

## شناسایی الگوی کانی‌سازی در فرکانس‌های بالای داده‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش جدید DWT - PCA

حسین شاهی\*<sup>۱</sup>، رضا قوامی ریابی<sup>۲</sup>، ابوالقاسم کامکار روحانی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، گروه مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی گناباد

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

(دریافت: خرداد ۱۳۹۳، پذیرش: آذر ۱۳۹۶)

### چکیده

منطقه دالی واقع در قسمت مرکزی ایران به عنوان منطقه کانی‌سازی مس - طلا پورفیری معرفی شده است. در این مطالعه به منظور تعیین الگوی کانی‌سازی و بحث در خصوص مولفه‌های کانی‌سازی، یک روش جدید بر مبنای ترکیب روش تبدیل موجک گسسته و تحلیل مولفه‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفته است. تبدیل موجک گسسته به عنوان یک روش جدید پردازش داده و یک ابزار آنالیز چند طیفی می‌تواند فرکانس‌های مختلف موجود در یک سیگنال وابسته به زمان یا مکان را تفکیک نماید. آنالیز موجک منجر به نتایج موفقیت آمیزی در زمینه‌های مهندسی مانند تحلیل سیگنال و کاربردهای عددی می‌شود. داده‌های ژئوشیمیایی سطحی مربوط به ۳۰ عنصر با استفاده از روش تبدیل موجک گسسته دو بعدی هار به حوزه مکان - مقیاس انتقال یافته و در یک مرحله به فرکانس‌های بالا و پایین تجزیه شده است سپس روش PCA به صورت جداگانه بر روی مولفه‌های جزء در جهت‌های افقی و عمودی (فرکانس‌های بالای داده‌های ژئوشیمیایی) اعمال شده است. در نهایت عناصر مس و طلا با استفاده از ترکیب فاکتورهای کانی‌سازی حاصل از مولفه‌های جزء تبدیل موجک در جهت‌های افقی و عمودی به صورت واضح و شفاف از سایر عناصر کلاسه‌بندی شده است. اطلاعات به دست آمده از حفاری‌های اکتشافی شامل تراننده‌ها و گمانه‌ها در منطقه نتایج حاصل از روش DWT - PCA را تایید می‌کند. نتایج این مطالعه روش ترکیبی DWT - PCA را به عنوان روشی جدید جهت پردازش داده‌های ژئوشیمیایی، شناسایی الگو و کلاسه‌بندی عناصر کانی‌سازی نشان می‌دهد.

### کلید واژه‌ها

تبدیل موجک گسسته دو بعدی، حوزه مکان - مقیاس، تحلیل مولفه‌های اصلی، پردازش داده‌های ژئوشیمیایی

## ۱- مقدمه

شاخص‌های جدیدی بر اساس تبدیل موجک جهت شناسایی ویژگی‌های کانی‌سازی و تعیین مناطق آنومالی ارائه کردند [۱۱].

روش تبدیل موجک می‌تواند به عنوان یک الگوریتم محاسباتی قوی جهت پردازش داده‌های ژئوشیمی مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه از تبدیل موجک گسسته دو بُعدی بر روی داده‌های ژئوشیمیایی منطقه دالی استفاده شده و نتایج حاصل مورد تفسیر قرار گرفته است. در طی محاسبات تبدیل موجک از تابع موجک مادر هار<sup>۲</sup> استفاده شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۱-۲- زمین‌شناسی و کانی‌زایی منطقه

منطقه مورد مطالعه، یکی از اندیس‌های طلا - مس استان مرکزی (۷۰ کیلومتری اراک) بوده که در نزدیکی تقاطع جاده اراک با بزرگراه تهران-اصفهان واقع شده است. سنگ‌های منطقه از هورنبلند بیوتیت کوارتز دیوریت در تپه دالی شمالی تا هورنبلند بیوتیت دیوریت در تپه دالی جنوبی تغییر می‌کند. زمین‌شناسی منطقه بیانگر آن است که چینه‌های آتشفشانی میوسن پسین و رخنمون سنگ‌های آتشفشانی (آمفیبول آندزیت پورفیری، داسیت) و پیروکلاستیک‌ها در راستای شمال شرقی-جنوب غربی در طول بیشتر از ۳۰ کیلومتر گسترش یافته‌اند [۱۲].

در زون کانی‌سازی مس - طلا، سنگ‌های آندزیت از عناصر  $Fe, K, Mg, Na, Mn$  غنی هستند. آنومالی‌های لیتوژئوشیمیایی ثانویه از عناصر  $Fe, Cu, Au, Mo, Ba, K, Cr$  غنی و از عناصر  $Sr, Na, Li, Mn, Mg$  و  $Ca$  تهی هستند. مقدار بالای مس و طلا با میزان استوک ورک و کانی‌سازی مرتبط است. مالاکیت، مس و بورنیت جهت شناسایی مناطق سوپرژن و هیپوژن مورد استفاده قرار گرفته است. کانی‌های مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، لیمونیت، همتایت، مس خالص، کلسیت، بورنیت و مالاکیت در حفاری‌ها دیده شده است [۱۳]. سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری، رگه‌های کوارتز - مگنتیت بالا و کانی‌سازی با آلتراسیون پتاسیک نشان می‌دهند. تراکم استوک ورک‌های کوارتز، مگنتیت و اکسیدهای آهن بالا است. مقدار مالاکیت نیز بالاست و تا ۳٪ نیز می‌رسد.

منطقه دالی یکی از اندیس‌های پورفیری مس - طلا کمر بند ولکانیکی ارومیه - دختر در ایران است. در منطقه دالی شمالی ۱۶۵ نمونه سیستماتیک از خاک برداشت شده است [۱]. تعیین عناصر مرتبط با کانی‌سازی و تشخیص الگوی کانی‌سازی یکی از مباحث مهم اکتشاف کانسارها است. در این تحقیق به منظور تعیین عناصر مرتبط با کانی‌سازی مس پورفیری منطقه دالی و شناخت الگوی توزیع و چگونگی همراهی عناصر با یکدیگر از روش تحلیل مولفه‌های اصلی<sup>۱</sup> (PCA) بر روی داده‌های حوزه مکان - مقیاس ژئوشیمیایی مربوط به مؤلفه جزء افقی و مؤلفه جزء قائم توزیع عناصر استفاده شده است. روش PCA یکی از روش‌های مشهور در آنالیز چند متغیره است و ابزاری بسیار مفید جهت ترکیب چند متغیر وابسته در یک متغیر و کاهش بُعد مجموعه داده‌ها در مؤلفه‌های اصلی غیر وابسته بر اساس کواریانس و همبستگی متغیرها است که یک همبستگی درونی میان متغیرها را نشان می‌دهد [۲].

