



دانشگاه شاهرود

دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رساله دکتری

عنوان رساله دکتری

تعیین شاخص‌های جدید اکتشافی با استفاده از حوزه‌ی فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی و مقایسه نتایج آن با نتایج حوزه مکان

حسین شاهی

اساتید راهنما:

دکتر سیدرضا قوامی ریابی

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

شهریور ۱۳۹۴

بِسْمِ ا... الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شاهرود

دانشکده: مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه: مهندسی اکتشاف معدن

عنوان رساله دکتری:

تعیین شاخص‌های جدید اکتشافی با استفاده از حوزه‌ی فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی و مقایسه نتایج آن با نتایج حوزه مکان

دانشجو: حسین شاهی

اساتید راهنما:

دکتر سیدرضا قوامی ریابی

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

استاد مشاور:

دکتر هوشنگ اسدی هارونی

رساله دکتری جهت اخذ درجه دکتری

ماه و سال انتشار: شهریور ۱۳۹۴

دانشگاه شاهرود

دانشکده: مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه: مهندسی اکتشاف معدن

رساله دکتری آقای حسین شاهی

تحت عنوان: تعیین شاخص‌های جدید اکتشافی با استفاده از حوزه‌ی فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی و مقایسه نتایج آن با نتایج حوزه مکان

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد/ رساله دکتری ارزیابی گردید و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	دکتر هوشنگ اسدی هارونی		دکترسید رضا قوامی ریایی
			دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر حمید آقاجانی		دکتر احمد مختاری
		دکتر بهزاد تخم‌چی	
		دکتر امین روشن‌دل کاهو	

تقدیم به:

مادر

به پاس محبت‌های بی‌دریغش که هرگز فروکش نمی‌کند.

در آغاز لازم می‌دانم از زحمات خانواده گرامی‌ام که همیشه حامی‌ام بودند و کلیه کسانی که در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبانم بوده‌اند کمال تشکر را بنمایم.

همچنین از زحمات اساتید محترم در تمام دوران تحصیل، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

تعهد نامه

اینجانب حسین شاهی دانشجوی دوره دکتری رشته مهندسی اکتشاف معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده رساله "تعیین شاخص‌های جدید اکتشافی با استفاده از حوزه‌ی فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی و مقایسه نتایج آن با نتایج حوزه مکان در نقشه پتانسیل مطلوب معدنی" تحت راهنمایی دکتر رضا قوامی و دکتر کامکار روحانی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده:

داده‌های ژئوشیمیایی می‌توانند با استفاده از تبدیل فوریه و تبدیل موجک به حوزه‌های فرکانس و مکان - مقیاس انتقال پیدا کنند. تحقیقات انجام گرفته در این رساله نشان می‌دهد که تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی در حوزه‌های فرکانس و مکان - مقیاس می‌تواند اطلاعات اکتشافی را فراهم سازد که در حوزه مکان قابل دستیابی نیستند. داده‌های ژئوشیمیایی سطحی مناطق کانی‌سازی مس - مولیبدن پورفیری ظفرقند، مس - طلای پورفیری دالی و آنتیموان شند محمود به عنوان مطالعه موردی در این رساله مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های ژئوشیمی در حوزه فرکانس با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. این روش عناصر مرتبط با کانی‌سازی را خیلی بهتر از نتایج حوزه مکان شناسایی کرده است. این روش داده‌های ژئوشیمی در حوزه فرکانس را در منطقه دالی در دو مؤلفه قرار داده و عناصر کانی‌سازی مس، طلا و مولیبدن را از سایر عناصر به خوبی جدا کرده است. بنابراین روش ترکیبی تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تبدیل فوریه (FT-PCA) به عنوان یک روش کاهش بعد فضای ویژگی در تحلیل داده‌های ژئوشیمی ارائه شده است. آنالیز فوریه توانایی بالاتری در شناسایی عناصر کانی‌سازی و تحلیل داده‌های ژئوشیمی نسبت به حوزه مکان دارد. در این تحقیق داده‌های ژئوشیمیایی در حوزه فرکانس جهت تجزیه الگوهای پیچیده ژئوشیمیایی مرتبط با اعماق مختلف ذخایر معدنی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. به منظور پیش‌بینی مدل ذخایر معدنی و شناسایی تغییرات کانی‌سازی و روند آنها در عمق، روش ضرایب فرکانسی بر مبنای توزیع فرکانسی عناصر ارائه شده است. هاله‌های ژئوشیمیایی ذخایر معدنی در اعماق مختلف بر روی توزیع فرکانسی عناصر در سطح اثر می‌گذارند. این تحقیق نشان می‌دهد که روش ضرایب فرکانسی عناصر، روشی قدرتمند در حوزه فرکانس جهت شناسایی ذخایر معدنی پنهان و عمیق است. این روش به نحو مطلوبی ارتباط بین فرکانس‌های بالا و پایین در نقشه توزیع ژئوشیمیایی سطحی با عمق ذخایر را اثبات می‌کند. روش ضرایب فرکانسی یک ابزار ارزشمند پردازش داده و روش تشخیص الگو جهت شناسایی آنومالی‌های پنهان و تعیین روندهای کانی‌سازی در

عمق بدون استفاده از حفاری‌های اکتشافی است. روش معرفی شده تمایز بین کانی‌سازی پنهان و کانی‌سازی کاذب و پراکنده را با استفاده از داده‌های ژئوشیمی سطحی ممکن می‌سازد. نتایج حاصل از روش ضرایب فرکانسی بر روی داده‌های منطقه شند محمود، وجود یک زون کاذب را نشان می‌دهد که این نتایج توسط حفاری‌ها نیز تأیید شده است. این تحقیق نشان می‌دهد حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمیایی نیز دارای اطلاعات اکتشافی مهمی می‌باشد. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی مؤلفه‌های جزئیات و تقریب در دو سطح از تبدیل موجک گسسته‌ها انجام شده و یک شاخص جدید بر اساس ضرایب موجک معرفی شده و نتایج آنها مورد تفسیر قرار گرفته است. نتایج مهمی با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمیایی به دست آمده است. اطلاعات به دست آمده از حفاری‌های اکتشافی مانند ترانشه‌ها و گمانه‌ها نتایج تبدیل فوریه و تبدیل موجک را تأیید می‌کنند.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد داده‌های ژئوشیمیایی می‌توانند به طور موفقیت‌آمیزی در حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس مورد تحلیل قرار گیرند.

کلمات کلیدی:

تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تبدیل موجک گسسته دو بعدی، تبدیل فوریه دو بعدی، حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی، حوزه مکان - مقیاس، کانی‌سازی پنهان

مقالات مستخرج از رساله:

Application of Fourier and wavelet approaches for identification of geochemical anomalies, *Journal of African Earth Science*, 106, **2015**, 118–128

Comparison of mineralization pattern of geochemical data in spatial and position - scale domain using new DWT- PCA approach *Journal of the Geological Society of India*, accepted, 2015.

Identification of mineralization features and deep geochemical anomalies using a new FT-PCA approach, *Journal of Geopersia* 4 (2), **2014**, 101-110

Prediction of mineral deposit model and identification of mineralization trend in the depth using frequency domain of surface geochemical data in Dalli Cu–Au porphyry deposit, *Journal of Mining & Environment*, accepted, **2015**.

تعیین آنومالی ژئوشیمیایی مس و حذف اثرات نویز و مقادیر زمینه با استفاده از روش فرکتالی طیف توان - مساحت، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، دانشگاه شاهرود، ۱۹ و ۲۰ آذرماه ۱۳۹۲

شناسایی مؤلفه های کانی سازی کانسار مس - طلای پورفیری با استفاده از اطلاعات حوزه فرکانس داده های ژئوشیمیایی، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، دانشگاه شاهرود، ۱۹ و ۲۰ آذرماه ۱۳۹۲

تحلیل داده های ژئوشیمیایی کانسار مس پورفیری با استفاده از تبدیل فوریه دو بعدی و روش تحلیل مؤلفه های اصلی، اولین همایش تخصصی کاربرد ریاضی در علوم زمین، دانشگاه شیراز، ۱۳۹۲

فهرست مطالب:

۱	..... فصل اول: کلیات و موضوع رساله
۲	..... ۱-۱- مقدمه
۲	..... ۲-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق
۴	..... ۳-۱- اهداف تحقیق
۶	..... ۴-۱- نوآوری تحقیق
۷	..... ۵-۱- سوالات تحقیق
۸	..... ۶-۱- فرض‌های تحقیق
۹	..... ۷-۱- ابزارهای مورد استفاده در تحقیق
۹	..... ۸-۱- روش اجرای تحقیق
۱۱	..... فصل دوم: حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس
۱۲	..... ۲-۱- حوزه فرکانس و تبدیل فوریه
۱۲	..... ۲-۱-۱- مقدمه ..
۱۲	..... ۲-۱-۲- سری‌های فوریه
۱۶	..... ۳-۱-۲- تبدیلات فوریه
۱۸	..... ۴-۱-۲- تبدیل معکوس فوریه
۱۹	..... ۵-۱-۲- طیف‌ها
۱۹	..... ۶-۱-۲- توابع چگالی طیف توان (PSDF)
۲۰	..... ۷-۱-۲- توابع متناوب
۲۰	..... ۸-۱-۲- خواص تبدیلات فوریه
۲۲	..... ۹-۱-۲- تبدیل فوریه دوبعدی

۲۵	..... فرمول‌بندی برداری ۱۰-۱-۲
۲۶	..... توابع ضربه ۱۱-۱-۲
۲۸	..... حوزه مکان - مقیاس و تبدیل موجک ۲-۲
۲۸	..... مقدمه ۱-۲-۲
۲۹	..... تبدیل موجک ۲-۲-۲
۳۱	..... تبدیل موجک گسسته ۲-۲-۳
۳۷	..... فصل سوم: مروری بر کارهای انجام شده قبلی
۳۸	..... حوزه فرکانس و تبدیل فوریه ۳-۱
۳۸	..... مقدمه ۱-۱-۳
۳۹	..... روش فرکتالی طیف توان - مساحت (S-A) ۲-۱-۳
۴۲	..... مثال‌های موردی انجام شده توسط سایر محققین ۳-۱-۳
۵۵	..... حوزه مکان - مقیاس و تبدیل موجک ۳-۲
۵۹	..... فصل چهارم: زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه
۶۰	..... مقدمه ۴-۱
۶۰	..... زمین‌شناسی، کانی‌زایی و آلتراسیون‌های منطقه دالی شمالی ۴-۲
۶۴	..... زمین‌شناسی، کانی‌زایی و آلتراسیون‌های منطقه ظفرقند ۴-۳
۶۹	..... زمین‌شناسی، کانی‌زایی و آلتراسیون‌های منطقه کانی‌زایی آنتیموان شند محمود ۴-۴
۷۴	..... فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی
۷۵	..... مقدمه ۵-۱
۷۵	..... کلاسه‌بندی داده‌های ژئوشیمی و تعیین فاکتور کانی‌سازی در حوزه فرکانس و حوزه مکان ۵-۲
۷۶	..... کانی‌سازی مس - طلای پورفیری منطقه دالی ۵-۲-۱

۸۳	..... ۵-۲-۲- کانسی سازی مس - مولیبدن پورفیری ظفرقند
۸۸	..... ۳-۲-۵- کانسی سازی آنتیموان شند محمود فردوس
۹۳	..... ۳-۵- روش ضرایب فرکانسی عناصر
۹۶	..... ۳-۵-۱- انجام روش ضرایب فرکانسی عناصر بر روی منطقه کانسی سازی دالی
۱۱۹	..... ۵-۳-۲- انجام روش ضرایب فرکانسی عناصر بر روی منطقه کانسی سازی ظفرقند
۱۳۱	..... ۳-۳-۵- انجام روش ضرایب فرکانسی عناصر بر روی کانسی سازی آنتیموان فردوس
۱۴۲	..... ۴-۵- تبدیل داده‌ها به منظور صفر کردن میانگین
۱۴۶	..... فصل ششم: تحلیل نتایج حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمی
۱۴۷	..... ۱-۶- مقدمه
۱۴۸	..... ۲-۶- حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمیایی
۱۵۰	..... ۳-۶- شناسایی عناصر کانسی سازی با استفاده از روش WT-PCA
۱۶۴	..... فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۶۵	..... ۱-۷- نتیجه‌گیری
۱۶۷	..... ۲-۷- پیشنهادات
۱۶۹	..... مراجع

فهرست شکل‌ها:

- شکل ۱-۲- الف: تجزیه تابع f به توابع سری فوریه $a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)$: نمایش تجزیه تابع f و طیف دامنه مربوطه به صورت سه بعدی ج: ترسیم نمودار طیف دامنه تابع ۱۵
- شکل ۲-۲- توابع مثلثاتی حاصل از سری فوریه یک تابع و نمودار دامنه و فرکانس آن تابع ۱۶
- شکل ۳-۲- نمایشی از مراحل تبدیل فوریه دو بعدی الف: حالت دو بعدی t' و t'' داده ها در حوزه مکان ب: خروجی مرحله اول تبدیل فوریه داده ها به صورت t', t'' ج: مرحله دوم تبدیل فوریه بر روی t'' و خروجی نهایی آن در حوزه فرکانس ۲۵
- شکل ۴-۲- نمودارهای الف: تابع ضربه $\delta(t)$ ب: تابع نمونه‌گیری ۲۷
- شکل ۵-۲- الف: نمایش سیگنال در حوزه مکان ب: نمایش سیگنال در حوزه عدد موج ج: نمایش سیگنال در حوزه مکان - مقیاس ۳۱
- شکل ۶-۲- شمای کلی تبدیل موجک گسسته ۳۳
- شکل ۷-۲- فرایند تجزیه با استفاده از فیلترهای h_0 و h_1 ۳۳
- شکل ۸-۲- بلوک دیاگرام تبدیل موجک یک تصویر در دو مقیاس ۳۵
- شکل ۹-۲- تابع مقیاس شده موجک ها ۳۶
- شکل ۱-۳- الف: نقشه آنومالی ژئوشیمیایی مس با استفاده از روش S-A ب: نقشه آنومالی ژئوشیمیایی مس با استفاده از روش C-A ۴۳
- شکل ۲-۳- آنومالی عنصر روی به دست آمده از روش‌های الف: C-A و ب: S-A ۴۴
- شکل ۳-۳- آنومالی عنصر نیکل به دست آمده از روش‌های الف: C-A و ب: S-A ۴۵
- شکل ۴-۳- آنومالی عنصر مس به دست آمده از روش‌های الف: C-A و ب: S-A ۴۵
- شکل ۵-۳- آنومالی عنصر طلا به دست آمده از روش‌های الف: C-A و ب: S-A ۴۵
- شکل ۶-۳- الف: نمودار فرکتالی C-A عنصر طلا ب: نمودار فرکتالی S-A عنصر طلا ۴۶

- شکل ۳-۷- نتایج روش S-A الف: نمودار فرکتالی S-A ب: نقشه زمینه ج: آنومالی د: نقشه نويز ۴۶
- شکل ۳-۸- نقشه مؤلفه اصلی اول مربوط به کانی سازی Pb, Zn, Cu - نمودار لگاریتمی
- انرژی توان در مقابل مساحت برای مؤلفه اول PCA ۴۷
- شکل ۳-۹- الف: نقشه آنومالی حاصل از روش طیف توان ب: نقشه زمینه حاصل از تجزیه طیفی ۴۸
- شکل ۳-۱۰- نتایج حاصل از روش S-A برای عنصر آرسنیک الف: نويز ب: آنومالی ج: زمینه ۴۹
- شکل ۳-۱۱- نمودار فرکتالی S-A مربوط به عنصر آرسنیک ۵۰
- شکل ۳-۱۲- الف: نقشه توزیع مؤلفه کانی سازی ب: نمودار فرکتالی S-A برای مؤلفه کانی سازی ۵۰
- شکل ۳-۱۳- الف: نقشه آنومالی حاصل از روش S-A بر روی مؤلفه PC1 ب: نقشه مقادیر
- زمینه حاصل از روش S-A بر روی مؤلفه PC1 ۵۱
- شکل ۳-۱۴- نمودار طیف توان - حجم مربوط به عنصر مس ۵۲
- شکل ۳-۱۵- الف: منطقه غنی شده سوپرژن حاصل روش P-V ب: مدل پراکندگی کالکوسیت ۵۲
- شکل ۳-۱۶- الف: منطقه هیپوژن حاصل از روش P-V ب: آلتراسیون فیلیک ج: پراکندگی
- کالکوپیریت ۵۳
- شکل ۳-۱۷- منحنی لگاریتمی طیف توان - مساحت برای عنصر سرب ۵۳
- شکل ۳-۱۸- نقشه آنومالی عنصر سرب حاصل از روش طیف توان - مساحت ۵۴
- شکل ۳-۱۹- منحنی لگاریتمی طیف توان - مساحت برای عنصر طلا ۵۵
- شکل ۳-۲۰- نقشه آنومالی طلا حاصل از روش طیف توان - مساحت و گسلها در کانسار
- کهنگ ۵۵
- شکل ۳-۲۱- حذف اثرات میکروارگانیزمها بر روی داده‌های ژئوشیمیایی هیدروکربوری ۵۷

- شکل ۳-۲۲- مدل مفهومی تاثیر ضخامت سنگ پوش بر آنومالی‌های ژئوشیمیایی مناطق
 ۵۸ هیدروکربوری
- شکل ۴-۱- محدوده معدنی دالی و راه‌های دسترسی به آن در نقشه ماهواره‌ای TM ۶۱
- شکل ۴-۲- نقشه زمین‌شناسی، محدوده آنومالی مغناطیسی، موقعیت ترانسه‌ها و گمانه‌های
 ۶۳ حفر شده و پروفیل‌های IP-RS
- شکل ۴-۳- موقعیت منطقه ظفرقند در کمربند ارومیه - دختر ۶۵
- شکل ۴-۴- نقشه ترکیب رنگی کاذب حاصل از داده‌های استر SWIR (468: RGB) -
 ۶۶ آلتراسیون‌های منطقه ظفرقند مشخص شده است
- شکل ۴-۵- استوک ورک‌های هماتیت - کوارتز در آلتراسیون فیلک در ظفرقند جنوبی ۶۸
- شکل ۴-۶- قسمتی از رخنمون آلتراسیون‌ها در منطقه ظفرقند ۶۸
- شکل ۴-۷- نمایی از رگه شماره ۲ محدوده شند محمود در ترانسه شماره ۱۲ - نگاه به شمال ۷۱
- شکل ۴-۸- نمایی نزدیک از رگه شماره ۱۰- محدوده شند محمود در چاه شماره W7 ۷۲
- شکل ۴-۹- نمایی نزدیک از رگه اصلی شماره ۳۸ محدوده شند محمود - نگاه به شمال ۷۲
- شکل ۵-۱- شبکه برداشت سیستماتیک نمونه‌های خاک در منطقه دالی شمالی ۷۶
- شکل ۵-۲- نقشه توزیع طیف توان عنصر مولیبدن در منطقه دالی شمالی ۷۷
- شکل ۵-۳- نقشه توزیع طیف توان عنصر مس در منطقه دالی شمالی ۷۸
- شکل ۵-۴- نقشه توزیع طیف توان عنصر طلا در منطقه دالی شمالی ۷۸
- شکل ۵-۵- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه مکان ژئوشیمیایی ۸۰
- شکل ۵-۶- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه فرکانس ژئوشیمیایی ۸۰
- شکل ۵-۷- تغییرات غلظت مس، طلا و مولیبدن در گمانه DDH03 ۸۳
- شکل ۵-۸- شبکه برداشت نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی در منطقه ظفرقند جنوبی ۸۴
- شکل ۵-۹- نقشه توزیع طیف توان عنصر مس در منطقه ظفرقند جنوبی ۸۵

- شکل ۵-۱۰- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه مکان ژئوشیمیایی ۸۶
- شکل ۵-۱۱- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه فرکانس ژئوشیمیایی ۸۶
- شکل ۵-۱۲- شبکه برداشت سیستماتیک نمونه‌های خاک در منطقه شند محمود ۸۹
- شکل ۵-۱۳- نقشه توزیع طیف توان عنصر آنتیموان در منطقه شند محمود ۹۰
- شکل ۵-۱۴- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه مکان ژئوشیمیایی منطقه شند محمود ۹۱
- شکل ۵-۱۵- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه فرکانس ژئوشیمیایی منطقه شند محمود ۹۱
- شکل ۵-۱۶- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۱ ۹۷
- شکل ۵-۱۷- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۲ ۹۸
- شکل ۵-۱۸- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۳ ۹۹
- شکل ۵-۱۹- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۴ ۱۰۰
- شکل ۵-۲۰- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۵ ۱۰۱
- شکل ۵-۲۱- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۶ ۱۰۲
- شکل ۵-۲۲- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۷ ۱۰۳
- شکل ۵-۲۳- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۸ ۱۰۴
- شکل ۵-۲۴- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۹ ۱۰۶
- شکل ۵-۲۵- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۱۰ ۱۰۷
- شکل ۵-۲۶- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های ژئوشیمیایی در باندهای فرکانسی ۱۱۵
- شکل ۵-۲۷- تغییرات مقادیر مؤلفه اصلی کانی‌سازی در باندهای مختلف فرکانسی (MPC) و مقایسه آن با تغییرات عیاری عناصر مس، مولیبدن و طلا از سطح به عمق در حفاری DDH03 ۱۱۸
- شکل ۵-۲۸- مدل‌سازی ژئوفیزیکی مقاومت ویژه الکتریکی - پلاریزاسیون القایی بر روی پروفیل ۴ در منطقه ظفرقند ۱۳۰

- شکل ۵-۲۹- نمودار ضرایب فرکانسی عنصر مس و مقایسه آن با تغییرات عیاری عنصر مس از
 ۱۳۰ ZAD04 حفاری در سمت عمق در سطح به سمت عمق در حفاری ZAD04
- شکل ۵-۳۰- نمودار ضرایب فرکانسی عنصر آنتیموان در باندهای فرکانسی مختلف در منطقه
 ۱۴۱ شند محمود
- شکل ۵-۳۱- نقشه توزیع طیف توان عنصر طلا در منطقه دالی شمالی در حالت تبدیل یافته .
 ۱۴۳
- شکل ۵-۳۲- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های ژئوشیمیایی در حالت انتقال یافته
 ۱۴۳
- شکل ۶-۱- نمودار شماتیک تجزیه دو مرحله‌ای موجک هار و ضرایب موجک مربوط به توزیع
 ۱۵۰ ژئوشیمیایی عنصر مس
- شکل ۶-۲- مقادیر ضرایب عناصر در فاکتور کانی‌سازی در داده‌های حوزه مکان و حوزه مکان
 ۱۶۱ - مقیاس (شاخص تجمعی)

فهرست جدول‌ها:

- جدول ۳-۱- جدایش جوامع مختلف عنصرمس بر اساس نمودار فرکتالی طیف توان- حجم ۵۲
- جدول ۵-۱- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های ژئوشیمی حوزه مکان و فرکانس منطقه دالی ۸۱
- جدول ۵-۲- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه مکان و فرکانس منطقه ظفرقند ۸۷
- جدول ۵-۳- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های ژئوشیمی حوزه مکان و فرکانس شندمحمود ۹۲
- جدول ۵-۴- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه فرکانس در باندهای ۱ و ۲ ۱۱۱
- جدول ۵-۵- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه فرکانس در باندهای ۳، ۴، ۵ و ۶ ۱۱۲
- جدول ۵-۶- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه فرکانس در باندهای ۷، ۸، ۹ و ۱۰ ۱۱۳
- جدول ۵-۷- فیلترهای اعمال شده بر داده‌های حوزه فرکانس منطقه ظفرقند ۱۲۰
- جدول ۵-۸- نتایج روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۱ و ۲ منطقه ظفرقند ۱۲۲
- جدول ۵-۹- نتایج روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۳، ۴ و ۵ منطقه ظفرقند ۱۲۴
- جدول ۵-۱۰- نتایج روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی باندهای فرکانسی ۶ و ۷ منطقه ظفرقند ۱۲۶
- جدول ۵-۱۱- نتایج روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۸، ۹ و ۱۰ منطقه ظفرقند ۱۲۸
- جدول ۵-۱۲- فیلترهای اعمال شده بر داده‌های حوزه فرکانس منطقه شند محمود ۱۳۲

جدول ۵-۱۳- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۱ و ۲ منطقه	شندمحمود	۱۳۳
جدول ۵-۱۴- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۳ و ۴ منطقه	شندمحمود	۱۳۵
جدول ۵-۱۵- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۵ در منطقه	شندمحمود ...	۱۳۷
جدول ۵-۱۶- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۶، ۷ و ۸ در منطقه	شندمحمود	۱۴۰
جدول ۵-۱۷- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در حالت انتقال یافته.....	شندمحمود	۱۴۴
جدول ۶-۱- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب جزئیات افقی و قائم موجک هار	شندمحمود	۱۵۲
جدول ۶-۲- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب جزئیات قطری موجک هار در مرحله اول از تجزیه	شندمحمود	۱۵۳
جدول ۶-۳- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب تقریب موجک هار در مرحله اول از تجزیه	شندمحمود	۱۵۴
جدول ۶-۴- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب تقریب موجک هار در مرحله دوم از تجزیه	شندمحمود	۱۵۶
جدول ۶-۵- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب جزء افقی موجک هار در مرحله دوم از تجزیه	شندمحمود	۱۵۷
جدول ۶-۶- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب جزء قطری موجک هار در مرحله دوم از تجزیه	شندمحمود	۱۵۸

- جدول ۶-۷- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب جزء عمودی موجک
هار در مرحله دوم از تجزیه ۱۵۹
- جدول ۶-۸- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی شاخص تجمعی ضرایب و
حوزه مکان ۱۶۲
- جدول ۶-۹- نتایج نهایی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب تبدیل موجک هار
و داده‌های ژئوشیمیایی حوزه مکان (عناصر مرتبط با کانی‌سازی در هر حالت تعیین شده
است) ۱۶۳

فصل اول:

کلیات و موضوع رساله

فصل اول: کلیات و موضوع رساله

۱-۱- مقدمه

یکی از موضوعات مهم اکتشاف ذخایر مختلف معدنی، بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی این ذخایر است. تاکنون روش‌های مختلف و مطالعات گوناگونی جهت تحلیل داده‌های ژئوشیمی عناصر صورت گرفته است. اغلب مطالعات و تحلیل‌های انجام شده بر روی داده‌های ژئوشیمی، در حوزه مکان صورت گرفته است و محققان و پژوهشگران مهندسی معدن و حوزه علوم زمین در موضوعات ژئوشیمی کمتر وارد مقولات سایر حوزه‌ها مانند حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمی شده‌اند و از اطلاعات اکتشافی پنهان در این حوزه‌ها، در تحلیل‌های اکتشافی داده‌های ژئوشیمی به ندرت استفاده شده است. در این رساله به جنبه‌های مختلف داده‌های ژئوشیمی در حوزه‌های فرکانس و مکان - مقیاس پرداخته شده است. مباحث مطرح شده در این رساله و نتایج به دست آمده از این روش‌ها، می‌تواند افق‌های جدیدی را در مطالعات آینده باز کند. در این فصل سعی شده است تا حتی‌الامکان به جنبه‌های مختلف این موضوع پرداخته شود و صورت مسئله، فرضیات و اهداف تشریح گردد و روند تحقیق و چشم‌انداز آن بیان شود.

۱-۲- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق

یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین روش‌های اکتشاف کانسارها و دست‌یابی به شاخص‌ها و ویژگی‌های ذخایر معدنی، استفاده از داده‌های ژئوشیمی می‌باشد. روش‌های ژئوشیمی جهت تعیین تیپ کانی‌سازی، ارتباطات بین عناصر، شناسایی عناصر مرتبط با کانی‌سازی، تعیین نوفه‌های ژئوشیمیایی، تعیین مناطق آنومالی، تعیین نقشه پتانسیل مطلوب معدنی، میزان تحرک و پراکندگی عناصر، شناسایی آنومالی‌های پنهان و کاذب، تعیین شاخص‌های مختلف ژئوشیمی به کار می‌رود. عموماً مطالعات ژئوشیمی بر روی حوزه مکان (شامل مختصات مکانی x و y و عیار عناصر) داده‌های ژئوشیمی انجام می‌شود. این داده‌ها اطلاعات خوبی از کانی‌سازی در

اختیار قرار می‌دهند. با توجه به پیچیدگی پدیده‌های زمین‌شناسی و فرآیندهای کانی‌سازی و وجود مؤلفه‌های مختلف تأثیرگذار در این فرآیندها، برخی از جنبه‌های اکتشافی و اطلاعات کانی‌سازی در حوزه مکان قابل شناسایی نبوده و یا به سختی می‌توان به آنها دست یافت. تشخیص الگوهای پراکندگی‌ای که به طور بارزی با نهشته کانسار در ارتباط هستند در عملکرد اکتشافات ژئوشیمیایی بسیار مفید واقع می‌شود. حوزه فرکانس قابلیت جداسازی داده‌های با تغییرپذیری‌های متفاوت و در نتیجه فرکانس‌های مختلف را دارد. شرایط متنوع زمین‌شناسی، آلتراسیونی، کانی‌سازی، زمین‌ساختی می‌توانند فرکانس‌های مختلفی را در نقشه توزیع ژئوشیمیایی عناصر ایجاد کنند. سیالات کانی‌ساز بسته به میزان Eh، PH، حرارت و میزان توانمندی در کانی‌سازی، الگوهای متفاوتی از پراکندگی ژئوشیمیایی عناصر نشان می‌دهند. از نظر توالی زمانی تشکیل کانسار نسبت به تشکیل محیط (سنگ) درون‌گیر آن، دو نوع پراکندگی سنژنتیک و اپی‌ژنتیک و از نظر محیط ژئوشیمیایی که در آن عمل پراکندگی صورت می‌گیرد دو نوع پراکندگی هیپوژن و سوپرژن وجود دارد (حسینی پاک، ۱۳۸۱). این پدیده‌ها و پارامترها در نحوه پراکنش و توزیع عناصر مؤثر هستند. به طور کلی عوامل متعددی در تشکیل کانسارها، هاله‌های ژئوشیمیایی و پراکندگی عناصر مؤثر هستند. با بررسی حوزه فرکانس و حوزه مکان – مقیاس عناصر در کنار حوزه مکان عناصر ژئوشیمیایی می‌توان در خصوص عناصر کانی‌ساز و هاله‌های ژئوشیمیایی و در نتیجه ویژگی‌های اکتشافی کانسارها اظهار نظر کرد.

توزیع فضایی (طولی، عرضی و قائم) عناصر کمیاب و کانی‌ها در اطراف یا درون نهشته‌های کانساری می‌تواند از یک الگوی منطقه‌ای متقارن (کم و بیش هم مرکز) یا نامتقارن پیروی کند. تقارنی که در توزیع منطقه‌ای عناصر یا کانی‌ها در سنگ‌های درون‌گیر به وجود می‌آید به وسیله چندین متغیر پیچیده مانند اختلاف در قابلیت تحرک عناصر که خود می‌تواند تابعی از دما، فشار، اختصاصات فیزیکوشیمیایی سنگ درونگیر و غیره باشد، کنترل می‌شود (حسینی پاک، ۱۳۸۱). این نوع توزیع‌ها می‌توانند مشخصات فرکانسی خاصی را در داده‌ها ایجاد کنند. در خیلی از زمینه‌های علمی از جمله مسائل ژئوفیزیکی در مطالعات معدنی، بررسی

داده‌های حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس توانسته است اطلاعات جدید، تکمیلی و قابل توجهی ارائه دهد که در حوزه مکان قابل دستیابی نمی‌باشند.

روش‌های مختلف انجام گرفته بر روی داده‌های ژئوشیمیایی حوزه مکان قادر به بررسی ارتباطات مکانی عناصر خواهد بود ولی حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس داده‌ها می‌توانند میزان و نحوه‌ی تغییرات در مؤلفه‌های مختلف را مورد ارزیابی قرار دهند. روش‌های مختلفی در حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس، از جمله تفسیر فرکانس‌های مختلف و اعمال فیلترهای متنوع بر روی فرکانس‌ها، در زمینه‌های علمی دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. بررسی‌های آماری و تحلیلی بر روی فرکانس‌های مختلف عناصر ژئوشیمیایی و تشخیص ارتباطات فرکانسی بین عناصر، می‌تواند جنبه‌های دیگری از کانی‌سازی و ویژگی‌های آنومالی ژئوشیمی کانسارها را نشان دهند. در این رساله موضوعاتی مانند شناسایی ارتباطات حوزه فرکانس عناصر با یکدیگر و استنتاج اطلاعات جدید در خصوص کانی‌سازی، مفهوم بخشی به پارامترهای حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس از دیدگاه ژئوشیمی، اثبات ارتباطات بین توزیع فرکانسی عناصر در سطح و توزیع عیاری عناصر در عمق، ارزیابی سطح از فرسایش ذخایر و شناسایی ذخایر پنهان و آنومالی‌های کاذب ژئوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۳- اهداف تحقیق

هدف کلی از انجام این تحقیق دستیابی به اطلاعات اکتشافی جدید و تکمیلی در خصوص ذخایر معدنی بر اساس حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمی سطحی می‌باشد. داده‌های ژئوشیمیایی حوزه‌های فرکانس و مکان - مقیاس اطلاعات جدیدی در خصوص عناصر مرتبط با کانی‌سازی، نحوه توزیع عناصر در سطح و عمق نشان می‌دهد این اطلاعات در حوزه مکان قابل دستیابی نبوده و موجب افزایش موفقیت اکتشاف و کاهش عدم قطعیت و ریسک در مطالعات اکتشافی می‌شود. بنابراین با انجام بررسی‌ها و تحلیل‌های مختلف بر روی داده‌های حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمیایی، به دنبال

دستیابی و استنتاج اطلاعات جدید و مفید در خصوص ذخایر معدنی و شناسایی عناصر مرتبط با کانی‌سازی و همچنین بررسی‌های مربوط به عناصر پاراژنز و میزان تحرک‌پذیری و مهاجرت عناصر هستیم. با شناسایی ارتباطات فرکانسی عناصر و تعیین ویژگی‌های فرکانسی عناصر کانی‌سازی و توزیع فرکانسی عناصر زمینه، می‌توان عناصر کانی‌سازی را به خوبی شناسایی کرد. نحوه توزیع فرکانسی عناصر کانی‌سازی ارتباط مستقیم با فرآیند مهاجرت عناصر دارد. بررسی ویژگی‌های فرکانسی عناصر کانی‌سازی در باندهای فرکانسی مختلف می‌تواند اطلاعات جدید و جذابی در خصوص آنومالی‌های عمیق ژئوشیمیایی در اختیار قرار دهد. در این رساله علاوه بر مطالعات مختلف و تحلیل‌های متنوع بر روی داده‌های ژئوشیمیایی در حوزه مکان - مقیاس و حوزه فرکانس، شاخص‌های مختلف ژئوشیمی جهت بهبود مطالعات اکتشافی ارائه شده است. در این رساله ارتباط توزیع فرکانسی عناصر با عمق تشکیل ذخایر معدنی اثبات شده و روش جدیدی تحت عنوان ضرایب فرکانسی عناصر جهت پیش‌بینی روند کانی‌سازی در عمق و شناسایی ذخایر پنهان و آنومالی‌های کاذب پیشنهاد شده است. اظهار نظر کارشناسی در خصوص ذخایر پنهان معدنی، به‌ویژه در مناطقی که مشخصه‌های اکتشافی واضح و کاملی در سطح وجود ندارد، یکی از موضوعات مهم و چالشی در اکتشاف ذخایر معدنی است. روش ضرایب فرکانسی عناصر علاوه بر شناسایی ذخایر پنهان، روند تغییرات غلظت عناصر کانی‌سازی در عمق را نیز می‌تواند پیش‌بینی کند. در طی مطالعه داده‌های حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس و مقایسه آن با داده‌های حوزه مکان به منظور رهیافت به جنبه‌های مختلف کانی‌سازی و شناسایی الگوهای مختلف، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفته است. با شناسایی ذخایر پنهان و آنومالی‌های کاذب با استفاده از تحلیل‌های حوزه فرکانس، نقشه‌های آنومالی‌های ژئوشیمی نیز در حوزه مکان تغییر پیدا خواهد کرد و در ادامه مطالعات اکتشافی، نقشه پتانسیل مطلوب معدنی مناطق می‌تواند بهبود پیدا کند.

۱-۴- نوآوری تحقیق

جنبه‌های نوآوری این تحقیق را به صورت ذیل می‌توان عنوان نمود:

الف- شناسایی عناصر کانی‌سازی در یک تیپ کانسار بر اساس اطلاعات سطحی با استفاده از حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی و بحث در خصوص تیپ یا تیپ‌های احتمالی کانی‌سازی منطقه: مطالعاتی که تاکنون به منظور دستیابی به این اطلاعات اکتشافی انجام شده تنها در حوزه مکان صورت گرفته است و این مطالعات تنها بخشی از اطلاعات اکتشافی ذخایر را ارائه کرده و برخی اطلاعات ذخایر و کانسارها در حوزه مکان قابل شناسایی نبوده‌اند که با بررسی حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی می‌توان به اطلاعات جدیدی دست یافت.

ب- طبقه‌بندی عناصر کانی‌سازی بر اساس ویژگی‌های فرکانسی عناصر: روش PCA در حوزه مکان داده‌های ژئوشیمیایی، عناصر کانی‌سازی را از سایر عناصر جدا کرده و در یک مؤلفه قرار می‌دهد. با توجه به پیچیدگی پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی و فرآیندهای کانی‌سازی، این طبقه‌بندی در حوزه مکان با محدودیت‌هایی روبرو است و گاهی تحلیل نتایج و فاکتورهای مختلف به دست آمده با مشکل مواجه خواهد شد. تمایز بین عناصر کانی‌سازی و عناصر غیر مرتبط با کانی‌سازی در حوزه فرکانس نسبت به حوزه مکان به صورت بهتری انجام می‌شود و روش PCA به نحو مطلوب‌تری می‌تواند عناصر کانی‌سازی را طبقه‌بندی و شناسایی کند. این روش در حوزه فرکانس، تمام عناصر زمینه را به صورت قابل توجهی در یک فاکتور قرار می‌دهد. علاوه بر این، ترکیب روش PCA و حوزه فرکانس می‌تواند به عنوان یک روش جدید در

زمینه کاهش بعد فضای ویژگی در تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی به کار رود.

ج- تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی در باندهای فرکانسی مختلف: فیلترهای مختلف بر روی داده‌های حوزه فرکانس اعمال شده و مطالعات بر روی باندهای فرکانسی موجود به صورت مجزا انجام گرفته است. بر این اساس ارتباط فرکانس‌های بالا با نوفه‌های ژئوشیمی و آنومالی‌های سطحی و ارتباط فرکانس‌های پایین با

مقادیر زمینه و آنومالی‌های عمیق بررسی شده است. عناصر موجود در فاز کانی‌سازی دارای مقادیر طیف توان مشابهی در هر یک از فرکانس‌ها هستند و از این جهت در تحلیل‌های اکتشافات ژئوشیمیایی مهم ارزیابی می‌شوند.

د- پیشنهاد روش جدید ضرایب فرکانسی عناصر: این روش به منظور پیش‌بینی روند عمقی تغییرات عیار عناصر از سطح به عمق بدون حفاری و شناسایی آنومالی‌های کاذب و ذخایر پنهان مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش آنومالی‌های ژئوشیمیایی در عمق، بر اساس وجود آنومالی‌های فرکانسی سطحی قابل پیش‌بینی می‌باشند.

ه- استفاده از ضرایب موجک هار (به عنوان ویژگی‌های ژئوشیمیایی: در این رساله از ضرایب موجک در حوزه مکان - مقیاس برای اولین بار به عنوان ویژگی‌های ژئوشیمیایی جهت تحلیل‌های اکتشافی استفاده شده است. این ضرایب موجک در مؤلفه‌های مختلف تجزیه‌ای دارای اطلاعات اکتشافی می‌باشند.

و- ارائه شاخص جدید اکتشافی در حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمی: جهت مطالعه بیشتر داده‌های ژئوشیمیایی، شاخص تجمعی جدیدی بر اساس ضرایب موجک در حوزه مکان - مقیاس معرفی شده است که می‌تواند مشخصه‌های ژئوشیمیایی منطقه را به خوبی نشان دهد.

۱-۵- سوالات تحقیق

الف- چه ارتباطی بین حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی با فرآیند کانی‌سازی و زمین‌شناسی وجود دارد؟

ب- عناصر مربوط به کانی‌سازی، در حوزه فرکانس چه ارتباطی با یکدیگر دارند؟

ج- آیا می‌توان اطلاعات جدید در خصوص کانی‌سازی و مناطق آنومال با استفاده از حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی استخراج کرد به گونه‌ای که این اطلاعات در حوزه مکان قابل دست‌یابی نباشد؟

¹ Haar

د- چگونه می‌توان با استفاده از اطلاعات حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی، نقشه آنومالی ژئوشیمیایی را بهبود بخشید؟

ه- مقادیر طیف توان و اعداد موج در جهت‌های افقی و قائم چه مفهوم ژئوشیمیایی داشته و حاوی چه اطلاعات اکتشافی هستند؟

و- آیا با مقایسه‌ی اطلاعات حوزه فرکانس و حوزه مکان توزیع عناصر ژئوشیمیایی می‌توان در خصوص ارتباطات پارائزنی عناصر و تیپ کانسار بحث کرد؟

ز- چه ارتباطی بین توزیع فرکانسی عناصر در سطح با وضعیت قرارگیری ذخیره در اعماق مختلف وجود دارد و آیا ذخایر واقع در اعماق مختلف، مؤلفه‌های فرکانسی متفاوتی می‌توانند در سطح ایجاد نمایند؟

ح- فرکانس‌های بالا و پایین در نقشه توزیع ژئوشیمیایی سطحی عناصر چه مفهومی دارد؟

ط- حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمیایی حاوی چه اطلاعات اکتشافی است؟

ی- آیا می‌توان با استفاده از اطلاعات حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی سطحی، آنومالی‌های پنهان و کاذب را شناسایی کرد؟

۱-۶- فرض‌های تحقیق

الف- داده‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از دیدگاه زمین آماری، داده‌های مکانی هستند و نمونه‌ها متأثر از مناطق بالادست و ارتفاعات نبوده و می‌شود از نظر منطقی داده‌ها را درون‌یابی کرد.

ب- نمونه‌های برداشت شده از منطقه توانسته‌اند تغییرات عیار در منطقه را به خوبی انعکاس دهند و این داده‌ها معرف خوبی از پراکندگی عناصر در منطقه هستند.

ج- اطلاعات و داده‌هایی که در مراحل اکتشافی تفصیلی‌تر به دست آمده و جهت اعتبارسنجی استفاده می‌شود حائز اعتبار بوده و قابل اعتماد می‌باشد.

۷-۱- ابزارهای مورد استفاده در تحقیق

جهت انتقال داده‌های ژئوشیمی حوزه مکان به حوزه فرکانس از روش تبدیل فوریه دو بعدی و در حوزه مکان - مقیاس با استفاده از روش تبدیل موجک دو بعدی گسسته هار استفاده شده است. جهت به دست آوردن خروجی‌های مختلف به صورت ماتریس و یا نقشه و اعمال فیلترهای مناسب نیاز به کدنویسی در محیط نرم افزار متلب می‌باشد. جهت تشخیص الگوهای مختلف ژئوشیمیایی و تفسیرهای آماری و شناسایی ارتباطات فرکانسی بین عناصر از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و سایر روش‌های تحلیلی بر روی خروجی نرم افزار متلب از نرم افزار SPSS استفاده می‌شود.

به منظور تفسیر و تکمیل نتایج به دست آمده از روش‌های عنوان شده، سایر اطلاعات اکتشافی مانند ژئوفیزیک، زمین‌شناسی، گسل و آلتراسیون‌ها مورد تحلیل قرار گرفته و در ارزیابی‌های نهایی و بهبود نتایج مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۸-۱- روش اجرای تحقیق

الف- از آنجایی که روش ارائه شده یک روش جدید در بحث اکتشاف ذخایر معدنی می‌باشد در ابتدا بررسی‌ها و مطالعات اولیه بر روی سه محدوده کانی‌سازی مس- طلائی پورفیری دالی، کانی‌سازی مس- مولیبدن ظرفردند و کانی‌سازی آنتیموان شند محمود فردوس انجام گرفت. لازم است مطالعات بر روی ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و خصوصیات اندیس‌های معدنی و سایر مشخصه‌های اکتشافی این مناطق انجام شود تا بتوان نتایج به دست آمده از این روش‌ها را به خوبی تحلیل و بررسی کرد. بنابراین در گام اول باید شناخت در مورد اطلاعات اکتشافی و فرآیندهای زمین‌شناسی و کانی‌زایی در منطقه را کامل کرد. بدین منظور تمام اندیس‌های موجود در این مناطق و رخنمون‌های کانی‌سازی و داده‌های حاصل از مراحل مختلف اکتشافی به‌ویژه اکتشافات تفصیلی و داده‌های حاصل از حفاری‌های عمیق و ترانشه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ب- تحلیل‌های مختلف از جمله بررسی‌های آماری بر روی داده‌های ژئوشیمیایی اولیه در حوزه مکان انجام می‌گیرد و اطلاعات اکتشافی به‌دست آمده از این داده‌ها با اطلاعات مراحل مختلف اکتشافی (تمام اطلاعات اکتشافی منطقه اعم از اندیس‌های معدنی و کانی‌سازی، حفاری‌ها و ترانسه‌ها و غیره) مقایسه و مورد ارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرد.

ج- استفاده از تبدیلات فوریه دو بعدی و تبدیل موجک گسسته دو بعدی هر به منظور انتقال داده‌ها از حوزه مکان به فرکانس و حوزه مکان - مقیاس

د- انجام تحلیل‌های مختلف از جمله آماری بر روی خروجی‌های حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس و تعیین پارامترها و فاکتورهای مهم کانی‌زایی و شناسایی ارتباطات بین عناصر با نگاه به ویژگی‌های پاراژنری و خصوصیات تحرک پذیری عناصر و ارتباطات فرکانسی بین آنها.

ه- اعمال فیلترهای مختلف شامل فیلترهای بالاگذر، پایین‌گذر و باندگذر بر روی مؤلفه‌ها و فاکتورهای مختلف به‌دست آمده از مراحل قبل در حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس.

و- مقایسه نتایج به‌دست آمده از حوزه فرکانس با نتایج حوزه مکان با در نظر گرفتن واقعیت‌های اکتشافی حاصل از مراحل مختلف اکتشافی اعم از حفاری، ترانسه و ویژگی‌های اندیس‌های معدنی

ز- تحلیل نتایج فرکانسی و بررسی رفتارهای فرکانسی عناصر و ارائه روش ضرایب فرکانسی عناصر و انجام آن بر روی داده‌های سه منطقه مورد نظر و ارزیابی نتایج.

ح- تفسیر نتایج حوزه مکان - مقیاس و ارائه شاخص‌های جدید اکتشافی

فصل دوم:

حوزه فرکانس و حوزه مکان – مقیاس

فصل دوم: حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس

۲-۱- حوزه فرکانس و تبدیل فوریه

۱-۱-۲- مقدمه

سری فوریه به نام ریاضیدان بزرگ فرانسوی، ژوزف فوریه نام‌گذاری شده است. در ریاضیات، سری فوریه، تابعی است که با استفاده از آن می‌توان هر تابع متناوب را به صورت جمعی از توابع نوسانی ساده (سینوسی، کسینوسی و یا تابع نمایی مختلط) بیان کرد. با بسط هر تابع به صورت سری فوریه، مؤلفه‌های بسامدی آن تابع به دست می‌آید (Stein and Weiss, 1971).

توابع مورد استفاده در مهندسی و توابع نمایانگر سیگنال‌ها معمولاً توابعی از زمان یا مکان هستند یا به عبارت دیگر توابعی که در میدان زمان و مکان تعریف شده‌اند. برای حل بسیاری از مسائل بهتر است که تابع در حوزه فرکانس تعریف شده باشد زیرا این حوزه ویژگی‌هایی دارد که به راحتی قابل محاسبه است و توابع می‌توانند مستقل از زمان و مکان تعریف شوند. تبدیل فوریه در مباحث مختلف فیزیک، از جمله الکترونیک و الکترومغناطیس به خصوص در پیغام‌رسانی و مخابرات، آکوستیک، فیزیک امواج و غیره کاربرد فراوان دارد (Stein and Weiss, 1971). در حوزه‌های مختلف علوم زمین مانند ژئوفیزیک و ژئوشیمی نیز از اطلاعات حوزه فرکانس استفاده شده است. در این فصل به طور مختصر به مفاهیم و روابط روش‌های فوریه و حوزه فرکانس می‌پردازیم.

۲-۱-۲- سری‌های فوریه

اگر $f(x): R \rightarrow C$ یک تابع متناوب با دوره تناوب L باشد. آنگاه این تابع را می‌توان به صورت سری فوریه مثلثاتی زیر نوشت (کارت رایت، ۱۳۸۲):

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos\left(\frac{2n\pi x}{L}\right) + b_n \sin\left(\frac{2n\pi x}{L}\right) \right) \quad (2-1)$$

این معادله بسط سری فوریه یک تابع متناوب است. این معادله را می‌توان روی هر بازه به طول یک دوره تناوب در نظر گرفت که ضرایب با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه هستند:

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_0^L f(x) dx \quad (2-2)$$

$$a_n = \frac{2}{L} \int_0^L \cos\left(\frac{2n\pi x}{L}\right) f(x) dx \quad (2-3)$$

روابط فوق نشان می‌دهد که ضرایب فوریه به‌طور یگانه به‌وسیله تابع f تعیین می‌شوند. بنابراین اگر یک تابع

$$b_n = \frac{2}{L} \int_0^L \sin\left(\frac{2n\pi x}{L}\right) f(x) dx \quad (2-4)$$

بسط فوریه داشته باشد، آن بسط یگانه است (کارت رایت، ۱۳۸۲).

شرایط کافی برای هر تابع متناوب برای اینکه به صورت سری فوریه نوشته شود عبارت است از:

۱- تابع در هر دوره تناوبی (L) انتگرال پذیر باشد:

$$\int_a^{a+L} |f(x)| dx < \infty \quad (2-5)$$

۲- تابع فقط شمار محدودی بیشینه و کمینه داشته باشد.

۳- تابع فقط شمار محدودی ناپیوستگی داشته باشد (Sneddon, 1973).

سری فوریه توابع را به صورت زیر نیز می‌توان بیان کرد:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos\left(\frac{2n\pi x}{L} + \phi_n\right) \quad (2-6)$$

این رابطه‌ی دامنه- فاز بوده که C_n دامنه و ϕ_n فاز مؤلفه n ام این بسط می‌باشد و باتوجه به رابطه اولیه

بسط سری فوریه، روابط زیر برقرار است:

$$a_n = C_n \cos(\phi_n) \quad (2-7)$$

$$b_n = -C_n \sin(\phi_n) \quad (2-8)$$

سری فوریه به صورت مختلط نیز قابل نمایش است که عبارت است از (کارت رایت، ۱۳۸۲):

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (2-9)$$

$$\phi_n = \cos^{-1}\left(\frac{a_n}{C_n}\right) \quad (2-10)$$

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} Z_n e^{\frac{2\pi i n x}{L}} \quad (2-11)$$

$$Z_n = \frac{1}{L} \int_0^L e^{-\frac{2\pi i n x}{L}} f(x) dx \quad (2-12)$$

Z_n ، ضریب سری مختلط فوریه نامیده می‌شود. ارتباط خیلی نزدیکی بین فرمول حالت مختلط سری فوریه و فرمول دامنه - فاز وجود دارد. و بر این اساس داریم:

$$Z_n = \frac{1}{2}(a_n - b_n) \quad (2-13)$$

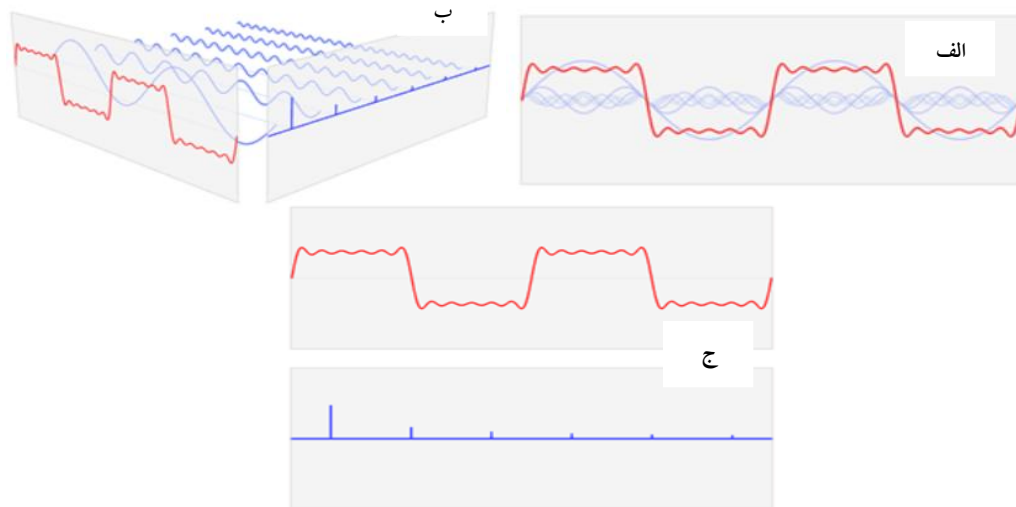
$$\phi_n = \arg(Z_n) \quad (2-14)$$

$$C_n = 2|Z_n| \quad (2-15)$$

برای نمایش نمودار سری‌های فوریه دو روش متناظر با سری‌های عنوان شده وجود دارد. روش اول ترسیم نمودار a_n و نمودار b_n به ازای مقادیر مختلف n ، و روش دوم ترسیم نمودار C_n و نمودار ϕ_n می‌باشد. این نمودارها، طیف نامیده می‌شوند. چون دامنه معمولاً اساسی‌ترین قسمت اطلاعات درباره مد (n) است، نمایش دامنه - فاز خیلی رایج است. در واقع از طیف فاز اغلب صرف نظر می‌شود اما طیف دامنه به تنهایی نمایش داده می‌شود (کارت رایت، ۱۳۸۲).

در شکل ۱-۲ نمودار تابع f که به توابع سری فوریه $a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)$ تجزیه شده، نشان داده شده است. در این شکل مراحل مختلف ترسیم نمودار طیف دامنه f مشاهده می‌شود. در قسمت (الف) تابع f به

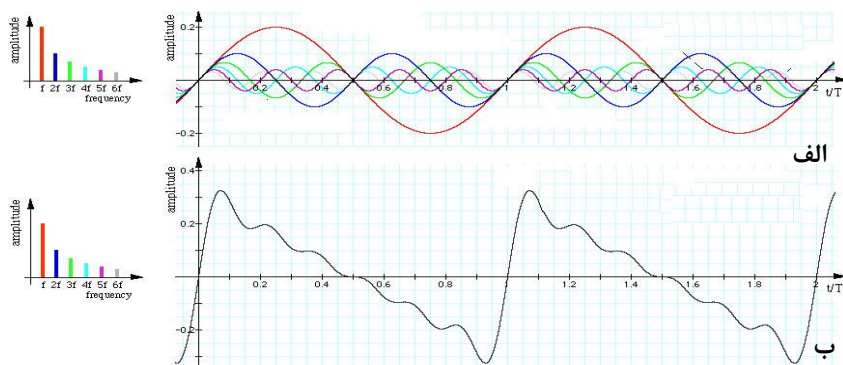
مؤلفه‌های سینوسی و کسینوسی بر اساس سری فوریه تجزیه شده و در قسمت (ب) این موج‌ها بر اساس مقدار دامنه به صورت سه بعدی نشان داده شده است و در نهایت در قسمت (ج) تابع f همراه با طیف دامنه آن نمایش داده می‌شود.



شکل ۲-۱- الف: تجزیه تابع f به توابع سری فوریه $a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)$; ب: نمایش تجزیه تابع f و طیف دامنه مربوطه به صورت سه بعدی ج: ترسیم نمودار طیف دامنه تابع (Stein and Shakarchi, 2003)

در شکل (۲-۲) نیز ملاحظه می‌کنید که موج پایین (قسمت ب) از مجموع موج‌های قسمت (الف) حاصل شده و طیف دامنه و مقادیر فرکانس در موج مبنا با موج‌های حاصل برابر است.

به عنوان مثال اگر داده‌های حاصل بر روی یک پروفیل ژئوشیمیایی را به عنوان یک سیگنال در نظر بگیریم می‌توان این نمودار ژئوشیمیایی را به مؤلفه‌های سینوسی مختلف با استفاده از روش‌های فوریه تجزیه کرد و در خصوص فرکانس‌های مختلف آنها اظهار نظر نمود.



شکل ۲-۲- توابع مثلثاتی حاصل از سری فوریه یک تابع و نمودار دامنه و فرکانس آن تابع (Sadie, 1984)

۲-۱-۳- تبدیلات فوریه

تبدیل فوریه یک تبدیل انتگرالی است که هر تابع $f(x)$ را به یک تابع دیگر $F(\omega)$ تبدیل می‌کند. در این صورت، به $F(\omega)$ تبدیل فوریه تابع $f(x)$ می‌گویند. سری فوریه حالت خاص تبدیل فوریه است و آن زمانی کاربرد دارد که تابع $f(x)$ متناوب باشد (Stein and Weiss, 1971). مانع اساسی در نظریه سری‌های فوریه این است که تنها با توابع متناوب مواجه است (یا تابعی که روی یک بازه متناهی تعریف شده‌اند). با وجود این برای هر تابع اختیاری $f(x)$ که روی تمام محور اعداد حقیقی انتگرال‌پذیر باشد انتگرال‌های زیر برقرار است.

$$Cf(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \cos(\omega x) f(x) dx \quad (2-16)$$

$$Sf(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \sin(\omega x) f(x) dx \quad (2-17)$$

این روابط شبیه انتگرال‌هایی است که در تعریف ضرایب فوریه قبلاً بیان شد. در این رابطه دامنه انتگرال‌ها به جای یک بازه متناهی با طول L از $-\infty$ تا $+\infty$ و به جای متغیر $\frac{2n\pi}{L}$ فرکانس زاویه‌ای ω قرار دارد. لذا معادلات مورد نظر تابعی را بر حسب ω تعریف می‌کنند. توابع Cf و Sf به ترتیب تبدیل کسینوسی فوریه و تبدیل سینوسی فوریه تابع f نامیده می‌شوند. Cf و Sf مانند یک عملگر عمل کرده و وقتی به تابع f اثر می‌کنند تابع جدیدی نتیجه می‌دهند (کارت رایت، ۱۳۸۲).

یک شرط کافی برای وجود تبدیل فوریه تابع f این است که f در بازه $(-\infty, +\infty)$ مطلقاً انتگرال پذیر باشد (طاهری، ۱۳۸۰). مثل سری‌های فوریه یک فرمول مختلط برای تبدیل فوریه وجود دارد که امکان می‌دهد فرمول‌های سینوسی و کسینوسی فوریه به صورت یک عبارت واحد نوشته شود. از روابط سری‌های فوریه داریم (کارت رایت، ۱۳۸۲):

$$Z_n = \frac{1}{L} \int_0^L e^{-\frac{2\pi i n x}{L}} f(x) dx \quad (2-18)$$

برای تبدیل فوریه مختلط رابطه زیر برقرار است (Brigham, 1974; Jennison, 1961):

$$Ff(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega x} f(x) dx \quad (2-19)$$

تابع $Ff(\omega)$ تبدیل فوریه مختلط f نامیده می‌شود و به F عملگر تبدیل فوریه گفته می‌شود. تبدیل فوریه در حقیقت جداسازی شکل موج به صورت موج‌های سینوسی با فرکانس‌های مختلف است. در این تبدیل، دامنه و فرکانس هر یک از مؤلفه‌های سینوسی تعیین می‌شوند و به عبارت دیگر تبدیل فوریه مؤلفه‌های فرکانسی مختلف را مشخص می‌کند که از ترکیب آنها یک شکل موج اختیاری حاصل می‌شود. در رابطه بالا تابع $f(x)$ شکل موجی است که بایستی به صورت مؤلفه‌هایی با فرکانس‌های مختلف درآید. در اکثر موارد که تابع متناوب است به جای تبدیل انتگرال فوریه از سری فوریه استفاده می‌شود که حالت خاصی از تبدیل فوریه است. حال اگر $f(x)$ یک تابع متناوب نباشد، در این صورت تبدیل فوریه آن به صورت یک تابع پیوسته از فرکانس است و به صورت مجموعه‌ای از تمام فرکانس‌ها در نظر گرفته می‌شود. تبدیل فوریه یک تابع دقیقاً حاوی همان اطلاعات تابع اولیه است ولی فقط از نظر شکل نمایش با تابع اصلی اولیه متفاوت است (گل نبی، ۱۳۷۶). با بسط دادن جمله $e^{-i\omega x}$ رابطه‌ای بین تبدیلات سینوسی و کسینوسی فوریه برقرار می‌شود:

$$Ff(\omega) = Cf(\omega) - iSf(\omega) \quad (2-20)$$

۲-۱-۴- تبدیل معکوس فوریه

تبدیل فوریه به طور مشابه با ضرایب سری فوریه کلاسیک تعریف می شود. مهم ترین چیزی که باید در سری فوریه در نظر داشت این است که برای تعداد زیادی از توابع متناوب، سری فوریه همان بسط فوریه است و رابطه زیر برقرار است.

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} Z_n e^{\frac{2\pi i n x}{L}} \quad (2-21)$$

برای توابع غیر متناوب بسط متناظری وجود دارد. در این حالت به جای دنباله ضرایب Z_n تابع $Ff(\omega)$ وجود دارد که برای هر فرکانس زاویه ای ممکن ω ، مقدار معینی دارد. بنابراین سری های فوریه یک مجموع روی n است ولی در تبدیلات فوریه یک انتگرال روی ω به صورت زیر وجود دارد:

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Ff(\omega) e^{i\omega x} d\omega \quad (2-22)$$

معادله فوق قضیه معکوس نامیده می شود (کارت رایت ۱۳۸۲، Jennison, 1961; Brigham, 1974). با استفاده از تبدیل فوریه معکوس می توان تابع زمانی مربوط به یک تابع پیوسته مختلط از فرکانس را به دست آورد (گل نبی، ۱۳۷۶).

درست مثل تمام توابع متناوب که سری های فوریه شان بسط فوریه آنها نمی باشد، همه تبدیلات فوریه معکوس پذیر نیستند. یعنی، هر چند که هر تابع انتگرال پذیر f دارای تبدیل فوریه Ff می باشد ولی تابع f همیشه نمی تواند دوباره از Ff به وسیله معادله تبدیل معکوس فوریه به دست آید. در حقیقت این سؤال که کدام توابع در قضیه معکوس صدق می کنند هنوز حل نشده می باشد و این یک سؤال مهم در آنالیز ریاضی است. با وجود این، معادله معکوس تبدیل فوریه می تواند برای طیف وسیعی از توابع ثابت شود. اگر $f(x)$ یک تابع هموار (به طور پیوسته مشتق پذیر) باشد و تابع $|f(x)|$ روی بازه $(-\infty, +\infty)$ انتگرال پذیر باشد، آن گاه تبدیل آن معکوس پذیر است (کارت رایت، ۱۳۸۲).

۲-۱-۵ - طیف‌ها

تبدیلات فوریه شبیه سری های فوریه به دو روش $\sin - \cos$ و دامنه - فاز نمایش داده می‌شوند. در روش اول تبدیل کسینوسی و سینوسی رسم می‌شوند. این تنها برای تبدیلات توابع با مقدار حقیقی قابل کاربرد است چون:

$$Ff(\omega) = Cf(\omega) - iSf(\omega) \quad (2-23)$$

لذا این روش قسمت‌های حقیقی و موهومی تبدیل فوریه مختلط را به دست می‌دهد. در روش دوم توابعی که رسم می‌شوند، مدول و آرگومان تابع Ff می‌باشند یعنی:

$$Af(\omega) = |Ff(\omega)| \quad (2-24)$$

$$\Phi f(\omega) = \arg(Ff(\omega)) \quad (2-25)$$

این دو تابع (معادلات (2-24) و (2-25)) به ترتیب طیف دامنه و طیف فاز می‌باشند. شکل دیگر طیف دامنه، طیف توان است که به صورت زیر می‌باشد:

$$Pf(\omega) = (Af(\omega))^2 = |Ff(\omega)|^2 \quad (2-26)$$

روش دامنه- فاز بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (کارت رایت، ۱۳۸۲).

۲-۱-۶ - توابع چگالی طیف توان (PSDF)

تابع $f(x)$ یک تابع با مشخصه ثابت است هرگاه ساختار فوریه آن روی فاصله‌های بزرگ، پایدار باشد. به طور دقیق‌تر، $f(x)$ با مشخصه ثابت است هرگاه حد زیر موجود باشد:

$$Pf(\omega) = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{1}{2R} \left| \int_{-R}^R f(x) e^{-i\omega x} dx \right|^2 \quad (2-27)$$

¹ Power spectrum density function

اگر چنین باشد Pf یک تابع چگالی توان طیفی f نامیده می‌شود. عملگر چگالی توان طیفی p خیلی شبیه به عملگر توان طیفی P رفتار می‌کند. معکوس کردن PSDF به دلیل این که هیچ اطلاعات فازی در آن وجود ندارد، امکان پذیر نیست (کارت رایت، ۱۳۸۲).

۲-۱-۷- توابع متناوب

یک تابع متناوب غیرصفر هرگز نمی‌تواند روی بازه $(-\infty, +\infty)$ انتگرال پذیر باشد. بنابراین تبدیل فوریه یک تابع متناوب همیشه نمی‌تواند وجود داشته باشد. با این حال، مفهوم توابع ضربه مانند $\delta(x)$ به ما این امکان را می‌دهد که نظریه تبدیلات فوریه را برای توابع متناوب نیز توسعه دهیم. برخی از توابع با تبدیل فوریه آنها در زیر بیان شده است (کارت رایت، ۱۳۸۲):

$$F[e^{-iax}](\omega) = 2\pi\delta(\omega + a) \quad (2-28)$$

$$F^{-1}[e^{-iax}](x) = \delta(x - a) \quad (2-29)$$

$$F[\cos(ax)](\omega) = \pi(\delta(\omega + a) + \delta(\omega - a)) \quad (2-30)$$

$$F^{-1}[\cos(a\omega)](x) = \frac{1}{2}(\delta(x + a) + \delta(x - a)) \quad (2-31)$$

$$F[\sin(ax)](\omega) = \pi i(\delta(\omega - a) - \delta(\omega + a)) \quad (2-32)$$

$$F^{-1}[\sin(a\omega)](x) = \frac{1}{2}i(\delta(x + a) - \delta(x - a)) \quad (2-33)$$

۲-۱-۸- خواص تبدیلات فوریه

الف- خواص حسابی: تبدیلات فوریه دارای خواص زیادی مانند سری‌های فوریه می‌باشند. تبدیل فوریه

یک تبدیل خطی است یعنی برای توابع f و g و ثابت a داریم:

$$F(f + g)(\omega) = Ff(\omega) + Fg(\omega) \quad (2-34)$$

$$F(af)(\omega) = aFf(\omega) \quad (2-35)$$

فرمول‌های مشابهی به‌طور جداگانه برای تبدیلات سینوسی فوریه و کسینوسی فوریه برقرار هستند. با وجود این، تبدیلات دامنه، فاز، توان و توان چگالی خطی نیستند.

یک خاصیت دیگر تبدیل فوریه برقراری آن برای ω های منفی است. اگر $f(x)$ یک تابع با مقدار حقیقی باشد در این صورت خواهیم داشت:

$$Ff(-\omega) = Ff(\omega) \quad (2-36)$$

در حالتی که تابع $f(x)$ مختلط باشد، مسئله کمی مشکل‌تر خواهد بود و در این صورت داریم:

$$F\bar{f}(-\omega) = \overline{Ff(\omega)} \quad (2-37)$$

که در آن \bar{f} مزدوج مختلط f می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\bar{\bar{f}}(x) = f(x) \quad (2-38)$$

ب- مشتق‌گیری و انتگرال‌گیری: تبدیلات فوریه مانند سری‌های فوریه، مشتق‌ها و انتگرال‌های ساده‌ای دارند. با فرض اینکه $f(x)$ تابع هموار انتگرال‌پذیر باشد و وقتی $x \rightarrow \pm\infty$ آنگاه $f(x) \rightarrow 0$ و همچنین $\frac{df}{dx}$ روی بازه $(-\infty, +\infty)$ انتگرال‌پذیر باشد روابط زیر را خواهیم داشت:

$$F \frac{d^n f}{dx^n}(\omega) = (i\omega)^n Ff(\omega) \quad (2-39)$$

$$F(x^n f)(\omega) = i^n \frac{d^n}{d\omega^n} Ff(\omega) \quad (2-40)$$

ج- پیوستگی: اگر $f(x)$ تابع انتگرال‌پذیر باشد به طوری که مقدار $\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)| dx$ متناهی باشد، آنگاه تبدیل

فوریه تابع $f(x)$ یعنی $Ff(\omega)$ تابعی پیوسته از ω است. این ویژگی در نظریه سری‌های فوریه وجود ندارد.

