

پتانسیل سنجی رسوبات آبراهه‌ای منجیل با استفاده از GIS

نسیم حیدریان دهکردی^(۱)، محمدحسن توکل^(۲) و سیما پورمحمدی^(۳)

۱. عضو هیأت علمی، پژوهشکده علوم پایه کاربردی، جهاد دانشگاهی
۲. کارشناس ارشد GIS، پژوهشکده علوم پایه کاربردی
۳. کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۳

چکیده

ورقه ۱:۵۰۰۰۰ منجیل در محدوده ۴۹° ۱۵' تا ۴۹° ۳۰' طول جغرافیایی و ۳۶° ۳۰' تا ۳۶° ۴۵' عرض جغرافیایی واقع شده است. این منطقه از نظر ساختمانی، در زون البرز قرار دارد. در این گستره سنگ‌هایی از دوران پالئوزویک، مزوزویک و سنوزویک رخمون دارند. سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب بازیک تا متوسط که به شدت دگرسان شده‌اند، قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. از کانی‌سازی‌های این گستره می‌توان به کانی‌سازی‌های مرتبط با ولکانیک‌های حدواسط تا اسیدی و کانی‌سازی‌های مرتبط با توده‌های نفوذی فلسیک اشاره کرد. نتایج پردازش نمونه‌ها نشان داد که برگه مورد مطالعه منجیل از پتانسیل بالایی برخوردار است و بر این اساس چندین گستره امیدبخش جهت کنترل صحرایی آنومالی‌ها معرفی شد. عمده این آنومالی‌ها را Zn، Cu، Au، Mn، Pb و Fe تشکیل داده‌اند.

واژه‌های کلیدی: رسوبات آبراهه‌ای، پتانسیل سنجی، GIS.

مقدمه

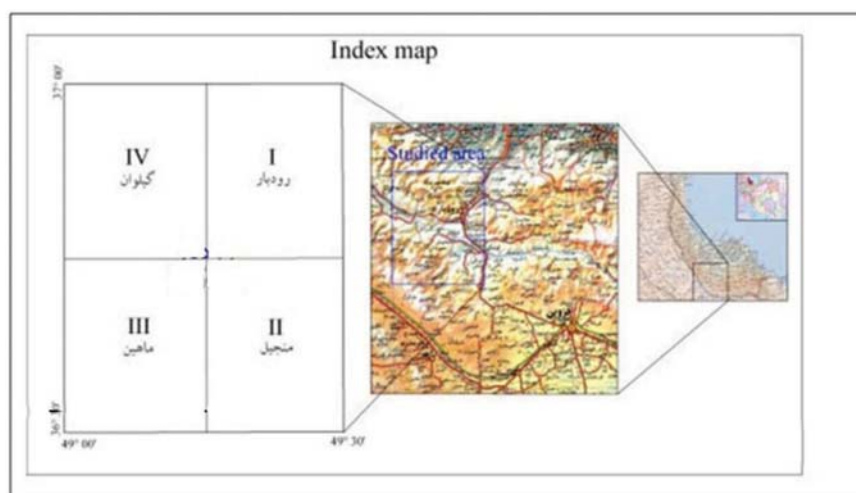
برای پی‌جویی‌های ناحیه‌ای و شناسایی مقدماتی نواحی امیدبخش کانی‌سازی در مناطقی که دارای آبراهه هستند و وسعت حوضه آبریز زیاد باشد به کار می‌رود (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۳). استفاده از ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای یک روش مستقل و مفید برای تشخیص نواحی با پتانسیل بالای معدنی می‌باشد (Charlie et al., 2016؛ مدنی، ۱۳۸۰. کریمی و همکاران، ۱۳۹۰. غلامی و همکاران، ۱۳۹۰). بنیادی‌ترین پیش‌فرض در این روش آن است که یک رسوب آبراهه‌ای معرف ترکیب شیمیایی محصولات هوازگی و فرسایش در بالادست محل نمونه‌برداری می‌باشد (حیدری، ۱۳۸۶).

شهرستان منجیل در بخش جنوب شرقی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ رودبار واقع شده است (شکل ۱). منجیل پس از رودبار پرجمعیت‌ترین شهر منطقه به حساب می‌آید (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۰). منجیل از شهرهای شهرستان رودبار در استان گیلان است. این شهر به‌عنوان مرکز تجاری شهرستان رودبار استان گیلان شناخته می‌شود. روش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای متداول‌ترین شیوه اکتشافات ژئوشیمیایی مقدماتی است که برای اکتشافات مقیاس کوچک تا متوسط کاربرد دارد (حسنی پاک، ۱۳۸۱ و کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۳). این روش به‌طور وسیعی

* نویسنده مرتبط: N_heydarian563@yahoo.com

نقل آنها تا فاصله نسبتاً زیادی در حوضه‌ی آبریز ادامه می‌یابد. بنابراین اصلی‌ترین لایه اطلاعاتی جهت تشخیص پتانسیل‌های معدنی در این مرحله، نتایج حاصل از اکتشافات ژئوشیمیایی آبراهه‌ای است (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). هدف از این پژوهش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای-کانی سنگین در محدوده برگه ۱:۵۰,۰۰۰ منجیل می‌باشد.

امتیاز روش بررسی رسوبات رودخانه‌ای آن است که در محیط‌های هوازده بسیاری از کانی‌ها، به‌ویژه انواع سولفوری، ناپایدار بوده و در اثر اکسیداسیون و سایر واکنش‌های شیمیایی تجزیه می‌شوند که این منجر به پراکندگی هر چه بیشتر کانی‌ها و عناصر معرف آنها در محلول‌ها می‌شود (Guilbert and Park, 1997). به‌طوری‌که گاهی حمل و



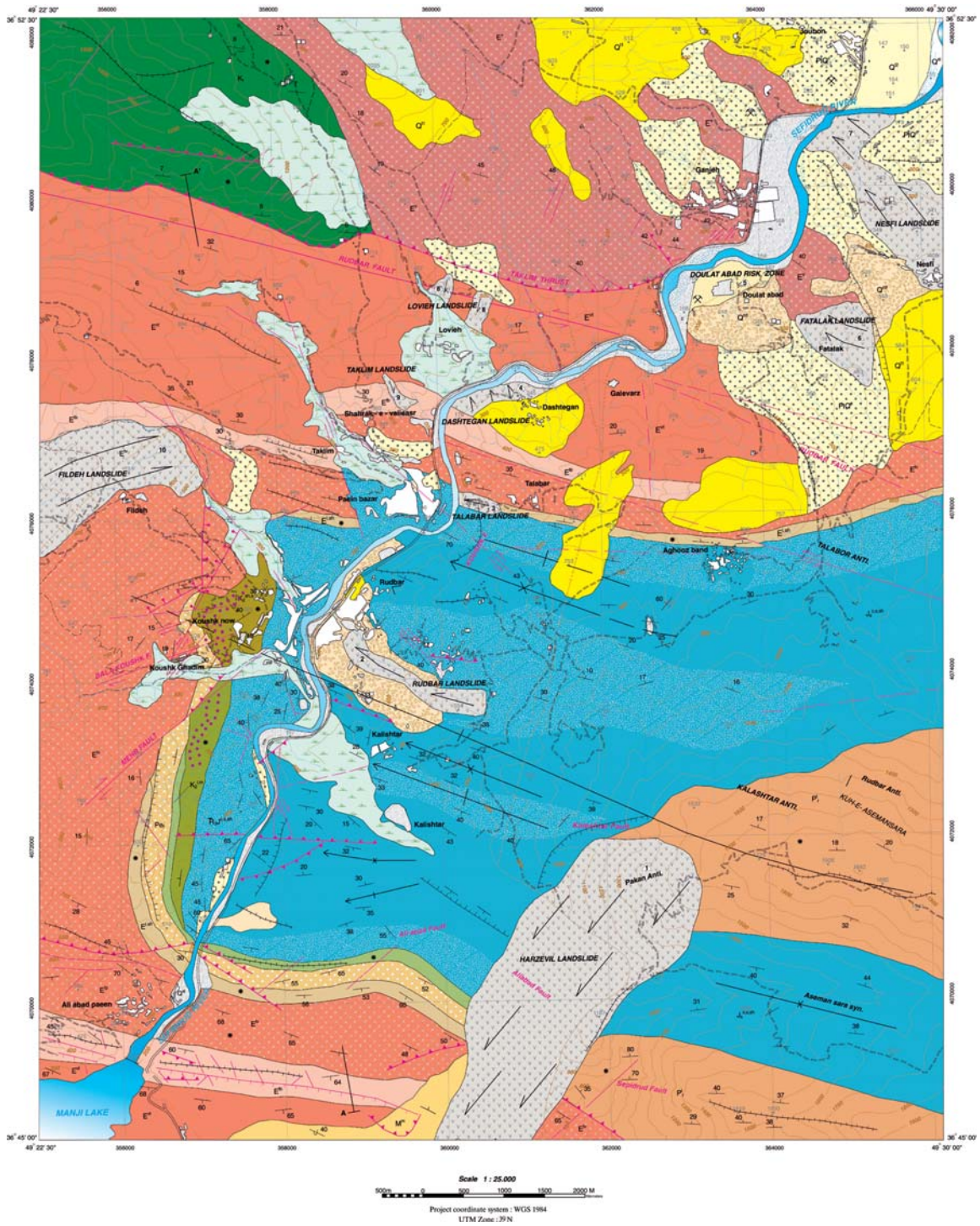
شکل ۱. موقعیت گستره مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن بر روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ رودبار

زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه



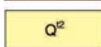
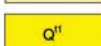

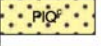
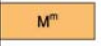

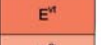

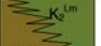
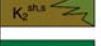


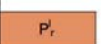
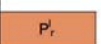
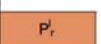
برگه ۱:۵۰۰۰۰ منجیل در گستره ۱۵' ۴۹° تا ۳۰' ۴۹° طول جغرافیایی و ۳۰' ۳۶° تا ۴۵' ۴۵° عرض جغرافیایی در بخش جنوب شرقی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ رودبار (بخشی از برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ زنجان) و در مرز دو استان گیلان و زنجان واقع شده است (شکل ۲). گستره مورد مطالعه از نظر ساختمانی، در زون البرز قرار دارد (آقانباتی، ۱۳۷۱). در این گستره سنگ‌هایی از دوران پالئوزوییک، مزوزوییک و سنوزوییک رخمون دارند. سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب بازیک تا متوسط که به‌شدت دگرسان شده‌اند، قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند (Stocklin, 1968). منجیل از شهرهای استان گیلان است که پس از رودبار پرجمعیت‌ترین شهر منطقه به‌حساب می‌آید. رویداد چندین مرحله گسلش و دیگر تغییرات ساختاری، بررسی تغییرات رخساره‌ای، پیوند میان واحدهای چینه‌ای و اندازه‌گیری ضخامت آنها را دشوار کرده است (نبوی، ۱۳۵۵).

روش مطالعه

در راستای اجرای این پژوهش، تعداد ۱۹۶ نمونه ژئوشیمی و ۴۶ نمونه کانی سنگین مورد بررسی قرار گرفت. روش اندازه‌گیری برای همه عناصر به‌جز طلا روش ICP بوده است. طلا به روش FIRE ASSAY اندازه‌گیری شده است. دقت آنالیزها با استفاده از نمودار کنترل نامپسون مورد سنجش قرار گرفت و با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای (Spss-18) پردازش داده‌ها صورت گرفت. ابتدا پارامترهای آماری مربوط به داده‌های خام محاسبه شد. در ادامه جوامع همگن لیتولوژیکی جدا شدند و هر جامعه نسبت به مقدار میانه همان جامعه نرمالایز شد و با استفاده از تکنیک‌های آماری تک متغیره و چند متغیره مانند محاسبه ضرایب همبستگی، آنالیز خوشه‌ای و تجزیه و تحلیل فاکتوری بر روی مقادیر داده‌ها اعمال شد. برای کنترل آنومالی‌های واقعی از آنومالی‌های کاذب از روش مطالعات کانی سنگین استفاده شد. در نهایت نتایج حاصل مورد تفسیر قرار گرفتند.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۷)

L E G E N D			
C O I C	Q U A T E R N A R Y	H O L O C E N E	 Q ^{tr} : Fresh water limestone (Teravertine)
			 Q ^{cd} : Colluvium deposits
			 Q ¹ : Recent alluvium in major rivers.
			 Q ² : Low level and young alluvial terraces mainly fine grained.
			 Q ³ : High level and old alluvial terraces, mainly coarse grained.
	P A L E O G E N E	E O C E N E	 PIQ ^f : Cream to light brown polygenetic semi- consolidated unsorted conglomerate with intercalation of sand and marl.
			 M ^m : Alternation of gray to light gray marl, mudstone and siltstone with intercalation of red sandstone and Gypsiferous marl, red conglomerate in upper part.
			 E ^v : Light cream to light gray, medium to thick horizons of andesitic lava (acidic to intermediate composition).
			 E ^{vt} : Light red to light green, medium to thick horizon of andesitic lava trachy andesit, andesit basalt and andesitic tuff.
			 E ^{tb} : Light gray to cream, massive dacitic breccias tuff.
M E S O Z O I C	C R E T A C E O U S	L A T E	 K ₂ ^{lm} : Cream to light brown, thin to medium bedded limestone and marl.
			 K ₂ ^{sh,s} : Gray to dark gray, light green, thin bedded shale and sandstone with locally coal.
		E A R L Y	 K ₁ : Gray to light gray, medium to thick bedded orbitolina bearing limestone (Tizkuz Formation).
	J U R.	E A R L Y	 J ₆ ^{c,s,sh} : Olive to gray, medium to thick bedded quartz conglomerate in upper part, pebbly sandstone, sand stone and dark coal bearing shale (Shemshak Formation)
			 P _r : Gray to dark gray, thin to medium well bedded limestone with locally cheart bearing and thin inter calation of marl (Routeh Formation).
	P A L.	U P P E R	 P _r : Gray to dark gray, thin to medium well bedded limestone with locally cheart bearing and thin inter calation of marl (Routeh Formation).
			 P _r : Gray to dark gray, thin to medium well bedded limestone with locally cheart bearing and thin inter calation of marl (Routeh Formation).

ادامه شکل ۲.

دارای احتمال کانه‌زایی به هنگام اکتشاف در ابعاد مختلف، بهره‌گیری از اکتشافات ژئوشیمیایی آبراهه‌ای و کانی سنگین و کنترل آنومالی‌های استخراجی می‌باشد (یزدی، ۱۳۸۶) روش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای متداول‌ترین شیوه اکتشافات ژئوشیمیایی مقدماتی است که برای اکتشافات مقیاس کوچک تا متوسط کاربرد دارد (Fletcher, 1997) این روش برای پی‌جویی‌های ناحیه‌ای و شناسایی مقدماتی نواحی امیدبخش کانی‌سازی در مناطقی که دارای آبراهه هستند و وسعت حوضه آبریز زیاد باشد به کار می‌رود (Hale and Plant, 1994). رسوبات آبراهه‌ای در واقع یک نمونه ترکیبی از مواد فرسایش یافته از سنگ‌های بالادست حوضه آبریز است. بنابراین وجود ناهنجاری در این رسوبات از وجود یک منبع پرعیار در بالادست آن حکایت می‌کند. معمولاً از روش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای برای پی‌جویی عناصر نیز استفاده می‌شود، ولی گاهی با استفاده از روش مطالعه کانی‌های سنگین، می‌توان ماسه‌های موجود در

ردیفی از این سنگ‌ها عموماً شامل متابازیت درجه ضعیف با سنگ مادر آندزی بازال تا آندزیت می‌باشند و از نظر شیمیایی دارای ترکیب کالکوالکالن هستند (معین وزیری و احمدی، ۱۳۷۷). در منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های رسوبی مزوزوییک، ردیف رسوبی دلتایی و دگرگون شده تریاس بالا- ژوراسیک پایین، چینه‌های آواری ژوراسیک پایین و میانی، ردیف کربناته ژوراسیک میانی و بالایی و برنزدهایی از سنگ‌های کرتاسه را شامل می‌شود. تغییر سنگ‌های ژوراسیک به کرتاسه در این منطقه تدریجی است (قربانی، ۱۳۸۷). واحد آواری پالئوژن از کهن‌ترین سنگ‌های سنوزوئیک در منطقه است. این واحد شامل چینه‌های ستر کنگلومرای چند آمیزه قهوه‌ای روشن تا قرمز با جورشدگی ضعیف و گردشگی متوسط با فشرده‌گی خوب، ماسه و سنگ آهک در پی می‌باشد.