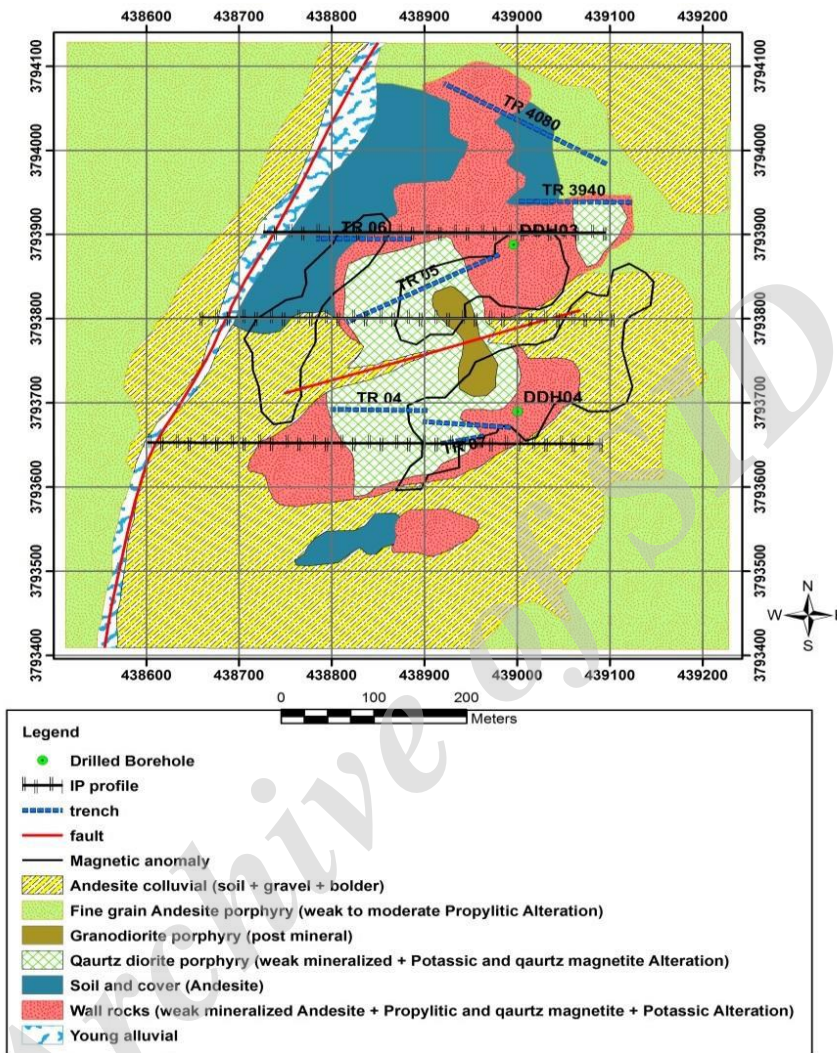
موجک ابزاری قوی جهت استخراج اطلاعات از سیگنال‌ها است. آنالیز موجک به صورت موفقیت آمیزی در زمینه‌های مختلف علمی و مهندسی به ویژه در تحلیل سیگنال و کاربردهای عددی مورد استفاده قرار گرفته است [۳-۵]. تبدیل موجک گسسته<sup>۲</sup> (DWT) عالی‌ترین خواص فشرده‌سازی سیگنال را برای بسیاری از سیگنال‌های دنیای واقعی دارد و دارای جنبه‌های محاسباتی بسیار خوبی است. بنابراین در همه زمینه‌های تکنیکی شامل فشرده‌سازی تصاویر، بی‌نویز کردن، انتگرال‌گیری عددی و بازشناسی الگو به کار می‌رود [۶].

آنالیز موجک در پردازش داده‌های ایزوتوپ اکسیژن در رسوبات دریایی [۷]، حذف اثرات سطحی و اثرات ژئوشیمیایی حاصل از ضخامت‌های مختلف سنگ پوش در داده‌های ژئوشیمی مناطق هیدروکربوری [۴، ۵، ۸] و تعیین زون شکستگی در داده‌های چاه‌نگاری [۹] مورد استفاده قرار گرفته است.

پردازش داده‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش موجک می‌تواند پیچیدگی‌های موجود در داده‌ها را مرتفع سازد و در تشخیص آنومالی موثر باشد و موجب بهبود مطالعات ژئوشیمی سطحی شود [۱۰]. در این راستا شاهی و همکاران

شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی همراه با محدوده آنومالی‌های اولیه طلا در خاک و محدوده آنومالی مغناطیسی، موقعیت ترانشه‌ها و گمانه‌های حفر شده و پروفیل‌های IP-RS را نشان می‌دهد.

کانی‌سازی در دالی شمالی شامل رگچه‌های کوارتزی است که استوک ورک‌ها را تشکیل می‌دهند و همبستگی مثبتی با طلا و مس دارند. استوک ورک‌ها شامل رگچه‌های کوارتز، مگنتیت و اکسید آهن و مالاکیت هستند [۱۳].



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی، محدوده آنومالی طلا در خاک، محدوده آنومالی مغناطیسی، موقعیت ترانشه‌ها و گمانه‌های حفر شده و پروفیل‌های IP-RS

$$w_x(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

$$(a,b) \in R^2$$

بنابراین تبدیل موجک با ضرب داخلی  $x(t)$  و نسخه انتقال یافته و مقیاس شده تابع تکی  $\psi(t)$  که موجک نامیده می‌شود، به دست می‌آید. با تغییر پارامتر مقیاس کننده  $a$ ، مرکز فرکانسی و پهنای باند میانگذر تحت تاثیر

در منطقه دالی شمالی ۱۶۵ نمونه سیستماتیک از خاک با حداقل ۵۰ متر (شبهه ای ۵۰ در ۵۰) برداشت شده و با روش ICP مورد آنالیز قرار گرفته است [۱].

