

# مطالعه زمین‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای و مغناطیس‌سنجی در غرب نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران (شرق - جنوب شرق قلعه زری)

ملیحه نخعی<sup>(\*)</sup>، محمدحسن کریم‌پور<sup>۲</sup>، سید احمد مظاهری<sup>۳</sup>، محمدرضا حیدریان شهری<sup>۴</sup> و  
محمدحسین زرین‌کوب<sup>۵</sup>

۱. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۴. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۵. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۸۹/۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۱۷

## چکیده

منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی بلوک لوت و در بخش غربی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران قرار گرفته است. در این منطقه سنگ‌های نفوذی و نیمه نفوذی حد واسط تا اسیدی در واحدهای آتشفشانی ائوسن-الیگوسن نفوذ کرده و از مناطق امیدبخش برای کانی‌سازی است. شناسایی مناطق احتمالی کانی‌سازی به کمک پردازش تصاویر ماهواره‌ای استر انجام شد. پردازش این تصاویر وجود دگرسانی‌های پروپیلیتیک، آرژیلیک، سرب‌سیتیک و تشکیل اکسیدهای آهن (هماتیت) را در منطقه نشان داد. بر اساس این پردازش‌ها، اطلاعات مربوط به داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای در بخش‌هایی که احتمال کانی‌سازی بیشتری وجود داشت، مورد بررسی قرار گرفت. در شرق و شمال شرق روستای بیشه بی‌هنجاری عناصر مس، روی، سرب، قلع، تنگستن و طلا و در جنوب غرب بیشه نیز بی‌هنجاری‌هایی از قلع، تنگستن، روی، سرب و آهن شناسایی شد. بیشترین میزان عناصر  $W$ ،  $Cu$ ،  $Zn$ ،  $Pb$ ،  $Sn$  به ترتیب ۱۲۳، ۱۴۹، ۵۶، ۱۱، ۳۹ گرم بر تن و  $Au$  برابر ۱۶ میلی‌گرم بر تن است. بی‌هنجاری‌های قلع و تنگستن شمال شرق بیشه در ارتباط با توده‌های گرانیتوئیدی سری ایلمنیت است. مطالعات ژئوفیزیک هوایی وجود بی‌هنجاری مغناطیسی را در شرق بیشه نشان می‌دهد. مطالعات ژئوفیزیک زمینی نیز حاکی از وجود بی‌هنجاری شدید مغناطیسی (۴۹۵۰۰ نانو تسلا) و وجود کانی‌های فری مغناطیس است. مطالعات کانه‌نگاری نمونه‌های برداشت‌شده از مغزه‌های حفاری نشان داد که منبع بی‌هنجاری، کانی مگنتیت است. تشکیل مگنتیت در ارتباط با نفوذ گرانیتوئیدهای سری مگنتیت در سنگ آهک‌های پالئوسن و بروز اسکارن است.

واژه‌های کلیدی: اسکارن، بلوک لوت، بیشه، ژئوفیزیک هوایی، بی‌هنجاری مغناطیسی.

## مقدمه

جنوب شرق قلعه‌زری در  $32^{\circ} 12' 59''$  -  $59^{\circ} 01' 56''$  طول  
شرقی و  $31^{\circ} 49' 55''$  -  $31^{\circ} 39' 31''$  عرض شمالی قرار دارد.

منطقه مورد مطالعه در ۱۹۰ کیلومتری جنوب بیرجند و در

کانی‌سازی رگه‌ای در این بلوک رخ داده است (Tarkian et al., 1983; Karimpour et al., 2011; Malekzadeh Shafaroudi et al., 2010; Karimpour et al., 2005; Arjmandzadeh et al., 2011)

هدف از این پژوهش، مطالعه زمین‌شناسی، ژئوشیمی، دگرسانی بر اساس داده‌های ماهواره‌ای و ژئوفیزیک بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران و شناسایی توان معدنی احتمالی است.

لازم به ذکر است که داده‌های ژئوشیمیایی و بخشی از داده‌های ژئوفیزیکی این تحقیق در قالب تفاهم‌نامه همکاری بین دانشگاه فردوسی مشهد و سازمان صنایع و معادن استان خراسان جنوبی در اختیار نگارندگان قرار گرفته است.

### روش مطالعه

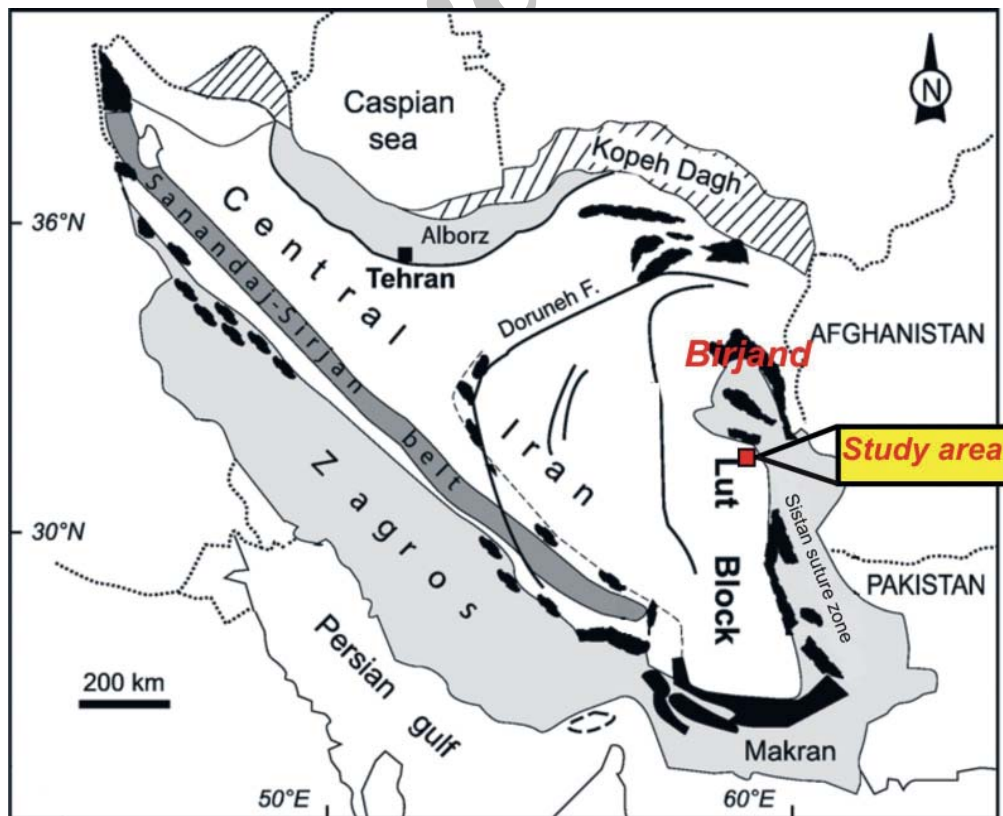
- بازدید صحرایی، نمونه‌برداری و مطالعه ۳۰۰ مقطع نازک.
- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های عمیق - نیمه عمیق اسیدی تا حدواسط.
- تهیه تصاویر ماهواره‌ای استر و پردازش آنها برای شناسایی زون‌های دگرسانی با نرم افزار ENVI.
- مطالعه و پردازش ژئوشیمیایی ۱۹۲ نمونه رسوب رودخانه‌ای.
- گردآوری داده‌های ژئوفیزیک هوایی مربوط به منطقه

این محدوده در بخش غربی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران قرار گرفته و از نظر ساختاری در بلوک لوت، در خاور ایران واقع شده است (شکل ۱). بخش خاوری ایران، به دو بخش بلوک لوت در باختر و زون فلیش در خاور تقسیم می‌شود (Stocklin et al., 1972).

بلوک لوت با درازای حدود ۹۰۰ کیلومتر در جهت شمالی - جنوبی و عرض حدود ۲۰۰ کیلومتر در جهت شرقی - غربی، خاوری‌ترین بخش خرده قاره ایران مرکزی است (Jung et al., 1983). نخستین فعالیت ماگمایی در بلوک لوت مربوط به ژوراسیک است که به صورت انواع توده‌های گرانیتی رخنمون دارد. از جمله توده‌های گرانیتی می‌توان به توده گرانیتی سرخ‌کوه، کمپلکس گرانیتی شاه‌کوه، کوه سرخ و کوه بیدمشک (Tarkian et al., 1983) اشاره کرد. از مظاهر ماگماتیسیم کرتاسه در لوت می‌توان به گرانودیوریت گزو در ۱۵ کیلومتری جنوب غرب دیهوک که دارای کانی‌سازی مس پورفیری است، اشاره کرد (Tarkian et al., 1983).

فعالیت ماگمایی ترشیری در این بلوک هم به صورت آتشفشانی و هم به صورت پلوتونیک عمل کرده است. فعالیت آتشفشانی از کرتاسه پسین آغاز شده، و در ائوسن به اوج خود می‌رسد (Tarkian et al., 1983; Jung et al., 1983).

به دلیل فعالیت‌های ماگمایی فراوان و شرایط زمین‌ساختی خاصی که در زمان‌های مختلف در بلوک لوت برقرار بوده است، کانی‌سازی‌های مختلفی نظیر ذخایر پورفیری، اپی‌ترمال و انواع



شکل ۱- نقشه تقسیمات ساختاری ایران (Berberian and King, 1981) و موقعیت منطقه مورد مطالعه.

روش پردازش، از تجربیات و روش‌های به‌کار گرفته شده توسط (Hubbard et al, 2007; Yamaguchi et al., 1996; Rowan and Mars, 2003; Rowan et al., 2003) استفاده شد.

زون‌های دگرسانی مهم که بر اساس پردازش داده‌های ماهواره‌ای شناسایی شدند عبارتند از: سربیسیتیک، پروپیلیتیک و آرژیلیک (شکل ۳-۱). همان‌گونه که در شکل ۳-۱ مشخص است، اکسیدهای آهن (هماتیت) به صورت گسترده در منطقه مورد مطالعه بارز شده‌اند. حضور اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌تواند نشانه‌ای از کانی‌سازی آهن و یا وجود سولفیدهایی باشد که به اکسید آهن تبدیل شده‌اند. مطالعات صحرایی، کانی‌سازی آهن در شرق روستای بیشه را تایید کرد. بر اساس مطالعات کانه‌نگاری، مهم‌ترین کانی آهن‌دار این محدوده، مگنتیت است که در سطح به هماتیت، گوتیت و لیمونیت تبدیل شده است (شکل ۴). پاراژنز عمده مگنتیت شامل کانی‌های سولفیدی از جمله پیریت و کالکوپیریت بوده که در اثر هوازدگی به اکسید آهن تبدیل شده و حضور ژپس نیز گواهی بر رخداد اکسایش سولفیدها است. از کانی‌های دیگری که در منطقه شرق بیشه رخمون دارد، کلریت آهن‌دار است (شکل ۳-۲). مطالعه مقاطع میکروسکوپی سنگ‌های اسیدی - حدواسط عمیق تا نیمه عمیق شرق بیشه نشان‌دهنده دگرسانی شدید آنها است. در بعضی از نمونه‌ها، بلورهای آمفیبول کاملاً به کلریت آهن‌دار تبدیل شده است (شکل ۵)، که تاییدکننده نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای است. در شش کیلومتری شمال شرق بیشه نیز هماتیت رخمون یافته است (شکل ۳-۲). مطالعات صحرایی نشان‌دهنده کانی‌سازی آهن و تشکیل سولفیدها در این منطقه است. در بخش جنوب غرب بیشه (شکل ۳-۲) و شمال شرق چاه شور (شکل ۳-۱) نیز هماتیت به صورت گسترده به همراه کلریت آهن و منیزیم‌دار وجود دارد.