اکتشاف رسوبات آبراهه‌ای

بدون شک اولین قدم در تعیین نقاط امیدبخش و

نسیم حیدریان دهکردی و همکاران

از نوع رگه‌ای هیدروترمال است. این عناصر در این نوع کانی‌سازی‌ها همواره به صورت ردیاب و کمتر به صورت محصول فرعی حضور دارند. عنصر Cu همبستگی ضعیفی با Au و Zn دارد و همبستگی‌های ضعیف‌تری با عناصر پاراژنز آهن یعنی Fe، Mn، V و Ni مشاهده می‌شود. این بدان معناست که کانی‌سازی‌های مس در منطقه منجیل به همراه کانی‌سازی‌های آهن روی داده است که در منطقه قابل مشاهده است. کانی‌سازی و همبستگی‌های اصلی در این منطقه مربوط به Pb و Zn است. عنصر Pb دارای همبستگی به میزان ۰/۷۸۵ با عنصر Zn می‌باشد. سایر همبستگی‌ها تقریباً تکراری هستند.

آنالیز خوشه‌ای

این آنالیز برای عناصر اصلی کانسارساز و ردیاب صورت گرفته است (شکل ۳). بر این اساس دو دسته اصلی قابل تشخیص است. دسته اول که با Fe شروع و به Au ختم می‌شود، خود دارای سه زیر گروه است که تمامی عناصر کانی‌ساز را در بر گرفته است. دسته دوم با As شروع و به S ختم می‌شود و دارای دو زیر گروه است که مجموعاً عناصر ردیاب کانی‌سازی‌های منطقه را در بر گرفته است. در زیر گروه اول از دسته اول عناصر Fe، V، Sc و Cu قرار دارند که نشان از کانی‌سازی‌های مس در منطقه به همراه غنی‌شدگی‌های عناصر گروه آهن دارد. این شرایط در منطقه مورد مطالعه به دفعات مشاهده شده است. در زیر گروه دوم که به طور بلافاصله با زیر گروه اول قرار دارد عناصر Cr، Co و Ni یعنی عناصر دیگر گروه آهن قرار دارند که همراهی کانی‌سازی‌های آهن در منطقه را با کانی‌سازی‌های اصلی نشان می‌دهد. در زیر گروه سوم کانی‌سازی اصلی منطقه یعنی عناصر Zn، Pb، Mn و Au قرار دارند که با زیر گروه‌های اول و دوم در ارتباط مستقیم است و همراهی آنها را با یکدیگر نشان می‌دهد. در دسته دوم تمامی عناصر ردیاب کانی‌سازی از جمله As، Sb، Tl، Bi، Be، W، Sn، Mo، Ba و S قرار دارند که بعضاً مرتبط با توده نفوذی مولد کانی‌سازی در منطقه و بعضاً عناصر همراه کانی‌سازی هستند. این ارتباطات در تمامی آنالیزهای انجام شده آماری به منظور درک ارتباطات عناصر مختلف با اندکی تغییر قابل

آبراهه‌ها را بررسی و در صورت مشاهده کانی‌های مناسب و حاوی کانی‌سازی، نسبت به نمونه‌برداری مدون از آبراهه‌ها اقدام کرد. در این پژوهش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای-کانی سنگین در محدوده برگه ۱:۵۰،۰۰۰ منجیل انجام شد.

ضریب همبستگی عناصر

برای داشتن معیاری از همبستگی دو متغیر بدون وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، پارامتر آماری ضریب همبستگی تعریف شده است. در محاسبه ضریب همبستگی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری دیگر، فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. بنابراین با استفاده از مقادیر نرمال داده‌ها، این ضرائب محاسبه شده است (مومنی، ۱۳۸۷). در اینجا از روش ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شده است. این ماتریس که شامل ضرایب همبستگی به همراه سطح معنی‌دار بودن آنها است با استفاده از داده‌های موجود در برگه مورد مطالعه شکل گرفته است (جدول ۱).

با توجه به جدول ۱، عنصر Au دارای ضریب همبستگی ضعیف با عناصر Cu، Pb و Zn است. حداکثر میزان این همبستگی به مقدار ۰/۳۳۲ با عنصر Pb روی داده است. اگر چه مقدار مطلق این همبستگی ضعیف است ولی با توجه به تعداد بالای نمونه‌ها این مقادیر کم نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. در این منطقه حداکثر میزان طلای ثبت شده در رسوبات آبراهه‌ای در منطقه‌ای ثبت شده است که آبراهه آن از معدن سرب و روی زه آباد سرچشمه می‌گیرد. بنابراین وجود کانی‌سازی‌های پلی متالیک به همراه طلا در این منطقه به اثبات رسیده است. عنصر آرسنیک دارای همبستگی‌های نسبتاً بالایی با عناصر Bi، Pb، Sb، Tl و W است که حداکثر مقدار آن به میزان ۰/۶۷۲ با عنصر Sb رخ داده است.

این پاراژنز به عنوان ردیاب در منطقه، کانی‌سازی‌های پلی متالیک Zn، Pb و Cu را همراهی می‌کند. عنصر Be همبستگی خوبی را با Pb، Sb، Sn و Tl دارا می‌باشد. حداکثر میزان همبستگی Be در این گروه به میزان ۰/۶۴۹ با عنصر W روی داده است. عمده کانی‌سازی‌های منطقه