د- لم ریمان-لبگ: از دیدگاه تبدیلی، این لم چنین بیان می‌کند که برای هر تابع انتگرال‌پذیر $f(x)$ داریم:

$$Ff(\omega) \rightarrow 0 \quad \omega \rightarrow \pm\infty \quad \text{آنگاه}$$

¹ riemann lebesgue lemma

این ویژگی را می‌توان با قضیه مشتق ترکیب کرد. به این ترتیب که اگر تابع $f(x)$ ، k بار مشتق پذیر و هر مشتق آن انتگرال پذیر باشد آنگاه وقتی $\omega \rightarrow \infty$ خواهیم داشت: $\omega^k Ff(\omega) \rightarrow 0$. این بدین معناست که $Ff(\omega)$ سریع تر از $\frac{1}{\omega^k}$ به صفر میل می‌کند.

ه- قضیه پارسوال! براساس این قضیه انرژی (چگالی) یک موج با مربع دامنه آن در ارتباط است. براساس معادله (۲-۴۱) چگالی انرژی یک تابع متناوب به صورت مجموع چگالی‌های انرژی مؤلفه‌های فوریه آن است (کارت رایت، ۱۳۸۲).

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)^2 dx = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |Ff(\omega)|^2 d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Pf(\omega) d\omega \quad (2-41)$$

۲-۱-۹- تبدیل فوریه دو بعدی

مسائلی که شامل متغیرهای فضایی هستند مانند معادلات دیفرانسیل وابسته به زمان، می‌توانند با روش تبدیلات فوریه مورد بررسی و حل قرار گیرند. خیلی از متغیرهای فضایی می‌توانند به وسیله توابعی به شکل $f(x, y, z)$ نمایش داده شوند. به منظور امکان استفاده از روش‌های فوریه در این حالت‌ها باید نظریه فوریه برای توابع چند متغیره تعمیم داده شود. این امر با در نظر گرفتن متغیرهای مستقل جدا از هم، انجام می‌شود. برای سادگی فرض کنید $f(x, y)$ تابعی با دو متغیر مستقل باشد در این صورت تبدیل فوریه دو بعدی $f(x, y)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F_2 f(\alpha, \beta) = \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i\alpha x} dx \right\} e^{-i\beta y} dy \quad (2-42)$$

به عبارت دیگر ابتدا y ثابت فرض می‌شود و تبدیل فوریه تابع $f(x, y)$ را به صورت تابعی از x در نظر می‌گیریم. نتیجه انتگرال داخلی تابعی از α و y است. سپس α را ثابت فرض کرده و آن را تابعی از y فرض

¹ Parseval's Theorem

می‌کنیم. نتیجه تابعی از α و β است که به عنوان تبدیل فوریه $f(x, y)$ می‌باشد. ترتیب اعمال تبدیلات نسبت به x و y مهم نیست. اگر ابتدا نسبت به y تبدیل فوریه را اعمال کنیم خواهیم داشت:

$$F_2 f(\alpha, \beta) = \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i\beta y} dy \right\} e^{-i\alpha x} dx \quad (2-43)$$

باید توجه داشت که هر کدام از عبارتهای نمایی می‌تواند داخل انتگرال درونی آورده شود، به عبارتی:

$$F_2 f(\alpha, \beta) = \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i\alpha x} e^{-i\beta y} dx \right\} dy \quad (2-44)$$

در نهایت تبدیل فوریه دو بعدی را به صورت زیر می‌توان بیان کرد (Dobrin and Savit, 1988):

$$F(K_x, K_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cos(K_x x + K_y y) dx dy - i \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \sin(K_x x + K_y y) dx dy \quad (2-45)$$

در این معادله $f(x, y)$ تابع مربوط به سیگنال در حوزه مکان و K_x و K_y مقادیر عدد موج در جهت‌های x و y هستند. رابطه طول موج در جهت‌های مختلف با مقادیر عدد موج به صورت زیر است:

$$\lambda_x = 2\pi / K_x \quad (2-46)$$

$$\lambda_y = 2\pi / K_y \quad (2-47)$$

$$\lambda = 2\pi \sqrt{(1/K_x^2 + 1/K_y^2)} \quad (2-48)$$

بنابراین تابع $f(x, y)$ در حوزه مکان (مانند نقشه ژئوشیمی) می‌تواند به تابع $F(K_x, K_y)$ در حوزه فرکانس

تبدیل شود. این تابع شامل یک قسمت حقیقی $R(K_x, K_y)$ و یک قسمت موهومی $I(K_x, K_y)$ می‌باشد.

طیف توان تابع به صورت زیر تعریف می‌شود (Bhattacharyya, 1966, Gonzalez and Woods, 2002):

$$E(K_x, K_y) = R^2(K_x, K_y) + I^2(K_x, K_y) \quad (2-49)$$

همچنین برای محاسبه طیف فاز داریم:

$$\varphi(K_x, K_y) = \tan^{-1} \left[\frac{I(K_x, K_y)}{R(K_x, K_y)} \right] \quad (2-50)$$

تابع $F(K_x, K_y)$ در حوزه فرکانس می‌تواند با استفاده از تبدیل فوریه معکوس دو بعدی به حوزه مکان انتقال داده شود. رابطه تبدیل معکوس فوریه به صورت زیر می‌باشد (Dobrin and Savit, 1988):

(۲-۵۱)

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(K_x, K_y) \cos(K_x x + K_y y) dx dy$$

$$- \frac{i}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(K_x, K_y) \sin(K_x x + K_y y) dx dy$$

اگر تابع بیش از دو متغیر داشته باشد فرایند مشابهی برای محاسبه تبدیل فوریه آن انجام می‌گیرد. در حالت کلی اگر تابع $f(x_1, \dots, x_n)$ تابعی n متغیره باشد تبدیل فوریه آن یعنی $F_n f(\omega_1, \dots, \omega_n)$ نیز یک تابع n متغیره و یک تابع n بعدی است که به صورت n تبدیل متوالی تعریف می‌شود (کارت رایت، ۱۳۸۲):

$$F_n f(\omega_1, \dots, \omega_n) = \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \dots \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, \dots, x_n) e^{-i\omega_1 x_1} dx_1 \right\} \dots \right\} e^{-i\omega_n x_n} dx_n$$

(۲-۵۲)

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \dots \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, \dots, x_n) e^{-i\omega_1 x_1} \dots e^{-i\omega_n x_n} dx_1 \right\} \dots \right\} dx_n$$

در این حالت دامنه تغییر $x(x_1, \dots, x_n)$ و دامنه تغییر $\omega(\omega_1, \dots, \omega_n)$ هر دو n بعدی است. معکوس تبدیلات فوریه چندگانه نیز با تعریف عملگرهای معکوس پذیر F به صورت متوالی امکان پذیر است. بنابراین می‌توانیم قضیه معکوس را در حالت چند بعدی نیز داشته باشیم:

$$f(x_1, \dots, x_n) = F_n^{-1} [F_n f](x_1, \dots, x_n) =$$

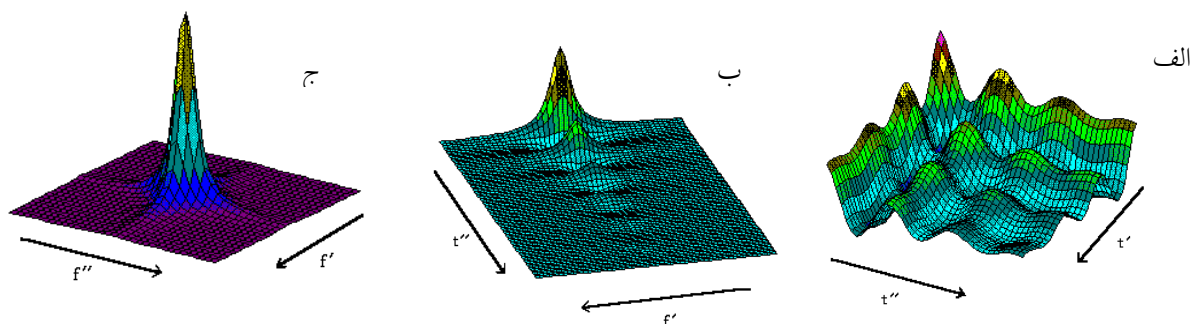
(۲-۵۳)

$$\left(\frac{1}{2\pi} \right)^n \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \dots \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} F_n f(\omega_1, \dots, \omega_n) e^{i\omega_1 x_1} d\omega_1 \right\} \dots \right\} e^{i\omega_n x_n} d\omega_n$$

شکل ۲-۳ یک نمایی از حالت دو بعدی داده‌ها را نشان می‌دهد. همان طور که گفته شد تبدیل فوریه دو بعدی بر روی آرایه‌ای دو بعدی از داده‌ها اعمال می‌شود. تبدیل فوریه ابتدا بر روی یک بعد و سپس بعد دیگر اعمال می‌شود. بعد از مرحله اول تبدیل فوریه داده‌ها به صورت t' و f' خواهند بود (شکل ۲-۳-ب).

مرحله دوم تبدیل فوریه بر روی t' انجام می‌شود و خروجی آن به صورت f' و f' می‌باشد (شکل ۲-۳-ج)

(Freeman, 1988).



شکل ۲-۳- نمایی از مراحل تبدیل فوریه دو بعدی (الف) حالت دو بعدی t' و t'' داده‌ها در حوزه مکان (ب) خروجی مرحله اول تبدیل فوریه داده‌ها به صورت f' , t'' (ج) مرحله دوم تبدیل فوریه بر روی t'' و خروجی نهایی آن در حوزه فرکانس

۲-۱-۱- فرمول بندی برداری

استفاده از متغیرهای برداری هم برای تبدیلات فوریه و هم برای سری‌های فوریه مناسب است. استفاده از بردارها برای توصیف توابع برداری به‌ویژه برای توابع دو بعدی و سه بعدی خیلی طبیعی و اساسی است. اگر دامنه n بعدی x به صورت برداری توصیف شود، دامنه n بعدی ω نیز می‌تواند به این صورت در نظر گرفته شود و با استفاده از ایده‌های برداری، می‌توانیم آنها را به زمینه‌ها و تعبیر فیزیکی بیشتری توسعه دهیم. بنابراین می‌توانیم از ضرب داخلی (ضرب نقطه‌ای) بردارها که به صورت زیر تعریف می‌شود استفاده کنیم (کارت رایت، ۱۳۸۲):

$$(a_1, \dots, a_n) \cdot (b_1, \dots, b_n) = \sum_{r=1}^n a_r b_r \quad (۲-۵۴)$$

با استفاده از این ایده می‌توانیم معادله تبدیل فوریه n بعدی را به صورت ساده‌تری بنویسیم:

$$\begin{aligned} F_n f(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \dots \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\omega_1 x_1} \dots e^{-i\omega_n x_n} dx_1 \right\} \dots \right\} dx_n \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \dots \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-(i\omega_1 x_1 + \dots + i\omega_n x_n)} dx_1 \right\} \dots \right\} dx_n \quad (۲-۵۵) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \dots \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\omega \cdot x} dx_1 \right\} \dots \right\} dx_n \\ &= \int f(x) e^{-i\omega \cdot x} dx \end{aligned}$$

۲-۱-۱۱- توابع ضربه^۱

تابع دلتا یک تابع تعمیم یافته است که می‌تواند در قالب حد یک دسته از دنباله‌های دلتا تعریف شود. تابع دلتا معمولاً "تابع دلتای دیراک" یا "نماد ضربه" خوانده می‌شود (Bracewell, 1999).

تابع ضربه یا دلتای دیراک در تبدیلات فوریه کاربرد دارد و از نماد $\delta(x)$ برای نمایش آن استفاده می‌شود. این تابع یک باریکه بی‌نهایت کوچک و تیز را نمایش می‌دهد. مقدار آن در $x=0$ برابر بی‌نهایت و در سایر نقاط صفر است و انتگرال بر روی آن برابر واحد است و برای نمایش و مدل پالس‌های خیلی باریک که تأثیر مثبتی دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع دلتا یک تابع واقعی نیست چون در $x=0$ مقدار متناهی ندارد. تابع ضربه ویژگی‌های جالبی دارد که مهم‌ترین آنها به صورت زیر است: برای هر تابع $f(x)$ که در $x=0$ پیوسته است داریم:

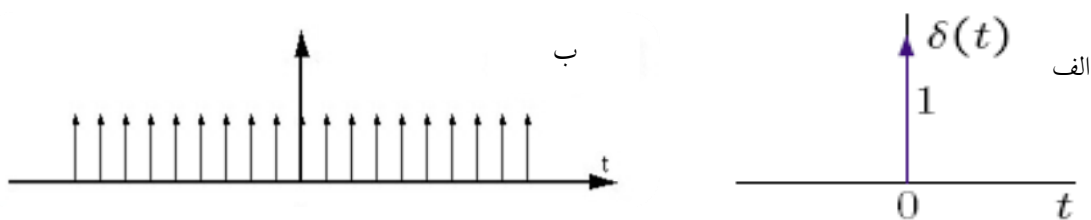
$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\delta(x)dx = f(0) \quad (2-56)$$

این تابع متناوب نیست و بنابراین نمی‌تواند بسط سری فوریه داشته باشد. ساده‌ترین تابع متناوب که شامل ضربه‌ها می‌باشد، تابع نمونه‌گیری است که معمولاً با $\text{III}(x)$ نمایش داده می‌شود و تعریف آن عبارت است از (کارت رایت، ۱۳۸۲):

$$\text{III}(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x-n) \quad (2-57)$$

نمودار تابع ضربه و تابع نمونه‌گیر در شکل (۴-۱) دیده می‌شود. تابع نمونه‌گیر به جز در نقاط صحیح در تمام نقاط مقداری صفر دارد و در نقاط صحیح شامل فلش‌های با ارتفاع بی‌نهایت و با عرض بی‌نهایت کوچک می‌باشد (کارت رایت، ۱۳۸۲).

¹ impulse



شکل ۲-۴ - نمودارهای الف) تابع ضربه $\delta(t)$ ب) تابع نمونه‌گیری

توابع ضربه در حالت n بعدی نیز قابل بررسی هستند. توابعی که از تابع دلتا حاصل می‌شوند جایگاه مهمی در تبدیلات فوریه n بعدی دارند. دسته‌های متفاوتی از توابع ضربه‌ای n بعدی وجود دارند که تقریباً با توجه به تعداد بعدشان از توابع ضربه‌ای ساخته می‌شوند. به عنوان مثال، تابع ضربه $\delta_2(x, y)$ دو بعدی وجود دارد که شبیه تابع دلتای یک بعدی، همه جا صفر و در مبدأ بی‌نهایت است و انتگرال آن روی تمام فضا برابر واحد است (کارت رایت، ۱۳۸۲):

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta_2(x, y) dx dy = 1 \quad (2-58)$$

یکی از ویژگی‌های تابع ضربه دو بعدی به صورت زیر است:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta_2(x, y) dx dy = f(0, 0) \quad (2-59)$$

این رابطه برای هر تابع $f(x, y)$ برقرار است. از این رابطه خواهیم داشت:

$$\delta_2(x, y) = \delta(x) \delta(y) \quad (2-60)$$

تبدیل فوریه تابع دلتای دو بعدی، تابع دو بعدی واحد است یعنی:

$$I_2(\omega) = F_2 \delta_2(\omega) = 1 \quad (2-61)$$

و به طور کلی تبدیل فوریه تابع دلتای n بعدی، تابع واحد n بعدی $I_n(\omega)$ می‌باشد. بر اساس تبدیلات معکوس فوریه، تبدیل فوریه تابع واحد نیز عبارت است از:

$$F_n I_n(\omega) = (2\pi)^n \delta_n(\omega) \quad (2-62)$$

به طور مشابه تابع $\delta_n(x-c)$ شامل یک ضربه در نقطه $x=c$ با بزرگی واحد است. ترکیب چنین ضربه‌هایی، تابع نمونه‌گیری دو بعدی یا تخت میخ‌دار را به صورت زیر تعریف می‌کند:

$$III_2(x, y) = \sum_{m, n=-\infty}^{\infty} \delta_2(x-m, y-n) \quad (2-63)$$

همان‌گونه که بیان شد توابعی به صورت $f(x_1, \dots, x_n)$ که یک سری فوریه چند بعدی تولید می‌کنند باید در شرایط تناوبی اکیداً صدق کنند. به عبارت دیگر این توابع باید نسبت به هر کدام از متغیرهای x_r به طور مستقل تناوبی باشند. اگر تابع f هموار باشد آنگاه سری فوریه آن بسط سری فوریه خواهد بود. چنین توابعی تبدیل فوریه ضربه‌ای نامعین خواهند داشت. بنابراین تبدیل فوریه یک تابع متناوب شامل یک مجموع چند بعدی فلش‌های ضربه است (کارت رایت، ۱۳۸۲).

۲-۲- حوزه مکان - مقیاس و تبدیل موجک

۲-۲-۱- مقدمه

یکی از جدیدترین تحولات در ریاضیات کاربردی، استفاده از نظریه موجک‌ها است. امروزه نظریه موجک‌ها برای حل مسائل مختلف کاربردی در زلزله‌شناسی، پردازش سیگنال‌ها در سیستم‌ها، مخابرات، پردازش تصویر و بینایی کامپیوتر، ذرات بنیادی و کوانتوم مکانیک، نظریه تقریب و مکان‌یابی، جرم‌شناسی، ژنتیک و پزشکی، مهندسی و فیزیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. موجک‌ها دسته‌ای از توابع ریاضی هستند که برای تجزیه سیگنال پیوسته به مؤلفه‌های فرکانسی آن به کار می‌رود که قدرت تفکیک‌آور مؤلفه برابر با مقیاس آن است. تبدیل موجک تجزیه یک تابع بر مبنای توابع موجک می‌باشد. موجک‌ها نمونه‌های انتقال یافته و مقیاس شده یک تابع (موجک مادر) با طول متناهی و نوسانی شدیداً میرا هستند. تبدیل موجک یکی از ابزارهای قوی و مفید برای بررسی سری‌های زمانی یا مکانی است. این تبدیل سیگنال را از حوزه زمان (یا

¹ Resolution

مکان) به حوزه زمان - مقیاس (یا مکان - مقیاس)، که مقیاس با بسامد ارتباط دارد، منتقل می‌کند. تبدیل موجک و مباحث تئوری مربوط به آن به طور وسیعی در اواسط قرن ۱۸ در علوم مختلف توسعه پیدا کرد (Johansson, 2005).

آنالیز موجک به دلیل ماهیت داشتن چند قدرت تفکیک می‌تواند اطلاعات متفاوتی را در مقیاس‌های مختلف از داده‌ها استخراج کند و به عنوان یک ابزار قوی در پردازش داده‌ها مورد استفاده قرار گیرد. اطلاعات جزئی در حوزه مکان و فرکانس به طور هم‌زمان می‌تواند در روش موجک مورد تحلیل قرار گیرد و دقت تحلیل را افزایش دهد بنابراین روش موجک انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به روش آنالیز فوریه دارد (Zhang et al, 2012).

۲-۲-۲- تبدیل موجک

موجک‌ها توابع ریاضی هستند که به منظور تقسیم سیگنال‌ها به مؤلفه‌هایی با مقیاس‌های مختلف که شامل فرکانس‌های متفاوت هستند به کار می‌روند (Addison 2002).

تبدیل موجک $W_x(a, b)$ یک سیگنال پیوسته $x(t)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

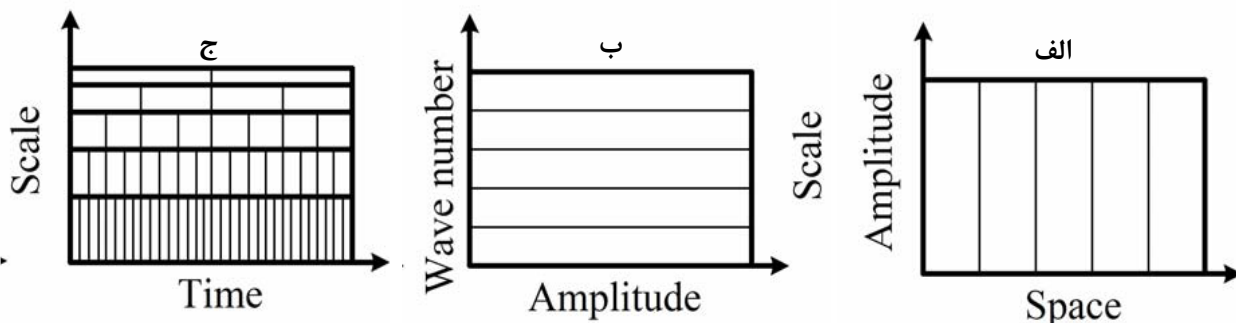
$$(a, b) \in \mathbb{R}^2 \quad w_x(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = \langle x(t), \psi_{a,b}(t) \rangle \quad (2-64)$$

متغیرهای a و b به ترتیب پارامتر مقیاس و انتقال می‌باشند. t متغیر زمان (مکان) است و $x(t)$ سیگنال اولیه در حوزه زمان یا مکان است. ψ^* مزدوج تابع ψ است. تبدیل موجک با ضرب داخلی $x(t)$ و نسخه انتقال یافته و مقیاس شده تابع $\psi_{a,b}(t)$ که موجک مادر نامیده می‌شود، به دست می‌آید. موجک مقیاس شده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2-65)$$

تبدیل موجک در حقیقت اندازه‌گیری شباهت بین محتوای فرکانسی سیگنال و فرکانس موجک‌ها است. با تغییر پارامتر مقیاس (a) ، مرکز فرکانسی و پهنای باند میان‌گذر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. قدرت تفکیک

زمانی و فرکانسی به a بستگی دارد. برای آنالیز فرکانس‌های بالا (a کوچک)، محلی‌سازی زمانی خوب ولی قدرت تفکیک فرکانسی پایین است. از طرف دیگر برای آنالیز فرکانس‌های کم، قدرت تفکیک فرکانسی خوب و قدرت تفکیک زمانی پایین خواهد بود. تغییر b به معنی انتقال زمانی است. آنالیز موجک اغلب آنالیز زمان - مقیاس به جای آنالیز زمان - فرکانس خوانده می‌شود (مرتینز، ۱۳۸۰). ضرایب موجک به مقادیر a و b بستگی دارند. مفهوم انتقال دقیقاً مشابه با مفهوم انتقال زمانی در تبدیل فوریه زمان - کوتاه است که میزان جابجایی پنجره را معلوم می‌کند و به وضوح، اطلاعات زمانی تبدیل را دربر دارد. اما بر خلاف تبدیل فوریه زمان - کوتاه، در تبدیل موجک به طور مستقیم پارامتر فرکانس نداریم. در عوض در تبدیل موجک پارامتر مقیاس که به طور معکوس با فرکانس مرتبط است، وجود دارد. مقیاس بزرگ در تبدیل موجک متناظر با یک دید کلی و فارغ از جزئیات، به سیگنال است و فرکانس‌های پایین را نشان می‌دهد و مقیاس‌های کوچک به مفهوم نگاه به جزئیات سیگنال است و سیگنال‌های با فرکانس بالا را نشان می‌دهد. مقیاس کردن، سیگنال را منقبض و منبسط می‌کند. شکل ۲-۵ خاصیت آنالیز چند قدرت تفکیکی تبدیل موجک را نشان می‌دهد. در مقیاس‌های پایین (فرکانس‌های بالا) قدرت تفکیک مقیاسی بهتری داریم. به عبارت دیگر در مقیاس‌های پایین، نمودار باریک‌تر است و نشان دهنده این است که با دقت بسیار بهتری می‌توان مقدار دقیق مقیاس متناظر را بیان نمود که خود متناظر با قدرت تفکیک فرکانسی ضعیف است. به طور مشابه، مقیاس‌های بالاتر دارای قدرت تفکیک فرکانسی خوب می‌باشند چرا که در طول محور مقیاس، پهن‌تر هستند. در شکل ۲-۵ نحوه نمایش داده‌ها در سه حوزه مکان، عدد موج، مکان - مقیاس نشان داده شده است. آنالیز موجک از یک صفحه زمان - فرکانس استفاده نمی‌کند و به جای آن از صفحه زمان - مقیاس تشکیل می‌شود (Chui, 1992).



شکل ۲-۵- (الف) نمایش سیگنال در حوزه مکان. (ب) نمایش سیگنال در حوزه عدد موج. (ج) نمایش سیگنال در حوزه زمان - مقیاس (Chui, 1992)

۲-۲-۳- تبدیل موجک گسسته

به منظور گسسته کردن تبدیل موجک، ابتدا پارامتر مقیاس بر حسب یک درجه بندی لگاریتمی گسسته می‌شود. پس از آن، متغیر زمان با توجه به پارامتر مقیاس گسسته می‌شود به نحوی که برای هر مقیاس یک نرخ نمونه برداری جداگانه استفاده می‌شود. اصطلاحاً گفته می‌شود نمونه برداری بر روی یک درجه بندی دودویی انجام پذیرفته است. گسسته سازی موجک مادر به صورت زیر است:

$$\psi_{j,k}(t) = a_0^{-j/2} \psi(a_0^{-j}t - kb_0) \quad (2-66)$$

با استفاده از رابطه نشان داده شده، نسخه گسسته تبدیل موجک به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\psi_x^{j,k}(t) = \int x(t) \psi_{j,k}^*(t) dt \quad (2-67)$$

نمونه گیری در تبدیل موجک گسسته به صورت دودویی است. در این حالت قدرت تفکیک زمانی نصف شده و در مقابل قدرت تفکیک فرکانسی دو برابر می‌شود. این روند بر روی نسخه خروجی فیلتر پایین گذر و فیلتر بالاگذر اعمال می‌شود. این فرایند به روش بانک فیلتر مشهور است. ضرایب خروجی فیلتر پایین گذر، شکل اولیه سیگنال را دنبال می‌کنند. به همین دلیل به این ضرایب، تقریب گفته می‌شود. همچنین ضرایب خروجی فیلتر بالاگذر، جزئیات فرکانس بالای سیگنال را دربر دارند و به این ضرایب، جزئیات گفته می‌شود. با افزایش تعداد مراحل تبدیل، میزان جزئیات کاهش می‌یابد. تعداد ضرایب تبدیل موجک با تعداد نمونه های

سیگنال گسسته ورودی برابر خواهد بود. در تبدیل گسسته موجک از مقادیر گسسته a و b استفاده می‌شود و مقادیر آنها به صورت زیر در تعریف می‌شود (Bessissi et al, 2009):

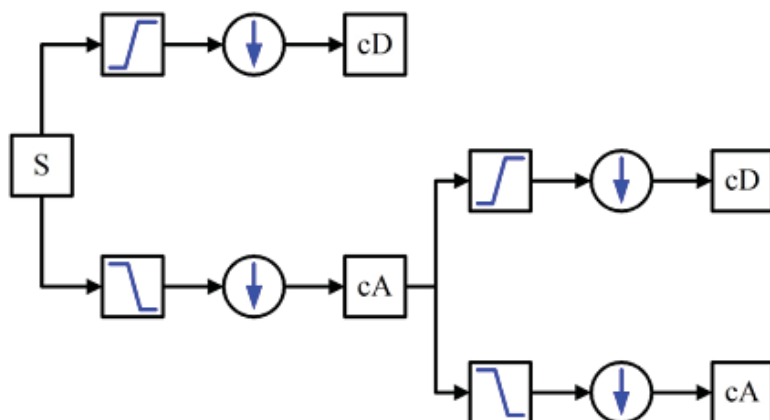
$$a = 2^j \quad b = k2^j, \quad k, j \in \mathbb{Z} \quad (2-68)$$

آنالیز موجک امکان استفاده از بازه‌های زمانی بلند را، هنگامی که قصد بررسی دقیق اطلاعات با فرکانس کم را داشته باشیم و بازه‌های زمانی کوتاه‌تر را وقتی بخواهیم داده‌های با فرکانس بالا را مطالعه کنیم، فراهم می‌سازد. بنابراین آنالیز موجک می‌تواند به عنوان فرایندی جهت تجزیه سیگنال به مؤلفه‌های جزء^۱ و تقریب^۲ مورد استفاده قرار گیرد. سیگنال اصلی از دو فیلتر عبور داده می‌شود. فیلتر بالاگذر مؤلفه جزئیات و فیلتر پایین‌گذر مؤلفه تقریب را نشان می‌دهد و در نتیجه سیگنال می‌تواند در قدرت تفکیک‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. قدرت تفکیک‌های مختلف در نتیجه مقیاس‌های مختلف ایجاد می‌شوند و اطلاعات متفاوتی را دربر دارند (Bessissi et al., 2009). اشکال تبدیل موجک دودویی آن است که در هر سطح تجزیه، تنها ناحیه با فرکانس پایین را به دو قسمت تجزیه می‌کند و ناحیه با فرکانس بالا مجدداً تجزیه نمی‌شود (Mundim et al., 2006). شکل ۲-۶ الگوی تجزیه در موجک دیادیک^۳ را نشان می‌دهد. روش موجک گسسته در حالت دو بعدی به گونه‌ای عمل می‌کند که سیگنال در هر مرحله به ۴ مؤلفه تجزیه می‌شود. این مؤلفه‌ها در هر مرحله از تجزیه شامل مؤلفه جزء در جهت افقی، مؤلفه جزء در جهت عمودی، مؤلفه جزء در جهت مورب و مؤلفه تقریب می‌باشند. در مرحله بعد مؤلفه تقریب مورد تجزیه قرار می‌گیرد (Stark, 2005).

¹ detail

² approximation

³ Dyadic



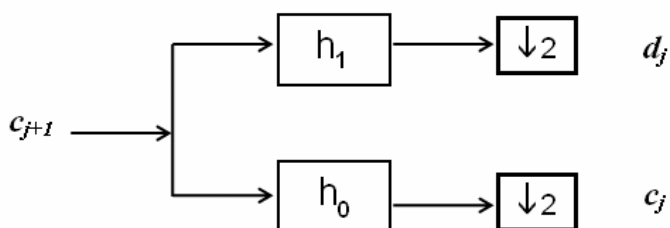
شکل ۲-۶- شمای کلی تبدیل موجک گسسته (Mundim et al., 2006)

در روش تبدیل موجک گسسته، سیگنال x در مرحله اول به دو قسمت فرکانس بالا و پایین تقسیم شده و در مرحله دوم قسمت فرکانس پایین مجدداً به دو مؤلفه فرکانس بالا و پایین تقسیم شده است. این فرآیند می‌تواند تا مراحل مختلفی ادامه پیدا کند (Vetterli and Kovacevic, 2007).

دست‌کاری موجک به دو طریق امکان پذیر است:

الف- انتقال به مکان‌های مختلف بر روی سیگنال ب- انبساط و انقباض یا کشیدگی و جمع شدگی.

در کاربردهای عملی، مستقیماً به توابع مقیاس و موجک نمی‌پردازیم، بلکه فیلترهای پایین‌گذر h_0 و بالاگذر h_1 مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای تجزیه یک سیگنال به مؤلفه‌های تبدیل موجک، از بانک فیلتر شکل ۲-۷ استفاده می‌شود.



شکل ۲-۷- فرآیند تجزیه با استفاده از فیلترهای فرکانسی h_1 و h_0

شکل ۲-۷ فرآیند نمونه‌برداری کاهش را نشان می‌دهد. در هر مرحله از تجزیه، تعداد نمونه‌های موجود در سیگنال به نصف کاهش می‌یابد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود خروجی این بانک فیلتر شامل دو مؤلفه

است:

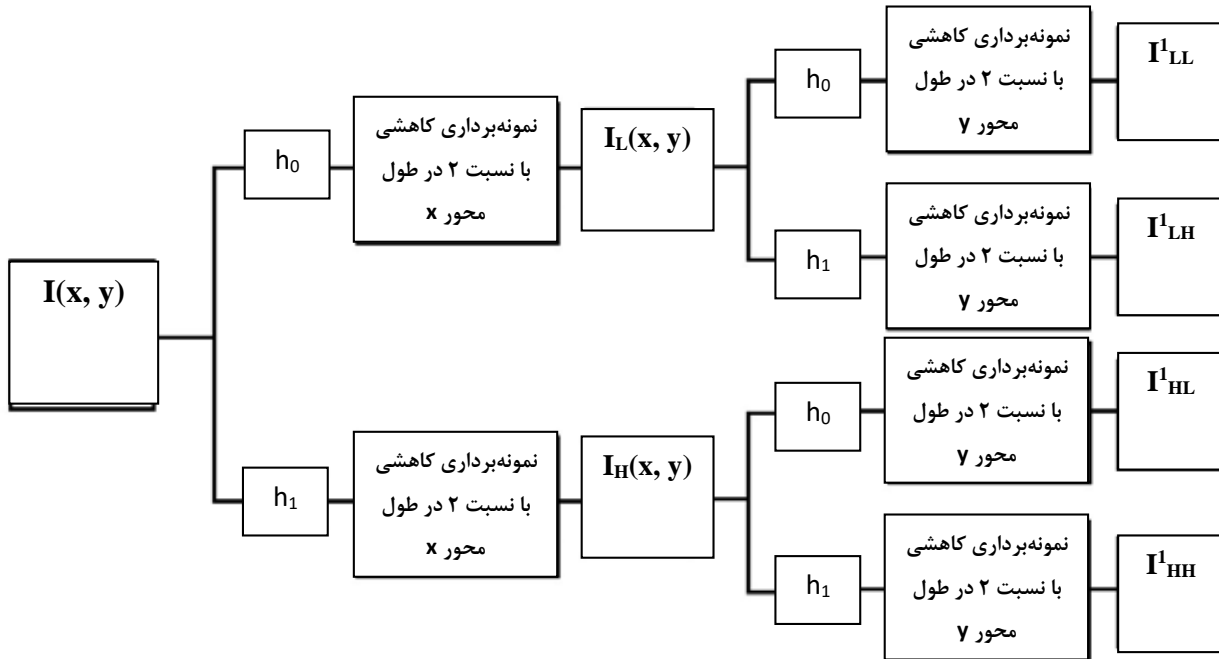
الف- مؤلفه C_j دربرگیرنده اطلاعات با فرکانس پایین (خروجی فیلتر پایین گذر)

ب- مؤلفه d_j در برگیرنده اطلاعات با فرکانس بالا (خروجی فیلتر بالاگذر)

برای اعمال تبدیل موجک بر روی تصاویر، از تبدیل موجک دو بعدی استفاده می‌شود. بدین منظور تبدیل یک بعدی بر سطرها و ستون‌های ماتریس تصویر اعمال می‌شود تا از ترکیب مؤلفه‌های این دو تبدیل، تبدیل دو بعدی به دست آید. این فرایند در شکل ۲-۸ نشان داده شده است. در این شکل تصویر اولیه در راستای x (سطرها) از یک فیلتر پایین‌گذر و یک فیلتر بالاگذر عبور نموده و نمونه‌برداری کاهشی انجام می‌شود. در این مرحله دو تصویر حاصل می‌شود که یکی شامل فرکانس‌های پایین تصویر $I_L(x, y)$ و دیگری شامل فرکانس‌های بالای تصویر $I_H(x, y)$ می‌باشد. در مرحله بعدی، هر یک از این دو تصویر در راستای محور y (ستون‌ها) از یک فیلتر پایین‌گذر و یک فیلتر بالاگذر عبور نموده و نمونه‌برداری کاهشی انجام می‌شود. در نتیجه، ۴ زیر تصویر حاصل می‌شود. مؤلفه I_{LL} متناظر با مؤلفه فرکانس پایین تصویر در هر دو راستا است. مؤلفه I_{LH} شامل جزئیات افقی تصویر و مؤلفه I_{HL} شامل جزئیات عمودی تصویر می‌باشد. مؤلفه I_{HH} نیز جزئیات قطری را شامل می‌شود (Sidney and Gopinath, 1998).

در تبدیلات موجک از موجک‌های مختلفی استفاده می‌شود. یکی از موجک‌های مورد استفاده، موجک هار^۱ است. موجک هار سری خاصی از توابع است که اکنون به عنوان اولین موجک شناخته می‌شود. این سری اولین بار توسط آلفرد هار، ریاضیدان مجاری در سال ۱۹۰۹ پیشنهاد شد. موجک هار ساده‌ترین موجک ممکن می‌باشد (Haar, 1910). موجک هار به علت سادگی محبوبیت بیشتری نسبت به سایر موجک‌ها دارد.

¹ Haar

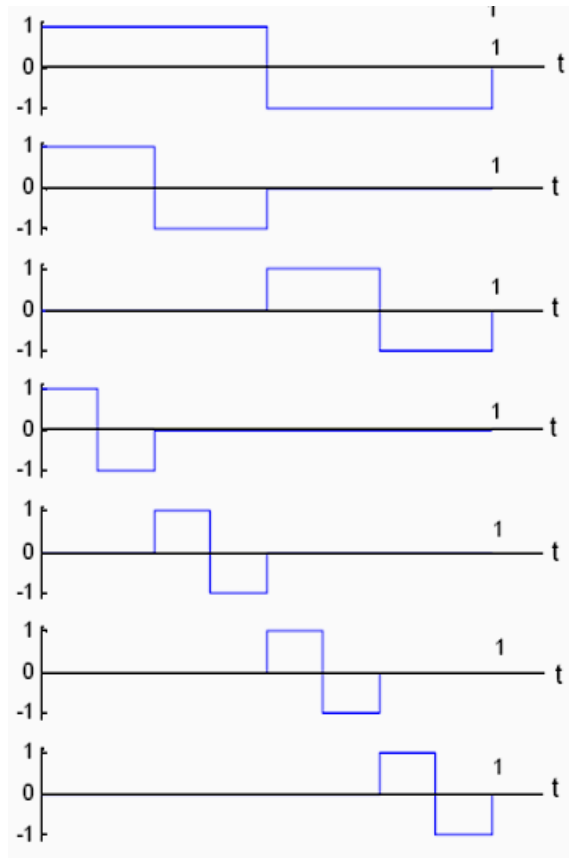


شکل ۲-۸- بلوک دیاگرام تبدیل موجک یک تصویر در دو مقیاس (Sidney and Gopinath, 1998)
تابع موجک مقیاس شده هار در شکل ۲-۹ نشان داده شده است. این موجک به صورت زیر تعریف می شود

:(Chang and PiauSimple, 2008)

$$\psi_{j,k}(x) = \psi(2^j x - k) \quad (2-69)$$

$$\psi_{m,k}(x) = \begin{cases} 1 & \frac{k}{m} \leq t < \frac{k+0.5}{m} \\ -1 & \frac{k+0.5}{m} \leq t < \frac{k+1}{m} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \begin{cases} m = 2^j; j = 0, 1, 2, 3, \dots, J \\ k = 0, 1, 2, \dots, m-1 \end{cases} \quad (2-70)$$



شکل ۲-۹- تابع مقیاس شده موجک هار

فصل سوم:

مروری بر کارهای انجام شده قبلی

فصل سوم: مروری بر کارهای انجام شده قبلی

۱-۳- حوزه فرکانس و تبدیل فوریه

۳-۱-۱- مقدمه

افراد مختلفی از نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی جهت شناسایی آنومالی، زمینه و نویزهای ژئوشیمیایی استفاده کرده‌اند. استخراج اطلاعات مکانی داده‌های علوم زمین اغلب شامل عملیاتی مانند فیلتر کردن و کاهش مقدار نویز به سیگنال است که به‌طور قابل توجهی در حوزه فرکانس به‌کار برده می‌شود (Ge et al., 2005).

یک سری زمانی می‌تواند هم در یک میدان فیزیکی (زمان - مکان) و هم در میدان فرکانس به صورت یک طیف مورد بررسی قرار گیرد. با استفاده از تبدیل فوریه می‌توان داده‌های مکانی از حوزه فضا را به حوزه فرکانس انتقال داد (Cheng and et al., 1999).

علاوه بر ویژگی‌های مکانی آنومالی‌ها، خصوصیات فرکانسی حاصل از فرآیندهای مختلف زمین‌شناسی می‌تواند برای شناسایی آنومالی مفید باشد (Chork and Mazzucchelli, 1989). به عنوان مثال خطاهای تصادفی مانند خطای نمونه‌برداری یا آنالیز ممکن است در ارتباط با فرکانس‌های بالای ژئوشیمیایی و عامل زمینه مرتبط با فرکانس‌های پایین و مؤلفه کانی‌سازی در ارتباط با مقادیر متوسط فرکانس باشد (Cheng et al., 2000).

در دهه‌های گذشته تئوری آنالیز طیف به‌طور گسترده‌ای در ژئوفیزیک برای جدایش آنومالی از زمینه مورد استفاده قرار گرفته است. مثلاً بر اساس این تئوری می‌توان سیگنال‌های مختلف مربوط به کانسارهای با اندازه و عمق مختلف را شناسایی کرد (Bhattacharyya, 1966; Dobrin & Savit, 1988). در ژئوشیمی نیز از روش انتقال داده‌ها به حوزه فرکانس و تفسیر نتایج استفاده شده که در ادامه شرح داده شده است.

۳-۱-۲- روش فرکتالی طیف توان - مساحت (S-A)

فرآیندهای رخ داده در طبیعت را نمی‌توان با هندسه اقلیدسی مورد بررسی قرارداد. بسیاری از این فرآیندها به‌خصوص فرآیندهای مرتبط با علوم زمین از بعدهای منظم هندسه اقلیدسی تبعیت نمی‌کنند. به‌همین سبب باید از هندسه دیگری برای توصیف رخداد‌های موجود در طبیعت بهره‌برد (Davis, 2002). بر این اساس برای نخستین بار در سال ۱۹۸۳ پروفیسور ماندلبروت^۱ فرانسوی هندسه‌ای را ارائه نمود که بر اساس آن بتوان فرآیندهای موجود در طبیعت را مورد بحث و بررسی قرار داد. او این هندسه را با توجه به واژه Fractus در زبان لاتین به معنی شکست، هندسه فرکتال نامید. به گفته ایشان هندسه فرکتال توصیف‌گر طبیعت است آن‌گونه که طبیعت اعمال می‌کند نه آن‌گونه که بشر می‌خواهد و این امتیاز بسیار بزرگی محسوب می‌شود (Mandelbrot, 1983). بعد از ارائه تئوری فرکتال، این روش به‌طور وسیعی در داده‌های علوم زمین مورد استفاده قرار گرفته است. (e.g. Turcotte, 1986; Agterberg et al., 1993; Shen and Zhao, 2002; Li et al., 2002, 2004; Mao et al., 2004; Ortega et al., 2006; Ali et al., 2007; Afzal et al., 2010; Bai et al., 2010).

در تفسیر محیط‌های ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی جدایش جوامع ژئوشیمیایی به‌وسیله مدل‌های فرکتالی از اهمیت بالایی برخوردار است. (Cheng, 1999; Sim et al., 1999; Goncalves et al., 2001; Li et al., 2003; Carranza, 2009; SeyedRahimi and Ghavami, 2009; Carranza and Sadeghi, 2010).

گرچه آنالیزهای آماری برای پردازش داده‌های ژئوشیمیایی یک ابزار مفید به حساب می‌آید اما زمانی که زمینه تغییرات معنی‌داری داشته باشد، ممکن است این روش‌ها کارایی خود را از دست دهند. اما روش فرکتال با وجود این تغییرات معنی‌دار در زمینه، قادر خواهد بود تا مؤلفه‌های کانی‌سازی را نمایان سازد (دایا و همکاران، ۱۳۸۵).

¹ Mandelbrot

در هندسه فرکتال هر شکل و پیچیدگی‌های آن در قالب اعداد نشان داده می‌شوند. همان‌طور که در هندسه اقلیدسی مفهوم‌های زاویه، طول، مساحت و فضاهای یک بعدی تا سه بعدی به کار می‌روند، در هندسه فرکتال بعدها فرکتالی وجود دارند که به‌طور معمول اعداد صحیح نیستند. برای بیان پیچیدگی یک شکل می‌توان از بعدها فرکتالی استفاده نمود. بر این اساس، در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی، روش‌های گوناگون آنالیز فرکتالی همچون عیار - مساحت، عیار - فاصله، عیار - محیط و طیف توان ارائه شدند که در میان آن‌ها روش عیار - مساحت در علوم زمین کاربرد بسیاری یافته است (Davis, 2002). مزیت اساسی این روش‌ها استفاده از تمام داده‌ها بدون تعدیل آن‌ها و در نظر گرفتن توزیع فضایی داده‌ها و شکل هندسی مناطق گوناگون بر اساس توزیع پارامتر مورد مطالعه می‌باشد (Cheng et al., 1994; Li et al., 2003., Davis, 2002).

روش فرکتال در دو حوزه مکان و فرکانس قابل محاسبه است (Turcotte, 1997). در حوزه فرکانس این عمل با اندازه‌گیری طیف توان انجام می‌شود (Lewis et al., 1999).

این روش از ویژگی خود تشابهی^۱ در حوزه فرکانس جهت تعیین و جدایش الگوهای مختلف استفاده می‌کند (Hassani et al., 2009). در این روش، داده‌های ورودی (نتایج آنالیز عناصر در منطقه مورد مطالعه) که در میدان فضا (مکان) قرار دارند با استفاده از تبدیلات فوریه دو بعدی به میدان فرکانس منتقل می‌شوند (Cheng et al., 2000, Panahi and et al., 2004; Cheng 2006). این بیان بدین معنی است که تغییرات عیار برای تمامی موقعیت‌های مکانی نقشه ورودی (داده‌های خام تصویر شده) با استفاده از این تبدیل، به جنس فرکانس (نوسانات در گستره زمان / مکان) تبدیل می‌شوند. برای اجرای همین بخش، داده‌های ورودی با استفاده از روش درون‌یابی شبکه‌ای به صورت نقشه استخراج می‌شوند تا بتوان در دو بعد x و y بر روی آن‌ها تبدیل فوریه دو بعدی را اعمال کرد. بنابراین نقشه کامل با بلوک‌های درون‌یابی شبکه‌ای و کریجینگ آماده می‌گردد. سپس نقشه حاصل (یا ماتریس دو بعدی

¹ - Self-similarity

مقادیر عیار در گستره منطقه) با استفاده از تبدیل فوریه دو بعدی مورد آنالیز واقع می‌شود. در این حالت در همان ابعاد ماتریس ورودی، ماتریس جدیدی خواهیم داشت که محتوی مقادیر فرکانس‌های مختلف مربوط به مقادیر عیار متناظر می‌باشد. تبدیل فوریه مزبور به وسیله برنامه‌نویسی در نرم افزار متلب انجام می‌شود.

مرحله بعد در روش طیف توان، محاسبه تابع دو بعدی طیف توان فرکانس است که بر اساس ماتریس خروجی حاصل از تبدیل فوریه دو بعدی به دست می‌آید.

بعد از محاسبه طیف توان به روش فوق، مبحث اصلی فرکتالی آغاز می‌شود. در این حال، نقشه متناظر با مقادیر ماتریس طیف توان با استفاده از نرم افزار متلب رسم می‌شود. آنگاه، ابتدا تغییرات مقادیر طیف توان به گروه‌هایی تقسیم‌بندی می‌شود و برای گروه‌های (سطوح) مزبور مقادیر مساحت تجمعی محاسبه می‌گردد. در نهایت نمودار تمام لگاریتمی مقادیر طیف توان و مساحت‌های (شمارش‌های) تجمعی رسم می‌شود. برای اجرای این بخش، با استفاده از نرم افزار مذکور و با اعمال پردازش‌های عددی روی مقادیر عددی متناظر با نقشه طیف توان، شمارش تجمعی مساحت‌ها انجام می‌شود. در محاسبه مقادیر مساحت-ها و مقادیر طیف توان برای کنترل بازه وسیع تغییرات، کلیه مقادیر به صورت لگاریتمی محاسبه می‌شوند. در نهایت روندهای خطی به عنوان روند تغییرات بر روی نقاط حاصل، برازش می‌گردد.

مدل فرکتال $S-A$ بر اساس ارتباطات قانون توان بین مساحت مجموعه داده‌ها شامل اعداد موج با چگالی انرژی طیفی بالای $S[A(>S)]$ در یک حوزه فرکانسی دو بعدی، استوار است به طوری که داریم:

$$A(\geq S) \propto S^{-2d/\beta} \quad (1-3)$$

که β معرف میزان انیزوتروپی و d پارامتر تولید کننده نامتغیر مقیاسی تعمیم داده شده $(GS\ddot{I})$ است و درجه انقباض کل^۴ را نشان می‌دهد (Cheng, 2004) و برای یک مورد خطی دو بعدی مقدار آن

¹ Generalized scale invariance

¹ degree of overall contraction

برابر ۱ است یعنی:

$$A(\geq S) \propto S^{-2/\beta} \quad (2-3)$$

این ارتباطات قانون توان در حوزه مکان (Cheng et al., 1994) و حوزه فرکانس (Cheng, 2005) به عنوان ابزارهای مفید برای شناسایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی در اکتشاف ذخایر معدنی معرفی شده است (Carranza, 2008; Cheng, 2007; Zuo et al., 2009a).

به طور کلی ۳ مرحله برای استفاده از روش S-A وجود دارد:

الف: ایجاد نقشه رستر به وسیله درون‌یابی داده‌های ژئوشیمیایی و انتقال نقشه رستر به حوزه فرکانس با استفاده از تبدیل فوریه (جزء چگالی و فاز طیف توان به دست می‌آیند).

ب: نمودار لاگ - لاگ طیف توان داده‌ها بر اساس مساحت رسم می‌شود. تعداد N (بزرگتر مساوی ۲) خط مستقیم می‌تواند بر روی داده‌ها در این نمودار با روش میانگین حداقل مربعات منطبق شود. که تعداد N بازه طیف انرژی توانی را مشخص می‌کند و تعداد N-1 مقدار حد آستانه شناسایی شده که می‌توان N فیلتر تعریف کرد. به طور کلی مقدار حد آستانه ای کمتر و حد آستانه‌ای بیشتر به ترتیب فیلتر آنومالی و فیلتر زمینه را تعریف می‌کنند.

ج: اعمال فیلترهای به دست آمده بر روی داده‌ها و سپس تبدیل آن‌ها به حوزه مکان با استفاده از تبدیل فوریه معکوس و به دست آوردن N نقشه تجزیه شده شامل نقشه زمینه و نقشه‌های آنومالی (Zuo, 2011).

در روش S-A فرکانس‌های مشابه تقویت و یا حذف می‌شوند (Cheng et al., 2000).

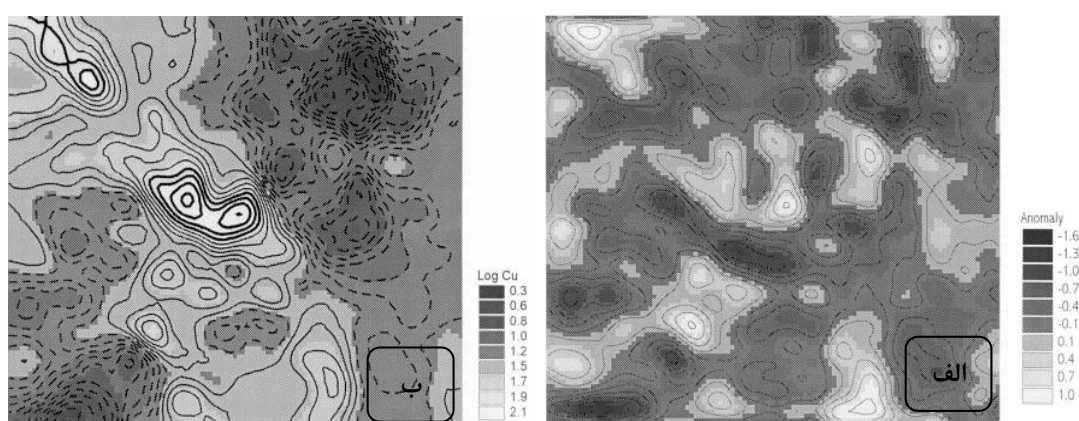
۳-۱-۳- مثال‌های موردی انجام شده توسط سایر محققین

الف- چنگ و همکاران (۱۹۹۹) بر اساس مدل فرکتالی عیار - مساحت (C-A)، مدل طیف توان -

¹ Cheng

مساحت (S-A) را جهت تعیین الگوهای مختلف آنومالی و زمینه در حوزه دو بعدی فرکانس توسعه دادند.

ب- چنگ و همکاران (۲۰۰۰) روش S-A را روی داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از نمونه‌برداری از خاک در منطقه مودیک^۶ در اندونزی انجام دادند و بر اساس طیف توان داده‌ها را به سه قسمت طیف توان پایین، متوسط و زیاد که به ترتیب مرتبط با زمینه، آنومالی و نویز هستند تقسیم کردند. جهت تعیین محدوده آنومالی، طیف توان‌های پایین و بالا را فیلتر و از داده‌ها حذف کردند. نتایج به دست آمده از این روش در مقایسه با سایر روش‌ها نشان می‌دهد بدون استفاده از یک عیار حد می‌توان جوامع مختلف را از یکدیگر جدا کرد. در نقشه آنومالی حاصل از حوزه فرکانس آنومالی‌های کوچک متعددی دیده می‌شود که در حالت معمولی در حوزه مکان قابل شناسایی نبوده‌اند (شکل ۳-۱).



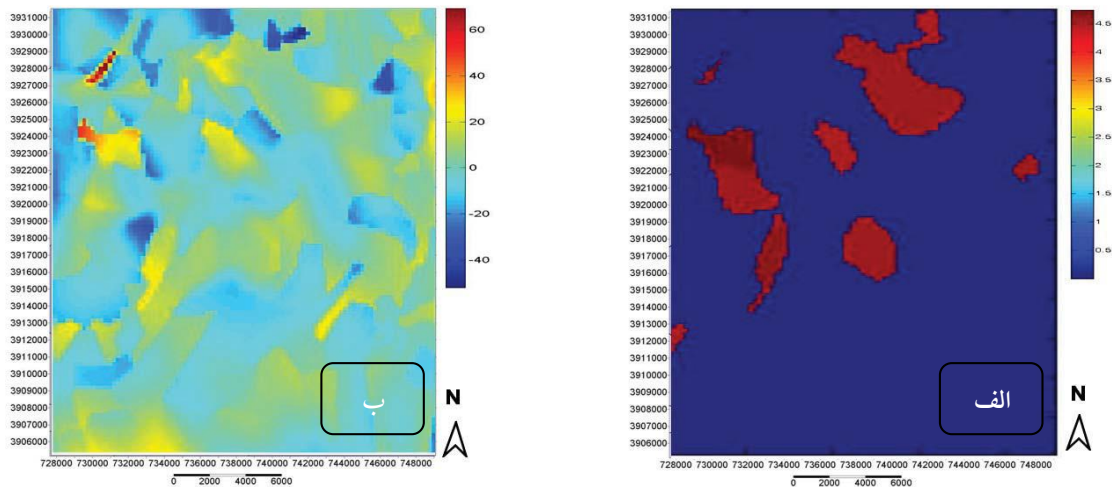
شکل ۳-۱ الف: نقشه آنومالی ژئوشیمیایی مس با استفاده از روش S-A ب: نقشه آنومالی ژئوشیمیایی مس با استفاده از روش C-A (Cheng et al., 2000)

ج- جی و همکاران (۲۰۰۵) از روش S-A جهت فیلتر کردن مقادیر زمینه از آنومالی برای عنصر روی در منطقه نوا اسکوتیا^۸ در کانادا استفاده کردند.

1	Mudik	6
1	Ge	7
1	Nova Scotia	8

د- خالد^۱ و همکاران (۲۰۰۷) روش S-A را جهت جدایی آنومالی از زمینه عنصر طلا در منطقه یونان^۲ چین بر روی رسوبات آبراهه‌ای به کار بردند.

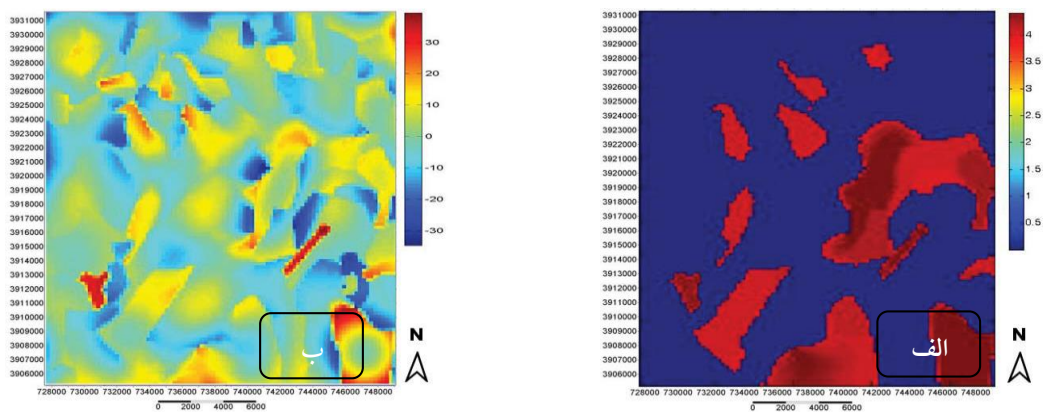
ه- حسنی و همکاران (۲۰۰۹) از روش S-A جهت جدایش آنومالی از زمینه (برای عناصر مس، طلا، نیکل و روی) بر روی داده‌های رسوبات آبراهه‌ای نقشه ۵۰۰۰۰:۱ در منطقه شوراب حاجی در کردستان استفاده کردند. نتایج مطالعات نشان داد که تفاوت دو روش فرکتالی در حوزه مکان (C-A) و فرکانس (S-A) در این است که آنومالی‌های بدست‌آمده از روش S-A مساحت کمتری داشته (شکل‌های ۲-۳، ۳-۳، ۴-۳، ۵-۳) و بنابراین میزان هزینه اکتشافی کمتر خواهد شد. همچنین همان‌طور که در شکل ۳-۶ دیده می‌شود نمودار فرکتالی C-A عنصر طلا را در دو جامعه و نمودار فرکتالی S-A عنصر طلا را در سه جامعه تقسیم بندی کرده است.



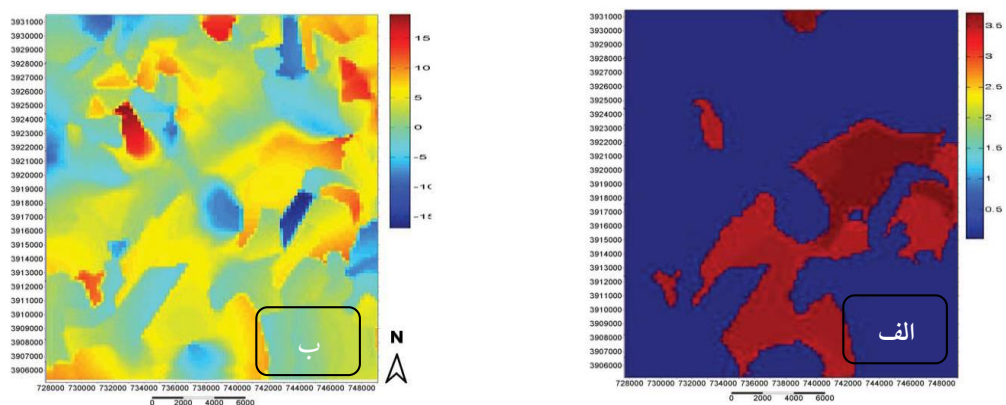
شکل ۳-۲- آنومالی عنصر روی به‌دست آمده از روش‌های الف: C-A و ب: S-A (Hassani et al., 2009)

1 Khaled 9

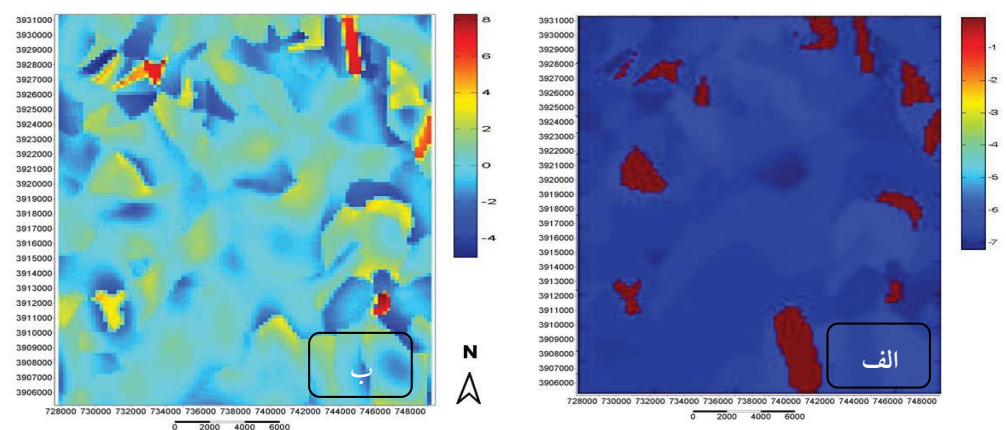
2 Yunnan 0



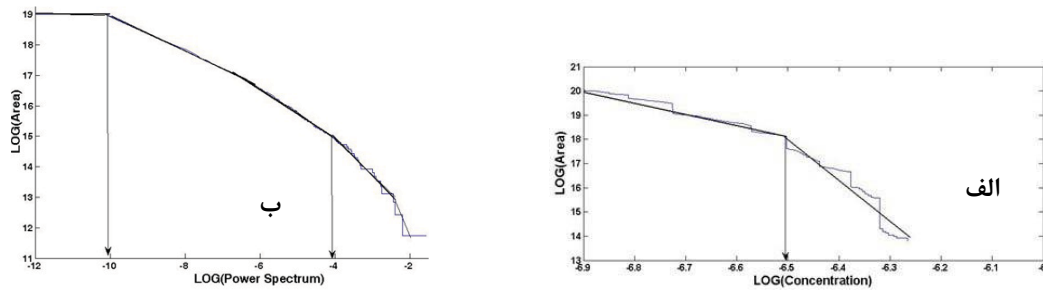
شکل ۳-۳- آنومالی عنصر نیکل به دست آمده از روش‌های الف: C-A و ب: S-A (Hassani et al., 2009)



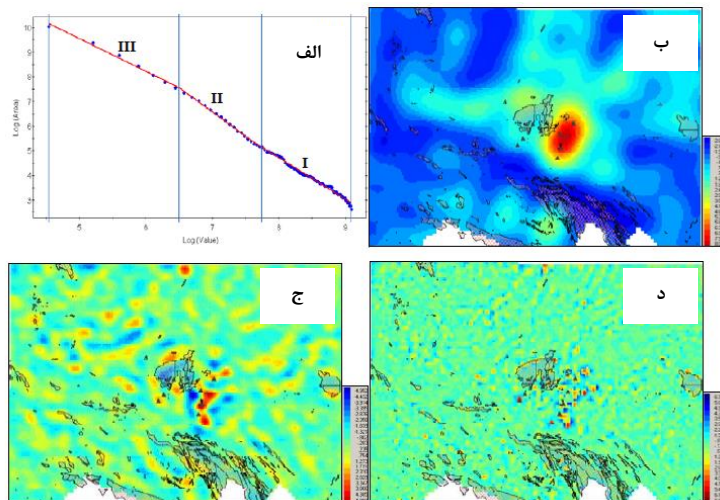
شکل ۴-۳- آنومالی عنصر مس به دست آمده از روش‌های الف: C-A و ب: S-A (Hassani et al., 2009)



شکل ۵-۳- آنومالی عنصر طلا به دست آمده از روش‌های الف: C-A و ب: S-A (Hassani et al., 2009)



شکل ۳-۶- الف: نمودار فرکتالی C-A عنصر طلا ب: نمودار فرکتالی S-A عنصر طلا (Hassani et al., 2009)
 و- چنگ و همکاران (۲۰۱۰) جهت تعیین دلایل مختلف آلودگی سطح زمین از عناصر سمی مانند آرسنیک در منطقه گجو ادر چین از روش S-A (در اینجا چگالی انرژی طیفی - مساحت) بر روی نتایج آنالیز عنصر آرسنیک در رسوبات آبراهه‌ای استفاده کردند. نتایج این بررسی در شکل ۳-۷ نشان داده شده است.

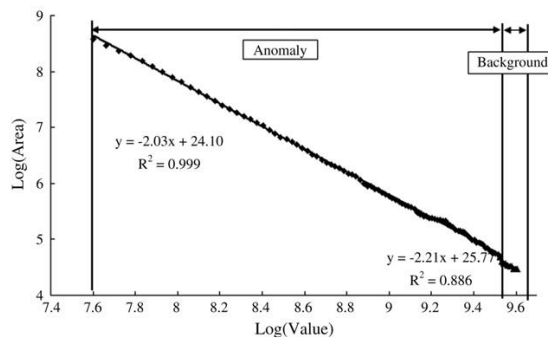
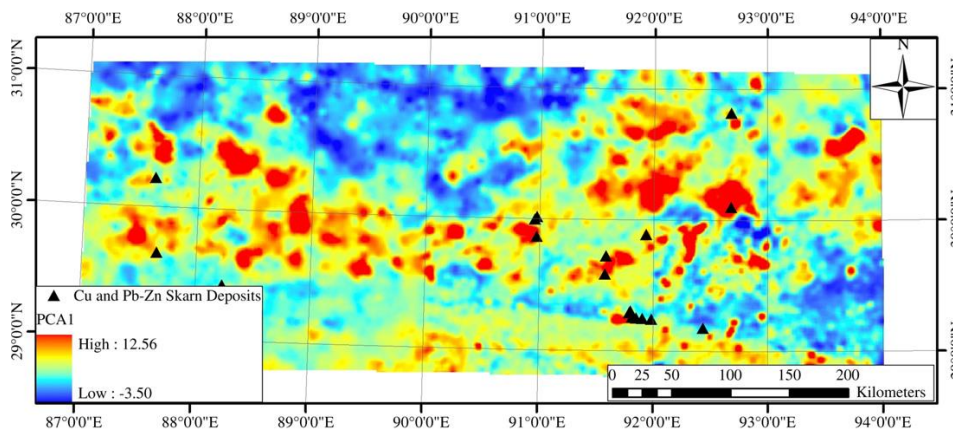


شکل ۳-۷- نتایج روش S-A الف: نمودار فرکتالی S-A ب: نقشه زمینه ج: آنومالی د: نقشه نويز (Cheng et al., 2010)

ز- زو (۲۰۱۴) با استفاده از روش‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و روش مدل‌سازی فرکتالی طیف توان - مساحت بر روی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای، آنومالی عناصر Cu, Pb, Zn مربوط به

1 Gejiu²
 2 Renguang Zuo²

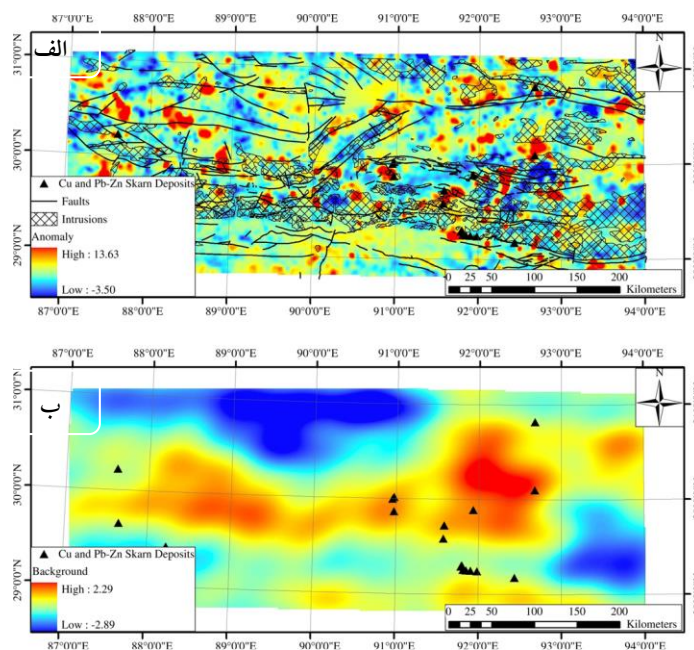
ذخایر اسکارنی را مورد شناسایی قرار داد. در ابتدا نقشه رستر عناصر مذکور با روش عکس فاصله به دست آمده است. در مرحله بعد روش PCA را به منظور ترکیب میزان غلظت عناصر Pb, Zn, Ag و Cu مورد استفاده قرار داد. و در نهایت روش فرکتالی $S-A$ جهت تجزیه مؤلفه اصلی کانی‌سازی حاصل از روش PCA مورد استفاده قرار گرفته که نتایج آن در شکل ۳-۸ مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد روش ترکیبی PCA و $S-A$ یک ابزار مؤثر جهت شناسایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی می‌باشد.