### مطالعه ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای

یکی از اهداف اکتشاف ژئوشیمیایی، دستیابی به تمرکز غیر عادی عناصر مرتبط با کانی‌سازی است. بررسی رسوبات آبراهه‌ای در ژئوشیمی اکتشافی به روش مطالعه هاله‌های ثانویه، اهمیت خاصی دارد. همان‌گونه که در بحث دگرسانی منطقه بیان شد، بخش‌های شرقی (شکل ۳-۲) و جنوب غربی بیشه (شکل ۳-۲) از بخش‌های مستعد کانی‌سازی است. داده‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده در این بررسی، بیشتر مربوط به برداشت‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای دو محدوده یاد شده است که توسط کارشناسان شرکت تهران پادیر برداشت و نکات زیر در نظر گرفته شده است:

- عمق برداشت نمونه‌ها، ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری بوده است.
  - غلظت فلزات در مواد آلی به دلیل ارتباط با پدیده جذب، بالا است (حسنی پاک، ۱۳۸۷) بنابراین از برداشت مواد آلی اجتناب شده است.
  - نمونه‌ها از وسط آبراهه‌ها برداشت شده است.
- پس از تعیین دقیق محل نمونه‌ها و نمونه‌برداری صحیح از

مورد مطالعه و تعبیر و تفسیر آنها و مقایسه با داده‌های زمینی بخشی از منطقه.

- مطالعه کانه‌نگاری ۵۰ مقطع صیقلی و نازک صیقلی.

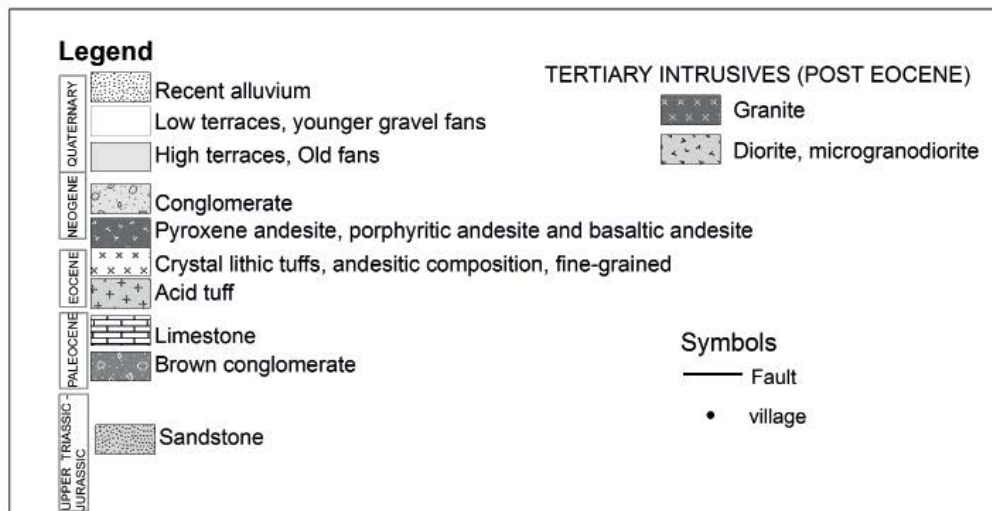
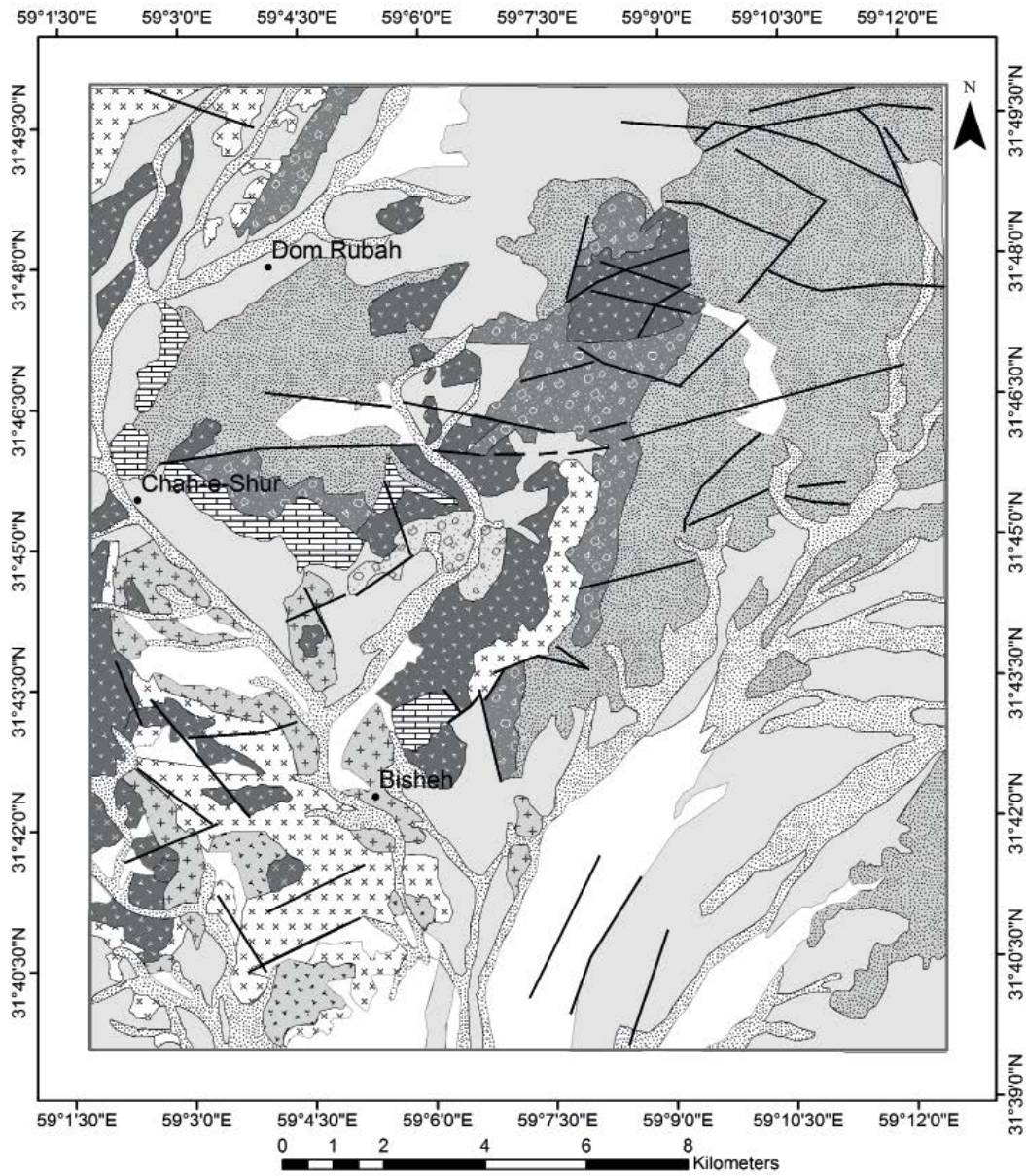
### زمین‌شناسی منطقه‌ای

قدیمی‌ترین واحد چینه‌سنگی منطقه مورد مطالعه، شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک است که بیشتر در بخش‌های شرقی رخمون دارند (Behrouzi and Nazer, 1992). کنگلومرای قاعده‌ای پالئوسن به رنگ قهوه‌ای و آهک‌های توده‌ای و ضخیم‌لایه گرم‌رنگ که دارای ریزفسیل‌های گوناگونی از پالئوسن هستند، به صورت دگرشیب بر روی شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک قرار گرفته‌اند. واحدهای ماگمایی ترشیری شامل سنگ‌های آتشفشانی - آذرآواری و نفوذی، دیگر واحدهای سنگی منطقه هستند. سنگ‌های آتشفشانی - آذرآواری منسوب به ائوسن (Behrouzi and Nazer, 1992)، شامل آندزیت - بازالت، تراکی آندزیت - تراکیت و توف‌های داسیتی هستند که توسط نفوذی‌های عمیق تا نیمه‌عمیق اسیدی - حدواسط بریده شده‌اند. در شمال روستای بیشه بر روی گدازه و توف‌های ائوسن، کنگلومرای نئوژن به ضخامت ۴۰ تا ۵۰ متر و شیب ۱۰ درجه به‌گونه ناهمساز قرار گرفته‌اند. بخش‌های جنوب شرقی و بخش‌هایی از شمال غرب منطقه دارای پوشش آبرفتی است. این نهشته‌ها به صورت تراس‌های رودخانه‌ای و گراول‌های دامنه کوه‌ها، پادگانه‌های فرسایش‌یافته و نهشته‌های بستر آبراهه‌ها هستند (شکل ۲). به دلیل اهمیت محدوده بیشه در منطقه مورد مطالعه از دیدگاه کانی‌سازی، مطالعه زمین‌شناسی این منطقه با تفصیل بیشتری انجام شد. طی بازدیدهای صحرایی و مطالعات میکروسکوپی مشخص شد که سنگ‌های دربرگیرنده واحدهای آهکی شمال شرق بیشه که در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران به عنوان پیروکسن آندزیت، آندزیت و آندزی بازالت معرفی شده و بخش نسبتاً بزرگی از منطقه را به خود اختصاص داده است، مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین اسیدی - حدواسط عمیق و نیمه عمیق هستند. این سنگ‌ها شامل دیوریت پورفیری، مونزودیوریت، مونزودیوریت پورفیری و تونالیت بوده و دیوریت پورفیری بیشترین حجم بیرون‌زدگی را در منطقه دارا است. هجوم این توده‌ها در سنگ آهک‌های پالئوسن باعث تشکیل اسکارن و کانی‌سازی آهن در منطقه مورد مطالعه شده است (نخعی و همکاران، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰).

