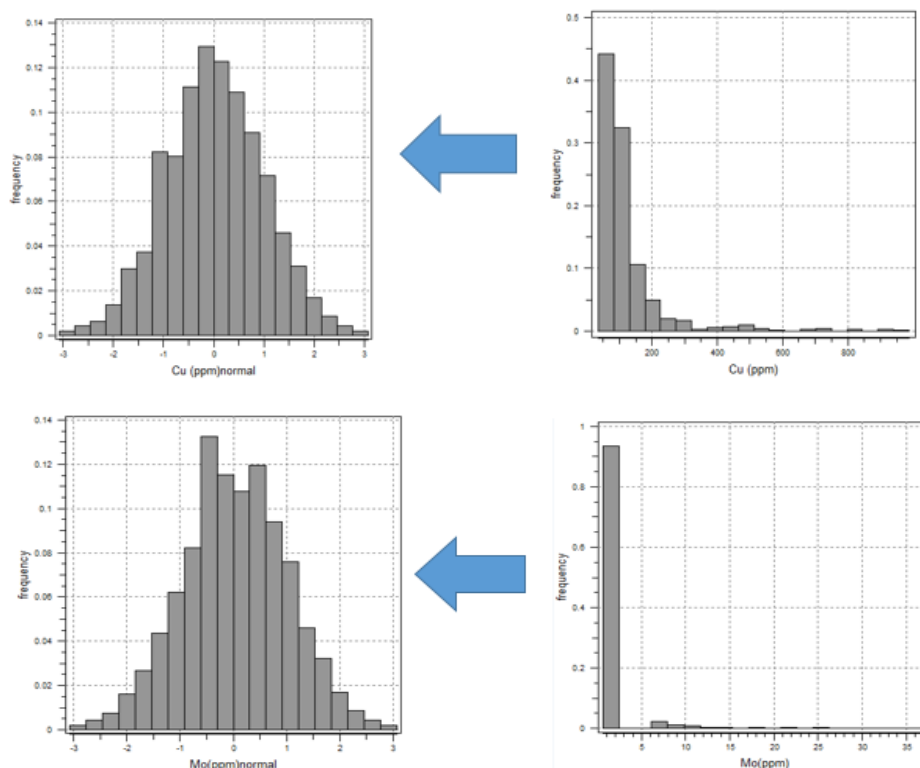
روش‌های آماری استفاده شود، اکثر روش‌های آماری (به جز روش‌های غیرپارامتری) فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را به همراه دارند (حسینی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). پس از جایگزینی مقادیر خارج از ردیف، جامعه آماری تا حدود زیادی به توزیع نرمال نزدیک می‌شود اما تا نرمال شدن به شکل حقیقی فاصله زیادی دارد، در این شرایط می‌توان با استفاده از توابع تبدیل مختلف، داده‌ها را طوری تبدیل کرد که مقادیر تبدیل یافته آنها دارای توزیع نرمال باشند (حسینی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

در این تحقیق به منظور نرمال‌سازی داده‌ها از اجرای الگوریتم کاکس و باکس توسط نرم‌افزار S-Gems نسخه 2.1 استفاده شده است. نتایج قبل و بعد از نرمال‌سازی برای دو عنصر مس، مولیبدن در شکل ۳ نشان داده شده است.

در مباحث آماری به مقادیری که به طور معنی‌داری نسبت به سایر مقادیر اختلاف دارند، مقادیر خارج از ردیف گویند. این مقادیر گاهی به دلیل وجود خطاهای تجربی، مانند خطای آنالیز، در داده‌ها وارد می‌شوند، ولی گاهی هم به دلیل ناهمگنی‌های موجود در جامعه داده‌های اکتشافی ایجاد می‌شوند، لذا با توجه به لزوم تعیین مقادیر خارج از ردیف موجود در تابع توزیع عناصر و سپس تصحیح یا حذف آنها، داده‌ها مورد بررسی دقیق قرار گرفت. با توجه به جایز نبودن حذف این مقادیر، خصوصاً در مورد مقادیر با عیار بالا به دلیل از بین رفتن مناطق آنومال، مقادیر با استخراج مقدار مناسب مستخرج از روش دورفل با توجه به تعداد نمونه‌ها در سطح اعتماد ۹۹٪ جایگزین شد.

۴-۵- نرمال‌سازی داده‌ها

به منظور انجام آنالیزهای چند متغیره بر روی داده‌ها لازم است از



شکل ۳- نتیجه اجرای تبدیل کاکس و باکس به منظور نرمال‌سازی داده‌های عنصر مس (بالا) و مولیبدن (پایین). تصویر سمت راست، تابع توزیع را قبل از نرمال‌سازی و تصویر سمت چپ، پس از نرمال‌سازی نشان می‌دهد

۴-۶-۶- پردازش داده‌ها

۴-۶-۱- بررسی‌های آماری چند متغیره

متغیرها (n) آغاز می‌شود. هر دوی آنها به تبدیل و یا استانداردسازی داده‌های ورودی نیاز دارند. تفاوت اصلی بین تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل فاکتوری در رابطه با نسبت‌های واریانس کل داده‌ها برای n متغیر در نظر گرفته شده در تحلیل است. در روش تحلیل مولفه‌های اصلی، مولفه‌های اصلی بدون هیچ فرض آماری، برای توضیح حداکثر واریانس کل تمامی متغیرهای ورودی تعیین می‌شوند. در روش تحلیل فاکتوری، تعداد فاکتورهای مشترک با فرض مدلی آماری با پیش‌نیازهای معین جهت توضیح بیشینه رابطه بینابینی مشترک بین متغیرهای ورودی تعریف می‌شوند (کارنزا، ۱۳۹۳).

۴-۶-۲- محاسبه ماتریس همبستگی پیرسون در مجموعه داده‌ها

به منظور محاسبه وابستگی دو به دوی عناصر، می‌توان از روش‌هایی مانند کواریانس و ضرایب همبستگی استفاده کرد. اما بزرگی کواریانس وابسته به واحد اندازه‌گیری داده‌ها می‌باشد، لذا برای حل این مسئله و به منظور محاسبه معیاری از همبستگی دو متغیر بدون وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، از پارامتر آماری ضریب همبستگی استفاده می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰)، در این تحقیق پس از نرمال‌سازی داده‌ها ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد (جدول ۳). با توجه به جدول ۳ در این منطقه بیشترین همبستگی مس، با مولیبدن با ضریب ۰/۵۶۴۸ می‌باشد. این میزان همبستگی بالا به همراه شرایط مساعد لیتولوژیکی (حضور کوارتز دیوریت، دیوریت و غیره) می‌تواند بیانگر وجود کانی‌سازی مس و مولیبدن پورفیری باشد. پس از مولیبدن بیشترین همبستگی مس با طلا با ضریب ۰/۳۴۲۵ می‌باشد این میزان همبستگی می‌تواند نشان‌دهنده احتمال حضور طلای اپی‌ترمال در منطقه باشد.

جدول ۳- ماتریس همبستگی پیرسون عناصر مس، مولیبدن و طلا

Au (ppb)	Mo (ppm)	Cu (ppm)
۰/۳۴۲۵	۰/۵۶۴۸	۱
۰/۱۳۷۳	۱	۰/۵۶۴۸
۱	۰/۱۳۷۳	۰/۳۴۲۵

مولفه اول ۴۹٪ تجمعی تغییرات را توجیه می‌کنند و همراهی‌های چند عنصری معرفی شده توسط آنها، فرآیندهای ژئوشیمیایی غالب در ناحیه مطالعاتی را نشان می‌دهند.

