

تحلیل ژئوشیمیایی نمونه‌های شورابه‌ای جهت اکتشاف کانی‌سازی بورات در جنوب سبزوار

مهدی بمانی^{*}، سیدحسین مجتهدزاده و امیرحسین کوهساری

گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

دریافت: 1392/4/7، پذیرش: 1393/9/17

چکیده

منطقه مورد پژوهش در 50 کیلومتری جنوب سبزوار واقع شده است. در این منطقه اثراتی از کانیهای بورات دیده می‌شود. اندیس بور محمدآباد عریان، تنها اندیس بورات شمال شرق ایران است و در واحدهای سنگی مارن کرم‌رنگ، مارن توفی و ولکانیک برش و توف برش قرار گرفته است. دو گسل از نوع راندگی یا معکوس، محدوده کانسار را در بر می‌گیرند و دارای امتداد NE-SW هستند. می‌توان گفت: این گسلها به‌عنوان معبری برای محلولهای سازنده کانسار و همچنین ایجادکننده فضاهای لازم برای جای‌گزینی کانسار عمل کرده‌اند. بررسیهای صورت‌گرفته در ترانشه‌های حفر شده در منطقه نشان می‌دهد؛ که از سطح به عمق از شدت کانی‌سازی کم می‌شود. وسعت محدوده مورد بررسی، در ابتدا بیش از 600 کیلومتر مربع بوده است؛ که بعد از انجام بررسیهای دورسنجی، زمین‌شناسی، ساختاری و تلفیق این لایه‌های اطلاعاتی، مناطق امیدبخش کانی‌سازی بوراتها تعیین و این منطقه محدودتر شد. برای انجام بررسیهای مفصل‌تر، بررسیها و پژوهشهای صحرایی صورت گرفت و تعداد 9 پیمایش انجام شد. در هر یک از پیمایشها، واحدهای زمین‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت و در مناطقی که چشمه‌های هیدروترمالی وجود داشت، نمونه‌های شورابه‌ای برداشت شد. سرانجام، منطقه مورد بررسی با توجه به محل برداشت نمونه‌ها به دو منطقه توناکار و برج خارکن محدود و بررسیها و تجزیه و تحلیل آماری داده‌های ژئوشیمیایی روی این دو منطقه انجام شد. مجموعه نمونه‌های برداشت شده از منطقه، بعد از آنالیز با استفاده از روشهای آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، برای تعیین مقدار حد آستانه نمونه‌ها و جداسازی میزان زمینه از آنومالی، از روشهای آماری کلاسیک، هندسه فرکتال و EDA و Median+2MAD استفاده شد. با استفاده از هر روش مناطق آنومالی برای انجام بررسیهای تفصیلی‌تر، تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: آمار کلاسیک، هندسه فرکتال، EDA، Median+2MAD، نمونه‌های شورابه‌ای، اندیس بور محمدآباد عریان

مقدمه

کانسارهای بور از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردارند و مصارف گوناگونی در صنعت و کشاورزی و ... دارند. برخی ذخایر بور در ایران شناسایی شده‌اند؛ که اندیس بور محمدآباد عریان، تنها اندیس شناسایی‌شده در شمال شرق ایران است. در گذشته‌های نه چندان دور که قدمت آن شاید به بیش از 50 سال پیش باز گردد؛ در منطقه‌ای به نام محمدآباد عریان و در ناحیه‌ای به نام پشت قرمز و توناکار آثار و شواهدی از دستیابی و فرآوری بوراکس دیده شده است؛ که به نظر

می‌رسد به نوعی با کانسار بوراکس در پیوند باشد (Bemani, 2012).

عنصر بور، در طبیعت نسبتاً کمیاب است و به علت میل شدید آن برای اکسیدشدن به‌طور آزاد پیدا نمی‌شود. این عنصر دارای قدرت احیاکنندگی بسیار قوی و به علت پتانسیل یونی بالا، دارای تحرک ژئوشیمیایی زیادی است و بدین جهت در حین تبلور ماگما در سیالات باقی‌مانده همراه با یون‌های Li, Be, Rb, Cs, REE, U, Nb, Ge و غیره، تمرکز می‌یابد. به‌دلیل پتانسیل یونی بالا، در محلول، کمپلکس‌هایی با پایداری زیاد می‌سازد و از این‌رو قدرت تحرک زیادی در

ندارد، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها روی این دو منطقه به صورت جداگانه انجام شد. هدف از بررسی‌های ژئوشیمیایی در این پژوهش، تعیین مناطق مناسب، برای انجام کارهای اکتشافی مانند حفر ترانشه و گمانه اکتشافی بود. در این پژوهش، بررسی‌های ژئوشیمیایی انجام شده، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی، در 50 کیلومتری جنوب سبزوار واقع شده است. مهمترین راههای ارتباطی منطقه، جاده قدیم بردسکن به سبزوار است (شکل 1). در این منطقه در نقاط مختلفی به صورت پراکنده چشمه‌ها و آثاری از کانی‌سازی بور دیده شده است؛ که از جمله آنها می‌توان مناطق توناکار، برج خارکن، چاه تاجی، چشمه پهن آب، دوچاهی، پشت قرمز و چاه شور را نام برد.

زمین‌شناسی و نحوه تشکیل کانسار

قسمتی از محدوده مورد بررسی در نقشه زمین‌شناسی 1:100000 دارین و قسمتی از آن در نقشه زمین‌شناسی 1:100000 شش‌شتم در زون سبزوار که بخشی از زون ساختاری بزرگ ایران مرکزی است، قرار دارد. در شکل 2، نقشه زمین‌شناسی بخشی از منطقه مورد بررسی، نشان داده شده است. مهمترین واحدهای سنگ‌شناسی منطقه مورد بررسی، واحدهای کرتاسه، آئوسن و میوسن هستند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی (شکل 2) مهمترین واحدهای مربوط به دوره کرتاسه در منطقه شامل نهشته‌های مربوط به بخش رسوبی سری افیولیتی، تناوب توف و آندزیت، سنگ‌آهکهای خاکستری روشن تا صورتی، سنگ‌آهک، مارن‌های خاکستری و مارن آهکی، رخساره‌های آذرآواری و سنگهای آتشفشانی هستند. از مهمترین واحدهای دوره آئوسن، می‌توان به مارن، توف، ماسه‌سنگ شبه فلیشی، میکروکنگلومرا تا کنگلومرا و آهک ضخیم لایه اشاره کرد. مهمترین واحدهای دوره میوسن را نیز مارن‌های قهوه‌ای گچ‌دار و تناوبی از مارن‌های قرمز - قهوه‌ای با ماسه سنگهای قرمز و لایه‌های گچی تشکیل می‌دهند (Bemani, 2012).

با توجه به حضور گوگرد در منطقه مورد بررسی (علاوه بر این که در پژوهشهای میدانی و مشاهدات صحرائی دیده شده،

محیطهای سوپرژن اکسیک دارد. در این محیطها تغییرات شدید اسیدیته (از 3 تا 8) نیز باعث خروج آن از محلول نمی‌شود و وجود شرایط احیایی برای نهشته‌شدن کانیهای آن ضروری است (Oi et al., 1989).

میزان لیتیم در کانیهای رسی همراه با کانسارهای بور هم‌زاد از نوع برون‌دمی رسوبی بالا بوده و بیش از 0/03 درصد است (Orti and Alonso, 2000). اصولاً تمرکزهای مهم بور همراه با رخساره‌های احیایی است و در کانی‌سازی بورات‌ها، وجود شرایط احیایی ضروری است (Gasca et al., 1998). وجود ژیبس و انیدریت همراه با کانیهای اولیه بور نشان‌دهنده غنی‌بودن یون سولفات در این سیالات است. با توجه به هم‌یافت کانی‌شناسی کانسارهای بور و شرایط پایداری کانیهای بور (Smith and Medrano, 1996)، حضور ادخالهایی از بلورهای اتیژن کوارتز و فلدسپات در کانیهای بور و بررسیهای دیگر انجام شده در کانسارهای بور دنیا، می‌توان pH سیالات کانی‌ساز را حدود 8 تا 9 در نظر گرفت (Alonso et al., 1988; Oi et al., 1989; You et al., 1993; Floyd et al., 1998; Palmer and Helvaci, 1995).

اندیس محمدآباد - عریان در رسوبات مارنی و کنگلومرای پلیوسن قرار دارد و همچنین، دو گسل از نوع راندگی یا معکوس، محدوده کانسار را در بر می‌گیرند که دارای امتداد NE-SW هستند. این گسلها را می‌توان به‌عنوان معبری برای محلولهای سازنده کانسار و همچنین ایجادکننده فضاهای لازم برای جای‌گزینی کانسار دانست. کانیهای تشکیل دهنده این کانسار بورات‌های آب‌دار منیزیم، منیزیم - کلسیم و کلسیم هستند که هیدروبوراسیت (بورات منیزیم - کلسیم)، مهمترین کانی کانسار است. وجود چشمه‌های معدنی فعال در اطراف این کانسار بیانگر بالا بودن گرادیان زمین‌گرایی و فعالیتهای گرمایی در ناحیه است و در فهم منشأ کانسار نیز، راهنمای مفیدی است (Bemani et al., 2011).

از محدوده مورد بررسی، تعداد 126 نمونه شورابه و 13 نمونه سنگی به‌صورت پراکنده برداشت شد. بیشتر نمونه‌ها از دو محدوده توناکار و برج خارکن گرفته شده‌اند. به‌همین دلیل، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نیز روی نمونه‌های مربوط به همین مناطق انجام شد. از محدوده توناکار، تعداد 48 نمونه شورابه‌ای و محدوده برج خارکن 56 نمونه شورابه‌ای برداشت شده است. با توجه به بررسیهای صورت گرفته و از آن‌جا که همبستگی معنی‌داری بین نمونه‌های این دو منطقه وجود

تراورتنی موجود در بالاترین افق چینه‌شناسی این ناحیه به‌صورت دگرشیب و محلی، روی جوانترین واحدهای منطقه را می‌پوشاند و در ناحیه معدنی به‌صورت کاملاً موضعی وجود دارد، در ارتباط مستقیم با این سیستم گسلی بوده و در حقیقت، در انتهای بالایی این گسل قرار گرفته است. وجود این واحد، نشانه مهمی از وجود این سلول هم‌رفتی گرمایی در گذشته و در این ناحیه است. ظاهراً، این توده تراورتنی به‌صورت هم‌زاد با توده کانسار توسط این سیستم هم‌رفتی در ناحیه معدنی به‌وجود آمده است (Bemani et al., 2014).

نمونه‌برداری صحرائی

به‌منظور انجام بررسی‌های زمین‌شناسی و نمونه‌گیری از منطقه، تعداد 9 پیمایش صحرائی در منطقه انجام شد. در این پیمایش‌ها، از چشمه‌های هیدروترمالی منطقه، تعداد 126 نمونه شورابه و از حفاریات معدنی از قبیل ترانشه‌های حفار شده در منطقه، 13 نمونه سنگی به‌صورت پراکنده برداشت شد که موقعیت نمونه‌های گرفته شده از دو منطقه توناکار و برج خارکن در شکل 2 نشان داده شده است. در این قسمت مشاهدات و یافته‌های مربوط به یکی از این پیمایش‌ها، که می‌توان گفت مهمترین پیمایش صورت گرفته در منطقه نیز هست، ارائه می‌شود.

