



بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر فلزی و مطالعه نمونه‌های مینرالیزه در رسوبات آبراهه‌ای ورقه ۱:۵۰۰۰۰ تیکمه‌دش، آذربایجان شرقی

مرتضی گل‌رسان^۱، وارطان سیمونز^{۲*}، محسن موذن^۲، فاطمه جهانگیریار^۱

۱- کارشناس ارشد ژئوشیمی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز

۲- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، مرکز تحقیقات علوم پایه، دانشگاه تبریز

۳- استاد پترولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز

* عهده‌دار مکاتبات: simmonds_vartan@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۳/۲۲، پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۵/۱۸

چکیده

منطقه تیکمه‌دش در فاصله ۶۱ کیلومتری جنوب شرق تبریز در استان آذربایجان شرقی و در زون ساختاری البرز- آذربایجان واقع است. از نظر زمین‌شناسی، مهمترین واحدهای سنگی موجود در منطقه را توده‌هایی با ترکیب گرانیت، گابرو دیوریت، مونزوگرنیت و دیوریت با سن اولیگوسن تشکیل می‌دهند. وجود دگرسانی‌های نسبتاً شدید در گرانیت‌های شمال روستای قزل‌احمد واقع در جنوب تیکمه‌دش یکی از دلایل و اهداف اصلی این تحقیق جهت یافتن ناهنجاری‌های فلزی در راستای اکتشافات ژئوشیمیایی بود. هدف از این مقاله معرفی زون‌های ناهنجر از عناصر مس و طلا و نیز آرسنیک و آنتیموان به‌عنوان عناصر شاخص کانی‌سازی طلا و بررسی این ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی از طریق مطالعه صحرایی و نمونه‌های مینرالیزه می‌باشد. برای این منظور تعداد ۱۸۰ نمونه ژئوشیمیایی از جزء ۸۰- مش رسوبات آبراهه‌ای برداشت شد. سپس کلیه نمونه‌های برداشت شده به شرکت AMDEL استرالیا فرستاده شده و برای چند عنصر مورد آنالیز قرار گرفتند. روش اندازه‌گیری برای طلا، Fire Assay و برای سایر عناصر ICP-OES و ICP-MS بوده است. پس از مشخص شدن ناهنجاری‌های اولیه، جهت کنترل آنها از روش مطالعه نمونه‌های مینرالیزه- دگرسانی استفاده شد. پس از تحلیل و پردازش داده‌ها و تلفیق نتایج حاصل از مطالعه نمونه‌های مینرالیزه، در نهایت ۴ زون ناهنجر به ترتیب شامل ناهنجاری‌های Cu-Au-As-Sb در بخش شمال شرقی محدوده و جنوب تیکمه‌دش، Cu-Au-Sb در گوشه شمال غربی محدوده، As-Au در گوشه جنوب غربی و Sb در بخش جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه تشخیص داده شد. با تلفیق داده‌های مربوط به عناصر نامبرده در محدوده مورد مطالعه، مشخص گردید که ناهنجاری‌های اصلی طلا و مس در ارتباط با توده‌های نفوذی آلکالی گرانیتی تا آپلیت- ربولیتی به سن الیگوسن و زون‌های گسلی و دگرسان شده توسط سیالات گرمایی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تیکمه‌دش، اکتشاف ژئوشیمیایی، رسوب آبراهه‌ای، ناهنجاری

۱- مقدمه

کانی‌ها بویژه انواع سولفیدی، ناپایدار بوده و در اثر اکسایش و سایر واکنش‌های شیمیایی تجزیه می‌شوند. این امر موجب پراکندگی هر چه بیشتر کانه‌ها و عناصر معرف آنها در محلول‌ها و رسوبات آبراهه‌ای پایین دستی می‌گردد، بطوری که گاهی حمل و نقل آنها تا فاصله نسبتاً دوری در حوضه آبریز ادامه می‌یابد. لذا اساس و بنیان این روش این است که نمونه رسوبات آبراهه‌ای ترکیبی از مواد فرسایش یافته از سنگ‌های بالادست حوضه آبریز است و لذا وجود ناهنجاری در این رسوبات حکایت از وجود یک منبع پرعیار در قسمت‌های بالادست دارد (Levinson, 1980; Bolviken et al., 1992; Xie, 1997). وجود توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی همراه با آثار دگرسانی و کانی‌سازی مس در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان‌آباد، از جمله در جنوب و غرب تیکمه‌دش و نیز نتایج مطالعه ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای که در جلده‌باخان سراب واقع در شرق این منطقه صورت گرفته (لشگری، ۱۳۸۹) و ناهنجاری‌هایی از عناصر طلا، مس، آهن و غیره تشخیص داده شده است، در کنار وجود آثار کانی‌زایی گرمایی

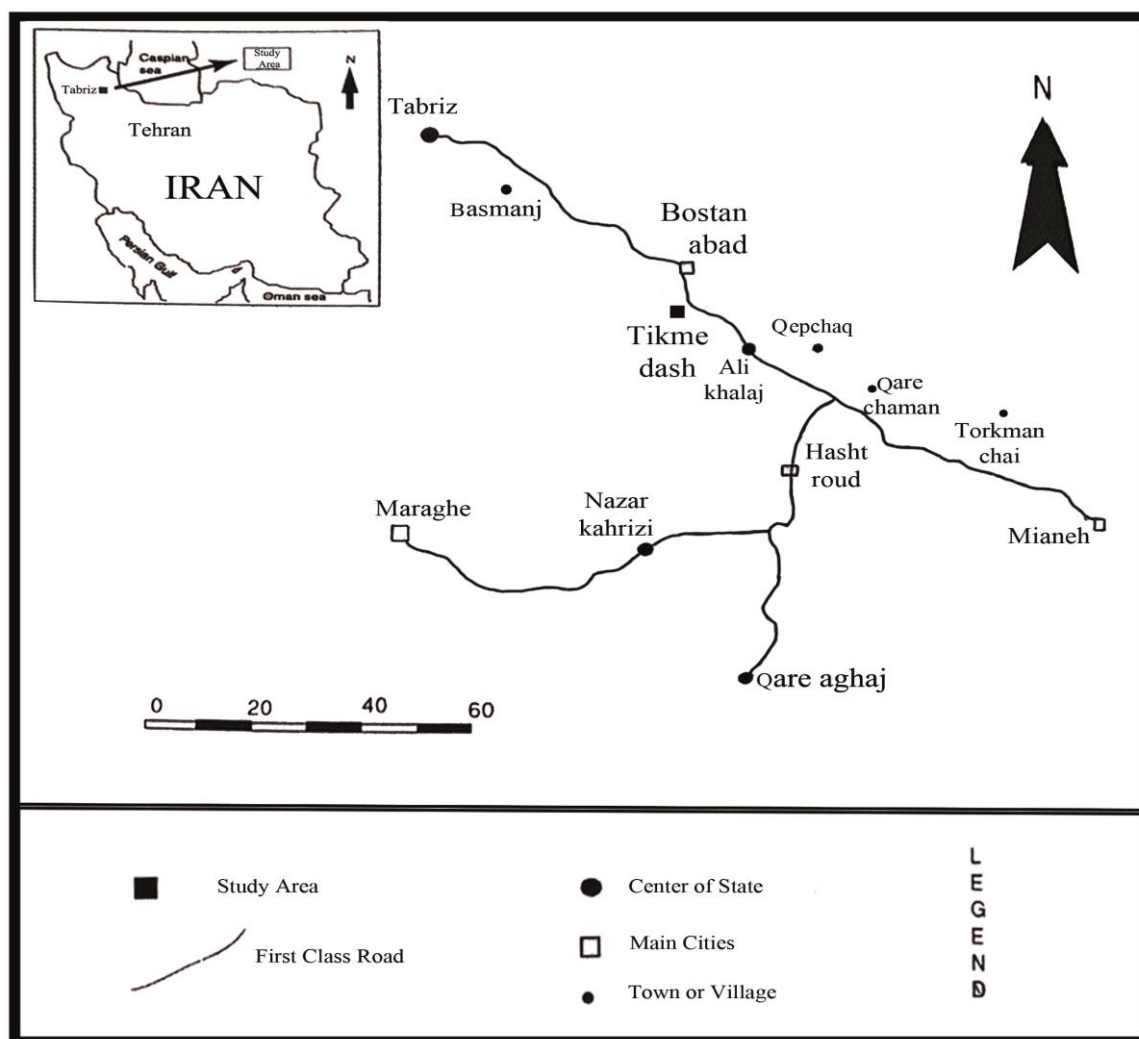
امروزه یکی از موثرترین تکنیک‌های اکتشافی در مقیاس ناحیه‌ای، روش‌های ژئوشیمیایی هستند و در این میان، استفاده جهانی از ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای نشان داده است که از این روش می‌توان برای اکتشاف نواحی کانی‌سازی شده و پتانسیل‌های کانساری استفاده کرد (حسنی‌پاک، ۱۳۹۱). مطالعه و آنالیز نمونه‌های جمع‌آوری شده از رسوبات آبراهه‌ای مهمترین شیوه جهت شناسایی و توصیف ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی و الگوی توزیع عناصر شیمیایی جهت اکتشافات ژئوشیمیایی می‌باشد (Reimann et al., 2005). اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای همان ثبت هاله‌های ثانوی است. این اکتشافات اغلب یا حتی بطور انحصاری در بررسی‌های اکتشافی مقدماتی در حوضه‌های آبریز با شرایط آب و هوایی گوناگون بویژه با بارندگی متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرند. امتیازی که این روش اکتشافی دارد این است که در محیط‌های هوازده بسیاری از

