

## تفسیر داده‌های مغناطیسی و بررسی کانه‌زایی طلا- آرسنیک با استفاده از نتایج حاصله در منطقه شیرمرد (جنوب آذربایجان غربی)

منیزه شیرزادی\* و مانا رحیمی\*\*

### چکیده

جهت بررسی کانه‌زایی طلا- آرسنیک در منطقه شیرمرد از داده‌های هوا مغناطیسی این منطقه استفاده شده است. پس از پردازش داده‌ها و تصحیح منطقه‌ای، نقشه شدت کلی و نقشه باقیمانده مغناطیسی منطقه رسم شد. این نقشه‌ها با توجه به چگونگی پربندهای بی‌هنجاری مغناطیسی، وجود گسلی در شمال منطقه و توده‌های مغناطیسی در سطح منطقه را مشخص می‌کنند. به منظور بدست آوردن اطلاعات بیشتر صافی‌های مختلفی مانند ادامه فروسو، ادامه فراسو، مشتق قائم و برگشت به قطب مغناطیسی برای تعیین محل توده‌های مغناطیسی عمیق و سطحی در منطقه انجام شد. سپس با تشکیل طیف چگالی انرژی داده‌های این منطقه عمق متوسط توده‌های سطحی و عمیق در منطقه بدست آمد.

وجود بی‌هنجاری مغناطیس هوایی قابل توجه در این منطقه، تنوع کانه‌زایی و پارائنز منطقه معدنی زرشوران و آغدره ضرورت بررسی و مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی را محرز می‌نماید. با توجه به همبستگی مشاهده شده در تفسیرهای مغناطیس هوایی بین این منطقه و نشانه‌های معدنی پراکنده در اطراف، مطالعه تلفیقی و همزمان این منطقه بعنوان الگوی مطالعاتی در نظر گرفته شده است.

**کلید واژه‌ها:** مشتق قائم، بی‌هنجاری مغناطیسی، طیف چگالی انرژی، کانه‌زایی تیپ کارلین

### ۱ مقدمه

میدانهای پتانسیل مانند میدان مغناطیسی در ژئوفیزیک عموماً برای اندازه‌گیری در اکتشافات نفت و کانی و همچنین مطالعات عمیق پوسته به کار می‌روند. امروزه به جهت نیاز به سرعت در انجام کار و کاهش هزینه‌های عملیاتی و مطالعات مناطق وسیع و بعضاً صعب‌العبور در اکتشافات، بیشتر از داده‌های هوا مغناطیسی استفاده می‌شود. به همین دلیل روشهای مختلفی برای تفسیر بهتر نقشه‌های مغناطیسی ایجاد شده است. هر یک از روشها مزایا و معایبی دارند. روشهای تفسیر مغناطیسی به کار رفته در این پژوهش یکی روش ادامه فراسو است که داده‌های اندازه گرفته شده را به سطوح بالاتری انتقال می‌دهد. در نتیجه

\* موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵، تهران.

\*\* سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت ژئومغناطیس، گروه اطلاعات زمین مرجع، تهران.

فوریه به صورت زیر نوشته می شود.

$$E(r, \theta) = |\Delta f|^2 = 4\pi^2 k^2 e^{-2hr} (1 - e^{-tr})^2 s^2(r, \theta) R_f^2(\theta) R_k^2(\theta) \quad (1)$$

۱ در این رابطه  $|\Delta f|$  دامنه بی هنجاری مغناطیسی،  $\theta = \tan^{-1} \frac{u}{v}$ ،  $r = (u^2 + v^2)^{1/2}$  مربوط به ابعاد افقی توده و  $R_f^2(\theta)$  اثر زاویه میل و زاویه انحراف بردار میدان مغناطیسی و  $R_k^2(\theta)$  اثر زاویه میل و انحراف بردار گشتاور مغناطیدگی توده را نشان می دهد.  $k$  گشتاور مغناطیسی واحد عمق و  $t$  ضخامت توده و  $u$  و  $v$  بسامد زاویه ای می باشند. تابع چگالی توان برابر متوسط مجموع انرژی می باشد و عبارتست از (اسپکتور و گرانت ۱۹۷۰)

$$\langle E(r, \theta) \rangle = 4\pi^2 k^2 \langle R_k^2(\theta) \rangle \langle e^{-2hr} \rangle \langle 1 - e^{-2tr} \rangle \langle s^2(r, \theta) \rangle \quad (2)$$