پیمایش توناکار - برج خارکن

این پیمایش به طول 1500 متر در منطقه توناکار - برج خارکن انجام شده (شکل 2) و هدف آن بررسی‌های دقیق زمین‌شناسی، مخصوصاً در ارتباط با کانی‌سازی بور در منطقه است. از لحاظ زمین‌شناسی این پیمایش شامل تناوبی از نهشته‌های ماسه‌سنگ، مارن و مارن‌های نمک‌دار و گاهی کنگلومرا به سن ائوسن است که با مرز گسله با واحدهای قدیمی‌تر کرتاسه مجاورت دارد. واحدهای کرتاسه شامل رسوبات فلیشی و آهک و سنگهای با ترکیب آندزیت، توف، توف برشی و اسپلیت است. مرز بین رسوبات، کرتاسه - ائوسن شارپ و یک گسل معکوس است. بخش اعظم واحدهای دربرگیرنده چشمه‌های بورزا شامل مارن و مارن نمک‌دار و ماسه‌سنگ است. مارن‌ها به رنگهای تیره و روشن و بیشتر به‌صورت پف‌کرده هستند. در حوالی برج خارکن آثار کانه‌زایی بور و گوگرد آزاد دیده می‌شود. از لحاظ زمین‌شناسی این محدوده نیز شامل تناوبی از نهشته‌های ماسه‌سنگ، مارن و

در بررسی‌های کانی‌شناسی، نمونه‌های سنگی نیز مشخص شده است)، وجود عناصر با منشأ آتشفشانی یعنی S, As, Sr, Li و همچنین با توجه به پسین‌زاد¹ بودن کانسار و نیز نبود ساختمان رسوبی در منطقه، و این‌که کانی‌سازی به‌صورت متقاطع با سنگهای میزبان در امتداد گسلهای منطقه و در افقهای مختلف روی داده است، می‌توان مدل گرمایی آتشفشانی را برای آن مناسب دانست (Bemani et al., 2014). با توجه به این نکات و بررسی‌های صحرائی و ژئوشیمیایی، نحوه و مراحل تشکیل این کانسار را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

پس از نهشته‌شدن رسوبات منطقه، در طی حرکات تکتونیکی، این رسوبات چین‌خورده، گسله‌ها و شکستگی‌هایی در آنها ایجاد شده است. گسلهای با امتداد NE-SW از طرفی موجب گسترش تخلخل از نوع شکستگی در این رسوبات شده و از طرف دیگر امکان گردش سیالات جوی فرورو را در آنها فراهم آورده است. این سیالات با نزول به اعماق با توجه به گرادیان حرارتی بالای ناحیه گرم شده و با فروشست² لایه‌های توف ریوداسیتی، که به‌صورت بین لایه‌ای در واحدهای رسوبی منطقه وجود دارند، از بور غنی شده‌اند. موارد زیادی، مشابه منطقه محمدآباد عربان در دنیا گزارش شده است که از جمله آنها می‌توان به رخدادها و کانسارهای بور در نیوزیلند اشاره کرد (Bemani et al., 2014). بررسی‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوبی در سیالات گرمایی نیوزیلند نشان داده؛ بور موجود در بسیاری از این سیالات به‌وسیله فروشست سنگهای آذرین اسیدی حاصل شده است (Giggenbach, 1995). این فروشست بور از سنگهای آذرین می‌تواند حتی بدون ظهور آثار تجزیه‌ای مهم در این سنگها، غنی‌شدگی سیالات از بور را باعث شود (Slack and Coad, 1989). بدین ترتیب یک سلول از جریان هم‌رفتی گرمایی موجب چرخش سیالات با منشأ جوی در ناحیه ایجاد شده است. این سیالات غنی از بور از طریق گسلهای منطقه چرخش می‌کند و در افقهایی که این گسلها، لایه‌های رسی - مارنی را قطع می‌کنند، به‌دلیل برقراری شرایط احیایی، امکان نهشته شدن هیدروبوراسیت فراهم شده است (Bemani et al., 2014).

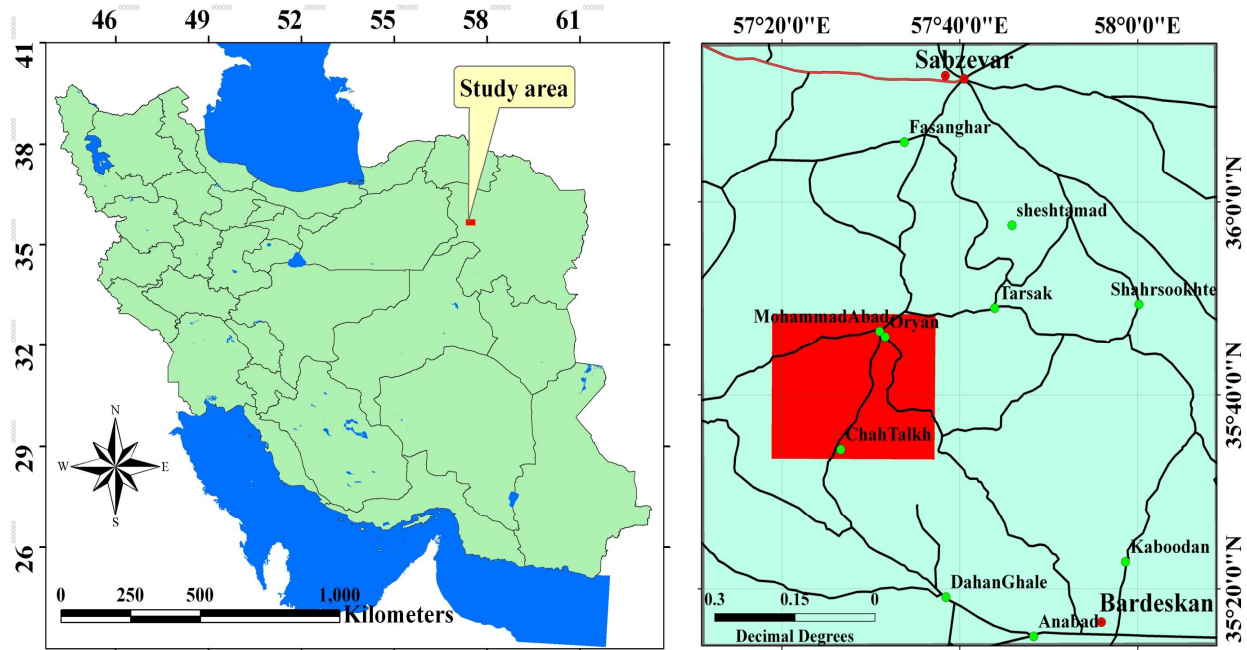
گسلهای با امتداد NE-SW نقش بسیار مهمی در ایجاد تخلخل مورد نیاز و معبری مناسب برای گردش سیالات و ایجاد سلول هم‌رفتی گرمایی در این ناحیه ایفا کرده‌اند. توده

1. Epigenetic

2. Leaching

می‌شود و پف‌کردگی زمینهای پایین‌دست چشمه‌ها در ارتباط با آبهای شور، پس از تبخیر مارن به‌صورت پف کرده می‌شود.

مارن‌های نمک‌دار و گاهی کنگلومرا به سن ائوسن و رسوبات جوانتر است. از بعضی از چشمه‌ها، بوی لجن و گوگرد بلند



شکل 1. موقعیت و نقشه راههای ارتباطی به منطقه محمدآباد عریان، منطقه مورد بررسی در شکل مشخص شده است.

Fig.1. Location and road map to Mohammad Abad Oryan, The study area is shown in the map.

نمونه‌های شورابه‌ای به‌خوبی آنومالی مثبت بور در منطقه را نشان می‌دهد که از بیشترین و کمترین مقدار بور بین 6 ppm تا 5930 ppm تغییر می‌کند و در 25 نمونه مقدار بور بیش از 1000 ppm است که همگی از محدوده توناکار برداشت شده‌اند. علاوه بر این، آنالیز نمونه‌های سنگی برداشت‌شده از منطقه نشان می‌دهد؛ که با افزایش فاصله از سنگهای مناطق با توانایی کانی‌سازی بالا (رس، مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرا) میزان بور در این لایه‌ها به‌سرعت کاهش می‌یابد. همچنین در ترانسه‌های حفر شده در منطقه از فراوانی ذرات کروی آلکسیت از سطح زمین به‌سوی عمق کاسته می‌شود.

بر اساس این پژوهش، میزان Li در بیشتر نمونه‌ها، بسیار ناچیز بوده و میانگین آن حدود 12 ppm است. با توجه به پایین بودن مقدار Li، نمی‌توان این رخداد بور را با کانسارهای بور هم‌زاد از نوع برون‌دمی رسوبی مطابق دانست (Orti and Alonso, 2000). میزان عنصر K در نمونه‌های شورابه‌ای در بازه 3 ppm تا 500 ppm متغیر است که البته مقدار این عنصر در نمونه‌های سنگی تا 3000 ppm نیز می‌رسد. بازه

اطراف چاه و دیواره دهانه چشمه‌های این منطقه از رسوبات آهکی جوان یا تراورتن پوشیده و توسط آب چشمه قرار داده شده است. نهشته‌هایی که مظهر این چشمه‌ها یا چاه‌ها در آن قرار دارند، ماسه سنگهای نازک لایه هستند که شدیداً توسط عملکرد گسل خرد شده‌اند. در زمینهای اطراف چشمه‌ها به‌ویژه در سراسیبیهای شمال-شمال خاوری آنها، به‌سهولت می‌توان آلکسیت را یافت که به‌صورت شکلهای مدور (گرهک) با قطر چند میلی‌متر و رنگ سفید تشکیل شده‌اند. البته پراکندگی آلکسیت یکنواخت نبوده، با شدت و ضعف شدیدی همراه است. موضوع دیگر این‌که از فراوانی این ذرات کروی آلکسیت، از بالا به پایین کاسته می‌شود. این موضوع در دیواره ترانسه‌های حفر شده در منطقه به‌خوبی دیده می‌شود.

ژئوشیمی بور و عناصر همراه

جهت بررسیهای ژئوشیمیایی تعداد 126 نمونه شورابه‌ای 13 نمونه سنگی از منطقه برداشت شد و این نمونه‌ها برای عناصر B, K, Li و Mg مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج آنالیز

همان‌طور که در جدول 1 دیده می‌شود، با توجه به میزان P، که از این آزمون‌ها برای عناصر دو منطقه در سطح اعتماد 95 درصد به دست آمده است، به جز Li برای بقیه عناصر مقدار P، کمتر از 0/05 به دست آمد؛ که بیانگر رد شدن شرط صفر (وجود ارتباط معنادار بین عناصر دو منطقه) است و می‌توان نتیجه گرفت ارتباط معناداری بین عناصر B، K و Mg در دو منطقه وجود ندارد و این ارتباط تنها برای عنصر Li در دو منطقه وجود دارد. با توجه به این‌که ارتباط معناداری بین عناصر (به جز لیتیم) دو منطقه وجود ندارد، تمامی تجربه و تحلیل‌های آماری برای عناصر دو منطقه (حتی لیتیم) به صورت جداگانه انجام شد.

بررسی نرمال بودن داده‌ها

در ابتدا هیستوگرام و نمودار احتمال هر یک از عناصر برای داده‌های هر منطقه به صورت جداگانه رسم شد. نمودارهای مربوط به منطقه توناکار در شکل 3 آورده شده است. نمودارهای مربوط به منطقه برج خارکن ترسیم شد؛ اما به منظور کاهش حجم مقاله، در متن مقاله نشان داده نشده‌اند و تنها نتایج آنها بیان می‌شوند. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها، ابتدا باید مقادیر خارج از ردیف اصلاح شود. بعد از اصلاح مقادیر، برای بررسی نرمال بودن داده‌ها در نرم‌افزار Minitab 16 هیستوگرام و نمودار احتمال، هر یک از عناصر برای داده‌های خام رسم شد. همچنین باید مؤلفه‌های آماری برای داده‌ها محاسبه شود، که این مؤلفه‌ها را می‌توان در جدول 2 مشاهده کرد. همان‌طور که مشخص است، اگر مینا، نزدیکی بیشتر چولگی به صفر (محدوده 0-0/5) در نظر گرفته شود، خواهیم دید که بر اساس جدول 2 و هیستوگرام عناصر مختلف، هیچ‌کدام از عناصر نرمال نیستند و باید تبدیلات لازم را اعمال کرد تا به نرمال نزدیک شوند.