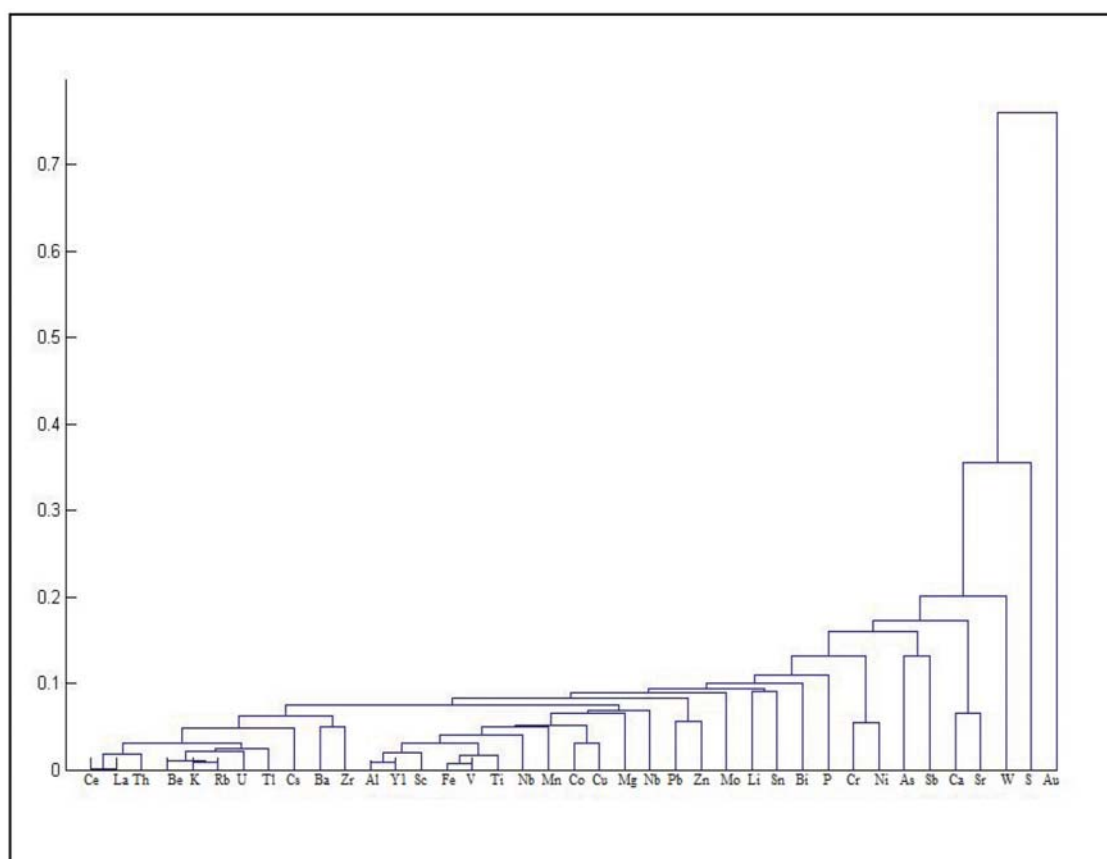
نسیم حیدریان دهکردی و همکاران

می‌باشند که در بخش‌های مختلف به همراه کانی‌سازی‌ها، مشاهده می‌شوند. فاکتور ششم که اصلی‌ترین فاکتور کانی‌سازی در منطقه است از عناصر Au, Mn, Zn, Pb و Cu تشکیل شده است و دارای پوشش واریانس ۷/۳ درصد می‌باشد. با توجه به موقعیت قرارگیری این عناصر در فاکتور ششم می‌توان متوجه شد که کانی‌سازی‌های صورت پذیرفته در منطقه کم وسعت‌تر از تنوعات لیتولوژیکی و ردیاب‌های کانی‌سازی است که کاملاً طبیعی است و به‌خوبی در این فاکتورها به تصویر کشیده شده است. حضور S و Mo در فاکتور آخر یعنی فاکتور هفتم با پوشش واریانس ۶/۳ درصد نشان‌دهنده‌ی ضعیف بودن رویداد غنی‌شدگی‌های این دو عنصر در منطقه می‌باشد. این فاکتور از ارزش کانی‌سازی برخوردار نیست.

مشاهده هستند. در این دسته، عناصر درجه حرارت پایین در یک زیر گروه (As, Sb, Tl) و عناصر درجه حرارت بالا مانند Bi, W, Sn, Mo در زیر گروه دوم قرار گرفته‌اند و تفکیک مناسبی را به نمایش گذاشته‌اند.

آنالیز فاکتوری

بر اساس نتایج آنالیز فاکتوری در این تحقیق (جدول ۲)، فاکتور اول معرف لیتولوژی غالب در منطقه است. این فاکتور با پوشش واریانس ۲۵ درصد از عناصر U, Tl, Be, Th, Ce, Rb, Nb, Cs, Sb, Sn, W و Y تشکیل شده است که توده‌های نفوذی در منطقه را نشان می‌دهد. فاکتورهای دوم تا پنجم که به ترتیب دارای پوشش واریانس ۹/۴، ۱۱/۴، ۳/۷ و ۷/۸ هستند، عناصر ردیاب کانی‌سازی در منطقه



شکل ۳. نمودار درختی داده‌های نمونه‌های ژئوشیمیایی برگه ۱:۵۰۰۰۰ منجیل

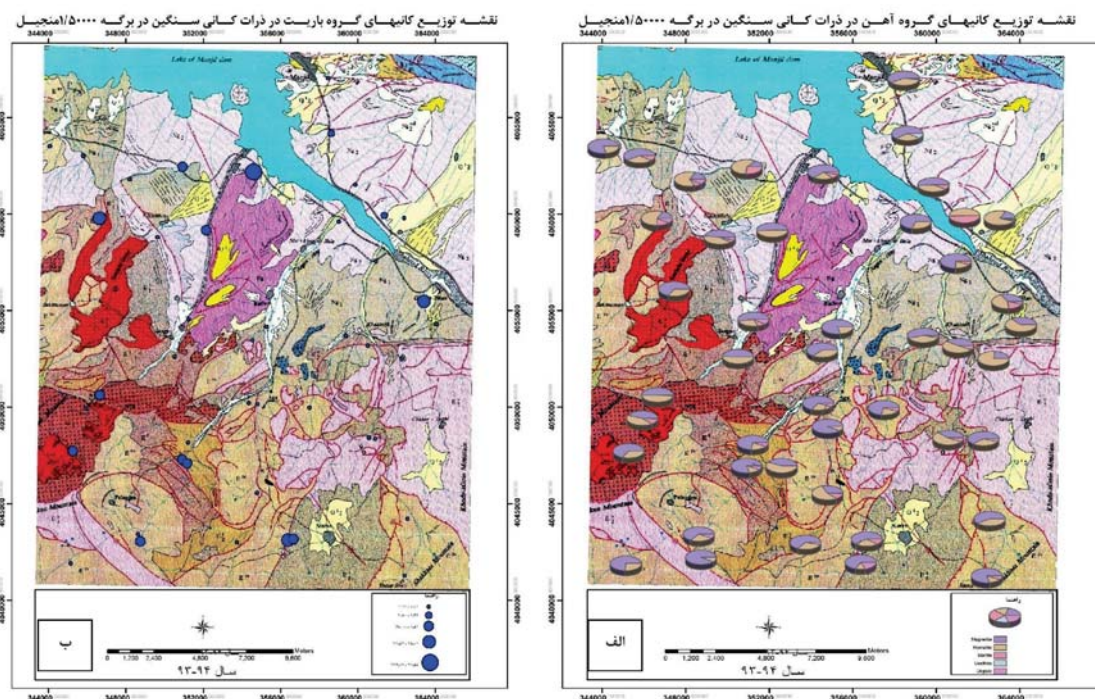
جدول ۲. نتایج آنالیز فاکتوری در برگه ۱:۵۰۰۰۰ منجیل

	Component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Y1	.842	-.271	.125	-.265	.076	-.133	-.135	.047
La	.800	-.437	-.150	-.143	.162	.039	.011	.025
Ce	.780	-.461	-.133	-.196	.165	.050	-.008	.051
Th	-.750	-.005	.133	.103	.517	-.131	-.065	.022
Ta	.688	-.582	-.012	-.109	.268	-.016	.060	-.058
Sn	.660	.142	-.158	.055	.135	.224	-.086	-.271
Be	.652	-.591	.017	-.138	.165	-.145	-.083	.113
P	.625	.244	-.122	-.420	-.067	.033	.051	.087
K	.624	-.424	.143	.109	-.385	-.017	.209	-.039
Nb	.620	-.426	.067	-.118	.226	.097	.142	-.338
Zn	.565	.512	.177	.396	.113	-.253	.114	.050
W	.551	-.182	-.118	.247	.123	-.130	.172	-.109
Na	.500	.197	-.474	-.260	-.332	.050	.417	-.023
U	.495	-.357	.173	.008	.460	.012	.092	-.150
V	.501	.779	-.128	-.028	.166	.119	-.197	-.040
Rb	.553	-.710	.243	.134	-.121	-.103	-.061	.048
Fe	.559	.682	-.208	-.007	.182	-.199	-.208	-.049
Ti	.598	.673	-.148	-.113	.122	.137	-.135	-.092
Co	.365	.633	.092	-.099	-.026	.361	-.182	.026
Cr	.410	.573	.330	.166	.026	-.258	.016	-.288
Sc	.513	.554	.353	-.256	-.138	-.227	-.180	-.052
Cu	.402	.479	.291	-.034	-.245	-.105	.172	.331
Ni	.093	.133	.757	.136	-.076	.164	.024	-.143
Mg	.142	.441	.724	-.265	-.248	-.092	-.094	-.128
Zr	.121	.071	.579	-.067	-.349	.156	-.087	-.111
Li	.026	-.375	.507	.060	-.205	.260	-.228	.042
Tl	.351	-.462	.466	.373	-.119	.125	-.028	.200
S	-.235	-.100	.456	-.055	.184	.294	.231	-.120
Bi	.269	.106	-.323	.295	.015	.187	-.250	.203
AL	.046	-.062	-.315	.635	-.159	.392	-.123	-.217
Sb	.277	-.077	-.243	.624	-.162	.197	-.159	-.199
Pb	.446	.320	.152	.534	.119	-.334	.278	.109
Au	.232	.319	.106	.498	.074	-.312	.335	.110
Ba	.256	.225	-.213	.337	-.302	.283	.295	.220
As	.460	-.157	-.220	-.246	-.698	.141	.127	.159
Mo	.247	.068	.341	.098	.478	.543	.260	.173
Sr	-.445	.091	.301	-.214	.211	.497	.395	.196
Cs	.060	-.475	.233	.294	-.198	-.002	-.476	.192
Mn	.377	.202	.012	-.003	.392	-.010	-.280	.590