همانطور که از جدول ۴ مشخص است، مولفه اول معرف همراهی عناصر Al, Co, Cr, Mg, Ni, Nb, Sc, V و Yb می‌باشد، همچنین مولفه دوم همراهی گروه Ba, Ca, Ce, La, Mo, P, Th و Y را نشان می‌دهد که در آن کلسیم، این عنصر همبستگی منفی با دیگر اعضای گروه دارد. و همچنین مولفه سوم گویای دو همراهی مستقل است، گروه K, Li, Rb و گروه Cd, Mn, Pb, Sb, Te, W و Zn. ولی این مولفه‌ها معرف

تحلیل روابط ژئوشیمیایی چند عنصری از طریق انواع روش‌های آماری چند متغیره محاسباتی مانند تحلیل خوشه‌ای، تحلیل تطبیقی (correspondence analysis)، تحلیل تمایز، تحلیل فاکتوری، تحلیل رگرسیون و تحلیل مولفه‌های اصلی انجام می‌شود (کارنزا، ۱۳۹۳). تحلیل مبانی این شیوه‌های تحلیلی چند متغیره توسط دیویس به طور تفصیلی در سال ۲۰۰۲ ارائه شده است و این روش‌های چند متغیره برای تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی توسط محققان مختلفی بارها با موفقیت به کار برده شده است (Reimann et al., 2002; Pereira et al., 2003; Zuo et al., 2013). از تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل فاکتوری برای مطالعه روابط بین عنصری پنهان در مجموعه داده‌های تک عنصری چندگانه استفاده می‌شود. روش تحلیل خوشه‌ای برای مطالعه روابط بین نمونه‌ای کاربرد دارد.

روش‌های آماری چند متغیره به بررسی تغییرات همزمان چند متغیر و استنباط‌های آماری ناشی از آن می‌پردازد. اگرچه استنباط‌های آماری چند متغیره و تک متغیره می‌توانند معتبر باشند. ولی استنباط‌های آماری مبتنی بر بررسی‌های چند متغیره از اعتبار بیشتری برخوردار است. در این روش آماری خطاهای تصادفی یک متغیره می‌تواند تا حدودی بوسیله متغیرهای دیگر کنترل شود. این امر به خصوص در کاهش خطاهای ناهنجار در تحلیل داده‌ها و استنباط‌های واقعی‌تری می‌تواند موثر و مفید باشد (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). روش تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل فاکتوری شباهت بسیار زیادی با هم دارند و اغلب با هم اشتباه گرفته می‌شوند. با این حال تفاوت‌های مهمی از نظر ریاضی و مفهومی میان آنها وجود دارد. در هر دو روش کار با ماتریس همبستگی یا ماتریس کواریانس داده‌ها برای تعداد

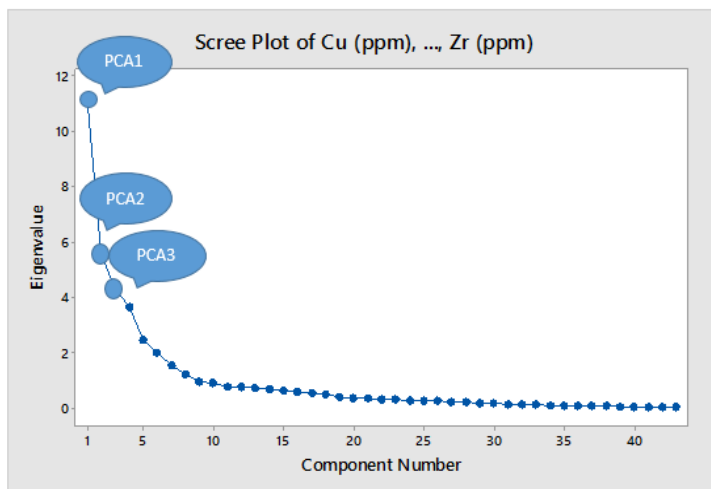
۴-۶-۳- آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)

برای مواردی که تعداد رخداد‌های شناخته شده نهشته‌های معدنی مورد جستجو در منطقه مطالعاتی معدود بوده یا چنین رخداد‌هایی وجود نداشته باشند، روش تحلیل مولفه‌های اصلی مفید واقع می‌شود زیرا رویه مزبور، رویکردی اکتشافی برای تمایز بین روابط چند عنصری آنومال و زمینه به حساب می‌آید (کارنزا، ۱۳۹۳).

در این تحقیق برای ۴۳ عنصر موجود تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) انجام گرفته است، همانطور که از شکل ۴ و جدول ۴ مشاهده می‌شود ۳

فعالیت خاصی از کانی‌سازی نمی‌باشند، می‌توان گفت این مولفه‌ها تحت تاثیر عوامل کنترلی واحدهای لیتولوژیکی و شیمیایی منطقه هستند. نتایج حاصل از آنالیز مولفه‌های اصلی حضور کانی‌سازی پورفیری را به صورت آشکار نشان نمی‌دهد. ولی همانطور که می‌دانیم عناصر W, Pb, Zn, Sb, Te،

Mn, Rb, Mo و K ردیاب‌های ژئوشیمیایی کانسارهای مس-مولیبدن پورفیری می‌باشند، و با توجه به جدول این عناصر در یکی از گروه مولفه‌های اصلی اول، دوم و یا سوم قرار گرفته و از لحاظ مقداری نسبت به دیگر عناصر نمونه‌برداری شده ارزش بالاتری دارند (جدول ۵).



شکل ۴- مقادیر ویژه مربوط به هر مولفه اصلی

جدول ۴- بردار ویژه هر مولفه و میزان تغییرپذیری هر مولفه از تغییرپذیری کل

PCA8	PCA7	PCA6	PCA5	PCA4	PCA3	PCA2	PCA1	مولفه اصلی		
۱/۱۹۳	۱/۵۱۶	۱/۹۸۲	۲/۴۲۸	۳/۶۲۴	۴/۳۲۱	۵/۶۱۸	۱۱۸/۱۴	مقادیر ویژه		
۰/۰۲۸	۰/۰۳۵	۰/۰۴۶	۰/۰۵۶	۰/۰۸۴	۰/۱	۰/۱۳۱	۰/۲۵۹	نسبت مقادیر ویژه به کل		
۰/۷۴	۰/۷۱۲	۰/۶۷۷	۰/۶۳۱	۰/۵۷۵	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۲۵۹	نسبت تجمعی مقادیر ویژه به کل		
PCA19	PCA18	PCA17	PCA16	PCA15	PCA14	PCA13	PCA12	PCA11	PCA10	PCA9
۰/۳۹۲	۰/۴۹۳	۰/۵۳۳	۰/۵۶۶	۰/۶۳۱	۰/۶۷۲	۰/۷۱۲	۰/۷۵۸	۰/۷۷۸	۰/۸۹۲	۰/۹۴۲
۰/۰۰۹	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱۶	۰/۰۱۷	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲
۰/۹۱۲	۰/۹۰۲	۰/۸۹۱	۰/۸۷۹	۰/۸۶۵	۰/۸۵۱	۰/۸۳۵	۰/۸۱۹	۰/۸۰۱	۰/۷۸۳	۰/۷۶۲
PCA30	PCA29	PCA28	PCA27	PCA26	PCA25	PCA24	PCA23	PCA22	PCA21	PCA20
۰/۱۶۲	۰/۱۷۴	۰/۱۹۷	۰/۲۱۷	۰/۲۵۱	۰/۲۶۷	۰/۲۷۹	۰/۳۰۱	۰/۳۲۲	۰/۳۴۱	۰/۳۶۸
۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹
۰/۹۷۹	۰/۹۷۵	۰/۹۷۱	۰/۹۶۶	۰/۹۶۱	۰/۹۵۵	۰/۹۴۹	۰/۹۴۳	۰/۹۳۶	۰/۹۲۸	۰/۹۲
PCA41	PCA40	PCA39	PCA38	PCA37	PCA36	PCA35	PCA34	PCA33	PCA32	PCA31
۰/۰۹۳	۰/۰۴۶	۰/۰۵	۰/۰۵۹	۰/۰۷۵	۰/۰۷۶	۰/۰۸۳	۰/۰۹۶	۰/۱۰۲	۰/۱۲۴	۰/۱۳۴
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	۰/۹۹۵	۰/۹۹۳	۰/۹۹۱	۰/۹۸۹	۰/۹۸۵	۰/۹۸۵	۰/۹۸۲
									PCA43	PCA42
									۰/۰۱۱	۰/۰۲۵
									.	۰/۰۰۱
									۱	۱