## ۲-۲- تبدیل موجک

تبدیل موجک و مباحث تئوری مربوط به آن به طور وسیعی در اواسط قرن ۱۸ در علوم مختلف توسعه پیدا کرد [۱۴]. تبدیل موجک  $W_x(a,b)$  یک سیگنال پیوسته زمانی یا مکانی  $x(t)$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

## ۳- بحث و نتایج

در این تحقیق به منظور شناسایی ارتباط عناصر کانی-سازی با یکدیگر و تعیین الگوی کانی‌سازی و بحث در خصوص ویژگی‌ها و مولفه‌های کانی‌سازی در فرکانس‌های بالا از روش تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی حوزه مکان - مقیاس داده‌های ژئوشیمیایی انجام گرفته است. نمونه‌های برداشت شده برای ۳۰ عنصر مورد آنالیز قرار گرفتند. در این مطالعه داده‌های ژئوشیمیایی بر اساس تبدیل گسسته دو بعدی موجک هار در یک مرحله مورد تجزیه قرار گرفتند. به این منظور الگوریتم تبدیل موجک هار در محیط متلب نوشته شده و بر این اساس داده‌های ژئوشیمی مورد بررسی قرار گرفته و به مولفه‌های مختلف تفکیک شده اند. در این مرحله داده‌ها به دو مولفه جزء و تقریب تجزیه شدند که مولفه جزء دارای ۳ بخش در جهت‌های افقی، عمودی و قطری می‌باشد. مولفه جزء نمایانگر فرکانس‌های بالا و یا تغییرات شدید عیاری و مولفه تقریب نشانه فرکانس‌های پایین‌تر و تغییرات ملایم‌تر عیار است و شباهت بیشتری به سیگنال اولیه دارد. در محاسبات تبدیل موجک با ضرایبی مواجه هستیم که نشان دهنده میزان شباهت بین موجک در مقیاس‌های مختلف با توزیع داده‌ها است. بنابراین این ضرایب می‌تواند حاوی اطلاعات اکتشافی مناسبی باشد که ممکن است در حوزه مکان نتوان به راحتی به این اطلاعات دست پیدا کرد. در این مطالعه تحلیل بر روی این ضرایب صورت گرفته است. بعد از اعمال تبدیل موجک بر روی تمام عناصر به صورت مجزا و انجام تجزیه یک مرحله‌ای فرکانس، ضرایب موجک برای تمام عناصر به صورت ماتریس‌های مجزا در قالب مولفه‌های جزء و تقریب به دست آمده است. نمودار شماتیک ضرایب موجک در یک مرحله از تجزیه سیگنال دوبعدی مربوط به عنصر مس و طلا در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در این شکل ضرایب موجک برای مولفه‌های تقریب و جزء در یک مرحله تجزیه‌ای ترسیم شده و سیگنال بازسازی شده از این مولفه‌ها نمایش داده شده است. همانطور که در تصویر نیز مشاهده می‌شود مولفه جزئی افقی تغییرات شدید افقی عیار، مولفه جزئی عمودی تغییرات شدید قطری عیار و مولفه جزئی قطری تغییرات شدید قطری عیار را نشان می‌دهند. تصاویر نشان داده شده ضرایب موجک هستند که مقادیر آنها از صفر تا ۲۵۰ محاسبه شده است.

قرار می‌گیرند. رزولوشن زمانی و فرکانسی به  $a$  بستگی دارد. برای آنالیز فرکانس‌های بالا ( $a$  کوچک)، محلی‌سازی زمانی خوب ولی رزولوشن فرکانسی کم است. از طرف دیگر برای آنالیز فرکانس‌های کم، رزولوشن فرکانسی خوب و رزولوشن زمانی بد خواهد بود. تغییر  $b$  به معنی انتقال زمانی است. آنالیز موجک اغلب آنالیز زمان-مقیاس بجای آنالیز زمان - فرکانس خوانده می‌شود [۲]، ضرایب موجک به مقادیر  $a$  و  $b$  بستگی دارند. در تبدیل گسسته موجک از مقادیر گسسته  $a$  و  $b$  استفاده می‌شود و مقادیر آنها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود [۱۵]:

$$a = 2^j \quad b = k2^j, \quad k, j \in Z^2 \quad (2)$$

آنالیز موجک می‌تواند به عنوان فرایندی جهت تجزیه سیگنال به مولفه‌های جزء<sup>۴</sup> و تقریب<sup>۵</sup> مورد استفاده قرار گیرد. سیگنال اصلی از دو فیلتر عبور داده می‌شود. فیلتر بالا گذر مولفه جزئیات و فیلتر پایین گذر مولفه تقریب را نشان می‌دهد و در نتیجه می‌تواند در رزولوشن‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. رزولوشن‌های مختلف در نتیجه مقیاس‌های مختلف ایجاد می‌شود و اطلاعات متفاوتی را در بردارند [۱۵].

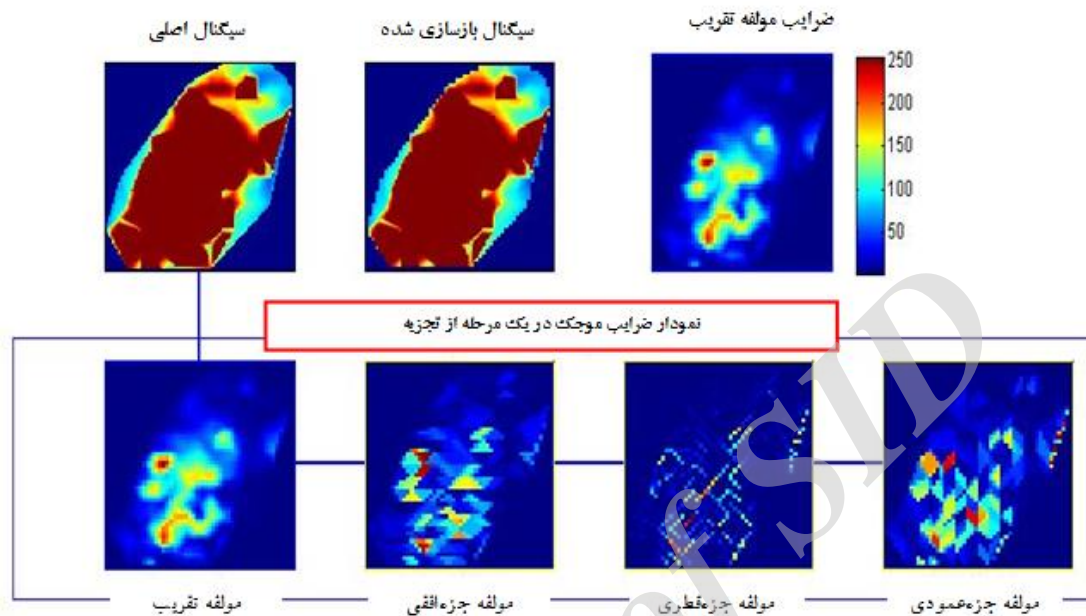
در روش تبدیل موجک گسسته، سیگنال  $x$  در مرحله اول به دو قسمت فرکانس بالا و پایین تقسیم شده و در مرحله دوم قسمت فرکانس پایین مجدداً به دو مولفه فرکانس بالا و پایین تقسیم شده است. این می‌تواند تا مراحل مختلفی ادامه پیدا کند [۱۶].