جغرافیایی $45^{\circ} 46'$ تا 47° شرقی و عرض‌های جغرافیایی $30^{\circ} 37'$ تا $45^{\circ} 37'$ شمالی واقع است. ارتفاع متوسط این منطقه ۱۸۲۰ متر بوده که پست‌ترین نقطه ۱۴۸۰ متر و بلندترین نقطه که مربوط به مخروط آتشفشانی چاناخ است ۲۳۳۵ متر ارتفاع دارد. راه‌های ارتباطی ناحیه جاده آسفالت‌تبریز- زنجان است که پس از ۴۵ کیلومتر به شهرستان بستان‌آباد و سپس با طی کردن ۱۶ کیلومتر به تیکمه‌داش می‌رسد. علاوه بر این، کلیه روستاهای ناحیه توسط شبکه‌ای از راه‌های شوسه و خاکی بهم متصل هستند که این امر، امکان دسترسی به کوه‌ها و رخنمون‌های سنگی را امکان‌پذیر می‌نماید (شکل ۱). از جمله مطالعات انجام شده بر روی زمین‌شناسی این ناحیه، می‌توان نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان‌آباد را نام برد (بهریزی و همکاران، ۱۳۷۶). با توجه به تقسیمات واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران (نبوی، ۱۳۵۵)، این منطقه بخشی از زون البرز- آذربایجان می‌باشد. همچنین آفانباتی، (۱۳۸۲) منطقه مورد مطالعه را جزء پهنه مرکزی ایران محسوب کرده است.

آهن و منگنز در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان‌آباد و هشترود، ضرورت انجام مطالعه بر روی این محدوده را ایجاب می‌کند. در این مقاله سعی شده با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراه‌های و پردازش آماری داده‌های حاصل از آن تغییرات غلظت، توزیع و پراکندگی عناصر مس (Cu)، طلا (Au)، آرسنیک (As) و آنتیموان (Sb) و هاله ژئوشیمیایی آنها در رسوبات آبراه‌های ورقه ۱:۵۰۰۰۰ تیکمه‌داش مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین تعیین همبستگی بین این عناصر در رسوبات، تعیین عناصر ردیاب اکتشاف و دستیابی به مناطق امید بخش، مهم‌ترین موارد مطالعه این پژوهش هستند.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

بخش تیکمه‌داش با مساحت ۱۱۸۲ کیلومتر مربع در فاصله ۱۶ کیلومتری از شهرستان بستان‌آباد و ۶۱ کیلومتری تبریز واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در شمال باختری ایران بین طول‌های



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی تیکمه‌داش و نقشه راه‌های دسترسی به منطقه

با ماکل مکرر یا چند ترکیبی و مقدار کمی بیوتیت با بافت دانه‌ای می‌باشد (Tga). توده‌ای از جنس مونزوگرانیت تا کوارتز مونزونیت و گرانیت (Tgm) در شمال غرب ورقه رخنمون دارد. این سنگ‌ها بافت پورفیری با خمیره میکروگرانولار دارند و از پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، بیوتیت و کوارتز تشکیل شده‌اند که روی آنها را واحدی از جنس آپلیت-ریولیت (Tap) به سن اولیگوسن می‌پوشاند. در کنار واحدهای آذرین متعلق به الیگوسن، واحدی با جنس کنگلومرا و آگلومرا (OMs) نیز در شمال شرق محدوده مطالعاتی رخنمون دارد که سن الیگو-میوسن به آن نسبت داده شده است. همچنین گنبد‌های داسیتی (OMd) موجود در شرق ورقه مربوط به الیگو-میوسن هستند. واحدهای پلیوسن-پلیستوسن عمدتاً در نیمه جنوبی و بخش مرکزی ورقه ۱:۵۰۰۰۰ تیکمه‌داش رخنمون دارند. قدیمی‌ترین این نهشته‌ها در گوشه جنوب شرقی ورقه مشاهده می‌شود که شامل رس‌های ماسه‌ای قرمز کم رنگ با میان لایه‌های کنگلومرای، رس‌های سیلتی به رنگ قرمز و چند لایه کم ضخامت از جنس سنگ‌جوش (Plvc) است.

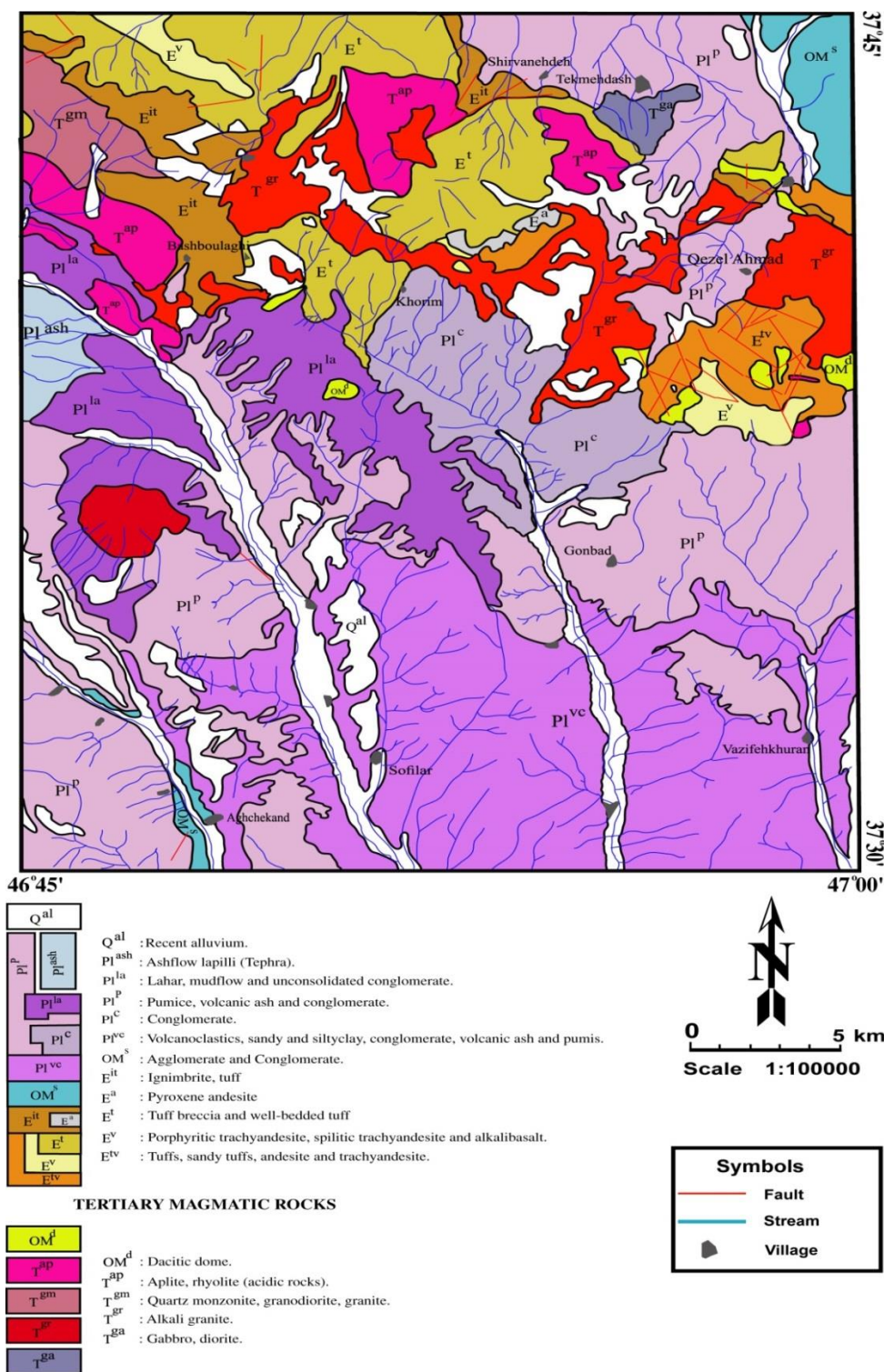
واحد (Plp) نیز از سنگ‌جوش، لاپیلی توف، ماسه‌های آتشفشانی و کنگلومرای با سیمان سست تشکیل شده است. در بخش مرکزی محدوده، عدسی کنگلومرای ضخیمی در درون این واحد با سیمان سست و با قلوه‌های داسیتی دیده می‌شود (Plc). روی این واحد، نهشته‌های آذرآواری شامل جریان‌های گلی با قلوه‌های درشت در اندازه‌های مختلف و قطعات گدازه‌های زاویه‌دار با خمیره‌ای سفید از سنگ‌جوش، خاکستر و لاپیلی توف بطور متناوب قرار گرفته است (Plla). در بخش غربی ورقه یک مخروط آتشفشانی با ارتفاع ۲۳۳۵ متر و قطر ۱۳۰۰ متر دیده می‌شود که از خاکستر دانه ریز، ماسه‌های آتشفشانی قطعات سنگ‌جوش، گدازه داسیتی و بالاخره طبقات مطبق لاپیلی توف و خاکستر همراه با اسکوری که حاکی از فعالیت‌های متعدد این آتشفشان است تشکیل شده است (Plash) (شکل ۲؛ بهروزی و همکاران، ۱۳۷۶).

بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان‌آباد (بهروزی و همکاران، ۱۳۷۶)، مهمترین واحدهای زمین‌شناختی موجود در محدوده مطالعاتی را سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ترشیری به سن الیگوسن تشکیل می‌دهند (شکل ۲).

قدیمی‌ترین واحد سنگی برونزد یافته در این محدوده، متعلق به انوسن بوده و شامل سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌های آندزیتی به رنگ خاکستری و سبز تیره با میان لایه‌هایی از توف‌های خرد شده و توف ماسه‌ای می‌باشد (Etv). روی واحد (Etv) گدازه‌های تراکی آندزیتی و آلکالی بازالتی انوسن (Ev) قرار می‌گیرند. در این گدازه‌ها درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، کانی‌های فرمونیزین جانشین شده توسط کلریت و اپیدوت، همراه با مقدار کمی کلینوپیروکسن، در زمینه‌ای متشکل از میکروولیت‌های فلدسپاتی دگرسان مشاهده می‌شوند. روی واحد (Ev)، توف برشی با لایه‌بندی خوب (Et) قرار دارد و روی آن را واحدی با ترکیب ایگنمبریت و توف (Eit) می‌پوشاند که این مجموعه، عمدتاً در شمال غرب ورقه رخنمون دارد.

واحدهای متعلق به الیگوسن عمدتاً در نیمه شمالی محدوده برونزد دارند و شامل توده‌هایی با ترکیب آلکالی گرانیت (Tgr)، مونزونیت تا مونزوگرانیات (Tgm)، دیوریت-گابرو (Tga) و آپلیت تا ریولیت (Tap) می‌باشند (شکل ۲).

بخش زیرین توده آلکالی گرانیتی (Tgr) در شرق روستای قزل‌احمد، رنگ تیره داشته و شدیداً دگرسان شده است در حالیکه بخش بالائی آن رنگ روشن‌تری داشته و از بلورهای فلدسپات پتاسیم (پریتیت تجزیه شده به کانی‌های رسی و سریسیت)، کوارتز و پلاژیوکلاز (الیگوکلاز) تشکیل شده است. کانی‌های تیره در این سنگ‌ها کم و در بخش زیرین توده تماماً به کلریت تجزیه شده و تنها از روی شکل بلوری پسودومورفشان، احتمالاً حاصل دگرسانی بیوتیت هستند. توده دیوریت-گابرو (Tga) در جنوب تیکمه‌داش، متشکل از بلورهای پلاژیوکلاز (در حد آندزین) و کلینوپیروکسن



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه تیکمه‌دش (برگرفته از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان‌آباد؛ بهروزی و همکاران، ۱۳۷۶)

۳- روش مطالعه

اساس معیارهای سنگ‌شناختی، دگرسانی، تکتونیک و مرکز ثقل توپولوژیکی آبراهه‌ها، تعداد ۱۸۰ نمونه به وزن ۱۰۰ تا ۲۰۰ گرم از جزء ۸۰- مش رسوبات برداشته شد. برخی از معیارهایی که رعایت شده‌اند به شرح زیر است: در محل هر نمونه پس از کنار زدن مواد سطحی بستر آبراهه برای اجتناب از

به منظور مطالعه توزیع ژئوشیمیایی عناصر در داخل رسوبات آبراهه‌ای و شناسایی ناهنجاری‌های احتمالی عناصر، پس از طراحی شبکه نمونه‌برداری بر

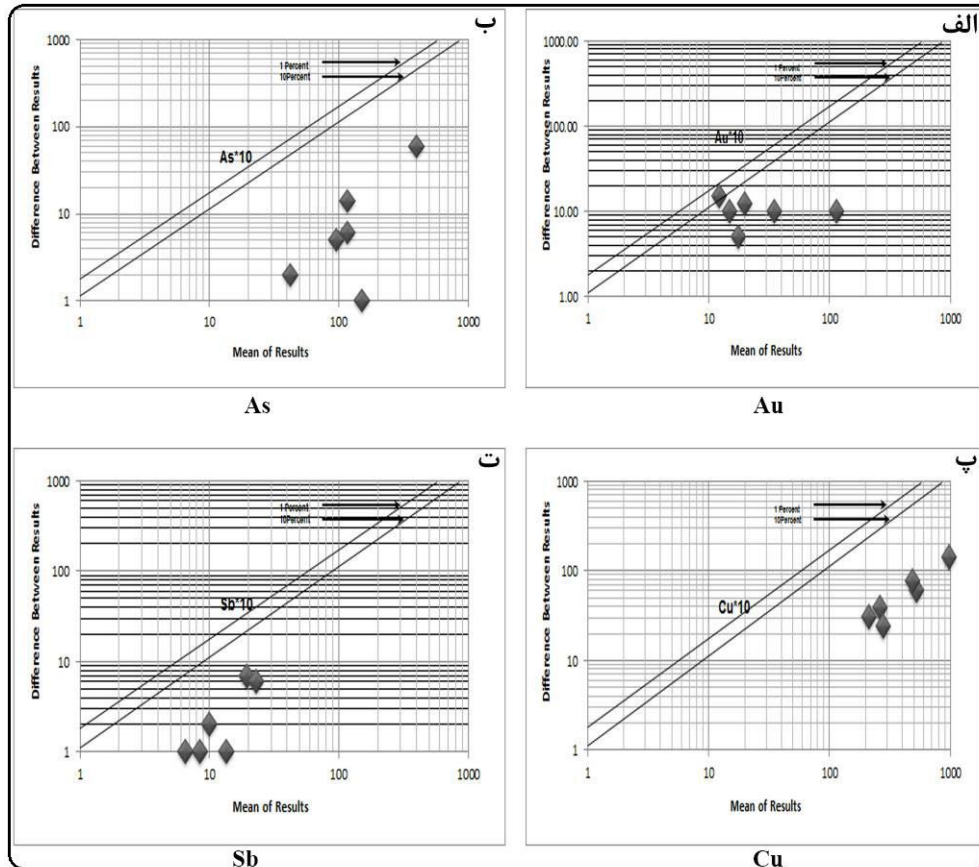
عملیات اکتشافی، خطای آزمایشگاهی است و بدست آوردن این خطا برای اطلاع از میزان دقت آنالیزها حائز اهمیت است. از آنجا که در پروژه‌های ژئوشیمیایی در مقیاس ناحیه‌ای و نیمه‌تفصیلی، هدف سنجش نسبی هر عنصر نسبت به سایر عناصر به منظور معرفی نواحی امیدبخش می‌باشد، لذا دقت اندازه‌گیری‌ها از درجه اهمیت بیشتری برخوردار است (حسینی‌پاک، ۱۳۹۱). به منظور کنترل دقت دستگاه‌های تجزیه کننده، تعداد ۶ عدد نمونه تکراری (به ازای هر ۳۰ نمونه یک نمونه تکراری) انتخاب و با کدهای متفاوت به آزمایشگاه فرستاده شدند. جهت کنترل کیفیت نتایج آزمایشگاهی از نرم‌افزار Excel و دیاگرام کنترلی (Thompson and Howarth, 1978) برای ۱۰٪ خطا استفاده گردید (حسینی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). برای این کار ابتدا مقادیر میانگین و قدر مطلق تفاضل دو اندازه‌گیری تکراری بر روی یک نمونه محاسبه و نهایتاً بر روی محور افقی، میانگین داده‌ها و بر روی محور عمودی، میزان اختلاف داده‌ها قرار می‌گیرند (شکل ۳). این دیاگرام‌ها لگاریتمی بوده و در صورتی که ۹۰ درصد داده‌ها زیر خط معادل ۱۰ درصد و ۹۹ درصد داده‌ها زیر خط معادل ۱ درصد قرار گیرند، خطا در حد ۱۰ درصد خواهد بود. بررسی این دیاگرام‌ها نشان می‌دهد که تمامی نقاط زیر دو منحنی قرار دارند و نشان‌دهنده آنست که خطا خیلی کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد در نتیجه دقت آنالیز برای ۴ عنصر مورد مطالعه در حد قابل قبولی می‌باشد.