توابع توزیع و توابع تبدیل

برای نرمال کردن داده‌ها در ژئوشیمی از تبدیلات مختلفی استفاده می‌شود که مهمترین و پرکاربردترین آنها تبدیل لگاریتمی، لگاریتم سه مؤلفه‌ای و همچنین کاکس و باکس است.

تغییرات میزان Mg در نمونه‌های شورابه‌ای، در محدوده ppm 10 تا 848 است که میزان آن با یک جهش بزرگ برای نمونه‌های سنگی در بازه ppm 1456 تا 11565 متغیر است.

نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

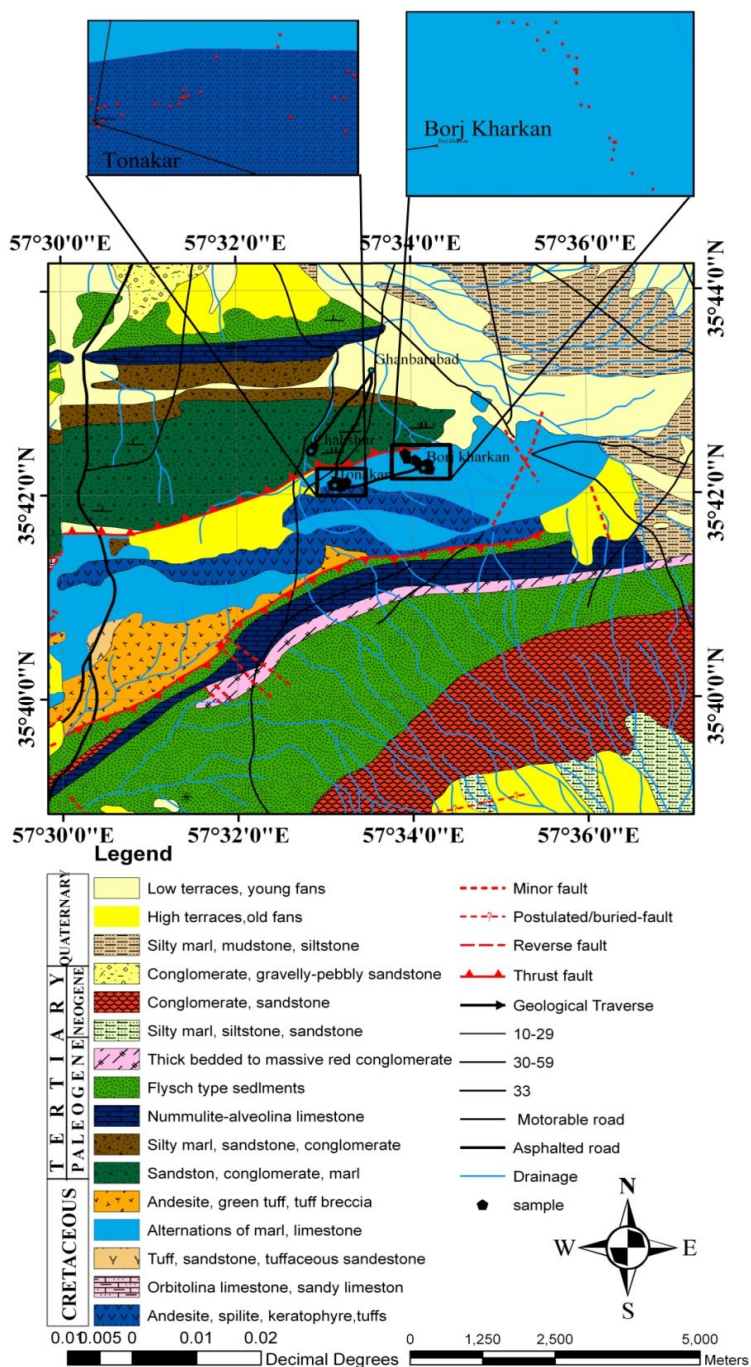
بیشتر نمونه‌ها، از دو منطقه توناکار و برج خارکن گرفته شد و به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. برای پردازش داده‌ها، بعد از بررسی وجود میزان خارج از رده و داده‌های سنسورد، به نرمال‌سازی داده‌ها پرداخته شد. بعد از نرمال‌سازی داده‌ها، حد آستانه آنها با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک مشخص شد. علاوه بر روش‌های آمار کلاسیک در جداسازی میزان زمینه از آنومالی داده‌ها از روش‌های EDA و هندسه فرکتال نیز استفاده شده است.

جداسازی داده‌های سنسورد¹

داده‌های سنسورد به داده‌هایی گفته می‌شود که به علت کوچکتر یا بزرگتر بودن از حد قابل ثبت دستگاه‌های آنالیز، به خوبی اندازه‌گیری نشده باشند. وجود چنین اعدادی در بین یک دسته داده، می‌تواند بررسی‌های آماری را دچار ناهماهنگی کند، بررسی‌هایی که روی داده‌های مورد استفاده در این پژوهش انجام شد، مشخص کرد که این داده‌ها فاقد داده‌های سنسورد هستند.

بررسی آزمون‌های فرض جهت تعیین ارتباط بین دو منطقه توناکار و برج خارکن

به منظور بررسی این‌که آیا بین نمونه‌های گرفته شده از دو منطقه توناکار و برج خارکن ارتباط معنی‌داری وجود دارد یا نه، از آزمون‌های فرض، کمک گرفته شد. برای استفاده از آزمون‌های فرض از نرم‌افزار Minitab 16 استفاده شد. از آنجایی که داده‌های مربوط به این مناطق، داده‌های عددی و پیوسته بودند، آزمون‌های فرض با توجه به مقدار میانگین داده‌ها و مقدار انحراف معیار داده‌ها صورت گرفت. در استفاده از مقدار میانگین از روش 2-Sample t، و در استفاده از انحراف معیار استاندارد از روش 2-Sample Standard Deviation استفاده شده است. با توجه به بالا بودن تعداد داده‌ها (بیش از 30 نمونه) در آزمون‌های فرض یاد شده، نیازی به نرمال بودن داده‌ها نیست و مقادیر خام داده‌های دو منطقه به توجه به این آزمون‌ها با یکدیگر مقایسه شدند.



شکل 2. نقشه زمین‌شناسی منطقه محمدآباد عریان، به‌همراه موقعیت نقاط نمونه‌برداری دو منطقه توناکار و برج خارکن

Fig. 2. Geological map of Mohammad Abad Oryan with the position of sampling in Tonakar and Borj Kharkan regions

مؤلفه‌های، تغییرات کمتری را در داده‌ها ایجاد کرد، از این دو روش به‌عنوان روش نرمال‌سازی استفاده شد. در داده‌های منطقه مورد بررسی، بعد از تغییر داده‌ها به لگاریتمی، مؤلفه‌های آماری آنها با هیستوگرام مربوط، مورد

در این پژوهش، برای نرمال کردن داده‌ها از سه روش بالا استفاده شد و سرانجام، پس از مقایسه داده‌ها و مؤلفه‌های آماری، به‌دلیل این‌که دو روش لگاریتمی و لگاریتم سه

نرمال‌سازی آنها از تبدیل سه مؤلفه‌ای استفاده شد. جدول 3 مؤلفه‌ای آماری داده‌های نرمال شده را نشان می‌دهد که به‌عنوان داده‌های لازم برای مراحل بعدی تجزیه و تحلیل استفاده می‌شود. هیستوگرام‌ها و نمودارهای احتمال مربوط به داده‌های نرمال شده منطقه توناکار در شکل 4 دیده می‌شود.

بررسی قرار گرفت و در نهایت، وضعیت نرمال بودن آنها بررسی شد. در منطقه توناکار عناصر B و K با تبدیل لگاریتمی و عناصر Li و Mg با تبدیل لگاریتمی سه مؤلفه‌ای، نرمال‌سازی شدند. در منطقه برج خارکن هیچ‌کدام از عناصر با تبدیل لگاریتمی، شکل نرمال به خود نگرفتند، به همین دلیل برای

جدول 1. آزمونهای فرض جهت بررسی بود یا نبود همبستگی بین عناصر دو منطقه توناکار و برج خارکن

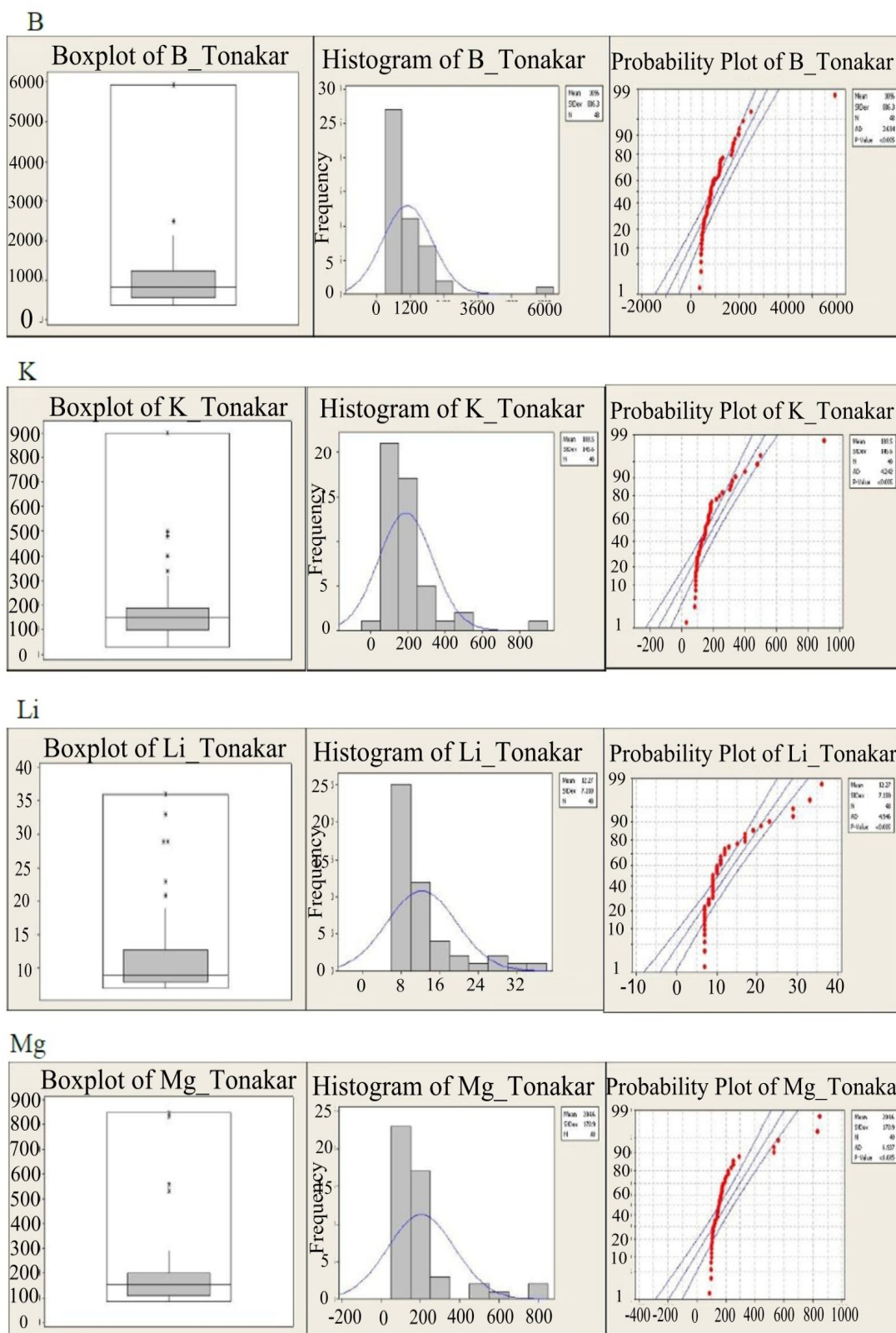
Table 1. Assuming tests to determine the correlation between analysed elements in Tonakar and Borj Kharkan regions