آنالیز موجک به دلیل ماهیت چند رزولوشنی می‌تواند اطلاعاتی 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 بگیرد و دقت تحلیل را افزایش دهد بنابراین روش موجک انعطاف پذیری بیشتری نسبت به روش آنالیز فوریه دارد [۸].

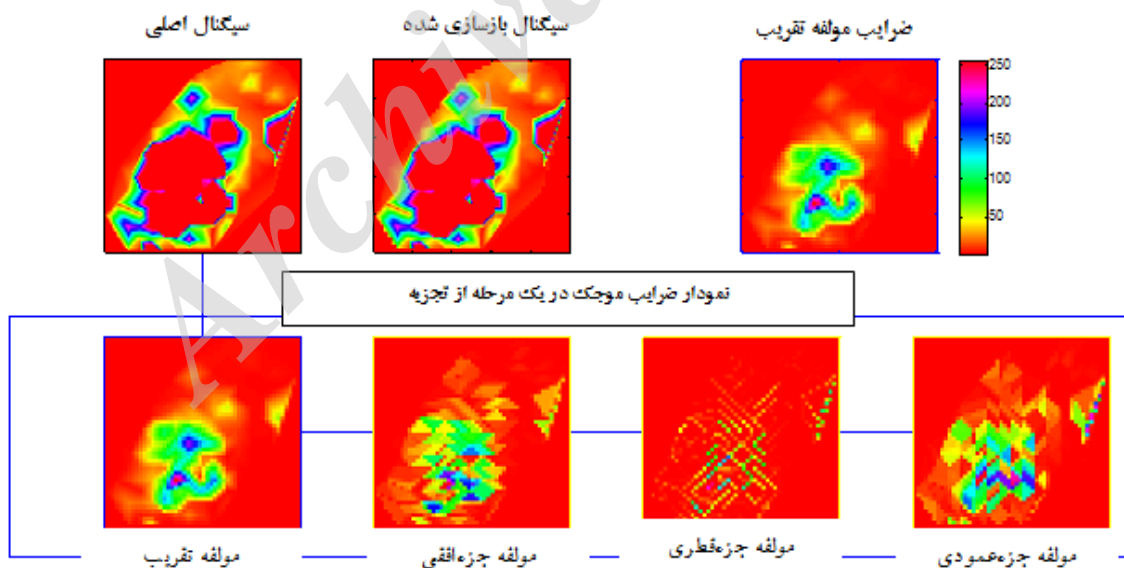
روش موجک گسسته در حالت دوبعدی به گونه‌ای عمل می‌کند که سیگنال در هر مرحله به ۴ مولفه تجزیه می‌شود. این مولفه‌ها در هر مرحله از تجزیه شامل مولفه جزء در جهت افقی، مولفه جزء در جهت عمودی، مولفه جزء در جهت قطری و مولفه تقریب هستند [۱۷].

هار زیاد باشد مقدار ضریب موجک افزایش می‌یابد. در این شکل‌ها سیگنال اصلی حاصل از توزیع ژئوشیمیایی عنصر مس و طلا و سیگنال بازسازی شده از مجموع مولفه‌های جزء و تقریب در یک مرحله از تجزیه نشان داده شده است.

این ضرایب در حقیقت ضرایب تشابه موجک هار در مقیاس‌های مختلف با سیگنال اصلی مربوط به توزیع داده‌های ژئوشیمی هستند که بر اساس روابط بیان شده به دست می‌آیند. در حالتی که شباهت سیگنال ژئوشیمیایی با موجک



شکل ۲: نمودار شماتیک یک مرحله از تجزیه سیگنال دوبعدی مربوط به توزیع ژئوشیمیایی عنصر مس با استفاده از تبدیل دو بعدی موجک گسسته هار



شکل ۳: نمودار شماتیک یک مرحله از تجزیه سیگنال دوبعدی مربوط به توزیع ژئوشیمیایی عنصر طلا با استفاده از تبدیل دو بعدی موجک گسسته هار

ضرایب موجک برای مولفه‌های جزء افقی و قائم برای تمام عناصر، روش تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی این داده‌ها اعمال گردید. نتایج در جدول ۱ مشاهده می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد در داده‌های مربوط به جزء افقی توزیع

برای بازسازی سیگنال اصلی مربوط به توزیع ژئوشیمیایی عناصر در یک مرحله از تجزیه، از حاصل جمع مولفه تقریب با مولفه‌های جزء بعد از اعمال ضرایب موجک بر روی تابع موجک استفاده می‌شود. بنابراین بعد از تعیین

اصلی ۶ (مولفه کانی‌سازی) با مقادیر مثبت قرار گرفته است. بنابراین ویژگی‌های کانی‌سازی در ضرایب موجک جزء 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.

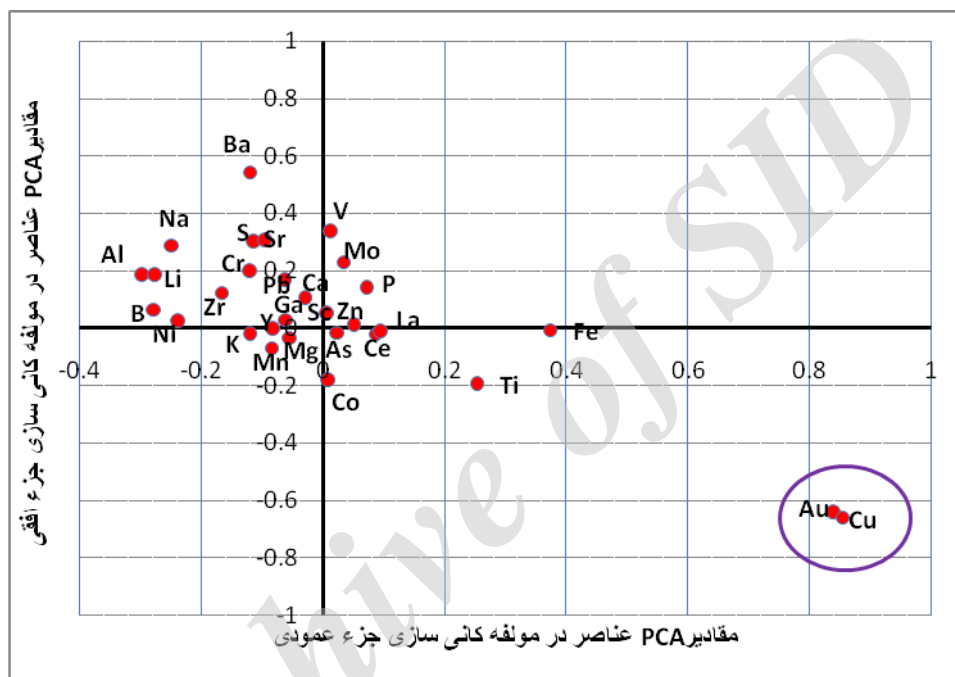
ژئوشیمیایی عناصر، روش PCA داده‌ها را به تعداد ۷ مولفه اصلی تقسیم کرده و عناصر مس و طلا از سایر عناصر جدا شده و به صورت شفافی در مولفه اصلی ۶ (مولفه کانی‌سازی) با مقادیر منفی قرار گرفته‌اند. همچنین روش PCA بر روی ضرایب موجک جزء قائم توزیع عناصر، داده‌ها را به تعداد ۸ مولفه اصلی تقسیم کرده و عناصر مس و طلا در مولفه