برداشت مواد آلی، از عمق ۲۰ الی ۴۰ سانتی‌متری توسط بیلچه و الک ۸۰- مش اقدام به نمونه‌برداری شد. در آبراهه‌هایی که نمونه‌برداری از آنها صورت گرفت سعی شد تا حد امکان نمونه‌ها از وسط آبراهه‌ها برداشت شود چرا که معرف بهتری از حوضه آبریز هستند. پس از الک کردن رسوب خشک در محل، درون کیسه‌های پلاستیکی نو ریخته و شماره‌گذاری گردید. در مرحله بعد جهت آماده‌سازی نمونه‌های ژئوشیمیایی، عملیات خردایش و نرمایش بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. سپس کلیه نمونه‌های برداشت شده به شرکت AMDEL استرالیا فرستاده شده و برای چند عنصر مورد آنالیز قرار گرفتند. روش اندازه‌گیری برای همه عناصر بجز طلا روش ICP-OES و ICP-MS بوده است در حالیکه طلا به روش آذر محک (Fire Assay) اندازه‌گیری شده است. پس از بررسی اولیه نتایج آنالیز، عناصر مس، طلا، آرسنیک و آنتیموان برای مطالعات اکتشافی انتخاب و داده‌های آنها مورد پردازش قرار گرفتند. در نهایت، پس از شناسایی ناهنجاری‌های موجود، کنترل صحرائی جهت تأیید این ناهنجاری‌ها انجام گرفت.

۴- بحث و بررسی

۴-۱- خطای تجزیه

در مباحث اکتشافات ژئوشیمیایی یکی از سه مولفه خطای کلی در



شکل ۳- دیاگرام کنترلی برای عناصر مورد مطالعه در رسوبات آبراهه‌ای منطقه تیکمه‌داش (Thompson and Howarth, 1978). الف: طلا، ب: آرسنیک، پ: مس، ت: آنتیموان

۴-۲- تخمین داده‌های سنسورد

لحاظ شد.

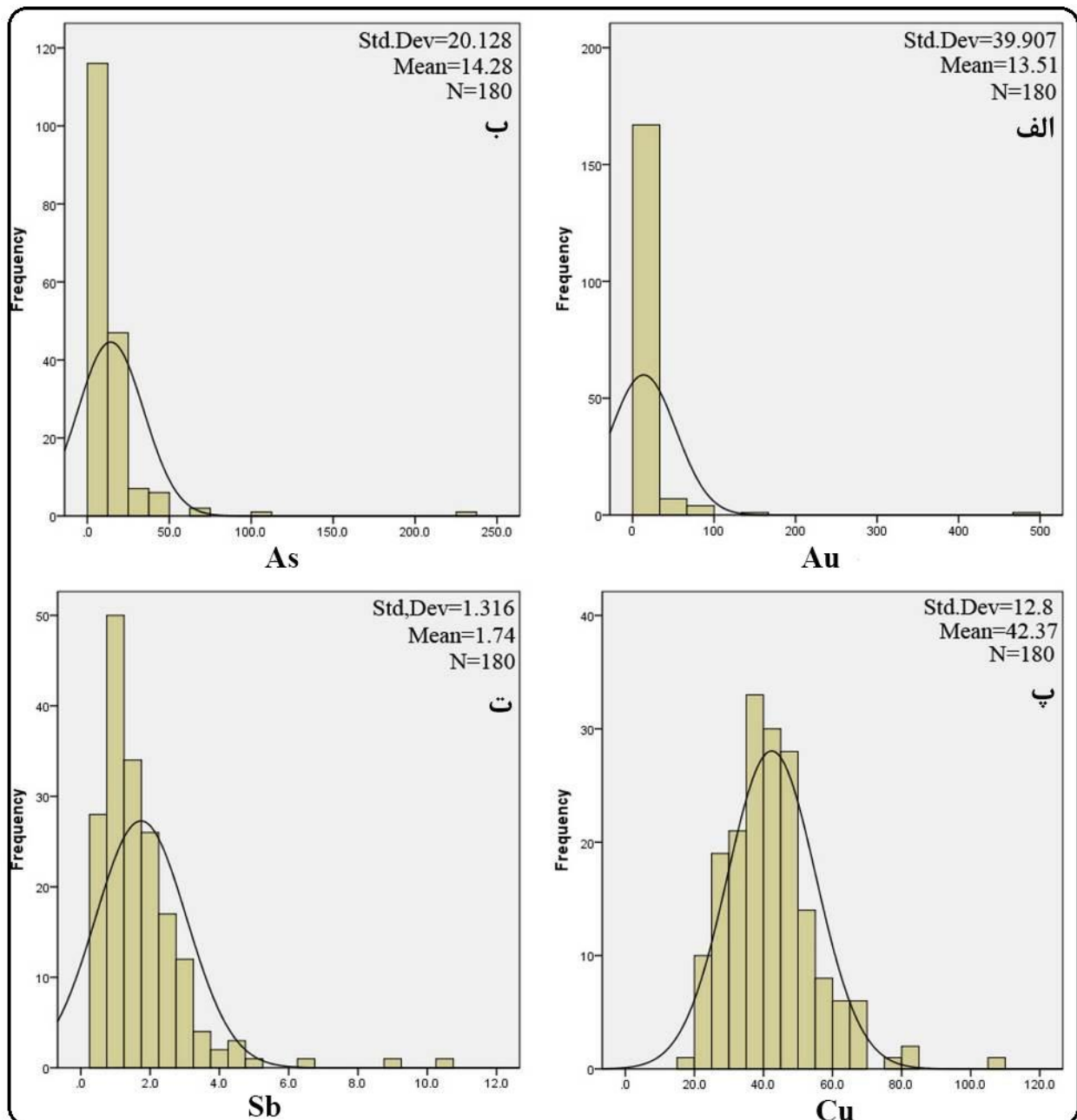
۴-۳- محاسبات آماری داده‌های خام و نرمال عناصر

اولین گام در شناخت خصوصیات یافته‌های اکتشافی، محاسبه پارامترهای آماری یافته‌ها نظیر میانگین، انحراف معیار، واریانس و کشفی می‌باشد. پس از کنترل دقت آزمایش و تخمین مقادیر سنسورد، پارامترهای آماری، هیستوگرام‌های فراوانی و پراکندگی غلظت در کل جامعه آماری برای چهار عنصر انتخابی بر اساس داده‌های خام تهیه گردید که در جدول ۱ و شکل ۴ ارائه شده است. در هیستوگرام‌های فراوانی (شکل ۴)، محور X معرف کلاسه عیار داده‌ها و محور Y نمایانگر فراوانی هر کدام از این کلاسه‌ها است (Rollinson, 1993). با مشاهده هیستوگرام‌ها چنین بر می‌آید که بیشترین فراوانی‌های غلظت مربوط به مقادیر کم است و بجز عنصر مس، عناصر دیگر چولگی مثبت نشان می‌دهند. همچنین بیشترین کج‌شدگی مربوط به عنصر طلا و بیشترین کشفی‌گی مربوط به عنصر آرسنیک می‌باشد (شکل ۴).

در عملیات اکتشاف ژئوشیمیایی به دلیل عدم تناسب بین حد حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری و غلظت عناصر، گاه بخشی از یافته‌ها به صورت اعدادی کوچکتر و یا بزرگتر از یک مقدار معین که همان حد قابل ثبت دستگاه است، گزارش می‌شوند که اصطلاحاً به آنها، یافته‌های سنسورد گفته می‌شود. تکنیک‌های آماری موجود این امکان را فراهم می‌کنند که چنانچه فقط بخشی از یافته‌های مربوط به یک عنصر خارج از حدود سنسورد باشد بتوان در مورد توزیع این گونه یافته‌ها تخمین‌های لازم را به عمل آورد. این تخمین‌ها خصوصاً در مورد میانگین توزیع مقادیر زیر حد سنسورد الزامی است. در این مقاله از بین ۴ عنصر انتخابی فقط عنصر طلا دارای مقادیر سنسورد بود و از آنجایی که تعداد یافته‌های سنسورد این عنصر کمتر از ۱۰ درصد یافته‌ها بود، روش جایگزینی ساده استفاده گردید که شامل جایگزینی داده‌های سنسورد پایین‌تر از حد حساسیت با سه چهارم حد حساسیت دستگاهی می‌باشد. حد حساسیت دستگاهی برای عنصر طلا ۱ ppb بود، لذا برای یافته‌های سنسورد طلا، مقدار ۰/۷۵ ppb

جدول ۱- محاسبه پارامترهای آماری داده‌های خام و نرمال عناصر مورد مطالعه در منطقه تیکمه‌داش

داده‌های نرمال				داده‌های خام				پارامترها
Cu	Au	As	Sb	Cu	Au	As	Sb	عناصر
۱۷۹	۱۷۰	۱۷۵	۱۷۷	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	کل
۱	۱۰	۵	۳	۰	۰	۰	۰	تعداد نمونه‌ها
۳/۶۹	۱/۴۶	۲/۷	۰/۳۳	۴۲/۳۷	۱۳/۵۱	۱۴/۲۴	۱/۷۳	حذف شده
۳/۷۱	۱/۳۸	۲/۲۹	۰/۲۶	۴۰/۹۵	۴	۱۰/۳۰	۱/۳۰	میانگین
۳/۸۱	۰/۶۹	۱/۷۲	-۰/۵۱	۴۵/۳	۲	۵/۶	۰/۶	میانه
۰/۲۸	۱/۰۹	۰/۶۱	۰/۵۵	۱۲/۷۹	۳۹/۹	۲۰/۱۲	۱/۳۱	مد
۰/۰۸	۱/۱۹	۰/۳۸	۰/۳۰	۱۶۳/۸۳	۱۵۹۲/۵۵	۴۰۵/۰۸	۳/۷۳	انحراف معیار
-۰/۰۹	-۰/۰۸	۰/۳۵	۰/۱۲	۱/۱۹	۹/۸۴۰	۷/۲۹	۳/۲۵	واریانس
۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸۱	۰/۱۸	۰/۱۸۱	کج‌شدگی
-۰/۱۳	-۰/۳۷	-۰/۰۶	-۰/۷۳	۳/۲۰	۱۱۳/۳۹	۶۹/۴۰	۱۶/۲۹	خطای کج‌شدگی
۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶۰	۰/۳۶	۰/۳۶	کشفی‌گی
۲/۹۹	-۰/۷۷	۱/۰۶	-۰/۶۹	۱۹/۹	۰	۲/۹	۰/۵	خطای کشفی‌گی
۴/۴۳	۳/۷۱	۳/۸۰	۱/۵۸	۱۰۵	۴۸۸	۲۲۵	۱۰/۷	حدافل
۶۶۲/۰۹	۲۴۸/۴۶	۳۹۷/۴۹	۵۸/۵۴	۷۶۲۷/۵	۲۴۳۲	۲۵۶۹/۷	۳۱۲/۹	حداکثر
								مجموع