شکل ۳-۸- نقشه مؤلفه اصلی اول مربوط به کانی‌سازی Pb, Zn, Cu - نمودار لگاریتمی انرژی توان در مقابل مساحت برای مؤلفه اول PCA (Cheng et al., 2010)

در شکل ۳-۸ خط سمت چپ، آنومالی‌های فرکانس بالا را نشان می‌دهد که در ارتباط با توده‌های نفوذی و سیستم گسل‌ها می‌باشد و خط سمت راست زمینه با فرکانس پایین را نشان می‌دهد و مرتبط با نوع سنگ است (Cheng et al., 2010).

بر اساس این دو خط دو فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر تعریف می‌شوند که مقادیر طیف توان بالاتر از ۱۳۶۷۴ مربوط به زمینه و مقادیر کوچکتر مساوی ۱۳۶۷۴ مربوط به آنومالی هستند. نقشه آنومالی و زمینه حاصل از اعمال این فیلترها در شکل (۳-۹) نشان داده شده است.



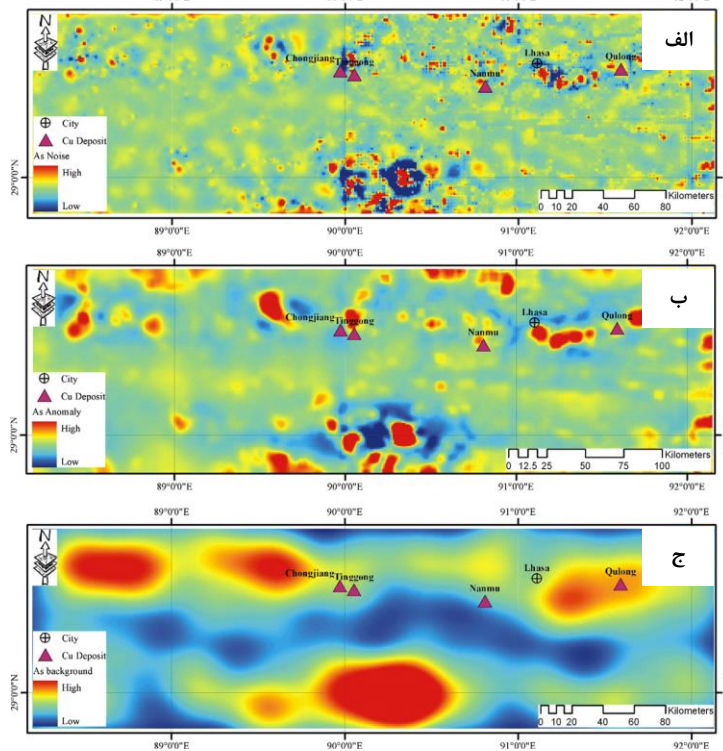
شکل ۳-۹- الف: نقشه آنومالی حاصل از روش طیف توان ب: نقشه زمینه حاصل از تجزیه طیفی (Cheng et al., 2010)

ح- چنگ و کاو^۳ (۲۰۱۱) آنومالی ژئوشیمیایی عنصر قلع را با روش S-A در رسوبات آبراه‌های در منطقه گجیو در چین مشخص کرده و به عنوان یک لایه اکتشافی در روش تلفیقی وزن‌های نشانگر مورد استفاده قرار دادند.

² Cheng & Zhao³

ط- زو (۲۰۱۱) در منطقه گنگدس^۴ در چین جهت شناسایی آنومالی‌های آرسنیک از روش S-A بر روی رسوبات آبراه‌های استفاده کرد. در نتیجه این مطالعه سه بخش زمینه، آنومالی و نویز (فرکانس‌های

بالا) در داده‌های حوزه فرکانس شناسایی شدند (شکل‌های ۳-۱۰ و ۱۱-۳).



شکل ۳-۱۰- نتایج حاصل از روش S-A مربوط به عنصر آرسنیک الف: نویز ب: آنومالی ج: زمینه (Zuo, 2011)

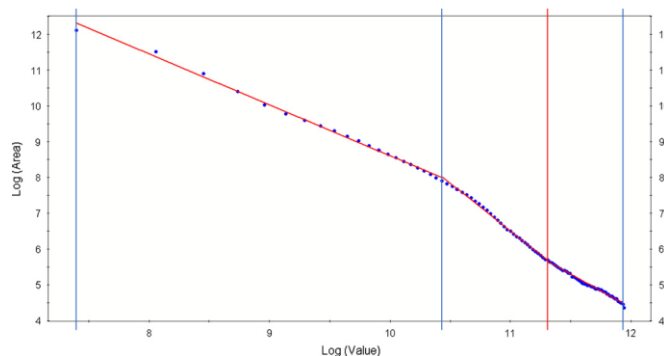
ی- زو^۵ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از روش^{۲۶} RPCA (نوعی روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی که در آن اثر داده‌های خارج از رده کاهش می‌یابد) و روش فرکتالی S-A بر روی رسوبات آبراه‌های، مناطق آنومالی را از زمینه در برای اکتشاف مس و مولیبدن پورفیری جدا کردند. به این منظور ابتدا از روش RPCA جهت شناسایی مؤلفه کانی‌سازی استفاده کرده و سپس این مؤلفه به حوزه فرکانس انتقال داده شده است و روش S-A بر روی این داده‌ها اعمال و فیلترهای لازم جهت جدایش آنومالی از زمینه به کار

² Gangdese ⁴

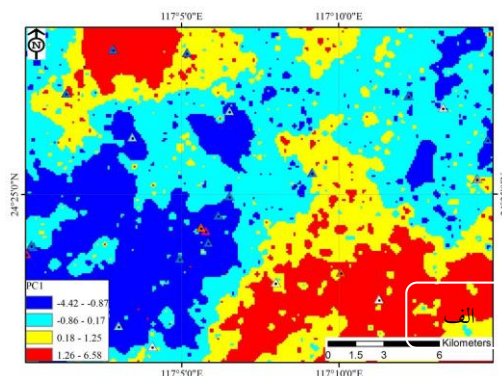
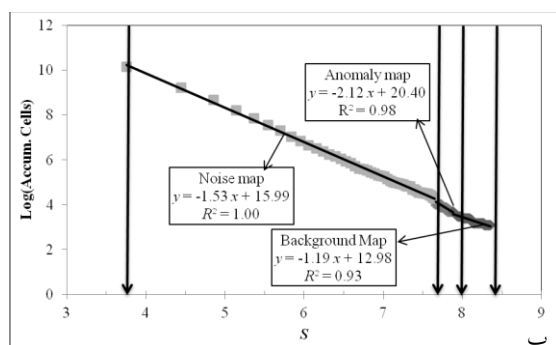
² Zuo ⁵

² Robust principal component analysis

گرفته شده است (شکل‌های ۳-۱۲ و ۳-۱۳). روش S-A روشی قدرتمند جهت تجزیه و تمایز الگوهای مختلف ژئوشیمیایی است که با یکدیگر ترکیب شده‌اند.



شکل ۳-۱۱ - نمودار فرکتالی S-A مربوط به عنصر آرسنیک (Zuo, 2011)



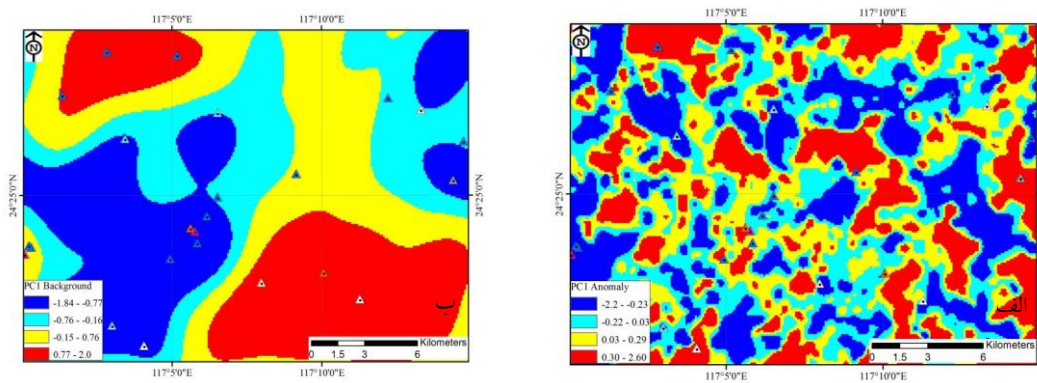
شکل ۳-۱۲-الف: نقشه توزیع مؤلفه کانی‌سازی ب: نمودار فرکتالی S-A برای مؤلفه کانی‌سازی (Zuo et al., 2012)

ک- کاو و چنگ (۲۰۱۳) تلفیق روش S-A و روش SIG را بر روی داده‌های رسوبات آبراهه‌ای در منطقه گجیو در چین به کار بردند. روش SIG جهت تعیین انیزوتروپی، فشردگی و جهت یافتگی آنومالی به کار می‌رود. در این مطالعه ابتدا روش PCA بر روی داده‌ها انجام شده و مؤلفه کانی‌سازی شناسایی شده است. سپس مؤلفه کانی‌سازی به حوزه فرکانس انتقال یافته و با استفاده از روش S-A مقادیر توان

² Cao & Cheng ⁷

² Scale invariant⁸generator

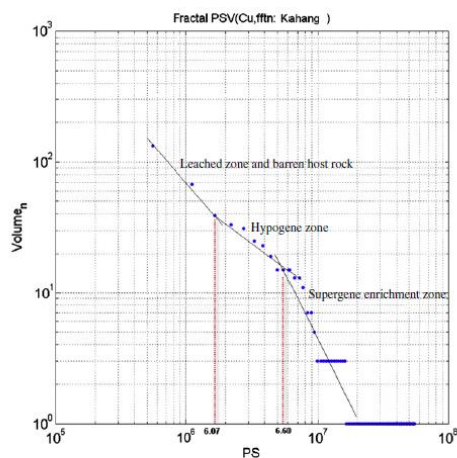
مرتبط با آنومالی را از زمینه را جدا کرده و در ادامه بعد از اعمال فیلتر، نقشه آنومالی با استفاده از تبدیل فوریه معکوس به دست آمده است. سپس روش SIG را بر روی این نقشه اعمال کرده و نتایج آن را با نتایج



شکل ۳-۱۳-الف: نقشه آنومالی حاصل از روش S-A بر روی مؤلفه PC1 ب: نقشه مقادیر زمینه حاصل از روش S-A بر روی مؤلفه PC1 (Cao and Cheng, 2012)

حاصل از این روش بر روی مؤلفه کانی سازی در روش PCA مقایسه کرده اند که نتایج روش تلفیقی S-A و SIG با توجه به شواهد و اطلاعات اکتشافی اعتبار بیشتری دارند.

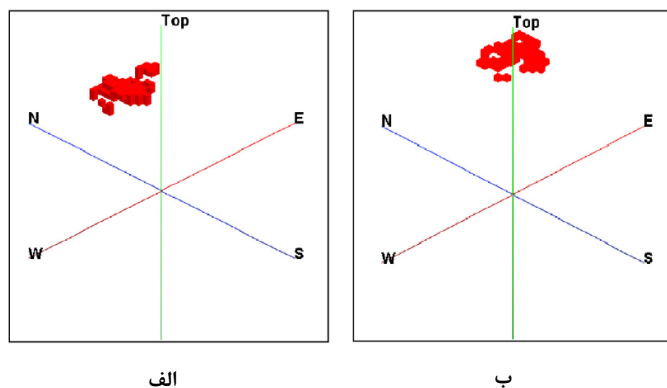
ل- افضل و همکاران (۲۰۱۲) جهت جداسازی زون غنی سازی سوپرژن، زون هیپوژن، زون شسته شده و سنگ های عقیم میزبان از یکدیگر از روش فرکتالی طیف توان- حجم بر روی داده های حاصل از حفاری استفاده کرده و نتایج را با مدل های زمین شناسی و آلتراسیونی مقایسه کردند. مقادیر طیف توان برای توزیع سه بعدی عناصر با استفاده از تبدیل فوریه سه بعدی انجام شده که برخی از نتایج آن در شکل های ۳-۱۴، ۳-۱۵ و ۳-۱۶ و جدول ۳-۱ نشان داده شده است.



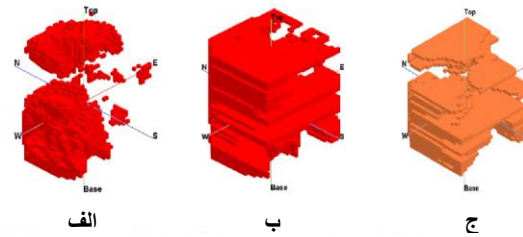
شکل ۳-۱۴- نمودار طیف توان- حجم مربوط به عنصر مس (Afzal et al., 2012)

جدول ۳-۱- جدایش جوامع مختلف عنصر مس بر اساس نمودار فرکتالی طیف توان- حجم (Afzal et al., 2012)

Zone	PS threshold	Range of PS
Barren host rock and leached zone	-	<6.07
Hypogene	6.07	6.07-6.60
Supergene enrichment	6.60	>6.60

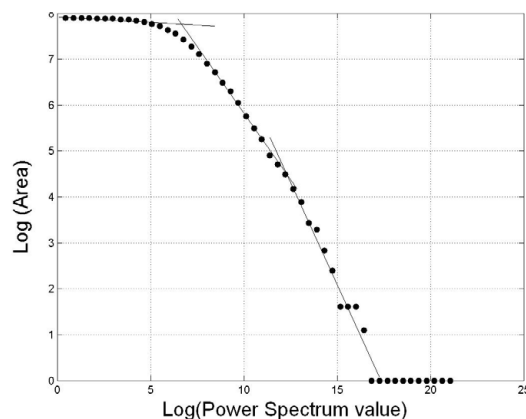


شکل ۳-۱۵- الف: منطقه غنی شده سوپرژن حاصل روش P-V ، ب: مدل پراکندگی کالکوسیت (Afzal et al., 2012)

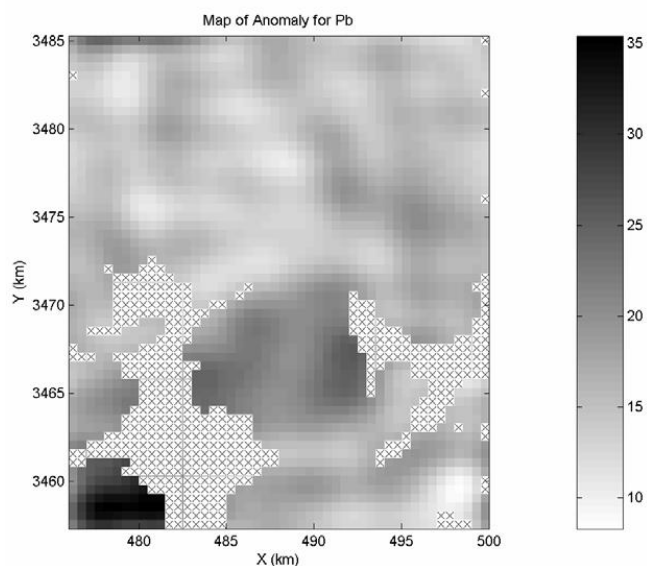


شکل ۳-۱۶- الف: منطقه هیپوژن حاصل از روش P-V ، ب: آلتراسیون فیلک ج: پراکندگی کالکوپیریت (Afzal et al., 2012)

م- فداکار القلندیس (۱۳۸۳) جهت جدایش آنومالی از زمینه در رسوبات آبراهه‌ای از روش فرکتالی طیف توان - مساحت استفاده کرده است. در این مقاله با استفاده از داده‌های واقعی مربوط به رسوبات آبراهه‌ای، قابلیت و توانایی این روش مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت نشان داده است که این روش قابلیت‌های بالقوه و با ارزشی در تحلیل ضمنی فرآیندهای چندگانه مؤثر در غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی عناصر داشته و می‌تواند به عنوان یک روش مورد اعتماد معرفی شود. روش طیف توان توانسته است نویزهای موجود در مجموعه داده‌های ورودی (شامل نویز سفید، آنومالی‌های دروغین حاصل از تهی‌شدگی یا غنی‌شدگی‌های ثانویه یا آلودگی‌ها) را حذف کرده و نقشه واضح و واقعی‌تری از آنومالی عنصر سرب را ارائه دهد.

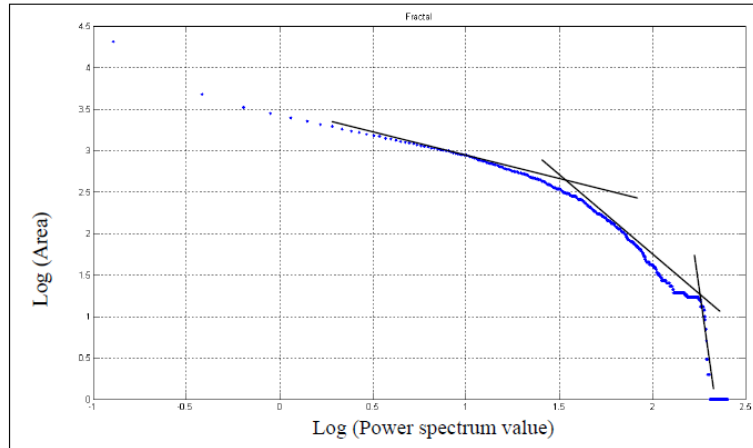


شکل ۳-۱۷- منحنی لگاریتمی طیف توان- مساحت برای عنصر سرب (فداکار القلندیس، ۱۳۸۳)

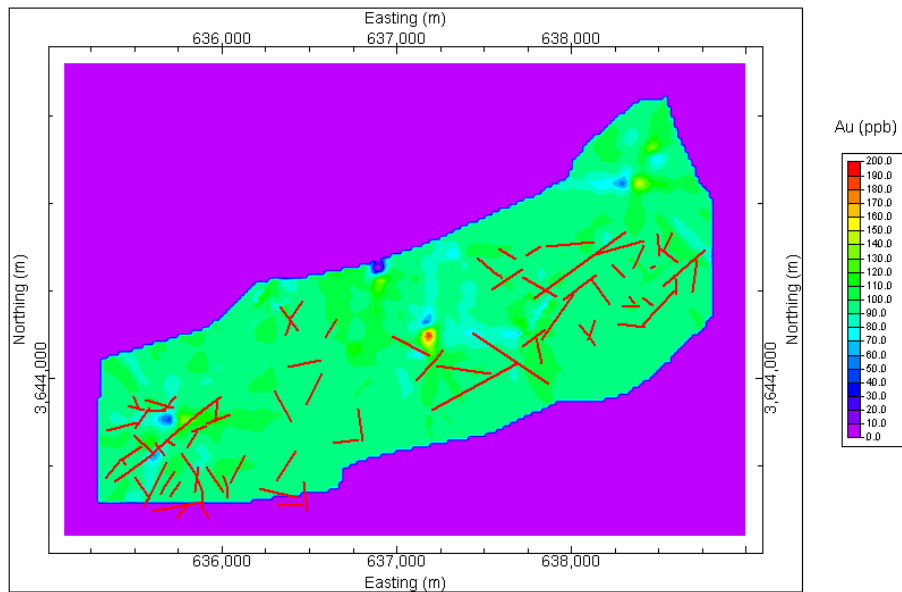


شکل ۳-۱۸- نقشه آنومالی عنصر سرب حاصل از روش طیف توان - مساحت (فداکار القلندیس، ۱۳۸۳)

ن- افضل و همکاران (۱۳۸۸) جهت جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه در کانسار پورفیری مس - مولیبدن کهنک اصفهان از روش طیف توان - مساحت بهره گرفتند. در این پژوهش از داده‌های لیتوژئوشیمیایی به دست آمده از کانسار مس - مولیبدن پرفیری کهنک واقع در زفره اصفهان استفاده شده است. با کمک این روش، آنومالی‌های شدید عناصر مس، مولیبدن و طلا در این کانسار پورفیری مشخص شدند. مطالعات انجام شده توسط افضل و همکاران نشان داد که این روش برای جدایش آنومالی‌ها بسیار روش دقیقی است زیرا با انتقال داده‌ها به حوزه فرکانس می‌توان مناطق آنومالی که در روش‌های دیگر مشخص نمی‌شوند را به خوبی شناسایی کرد. با استفاده از فیلترهای گوناگون نویزهای مختلف حذف شده و آنومالی‌های قطعی برای سه عنصر مس، مولیبدن و طلا در کانسار پرفیری کهنک به خوبی مشاهده شدند. آنومالی‌های قوی‌تر و ضعیف‌تر مس حاصل از این روش به خوبی با شواهد زمین‌شناسی به خصوص وضعیت گسل‌ها و دگرسانی‌ها تأیید شدند (افضل و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۳-۱۹- منحنی لگاریتمی طیف توان- مساحت برای عنصر طلا (افضل وهمکاران، ۱۳۸۸)



شکل ۳-۲۰- نقشه آنومالی طلا حاصل از روش طیف توان - مساحت و گسل‌ها در کانسار کهنک (افضل وهمکاران، ۱۳۸۸)

۳-۲- حوزه مکان - مقیاس و تبدیل موجک

آنالیز موجک به دلیل اینکه دارای چندین قدرت تفکیک است، می‌تواند اطلاعاتی را در مقیاس‌های مختلف از داده‌ها نشان دهد و به عنوان یک ابزار قوی در پردازش داده‌ها مورد استفاده قرار گیرد. اطلاعات جزئی در حوزه مکان و فرکانس به طور هم‌زمان می‌تواند در روش موجک مورد تحلیل قرار

گیرد و دقت تحلیل را افزایش دهد. بنابراین روش موجک انعطاف پذیری بیشتری نسبت به روش آنالیز فوریه دارد (Zhang et al, 2012).

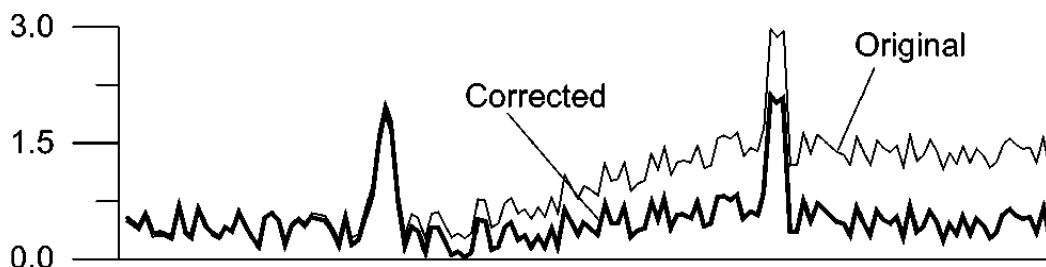
تبدیل موجک ابزار قوی جهت استخراج اطلاعات از سیگنال‌ها است. آنالیز موجک به صورت موفقیت-آمیزی در زمینه‌های مختلف علمی و مهندسی به‌ویژه در تحلیل سیگنال و کاربردهای عددی مورد استفاده قرار گرفته است (Li 1997; Zhang et al, 2006, 2003).

تبدیل موجک گسسته عالی‌ترین خواص فشرده‌سازی سیگنال را برای بسیاری از سیگنال‌های دنیای واقعی داشته و جنبه‌های محاسباتی بسیار خوبی دارد. بنابراین در همه زمینه‌های تکنیکی شامل فشرده-سازی تصاویر، بی‌نویز کردن، انتگرال‌گیری عددی و بازشناسی الگو بکار می‌رود (مرتینز، ۱۳۸۰). تبدیل موجک علاوه بر روش‌های ژئوفیزیکی، در تعیین زون شکستگی در داده‌های چاه نگاری نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Tokhmechi et al., 2009). از آنالیز موجک در پردازش داده‌های ایزوتوپ اکسیژن در رسوبات دریایی استفاده شده است (Bolton et al., 1995).

پردازش داده‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش موجک می‌تواند پیچیدگی‌های موجود در داده‌ها را مرتفع سازد و در تشخیص آنومالی مؤثر بوده و موجب بهبود مطالعات ژئوشیمی سطحی شود (Zhang et al., 2013). تبدیل موجک در موارد معدودی جهت شناسایی آنومالی‌های هیدروکربوری و حذف اثرات مؤلفه‌های مختلف غیر مرتبط با آنومالی‌های واقعی مورد استفاده قرار گرفته است که در زیر به دو مورد آن اشاره می‌شود.

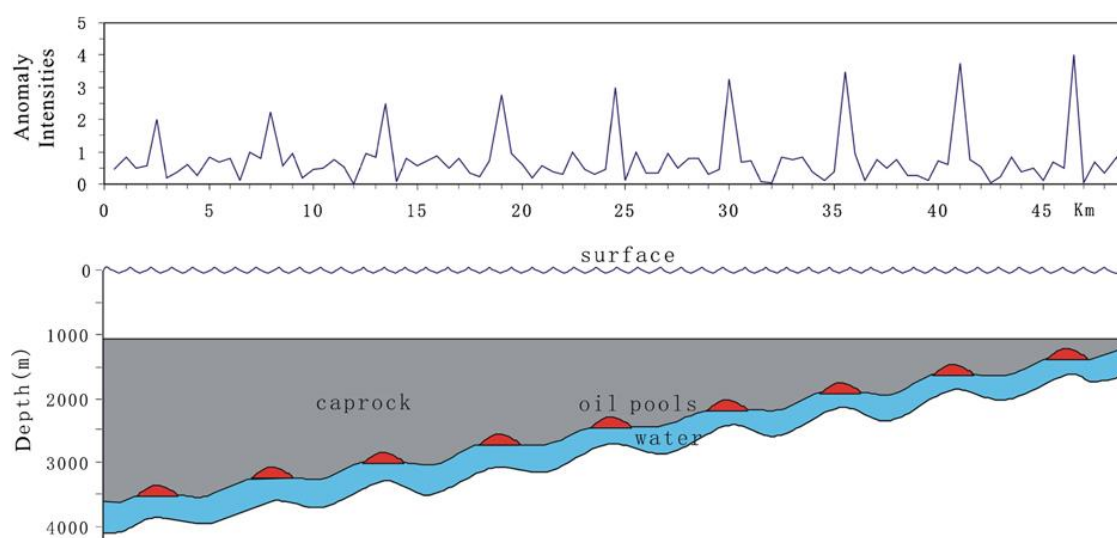
الف- ژنگ و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از تبدیل موجک، اثرات خاک و میکروارگانیزم‌ها بر روی آنومالی‌های ژئوشیمی هیدروکربوری را حذف کردند. میکروارگانیزم‌ها می‌توانند در سطح هیدروکربور تولید و یا مصرف کنند و بدین ترتیب در توزیع ژئوشیمیایی هیدروکربورها در سطح تداخل ایجاد نمایند. همچنین انواع خاک‌ها مانند رس‌ها و ماسه سنگ‌ها اثرات متفاوتی بر روی مهاجرت هیدروکربورها

می گذارند و از این جهت تداخل هایی در توزیع ژئوشیمیایی هیدروکربورها ایجاد می کنند. شکل ۳-۲۱ تاثیرات میکروارگانیزمها بر روی آنومالی هیدروکربوری را نشان می دهد (Zhang et al. 2003).



شکل ۳-۲۱- حذف اثرات میکروارگانیزمها بر روی داده های ژئوشیمیایی هیدروکربوری (Zhang et al., 2003)

ب- ژنگ و همکاران جهت حذف اثرات سطحی و اثرات ژئوشیمیایی حاصل از ضخامت های مختلف سنگ پوش در داده های ژئوشیمی مناطق هیدروکربوری از تبدیل موجک استفاده کردند. ضخامت سنگ پوش در مناطق هیدروکربوری می تواند بر روی شدت آنومالی های ژئوشیمیایی سطحی تأثیرگذار باشد به طوری که برخی از آنومالی ها قابل شناسایی نیستند. افزایش ضخامت سنگ پوش فرآیند مهاجرت ژئوشیمیایی را کند می کند و موجب تضعیف آنومالی های سطحی می شود. جهت حذف این اثرات از تبدیل موجک استفاده شده است. تغییرات ضخامت سنگ پوش فرکانس های پایینی در داده های ژئوشیمیایی هیدروکربوری ایجاد می کند. یک مدل مفهومی از تاثیرات ضخامت سنگ پوش بر شدت آنومالی در این مطالعات به صورت شکل ۳-۲۲ معرفی شده است. در این شکل، فرکانس های پایین مربوط به تغییرات ضخامت سنگ پوش بوده و فرکانس های بالا تغییرات عناصر هیدروکربوری را نشان می دهند. در قسمت هایی که ضخامت سنگ پوش زیاد باشد آنومالی ژئوشیمیایی ضعیف خواهد بود که با تفکیک فرکانس ها در حوزه فرکانس می توان این آنومالی ها را شناسایی کرد (Zhang et al., 2003, 2006, 2012). با انجام فیلتر بر روی داده ها و حذف فرکانس های پایین و سپس بازسازی سیگنال با استفاده از تبدیل موجک معکوس، مناطق آنومالی مشخص می شود (Zhang et al., 2003, 2006, 2012).



شکل ۳-۲۲- مدل مفهومی تأثیر ضخامت سنگ پوش بر آنومالی های ژئوشیمیایی مناطق هیدروکربوری (Zhang et al., 2012)

فصل چهارم:

زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه

فصل چهارم: زمین شناسی مناطق مورد مطالعه

۴-۱- مقدمه

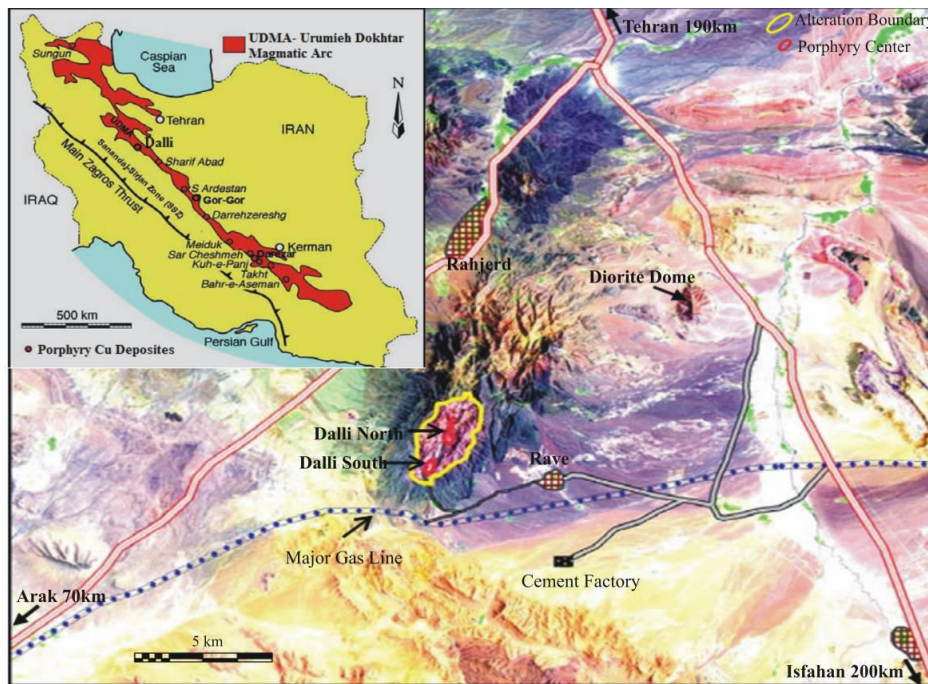
همان گونه که عنوان شد در این رساله مناطق کانی سازی مس - طلائی پورفیری دالی، مس - مولیبدن پورفیری ظفرقند و آنتیموان شند محمود فردوس به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردیده و بررسی های لازم و روش های ارائه شده بر روی داده های ژئوشیمیایی سطحی این مناطق انجام گرفته است. وضعیت زمین شناسی، کانی زایی و آلتراسیون های این مناطق در این فصل مورد بررسی قرار می گیرد.

۴-۲- زمین شناسی، کانی زایی و آلتراسیون های منطقه دالی شمالی

منطقه دالی یکی از اندیس های پورفیری مس - طلا کمر بند ولکانیکی ارومیه - دختر در ایران می باشد (قوامی و همکاران، ۱۳۹۰). قوس ماگماتیکی ارومیه - دختر میزبان تعدادی از انواع نهشته های مس پورفیری ایران می باشد که با ماگماتیسم نئوتتیس در ایران مرکزی همراه بوده است (Hou et al., 2004; Shafiei et al., 2009). این کمر بند، به عنوان کمر بند آتشفشانی ایران مرکزی معرفی شده است (Zarasvandi et al., 2005; Shahabpour, 2005). منطقه مورد مطالعه، یکی از اندیس های طلا - مس استان مرکزی (۷۰ کیلومتری اراک) بوده که در نزدیکی تقاطع جاده اراک با بزرگراه تهران - اصفهان واقع شده است. معدن مس - طلا پورفیری دالی در ۱۲۰ کیلومتری جنوب غرب تهران، ۵۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان اراک (مسیر جاده اراک - سلفچگان) و ۵ کیلومتری شمال غرب روستای راه از توابع شهرستان دلیجان استان مرکزی واقع شده است. محدوده کانی سازی دالی بر روی تصاویر ماهواره ای در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

گستره محدوده معدنی دالی بر پایه توده های نفوذی و ولکانیک های دوران سوم قرار گرفته است. این محدوده عمدتاً توسط سنگ های آذرین درونی متوسط و بازیگ (دیوریت، کوارتز دیوریت و تونالیت) و

به طور محلی ولکانیک‌های آندزیتی، ایگنیمبریت و آندزیت پورفیری پوشیده شده که تحت تأثیر محلول-های هیدروترمال کاملاً تبدیل به زون‌های آلتراسیون پتاسیک، سیلیسی، کوارتز - سریسیت (فیلیک)، کوارتز- آرژیلیک و پروپلیتیک شده‌اند (Asadi Haroni, 2008).

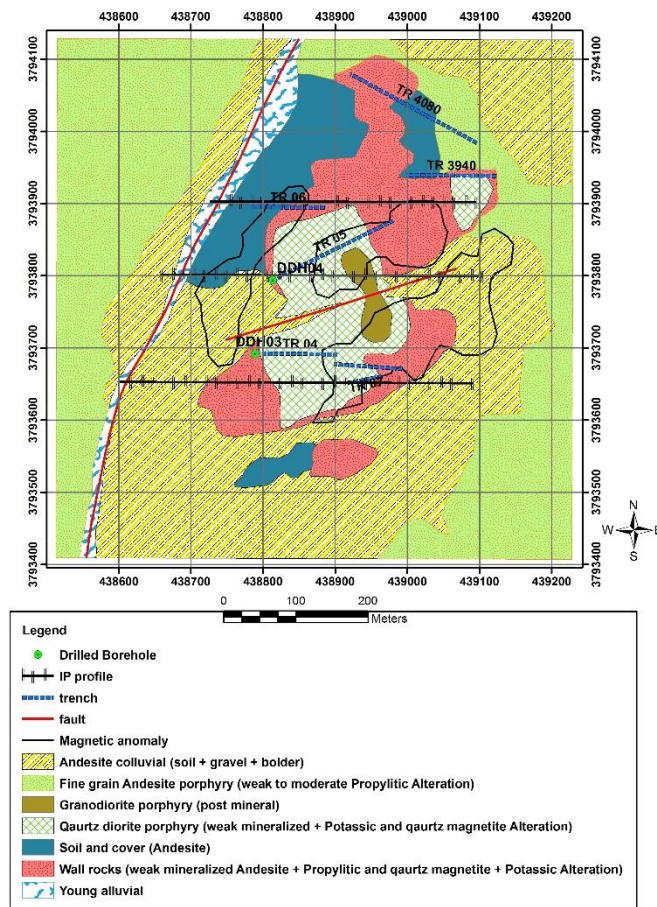


۴-۱- محدوده معدنی دالی و راه‌های دسترسی به آن در نقشه ماهواره‌ای TM (Asadi Haroni, 2008)

مطالعات زمین‌شناسی نشان می‌دهد که کانی‌سازی در منطقه دالی در رابطه با مجموعه ای از استوک و دایک‌های کوارتز دیوریت پورفیری آلترو می‌باشند که در یک امتداد ۳۳ درجه شمال شرقی در داخل یک زون گسله به عرض ۱ تا ۲ کیلومتر و به مرکز یک استراتوولکان با ترکیب گدازه‌های آندزیتی و آذرآواری نفوذ کرده‌اند. برخی از توده‌های نفوذی و به‌طور محلی ولکانیک‌های منطقه تحت تأثیر محلول-های هیدروترمال به دگرسانی‌های نوع پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک، پروپلیتیک و سیلیسی تبدیل شده‌اند. در دو منطقه تپه شمالی و تپه جنوبی در داخل توده‌های نفوذی آلترو و کنتاکت آنها با یک واحد آندزیت پورفیری، رگه و استوک‌ورک‌های فراوان کوارتز- مگنتیت (پرکننده درزه و شکاف‌ها) همرا با کانی‌سازی بارز مس و طلا به وفور مشاهده می‌گردد (Asadi Haroni, 2008).

کانی سازی در منطقه دالی از نوع کانی سازی مس پورفیری غنی از طلا و در رابطه با یک زون استوک ورک کوارتز - مگنتیتی درون توده نفوذی کوارتز دیوریتی شدیداً آلتره با بافت پورفیری و کنتاکت آن با سنگ دیواره آندزیت پورفیری می باشد. در منطقه تپه شمالی کانی سازی اصلی مس و طلا در رابطه با دو استوک دوقلوی کوارتز دیوریتی (سنگ میزبان اصلی) حاوی استوک ورک و رگچه های بسیار ریز سیلیسی و کنتاکت آن با واحد آندزیت پورفیری (سنگ دیواره) می باشد. زون سطحی حاوی کانی سازی مس و طلا با گسترشی در حدود ۱۰۰ متر در ۲۶۰ متر تقریباً دو برابر تپه جنوبی می باشد. مطالعات پتروگرافی نشان می دهد که سنگ میزبان کانی سازی از نوع کوارتز دیوریت تا کوارتز مونزونیت و همچنین آندزیت پورفیری می باشد. آلتراسیون پتاسیک (با حضور بیوتیت ثانویه و مگنتیت) و سیلیسی شدن مهم ترین آلتراسیون های در رابطه مستقیم با کانی سازی مس و طلا تشخیص داده شده است. سنگ های منطقه از هورنبلند بیوتیت و کوارتز دیوریت در تپه دالی شمالی تا هورنبلند بیوتیت و دیوریت در تپه دالی جنوبی تغییر می کند. زمین شناسی منطقه بیانگر آن است که چینه های آتشفشانی میوسن پسین و رخنمون سنگ های آتشفشانی (آمفیبول آندزیت پورفیری، داسیت) و پیروکلاستیک ها در راستای شمال شرقی - جنوب غربی در طول بیشتر از ۳۰ کیلومتر گسترش یافته اند (Asadi Haroni, 2008).

نقشه زمین شناسی همراه با سایر کارهای اکتشافی انجام شده در منطقه در شکل ۴-۲ نشان داده شده است (قوامی و همکاران، ۱۳۹۰). سنگ های کوارتز دیوریت پورفیری رگچه های کوارتز - مگنتیت بالا و کانی سازی با آلتراسیون پتاسیک نشان می دهند. تراکم استوک ورک های کوارتز، مگنتیت و اکسیدهای آهن بالا است. مقدار مالاکیت نیز بالاست و تا ۳٪ نیز می رسد. کانی سازی در دالی شمالی شامل رگچه های کوارتزی است که استوک ورک ها را تشکیل می دهند و همبستگی مثبتی با طلا و مس دارند. استوک ورک ها شامل رگچه های کوارتز، مگنتیت و اکسید آهن و مالاکیت هستند. طلا در این منطقه به طور نزدیکی همراه با Fe است. بر اساس نمونه های سنگی و حفاری ها کانی های سولفیدی در منطقه توسعه یافته است. (Darabi Golestan et al., 2012)



شکل ۴-۲- نقشه زمین شناسی، محدوده آنومالی مغناطیسی، موقعیت ترانشه‌ها و گمانه‌های حفر شده و پروفیل‌های (Asadi Haroni, 2008) IP-RS

منطقه آنومالی مس و طلا انطباق مناسبی را با سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری دارد. بر اساس نتایج برداشت شده از نمونه‌های خاک و مکان آنومالی‌ها، اقدام به حفر ترانشه‌هایی در منطقه گردیده که مهم‌ترین آنها TR04 و TR05 بوده و بر روی منطقه آنومالی قرار گرفته‌اند. دو گمانه DDH03 و DDH04 نیز به ترتیب در امتداد آزیموت ترانشه‌های TR04 و TR05 حفاری گردیده‌اند (شکل ۴-۲). کانی‌های مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، لیمونیت، هماتیت، مس خالص، کلسیت، بورنیت و مالاکیت در حفاری‌ها دیده شده است. با توجه به نتایج حفاری‌های انجام شده، یک توالی بین مالاکیت، مس خالص و بورنیت دیده می‌شود. وجود هماتیت غالب و لیمونیت، زاروسیت و گوتیت در گمانه DDH03

ضخامت بالایی را در زون سوپرژن (۱۵۰-۲۷۰ متر) ایجاد کرده که احتمال وجود کانی‌سازی شدید را نشان می‌دهد (Darabi Golestan et al., 2012).

در زون کانی‌سازی مس- طلا، سنگ‌های آندزیت از عناصر Fe, Mn, Ti, Mg, Na و K غنی هستند. آنومالی‌های لیتوژئوشیمیایی ثانویه از عناصر Cr, Ba, K, Mo, Fe, Cu و Au غنی و از عناصر Sr, Ca, Na, Mg, Mn و Li تهی هستند. مقدار بالای مس و طلا با میزان استوک‌ورک و کانی‌سازی مرتبط است. مالاکیت، مس و بورنیت جهت شناسایی مناطق سوپرژن و هیپوژن مورد استفاده قرار گرفته است. محل زون کانی‌سازی غنی از سولفید می‌باشد و مناطق کانی‌سازی، آنومالی مغناطیسی بالایی نشان می‌دهند (Darabi Golestan et al., 2012). در زون کانی‌سازی مس- طلا، سنگ‌های آندزیت از عناصر Fe, Ti, K, Mg, Mn و Na غنی هستند (دارابی گلستان، ۱۳۹۰).

۳-۴- زمین شناسی، کانی‌زایی و آلتراسیون‌های منطقه ظفرقند

احتمال پیدایش کانسارهای مس - مولیبدن پورفیری در رابطه با زون فرورانش اقیانوس نئوتتیس و کمر بند ولکانیکی ایران (ارومیه- دختر)، ضرورت پی‌جویی و اکتشاف این تیپ کانسار را در ایران توجیه می‌کند. منطقه ظفرقند در فاصله ۸۹ کیلومتری شمال شرق مرکز اصفهان و ۲۲ کیلومتری جنوب شهر اردستان و ۶ کیلومتری غرب روستای ظفرقند قرار دارد. این منطقه بر روی کمر بند ولکانیکی ارومیه دختر واقع شده است (شکل ۳-۴). منطقه مورد نظر از لحاظ زمین‌ساختی در لبه زون ایران مرکزی و در کمر بند ارومیه_ دختر واقع شده است لذا می‌تواند از نظر وجود مس و یا عناصر دیگر دارای پتانسیل قابل توجهی باشد (Asadi Haroni, 2013).

واحدهای لیتولوژیکی محدوده اکتشافی این اندیس عمدتاً شامل داسیت پرفیری، آندزیت، بازالت، به طور محلی دیوریت و آبرفت می‌باشد. اندیس مس ظفرقند واقع در بخش مرکزی زون ارومیه - دختر در استان اصفهان با استفاده از تفسیر داده‌های ماهواره‌ای در سال ۱۳۸۵ شناسایی گردید (شکل ۴-۴). بخش عمده‌ای از این واحدهای سنگی تحت تأثیر محلول‌های هیدروترمال به شدت دگرسان شده و

زون‌های آلتراسیون که از مرکز سیستم پورفیری به سمت حاشیه‌ها به ترتیب شامل فیلک، آرژلیک، پروپلیتیک هستند را به وجود آورده است. البته در بخش‌هایی از منطقه آلتراسیون پتاسیک هم مشاهده می‌شود. هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و جاروسیت) در اکثر قسمت‌ها در رابطه با آلتراسیون-های مرکزی مشاهده می‌شوند. رگه‌ها و استوک‌ورک‌های سیلیسی و کوارتز - مگنتیتی پرکننده درزه و شکاف‌ها، در نقاط بسیاری در رابطه با کانی‌سازی مس (مالاکیت و آزوریت) مشاهده می‌شوند. بررسی نتایج آنالیز ژئوشیمیایی ICP حاصل از برداشت نمونه‌های سنگی نیز نشان از تشابه این تیپ کانی‌سازی با کانی‌سازی مس - مولیبدن پورفیری دارد.

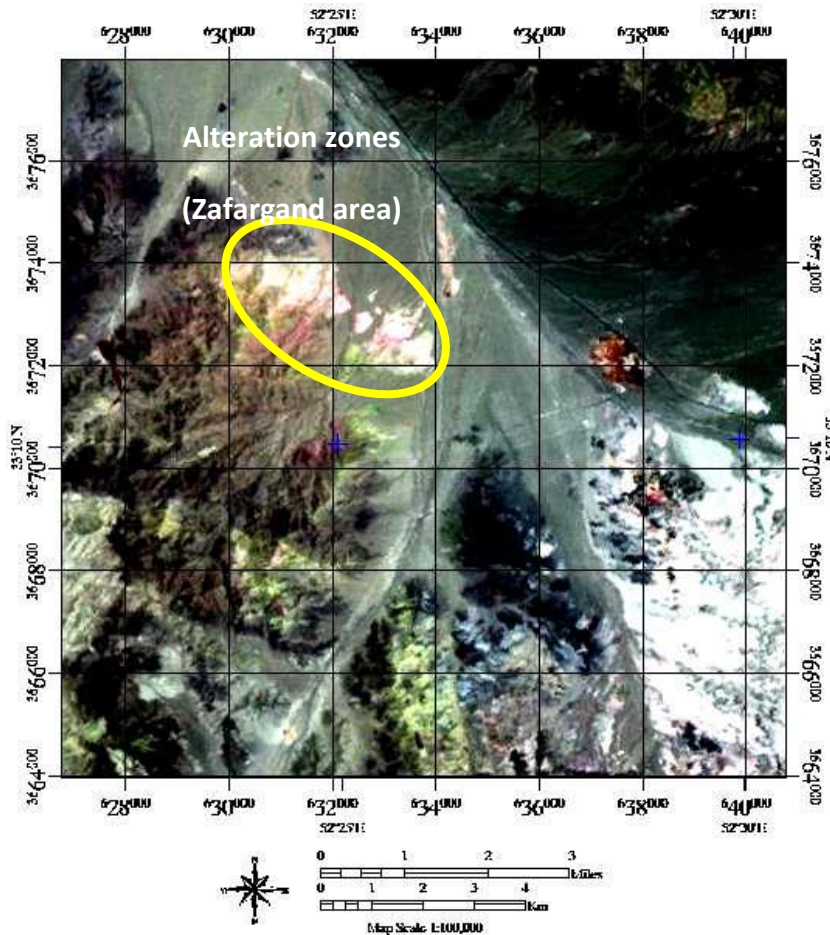


شکل ۴-۳- موقعیت منطقه ظفرقند در کمربند ارومیه - دختر (Asadi Haroni, 2013)

در نهایت مقایسه آنومالی‌های ژئوشیمیایی مس با واحدهای سنگی و زون‌های آلتراسیون نشان می‌دهد که آب‌های جوی عنصر مس را در بعضی از زون‌های مذکور شسته و احتمالاً یک زون سوپرژن در عمق تشکیل شده است (Asadi Haroni, 2013).

محدوده آلتراسیونی در منطقه ظفرقند در حدود ۷ کیلومتر مربع می‌باشد که بخشی از آن توسط رسوبات پوشیده شده است. دو مرکز پورفیری در این سیستم وجود دارد. آلتراسیون‌های فیلک و پتاسیک مانند

آتراسیون اکسید آهن با شدت بالایی همراه با کوارتز دیوریت و داسیت پورفیری در مرکز سیستم مشاهده می شوند.



شکل ۴-۴- نقشه ترکیب رنگی کاذب حاصل از داده‌های استر SWIR (468: RGB) - آتراسیون‌های منطقه ظرفرند مشخص شده است (Asadi Haroni, 2013).

مهمترین سنگ‌های واقع در این سیستم پورفیری شامل داسیت پورفیری، ریولیت داسیت پورفیری و کوارتز دیوریت هستند که توسط آندزیت پورفیری و پیروکلاست‌های آندزیتی احاطه شده‌اند. در برخی قسمت‌ها رگه‌های کوارتزی با کانی‌سازی مس تا ضخامت ۴ متر و طول ۳۰ متر مشاهده می‌شود. کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، مالاکیت و اکسید آهن در رگه‌های سیلیسی شده و کوارتزی وجود دارد. آتراسیون پتاسیک در منطقه جنوبی ظرفرند در میکرو دیوریت‌ها قرار گرفته است. استوک-ورک‌های کوارتز و مگنتیت، مقادیر کمی مالاکیت به صورت رگچه و باکس ورک‌های پیریتی در این

آلتراسیون دیده می‌شود. مقادیری بیوتیت با اندازه‌های ۱ تا ۲ میلی‌متر به صورت پراکنده نیز وجود دارند. آلتراسیون فیلیک در منطقه بوسیله شدت کوارتز - سریسیت، استوک ورک‌های وسیع کوارتزی و اکسیدهای آهن (بیشتر هماتیت) در داسیت‌های پورفیری و کوارتز دیوریت‌ها مشخص می‌شود. این آلتراسیون در ظفرقند جنوبی در حدود ۳۰۰ در ۷۰۰ متر گسترش دارد. برخی رگچه‌های اکسید آهن و کوارتز تا ضخامت ۲ سانتی‌متر دیده می‌شوند. شکل ۴-۵ استوک ورک‌های قوی هماتیت - کوارتز موجود در آلتراسیون فیلیک را نشان می‌دهد. آلتراسیون آرژیلیک اغلب در ریوداسیت‌ها و داسیت‌ها دیده می‌شود و آلتراسیون فیلیک را احاطه می‌کند. رس کوارتز و اکسیدهای پراکنده آهن در این آلتراسیون وجود دارد. آلتراسیون پروپلیتیک به صورت وسیعی در منطقه گسترش یافته است و آلتراسیون‌های آرژیلیک را در قسمت شمالی، جنوبی و غربی دربر می‌گیرد. کانی‌های اصلی در این آلتراسیون شامل کلریت و اپیدوت می‌شود. رگه‌های کانی‌سازی کوارتز به مقدار کمی در قسمت غربی دیده می‌شود. نمایی از آلتراسیون‌های منطقه ظفرقند در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۵- استوک‌ورک‌های هماتیت - کواتز در آلتراسیون فیلیک در ظفرقند جنوبی (Asadi Haroni, 2013)

روستای ظفرقند



شکل ۴-۶- قسمتی از رخنمون آلتراسیون‌ها در منطقه ظفرقند (Asadi Haroni, 2013)

۴-۴ - زمین شناسی، کانی‌زایی و آلتراسیون‌های منطقه کانی‌زایی آنتیموان شند

محمود

منطقه مورد بررسی بخشی از شمال بلوک لوت به شمار می‌رود. این منطقه در استان خراسان جنوبی و در ۶۸ کیلومتری جنوب باختر شهرستان سرایان و ۳۲ کیلومتری جنوب باختر روستای بغداده جای دارد. بلوک لوت در محدوده مورد مطالعه بیشتر توسط سنگ‌های آتشفشانی سنوزوئیک با ضخامت ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر و ترکیب آندزیتی، بازالتی، داسیتی و ترکیب‌های وابسته و همچنین نهشته‌های قاره‌ای نئوژن - کواترنر پوشیده شده است. سنگ‌های آتشفشانی مزبور در زمان پالئوژن و نئوژن تشکیل شده‌اند. گسترش و ضخامت سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن بسیار کمتر و ترکیب آنها آندزیتی - داسیتی است که عمده کانی‌سازی‌های منطقه متأثر از این سنگ‌ها بوده است. سنگ‌های آتشفشانی نئوژن با ترکیب آندزیتی - بازالتی گسترش و ضخامت زیادتری را در محدوده مورد مطالعه به خود اختصاص داده و کمتر تحت تاثیر حرکات زمین‌ساختی بوده است (برنا، ۱۳۸۷).

کهن‌ترین برونزدهای سنگی در محدوده‌های کانی‌سازی آنتیموان فردوس به شیل و ماسه سنگ سازند شمشک متعلق است. سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب داسیت بیشترین برونزدها را بخود اختصاص داده است. واحدهای سنگی محدوده شند محمود و مناطق دارای پتانسیل آنتیموان در اطراف آن، شامل شیل و ماسه سنگ سازند شمشک، آهک ژوراسیک، داسیت، ریوداسیت، واحدهای عهد حاضر، ریولیت و آندزیت می‌باشد. بیشترین حجم برونزدهای سنگی منطقه را داسیت پورفیری سفید تا نخودی رنگ تشکیل داده است. دگرسانی‌های آلونیتی سریسیتی، کربناتی، آرژیلیتی، کلریتی و ژاروسیتی در این سنگ به‌وجود آمده است. کانی‌های پلاژیوکلاز در مسیر ماکل‌ها به سریسیت و کربنات تجزیه شده و بیوتیت‌ها تحت تأثیر محلول‌های گرمابی به مجموعه‌ای از کانی‌های مسکویت تبدیل شده‌اند. بلورهای پلاژیوکلاز از حاشیه به شدت سریسیتی و یا کائولینتی شده و گاهی تمام متن فلدسپات‌های درشت بلور را فراگرفته است. متن ریزدانه سنگ که کوارتز - فلدسپات می‌باشد، سریسیتی و آرژیلیتی شده

است. سنگ‌های آندزیت تا لاتیت آندزیتی منطقه به صورت دایک دیگر واحدهای سنگی منطقه را قطع کرده و کمی دگرسان شده است. بلورهای پلاژیوکلاز اغلب از حاشیه به شدت سریسیتی شده‌اند. کانی‌های فرومنیزین توسط کربنات نیز جانشین شده‌اند (برنا، ۱۳۸۷).

شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک در امتداد گسله‌ها و رگه‌های کانهدار که عموماً محل مناسبی برای عبور محلول‌های گرمابی می‌باشند، اغلب دگرسانی ژاروسیتی از خود نشان می‌دهد. در منطقه شند محمود، گسل‌ها بیشتر دارای دو راستای شمال باختر - جنوب خاور و شمال خاور - جنوب باختر می‌باشند. رگه‌های کانهدار محدوده با راستای اصلی شمال باختر - جنوب خاور بوده و به طور فرعی تر با راستای شمال خاور - جنوب باختر دیده می‌شود.

محدوده شند محمود از ارتفاعات پست و تپه ماهوری تشکیل شده که جنس بیشتر سنگ‌های تشکیل دهنده آن از ریوداسیت و داسیت تشکیل شده است. برنزهایی از شیل و ماسه سنگ شمشک نیز به صورت رگه‌ای گرمابی و در امتداد یک گسل با روند $N170'$ و با شیب تقریباً قائم نهشته شده است. در محدوده شند محمود، ۴۱ رگه به نقشه در آمده که همگی درون واحد داسیت پورفیری نهشته شده‌اند. در منطقه شند محمود بر روی رگه‌های اصلی منطقه جمعاً تعداد ۸ ترانسه اکتشافی حفر و نمونه‌گیری شده است. رگه‌ها به صورت یک زون رگه و رگچه سیلیسی و بعضاً دارای اکسیدهای ثانویه آهن و منگنز به رنگ زرد و سیاه هستند. ضخامت این رگه‌ها تا $3/5$ متر در ترانسه دیده شده است. سنگ میزبان رگه‌ها از داسیت پورفیری تشکیل شده است. در محدوده شند محمود در مجموع تعداد پنج کار قدیمی به صورت چاهک‌ها و دهانه ورودی تونل پرشده وجود دارد که همگی مورد برداشت زمین‌شناسی و نمونه‌گیری قرار گرفته‌اند. در جنوب محدوده دهانه ورودی یک تونل پرشده استخراجی وجود دارد و در میانه‌های محدوده چاهک‌های پرشده استخراجی بر روی رگه‌های کانهدار حفر شده است. چاهک‌های قدیمی دارای اعماق ۱ تا ۱۲ متر و ضخامت رگه‌ها از ۳۰ سانتی‌متر تا $2/80$ متر می‌باشد. کانی‌سازی اغلب به صورت رگه‌های سیلیسی بوده که دارای اکسید آهن و منگنز و رنگ تیره

می باشند و سنگ میزبان داسیتی آنها را دربر گرفته است. بالاترین عیار به دست آمده از آنتیموان در چاه استخراجی شماره W8 و برابر ۸۳۳ گرم در تن می باشد. عیارهای نسبتاً بالایی از طلا (۹۳۰ گرم در هزار تن در چاه استخراجی شماره W8)، نقره (۵۶۴/۷۰ گرم در تن در چاه استخراجی شماره W9)، سرب (۱۵۶۷۰ گرم در تن در ترانشه شماره Tr5)، روی (۹۸۱۰ گرم در تن در چاه استخراجی شماره W9) در نمونه ها به چشم می خورد ولی بیشتر عیارهای به دست آمده به حد اقتصادی نرسیده است. عیار عنصر منگنز رگه های این محدوده بالا بوده و در چاه استخراجی W9 به ۲۸/۸۶ درصد می رسد. قابل ذکر است که در برخی از نمونه های برداشت شده از رگه ها به صورت نقطه ای، عیار آنتیموان به ۱/۹۹ درصد، نقره به ۱۰۴۸ گرم در تن، منگنز ۳۸/۱۸ درصد، طلا ۱۸۹۰ گرم در هزار تن می رسد. تعداد ۴۱ رگه کانه دار با طول ۲۰ تا ۴۵۰ متر مورد شناسایی قرار گرفته است. سنگ میزبان رگه های یادشده داسیت پورفیری بوده و روند آنها از شمالی - جنوبی تا شمال باختری - جنوب خاوری متغیر است. رگه ها سیلیسی و به رنگ زرد تا قهوه ای و دارای اکسیدهای آهن می باشند. نمایی از رگه های شماره ۲، ۱۰ و ۳۸ در این منطقه در اشکال ۷-۴، ۸-۴ و ۹-۴ دیده می شود.



شکل ۷-۴ - نمایی از رگه شماره ۲ محدوده شند محمود در ترانشه شماره ۱۲ - نگاه به شمال (برنا، ۱۳۸۷)



شکل ۴-۸- نمایی نزدیک از رگه شماره ۱۰- محدوده شندمحمود در چاه شماره W7 (برنا، ۱۳۸۷)



شکل ۴-۹- نمایی نزدیک از رگه اصلی شماره ۳۸ محدوده شندمحمود - نگاه به شمال (برنا، ۱۳۸۷)

نتایج مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که رگه‌های کانه‌دار محدوده شندمحمود در سطح دارای کانی‌های استینیت، پیریت، پسیلوملان، پیرولولزیت، جاکوبسیت، بیگزبیت، لیمونیت، کونیت و لپیدوکروسیت می‌باشند. استینیت به صورت سوزنی، شعاعی و توده‌ای شکل دیده می‌شود. پیریت به صورت بلورهای شکل‌دار تا بی‌شکل بوده و دچار پدیده هوازدگی شده و تبدیل به هیدروکسیدهای آهن نوع گوتیت و لپیدوکروسیت شده است. در حاشیه هیدروکسیدهای آهن گاه اکسیدهای منگنز به فرم قلوهای دیده می‌شود. از دیگر اکسیدهای منگنز پسیلوملان و پیرولولزیت نیز وجود دارد که

پسیلوملان دارای فراوانی کمتری نسبت به پیرولوزیت است. در عمق، رگه‌های کانه‌دار دارای کانه‌های فلزی پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کولیت، مارکاسیت، ترکیبات تیتانیم (روتیل) و هیدروکسیدهای آهن می‌باشند. پیریت به صورت دانه‌های اتومورف و پراکنده بوده و در اثر آلتراسیون سوپرژن از اطراف توسط هیدروکسیدهای آهن در حال جانشینی هستند. ترکیبات تیتانیم‌دار به صورت دانه‌های نیمه شکل‌دار پراکنده در متن سنگ به چشم می‌خورند. کالکوسیت و آرسنوپیریت قابل مشاهده بوده و آرسنوپیریت به تعداد کم و به صورت پراکنده دیده می‌شود. مارکاسیت بعضاً از تبدیل پیریت تشکیل شده است. کالکوپیریت‌ها به صورت لکه‌های بی‌شکل در بین پیریت‌ها و پیریت‌های مارکاسیتی حضور از تشکیل پیریت به وجود آمده‌اند (برنا، ۱۳۸۷).

فصل پنجم:

تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های

ژئوشیمی

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

۱-۵- مقدمه

داده‌های ژئوشیمیایی علاوه بر حوزه مکان در حوزه فرکانس نیز مورد تفسیر و تحلیل قرار گرفته‌اند. داده‌های ژئوشیمیایی حوزه مکان که شامل مختصات مکانی هستند می‌توانند با استفاده از تبدیلات دو بعدی فوریه به حوزه فرکانس انتقال پیدا کنند. جنس داده‌های حوزه فرکانس با داده‌های حوزه مکان متفاوت بوده و در نتیجه اطلاعات جدیدی می‌تواند در این حوزه قابل دستیابی باشد. در حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی، تحلیل‌ها بر روی اعداد موج در جهت X و Y و مقادیر طیف توان آنها صورت می‌گیرد. در این رساله سه منطقه کانی‌سازی مس - طلا، پورفیری دالی، آنتیموان فردوس و مس - مولیبدن پورفیری ظفرقند مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲-۵- کلاسه‌بندی داده‌های ژئوشیمی و تعیین فاکتور کانی‌سازی در حوزه فرکانس و

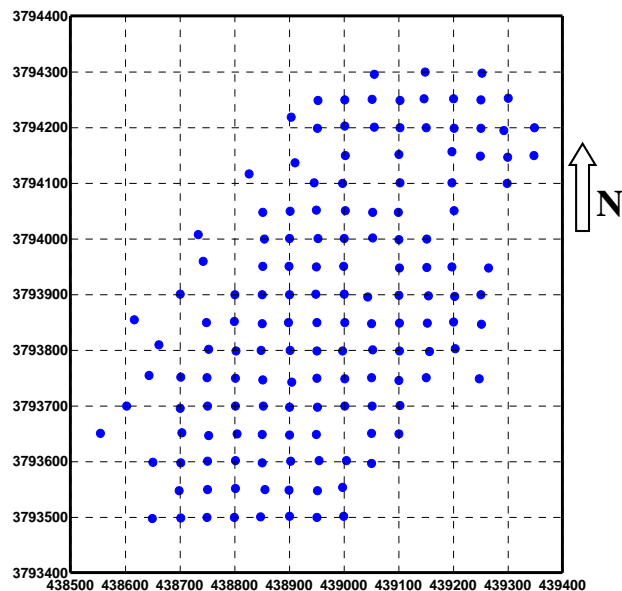
حوزه مکان

یکی از روش‌های کاهش بعد فضای ویژگی و کلاسه‌بندی متغیرها روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) است که می‌توان به تحلیل‌های مناسبی از داده‌ها بر اساس نتایج آن دست یافت. تعیین عناصر مرتبط با کانی‌سازی و تشخیص الگوی کانی‌سازی یکی از مباحث مهم اکتشاف کانسارها است. به منظور تعیین عناصر مرتبط با کانی‌سازی، شناخت الگوی توزیع، چگونگی همراهی عناصر با یکدیگر و تعیین فاکتور کانی‌سازی از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه‌های مکان و فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شده است. بنابراین روش PCA به صورت مجزا بر روی داده‌های ژئوشیمیایی حوزه مکان و فرکانس صورت گرفته است. روش PCA یکی از روش‌های آنالیز چند متغیره است. این روش ابزار مفیدی جهت ترکیب چند متغیر وابسته در یک متغیر و کاهش بعد مجموعه داده‌ها در مؤلفه‌های اصلی غیر وابسته بر اساس کواریانس و همبستگی متغیرها است که یک همبستگی درونی میان متغیرها را نشان می‌دهد (Jolliffe, 2002). این فرآیند پردازش داده و استخراج ویژگی بر روی تمام عناصر

ژئوشیمیایی منطقه در هر دو حوزه صورت گرفته است. عناصر مرتبط با فازهای کانی‌زایی دارای ویژگی - های فرکانسی مشابهی هستند و از این جهت می‌توانند در تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی حائز اهمیت باشند. یکی از مسائل مهم در تحلیل داده‌ها، کاهش بعد فضای ویژگی‌ها است که در روش‌های استخراج ویژگی و تشخیص الگو حائز اهمیت است. روش PCA می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های مناسب برای کاهش ویژگی مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲-۵- کانی‌سازی مس - طلای پورفیری منطقه دالی

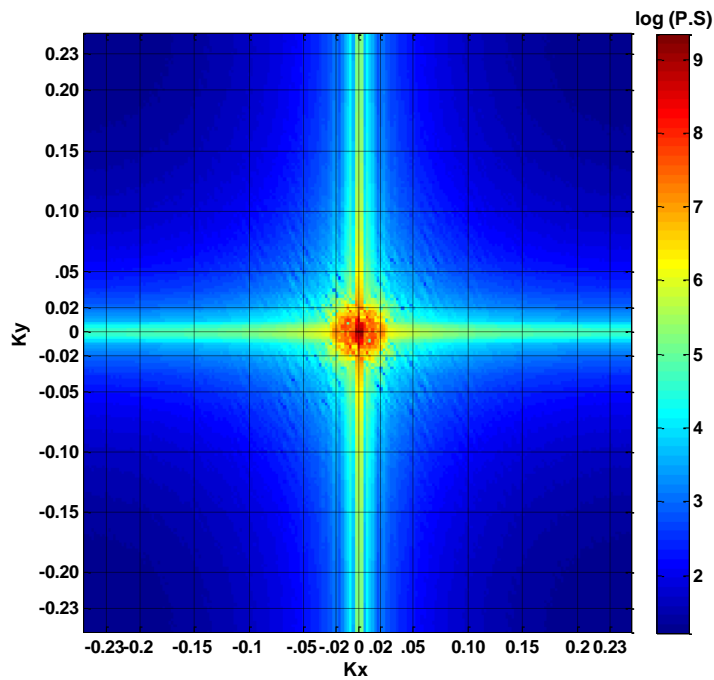
منطقه دالی، یکی از اندیس پورفیری مس - طلا کمر بند ولکانیکی ارومیه - دختر ایران می‌باشد که با توجه به پتانسیل معدنی مطالعات اکتشافی بیشتری را نیاز دارد. در منطقه دالی شمالی ۱۶۵ نمونه سیستماتیک از خاک برداشت گردیده و برای تعداد ۳۰ عنصر به روش ICP مورد آنالیز قرار گرفته است. این نمونه‌برداری با حداقل ۵۰ متر برداشت شده است (شکل ۵-۱).