Element	N	Mean	Std.Dev	P Mean	Std.Dev of P
B_Tonakar	47	992.7	532.7	0.001	0.003
B_Borj Kharkan	58	678	356.1		
K_Tonakar	48	188.5	145.6	0.045	0.033
K_Borj Kharkan	58	141.5	71.3		
Mg_Tonakar	48	204.6	170.9	0.001	0.193
Mg_Borj Kharkan	58	98.6	119.5		
Li_Tonakar	48	12.3	7.1	0.131	0.157
Li_Borj Kharkan	58	10.4	5.2		

جدول 2. مؤلفه‌های آماری محاسبه‌شده برای داده‌های خام دو منطقه توناکار و برج خارکن

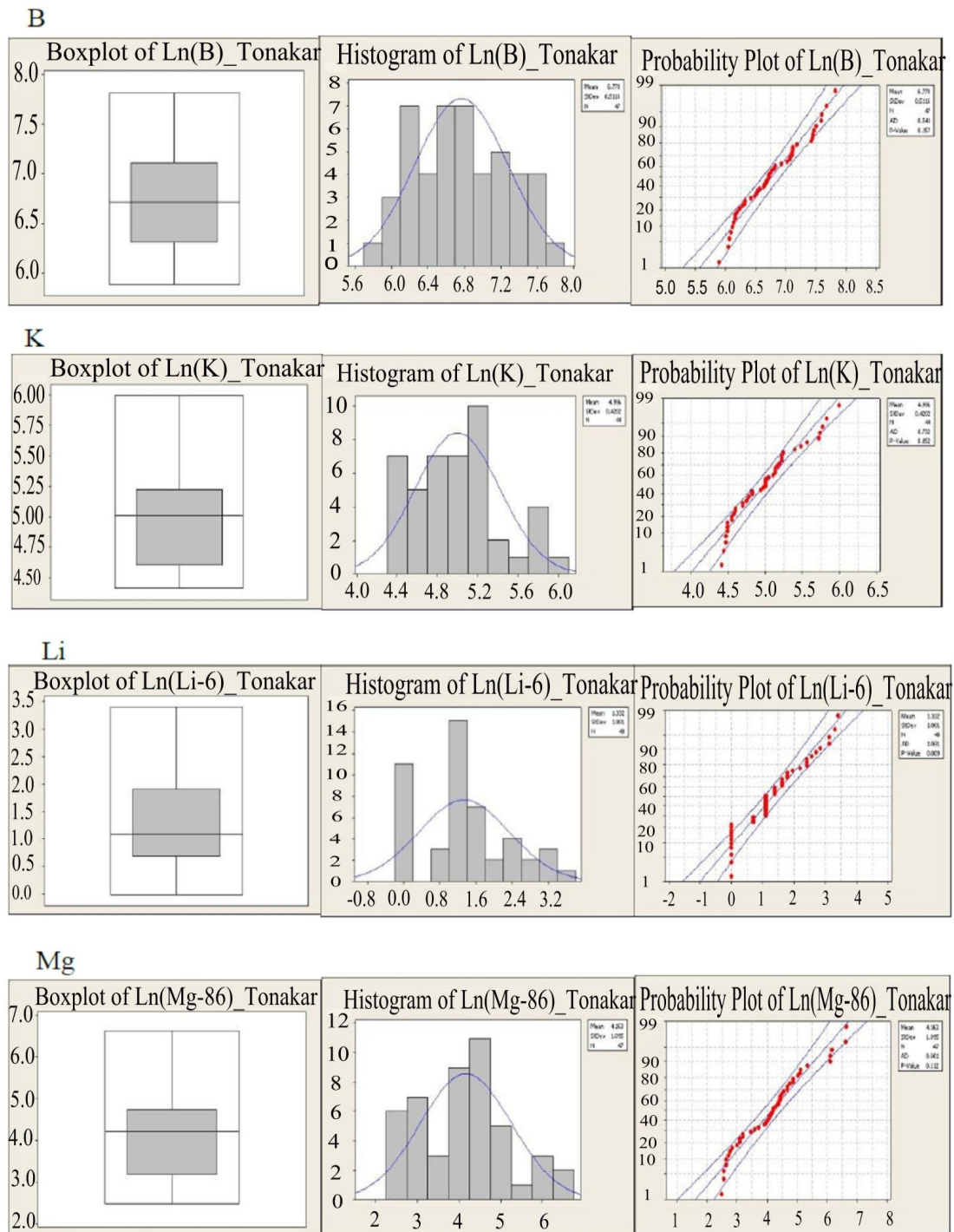
Table 2. Statistical parameters of raw data in Tonakar and Borj Kharkan regions

Element	N		Mean	Median	Std.Dev	Skewness	Kurtosis	Minimum	Maximum
	Valid	Missing							
Tonakar									
B	46	2	960.5	825.5	490.1	0.92	-0.16	363	2155
K	40	8	137.28	132.5	47.96	0.44	0.16	31	260
Li	41	7	9.73	9	2.81	1.34	1.41	7	17
Mg	42	6	148.24	144.5	44.66	0.7	-0.26	87	252
Borj Kharkan									
B	55	3	611.2	600	181.7	1.06	0.95	355	1140
K	52	6	122.15	112.5	30.22	0.58	-0.79	80	185
Li	51	7	8.74	8	1.56	0.81	0.28	7	13
Mg	50	8	55.36	51.5	13.97	0.57	-0.31	33	94



شکل 3. نمودار جعبه‌ای، نمودارهای احتمال و هیستوگرام داده‌های خام مربوط به منطقه توناکار عناصر B, K, Li, Mg

Fig. 3. Box plot, Probability plot and histogram of raw data for B, K, Li and Mg elements in Tonakar region



شکل 4. نمودار جعبه‌ای، نمودارهای احتمال و هیستوگرام داده‌های نرمال شده مربوط به منطقه توناکار عناصر B، K، Li، Mg

Fig. 4. Box plot, Probability plot and histogram of normalized data for B, K, Li and Mg elements in Tonakar region

منطقه توناکار و برج خارکن وجود ندارد. به همین دلیل میزان حد آستانه برای مناطق توناکار و برج خارکن به صورت جدا محاسبه شده است. بر اساس میزان میانگین و انحراف معیاری

جداسازی آنومالی‌ها بر اساس روش آمار کلاسیک همان‌طور که گفته شد، با استفاده از آزمونهای فرض مشخص شد که ارتباط معناداری بین نمونه‌های گرفته شده از دو

که از داده‌های نرمال به دست آمد، می‌توان زمینه، حد آستانه و آنومالی ممکن و احتمالی را به دست آورد. این محاسبات در جدول 4 آورده شده است. نقشه‌های ژئوشیمیایی این عناصر در نرم‌افزار Surfer8 رسم شده تا مناطق امیدبخش آنومالی مشخص شود. در ادامه، نقشه‌های به دست آمده نشان داده شده است؛ که در آنها حد آستانه به دست آمده از روش آمار کلاسیک و همچنین حد آستانه به دست آمده از سایر روشهای استفاده شده، نشان داده شده‌اند (شکل‌های 9 و 10).

جدول 3. مؤلفه‌های آماری محاسبه شده برای داده‌های نرمال شده دو منطقه توناکار و برج خارکن

Table 3. Statistical parameters of normalized data in Tonakar and Borj Kharkan regions

Element	N		Mean	Median	Std.Dev	Skewness	Kurtosis	Minimum	Maximum
	Valid	Missing							
Tonakar									
Ln(B)	47	1	6.77	6.72	0.51	0.25	-0.92	5.89	7.81
Ln(K)	44	4	4.99	5.01	0.42	0.58	-0.39	4.42	5.99
Ln(Li-6)	48	0	0.15	1.09	1	0.31	-0.67	0	3.4
Ln(Mg-86)	47	1	4.16	4.2	1.09	0.4	-0.23	2.48	6.64
Borj Kharkan									
Ln(B-354)	56	2	5.47	5.56	0.8	0.42	-0.07	3.93	7.7
Ln(K-79)	56	2	3.74	3.77	0.95	-0.03	-0.01	1.39	6.04
Ln(Li-6.5)	53	5	0.58	0.4	0.87	-0.24	-0.95	-0.693	2.25
Ln(Mg-32)	50	8	3.03	3.07	0.71	0.01	0.56	1.1	5.06

جدول 4. مقادیر محاسبه شده زمینه، حد آستانه و آنومالی ممکن و احتمالی داده‌های نرمال شده دو منطقه توناکار و برج خارکن

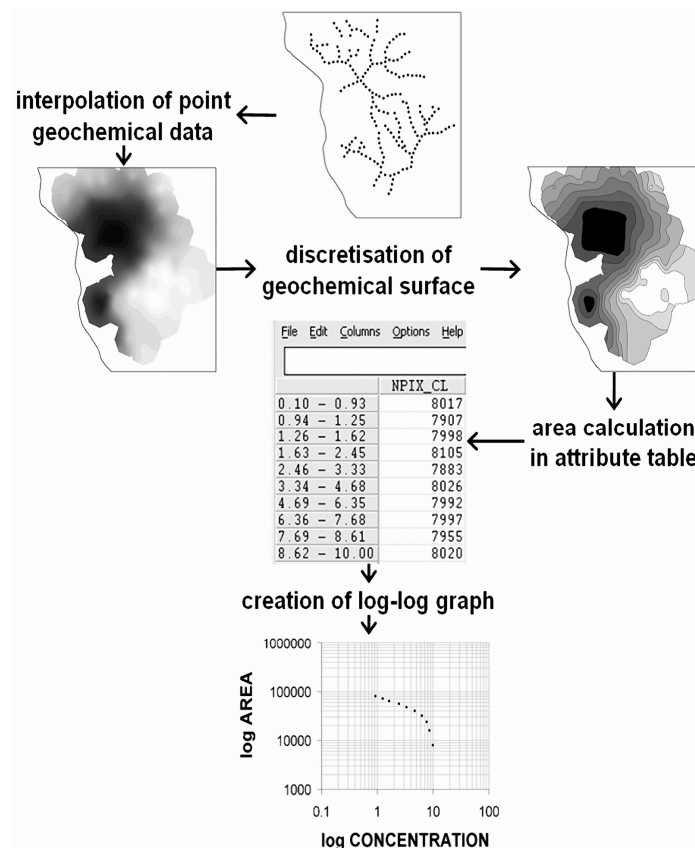
Table 4. Calculated background, treshold, probability and possible anomaly of normalized data for Tonakar and Borj Kharkan regions

Elements	\bar{x}	S	$\bar{x} + s$	$\bar{x} + 2s$	$\bar{x} + 3s$	$\text{Exp}(\bar{x} + s)$	$\text{Exp}(\bar{x} + 2s)$	$\text{Exp}(\bar{x} + 3s)$
Tonakar								
Ln(B)	6.77	0.51	7.28	7.79	8.30	1453.2	2424	4043.60
Ln(K)	4.99	0.42	5.42	5.84	6.26	225.12	342.7	521.71
Ln(Li-6)	1.33	1	2.33	3.33	4.33	16.31	34.08	82.44
Ln(Mg-86)	4.16	1.09	5.26	6.35	7.45	278	659.7	1800
Borj Kharkan								
Ln(B-354)	5.47	0.80	6.27	7.07	7.87	882.74	1533	2985.9
Ln(K-79)	3.74	0.95	4.68	5.63	6.58	187.2	358	798
Ln(Li-6.5)	0.585	0.87	1.45	2.32	3.19	10.78	16.7	30.83
Ln(Mg-32)	3.03	0.7	3.73	4.44	5.15	73.8	116.9	204

در این قسمت برای انجام روش فرکتال از نرم‌افزار ArcGIS9.3 استفاده شد. در این نرم‌افزار میزان عیاری برحسب مساحت به دست آمد. شکل 5، نمودار شماتیک این عملیات را در ArcGIS9.3 نشان می‌دهد. با در دست داشتن بازه عیاری و مساحتها، می‌توان نمودار عیار - مساحت را در مقیاس لگاریتمی رسم کرد. در شکل 6، نمودارهای عیار-مساحت مربوط به منطقه توناکار رسم شده است. محل تغییر شیب در این نمودارها، مرز جوامع ژئوشیمیایی است. نمودارهای عیار-مساحت مربوط به منطقه برج خارکن هم رسم شد؛ اما در متن مقاله نشان داده نشده است، ولی نتایج مربوط به بررسیهای به دست آمده به کمک هندسه فرکتال برای هر دو منطقه توناکار و برج خارکن در جدول 5 آورده شده است. مقدار $Exp(a)$ را می‌توان به آنومالی ناحیه‌ای و مقدار $Exp(b)$ را به آنومالی محلی نسبت داد. مقدار حد آستانه به دست آمده از روش فرکتال نیز در نقشه‌های ژئوشیمیایی تهیه شده از مناطق توناکار و برج خارکن، مشخص شده است (شکل 9 و 10).