مطالعات کانی سنگین

گروه‌های تعیین شده در ذرات کانی سنگین در برگه ۱:۵۰۰۰۰ منجیل در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. نقشه‌ها به‌عنوان آخرین مرحله از به تصویر در آوردن داده‌ها محسوب می‌شوند و راهکارهای اجرایی و پیگیری هدف‌های اکتشافی، در راستای نقشه تجزیه و تحلیل آن به سهولت قابل دسترسی است. تمامی مراحل داده‌پردازی در نهایت منتهی به معرفی مناطقی می‌شوند که حاوی بالاترین پتانسیل اکتشافی می‌باشند. اما این پتانسیل نایستی به مفهوم تمرکز مواد معدنی به‌ویژه در نقشه‌های تک متغیره در

هدف اصلی در برداشت‌های کانی سنگین در وهله‌ی اول، تأیید یا رد آنومالی‌های استخراجی با روش ژئوشیمی آبراهه‌ای و در مرحله دوم تعیین فاز پراکندگی عناصر می‌باشد. برای دستیابی به این نتایج، نقاط به‌گونه‌ای انتخاب شد که حداکثر پوشش در ناحیه‌ای که به‌عنوان منطقه دارای ناهنجاری عنصری شناخته شده است را ایجاد کند. در این پژوهش، بر اساس نتایج حاصل از مطالعات کانی سنگین، پنج گروه شامل گروه آهن، گروه تیتان، گروه باریت، گروه متامورف و گروه زیرکن تعیین شد. نقشه توزیع کانی‌های



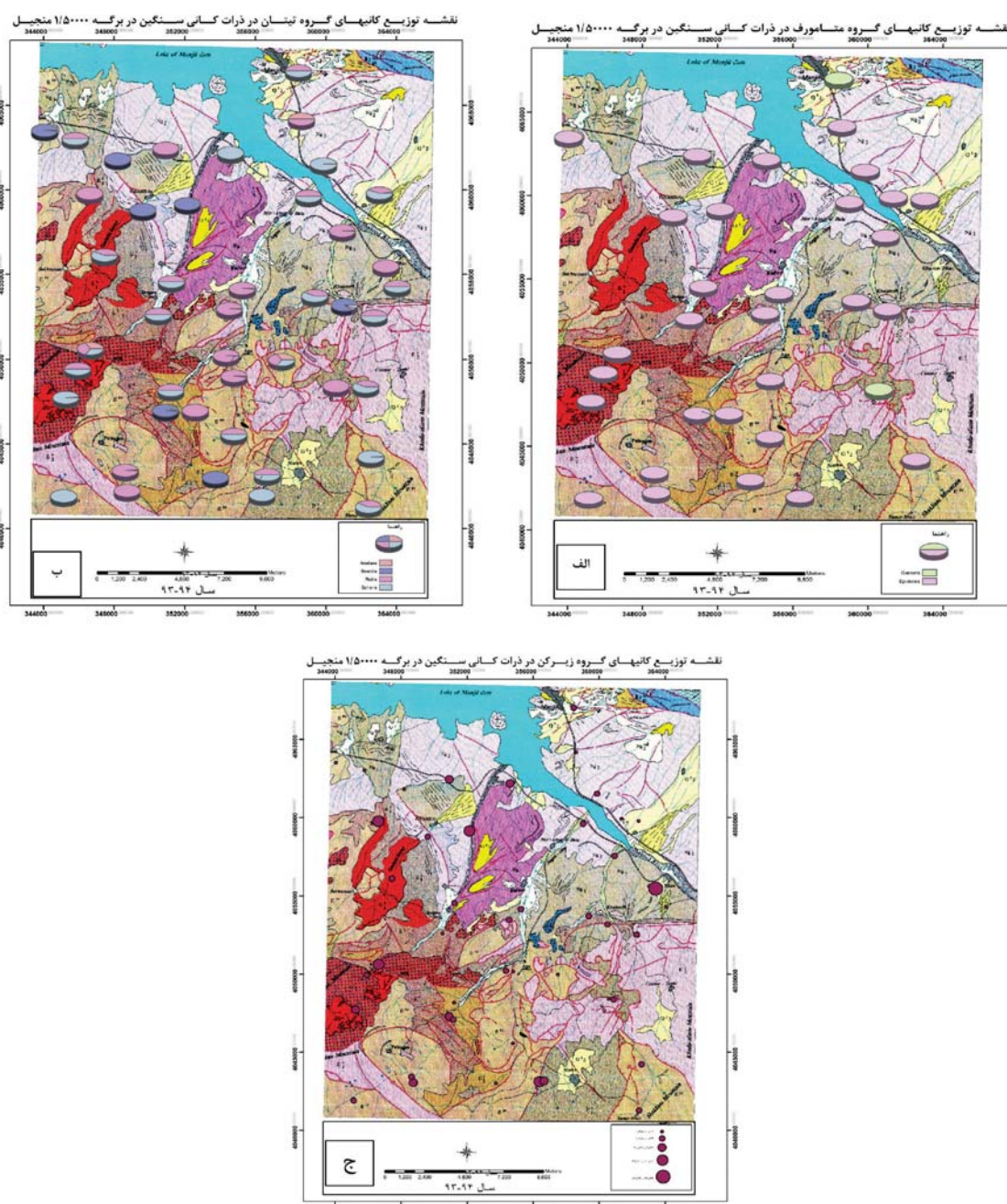
شکل ۴. الف) نقشه توزیع کانهای گروه آهن در ذرات کانی سنگین در برگه ۱:۵۰۰۰۰/منجیل، ب) نقشه توزیع کانهای گروه باریت در ذرات کانی سنگین در برگه ۱:۵۰۰۰۰/منجیل مورد مطالعه

موجب می‌شود تا ارتباط منطقی بین فراوانی یک عنصر در سلول‌ها ظاهر گشته و امکان ارزیابی منطقه‌بندی موجود در نقشه توزیع یک عنصر فراهم شود. با توجه به تنوع لیتولوژی، کثرت عوامل ناهمگن ساز، تعدد پارامترهای دخیل در کانی‌سازی، نحوه مهاجرت و جایگیری عناصر و ... نحوه توزیع نمونه‌ها بایستی در نقشه طراحی به گونه‌ای باشد که حوضه‌ای از منطقه فاقد اطلاعات نباشد. نمایش داده‌ها در روی نقشه به گونه‌های متعددی امکان‌پذیر است، که در این پروژه از روش کریجینگ استفاده شده است. در این روش با در نظر گرفتن جهت آبراهه، مساحت حوضه آبریز و وزن‌دهی عیار هر نمونه بر مبنای مساحت حوضه نمونه‌های بالادست، الگوریتم تخمین، تعریف شده است. هیستوگرام‌های فراوانی عددی و منحنی توزیع تجمعی داده‌های خام عناصر در شکل ۶ ارائه شده است. همچنین تعدادی از نمودارهای Q-QPlate نیز در شکل ۷ ارائه شده‌اند.