۴-۶-۴- آنالیز فاکتوری

فیزیکوشیمیایی محیط هستند که در روابط علت و معلولی می‌توانند نقش علت را ایفا کنند، مانند درصد تخلخل و یا قابلیت نفوذ یک برش ولکانیکی نقش علت را در کانی‌سازی ایفا می‌کند. برای بدست آوردن مجموعه عناصری که در یک گروه قرار دارند باید در هر ستون عناصری که امتیاز فاکتوری آنها بالاست (معمولا بیش از ۰/۶) انتخاب نموده و در یک گروه طبقه‌بندی نمود (حسینی‌پاک و شرفالدین، ۱۳۸۰).

در این تحقیق آنالیز فاکتوری بررسی شده و نتایج آن در جدول ۶ نمایش داده شده است. با توجه به این جدول عناصر در ۱۰ گروه پارائزنی تقسیم‌بندی شده‌اند که به قرار زیر است:

فاکتور اول: $Tl, Ti, Sc, Ni, Nb, Mn, Mg, Fe, Cr, Co, Bi$

Yb, Y, V

فاکتور دوم: Th, P, La, Ce, Ca, Ba

فاکتور سوم: Rb, Li, K, Be, Al

فاکتور چهارم: Zn, Pb, Cd, As

فاکتور پنجم: W, Te, Sb, Cs

فاکتور ششم: U, Sr, S

فاکتور هفتم: Mo, Au, Cu

فاکتور هشتم: Zr, Na

فاکتور نهم: Sr

فاکتور دهم: Ag

فاکتور هفتم سه عنصر مس، مولیبدن و طلا را در یک گروه پارائزنی قرار می‌دهد. این نتیجه احتمال حضور کانسار مس-مولیبدن پورفیری در منطقه و همچنین احتمال حضور کانسار طلای اپی‌ترمال را افزایش می‌دهد.

در این روش هر متغیر به صورت یک بردار در دستگاه مختصات قائم نشان داده می‌شود، به طوری که طول بردار معرف بزرگی مقدار متغیر است. میزان انطباق و وابستگی بین یک متغیر با متغیر دیگر به صورت کسینوس زاویه آنها تعریف می‌شود. هدف از چنین نمایشی عبارت است از بیان روابط بین یک گروه از متغیرها به وسیله مینیمم تعداد متغیرهای اصلی کنترل‌کننده تغییرات که اصطلاحاً فاکتور نامیده می‌شود (حسینی‌پاک، ۱۳۸۳). آنالیز فاکتوری همبستگی گراست و به تعداد (K) فاکتور مشترک ناهمبسته (کمتر از n متغیر ورودی) منتهی می‌شود که روی هم رفته واریانس کلی تمامی متغیرهای ورودی را تبیین نمی‌کنند اما با هم واریانس مشترک بیشینه در تمامی متغیرهای ورودی را بازتاب می‌دهند. در این روش اولین فاکتور بالاترین نسبت واریانس مشترک کلی در داده‌های چند متغیره ورودی را شامل می‌شود اما K امین (یا آخرین) فاکتور، کمترین نسبت واریانس مشترک کلی در داده‌های چند متغیره ورودی را توضیح می‌دهد. واریانس مشترک کلی در n داده چند متغیره ورودی معلوم نیست، بنابراین لازم است تعداد K فاکتور مشترک بهینه تعیین شود. تعیین این تعداد بهینه با چندین آزمون آماری یا معیارهای سرانگشتی انجام می‌گیرد، برای مثال فاکتورهایی که به صورت تجمعی، حداقل ۷۰ درصد از واریانس کل را توضیح می‌دهند (کارنزا، ۱۳۹۳) آنالیز فاکتوری بین مجموعه‌ای از متغیرها که ظاهراً بی‌ربط هستند، رابطه‌ی خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند و یکی از اهداف اصلی آن کاهش ابعاد داده‌هاست. بنابراین پس از تجزیه و تحلیل فاکتوری تعداد متغیرهای بدست آمده (تعداد فاکتورها) کمتر از تعداد متغیرهای اصلی می‌باشد. این فاکتورها عوامل

جدول ۵- مقادیر بار سه مولفه اصلی، نشان‌دهنده میزان همبستگی هر عامل با عناصر

	PCA1	PCA2	PCA3	
Na (ppm)	-۰/۰۱۴	۰/۱۳۸	۰/۱۵۶	-۰/۰۱۴
Cu (ppm)	-۰/۰۱۴	۰/۱۳۸	۰/۱۵۶	-۰/۰۱۴
Nb (ppm)	-۰/۰۱۴	۰/۱۳۸	۰/۱۵۶	-۰/۰۱۴
Ag (ppm)	۰/۰۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۶۴	-۰/۰۱۱۴
Al (ppm)	۰/۲۳۳	-۰/۰۷۰	-۰/۲۰۶	۰/۰۱۷
As (ppm)	۰/۱۴۱	-۰/۱۶۲	۰/۱۸۰	۰/۲۹۶
Au (ppb)	۰/۰۱۱	۰/۰۲۷	۰/۰۹۱	-۰/۳۱۹
Ba (ppm)	۰/۰۳۱	۰/۲۱۴	-۰/۰۶۴	۰/۰۴۰
Be (ppm)	۰/۱۵۹	۰/۰۹۴	-۰/۱۹۱	۰/۲۴۵
Bi (ppm)	۰/۱۵۴	۰/۱۵۴	-۰/۰۲۶	-۰/۱۶۱
Ca (ppm)	۰/۰۲۸	-۰/۳۲۲	۰/۰۱۰	-۰/۰۳۸
Cd (ppm)	۰/۱۱۱	-۰/۰۲۳	۰/۲۵۸	-۰/۰۴۵