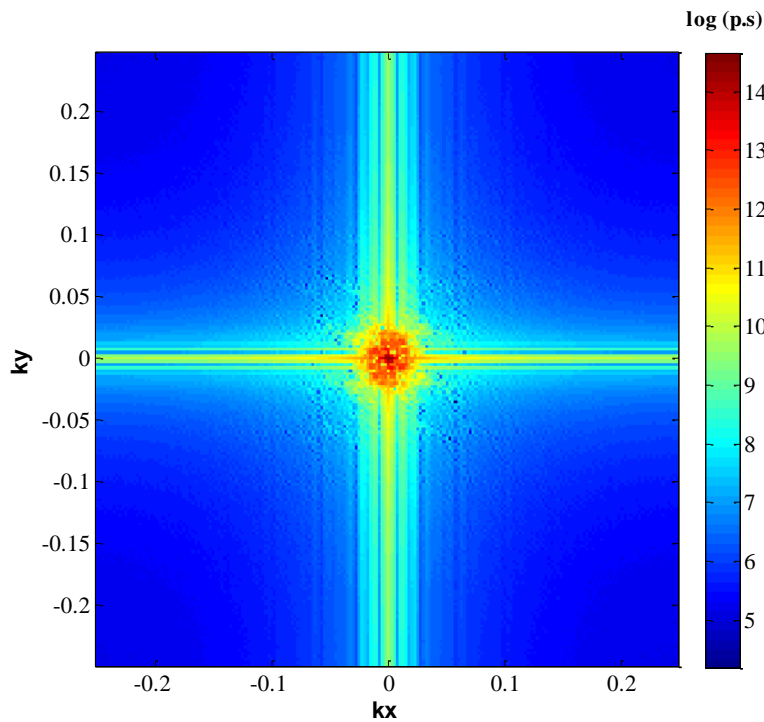
شکل ۵-۱- شبکه برداشت سیستماتیک نمونه‌های خاک در منطقه دالی شمالی

توزیع ژئوشیمیایی تمام عناصر به صورت مجزا بر اساس تبدیل فوریه دو بعدی به حوزه فرکانس تبدیل شده است. شکل‌های ۲-۵، ۳-۵ و ۴-۵ داده‌های حوزه فرکانس عناصر مولیبدن، مس و طلا را نشان می‌دهند. محور افقی مقادیر عدد موج در جهت X و محور قائم مقادیر عدد موج در جهت Y را نشان

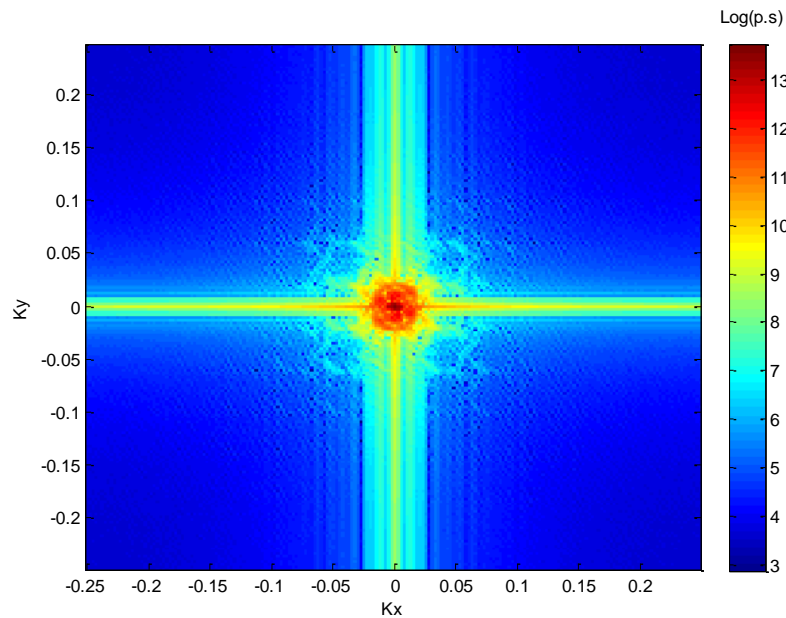
می‌دهد. مقادیر طیف توان برای هر یک از اعداد موج محاسبه شده و به صورت لگاریتمی ترسیم شده است. با افزایش عدد موج مقادیر طیف توان کاهش و فرکانس افزایش می‌یابد و در اعداد موج کوچک مقادیر طیف توان افزایش یافته و فرکانس کاهش می‌یابد.



شکل ۵-۲- نقشه توزیع طیف توان عنصر مولیبدن در منطقه دالی شمالی



شکل ۵-۳- نقشه توزیع طیف توان عنصر مس در منطقه دالی شمالی

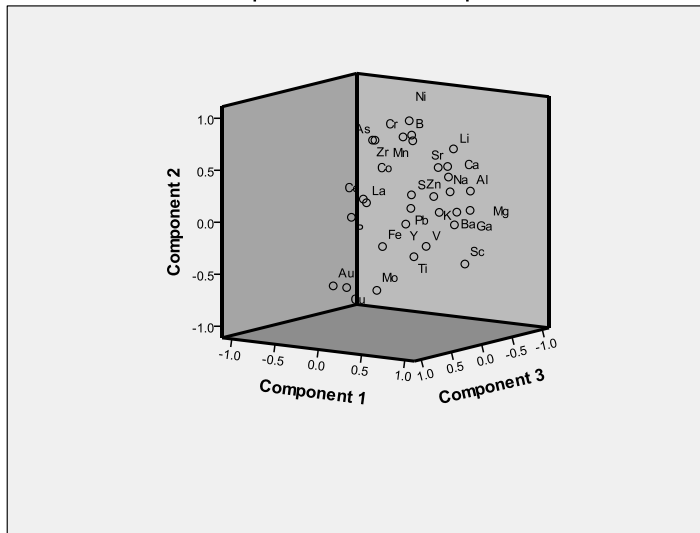


شکل ۵-۴- نقشه توزیع طیف توان عنصر طلا در منطقه دالی شمالی

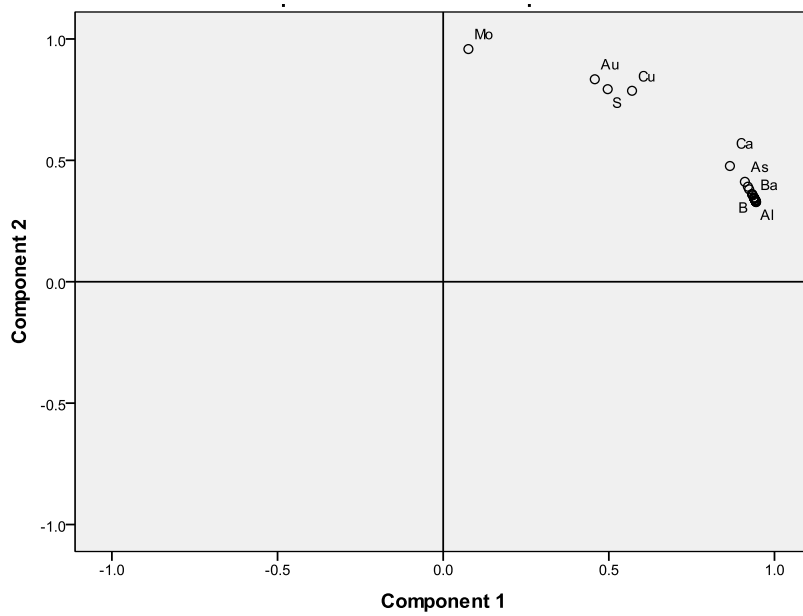
ابتدا روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های خاک در حوزه مکان صورت گرفته است. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه مکان، تعداد ۳۰ متغیر را به ۵ مؤلفه کاهش داده که مؤلفه دوم به عنوان مؤلفه کانی‌سازی شناسایی شده است. در این

مؤلفه، عناصر طلا، مس، مولیبدن، آرسنیک، بور، کروم، لیتیم، منگنز، نیکل و زیرکن مقادیر ضرایب بالایی دارند (شکل ۵-۵ و جدول ۵-۱). در این مؤلفه عناصر مس، طلا و مولیبدن با مقادیر منفی از سایر عناصر قابل تفکیک هستند.

بعد از انتقال داده‌ها به حوزه فرکانس، داده‌های جدید نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. روش PCA در حوزه فرکانس بر روی مقادیر طیف توان عناصر اعمال می‌شود. طیف توان میزان شدت فرکانس‌های مختلف را نشان می‌دهد و ارتباط مستقیمی با نقطه خاص مکانی در منطقه پیدا نمی‌کند و یک فرکانس خاص برای هر عنصر در کل منطقه یک مقدار ثابت طیف توان دارد. پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی و کانی‌زایی فرکانس‌های مختلفی را در توزیع ژئوشیمیایی عناصر ایجاد می‌کنند. بنابراین عناصر مرتبط با فرآیندهای کانی‌سازی دارای ویژگی‌های فرکانسی مشابهی خواهند بود و به عبارتی مقادیر طیف توان در آنها با یکدیگر ارتباط نزدیکی خواهد داشت. با انجام روش PCA، داده‌های حوزه فرکانس شامل ۳۰ ویژگی به دو مؤلفه تقسیم شده‌اند. در مؤلفه دوم ضرایب عناصر طلا، مس، مولیبدن و گوگرد بالا است که به عنوان مؤلفه کانی‌سازی تشخیص داده شده است (شکل ۵-۶ و جدول ۵-۲). سایر عناصر در فاکتور اول قرار گرفته و این فاکتور به عنوان مؤلفه زمینه در نظر گرفته می‌شود. بر خلاف این نتایج، در نتایج حوزه مکان، گوگرد با عناصر کانی‌سازی ارتباطی نشان نمی‌دهد. در شرایطی که فعالیت گوگرد در محلول زیاد باشد به احتمال زیاد انواع گوناگون کمپلکس‌های سولفوری از عوامل مهم حمل و نقل محسوب می‌شوند و تجزیه و تفکیک آنها موجب تشکیل کانی‌های سولفوری می‌شود (حسنی پاک، ۱۳۸۱). با توجه حضور کانی‌های سولفیدی در منطقه این مساله قابل تأمل است و در این راستا حضور عنصر گوگرد در کنار عناصر کانی‌سازی در نتایج به‌دست آمده از داده‌های حوزه فرکانس، به خوبی قابل تفسیر است. لازم به ذکر است که سولفور در زون هیپوزن این منطقه کانی‌سازی در گمانه‌های اکتشافی ثبت شده است.



شکل ۵-۵- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه مکان ژئوشیمیایی



شکل ۵-۶- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه فرکانس ژئوشیمیایی

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۱- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های ژئوشیمی حوزه مکان و فرکانس منطقه دالی شمالی

حوزه مکان						حوزه فرکانس		
	مؤلفه‌های اصلی						مؤلفه‌های اصلی	
	۱	۲	۳	۴	۵		۱	۲
Au	-/۱۹	+/۶۳	-/۵۳	-/۴۳	-/۰۵	Au	-/۴۵۸	+/۸۳۴
Al	-/۷۹	-/۳۳	-/۱۷	-/۲۴	-/۱۵	Al	-/۹۴۳	-/۳۳۱
As	-/۲۲	-/۶۷	-/۰۷	-/۳۴	-/۰۵	As	-/۹۱۱	-/۴۱۲
B	-/۰۲	-/۷۸	-/۴۲	-/۱۶	-/۰۸	B	-/۹۳۲	-/۳۴۱
Ba	-/۴۸	-/۱۳	-/۲۱	-/۰۹	-/۳۸	Ba	-/۹۳۹	-/۳۴۳
Ca	-/۲۰	-/۳۳	-/۷۴	-/۲۱	-/۱۱	Ca	-/۸۶۶	-/۴۷۷
Ce	-/۱۹	-/۲۰	-/۱۰	-/۱۶	-/۸۹	Ce	-/۹۴۳	-/۳۳۱
Co	-/۴۸	-/۴۹	-/۰۴	-/۳۰	-/۳۲	Co	-/۹۴۲	-/۳۳۵
Cr	-/۱۲	-/۷۴	-/۱۳	-/۱۱	-/۲۲	Cr	-/۹۳۸	-/۳۴۷
Cu	-/۰۸	+/۶۳	-/۴۷	-/۵۱	-/۱۲	Cu	-/۵۷۰	+/۷۸۷
Fe	-/۴۲	-/۱۷	-/۷۳	-/۰۹	-/۰۷	Fe	-/۹۴۳	-/۳۳۳
Ga	-/۸۵	-/۰۳	-/۱۳	-/۰۷	-/۱۵	Ga	-/۹۴۴	-/۳۳۰
K	-/۷۳	-/۰۲	-/۰۸	-/۳۷	-/۲۱	K	-/۹۴۲	-/۳۳۴
La	-/۱۷	-/۱۲	-/۰۳	-/۱۳	-/۹۰	La	-/۹۴۳	-/۳۳۱
Li	-/۴۳	-/۷۲	-/۳۷	-/۱۰	-/۲۱	Li	-/۹۳۸	-/۳۴۴
Mg	-/۸۶	-/۰۹	-/۱۷	-/۳۸	-/۰۱	Mg	-/۹۴۴	-/۳۳۰
Mn	-/۳۲	-/۸۴	-/۱۳	-/۰۸	-/۰۱	Mn	-/۹۳۵	-/۳۵۶
Mo	-/۱۹	+/۶۸	-/۳۱	-/۲۱	-/۲۲	Mo	-/۰۷۶	+/۹۵۸
Na	-/۶۷	-/۳۰	-/۰۵	-/۴۰	-/۳۸	Na	-/۹۳۹	-/۳۴۳
Ni	-/۰۳	-/۹۰	-/۲۹	-/۰۴	-/۲۲	Ni	-/۹۲۰	-/۳۹۱
P	-/۰۲	-/۰۵	-/۴۳	-/۱۸	-/۱۱	P	-/۹۴۴	-/۳۲۹
Pb	-/۳۲	-/۱۱	-/۰۶	-/۸۱	-/۱۷	Pb	-/۹۳۹	-/۳۴۳
S	-/۰۳	-/۱۳	-/۴۰	-/۷۴	-/۱۵	S	-/۴۹۷	+/۷۹۳
Sc	-/۸۴	-/۳۲	-/۱۳	-/۰۹	-/۱۲	Sc	-/۹۴۰	-/۳۴۲
Sr	-/۰۷	-/۳۴	-/۷۳	-/۳۳	-/۱۴	Sr	-/۹۲۴	-/۳۸۱

ادامه جدول ۵-۱

حوزه مکان				حوزه فرکانس				
Ti	۰/۵۰	-۰/۲۶	۰/۲۷	-۰/۷۱	۰/۰۹	Ti	۰/۹۳۸	۰/۳۴۵
V	۰/۷۳	-۰/۱۹	۰/۴۳	۰/۰۳	-۰/۱۳	V	۰/۹۴۰	۰/۳۴۲
Y	۰/۳۴	۰/۰۵	۰/۱۶	-۰/۰۹	۰/۸۰	Y	۰/۹۴۵	۰/۳۲۸
Zr	۰/۶۶	۰/۳۴	۰/۲۴	۰/۲۴	-۰/۱۲	Zr	۰/۹۴۳	۰/۳۳۲
Zr	-۰/۰۴	۰/۷۸	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۱۸	Zr	۰/۹۳۳	۰/۳۶

در حوزه فرکانس، عناصر کانی‌سازی به صورت بارزتری نسبت به حوزه مکان از سایر عناصر جدا شده‌اند. بنابراین با استفاده از مقادیر طیف توان عناصر در حوزه فرکانس بهتر می‌توانیم عناصر مرتبط با کانی‌سازی را شناسایی کنیم و فاکتور کانی‌سازی به صورت جذابی از سایر پدیده‌های زمین‌شناسی جدا می‌شود.

کاهش شدید ویژگی‌ها از ۳۰ عنصر به ۲ مؤلفه در حوزه فرکانس، یک نتیجه مهم در روش‌های کاهش بعد

فضای ویژگی و روش‌های تشخیص الگو است و نشان می‌دهد که عناصر کانی‌سازی در حوزه فرکانس قرابت بیشتری با یکدیگر داشته و از این جهت نسبت به داده‌های حوزه مکان اطلاعات بهتر و بیشتری را دربر دارند و در روش‌های کلاسه‌بندی و تحلیل داده کارایی بالاتری دارند. مطالعات اکتشافی تفصیلی در منطقه از قبیل ترانشه‌ها و گمانه‌های اکتشافی این نتایج را به خوبی تأیید می‌کند. با توجه به اطلاعات به‌دست آمده در منطقه، نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه فرکانس کاملاً با واقعیت سازگاری داشته و توانسته است اطلاعات بهتر و کامل‌تری از کانسار را نشان دهد. همان‌طور که بیان شد، داده‌های حوزه فرکانس عناصر مس، مولیبدن، طلا و گوگرد را به عنوان عناصر کانی‌سازی معرفی کرده است که با توجه به مطالعات اکتشافی تکمیلی و مطالعات اولیه به طور کامل قابل تفسیر هستند. مولیبدن در مرکز توده گرانودیوریتی افزایش نشان داده است. یک روند مشخصی در تغییرات Au, Mo, Cu در منطقه وجود دارد. هر چه از توده گرانودیوریتی دور و به سمت محل

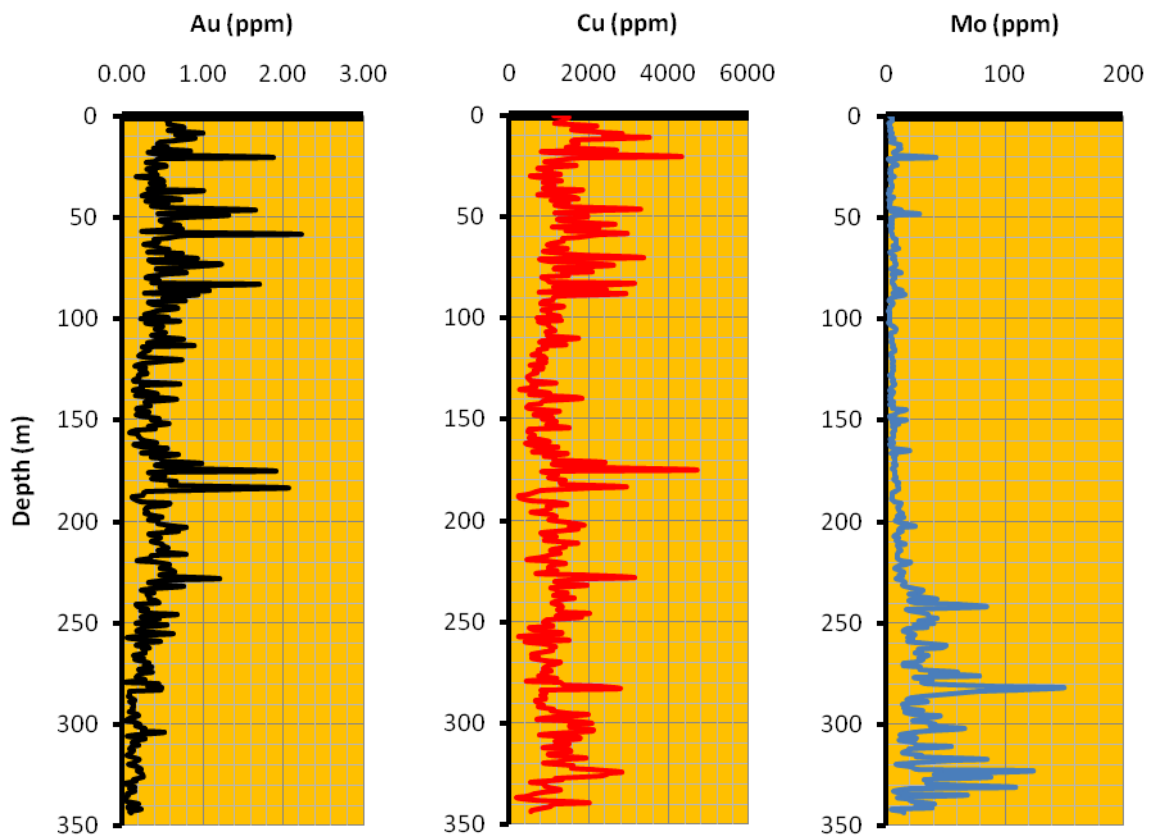
کنتاکت کوارتز دیوریت پورفیری و آندزیت و سنگ دیواره (آندزیت) نزدیک می‌شویم زون کانی‌سازی

یک توالی غنی‌شدگی به صورت زیر نشان می‌دهد: $Mo \rightarrow Cu \rightarrow Au(Cu)$

این توالی در حفاری DDH03 مشاهده می‌شود و یک زون غنی شده از Mo در اعماق زیاد و نزدیک

توده نفوذی بعد از Au, Cu نشان می‌دهد. تغییرات طلا، مس و مولیبدن مربوط به گمانه DDH03 در

شکل ۵-۷ نشان داده شده است.



شکل ۵-۷- تغییرات غلظت مس، طلا و مولیبدن در گمانه DDH03

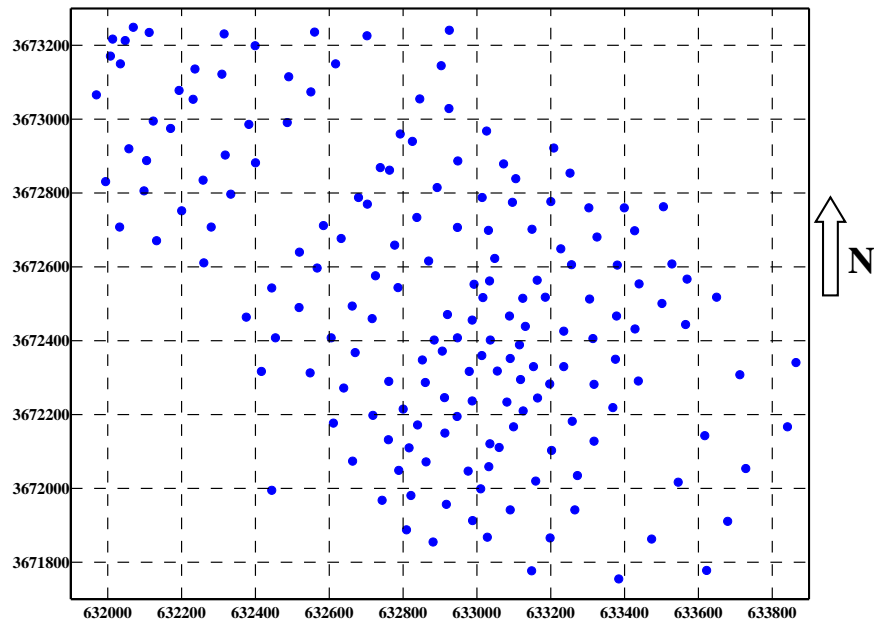
۵-۲-۲- کانی‌سازی مس - مولیبدن پورفیری ظفرقند

در این منطقه تعداد ۱۷۷ نمونه ژئوشیمی از محیط سنگی مطابق شکل ۵-۸ برداشت گردیده است.

چگالی نمونه‌برداری در مرکز سیستم پورفیری بیشتر است. این نمونه‌ها با روش ICP برای ۴۳ عنصر

مورد آنالیز قرار گرفته است. جهت شناسایی ویژگی‌های کانی‌سازی و کلاسه‌بندی متغیرهای

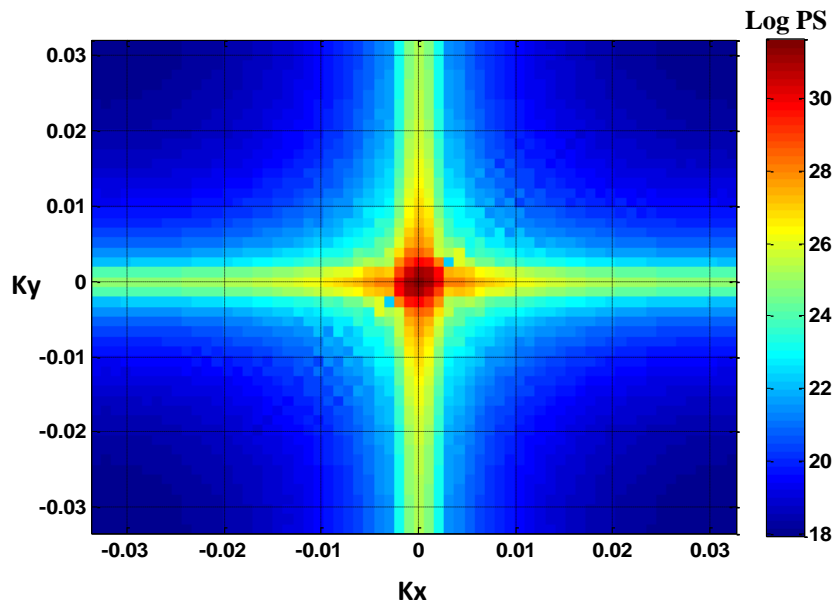
ژئوشیمیایی، از روش PCA در حوزه مکان بر روی داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شده است. داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از نمونه‌های سنگی تحت عنوان داده‌های حوزه مکان مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۵-۸- شبکه برداشت نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی در منطقه ظفرقند جنوبی

روش PCA تعداد ۴۳ ویژگی (تعداد عناصر) را به ۶ ویژگی کاهش داده است (شکل ۵-۱۰ و جدول ۵-۲).

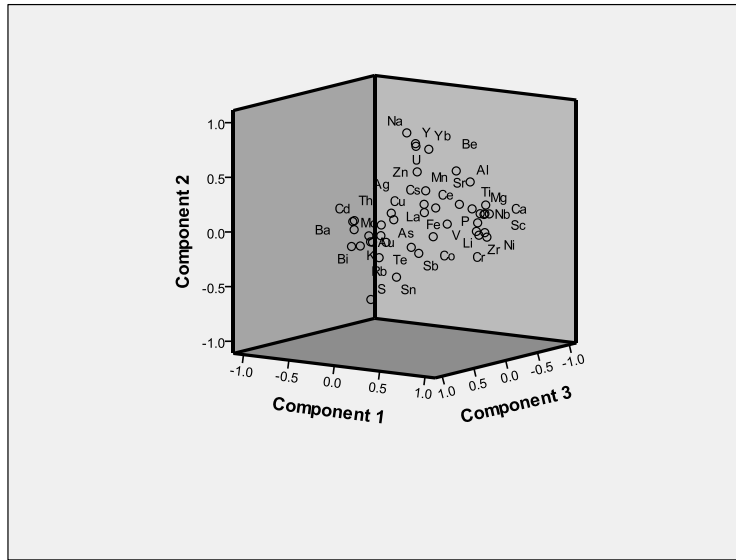
عناصر کانی‌سازی در مؤلفه اصلی دوم قرار گرفته‌اند. عناصر Pb ، Mo ، Cu ، Cd ، Bi ، As ، Ag ، Fe ، Au ، Zn و Te با مقادیر مثبت به عنوان عناصر مرتبط با فاکتور کانی‌سازی در این مؤلفه قرار گرفته‌اند. روش PCA به صورت مناسبی عناصر کانی‌سازی را از سایر عناصر جدا کرده است. داده‌های لیتوژئوشیمیایی مربوط به ۴۳ عنصر با روش تبدیل فوریه دو بعدی به حوزه فرکانس انتقال داده شده است. نقشه توزیع طیف توان عنصر مس در منطقه ظفرقند در شکل ۵-۹ مشاهده می‌شود. با استفاده از روش PCA داده‌های ژئوشیمی حوزه فرکانس شامل مقادیر طیف توان و اعداد موج عناصر مختلف را مورد تحلیل قرار دادیم. در این روش داده‌های حوزه فرکانس شامل ۴۳ ویژگی در ۲ ویژگی کلاسه‌بندی شده‌اند.



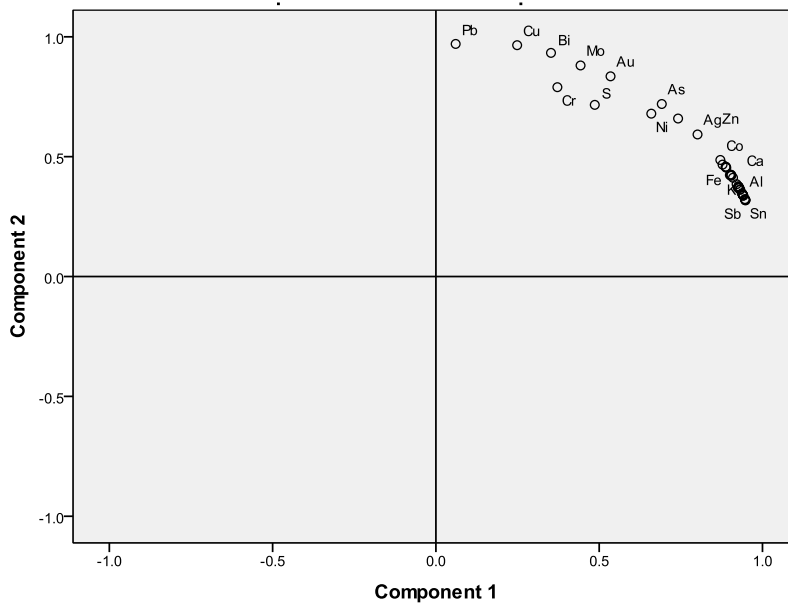
شکل ۵-۹- نقشه توزیع طیف توان عنصر مس در منطقه ظفرقند جنوبی

عناصر کانی‌سازی شامل عناصر Au، Ag، Cr، Ni، Bi، Cu، Mo، Pb، S و Zn در مؤلفه اصلی دوم قرار گرفته‌اند. این مؤلفه به عنوان فاکتور کانی‌سازی از مؤلفه اول جدا شده و مؤلفه اصلی اول به عنوان فاکتور زمینه شناسایی می‌شود. کاهش بعد فضای ویژگی از ۴۳ به ۲ ویژگی در این روش، نتیجه قابل توجهی در روش‌های کاهش بعد به حساب می‌آید. از طرفی داده‌های حوزه فرکانس ژئوشیمیایی دارای ویژگی‌هایی هستند که پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی را بهتر متمایز می‌کنند. به عبارتی فازهای کانی‌سازی الگوهای فرکانسی خاصی را در داده‌های ژئوشیمیایی ایجاد می‌کنند و عناصر مرتبط با کانی‌سازی دارای شباهت‌های فرکانسی زیادی با یکدیگر هستند. عناصر مرتبط با زمینه ژئوشیمیایی نیز در حوزه فرکانس ارتباط قوی‌تری با یکدیگر دارند. بر این اساس تفاوت بین عناصر کانی‌سازی و عناصر زمینه در حوزه فرکانس بهتر قابل شناسایی می‌باشد.

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی



شکل ۵-۱۰- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه مکان ژئوشیمیایی



شکل ۵-۱۱- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه فرکانس ژئوشیمیایی

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۲- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه مکان و فرکانس منطقه ظفرقند

حوزه مکان							حوزه فرکانس		
	مؤلفه‌های اصلی							مؤلفه‌های اصلی	
	۱	۲	۳	۴	۵	۶		۱	۲
Au	-.۱۰	-.۷۷	-.۰۵	-.۰۳	-.۱۷	-.۱۰	Au	-.۵۴	-.۸۴
Al	-.۲۰	-.۶۷	-.۳۶	-.۱۸	-.۲۳	-.۱۰	Al	-.۹۴	-.۳۴
Ca	-.۹۴	-.۰۲	-.۱۹	-.۰۸	-.۱۲	-.۰۰	Ca	-.۹۰	-.۴۲
Fe	-.۶۰	-.۶۰	-.۰۱	-.۳۰	-.۰۴	-.۱۲	Fe	-.۸۹	-.۴۴
K	-.۴۴	-.۱۷	-.۱۵	-.۸۳	-.۰۸	-.۰۲	K	-.۹۱	-.۴۲
Mg	-.۹۴	-.۰۶	-.۱۷	-.۱۸	-.۱۶	-.۰۴	Mg	-.۹۲	-.۳۹
Na	-.۰۵	-.۱۴	-.۷۲	-.۲۲	-.۲۰	-.۴۷	Na	-.۹۲	-.۳۷
Ag	-.۰۴	-.۶۵	-.۰۶	-.۰۸	-.۰۶	-.۱۳	Ag	-.۸۰	-.۵۹
As	-.۰۸	-.۹۳	-.۰۷	-.۰۸	-.۰۱	-.۱۲	As	-.۶۹	-.۷۲
Ba	-.۶۰	-.۱۵	-.۰۴	-.۷۲	-.۰۸	-.۰۳	Ba	-.۸۹	-.۴۴
Be	-.۵۳	-.۷۳	-.۴۳	-.۷۷	-.۰۴	-.۷۲	Be	-.۹۴	-.۳۴
Bi	-.۰۵	-.۸۸	-.۰۱	-.۰۹	-.۰۸	-.۰۹	Bi	-.۳۵	-.۹۳
Cd	-.۰۳	-.۶۹	-.۱۶	-.۱۶	-.۰۹	-.۵۰	Cd	-.۸۸	-.۴۷
Ce	-.۳۲	-.۷۶	-.۱۳	-.۰۴	-.۸۵	-.۰۱	Ce	-.۹۳	-.۳۸
Co	-.۸۱	-.۴۸	-.۱۳	-.۳۳	-.۰۶	-.۰۲	Co	-.۸۷	-.۴۹
Cr	-.۸۶	-.۰۲	-.۰۱	-.۰۹	-.۰۲	-.۰۵	Cr	-.۳۷	-.۷۹
Cs	-.۲۵	-.۰۳	-.۱۴	-.۱۹	-.۵۲	-.۰۱	Cs	-.۹۵	-.۳۲
Cu	-.۰۶	-.۹۳	-.۰۰	-.۱۱	-.۰۹	-.۰۷	Cu	-.۲۵	-.۹۷
La	-.۱۸	-.۲۸	-.۰۸	-.۰۷	-.۸۶	-.۰۲	La	-.۹۳	-.۳۸
Li	-.۹۴	-.۱۷	-.۰۵	-.۱۸	-.۰۳	-.۰۰	Li	-.۹۰	-.۴۲
Mn	-.۶۲	-.۳۶	-.۴۱	-.۰۷	-.۳۱	-.۳۳	Mn	-.۸۹	-.۴۵
Mo	-.۷۶	-.۶۷	-.۰۷	-.۳۲	-.۲۴	-.۲۱	Mo	-.۴۴	-.۸۸
Nb	-.۸۵	-.۳۰	-.۱۲	-.۰۳	-.۳۳	-.۰۸	Nb	-.۹۴	-.۳۵
Ni	-.۹۶	-.۰۳	-.۰۱	-.۱۱	-.۰۴	-.۰۳	Ni	-.۶۶	-.۶۸
P	-.۸۴	-.۰۹	-.۱۸	-.۱۱	-.۳۰	-.۱۵	P	-.۹۴	-.۳۴
Pb	-.۰۲	-.۹۵	-.۰۱	-.۰۸	-.۰۹	-.۰۲	Pb	-.۰۶	-.۹۷

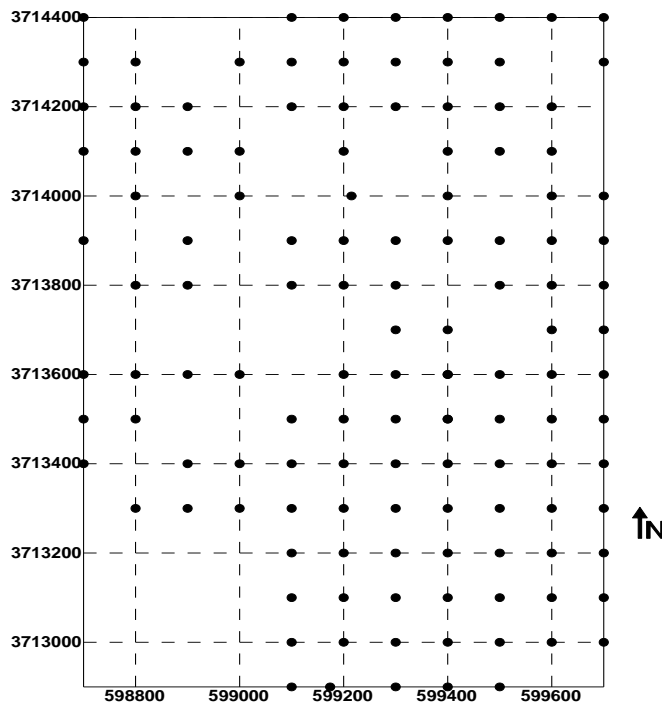
ادامه جدول ۵-۲

Rb	-.۲۳۸	-.۲۲۵	-.۲۳۸	-.۲۷۸	-.۱۰۷	-.۱۰۵	Rb	-.۱۹۳	-.۲۲۷
S	-.۱۷۸	-.۱۰۶	-.۱۷۰	-.۱۱۷	-.۲۲۲	-.۱۱۹	S	-.۲۹۹	-.۱۷۲
Sb	-.۲۳۸	-.۱۰۵	-.۲۲۲	-.۲۲۵	-.۱۱۷	-.۱۰۵	Sb	-.۱۹۵	-.۲۲۲
Sc	-.۱۸۸	-.۱۱۳	-.۱۱۶	-.۲۲۱	-.۱۱۸	-.۱۰۰	Sc	-.۱۹۴	-.۲۲۴
Sn	-.۲۲۹	-.۱۲۰	-.۲۴۲	-.۲۲۴	-.۱۱۸	-.۲۲۹	Sn	-.۱۹۵	-.۲۲۲
Sr	-.۲۶۹	-.۱۱۰	-.۱۲۰	-.۱۱۳	-.۲۲۱	-.۲۳۰	Sr	-.۱۹۱	-.۲۶۱
Te	-.۲۵۱	-.۲۵۵	-.۱۰۶	-.۲۲۱	-.۱۱۴	-.۲۲۵	Te	-.۱۹۵	-.۲۲۲
Th	-.۲۶۳	-.۲۲۳	-.۱۰۰	-.۲۶۷	-.۱۱۶	-.۱۰۳	Th	-.۱۹۳	-.۲۲۴
Ti	-.۱۸۲	-.۲۲۹	-.۱۱۹	-.۱۱۶	-.۲۲۲	-.۱۱۱	Ti	-.۱۹۴	-.۲۲۴
Tl	-.۱۷۰	-.۱۱۶	-.۲۲۵	-.۲۲۶	-.۱۱۷	-.۱۱۱	Tl	-.۱۹۵	-.۲۲۲
U	-.۲۲۹	-.۲۶۷	-.۲۶۶	-.۱۱۷	-.۱۱۲	-.۲۲۴	U	-.۱۹۴	-.۲۲۴
V	-.۱۹۳	-.۱۰۵	-.۱۱۱	-.۲۲۳	-.۱۰۸	-.۱۰۱	V	-.۱۹۳	-.۲۲۴
W	-.۱۱۲	-.۱۰۲	-.۱۰۴	-.۱۰۶	-.۱۰۲	-.۱۱۸	W	-.۱۹۴	-.۲۲۴
Y	-.۱۱۷	-.۱۰۴	-.۱۱۶	-.۱۰۳	-.۲۲۴	-.۱۰۶	Y	-.۱۹۰	-.۲۲۲
Yb	-.۲۲۷	-.۱۰۲	-.۱۱۳	-.۱۰۶	-.۲۲۲	-.۱۰۷	Yb	-.۱۹۳	-.۲۲۷
Zn	-.۱۱۷	-.۱۸۹	-.۲۲۴	-.۱۰۲	-.۱۱۳	-.۲۲۳	Zn	-.۱۷۴	-.۲۶۶
Zr	-.۱۹۳	-.۱۱۶	-.۱۰۵	-.۱۰۲	-.۱۰۹	-.۱۰۲	Zr	-.۱۹۳	-.۲۲۷

۳-۲-۵- کانی‌سازی آنتیموان شند محمود فردوس

در منطقه شند محمود تعداد ۱۲۸ نمونه ژئوشیمی از خاک به صورت برجا در قالب یک شبکه سیستماتیک برداشت گردیده است (شکل ۵-۱۲). این نمونه‌ها برای تعداد ۴۸ عنصر با روش ICP مورد آنالیز قرار گرفته است. با توجه به تعداد زیاد عناصر آنالیز شده به عنوان ویژگی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌ها، با استفاده از روش‌های کاهش بعد فضای ویژگی و کلاسه‌بندی داده‌ها می‌توان اطلاعات مناسبی در خصوص کانی‌سازی به‌دست آورد. روش PCA بر روی داده‌های ژئوشیمی در حوزه مکان انجام گرفته است. این روش توانسته است ۴۸ ویژگی برای داده‌های ژئوشیمی را در ۹ فاکتور کلاسه‌بندی کند (جدول

۳-۵ و شکل ۵-۱۴). مؤلفه اصلی ۲ به عنوان فاکتور کانی‌سازی شامل عناصر Pb، Ag، Cu، Au، Sb، U و Sn، Mn، Cd، Mo، As می‌باشد.

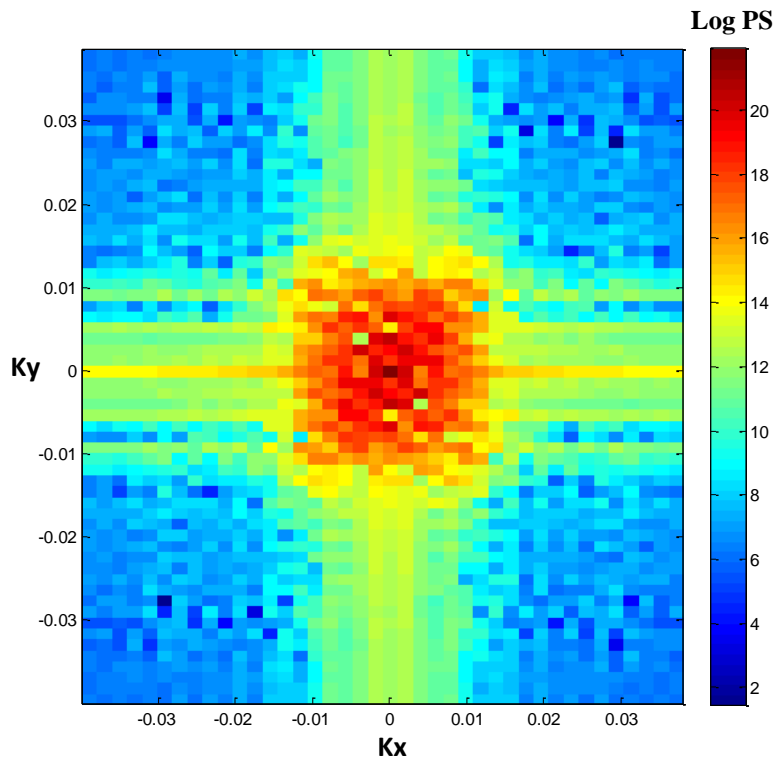


شکل ۵-۱۲- شبکه برداشت سیستماتیک نمونه‌های خاک در منطقه شند محمود

عناصر مرتبط با کانی‌سازی در حوزه مکان دارای خصوصیات مشابهی هستند و در روش PCA در یک فاکتور کلاسه‌بندی می‌شوند در حالی که عناصر بی‌ارتباط به فرآیند کانی‌سازی در مؤلفه‌های دیگر قرار گرفته و روش PCA نتوانسته است آنها را بر اساس ویژگی مشترک آنها که همان عدم ارتباط با کانی‌سازی است، در یک فاکتور کلاسه‌بندی کند. جهت بررسی ویژگی‌های فرکانسی عناصر، داده‌های ژئوشیمی در حوزه مکان با روش تبدیل فوریه به حوزه فرکانس انتقال داده شدند. شکل ۵-۱۳ نحوه توزیع طیف توان عنصر آنتیموان را نشان می‌دهد.

روش PCA بروی داده‌های حوزه فرکانس عناصر نیز انجام گرفت. در این حالت تعداد ۴۸ ویژگی فرکانسی داده‌های ژئوشیمی به ۲ ویژگی کاهش یافته است (جدول ۵-۳ و شکل ۵-۱۵). مؤلفه اصلی اول مربوط به زمینه و مؤلفه دوم فاکتور کانی‌سازی را نشان می‌دهد. کاهش بسیار شدید بعد فضای ویژگی داده‌ها در حوزه فرکانس در این منطقه مشابه نتایج دو منطقه قبل، قابل توجه است و کارآمدی اطلاعات حوزه

فرکانس را نشان می‌دهد. بر این اساس روش ترکیبی حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی و PCA می‌تواند به عنوان روشی جدید جهت کاهش بعد فضای ویژگی معرفی و در سایر تحلیل‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار گیرد.

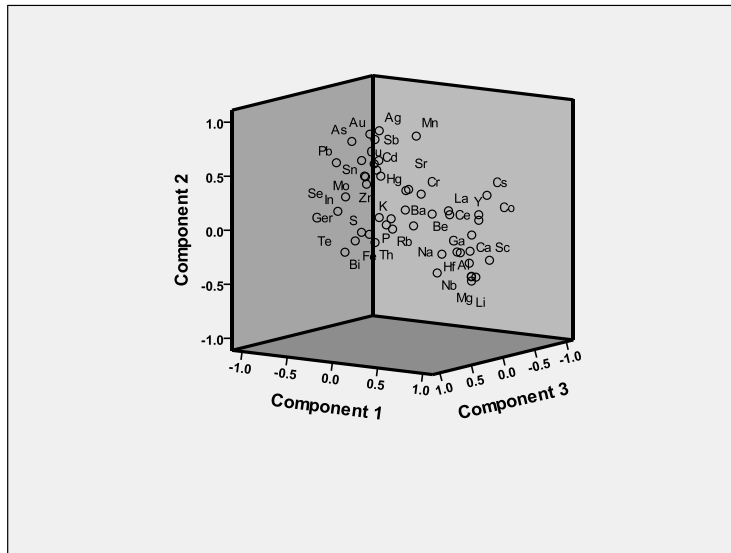


شکل ۵-۱۳- نقشه توزیع طیف توان عنصر آنتیموان در منطقه شند محمود

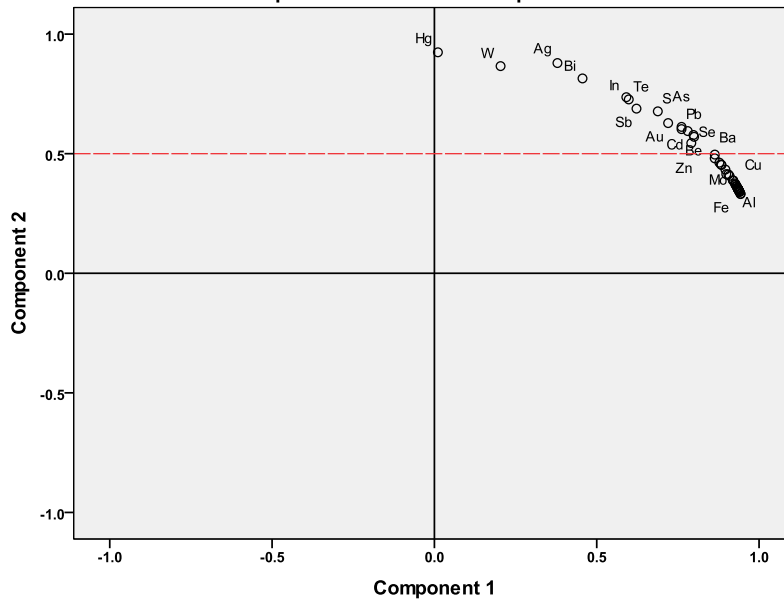
بنابراین در حوزه فرکانس، داده‌های ژئوشیمیایی دارای ویژگی‌های بارزی هستند که در آن به راحتی فرآیند کانی‌سازی از سایر پدیده‌های زمین‌شناسی قابل تشخیص خواهد بود که این تمایز در حوزه مکان به این شفافیت نیست. عناصر غیر مرتبط با کانی‌سازی در حوزه فرکانس با یکدیگر اشتراکات فرکانسی بالایی دارند و در یک فاکتور کلاسه‌بندی می‌شوند. مؤلفه دوم به عنوان فاکتور کانی‌سازی شامل عناصر $Sb, Au, Ag, Pb, As, Hg, Be, Bi, Cd, In, S, Se, Sn, Te$ و W می‌شود. برخی از این عناصر از جمله آنتیموان و طلا در فاکتور زمینه نیز مقادیر بالایی دارند. روش PCA بر روی داده‌های ژئوشیمی

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

حوزه فرکانس علاوه بر کاهش بعد فضای ویژگی و شناسایی عناصر مرتبط با کانی‌سازی، وضعیت شدت و ضعف کانی‌سازی در منطقه را نیز می‌تواند نشان دهد.



شکل ۵-۱۴- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه مکان ژئوشیمیایی منطقه شندمحمود



شکل ۵-۱۵- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های حوزه فرکانس ژئوشیمیایی منطقه شند محمود

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۳- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های ژئوشیمی حوزه مکان و فرکانس شندمحمود

حوزه مکان										حوزه فرکانس		
	مؤلفه‌های اصلی										مؤلفه‌های اصلی	
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹		۱	۲
Sb	-۱۷۵۴	-۷۷۶	-۱۷۵	-۱۱۸	-۱۱۶	-۱۳۴	-۱۴	-۱۷	-۱۹۱	Sb	-۱۶۳۳	-۱۶۸۸
Au	-۱۳۷۹	-۱۸۳	-۱۱۹	-۱۴۹	-۱۰۳	-۱۳۸	-۱۵۶	-۱۹	-۱۰۸	Au	-۷۷۲	-۱۶۳۸
Cu	-۱۶۳	-۱۶۵	-۱۵۳۸	-۱۱۸۸	-۱۰۴	-۱۱۴	-۱۱۸	-۱۳۱	-۱۳۵	Cu	-۱۸۸۳	-۱۴۵۵
Ag	-۱۳۸	-۱۸۴	-۱۰۳۹	-۱۱۵۳	-۱۰۵۵	-۱۰۳	-۱۰۳	-۱۰۳۵	-۱۰۱۳	Ag	-۱۳۷۹	-۱۸۷۹
Pb	-۱۳۳	-۱۶۳۷	-۱۵۷۶	-۱۰۶۳	-۱۰۷۸	-۱۰۸۶	-۱۰۳	-۱۱۹	-۱۰۱۴	Pb	-۷۷۶۱	-۱۶۱۳
Zn	-۱۰۳	-۱۴۵۱	-۱۵۳۹	-۱۳۳۶	-۱۰۳۳	-۱۰۵۷	-۱۳۴۴	-۱۵۱۸	-۱۱۱۱	Zn	-۱۸۶۴	-۱۴۹۶
As	-۱۳۵۱	-۷۸۳	-۱۳۰۳	-۱۰۶۳	-۱۰۱۵	-۱۰۶۳	-۱۱۷۵	-۱۰۱۸	-۱۰۰۶	As	-۷۷۶۱	-۱۶۰۳
Fe	-۱۳۳۳	-۱۰۶۳	-۱۸۵۷	-۱۰۳۱	-۱۰۸	-۱۰۴۳	-۱۳۷۴	-۱۰۴۳	-۱۰۳	Fe	-۱۹۲	-۱۳۸۷
Hg	-۱۰۴۳	-۱۳۹۹	-۱۱۱۱	-۱۰۶	-۱۰۳۱	-۱۰۹	-۱۵۰۹	-۱۰۴۱	-۱۴۶	Hg	-۱۰۱۱	-۱۹۳۴
Mo	-۱۰۳۳	-۱۵۳	-۱۵۵۵	-۱۰۷۵	-۱۰۰۳	-۱۰۴۵	-۱۳۹۶	-۱۰۳	-۱۳۵۵	Mo	-۱۸۸۴	-۱۴۵۳
Al	-۱۸۵۳	-۱۳۷۳	-۱۳۳	-۱۰۱	-۱۰۰۱	-۱۰۶۸	-۱۰۴۵	-۱۰۷۷	-۱۰۴	Al	-۱۹۳۵	-۱۳۵۳
Ba	-۱۰۷۳	-۱۱۱۱	-۱۰۴۵	-۱۰۵۶	-۱۳۰۹	-۱۰۳۶	-۱۰۶۴	-۱۰۰۷	-۱۸۳۶	Ba	-۱۸۶۳	-۱۴۸۱
Be	-۱۴۹۵	-۱۱۸۶	-۱۳۴	-۱۳۱۸	-۱۰۷۸	-۱۰۴۳	-۱۶۹۱	-۱۰۴۳	-۱۰۸	Be	-۷۷۹۸	-۱۵۷۸
Bi	-۱۰۳۳	-۱۰۳	-۱۸۶۶	-۱۰۹۳	-۱۰۴۱	-۱۱۸۶	-۱۰۹۱	-۱۰۸	-۱۳۰۴	Bi	-۱۴۵۶	-۱۸۱۵
Ca	-۱۴۶	-۱۰۹	-۱۳۳۵	-۱۵۰۳	-۱۳۱۸	-۱۰۳۶	-۱۰۶۳	-۱۰۵۵	-۱۳۰۵	Ca	-۱۹۳۴	-۱۳۵۶
Cd	-۱۰۱	-۱۵۳۷	-۱۳۶۶	-۱۱۰۴	-۱۰۸۵	-۱۰۹	-۱۰۶۸	-۱۵۷۷	-۱۳۳۹	Cd	-۷۷۸	-۱۵۹۵
Ce	-۱۳۳۷	-۱۰۶۱	-۱۰۴۵	-۱۰۴۳	-۱۳۳۳	-۱۰۳	-۱۰۴	-۱۰۱۵	-۱۰۸۹	Ce	-۱۹۴	-۱۳۴۱
Co	-۷۵۶	-۱۰۳	-۱۰۳۳	-۱۰۰۵	-۱۰۷۳	-۱۰۴۱۹	-۱۰۹۳	-۱۱۸۸	-۱۰۳۳	Co	-۱۹۳۶	-۱۳۵
Cr	-۱۰۳۳	-۱۳۸۳	-۱۱۱۷	-۱۳۳۴	-۱۰۰۵	-۱۰۳۹	-۱۰۱۹	-۱۶۷۵	-۱۱۸۷	Cr	-۱۹۳۱	-۱۳۶۳
Cs	-۱۵۳۱	-۱۳۴۶	-۱۵۷۵	-۱۰۱۱	-۱۳۳۸	-۱۰۳۷	-۱۰۳۷	-۱۰۱	-۱۱۷۱	Cs	-۱۹۳۶	-۱۳۷۶
Ga	-۷۰۵	-۱۰۴۳	-۱۳۸۶	-۱۰۰۷	-۱۰۶۷	-۱۳۵۷	-۱۰۰۴	-۱۰۵	-۱۳۳۸	Ga	-۱۹۳۶	-۱۳۴۹
Ge	-۱۳۴۵	-۱۳۰۴	-۷۷۴۹	-۱۰۳۷	-۱۰۶	-۱۰۹۴	-۱۳۵۹	-۱۰۵۷	-۱۳۳۸	Ge	-۱۹۳۷	-۱۳۴۹
Hf	-۱۳۷۸	-۱۳۷۳	-۱۳۷۳	-۷۷۱	-۱۰۸۱	-۱۰۳۳	-۱۰۴۸	-۱۰۸۷	-۱۰۳۹	Hf	-۱۹۳	-۱۳۶۵
In	-۱۰۳	-۱۳۳۵	-۱۸۳۹	-۱۰۸	-۱۰۷۷	-۱۰۳۳	-۱۰۵۹	-۱۰۷۳	-۱۰۸۴	In	-۱۵۹۱	-۷۷۳۶
K	-۱۰۹۹	-۱۰۵۴	-۱۰۴	-۱۳۰۴	-۱۰۳۷	-۱۹۳۵	-۱۰۵	-۱۰۰۳	-۱۰۰۸	K	-۱۹۳۶	-۱۳۵۱
La	-۱۳۱۸	-۱۰۹۴	-۱۰۴۳	-۱۳۳۳	-۷۷۱۵	-۱۰۳۸	-۱۰۴۹	-۱۰۳۱	-۱۰۶۵	La	-۱۹۳۸	-۱۳۴۶
Li	-۱۸۳۳	-۱۳۷۹	-۱۰۸۶	-۱۰۶۵	-۱۰۳۵	-۱۰۵۱	-۱۰۱۸	-۱۰۸۹	-۱۰۳۹	Li	-۱۹۳۷	-۱۳۷۳
Mg	-۷۷۴	-۱۰۴۳	-۱۰۵۳	-۱۳۵۳	-۱۰۸۳	-۱۰۸۴	-۱۰۴۶	-۱۰۳	-۱۰۶۹	Mg	-۱۹۲	-۱۳۸۸
Mn	-۱۰۷۸	-۷۶۸	-۱۳۳۷	-۱۰۳	-۱۰۷۵	-۱۰۳۱	-۱۰۹۹	-۱۳۳۳	-۱۰۴۴	Mn	-۱۹۰۵	-۱۴۱۴
Na	-۱۰۶۳	-۱۰۱۷	-۱۰۶۱	-۷۷۳	-۱۳۵۳	-۱۳۵۳	-۱۰۱۳	-۱۳۳۸	-۱۰۶۳	Na	-۱۸۹۶	-۱۴۳۴

ادامه جدول ۳-۵

حوزه مکان										حوزه فرکانس		
Nb	-/۴۲۲	-/۳۹۲	-/۰۵۸	-/۶۱۶	-/۰۷۲	-/۰۰۸	-/۰۳۲	-/۱۷۷	-/۰۹۱	Nb	-/۹۳۴	-/۳۵۴
Ni	-/۸۳۵	-/۱۳۹	-/۱۲۸	-/۱۴۰	-/۰۱۶	-/۲۰۱	-/۲۶۱	-/۰۹۳	-/۰۹۳	Ni	-/۹۳۳	-/۳۵۸
P	-/۱۵۶	-/۰۰۹	-/۰۳۵	-/۱۳۳	-/۸۴۹	-/۰۹۱	-/۰۲۷	-/۰۸۵	-/۰۳۳	P	-/۹۳۳	-/۳۳۱
Rb	-/۰۷	-/۰۳۷	-/۰۵۶	-/۰۸۴	-/۱۲۷	-/۹۳۲	-/۰۳۷	-/۰۲۹	-/۱۱۷	Rb	-/۹۳۹	-/۳۴۲
S	-/۲۱	-/۰۳۹	-/۳۴۸	-/۶۸۸	-/۱۶۸	-/۲۵۶	-/۱۸۵	-/۰۹۸	-/۱۷۶	S	-/۶۸۸	-/۶۷۷
Sc	-/۸۴۸	-/۲۶۴	-/۱۶۳	-/۰۸۲	-/۰۸۰	-/۰۸۷	-/۰۳۴	-/۱۵۸	-/۰۴۲	Sc	-/۹۴۰	-/۳۴۱
Se	-/۰۶۷	-/۳۷۰	-/۸۰۶	-/۱۶۱	-/۰۶۰	-/۰۹۲	-/۰۴۶	-/۰۷۵	-/۰۵۸	Se	-/۸۰۰	-/۵۷۱
Sn	-/۱۸	-/۴۳۵	-/۳۹۳	-/۳۴۷	-/۱۷۰	-/۱۳۱	-/۰۷۹	-/۱۹۷	-/۳۳۱	Sn	-/۷۹۱	-/۵۴۴
Sr	-/۰۲۷	-/۳۲۴	-/۰۵۶	-/۴۳۸	-/۲۸۶	-/۲۶۴	-/۰۸۱	-/۱۳۱	-/۳۳۳	Sr	-/۸۹۹	-/۴۱۵
Te	-/۰۸۰	-/۰۱۴	-/۸۶۵	-/۰۴۷	-/۱۲۶	-/۲۲۴	-/۰۹۹	-/۰۱۷	-/۰۹۵	Te	-/۵۹۹	-/۷۲۷
Th	-/۱۶۱	-/۱۶۸	-/۲۰۷	-/۱۳۲	-/۸۱۳	-/۲۰۶	-/۰۳۳	-/۰۲۳	-/۰۷۱	Th	-/۹۳۳	-/۳۳۳
Ti	-/۵۳۱	-/۳۴۲	-/۲۹۶	-/۵۴۰	-/۱۲۸	-/۰۳۸	-/۰۶۱	-/۲۸۲	-/۰۸۹	Ti	-/۸۷۸	-/۴۴۲
Tl	-/۲۲۶	-/۴۳۳	-/۰۳۳	-/۲۱۳	-/۰۳۹	-/۵۵۵	-/۲۷۶	-/۲۸۲	-/۰۰۷	Tl	-/۹۲۸	-/۳۷۰
U	-/۰۱	-/۶۵۱	-/۳۷۵	-/۳۰۰	-/۱۲۶	-/۱۹۶	-/۰۹۲	-/۲۰۸	-/۳۴۵	U	-/۹۰۹	-/۴۰۷
V	-/۷۷۲	-/۴۳۸	-/۰۱۵	-/۲۸۵	-/۰۸۵	-/۰۲۱	-/۰۹۹	-/۲۴۱	-/۰۳۵	V	-/۹۲۰	-/۳۸۸
W	-/۲۸	-/۴۴۵	-/۱۸۶	-/۱۲۰	-/۰۶۲	-/۰۰۶	-/۷۴۰	-/۰۰۷	-/۰۳۸	W	-/۲۰۴	-/۸۶۶
Y	-/۷۰۰	-/۱۳۷	-/۲۰۳	-/۱۶۰	-/۳۰۳	-/۳۴۰	-/۲۰۶	-/۲۵۰	-/۰۵۴	Y	-/۹۴۰	-/۳۴۰
Zr	-/۳۴۴	-/۲۴۲	-/۳۴۰	-/۷۲۸	-/۲۱۳	-/۱۰۱	-/۰۴۷	-/۱۱۸	-/۰۳۷	Zr	-/۹۳۴	-/۳۵۵

۳-۵- روش ضرایب فرکانسی عناصر

فرآیندهای مختلف کانی‌سازی و پدیده‌های متنوع زمین‌شناسی تأثیرات مختلفی بر روی هاله‌های ژئوشیمیایی و همچنین نقشه توزیع ژئوشیمیایی عناصر در سطح زمین می‌گذارند. آنومالی‌های ژئوشیمیایی سطحی نیز متأثر از فرآیندهای مختلف است. هر کدام از این فرآیندها می‌توانند الگوهای مختلفی را در توزیع ژئوشیمیایی عناصر و در آنومالی‌های ژئوشیمیایی ایجاد کنند. شناسایی و تشخیص این فرآیندها در تحلیل و تفسیر آنومالی‌ها اهمیت بالایی دارد. توزیع ژئوشیمیایی سطحی عناصر متأثر از ذخایر نزدیک سطح و ذخایر عمیق با یکدیگر تفاوت‌هایی دارد. به طور معمول هر چه از ذخیره معدنی

دورتر می‌شویم هاله ژئوشیمیایی عناصر ضعیف‌تر شده و تغییرات عیاری عناصر مرتبط با کانی‌سازی کمتر می‌شود و به عبارتی هاله‌های ژئوشیمیایی هموارتر می‌شوند و فرکانس‌های کوچکتری را در سطح ایجاد می‌کنند. از طرفی ذخایر و کانی‌سازی‌های نزدیک سطح می‌توانند تغییرات ژئوشیمیایی بیشتری را در سطح به‌وجود آورند و مؤلفه کانی‌سازی در فرکانس‌های بالای توزیع ژئوشیمیایی قابل شناسایی و تفکیک خواهد بود. یک ارتباط مفهومی مشخصی بین نحوه توزیع ژئوشیمیایی سطحی عناصر و آنومالی‌های ژئوشیمیایی با نحوه مهاجرت ژئوشیمیایی عنصر در اعماق مختلف وجود دارد. از این رو شناسایی، تجزیه و تعیین الگوهای مختلف موجود در داده‌های اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی از اهمیت بالایی برخوردار است. شناسایی این ارتباطات و تفسیر نقش فرآیندهای مختلف در توزیع آنومالی‌های سطحی و تفکیک آن‌ها از یکدیگر با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی در حوزه مکان بسیار دشوار است. به ویژه اینکه هر یک از داده‌های ژئوشیمیایی حوزه مکان متعلق به یک نقطه خاص مکانی بوده و مختصات جغرافیایی مخصوص به خود دارند از این رو در کنار سایر نقاط نمونه‌برداری، قابل تجزیه به الگوها و پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی و کانی‌سازی نخواهند بود. با انتقال داده‌ها به حوزه فرکانس و انجام تجزیه فرکانسی با استفاده از فیلترهای مختلف بالا، پایین و باندگذر می‌توان مؤلفه‌ها و فرآیندهای کانی‌سازی را به‌صورت مجزا مورد تحلیل قرار داد و آنها را به پدیده‌های مختلف نسبت داد. اطلاعات ژئوشیمیایی در حوزه فرکانس بر خلاف حوزه مکان مربوط به یک نقطه مکانی و موقعیت جغرافیایی خاص نبوده و به تمام محدوده معدنی تعلق دارد. از اینرو مؤلفه‌های تجزیه شده حاصل از آن در فرکانس‌های مختلف از نظر ژئوشیمیایی مربوط به توزیع ژئوشیمیایی عناصر در کل منطقه بوده و از نظر ژئوشیمیایی قابل تحلیل می‌باشند. همان‌طور که در فصل دوم بیان شد در مطالعات قبلی صورت گرفته توسط اندیشمندان مهندسی معدن در حوزه فرکانس و در روش فرکتالی طیف توان- مساحت، فرکانس- های بالا به نویزهای ژئوشیمیایی، فرکانس‌های پایین به مقادیر زمینه و فرکانس‌های میانی به آنومالی ارتباط داده شده است. این تحلیل‌ها و نتایج به‌دست آمده تنها بخشی از واقعیت‌های فرکانسی داده‌های

ژئوشیمیایی است و اطلاعات اکتشافی بیشتری در این حوزه قابل استنتاج است. فرکانس‌های پایین علاوه بر مقادیر زمینه شامل اطلاعاتی در خصوص ذخایر معدنی نیز می‌باشند و فرکانس‌های بالای ژئوشیمی نیز با پدیده‌های کانی‌سازی ارتباط دارند. کانی‌سازی‌های عمیق و پنهان می‌توانند فرکانس‌های بسیار پایینی ایجاد کنند و از طرفی کانی‌سازی‌های سطحی فرکانس‌های بالا را در داده‌های ژئوشیمی سطحی به وجود خواهند آورد. فرکانس‌های پایین در داده‌های ژئوشیمیایی سطحی می‌تواند ناشی از مقادیر زمینه ژئوشیمیایی و مقادیر آنومالی‌های عمیق باشد. بنابراین با تحلیل فرکانس‌های پایین داده‌های ژئوشیمیایی می‌توان در خصوص آنومالی‌های عمیق و وجود کانی‌سازی‌های پنهان و از طرفی وجود آنومالی‌های کاذب اظهار نظر کرد. فرکانس‌های بسیار بالا در اثر پدیده‌های زمین‌شناسی سطحی مانند کانی‌سازی‌های سطحی و کم عمق و یا نویزهای ژئوشیمیایی پدید می‌آیند. آنومالی‌های عمیق در فرکانس‌های بالا به خوبی قابل بررسی نخواهند بود و از طرفی در فرکانس‌های پایین بهتر قابل تحلیل هستند. بنابراین یک ارتباط معناداری بین عمق کانی‌سازی و فرکانس‌های ایجاد شده در توزیع ژئوشیمیایی سطحی عناصر کانی‌سازی وجود دارد. با استفاده از فیلترهای مختلف می‌توان باندهای فرکانسی مختلف را از یکدیگر مجزا کرد. با تجزیه فرکانسی داده‌های ژئوشیمیایی عناصر در سطح زمین و تفسیر مؤلفه کانی‌سازی در هر یک از این باندهای فرکانسی به صورت مجزا، می‌توان در خصوص ارتباط هر یک از این باندهای فرکانسی با اعماق کانی‌سازی اظهار نظر نمود. بر این اساس روش جدید ضرایب فرکانسی عناصر بر مبنای ویژگی‌های حوزه فرکانس عناصر، جهت یافتن آنومالی‌های پنهان و عمیق ارائه شده است. با استفاده از این روش می‌توان روند تغییرات کانی‌سازی در عمق را بدون استفاده از حفاری و انجام هزینه‌های بالا پیش‌بینی نمود. تشخیص آنومالی‌های واقعی از کاذب یکی از مسائل بسیار مهم در اکتشاف کانسارها به‌ویژه مس پورفیری است. روش ضرایب فرکانسی عناصر قادر خواهد بود آنومالی‌های کاذب را از واقعی با استفاده از اطلاعات حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی شناسایی

کند. تغییرات رفتار عناصر کانی‌سازی در فرکانس‌های پایین و بالا می‌تواند در تشخیص این نوع مناطق و کانی‌سازی‌ها مناسب باشد.

مراحل مختلف در روش ضرایب فرکانسی عناصر به صورت زیر تعریف می‌شود:

الف- ایجاد نقشه توزیع ژئوشیمیایی در سطح زمین برای تمام عناصر به صورت مجزا

ب- انتقال داده‌های ژئوشیمیایی (نقشه توزیع ژئوشیمیایی) عناصر از حوزه مکان به حوزه فرکانس با استفاده از روش تبدیل فوریه دو بعدی

ج- طراحی فیلترهای مختلف بر اساس مقادیر اعداد موج در جهت‌های افقی و قائم و مقادیر طیف توان
د- اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده‌های حوزه فرکانس تمام عناصر و تشکیل باندهای فرکانسی مختلف

ه- تشکیل ماتریس‌های جدید بر اساس اعداد موج و مقادیر طیف توان تمام عناصر در هر باند فرکانسی
و- تحلیل داده‌های حوزه فرکانس در ماتریس‌های جدید برای هر باند فرکانسی به صورت مجزا و بر اساس روش PCA و شناسایی مؤلفه کانی‌سازی

ز- ترسیم نمودار ضرایب فرکانسی عناصر بر اساس مقادیر ضرایب مؤلفه‌های کانی‌سازی به ترتیب از باند فرکانسی بالا به باند فرکانسی پایین روش ضرایب فرکانسی عناصر در سه منطقه کانی‌سازی مس-طلائی دالی، منطقه شند محمود فردوس و منطقه کانی‌سازی مس - مولیبدن ظفرقند انجام گرفته است.