مناطق ناهنجار باشد بلکه قصد نهایی، معرفی مناطقی است که در آنها گروهی از نمونه‌ها به‌طور مشترک در دسته‌ای از عناصر ناهنجاری نشان داده‌اند.

روش کریجینگ

روش کریجینگ از روش‌هایی است که با استفاده از داده‌های مربوط به نقاط نمونه‌برداری، تخمین‌هایی در مورد نقاطی که از آنها نمونه‌برداری صورت نگرفته انجام می‌دهد. با توجه به گستردگی مناطق تحت پوشش اکتشاف به روش رسوبات آبراهه‌ای و نیز چگالی پایین نمونه‌برداری به‌خصوص در ایران، روش کریجینگ کارایی بهتری دارد (علوی پناه و متین فر، ۱۳۸۷). این روش به ژئوشیمیست‌ها امکان می‌دهد تا نتایج حاصل از تخمین اطلاعاتی که مستقیماً از سلول‌ها به دست می‌آید را به سایر سلول‌ها نسبت دهند. این اطلاعات عموماً شامل فراوانی عناصر و شاخص‌های غنی‌شدگی مربوط به آنها می‌شوند. در چنین حالتی افزایش تعداد سلول‌هایی که در مورد آنها داده‌ای به دست می‌آید،



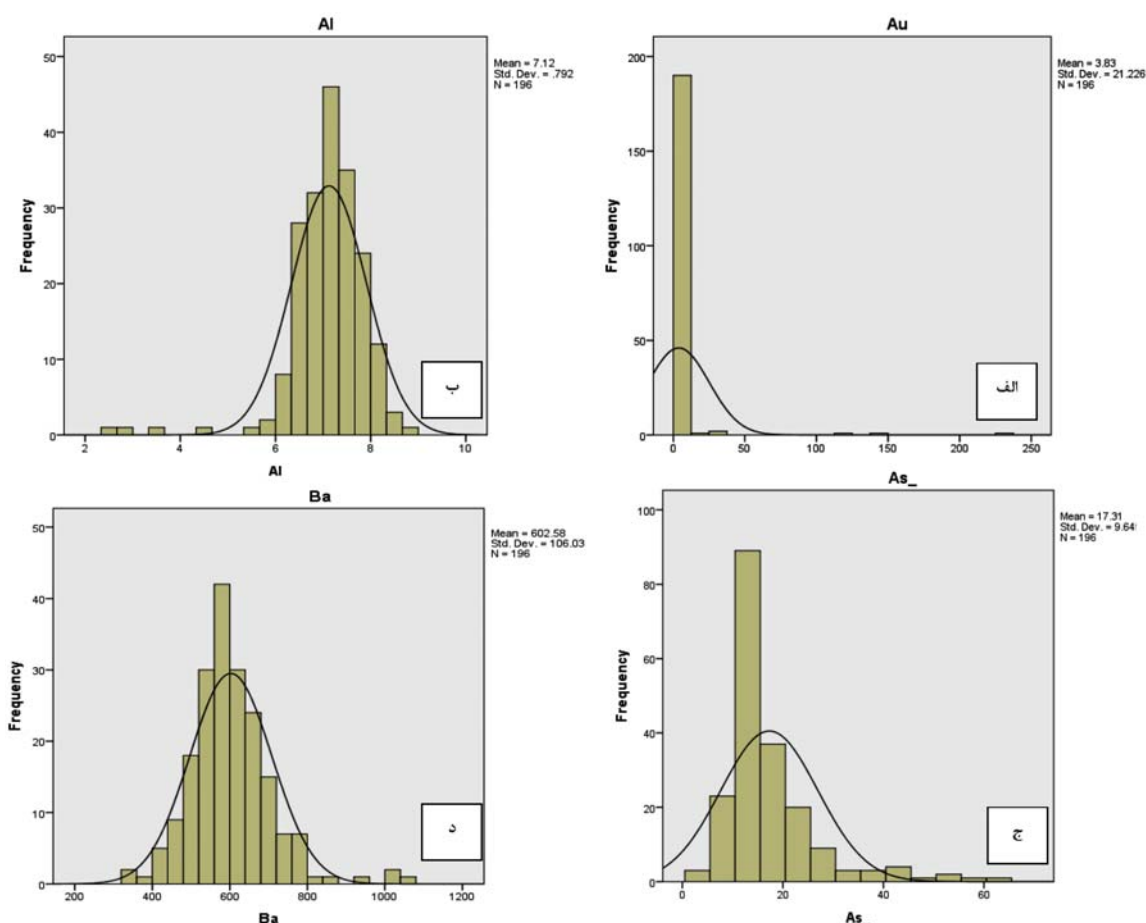
شکل ۵. الف) نقشه توزیع کانی‌های گروه متامورف در ذرات کانی سنگین در برگه ۱:۵۰۰۰۰ منجیل، ب) نقشه توزیع کانی‌های گروه تیتان در ذرات کانی سنگین در برگه ۱:۵۰۰۰۰ منجیل، ج) نقشه توزیع کانی‌های گروه زیرکن در ذرات کانی سنگین در برگه ۱:۵۰۰۰۰ منجیل

Au, Cu, Mn, Pb و Fe تشکیل داده‌اند. به‌طورکلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده نواحی آنومالی نیاز به بررسی و کنترل دارند. لازم است پی‌جویی‌های چکشی دقیق روی مناطق ناهنجار و نواحی امیدبخش معرفی شده، انجام گیرد تا با ارزیابی این گستره‌ها بتوان نواحی پر پتانسیل معدنی را برای مراحل بعدی اکتشاف تعیین کرد.

آنومالی‌های منطقه مورد مطالعه

با توجه به پردازش تمامی نمونه‌های ژئوشیمی و کانی سنگین، منطقه مورد مطالعه‌ی منجیل از پتانسیل بالایی برخوردار است و چندین محدوده امیدبخش جهت کنترل صحرائی آنومالی‌ها معرفی شد. عمده این آنومالی‌ها را Zn،