جداسازی آنومالی‌ها با استفاده از هندسه فرکتال

هندسه فرکتال از جمله روشهای جدیدی است که در سالهای گذشته، برای جداسازی جوامع آماری مورد استفاده قرار گرفته است. در یک سری داده ژئوشیمیایی، با دو گروه داده فرکتالی مواجه هستیم که یک گروه بیانگر جامعه زمینه و گروه دیگر بیانگر جامعه آنومالی است. روشهای فرکتالی بر اساس تفاوت جوامع بی‌هنجاری و زمینه بنا شده‌اند. از مزایای این روش، ارائه تعبیر زمین‌ساختی و توجه به ماهیت توزیع فضایی داده‌ها را می‌توان بیان کرد. در این جا سعی می‌شود، برای جدایی جامعه آنومالی، غلظتی بحرانی که در محدوده آن، بعد فرکتالی تغییر می‌کند؛ به‌عنوان حدآستانه‌ای معرفی شود. بنابراین، در این روش از توزیع فراوانی عناصر و شکل هندسی آنومالی، به‌طور هم‌زمان برای تشخیص حدآستانه‌ای و جدایش جامعه آنومالی و زمینه استفاده می‌شود (Hasanipak and Sharafaddin, 2005). در این پژوهش، برای جداسازی آنومالی از زمینه، از روش فرکتالی عیار - مساحت استفاده شده است.



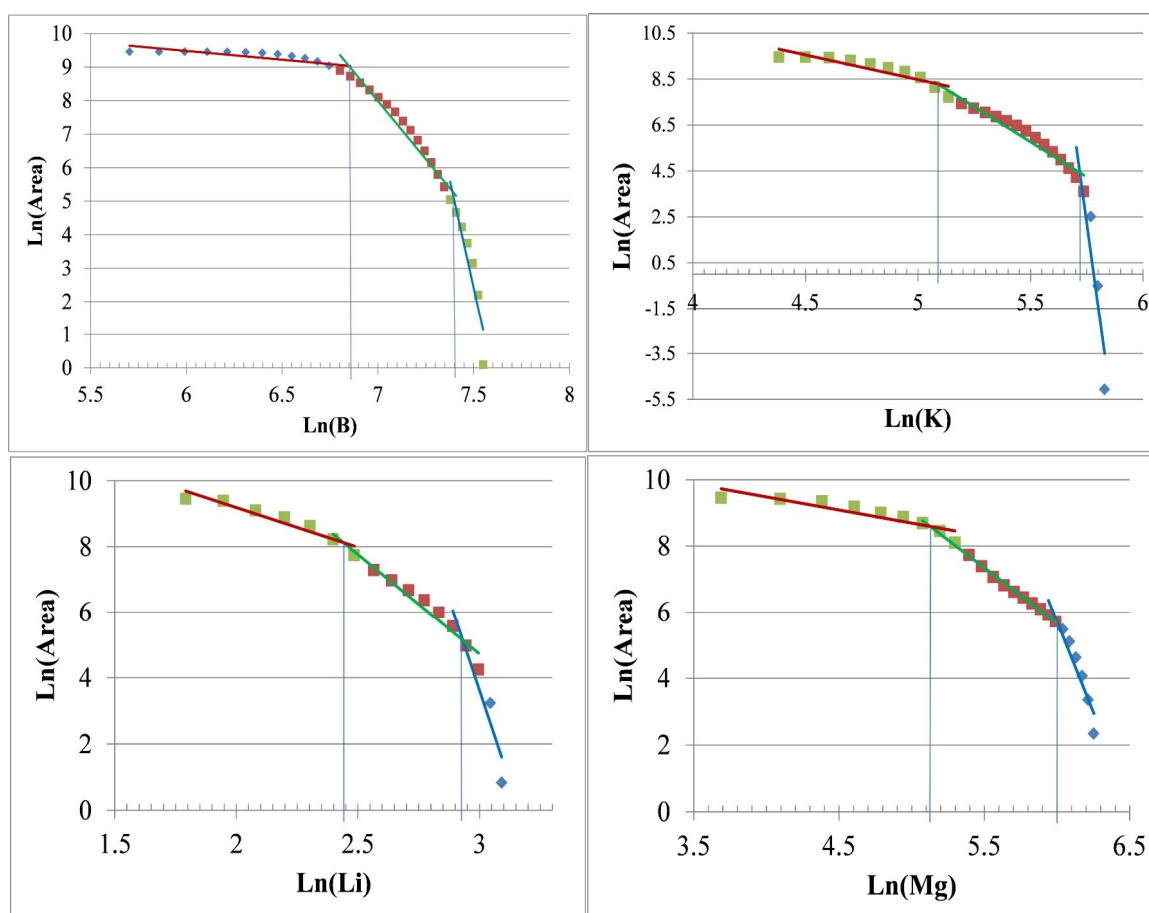
شکل 5. نمودار شماتیک برای به دست آوردن مؤلفه‌ها در روش فرکتالی عیار - مساحت (Carranza, 2009)

Fig. 5. Schematic diagram of Concentration-Area fractal method to obtain parameters (Carranza, 2009)

جدول 5. نقاط به‌دست آمده از تفکیک جوامع آماری در نمودارهای فرکتالی عیار - مساحت برای دو منطقه توناکار و برج خارکن

Table 5. Obtained values from concentration-area fractal method to separate data for Tonakar and Borj Kharkan regions

Element	a	b	Exp(a)	Exp(b)
Tonakar				
B	6.85	7.38	943.88	1603.6
K	5.1	5.72	164.02	304.9
Li	2.44	2.93	11.47	18.73
Mg	5.12	6	167.3	403.4
Borj Kharkan				
B	6.68	7.1	796.3	1212
K	5.25	5.72	190.57	305
Li	2.69	3.03	14.73	20.69
Mg	5.22	5.76	184.9	417.3



شکل 6. نمودارهای عیار - مساحت عناصر B, K, Li و Mg برای منطقه توناکار

Fig. 6. Concentration-Area diagrams of B, K, Li and Mg elements in Tonakar region

کاربرد EDA برای جداسازی آنومالی‌ها بر روی داده‌های منطقه مورد بررسی

تحلیل اکتشافی داده‌ها¹(EDA)، بدون این‌که نیازی به نرمال کردن داده‌ها داشته باشد؛ ابزاری مناسب برای تحلیل داده‌های ژئوشیمی اکتشافی است، روش EDA توسط چند پژوهشگر معرفی شده و توسعه یافته است (Filliben and Heckert, 2005). این روش جزو روشهای آماری مرسوم به Robust Statistic (روش آماری با عدم حساسیت به تغییرات مقدار در نمونه‌ها) دسته‌بندی می‌شود. در روش EDA، تجزیه و تحلیلها عمدتاً با توجه به نمایش نموداری داده‌ها صورت می‌گیرد (Carranza, 2009; Zumlot et al., 2009). بیش از 30 نوع نمودار آماری مختلف در روش EDA معرفی شده است، که هر کدام در تجزیه و تحلیل داده‌ها، در رشته‌های مختلف کاربرد دارد. روشهای نموداری EDA، متنوع و شامل نمودارهای احتمال، هیستوگرام، میانگین، انحراف معیار، نمودار پراکندگی داده‌ها و ... است (Filliben and Heckert, 2005). ژئوشیمی اکتشافی، بیشتر متکی بر روشهای نموداری است؛ به‌عنوان مثال جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی در این روش بر اساس نمودار جعبه‌ای و کلاسه‌بندی داده‌ها با توجه به این نمودار صورت می‌گیرد و احتیاجی به نرمال بودن داده‌ها یا نرمال‌سازی آنها ندارد (McQueen, 2006).

در آمار کلاسیک توزیعهای تک‌عنصری در داده‌های ژئوشیمیایی اکتشافی با توزیع نرمال و یا لاگ‌نرمال تفسیر شده‌اند. در این روش با توجه به توزیع، میانگین و انحراف استاندارد برای تعیین میزان آنومالی استفاده می‌شود. این روش هیچ انطباقی با واقعیات زمین‌شناسی ندارد و صرفاً مشخص‌کننده درصدی از داده‌های حداکثری است، با این فرض که احتمالاً آنومالی‌ها در بین آنها قرار دارند. گاه نتایج به‌دست آمده تفسیرهای اشتباهی از محل آنومالی به‌دست می‌دهد. برای غلبه بر مشکلات ناشی از آمار کلاسیک، می‌توان از روش EDA، که عمدتاً از روشهای نموداری مستقل از توزیع آماری است، بهره جست (Chiprés et al., 2009).

اندازه‌گیرهای کم و یا آلودگیها می‌توانند باعث شوند که از کانسار اصلی دور شویم و روی تفسیرها اثر نامطلوبی دارد؛ و همچنین باعث می‌شوند ویژگیهای اصلی داده‌ها پوشیده بماند. برای غلبه بر این مشکلات که ناشی از آمار کلاسیک است، روش EDA، از روشهای نموداری و عددی که مستقل از

توزیع آماری است، بهره می‌جوید. این روش در بیشتر موارد با استفاده از نمودار جعبه‌ای، نمودار تک‌بعدی، پراکندگی داده‌ها، هیستوگرام و نمودار احتمال، تفسیر اولیه‌ای از داده‌های ژئوشیمیایی به ما می‌دهد. حسن مهم EDA، کاربرد مستقیم روشهای نموداری است و این‌که نتایج به راحتی تفسیر می‌شوند (McQueen, 2006). نمودارهای زیادی در روش EDA از قبیل نمودار بلوکی²، نمودار خطی کاکس-باکس³، نمودار جعبه‌ای⁴، هیستوگرام⁵، نمودار احتمال⁶، نمودار پراکندگی داده⁷ و ... استفاده می‌شود. در ژئوشیمی اکتشافی نمودارهای جعبه‌ای، هیستوگرام و پراکندگی داده‌ها بیشتر کاربرد دارد (Filliben and Heckert, 2005).