جدول ۱: نتایج حاصل از روش تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی ضرایب موجک مولفه جزء افقی و قائم داده‌های ژئوشیمی (در این جدول فاکتورهای کانی‌سازی و عناصر مرتبط با کانی‌سازی مشخص شده است)

	مولفه جزئیات قائم در مرحله اول تجزیه								مولفه جزئیات افقی در مرحله اول تجزیه							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	
Au	-0.16	-0.26	0.18	0.08	-0.11	0.84	-0.07	-0.03	Au	-0.47	0.01	-0.16	0.19	0.11	-0.64	-0.06
Al	0.49	0.25	-0.12	-0.18	0.65	-0.30	-0.09	-0.12	Al	0.24	0.48	0.68	-0.22	-0.01	0.18	0.07
As	-0.34	0.55	-0.33	-0.12	0.16	0.02	0.28	0.01	As	0.39	-0.37	0.05	-0.05	-0.16	-0.02	0.42
B	-0.15	0.63	-0.54	0.12	0.05	-0.28	0.06	-0.13	B	0.69	-0.24	-0.01	0.11	-0.42	0.18	0.21
Ba	0.60	0.20	0.02	0.37	0.00	-0.12	0.29	0.18	Ba	0.05	0.58	0.01	0.21	-0.06	0.54	-0.13
Ca	0.02	0.13	-0.82	-0.23	-0.24	-0.03	0.08	0.06	Ca	0.02	-0.01	-0.14	-0.19	-0.86	0.10	-0.01
Ce	-0.09	0.18	0.12	0.91	-0.10	0.09	0.16	0.02	Ce	0.17	-0.12	-0.13	0.91	0.18	-0.02	-0.02
Co	0.18	0.53	-0.05	-0.29	0.45	0.01	-0.30	0.37	Co	0.31	0.16	0.65	-0.24	0.05	-0.18	-0.16
Cr	0.14	0.83	-0.03	0.06	-0.25	-0.12	0.01	0.14	Cr	0.78	0.07	-0.24	0.13	-0.06	0.20	-0.13
Cu	0.12	-0.34	0.17	0.11	-0.05	0.85	-0.11	0.09	Cu	-0.52	0.30	-0.08	0.19	0.07	-0.66	-0.09
Fe	0.31	0.04	0.69	-0.12	0.26	0.37	0.12	0.02	Fe	-0.09	0.28	0.24	-0.08	0.71	-0.01	0.01
Ga	0.58	0.05	0.12	-0.10	0.66	-0.06	-0.15	-0.12	Ga	0.05	0.61	0.63	-0.12	0.14	0.03	-0.01
K	0.80	0.11	0.15	0.12	-0.04	-0.12	0.03	-0.23	K	0.14	0.81	0.04	0.00	0.17	-0.02	0.03
La	-0.06	0.13	0.00	0.93	-0.06	0.10	0.19	0.04	La	0.11	-0.06	-0.11	0.94	0.09	-0.01	0.02
Li	0.25	0.73	-0.40	0.22	0.12	-0.28	-0.03	-0.03	Li	0.88	0.22	0.08	0.12	-0.22	0.06	0.03
Mg	0.88	0.13	-0.13	-0.16	0.22	-0.05	-0.17	0.08	Mg	0.06	0.89	0.29	-0.10	-0.06	-0.03	-0.10
Mn	0.12	0.72	0.26	0.09	0.38	-0.08	-0.14	-0.01	Mn	0.71	0.04	0.45	0.00	0.23	-0.07	-0.05
Mo	0.06	-0.07	0.16	0.23	-0.01	0.03	0.06	0.84	Mo	-0.29	-0.01	-0.06	0.16	0.08	0.23	-0.73
Na	0.29	0.08	0.13	-0.54	0.42	-0.25	0.23	-0.33	Na	0.05	0.22	0.48	-0.59	0.09	0.29	0.13
Ni	-0.05	0.86	-0.30	0.23	-0.12	-0.24	0.00	-0.11	Ni	0.92	-0.12	-0.12	0.17	-0.19	0.02	0.08
P	0.03	0.01	0.75	0.08	-0.13	0.07	0.11	0.27	P	-0.12	-0.05	-0.03	0.19	0.62	0.14	-0.01
Pb	-0.20	-0.06	0.03	0.00	0.88	-0.06	0.07	0.08	Pb	-0.23	-0.22	0.84	-0.01	0.05	0.17	0.03
S	-0.07	-0.03	-0.07	0.15	-0.06	-0.11	0.87	0.04	S	-0.22	-0.16	-0.11	0.06	-0.03	0.30	0.76
Sc	0.88	-0.17	0.05	-0.02	0.20	0.01	-0.04	0.12	Sc	-0.27	0.83	0.12	-0.08	0.11	0.05	-0.11
Sr	-0.02	0.23	-0.83	-0.20	-0.01	-0.09	0.29	0.12	Sr	0.04	-0.12	0.03	-0.20	-0.80	0.30	0.18
Ti	0.84	-0.21	0.21	-0.04	-0.03	0.25	-0.07	0.07	Ti	-0.30	0.84	0.03	0.05	0.13	-0.20	-0.09
V	0.51	-0.05	0.55	-0.31	0.30	0.01	0.08	0.18	V	-0.11	0.42	0.27	-0.36	0.55	0.34	-0.14
Y	0.24	0.11	0.21	0.79	0.15	-0.08	-0.13	0.15	Y	0.18	0.24	0.15	0.75	0.26	-0.01	-0.09
Zn	0.27	0.07	0.18	0.04	0.82	0.05	-0.06	-0.02	Zn	-0.06	0.27	0.79	0.07	0.17	0.01	0.01
Zr	-0.36	0.67	0.14	0.18	0.17	-0.17	0.06	-0.25	Zr	0.72	-0.31	0.12	0.14	0.20	0.12	0.12

فاکتور کانی‌سازی مربوط به ضرایب موجک جزء افقی (اعداد فاکتور ۶) و محور افقی مقادیر PCA فاکتور کانی‌سازی مربوط به ضرایب موجک جزء عمودی عناصر (اعداد فاکتور ۶) را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، عناصر مس و طلا به عنوان عناصر کانی‌سازی به صورت قابل توجهی کلاسه‌بندی و از سایر عناصر متمایز شده‌اند. بنابراین این دو عنصر به عنوان عناصر کانی‌سازی در فرکانس‌های بالا دارای اهمیت هستند.