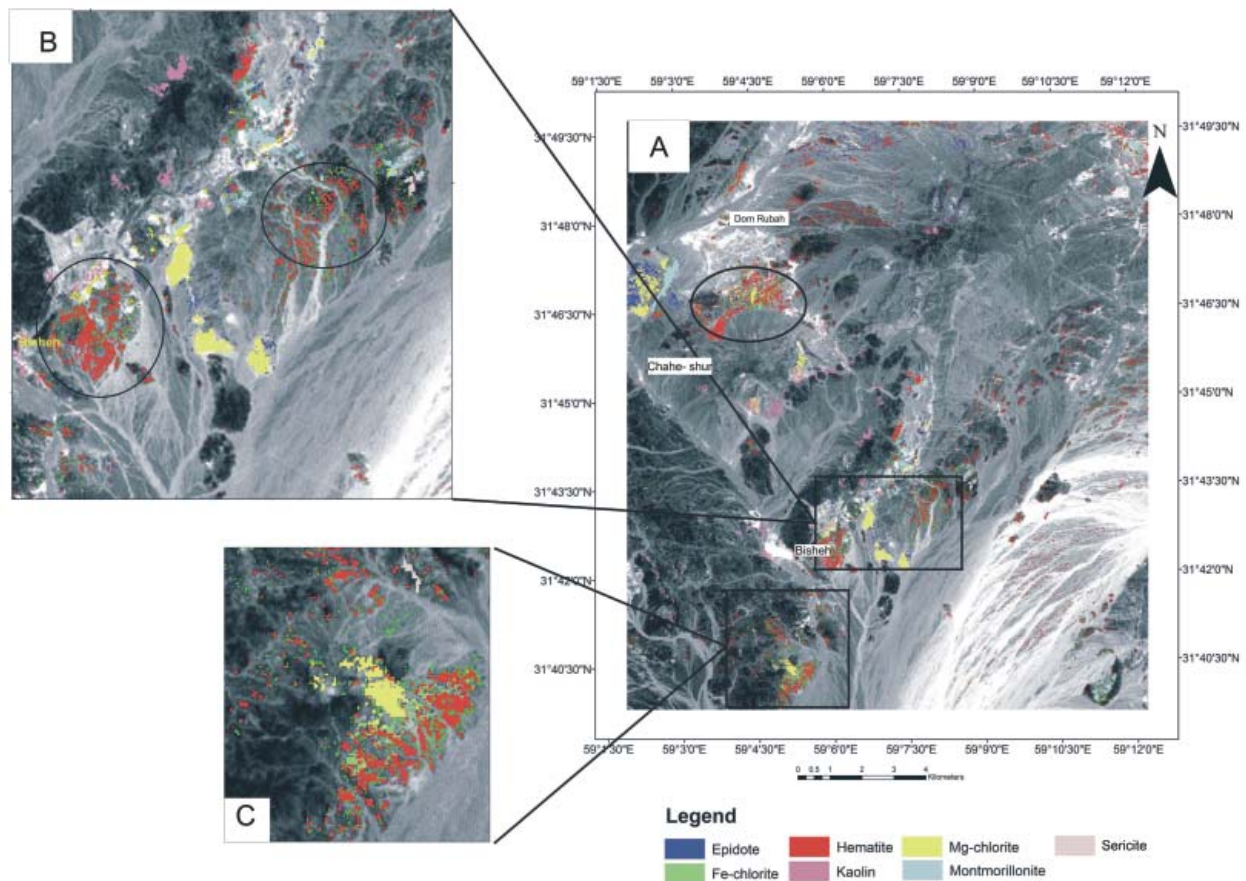
### دگرسانی

به‌کارگیری اطلاعات سنجش از دور و تلفیق آنها با ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی در سال‌های اخیر باعث تولید نتایجی با ارزش، شده است. این روش‌ها موجب شناسایی و معرفی مناطق مستعد از نظر تشکیل ذخایر نافلزی و فلزی در کمترین زمان ممکن می‌شوند.

در این پژوهش داده‌های ماهواره استر به منظور شناسایی کانی‌های معرف زون‌های دگرسانی پردازش شدند. در مورد



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (Behrouzi and Nazer, 1992).



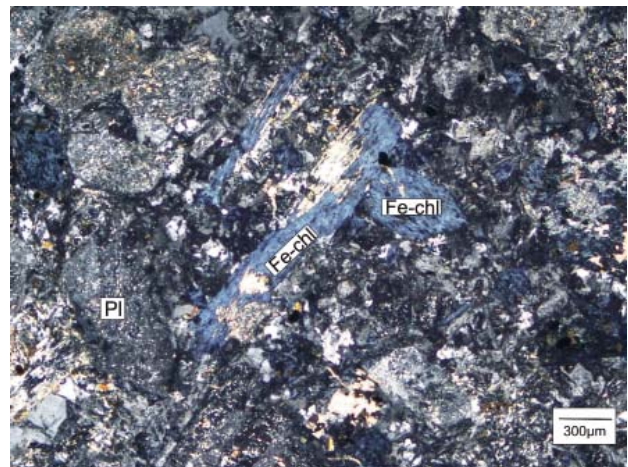
شکل ۳- نمایش کانی‌ها و زون‌های دگرسانی در منطقه مورد مطالعه.

رسوبات آبراهه‌ای، بر اساس الگوی از پیش تعیین شده و جلوگیری از هرگونه آلودگی، تعداد ۱۹۲ نمونه برداشت شد. نمونه‌ها ابتدا با الک ۸۰ مش دانه‌بندی و پس از ارسال به آزمایشگاه، عملیات نرمایش تا حدود ۲۰۰ مش انجام شده، و برای تجزیه عنصری به آزمایشگاه Amdel استرالیا ارسال شد که پس از آماده‌سازی در چهار اسید، ۴۳ عنصر به روش ICP-MS<sup>۱</sup> و سنجش طلا به روش

Fire Assay مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. پارامترهای آماری در خلاصه‌کردن، منظم‌کردن و تفسیر داده‌ها بسیار مؤثرند. محاسبه این پارامترها، مانند میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی، از جمله موارد شناخت و ویژگی‌های داده‌های اکتشافی است. جدول ۱ پارامترهای آماری مربوط به برخی عناصر را نشان می‌دهد.



شکل ۵- تبدیل بلورهای آمفیبول به کلریت آهن‌دار در دیوریت پورفیری شرق بیشه (XPL). علائم اختصاری به کار رفته شامل کلریت: Chl؛ پلاژیوکلاز: Pl از (Kretz, 1983) است.



شکل ۴- تشکیل اکسیدهای ثانویه آهن (هماتیت و گوتیت) در شرق بیشه.

1. Inductively coupled plasma mass spectrometry

جدول ۱- پارامترهای آماری مربوط به برخی عناصر در محدوده مورد مطالعه

	Fe(%)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Sn(ppm)	W(ppm)	Sb(ppm)	As(ppm)	Au(ppb)
Maximum	۹/۳۱	۱۲۳	۵۶	۱۴۹	۱۱	۳۹	۸/۵	۱۴۱	۱۶
Minimum	۳	۹	۷	۴۹/۶۰	۱	۰/۳۰	۱	۹	۰
Mean	۵	۳۳/۶۳	۲۱/۴۲	۸۱/۱۶	۲/۱۷	۳/۲۴	۲/۲۶	۲۶/۴۴	۱/۳۳
Range	۶/۳۱	۱۱۴	۴۹	۹۹/۴۰	۱۰	۳۸/۷۰	۷/۵۰	۱۳۲	۱۶
Std. Deviation	۱/۱۲	۱۴/۲۴	۸/۱۲	۱۶/۷۸	۱/۴۳	۷/۳۹	۱/۳۱	۱۹	۲/۳۶
Skewness	۱/۰۵۲	۲/۶۶	۰/۹۶۴	۰/۶۳۷	۳/۶۸	۳/۳۹	۱/۵۷	۲/۷۲	۳/۸۸
Kurtosis	۱/۵۸	۱۲/۳۰	۱/۱۵	۰/۶۴	۱۷/۴۳	۱۰/۴۴	۳/۲	۹/۷۴	۱۷/۸۹

انحراف معیار و  $\bar{X}$  میانگین مقادیر مشاهده شده است) (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴). بدیهی است که تمام ارقام بالاتر از عیار آستانه را می‌توان به عنوان بی‌هنجاری در نظر گرفت. میانگین عیار آهن ۵ درصد و انحراف معیار داده‌ها ۱/۱۲ است. بنابراین عیار آستانه آهن در منطقه ۷/۲۴ درصد است. عیار زمینه مس برای منطقه مورد مطالعه ۴۷/۹۲ ppm و عیار آستانه ppm ۶۲/۱۲ است. میانگین عیار روی ppm ۸۱/۱۷ بوده، که با انحراف معیار ۱۶/۷۸، عیار آستانه برای عنصر مذکور ppm ۱۱۴/۷۳ است. با توجه به محاسبات، عیار آستانه سرب، قلع و تنگستن به ترتیب ۳۷/۶۷، ۴ و ۱۸ گرم بر تن بوده که عیارهای بالاتر، بی‌هنجاری به‌شمار می‌رود. شکل ۷، نقشه نمونه‌های بی‌هنجار عناصر آهن، مس، روی، سرب، قلع، تنگستن و طلا را نشان می‌دهد. در بخش شمال شرق بیشه (محدوده A، شکل ۷) بی‌هنجاری عناصر مس، روی، سرب، قلع و تنگستن وجود دارد. این بخش، بیشترین عیار مس (۱۲۳ ppm) را در کل منطقه دارا است. مطالعات صحرایی، وجود کانی‌مالاکیت و کانی‌سازی مس را تایید کرد. اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی با استفاده از دستگاه حساسیت‌سنج مغناطیسی مدل GMS-۲ دانشگاه فردوسی مشهد، مویذ حضور توده‌های گرانیتوئیدی سری ایلمنیت و مگنتیت در منطقه بیشه است. پذیرفتاری مغناطیسی گرانیت‌های سری ایلمنیت در محدوده [SI] ۱۰-۵ تا ۴-۱۰ و گرانیت‌های سری مگنتیت در محدوده [SI] ۱۰-۲ تا ۱۰-۳ است (Ishihara, 1977; Gregorová et al., 2003; Goutham et al., 2010). دامنه تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی سنگ‌های مورد مطالعه [SI] ۱۰-۵ تا ۱۰-۲۰۷۶×۵-۱۰×۱۰ است. گرانیتوئیدهای سری مگنتیت، عامل تشکیل اسکارن‌های منطقه بوده و در بخش مرکزی کانی‌سازی آهن (محدوده B، شکل ۷) قرار دارند. گرانیتوئیدهای سری ایلمنیت در فاصله ۶ کیلومتری شمال شرق روستای بیشه (محدوده A، شکل ۷) قرار داشته و با مرکز کانی‌سازی آهن فاصله دارند. با توجه به این که گرانیتوئیدهای سری ایلمنیت دارای پتانسیل کانی‌سازی عناصر W-Sn-Au بوده (Audat et al., 2000; Heinrich et al., 1999) و وجود بی‌هنجاری‌های قلع و تنگستن (محدوده A، شکل ۷)، احتمال کانی‌سازی این عناصر در شمال شرق بیشه وجود دارد. مطالعه کانی‌شناسی با میکروسکوپ دوچشمی ۱۰ نمونه

اغلب داده‌های اکتشافی، دامنه وسیعی دارند و به‌ندرت مقدار معینی تکرار می‌شود، بنابراین مقادیر باید طبقه‌بندی شوند تا توزیع فراوانی معنی‌داری حاصل گردد. هیستوگرام‌ها به‌صورت نمودارهای دوماحوری هستند که در آنها محور X نمایانگر تعداد کلاسه عیاری داده‌ها و محور Y فراوانی هر کدام از این کلاسه‌ها را نشان می‌دهد. با مشاهده هیستوگرام‌ها می‌توان نوع تابع توزیع، وجود یا عدم چولگی و نوع آن را به‌دست آورد. توزیع نرمال نمونه‌ها به وسیله شکل ناقوس متقارن در هیستوگرام‌ها مشخص می‌شود (Rollinson, 1993). چنانچه شکل هیستوگرام در توزیع داده‌های خام به یک شکل نسبتاً نرمال نزدیک باشد، نمی‌توان انتظار بی‌هنجاری‌های ارزشمند از آن را داشت.