۱-۳-۵- انجام روش ضرایب فرکانسی عناصر بر روی منطقه کانی‌سازی دالی

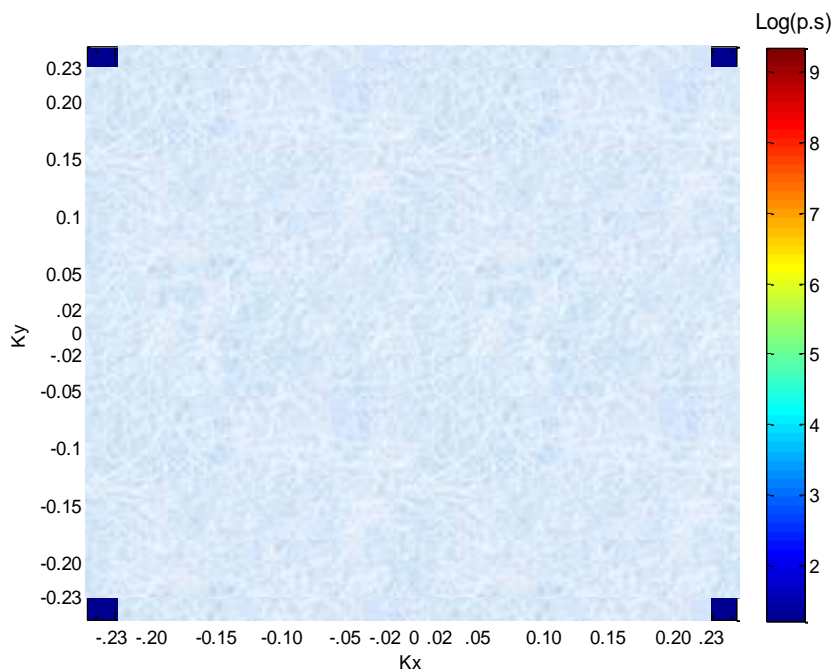
بعد از انتقال داده‌های ژئوشیمیایی سطحی از حوزه مکان به حوزه فرکانس با استفاده از تبدیل فوریه دو بعدی، با توجه به مقادیر اعداد موج در جهت افقی و قائم و مقادیر طیف توان، تعداد ۱۰ فیلتر جهت تجزیه این داده‌ها طراحی گردید. فیلترهای طراحی شده به صورت $G(K_x, K_y)$ بوده و تابعی از اعداد موج در جهت‌های افقی و قائم می‌باشند. این فیلترها بر روی نقشه توزیع طیف توان عناصر و بر مبنای مقادیر مطلق اعداد موج در جهت افقی و قائم اعمال می‌شوند. این فیلترها شامل فیلترهای بالا، پایین و

باندگذر هستند. فیلترهای طراحی شده بر روی نقشه توزیع فرکانسی تمام عناصر به صورت مجزا اعمال می‌شود. در نتیجه استفاده از این فیلترها و حذف برخی فرکانس‌ها، تعداد ۱۰ باند فرکانسی مشخص به دست خواهد آمد. باندهای فرکانسی مورد نظر همراه با تابع فیلتر مورد نیاز به صورت زیر تعریف می‌شوند:

باند فرکانسی ۱: این فیلتر، فرکانس‌های بالا با عدد موج بالاتر از ۰/۲۳ در جهت افقی و قائم را از خود عبور می‌دهد و فرکانس‌های پایین را از داده‌ها حذف می‌کند. این فیلتر بالاگذر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \geq 0.23 \quad \text{and} \quad |k_y| \geq 0.23 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-1)$$

شکل ۵-۱۶ نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن در منطقه را نشان می‌دهد که با استفاده از فیلتر بالاگذر مزبور (در تصویر به صورت روشن) مؤلفه‌های فرکانس پایین حذف شده است.

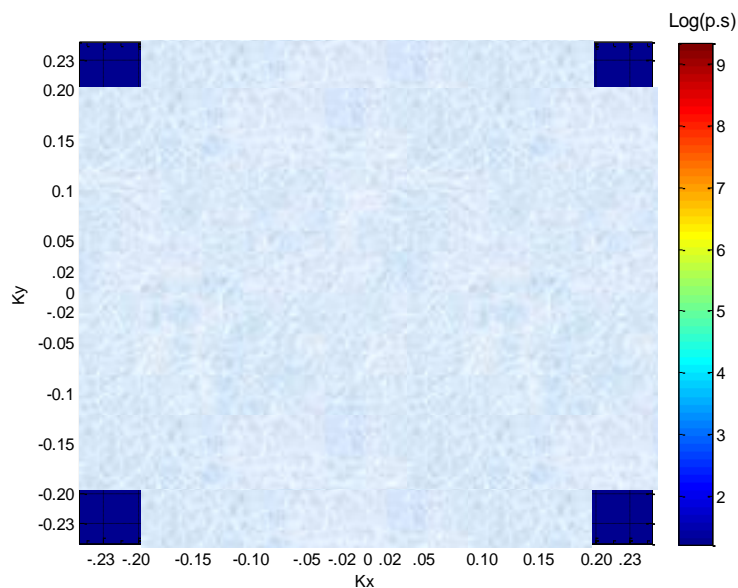


شکل ۵-۱۶- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۱

باند فرکانسی ۲: جهت تغییر بازه فرکانسی از فیلتر بالاگذر دیگری نیز استفاده شده است که نسبت به فیلتر قبلی فرکانس‌های بیشتری را شامل می‌شود. این فیلتر فرکانس‌هایی با عدد موج بالاتر از ۰/۲۰ در جهت افقی و قائم را از خود عبور می‌دهد و سایر فرکانس‌ها را حذف می‌کند. باند فرکانسی ۲ بر اساس این فیلتر به دست می‌آید و با صورت زیر تعریف و بر روی داده‌ها اعمال می‌شود:

$$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \geq 0.20 \quad \text{and} \quad |k_y| \geq 0.20 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-2)$$

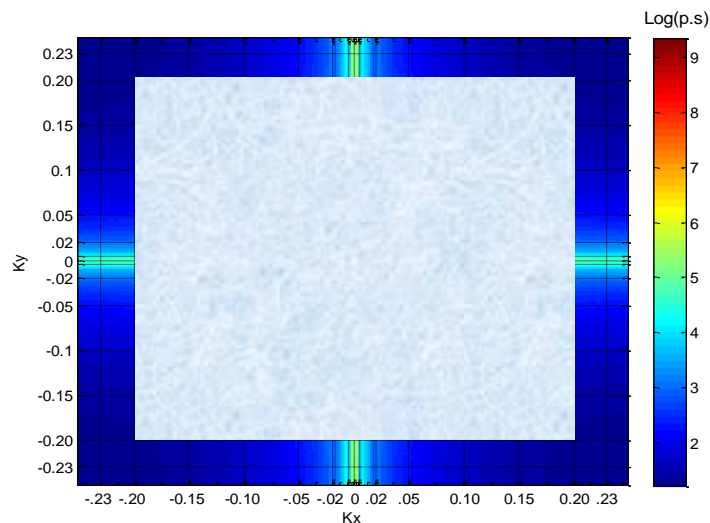
شکل ۵-۱۷ باند فرکانسی ۲ را نشان می‌دهد. با استفاده از یک فیلتر بالا گذر، فرکانس‌های پایین در نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن به صورت شماتیک حذف شده است (در تصویر به صورت روشن).



شکل ۵-۱۷ - نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۲
 باند فرکانسی ۳: در این باند فرکانسی، فرکانس‌هایی با عدد موج بالاتر از ۰/۲۰ در جهت x یا در جهت y از فیلتر طراحی شده عبور داده می‌شوند. در این حالت ممکن است فرکانس تنها در یک جهت بالا باشد و در جهت دیگر پایین‌تر از حد مشخص شده باشد. رابطه مربوط به فیلتر اعمال شده به صورت زیر است:

$$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \geq 0.20 \quad \text{OR} \quad |k_y| \geq 0.20 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-3)$$

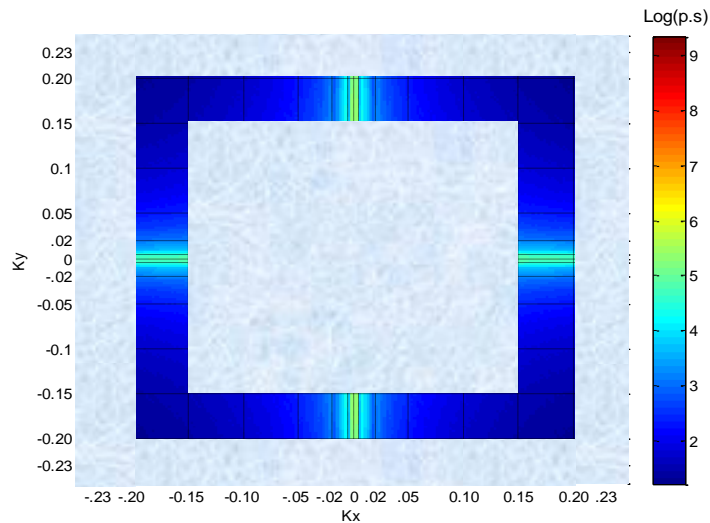
شکل (۵-۱۸) نحوه اعمال فیلتر مورد نظر را بر روی نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن نشان می‌دهد که با استفاده از فیلتر بالاگذر مؤلفه‌های فرکانس پایین حذف شده است.



شکل ۵-۱۸- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۳ باند فرکانسی ۴: این باند فرکانسی از فرکانس‌هایی تشکیل شده است که اعداد موج آن کوچکتر از ۰/۲۰ و حداقل در یکی از جهت‌های افقی و عمودی بین ۰/۲۰ و ۰/۱۵ باشد. فیلتر استفاده شده در این باند بر اساس رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.20 \text{ and } \{0.15 \leq |k_x| \leq 0.20 \text{ OR } 0.15 \leq |k_y| \leq 0.20\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-4)$$

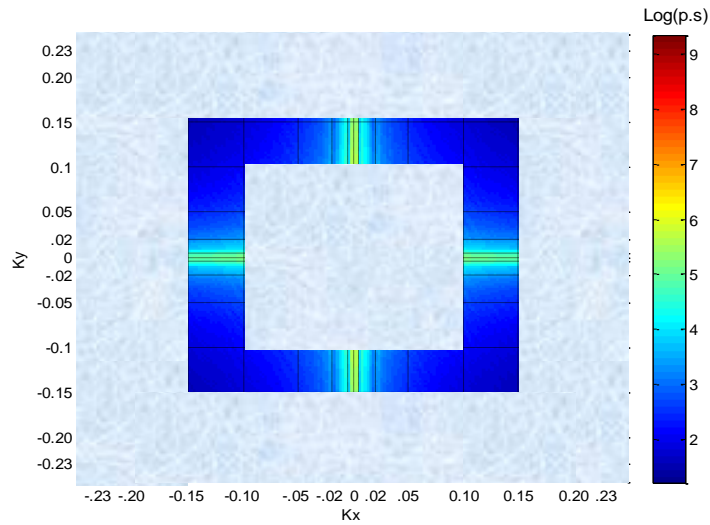
محدوده فرکانسی مورد نظر و نحوه اعمال فیلتر بر روی نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن در شکل ۵-۱۹ نمایش داده شده است.



شکل ۵-۱۹- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۴ باند فرکانسی ۵: این باند فرکانسی نسبت به حالت قبل دارای فرکانس‌های کوچکتری بوده و از فرکانس‌هایی تشکیل شده‌است که اعداد موج پایین‌تر از ۰/۱۵ داشته و عدد موج آن حداقل در یکی از جهت‌های افقی و عمودی بین ۰/۱۰ و ۰/۱۵ باشد. فیلتر طراحی شده در این باند بر اساس رابطه زیر تعریف و بر روی داده‌ها اعمال می‌گردد:

$$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.15 \text{ and } \{0.10 \leq |k_x| \leq 0.15 \text{ OR } 0.10 \leq |k_y| \leq 0.15\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-5)$$

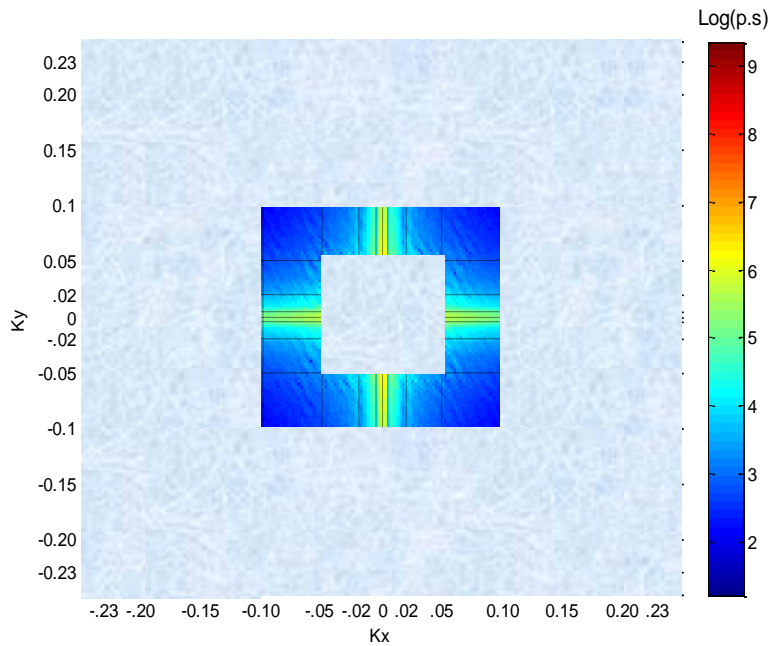
شکل ۵-۲۰- محدوده فرکانسی مزبور همراه با نحوه اعمال فیلتر بر روی نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۰- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۵ باند فرکانسی ۶: این باند فرکانسی از فرکانس‌هایی تشکیل شده است که اعداد موج پایین‌تر از ۰/۱۰ داشته و عدد موج آن حداقل در یکی از جهت‌های افقی و عمودی بین ۰/۱۰ و ۰/۰۵ باشد. شرایط وجود فرکانس‌ها در این باند بر اساس فیلتر زیر تعریف و بر روی داده‌ها اعمال می‌گردد:

$$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.10 \text{ and } \{0.05 \leq |k_x| \leq 0.10 \text{ OR } 0.05 \leq |k_y| \leq 0.10\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-6)$$

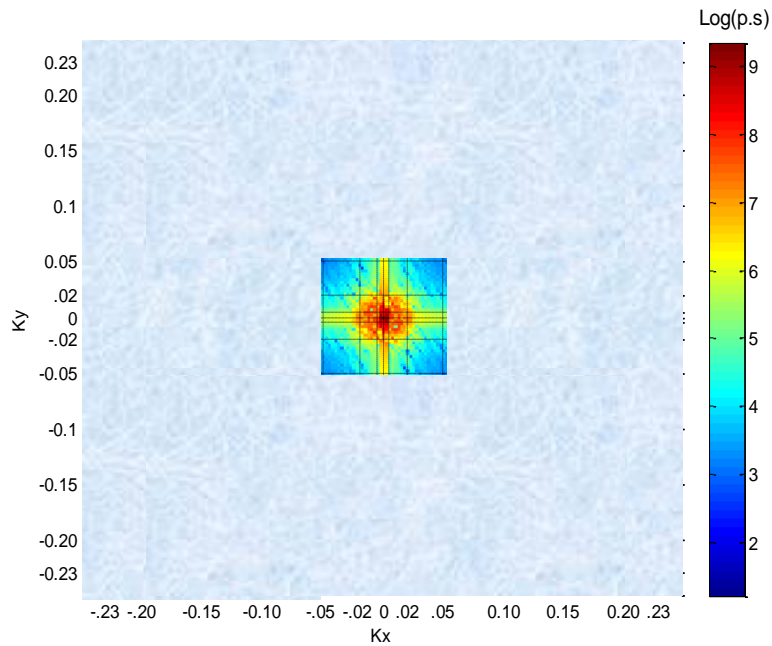
شکل ۵-۲۱- محدوده فرکانسی مزبور همراه با نحوه اعمال فیلتر بر روی نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۱- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۶ باند فرکانسی ۷: این باند فرکانسی دارای فرکانس‌های کوچکی بوده و از فرکانس‌هایی تشکیل شده است که اعداد موج پایین‌تر از ۰/۰۵ داشته باشند. شرایط وجود فرکانس‌ها در این باند بر اساس رابطه زیر تعریف و بر روی داده‌ها اعمال می‌گردد:

$$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.05 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-7)$$

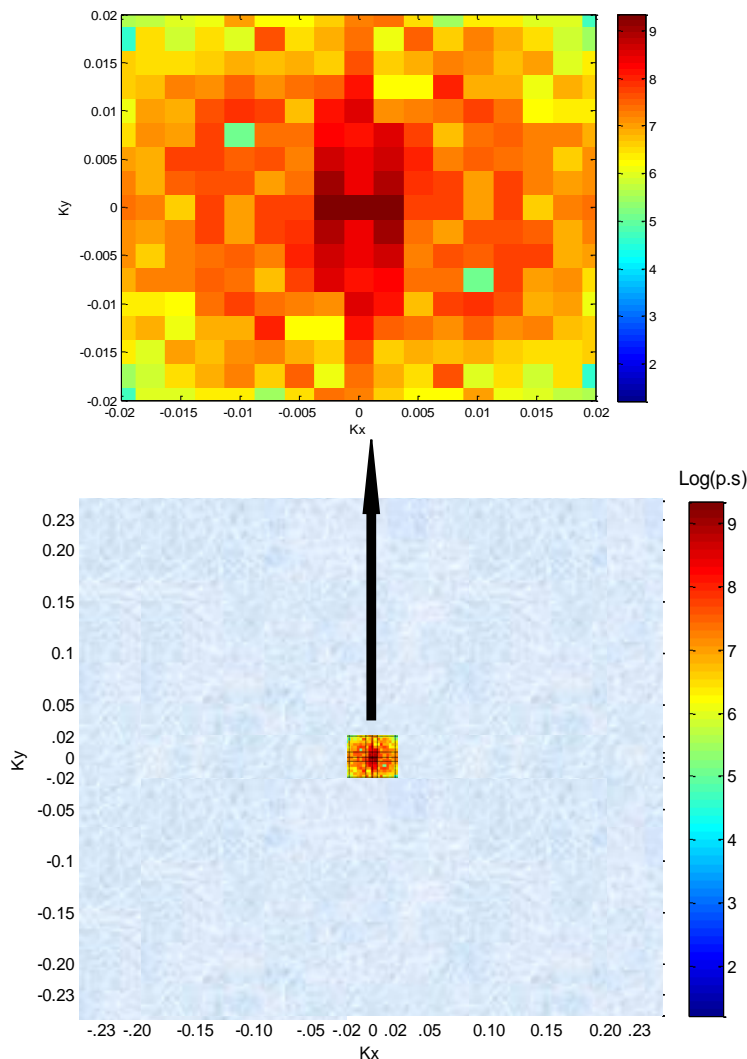
شکل ۵-۲۲ محدوده فرکانسی مزبور همراه با نحوه اعمال فیلتر پایین‌گذر بر روی نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۲- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۷ باند فرکانسی ۸: این باند فرکانسی دارای فرکانس‌های پایینی بوده و از فرکانس‌هایی تشکیل شده است که اعداد موج پایین‌تر از ۰/۰۲ داشته باشند. فیلتر طراحی شده در این باند بر اساس رابطه زیر تعریف و بر روی داده‌ها اعمال می‌گردد:

$$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.02 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-8)$$

شکل ۵-۲۳- محدوده فرکانسی مزبور همراه با نحوه اعمال فیلتر پایین‌گذر بر روی نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۳- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۸ باند فرکانسی ۹: این باند فرکانسی دارای فرکانس‌های بسیار پایینی بوده و از فرکانس‌هایی تشکیل شده است که اعداد موج پایین‌تر از ۰/۰۰۵ داشته باشند. شرایط وجود فرکانس‌ها در این باند بر اساس رابطه زیر تعریف و بر روی داده‌ها اعمال می‌گردد:

$$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.005 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۵-۹)$$

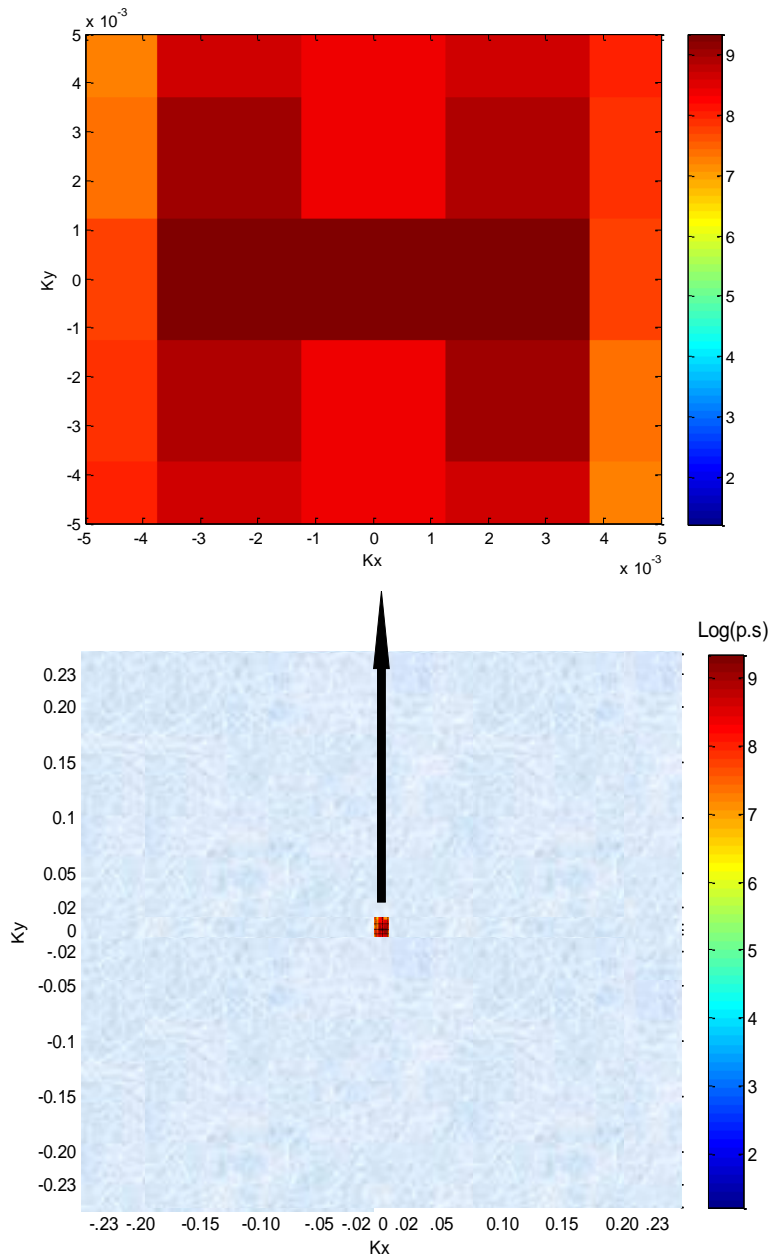
شکل ۵-۲۴ محدوده فرکانسی مزبور همراه با نحوه اعمال فیلتر پایین‌گذر بر روی نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن را نشان می‌دهد.

باند فرکانسی ۱۰: این باند فرکانسی دارای فرکانس‌های بسیار پایینی بوده و از فرکانس‌هایی تشکیل شده است که اعداد موج پایین‌تر از ۰/۰۰۲۵ داشته باشند. شرایط وجود فرکانس‌ها در این باند بر اساس رابطه زیر تعریف و بر روی داده‌ها اعمال می‌گردد:

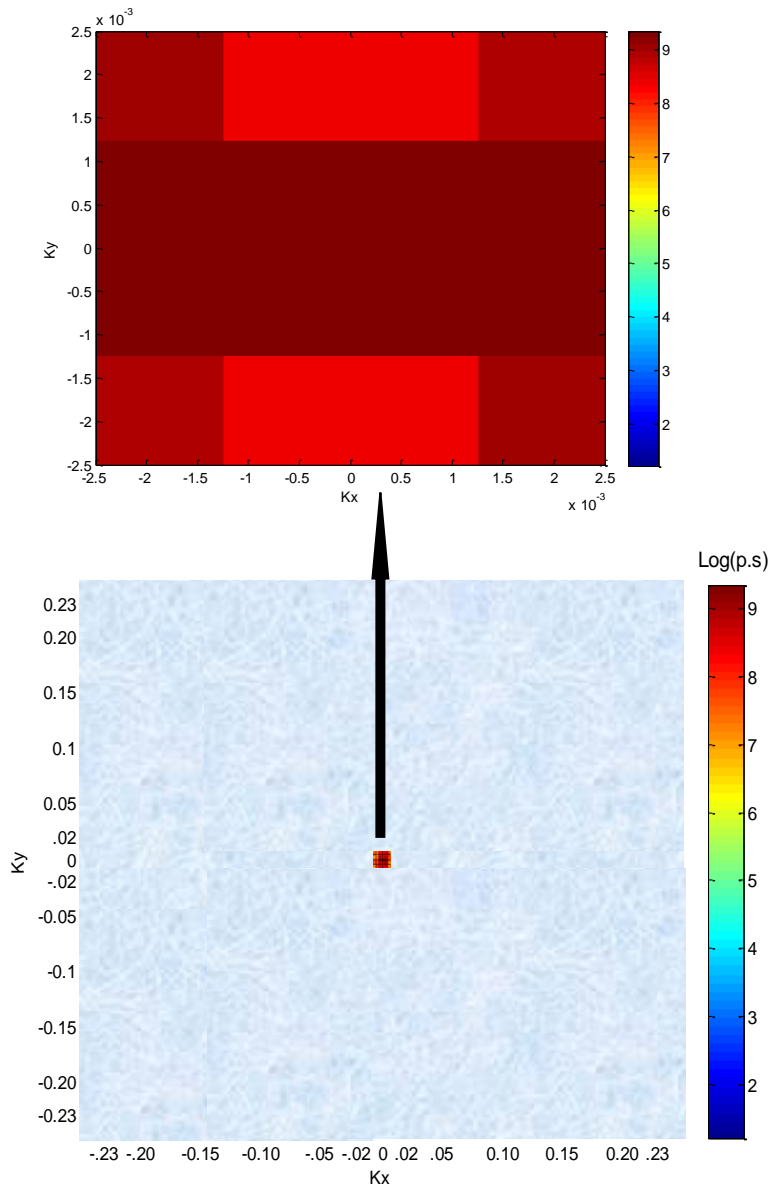
شکل ۵-۲۵ محدوده فرکانسی مزبور همراه با نحوه اعمال فیلتر پایین‌گذر بر روی نقشه توزیع فرکانسی

$$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.0025 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-10)$$

عنصر مولیبدن را نشان می‌دهد. بعد از استفاده از فیلترهای طراحی شده و ایجاد باندهای فرکانسی مختلف، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی این باندها به صورت مجزا انجام گرفته است. تحلیل این باندهای فرکانسی به صورت مجزا اطلاعات مفیدی در خصوص وضعیت کانی‌سازی در هر بازه فرکانسی ارائه می‌کند. نتایج روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی این داده‌ها در جداول ۵-۴، ۵-۵، ۵-۶ و شکل ۵-۲۶ نشان داده شده است.



شکل ۵-۲۴- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۹ در بازه فرکانسی ۱ که بزرگترین فرکانس‌ها و کوچکترین مقادیر طیف توان را در بر دارد تعداد مؤلفه‌های اصلی حاصل از داده‌ها زیاد بوده (۶ مؤلفه) که می‌تواند نشانه تأثیر پارامترها و عوامل مختلف زمین‌شناسی و کانی‌سازی در این بازه فرکانسی باشد. مؤلفه ۴ به عنوان مؤلفه کانی‌سازی عمل می‌کند و عناصر مؤثر در این فاکتور کانی‌سازی شامل طلا، باریم، کروم و مس می‌باشد.



شکل ۵-۲۵- نقشه توزیع فرکانسی عنصر مولیبدن و فیلتر طراحی شده در باند فرکانسی ۱۰

علامت تمام این عناصر در جدول حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی مثبت است و در این بازه فرکانسی بین این عناصر تمایزی حاصل نشده است. با توجه به حضور عناصر باریوم و کروم همراه مس و طلا در مؤلفه کانی‌سازی و از طرفی تعداد بالای مؤلفه‌های اصلی به‌دست آمده در این باند فرکانسی، این باند فرکانسی ممکن است تحت تأثیر نویزهای ژئوشیمی یا پدیده‌های سطحی قرار گرفته باشد. عنصر مولیبدن نیز در مؤلفه ۶ قرار گرفته و ارتباطی با کانی‌سازی مس و طلا نشان نمی‌دهد.

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی باند فرکانسی ۲ انجام شده و داده‌ها را به ۵ مؤلفه اصلی تقسیم کرده است. تعداد مؤلفه‌های اصلی در این بازه فرکانسی نسبت به نتایج باند قبلی کاهش پیدا کرده است که می‌تواند نشانه کاهش نویزهای ژئوشیمیایی و کاهش تعداد پدیده‌های زمین‌شناسی و اکتشافی باشد. در این باند فرکانسی مؤلفه ۴ مربوط به کانی‌سازی بوده و در این مؤلفه عناصر مس و طلا به عنوان عناصر کانی‌سازی دیده می‌شوند. عناصر باریم، کروم نسبت به حالت قبل (فرکانس‌های خیلی بالا) از مؤلفه کانی‌سازی خارج شده‌اند که نشان می‌دهد ارتباط قوی با فرآیند کانی‌سازی ندارند. عنصر مولیبدن در مؤلفه اصلی اول قرار گرفته و ارتباطی با عناصر مس و طلا در این بازه فرکانسی نشان نمی‌دهد.

در باند فرکانسی ۳ با کاهش فرکانس داده‌های ژئوشیمی تعداد مؤلفه‌های اصلی کاهش می‌یابد در این باند فرکانسی، سه مؤلفه اصلی تعیین شده و مؤلفه ۳ به عنوان مؤلفه کانی‌سازی شناخته شده است. مؤلفه کانی‌سازی شامل عناصر مس، طلا، بور، باریم، سلنیم، کبالت و پتاسیم می‌باشد. این تنوع عناصر در مؤلفه کانی‌سازی به دلیل نوع فیلتر طراحی شده و حضور فرکانس‌های خیلی بالا و نویزها در داده‌ها است. بنابراین وجود فرکانس‌های بالا در داده‌ها می‌تواند دقت تحلیل داده‌ها را کاهش دهد.

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۴، داده‌های ژئوشیمی حوزه فرکانس را در ۳ مؤلفه قرار می‌دهد. مؤلفه ۳ به عنوان مؤلفه کانی‌سازی شناخته می‌شود و شامل عناصر طلا، مس، بور، باریم، سلنیم، پتاسیم و تیتانیم می‌باشد. عنصر مولیبدن در مؤلفه اصلی اول و مجزا از مس و طلا قرار گرفته است.

در باند فرکانسی ۵، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های ژئوشیمی را به ۳ مؤلفه تقسیم می‌کند. عناصر طلا، مس، بور، باریم، سلنیم و پتاسیم در مؤلفه ۳ قرار دارند. عنصر مولیبدن در مؤلفه اصلی اول قرار گرفته است. نتایج باند فرکانسی ۳، ۴ و ۵ شبیه یکدیگر است.

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های باند فرکانسی ۶ را در ۲ مؤلفه قرار می‌دهد. مؤلفه ۲ به عنوان مؤلفه کانی‌سازی شناخته می‌شود و شامل عناصر طلا، مس، مولیبدن و گوگرد می‌باشد. عنصر مولیبدن برای اولین بار در این بازه فرکانسی در مؤلفه کانی‌سازی همراه مس و طلا قرار گرفته و عناصر کانی‌سازی به

صورت بسیار شفاف و قابل توجه از سایر عناصر مجزا شده‌اند. نتایج مربوط به باندهای فرکانسی ۷ و ۸ شبیه باند ۶ است. در باند فرکانسی ۸ نسبت به باندهای ۶ و ۷ ضرایب عناصر مس و طلا در فاکتور کانی‌سازی روند کاهشی داشته و در نقشه ترسیم شده برای مؤلفه‌های اصلی، به عناصر مربوط به فاکتور زمینه نزدیک و از مولیبدن فاصله می‌گیرند. به عبارتی شباهت و ارتباط مس و طلا به عناصر زمینه در حال افزایش و شباهت و ارتباط مولیبدن به این دو عنصر رو به کاهش است. مولیبدن در حال جدا شدن از تمام عناصر است و میزان اهمیت عنصر مولیبدن در فاز کانی‌سازی در حال افزایش می‌باشد. در باند فرکانسی ۹، داده‌های ژئوشیمی حوزه فرکانس در ۲ مؤلفه قرار می‌گیرند. مؤلفه ۲ به عنوان مؤلفه کانی-سازی شناخته می‌شود و شامل عناصر طلا، مس و مولیبدن می‌باشد. عنصر مولیبدن در فرکانس‌های پایین در مؤلفه کانی‌سازی همراه مس و طلا قرار گرفته و عناصر کانی‌سازی به خوبی از سایر عناصر مجزا شده‌اند. در این باند نسبت به حالت قبل عناصر مس و طلا به سایر عناصر نزدیک و از مولیبدن فاصله می‌گیرند که در مقادیر مؤلفه اصلی اول در جدول و شکل قابل مشاهده است. عنصر گوگرد نیز از مؤلفه کانی‌سازی جدا شده و به سایر عناصر (عناصر زمینه) می‌پیوندد و در این بازه فرکانسی با کانی-سازی ارتباطی نشان نمی‌دهد. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۱۰ (دارای کوچکترین فرکانس‌ها)، داده‌های ژئوشیمی حوزه فرکانس را در ۲ مؤلفه قرار می‌دهد. با توجه به روند جدایش مولیبدن از سایر عناصر همراه با کاهش فرکانس که در باندهای قبلی دیده می‌شود در این باند فرکانسی عنصر مولیبدن به طور کامل در مؤلفه کانی‌سازی از سایر عناصر جدا شده و از طرفی عناصر مس و طلا به عناصر موجود در مؤلفه زمینه می‌پیوندد. فرکانس‌های پایین می‌تواند در ارتباط با مقادیر زمینه باشد و انتظار است که تغییرات عناصر مرتبط با مقادیر زمینه به یکدیگر شباهت داشته باشد و عناصر زمینه رفتارهای فرکانسی مشابهی داشته باشند. حضور تمامی این تعداد عناصر در یک مؤلفه علی‌رغم شمار زیاد آنها، به صورت جالب توجهی این تحلیل را تأیید می‌کند. بنابراین حضور عناصر مس و طلا در کنار سایر عناصر در مؤلفه زمینه به دلیل شباهت در نحوه توزیع این دو عنصر با سایر عناصر در این باند

فرکانسی است. تغییرات مولیبدن در فرکانس‌های پایین متفاوت از سایر عناصر است و نسبت به سایر عناصر بی‌هنجاری نشان می‌دهد. این موضوع نشان می‌دهد که علاوه بر مقادیر زمینه پارامترهای دیگری نیز در توزیع مولیبدن در این باند فرکانسی تأثیرگذار بوده‌اند که در ارتباط با آنومالی مولیبدن در این باند فرکانسی می‌باشند. بنابراین در فرکانس‌های با عدد موج پایین‌تر از $0/0025$ نوع کانی‌سازی تغییر کرده و مولیبدن به عنوان عنصر مربوط به کانی‌سازی شناسایی شده و در مؤلفه اصلی اول به عنوان مؤلفه کانی‌سازی قرار می‌گیرد. بنابراین دو فاکتور کانی‌سازی و زمینه در باندهای فرکانسی پایین وجود دارند. مؤلفه کانی‌سازی در این باند مرتبط با کانی‌سازی‌های عمیق و پنهان می‌باشد.

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۴- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه فرکانس در باندهای ۱ و ۲

	مؤلفه‌های اصلی در باند ۱							مؤلفه‌های اصلی در باند ۲				
	۱	۲	۳	۴	۵	۶		۱	۲	۳	۴	۵
Au	-۰.۰۳	--۰.۱۴	--۰.۰۱	-۰.۸۲	--۰.۰۲	-۰.۸۳	Au	-۰.۱۹	-۰.۰۴	-۰.۱۴	-۰.۸۶	-۰.۸۸
Al	-۰.۸۵	-۰.۰۰	--۰.۳۷	-۰.۸۳	-۰.۱۹	--۰.۰۹	Al	-۰.۸۷	-۰.۳۴	-۰.۳۳	-۰.۳۱	-۰.۰۴
As	-۰.۰۲	-۰.۵۱	-۰.۳۲	-۰.۳۴	-۰.۳۵	-۰.۰۹	As	-۰.۶۵	-۰.۶۱	-۰.۳۵	-۰.۳۹	--۰.۰۳
B	-۰.۰۹	-۰.۶۳	-۰.۱۱	-۰.۴۱	-۰.۳۷	-۰.۳۸	B	-۰.۶۴	-۰.۶۲	-۰.۳۰	-۰.۳۱	-۰.۰۳
Ba	--۰.۰۳	-۰.۳۷	--۰.۴۱	-۰.۵۴	--۰.۱۱	--۰.۰۴	Ba	-۰.۸۵	--۰.۰۲	--۰.۱۹	-۰.۳۴	-۰.۸۰
Ca	--۰.۰۵	--۰.۰۳	--۰.۰۳	--۰.۰۷	-۰.۸۰	-۰.۱۹	Ca	-۰.۳۵	--۰.۰۴	-۰.۸۶	-۰.۱۷	--۰.۱۵
Ce	--۰.۱۵	-۰.۹۱	-۰.۰۸	--۰.۰۶	--۰.۳۴	--۰.۰۱	Ce	-۰.۴۱	-۰.۸۸	--۰.۰۵	-۰.۰۹	-۰.۸۳
Co	-۰.۰۹	--۰.۰۸	-۰.۰۲	--۰.۱۳	-۰.۱۵	--۰.۱۷	Co	-۰.۹۱	-۰.۱۷	-۰.۰۷	-۰.۸۳	--۰.۰۳
Cr	-۰.۸۷	-۰.۴۴	-۰.۸۴	-۰.۶۲	-۰.۳۳	--۰.۱۶	Cr	-۰.۶۴	-۰.۵۶	-۰.۳۳	-۰.۳۶	-۰.۰۹
Cu	--۰.۰۳	--۰.۰۹	-۰.۳۶	-۰.۸۷	-۰.۰۱	-۰.۳۳	Cu	-۰.۴۱	-۰.۳۸	-۰.۳۴	-۰.۸۶	-۰.۰۴
Fe	--۰.۰۲	-۰.۳۹	-۰.۳۳	-۰.۰۴	-۰.۳۰	-۰.۶۸	Fe	-۰.۵۷	-۰.۶۳	-۰.۳۷	-۰.۳۹	--۰.۰۱
Ga	-۰.۸۷	--۰.۰۷	--۰.۳۵	-۰.۰۶	--۰.۰۶	--۰.۰۹	Ga	-۰.۹۳	-۰.۳۳	-۰.۱۱	-۰.۸۶	-۰.۰۴
K	-۰.۸۷	-۰.۰۱	--۰.۸۷	-۰.۰۳	-۰.۰۶	-۰.۸۴	K	-۰.۸۰	-۰.۸۳	-۰.۳۳	--۰.۰۱	-۰.۴۶
La	--۰.۱۶	-۰.۹۳	-۰.۰۶	--۰.۰۶	--۰.۱۴	-۰.۰۴	La	-۰.۴۷	-۰.۸۵	-۰.۰۵	-۰.۸۰	-۰.۸۳
Li	-۰.۵۸	-۰.۵۴	--۰.۰۶	-۰.۰۴	-۰.۳۹	-۰.۰۷	Li	-۰.۸۵	-۰.۵۴	-۰.۳۴	-۰.۳۷	-۰.۰۵
Mg	-۰.۸۱	-۰.۰۲	--۰.۵۷	--۰.۰۳	-۰.۳۰	-۰.۰۰	Mg	-۰.۸۶	-۰.۳۴	-۰.۳۰	-۰.۸۵	-۰.۸۲
Mn	-۰.۸۲	-۰.۳۹	--۰.۰۲	-۰.۳۳	-۰.۸۲	-۰.۰۵	Mn	-۰.۸۹	-۰.۵۰	-۰.۳۳	-۰.۳۸	-۰.۰۰
Mo	-۰.۸۵	--۰.۱۳	--۰.۱۲	-۰.۳۶	-۰.۸۵	-۰.۶۹	Mo	-۰.۶۵	-۰.۴۹	-۰.۳۹	-۰.۳۸	-۰.۰۰
Na	--۰.۳۳	-۰.۶۱	-۰.۳۳	--۰.۳۹	--۰.۳۳	-۰.۳۲	Na	-۰.۰۵	-۰.۸۹	-۰.۰۱	--۰.۰۷	--۰.۰۴
Ni	-۰.۳۶	-۰.۶۲	-۰.۰۶	-۰.۵۱	-۰.۳۸	-۰.۳۶	Ni	-۰.۶۹	-۰.۵۹	-۰.۳۸	-۰.۳۰	-۰.۰۳
P	--۰.۰۶	--۰.۳۳	--۰.۱۲	-۰.۸۲	-۰.۰۴	-۰.۳۷	P	-۰.۰۲	-۰.۰۸	-۰.۸۷	-۰.۰۹	-۰.۰۳
Pb	-۰.۸۳	--۰.۱۶	-۰.۴۳	--۰.۱۱	--۰.۳۱	--۰.۱۳	Pb	-۰.۵۷	--۰.۰۶	--۰.۴۳	-۰.۸۶	--۰.۵۸
S	-۰.۵۸	--۰.۰۹	-۰.۰۲	-۰.۰۳	--۰.۱۶	-۰.۳۸	S	-۰.۸۶	-۰.۴۶	-۰.۳۶	-۰.۳۵	--۰.۰۶
Sc	--۰.۰۷	-۰.۸۷	-۰.۸۰	-۰.۸۸	--۰.۰۸	-۰.۳۰	Sc	-۰.۳۴	-۰.۶۸	-۰.۰۸	-۰.۴۶	--۰.۰۴
Sr	-۰.۰۶	--۰.۰۱	-۰.۰۴	-۰.۰۷	-۰.۸۹	-۰.۸۴	Sr	-۰.۶۲	-۰.۰۴	-۰.۵۴	-۰.۳۸	--۰.۰۳
Ti	--۰.۱۲	-۰.۳۳	-۰.۸۶	-۰.۸۷	-۰.۳۳	-۰.۰۷	Ti	-۰.۳۸	-۰.۶۶	-۰.۳۱	-۰.۴۱	--۰.۳۵
V	--۰.۰۰	-۰.۵۰	-۰.۳۷	--۰.۰۵	-۰.۸۸	-۰.۸۶	V	-۰.۶۰	-۰.۶۸	-۰.۳۳	-۰.۳۴	--۰.۰۴
Y	-۰.۳۶	-۰.۸۹	--۰.۰۰	--۰.۰۰	--۰.۳۳	--۰.۳۵	Y	-۰.۵۹	-۰.۶۸	--۰.۱۸	-۰.۰۱	-۰.۸۳
Zn	-۰.۸۳	-۰.۰۸	--۰.۰۶	-۰.۰۳	--۰.۰۲	-۰.۰۰	Zn	-۰.۸۴	-۰.۴۳	-۰.۱۱	-۰.۳۱	--۰.۰۴
Zr	-۰.۰۴	-۰.۵۹	-۰.۸۹	-۰.۳۷	--۰.۳۴	-۰.۰۶	Zr	-۰.۶۶	-۰.۶۴	-۰.۱۱	-۰.۳۹	-۰.۰۱

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۵- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه فرکانس در باندهای ۳، ۴، ۵ و ۶

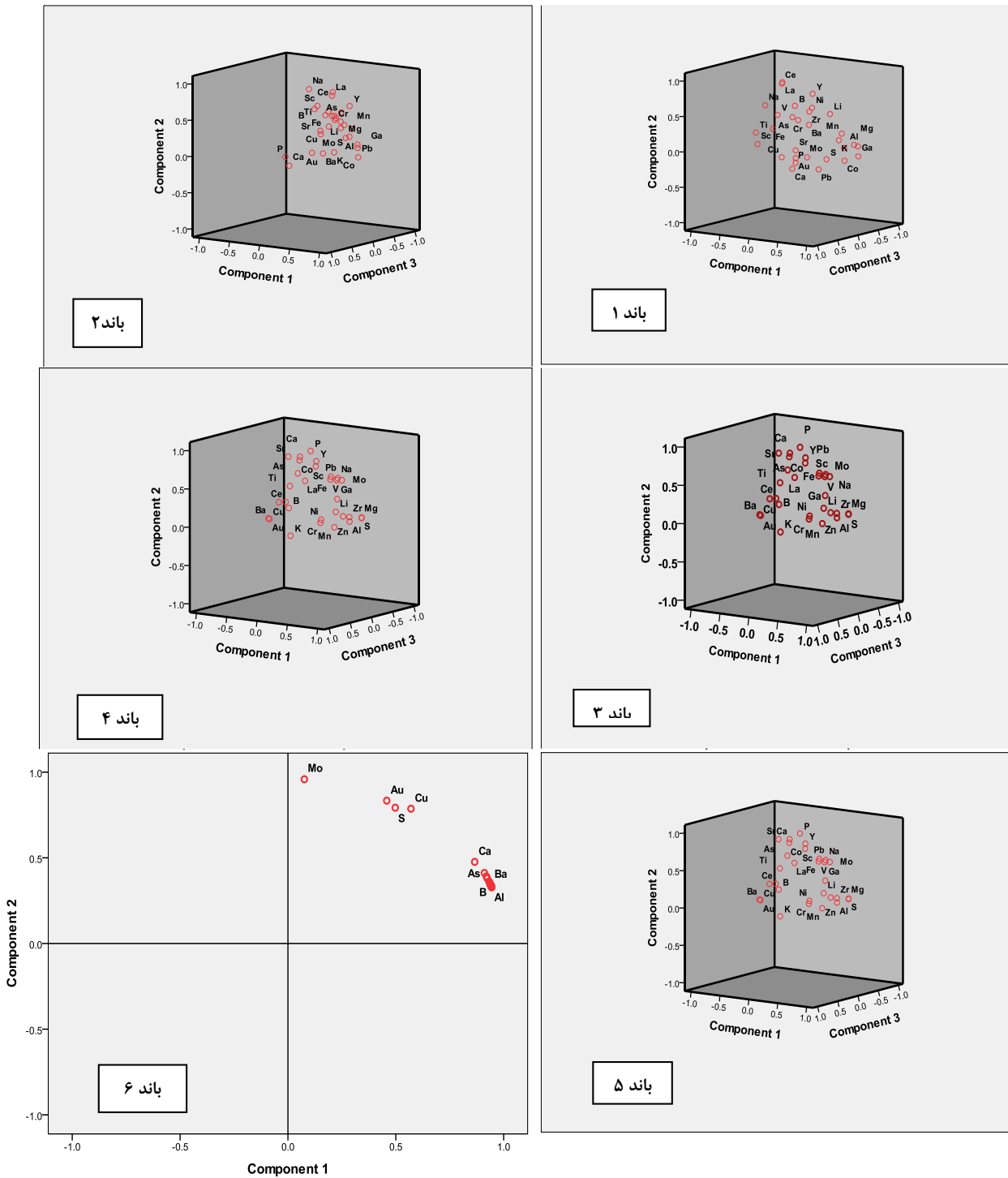
	مؤلفه‌های باند ۳				مؤلفه‌های باند ۴				مؤلفه‌های باند ۵				مؤلفه‌های باند ۶	
	۱	۲	۳		۱	۲	۳		۱	۲	۳		۱	۲
Au	۰/۱۰۶	۰/۲۱۰	۰/۹۷۰	Au	۰/۱۰۶	۰/۲۱۰	۰/۹۷۰	Au	۰/۱۰۴	۰/۲۰۷	۰/۹۷۱	Au	۰/۳۵۸	۰/۸۳۴
Al	۰/۹۰۱	۰/۱۵۱	۰/۷۲۰	Al	۰/۹۰۲	۰/۱۴۹	۰/۷۱۸	Al	۰/۹۰۱	۰/۱۴۷	۰/۷۱۸	Al	۰/۹۳۴	۰/۳۳۲
As	۰/۱۸۲	۰/۸۹۷	۰/۳۷۱	As	۰/۱۸۲	۰/۸۹۸	۰/۳۶۹	As	۰/۱۸۰	۰/۸۹۷	۰/۳۷۲	As	۰/۹۱۱	۰/۳۱۲
B	۰/۳۳۸	۰/۳۶۱	۰/۸۶۲	B	۰/۳۳۹	۰/۳۶۳	۰/۸۶۱	B	۰/۳۳۵	۰/۳۵۸	۰/۸۶۴	B	۰/۹۳۲	۰/۳۶۱
Ba	۰/۰۸۳	۰/۲۱۵	۰/۹۶۶	Ba	۰/۰۸۵	۰/۲۱۶	۰/۹۶۶	Ba	۰/۰۸۲	۰/۲۱۳	۰/۹۶۷	Ba	۰/۹۳۹	۰/۳۳۳
Ca	۰/۱۵۱	۰/۹۳۲	۰/۳۱۳	Ca	۰/۱۵۰	۰/۹۳۳	۰/۳۱۲	Ca	۰/۱۴۸	۰/۹۳۲	۰/۳۱۳	Ca	۰/۸۶۶	۰/۳۷۶
Ce	۰/۲۸۶	۰/۳۳۱	۰/۸۲۷	Ce	۰/۲۸۶	۰/۳۳۳	۰/۸۲۶	Ce	۰/۲۸۲	۰/۳۲۸	۰/۸۲۰	Ce	۰/۹۳۳	۰/۳۳۱
Co	۰/۷۹۱	۰/۷۶۴	۰/۵۶۷	Co	۰/۷۹۰	۰/۷۶۶	۰/۵۶۵	Co	۰/۷۸۸	۰/۷۶۴	۰/۵۶۹	Co	۰/۹۳۲	۰/۳۳۵
Cr	۰/۷۲۰	۰/۷۷۹	۰/۶۵۳	Cr	۰/۷۲۳	۰/۷۷۸	۰/۶۵۰	Cr	۰/۷۱۹	۰/۷۷۶	۰/۶۵۵	Cr	۰/۹۳۸	۰/۳۳۷
Cu	۰/۱۹۷	۰/۳۳۳	۰/۸۷۶	Cu	۰/۱۹۶	۰/۳۳۵	۰/۸۷۵	Cu	۰/۱۹۳	۰/۳۱۹	۰/۸۷۸	Cu	۰/۵۷۰	۰/۷۸۶
Fe	۰/۶۳۹	۰/۶۸۵	۰/۳۱۲	Fe	۰/۶۳۸	۰/۶۸۷	۰/۳۱۰	Fe	۰/۶۳۸	۰/۶۸۶	۰/۳۱۱	Fe	۰/۹۳۳	۰/۳۳۳
Ga	۰/۸۰۳	۰/۳۵۳	۰/۳۷۲	Ga	۰/۸۰۳	۰/۳۵۳	۰/۳۷۰	Ga	۰/۸۰۳	۰/۳۵۳	۰/۳۷۲	Ga	۰/۹۳۴	۰/۳۳۰
K	۰/۳۰۰	۰/۰۱۳	۰/۹۰۰	K	۰/۳۰۳	۰/۰۱۱	۰/۸۹۹	K	۰/۳۰۶	۰/۰۱۱	۰/۹۰۲	K	۰/۹۳۲	۰/۳۳۶
La	۰/۳۷۵	۰/۶۸۲	۰/۵۸۶	La	۰/۳۷۳	۰/۶۸۳	۰/۵۸۳	La	۰/۳۷۲	۰/۶۸۲	۰/۵۸۸	La	۰/۹۳۳	۰/۳۳۱
Li	۰/۸۳۵	۰/۳۰۲	۰/۳۵۳	Li	۰/۸۳۷	۰/۳۰۲	۰/۳۵۰	Li	۰/۸۳۵	۰/۳۰۰	۰/۳۵۳	Li	۰/۹۳۸	۰/۳۳۶
Mg	۰/۹۷۱	۰/۱۷۶	۰/۰۳۳	Mg	۰/۹۷۱	۰/۱۷۵	۰/۰۳۳	Mg	۰/۹۷۱	۰/۱۷۴	۰/۰۳۱	Mg	۰/۹۳۴	۰/۳۳۰
Mn	۰/۸۳۹	۰/۱۱۲	۰/۵۰۹	Mn	۰/۸۵۱	۰/۱۱۰	۰/۵۰۵	Mn	۰/۸۳۸	۰/۱۰۹	۰/۵۱۰	Mn	۰/۹۳۳	۰/۳۵۶
Mo	۰/۶۹۲	۰/۶۶۹	۰/۷۲۵	Mo	۰/۶۹۲	۰/۶۶۹	۰/۷۲۳	Mo	۰/۶۹۲	۰/۶۶۹	۰/۷۲۳	Mo	۰/۰۷۶	۰/۶۵۸
Na	۰/۶۷۶	۰/۶۸۶	۰/۱۷۸	Na	۰/۶۷۶	۰/۶۸۷	۰/۱۷۷	Na	۰/۶۷۵	۰/۶۸۸	۰/۱۷۵	Na	۰/۹۳۹	۰/۳۳۳
Ni	۰/۷۲۱	۰/۴۱۶	۰/۶۴۹	Ni	۰/۷۲۳	۰/۴۱۵	۰/۶۴۷	Ni	۰/۷۲۰	۰/۴۱۳	۰/۶۴۱	Ni	۰/۹۳۰	۰/۳۳۲
P	۰/۱۵۷	۰/۹۷۵	۰/۰۷۱	P	۰/۱۵۷	۰/۹۷۵	۰/۰۷۲	P	۰/۱۵۵	۰/۹۷۵	۰/۰۶۹	P	۰/۹۳۴	۰/۳۳۰
Pb	۰/۶۲۹	۰/۷۱۳	۰/۳۶۸	Pb	۰/۶۲۸	۰/۷۱۳	۰/۳۶۷	Pb	۰/۶۲۸	۰/۷۱۳	۰/۳۶۹	Pb	۰/۹۳۹	۰/۳۳۳
S	۰/۶۶۲	۰/۷۷۹	۰/۰۲۱	S	۰/۶۶۲	۰/۷۷۸	۰/۰۲۰	S	۰/۶۶۲	۰/۷۷۸	۰/۰۱۹	S	۰/۳۶۷	۰/۷۹۳
Sc	۰/۳۳۷	۰/۷۷۹	۰/۰۷۱	Sc	۰/۳۳۱	۰/۷۸۲	۰/۰۷۱	Sc	۰/۳۳۳	۰/۷۸۰	۰/۰۶۸	Sc	۰/۹۳۰	۰/۳۳۲
Sr	۰/۰۰۰	۰/۹۳۶	۰/۳۳۰	Sr	۰/۰۰۰	۰/۹۳۶	۰/۳۳۸	Sr	۰/۰۰۱	۰/۹۳۵	۰/۳۳۰	Sr	۰/۹۳۳	۰/۳۸۱
Ti	۰/۳۳۰	۰/۶۱۸	۰/۷۲۵	Ti	۰/۳۶۹	۰/۶۲۱	۰/۷۲۳	Ti	۰/۳۶۹	۰/۶۱۵	۰/۷۲۷	Ti	۰/۹۳۸	۰/۳۳۵
V	۰/۷۱۳	۰/۶۵۷	۰/۱۳۱	V	۰/۷۱۳	۰/۶۵۷	۰/۱۲۹	V	۰/۷۱۳	۰/۶۵۷	۰/۱۲۷	V	۰/۹۳۰	۰/۳۳۲
Y	۰/۳۳۳	۰/۸۸۳	۰/۳۳۵	Y	۰/۳۳۳	۰/۸۸۶	۰/۳۳۵	Y	۰/۳۳۱	۰/۸۸۶	۰/۳۳۳	Y	۰/۹۳۵	۰/۳۳۸
Zn	۰/۸۵۹	۰/۲۳۷	۰/۳۱۶	Zn	۰/۸۶۱	۰/۲۳۶	۰/۳۱۳	Zn	۰/۸۵۸	۰/۲۳۵	۰/۳۱۶	Zn	۰/۹۳۳	۰/۳۳۲
Zr	۰/۸۵۹	۰/۱۹۶	۰/۱۶۵	Zr	۰/۸۶۰	۰/۱۹۵	۰/۱۶۴	Zr	۰/۸۵۹	۰/۱۹۴	۰/۱۶۱	Zr	۰/۹۳۴	۰/۳۳۰

جدول ۵-۶- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های حوزه فرکانس در باندهای ۷، ۸، ۹ و ۱۰

	مؤلفه‌های باند ۷		مؤلفه‌های باند ۸		مؤلفه‌های باند ۹		مؤلفه‌های باند ۱۰				
	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲			
Au	./۳۵۹	./۸۳۳	Au	./۳۶۸	./۸۳۳	Au	./۶۱۳	./۶۸۱	Au	./۸۶۸	./۲۱۲
Al	./۹۳۳	./۳۳۲	Al	./۹۳۳	./۳۳۲	Al	./۹۶۰	./۲۸۱	Al	./۹۹۰	./۱۳۶
As	./۹۱۱	./۳۱۲	As	./۹۱۱	./۳۱۲	As	./۹۳۵	./۳۳۶	As	./۹۵۶	./۱۶۹
B	./۹۳۲	./۳۶۱	B	./۹۳۲	./۳۶۲	B	./۹۵۵	./۲۹۸	B	./۹۹۰	./۱۳۱
Ba	./۹۳۹	./۳۳۳	Ba	./۹۳۹	./۳۳۳	Ba	./۹۶۰	./۲۷۹	Ba	./۹۹۲	./۱۳۳
Ca	./۸۶۶	./۳۳۶	Ca	./۸۷۰	./۳۶۲	Ca	./۹۳۲	./۳۰۲	Ca	./۹۸۲	./۱۳۳
Ce	./۹۳۳	./۳۳۱	Ce	./۹۳۳	./۳۳۲	Ce	./۹۶۰	./۲۸۰	Ce	./۹۹۰	./۱۳۲
Co	./۹۳۲	./۳۳۶	Co	./۹۳۱	./۳۳۲	Co	./۹۵۹	./۲۸۵	Co	./۹۹۰	./۱۳۸
Cr	./۹۳۸	./۳۳۲	Cr	./۹۳۲	./۳۳۸	Cr	./۹۵۶	./۲۹۳	Cr	./۹۸۹	./۱۳۸
Cu	./۵۷۱	./۷۸۶	Cu	./۵۷۶	./۷۸۱	Cu	./۶۷۸	./۶۸۳	Cu	./۸۶۳	./۳۵۹
Fe	./۹۳۳	./۳۳۳	Fe	./۹۳۲	./۳۳۵	Fe	./۹۶۰	./۲۸۱	Fe	./۹۹۱	./۱۳۶
Ga	./۹۳۳	./۳۳۰	Ga	./۹۳۳	./۳۳۲	Ga	./۹۶۰	./۲۷۹	Ga	./۹۹۱	./۱۳۵
K	./۹۳۲	./۳۳۶	K	./۹۳۲	./۳۳۲	K	./۹۶۱	./۲۷۶	K	./۹۹۱	./۱۳۳
La	./۹۳۳	./۳۳۱	La	./۹۳۳	./۳۳۲	La	./۹۶۰	./۲۸۰	La	./۹۹۰	./۱۳۶
Li	./۹۳۸	./۳۳۶	Li	./۹۳۸	./۳۳۸	Li	./۹۵۷	./۲۸۹	Li	./۹۹۰	./۱۳۲
Mg	./۹۳۳	./۳۳۰	Mg	./۹۳۳	./۳۳۱	Mg	./۹۶۱	./۲۷۷	Mg	./۹۹۱	./۱۳۳
Mn	./۹۳۳	./۳۵۶	Mn	./۹۳۳	./۳۵۷	Mn	./۹۵۵	./۲۹۶	Mn	./۹۹۰	./۱۳۳
Mo	./۰۷۶	./۹۵۸	Mo	./۰۷۳	./۹۵۷	Mo	./۰۵۶	./۹۵۲	Mo	./۱۱۳	./۹۹۰
Na	./۹۳۹	./۳۳۳	Na	./۹۳۹	./۳۳۳	Na	./۹۶۰	./۲۷۹	Na	./۹۹۱	./۱۳۹
Ni	./۹۲۰	./۳۹۲	Ni	./۹۱۹	./۳۹۳	Ni	./۹۳۳	./۳۳۰	Ni	./۹۸۵	./۱۳۳
P	./۹۳۳	./۳۳۰	P	./۹۳۳	./۳۳۲	P	./۹۶۰	./۲۷۹	P	./۹۹۰	./۱۳۶
Pb	./۹۳۹	./۳۳۳	Pb	./۹۳۹	./۳۳۳	Pb	./۹۶۰	./۲۸۱	Pb	./۹۹۲	./۱۳۶
S	./۳۹۹	./۷۹۱	S	./۵۷۱	./۷۷۳	S	./۸۱۰	./۳۳۷	S	./۹۱۷	./۲۷۵
Sc	./۹۳۹	./۳۳۲	Sc	./۹۳۹	./۳۳۳	Sc	./۹۵۷	./۲۸۹	Sc	./۹۸۹	./۱۳۹
Sr	./۹۳۳	./۳۸۱	Sr	./۹۳۳	./۳۷۹	Sr	./۹۵۹	./۲۸۲	Sr	./۹۹۲	./۱۳۲
Ti	./۹۳۸	./۳۳۵	Ti	./۹۳۸	./۳۳۵	Ti	./۹۵۹	./۲۸۲	Ti	./۹۹۱	./۱۳۲
V	./۹۳۹	./۳۳۲	V	./۹۳۹	./۳۳۳	V	./۹۵۸	./۲۸۵	V	./۹۹۰	./۱۳۱
Y	./۹۳۳	./۳۳۸	Y	./۹۳۳	./۳۳۰	Y	./۹۶۰	./۲۷۸	Y	./۹۹۰	./۱۳۶
Zn	./۹۳۳	./۳۳۲	Zn	./۹۳۳	./۳۳۳	Zn	./۹۶۱	./۲۷۷	Zn	./۹۹۱	./۱۳۹
Zr	./۹۳۳	./۳۶۰	Zr	./۹۳۲	./۳۶۱	Zr	./۹۵۲	./۳۰۶	Zr	./۹۵۶	./۱۶۳

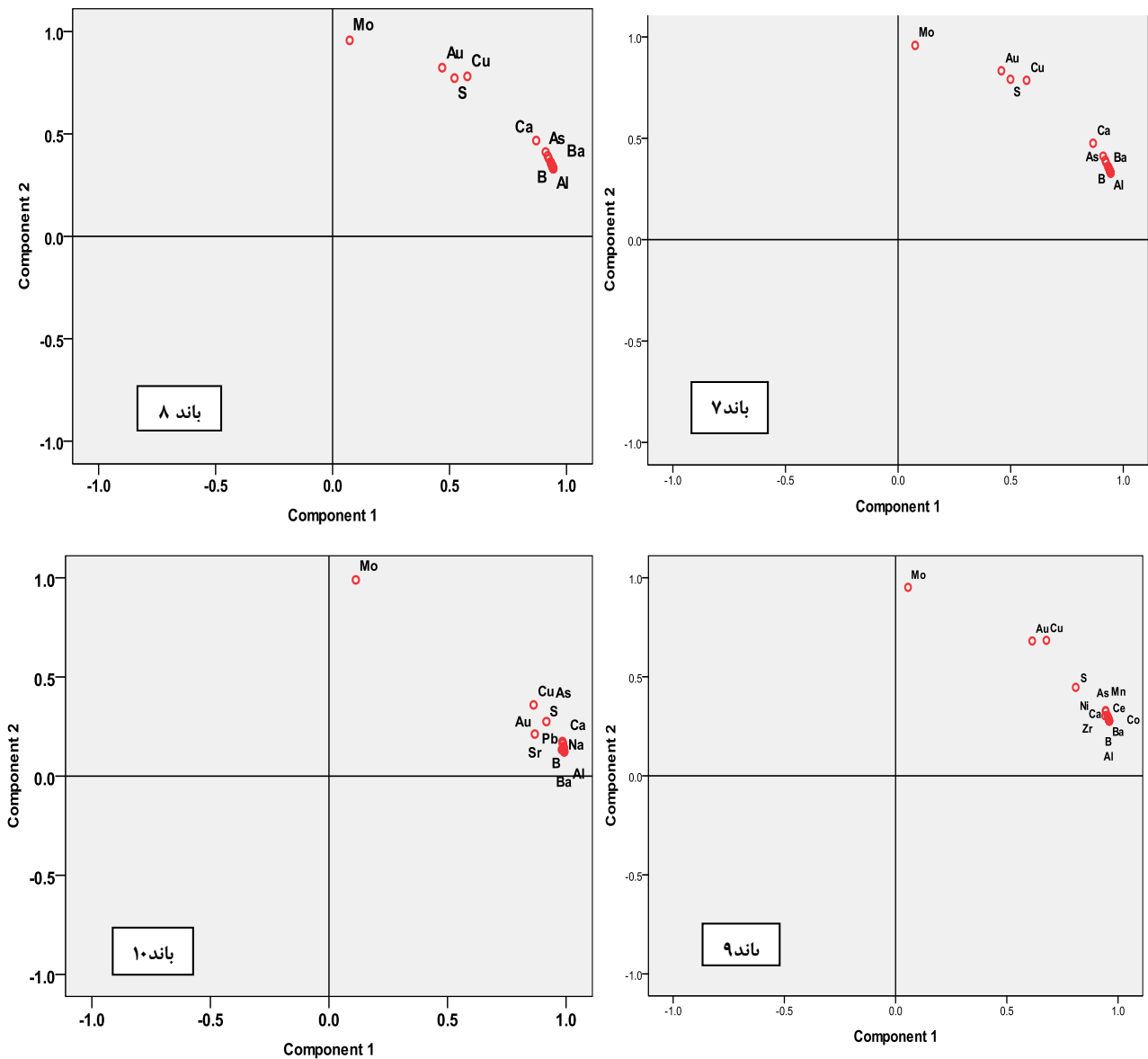
همان‌طور که بررسی شد وضعیت و ویژگی‌های کانی‌سازی در باندهای فرکانسی مختلف متفاوت است. به‌طور کلی تعداد مؤلفه‌های اصلی از باندهای فرکانسی بالا به سمت فرکانس‌های پایین کاهش می‌یابد و از طرفی جدایش و کلاسه‌بندی عناصر کانی‌سازی در فرکانس‌های پایین بهتر صورت می‌گیرد. در فرکانس‌های خیلی پایین عنصر مرتبط با کانی‌سازی تنها مولیبدن است و بقیه عناصر در زمینه قرار می‌گیرند. یعنی آنومالی از مس-طلا به مولیبدن تغییر کرده است و بدین مفهوم است که در اعماق بیشتر احتمال آشکار شدن آنومالی مولیبدن وجود دارد. در فرکانس‌های خیلی بالا (یعنی تغییرات شدید) عوامل زیادی مانند گسل، شکستگی، نویزهای ژئوشیمیایی و آنومالی‌های سطحی بر روی داده‌های ژئوشیمیایی تأثیرگذار بوده و به همین دلیل تعداد مؤلفه‌ها افزایش می‌یابد.

باندهای فرکانسی مختلف حاوی اطلاعات اکتشافی متنوع و متفاوتی بوده و در نتیجه اطلاعات کامل‌تری از ذخیره را در اختیار قرار می‌دهد. با استفاده از روش ضرایب فرکانسی عناصر می‌توان روند تغییرات غلظت عناصر کانی‌سازی و تغییرات آنومالی در عمق را پیش‌بینی کرد و از این طریق آنومالی‌های پنهان و کاذب قابل شناسایی خواهند بود. جهت بررسی آنومالی‌های پنهان و عمیق، فرکانس‌های خیلی پایین باید مورد تحلیل قرار گیرند. در صورتی که عناصر کانی‌سازی با ضرایب بالا در یک مؤلفه جداگانه به عنوان مؤلفه کانی‌سازی قرار گیرند، کانی‌سازی عمیق خواهیم داشت.