جهت کلاسه‌بندی و جدایش کامل‌تر و دقیق‌تر عناصر مرتبط با کانی‌سازی از سایر عناصر، نتایج حاصل از روش PCA بر روی ضرایب موجک جزء افقی و قائم توزیع عناصر به طور همزمان مورد استفاده قرار گرفته است. به این منظور از فاکتورهای کانی‌سازی به دست آمده (فاکتورهای ۶ و ۶ در جدول ۱) به عنوان ویژگی‌های جدید اکتشافی جهت کلاسه‌بندی دقیق‌تر استفاده شده است و مقادیر این فاکتورها بر اساس اعداد جدول ۱ نسبت به یکدیگر در شکل ۳ ترسیم شده است. محور عمودی مقادیر PCA



شکل ۳: شناسایی و کلاسه‌بندی عناصر کانی‌سازی با استفاده از روش  $DWT-PCA$  (مقادیر محورهای افقی و قائم عناصر، مربوط به مقادیر PCA فاکتورهای کانی‌سازی در جدول ۱ هستند)

روش خوشه‌بندی داده‌ها نیز به خوبی تایید می‌شود (شکل ۴). برای کلاسه‌بندی داده‌ها از آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی از روش وارد استفاده شده است. عناصر مس و طلا به عنوان عناصر کانی‌سازی در خوشه پایینی به صورت قابل توجهی همراه یکدیگر قرار دارند و در مرحله بعد با عناصر مولیبدن، باریوم و گوگرد ارتباط پیدا می‌کنند.

اطلاعات مختلف اکتشافی به دست آمده از منطقه نتایج روش جدید  $DWT-PCA$  را تایید می‌کند. بر اساس اطلاعات اکتشافی و نمونه‌های ژئوشیمی سطحی و همچنین نتایج حفاری‌ها، عنصر طلا ارتباط بسیار نزدیکی با کانی‌سازی مس دارد. ضرایب همبستگی پیرسون به دست آمده از داده‌های مختلف سطحی و تعداد ۲ گمانه حفاری برای عناصر

در ادامه روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های سطحی 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 (جدول ۲). در این مؤلفه، عناصر طلا، مس، مولیبدن، آرسنیک، بور، کروم، لیتیم، منگنز، نیکل و زیرکن مقادیر ضرایب بالایی دارند. در مؤلفه کانی‌سازی عناصر مس، طلا و مولیبدن با مقادیر منفی از سایر عناصر قابل تفکیک هستند. عناصر مس و طلا در حوزه مکان و نتایج موجک هار به عنوان عناصر اصلی کانی‌سازی از سایر عناصر جدا شده‌اند. ارتباط نزدیک بین طلا و مس در نتایج به دست آمده از

عناصر مس و طلا بسیار کم است در نتایج موجک همراه با مس و طلا قرار نگرفته است و این واقعیت در این نتایج به خوبی دیده می‌شود. قابلیت انجام تحلیل‌های ژئوشیمیایی با استفاده از ضرایب موجک و وجود اطلاعات اکتشافی در مولفه‌های تجزیه‌ای فرکانس بالا بر اساس اطلاعات اکتشافی منطقه در این مطالعه اثبات شده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق آنالیزهای ژئوشیمی ۳۰ عنصر مربوط به نمونه‌های ژئوشیمیایی سطحی در یک شبکه منظم، با استفاده از روش تبدیل دوبعدی گسسته موجک هار، از حوزه مکان به حوزه مکان-مقیاس انتقال یافت و بعد از اعمال تجزیه یک مرحله‌ای، این داده‌ها به بخش‌های مختلف فرکانسی شامل بخش‌های جزئیات در جهت‌های افقی، عمودی و قطری و بخش تقریب تبدیل شدند. در ادامه روش تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی ضرایب موجک مولفه جزء افقی و قائم عناصر به صورت جداگانه انجام گردید. در داده‌های مربوط به جزء افقی توزیع ژئوشیمیایی عناصر، روش PCA داده‌ها را به تعداد ۷ مولفه اصلی تقسیم کرده و عناصر مس و طلا به صورت مشخص در مولفه اصلی ۶ (مولفه کانی‌سازی) با مقادیر منفی قرار گرفته و از سایر عناصر جدا شده‌اند. همچنین روش PCA بر روی ضرایب موجک جزء قائم توزیع عناصر، داده‌ها را به تعداد ۸ مولفه اصلی تقسیم کرده و عناصر مس و طلا در مولفه اصلی ۶ (مولفه کانی‌سازی) با مقادیر مثبت قرار گرفته است. جهت کلاسه‌بندی دقیق‌تر عناصر مرتبط با کانی‌سازی از سایر عناصر، فاکتورهای کانی‌سازی به دست آمده در دو سری داده (ضرایب موجک جزء افقی و قائم توزیع عناصر) به عنوان ویژگی‌های جدید کانی‌سازی، نسبت به یکدیگر ترسیم شده است. در این نمودار، عناصر مس و طلا به عنوان عناصر کانی‌سازی به صورت قابل توجهی کلاسه‌بندی و از سایر عناصر متمایز شده‌اند. اطلاعات اکتشافی به دست آمده از منطقه نتایج روش جدید  $DWT - PCA$  را تایید می‌کند. بر اساس اطلاعات اکتشافی و نمونه‌های ژئوشیمی سطحی و همچنین نتایج حفاری‌ها، عنصر طلا ارتباط بسیار نزدیکی با کانی‌سازی مس دارد. بنابراین مولفه‌های کانی‌سازی در ضرایب موجک جزء افقی و قائم و فرکانس‌های بالای توزیع ژئوشیمی عناصر وجود داشته و به خوبی قابل شناسایی

مس، طلا و مولیبدن در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان همبستگی طلا و مس در داده‌های سطحی و نتایج حفاری‌ها مقادیر بالایی نشان می‌دهند. میزان همبستگی بین مولیبدن و عناصر مس و طلا در هر سه حالت پایین است. این حقیقت در نتایج موجک هار به خوبی قابل ملاحظه است.