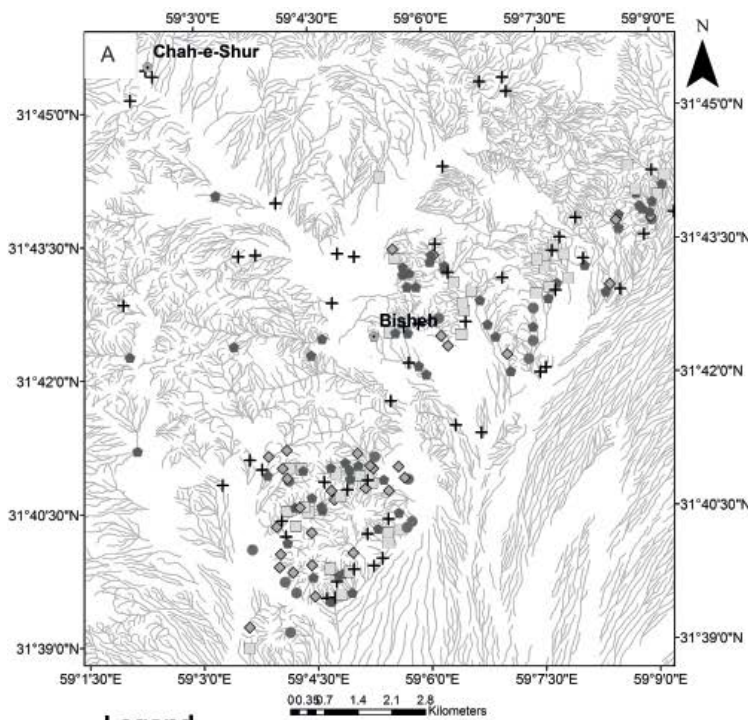
در واقع انتخاب یک جامعه نسبتاً نرمال با مشاهده هیستوگرام‌ها همراه با در نظر داشتن پارامترهای چولگی و کشیدگی در جدول پارامترهای آماری مقدور خواهد بود. هر چه چولگی و کشیدگی به ۰ و ۳ نزدیک‌تر باشند، آن جامعه نرمال‌تر است.

شکل ۶ نقشه چگونگی توزیع عیارهای آهن، مس، سرب و روی و هیستوگرام توزیع این عناصر را نشان می‌دهد. از میان این چهار عنصر، مس دارای بالاترین چولگی و کشیدگی است. میانگین عیار عنصر مس در پوسته زمین ۵۵ گرم بر تن است (Mason and Moore, 1982). با نگاهی به هیستوگرام مس، مشخص می‌شود که بیش از ۹۰ درصد داده‌ها کمتر از این مقدار است. وجود چند عیار در کرانه‌های بالایی موجب انحراف این نمودار از منحنی توزیع نرمال شده است.

هیستوگرام آهن انحراف کم داده‌ها از منحنی توزیع نرمال را نشان داده است. بیشترین فراوانی داده‌ها مربوط به غلظت‌های بین ۴ تا ۴/۳۳ درصد است.

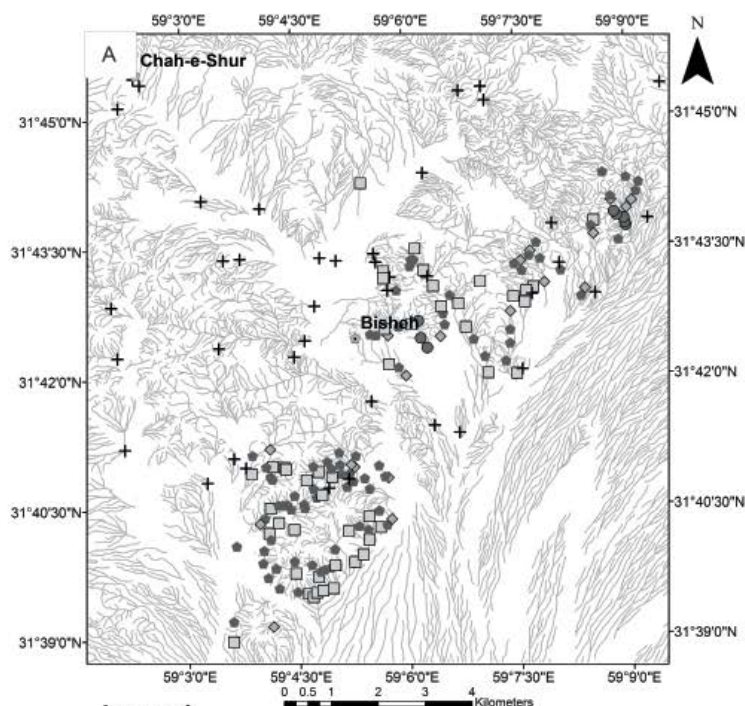
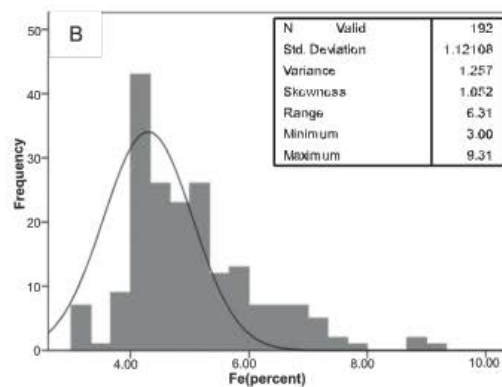
بالاترین عیار سرب ۵۶ و کمترین عیار ۷ گرم بر تن است و هیستوگرام سرب نشان می‌دهد که داده‌ها از منحنی توزیع نرمال انحراف کمی را نشان می‌دهند.

دامنه غلظت روی از ۴۹/۶۰ تا ۱۴۹ گرم بر تن بوده و هیستوگرام مربوطه نیز الگوی زنگی شکل تابع توزیع نرمال نشان می‌دهد. در بررسی‌های ژئوشیمیایی اکتشافی، برای تعیین مقدار زمینه محلی معمولاً مقادیر منطبق با  $S\bar{X}+S$  و برای تعیین حد آستانه محلی و ناحیه‌ای مقادیر منطبق با  $2S\bar{X}+$  مورد توجه قرار می‌گیرند (S



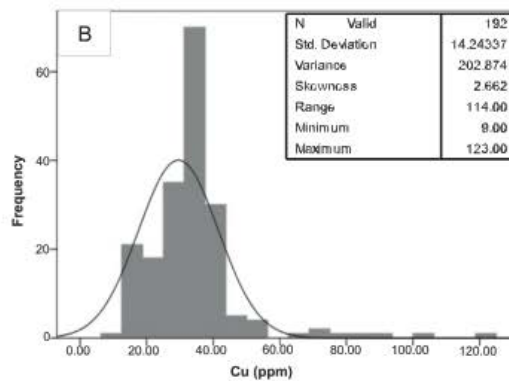
**Legend**

<b>FE (Percent)</b>	● 4.71 - 5.61	— Drainage
+ 3 - 4.14	◆ 5.61 - 6.76	● village
□ 4.14 - 4.71	● 6.76 - 9.31	

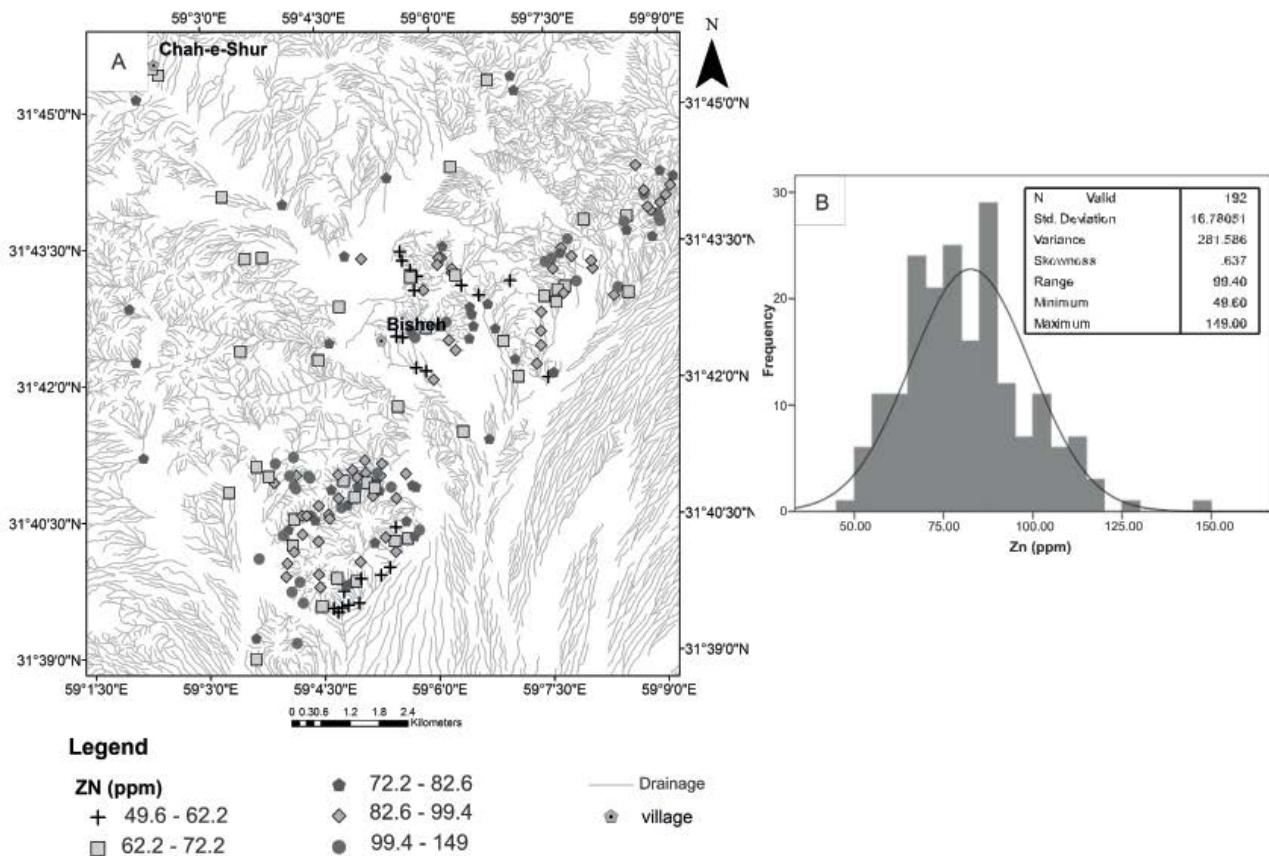
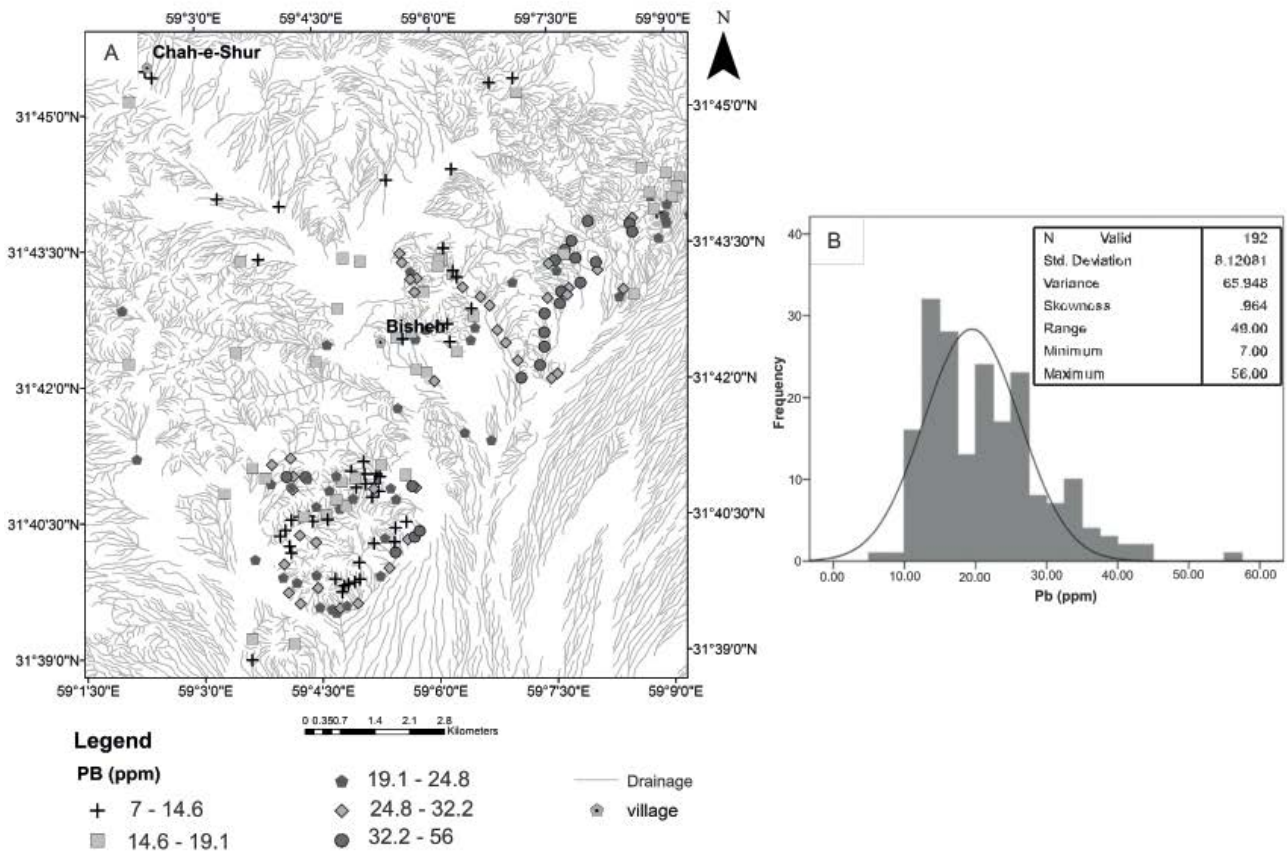