شکل ۵-۲۶- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های ژئوشیمیایی در باندهای فرکانسی

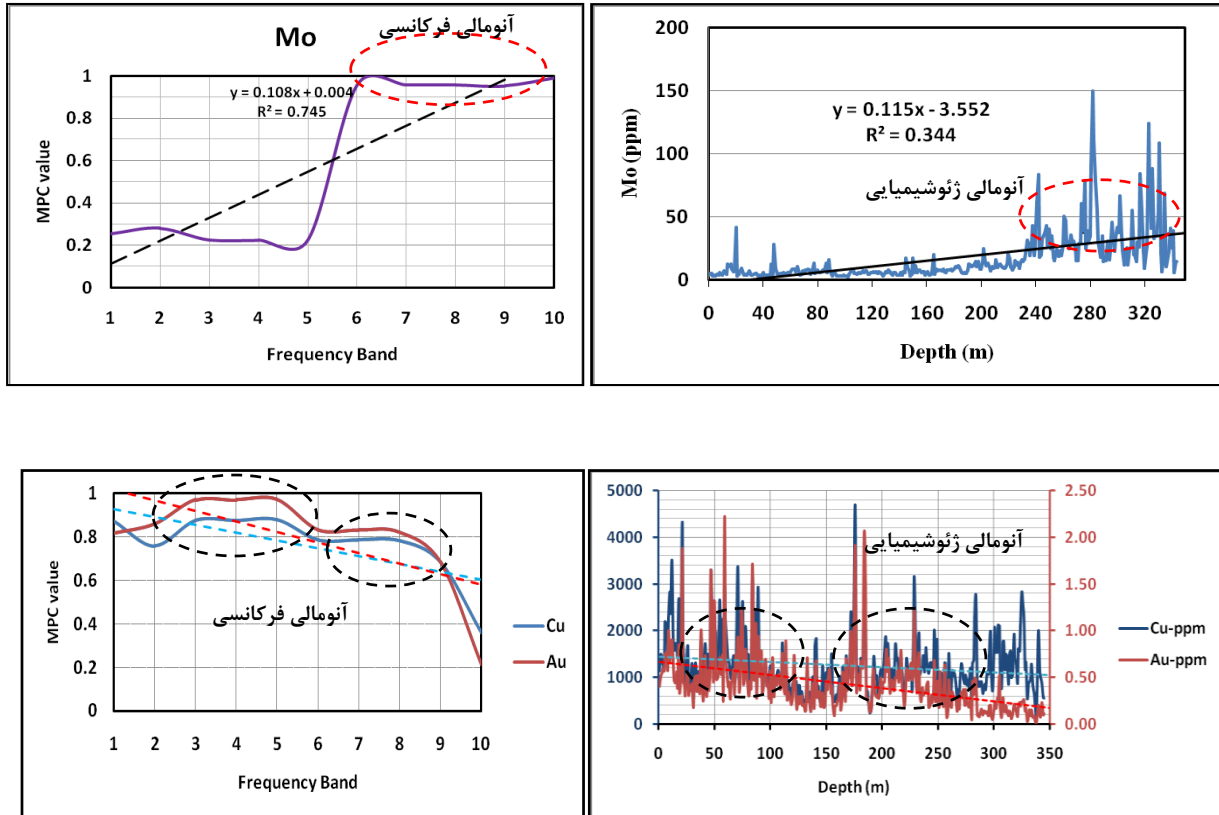
فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس های ژئوشیمی



ادامه شکل ۵-۲۶

اگر عناصر کانی سازی با عناصر زمینه در یک مؤلفه به عنوان مؤلفه زمینه قرار گیرند و به عبارتی فاکتور کانی سازی به صورت قابل توجهی در نتایج حاصل نشود، کانی سازی عمیق نخواهیم داشت. میزان بزرگی ضرایب مربوط به عناصر در مؤلفه کانی سازی در روش تحلیل مؤلفه های اصلی، میزان اهمیت عناصر در این فاکتور و در نتیجه شدت حضور این عناصر را در مجموع داده ها نشان می دهد. فرکانس های پایین می توانند مربوط به آنومالی های پنهان باشند. فاکتور کانی سازی در باندهای فرکانسی پایین می تواند در این راستا قابل تفسیر باشد. اگر مقادیر ضرایب عناصر در مؤلفه های کانی سازی در فرکانس های مختلف

را نسبت به یکدیگر مورد بررسی قرار دهیم می‌توانیم وضعیت کانی‌سازی در اعماق مختلف را مورد تحلیل قرار دهیم. ترسیم این ضرایب از فرکانس‌های بالا به پایین در نمودار ضرایب فرکانسی عناصر می‌تواند روند این تغییرات را پیش‌بینی کند. با توجه به این نمودار می‌توان در خصوص وجود یا عدم وجود آنومالی پنهان اظهار نظر کرد. نمودار توزیع ضرایب عناصر مس، طلا و مولیبدن در مؤلفه کانی-سازی در باندهای مختلف، بر اساس فیلترهای طراحی شده در شکل ۵-۲۷ ترسیم شده است. فرکانس‌های پایین مرتبط با اعماق و فرکانس‌های بالا با قسمت‌های نزدیک به سطح ارتباط دارند. تغییرات مقدار ضرایب عناصر در مؤلفه کانی‌سازی بر اساس نمودار ۵-۲۷ با تغییرات غلظت عناصر نسبت به عمق در حفاری DDH03 مقایسه شده است. تطابق و شباهت قابل توجه این نمودارها، ارتباط توزیع فرکانسی سطحی عناصر با وضعیت کانی‌سازی در اعماق را نشان می‌دهد. در نمودار تغییرات ضرایب فرکانسی عناصر مس و طلا دو آنومالی فرکانسی قابل مشاهده است که مرتبط با زون سوپرژن و زون هیپوژن است. این دو آنومالی در تغییرات عیاری مس و طلا در حفاری به خوبی تأیید شده است. در باندهای فرکانسی خیلی پایین، شدت مقادیر ضرایب عناصر مس و طلا کاهش می‌یابد و از طرفی شدت ضرایب عنصر مولیبدن افزایش می‌یابد. در نمودار ضرایب فرکانسی مولیبدن، یک آنومالی فرکانسی در باندهای فرکانسی پایین مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده یک آنومالی ژئوشیمیایی مولیبدن در اعماق است. تغییرات غلظت عناصر نسبت به عمق نیز این تغییرات را تأیید می‌کند.



شکل ۵-۲۷- نمودار تغییرات مقادیر مؤلفه اصلی کانی‌سازی در باندهای مختلف فرکانسی (MPC) و مقایسه آن با تغییرات عیاری عناصر مس، مولیبدن و طلا از سطح به سمت عمق در حفاری DDH03 افزایش ضرایب فرکانسی در باندهای فرکانس پایین نشان از وجود آنومالی‌های پنهان در عمق است. بر این اساس در منطقه دالی کانی‌سازی‌های پنهان مس و طلا وجود خواهد داشت و آنومالی پنهان مولیبدن در اعماق پایین‌تر نسبت به طلا گسترش می‌یابد. تغییرات ضرایب فرکانسی عناصر در باندهای فرکانسی مختلف به صورت قابل توجهی شبیه تغییرات عیاری عناصر در اعماق مختلف است. این نتایج به خوبی توسط نتایج ژئوفیزیکی و نتایج حفاری‌ها تأیید می‌شوند.

این روش به عنوان یک روش جدید تشخیص الگو می‌تواند در کنار سایر روش‌های ژئوفیزیکی و اکتشافی جهت پیش‌بینی وضعیت کانی‌سازی در اعماق مختلف مورد استفاده قرار گیرد. این روش به عنوان یک ایده جدید می‌تواند در سایر مناطق کانی‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس ضرایب فرکانسی عناصر به عنوان یک روش تشخیص الگوی کانی‌سازی، هزینه‌های بالای حفاری به صورت چشم‌گیری کاهش می‌یابد و عملیات اکتشافی در مراحل بعدی بهینه می‌شود.

۵-۳-۲- انجام روش ضرایب فرکانسی عناصر بر روی منطقه کانی‌سازی ظفرقند

بر اساس مقادیر اعداد موج در جهت‌های افقی و قائم و مقادیر طیف توان عناصر، تعداد ۱۰ فیلتر طراحی گردیده است. این فیلترها و بازه‌های فرکانسی مربوطه در جدول ۵-۷ مشاهده می‌شود. بعد از اعمال فیلترهای مزبور بر روی داده‌های حوزه فرکانس عناصر، جهت بررسی وضعیت کانی‌سازی روش PCA بر روی این باندهای فرکانسی به صورت مجزا انجام گرفته است.

در باند فرکانسی ۱ که بالاترین فرکانس‌ها را دارا می‌باشد، فرکانس‌های مختلف عناصر در ۸ مؤلفه اصلی قرار می‌گیرند (جدول ۵-۸). مؤلفه اصلی ۱ به عنوان فاکتور کانی‌سازی شناخته می‌شود. عناصر Fe, Co, Y, Yb با علامت منفی همراه با مس در این مؤلفه قرار گرفته‌اند. عناصر طلا و مولیبدن در این باند فرکانسی ارتباط خاصی با مس نشان نمی‌دهند. نتایج مؤلفه‌های اصلی باندهای فرکانسی ۲، ۳، ۴ و ۵ شبیه یکدیگر است (جداول ۵-۸ و ۵-۹). تعداد مؤلفه‌های اصلی در این باندها به تعداد ۴ کاهش یافته است. در این باندهای فرکانسی عناصر مس، مولیبدن و طلا همراه با برخی عناصر دیگر از قبیل سرب، روی و آرسنیک در دو مؤلفه اصلی ۱ و ۲ قرار گرفته‌اند.

جدول ۵-۷- فیلترهای اعمال شده بر داده‌های حوزه فرکانس منطقه ظفرقند

فیلتر	باند فرکانسی
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \geq 0.03 \text{ and } |k_y| \geq 0.03 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۱
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \geq 0.03 \text{ OR } |k_y| \geq 0.03 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۲
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.03 \text{ and } \left\{ \begin{array}{l} 0.025 \leq |k_x| \leq 0.03 \\ \text{OR} \\ 0.025 \leq |k_y| \leq 0.03 \end{array} \right\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۳
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.025 \text{ and } \left\{ \begin{array}{l} 0.02 \leq |k_x| \leq 0.025 \\ \text{OR} \\ 0.02 \leq |k_y| \leq 0.025 \end{array} \right\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۴
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.02 \text{ and } \left\{ \begin{array}{l} 0.015 \leq |k_x| \leq 0.02 \\ \text{OR} \\ 0.015 \leq |k_y| \leq 0.02 \end{array} \right\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۵
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.015 \text{ and } \left\{ \begin{array}{l} 0.01 \leq |k_x| \leq 0.015 \\ \text{OR} \\ 0.01 \leq |k_y| \leq 0.015 \end{array} \right\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۶

ادامه جدول ۵-۷- فیلترهای اعمال شده بر داده‌های حوزه فرکانس منطقه ظفرقند

$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.01 \text{ and } \left\{ \begin{array}{l} 0.005 \leq |k_x| \leq 0.01 \\ \text{OR} \\ 0.005 \leq |k_y| \leq 0.01 \end{array} \right\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۷
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.01 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۸
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.005 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۹
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.0025 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۱۰

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۸- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۱ و ۲ منطقه ظرفند

	مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۱									مؤلفه‌های اصلی باند فرکانسی ۲			
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸		۱	۲	۳	۴
Au	-۰/۳۳	-۰/۱۰	-۰/۷۸	-۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۳۲	۰/۱۰	۰/۰۰	Au	۰/۵۳	۰/۷۱	۰/۳۲	۰/۱۶
Al	۰/۰۷	۰/۵۷	۰/۳۹	۰/۶۴	-۰/۰۲	۰/۰۰	-۰/۳۳	-۰/۱۳	Al	۰/۷۹	۰/۵۶	۰/۳۳	۰/۰۷
Ca	۰/۱۴	۰/۷۱	۰/۳۱	-۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۰۷	Ca	۰/۳۱	۰/۹۱	-۰/۰۷	-۰/۰۴
Fe	-۰/۵۴	-۰/۱۲	۰/۴۶	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۰	Fe	۰/۷۹	۰/۳۱	۰/۵۰	۰/۱۸
K	۰/۵۶	-۰/۷۸	۰/۵۴	۰/۳۲	۰/۱۴	-۰/۱۳	-۰/۰۷	-۰/۳۳	K	۰/۹۵	۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۱۴
Mg	۰/۵۲	۰/۷۱	۰/۳۱	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۳۳	-۰/۰۷	۰/۰۹	Mg	۰/۱۰	۰/۶۶	۰/۲۱	-۰/۱۸
Na	-۰/۱۳	-۰/۱۳	۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۸	۰/۹۵	۰/۰۷	Na	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۲	-۰/۶۶
Ag	-۰/۰۷	۰/۱۳	-۰/۲۱	-۰/۲۹	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۵۵	Ag	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۱۷	۰/۱۷
As	۰/۳۳	-۰/۵۱	-۰/۳۸	۰/۰۸	۰/۵۶	-۰/۰۱	-۰/۱۳	-۰/۲۹	As	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۳۷	۰/۱۸
Ba	۰/۷۱	-۰/۳۷	۰/۳۹	-۰/۰۴	-۰/۱۳	-۰/۱۵	-۰/۱۴	-۰/۲۱	Ba	۰/۶۶	۰/۳۲	۰/۶۸	۰/۰۷
Be	۰/۷۷	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۱۵	-۰/۰۲	۰/۰۹	-۰/۳۳	۰/۱۵	Be	۰/۱۵	۰/۵۰	-۰/۰۵	-۰/۱۵
Bi	-۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۹۳	-۰/۰۱	-۰/۱۷	۰/۱۳	Bi	۰/۶۲	۰/۶۹	۰/۳۳	۰/۱۷
Cd	-۰/۰۵	-۰/۳۶	-۰/۳۰	-۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۱۳	۰/۳۳	-۰/۶۴	Cd	۰/۸۳	۰/۳۶	۰/۳۲	-۰/۰۴
Ce	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۷۸	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۰۲	-۰/۱۲	Ce	۰/۷۵	۰/۳۲	۰/۳۹	-۰/۱۷
Co	-۰/۶۰	-۰/۵۸	۰/۰۸	۰/۵۰	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۵	Co	۰/۷۱	۰/۱۳	۰/۶۶	۰/۲۱
Cr	-۰/۷۵	۰/۶۸	-۰/۲۹	-۰/۱۱	۰/۲۵	-۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۱۱	Cr	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۹۱	۰/۱۷
Cs	-۰/۳۸	-۰/۰۷	۰/۲۰	-۰/۵۱	۰/۳۳	۰/۲۹	-۰/۰۵	۰/۰۱	Cs	۰/۷۸	۰/۶۱	-۰/۱۱	-۰/۰۴
Cu	-۰/۶۷	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۶۰	۰/۰۷	-۰/۰۲	۰/۱۷	Cu	۰/۶۲	۰/۶۹	۰/۳۳	۰/۱۷
La	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۳۵	۰/۱۱	۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۱۲	La	۰/۸۳	۰/۳۲	۰/۲۰	-۰/۱۸
Li	۰/۱۳	-۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۸۷	-۰/۰۴	۰/۰۰	Li	۰/۳۳	۰/۶۱	۰/۳۱	۰/۵۲
Mn	۰/۳۳	-۰/۶۲	-۰/۵۰	۰/۲۲	۰/۳۳	-۰/۳۳	۰/۰۶	۰/۰۹	Mn	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۹۵	-۰/۱۹
Mo	۰/۱۶	۰/۵۶	-۰/۰۶	۰/۳۳	-۰/۰۶	-۰/۱۹	-۰/۱۹	۰/۰۲	Mo	۰/۷۲	۰/۶۰	۰/۳۲	۰/۱۴
Nb	۰/۲۸	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۵۰	-۰/۰۴	-۰/۰۶	-۰/۳۲	۰/۱۸	Nb	۰/۱۸	۰/۹۳	۰/۲۰	۰/۰۴
Ni	-۰/۰۵	۰/۸۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۳۰	-۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۵	Ni	۰/۲۱	۰/۹۳	۰/۷۸	۰/۰۰
P	۰/۷۱	۰/۵۷	۰/۳۳	-۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۰	-۰/۰۱	۰/۰۹	P	۰/۲۵	۰/۹۵	۰/۱۷	-۰/۰۱
Pb	-۰/۲۰	۰/۰۹	۰/۱۳	-۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۲۲	-۰/۱۰	Pb	۰/۶۵	۰/۷۳	۰/۱۰	۰/۱۴
Rb	-۰/۳۰	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۸۳	۰/۱۵	۰/۰۰	-۰/۰۱	-۰/۱۴	Rb	۰/۹۸	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۰۶
S	-۰/۳۳	۰/۱۵	۰/۳۹	۰/۶۲	-۰/۲۵	-۰/۳۶	-۰/۰۸	۰/۱۱	S	۰/۵۹	۰/۷۳	۰/۳۲	-۰/۰۶
Sb	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۲۱	-۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۱۲	-۰/۰۲	-۰/۰۳	Sb	۰/۷۶	۰/۱۳	۰/۵۹	۰/۱۹
Sc	-۰/۰۹	-۰/۸۷	-۰/۰۵	-۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۷۸	-۰/۰۴	Sc	۰/۱۶	۰/۸۵	۰/۳۲	-۰/۳۹
Sn	۰/۸۳	۰/۰۹	۰/۰۴	-۰/۱۰	۰/۰۴	-۰/۳۶	-۰/۳۰	۰/۲۱	Sn	۰/۶۹	۰/۲۰	-۰/۰۹	۰/۰۶

ادامه جدول ۵-۸

Sr	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۷۸	۰.۰۳۶	۰.۰۲۰	۰.۰۲۰	-۰.۰۳۴	۰.۰۶	Sr	۰.۰۷	۰.۰۳۱	۰.۰۶۳	-۰.۰۱۱
Te	-۰.۰۷۴	-۰.۰۱۱	۰.۰۳۳	۰.۰۸۸	۰.۰۴	۰.۰۳۶	۰.۰۱۰	-۰.۰۱۱	Te	۰.۰۴۶	۰.۰۳۱	۰.۰۳۳	۰.۰۱۸
Tb	۰.۰۸۳	-۰.۰۳۱	۰.۰۳۳	-۰.۰۱۵	۰.۰۰۵	-۰.۰۱۱	۰.۰۰۱	-۰.۰۳۰	Tb	۰.۰۶۱	۰.۰۰۶	۰.۰۳۱	۰.۰۰۳
Ti	۰.۰۳۳	۰.۰۶۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۶	-۰.۰۱۵	-۰.۰۱۳	-۰.۰۳۳	۰.۰۰۵	Ti	۰.۰۱۳	۰.۰۸۷	۰.۰۳۷	-۰.۰۱۳
Tl	۰.۰۳۸	-۰.۰۱۱	-۰.۰۸۳	-۰.۰۰۴	۰.۰۰۱	-۰.۰۱۸	-۰.۰۱۸	-۰.۰۱۳	Tl	۰.۰۶۶	۰.۰۱۳	۰.۰۰۱	-۰.۰۰۵
U	-۰.۰۱۸	-۰.۰۳۹	-۰.۰۳۶	۰.۰۳۵	۰.۰۰۸	-۰.۰۰۳	۰.۰۱۳	-۰.۰۰۱	U	۰.۰۳۶	۰.۰۳۸	۰.۰۸۳	۰.۰۱۳
V	-۰.۰۰۱	-۰.۰۱۵	۰.۰۰۱	-۰.۰۰۵	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۸	-۰.۰۰۳	V	۰.۰۷۷	۰.۰۳۸	۰.۰۲۰	-۰.۰۳۹
W	۰.۰۶۷	۰.۰۰۱	-۰.۰۱۰	-۰.۰۰۴	-۰.۰۱۱	-۰.۰۰۶	-۰.۰۰۳	۰.۰۰۵	W	۰.۰۰۶	۰.۰۸۸	۰.۰۳۳	۰.۰۳۵
Y	-۰.۰۸۱	-۰.۰۳۵	۰.۰۱۳	-۰.۰۰۱	۰.۰۱۱	-۰.۰۳۸	-۰.۰۰۱	۰.۰۰۶	Y	۰.۰۶۱	۰.۰۳۳	۰.۰۰۱	-۰.۰۰۶
Yb	-۰.۰۸۰	-۰.۰۳۵	۰.۰۱۳	۰.۰۱۵	۰.۰۰۴	-۰.۰۳۸	-۰.۰۰۱	۰.۰۰۵	Yb	۰.۰۸۸	۰.۰۳۵	۰.۰۰۱	-۰.۰۰۸
Zn	-۰.۰۳۳	-۰.۰۳۳	-۰.۰۳۶	۰.۰۰۱	۰.۰۵۳	۰.۰۰۶	۰.۰۵۱	-۰.۰۳۹	Zn	۰.۰۵۳	۰.۰۷۳	۰.۰۳۹	۰.۰۱۱
Zr	۰.۰۳۳	۰.۰۷۶	۰.۰۱۳	۰.۰۳۹	۰.۰۱۱	۰.۰۱۳	-۰.۰۰۷	۰.۰۳۵	Zr	۰.۰۳۸	۰.۰۴۶	۰.۰۳۳	-۰.۰۰۳

وجود ۲ فاکتور کانی‌سازی می‌تواند مربوط به فرآیندهای مختلف کانی‌زایی در منطقه باشد. برخی از عناصر مانند آرسنیک، نقره، قلع، سرب، روی و بیسموت در هر دو فاکتور کانی‌سازی همراه با عناصر مس، مولیبدن و طلا می‌باشند. روش PCA عناصر موجود در باند فرکانسی ۶ را در ۵ مؤلفه اصلی قرار می‌دهد (جدول ۵-۱۰). مؤلفه‌های ۱ و ۲ عناصر کانی‌سازی را دربر می‌گیرند و به عنوان فاکتورهای کانی‌سازی در نظر گرفته می‌شوند. در فاکتور ۲ عنصر طلا همراه با عناصر مس و مولیبدن مشاهده نمی‌شود. عناصر آلومینیوم، نقره، آرسنیک، بریلیم، بیسموت، سرب و تلوریم در هر دو فاکتور کانی‌سازی همراه با مس و مولیبدن قرار دارند. روش PCA فرکانس‌های عناصر موجود در باند ۷ را در ۷ مؤلفه اصلی کلاسه‌بندی می‌کند. مؤلفه اصلی ۲ شامل عناصر مس و مولیبدن می‌باشد. عناصر دیگری مانند آهن، بیسموت، سرب و روی نیز در این فاکتور کانی‌سازی دیده می‌شوند.

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۹- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۳، ۴ و ۵ منطقه ظرفند

	مؤلفه‌های اصلی باتد ۳					مؤلفه‌های اصلی باتد ۴					مؤلفه‌های اصلی باتد ۵			
	۱	۲	۳	۴		۱	۲	۳	۴		۱	۲	۳	۴
Au	-۰.۵	-۰.۸	-۰.۴	-۰.۸	Au	-۰.۵	-۰.۸	-۰.۴	--۰.۸	Au	-۰.۵	-۰.۸	-۰.۴	-۰.۲
Al	-۰.۸	-۰.۶	-۰.۲	-۰.۸	Al	-۰.۸	-۰.۶	-۰.۲	--۰.۸	Al	-۰.۸	-۰.۶	-۰.۲	-۰.۸
Ca	-۰.۴	-۰.۹	--۰.۸	--۰.۸	Ca	-۰.۴	-۰.۹	--۰.۸	-۰.۸	Ca	-۰.۴	-۰.۹	--۰.۸	-۰.۲
Fe	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۵	-۰.۲	Fe	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۵	--۰.۲	Fe	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۵	-۰.۲
K	-۰.۹	-۰.۲	-۰.۲	-۰.۸	K	-۰.۹	-۰.۲	-۰.۲	--۰.۸	K	-۰.۹	-۰.۲	-۰.۲	-۰.۸
Mg	-۰.۸	۱/۰	-۰.۲	--۰.۲	Mg	-۰.۸	۱/۰	-۰.۲	-۰.۲	Mg	-۰.۸	۱/۰	-۰.۲	--۰.۲
Na	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۸	--۰.۸	Na	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۸	Na	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۸	--۰.۸
Ag	-۰.۸	-۰.۶	-۰.۲	-۰.۲	Ag	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۲	--۰.۲	Ag	-۰.۸	-۰.۶	-۰.۲	-۰.۲
As	-۰.۶	-۰.۶	-۰.۵	-۰.۲	As	-۰.۶	-۰.۶	-۰.۵	--۰.۲	As	-۰.۶	-۰.۶	-۰.۵	-۰.۲
Ba	-۰.۶	-۰.۲	-۰.۸	-۰.۸	Ba	-۰.۶	-۰.۲	-۰.۸	-۰.۲	Ba	-۰.۶	-۰.۲	-۰.۸	-۰.۲
Be	-۰.۹	-۰.۵	--۰.۸	--۰.۲	Be	-۰.۸	-۰.۵	--۰.۸	-۰.۲	Be	-۰.۸	-۰.۶	--۰.۸	--۰.۸
Bi	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۴	-۰.۲	Bi	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۴	--۰.۸	Bi	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۴	-۰.۲
Cd	-۰.۸	-۰.۵	-۰.۲	-۰.۲	Cd	-۰.۸	-۰.۵	-۰.۲	-۰.۸	Cd	-۰.۸	-۰.۵	-۰.۲	-۰.۲
Ce	-۰.۸	-۰.۴	-۰.۵	--۰.۲	Ce	-۰.۸	-۰.۴	-۰.۵	-۰.۲	Ce	-۰.۸	-۰.۵	-۰.۵	--۰.۲
Co	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۲	Co	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۸	--۰.۲	Co	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۲
Cr	-۰.۲	-۰.۲	-۰.۹	-۰.۸	Cr	-۰.۲	-۰.۲	-۰.۹	--۰.۸	Cr	-۰.۲	-۰.۲	-۰.۹	-۰.۲
Cs	-۰.۸	-۰.۶	--۰.۸	-۰.۲	Cs	-۰.۸	-۰.۶	--۰.۸	-۰.۲	Cs	-۰.۸	-۰.۶	--۰.۸	-۰.۲
Cu	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۴	-۰.۲	Cu	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۴	--۰.۸	Cu	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۴	-۰.۲
La	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۴	--۰.۲	La	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۴	-۰.۲	La	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۴	--۰.۲
Li	-۰.۴	-۰.۶	-۰.۴	-۰.۵	Li	-۰.۴	-۰.۸	-۰.۴	--۰.۵	Li	-۰.۴	-۰.۶	-۰.۴	-۰.۵
Mn	-۰.۲	-۰.۲	-۰.۹	--۰.۲	Mn	-۰.۲	-۰.۲	-۰.۹	-۰.۲	Mn	-۰.۲	-۰.۲	-۰.۹	--۰.۲
Mo	-۰.۸	-۰.۶	-۰.۲	-۰.۸	Mo	-۰.۸	-۰.۶	-۰.۲	--۰.۸	Mo	-۰.۸	-۰.۶	-۰.۲	-۰.۸
Nb	-۰.۲	-۰.۹	-۰.۲	-۰.۲	Nb	-۰.۲	-۰.۹	-۰.۲	-۰.۲	Nb	-۰.۲	-۰.۹	-۰.۲	-۰.۸
Ni	-۰.۲	-۰.۹	-۰.۲	-۰.۲	Ni	-۰.۲	-۰.۹	-۰.۲	-۰.۲	Ni	-۰.۲	-۰.۹	-۰.۲	-۰.۲
P	-۰.۲	۱/۰	-۰.۲	-۰.۲	P	-۰.۲	۱/۰	-۰.۲	-۰.۲	P	-۰.۲	۱/۰	-۰.۲	-۰.۲
Pb	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۸	Pb	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۸	--۰.۸	Pb	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۲
Rb	۱/۰	-۰.۲	-۰.۲	-۰.۸	Rb	۱/۰	-۰.۸	-۰.۲	--۰.۸	Rb	۱/۰	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۸
S	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۲	--۰.۸	S	-۰.۶	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۸	S	-۰.۵	-۰.۸	-۰.۲	--۰.۸
Sb	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۶	-۰.۲	Sb	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۶	--۰.۲	Sb	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۶	-۰.۲
Sc	-۰.۲	-۰.۹	-۰.۲	--۰.۴	Sc	-۰.۸	-۰.۸	-۰.۲	-۰.۴	Sc	-۰.۸	-۰.۹	-۰.۲	--۰.۴

ادامه جدول ۵-۹

Sn	-۸	-۸	--۱	-۱	Sn	-۶	-۸	--۱	--۱	Sn	-۶	-۸	--۱	-۱
Sr	-۱۲	-۱۲	-۱۹	--۱	Sr	-۱۲	-۱۲	-۱۹	-۱۲	Sr	-۱۲	-۱۲	-۱۹	--۱
Te	-۱۹	-۱۴	-۱۲	-۱۲	Te	-۱۹	-۱۴	-۱۲	--۱۲	Te	-۸	-۱۴	-۱۲	-۱۲
Th	-۱۹	-۱	-۱۴	-۱	Th	-۱۹	-۱	-۱۴	-۱	Th	-۱۹	-۱	-۱۴	-۱
Ti	-۱	-۱۹	-۱۵	--۱۲	Ti	-۱	-۱۹	-۱۵	-۱۲	Ti	-۱	-۱۹	-۱۴	--۱
Tl	۱۱	-۱	-۱	--۱	Tl	۱۱	-۱	-۱	-۱	Tl	۱۱	-۱	-۱	--۱
U	-۱۲	-۱۵	-۱۸	-۱	U	-۱۲	-۱۵	-۱۸	--۱	U	-۱۲	-۱۵	-۱۸	-۱
V	-۸	-۱۵	-۱۲	--۱۲	V	-۸	-۱۵	-۱۲	-۱۲	V	-۸	-۱۵	-۱۲	--۱۲
W	-۱۲	-۱۹	-۱۲	-۱۲	W	-۱۲	-۱۹	-۱۲	--۱۲	W	-۱۲	-۱۸	-۱۲	-۱۴
Y	-۱۹	-۱۴	-۱	--۱	Y	-۱۹	-۱۴	-۱	-۱	Y	-۱۹	-۱۵	-۱	-۱
Yb	-۱۹	-۱۵	-۱	--۱	Yb	-۱۹	-۱۵	-۱	-۱	Yb	-۱۹	-۱۵	-۱	--۱
Zn	-۱۵	-۸	-۱۴	-۱۲	Zn	-۱۵	-۸	-۱۴	--۱۲	Zn	-۱۵	-۸	-۱۴	-۱۲
Zr	-۱۴	-۱۹	-۱۲	--۱	Zr	-۱۴	-۱۹	-۱۲	-۱	Zr	-۱۴	-۱۹	-۱۲	-۱

باندهای فرکانسی ۸، ۹ و ۱۰ فرکانس‌های پایین را شامل می‌شوند این فرکانس‌ها مقادیر طیف توان بالایی دارند. در روش PCA، مؤلفه‌های اصلی مرتبط با پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی در این باندهای فرکانسی به صورت معناداری از یکدیگر تفکیک شده و عناصر کانی‌سازی به نحو بسیار مطلوبی کلاسه‌بندی می‌شوند. روش PCA در این ۳ باند فرکانسی، تعداد ۴۲ عنصر را به صورت جالب توجهی در ۲ فاکتور کلاسه‌بندی می‌کند. فاکتور ۱ مربوط به زمینه و فاکتور ۲ مرتبط با فرآیند کانی‌سازی بوده و شامل عناصر کانی‌سازی مس، مولیبدن و طلا می‌باشد. عناصر نقره، بیسموت، آرسنیک، کروم، نیکل، سرب، گوگرد و روی در فاکتور کانی‌سازی دیده می‌شوند.

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۱۰- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۶ و ۷ منطقه ظرفند:

	مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۶						مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۷						
	۱	۲	۳	۴	۵		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
Au	-۰۸	-۰۴	-۰۴	-۰۲	-۰۲	Au	-۰۴	-۰۲	-۰۲	-۰۲	-۰۴	-۰۲	-۰۲
Al	-۰۵	-۰۸	-۰۲	-۰۱	-۰۱	Al	-۰۸	-۰۲	-۰۵	-۰۱	-۰۱	-۰۲	-۰۲
Ca	-۰۸	-۰۵	--۰۱	-۰۱	--۰۱	Ca	-۰۹	-۰۱	-۰۲	-۰۲	--۰۱	-۰۱	-۰۲
Fe	-۰۲	-۰۶	-۰۶	-۰۲	-۰۲	Fe	-۰۱	-۰۸	-۰۴	-۰۲	-۰۲	-۰۱	-۰۱
K	-۰۱	-۰۸	-۰۶	-۰۱	-۰۱	K	-۰۱	-۰۹	-۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۲	-۰۱
Mg	-۰۸	-۰۲	-۰۱	-۰۵	-۰۱	Mg	۱۱۰	-۰۱	-۰۱	-۰۲	-۰۱	-۰۱	-۰۱
Na	-۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۹	-۰۱	Na	-۰۴	-۰۲	-۰۱	-۰۲	-۰۸	-۰۱	-۰۱
Ag	-۰۵	-۰۸	-۰۲	-۰۱	-۰۱	Ag	-۰۵	-۰۲	-۰۶	-۰۱	-۰۱	-۰۲	--۰۱
As	-۰۶	-۰۵	-۰۴	-۰۲	-۰۲	As	-۰۴	-۰۵	-۰۸	-۰۲	-۰۱	-۰۱	-۰۲
Ba	-۰۲	-۰۲	-۰۸	-۰۲	-۰۱	Ba	-۰۲	-۰۵	-۰۲	-۰۵	--۰۲	-۰۵	--۰۲
Be	-۰۵	-۰۸	-۰۱	-۰۱	--۰۱	Be	-۰۸	-۰۲	-۰۲	--۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۲
Bi	-۰۸	-۰۵	-۰۲	-۰۱	-۰۲	Bi	-۰۵	-۰۵	-۰۶	-۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۱
Cd	-۰۵	-۰۸	-۰۲	-۰۲	-۰۲	Cd	-۰۱	-۰۶	-۰۵	-۰۲	-۰۲	-۰۱	--۰۱
Ce	-۰۴	-۰۸	-۰۴	-۰۲	-۰۱	Ce	-۰۶	-۰۶	-۰۲	--۰۱	-۰۴	-۰۲	--۰۱
Co	-۰۱	-۰۶	-۰۸	-۰۲	-۰۲	Co	-۰۱	-۰۸	-۰۲	-۰۴	-۰۱	-۰۱	-۰۱
Cr	-۰۴	-۰۲	-۰۴	-۰۵	-۰۵	Cr	-۰۸	-۰۲	-۰۱	-۰۱	-۰۲	-۰۲	--۰۲
Cs	-۰۴	-۰۹	--۰۱	-۰۱	-۰۱	Cs	-۰۶	-۰۶	-۰۲	-۰۱	--۰۱	--۰۲	-۰۲
Cu	-۰۸	-۰۵	-۰۲	-۰۱	-۰۲	Cu	-۰۵	-۰۵	-۰۶	-۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۱
La	-۰۲	-۰۸	-۰۲	-۰۲	-۰۱	La	-۰۵	-۰۶	-۰۲	-۰۱	-۰۴	-۰۲	--۰۱
Li	-۰۶	-۰۵	-۰۲	-۰۱	-۰۴	Li	-۰۸	-۰۵	-۰۱	-۰۲	-۰۱	-۰۱	--۰۲
Mn	-۰۱	-۰۱	-۰۵	-۰۸	-۰۲	Mn	-۰۱	-۰۲	-۰۱	-۰۸	-۰۲	-۰۱	-۰۱
Mo	-۰۶	-۰۶	-۰۴	-۰۱	-۰۲	Mo	-۰۴	-۰۸	-۰۵	-۰۱	-۰۲	-۰۱	-۰۱
Nb	-۰۹	-۰۲	-۰۲	-۰۲	-۰۱	Nb	-۰۹	-۰۱	-۰۲	-۰۱	-۰۲	-۰۱	-۰۱
Ni	-۰۹	-۰۲	-۰۱	-۰۲	-۰۱	Ni	-۰۹	-۰۱	-۰۲	-۰۱	-۰۲	-۰۱	--۰۱
P	-۰۸	-۰۴	-۰۱	-۰۲	-۰۱	P	-۰۹	-۰۱	-۰۲	-۰۲	-۰۱	-۰۱	-۰۱
Pb	-۰۸	-۰۶	-۰۲	-۰۱	-۰۱	Pb	-۰۵	-۰۵	-۰۸	-۰۱	--۰۱	-۰۱	-۰۲
Rb	-۰۱	-۰۹	-۰۴	-۰۱	-۰۱	Rb	-۰۱	-۰۹	-۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۲
S	-۰۴	-۰۲	-۰۲	-۰۸	--۰۱	S	-۰۲	-۰۲	--۰۱	-۰۸	-۰۱	-۰۱	--۰۱
Sb	-۰۲	-۰۶	-۰۲	-۰۱	-۰۶	Sb	-۰۴	-۰۲	-۰۲	-۰۱	-۰۲	-۰۶	-۰۲
Sc	-۰۶	-۰۲	-۰۱	-۰۸	-۰۱	Sc	-۰۹	-۰۱	-۰۱	-۰۲	-۰۱	-۰۱	-۰۲

ادامه جدول ۵-۱۰

Sn	-/۴	-/۲	-/۶	-/۱	--/۲	Sn	-/۱	-/۱	-/۲	-/۱	-/۱	--/۲	-/۱
Sr	-/۲	-/۱	-/۱	-/۴	-/۲	Sr	-/۱	-/۱	-/۲	-/۱	-/۱	-/۲	--/۲
Te	-/۱	-/۱	-/۲	-/۱	-/۱	Te	-/۲	-/۱	-/۴	-/۱	-/۱	--/۱	-/۱
Th	-/۱	-/۱	-/۱	-/۲	-/۱	Th	-/۱	-/۱	-/۴	-/۱	-/۴	--/۱	-/۱
Ti	-/۱	-/۱	-/۲	-/۴	-/۱	Ti	-/۱	-/۱	-/۲	-/۱	-/۴	-/۲	-/۱
Tl	-/۱	-/۱	-/۲	-/۲	--/۲	Tl	-/۱	-/۱	-/۱	-/۲	-/۱	--/۱	-/۱
U	-/۲	-/۱	-/۱	-/۶	-/۲	U	-/۱	-/۲	-/۴	-/۶	-/۱	-/۱	-/۱
V	-/۲	-/۱	-/۲	-/۱	-/۱	V	-/۶	-/۶	--/۱	-/۲	-/۱	--/۱	-/۱
W	-/۱	-/۱	-/۴	-/۱	--/۱	W	-/۶	-/۱	-/۱	-/۱	-/۲	-/۱	--/۲
Y	-/۴	-/۱	-/۱	-/۱	-/۱	Y	-/۱	-/۶	-/۲	-/۱	-/۱	-/۱	-/۱
Yb	-/۴	-/۱	-/۱	-/۲	-/۱	Yb	-/۶	-/۴	-/۲	-/۲	-/۱	-/۱	-/۶
Zn	-/۱	-/۱	-/۲	-/۱	-/۲	Zn	-/۲	-/۶	-/۱	-/۲	-/۱	-/۱	-/۱
Zr	-/۱	-/۴	-/۲	-/۲	-/۲	Zr	-/۱	-/۱	-/۲	-/۱	-/۲	-/۱	-/۱

عناصر نقره، نیکل و گوگرد در باند فرکانسی ۱۰ از مؤلفه کانی‌سازی خارج می‌شوند و در فاکتور زمینه قرار می‌گیرند. مقدار ضرایب عناصر کانی‌سازی در فاکتور مربوط به فرآیند کانی‌سازی (فاکتور ۲) در باند فرکانسی ۸ بیشترین مقدار را دارند. ضرایب مورد نظر هم‌زمان با کاهش فرکانس عناصر، روند کاهشی از باند ۸ به سمت باند ۱۰ دارند. مقدار این ضرایب نشانه اهمیت عناصر در فاکتور کانی‌سازی و میزان نقش آنها در فرآیند کانی‌سازی می‌باشد. جهت پیش‌بینی روند تغییرات عیار عناصر کانی‌سازی از سطح به عمق و شناسایی وجود یا عدم وجود ذخایر پنهان با استفاده از روش ضرایب فرکانسی عناصر، نمودار ضرایب فرکانسی بر اساس باندهای فرکانسی ترسیم گردیده است (شکل ۵-۲۹).

همان‌طور که مشاهده می‌شود آنومالی فرکانسی به‌دست آمده در روش ضرایب فرکانسی عناصر در حوزه فرکانس، ارتباط مستقیم با آنومالی ژئوشیمیایی عمیق در حوزه مکان دارد.

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۱۱- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۸، ۹ و ۱۰ منطقه ظرفند

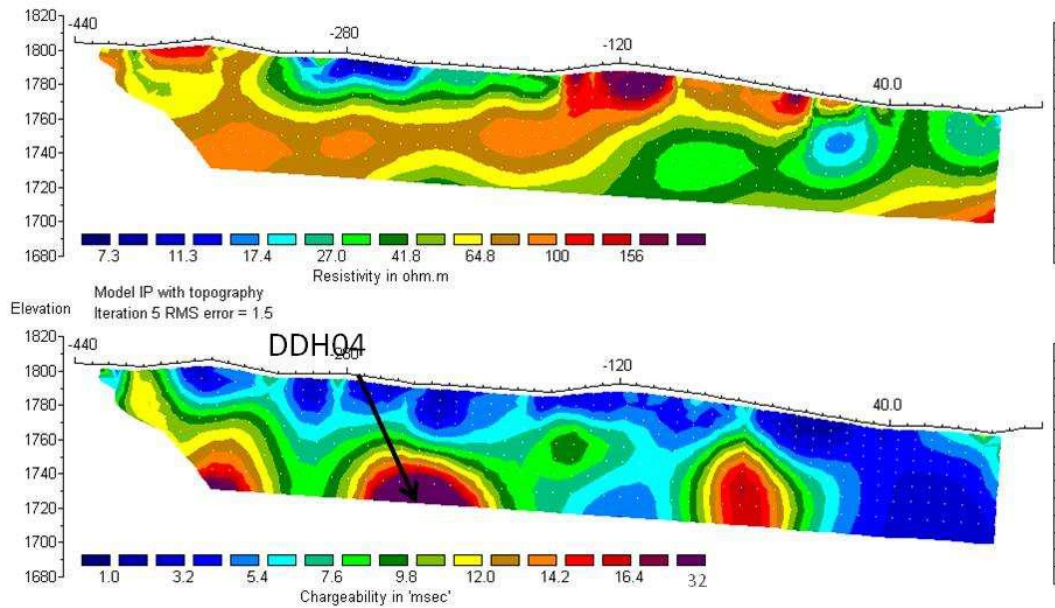
	مؤلفه‌های اصلی باند ۸			مؤلفه‌های اصلی باند ۹			مؤلفه‌های اصلی باند ۱۰	
	۱	۲		۱	۲		۱	۲
Au	-۵۴۳	-۸۲۹	Au	-۵۷۷	-۸-۵	Au	-۸۱۱	-۵۸۲
Al	-۸۳۹	-۸۴۳	Al	-۸۳۹	-۸۴۴	Al	-۸۴۱	-۸۳۸
Ca	-۸-۳	-۴۱۸	Ca	-۸۱۲	-۸۹۸	Ca	-۸۳۳	-۸۴۹
Fe	-۸۸۸	-۴۵۷	Fe	-۸۹۳	-۴۴۹	Fe	-۸۱۲	-۴-۸
K	-۸-۵	-۴۲۲	K	-۸-۹	-۴۱۳	K	-۸۲۲	-۸۸۴
Mg	-۸۲۲	-۸۸۲	Mg	-۸۲۷	-۸۷-	Mg	-۸۳۹	-۸۴-
Na	-۸۲۵	-۸۶۸	Na	-۸۲۹	-۸۵۸	Na	-۸۴۳	-۸۱۹
Ag	-۸-۵	-۵۸۷	Ag	-۸۱۹	-۵۶۹	Ag	-۸۶۵	-۴۹۵
As	-۶۹۷	-۸۱۵	As	-۸۲-	-۶۹۱	As	-۸۱۴	-۵۷۹
Ba	-۸۸۸	-۴۵۴	Ba	-۸۹۵	-۴۴-	Ba	-۸۲۱	-۸۸۳
Be	-۸۳۸	-۸۴۴	Be	-۸۳۹	-۸۴۳	Be	-۸۴۱	-۸۳۶
Bi	-۸۵۶	-۸۳۳	Bi	-۸۷۴	-۸۲۶	Bi	-۴۹۸	-۸۶۷
Cd	-۸۸-	-۴۶۲	Cd	-۸۹۱	-۴۴۱	Cd	-۸۱-	-۴-
Ce	-۸۲۷	-۸۷۵	Ce	-۸۲۹	-۸۶۹	Ce	-۸۳۹	-۸۴۳
Co	-۸۷۲	-۴۸۴	Co	-۸۷۸	-۴۷۴	Co	-۸-۱	-۴۳-
Cr	-۸۸۱	-۸۷۶	Cr	-۴-۸	-۸۳۸	Cr	-۴۷۲	-۵۹-
Cs	-۸۶۶	-۸۲۵	Cs	-۸۶۵	-۸۲۷	Cs	-۸۴۴	-۸۳۸
Cu	-۱۲۵-	-۸۶۵	Cu	-۱۲۶-	-۸۶۳	Cu	-۸۵۴	-۸۳۴
La	-۸۲۷	-۸۷۴	La	-۸۲۹	-۸۶۹	La	-۸۳۸	-۸۴۷
Li	-۸-۵	-۴۱۸	Li	-۸-۹	-۴-۸	Li	-۸۱۷	-۸۹۲
Mn	-۸۹-	-۴۵۳	Mn	-۸۹۵	-۴۴۴	Mn	-۸۱۴	-۴-۲
Mo	-۴۴۹	-۸۷۷	Mo	-۴۷۸	-۸۵۹	Mo	-۶۵۵	-۸۳۴
Nb	-۸۲۷	-۸۴۸	Nb	-۸۳۸	-۸۴۶	Nb	-۸۴۳	-۸۳۴
Ni	-۶۷-	-۶۶۶	Ni	-۸-۶	-۶۱۸	Ni	-۸۸۴	-۴۹۷
P	-۸۴۱	-۸۳۹	P	-۸۴۱	-۸۳۸	P	-۸۴۴	-۸۳-
Pb	-۱-۵۶	-۸۷۱	Pb	-۱-۴۱	-۸۷-	Pb	--۱-۱۳	-۸۵۴
Rb	-۸۳۸	-۸۷۲	Rb	-۸۲۹	-۸۶۹	Rb	-۸۳۴	-۸۵۶
S	-۵۲۵	-۶۸۷	S	-۶۲۵	-۵۹۲	S	-۸۲-	-۸۵۴
Sb	-۸۴۷	-۸۲-	Sb	-۸۶۶	-۸۲۳	Sb	-۸۶۵	-۸۳۶
Sc	-۸۴-	-۸۳۹	Sc	-۸۴۱	-۸۳۸	Sc	-۸۴۴	-۸۳-

ادامه جدول ۵-۱۱

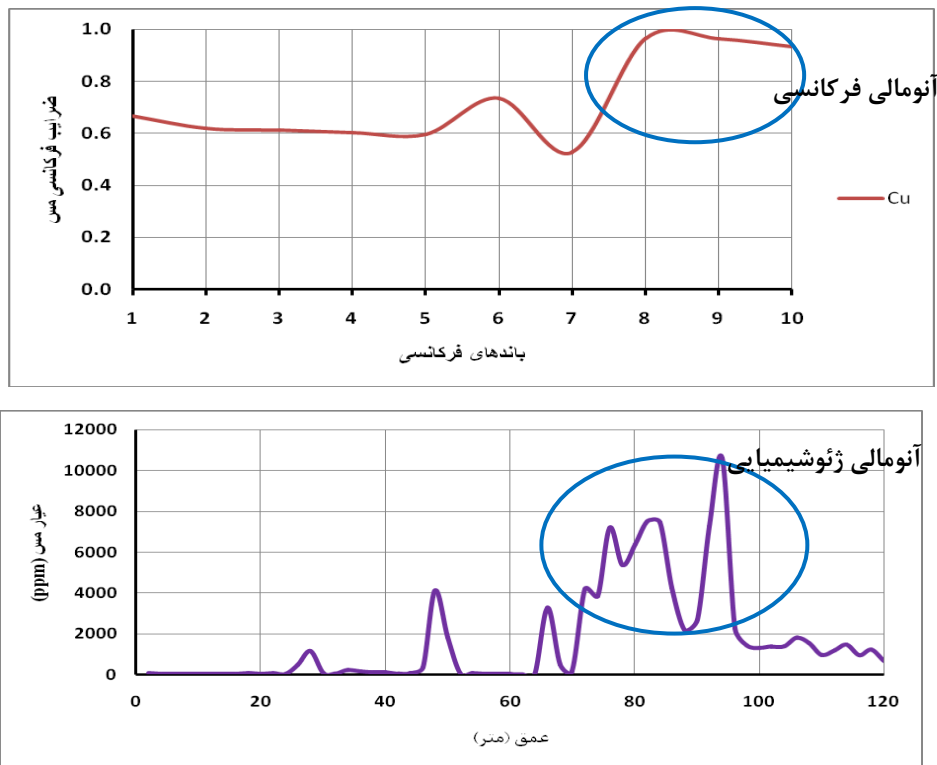
مؤلفه‌های اصلی باند ۸		مؤلفه‌های اصلی باند ۹		مؤلفه‌های اصلی باند ۱۰	
Sn	-/۹۴۷ -/۳۲۱	Sn	-/۹۴۶ -/۳۲۴	Sn	-/۹۴۵ -/۳۲۶
Sr	-/۹۱۱ -/۴۱-	Sr	-/۹۱۵ -/۴۰-	Sr	-/۹۲۹ -/۳۶۷
Te	-/۹۴۷ -/۳۲۲	Te	-/۹۴۶ -/۳۲۵	Te	-/۹۴۵ -/۳۲۷
Th	-/۹۳۱ -/۳۶۳	Th	-/۹۳۲ -/۳۶۱	Th	-/۹۳۸ -/۳۴۷
Ti	-/۹۳۹ -/۳۴۲	Ti	-/۹۴۰ -/۳۴۰	Ti	-/۹۴۴ -/۳۲۹
Tl	-/۹۴۶ -/۳۲۲	Tl	-/۹۴۵ -/۳۲۵	Tl	-/۹۴۵ -/۳۲۷
U	-/۹۴۱ -/۳۲۹	U	-/۹۴۱ -/۳۲۹	U	-/۹۴۲ -/۳۲۴
V	-/۹۳۱ -/۳۶۳	V	-/۹۳۲ -/۳۶-	V	-/۹۳۷ -/۳۴۹
W	-/۹۴- -/۳۴-	W	-/۹۴۳ -/۳۳۱	W	-/۹۴۶ -/۳۲۳
Y	-/۹-۳ -/۴۲۵	Y	-/۹-۶ -/۴۱۸	Y	-/۹۱۸ -/۳۹-
Yb	-/۹۳۸ -/۳۷-	Yb	-/۹۳۹ -/۳۶۸	Yb	-/۹۳۴ -/۳۵۳
Zn	-/۹۴۵ -/۳۵۵	Zn	-/۹۶۲ -/۳۲۵	Zn	-/۸۱۹ -/۵۶-
Zr	-/۹۳۸ -/۳۷۲	Zr	-/۹۳۱ -/۳۶۴	Zr	-/۹۴۱ -/۳۲۷

همان‌طور که نمودار روش ضرایب فرکانسی نشان می‌دهد مقادیر ضرایب در باندهای فرکانسی با اعداد موج بالا و فرکانس‌های بالا، نسبتاً پایین و تقریباً تغییرات یکنواخت دارد. در باندهای فرکانسی ۸، ۹ و ۱۰ این مقادیر به صورت قابل توجهی افزایش می‌یابند و یک آنومالی فرکانسی بر روی این نمودار مشاهده می‌شود اگر چه در باند فرکانسی ۱۰ مقدار ضرایب نسبت به باند ۹ و ۸ کاهش یافته است. آنومالی فرکانسی بر روی باندهای با فرکانس خیلی پایین و مقادیر طیف توان بالا ظاهر شده که وجود یک آنومالی ژئوشیمی عمیق و یک ذخیره پنهان در منطقه را نشان می‌دهد. مطالعات اکتشافی، زمین-شناسی و بررسی‌های ژئوفیزیکی همراه با نتایج گمانه‌های حفاری در منطقه نتایج این روش را به خوبی تأیید می‌کند. نتیجه برداشت ژئوفیزیکی مقاومت ویژه - پلاریزاسیون القایی بر روی پروفیل ۴ در شکل ۲۹-۵ نشان داده شده است. بر اساس این پروفیل یک کانی‌سازی در عمق پایین‌تر از ۶۰ متر قرار دارد. وضعیت تغییرات عیاری عنصر مس در اعماق مختلف بر اساس گمانه ZAD04 نیز در شکل ۵-۳۰ نشان داده شده است. بر اساس این حفاری در عمق ۷۰ تا ۱۰۰ متر، عیار مس افزایش پیدا

کرده و یک ذخیره پنهان نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۸- مدل سازی ژئوفیزیکی مقاومت ویژه الکتریکی - پلاریزاسیون القایی بر روی پروفیل ۴ در منطقه ظفرقند



شکل ۵-۲۹- نمودار ضرایب فرکانسی عنصر مس و مقایسه آن با تغییرات عیاری عنصر مس از سطح به سمت عمق در حفاری ZAD04

۳-۳-۵- انجام روش ضرایب فرکانسی عناصر بر روی کانی‌سازی آنتیموان فردوس

تعداد ۸ فیلتر فرکانسی بر روی داده‌های ژئوشیمی حوزه فرکانس اعمال گردیده و داده‌ها در ۸ باند فرکانسی قرار گرفته است. ویژگی‌های باندهای فرکانسی و فیلترهای طراحی شده در جدول ۵-۱۲ نشان داده شده است. جهت کلاسه‌بندی داده‌ها و بررسی وضعیت کانی‌سازی در فرکانس‌های مختلف، روش

تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی این باندهای فرکانسی به صورت مجزا انجام گرفته است.

باند فرکانسی ۱ بزرگترین فرکانس‌ها را شامل می‌شود. در این بازه فرکانسی عناصر در ۵ مؤلفه اصلی کلاسه‌بندی شده‌اند و آنتیموان همراه سایر عناصر مرتبط با کانی‌سازی در مؤلفه اول قرار گرفته است (جدول ۵-۱۳). تنها در این باند فرکانسی عنصر طلا همراه با آنتیموان قرار نگرفته است که می‌تواند به دلیل وجود نویزهای ژئوشیمیایی و عوامل سطحی باشد. عناصری مانند سرب و منگنز در مؤلفه‌های ۱ و ۲ قرار دارند. در باندهای فرکانسی ۲، ۳ و ۴ عنصر طلا در کنار آنتیموان در مؤلفه کانی‌سازی قرار گرفته است اگر چه طلا همراه برخی عناصر دیگر مانند مس و روی در مؤلفه‌های دیگر نیز وجود دارند (جدول ۵-۱۴). باندهای فرکانسی بالا به خوبی نمی‌تواند عناصر کانی‌سازی را از سایر عناصر جدا کند.

جدول ۵-۱۲- فیلترهای اعمال شده بر داده‌های حوزه فرکانس منطقه شند محمود

فیلتر	باند فرکانسی
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \geq 0.036 \quad \text{and} \quad |k_y| \geq 0.036 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۱
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \geq 0.035 \quad \text{OR} \quad |k_y| \geq 0.035 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۲
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.035 \text{ and } \left\{ \begin{array}{l} 0.03 \leq |k_x| \leq 0.035 \\ \text{OR} \\ 0.03 \leq |k_y| \leq 0.035 \end{array} \right\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۳
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.03 \text{ and } \left\{ \begin{array}{l} 0.02 \leq |k_x| \leq 0.03 \\ \text{OR} \\ 0.02 \leq |k_y| \leq 0.03 \end{array} \right\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۴
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.02 \text{ and } \left\{ \begin{array}{l} 0.01 \leq |k_x| \leq 0.02 \\ \text{OR} \\ 0.01 \leq |k_y| \leq 0.02 \end{array} \right\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۵

ادامه جدول ۵-۱۲

$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.01 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۶
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.005 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۷
$G(k_x, k_y) = \begin{cases} 1 & |k_x| \text{ and } |k_y| \leq 0.0025 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	باند فرکانسی ۸

جدول ۵-۱۳- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۱ و ۲ منطقه شندمحمود

	مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۱						مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۲					
	۱	۲	۳	۴	۵		۱	۲	۳	۴	۵	۶
Sb	-۰.۹۵۸	-۰.۲۵۸	-۰.۱۶۲	-۰.۱۸۴	-۰.۱۷۰	Sb	-۰.۸۸۳	-۰.۸۹۱	۰.۱۹۰۷	-۰.۳۲۶	-۰.۱۸۹	-۰.۱۲۸
Au	-۰.۸۸۲	-۰.۶۷۷	-۰.۳۶۳	-۰.۶۰۹	-۰.۱۳۲	Au	-۰.۸۸۵	-۰.۸۳۷	-۰.۵۷۹	-۰.۸۱۱	-۰.۱۳۵	-۰.۸۰۸
Cu	-۰.۱۸۲	-۰.۸۷۸	-۰.۲۶۶	-۰.۱۴۷	-۰.۳۴۷	Cu	-۰.۶۸۰	-۰.۵۶۲	-۰.۱۰۰	-۰.۱۰۷	-۰.۴۳۸	-۰.۱۰۹۱
Ag	-۰.۴۸۶	-۰.۸۵۸	-۰.۳۶۳	-۰.۸۴۹	-۰.۱۷۶	Ag	-۰.۸۵۶	-۰.۱۰۸	-۰.۸۴۹	-۰.۵۹۷	-۰.۱۰۶	-۰.۸۶۰
Pb	-۰.۶۹۱	-۰.۸۱۷	-۰.۱۰۴۱	-۰.۱۰۴۷	-۰.۱۰۵۴	Pb	-۰.۴۵۵	-۰.۱۰۹۳	-۰.۸۴۶	-۰.۵۳۳	-۰.۲۳۸	-۰.۱۰۰۱
Zn	-۰.۸۷۹	-۰.۱۰۶	-۰.۱۰۷۵	-۰.۸۴۸	-۰.۸۰۱	Zn	-۰.۵۴۷	-۰.۳۴۲	-۰.۱۰۴۱	-۰.۸۳۱	-۰.۳۳۵	-۰.۱۰۶۶
As	-۰.۲۸۸	-۰.۵۸۶	-۰.۱۰۳۱	-۰.۳۳۲	-۰.۸۴۵	As	-۰.۳۹۴	-۰.۲۷۹	-۰.۸۱۱	-۰.۲۴۸	-۰.۴۲۲	-۰.۱۰۵۰
Fe	-۰.۸۶۲	-۰.۸۵۶	-۰.۲۱۲	-۰.۱۰۳۲	-۰.۱۰۳۷	Fe	-۰.۸۱۹	-۰.۳۳۵	-۰.۸۷۴	-۰.۸۰۵	-۰.۱۰۱۳	-۰.۱۰۰۹
Hg	-۰.۸۵۶	-۰.۸۵۷	-۰.۸۵۸	-۰.۸۷۶	-۰.۱۰۳۰	Hg	-۰.۸۱۰	-۰.۳۱۹	-۰.۳۳۵	-۰.۶۴۷	-۰.۸۰۵	-۰.۱۰۰۱
Mo	-۰.۸۹۲	-۰.۴۵۰	-۰.۸۸۴	-۰.۳۶۲	-۰.۱۰۳۱	Mo	-۰.۱۰۵۱	-۰.۵۱۳	-۰.۲۴۹	-۰.۲۶۴	-۰.۳۳۳	-۰.۲۳۴
Al	-۰.۱۰۴۴	-۰.۵۸۶	-۰.۳۶۰	-۰.۲۸۹	-۰.۱۰۴۱	Al	-۰.۱۰۳۶	-۰.۲۶۱	-۰.۸۳۷	-۰.۶۱۸	-۰.۱۰۳۳	-۰.۱۰۱۴
Ba	-۰.۳۳۳	-۰.۸۷۲	-۰.۱۰۰۶	-۰.۱۰۱۴	-۰.۸۱۴	Ba	-۰.۳۰۲	-۰.۶۱۸	-۰.۳۳۰	-۰.۱۰۹۵	-۰.۱۰۴۷	-۰.۸۹۷
Be	-۰.۸۸۴	-۰.۱۰۰۸	-۰.۸۶۷	-۰.۱۰۳۵	-۰.۱۰۴۷	Be	-۰.۱۰۳۳	-۰.۵۱۶	-۰.۸۴۷	-۰.۲۷۴	-۰.۳۹۷	-۰.۱۰۶۵
Bi	-۰.۵۷۶	-۰.۵۷۹	-۰.۸۶۸	-۰.۵۵۰	-۰.۱۰۳۲	Bi	-۰.۸۸۷	-۰.۲۰۴	-۰.۸۰۶	-۰.۵۳۲	-۰.۸۸۱	-۰.۱۰۵۱
Ca	-۰.۹۳۱	-۰.۲۶۶	-۰.۸۰۰	-۰.۸۷۵	-۰.۸۰۰	Ca	-۰.۵۴۳	-۰.۴۸۹	-۰.۱۰۶۱	-۰.۱۰۱۹	-۰.۸۱۹	-۰.۸۶۳
Cd	-۰.۶۵۴	-۰.۴۷۱	-۰.۸۷۸	-۰.۱۰۹۱	-۰.۲۴۷	Cd	-۰.۸۱۳	-۰.۳۰۹	-۰.۸۹۱	-۰.۱۰۱۸	-۰.۱۰۰۱	-۰.۱۰۱۴
Ce	-۰.۸۵۳	-۰.۱۰۶۹	-۰.۶۳۸	-۰.۸۳۸	-۰.۱۰۰۵	Ce	-۰.۱۰۶۸	-۰.۸۳۳	-۰.۲۷۴	-۰.۱۰۲۵	-۰.۱۰۳۱	-۰.۸۸۳
Co	-۰.۸۷۷	-۰.۳۵۱	-۰.۴۸۳	-۰.۸۹۴	-۰.۱۰۰۴	Co	-۰.۶۹۵	-۰.۸۹۶	-۰.۱۰۵۳	-۰.۲۹۶	-۰.۴۵۰	-۰.۲۳۷
Cr	-۰.۵۳۰	-۰.۴۱۱	-۰.۸۳۶	-۰.۸۳۰	-۰.۱۰۰۸	Cr	-۰.۴۸۳	-۰.۳۰۰	-۰.۱۰۳۰	-۰.۸۷۸	-۰.۱۰۰۲	-۰.۱۰۰۲

ادامه جدول ۵-۱۳

Ca	-۵۶۹	-۸۳۵	-۵۸۹	-۱۰۹۱	-۱۴۴	Cs	-۵۵۰	-۱۴۱	-۸۱۷	-۱۰۴۱	-۱۰۲۶	-۱۰۸۳
Ga	-۸۳۵	-۱۴۳۴	-۵۱۴	-۸۳۱	-۱۰۵	Ga	-۱۳۷۶	-۱۳۸۷	-۸۳۱	-۱۳۸۷	-۱۰۹۵	-۸۵۵
Ge	-۸۳۴	-۸۶۱	-۸۳۸	-۸۱	-۱۰۲۲	Ge	-۸۳۳	-۱۳۷۷	-۱۰۵۴	-۸۹۶	-۱۰۰۹	-۱۰۸۸
Hf	-۸۷۱	-۸۷۱	-۸۱۴	-۸۰۸	-۱۰۳۶	Hf	-۱۴۸۶	-۸۰۰	-۸۰۳	-۱۰۷۴	-۸۶۷	-۱۰۵۳
In	-۵۹۰	-۱۳۹۳	-۵۴۹	-۸۸۳	-۱۴۵۹	In	-۸۴۴	-۵۶۴	-۱۳۳۴	-۱۰۴۱	-۸۵۶	-۱۰۰۷
K	-۸۸۳	-۱۰۴۳	-۱۰۳۷	-۸۱	-۱۰۶۳	K	-۸۵۳	-۱۰۱۴	-۸۰۹	-۸۳۸	-۱۰۱۳	-۱۳۰۹
La	-۸۸۷	-۱۰۳۸	-۸۰۸	-۱۰۸۳	-۱۰۰۳	La	-۱۰۳۷	-۱۳۹۱	-۸۸۶	-۸۴۳	-۱۰۳۵	-۸۶۴
Li	-۸۵۳	-۸۸۳	-۸۰۰	-۱۳۷۹	-۱۰۵۳	Li	-۱۰۰۵	-۸۷۹	-۸۸۶	-۸۱۳	-۸۰۱	-۱۰۰۹
Mg	-۸۵۴	-۸۳۳	-۱۰۵۹	-۱۰۰۰	-۱۰۳۷	Mg	-۱۳۵۹	-۸۳۷	-۵۸۱	-۱۳۳۱	-۱۰۶۹	-۱۰۳۳
Mn	-۸۱۷	-۸۳۴	-۱۳۳۶	-۱۳۳۶	-۸۸۳	Mn	-۱۰۸۴	-۸۳۳	-۸۴۶	-۱۰۷۹	-۸۸۵	-۱۰۳۵
Na	-۸۴۳	-۵۴۱	-۸۵۷	-۱۰۵۵	-۸۴۵	Na	-۱۳۳۸	-۱۰۳۳	-۱۰۴۳	-۸۳۷	-۱۰۴۴	-۱۰۹۶
Nb	-۱۳۳۳	-۸۱۵	-۱۰۱۱	-۸۶۳	-۱۰۵۴	Nb	-۸۰۶	-۸۰۱	-۸۰۰	-۱۰۸۴	-۸۵۸	-۱۰۷۰
Ni	-۸۷۸	-۱۰۱۱	-۱۰۰۳	-۱۰۳۹	-۱۰۱۸	Ni	-۸۱۵	-۵۳۵	-۸۱۶	-۱۳۸۹	-۱۰۰۵	-۱۰۸۷
P	-۱۳۷۸	-۱۳۱۵	-۸۱۵	-۱۰۴۱	-۸۱۸	P	-۸۷۴	-۸۳۸	-۱۴۱۳	-۸۷۸	-۱۰۴۳	-۱۰۹۹
Rb	-۱۰۵۸	-۱۳۵۹	-۸۹۰	-۸۳۳	-۱۰۱۴	Rb	-۸۳۳	-۱۰۶۶	-۸۱۴	-۱۰۳۳	-۸۵۳	-۱۳۷۴
S	-۸۷۷	-۱۰۴	-۸۵۱	-۸۳۱	-۱۰۵۳	S	-۸۴۰	-۱۰۳۴	-۱۰۳۴	-۵۳۹	-۱۰۱۷	-۱۰۸۳
Sc	-۸۶۴	-۵۸۵	-۸۳۳	-۸۱۵	-۱۰۱۴	Sc	-۱۴۶۶	-۸۳۰	-۱۰۴۳	-۸۶۵	-۸۴۸	-۸۹۴
Se	-۸۶۳	-۵۹۰	-۱۳۷۷	-۸۴۶	-۸۰۱	Se	-۱۰۷۶	-۸۳۹	-۱۴۸۸	-۸۰۰	-۸۳۸	-۱۰۸۴
Sn	-۸۳۳	-۵۳۸	-۱۰۷۹	-۸۳۴	-۱۳۱۴	Sn	-۸۹۷	-۱۰۴۴	-۱۳۸۳	-۸۴۰	-۸۳۳	-۱۰۰۹
Sr	-۸۸۴	-۱۰۰۰	-۱۰۹۶	-۱۰۱۴	-۸۳۶	Sr	-۸۶۷	-۱۳۹۰	-۱۰۰۴	-۸۷۵	-۱۰۸۳	-۱۰۳۷
Te	-۸۸۶	-۱۳۷۷	-۸۳۸	-۱۴۷۳	-۱۳۹۱	Te	-۸۹۷	-۸۵۷	-۱۴۷۹	-۸۳۶	-۱۳۳۷	-۱۰۸۳
Th	-۸۶۶	-۵۴۳	-۱۴۷۸	-۸۰۳	-۸۱۸	Th	-۸۷۵	-۸۶۱	-۱۰۴۹	-۱۴۳۳	-۱۰۷۹	-۸۳۵
Ti	-۱۳۰	-۸۳۷	-۱۰۴۶	-۸۸۱	-۱۰۷۴	Ti	-۸۶۹	-۸۹۴	-۱۳۵۳	-۸۰۹	-۱۰۴۷	-۸۳۴
Tl	-۸۹۳	-۵۶۱	-۱۰۶۳	-۸۶۳	-۱۳۴۶	Tl	-۱۳۴۴	-۸۰۳	-۸۶۸	-۱۴۵۱	-۱۰۸۴	-۸۸۷
U	-۸۱۳	-۸۱۰	-۱۴۶۳	-۱۳۳۸	-۸۷۳	U	-۵۳۳	-۸۳۱	-۱۳۳۷	-۸۵۰	-۱۳۵۶	-۱۰۵۱
V	-۱۰۵۷	-۸۰۰	-۱۴۱۱	-۱۰۳۱	-۱۰۹۳	V	-۸۵۴	-۸۶۳	-۱۴۶۱	-۱۳۵۳	-۱۰۴۴	-۱۰۸۶
W	-۸۶۳	-۱۳۴۹	-۱۰۰۰	-۸۰۶	-۱۰۰۸	W	-۸۰۳	-۱۴۷۷	-۸۳۳	-۱۰۵۴	-۸۵۳	-۱۰۶۷
Y	-۸۴۵	-۱۰۷۵	-۸۰۰	-۱۰۹۶	-۱۰۳۵	Y	-۱۴۷۰	-۱۰۷۷	-۵۴۰	-۵۶۵	-۸۴۱	-۱۰۶۱
Zr	-۱۰۵۶	-۸۹۳	-۱۰۸۸	-۱۰۰۰	-۱۰۴۳	Zr	-۸۱۱	-۸۴۴	-۸۸۴	-۱۰۵۱	-۸۶۱	-۱۰۵۵

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۱۴- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۳ و ۴ منطقه شندمحمود

	مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۳							مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۴					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶		۱	۲	۳	۴	۵	۶
Sb	-۱	-۲	-۴	-۹	-۱	-۱	Sb	-۱	-۲	-۲	-۹	-۱	-۱
Au	-۸	-۱	-۱	-۵	-۱	-۱	Au	-۸	-۱	-۱	-۵	-۱	-۱
Cu	-۸	-۵	-۱	-۱	-۴	-۱	Cu	-۸	-۵	-۱	-۱	-۴	-۱
Ag	-۱	-۱	-۶	-۱	-۱	-۸	Ag	-۲	-۱	-۶	-۱	-۱	-۸
Pb	-۴	-۱	-۹	-۱	-۲	-۱	Pb	-۵	-۱	-۸	-۲	-۲	-۱
Zn	-۹	-۲	-۱	-۱	-۲	-۱	Zn	-۹	-۲	-۱	-۱	-۲	-۱
As	-۴	-۲	-۲	-۸	-۴	-۱	As	-۴	-۲	-۲	-۸	-۴	-۱
Fe	-۹	-۲	-۱	-۱	-۱	-۱	Fe	-۹	-۲	-۱	-۲	-۱	-۱
Hg	-۱	-۲	-۸	-۶	-۱	-۱	Hg	-۱	-۲	-۸	-۶	-۱	-۱
Mo	-۱	-۸	-۲	-۲	-۲	-۲	Mo	-۱	-۸	-۲	-۲	-۴	-۲
Al	-۱	-۲	-۸	-۸	-۱	-۱	Al	-۱	-۲	-۶	-۸	-۱	-۱
Ba	-۴	-۶	-۱	-۶	-۱	-۲	Ba	-۴	-۶	-۱	-۶	-۱	-۲
Be	-۱	-۸	-۲	-۱	-۴	-۱	Be	-۱	-۸	-۲	-۲	-۴	-۱
Bi	-۸	-۲	-۵	-۱	-۱	-۱	Bi	-۸	-۲	-۵	-۱	-۲	-۱
Ca	-۹	-۴	-۱	-۱	-۱	-۲	Ca	-۹	-۵	-۱	-۱	-۱	-۲
Cd	-۱	-۲	-۱	-۲	-۹	-۱	Cd	-۱	-۲	-۱	-۲	-۹	-۱
Ce	-۱	-۱	-۹	-۲	-۱	-۲	Ce	-۱	-۱	-۹	-۲	-۱	-۲
Co	-۸	-۲	-۲	-۱	-۴	-۲	Co	-۸	-۲	-۲	-۱	-۴	-۲
Cr	-۵	-۲	-۸	-۱	-۱	-۱	Cr	-۵	-۴	-۸	-۱	-۱	-۱
Cs	-۶	-۴	-۱	-۸	-۱	-۱	Cs	-۶	-۴	-۱	-۸	-۱	-۱
Ga	-۲	-۲	-۴	-۸	-۱	-۲	Ga	-۲	-۲	-۲	-۸	-۱	-۲
Ge	-۹	-۲	-۲	-۱	-۱	-۱	Ge	-۹	-۲	-۲	-۱	-۱	-۱
Hf	-۶	-۸	-۱	-۲	-۱	-۱	Hf	-۵	-۸	-۱	-۲	-۲	-۱
In	-۱	-۶	-۱	-۲	-۸	-۱	In	-۱	-۵	-۱	-۲	-۸	-۱
K	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۲	K	-۹	-۱	-۱	-۱	-۱	-۲
La	-۱	-۲	-۹	-۲	-۱	-۲	La	-۱	-۲	-۹	-۴	-۱	-۲
Li	-۱	-۸	-۸	-۲	-۱	-۱	Li	-۱	-۸	-۶	-۴	-۱	-۱
Mg	-۲	-۸	-۲	-۵	-۱	-۱	Mg	-۲	-۸	-۲	-۶	-۱	-۱
Mn	-۱	-۲	-۱	-۹	-۲	-۱	Mn	-۱	-۱	-۱	-۹	-۲	-۱
Na	-۲	-۱	-۹	-۱	-۱	-۱	Na	-۲	-۱	-۹	-۱	-۱	-۱

ادامه جدول ۵-۱۴

Nb	-۰۴	-۰۸	-۰۱	-۰۶	-۰۱	--۰۱	Nb	-۰۴	-۰۸	-۰۱	-۰۶	-۰۲	--۰۱
Ni	-۰۸	-۰۵	-۰۴	-۰۴	-۰۱	--۰۱	Ni	-۰۸	-۰۵	-۰۴	-۰۴	-۰۱	--۰۱
P	-۰۲	-۰۱	-۰۹	-۰۴	-۰۱	--۰۱	P	-۰۲	-۰۱	-۰۹	-۰۴	-۰۱	--۰۱
Rb	-۰۹	-۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۴	Rb	-۰۹	-۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۱	-۰۴
S	-۰۸	-۰۱	-۰۵	-۰۱	-۰۱	--۰۱	S	-۰۸	-۰۱	-۰۵	-۰۱	-۰۱	--۰۱
Sc	-۰۵	-۰۸	-۰۲	--۰۱	--۰۲	-۰۲	Sc	-۰۵	-۰۸	-۰۱	--۰۱	--۰۱	-۰۲
Se	-۰۱	-۰۹	-۰۱	-۰۴	-۰۱	--۰۱	Se	-۰۱	-۰۸	-۰۱	-۰۵	-۰۲	--۰۱
Sn	-۰۴	-۰۱	-۰۶	-۰۴	-۰۱	-۰۱	Sn	-۰۴	--۰۱	-۰۶	-۰۴	-۰۱	-۰۱
Sr	-۰۸	-۰۲	-۰۸	-۰۱	-۰۱	-۰۱	Sr	-۰۸	-۰۴	-۰۸	-۰۱	-۰۱	-۰۱
Te	-۰۲	-۰۸	-۰۱	-۰۴	-۰۲	--۰۱	Te	-۰۲	-۰۸	-۰۱	-۰۴	-۰۴	--۰۱
Th	-۰۹	-۰۱	-۰۴	-۰۱	--۰۱	--۰۱	Th	-۰۹	-۰۱	-۰۴	-۰۱	--۰۱	--۰۱
Ti	-۰۸	-۰۶	-۰۹	-۰۲	-۰۱	--۰۱	Ti	-۰۸	-۰۸	-۰۱	-۰۲	-۰۱	--۰۱
Tl	-۰۴	-۰۴	-۰۵	-۰۸	-۰۱	-۰۲	Tl	-۰۴	-۰۴	-۰۵	-۰۸	-۰۱	-۰۲
U	-۰۶	-۰۸	-۰۱	-۰۲	-۰۲	-۰۱	U	-۰۶	-۰۸	-۰۱	-۰۲	-۰۲	-۰۱
V	-۰۴	-۰۸	-۰۴	-۰۴	-۰۱	--۰۱	V	-۰۴	-۰۸	-۰۴	-۰۴	-۰۱	--۰۱
W	--۰۱	-۰۵	-۰۹	-۰۸	-۰۱	--۰۱	W	--۰۱	-۰۵	-۰۱	-۰۸	-۰۱	--۰۱
Y	-۰۵	-۰۱	-۰۶	-۰۵	-۰۴	-۰۱	Y	-۰۵	-۰۱	-۰۶	-۰۵	-۰۴	-۰۱
Zr	-۰۸	-۰۸	-۰۱	-۰۲	-۰۱	--۰۱	Zr	-۰۶	-۰۸	-۰۱	-۰۲	-۰۲	--۰۱

در باند فرکانسی ۵ که فرکانس‌های میانی را دربر می‌گیرد عناصر کانی‌سازی آنتیموان، طلا، جیوه، مس و روی و غیره به خوبی در یک فاکتور کلاسه‌بندی شده‌اند. مؤلفه ۱ به عنوان مؤلفه کانی‌سازی در این باند در نظر گرفته می‌شود (جدول ۵-۱۵).