نمودار جعبه‌ای این قابلیت را دارد که حدآستانه و آنومالی را مشخص کند. در نمودار جعبه‌ای، مهمترین ویژگیهای توزیع داده‌های مربوط به یک عنصر، توسط پنج عدد بیان می‌شود (شکل 7-C). داده‌ها به‌صورت ستونی از کوچک به بزرگ مرتب می‌شود. میانه که در وسط داده‌هاست، تعیین می‌شود. دو طرف میانه 25% داده‌ها جدا می‌شوند و به اعدادی می‌رسیم که هینگر⁸ نامیده می‌شوند، که حد بالا و پایین جعبه را مشخص می‌کند. موقعیت خط میانه در داخل جعبه بستگی به تقارن یا نبود تقارن در توزیع داده‌ها دارد. از حد بالا و پایین 25% دیگر به سمت ماکزیمم و مینیمم جدا می‌شود که به آنها اصطلاحاً ویسکر⁹ می‌گویند (McQueen, 2006). طول جعبه را اسپرید¹⁰ می‌نامیم. خارج از رده‌ها به‌عنوان حدآستانه نشان داده می‌شوند. این حدود با جمع و کسر یک گام¹¹ از نقاط متناظر هینگ در شکل D-7 نشان داده شده است. طبق رابطه 1، یک گام، 1/5 برابر h-spread است. حدآستانه با خط‌چینها¹² نمایش داده می‌شوند (رابطه 2 را ببینید). داده‌هایی که خارج از خط‌چین باشند، به‌عنوان آنومالی در نظر گرفته می‌شوند (McQueen, 2006; Chiprés et al., 2009).

$$\text{Step} = 1.5 \times (\text{H-Spread}) \quad (1)$$

$$\text{Threshold} = h_u + \text{Step} = u. \text{fence} \quad (2)$$

برای EDA در ژئوشیمی از نمودار تک‌بعدی پراکندگی داده‌ها استفاده می‌شود. در شکل B-7 مثالی از نمودار تک‌بعدی پراکندگی آورده شده است. هدف هیستوگرام، خلاصه نموداری از توزیع داده‌های تک‌متغیره است (نرمال، غیر نرمال، متقارن، داده‌های دارای چولگی کم، داده‌های دارای چولگی زیاد).

1. Exploratory Data Analysis

2. Blok plot

3. Box-Cox Linearity Plot

4. Box Plot

5. histogram

6. Probability Plot

7. Scatter Plot

8. Hings

9. Whisker

10. H - Spread

11. Step

12. Fence

آمده است، روی نقشه مربوط به همان عنصر مشخص شده است (شکل‌های 9 و 10).

با توجه به نقشه‌های ژئوشیمیایی منطقه توناکار در دو قسمت، در شرق و غرب منطقه آنومالی بور ملاحظه شد که آنومالی غربی آن قوی‌تر است و برای بررسی‌های بیشتر و حفر گمانه اکتشافی پیشنهاد می‌شود. نمونه‌هایی که معمولاً دارای میزان بور بالاتر از حد آستانه است، از تمام روشهایی که در منطقه وجود دارد، به‌دست آمده است. در نقشه ژئوشیمیایی عنصر K برای منطقه توناکار نیز دو منطقه در شرق و غرب محدوده توناکار، به‌عنوان آنومالی شناسایی شده است. برای عنصر Li و Mg نیز محدوده‌ای به‌عنوان آنومالی مشخص شده که در نقشه مربوط به هر کدام نشان داده شده است. در نقشه‌های مربوط به هر عنصر روی راهنمای نقشه، میزان حدآستانه‌ای که از روشهای مختلف به‌دست آمده، مشخص شده است. در حروف اختصاری آنها، حرف T برگرفته از کلمه Threshold به معنی حدآستانه و Classic بیانگر مقدار حدآستانه‌ای است که به‌روش آمار کلاسیک به‌دست آمده است. Fractal بیانگر روش هندسه فرکتال و EDA و M+2MAD به‌ترتیب نشان‌دهنده حدآستانه به‌دست آمده از روش EDA و Median+2MAD است. در محدوده برج خارکن نیز نقشه‌های ژئوشیمیایی مربوط به عناصر ترسیم شده، و میزان حدآستانه در آنها مشخص شده است. همان‌طور که در این نقشه‌ها نیز دیده می‌شود، در این محدوده برای تمام عناصر منطقه‌ای در مرکز محدوده به‌عنوان آنومالی شناسایی شد.

هیستوگرام می‌تواند داده‌ها، گستردگی داده‌ها، چولگی داده‌ها، وجود مقادیر خارج از رده و وجود حالت‌های چندگانه در داده‌ها را مشخص کند (Filliben and Heckert, 2005). نمودار احتمال نرمال برای اعتبارسنجی توزیع داده‌ها در هیستوگرام استفاده می‌شود. در هیستوگرام (شکل A-7) محور عمودی، فراوانی و محور افقی، پاسخ متغیر است.

با توجه به نمودار جعبه‌ای، داده‌ها را طبقه‌بندی می‌کنیم و میزان حدآستانه نیز مشخص می‌شود. در جدول 6، مؤلفه‌های آماری مربوط به نمودار جعبه‌ای عناصر که در شکل 8 آمده، مشخص شده است. البته نمودارهای مربوط به منطقه برج خارکن هم ترسیم شدند؛ اما به‌منظور کاهش حجم مقاله در متن مقاله ارائه نشده‌اند.

علاوه‌بر روشهای یادشده، مؤلفه‌های آماری مربوط به مقدار حدآستانه با روش آماری زیر نیز محاسبه شده که نتایج آن در جدول 7 ارائه شده است.

$$\text{Threshold} = \text{Median} + 2\text{MAD} \quad (3)$$

$$\text{MAD} = \text{Median}[|x_i - \text{median}(x_i)|] \quad (4)$$

حدآستانه‌ای که از رابطه 3 به‌دست می‌آید، با حدآستانه روش آمار کلاسیک، از لحاظ عملکرد مشابه است؛ اما از نظر ساختاری تفاوت دارد. MAD¹، انحراف قدرمطلق میانه است که از رابطه 4 به‌دست می‌آید.

با توجه به میزان حدآستانه‌ای که از روشهای مختلف به‌دست آمده است (جدول 8)، نقشه‌های ژئوشیمیایی هر منطقه (توناکار و برج خارکن) برای همه عناصر توسط نرم‌افزار Surfer8 تهیه شده و حدآستانه‌ای که از هر روش به‌دست

جدول 6. مؤلفه‌های آماری مربوط به نمودار جعبه‌ای داده‌های خام دو منطقه توناکار و برج خارکن

Table 6. Statistical parameters obtained from box plot of raw data for Tonakar and Borj Kharkan regions								
Element	Min	LW	Lh	h-Spread	Uh	UW	Max	Threshold
Tonakar								
B	363	363	554	671	1225	1646.5	5930	2231.5
K	31	83	100	88.8	188.8	250	900	322
Li	7	7	8	4.75	12.75	14	36	19.9
Mg	87	87	108.5	90.8	199.3	140	848	335.5
Borj Kharkan								
B	355	355	469.8	287.8	757.5	1082	2574	1189
K	80	80	98	62	160	240	500	253
Li	7	8	8	2	10	10	33	13
Mg	33	33	44.8	26.8	71.5	34	628	111.7

جدول 7. تعیین حدآستانه با روش آماری Median+2MAD برای دو منطقه توناکار و برج خارکن

Table 7. Determining threshold, using Median+2MAD method for Tonakar and Borj Kharkan regions

Element	Mean	Median	Std.Deviation	MAD	Median+2MAD
Tonakar					
B	1095	828.5	886	351.5	1531.5
K	188.4	150	145.6	45	240
Li	12.27	9	7.1	2	13
Mg	204.6	152	170.9	43	238
Borj Kharkan					
B	678	605	356.1	140.5	886
K	141.5	120	71.34	25	170
Li	10.4	9	5.17	1	11
Mg	98.6	60	119.5	14	88

جدول 8. میزان حدآستانه داده‌ها از روشهای آمار کلاسیک، هندسه فرکتال، EDA و Median+2MAD برای دو منطقه توناکار و برج خارکن

Table 8. Obtained thresholds, using classical statistic, fractal geometry, EDA and Median+2MAD for Tonakar and Borj Kharkan regions

Element	classical statistic	fractal geometry	EDA	Median+2MAD
Tonakar				
B	2424	1603.6	2231.5	1531.5
K	342.7	304.9	322	240
Li	34.08	18.73	19.88	13
Mg	659.7	403.4	335.5	238
Borj Kharkan				
B	1533.7	1211.9	1189.2	886
K	358	304.9	253	170
Li	16.7	20.7	13	11
Mg	116.9	317.3	111.7	88

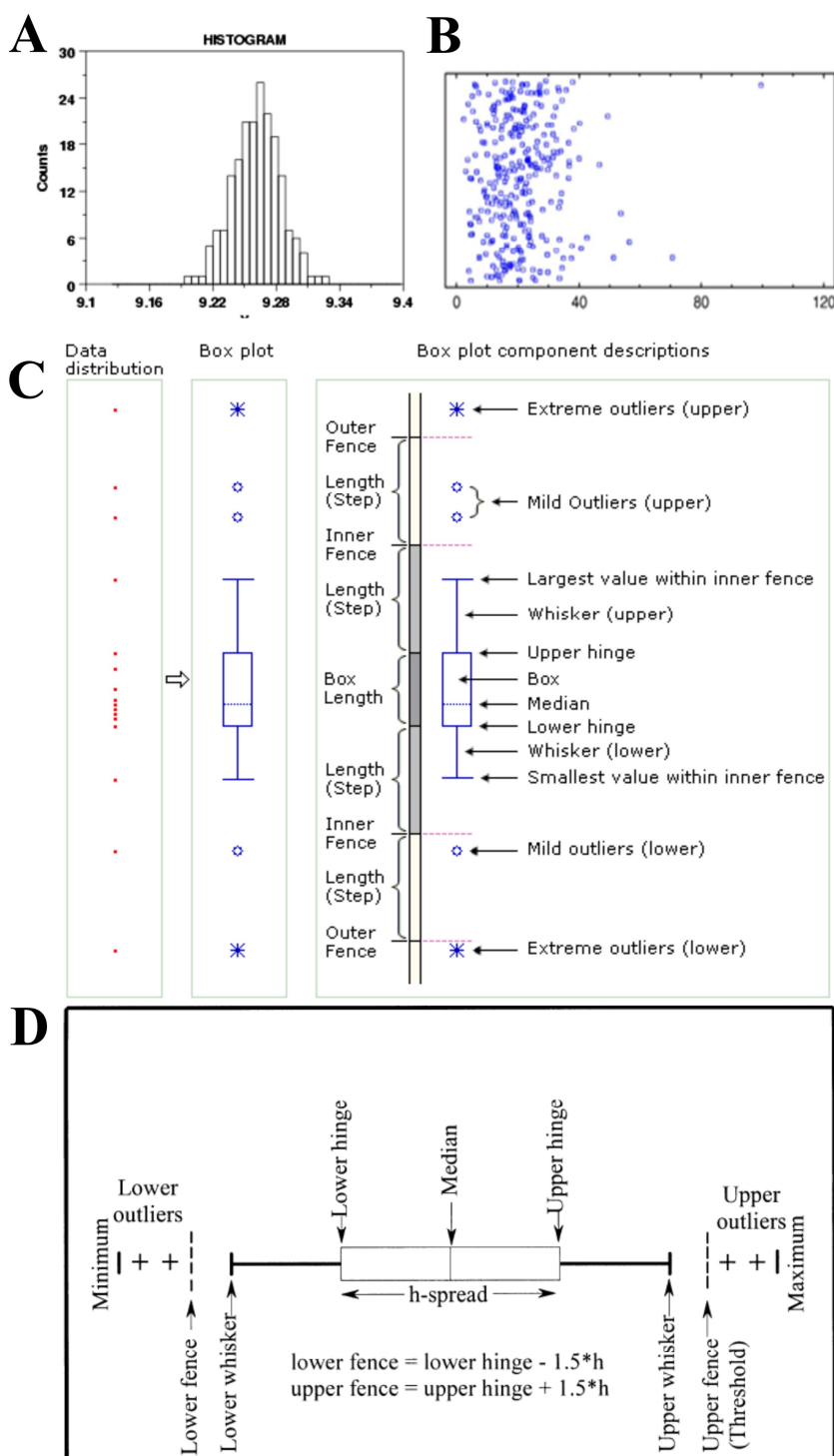
نتیجه‌گیری

بررسی نتایج نمونه‌های شورابه‌ای نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین مقدار بور، بین 6 ppm تا 5930 ppm تغییر می‌کند. نمونه KR 205A که دارای بیشترین مقدار بور است، متعلق به محدوده توناکار و نزدیک به چشمه A برداشت شده است. در 25 نمونه، مقدار بور بیش از 1000 ppm است و همگی از محدوده توناکار برداشت شده‌اند. بین میزان بور و عناصر لیتیم، منیزیم و پتاسیم ارتباط و همبستگی معناداری مشاهده نشده است، در صورتی که ارتباط معناداری بین میزان دبی خروجی آب چشمه‌ها و مقدار بور مشاهده شد. چنانچه در چشمه‌های منطقه پشت قرمز و چشمه‌های اصلی محدوده توناکار که دبی خروجی آب بالاست، میزان بور کاهش می‌یابد؛ ولی در چشمه‌های فرعی با دبی پایین مقدار بور بالاست. در

محدوده توناکار در جهت شمال شرق به جنوب غرب مقدار بور افزایش می‌یابد. از نظر فراوانی، بیشترین نمونه‌های شورابه‌ای با میزان بالای بور، در جنوب شرق توناکار متمرکز شده‌اند، که این منطقه با روشهای مختلف جداسازی آنومالی از زمینه شناسایی، و جهت ادامه فعالیت‌های اکتشافی و حفر گمانه پیشنهاد شد. به‌طور کلی روش فرکتال به‌دلیل در نظر گرفتن توزیع فضایی نمونه‌ها، آنومالی را بهتر مشخص می‌کند. روش EDA نیز، سریع و راحت، آنومالی‌ها را شناسایی می‌کند که این از مزایای مهم این دو روش است.