**Legend**

<b>CU (ppm)</b>	● 32.5 - 40.3	— Drainage
+ 9 - 23.7	◆ 40.3 - 52	● village
□ 23.7 - 32.5	● 52 - 123	

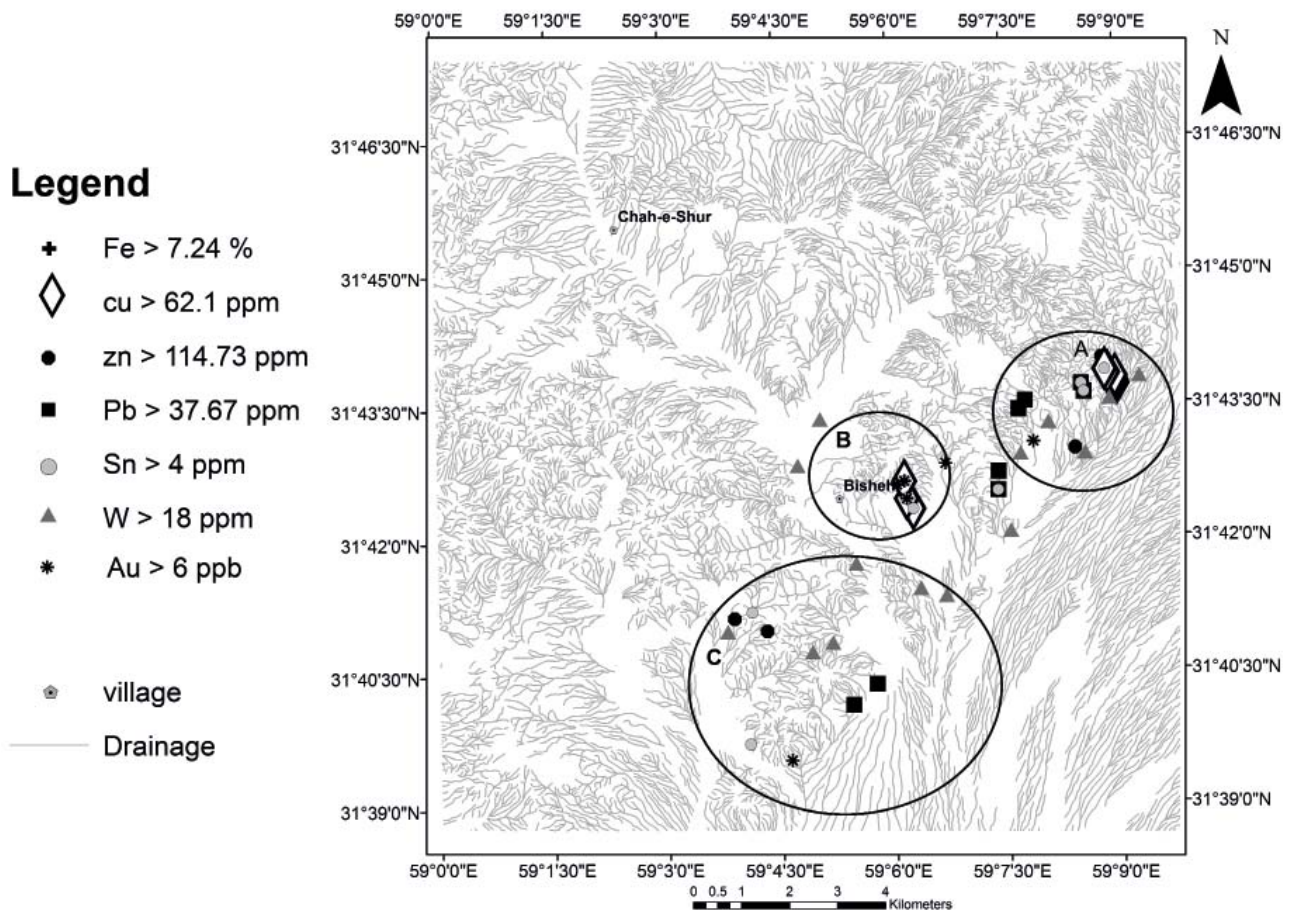


شکل ۶- نقشه توزیع مقادیر عناصر آهن، مس، روی و سرب (A) و نمودار توزیع این عناصر (B) در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای، (داده‌های ژئوشیمیایی، مربوط به شرکت تهران پادیر، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ است).



ادامه شکل ۶

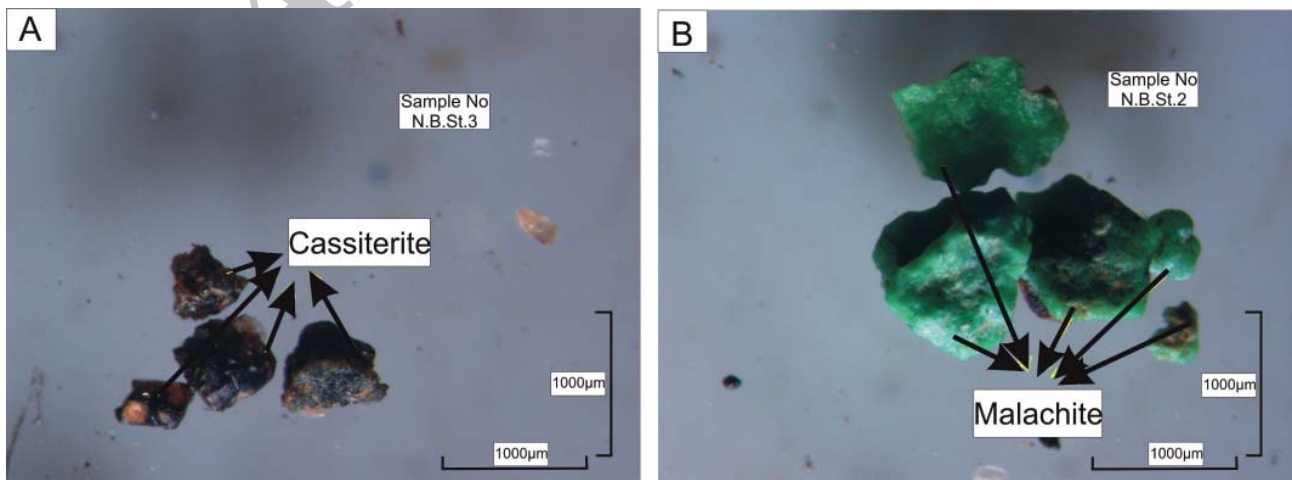




شکل ۷- نقشه نمونه‌های بی‌هنجار عناصر آهن، مس، روی، سرب، قلع، تنگستن و طلا.

بیشترین عیار قلع ۱۰/۹ ppm، تنگستن ۳۲ ppm، روی ۱۲۵ ppm، سرب ۴۳/۷ ppm و آهن ۸/۹ درصد است. همان‌گونه که در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲) مشخص است در این بخش واحدهای گرانیت - گرانودیوریتی و دیوریتی در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده و با توجه به بی‌هنجاری‌های موجود، احتمال بروز کانی‌سازی وجود دارد.

لاوک‌شویی شده از رسوبات اطراف این گرانیتوئیدها نیز وجود کانی کاسیتريت را در ۷ نمونه (شکل ۸-A) و شلتیت را در ۳ نمونه تایید کرد. ملاکیت از دیگر کانی‌هایی است که در بیشتر این نمونه‌ها وجود دارد (شکل ۸-B). در جنوب و جنوب غرب بیشه (محدوده C، شکل ۷) نیز بی‌هنجاری‌هایی از قلع، تنگستن، روی، سرب و آهن وجود دارد.