جدول ۵-۱۵- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۵ در منطقه شندمحمود

	مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۵							
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Sb	-۵۹۳	-۳۹۸	-۱۹۹	-۳۷۲	-۱۳۷	--۱-۱۵	-۱-۷	--۳-۲
Au	-۵۸۵	-۳۳۷	-۳-۱	-۴۸۳	--۱--۹	-۱۸۲	--۱-۳۲	-۱-۱۹
Cu	-۸۳-	-۱۸۵	-۳۹۴	-۳۷۹	-۱-۴۸	-۱۳۷	-۱-۴۸	-۱-۸۸
Ag	-۸۸۱	-۱-۶۵	-۳۶۳	-۱-۸۱	-۱۳۲	-۳۱۸	--۱۳۱	--۱۳۳
Pb	-۸۵۲	-۱۵-	-۳۱۱	-۱-۵-	-۳۴۱	-۱۲-	-۱-۸۵	--۱۱۵
Zn	-۶۴۱	--۱-۱۵	-۱۷۲	-۳۶۴	-۳۴۷	-۱-۲۳	-۳۵۱	-۱-۵۹
As	-۸۸۸	-۳۹۹	-۱-۳۳	-۱۳۸	-۱۲۹	--۱-۱۹	-۱-۳۱	--۱۵۳
Fe	-۸۱۲	-۳۳۷	-۳۱۴	-۳۳۳	-۱-۶۲	-۳۱-	-۱۴-	-۳۳۳
Hg	-۳۳۸	-۵۴۳	-۳۵۴	-۴-۶	-۳۶-	--۱-۱	--۳۳۸	--۱-۲-
Mo	-۵۷۷	-۱۵۵	-۳۱۳	-۵۷۲	--۱-۷۷	-۱-۵	-۱۴۷	--۱-۶-
Al	-۳۳۱	-۵--	-۶۶۹	-۱-۸۶	-۳۲-	--۱۷۴	--۱-۳۱	--۱۷۶
Ba	-۴۱۴	-۳۸۳	-۱-۴۵	-۶۵۹	-۱-۸۷	-۳۱۲	--۱-۱-	--۱۴۴
Be	-۳۴۷	-۱۵۱	-۱۲-	-۸۹۶	-۳-۴	-۱۱۷	-۳۹۸	-۱-۷۱
Bi	-۵۱-	-۳۷۲	-۳۲۶	-۳۱۳	-۱۵۴	-۳۲۵	-۱-۵۱	-۳۵۳
Ca	-۳۶۶	-۵۴۹	-۱-۹۳	-۱۵۳	-۱۱۲	-۴۹۴	--۱-۲-	-۴۳۷
Cd	-۴۶-	-۱-۱۵	-۱۴۵	-۳۹۱	-۳۵۷	--۱-۱۶	-۸۱۲	-۱-۴۸
Ce	-۳۷-	-۱-۳۹	-۳۵۴	-۱-۵	-۸۶۷	-۱۱۵	-۱-۵۵	--۱-۷۳
Co	-۳۲۵	-۳۱۲	-۸-۳	-۱۶۳	-۱-۲۵	-۳۵۵	-۳۸۶	--۱-۴۹
Cr	-۱۴۴	-۱۱۷	-۸۳۱	-۳۵۷	-۱۲-	-۳۳۶	--۱-۴۳	-۱-۹۳
Cs	-۱۴۴	-۸۶۷	-۴۱۵	-۱-۶-	-۱-۳۱	-۱۸۱	-۱-۲-۳	--۱-۷۸
Ga	-۳۴-	-۳۶۸	-۸۳۴	-۱۲۵	-۱-۶۵	-۱۱۸	-۱-۶۲	--۱-۲-
Ge	-۸۵۲	-۱-۸۶	--۱--۱	-۱۴۴	-۳۱۴	-۱۳۸	-۳۱-	-۱۵-
Hf	-۱۲۶	-۸۱۷	-۱-۱۴	-۳۲۵	-۱-۵۹	-۳-۲	-۱-۴۳	-۱-۲۵
In	-۸--	-۱-۶-	-۵۶-	-۱۵-	-۱۵-	-۱۳۸	-۳۳۱	--۱-۱۷
K	-۱۷-	-۳۶۶	-۱-۶۶	-۴۷۲	-۱-۳۱	-۸۱۱	-۱-۳۶	-۱-۵۹
La	-۳۳۸	-۱۳۷	-۱۹۵	-۱-۴۳	-۸۴۴	-۱-۲	-۱-۵۲	--۱۳۳
Li	-۳۵۵	-۵۹۴	-۶۶۱	-۱-۴۳	-۱۸۳	--۳-۹	-۱-۳۳	-۱-۵۳
Mg	-۳۳۳	-۸۵۱	-۳۳۳	-۱-۹۵	-۱-۹۱	--۱-۱۷	--۱-۳۵	--۱۱۲
Mn	-۱۷۲	-۴۸۷	-۳۱۵	-۳۹۶	-۱-۱۸	-۱-۲۵	-۱-۷	--۵۶۹
Na	-۱۴۵	-۱۳۳	-۳۲۶	-۳۶۱	-۸۱۳	--۱۳۳	-۱۱۹	-۳۹۷

ادامه جدول ۵-۱۵

Nb	-/۲۲۶	-/۸۸۶	-/۰۴-	-/۰۳۴	-/۲۲۹	-/۰۸۶	-/۰۱۹	--/۲۶۹
Ni	-/۲۰۲	-/۵۹۷	-/۵۵۵	-/۲۱۵	-/۸۹-	-/۲۸۲	-/۲۶۷	-/۰۶۸
P	-/۰۹۳	-/۸۴۶	-/۵۶-	-/۸۰۶	-/۲۹۱	-/۰۳۱	--/۰۰۴	--/۰۱۱
Rb	-/۲۴۵	-/۸۷۵	-/۲۰۷	-/۸۸۲	-/۰۹۶	-/۸۷۵	-/۰۹۹	--/۸۵۲
S	-/۲۲۸	-/۲۰۲	-/۰۹۵	-/۴۰۲	-/۵۵۶	-/۴۰۵	-/۲۲۷	-/۰۹۱
Sc	-/۴۸۵	-/۵۸۵	-/۸۹۲	-/۰۹۴	--/۰۱۱	-/۰۳۳	-/۲۱۰	-/۴۱۷
Se	-/۲۲۷	-/۴۷۸	-/۰۵۱	-/۲۱۶	-/۰۶۸	--/۰۹۶	--/۰۴۷	-/۸۵۶
Sn	-/۵۸۹	-/۸۴۰	-/۰۰۴	-/۲۰۱	-/۲۳۲	-/۸۴۵	-/۰۶۱	--/۰۶۰
Sr	-/۲۸۱	-/۲۴۱	-/۰۹۴	-/۸۴۴	-/۰۹۶	-/۴۳۴	--/۰۷۲	--/۰۲۸
Te	-/۰۳۸	-/۸۶۶	-/۲۸۷	-/۸۲۶	-/۸۴۱	--/۰۹۸	-/۲۲۶	--/۰۰۸
Th	-/۸۰۵	-/۲۲۶	-/۴۴۶	-/۴۲۹	-/۲۴۸	-/۵۷۹	--/۸۹۰	-/۲۴۵
Ti	-/۸۰۰	-/۸۹۵	-/۰۴۵	-/۴۰۷	--/۰۰۷	-/۲۶۵	--/۸۰۲	-/۸۱۶
Tl	-/۸۵۷	-/۲۱۶	-/۲۰۳	-/۸۷۱	-/۲۸۰	-/۸۱۲	-/۰۳۷	--/۰۷۶
U	-/۶۴۳	-/۲۴۳	-/۲۵۶	-/۵۷۲	--/۰۸۰	-/۸۹۰	--/۸۱۳	--/۰۳۸
V	-/۲۴۶	-/۵۲۱	-/۲۰۷	-/۲۳۲	-/۰۴۳	-/۸۰۲	--/۰۷۸	--/۰۳۱
W	-/۲۶۸	-/۸۵۰	-/۸۶۰	-/۸۷۲	-/۲۱۴	-/۰۷۱	-/۲۴۱	-/۰۵۸
Y	-/۲۴۲	-/۲۷۵	-/۵۷۶	-/۰۶۶	-/۲۹۰	-/۸۱۳	-/۴۸۷	--/۸۰۷
Zr	-/۸۲۶	-/۵۷۰	-/۰۵۰	-/۸۶۴	-/۰۰۶	-/۲۲۰	-/۰۶۸	-/۸۶۳

باندهای فرکانسی ۶، ۷ و ۸ فرکانس‌های پایین و مقادیر طیف توان بالا را دربر می‌گیرند. در این باندهای فرکانسی الگوهای ژئوشیمی منطقه به نحو مطلوب‌تری قابل جدایش هستند. مقادیر طیف توان عناصر در این باندهای فرکانسی به خوبی در ۲ فاکتور کانی‌سازی و زمینه کلاسه‌بندی می‌شوند (جدول ۵-۱۶). در باند فرکانسی ۶، فاکتور ۲ به عنوان فاکتور کانی‌سازی شامل عناصر آنتیموان، طلا، نقره، سرب، آرسنیک، جیوه، سرب، بریلیم، بیسموت، کادمیم، ایندیم، گوگرد، سلنیم، تلوریم و تنگستن می‌باشد. سایر عناصر در مؤلفه اول به عنوان مؤلفه زمینه قرار گرفته‌اند. برخی از عناصر کانی‌سازی مانند آنتیموان و طلا در فاکتور اول نیز ضرایب بالایی دارند. این بدان مفهوم است که رفتار برخی عناصر کانی‌سازی در این باند فرکانسی با رفتار عناصر زمینه تشابه دارد و با توجه به اینکه مقادیر ضرایب برخی عناصر

کانی‌سازی در فاکتور کانی‌سازی کمتر از فاکتور زمینه است، این عناصر آنومالی ضعیفی در عمق خواهند داشت. با کاهش مقادیر فرکانس‌ها در بازه‌های ۷ و ۸ برخی از این عناصر از فاکتور کانی‌سازی خارج شده و در فاکتور زمینه قرار می‌گیرند که این واقعیت را تقویت می‌کند و به عبارتی در اعماق مقادیر این عناصر برابر مقادیر زمینه می‌شوند و در اعماق کانی‌سازی وجود نخواهد داشت. در باندهای فرکانسی ۷ و ۸ عناصر طلا و آنتیموان در فاکتور ۱ به عنوان فاکتور زمینه قرار گرفته‌اند. به طور کلی با کاهش مقادیر فرکانس در باندهای مختلف، از مقادیر ضرایب کانی‌سازی آنتیموان کاسته می‌شود. روش ضرایب فرکانسی عناصر به منظور بررسی وضعیت تغییرات آنتیموان در باندهای فرکانسی مختلف و از طرفی تحلیل وضعیت کانی‌سازی در عمق مورد استفاده قرار گرفته و نمودار مربوط به این روش در شکل ۵-۳۰ ترسیم شده است. بر اساس روش ضرایب فرکانسی عناصر و نمودار مربوطه، ضرایب فرکانسی آنتیموان با کاهش فرکانس‌ها، کاهش می‌یابد و روند کاهشی آن به خوبی در نمودار مشاهده می‌شود. اهمیت آنتیموان در فاکتور کانی‌سازی در فرکانس‌های بالا بیشتر است. باندهای فرکانسی ۶، ۷ و ۸ با بیشترین مقادیر طیف توان و کمترین مقادیر فرکانس، کمترین ضرایب را دارند. نمودار مزبور نشان می‌دهد کانی‌سازی پنهان و عمیق آنتیموان در این منطقه وجود ندارد و تنها در سطح زمین اثرات کانی‌سازی باید وجود داشته باشد و به نوعی در این منطقه با یک کانی‌سازی سطحی روبرو خواهیم بود. نتایج بررسی‌های اکتشافی و نمونه‌برداری‌های ژئوشیمیایی از قسمت‌های کانی‌سازی شده در سطح نشان می‌دهد که رگه‌های کانی‌سازی به صورت پراکنده در سطح زمین رخنمون دارند و بسته به شدت کانی‌سازی، عیارهای پایین تا متوسطی را شامل می‌شوند. همان‌طور که وضعیت کانی‌سازی منطقه در فصل ۴ توضیح داده شد، در برخی قسمت‌ها میزان این عیارها به صورت نقطه‌ای مقادیر بالایی نشان می‌دهند. وجود حفریات قدیمی در راستای رگه‌ها و با اعماق کم، وجود کانی‌سازی سطحی را تأیید می‌کند. چندین حفاری جهت بررسی وضعیت کانی‌سازی در قسمت‌های پایینی این حفریات قدیمی انجام شده است. این گمانه‌ها تا اعماق ۵۰ متر بیشتر طراحی نشده است.

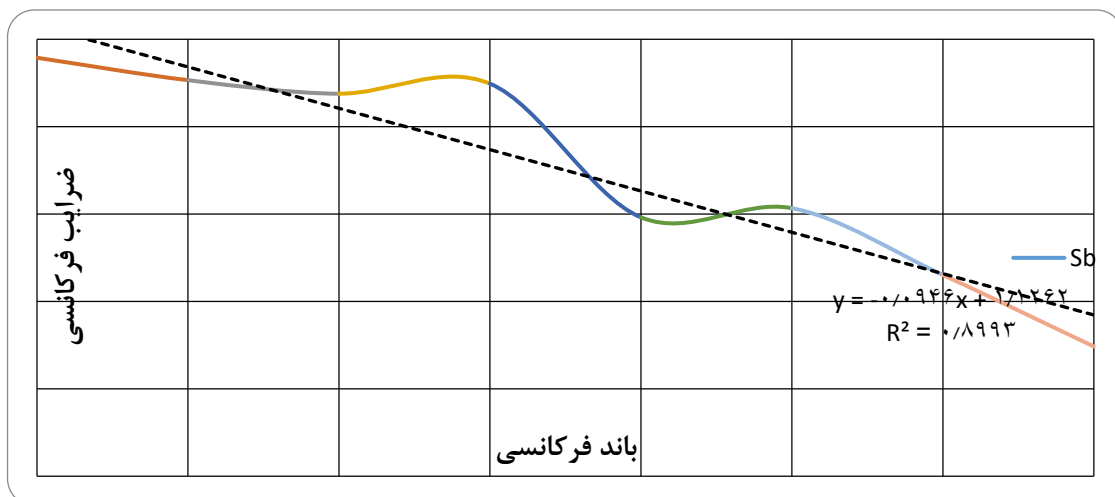
فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۱۶- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در باندهای فرکانسی ۶، ۷ و ۸ در منطقه شندمحمود

	مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۶			مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۷			مؤلفه‌های اصلی در باند فرکانسی ۸	
	۱	۲		۱	۲		۱	۲
Sb	-۵۸۳	-۶۱۴	Sb	-۸--	-/۴۶۱	Sb	-/۹۳۱	-/۲۹۷
Au	-/۴۴۹	-۵۸۵	Au	-۸۴۴	-/۴۲۶	Au	-/۹۶۴	-/۲۶۴
Cu	-۸۹۷	-/۴۲۷	Cu	-/۹۳۳	-/۴۶۸	Cu	-/۹۵۴	-/۲۸۸
Ag	-/۴۳۱	-۸۴-	Ag	-۵۸۶	-/۴۱۷	Ag	-۸۳۳	-۵۳۳
Pb	-/۸۸۱	-۵۸۴	Pb	-۸۳۴	-۵-۱	Pb	-۸۹۸	-/۴-۰
Zn	-۸۷۷	-/۴۲۳	Zn	-/۹-۳	-/۴۲۴	Zn	-/۹۵۲	-/۳-۵
As	-/۸۸۸	-۵۶۳	As	-۸۴۸	-/۴۶۴	As	-/۹-۱	-/۴-۰
Fe	-/۹۱۸	-/۴۹۳	Fe	-/۹۳۱	-/۴۸۶	Fe	-/۹۴۹	-/۴۱۶
Hg	-/۰-۴	-/۹۱۵	Hg	-/۰-۳	-/۹۱-	Hg	-/۸۵۷	-/۹۸۴
Mo	-۸۹۵	-/۴۳۱	Mo	-/۹۳۶	-/۴۶۳	Mo	-/۹۴۶	-/۴۱۷
Al	-/۹۳۳	-/۴۵۹	Al	-/۹۳۶	-/۴۴۹	Al	-/۹۴۹	-/۴۱-
Ba	-۸۷۴	-/۴۶۱	Ba	-۸۹۷	-/۴۱۵	Ba	-/۹۷۶	-/۳-۳
Be	-۸۳-	-۵۴۵	Be	-۸۷-	-/۴۶۷	Be	-/۹۴۷	-/۴۱۴
Bi	-۵-۲	-/۴۶۸	Bi	-/۴۵۶	-۵۹۱	Bi	-/۹۷۹	--/۰-۳۷
Ca	-/۹۳۴	-/۴۵۷	Ca	-/۹۴-	-/۴۴-	Ca	-/۹۵۲	-/۳--
Cd	-۸۱۳	-۵۴۷	Cd	-۸۷۱	-/۴۵۶	Cd	-/۹۴۳	-/۴۱۳
Ce	-/۹۳۶	-/۴۵-	Ce	-/۹۳۷	-/۴۴۶	Ce	-/۹۵۳	-/۲۹۹
Co	-/۹۳۴	-/۴۵۶	Co	-/۹۳۸	-/۴۴۳	Co	-/۹۵۱	-/۳-۵
Cr	-/۹۳۷	-/۴۷۳	Cr	-/۹۳-	-/۴۶۶	Cr	-/۹۴۹	-/۴۱۵
Cs	-/۹۳۳	-/۴۸۴	Cs	-/۹۳۶	-/۴۷۷	Cs	-/۹۴۷	-/۴۳-
Ga	-/۹۳۳	-/۴۵۸	Ga	-/۹۳۴	-/۴۵۶	Ga	-/۹۴۸	-/۴۱۶
Ge	-/۹۳۴	-/۴۵۶	Ge	-/۹۳۷	-/۴۴۸	Ge	-/۹۵۲	-/۳-۲
Hf	-/۹۳۷	-/۴۷۳	Hf	-/۹۳۹	-/۴۶۷	Hf	-/۹۴۹	-/۴۱۱
In	-/۴۳۳	-/۴۸۹	In	-/۴۶-	-۵۱۶	In	-/۹۳۱	-/۲۳۸
K	-/۹۳۴	-/۴۵۶	K	-/۹۳۸	-/۴۴۳	K	-/۹۵۲	-/۳-۲
La	-/۹۳۵	-/۴۵۴	La	-/۹۳۶	-/۴۴۹	La	-/۹۵۴	-/۲۹۹
Li	-/۹۳۶	-/۴۷۴	Li	-/۹۳۳	-/۴۵۷	Li	-/۹۴۷	-/۴۱۶
Mg	-/۹۳-	-/۴۸۷	Mg	-/۹۳۹	-/۴۶۳	Mg	-/۹۴۵	-/۴۱۹
Mn	-/۹-۸	-/۴-۸	Mn	-/۹۳۱	-/۴۷۷	Mn	-/۹۳۸	-/۴۳۳

ادامه جدول ۵-۱۶

مؤلفه‌های اصلی در باند ۶			مؤلفه‌های اصلی در باند ۷			مؤلفه‌های اصلی در باند ۸		
Na	-۱۹۰۲	-۱۴۳۱	Na	-۱۹۲۰	-۱۴۸۳	Na	-۱۹۶۳	-۱۴۶۸
Nb	-۱۹۳۱	-۱۴۶۱	Nb	-۱۹۳۳	-۱۴۵۵	Nb	-۱۹۵۱	-۱۴۰۳
Ni	-۱۹۳۱	-۱۴۶۳	Ni	-۱۹۳۷	-۱۴۴۸	Ni	-۱۹۵۳	-۱۴۰۱
P	-۱۹۳۹	-۱۴۴۲	P	-۱۹۳۹	-۱۴۴۱	P	-۱۹۵۲	-۱۴۰۱
Rb	-۱۹۳۶	-۱۴۵۰	Rb	-۱۹۳۸	-۱۴۴۳	Rb	-۱۹۵۲	-۱۴۰۳
S	-۱۹۳۱	-۱۴۳۷	S	-۱۸۰۶	-۱۵۳۷	S	-۱۹۱۸	-۱۴۷۲
Sc	-۱۹۳۷	-۱۴۴۹	Sc	-۱۹۳۹	-۱۴۴۳	Sc	-۱۹۵۱	-۱۴۰۵
Se	-۱۸۱۵	-۱۵۴۷	Se	-۱۸۶۸	-۱۴۵۶	Se	-۱۹۴۱	-۱۴۱۴
Sn	-۱۸۴۳	-۱۴۶۳	Sn	-۱۹۲۸	-۱۴۹۳	Sn	-۱۹۵۶	-۱۴۷۵
Sr	-۱۹۱۱	-۱۴۸۹	Sr	-۱۹۲۹	-۱۴۵۲	Sr	-۱۹۴۰	-۱۴۳۲
Te	-۱۶۱۴	-۱۷۱۲	Te	-۱۶۶۷	-۱۶۶۱	Te	-۱۷۹۳	-۱۶۶۶
Th	-۱۹۳۹	-۱۴۴۲	Th	-۱۹۴۰	-۱۴۳۹	Th	-۱۹۵۳	-۱۴۰۳
Ti	-۱۸۷۹	-۱۴۶۰	Ti	-۱۸۹۲	-۱۴۳۵	Ti	-۱۹۳۹	-۱۴۶۵
Tl	-۱۹۳۹	-۱۴۶۹	Tl	-۱۹۳۸	-۱۴۴۴	Tl	-۱۹۵۳	-۱۴۰۳
U	-۱۹۱۵	-۱۴۹۴	U	-۱۹۳۹	-۱۴۶۱	U	-۱۹۵۰	-۱۴۰۳
V	-۱۹۱۹	-۱۴۹۱	V	-۱۹۳۶	-۱۴۷۲	V	-۱۹۴۰	-۱۴۳۷
W	-۱۴۶۶	-۱۸۰۵	W	-۱۴۷۵	-۱۵۸۹	W	-۱۸۲۱	-۱۷۰۰
Y	-۱۹۳۷	-۱۴۴۸	Y	-۱۹۴۰	-۱۴۴۰	Y	-۱۹۵۳	-۱۴۹۹
Zr	-۱۹۳۱	-۱۴۶۳	Zr	-۱۹۳۴	-۱۴۵۵	Zr	-۱۹۵۲	-۱۴۰۰



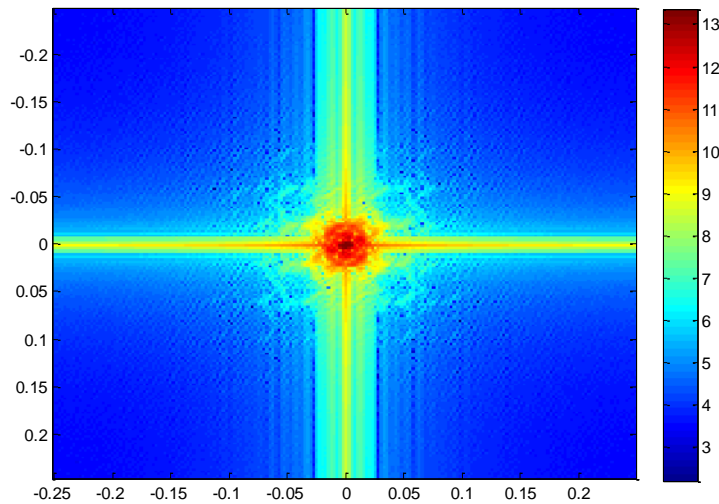
شکل ۵-۳۰- نمودار ضرایب فرکانسی عنصر آنتیموان در باندهای فرکانسی مختلف در منطقه شند محمود

هیچ کدام از این گمانه‌ها با کانی‌سازی قابل توجهی در پایین حفریات قدیمی برخورد نکرده است و کانی‌سازی‌ها در منطقه بر اساس این حفاری‌ها کاملاً سطحی است. عدم وجود یک کانی‌سازی عمیق و پتانسیل پایین کانی‌سازی پنهان در این منطقه توسط روش ضرایب فرکانسی عناصر قبل از انجام حفاری‌های مختلف، به خوبی پیش‌بینی شده است. گمانه BHCHN08 در محدوده شند محمود و بر روی رگه اصلی شماره ۱۰ در کنار چاه استخراجی شماره ۸ حفر گردیده است. روند حفاری N70E بوده که با زاویه ۴۰ درجه از حالت قائم حفر گردیده است. عمق نهایی این حفاری ۳۵ متر می‌باشد. گمانه تا عمق ۱/۷۰ متری از رسوبات عهد حاضر و تا عمق ۲۹ متری از داسیت تشکیل شده است. از عمق ۲۹ تا ۲۹/۵ از برش با قطعات شیل تیره و داسیت تشکیل شده است. از متر ۲۹/۵ تا آخر گمانه از داسیت تشکیل شده است. عیار آنتیموان و طلا برای متر ۲۹ تا ۳۰ متر که محل برش می‌باشد به ترتیب میزان ۴۶/۳ گرم در تن و ۱۱۵ گرم در هزار تن می‌باشد. این حفاری به گونه‌ای طراحی شده است که از اعماق پایین رگه شماره ۱۰ عبور کند. هیچ‌گونه کانی‌سازی قابل توجهی از آنتیموان و طلا در این اعماق پایین مشاهده نشده است.

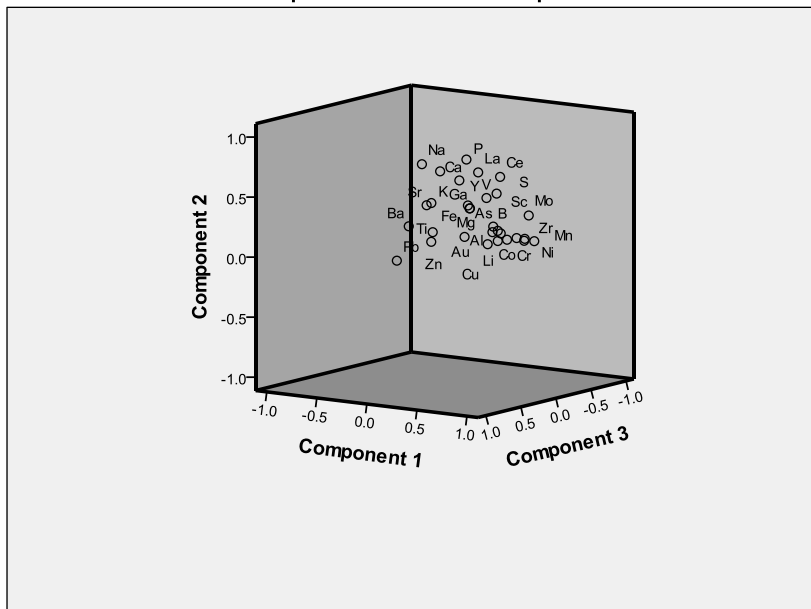
۴-۵- تبدیل داده‌ها به منظور صفر کردن میانگین

در این حالت قبل از انجام تبدیل فوریه، داده‌های ژئوشیمیایی حوزه مکان بر اساس این روش مورد پردازش قرار گرفتند. عیار عناصر مختلف از مقادیر میانگین آنها کسر گردیده و مقدار میانگین داده‌های برای تمام عناصر برابر صفر می‌شود. در این حالت بخشی از داده‌ها منفی و بخشی از آنها مثبت خواهند بود. این فرایند بر روی تمام عناصر ژئوشیمیایی منطقه دالی انجام گرفته است. سپس داده‌ها با استفاده از تبدیل فوریه دو بعدی به حوزه فرکانس انتقال پیدا کرده‌اند. داده‌های حاصل از تبدیل فوریه در حوزه فرکانس دارای تغییراتی نسبت به حالت‌های قبل هستند. مقدار دامنه و طیف توان فرکانس‌ها در این حالت نسبت به حالت اولیه (صفر نکردن میانگین) کاهش نشان می‌دهد ولی نحوه توزیع فرکانس‌ها و نقشه طیف توان مشابه یکدیگر می‌باشند. شکل ۵-۳۱ نقشه توزیع طیف توان عنصر طلا در حالت انتقال

یافته را نشان می‌دهد. داده‌های حاصل از این مرحله جهت انجام تحلیل، در ماتریسی جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. روش PCA بر روی داده‌های این ماتریس اعمال گردیده و نتایج حاصل مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۵-۱۷ و شکل ۵-۳۲ نتایج حاصل را نشان می‌دهند.



شکل ۵-۳۱- نقشه توزیع طیف توان عنصر طلا در منطقه دالی شمالی در حالت تبدیل یافته



شکل ۵-۳۲- نمایش مؤلفه‌های اصلی داده‌های ژئوشیمیایی در حالت انتقال یافته

فصل پنجم: تحلیل نتایج حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۵-۱۷- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در حالت انتقال یافته

	مؤلفه‌های اصلی			
	۱	۲	۳	۴
Au	.۶۴۲	.۲۷۷	.۶۲۴	.۱۹۴
Al	.۷۷۴	.۲۹۹	.۴۲۴	.۲۵۶
As	.۷۶۶	.۲۹۷	.۲۲۶	.۴۲۴
B	.۷۸۹	.۲۴۹	.۴۲۵	.۲--
Ba	.۲۲۸	.۲۵۶	.۸۵۲	-.۲۷
Ca	.۲۴۸	.۷۵۲	.۴۱۹	.۲۵۶
Ce	.۵۶۹	.۶۸۱	-.۲۲	.۲۹۲
Co	.۸۶۹	.۲۲۶	.۲۵۲	.۲۱۱
Cr	.۹۲۲	.۲-۸	.۱۸۵	.۲۴-
Cu	.۷۶۸	.۲-۷	.۴۸۴	.۲۹۲
Fe	.۵۴-	.۵--	.۴۴-	.۲۸۷
Ga	.۲۸۲	.۶۷۸	.۲۲۶	.۲۷۲
K	.۲۲۶	.۵--	.۵۱۴	.۴۲۲
La	.۴۵۶	.۷۲۹	.۱۷۵	.۲۴۹
Li	.۸۴۶	.۲۲۷	.۴۵۱	-.۷۸
Mg	.۵۵۴	.۴۷۶	.۴۲۱	-.۲۲
Mn	.۹۱۲	.۲۴۲	.۲۷۷	-.۶۲
Mo	.۸۸۲	.۲۹۷	-.۶۱	.۲۱۲
Na	.۱--	.۸-۴	.۴۶۸	-.۸۵
Ni	.۹۲۲	.۲۲۶	.۱۹۱	.۱۹۴
P	.۲۲۹	.۸۲۱	.۱۶۱	.۲۵-
Pb	.۱۴-	-.۷-	.۹۱۱	.۲۵۹
S	.۶۶۲	.۵۷۷	.۲-۵	.۱۵-
Sc	.۵۸۱	.۲۱۲	-.۲۱	.۶۱۶
Sr	.۲۷۷	.۵-۷	.۶۵۴	.۲۸-
Ti	.۲۲۸	.۱۸-	.۵۲۲	.۷۴-
V	.۵۸۴	.۵۳۸	.۲۲۸	.۴۶۶
Y	.۲۷۸	.۲۹۱	-.۴۲	.۷۴۲
Zn	.۴۲۲	.۲۱۴	.۷۷۵	-.۵
Zr	.۹۲۲	.۱۸۴	-.۴-	.۲۱۲

در این حالت روش PCA تعداد ۳۰ عنصر ژئوشیمیایی منطقه دالی را در ۴ مؤلفه قرار می‌دهد. عناصر مس، مولیبدن و طلا که در این منطقه مرتبط با فرایند کانی‌سازی هستند، در مؤلفه اصلی اول قرار گرفته‌اند. در کنار این عناصر سایر عناصر مانند آلومینیم، آرسنیک، بور، سلنیم، کروم، کبالت، آهن، لیتیم، منگنز، منیزیم، نیکل، گوگرد، اسکاندیم، وانادیم و زیرکونیم نیز ضرایب بالایی دارند. نتایج حاصل از روش PCA بر روی داده‌های انتقال یافته نتوانسته‌است عناصر کانی‌سازی را به‌خوبی از سایر عناصر جدا کند. به عبارتی داده‌های انتقال یافته الگوهای زمین‌شناسی و کانی‌زایی منطقه را نمی‌توانند به خوبی نشان دهند.

در این رساله، مطالعات بدون صفر کردن میانگین داده‌ها انجام شده و تحلیل‌های حوزه فرکانس صرفاً بر اساس داده‌های اولیه‌ای صورت گرفته که دارای میانگین غیر صفر می‌باشند. چه‌بسا با بررسی بیشتر این موضوع احتمال دستیابی به اطلاعات اکتشافی بیشتر ممکن گردد.

فصل ششم:

تحلیل نتایج حوزه مکان - مقیاس داده‌های

ژئوشیمی

فصل ششم: تحلیل نتایج حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمی

۱-۶- مقدمه

به دلیل پیچیدگی شرایط زمین‌شناسی و پارامترهای متنوع مؤثر در کانی‌سازی، داده‌های ژئوشیمی حوزه مکان ممکن است به خوبی نتوانند اطلاعات اکتشافی مورد نیاز را در اختیار قرار دهند. علاوه بر حوزه فرکانس، حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمیایی نیز می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمی بر اساس تبدیل موجک گسسته دو بعدی قابل دستیابی است. با استفاده از حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمیایی می‌توان به اطلاعات اکتشافی مناسبی دست یافت. تبدیل موجک یکی از ابزارهای قوی جهت انتقال داده‌ها از حوزه مکان به حوزه مکان - مقیاس در علوم مختلف است. تبدیل موجک به‌عنوان یک ابزار آنالیز چند طیفی می‌تواند فرکانس‌های مختلف موجود در یک سیگنال وابسته به زمان یا مکان را تفکیک نماید. روش تبدیل موجک می‌تواند به‌عنوان یک الگوریتم محاسباتی قوی جهت پردازش داده‌های ژئوشیمی مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه از تبدیل موجک گسسته دو بعدی بر روی داده‌های ژئوشیمیایی منطقه دالی شمالی استفاده شده و نتایج حاصل مورد تفسیر قرار گرفته است. در طی محاسبات تبدیل موجک از تابع موجک مادر هار استفاده شده است. در این مطالعه به منظور تعیین الگوی کانی‌سازی و بحث در خصوص مؤلفه‌های کانی‌سازی و پی‌بردن به ویژگی‌های جدید اکتشافی منطقه از روش پیشنهادی جدید^۲ WT-PCA استفاده شده است. در این روش، متغیرهای جدید ژئوشیمیایی در حوزه مکان - مقیاس تحت عنوان ضرایب موجک ژئوشیمیایی معرفی گردیده‌اند.

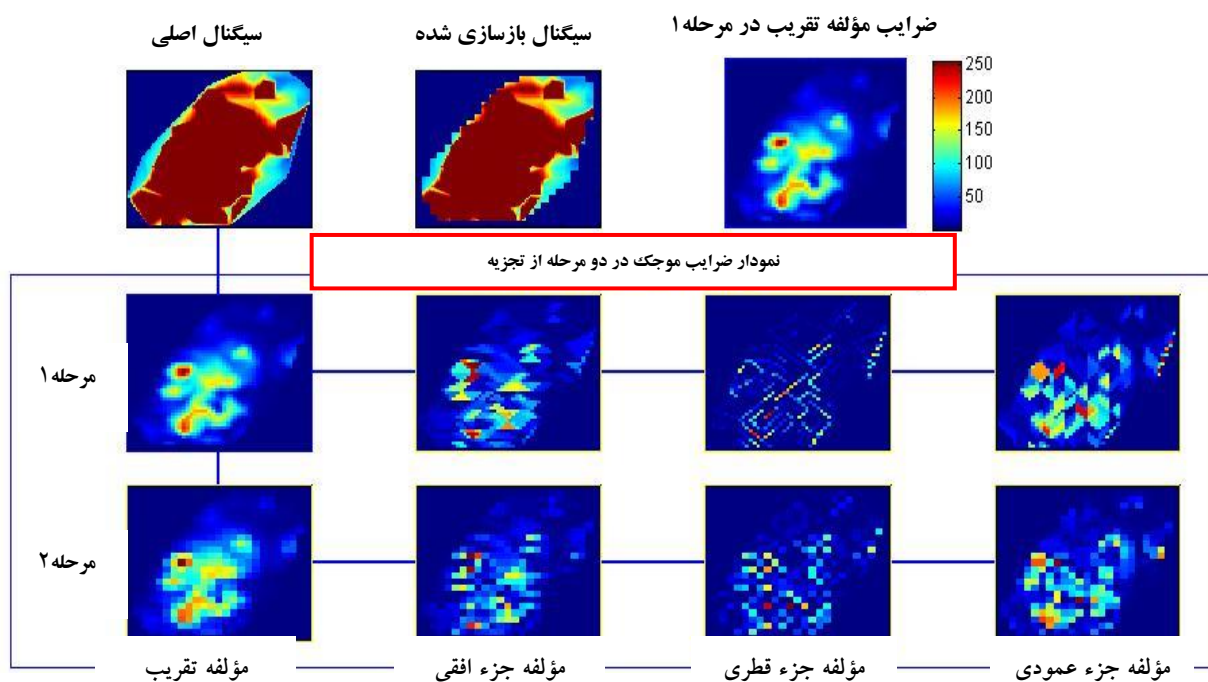
² Wavelet Transform - Principal Component Analysis

۲-۶- حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمیایی

آنالیز موجک به عنوان فرآیندی جهت تجزیه نقشه توزیع ژئوشیمیایی عناصر به مؤلفه‌های جزء و تقریب، مورد استفاده قرار گرفته است. این نقشه‌ها به عنوان سیگنال‌های دو بعدی مکانی از دو فیلتر عبور داده می‌شوند. فیلتر بالاگذر مؤلفه جزئیات و فیلتر پایین‌گذر مؤلفه تقریب را ایجاد می‌کند و در نتیجه توزیع ژئوشیمیایی عناصر می‌تواند در قدرت‌های تفکیک مختلف مورد بررسی قرار گیرند. قدرت‌های تفکیک مختلف در نتیجه مقیاس‌های مختلف ایجاد می‌شوند و اطلاعات متفاوتی را در بردارند.

داده‌های ژئوشیمیایی بر اساس تبدیل دو بعدی و گسسته موجک هار در دو مرحله مورد تجزیه قرار گرفته‌اند. در مرحله اول داده‌ها به دو مؤلفه جزء و تقریب تجزیه شدند که مؤلفه جزء دارای ۳ بخش در جهت‌های افقی، عمودی و قطری می‌باشد. مؤلفه جزء نمایانگر فرکانس‌های بالا و یا تغییرات شدید عیاری و مؤلفه تقریب نشانه فرکانس‌های پایین‌تر و تغییرات ملایم‌تر است و شباهت بیشتری به سیگنال مکانی اولیه دارد. در مرحله دوم از تجزیه، مؤلفه تقریب حاصل از مرحله اول مورد تجزیه قرار می‌گیرد و به مؤلفه‌های جزء و تقریب تجزیه می‌شود. در محاسبات تبدیل موجک با ضرایبی مواجه هستیم که نشان دهنده میزان شباهت بین موجک مادر در مقیاس‌های مختلف با فرکانس‌های موجود در داده‌ها است. لذا این ضرایب می‌تواند حاوی اطلاعات اکتشافی مناسبی باشد که ممکن است در حوزه مکان نتوان به راحتی به این اطلاعات دست پیدا کرد. ضرایب موجک ویژگی‌های ژئوشیمیایی منطقه در حوزه مکان - مقیاس را نشان می‌دهند. در این رساله اثبات می‌گردد که این ضرایب موجک حاوی اطلاعات اکتشافی بوده و می‌توانند به عنوان متغیرهای جدید اکتشافی در حوزه مکان - مقیاس مورد استفاده قرار گیرند. در این مطالعه تحلیل بر روی ضرایب موجک حاصل از داده‌های ژئوشیمیایی مربوط به مؤلفه‌های جزء و تقریب در مرحله اول و دوم از تجزیه صورت گرفته است. بعد از اعمال تبدیل موجک بر روی تمام عناصر به صورت مجزا و به عنوان سیگنال‌های دو بعدی، ضرایب موجک برای تمام عناصر به صورت ماتریس‌های مجزا در قالب مؤلفه‌های جزء و تقریب به دست می‌آیند. در حالت تجزیه دو

مرحله‌ای سیگنال دو بعدی، ۸ سری داده جدید از داده‌های اولیه تولید می‌شود که شامل ضرایب موجک مؤلفه جزء در جهت افقی در مرحله اول، ضرایب موجک مؤلفه جزء در جهت عمودی در مرحله اول، ضرایب موجک مؤلفه جزء در جهت قطری در مرحله اول، ضرایب موجک مؤلفه تقریب در مرحله اول، ضرایب موجک مؤلفه جزء در جهت افقی در مرحله دوم، ضرایب موجک مؤلفه جزء در جهت عمودی در مرحله دوم، ضرایب موجک مؤلفه جزء در جهت قطری در مرحله دوم، ضرایب موجک مؤلفه تقریب در مرحله دوم است. به عنوان مثال نمودار شماتیک ضرایب موجک هار در دو مرحله از تجزیه سیگنال دو بعدی مربوط به عنصر مس منطقه دالی شمالی در شکل ۶-۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در تصویر نیز مشاهده می‌شود مؤلفه جزئی افقی تغییرات شدید افقی عیار، مؤلفه جزئی عمودی تغییرات شدید عمودی عیار و مؤلفه جزئی قطری تغییرات شدید قطری عیار عنصر مس را نشان می‌دهند. تصاویر نشان داده شده، ضرایب موجک هستند که مقادیر آنها از ۰ تا ۲۵۰ محاسبه شده است. اگر در یک مرحله از تجزیه بخواهیم سیگنال اصلی مربوط به توزیع ژئوشیمیایی عناصر را بازسازی کنیم از حاصل جمع مؤلفه تقریب و مؤلفه‌های جزء (بعد از اعمال ضرایب موجک بر روی تابع موجک) استفاده می‌کنیم. این فرآیند پردازش داده و استخراج ویژگی بر روی تمام عناصر ژئوشیمیایی منطقه دالی شمالی به صورت مجزا صورت گرفته است. با توجه به اینکه این مؤلفه‌های استخراج شده از توزیع ژئوشیمیایی عناصر مربوط به فرکانس‌های مختلف از داده‌های ژئوشیمی هستند اطلاعات نسبتاً متفاوتی نیز ممکن است داشته باشند و هر کدام از این داده‌ها جنبه‌های مختلفی از توزیع عناصر و شرایط کانی‌سازی را نشان می‌دهند و در شرایطی می‌توان حتی مؤلفه‌های مربوط به نویزهای ژئوشیمیایی را نیز شناسایی و مؤلفه مربوطه را از داده‌ها فیلتر کرد.



شکل ۶-۱- نمودار شماتیک تجزیه دو مرحله‌ای موجک‌ها و ضرایب موجک مربوط به توزیع ژئوشیمیایی عنصر مس

۳-۶- شناسایی عناصر کانی‌سازی با استفاده از روش WT-PCA

با استفاده از روش ترکیبی تبدیل موجک و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، اطلاعات اکتشافی مناسبی در خصوص ویژگی‌های کانی‌سازی به دست می‌آید. به این منظور روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی به طور جداگانه بر روی ضرایب موجک در مؤلفه‌های تجزیه‌ای مختلف صورت پذیرفته است و در هر کدام از این حالت‌ها، عناصر همراه مس در مؤلفه کانی‌سازی مشخص شده است. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ماتریس ضرایب موجک حاصل از تبدیل دو بعدی گسسته موجک‌ها نتایج قابل توجهی را نشان می‌دهد. این نتایج برای مؤلفه‌های جزء در مرحله اول از تجزیه در جداول ۶-۱ و ۶-۲ نشان داده شده است. در این جداول فاکتورهای کانی‌سازی و عناصر مرتبط با کانی‌سازی مشخص شده است. در ضرایب جزئیات موجک، عناصر مس و طلا در کنار یکدیگر به عنوان عناصر کانی‌سازی از سایر عناصر جدا شده و در فاکتور ۶ به عنوان فاکتور کانی‌سازی قرار گرفته‌اند. عنصر مولیبدن در مؤلفه کانی‌سازی قرار نگرفته است. نتایج حاصل از ضرایب جزئیات موجک در جهت قائم و قطری از لحاظ مقادیر اختصاص یافته به عناصر به یکدیگر شباهت بیشتری دارند. مؤلفه‌های جزئیات در مرحله اول از تجزیه موجک مربوط به

فرکانس‌های خیلی بالای توزیع ژئوشیمی عناصر بوده و از این جهت با نتایج حاصل از تبدیل دو بعدی فوریه نیز قابل مقایسه است. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ماتریس ضرایب موجک هار در مؤلفه تقریب مرحله اول تجزیه نیز انجام گرفته است. این نتایج در جدول ۶-۳ نشان داده شده است. در این بخش از ضرایب موجک مربوط به توزیع ژئوشیمیایی عناصر، مس، طلا و مولیبدن در فاکتورهای مجزا از یکدیگر قرار گرفته‌اند و الگوی کانی‌سازی در مؤلفه تقریب مرحله اول تجزیه به خوبی قابل شناسایی نیست و این مؤلفه نیاز به تجزیه بیشتر دارد. این مؤلفه به تنهایی قادر به شناسایی فاکتور کانی‌سازی نبوده است

روش PCA بر روی ضرایب مؤلفه تقریب در مرحله دوم از تجزیه، داده‌ها را در ۵ فاکتور کلاسه‌بندی کرده است (جدول ۶-۴). عناصر مولیبدن و مس به صورت جذابی در مؤلفه اصلی ۱ به عنوان فاکتور کانی‌سازی قرار گرفته‌اند. عنصر طلا نیز با مقدار $0/481$ - ارتباط خود با مس و مولیبدن را تا حدی نشان می‌دهد اگرچه ضریب کوچک مربوط به آن، بیانگر کمتر شدن اثر طلا در مؤلفه کانی‌سازی در فرکانس‌های پایین است. مؤلفه تقریب در مرحله دوم از تجزیه، فرکانس‌های پایین را شامل می‌شود و فرکانس‌های بالای توزیع عناصر در طی فرآیند تجزیه، فیلتر شده‌اند. روش PCA بر روی مؤلفه‌های جزء در مرحله دوم از تجزیه نیز به صورت جداگانه انجام گرفت. نتایج روش PCA بر روی ماتریس ضرایب جزئیات افقی، عمودی و قطری در جداول ۶-۵، ۶-۶ و ۶-۷ ارائه شده است.

فصل ششم: تحلیل نتایج حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۶-۱- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب جزئیات افقی و قائم موجک هار

	مؤلفه جزئیات قائم در مرحله اول تجزیه									مؤلفه جزئیات افقی در مرحله اول تجزیه							
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
Au	-.۱۶	-.۲۶	-.۸۸	-.۸	-.۱۱	۰.۸۴	-.۷	-.۲	Au	-.۴۷	-.۱	-.۱۶	-.۸۹	-.۸۱	۰.۶۴	-.۶	
Al	-.۴۹	-.۲۵	-.۱۲	-.۱۸	-.۶۵	-.۲۳	-.۹	-.۱۲	Al	-.۲۴	-.۴۸	-.۶۸	-.۲۲	-.۱	-.۸۸	-.۷	
As	-.۲۴	-.۵۵	-.۲۲	-.۱۲	-.۸۶	-.۲	-.۲۸	-.۱	As	-.۳۹	-.۲۷	-.۵	-.۵	-.۱۶	-.۲	-.۴۲	
B	-.۱۵	-.۶۳	-.۵۴	-.۸۲	-.۵	-.۲۸	-.۶	-.۱۲	B	-.۶۹	-.۲۴	-.۱	-.۸۱	-.۴۲	-.۸۸	-.۲۱	
Ba	-.۶	-.۲	-.۲	-.۳۷	-.۱	-.۱۲	-.۲۹	-.۸۸	Ba	-.۵	-.۵۸	-.۱	-.۲۱	-.۶	-.۵۴	-.۱۲	
Ca	-.۲	-.۸۲	-.۸۲	-.۲۲	-.۲۴	-.۲	-.۸	-.۶	Ca	-.۲	-.۱	-.۱۴	-.۱۹	-.۸۶	-.۱	-.۱	
Ce	-.۹	-.۸۸	-.۸۲	-.۹۱	-.۱	-.۹	-.۸۶	-.۲	Ce	-.۸۷	-.۱۲	-.۱۲	-.۹۱	-.۸۸	-.۲	-.۲	
Co	-.۸۸	-.۵۲	-.۵	-.۲۹	-.۴۵	-.۱	-.۲	-.۳۷	Co	-.۳۱	-.۸۶	-.۶۵	-.۲۴	-.۵	-.۱۸	-.۱۶	
Cr	-.۸۴	-.۸۲	-.۲	-.۶	-.۲۵	-.۱۲	-.۱	-.۸۴	Cr	-.۸۸	-.۷	-.۲۴	-.۸۲	-.۶	-.۲	-.۱۲	
Cu	-.۸۲	-.۲۴	-.۸۷	-.۸۱	-.۵	۰.۸۵	-.۱۱	-.۹	Cu	-.۵۲	-.۳	-.۸	-.۸۹	-.۷	۰.۶۴	-.۹	
Fe	-.۳۱	-.۴	-.۶۹	-.۱۲	-.۲۶	-.۳۷	-.۸۲	-.۲	Fe	-.۹	-.۲۸	-.۲۴	-.۸	-.۸۱	-.۱	-.۱	
Ga	-.۵۸	-.۵	-.۸۲	-.۱	-.۶۶	-.۱۶	-.۱۵	-.۱۲	Ga	-.۵	-.۶۱	-.۶۳	-.۱۲	-.۸۴	-.۲	-.۱	
K	-.۸	-.۸۱	-.۸۵	-.۸۲	-.۴	-.۱۲	-.۲	-.۲۲	K	-.۸۴	-.۸۱	-.۴	-.۱	-.۸۷	-.۲	-.۲	
La	-.۶	-.۸۲	-.۱	-.۹۲	-.۶	-.۱	-.۸۹	-.۴	La	-.۸۱	-.۶	-.۱۱	-.۹۴	-.۹	-.۱	-.۲	
Li	-.۲۵	-.۸۲	-.۴	-.۲۲	-.۸۲	-.۲۸	-.۲	-.۲	Li	-.۸۸	-.۲۲	-.۸	-.۸۲	-.۲۲	-.۶	-.۲	
Mg	-.۸۸	-.۸۲	-.۱۲	-.۱۶	-.۲۲	-.۵	-.۱۷	-.۸	Mg	-.۶	-.۸۹	-.۲۹	-.۱	-.۶	-.۲	-.۱	
Mn	-.۸۲	-.۸۲	-.۲۶	-.۹	-.۳۸	-.۸	-.۱۴	-.۱	Mn	-.۸۱	-.۴	-.۴۵	-.۱	-.۲۲	-.۷	-.۵	
Mo	-.۶	-.۷	-.۸۶	-.۲۲	-.۱	-.۲	-.۶	-.۸۴	Mo	-.۲۹	-.۱	-.۶	-.۸۶	-.۸	-.۲۲	-.۷۲	
Na	-.۲۹	-.۸	-.۸۲	-.۵۴	-.۴۲	-.۲۵	-.۲۲	-.۲۲	Na	-.۵	-.۲۲	-.۴۸	-.۵۹	-.۹	-.۲۹	-.۸۲	
Ni	-.۵	-.۸۶	-.۲	-.۲۲	-.۱۲	-.۲۴	-.۱	-.۱۱	Ni	-.۹۲	-.۱۲	-.۱۲	-.۸۷	-.۱۹	-.۲	-.۸	
P	-.۲	-.۱	-.۸۵	-.۸	-.۱۲	-.۷	-.۸۱	-.۲۷	P	-.۱۲	-.۵	-.۲	-.۸۹	-.۶۲	-.۸۴	-.۱	
Pb	-.۲	-.۶	-.۲	-.۱	-.۸۸	-.۶	-.۷	-.۸	Pb	-.۲۲	-.۲۲	-.۸۴	-.۱	-.۵	-.۸۷	-.۲	
S	-.۷	-.۲	-.۷	-.۸۵	-.۶	-.۱۱	-.۸۷	-.۴	S	-.۲۲	-.۱۶	-.۱۱	-.۶	-.۲	-.۳	-.۸۶	
Sc	-.۸۸	-.۱۷	-.۵	-.۲	-.۲	-.۱	-.۴	-.۸۲	Sc	-.۲۷	-.۸۲	-.۸۲	-.۸	-.۸۱	-.۵	-.۱۱	
Sr	-.۲	-.۲۲	-.۸۲	-.۲	-.۱	-.۹	-.۲۹	-.۸۲	Sr	-.۴	-.۱۲	-.۲	-.۲	-.۸	-.۳	-.۸۸	
Ti	-.۸۴	-.۲۱	-.۲۱	-.۴	-.۲	-.۲۵	-.۷	-.۷	Ti	-.۲	-.۸۴	-.۲	-.۵	-.۸۲	-.۲	-.۹	
V	-.۵۱	-.۵	-.۵۵	-.۲۱	-.۳	-.۱	-.۸	-.۸۸	V	-.۱۱	-.۴۲	-.۲۷	-.۲۶	-.۵۵	-.۳۴	-.۱۴	
Y	-.۲۴	-.۸۱	-.۲۱	-.۸۹	-.۵	-.۸	-.۱۲	-.۸۵	Y	-.۸۸	-.۲۴	-.۸۵	-.۸۵	-.۲۶	-.۱	-.۹	
Zn	-.۲۷	-.۷	-.۸۸	-.۴	-.۸۲	-.۵	-.۶	-.۲	Zn	-.۶	-.۲۷	-.۸۹	-.۷	-.۸۷	-.۱	-.۱	
Zr	-.۲۶	-.۶۷	-.۸۴	-.۸۸	-.۸۷	-.۱۷	-.۶	-.۲۵	Zr	-.۸۲	-.۲۱	-.۸۲	-.۸۴	-.۲	-.۸۲	-.۸۲	

جدول ۶-۲- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب جزئیات قطری موجک هار در مرحله اول

تجزیه

	مؤلفه‌های اصلی							
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Au	-.۰۷	-.۱۹	-.۰۵	-.۱۳	-.۰۴	-.۸۸	-.۰۳	-.۰۱
Al	-.۸۷	-.۰۶	-.۱۹	-.۳۲	-.۰۸	-.۰۹	-.۱۹	-.۰۰
As	-.۰۰	-.۵۷	-.۰۱	-.۴۷	-.۰۱	-.۰۶	-.۳۴	-.۳۸
B	-.۳۳	-.۶۹	-.۴۹	-.۱۹	-.۱۶	-.۳۶	-.۱۱	-.۰۷
Ba	-.۱۱	-.۱۱	-.۰۷	-.۳۷	-.۳۶	-.۱۶	-.۳۶	-.۴۴
Ca	-.۰۸	-.۰۳	-.۸۹	-.۰۵	-.۳۱	-.۰۵	-.۰۳	-.۰۱
Ce	-.۳۷	-.۳۹	-.۱۵	-.۰۱	-.۴۵	-.۰۳	-.۳۰	-.۱۸
Co	-.۵۱	-.۴۳	-.۰۶	-.۰۱	-.۱۹	-.۱۱	-.۵۷	-.۰۵
Cr	-.۳۶	-.۸۲	-.۰۱	-.۱۳	-.۰۸	-.۱۹	-.۰۶	-.۳۱
Cu	-.۰۷	-.۰۳	-.۰۸	-.۱۸	-.۰۰	-.۸۹	-.۰۷	-.۰۱
Fe	-.۵۳	-.۱۱	-.۵۳	-.۰۹	-.۳۰	-.۳۴	-.۱۳	-.۱۹
Ga	-.۸۷	-.۱۹	-.۰۷	-.۳۰	-.۰۴	-.۰۳	-.۱۳	-.۰۳
K	-.۱۸	-.۰۳	-.۰۳	-.۸۷	-.۰۳	-.۰۵	-.۰۳	-.۱۹
La	-.۰۳	-.۱۹	-.۰۷	-.۰۶	-.۸۲	-.۰۱	-.۳۳	-.۳۶
Li	-.۰۷	-.۸۲	-.۳۹	-.۳۱	-.۳۱	-.۱۸	-.۱۶	-.۰۵
Mg	-.۶۵	-.۱۱	-.۱۶	-.۶۳	-.۰۳	-.۰۸	-.۳۳	-.۱۹
Mn	-.۴۱	-.۶۸	-.۳۸	-.۰۳	-.۰۰	-.۰۹	-.۳۹	-.۰۱
Mo	-.۰۱	-.۱۹	-.۰۷	-.۱۳	-.۳۲	-.۱۳	-.۱۳	-.۴۱
Na	-.۴۵	-.۰۸	-.۰۶	-.۱۱	-.۳۳	-.۰۳	-.۱۶	-.۰۳
Ni	-.۳۹	-.۸۸	-.۳۱	-.۰۶	-.۱۳	-.۱۷	-.۰۳	-.۰۸
P	-.۰۰	-.۰۱	-.۴۹	-.۰۱	-.۰۴	-.۰۳	-.۰۳	-.۳۱
Pb	-.۸۴	-.۱۸	-.۱۵	-.۰۳	-.۰۰	-.۰۰	-.۱۹	-.۰۳
S	-.۱۷	-.۰۹	-.۱۳	-.۰۷	-.۰۱	-.۰۵	-.۸۸	-.۰۱
Sc	-.۵۷	-.۳۳	-.۰۹	-.۵۸	-.۰۳	-.۱۱	-.۰۸	-.۳۶
Sr	-.۰۳	-.۱۶	-.۸۷	-.۰۷	-.۱۳	-.۰۸	-.۳۵	-.۱۴
Ti	-.۴۸	-.۳۶	-.۱۶	-.۶۵	-.۰۸	-.۱۵	-.۰۵	-.۳۳
V	-.۴۴	-.۰۸	-.۳۴	-.۱۶	-.۳۷	-.۰۶	-.۰۵	-.۳۷
Y	-.۳۳	-.۱۵	-.۱۹	-.۱۷	-.۸۱	-.۰۸	-.۱۸	-.۱۷
Zn	-.۸۲	-.۱۹	-.۰۳	-.۱۹	-.۰۳	-.۰۵	-.۱۵	-.۰۳
Zr	-.۳۳	-.۶۷	-.۳۳	-.۳۷	-.۳۷	-.۱۶	-.۱۱	-.۳۹

جدول ۶-۳- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب تقریب موجک هار در مرحله اول از تجزیه

	مؤلفه‌های اصلی					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
Au	-۰/۶۲	-۰/۴-	-۰/۱۱	-۰/۳۵	-۰/۱۳	-۰/۴۵
Al	-۰/۸۸	-۰/۱۹	-۰/۴۳	-۰/۰-۸	-۰/۱-	-۰/۳۳
As	-۰/۳۶	-۰/۵۷	-۰/۳۱	-۰/۳-	-۰/۸۸	-۰/۱۴
B	-۰/۰-۱	-۰/۸۳	-۰/۳۶	-۰/۰-۶	-۰/۰-۸	-۰/۳۶
Ce	-۰/۰-۷	-۰/۰-۵	-۰/۱۱	-۰/۹۶	-۰/۰-۵	-۰/۰-۳
Co	-۰/۶۱	-۰/۳۴	-۰/۴۵	-۰/۰-۳	-۰/۴۲	-۰/۰-۱
Cr	-۰/۰-۴	-۰/۸۱	-۰/۰-۳	-۰/۰-۶	-۰/۳-	-۰/۳۵
Cu	-۰/۱-	-۰/۶۹	-۰/۰-۸	-۰/۳۸	-۰/۳-	-۰/۳۸
Fe	-۰/۳۳	-۰/۰-۴	-۰/۱۳	-۰/۱۶	-۰/۸۵	-۰/۰-۶
Ga	-۰/۸۸	-۰/۰-۵	-۰/۰-۹	-۰/۰-۷	-۰/۱۳	-۰/۰-۱
K	-۰/۹۳	-۰/۰-۸	-۰/۱-	-۰/۱۶	-۰/۰-۶	-۰/۰-۵
La	-۰/۰-۹	-۰/۰-۵	-۰/۰-۳	-۰/۹۳	-۰/۱۳	-۰/۱۹
Li	-۰/۶-	-۰/۵۷	-۰/۴۱	-۰/۰-۱	-۰/۳۳	-۰/۰-۳
Mg	-۰/۹۴	-۰/۱۷	-۰/۳۶	-۰/۰-۳	-۰/۰-۴	-۰/۰-۷
Mn	-۰/۰-۸	-۰/۶-	-۰/۴-	-۰/۰-۹	-۰/۵۹	-۰/۰-۸
Na	-۰/۵۳	-۰/۳۵	-۰/۵۶	-۰/۳۷	-۰/۳۸	-۰/۰-۱
Ni	-۰/۰-۵	-۰/۹۳	-۰/۳۱	-۰/۰-۵	-۰/۱۴	-۰/۱-
P	-۰/۱-	-۰/۳-	-۰/۳-	-۰/۳۵	-۰/۱۹	-۰/۷۷
Pb	-۰/۱۳	-۰/۱۷	-۰/۳۶	-۰/۳۷	-۰/۶-	-۰/۱۳
Ti	-۰/۷۷	-۰/۵۳	-۰/۱۳	-۰/۰-۱	-۰/۱۶	-۰/۱۱
V	-۰/۶۳	-۰/۰-۷	-۰/۳۳	-۰/۰-۶	-۰/۵۸	-۰/۰-۷
Zr	-۰/۳۳	-۰/۸۳	-۰/۳۵	-۰/۰-۳	-۰/۱۳	-۰/۰-۳
Ba	-۰/۸۸	-۰/۳۳	-۰/۰-	-۰/۰-۸	-۰/۱۳	-۰/۳۳
Mo	-۰/۱۷	-۰/۱۵	-۰/۳۶	-۰/۳۵	-۰/۱۱	۰/۶۳
Ca	-۰/۴-	-۰/۰-۳	-۰/۸۴	-۰/۱۳	-۰/۰-۸	-۰/۰-۳
Sc	-۰/۸۸	-۰/۳۹	-۰/۱۵	-۰/۳-	-۰/۰-۵	-۰/۰-۱
Sr	-۰/۴۳	-۰/۳۴	-۰/۸۵	-۰/۱۶	-۰/۳۳	-۰/۰-۵
S	-۰/۳۸	-۰/۳۳	-۰/۵۷	-۰/۱۶	-۰/۱-	-۰/۴۶
Zn	-۰/۵-	-۰/۱۶	-۰/۳۵	-۰/۰-۳	-۰/۶۴	-۰/۳۳
Y	-۰/۳۶	-۰/۰-۵	-۰/۱۳	-۰/۸۶	-۰/۱۴	-۰/۱۵

نتایج نشان می‌دهد در داده‌های مربوط به جزء افقی توزیع ژئوشیمیایی عناصر، روش PCA داده‌ها را به تعداد ۷ مؤلفه اصلی تقسیم کرده و عناصر مس و طلا از سایر عناصر جدا شده و به صورت شفافی در مؤلفه اصلی ۶ (مؤلفه کانی‌سازی) با مقادیر منفی قرار گرفته‌اند. همچنین روش PCA بر روی ضرایب موجک جزء قائم توزیع عناصر، داده‌ها را به تعداد ۸ مؤلفه اصلی تقسیم کرده و عناصر مس و طلا در مؤلفه اصلی ۶ (مؤلفه کانی‌سازی) با مقادیر مثبت قرار گرفته است.