در این رابطه عمق متوسط توده ها تنها در عامل  $\langle e^{-2hr} \rangle$  وارد می شود که با لگاریتم گرفتن از معادله طیف و رسم نمودار طیف لگاریتمی چگالی انرژی بر حسب  $r$ ، شیب این نمودار برابر  $-2h$  بوده و عمق متوسط توده ها تعیین می شود (کیس و اجوکس<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹).

## ۲ موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در جنوب استان آذربایجان غربی قرار دارد و منطبق با برگه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ شیرمرد می باشد. این برگه بخشی از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان در چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب می باشد (شکل ۱).

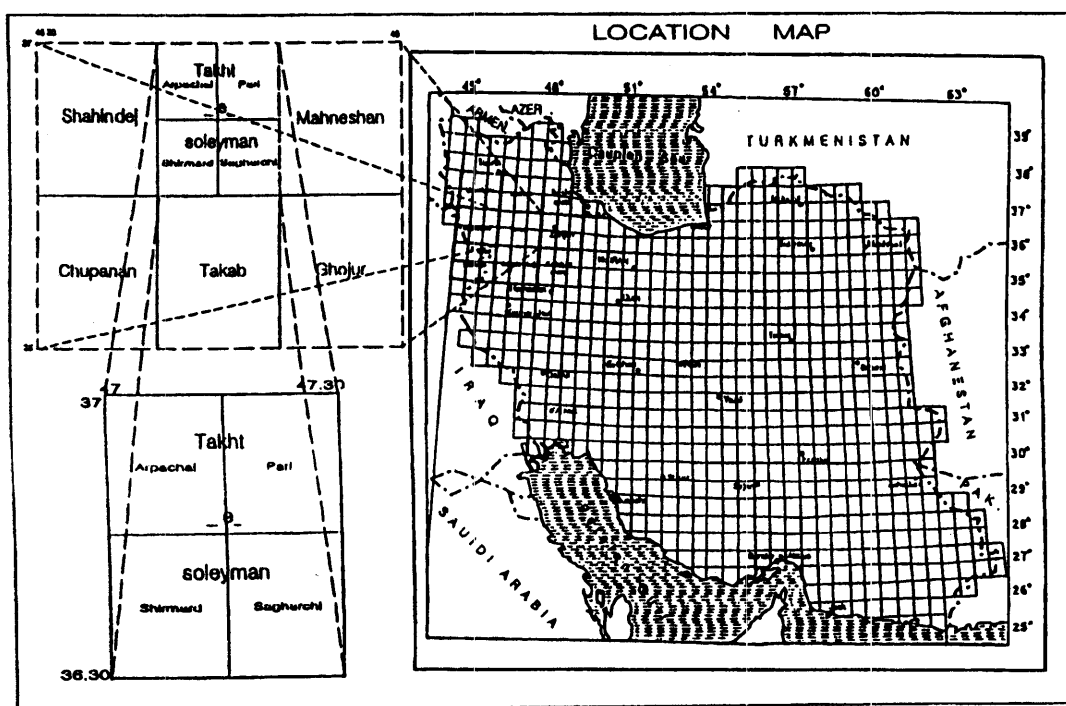
بی هنجاری های ضعیف و محلی از بین رفته و بی هنجاری های مربوط به توده های عمیق و منطقه ای در نقشه هومغناطیسی باقی می ماند با این روش کانه های عمیق مورد بررسی قرار می گیرند. روش دیگر روش ادامه فروسو است که با پایین آوردن سطح مشاهده در این روش بعلت نزدیک شدن سطح مشاهده به سطح منشاء، بی هنجاری های ضعیف مشخص تر شده و بی هنجاری مربوط به توده های مجاور هم تفکیک می شوند این روش در اکتشاف کانی های سطحی و اکتشاف نفت به کار می رود. در این روش اگر سطح مشاهده مماس بر سطح منشاء و یا در داخل منشاء قرار گیرد این روش دیگر جوابگو نیست. بعلاوه نوفه هایی مانند تاثیر حرکت هواپیما نیز در این روش در نقشه ظاهر می شوند. امروزه برای بررسی کانیهای سطحی بیشتر از روش مشتق قائم استفاده می شود. در این روش با مشتق گیری متوالی، درجه مخرج در رابطه مشتقات بی هنجاری و یا پتانسیل بزرگ شده و تاثیر توده های عمیق در نقشه ضعیف می شود. روش دیگر در این پژوهش روش طیف چگالی انرژی است، این روش که روشی ریاضی - آماریست، اطلاعات مربوط به توده های مغناطیسی (عمق، ضخامت و وسعت) را بدون آگاهی از شکل توده و یا مشخصات زمین شناسی منطقه تعیین می کند.