شکل ۸- حضور کانی کاسیتريت (A) و ملاکیت (B) در رسوبات لاوک‌شویی شده شمال شرق بیشه.

## اکتشافات مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه

به‌کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی مانند مغناطیس‌سنجی، طیف‌سنجی پرتو گاما و گرانی‌سنجی اطلاعات مهمی را در جهت شناسایی و پی‌جویی مواد معدنی در عمق و انتخاب محل‌های مناسب برای اکتشاف در اختیار قرار می‌دهد (Richardson et al., 2002). مغناطیس‌سنجی، قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین روش مورد استفاده در اکتشافات ژئوفیزیکی است (Nabighian, 2005) که برای تعیین محل کانسارهای پنهان به‌کار می‌رود.

سازمان انرژی اتمی ایران بین سال‌های ۱۹۷۷-۱۹۷۹ نقشه مغناطیس‌سنجی هوایی بصیران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ را توسط شرکت Austirex استرالیا تهیه کرده است، که محدوده مورد مطالعه در بخش غربی آن قرار دارد (شکل ۹). همان‌گونه که نقشه نشان می‌دهد، در بخش شرقی بیشه بی‌هنجاری مغناطیسی مشاهده می‌شود.

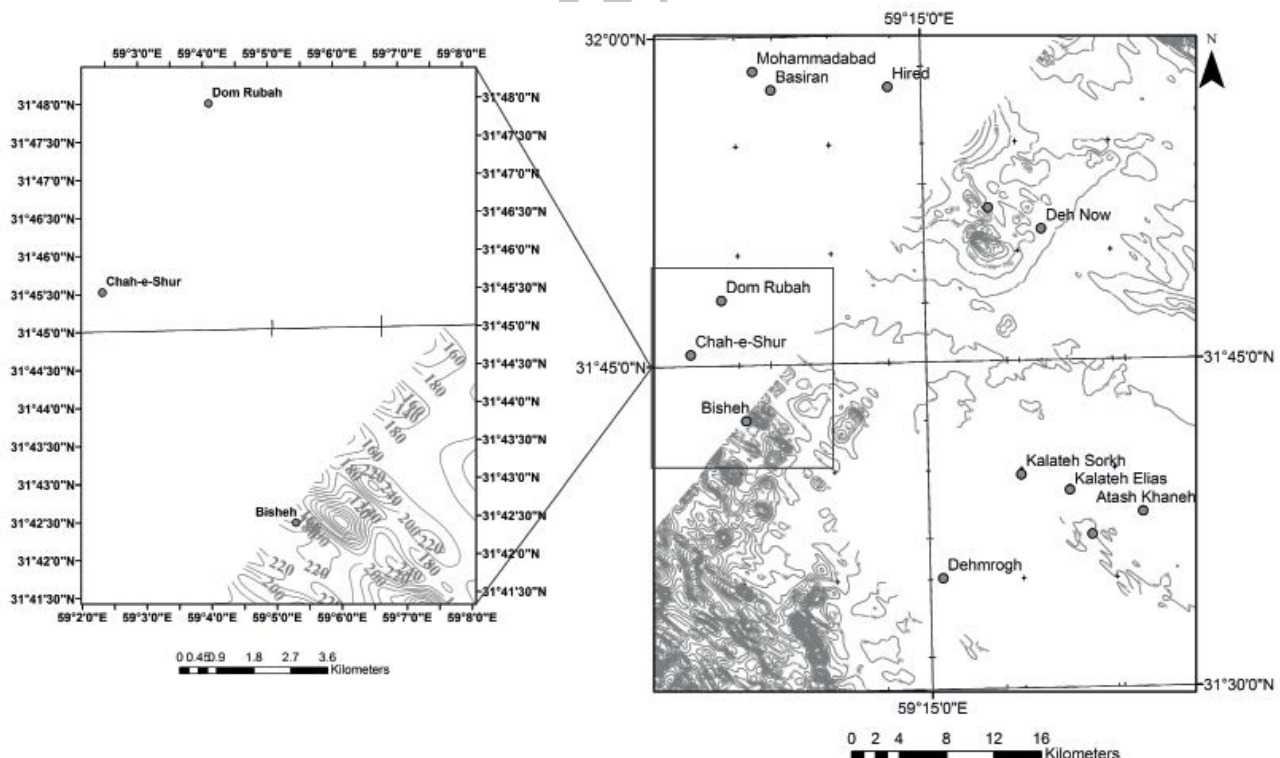
سازمان زمین‌شناسی ایران نیز در سال ۱۹۷۸ داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی محدوده نقشه چاه‌وک را با فاصله خطوط برداشت ۷/۵ کیلومتر و فاصله خطوط کنترلی ۴۰ کیلومتر به‌صورت نقشه کنترلی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ ارائه کرده است (Yousefi and Friedberg, 1978).

برای تفسیر داده‌های مغناطیسی هوایی و زمینی باید این اطلاعات را به شکل‌های مختلف نمایش داد. یکی از راه‌های ارائه داده‌های مغناطیسی، نقشه شدت کل میدان مغناطیسی TMI است. به منظور نشان دادن شکل و موقعیت بی‌هنجاری‌ها از نقشه‌های

شدت کل میدان مغناطیسی رنگی استفاده می‌شود. در این نقشه‌ها شکل بی‌هنجاری به رنگی که نشان داده می‌شود، بستگی دارد و می‌توان برای مقایسه وسعت بی‌هنجاری‌ها از آنها استفاده کرد. در نقشه رنگی، هر شدت با یک رنگ مشخص می‌شود و معمولاً شدت‌های پایین با رنگ آبی و شدت بالا با رنگ قرمز نمایش داده می‌شود (Jaques et al, 1997).

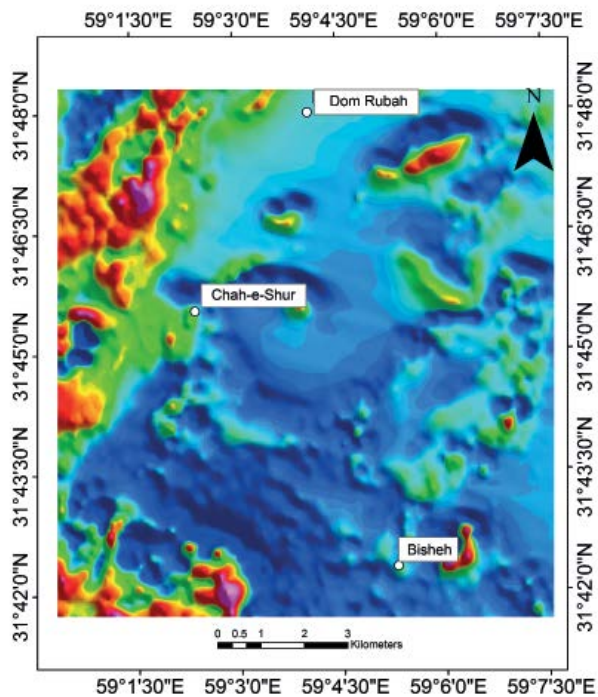
شکل ۱۰ نقشه رنگی شدت کل میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که پس از رقومی‌سازی و پردازش داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، به دست آمده است. با آنکه نقشه‌های رنگی شدت میدان مغناطیسی، از نظر دیداری مطلوب هستند اما صرفاً ابزاری برای کنترل کیفی بوده و به دلیل وجود میل مغناطیسی زمین با توجه به موقعیت جغرافیایی نقاط اندازه‌گیری، تفسیر واقعی ارائه نمی‌دهند (Nabighian, 2005). از آنجا که میل مغناطیسی باعث می‌شود بی‌هنجاری‌های مغناطیسی نسبت به منبع ایجادکننده خود انحراف داشته باشند، فیلتر RTP<sup>۲</sup> بر روی داده‌های مغناطیسی اعمال می‌شود. در این حالت بی‌هنجاری‌ها به طور قائم در بالای منبع ایجادکننده خود قرار می‌گیرند (Arkani and Urquhart, 1990) و تفسیر اصلی بر روی داده‌های انتقال داده‌شده به قطب (RTP) صورت می‌گیرد (Liu and Mackey, 1998). شکل ۱۱، نقشه مربوط به انتقال به قطب و محل واقعی بی‌هنجاری‌ها در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود در



شکل ۹- نقشه مغناطیس‌سنجی هوایی ورقه بصیران (Atomic Energy organization of Iran, 1979)، که منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

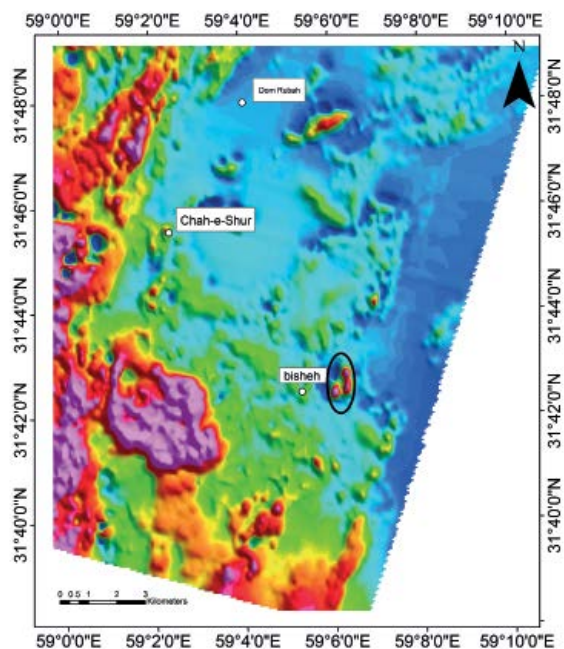
1. Total Magnetic intensity map
2. Reduced to pole



شکل ۱۰- نقشه رنگی شدت کل میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳-۱۳۸۲).

منطقه بیشه را تایید می‌کند. در این منطقه (شرق روستای بیشه) عملیات مغناطیس‌سنجی با ۱۴۰۰ ایستگاه در محدوده‌ای به وسعت ۷۶ هکتار توسط کارشناسان شرکت تهران پادیر انجام شده است. دستگاه مغناطیس‌سنج مورد استفاده در این مطالعه ژئومتریکس از نوع پروتون (G826-G816) بوده و در این برداشت‌ها به منظور ثبت تغییرات روزانه شدت میدان مغناطیسی از یک ایستگاه مبنا در موقعیت جنوب ناحیه استفاده شده است.

قسمت غربی منطقه مورد مطالعه بی‌هنجاری‌هایی به صورت پیوسته دیده می‌شود. در نقشه مغناطیس‌سنجی هوایی سازمان زمین‌شناسی (نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ چاه وک) بی‌هنجاری موجود به حضور سنگ‌های آذرین کم عمق و گدازه‌ها نسبت داده شده است. دو بی‌هنجاری دیگر یکی در جنوب شرق دم روباه و دیگری در شرق بیشه دیده می‌شود. پردازش داده‌های ماهواره‌ای و به دنبال آن مطالعات صحرایی، وجود اکسیدهای آهن ثانویه و مگنتیت در



شکل ۱۱- نقشه شدت کل میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه پس از انتقال به قطب (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳-۱۳۸۲).