۰/۲۰۶	۰/۰۶۵	۰/۱۰۶	Te (ppm)	-۰/۱۲۲	۰/۳۵۵	-۰/۰۷۹	Ce (ppm)
-۰/۱۰۰	۰/۳۱۶	-۰/۱۲۶	Th (ppm)	۰/۰۹۲	۰/۰۹۲	۰/۲۵۷	Co (ppm)
۰/۱۰۵	-۰/۰۳۱	۰/۱۹۸	Ti (ppm)	-۰/۱۰۵	۰/۰۱۹	۰/۲۵۳	Cr (ppm)
-۰/۰۶۱	-۰/۰۸۰	-۰/۱۴۶	Tl (ppm)	۰/۰۳۱	۰/۰۸۹	-۰/۰۴۵	Cs (ppm)
۰/۰۶۵	-۰/۰۴۵	۰/۰۶۰	U (ppm)	۰/۰۵۹	۰/۲۳۰	۰/۱۸۵	Fe (ppm)
۰/۰۸۹	۰/۰۶۳	۰/۲۵۶	V (ppm)	-۰/۳۰۴	-۰/۰۷۷	۰/۰۹۷	K (ppm)
۰/۲۱۷	-۰/۰۲۳	-۰/۰۲۱	W (ppm)	-۰/۱۲۱	۰/۳۴۶	-۰/۰۹۴	La (ppm)
۰/۰۴۹	۰/۲۲۱	۰/۱۶۹	Y (ppm)	-۰/۲۸۴	-۰/۱۱۷	۰/۱۴۵	Li (ppm)
۰/۰۴۵	-۰/۰۰۵	۰/۲۳۰	Yb (ppm)	-۰/۰۸۸	-۰/۰۱۶	۰/۲۷۰	Mg (ppm)
۰/۲۵۸	-۰/۰۰۷	۰/۱۷۷	Zn (ppm)	۰/۲۰۸	۰/۱۲۹	۰/۱۹۲	Mn (ppm)
-۰/۰۴۶	۰/۱۲۰	۰/۱۳۳	Zr (ppm)	۰/۰۶۵	۰/۲۱۲	-۰/۱۱۶	Mo(ppm)

جدول ۶- نتایج آنالیز فاکتوری داده‌های ژئوشیمیایی خاک در منطقه نیسیان شرقی

متغیر	فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳	فاکتور ۴	فاکتور ۵	فاکتور ۶	فاکتور ۷	فاکتور ۸	فاکتور ۹	فاکتور ۱۰
Cu (ppm)	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۵	-۰/۲۱	-۰/۰۶	-۰/۸۸	-۰/۱۱	-۰/۰۵	۰/۰۰
Ag (ppm)	۰/۰۶	-۰/۰۱	-۰/۰۳	۰/۱۲	-۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۹۵
Al (ppm)	۰/۵۹	-۰/۲۲	-۰/۶۷	۰/۰۶	۰/۱۷	-۰/۱۳	-۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۰۱
As (ppm)	۰/۲۰	-۰/۴۵	-۰/۱۵	۰/۶۱	-۰/۱۶	۰/۰۱	-۰/۱۰	-۰/۰۲	-۰/۰۹	۰/۰۱
Au (ppb)	-۰/۰۸	-۰/۰۷	-۰/۱۳	۰/۴۳	۰/۱۷	۰/۳۳	-۰/۶۰	-۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۰۶
Ba (ppm)	۰/۰۶	۰/۵۷	-۰/۰۸	۰/۵۳	-۰/۰۵	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۱۸	-۰/۰۴	۰/۰۱
Be (ppm)	۰/۴۱	۰/۳۳	-۰/۶۸	۰/۱۳	-۰/۱۲	۰/۰۸	-۰/۰۷	۰/۲۸	-۰/۰۲	-۰/۰۳
Bi (ppm)	۰/۵۰	۰/۲۲	-۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۱۱	-۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۰۳
Ca (ppm)	-۰/۱۰	-۰/۶۷	-۰/۳۰	۰/۰۳	-۰/۲۳	۰/۳۴	-۰/۰۶	۰/۲۹	-۰/۰۳	۰/۰۷
Cd (ppm)	۰/۲۰	-۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۵۵	-۰/۵۰	-۰/۰۷	-۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۲۹	۰/۲۱
Ce (ppm)	-۰/۱۰	۰/۹۴	-۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۳	-۰/۰۷	۰/۰۸	-۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱
Co (ppm)	۰/۸۵	-۰/۰۱	-۰/۱۱	۰/۳۴	-۰/۰۴	۰/۰۲	-۰/۱۳	۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۰۰
Cr (ppm)	۰/۷۹	-۰/۱۳	-۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۲۹	-۰/۰۳	-۰/۱۷	-۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۱۱
Cs (ppm)	-۰/۰۵	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۱۴	-۰/۴۳	۰/۱۰	-۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۱۹
Fe (ppm)	۰/۷۷	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۳۱	-۰/۱۰	۰/۱۸	-۰/۱۷	-۰/۱۵	-۰/۱۸	-۰/۰۸
K (ppm)	۰/۰۸	-۰/۰۵	-۰/۹۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۰	-۰/۰۱