اسپکتور و گرانت<sup>۱</sup> (۱۹۷۰) با تغییر کمیت های هندسی مدل منشور قائم نشان دادند که این مدل را برای بسیاری از توده های زمین شناسی می توان به کار برد و طیف چگالی انرژی این مدل اولین بار توسط باتچریا<sup>۲</sup> در (۱۹۶۶) بدست آمد. رابطه طیف چگالی (مجذور طیف دامنه بی هنجاری) در مختصات قطبی و در حیطه

1. Spector & Grant

2. Bhattacharyya

3. Kis & Agocs

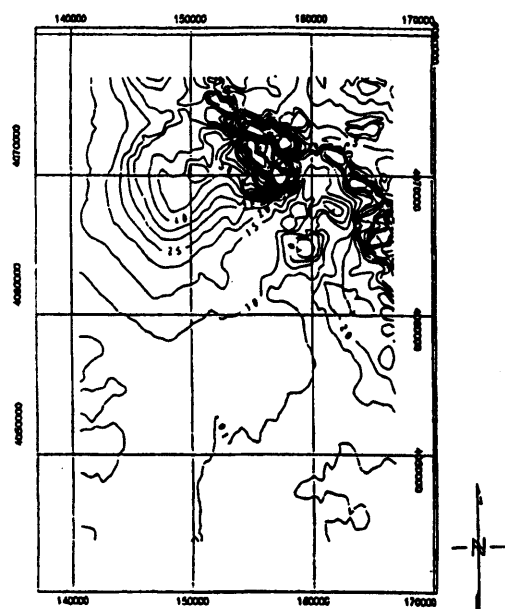


شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی نسبت به تقسیمات چهارگوشه‌ای ۱:۲۵۰/۰۰۰ و ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی

موجود در منطقه شامل گدازه‌های با ترکیب آندزیتی و ریولیتی و تا حدودی لائیتی مربوط به اواخر میوسن و توده نفوذی منسوب به گرانیت دوران می‌باشند که به نظر می‌رسد جوانتر از گرانیت دوران باشد، زیرا در خارج از منطقه مطالعاتی سازندهای جوانتر را قطع کرده است (معدن‌کاو، ۱۳۷۱ و کانساران، ۱۳۷۱). از نظر زمینساختی به دلیل برونزد سازندهای قدیمتر در منطقه زرشوان پیچیدگی بیشتری نسبت به آغدره مشاهده می‌شود. با تلفیق نتایج حاصل از پردازش‌های کامپیوتری، تحلیل برداشتهای صحرایی منحنی‌ها و نمودارهای ترسیم شده و سایر اطلاعات، وجود کانه‌زایی اپی‌ترمال در منطقه محرز گردیده است و با مقایسه انواع کانه‌زایی اپی‌ترمال الگوی کانه‌زایی اپی‌ترمال از نوع آدولاریا

مهمترین کانسارهای این منطقه، کانسار زرشوران و اثر معدنی آغدره است که از معدن زرشوران در حال حاضر زرنیخ استخراج می‌گردد و طلا در حال اکتشاف می‌باشد. قدیمی‌ترین سنگهای منطقه شامل شیستهای سبز با رگه‌های کوارتز می‌باشد، که قسمت محدودی از منطقه مطالعاتی را پوشش داده است. سازندهای معادن سلطانیه، باروت، زاگون، لالون همراه با کوارتزیت بالای آن و میلانیز با وسعت بسیار محدود در قسمت شمال غربی منطقه مطالعاتی قابل مشاهده است (خاک‌خوب، ۱۳۷۳). بیشترین وسعت رسوبات در منطقه مربوط به سازند قم است و پس از آن سازند قرمز بالایی حایز اهمیت می‌باشد. رسوبات عهد حاضر و تراورتن‌ها نیز دارای پراکندگی چشمگیر در منطقه می‌باشند. آذرین‌های