جدول ۲: نتایج حاصل از روش تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی داده‌های ژئوشیمی حوزه مکان منطقه دالی شمالی

حوزه مکان					
	مولفه‌های اصلی				
	1	2	3	4	5
Au	-0.19	-0.63	0.53	-0.43	0.05
Al	0.79	0.33	-0.17	0.24	-0.15
As	-0.22	0.67	-0.07	0.34	-0.05
B	-0.02	0.78	-0.42	0.16	0.08
Ba	0.68	0.13	-0.21	0.09	0.38
Ca	0.20	0.33	-0.74	-0.21	-0.11
Ce	-0.19	0.20	0.10	-0.16	0.89
Co	0.48	0.49	-0.04	0.30	-0.32
Cr	0.12	0.74	-0.13	-0.11	0.22
Cu	-0.08	-0.63	0.47	-0.51	0.12
Fe	0.42	-0.17	0.73	-0.09	-0.07
Ga	0.85	0.03	0.13	0.07	-0.15
K	0.73	0.02	0.08	-0.37	0.21
La	-0.17	0.12	0.03	-0.13	0.90
Li	0.43	0.72	-0.37	0.10	0.21
Mg	0.86	0.09	-0.17	-0.38	0.01
Mn	0.32	0.84	0.13	0.08	0.01
Mo	0.19	-0.68	0.31	0.21	0.22
Na	0.67	0.30	-0.05	0.40	-0.38
Ni	0.03	0.90	-0.29	0.04	0.22
P	0.02	0.05	0.63	-0.18	0.11
Pb	0.32	0.11	0.06	0.81	-0.17
S	0.03	0.13	-0.40	0.74	-0.15
Sc	0.84	-0.32	-0.13	0.09	0.12
Sr	0.07	0.36	-0.73	0.33	-0.14

تغییرات طلا و مس مربوط به گمانه  $DH03$  و  $DH04$  در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است. با توجه به ضرایب همبستگی به دست آمده و نمودار تغییرات عناصر در این گمانه‌ها، ارتباط تنگاتنگ بین عناصر طلا و مس به خوبی دیده می‌شود.

از آنجا که مولفه‌های جزئیات در تبدیل موجک حاوی فرکانس‌های بالا هستند و این فرکانس‌ها بیشتر آنومالی‌های سطحی را نشان می‌دهند و به نوعی کانی‌سازی‌های عمیق از سطحی را متمایز می‌کنند. با توجه به اینکه عنصر مولیبدن در اعماق افزایش نشان می‌دهد و ارتباط آن در سطح با

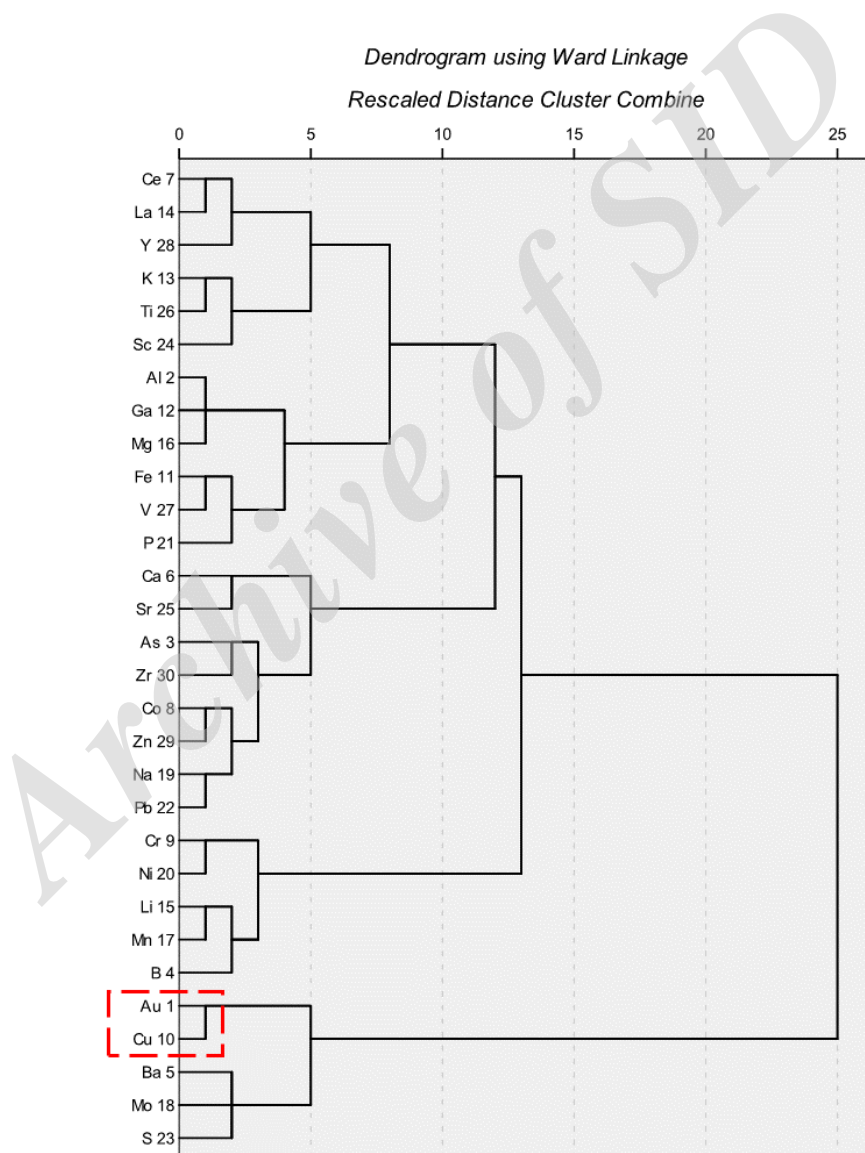


مدرن جهت پردازش داده‌های اکتشافی، استخراج ویژگی و شناسایی الگو معرفی شده است.