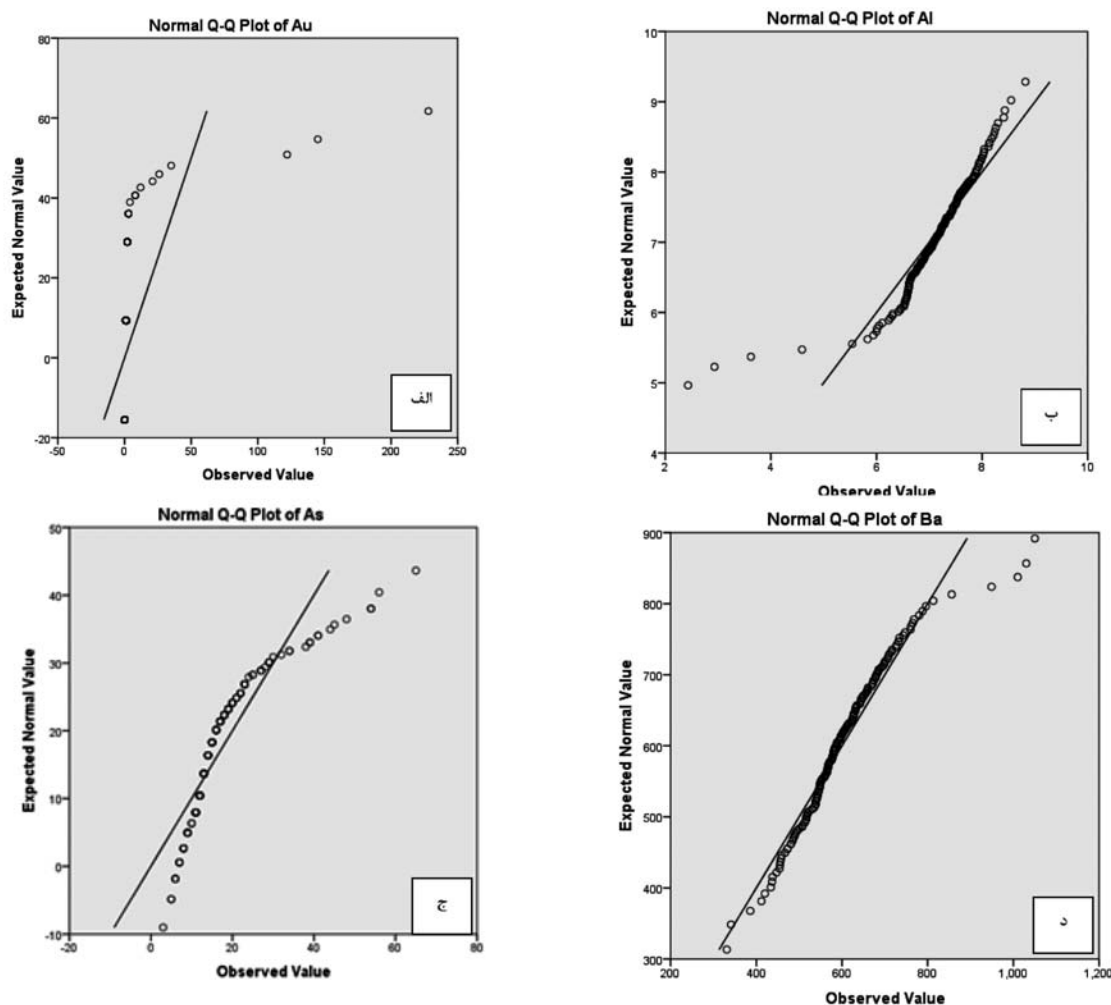
نسیم حیدریان دهکردی و همکاران



شکل ۶. الف) هیستوگرام‌های فراوانی عددی و منحنی توزیع تجمعی داده‌های خام عنصر طلا، ب) هیستوگرام‌های فراوانی عددی و منحنی توزیع تجمعی داده‌های خام عنصر آلومینیوم، ج) هیستوگرام‌های فراوانی عددی و منحنی توزیع تجمعی داده‌های خام عنصر آرسنیک، د) هیستوگرام‌های فراوانی عددی و منحنی توزیع تجمعی داده‌های خام عنصر باریوم

این گستره، کانی‌های اسفن، آناز، شلیت و مولیبدنیت مشاهده و ثبت شده است. لیتولوژی دربرگیرنده این آنومالی را عمدتاً گرانیتوئیدهای خاکستری روشن دانه درشت (فاز اول) و گرانیتوئیدهای صورتی رنگ دانه‌ریز آپلیتی (فاز دوم) و به مقدار کم توف و ولکانیک‌های اسیدی تا متوسط آندزیتی، آندزیت بازالت و آندزیت لاتیت تشکیل می‌دهند. براساس نقشه زمین‌شناسی، این واحدهای لیتولوژیکی دارای سن پالتوسن هستند. در کنترل صحرایی این آنومالی‌ها دو نمونه کانی‌زایی شده و یک نمونه کانی سنگین برداشت شده است. یکی از نمونه‌های کانی‌زایی شده در منطقه مورد مطالعه به صورت برج از رگه هماتی - لیمونیتی کم وسعت در درون توده نفوذی برداشت شده است. در این نمونه هیچ‌گونه اثر

همچنین تهیه نقشه ژئوشیمی و نقشه زمین‌شناسی معدنی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و کنترل دقیق آنومالی در منطقه و در صورت لزوم اقدام به ترانسه زنی پیشنهاد می‌شود. یکی از مهم‌ترین مناطق دارای آنومالی در منطقه، گستره‌ای با مساحت هفت کیلومترمربع در منطقه مورد مطالعه در بخش ماهین و در جنوب روستای انبغین قرار دارد. در عملیات نمونه‌برداری اولیه در محدوده این آنومالی، سه نمونه ژئوشیمی و دو نمونه کانی سنگین برداشت شده است. این گستره محل مشترک آنومالی‌های عناصر Zn و Sb است و یک آنومالی مرکب می‌باشد. بر این اساس، در گستره مطالعاتی عنصر Zn و Sb بیشترین آنومالی را دارا می‌باشند. همچنین در نمونه‌های کانی سنگین برداشت شده در



شکل ۷. نمودارهای Q-QPlot؛ الف) نمودار Q-QPlot برای عنصر طلا، ب) نمودار Q-QPlot برای عنصر آلومینیوم، ج) نمودار Q-QPlot برای عنصر آرسنیک، د) نمودار Q-QPlot برای عنصر باریم

اساس نتایج حاصل از مطالعات انجام شده و با توجه به زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، از کانی‌سازی‌های گسترده منجیل می‌توان به کانی‌سازی‌های مرتبط با ولکانیک‌های حدواسط تا اسیدی و کانی‌سازی‌های مرتبط با توده‌های نفوذی فلسیک اشاره کرد. بخش دوم کانی‌سازی‌ها مرتبط با ولکانیک‌های اسیدی تا حدواسط منطقه هستند که عمدتاً از نوع طلا، منگنز و مس می‌باشند. به لحاظ آماری حدود ۳۵ درصد کانی‌سازی‌ها و آنومالی‌های منطقه از نظر لیتولوژیکی با این واحد در ارتباط هستند. حدود ۱۰ درصد آنومالی‌ها در ارتباط با سایر واحدهای سنگ‌شناسی از جمله واحد اسلیت، ماسه سنگ، آهک و شیل می‌باشند که در بخش‌های مختلف منطقه به‌طور پراکنده رخمون

خاصی از مقادیر بالای عناصر مشاهده نمی‌شود. یکی دیگر از نمونه‌های برداشتی از منطقه، به‌صورت برج‌ها از رگه هماتیتهی - لیمونیتی فوق‌الذکر در درون توده نفوذی برداشت شده است. این نمونه در نزدیکی نمونه قبلی و در ۵۰ متری جنوب شرق آن برداشت شده است. نمونه کانی سنگین این گستره در فاصله تقریبی ۵۰۰ متری شمال نمونه‌های کانی‌زایی برداشت شده است. در این نمونه به مقدار اندک کانی‌های پیریت مشاهده می‌شود که ارزش اکتشافی ندارد و وجود آنها به‌واسطه وجود توده نفوذی طبیعی است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از کنترل صحرایی این آنومالی، این گستره مورد پذیرش نیست و بی‌اهمیت تلقی می‌شود لذا انجام عملیات اکتشاف تکمیلی پیشنهاد نمی‌شود. در این پژوهش، بر

نسیم حیدریان دهکردی و همکاران

مشاهده شد که تقریباً تمامی اندیس‌ها و معادن بزرگ فلزی منطقه در درون زون‌های آنومالی به‌دست‌آمده قرار گرفته‌اند. آن دسته از اندیس‌های موجود بر روی نقشه زمین‌شناسی که در خارج از گستره آنومالی‌ها قرار گرفته‌اند، از نظر ابعاد و گسترش بسیار کوچک و ضعیف هستند و بیشتر از نظر جغرافیایی در مناطقی رخنمون دارند که امکان شسته شدن و ورود آنها به آبراهه و تشکیل هاله‌های ثانوی نبوده است. در کل، بررسی‌های اکتشافی انجام شده در گستره منجیل، منجر به دستیابی به نتایج زیر شد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی و لیتولوژی منطقه و نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای و نمونه کانی سنگین موجود و همچنین تجمع عناصر در گستره‌های خاص و هم‌پوشانی این عناصر با هم دو محدوده آنومالی مشخص شد که به دلیل عیار متوسط عناصر در این منطقه درجه این آنومالی‌ها متوسط معرفی شد. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات انجام شده و با توجه به زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، از کانی‌سازی‌های گستره منجیل می‌توان به کانی‌سازی‌های مرتبط با ولکانیک‌های حدواسط تا اسیدی و کانی‌سازی‌های مرتبط با توده‌های نفوذی فلسیک اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