ارتفاع پرواز ۱۲۵ متر و ۵۵ نیمرخ که در فواصل ۲۵۰ تا ۵۰۰ متری از یکدیگر قرار گرفته و هر نیمرخ شامل ۲۳۳ نقطه اندازه‌گیری به فاصله ۱۵۰ متر از یکدیگر است، به صورت نقشه مغناطیس هوایی ترسیم گردید (شکل ۲). سپس برای انجام تصحیح منطقه‌ای با استفاده از برنامه IGRF سال ۱۹۹۵ تصحیح منطقه‌ای انجام شد و نقشه باقیمانده مغناطیسی منطقه رسم شد (شکل ۳). این شکل‌ها نشان می‌دهند که دو توده مغناطیسی مجزا در شمال و شمال‌شرقی منطقه قرار دارند. بی‌هنجاری واقع در مرکز و سمت چپ خود شامل دو قسمت مرتبط بوده و منطبق با محدوده زرشوران و آغدره است. بالاترین میزان بی‌هنجاری در منطقه زرشوران و با گسترش مطابق شکل ۳ است. این میزان بی‌هنجاری بالا به سمت آغدره روند ملایم‌تری را طی می‌کند که می‌تواند به دلیل قرار



شکل ۲. نقشه شدت مغناطیس کلی منطقه شیرمرد (فاصله پربندی ۵ نانوتسلا)

برای منطقه پیشنهاد شده است.

نوع کانه‌زایی طلا در منطقه تطابق زیادی با کانه‌زایی تیپ کارلین دارد که این کانه‌زایی در منطقه زرشوران در پی سنگ آرسنیک و کربنی و در منطقه آغدره در پی سنگ سیلیسی می‌باشد.

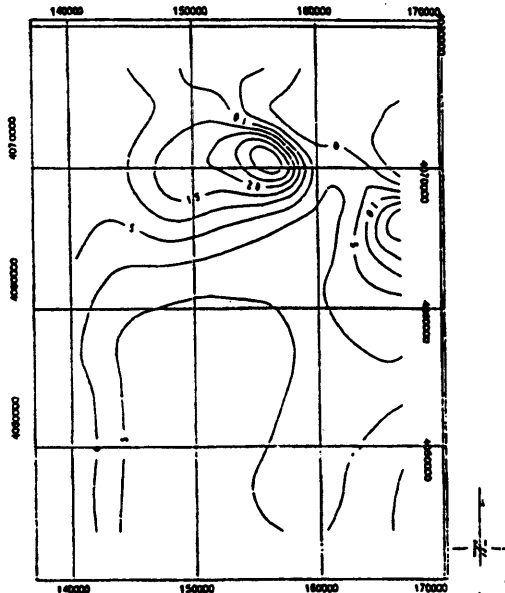
در شیل‌های سیاه در منطقه معدنی زرشوران لزوم مطالعه دقیق‌تر برای تعیین جایگاه دقیق کانه‌زایی محرز شد و بعد از مطالعه این شیل‌ها به دو بخش شیل سیاه و خاکستری تفکیک گردید، بالاترین میزان ppm طلا در بخش خاکستری موجود بوده است.

منطقه معدنی قابل توجه در آغدره که به عنوان شاهدهی قوی بر عملکرد بخارات برون‌دمی است و در طی انجام مطالعات صحرایی این پروژه مشاهده و مورد بررسی قرار گرفته است، بخش دهانه مانند و درهم ریخته‌ای است که در سازند قم نفوذ کرده و دارای پاراژنز کاملی مشابه تیپ کارلین است که واحدهای سیلیسی ناشی از شیرابه‌های سیلیسی که آهک‌های میوسن را قطع کرده و بخش‌ها تراورتنی که بر روی سیلیسها نهشته شده می‌باشد. عوامل نهشت کانه در منطقه معدنی زرشوران شیل‌های سیاه به عنوان یک سد ژئوشیمیایی و در منطقه آغدره نفوذ شیرابه‌های سیلیسی گرمابی به همراه عناصر تشکیل دهنده پاراژنز مربوطه در آهک‌های میوسن می‌باشد (سیلیتو، ۱۹۹۴ و مولر، ۱۹۹۷).