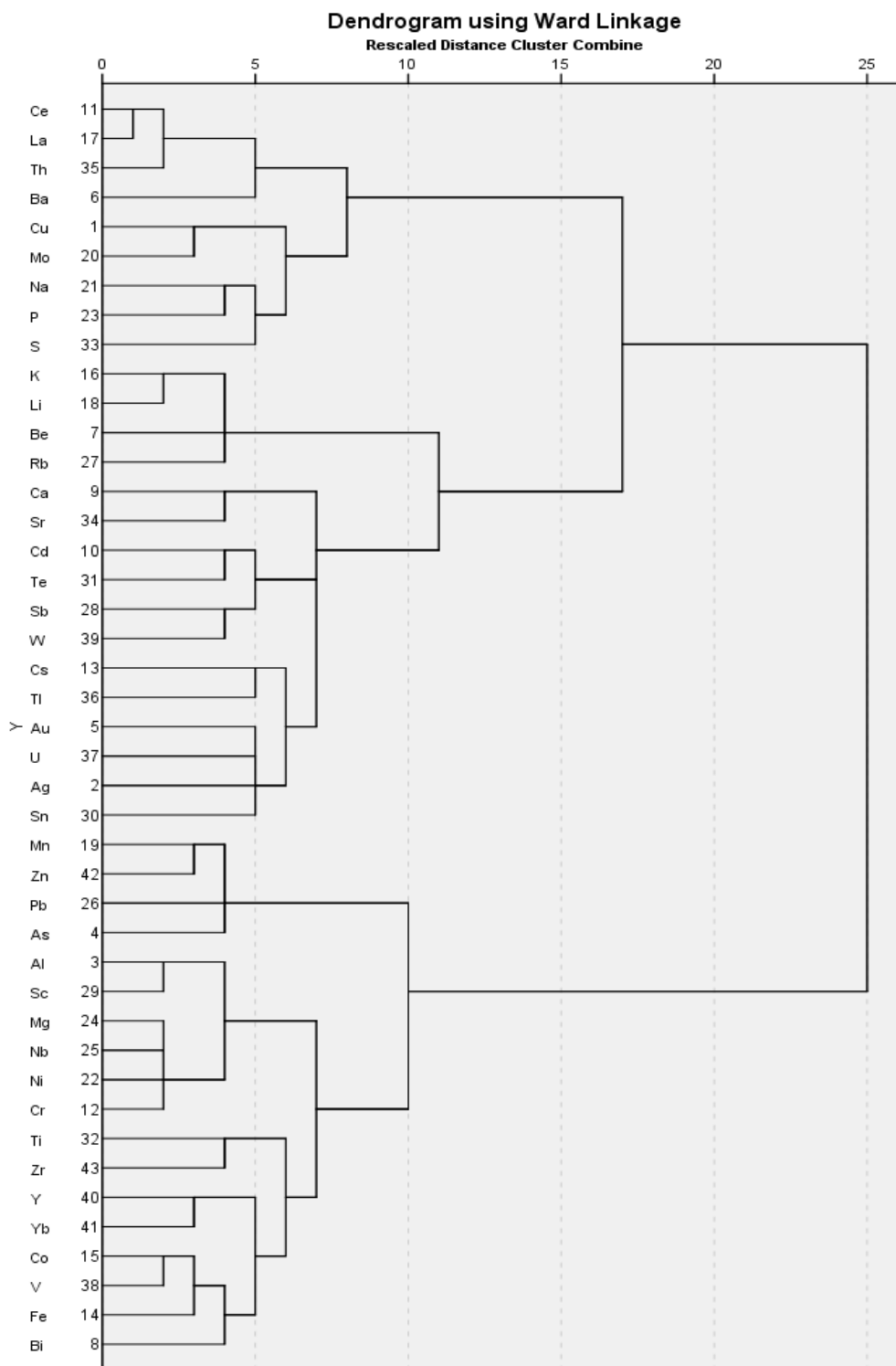
۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۶	-۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۹	-۰/۰۲	۰/۹۳	-۰/۱۳	La (ppm)
-۰/۰۵	-۰/۰۷	۰/۰۱	-۰/۰۷	-۰/۰۵	-۰/۱۰	۰/۲۰	-۰/۸۶	-۰/۱۹	۰/۲۶	Li (ppm)
۰/۰۸	۰/۱۲	-۰/۱۱	-۰/۱۸	-۰/۰۴	-۰/۰۳	۰/۰۲	-۰/۳۷	-۰/۱۸	۰/۸۲	Mg (ppm)
۰/۰۱	-۰/۰۴	۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۳۷	-۰/۱۲	۰/۵۶	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۵۹	Mn (ppm)
۰/۰۴	-۰/۰۸	-۰/۱۲	۰/۵۷	۰/۱۲	-۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۴۵	-۰/۱۷	Mo(ppm)
۰/۰۴	۰/۱۶	-۰/۶۷	۰/۰۳	۰/۱۴	-۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۱۶	Na (ppm)
۰/۰۷	۰/۱۲	-۰/۱۱	-۰/۲۱	-۰/۱۵	-۰/۰۱	۰/۰۲	-۰/۱۴	-۰/۲۳	۰/۸۰	Nb (ppm)
۰/۰۵	۰/۰۲	-۰/۱۵	-۰/۲۰	-۰/۱۸	۰/۰۰	۰/۰۵	-۰/۴۶	-۰/۲۴	۰/۶۷	Ni (ppm)
۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۲۹	۰/۶۰	۰/۳۴	P (ppm)
۰/۰۷	۰/۰۱	-۰/۰۸	۰/۰۷	-۰/۰۴	-۰/۱۲	۰/۷۶	۰/۲۰	-۰/۰۴	۰/۰۴	Pb (ppm)
۰/۱۷	۰/۳۷	-۰/۰۴	-۰/۰۸	-۰/۰۹	۰/۲۶	۰/۰۱	-۰/۷۰	۰/۲۸	-۰/۰۵	Rb (ppm)
۰/۰۵	-۰/۱۱	-۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۶۹	-۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۳۱	-۰/۲۸	S (ppm)
-۰/۰۴	-۰/۱۱	-۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۱	-۰/۷۰	۰/۱۸	۰/۰۳	-۰/۳۲	-۰/۱۳	Sb (ppm)
۰/۰۱	۰/۱۰	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۰۵	-۰/۵۲	-۰/۰۳	۰/۸۰	Sc (ppm)
-۰/۰۴	۰/۷۸	-۰/۰۷	۰/۰۰	-۰/۰۲	-۰/۱۱	۰/۰۷	-۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۱۶	Sn (ppm)
۰/۰۵	-۰/۱۳	۰/۰۳	-۰/۰۱	۰/۷۸	-۰/۲۴	۰/۲۲	-۰/۱۶	-۰/۱۷	-۰/۲۷	Sr (ppm)
-۰/۰۱	۰/۰۷	-۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۱۹	-۰/۶۰	۰/۲۴	-۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۳۵	Te (ppm)
-۰/۰۲	-۰/۰۶	-۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۰۴	-۰/۰۵	۰/۸۹	-۰/۲۹	Th (ppm)
۰/۰۱	۰/۰۶	-۰/۳۳	-۰/۱۸	-۰/۴۵	-۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۱۴	-۰/۳۲	۰/۶۱	Ti (ppm)
۰/۰۷	۰/۴۵	۰/۰۴	-۰/۰۴	۰/۰۵	-۰/۳۱	۰/۲۹	-۰/۰۶	۰/۰۰	-۰/۵۲	Tl (ppm)
۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۵۹	-۰/۲۸	۰/۱۱	-۰/۱۲	-۰/۱۳	۰/۲۰	U (ppm)
-۰/۰۱	۰/۰۵	-۰/۰۳	۰/۰۵	-۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۰۶	-۰/۱۳	۰/۹۱	V (ppm)
۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۱۵	-۰/۷۶	۰/۱۸	۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۱۱	W (ppm)
-۰/۰۷	-۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۲	-۰/۲۵	-۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۳۵	۰/۷۳	Y (ppm)
-۰/۰۱	-۰/۰۲	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۰۳	-۰/۲۱	۰/۰۱	-۰/۱۱	-۰/۱۸	۰/۸۲	Yb (ppm)
۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۱۰	-۰/۱۱	-۰/۱۵	۰/۷۷	۰/۰۰	-۰/۱۴	۰/۴۰	Zn (ppm)
۰/۰۲	-۰/۱۱	-۰/۴۳	-۰/۱۱	-۰/۳۹	-۰/۱۳	۰/۰۸	-۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۲۶	Zr (ppm)

۴-۶-۵- تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس تشابه درون گروهی و اختلاف بین گروهی می‌باشد، به طوری که حداکثر اختلاف را بین خود دارا باشند. در خوشه‌بندی از الگوریتم‌های متنوعی استفاده می‌شود که

در روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، هدف دستیابی به ملاکی برای

از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به روش‌های اتصال نزدیکترین همسایگی، اتصال دورترین همسایگی، اتصال میانگین و غیره اشاره کرد (Borovec, 1996). در مورد داده‌های ژئوشیمیایی منطقه نیسیان شرقی ترسیم دندوگرام با نرم‌افزار SPSS با نسخه ۲۰ انجام گرفت، در رسم این دندوگرام برای روش کلاسترینگ از word method و برای اندازه‌گیری فاصله‌ها از روش Block استفاده شد که بهترین نتیجه خوشه‌بندی در شکل ۵ را در پی داشت.



شکل ۵- دندوگرام مربوط به داده‌های منطقه مورد مطالعه

۴-۶-۶- جداسازی آنومالی از زمینه

جداسازی آنومالی‌ها با تعداد کم مقادیر آنومال استفاده می‌شود، در این روش مقدار میانه برای توزیع‌های متقارن مانند نرمال برابر میانگین حسابی و برای توزیع لاگ نرمال برابر میانگین هندسی است. از آنجا که مقدار میانه مستقل از مقادیر کرانه‌ای تابع توزیع است لذا بدون توجه به تابع توزیع می‌توان آن را بدست آورد (Valenchon, 1982). در این روش به مقدار $\bar{x} + s$ مقدار حدآستانه‌ای، مقدار $\bar{x} + 2s$ را آنومالی ممکن و مقدار $\bar{x} + 3s$ را آنومالی احتمالی گویند. در این تحقیق برای جداسازی آنومالی از زمینه از این روش استفاده شده است و نتایج آن در جدول ۷ آورده شده است.