شکل ۱۲ نقشه شدت کل میدان مغناطیسی محدوده شرق بیشه را پس از اعمال تصحیح روزانه نشان می‌دهد. بازه تغییرات شدت میدان مغناطیسی از ۴۶۵۰۰ nT تا ۴۹۵۰۰ nT است. این موضوع نشان‌دهنده وجود بی‌هنجاری با شدت میدان مغناطیسی بالا است. تغییرات شدت میدان مغناطیسی بالا به دلیل وجود کانی فری مغناطیس است. در این نقشه ۴ آنومالی مهم قابل تشخیص است (A1، A2، A3، A4).

بی‌هنجاری A1 با امتداد شمالی - جنوبی در شرق محدوده برداشت دیده می‌شود. شدت بی‌هنجاری در قسمت شمالی کم و به سمت جنوب افزایش می‌یابد. بی‌هنجاری A2 در قسمت غربی بی‌هنجاری A1 بوده و بستگی کاملی را تشکیل می‌دهد. بی‌هنجاری A3 در قسمت جنوبی بی‌هنجاری A2 قرار دارد. آنومالی A4 به صورت یک بی‌هنجاری مغناطیسی کوچک در قسمت غربی محدوده دیده می‌شود.

میدان مغناطیسی خوانده شده در یک نقطه مجموع سه بخش زیر است:

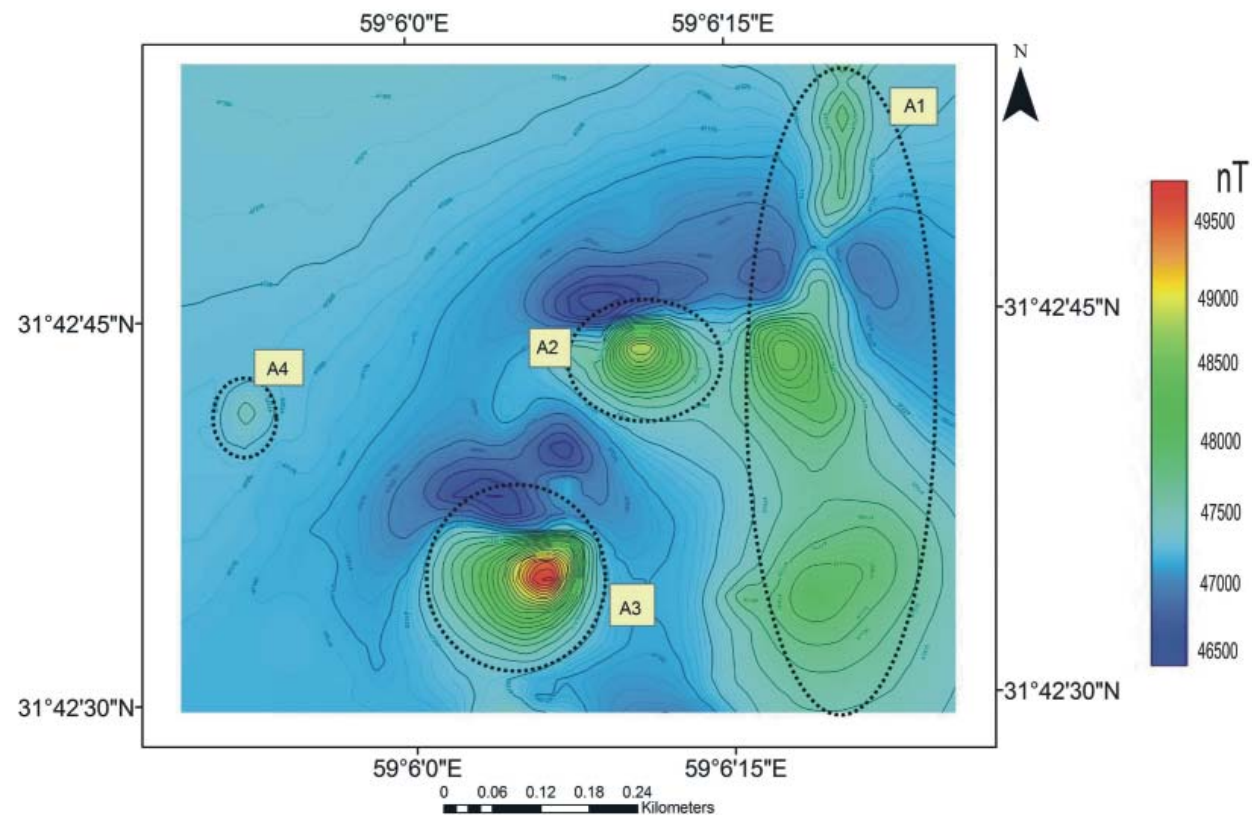
۱) میدان مغناطیسی اصلی زمین که بزرگ‌ترین و قوی‌ترین بخش میدان مغناطیسی است (۸۰ تا ۹۰ درصد) و در هسته تولید می‌شود. (Campbell, 2003)  
 ۲) میدان القا شده توسط مواد مغناطیسی پوسته‌ای (بی‌هنجاری). (Brodie, 2002)

برای دستیابی به شکل و محل واقعی بی‌هنجاری مغناطیسی فیلتر برگردان به قطب انجام شد. برای این ناحیه زاویه انحراف ۲/۳ درجه و زاویه میل ۴۸/۵۸ درجه در نظر گرفته شده است. شکل ۱۳ نقشه مغناطیس باقیمانده را در منطقه شرقی بیشه که فیلتر برگردان به قطب نیز بر آن اعمال شده، نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود بی‌هنجاری‌های مغناطیسی به سمت شمال تغییر موقعیت داده‌اند.

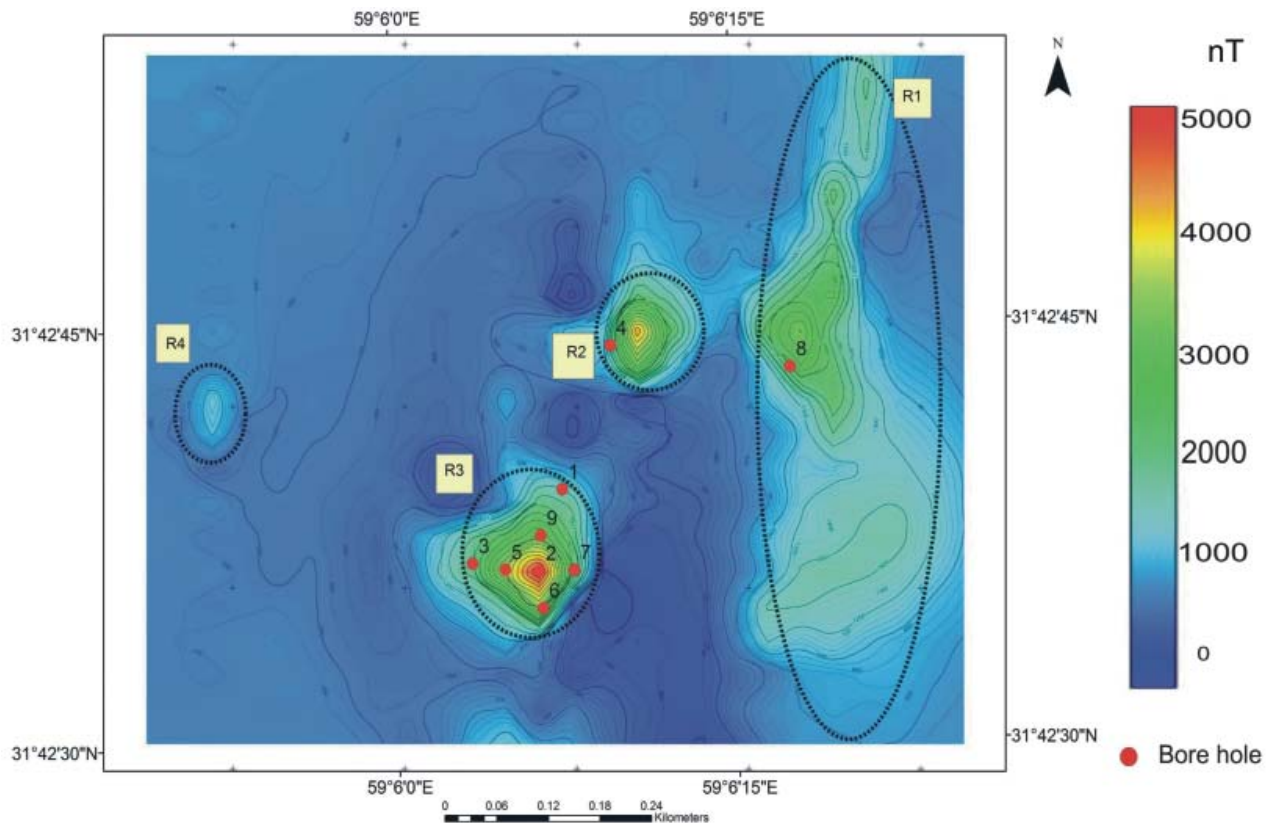
بیشترین بازه تغییر در این نقشه مربوط به بی‌هنجاری R3 و کمترین آن مربوط به بی‌هنجاری R4 است.

بر اساس نتایج این مطالعات، اقدام به ایجاد گمانه در منطقه مورد مطالعه شده است (شکل ۱۳). در بی‌هنجاری R3 گمانه‌های ۲، ۳، ۵، ۶، ۷ و ۸ حفر شده است. مطالعه ۵۰ مقطع صیقلی و نازک صیقلی برداشت شده از اعماق مختلف گمانه‌های حفر شده نشان داد که مهم‌ترین کانی آهن‌دار در این محدوده مگنتیت

بی‌هنجاری R3 مربوط به بی‌هنجاری R3 و کمترین آن مربوط به بی‌هنجاری R4 است.



شکل ۱۲- نقشه رنگی شدت کل میدان مغناطیسی شرق بیشه (شرکت تهران پادیر، ۱۳۸۶).



شکل ۱۳- نقشه شدت کل میدان مغناطیسی شرق بیشه پس از انتقال به قطب و تصحیح IGRF، (شرکت تهران پادیر، ۱۳۸۶) که موقعیت گمانه های حفر شده را نشان می دهد.

متری، به طول ۳۰ سانتی متر است. در عمق ۱۱۰ تا ۱۲۰ متری نیز کانی سازی مگنتیت (حدود ۳۰ درصد) وجود دارد.