روش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای متداول‌ترین شیوه اکتشافات ژئوشیمیایی مقدماتی است که برای اکتشافات مقیاس کوچک تا متوسط کاربرد دارد. این روش به‌طور وسیعی برای پی‌جویی‌های ناحیه‌ای و شناسایی مقدماتی نواحی امیدبخش کانی‌سازی در مناطقی که دارای آبراهه هستند و وسعت حوضه آبریز زیاد باشد به کار می‌رود. رسوبات آبراهه‌ای در واقع یک نمونه ترکیبی از مواد فرسایش یافته از سنگ‌های بالادست حوضه آبریز است. بنابراین وجود ناهنجاری در این رسوبات از وجود یک منبع پرعیار در بالادست آن حکایت می‌کند. معمولاً از روش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای برای پی‌جویی عناصر نیز استفاده می‌شود، ولی گاهی با استفاده از روش مطالعه کانی‌های سنگین، ماسه‌های موجود در آبراهه‌ها را بررسی

دارند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منجیل و بر اساس ارتباط آنومالی‌ها با دگرسانی و ساختارهای تکتونیکی، بیش از ۸۰ درصد آنومالی‌ها در ارتباط با زون‌های شکستگی، گسل‌های موجود در منطقه هستند، لذا می‌توان گفت که عمدتاً کانی‌سازی‌ها از نوع رگه‌ای می‌باشند. بر اساس نتایج حاصل، این کانی‌سازی‌ها عمدتاً در رگه‌های سیلیسی همراه با اکسیدهای آهن مشاهده می‌شوند. تکتونیک شدید، بارندگی‌های شدید، وجود توده نفوذی و در نتیجه آب‌های جوی فراوان، راه را برای عبور سیالات گرم و در نتیجه به وجود آمدن دگرسانی‌های وسیع در منطقه هموار ساخته است. در کنترل‌های صحرایی تقریباً در محل تمامی آنومالی‌ها زون‌های دگرسانی اکسید آهنی - پیریتی - آرژیلیتی - آلونیتی مشاهده و ثبت شده که نشان می‌دهد کانی‌سازی‌های این مناطق با زون‌های دگرسانی وسیع در ارتباط هستند و به این طریق نیز می‌توان این کانی‌سازی‌ها را ردیابی کرد.

کانی‌سازی‌های مرتبط با توده‌های نفوذی فلسیک (گرانودیوریت - گرانیت) حدود ۷۰ درصد از کانی‌سازی‌ها و آنومالی‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. این گستره محل بروز اصلی توده‌های نفوذی منطقه است که شامل دو فاز است.

فاز اول یک گرانیت دانه درشت خاکستری رنگ و فاز دوم یک گرانیت دانه ریز صورتی رنگ است که در درون توده اول نفوذ کرده است. از آنومالی موجود در منطقه مورد مطالعه منجیل، تعدادی از آنها در اطراف و درون توده نفوذی منطقه رخ داده است. کانی‌سازی اصلی در این مناطق متشکل از عناصر کانساری آهن، تنگستن، قلع، سرب و روی است. البته ممکن است در این نواحی کانی‌سازی‌های دیگری هم رخ داده باشد ولی به لحاظ آماری بخش عمده این کانی‌سازی‌ها از فلزات فوق‌الذکر تشکیل یافته است. در خصوص رابطه آنومالی‌ها با اندیس‌های معدنی، کانسارها و معادن متروکه بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه، اندیس‌ها و کانسارهای فعال و متروکه فراوانی قابل مشاهده است. این اندیس‌ها و کانسارها از نوع فلزی مانند مس و غیرفلزی مانند سنگ‌های ساختمانی، کائولنیت، آلونیت و زغال می‌باشند. با پیاده کردن مناطق آنومالی بر روی نقشه زمین‌شناسی

۱۳۸۳. اکتشاف ذخایر معدنی ایران. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۶۳۲.

- کریمی، پ، یزدی، م، رسا، مرادی، م، ۱۳۹۰. اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای و کانی سنگین طلا در کالیجار (نطنز، استان اصفهان)، دومین همایش علوم زمین، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی تهران و سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

- مدنی، ح، ۱۳۸۰. اصول پی جویی اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی، ۱۳۸۰، انتشارات ایران ارشاد، ۸۱۶.

- مرکز آمار ایران. ۱۳۸۰. نتایج آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور. سازمان آمار ایران.

- معین وزیری، ح.، احمدی، ع.، ۱۳۷۷. پترولوژی و پتروگرافی سنگ‌های آذرین. انتشارات دانشگاه تربیت‌معلم، ۵۴۴.

- مومنی، م.، ۱۳۸۷. تحلیل‌های آماری با استفاده از Spss.

- نبوی، م. ح. ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

- یزدی، م. ۱۳۸۶. اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. ۱۹۲.

- Charlie, K, Paul, E, Antonio, F, Bob, L, 2016. Stream sediment geochemistry as a tool for enhancing geological understanding: An overview of new data from south west England, Journal of Geochemical Exploration, 163 , 28-40, 2016.

- Fletcher, W.K., 1997. Stream sediment geochemistry in todar exploration, world in proceedings of exploration.

- Guilbert, J.M., and Park, Jr.C.F., 1997. The Geology of Ore Deposits, Freeman and company, New York, 985.

- Hale, K and Plant, J. A., 1994. Drainage Geochemistry in Mineral Exploration. Elsevier Science, 120.

- Stocklin, J. 1968. Structural history and tectonics of Iran. A review. American Journal of Mining and Metallurgy. 52.(7). 1229-1258.

- WWW.USGS. U.S. Geological Survey. com.

می‌کنند و در صورت مشاهده کانی‌های مناسب و حاوی کانی‌سازی نسبت به نمونه‌برداری مدون از آبراهه‌ها اقدام می‌کنند.

نتایج پردازش تمامی نمونه‌های ژئوشیمی و کانی سنگین نشان داد که برگه مورد مطالعه‌ی منجیل از پتانسیل بالایی برخوردار است که چندین محدوده امیدبخش جهت کنترل صحرائی آنومالی‌ها معرفی شد. عمده این آنومالی‌ها را Fe, Pb, Mn, Cu, Au, Zn تشکیل داده‌اند. در این مطالعه، نتایج پردازش نمونه‌ها نشان داد که منطقه منجیل از پتانسیل بالایی برخوردار است، بر این اساس چندین محدوده امیدبخش جهت کنترل صحرائی آنومالی‌ها معرفی شد. عمده این آنومالی‌ها را Fe, Pb, Mn, Cu, Au, Zn تشکیل داده‌اند.

منابع

- آقانباتی، س. ع. ۱۳۷۱، نقشه سنگ‌های ماگمایی ایران، ۱:۲۵۰۰۰۰، چاپ آزمایشی طرح تدوین کتاب، سازمان زمین‌شناسی کشور.

- حسنی پاک، ع. ا.، ۱۳۸۱. اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۵.

- حسنی پاک، ع. ا. شرف‌الدین، م. ۱۳۸۰. تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۷۷.

- حیدری، س. م.، ۱۳۸۶. مقدمه‌ای بر فرآیندهای کانه‌ساز. نوشته راب، لورنس. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۷. نقشه زمین‌شناسی رودبار، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.

- علوی پناه، س. ک. و متین فر، ح. ۱۳۸۷. کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۲.

- غلامی، م، یزدی، م، مقصودی، ع، اکبریور، ا، ۱۳۹۰. اکتشافات ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای و کانی سنگین در بانه، دومین همایش علوم زمین، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی تهران و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- قربانی، م.، ۱۳۸۷. زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها و نشانه‌های معدنی ایران، انتشارات آرین زمین، ۶۳۹.

- کریم پور، م. ح. ملک‌زاده، آ. و حیدریان، م. ر.،