در برداشت‌های اکتشافی توزیع فراوانی داده‌ها به علت چولگی زیاد اغلب لاگ نرمال است. در این برداشت‌ها مقادیر بزرگ تابع توزیع آنومالی‌ها را تشکیل می‌دهند. این مقادیر که از بقیه داده‌ها (زمینه) قابل تفکیک هستند مناطق امیدبخش برای پیدایش کانی‌سازی اقتصادی می‌باشند (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). روش‌های آماری مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومال از زمینه توسعه یافته است. مانند میانگین-انحراف معیار، حاصل ضرب P.N، فواصل ماهالانوبیس (Mahalanobis)، روش فرکتالی و غیره (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

۴-۶-۶-۱- جداسازی آنومالی از زمینه به روش میانه-انحراف معیار

از این روش تحت عنوان روش سنتی یاد می‌شود که از آن برای

جدول ۷- داده‌های نرمال محاسبه شده جهت جداسازی آنومالی از زمینه به روش میانه-انحراف معیار

عنصر	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Au (ppb)
میانگین	۰/۰۱۶	۰/۰۳۶	۰/۱۷۴
انحراف معیار	۰/۹۸۲	۰/۹۷۳	۰/۸۹۱
آستانه	۰/۹۹۸	۱/۰۱۰	۱/۰۶۵
آنومالی ممکن	۱/۹۸۰	۱/۹۸۳	۱/۹۵۶
آنومالی احتمالی	۲/۹۶۳	۲/۹۵۶	۱/۸۴۷

۴-۶-۶-۲- جداسازی آنومالی از زمینه به روش حاصلضرب P.N

هر آنومالی تابع دو عامل است: ۱- احتمال پیدایش نمونه‌ای با مقدار مطلوب موردنظر (P)؛ ۲- تعداد نمونه‌های برداشت شده (N). در این تحقیق برای جداسازی آنومالی از زمینه از این روش نیز استفاده شده است که پس از لگاریتم‌گیری از داده‌ها صورت گرفته و نتایج آن در جدول ۸ آورده شده است.

منطق روش P.N در تشخیص مقادیر آنومال بر دو اصل استوار است، یکی افزایش مقدار متغیر و دیگری افزایش فراوانی نسبی آن. بنابراین شدت

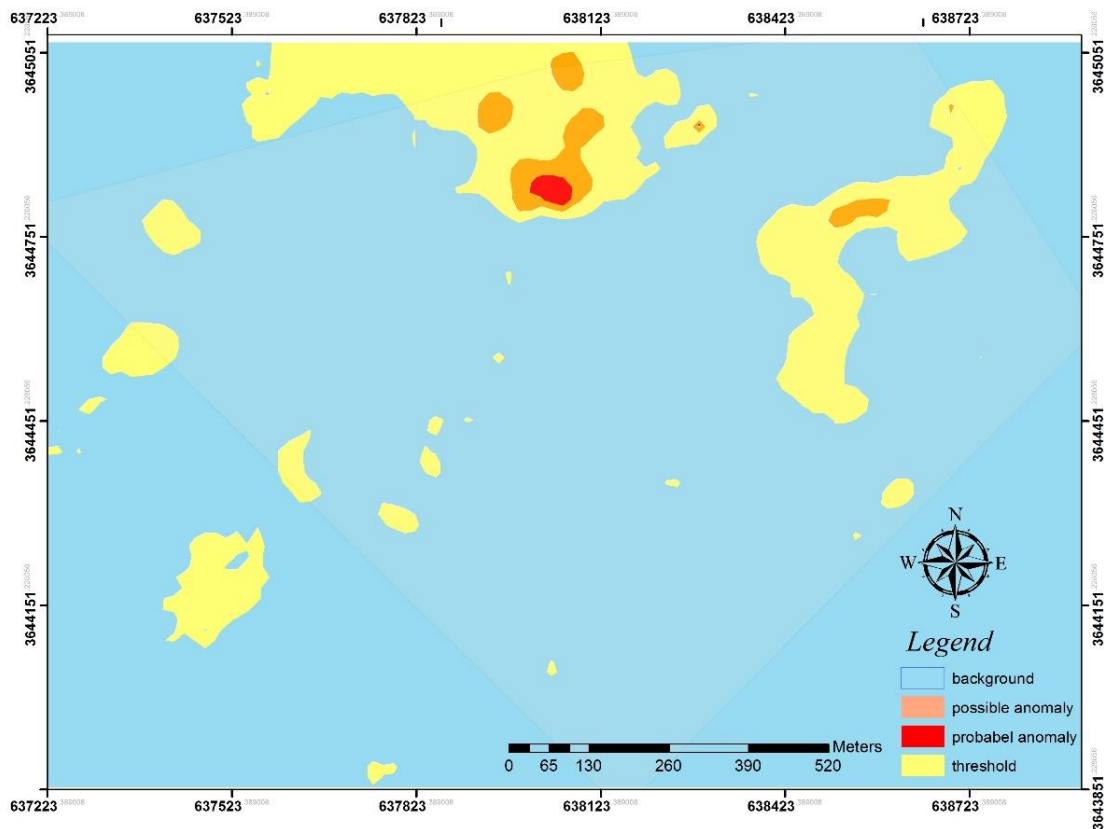
جدول ۸- داده‌های محاسبه شده جهت جداسازی آنومالی از زمینه به روش حاصلضرب P.N

عنصر	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Au (ppb)
حد آستانه آنومالی	۲/۷۳۰۰	۰/۸۸۶۵	۱/۷۳۲۴

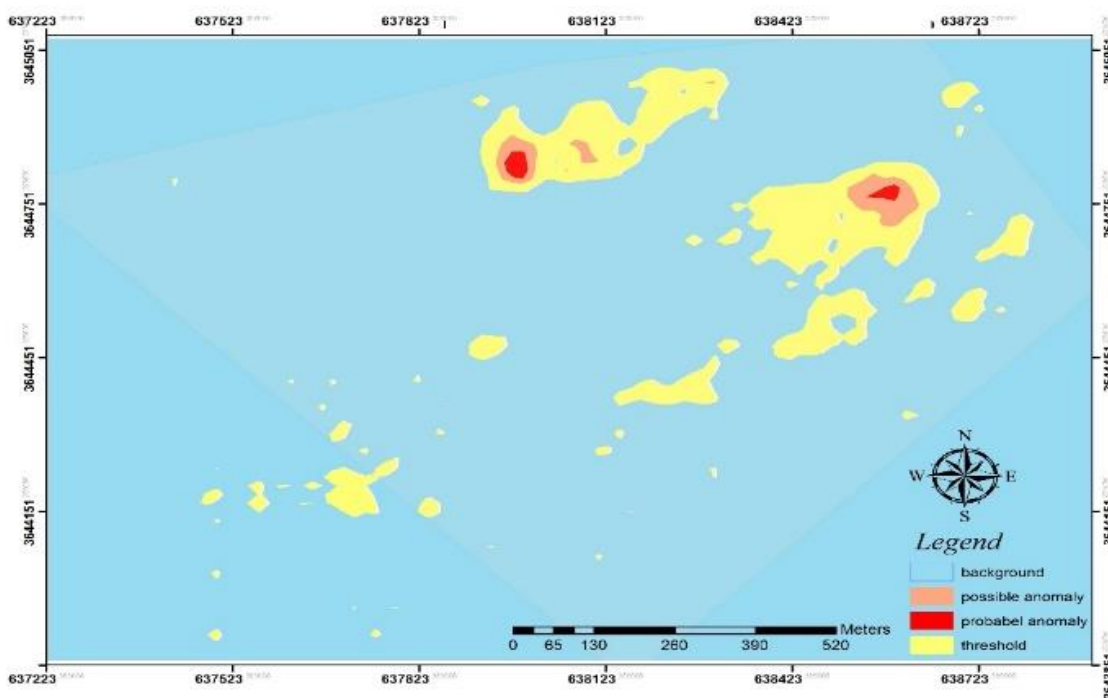
۴-۶-۷- ترسیم نقشه

می‌باشد، ولی با توجه به نمونه‌برداری منظم از منطقه مطالعاتی به کمک گریدبندی کردن نقشه نهایی آنومالی سه عنصر مس، مولیبدن و طلا برای دو روش جداسازی آنومالی از زمینه رسم شد، در روش حاصلضرب P.N یک نقطه آنومالی برای عنصر طلا نشان داده شد از این‌رو از ترسیم این نقشه صرف‌نظر گردید. این نقشه‌ها در (اشکال ۶ تا ۱۰) نمایش داده شده‌اند، در این نقشه‌ها منطقه نمونه‌برداری شده به صورت هابلایت در زیر نقشه‌ها قرار گرفته است.