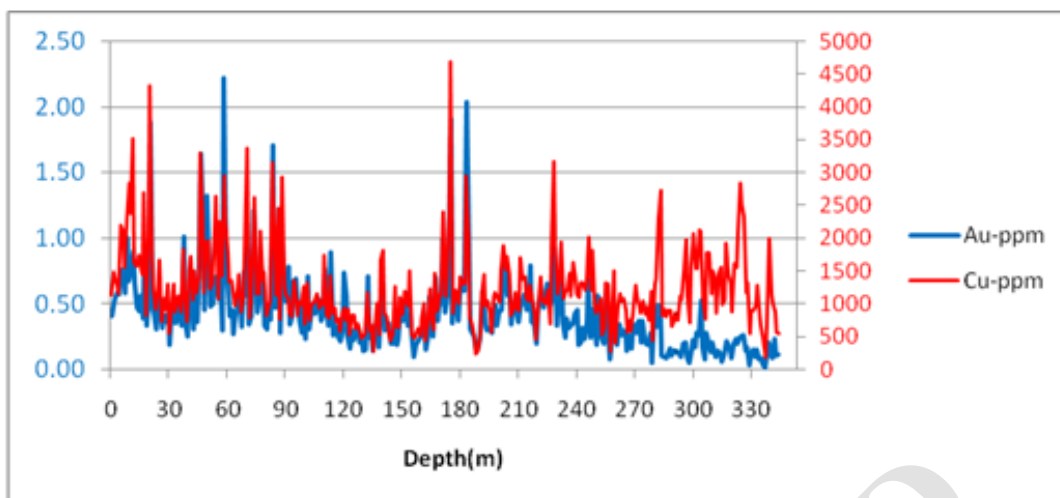
است و جهت تحلیل‌های اکتشافی می‌توان از ضرایب موجک داده‌های ژئوشیمیایی سطحی استفاده کرد. در این مطالعه روش جدید پیشنهادی  $DWT - PCA$  به عنوان روشی

جدول ۳: مقادیر ضرایب همبستگی بین عناصر مس، طلا و مولیبدن در داده‌های سطحی و داده‌های دو گمانه حفاری

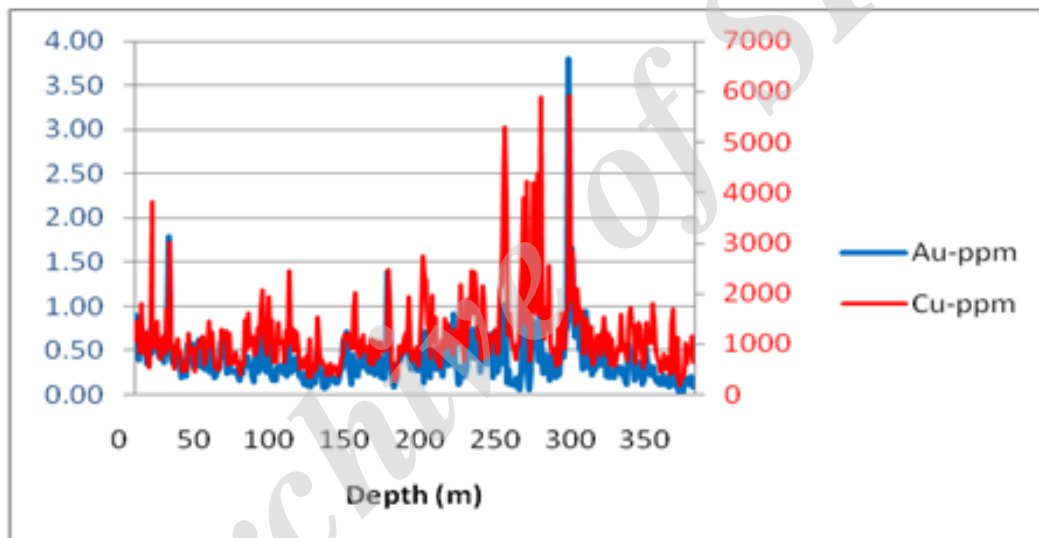
	حفاری DH04			حفاری DH03			داده‌های ژئوشیمی سطحی		
	Au	Cu	Mo	Au	Cu	Mo	Au	Cu	Mo
Au	۱	۰/۷۱	۰/۱۵	۱	۰/۷۳	-۰/۲۴	۱	۰/۹۶	۰/۵۱
Cu		۱	۰/۲۴		۱	۰/۱۴		۱	۰/۵۳
Mo			۱			۱			۱



شکل ۴: نتایج حاصل از خوشه‌بندی داده‌های ژئوشیمیایی سطحی



شکل ۵: تغییرات طلا و مس در گمانه DDH03



شکل ۶: تغییرات طلا و مس در گمانه DDH04

[4] Zhang, L., Bai, G., & Xu, Y. (2003). A wavelet analysis based new approach for interference elimination in geochemical hydrocarbon exploration. *Mathematical geology*, 35(8), 939-952.

[5] 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), 529-542.

[6] Alfred, M. (1999). *Signal Analysis Wavelets, Filter Banks, Time-Frequency Transforms and Applications*.

[7] Bolton, E. W., Maasch, K. A., & Lilly, J. M. (1995). A wavelet analysis of Plio-Pleistocene climate indicators: A new view of periodicity

[1] DarabiGolestan, F. Ghavami-Riabi, R. Kakaei, R. Asadi-Harooni, H. (2012), evaluation of primary and secondary Litho-geochemical haloes of Northern Dalli Cu-Au porphyry and integration of them with other exploration information in order to conduct exploration activities ", *Journal of Applied Geology*, Vol. 7, No. 4: 318-311. (In Persian)

[2] Jolliffe, I.T., (2002). *Principal Component Analysis*, 2nd edn. Springer, New York, 547 NY.487 pp.

[3] Li, J. (1997). *Wavelet analysis and signal processing—theory, application and software*. Chongqing Publishing House, Chongqing, pp 1–325 (in Chinese)

مراجع

- [12] Asadi Haroni H. 2008. First Stage Drilling Report on Dalli Porphyry Cu-Au Prospect, Central Province of Iran. Technical Report.
- [13] 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 DOI 10.1007/s12517-012-0689-0
- [14] Johansson, E. (2005). Wavelet Theory and some of its Applications, Department of Mathematics. Lulea, Sweden, Lulea University of Technology. Licentiate: 90.
- [15] Bessissi, Z., Terbeche, M., Ghezali, B. (2009). Wavelet application to the time series analysis of DORIS station coordinates. *Comptes Rendus Geoscience*, 341(6), 446-461.
- [16] Vetterli, M., Kovacevic, J. (2007). *Wavelets And Subband Coding*, USA, New Jersey, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs.
- [17] Stark, H. (2005). *Wavelets and Signal Processing*, Aschaffenburg - University of Applied Sciences, Germany.
- evolution. *Geophysical Research Letters*, 22(20), 2753-2756.
- [8] 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), 929-944.
- [9] 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), 129-138.
- [10] 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*
- [11] Shahi, H., Ghavami, R., Rouhani, A.K., Kahoo, A.R. and Haroni, H.A., (2015). Application of Fourier and wavelet approaches for identification of geochemical anomalies. *Journal of African Earth Sciences*, 106, pp.118-128.

---

<sup>3</sup> Haar discrete wavelet

<sup>4</sup> detail

<sup>5</sup> approximation

<sup>1</sup> principal component analysis

<sup>2</sup> discrete wavelet transform