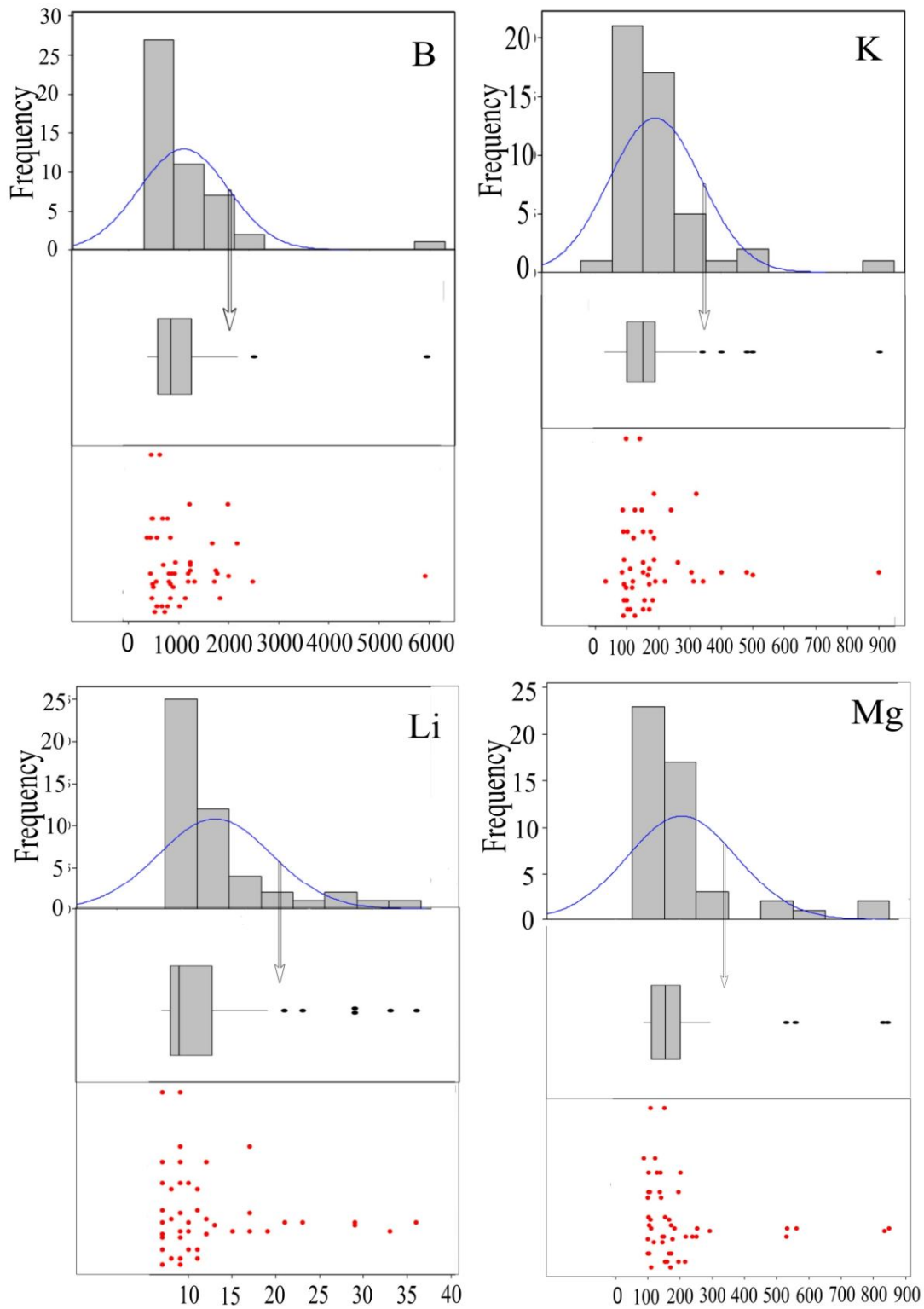
قدردانی

نویسندگان لازم می‌دانند از شرکت کان ایران که زیر نظر نظام مهندسی خراسان رضوی، هزینه‌های این پژوهش را متقبل شده‌اند، تشکر نمایند.



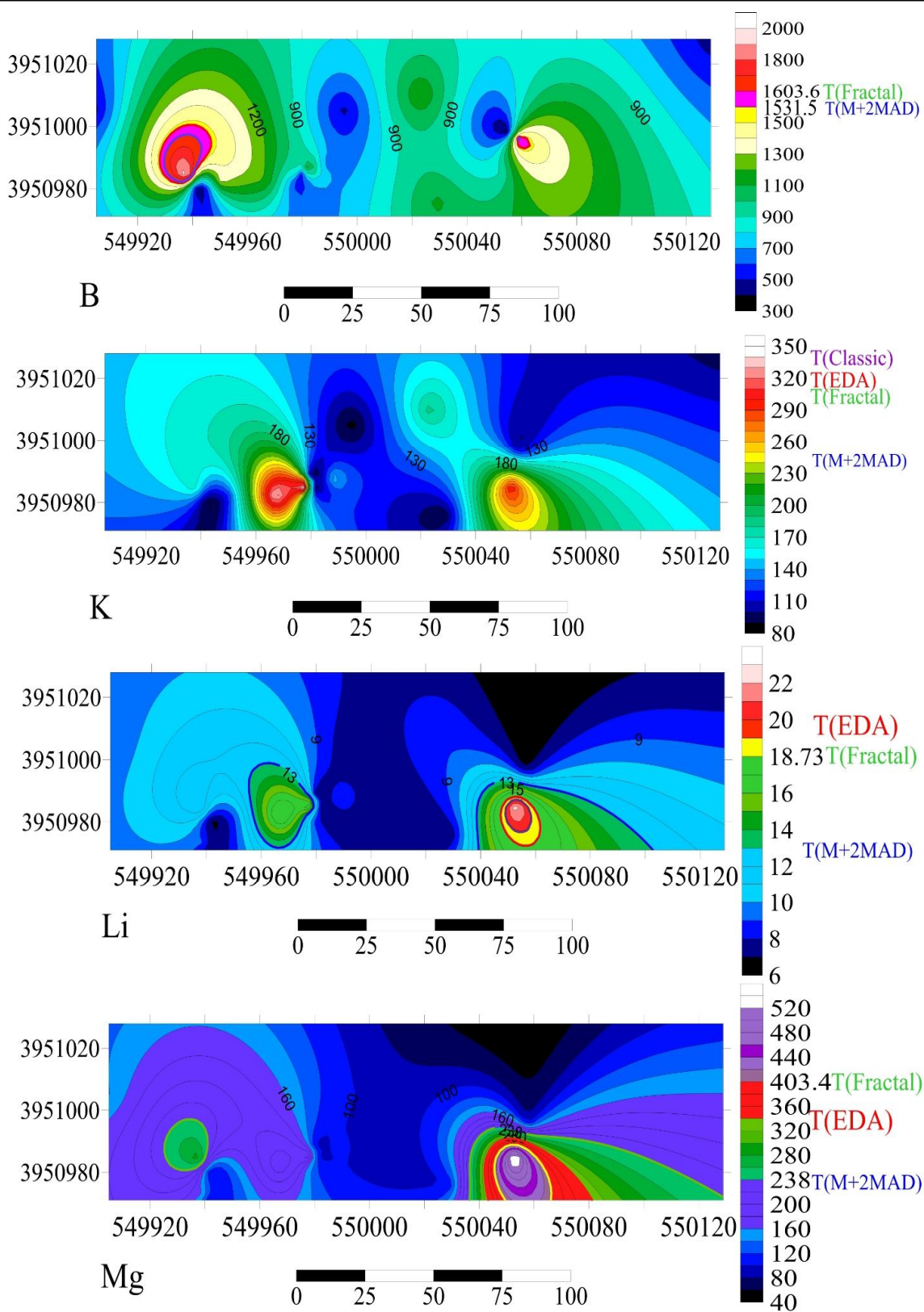
شکل 7. A: هیستوگرام با داده‌های نرمال (Filliben and Heckert, 2005); B: نمودار تک‌بعدی پراکندگی داده‌ها (Chiprés et al., 2009); C: نمودار جعبه‌ای برای نشان دادن پنج خلاصه عددی و میزان خارج رده (Bounessah and Atkin, 2003); D: نمودار جعبه‌ای و تعیین میزان حد‌آستانه و آنومالی (Chiprés et al., 2009)

Fig. 7. A- Histogram of normalized data (Filliben and Heckert, 2005), B- One-dimensional diagram of data distribution (Chiprés et al., 2009), C- Box plot to exhibit five summary values and outliers (Bounessah and Atkin, 2003), D- Box plot to determine the threshold and anomaly (Chiprés et al., 2009)