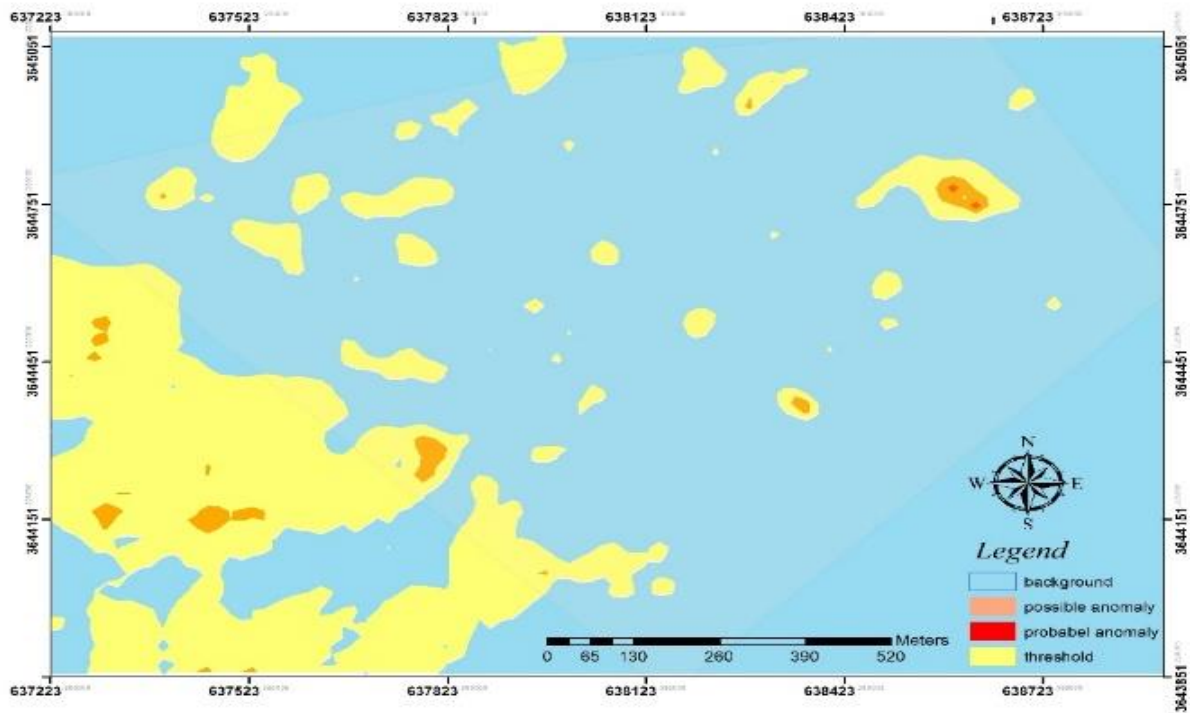
پس از انجام هر برداشت اکتشافی و انجام آنالیزهای مربوط به آن، به منظور نمایش بهتر و قابل درک‌تر نتایج برداشت‌ها، تحلیل‌ها و تخمین‌ها، عموماً از نقشه استفاده می‌شود. تقریباً در تمام روش‌های تخمین، شرط وجود پیوستگی بین داده‌ها برای درون‌یابی الزامی است. با توجه به ماهیت نمونه‌برداری از خاک، این نوع نمونه‌برداری تنها گویای محل برداشت خود



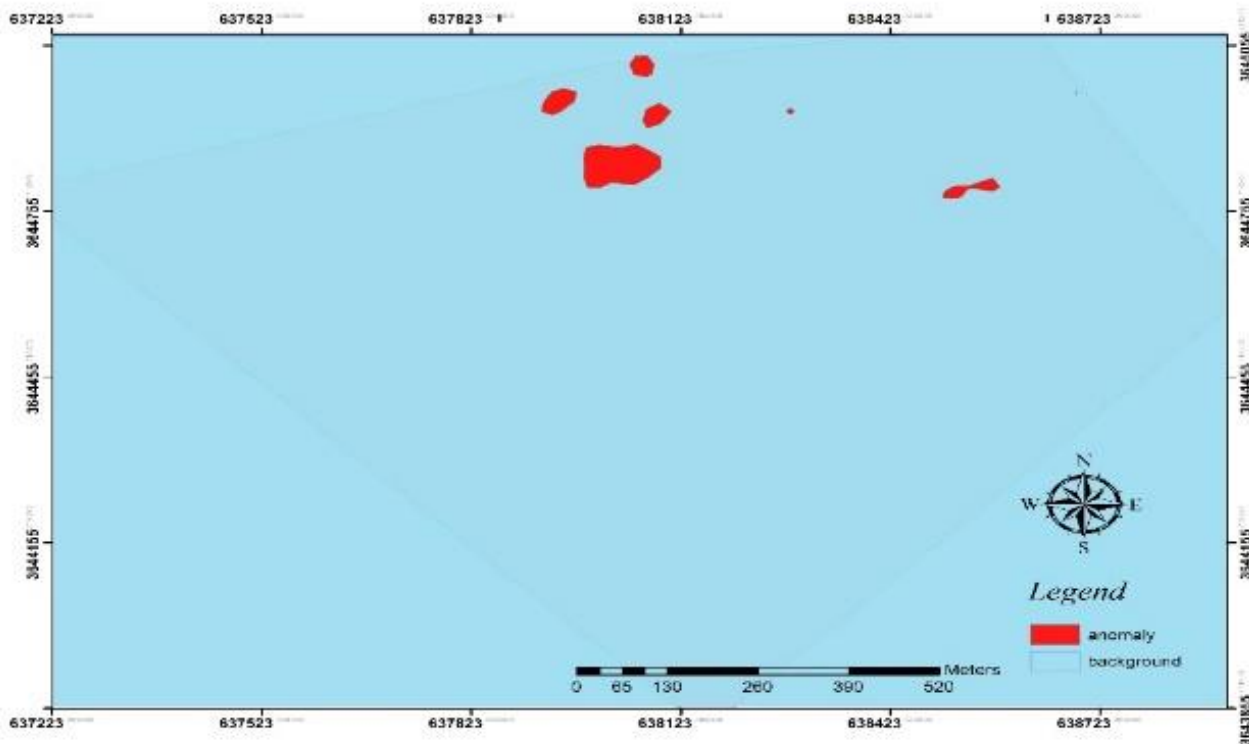
شکل ۶- نقشه آنومالی مس در محدوده مطالعاتی نسیان شرقی (روش میانگین- انحراف معیار)