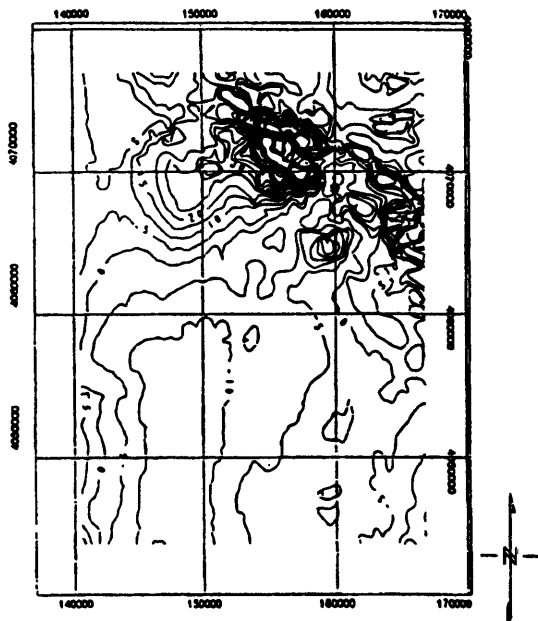
### ۳ روش کار

برای جلوگیری از اتلاف هزینه و وقت و انجام کار صحرایی در مناطق غیر ضروری ابتدا داده‌های مغناطیس هوایی منطقه شیرمرد با مشخصات

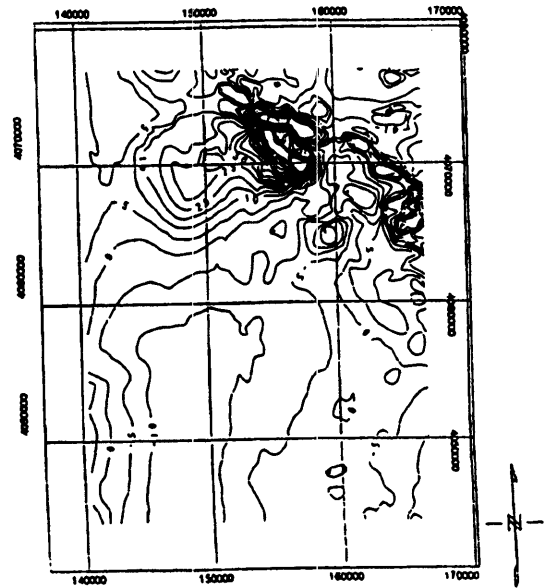
شده و تعدادی توده سطحی و پراکنده در شمال منطقه مشاهده می‌شود. در شکل ۶ با انجام صافی مشتق قائم بی‌هنجاری‌های مربوط به توده‌های



شکل ۴. نقشه ادامه فروسو شیرمرد تا ارتفاع ۱۵۰۰ متر (فاصله پربندی ۵ نانوتسلا)



شکل ۵. نقشه ادامه فراسو با پایین آوردن سطح مشاهده به اندازه ۱۰۰ متر (فاصله پربندی ۵ نانوتسلا)

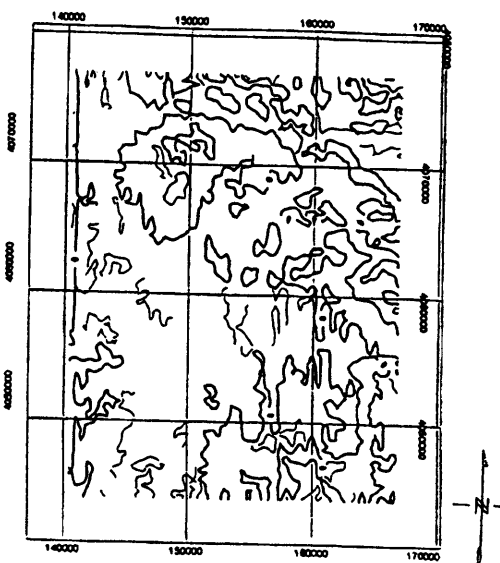


شکل ۳. نقشه باقیمانده مغناطیسی منطقه شیرمرد (فاصله پربندی ۵ نانوتسلا)