ضرایب موجک جزء قطری نیز مس و طلا را به عنوان عناصر کانی‌سازی نشان می‌دهد. بنابراین ویژگی‌های کانی‌سازی در ضرایب موجک جزء قطری، افقی و قائم توزیع عناصر به خوبی قابل شناسایی است و با استفاده از فرکانس‌های بالا در توزیع عناصر نیز می‌توان عناصر کانی‌سازی را شناسایی کرد.

در تمام بخش‌های جزء افقی، عمودی و قطری، عنصر مس و طلا در کنار یکدیگر و در یک مؤلفه اصلی قرار می‌گیرند و ارتباط نزدیکی با یکدیگر نشان می‌دهند که این نشان دهنده ارتباط نزدیک بین فرکانس‌های بالا با کانی‌سازی مس و طلا است. در این داده‌ها (فرکانس بالا) عنصر مولیبدن در یک فاکتور مجزا و جدا از طلا و مس قرار می‌گیرد. بنابراین براساس نتایج به‌دست آمده، مولیبدن در فرکانس‌های بالا همراه با مؤلفه کانی‌سازی نبوده و جدا از عنصر مس و طلا قرار می‌گیرد و تنها در فرکانس‌های پایین و در مؤلفه تقریب در مرحله دوم از تجزیه همراه با فاکتور کانی‌سازی مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر تغییرات ملایم عناصر مس و مولیبدن در منطقه با یکدیگر در ارتباط هستند. این می‌تواند در ارتباط با سطح از فرسایش کانی‌سازی و نشانه افزایش عیار مولیبدن در اعماق بیشتر باشد.

جدول ۴-۶- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب تقریب موجک هار در مرحله دوم از تجزیه

	مؤلفه‌های اصلی				
	۱	۲	۳	۴	۵
Au	--/۴۸۱	--/۵۳۴	--/۴۳۶	--/۳-۱	-/۱۳۹
Al	-/۴۳۸	-/۴۵۵	-/۳۳۱	-/۱۴۸	--/۱--
As	-/۶۶۱	--/۱۸۵	-/۲۶۸	-/۱۵۱	--/۱۳۶
B	-/۸۱۶	-/۱-۲	-/۱-۹۵	-/۳۷۸	--/۱-۳۲
Ba	-/۱-۹۳	-/۶۶۷	-/۱-۷۳	-/۳۳۱	-/۳۳۱
Ca	-/۳-۲	-/۱-۳	--/۳۴۷	-/۸۱۱	--/۱-۷۳
Ce	-/۱۶۷	--/۱-۸	--/۱۳۸	-/۱-۱۹	-/۹۲۲
Co	-/۵۲۸	-/۴۱۶	-/۳۶۶	-/۱-۹	--/۳۷۳
Cr	-/۴۸	-/۱۱۱	--/۱-۵۶	-/۳۳۷	-/۱۵۵
Cu	--/۶۲	--/۲۸۴	--/۵۳۶	--/۳-۵	-/۱۴۲
Fe	--/۳۷-	-/۳۳۴	--/۳۶۲	--/۶۹۸	--/۱۱۴
Ga	-/۱۲-	-/۸۶۷	-/۱۵۱	--/۱۶	--/۱-۸۳
K	-/۱-۶۵	-/۴۷۷	--/۳۶۶	--/۱۳۷	-/۱۱۷
La	-/۱-۹۱	--/۱۳۷	--/۱۶۵	-/۱-۶	-/۹۱۲
Li	-/۴-۴	-/۴۵۹	-/۱۶۶	-/۳۸۴	-/۱۶۷
Mg	-/۱-۷۷	-/۸۸۹	--/۳۳۸	-/۱۷۷	-/۱-۳۵
Mn	-/۸۸۲	-/۲۴-	-/۱-۳۳	--/۱-۳۹	-/۱-۳۸
Mo	--/۵۷۹	-/۳۱۷	-/۳۶۵	--/۱-۸	-/۱۳۷
Na	-/۳۴۲	-/۶۳۸	-/۴۲۲	--/۱-۶۲	--/۶۶۲
Ni	-/۸۹۹	-/۱-۶۵	-/۱-۶۷	-/۳۱۸	-/۱۷۸
P	--/۱-۹	-/۱-۳۷	--/۳۳۳	--/۵۹۸	--/۹۷۴
Pb	-/۱۸۱	-/۳۴۵	-/۸۳۵	-/۱-۲۱	--/۱-۹۶
S	--/۱-۸۹	--/۱-۹۶	-/۴۹۶	-/۳۵۹	--/۱۷۶
Sc	--/۴--	-/۸-۶	-/۱۸۶	-/۱۶۶	-/۱۳
Sr	-/۴-۹	-/۱-۸	-/۳۷۷	-/۴۱	--/۱۸۲
Ti	--/۴۴۲	-/۴۷۱	--/۶۶۶	--/۱۷	-/۱-۵۸
V	--/۳۳۷	-/۴۹۹	--/۱-۳۶	--/۳۶۶	--/۳۳
Y	--/۱-۵۶	-/۴۷۶	--/۱-۵	--/۱۱۲	-/۴۶۳
Zn	-/۴۲۲	-/۵۹۲	-/۱۸۶	--/۳-۳	--/۱-۷۵
Zr	-/۸۳	--/۱-۱۷	-/۱۷۴	--/۱-۸۶	-/۳۵

جدول ۶-۵- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب جزء افقی موجک هار در مرحله دوم از

تجزیه

	مؤلفه‌های اصلی							
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Au	--/۰-۷	--/۳۷۱	--/۰-۹۷	-/۱۵۱	-/۱-۶	--/۷۴۳	--/۰-۹۴	--/۰-۴۱
Al	-/۴۹	-/۱۵۳	-/۵۴۲	--/۱۵۹	--/۰-۳	-/۳۵۴	--/۱۳۲	--/۳-۲
As	--/۳۶۷	-/۴۵۱	-/۰-۶	--/۰-۷۹	--/۱۴۵	--/۰-۳۷	-/۴۳	--/۳۳۴
B	--/۱۳۶	-/۵۴۲	--/۰-۱۶	-/۱-۰	--/۴۳۵	-/۳۸۵	-/۱۳۹	--/۱۸۲
Ba	-/۵۳۵	-/۱۳۴	--/۰-۱	-/۱۵۷	--/۰-۹۶	-/۳۸۴	-/۱۵۷	-/۳۸
Ca	--/۰-۱۴	-/۱-۶	--/۱۱۸	--/۱۵	--/۱۵۳	--/۰-۴۷	-/۰-۹۱	-/۰-۷۲
Ce	--/۱-۱	-/۱۶۲	--/۱۱۶	-/۹۲	-/۱۳۲	--/۰-۸۱	-/۰-۴۴	-/۰-۷۱
Co	-/۳۱	-/۳۸۷	-/۵۷۹	--/۳۵۶	-/۱۳۱	--/۱۸۸	--/۰-۵۶	-/۱-۰
Cr	-/۰-۷۱	-/۸۸۷	--/۱۳	-/۱۳۱	--/۰-۵۹	-/۱۶۸	--/۰-۳۴	-/۱۷۷
Cu	--/۱۳۶	--/۴۱۶	--/۰-۴۹	-/۱۳۴	-/۱-۴	--/۷۷۶	--/۱۱۲	--/۰-۳۶
Fe	--/۱۳۶	--/۰-۳۹	-/۳۵۹	--/۱-۴	-/۸۱۹	--/۱۴۴	-/۰-۸۴	-/۰-۷۶
Ga	-/۵۱۸	--/۰-۳۴	-/۵۸۲	--/۰-۵۶	-/۱۴۹	-/۱۹۷	--/۰-۰	--/۱۴۴
K	-/۸۹۷	-/۱۳۷	-/۰-۵۴	-/۰-۳۵	-/۰-۴	--/۰-۴	--/۰-۶۸	--/۱۳۹
La	--/۰-۴۷	-/۱-۲	--/۱۱۳	-/۹۳۱	-/۰-۳	--/۱-۰	-/۰-۵۷	-/۰-۳۹
Li	-/۱۹۹	-/۸۴۸	-/۰-۷۹	-/۱۳۳	--/۰-۳	-/۱۸۹	--/۰-۹۸	--/۱۴۵
Mg	-/۸۹۵	-/۰-۹۳	-/۱۲۹۳	--/۰-۸۱	--/۰-۳۸	--/۰-۸	--/۰-۹	-/۰-۱۵
Mn	-/۰-۴۴	-/۸۴-	-/۴۴۴	--/۰-۳	-/۳۴۴	--/۰-۳۳	--/۰-۸۹	--/۰-۳۶
Mo	-/۰-۵	--/۳۴۲	--/۰-۱۶	-/۱-۳	-/۰-۷۶	-/۰-۱۷	--/۱۳۶	-/۸۹۵
Na	--/۳۳۳	--/۰-۴۲	-/۴۷۴	--/۵۴۸	-/۰-۹۳	-/۴۱۸	--/۰-۸۷	--/۱-۹
Ni	--/۱۴۵	-/۹-۵	--/۰-۹۷	-/۱۷۸	--/۱۸۵	-/۱۴۴	--/۰-۳۳	--/۱۴۹
P	-/۰-۹	-/۰-۳	-/۰-۳	-/۱۸	-/۵۵۷	--/۱۱۸	-/۳۸۶	-/۳۴۴
Pb	--/۱۵۵	--/۱۷۶	-/۸۵۹	--/۰-۳	-/۰-۴۳	-/۱۳۷	-/۰-۷۵	-/۰-۶۲
S	--/۱۴۵	--/۱۶۵	--/۰-۵۸	-/۰-۳۱	--/۰-۷۵	-/۱۶۱	-/۸۳۶	--/۱۷۴
Sc	-/۸۳۴	--/۳۶۴	-/۰-۹۸	--/۰-۷۶	-/۱۳	--/۰-۱۲	--/۱-۶	-/۰-۷۸
Sr	--/۰-۷۸	-/۱۳۳	-/۰-۴۳	--/۳۸۸	--/۸۹۴	-/۱-۹	-/۳۶۵	-/۱-۱
Ti	-/۸۳	--/۳۴۸	-/۰-۱۱	-/۰-۳۷	-/۱۵۱	--/۳۳۴	--/۰-۵۷	-/۰-۳۹
V	-/۴-۸	--/۰-۸۱	-/۳۷۸	--/۳۷۲	-/۵۶۸	-/۳۱۹	--/۰-۰۶	-/۳۵۳
Y	-/۳۲	-/۱۳۶	-/۱۱۹	-/۸-۲	-/۳۱۸	-/۰-۳۵	--/۱۳۷	-/۰-۳
Zn	-/۳-۴	-/۰-۲۴	-/۸۶۷	-/۰-۵۸	-/۰-۴	--/۰-۴-	-/۰-۲۴	--/۰-۳۲
Zr	--/۳۸	-/۵۳۹	-/۱۳۹	-/۰-۷	-/۳۳۸	-/۳۴	--/۰-۱۸	--/۱۷۵

جدول ۶-۶- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب جزء قطری موجک هار در مرحله دوم از

تجزیه

	مؤلفه‌های اصلی						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
Au	--۱-۶۵	--۳۱۱	-۱-۸۴	--۱-۴-	--۱-۵-	--۱۷۸۸	-۱-۳۹
Al	-۵۴۱	-۱۷۷۷	--۱-۹۵	--۱-۷۲	-۱۵۵۷	-۱۶-	--۱۵۲
As	--۱۶۶۶	-۱۴۹۱	--۳۲۱	--۱-۱۶	-۱۲۱	-۱-۳۷	--۱۷۴
B	--۱۷۱	-۱۵۶۲	--۱-۲	-۱۲۴۹	--۱-۷۸	-۱۲۸۲	--۱-۷۱
Ba	-۱۵۵۵	--۱-۴۴	-۱-۹۷	-۳۹۴	--۱-۸۵	-۳۲۱	-۳۱۱
Ca	-۱-۱۶	--۱-۱۶	--۱۶۵	--۳۲۴	--۱-۸۵	-۱-۵۸	-۱-۷۵
Ce	--۱۷۴	-۱۱۱	-۱۴۴	-۱۸۸۵	--۱۶۲	-۱-۴۲	-۱-۹-
Co	-۱۶۲	-۵۷۴	--۱-۴	--۱۲۹۷	-۱۴۱۸	--۱۲۴	-۱۲۴۹
Cr	--۱۲۱	-۱۴-	-۱-۲	-۱-۴	--۳۴-	-۱۲۵۴	-۱۶۴
Cu	-۱۹۸	--۳۲-	-۱-۷-	--۱-۶-	--۱-۲۱	--۱۸۴۱	-۱-۴
Fe	-۳۱۲	--۱-۷۷	-۵۹۱	--۱۶۵	-۱۷-	-۱-۳۹	-۱۱۲
Ga	-۵۷۴	-۱-۸-	-۱۳۹	--۱-۵۲	-۵-۴	-۱-۱۴	--۱۵۸
K	-۱۷۷-	-۱-۷۷	-۱-۶۵	-۱-۵-	--۱-۶۲	-۱-۷	--۱۲۶۲
La	--۱۵۷	-۱-۳۷	-۱-۵۷	-۱۲۶	--۱-۵۲	-۱-۲۴	-۱۱۲
Li	-۳۱-	-۱۲۷	--۱۲۹۲	-۱۲-۵	-۱-۱۶	-۳۱۲	--۱-۴۹
Mg	-۱۷۵	-۱۴۸	--۱-۵۲	--۳۱۱	-۱۲۶۲	--۱۲۶	-۱-۶۶
Mn	-۱۶۲	-۱۴۷	-۱۷۱	--۱-۲۱	-۳۱۷	-۱۷۵	--۱-۲۱
Mo	-۱-۵۲	--۱-۴	-۱-۸۹	-۱۲۴	--۱-۲۸	--۱-۹۷	-۱۴۸
Na	-۱۴۴۱	--۱-۵۷	-۱-۲۸	--۳۸۶	-۱۷۷	-۳۸۹	--۱۶۶۲
Ni	--۳۱۴	-۱۱۹	--۳۲۸	-۳۲۵	--۳۲۹	-۳-۹	--۱۱۸
P	--۱-۴۴	--۱-۷	-۱-۷	-۱-۸۴	-۱-۶۷	-۱۱۸	-۳۵۱
Pb	--۱-۵۲	--۱-۹۴	-۱-۶۸	--۱-۸	-۱۹۱۸	-۱-۸۱	-۱-۳۷
S	--۱-۸۸	--۳۹۵	--۳۲۲	-۳۴۱	--۳۲۵	-۳-۶	--۳۱۲
Sc	-۱۶۷	--۱۹-	--۱-۲۴	--۱۲۲	-۱۲۸	--۱-۵۹	-۱۶۷
Sr	--۱-۲۵	--۱-۲	--۱۶۸	--۱۸۲	-۱-۲۶	-۱۲۵۲	-۱۵۱
Ti	-۱۱۲	--۳۱۱	-۳۴۱	--۱۲۵	-۱-۷۴	--۳۱۴	-۱-۷۴
V	-۱۸۲	--۱-۷-	-۱۶۷۲	--۳۸۴	-۳۹-	-۳-۲	-۳۲۱
Y	-۳-۲	-۳۶-	-۱۹۶	-۱۲۸	-۳۱-	-۱-۲۵	-۱۴۷
Zn	-۳۵-	-۱-۲۱	-۳۴۱	-۱-۴-	-۱۹۲	-۱-۷	--۱-۲۶
Zr	--۳۸۵	-۱۶-	-۳۱۲	-۳۴۹	--۱-۰-۴	-۳-۷	--۳۱۴

جدول ۶-۷- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب جزء عمودی موجک هار در مرحله دوم از

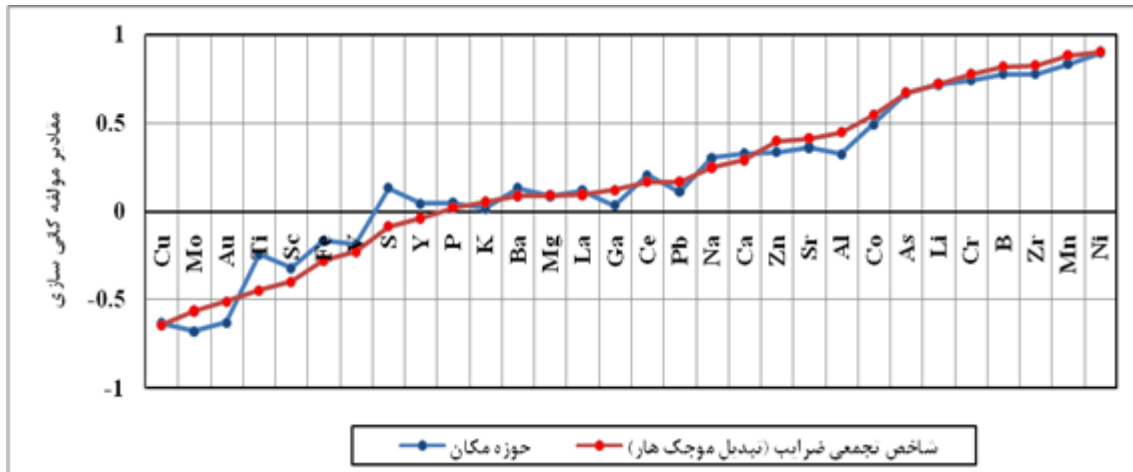
تجزیه

	مؤلفه‌های اصلی							
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Au	--۰۸۸۴	--۰۳۵۵	-۰-۱	-۰۵۵	--۰۱۳۳	۰۸۳۸	--۰-۳۸	--۰-۷۵
Al	-۰۵۵۹	-۰۳۹۵	--۰۳۱۳	--۰۵۱	-۰۴۴	--۰۳۷۷	--۰۶۱	--۰-۸-
As	--۰۳۹۶	-۰۶۸	--۰۲-	--۰-۳	-۰۵۱	-۰-۹۵	-۰-۳	-۰۵۳
B	--۰۳۸	-۰۶۴	-۰۱۱	--۰۴۱	-۰۱-	--۰۳۳-	--۰۴۴	-۰-۵۳
Ba	-۰۵۸۲	-۰-۶	-۰۵۱	-۰-۶۹	--۰-۳-	--۰۴۱	-۰۶۷	-۰۸۸
Ca	-۰-۴	-۰-۷-	--۰۳۸۵	--۰۹۵	--۰-۹	--۰-۸۳	-۰-۹۴	-۰-۶۸
Ce	--۰-۹۴	-۰۵۵	-۰۹-۹	-۰۳۹	--۰-۵۵	-۰-۹۴	-۰-۳۴	-۰-۳
Co	-۰-۳-	-۰۳۸	--۰۳۵	--۰-۳۳	-۰۶-	-۰-۳۷	-۰۴۵۴	--۰۳۷۶
Cr	-۰۳۳	-۰-۹	-۰-۳	-۰-۵۷	--۰۳۴۴	--۰۳۳	-۰۹۳	-۰-۳۹
Cu	-۰۱۹	--۰۴۴	-۰۳۷	-۰۵۸	--۰-۴۶	۰۸۵۱	-۰۳۳	--۰-۸-
Fe	-۰۳۷۹	--۰-۳-	--۰۴۹	-۰-۱	-۰۳۸۲	-۰۱۸	-۰-۴۸	-۰-۹۷
Ga	-۰۶۷-	-۰-۹۱	--۰۲-	-۰-۸۱	-۰۴۶	--۰-۱۷	--۰۷۴	--۰۳۳
K	-۰۱۱	-۰-۹-	-۰-۸	-۰۵۳	--۰-۳۴	--۰۳۱	--۰۳۳	-۰-۵۱
La	--۰-۷۳	-۰۱۱	-۰۳۳	-۰-۳۶	--۰-۳۵	-۰۱۳	-۰-۳۳	-۰۳۱۹
Li	-۰۳۹۶	-۰۳۳	-۰-۱	--۰۳۳	-۰۳۹	--۰۳۹۴	--۰-۳۶	--۰-۳۱
Mg	-۰-۴	-۰۳۴	--۰۷۴	--۰۳۳	-۰-۹-	--۰-۳۸	-۰-۴	--۰۵۳
Mn	-۰-۸	-۰۳۳	-۰-۳۱	-۰۳۸۲	-۰۴۶	--۰۱۷	-۰-۵۵	--۰۴۳
Mo	-۰-۳۶	--۰-۶۳	-۰۳۷۳	-۰۶۱	-۰-۳-	-۰-۵۵	-۰۷۸	-۰-۸۷
Na	-۰۳۹۹	-۰-۶۸	--۰۷۸	-۰۱۷	-۰-۵	--۰۳۳۶	--۰-۱	-۰۸۹
Ni	--۰-۳۱	-۰۸۸۹	-۰-۳	--۰۳۳۷	--۰-۹-	--۰۳۳	--۰-۹۳	-۰-۱۹
P	--۰-۱۸	-۰-۳۱	-۰-۷۳	-۰۳۹	--۰۳-	--۰-۳	-۰۱۶	-۰۱۵
Pb	--۰-۳-۳	--۰-۳۵	-۰-۳۴	-۰-۳۸	-۰۷۷	--۰-۷	-۰-۴۸	-۰۳۴
S	--۰-۸۶	--۰-۱۳	-۰۵۳	--۰-۵۴	--۰-۴	--۰۱۷	-۰-۳-	-۰۵۷
Sc	-۰۷۹	--۰۷۵	-۰-۳۱	-۰-۶۵	-۰۱۱	--۰-۳	-۰۳۵	--۰-۶۶
Sr	--۰-۳۹	-۰۸۶	--۰۳۷-	--۰۸۸۲	-۰-۵۵	--۰۵۴	-۰۴۶	-۰۳۹
Ti	-۰۳۹	--۰۳۳۶	--۰-۶-	-۰۹۶	--۰۱۴	-۰۳۴-	-۰-۹	--۰-۴۱
V	-۰۴۴۳	--۰۳۱	--۰۳۱۹	-۰۶۹	-۰۳۹۵	--۰-۵۶	-۰۹۹	-۰-۳-
Y	-۰۳۱-	-۰-۷۹	-۰۹۳	-۰-۳	-۰۷۳	--۰-۸۷	-۰۷۶	--۰۸۴
Zn	-۰۳۸۱	-۰۱۶	-۰-۴۶	-۰۸۳	-۰۹۸	-۰-۶	-۰-۱	--۰-۷۵
Zr	--۰۳۳-	-۰۶۹۵	-۰۵۵	-۰۳۹	-۰۴۶	--۰-۷۱	--۰۳۹۷	-۰-۸-

هیچ یک از مؤلفه‌های تقریب و جزء حاصل از تجزیه موجک هر نتوانستند عناصر مس، طلا و مولیبدن را هم‌زمان از سایر عناصر به صورت کامل جدا کنند و در مؤلفه کانی‌سازی قرار دهند که این موضوع به دلیل ماهیت فرکانسی این مؤلفه‌ها و تغییرات عمقی متنوع این عناصر می‌باشد. به منظور تفکیک تمام عناصر مس، طلا و مولیبدن به عنوان عناصر کانی‌سازی بدون در نظر گرفتن فرکانس‌های بالا و پایین داده‌ها، یک شاخص جدید بر مبنای تجمیع ضرایب موجک در مرحله اول از تجزیه ارائه شده است که تمام ضرایب جزء و تقریب را شامل می‌شود. این شاخص به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CL_1 = cA_1 + cd_{1h} + cd_{1v} + cd_{1d} \quad (6-1)$$

این شاخص بر روی ماتریس ضرایب تمام عناصر به صورت مجزا انجام گرفته و در نهایت ماتریس نهایی شاخص تجمعی عناصر تشکیل می‌شود. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی این شاخص اعمال شده و نتایج قابل توجهی حاصل گردیده است. مؤلفه‌های اصلی تعیین شده در این روش در جدول ۶-۸ نشان داده شده است. نتایج حاصل تشابه بالایی با نتایج حوزه مکان دارد. ضرایب تمام عناصر در مؤلفه کانی‌سازی در حوزه مکان و حوزه فرکانس مشابه هستند. عناصر مس، طلا و مولیبدن در مؤلفه اول به عنوان فاکتور کانی‌سازی قرار گرفته و از سایر عناصر مجزا می‌شوند. این شاخص به دلیل دربرداشتن ضرایب موجک در فرکانس‌های متنوع، به خوبی قادر است تمام عناصر مرتبط با کانی‌سازی را جدا از نحوه توزیع فرکانسی آنها شناسایی کند. این شاخص می‌تواند در سایر روش‌های تشخیص الگو و تفسیرهای ژئوشیمیایی دیگر به خوبی مورد استفاده قرار گیرد. ضرایب به‌دست آمده در روش PCA برای مؤلفه‌های کانی‌سازی در داده‌های حوزه مکان و شاخص تجمعی ضرایب جهت مقایسه در شکل ۶-۱ ترسیم شده است. با توجه به اینکه داده‌های حوزه مکان - مقیاس علاوه بر اطلاعات فرکانسی عناصر، دارای ویژگی‌های مکانی نمونه‌ها نیز می‌باشند، نتایج شاخص تجمعی ضرایب موجک در حوزه مکان - مقیاس شباهت زیادی به نتایج حوزه مکان دارد.



شکل ۶-۲- مقادیر ضرایب عناصر در فاکتور کانی‌سازی در داده‌های حوزه مکان و حوزه مکان - مقیاس (شاخص

تجمعی)

بر اساس اطلاعات اکتشافی و نمونه‌های ژئوشیمی سطحی و همچنین نتایج حفاری‌ها در منطقه دالی شمالی، عنصر طلا و مولیبدن ارتباط بسیار نزدیکی با کانی‌سازی دارند. که این موضوع به وضوح در نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در حوزه مکان و نتایج تبدیل موجک تأیید می‌شود.

نتایج نهایی حاصل از روش WT-PCA و حوزه مکان داده‌های ژئوشیمیایی در جدول ۹-۶ به صورت مختصر ارائه شده است. روش موجک علی‌رغم اینکه توانسته است کانی‌سازی طلا و مس را در حالت‌های فرکانسی مختلف به خوبی نشان دهد، ارتباط مولیبدن را نیز با کانی‌سازی به خوبی شناسایی کرده است. بنابراین با استفاده از روش ترکیبی تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تبدیل موجک می‌توان الگوهای اکتشافی در مناطق کانی‌سازی را تشخیص داد.

فصل ششم: تحلیل نتایج حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۶-۸- نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی شاخص تجمعی ضرایب و حوزه مکان

حوزه مکان						شاخص تجمعی در حوزه مکان حقیقی					
	۱	۲	۳	۴	۵		۱	۲	۳	۴	۵
Au	--/۱۹۳	-/۶۳۱	-/۵۳-	--/۴۳-	-/۴۹	Au	-/۵۰۹	--/۵-۴	--/۴-۸	--/۳-۶	-/۱۳۳
Al	-/۸۹۳	-/۳۳۵	--/۱۷۳	-/۳۴۳	--/۱۵۱	Al	-/۴۴۴	-/۸۴۵	-/۳۳۱	-/۱۳۱	--/۱-۷
As	--/۳۳-	-/۶۶۹	--/۱-۷۴	-/۳۳۶	--/۱-۴۹	As	-/۶۷۳	--/۱۸۹	-/۳۳۴	-/۱۴۷	--/۱۴۴
B	--/۱-۳۴	-/۸۷۶	--/۴۱۷	-/۸۶۳	-/۱-۸۴	B	-/۸۱۸	--/۱-۳	-/۱-۷۷	-/۳۷۴	--/۱-۹
Ba	-/۶۸۱	-/۸۳۳	--/۳۳۳	-/۱-۹۰	-/۳۷۹	Ba	-/۱-۸۸	-/۶۴۴	-/۱-۵۹	-/۳۸۹	-/۳۳۹
Ca	-/۸۹۹	-/۳۳۶	--/۸۴۴	--/۳۳۳	--/۱-۹	Ca	-/۳۹۱	-/۱-۸۳	--/۳۳۵	-/۸--	--/۱-۹۳
Ce	--/۱۸۶	-/۳-۵	-/۱-۵	--/۱۵۶	-/۸۹۱	Ce	-/۸۴۷	--/۱-۵	--/۱۴۳	--/۱-۳	-/۹۳۳
Co	-/۶۸۱	-/۴۹۳	--/۱-۳۵	-/۳۹۸	--/۳۳۳	Co	-/۵۴۷	-/۳۹۹	-/۳۴۹	-/۱-۷۷	--/۳۳۵
Cr	-/۸۳۳	-/۸۴۱	--/۸۳۸	--/۱۱۱	-/۳۱۶	Cr	-/۸۷۶	-/۸۱۱	--/۱-۹۴	-/۳۳۳	-/۸۷۵
Cu	--/۱-۷۶	-/۶۳۳	-/۴۱۳	--/۵-۷	-/۸۲-	Cu	-/۶۴۳	--/۳۵۴	--/۴۹۷	--/۳۱-	-/۸۳۷
Fe	-/۴۱۹	--/۱۶۷	-/۸۳۹	--/۱-۸۸	--/۱-۴۹	Fe	--/۳۷۶	-/۳۳۶	--/۲--	--/۸-۸	--/۱-۹
Ga	-/۸۴۸	-/۱-۳۵	-/۸۳-	-/۱-۶۷	--/۱۴۹	Ga	-/۸۳۱	-/۸۵۱	-/۸۴۷	--/۱۸۳	--/۱-۹۳
K	-/۸۳۹	-/۱-۱۹	-/۱-۸۱	--/۳۴۴	-/۳۱-	K	-/۱-۵۳	-/۸۶۶	--/۳۵-	--/۳۳۸	-/۸۳۱
La	--/۱۶۸	-/۸۱۶	-/۱-۳۳	--/۱۳۶	-/۸۹۹	La	-/۱-۹۴	--/۱۳۶	--/۱۵۱	-/۱-۵-	-/۹۱۴
Li	-/۴۳۵	-/۸۱۹	--/۳۷۱	-/۸-۲	-/۳۱۱	Li	-/۸۳۳	-/۴۴-	-/۸۱۳	-/۳۷۸	-/۸۷۶
Mg	-/۸۶۳	-/۱-۸۸	--/۱۶۸	--/۳۸۳	-/۱-۸	Mg	-/۱-۸۹	-/۸۹-	--/۳۳۳	-/۸۵۶	-/۱-۳-
Mn	-/۳۳۳	-/۸۳۵	-/۸۳۴	-/۱-۸-	-/۱-۶	Mn	-/۸۸۱	-/۳۳۵	-/۱-۱۳	-/۱-۷۹	-/۱-۴۹
Mo	-/۸۸۹	-/۶۶۷۷	-/۳۱۳	-/۳-۸	-/۳۱۷	Mo	-/۵۶۳	-/۳-۷	-/۳۳۶	--/۱-۶	-/۸۶۳
Na	-/۶۶۸	-/۳-۴	--/۱-۶۷	-/۳۹۸	--/۳۷۸	Na	-/۳۴۹	-/۶-۱	-/۴۱۵	--/۱-۶۸	--/۴۷۸
Ni	-/۱-۳۷	-/۸۹۶	--/۳۹۱	-/۱-۳۷	-/۳۳۱	Ni	-/۹-۳	-/۱-۳۷	-/۱-۸	-/۳-۸	-/۸۹۱
P	-/۱-۳۱	-/۱-۴۶	-/۶۳-	--/۱۷۷	-/۸-۹	P	-/۱-۱۹	-/۱-۳۷	--/۳۹۳	--/۵۹۸	--/۱-۵۳
Pb	-/۳۱۸	-/۸۱۳	-/۱-۶-	-/۸۱۳	--/۱۷۳	Pb	-/۸۴۷	-/۳۳۳	-/۸۳۹	-/۱--	--/۱۱۹
S	-/۱-۳۱	-/۸۳۴	--/۴-۳	-/۸۴۱	--/۱۶۸	S	--/۱-۸۶	--/۱-۹۵	-/۸۸-	-/۳۶۳	--/۱۷۳
Sc	-/۸۳۹	--/۳۳-	--/۸۳۳	-/۱-۹۰	-/۸۱۷	Sc	--/۴--	-/۸-۷	-/۸۸-	-/۸۴۳	-/۸-۶
Sr	-/۱-۷۴	-/۳۶۱	--/۸۳۸	-/۳۳۵	--/۱۴۱	Sr	-/۴۱۳	-/۱-۸۶	-/۳۳۱	-/۸۳۱	--/۱۶۷
Ti	-/۴۹۸	--/۳۴۳	-/۳۶۹	--/۸۱۳	-/۱-۸۸	Ti	--/۴۶۸	-/۴۹۳	--/۳۳۶	--/۱۹۴	-/۱-۵۷
V	-/۸۳۶	--/۱۸۸	-/۴۳۶	-/۱-۳۴	--/۱۳۳	V	--/۳۳۸	-/۸۱۹	-/۱-۵	--/۳۹۴	--/۳۳-
Y	-/۳۴۴	-/۱-۴۵	-/۸۶-	--/۱-۸۷	-/۸۹۶	Y	--/۱-۳۹	-/۴۵۴	--/۱-۸	--/۱۳۴	-/۸۷-
Zn	-/۶۶۴	-/۳۳۶	-/۳۴۳	-/۳۴-	--/۱۳۳	Zn	-/۳۹۷	-/۵۸-	-/۳-۶	--/۳۴۳	--/۱-۶۹
Zr	--/۱-۴۴	-/۸۷۸	-/۸۶۱	-/۳۵۱	-/۸۷۵	Zr	-/۸۳۷	--/۱-۴	-/۸۶۳	--/۱-۸۸	-/۳۳۷

فصل ششم: تحلیل نتایج حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمی

جدول ۶-۹- نتایج نهایی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ضرایب تبدیل موجک هار و داده‌های ژئوشیمیایی حوزه مکان (عناصر مرتبط با کانی‌سازی در هر حالت تعیین شده است)

عناصر کانی‌سازی	نوع داده	
(Cu , Mo, Au)	حوزه مکان داده‌های ژئوشیمیایی	
Cu	مؤلفه تقریب در مرحله اول از تجزیه	
(Au , Cu)	مؤلفه جزء در جهت افقی	مؤلفه‌های جزء در مرحله اول از تجزیه
(Au , Cu)	مؤلفه جزء در جهت قائم	
(Au , Cu)	مؤلفه جزء در جهت قطری	
(Cu , Mo)	مؤلفه تقریب در مرحله دوم از تجزیه	
(Au , Cu)	مؤلفه جزء در جهت افقی	مؤلفه‌های جزء در مرحله دوم از تجزیه
(Au , Cu)	مؤلفه جزء در جهت قائم	
(Au , Cu)	مؤلفه جزء در جهت قطری	
(Cu , Mo, Au)	شاخص تجمعی ضرایب موجک	

حوزه مکان - مقیاس
(تبدیل موجک هار)

با توجه به نتایج به دست آمده از روش تبدیلات دو بعدی گسسته موجک، ضرایب موجک در مؤلفه‌های تجزیه‌ای دارای اطلاعات اکتشافی هستند و از این رو می‌توان از این داده‌ها در تحلیل‌های ژئوشیمی نیز استفاده کرد. ضرایب موجک داده‌های ژئوشیمی در حوزه مکان - مقیاس اطلاعات حوزه فرکانس و حوزه مکان را در کنار یکدیگر دارند. مؤلفه‌های جزء و تقریب به دلیل ماهیت فرکانسی خاصی که دارند نتایج خاصی با توجه به وضعیت کانی‌سازی نشان می‌دهند.

فصل هفتم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۷- نتیجه گیری

وجود پیچیدگی‌های زمین‌شناسی و پارامترهای مختلف مؤثر در کانی‌سازی و تشکیل ذخایر معدنی، موجب پیچیدگی داده‌های اکتشافی به‌ویژه داده‌های ژئوشیمی در سطح زمین می‌شود. لذا با تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی در حوزه مکان، قادر به دستیابی به اطلاعات کامل اکتشافی در مورد ذخایر معدنی نخواهیم بود و داده‌های ژئوشیمی حوزه مکان ممکن است به خوبی نتوانند اطلاعات اکتشافی مورد نیاز را در اختیار قرار دهند. داده‌های ژئوشیمیایی حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس به دلیل دربرداشتن پارامترهای جدید ژئوشیمیایی مانند اعداد موج و فرکانس می‌توانند مورد تحلیل و بررسی قرار گیرند و بر این اساس می‌توان به الگوها و اطلاعات اکتشافی جدیدی در مورد ذخایر معدنی دست یافت به‌طوری که در حوزه مکان قابل دستیابی نیستند. عناصر مرتبط با فرایندهای مختلف زمین‌شناسی و به‌ویژه عناصر مرتبط با فازهای کانی‌زایی دارای ویژگی‌های فرکانسی مشابهی هستند و از این جهت می‌توانند در تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی حائز اهمیت باشند. در این رساله روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی سطحی در سه منطقه کانی‌سازی دالی، ظفرقند و فردوس انجام گرفته است. نتایج حوزه فرکانس در مقایسه با حوزه مکان توانسته است به نحو بارزتری عناصر کانی‌سازی را از سایر عناصر جدا نماید. ترکیب روش‌های PCA و تبدیل فوریه باعث کاهش شدید بعد فضای ویژگی داده‌ها گردیده و تمام عناصر در دو مؤلفه کانی‌سازی و زمینه قرار گرفته‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که عناصر کانی‌سازی در حوزه فرکانس شباهت بیشتری با یکدیگر داشته و از این جهت نسبت به داده‌های حوزه مکان اطلاعات بهتر و بیشتری را دربر دارند و در روش‌های کلاسه بندی و تحلیل داده، کارایی بالاتری دارند. بر اساس رابطه بین توزیع ژئوشیمیایی سطحی عناصر و وضعیت مهاجرت ژئوشیمیایی عناصر، روش جدید ضرایب فرکانسی عناصر بر مبنای ویژگی‌های حوزه فرکانس، جهت شناسایی ذخایر پنهان و عمیق ارائه گردیده است. نتایج حاصل از این روش در مناطق دالی و ظفرقند به خوبی روند

تغییرات عیاری عناصر کانی‌سازی را در عمق نشان می‌دهد که این نتایج توسط حفاری‌ها تأیید گردیده است. روش ضرایب فرکانسی عناصر روند کاهشی برای عیار آنتیموان نسبت به عمق در منطقه فردوس نشان می‌دهد که بر اساس اطلاعات اکتشافی منطقه و حفاری‌ها این نتایج تأیید شده است. روش فرکانسی عناصر نشان می‌دهد کانی‌سازی‌های عمیق و پنهان می‌توانند فرکانس‌های بسیار پایینی در سطح ایجاد کنند و از طرفی کانی‌سازی‌های سطحی فرکانس‌های بالا را در داده‌های ژئوشیمی سطحی به وجود خواهند آورد. فرکانس‌های پایین در داده‌های ژئوشیمیایی سطحی می‌تواند ناشی از مقادیر زمینه ژئوشیمیایی و مقادیر آنومالی‌های عمیق باشند. بنابراین با تحلیل فرکانس‌های پایین داده‌های ژئوشیمیایی می‌توان در خصوص آنومالی‌های عمیق و وجود ذخایر پنهان اظهار نظر کرد. فرکانس‌های بسیار بالا در اثر پدیده‌های زمین‌شناسی سطحی مانند کانی‌سازی‌های سطحی و کم عمق و یا نویزهای ژئوشیمیایی پدید می‌آیند. ذخایر معدنی عمیق در فرکانس‌های بالای داده‌های ژئوشیمی به خوبی قابل بررسی نخواهند بود و از طرفی در فرکانس‌های پایین بهتر قابل تحلیل هستند. در این رساله با استفاده از روش ضرایب فرکانسی عناصر، روند تغییرات عمقی عیار عناصر کانی‌سازی در سه منطقه مزبور بدون استفاده از حفاری و انجام هزینه‌های اکتشافی بالا پیش‌بینی شده است. روش ضرایب فرکانسی عناصر قادر است آنومالی‌های کاذب را از واقعی با استفاده از اطلاعات حوزه فرکانس داده‌های ژئوشیمیایی شناسایی کند.

علاوه بر حوزه فرکانس، تبدیل موجک نیز جهت تفکیک فرکانس‌های مختلف موجود در داده‌های ژئوشیمی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه به منظور تعیین الگوی کانی‌سازی و بحث در خصوص مؤلفه‌های کانی‌سازی و پی‌بردن به ویژگی‌های جدید اکتشافی منطقه دالی از روش ترکیبی تبدیل موجک گسسته دو بعدی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است. مؤلفه‌های جزء و تقریب در تبدیل موجک داده‌های ژئوشیمیایی، مربوط به فرکانس‌های مختلف در داده‌ها بوده و دارای اطلاعات نسبتاً مناسب اکتشافی هستند و هر کدام از این داده‌ها جنبه‌های مختلفی از توزیع عناصر و شرایط

کانی سازی را نشان می دهند. روش تحلیل مؤلفه های اصلی به طور جداگانه بر روی ضرایب موجک در مؤلفه های تجزیه ای مختلف اعمال شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، مؤلفه های جزء در جهت افقی، قائم و قطری در هر دو مرحله از تجزیه دارای کانی سازی مس و طلا هستند. روش PCA بر روی مؤلفه تقریب در مرحله دوم از تجزیه، عناصر مس، طلا و مولیبدن را به خوبی در یک مؤلفه کلاسه بندی کرده است. در ادامه، یک شاخص جدید ژئوشیمیایی در حوزه مکان - مقیاس تحت عنوان شاخص تجمعی ضرایب موجک ژئوشیمیایی، نیز معرفی گردیده است. روش تحلیل مؤلفه های اصلی بر روی داده های حاصل از این شاخص تجمعی اعمال شده و بر اساس نتایج این شاخص، عناصر مس طلا و مولیبدن در ارتباط با فرایند کانی سازی هستند. این شاخص ژئوشیمیایی در حوزه مکان - مقیاس، حاوی اطلاعات اکتشافی مناسبی از منطقه بوده و توانسته است به خوبی الگوهای کانی سازی در منطقه را مورد شناسایی قرار دهد.

۲-۷- پیشنهادات

بر اساس نتایج به دست آمده در این رساله، جهت ادامه روش های معرفی شده و انجام پژوهش های کاربردی در این زمینه موارد زیر پیشنهاد می گردد:

الف- با توجه به این که در این رساله مؤلفه فاز در تبدیل فوریه دو بعدی داده های ژئوشیمی مورد بررسی قرار نگرفته است، مفهوم بخشی ژئوشیمی به داده های مربوط به طیف فاز و تفسیر نتایج آن می تواند حاوی اطلاعات اکتشافی باشد.

ب- نتایج حاصل از این رساله نشان داد حوزه فرکانس داده های ژئوشیمیایی دارای اطلاعات اکتشافی مناسبی می باشد. لذا استفاده از سایر روش های تشخیص الگو بر روی حوزه فرکانس داده های ژئوشیمیایی جهت کسب اطلاعات بیشتر اکتشافی از ذخایر معدنی پیشنهاد می گردد.

ج- برخی از فرکانس ها در باندهای فرکانسی مختلف مربوط به نویزهای ژئوشیمیایی هستند. شناسایی این نویزها جهت بهبود آنومالی های سطحی در حوزه فرکانس و حوزه مکان - مقیاس پیشنهاد می گردد.

د- در این رساله ارتباط بین وضعیت توزیع فرکانسی عناصر با عمق کانسار مورد بررسی قرار گرفت. لذا احتمالاً با استفاده از شاخص‌های جدید مانند زونالیت‌ها در حوزه فرکانس، اطلاعات مناسبی از وضعیت عمقی کانسارها به دست خواهد آمد.

ه- با توجه به اینکه مؤلفه‌های جزء در تبدیل موجک حاوی اطلاعات کانی‌سازی بوده لذا بررسی ارتباط بین نقشه‌های توزیع ضرایب موجک در مؤلفه‌های جزء با وضعیت کانی‌سازی و ساختارها در منطقه حائز اهمیت می‌باشد.

و- با توجه به این که در این رساله، فرایند تبدیل داده‌ها به منظور صفر کردن میانگین، انجام نشده و تحلیل‌های انجام شده بر روی داده‌های اولیه صورت گرفته است. داده‌های تبدیل یافته با هدف صفر کردن میانگین نیز می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

مراجع:

- افضل پ، فداکار القلندیس ی، خاکزاد ا، معارف وند پ، رشیدنژاد عمران ن، اسدی هارونی ه، (۱۳۸۸) "جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با استفاده از روش طیف توان - مساحت، مطالعه موردی: کانسار پورفیری مس - مولیبدن کهنک، اصفهان"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، شماره ۲، دوره ۲، ص ۹.
- برنا ب، (۱۳۸۷) "اکتشاف آنتیموان در شوراب استان خراسان جنوبی"، گزارش اکتشافی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسینی پاک ع ا، (۱۳۸۱) "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- دارابی گلستان ف، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "تفسیر داده های لیتوژئوشیمیایی ثانویه همراه با مطالعات لیتوژئوشیمی اولیه جهت کنترل نقشه حفاری"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.
- دایا ع، حسینی پاک ع، غلام نژاد ج، (۱۳۸۵) "جداسازی آنومالی از زمینه با استفاده از روش فیلتر فرکتال"، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، تهران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- طاهری ب، (۱۳۸۰)، "ریاضیات مهندسی (آنالیز فوریه و معادلات با مشتقات جزئی)"، چاپ دوم، مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، اصفهان، ۴۶۰ ص.

فداکار القلندیسی، (۱۳۸۳)، "کاربرد روش فرکتالی طیف توان - مساحت در جدایش آنومالی از زمینه"،

کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

قوامی ریابی ر، دارابی گلستان ف، خالوکاکی ر، اسدی هارونی ه، (۱۳۹۰)، "ارزیابی هاله‌های

لیتوزئوشیمیایی اولیه و ثانویه کانی سازی دالی شمالی و تلفیق آنها با سایر اطلاعات اکتشافی به منظور

هدایت عملیات اکتشافی"، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، شماره ۴، دوره ۷، ص ۳۱۱.

کارت رایت م. (۱۳۸۲)، "روش های فوریه برای مهندسان و محققان"، ترجمه جهانشاهی م، خاتمی ح،

چاپ اول، کتاب دانشگاهی، دانشگاه تربیت معلم آذربایجان، ۳۸۴ ص.

گلی نبی ح، (۱۳۷۶)، "طیف نمایی تبدیل فوریه و کاربردهای آن"، چاپ اول، موسسه انتشارات علمی

دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۳۰۰ ص.

مرتینز، آ، (۱۳۸۰)، "موجک، فیلتر بانک، تبدیل های زمان فرکانس و کاربرد آنها"، ترجمه مرادی م. ح،

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۴۰۰ ص.

Addison. P.S., (2002) "The illustrated wavelet transform handbook, introductory theory and applications in science, engineering, medicine and finance". CRC press, London, Institute of physics.

Afzal, P., Khakzad, A., Moarefvand, P., Rashidnejad Omran, N., Esfandiari, B., Fadakar Alghalandis, Y. (2010) "Geochemical anomaly separation by multifractal modeling in Kahang (Gor Gor) porphyry system, Central Iran". *J. Geochem. Explor.*, 104, 1, pp 34.

Afzal, P., Fadakar Alghalandis, Y., Moarefvand, P., Rashidnejad Omran, N., Asadi Haroni, H. (2012). "Application of power-spectrum–volume fractal method for detecting hypogene, supergene enrichment, leached and barren zones in Kahang Cu porphyry deposit, Central Iran". *J. Geochem. Explor.* 112, pp 131.

Agterberg, F.P., Cheng, Q., Wright, D.F. (1993). "Fractal modeling of mineral deposits. In: Elbrond, J., Tang, X. (Eds.)", 24th APCOM symposium proceeding, Montreal, Canada, pp. 43–53.

Ali, Kh., Cheng, Q., Zhijun, C. (2007). "Multifractal power spectrum and singularity analysis for modelling stream sediment geochemical distribution patterns to identify anomalies related to gold mineralization in Yunnan Province, South China". *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis.*, 7, 4, pp 293.

Asadi Haroni H. (2008). "First stage drilling report on dalli porphyry Cu-Au prospect, central province of Iran". technical report.

Asadi Haroni, H. (2013). "Preliminary exploration at Zafarghand porphyry copper property, central Iran" technical report.

Bai, J., Porwal, A., Hart, C., Ford, A., Yu, L. (2010). "Mapping geochemical singularity using multifractal analysis: application to anomaly definition on stream sediments data from Funin Sheet, Yunnan, China". *J. Geochem. Explor.* 104, 1, pp 1.

Bessissi, Z., Terbeche, M., Ghezali, B. (2009). "Wavelet application to the time series analysis of DORIS station coordinates". *Comptes Rendus Geoscience.*, 341, 6, pp 446.

Bhattacharyya, B. K. (1966), "Continuous spectrum of the total magnetic-field anomaly due to a rectangular prismatic body". *Geophysics.*, 31, 1, pp 97.

-
- Bolton, E. W., Maasch, K. A., & Lilly, J. M. (1995). "A wavelet analysis of Plio – Pleistocene climate indicators: A new view of periodicity evolution". *Geophysical Research Letters.*, 22, 20, pp 2753.
- Bracewell, R.(1999), "*The Fourier transform and its applications*", 3rd ed. New York: McGraw-Hill, pp. 69-97.
- Brigham, E.O. (1974), "*The Fast Fourier Transform*". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Cao L, Cheng Q, (2012). "Quantification of anisotropic scale invariance of geochemical anomalies associated with Sn-Cu mineralization in Gejiu, Yunan Province, China", *J. Geochem. Explor.* 122, pp 47.
- Carranza, E.J.M. (2008). "*Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS*". Handbook of exploration and environmental geochemistry, vol. 11. Elsevier, Amsterdam.
- Carranza, E.J.M. (2009). "Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features". *Ore Geology Reviews* 35, 3, pp 383.
- Carranza, E.J.M., Sadeghi, M. (2010). "Predictive mapping of prospectivity and quantitative estimation of undiscovered VMS deposits in Skellefte district (Sweden)". *Ore Geology Reviews* 38, 3, pp 219.

-
- Chang P, PiauSimple P. (2008), "Procedure for the designation of Haar wavelet matrices for differential equations", International multi-conference of engineers and computer scientists.
- Cheng, Q. (1999). "Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation", *J. Geochem. Explor.* 65, 3, pp 175.
- Cheng, Q. (2004). "A new model for quantifying anisotropic scale invariance and for decomposition of mixing patterns" *Mathematical Geology* 36, 3, pp 345.
- Cheng, Q. (2005). "Multifractal distribution of eigenvalues and eigenvectors from 2D multiplicative cascade multifractal fields". *Mathematical Geology* 37, 8, pp 915.
- Cheng, Q. (2006). "Multifractal modelling and spectrum analysis of gamma ray spectrometer data from southwestern Nova Scotia, Canada", *Science in China*, 49, 3, pp 283.
- Cheng, Q. (2007). "Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China". *Ore Geology Reviews* 32, 1, pp 314.
- Cheng, Q., Agterberg, F.P., Ballantyne, S.B. (1994). "The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods". *J. Geochem. Explor.* 51, 2, pp 109.
- Cheng, Q., Xu, Y., Grunsky, E. (1999) "Integrated spatial and spectral analysis for geochemical anomaly separation". In: Lippard, S.J., Naess, A., Sinding-Larsen, R. (Eds.), Proceedings of the fifth Annual conference of the international association for mathematical geology, Trondheim, Norway 6–11th August, vol. 1, pp. 87–92.

Cheng Q, Xu Y, Eric Grunsky E, (2000) “Integrated spatial and spectrum method for geochemical anomaly separation”, *Natural resources research*, 9, 1, pp 43.

Cheng Q, Xia Q, Li W, Zhang S, Chen Z, Zuo R, Wang W, (2010) “Density/area power-law models for separating multi-scale anomalies of ore and toxic elements in stream sediments in Gejiu mineral district, Yunnan Province, China”, *Biogeosciences*, 7, 10, pp 3019.

Cheng Q, Zhao P, (2011) “Singularity theories and methods for characterizing mineralization processes and mapping geo-anomalies for mineral deposit prediction”, *Geoscience Frontiers*, 2, 1, pp 67.

Chork, C. Y., and Mazzucchelli, R. H. (1989) “Spatial filtering of exploration geochemical data using EDA and robust statistics”, *Geochemical. Exploration*, 34, 3, pp 221.

Chui, C. K. (1992) “*An introduction to wavelets*”, Academic Press, Boston, USA, pp. 603–654.

Darabi-Golestan F , Ghavami-Riabi R, Asadi-Harooni H. (2012) “Alteration, zoning model, and mineralogical structure considering lithogeochemical investigation in Northern Dalli Cu–Au porphyry”, *Arab J Geosci*, 6,12, pp 4821.

Davis, J.C. (2002) “*Statistics and data analysis in geology*”, 3rd ed. John Wiley & Sons Inc., New York, 550pp.

Dobrin, M. B., and Savit, C. H. (1988) “*Geophysical prospecting*” : McGraw-Hill Book Co., New York, pp 867.

Freeman, R. (1988) “*A handbook of nuclear magnetic resonance Longman scientific & Technical*” Longman Scientific & Technical, Essex, England. pp 207.

Ge Y, Cheng Q, Zhang S. (2005) “*Reduction of edge effects in spatial information extraction from regional geochemical data: a case study based on multifractal filtering technique*”, *Computers & Geosciences* 31, 5, pp 545.

Gonzalez, R.C, Woods, R.E (2002) “*Digital image processing*” Prentice-Hall, Upper Saddle River, N, 793pp.

Goncalves, Mario A., Mateus, Antonio, Oliveira, Vitor. (2001) “Geochemical anomaly separation by multifractal modeling” *J. Geochem. Explor.* 72, 2, pp 91.

Haar, A. (1910) “*Zur Theorie der orthogonalen Funktionensysteme*” (German) *Mathematische Annalen.*, 69, 3, pp 331.

Hassani H, Daya A, Alinia F. (2009) “Application of a fractal method relating power spectrum and area for separation of geochemical anomalies from background”, *Basic and Applied Sciences*, 3, 4, pp 3307.

Hou, Z. Q., Gao, Y. F., Qu, X. M., Rui, Z. Y., & Mo, X. X. (2004) “Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east–west extension in southern Tibet”, *Earth and Planetary Science Letters*, 220, 1, pp 139.

Jennison, R.C. (1961) “*Fourier transforms and convolutions*”, Pergamon Press, London, pp 82.

Johansson, E. (2005) “*Wavelet theory and some of its applications, Department of mathematics*”. Lulea, Sweden, Lulea University of Technology. Licentiate: 90.

Jolliffe, I.T. (2002) “*Principal component analysis*”, 2nd edn. Springer, New York, 547 pp.

Khaled A, Cheng Q, Chen Z. (2007) “Multifractal power spectrum and singularity analysis for modelling stream sediment geochemical distribution patterns to identify anomalies related to gold mineralization in Yunnan Province, South China Geochemistry” *Exploration, Environment, Analysis*, 7, 4. pp 293.

Lewis, G.M., S. Lovejoy, D. Schertzer and S. Pecknold. (1999) “The scale invariant generator technique for quantifying anisotropic scale invariance” *Computer and Geosciences*, 25, 9, pp 963.

Li, J. (1997) “*Wavelet analysis and signal processing-theory, application and software*” Chongqing Publishing House, Chongqing, pp 1–325 (in Chinese)

Li, C., Zhao, N., Ma, T. (2002) “Fractal reconstruction with unorganized geochemical data”, *Mathematical Geology*, 34, 7, pp 809.

Li, C., Ma, T., Shi, J. (2003) “Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background”, *J. Geochem. Explor.* 77, 2, pp 167.

Li, C., Ma, T., Cheng, J. (2004) “A fractal interpolatory approach to geochemical exploration data processin”. *Mathematical Geology*, 36, 5, pp 593.

Mandelbrot, B.B. (1983). “*The fractal geometry of nature*”. W. H. Freeman, San Fransisco, New York, 1983, pp 495.

-
- Mao, Z., Peng, S., Lai, J., Shao, Y., Yang, B. (2004). "Fractal study of geochemical prospecting data in south area of Fenghuanshan copper deposit, Tongling Anhui". *Journal of Earth Sciences and Environment*, 26, 4, pp 11.
- Mundim, E. C., Schots, H. A., de Araújo, J. M., & Tavares, D. M. (2006). "WTdecon, a colored deconvolution implemented by wavelet transform", *The Leading Edge*, 25, 4, pp 398.
- Panahi, A., Cheng, Q., Bonham-Carter, G.F. (2004) "Modelling lake sediment geochemical distribution using principal component. indicator kriging multifractal power spectrum analysis: a case study from Gowganda, Ontario". *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 4, 1, pp 59.
- Ortega, O.J., Marrett, R., Laubach, S.E. (2006) "A scale-independent approach to fracture intensity and average fracture spacing". *AAPG Bulletin*, 90, 2, pp 193.
- Sadie, S. (Ed.). (1984) "*The New Grove dictionary of musical instruments*", Vol. 3. Macmillan Press.
- Seyed Rahimi-Niaraq, M., & Ghavami-Riabi, R. (2009). "Evaluation of fractal dimension in regional geochemical investigation, shear zone gold mineralization zone", *Geochimica et Cosmochimica Acta Supplement*, 73, pp 1200.
- Shafiei. B., Haschke. M. Shahabpour. J. (2009) "Recycling of orogenic arc crust triggered porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran", *Mineralium Deposita*, 44, 3, pp 265.
- Shahabpour. J. (2005) "Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz", *Journal of Asian Earth Sciences*, 24, 4, pp 405.

Shen, W., Zhao, P. (2002) “Theoretical study of statistical fractal model with applications to mineral resource prediction”. *Computers and Geosciences* 28, 3, pp 369.

Sidney Burrus C, Gopinath RA. (1998) “*Introduction to wavelets & wavelet transforms*”, Prentice Hall, New Jersey.

Sim, B.L., Agterberg, F.P., Beaudry, C. (1999) “Determining the cutoff between background and relative base metal contamination levels using multifractal methods”, *Computers and Geosciences* 25, 9, pp 1023.

sneddon I.N. (1961) “*Fourier Series*”, Routledge & Kegan paul, Ltd, London. pp 69.

Stark, H. G. (2005). “*Wavelets and signal processing: an application-based introduction*”, Springer Science & Business Media.

Stein, E. M., & Weiss, G. L. (1971). “*Introduction to Fourier analysis on Euclidean spaces*”, Vol. 1, Princeton university press, New Jresey, pp 104.

Stein, E.M, Shakarchi, R. (2003) “*Fourier Analysis: An introduction*”, Princeton University Press, New Jresey, pp 298.

Tokhmechi, B., Memarian, H., Rasouli, V., Noubari, H. A., Moshiri, B. (2009) “Fracture detection from water saturation log data using a Fourier–wavelet approach”. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 69, 1, pp 129.

Turcotte, D.L. (1986) “A fractal approach to the relationship between ore grade and tonnage”. *Economic Geology*, 18, 6, pp 1525.

Turcotte, D.L. (1997) “*Fractal and Chaos in Geology and Geophysics*”. Second edition, Cambridge Univ. Press, New York, pp 398.

Vetterli, M., Kovacevic, J. (2007) “*Wavelets and subband coding*”, USA, New Jersey , Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, pp 467.

Zarasvandi. A., Liaghat. S., Zentilli, M. (2005) “Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad porphyry copper deposits, Central Iran”, *International Geology Review*, 47, 6, pp620.

Zhang, L., Bai, G., & Xu, Y. (2003) “A wavelet analysis based new approach for interference elimination in geochemical hydrocarbon exploration”. *Mathematical geology*, 35, 8, pp 939.

Zhang, L., Bai, G., Zhao, K., & Sun, C. (2006) “Restudy of acid-extractable hydrocarbon data from surface geochemical survey in the Yimeng Uplift of the Ordos Basin, China: improvement of geochemical prospecting for hydrocarbons”. *Marine and petroleum geology*, 23, 5, pp 529.

Zhang, L., Bai, G., & Zhao, Y. (2012) “A method for eliminating cap rock thickness influence on anomaly intensities in geochemical surface survey for hydrocarbons”. *Mathematical Geosciences*, 44, 8, pp 929.

Zhang, L., Bai, G., Zhao, K. (2013) “Data-processing and multi-type anomaly recognition in the geochemical survey in the south slope of the Dongying Depression, East China”, Goldschmidt Conference.

Zuo, R., (2011a) “Decomposing of mixed pattern of arsenic using fractal model in Gangdese belt, Tibet, China”, *Applied Geochemistry*, 26, pp 271.

Zuo, R., (2011b) “Identifying geochemical anomalies associated with Cu and Pb–Zn skarn mineralization using principal component analysis and spectrum–area fractal modeling in the Gangdese Belt, Tibet (China)”, *J. Geochem. Explor.*, 111, 1, pp 13.

Zuo, R., Cheng, Q., Agterberg, F.P., Xia, Q. (2009a) “Application of singularity mapping technique to identification local anomalies using stream sediment geochemical data, a case study from Gangdese, Tibet, Western China”. *J. Geochem. Explor.* 101, 3, pp 225.

Zuo, R., Cheng, Q., Xia, Q. (2009b) “Application of fractal models to characterization of vertical distribution of geochemical element concentration”. *J. Geochem. Explor.*, 102, 1, pp 37.

Zuo R, Carranza E, Cheng Q. (2012), “Fractal/multifractal modelling of geochemical exploration data”, *J. Geochem. Explor.* 122, pp 1.

Abstract

The geochemical data can be transferred to other domains such as frequency and position – scale domains using Fourier transform (FT) and wavelet transform (WT). The investigations made in this thesis show that the analysis of geochemical data in frequency and position-scale domains can provide new exploratory information that may not be revealed in the spatial domain (SD). The surface geochemical data in Zafarghand Cu–Mo porphyry, Dalli Cu-Au porphyry and Shand Mahmood Sb mineralization areas, as case studies, have been used in this thesis. The geochemical data in frequency domain (FD) have been analyzed using principal component analysis (PCA). This analysis has identified the mineralizing elements much better than the results of SD. This method has classified the FD of geochemical data in two components and has separated the mineralization elements of Au, Cu and Mo from other elements properly. Therefore the combined approach of FT – PCA has been presented as a new dimension reduction method in analysis of geochemical data. The Fourier analysis has higher ability for identification of mineralization elements and analysis of geochemical data than SD.

In this research, the FD of surface geochemical data has been analyzed to decompose the complex geochemical patterns related to different depths of mineral deposit. In order to prediction of mineral deposit model and identification of variations of mineralization and their trend in the depth, the frequency coefficients method (FCM) has been presented based on frequency distribution of elements. The geochemical halos of mineral deposits at different depths impress on frequency distribution of elements in the surface. This investigation demonstrates that FCM is a powerful technique for identification of deep and blind mineral deposits in FD of geochemical data. This new approach has desirably demonstrated the relationship between high and low frequencies

in surface geochemical distribution map and depth of deposit. FCM is a valuable data processing tool and pattern recognition technique to identify the promising anomalies and to determine the mineralization trends in depth without exploration drilling. The introduced technique makes possible the distinction between blind mineralization and zone of dispersed ore mineralization using surface geochemical data. The results of FCM show that there is a zone of dispersed ore mineralization in Shand Mahmood area that are confirmed by the results of drilled borehole. This research demonstrates that the position-scale domain of geochemical data has also important exploratory information. PCA has been performed on approximate and details components in two levels of Haar discrete WT and a new index has been presented based on wavelet coefficients and their results have been interpreted. Significant results have been obtained using PCA on position – scale domain of geochemical data. Information obtained from the exploration drillings such as trenches and boreholes confirm the results of FT and WT. The results of this research show that the geochemical data can successfully be analyzed in frequency and position – scale domains.

Keywords:

Principal component analysis, Two dimensional discrete wavelet transform, Two dimensional Fourier transform, Frequency domain geochemical data, position – scale domain, blind mineralization



University of Shahrood

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

Determination of new exploratory indexes using frequency domain of geochemical data and compare the results with the results of spatial domain

Hossein Shahi

Supervisors:

Seyed Reza Ghavami

Abulghasem Kamkar Ruhani

September 2015