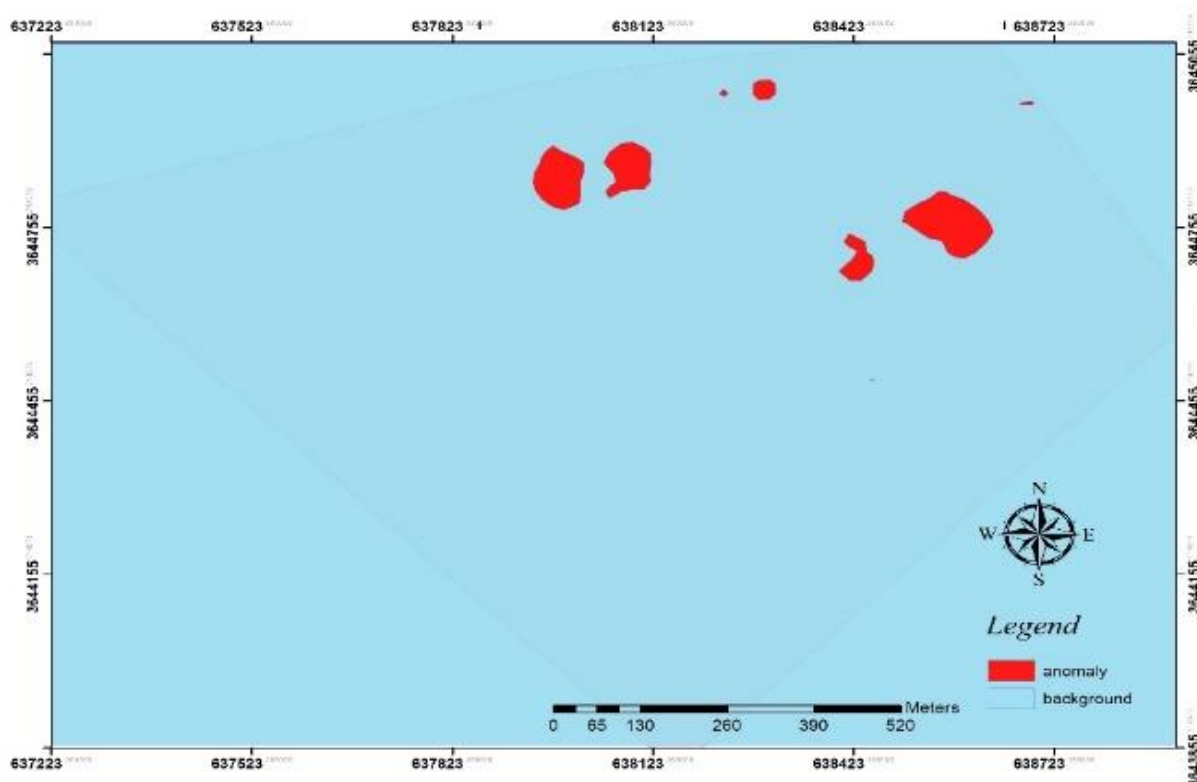
شکل ۷- نقشه آنومالی مولیبدن در محدوده مطالعاتی نسیان شرقی (روش میانگین- انحراف معیار)



شکل ۸- نقشه آنومالی طلا در محدوده مطالعاتی نیسیان شرقی (روش میانگین- انحراف معیار)



شکل ۹- نقشه آنومالی مس در محدوده مطالعاتی نیسیان شرقی (حاصل ضرب P.N)



شکل ۱۰- نقشه آنومالی مولیبدن در محدوده مطالعاتی نیسیان شرقی (حاصل ضرب P.N)

نتیجه گیری

- آنالیز و نمونه برداری از خاک برجا در محدوده نیسیان شرقی به لحاظ طبیعت خشک و بدون آب روش مناسبی محسوب می شود، به دلیل ماهیت این روش از نمونه برداری هر نمونه از خاک برداشت شده معرف محل قرارگیری نمونه می باشد، در نتیجه نیازی به حذف مولفه سن ژنتیک و محاسبه شاخص غنی شدگی نیست.

- بررسی های آماری چندمتغیره در منطقه مورد مطالعه به خصوص آنالیز فاکتوری و همبستگی پیرسون احتمال بالایی از حضور کانسار مس و مولیبدن پورفیری را نشان می دهند.

- به دلیل غنی شدگی طلا در برخی نواحی احتمال حضور کانسار طلای اپی ترمال دور از انتظار نخواهد بود.

- آنالیز فاکتوری نتایج خوبی در گروه بندی عناصر پاراژنتیک بدست می دهد.

مراجع

۳۵-۴۲.

حسینی پاک، ع. الف.، شرف الدین، م.، ۱۳۸۰، "تحلیل داده های اکتشافی" موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، صفحه ۹۸۷.

حسینی پاک، ع.، ۱۳۸۳، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی" تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم.

شکوه زنگنه، گ. مومن زاده، م.، رسا، ا.، ۱۳۸۴، "تخمین زمین آماری در پروژه اکتشافات ژئوشیمیایی منطقه بیدستر- جنوب زاهدان (نمونه برداری از خاک در شبکه منظم)" نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران، انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم.

فرمehنی فراهانی، م.، خاک زاده، ا.، اسدی هارونی، ه.، امامی، م.، رسا، ا.، ۱۳۸۸، "بررسی های ژئوشیمیایی در محدوده اکتشافی کهنک" نشریه علوم زمین، دوره نوزدهم، شماره هفتاد و سوم، صفحات ۵۱ - ۵۶.

قلی زاده، ک.، رسا، ا.، ۱۳۸۶، "اکتشاف ژئوشیمیایی نیمه تفصیلی به روش خاک برجا و زمین شناسی محدوده تل مسی کوهستان کفوت جنوب غرب دشت لوت" رشد زمین شناسی، دوره دوازدهم، شماره چهارم، صفحات ۳۰-۳۷.

کارنزا، ا. ج.، ا.، ترجمه، یوسفی، م.، شهرستانی، ش.، ۱۳۹۳، "نقشه برداری آنومالی ژئوشیمیایی و دورنمای معدنی در GIS" علم و دانش، چاپ اول.

مهندسیین مشاور کاوشگران، ۱۳۸۹، "اکتشافات ژئوشیمیایی خاک در محدوده کهنک شرقی مقیاس ۱/۵۰۰۰" گزارش شرکت ملی صنایع مس

افضل، پ.، دانشور صابین، ل.، خاک زاده، ا.، معرف ووند، پ.، رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۸۹، "تلفیق لایه های اطلاعاتی زمین شناسی، دورسنجی، ژئوفیزیک و ژئوشیمی جهت یافتن مناطق امیدبخش برای اکتشاف مس پورفیری در منطقه کهنک" اصفهان، نشریه زمین، دوره پنجم، شماره چهارم، صفحات

Reimann, C., Filzmoser, P., & Garrett, R. G., 2002, "Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities", *Applied Geochemistry*, 17(3), P.185-206.

Valenchon, F., 1982, "The use of correspondence analysis in geochemistry", *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 14(4), P.331-342.

Zuo, R., Xia, Q., & Wang, H., 2013, "Compositional data analysis in the study of integrated geochemical anomalies associated with mineralization", *Applied Geochemistry*, P.28, 20.

ایران، سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران. یزدی، م.، ۱۳۸۱، "روش‌های مرسوم در اکتشافات ژئوشیمیایی" انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

Borovec, Z., 1996, "Evaluation of the concentrations of trace elements in stream sediments by factor and cluster analysis and the sequential extraction procedure", *Science of the Total Environment*, 177(1), P.237-250

Pereira, H. G., Renca, S., & Saraiva, J., 2003, "A case study on geochemical anomaly identification through principal components analysis supplementary projection", *Applied geochemistry*, 18(1), P.37-44.

Archive of SID