### نتیجه گیری

محدوده مورد بررسی بخشی از بلوک لوت است که در آن رخنمون‌هایی از توده‌های عمیق و نیمه‌عمیق اسیدی - حدواسط وجود دارد. پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای شناسایی مناطق امید بخش، وجود اکسیدهای آهن فراوان را در نقاط مختلف محدوده، همراه دگرسانی‌های سربیسیتیک، پروپیلیتیک و آرژیلیک نشان می دهد. بر این اساس، بخش‌های شرقی و جنوب غربی بیشه از جمله مناطق مستعد جهت کانی‌سازی هستند. بررسی ۱۹۲ نمونه ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای از بخش‌های مذکور نشان می دهد که در مسیر بعضی آبراهه‌ها بی‌هنجاری‌هایی از مس، روی، سرب، قلع، تنگستن و آهن وجود دارد. بیشترین عیار مس مربوط به ۶ کیلومتری شمال شرق بیشه بوده و مطالعات صحرایی نیز وجود مالاکیت و کانی سازی مس را تایید کرد. بی‌هنجاری‌های قلع و تنگستن در این بخش، در ارتباط با توده‌های گرانیتوئیدی سری ایلمنیت هستند. در جنوب غرب بیشه نیز بی‌هنجاری‌هایی از قلع، تنگستن، روی، سرب و آهن وجود دارد که با توجه به زمین‌شناسی و دگرسانی‌های بارز شده در این بخش، برای مطالعات تکمیلی پیشنهاد می شوند. بررسی نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی، یک بی‌هنجاری مشخص را در شرق بیشه نشان داد که

است. بافت اصلی مگنتیت‌ها توده‌ای است. بلورهای مگنتیت از لحاظ اندازه و شکل متنوع هستند، به گونه‌ای که از بلورهای بسیار ریز (کمتر از ۵۰ میکرون) تا درشت (بیش از ۰/۵ میلی متر) قابل مشاهده است. مگنتیت به صورت جانشینی در گارنت تشکیل شده است که بیانگر رخداد آن به صورت اسکارن است. بیشترین مقدار مگنتیت در گمانه ۲ دیده می شود که تاییدی بر برداشت‌های مغناطیس‌سنجی است. مطالعه مغزه‌ها نشان می دهد که در این گمانه از مجموع ۱۴۴/۵ متر حفاری، حدود ۵۸ متر کانی‌سازی مگنتیت وجود دارد. میزان مگنتیت در بعضی قسمت‌های زون کانی‌سازی به ۵۰ درصد می رسد. کانی سازی مگنتیت در گمانه ۵ نیز مشاهده می شود. کانی سازی از عمق ۹/۵ متری شروع شده و تا عمق ۹۱ متری به صورت ناپیوسته مجموعاً حدود ۱۰ متر کانی سازی مگنتیت وجود دارد.

در گمانه‌های ۱، ۳، ۶ و ۷ کانی‌سازی مگنتیت وجود نداشته یا بسیار کم است. اکسیدهای ثانویه آهن در نواحی سطحی این گمانه‌ها وجود دارد. این گمانه‌ها از لحاظ موقعیت در حاشیه بی‌هنجاری R3 قرار دارند. در بی‌هنجاری R2 یک گمانه (گمانه ۴) حفر شده، که بیشترین مقدار مگنتیت در بخش‌های سطحی و بیشتر تا ۲۱/۴۴ متری دیده می شود. بیشترین مقدار مگنتیت حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد و در اعماق ۱۹ تا ۲۱/۴۴ متری اتفاق افتاده است. گمانه ۸ به عمق ۱۸۰ متر در بی‌هنجاری R1 حفر شده و اولین رخداد کانی سازی آهن (حدود ۱۰ درصد مگنتیت) در عمق ۱۰۴

- Arkani, H., and Urquhart, W. E. S., 1990. Reduction to the pole of the North American magnetic anomalies. *Geophysics*, 55, 218-225.

- Atomic Energy organization of Iran., 1979. Airborn Geophysical map of Basiran. Sheet 7853.

- Audtat, A., Günther D., and Heinrich C.A., 2000. Magmatic-hydrothermal evolution in a fractionating granite: a microchemical study of the sn-w-f-mineralized mole granite (Australia). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64, 3373-3393.

- Behrouzi, A. and Nazer, N. Kh., 1992. Geological Map of Basiran, 1:100000, GSI, Tehran.

- Berberian, M., and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265.

- Brodie, R.C., 2002. Airborne and ground magnetics. *Geophysical and remote sensing methods for regolith Exploration*, 33-45.

- Campbell, W.H., 2003. Introduction to geomagnetic fields. *Cambridg University Press*, 332.

- Goutham, M.R., Sandhya, R., Madhusudhan Rao, B., Patil S.K. and Murthy, B.V.S., 2010. Rock magnetic and Palaeomagnetic Study of the Archaean Granites from Hyderabad, India, *Journal of Indian Geophysical Union*, 14, 67-74.

- Gregorová, D., Hrouda, F. and Kohýt, M., 2003. Magnetic susceptibility and Geochemistry of Variscan West Carpathian granites: implications for tectonic setting, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 729-734.

- Heinrich, C.A., Günther, D., Audéat, A., Ulrich, T., and Frischknecht, R., 1999. Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusions. *Geology*, 27, 755-758.

- Hubbard, B. E., Rowan, L. C., Dusel-Bacon, C., and Eppinger, R. G., 2007. Geologic Mapping and Mineral Resource Assessment of the Healy and Talkeetna Mountains Quadrangles, Alaska Using Minimal Cloud- and Snow-Cover ASTER Data, *USGS Open-File Report 2007-1046*.

- Ishihara, S., 1977. The magnetite series and ilmenite series granitic rocks. *Mining Geology, Japan*, 27, 43-50.

- Jaques, A.L., Wellman, P. Whitaker, A. and Wyborn, D., 1997. High-resolution geophysics in modern geological mapping. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 159-173.

- Jung, D., Keller, J., Khorasani, R., Marcks, Chr., Bau-

منطبق بر هماتیت‌های بارز شده در پردازش داده‌های ماهواره‌ای بوده و مطالعات صحرایی نیز وجود اکسیدهای آهن ثانویه و مگنتیت را تایید می‌کند. عملیات ژئوفیزیک زمینی هم حاکی از وجود حدود ۳۰۰۰ nT تغییرات میدان مغناطیسی است که نشان از وجود کانی فری مغناطیس در منطقه دارد. مطالعات کانه‌نگاری نمونه‌های برداشت شده از گمانه‌های حفر شده در محل بی‌هنجاری‌های ژئوفیزیکی، وجود کانی‌سازی مگنتیت در اعماق مختلف را تایید کرد. بیشترین کانی‌سازی مگنتیت در گمانه ۲ در مرکز ناهنجاری مغناطیسی A3 رخ داده است. کانی‌سازی موجود در ارتباط با توده‌های گرانیتوییدی سری مگنتیت و به صورت اسکارنی است.

### سپاسگزاری

از سازمان صنایع و معادن استان خراسان جنوبی و بخصوص از آقای مهندس اشراقی به‌خاطر در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم تشکر می‌شود.

### منابع

- حسنی پاک، ع. ا.، ۱۳۸۷. اصول اکتشافات ژئوشیمیایی. انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۶.

- حسنی پاک، ع. ا.، شرف الدین، م.، ۱۳۸۴. تحلیل داده‌های اکتشافی. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۰۱۴.

- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳-۱۳۸۲. گزارش برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوایی در منطقه جنوب خراسان.

- شرکت تهران پادیر، ۱۳۸۵. مطالعات پتانسیل‌یابی و اکتشاف مقدماتی شهرستان نهبندان. سازمان صنایع و معادن خراسان جنوبی، ۸۰۰.

- شرکت تهران پادیر، ۱۳۸۶. اکتشاف نیمه‌تفصیلی مواد معدنی شهرستان نهبندان. سازمان صنایع و معادن خراسان جنوبی، ۴۳۷.

- نخعی، م.، کریم‌پور، م. ح.، مظاهری، س. ا.، حیدریان شهری، م. ر.، زرین‌کوب، م. ح.، ۱۳۸۹. مطالعه زمین‌شناسی و کانی‌شناسی محدوده کانی‌سازی اسکارن آهن بیشه (جنوب بیرجند، خاور ایران)، نخستین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران.

- نخعی، م.، کریم‌پور، م. ح.، مظاهری، س. ا.، حیدریان شهری، م. ر.، زرین‌کوب، م. ح.، ۱۳۹۰. بررسی سنگ شناختی توده‌های نفوذی و ارتباط آنها با کانه زایی آهن در منطقه بیشه (جنوب بیرجند، خاور ایران)، دومین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران.

- Arjmandzadeh, R., Karimpour, M.H., Mazaheri, Santos, S.A.J.F., Medina, J.M., and Homam, S.M., 2011. Sr-Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut Block, Eastern Iran), *Journal of Asian Earth Sciences*, 41, 283-296.

mann, A., and Horn, P., 1983. Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran. Geological Survey of Iran, 51, 285-336.

- Karimpour, M.H., Khin Zaw., and Huston, D.L., 2005. S-C-O isotopes, fluid inclusion microthermometry, and the genesis of ore bearing fluids at Qaleh-Zari Fe-Oxide Cu-Au-Ag Mine, Iran. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, 16, 153-168.

- Karimpour, M.H., Stern, C.R., Farmer., G.L., Saadat, S., Malekzadeh Shafaroudi., A., 2011. Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary Igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran , Geopersia, 1 , 19-36.

- Kretz, R., 1983, Symbols for rock-forming minerals, American Mineralogist, 68, 277-279.

- Liu, S., and Mackey, T., 1998. Using images in geological interpretation of magnetic data. Australian Geological Survey Organization Research Newsletter, 28, 1-3.

- Luyendyk, A.P.J., 1997. Processing of airborne magnetic data. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17, 31-38.

- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H. , Mazaheri, S.A., 2010. Rb-Sr and Sm-Nd isotopic compositions and Petrogenesis of ore-related intrusive rocks of gold-rich porphyry copper Maherabad prospect area (North of Hanich), east of Iran, Iranian journal of crystallography and Mineralogy , 18 , 15-32.

- Mason, B., Moore, C. B., 1982. Principles of Geochemistry. Wiley & Sons, 244.

- Nabighian, M. N., Grauch, V. J. S., Hansen, R. O., Lafehr, T. R., Li, Y., Peirce, J. W., Phillips, J. D., and Ruder, M. E., 2005. The historical development of the magnetic method in exploration. Geophysics, 70, 33-61.

- Richardson, L. M., Wynne, Ph., and Hone, I., 2002.

Geophysical Data Sets Over Continental Australia. Preview (ASEG), 100, 48-54.

- Rollinson, H. R., 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Longman Scientific & Technical, 352.

- Rowan, L. C., Hook, S. J., Abrams, M. J., and Mars, J. C., 2003. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), A new satellite imaging system. Economic Geology, 98, 1019-1027.

- Rowan, L. C., Mars, J. C., 2003. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. Remote Sensing of Environment, 84, 350-366.

- Stocklin, J., Eftekhari-Nezhad, J., and Hushmand-Zadeh, A., 1972. Geological Reconnaissance Map of Central Lut. Geological Survey of Iran, 22.

- Tarkian, M., Lotfi, M., and Baumann, A., 1983. Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran. Geological Survey of Iran, 51, 357-383.

- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Key, D.A., 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press, 770.

- Yamaguchi, Y., Rowan, L C., Tsu, H., and Kahle, A. B., 1996. Application of ASTER data to geological studies. Proceedings of the eleventh thematic conference on geologic remote sensing; practical solutions for real world problems, 11.

- Yousefi, E., and Friedberg, J.L., 1978. Aeromagnetic Map of Iran (Quadrangle No. K9), Geological Survey of Iran.