شکل ۴- هیستوگرام فراوانی عناصر مورد مطالعه در رسوبات آبراه‌های منطقه تیکمه‌دش بر اساس داده‌های خام. الف: طلا، ب: آرسنیک، پ: مس، ت: آنتیمون

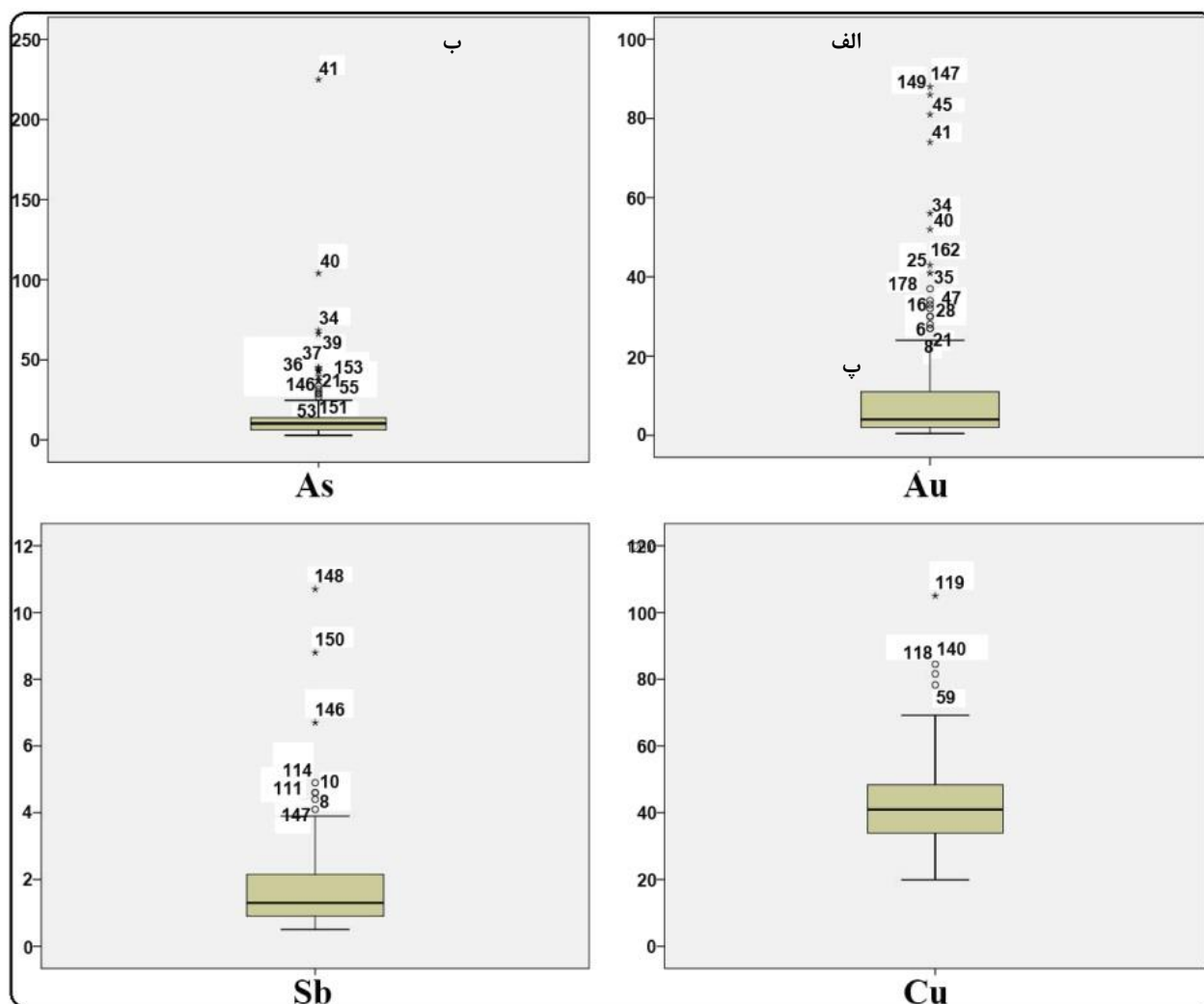
۴-۴- پردازش و نرمال‌سازی داده‌ها

با توجه به استفاده از روش آماری جهت مطالعه داده‌های منطقه مورد مطالعه، فرایندهای حذف مقادیر خارج از ردیف و تهیه تابع لاگ‌نرمال صورت گرفت که شرح آن به ترتیب خواهد آمد.

الف) حذف مقادیر خارج از ردیف

در بررسی‌های آماری به مقادیری که به طور معنی‌داری نسبت به سایر

مقادیر اختلاف دارند مقادیر خارج از ردیف می‌گویند. این مقادیر گاهی به دلیل وجود خطاهای تجربی (مانند خطای آنالیز) در یافته‌ها وارد می‌شوند. ولی گاهی هم به دلیل ناهماهنگی‌های موجود در خود جامعه یافته‌های اکتشافی به وجود می‌آیند. برای مثال در یافته‌های اکتشافی ناحیه‌ای و نیمه‌تفصیلی، مقادیر ناهنجاری در این رده قرار می‌گیرند. پرواضح است که چنین توزیع‌هایی را نمی‌توان توزیع نرمال در نظر گرفت. در این پژوهش جهت شناسایی مقادیر خارج از ردیف و حذف آنها از روش نمودار جعبه‌ای (Box Plot) استفاده شد (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰)، (شکل ۵).



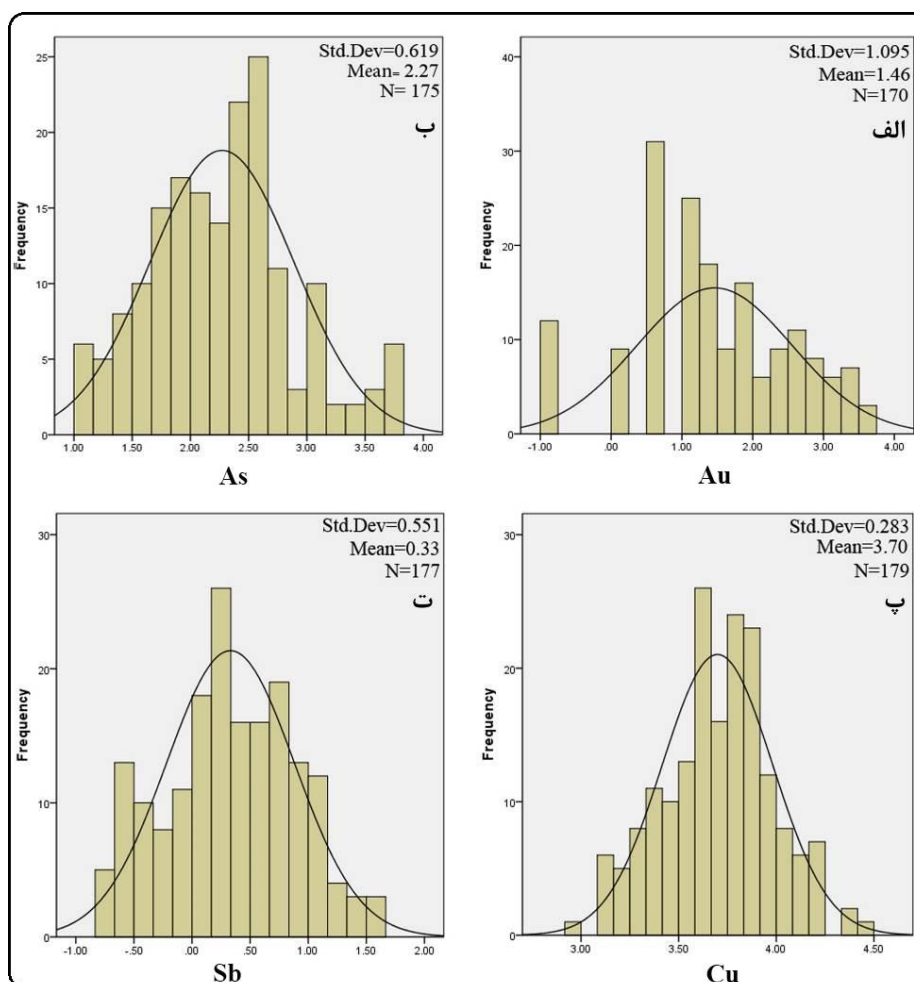
شکل ۵- نمودار جعبه‌ای عناصر مورد مطالعه در رسوبات آبراهه‌ای منطقه تیکمه‌داش: الف: طلا، ب: آرسنیک، پ: مس، ت: آنتیموان

ب) تهیه تابع لاگ نرمال

تبدیل لگاریتمی صورت گرفته و پارامترهای آماری و هیستوگرام‌های فراوانی برای حالت نرمالیزه شده تهیه گردیدند (جدول ۱ و شکل ۶). با بررسی این هیستوگرام‌ها می‌توان تابع توزیع، وجود یا عدم وجود چولگی و ناهنجاری‌های ارزشمند را مشخص کرد.