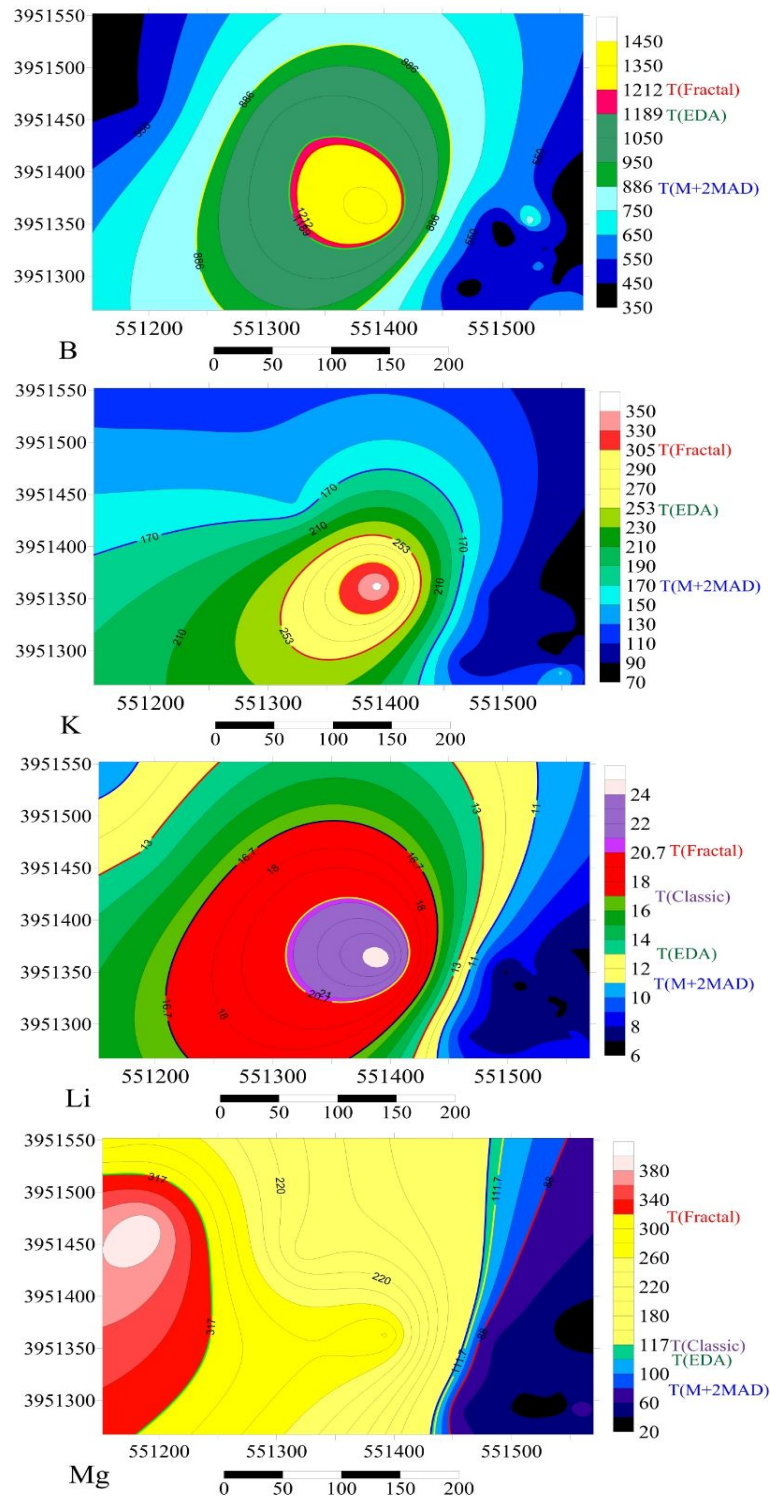
شکل 8. نمودار جعبه‌ای، هیستوگرام و پراکندگی داده‌ها برای عنصر B، K، Li و Mg برای منطقه توناکار. علامت فلش حدآستانه را نشان می‌دهد.

Fig. 8. Box plot, histogram and data distribution of B, K, Li and Mg elements for Tonakar region, arrows show the threshold.



شکل 9. نقشه‌های ژئوشیمیایی عناصر B، K، Li و Mg برای منطقه توناکار

Fig. 9. Geochemical maps of B, K, Li and Mg elements for Tonakar region



شکل 10. نقشه‌های ژئوشیمیایی عناصر B, K, Li و Mg برای منطقه برج خارکن

Fig. 10. Geochemical maps of B, K, Li and Mg elements for Borj Kharkan region

References

- Alonso, R.N., Helvaci, C., Sureda, R. and Viramonte, J., 1988. A new Tertiary borax deposit in the Andes. *Journal of Mineral Deposita*, 23(4): 299-305.
- Bemani, M., 2012. Prospecting and Exploring of Borax in the south of Sabzevar, combination of remote sensing, field surveying and geochemical studying. M.Sc. Thesis, University of Yazd, Yazd, Iran, 137 pp (in Persian with English abstract).
- Bemani, M., Mojtahedzadeh, S.H. and Kohsari, A.H., 2011. Geology, mineralogy and genesis of Bor index in Mohammadabad Oryan area. 15th conference of Geological Society of Iran, Tarbiat Moalem University, Tehran, Iran (in Persian with English abstract).
- Bemani, M., Mojtahedzadeh, S.H. and Kohsari, A.H., 2014. Investigation of geology, mineralogy and genesis of Mohammadabad-Oryan index boron (south of Sabzevar). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 22(1): 173- 186 (in Persian with English abstract).
- Bounessah, M. and Atkin, B.P., 2003. An application of exploratory data analysis (EDA) as a robust non-parametric technique for geochemical mapping in a semi-arid climate. *Journal of Applied Geochemistry*, 18(8): 1185-1195.
- Carranza, E.J.M., 2009. Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS. In: M. Hale (Editor), *Handbook of exploration and environmental geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 51-115.
- Chiprés, J.A., Castro-Larragoitia, J. and Monroy, M.G., 2009. Exploratory and spatial data analysis (EDA-SDA) for determining regional background levels and anomalies of potentially toxic elements in soils from Catorce-Matehuala, Mexico. *Journal of Applied Geochemistry*, 24(8): 1579-1589.
- Filliben, J.J. and Heckert, A., 2005. Exploratory data analysis. *Engineering Statistics Handbook*, Internet, National Institute of Standards and Technology, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda356.htm>.
- Floyd, P.A., Helvaci, C. and Mittweide, S.K., 1998. Geochemical discrimination of volcanic rocks associated with borate deposits: an exploration tool? *Journal of Geochemical Exploration*, 60(3):185-205.
- Gasca, M.A.M., Caballero, J.A.G. and Eastoe, C.J., 1998. Borate deposits of Northern Sonora, Mexico: stratigraphy, tectonics, stable isotopes and fluid inclusions. *Journal of Economic Geology*, 93(4): 510-523.
- Giggenbach, W.F., 1995. Variations in the chemical and isotopic composition of fluids discharged from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 68(1): 89-116.
- Hasanipak, A.A. and Sharafaddin, M., 2005. *Exploratory Data Analysis*. Tehran University press, Tehran 996 pp (in Persian).
- McQueen, K.G., 2006. *Identifying Geochemical Anomalies*. Australian National University, Department of Earth and Marine Sciences, Canberra, Report 1, 7 pp.
- Oi, T., Nomura, M., Musashi, M., Ossaka, T., Okamoto, M. and Kekihana, H., 1989. Boron isotopic composition of some boron minerals. *Journal of Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(12): 3189-3195.
- Orti, F. and Alonso, R.N., 2000. Gypsum-hydroboracite association in the Sijies Formation (Miocene, NW Argentina), Implications for genesis of Mg-bearing borates. *Journal of Sedimentary Research*, 70(3): 664-681.
- Palmer, M.R. and Helvaci, C., 1995. The boron isotope geochemistry of the Kirka borate deposit, western Turkey. *Journal of Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(17): 3599-3605.
- Slack, J.F. and Coad, P.R., 1989. Multiple hydrothermal and metamorphic events in the Kidd Creek volcanogenic massive sulphide deposit, Timmins, Ontario: Evidence from tourmalines and chlorites, Canadian. *Journal of Earth Sciences*, 26(4): 694-715.
- Smith, G.I. and Medrano, M.D., 1996. Continental borate deposits of Cenozoic age. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 33(1): 263-298.
- You, C.F., Spivack, A.J., Smith, J.H. and Gieskes, J.M., 1993. Mobilization of boron in convergent margins: implications for the boron geochemical cycle. *Journal of Geology*, 21(3): 207-210.
- Zumlot, T., Goodell, P. and Howari, F., 2009. Geochemical mapping of New Mexico, USA, using stream sediment data. *Journal of Environmental Earth Sciences*, 58(7): 1479-1497.



Geochemical analysis of brine samples for exploration of Borate deposits in the South of Sabzevar

Mahdi Bemani*, Seyed Hossein Mojtahedzadeh and Amir Hossein Kouhsari

Mining Exploration Department, Faculty of Mining and Metallurgical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

Submitted: June 28, 2013

Accepted: Dec. 8, 2014

Keywords: *classical statistics, fractal geometry, EDA, Brine samples, index of Mohammad-abad Oryan*

Introduction

Mohammad-abad Oryan is the only potential source of borate in the North-east of Iran located in 50 km South of Sabzevar. The area is located in tuff marl, tuffaceous marl, volcanic braccia and tuff braccia structures. Remote sensing techniques, geological studies and integration of this data in GIS were applied in an area of about 600 square kilometers to locate the promising areas of borate mineralization for detailed studies (Bemani, 2012). The aim of this detailed geochemical study is to confine the anomaly areas for exploratory drilling and trenching.

Materials and methods

Field studies were carried out in 9 geological traverses, mainly in Tonakar and Borje Kharkan area and 126 brine samples were taken from hydrothermal springs and 13 rock samples were taken from trenches. All the samples were analyzed for four elements, including B, K, Li and Mg. In order to determine the threshold quantities of the samples and isolation of anomaly, the data were analyzed using statistical methods including classical statistics, fractal geometry and EDA methods (Bemani, 2012).

Result

Initial data analysis showed that there were no censored data. Also, by applying statistical hypothesis testing, no significant relation was observed between the elements in the two areas (except for Li). Therefore, all the statistical analyses were carried out separately.

After outlier correction, based on the amount of skewedness and histograms and probability plots of different elements, it became clear that none of the elements in the raw data distribution were

normal and required to be transformed to be close to normal. In this study, logarithmic and three-parameter logarithm transformation were used in order to normalize the data. Based on the mean values, standard deviation of the normalized data, and background value and threshold, probable and possible anomalies were obtained and geochemical anomaly maps were drawn to identify the promising areas.

With the exception of the fractal pattern, anomaly separation methods are based on the differences of fractal dimensions between communities of geochemical data (Hasanipak and Sharafoddin, 2005). In this study, concentration area fractal method was used to separate anomalies from the background. Using fractal geometry, threshold value corresponding to the two areas (Tonakar and Borje Kharkan) were obtained and were plotted separately on geochemical maps.

Exploratory data analysis (EDA) is an approach to analyze data sets to summarize their main characteristics, often with visual methods (Filliben and Heckert, 2005). Exploratory data analysis is a useful method for analysis of geochemical exploration data. This is a statistical method known as the Robust Statistic classification (Carranza, 2009). In geochemical exploration, box plots, histograms and scatter plot are more practical. According to the box plots, the data of Tonakar and Borje Kharkan areas were classified and threshold levels were determined (Bemani, 2012).

Discussion

Using the results obtained from different methods, geochemical maps of each area were prepared for all the elements and thresholds were obtained for each method. Moreover, the geochemical maps of

*Corresponding authors Email: bemanimahdi@gmail.com

each area were plotted for each element. According to the geochemical maps of Tonakar area, boron anomaly was observed in the East and West zones and the anomaly of the latter is larger. These areas were recommended for further detailed exploration and borehole drilling. Also, geochemical maps of Borje Kharkan showed anomaly in the central zone for all of the elements. The results showed that the highest and the lowest amounts of boron in brines samples vary between 6 ppm to 5930 ppm. Among boron and the three other elements (i.e. lithium, magnesium and potassium) a significant correlation was not observed. In terms of frequency, in most cases brines with high levels of boron (more than 1000 ppm) were concentrated in the South East of the Tonakar area. So, this area was suggested for detailed exploration (Bemani et al., 2014). Generally speaking, for considering the spatial distribution of data the fractal method could better identify the anomalies. Also, EDA is a quick and easy method to detect anomalies.

Acknowledgment

The authors are grateful to the Kaniran Mining Company and the south Khorasan branch of the Iranian Mining Engineering Organization for their financial support of this study.

References

- Bemani, M., 2012. Prospecting and Exploring of Borax in the south of Sabzevar, combination of remote sensing, field surveying and geochemical studying. M.Sc. Thesis, University of Yazd, Yazd, Iran, 137 pp (in Persian with English abstract).
- Bemani, M., Mojtahedzadeh, S.H. and Kohsari, A.H., 2014. Investigation of geology, mineralogy and genesis of Mohammadabad-Oryan index boron (south of Sabzevar). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 22(1): 173- 186 (in Persian with English abstract).
- Carranza, E.J.M., 2009. Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS. In: M. Hale (Editor), *Handbook of exploration and environmental geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 51-115.
- Filliben, J.J. and Heckert, A., 2005. Exploratory data analysis. *Engineering Statistics Handbook*, Internet, National Institute of Standards and Technology, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda356.htm>.
- Hasanipak, A.A. and Sharafaddin, M., 2005. *Exploratory Data Analysis*. Tehran University press, Tehran 996 pp (in Persian).