در توزیع لاگ‌نرمال با چولگی مثبت، رابطه سه پارمتر میانگین، میانه و مد به صورت روبرو است (مقدار مد > مقدار میانه > مقدار میانگین). در حالتی که بزرگی این کمیت‌ها نسبت به یکدیگر برعکس شود توزیع لاگ‌نرمال با چولگی منفی خواهد بود (Beus and Grigorian, 1977). بنابراین عناصر طلا، آرسنیک و آنتیموان چولگی مثبت نشان می‌دهند.

پس از تعیین مقادیر خارج از ردیف و حذف آنها، جامعه آماری تا حدود زیادی به نرمال نزدیک می‌گردد ولی هنوز تا نرمال شدن به شکل واقعی فاصله زیادی دارد. اکثر روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را به همراه دارند، در حالیکه در مسائل اکتشافی با داده‌هایی سروکار داریم که کمتر اتفاق می‌افتد شرایط نرمال را داشته باشند. با توجه به مطالب فوق‌الذکر، برای نزدیک کردن توزیع داده‌های نرمال از تبدیل لگاریتم طبیعی استفاده می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). در این پژوهش نیز



شکل ۶- هیستوگرام فراوانی عناصر مورد مطالعه در رسوبات آبراهه‌ای منطقه تیکمه‌داش بر اساس داده‌های نرمالیزه شده. الف: طلا، ب: آرسنیک، پ: مس، ت: آنتیموان

۴-۵- تعیین ضریب همبستگی عناصر

آنتیموان با مقدار ۰/۵۲ است. برای محاسبه ضریب همبستگی اسپیرمن از داده‌های خام استفاده می‌گردد و همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود بیشترین همبستگی بین عناصر مس- آنتیموان و مس- آرسنیک وجود دارد. همچنین همبستگی مثبت نسبتاً قوی بین عناصر آنتیموان و آرسنیک وجود دارد (جدول ۲). لذا با در نظر گرفتن همبستگی مثبت بین عنصر آنتیموان با مس، طلا و آرسنیک، این عنصر می‌تواند به عنوان عنصر ردیاب کانی‌سازی‌های مس و طلا در منطقه عمل نماید.

برای محاسبه ضریب همبستگی پیرسون حتماً باید داده‌ها نرمال باشند و سپس ضرایب همبستگی محاسبه شوند (Wellmer, 1997). به همین دلیل ابتدا داده‌های خام را نرمال کرده و ضرایب همبستگی پیرسون آنها را بدست آوردیم. بر این اساس، بیشترین ضریب همبستگی برای داده‌های نرمال به ترتیب بین عناصر مس و آنتیموان با مقدار ۰/۵۷ و عناصر طلا و

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن عناصر نامبرده در منطقه تیکمه‌داش

همبستگی پیرسون					همبستگی اسپیرمن				
عناصر	Au	As	Cu	Sb	عناصر	Au	As	Cu	Sb
Au	۱	-۰/۱۳	-۰/۱۱	-۰/۵۲	Au	۱	-۰/۳۳	-۰/۲۹	-۰/۱۸
As	-۰/۱۳	۱	-۰/۳۵	-۰/۲۶	As	-۰/۳۳	۱	-۰/۵۷	-۰/۵۳
Cu	-۰/۱۱	-۰/۳۵	۱	-۰/۵۷	Cu	-۰/۲۹	-۰/۵۷	۱	-۰/۵۸
Sb	-۰/۵۲	-۰/۲۶	-۰/۵۷	۱	Sb	-۰/۱۸	-۰/۵۳	-۰/۵۸	۱

۴-۶- تعیین مقادیر زمینه، حد آستانه‌ای و ناهنجاری

$\text{Mean}+2\text{Sd}$ <. درجات آنومالی با استفاده از میانه و انحراف معیار داده‌های نرمال محاسبه می‌شوند، به این ترتیب که مقادیر بیشتر از $X+3\text{S}$ به عنوان ناهنجاری درجه یک و مقادیر بین $X+2\text{S}$ و $X+3\text{S}$ به عنوان ناهنجاری درجه دو در نظر گرفته می‌شوند (حسینی‌پاک، ۱۳۸۰). (جدول ۳).

برای محاسبه و تعیین مقادیر زمینه، آستانه و آنومالی روش‌های گوناگونی وجود دارد که همگی بر پایه‌ی پیش‌فرض نرمال بودن داده‌ها قرار دارند. مقادیر زمینه، حد آستانه‌ای و آنومالی به صورت زیر محاسبه شدند: مقدار زمینه = $\text{Mean}+\text{Sd}$ <، حد آستانه‌ای $\text{Mean}+2\text{Sd}$ و آنومالی

جدول ۳- تعیین مقادیر زمینه، حد آستانه و ناهنجاری عناصر Au, Cu, As, Sb در رسوبات آبراهه‌ای تیکمه‌دش

عناصر	Au(ppb)	Cu(ppm)	As(ppm)	Sb(ppm)
S	۸/۳۲	۱۱/۹۴	۸/۷۰	۰/۹۳
Median	۴	۴۰/۹	۹/۹	۱/۳
X+S	۱۲/۳۴	۵۲/۸۴	۱۸/۶۰	۲/۲۳
X+2S	۲۰/۶۸	۶۴/۷۸	۲۷/۳۱	۳/۱۶
X+3S	۲۹/۰۲	۷۶/۷۲	۳۶/۰۲	۴/۰۹

نزولی می‌باشد. اعداد مربوط به رتبه هر یک از نمونه‌ها و متغیرها براساس رتبه‌های معادل ۳، ۲، ۱ و ۰ به ترتیب برای کانی‌سازی کانساری، کانی‌سازی غنی شده و کانی‌سازی پراکنده و عقیم هر یک از عناصر در نمونه‌ها محاسبه گردید. اعداد حدی مربوطه به پیشنهاد (Ginsburg, 1960) می‌باشد (جدول ۴). بر اساس مقادیر حدی ارائه شده در جدول ۴ برای انواع مختلف کانی‌سازی، و با توجه به مقادیر میانگین و حداکثر غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای، آنتیموان کانی‌سازی عقیم، آرسنیک و مس کانی‌سازی عقیم تا پراکنده، و طلا، کانی‌سازی غنی شده دارد.

۴-۷- فاز کنترل ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی

در مرحله کنترل صحرایی، با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه، تعداد ۲۷ نمونه از آثار مینرالیزه و دگرسان از مجموع ۱۱ محل برداشت شده و مورد آنالیز ICP-OES قرار گرفتند. آنالیز نمونه‌های مینرالیزه از آن جهت که عناصر کانساری را برحسب پتانسیل کانی‌سازی آنها رتبه‌بندی می‌کند حائز اهمیت است. بنابراین مطالعه این نتایج در تکمیل نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی و نهایتاً معرفی زون‌های ناهنجار نهایی کمک شایان توجهی می‌کند. رتبه‌بندی نمونه‌ها برحسب اهمیت اکتشافی آنها و به طور

جدول ۴- مقادیر حدی انواع کانی‌سازی برای عناصر مختلف (Ginsburg, 1960)

عناصر	کانی‌سازی عقیم	کانی‌سازی پراکنده	کانی‌سازی غنی شده	کانی‌سازی کانساری
As (ppm)	--	۳۰۰-۶۰۰	۷۰۰-۱۰۰۰	> ۱۰۰۰
Au (ppb)	--	--	> ۱۰	--
Cu (ppm)	< ۶۰	۷۰-۶۰۰	۷۰۰-۳۰۰۰	> ۳۰۰۰
Sb (ppm)	--	۱۰۰-۳۰۰	۴۰۰-۱۰۰۰	> ۱۰۰۰

۴-۸- رسم نقشه‌های کنتور ایزوشیمیایی

مشخصات سنگ‌شناختی و دگرسانی و نمونه‌های مینرالیزه با غلظت بالا در هر یک به شرح زیر است:

زون شماره ۱: این ناهنجاری در بخش شمال شرقی محدوده مورد مطالعه و در شمال و جنوب روستای قزل‌احمد واقع است (شکل ۸). عناصر ناهنجار در این منطقه طلا و آنتیموان می‌باشند. سنگ‌های موجود در بالادست آن عمدتاً شامل سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و داسیتی و کمتر، آلکالی بازالتی ائوسن بوده که در داخل این سنگ‌ها، توده‌های آلکالی گرانیتی، کوارتز مونزونیتی و آپلیت-ریولیتی الیگوسن جایگیری کرده‌اند. همچنین دگرسانی‌های پروپیلیتی، آرژیلیتی، هماتیتی و لیمونیتی در این واحدها مشهود هستند که به احتمال زیاد، از سیالات گرمابی توده‌های

بر اساس نتایج محاسبات مقدار زمینه، حد آستانه و ناهنجاری (جدول ۲) نقشه‌های کنتور ایزوشیمیایی برای هر یک از عناصر انتخابی در محدوده مورد مطالعه رسم گردید (شکل ۷). در این نقشه‌ها مقادیر خارج از رده که از طریق نمودار جعبه‌ای مشخص شده بودند، به عنوان نمونه‌های دارای ناهنجاری درجه یک منظور گردیدند (حسینی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). همچنین نقشه تلفیقی ناهنجاری درجه یک در رسوبات آبراهه‌ای برای عناصر مورد نظر رسم شد (شکل ۸). بر این اساس، چهار زون ناهنجار در محدوده مطالعاتی تیکمه‌دش شناسایی شدند که نوع عناصر ناهنجار،

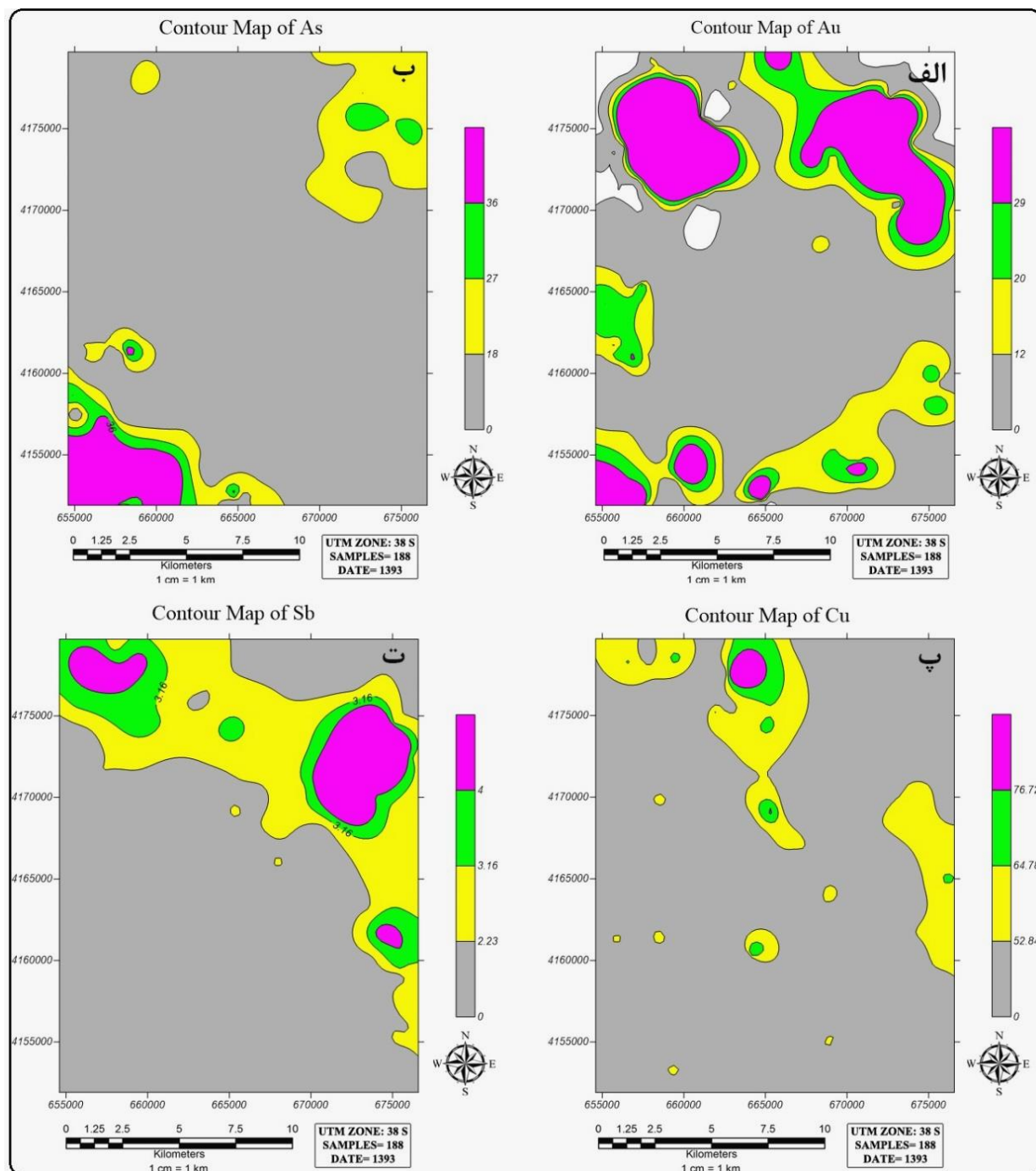
نفوذی حاصل شده‌اند. بنابراین کانی‌سازی را می‌توان به این واحدهای نفوذی اسیدی نسبت داد. همچنین از ناحیه فوق ۱۴ نمونه مینرالیزه برداشت شده است که عناصر ناهنجار آنها در جدول ۵ ذکر شده‌اند.

زون شماره ۲: این ناهنجاری در گوشه شمال غربی محدوده مورد مطالعه واقع است. در این منطقه عناصر طلا، مس و آنتیموان دارای ناهنجاری می‌باشند. مهمترین سنگ‌های موجود در بالادست آن شامل نفوذی‌های گرانیتی-گرانودیوریتی، کوارتز مونزونیتی و دیوریتی-گابرویی به سن الیگوسن هستند که آثار دگرسانی‌های آرژیلیتی و نیز لیمونیتی حاصل از اکسیدایش کانه‌های سولفیدی در واحدهای فلسیک تا حدواسط مشاهده می‌شود. از این رو، ناهنجاری‌های مشاهده شده در این زون را می‌توان به سنگ‌های نفوذی اسیدی تا حدواسط بالادست نسبت داد. همچنین ۵ نمونه مینرالیزه از این زون برداشت شده است که ناهنجاری‌های فوق‌الذکر در آنها مشاهده می‌شود (جدول ۵).

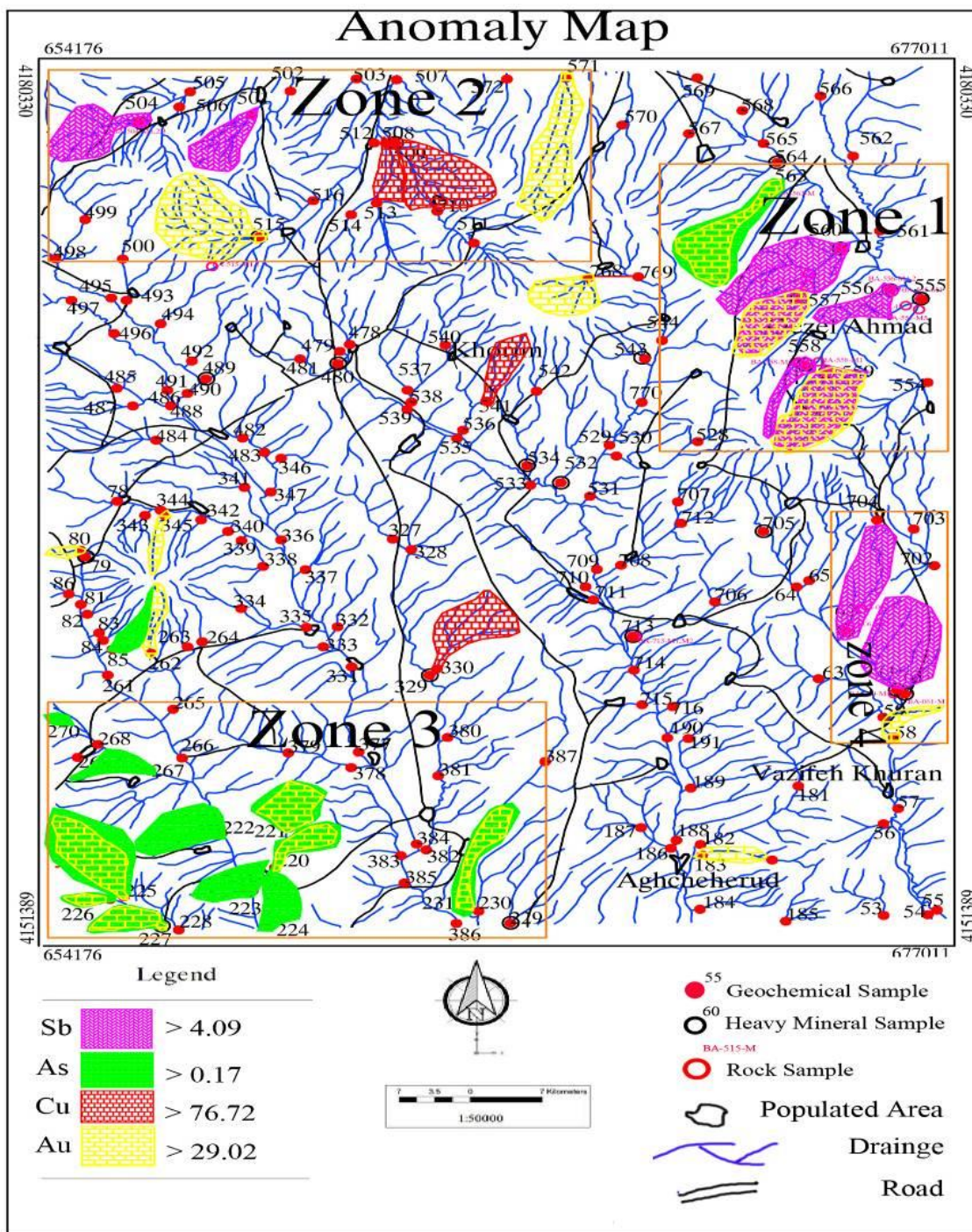
زون شماره ۳: این ناهنجاری در گوشه جنوب غربی محدوده مورد مطالعه واقع است. عناصر ناهنجار در این منطقه آرسنیک و طلا هستند.

جدول ۵- شرح نمونه‌های مینرالیزه برداشت شده از زون‌های ناهنجاری

شماره نمونه	مختصات جغرافیایی	لیتولوژی	دگرسانی	عناصر ناهنجار
BA-555-M1	۴۱۷۲۰۲۷	توف، آندزیت	لیمونیتی، آرژیلیتی	Mn, Cu
BA-555-M2	۴۱۷۲۰۲۷	توف، آندزیت	لیمونیتی، آرژیلیتی	Au, Cu, Mn, Sb, Mo
BA-555-M3	۴۱۷۲۰۹۷	توف، آندزیت	لیمونیتی، آرژیلیتی	Ag, Au, Cu, Pb, Mo
BA-555-M4	۴۱۷۲۱۴۱	توف، آندزیت	لیمونیتی، آرژیلیتی	Au, Mn, Mo
BA-555-M5	۴۱۷۲۱۰۱	توف، آندزیت	لیمونیتی، آرژیلیتی	Ag, Mn, As, Au, Mo
BA-556-M1	۴۱۷۲۸۰۸	توف، آندزیت، ریولیت	پروپیلیتی، آرژیلیتی	Sb, Au, Ba
BA-556-M2	۴۱۷۲۷۸۱	توف، آندزیت، ریولیت	پروپیلیتی، آرژیلیتی	Ag, Cu, Mn, Pb, Zn
BA-558-M1	۴۱۷۰۴۴۱	بازالت، آندزیت	-	Au, Sb, Cu, Mn, Pb, zn
BA-558-M2	۴۱۷۰۴۴۲	بازالت، آندزیت	-	Ag, As, Au
BA-560-M1	۴۱۷۲۹۴۳	گرانیت، آندزیت، کنگلومرا	-	Sb, Ag, Ba, Co, Cu, Mn, Mo, Zn
BA-560-M2	۴۱۷۲۳۱۶	گرانیت، آندزیت، کنگلومرا	-	Mn, Cu
BA-560-M3	۴۱۷۲۳۱۶	گرانیت، آندزیت، کنگلومرا	-	Mn, Cu
BA-560-M4	۴۱۷۲۳۱۶	گرانیت، آندزیت، کنگلومرا	-	Mn, Au
BA-560-M5	۴۱۷۵۹۹۲	کنگلومرا، پومیس	-	Sb, Cu, Mn
BA-515-M1	۴۱۷۳۵۴۴	آندزیت، بازالت، گرانیت	لیمونیتی، آرژیلیتی	-
BA-515-M2	۴۱۷۳۵۴۴	آندزیت، بازالت، گرانیت	لیمونیتی، آرژیلیتی	Au, Sb
BA-504M1	۴۱۷۸۲۸۸	گرانیت، آندزیت	-	Cu, Mn
BA-504M2	۴۱۷۸۲۸۸	گرانیت، آندزیت	-	Cu, Mn
BA-504M3	۴۱۷۸۲۳۳	گرانیت، آندزیت	-	Cu, Mn
BA-60-M	۴۱۵۹۶۱۲	پومیس، کنگلومرا	-	Sb, Au, Li, Cu
BA-61-M	۴۱۵۹۶۸۲	پومیس، کنگلومرا	-	Ba, Zn, Cu
BA-62-M1	۴۱۶۲۳۶۹	پومیس، کنگلومرا	-	Sb, Cu, Mn
BA-62-M2	۴۱۶۲۳۶۹	پومیس، کنگلومرا	-	Au, Ba, Sb, Mn
BA-62-M3	۴۱۶۱۸۲۴	پومیس، کنگلومرا	-	-



شکل ۷- نقشه‌های کنتور ایزوشیمیایی عناصر مورد مطالعه در منطقه تیکمه‌داش. الف: طلا، ب: آرسنیک، پ: مس، ت: آنتیموان. مقادیر نشان داده شده برحسب ppm هستند



شکل ۸- نقشه ناهنجاری رسوب آبراهه‌های عناصر طلا، آرسنیک، مس و آنتیموان در منطقه تیکمه‌داس

نتیجه گیری

با آنتیموان، معمولاً همراهی خوبی بین این عناصر در زون‌های ناهنجار مشاهده می‌شود. از طرف دیگر، با توجه به همبستگی مثبت آنتیموان با مس و طلا، می‌توان از آن بعنوان عنصر ردیاب جهت اکتشاف طلا و مس در این محدوده استفاده نمود. کنترل ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی از طریق مطالعه نمونه‌های مینرالیزه‌ی دگرسانی شده صورت گرفت و اهمیت اکتشافی آنها رتبه‌بندی شد.

بررسی‌های آماری توزیع ژئوشیمیایی عناصر در رسوبات آبراهه‌ای ورقه ۱:۵۰۰۰۰ تیکمه‌داس نشان می‌دهد که ۴ زون ناهنجار برای عناصر انتخابی مس، طلا، آرسنیک و آنتیموان در محدوده مورد مطالعه وجود دارند که با توجه به همبستگی‌های مثبت بین عناصر مس و طلا با آنتیموان و آرسنیک

لشگری م.، ۱۳۸۹، "اکتشافات ژئوشیمیایی با استفاده از رسوبات آبراهه‌ای در منطقه جلده‌باخان سراب" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۲۰ صفحه.

نبوی م. ح.، ۱۳۵۵، "دیاچهای بر زمین‌شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ صفحه.

Beus, A. A., Grigorian S.V., 1977, "Geochemical exploration methods for mineral deposits", *Wilmette, Illinois, Applied Publishing Ltd, P.287.*

Bolviken, B., Stokke P. R., Feder J., Jössang T., 1992, "The fractal nature of geochemical landscapes", *Journal of Geochemical Exploration 43, P.91-109.*

Gisburg, I. I., 1960, "Principles of Geochemical Prospecting", *Pergamon, New York, P.311.*

Levinson, A. A., 1980, "Introduction to Exploration Geochemistry", *Applied publishing Ltd., Wilmette, Illinois P.924.*

Reimann, C., Filzmoser P., Garrett G. R., 2005, "Background and threshold: critical comparison of methods of determination", *Science of the Total Environment 346, P.1-16.*

Rollinson, H. R., 1993, "Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation", *Longman, P. 352.*

Thompson, M., Howarth R.J., 1978, "A new approach to the estimation of analytical precision", *Journal of Geochemical Exploration 9, P.23-30.*

Wellmer, F.W., 1997, "Statistical evaluations in exploration for mineral deposits", *Springer-Verlag, New York, P.379.*

Xie, X., 1997, "Geochemistry Proceedings of the 30th International Geological Congress", *Geochemistry: Utrecht, the Netherlands, Tokyo, Japan, V.19, P.287.*

بررسی واحدهای سنگی موجود در زون‌های ناهنجار محدوده مورد مطالعه و خصوصاً زون‌های شماره ۱ و ۲ که حاوی ناهنجاری‌های اصلی هر ۴ عنصر انتخابی هستند، حاکی از نقش غالب توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی، بخصوص آلکالی گرانیت‌ها در ایجاد این ناهنجاری‌هاست و کنترل‌های صحرایی نیز نشانگر وجود آثار شکستگی، دگرسانی گرمایی و رگه‌های سیلیسی در این واحدهاست که می‌توانند منشائی برای عناصر ناهنجار و شاهدهی بر کانی‌سازی باشند.

تقدیر و تشکر

از مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز برای حمایت از این پژوهش و نیز سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به جهت تجزیه نمونه‌ها قدردانی می‌گردد.

مراجع

آقاباتی ع. ا.، ۱۳۸۲، "زمین‌شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.

بهریزی آ.، امینی‌فضل آ.، امینی‌آذر، ۱۳۷۶، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ بستان‌آباد" گزارش زمین‌شناسی بستان‌آباد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حسینی‌پاک ع. ا.، ۱۳۹۱، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی" انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۵ صفحه.

حسینی‌پاک ع. ا.، شرف‌الدین م.، ۱۳۸۰، "تحلیل داده‌های اکتشافی" انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ صفحه.