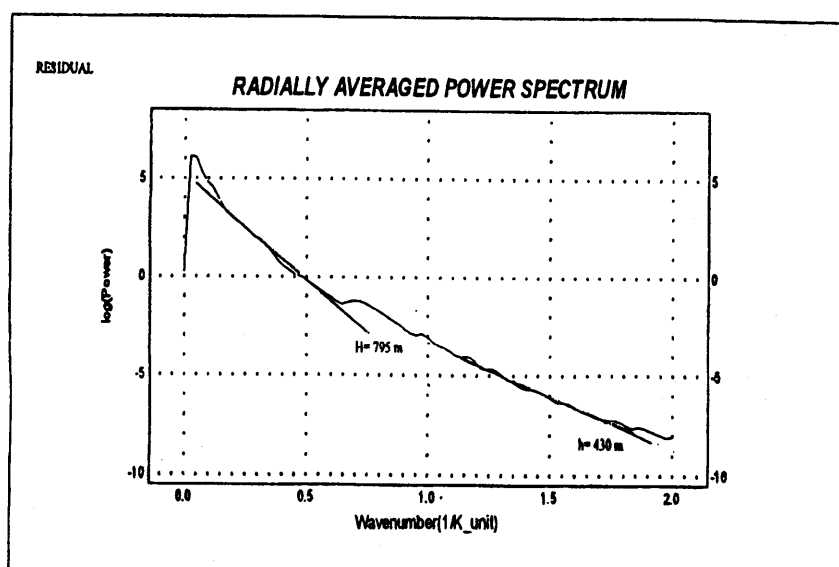
گرفتن توده در عمق بیشتر و یا شیبدار بودن توده معدنی به سمت غرب و یا کاهش پتانسیل کانه‌زایی باشد. وجود بی‌هنجاری‌هایی با تغییر شدید در دامنه در محدوده زرشوران می‌تواند بر اثر وجود گسل در مسیر مرز تغییر بی‌هنجاری باشد که این مسئله توسط مطالعات زمین‌شناسی تایید شده است. روند گسل شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد.

به منظور دستیابی به اطلاعات دقیقتر منطقه، از صافی‌های مختلفی استفاده شده است. در شکل ۴ با بالا بردن سطح مشاهده تا ارتفاع ۱۵۰۰ متر و حذف توده‌های سطحی، دو توده عمیق و مجزا در شمال و شمال شرقی منطقه و همچنین گسترش عمقی گسل موجود در منطقه مشخص می‌گردد. سپس با استفاده از صافی ادامه فروسو و پایین آوردن سطح مشاهده به اندازه ۱۰۰ متر در شکل ۵ بی‌هنجاری‌های سطحی مشخص و از هم تفکیک

(شکل ۷). با استفاده از شیب این نمودار عمق متوسط توده‌های منطقه حدود ۸۰۰ متر و عمق توده‌های سطحی حدود ۴۰۰ متر بدست آمده است. با توجه به نقشه‌های مغناطیسی فوق و تشخیص وجود و روند توده‌های زیر سطحی و مشخص نمودن محدوده انجام مطالعات صحرایی بین طول و عرضهای  $۱۰' ۴۷^{\circ}$  -  $۴۷^{\circ}$  شرقی و  $۳۶^{\circ} ۳۴'$  -  $۳۶^{\circ} ۴۳'$  شمالی می‌باشد. سپس با استفاده از عکسهای هوایی ۱:۲۰۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری و سازمان جغرافیای ارتش و نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ شیرمرد، دو نقشه توپوگرافی و زمین‌شناسی (اولیه) برای منطقه مطالعاتی ترسیم گردیده و ستون چینه‌شناسی منطقه در شکل ۸ نشان داده شده است.



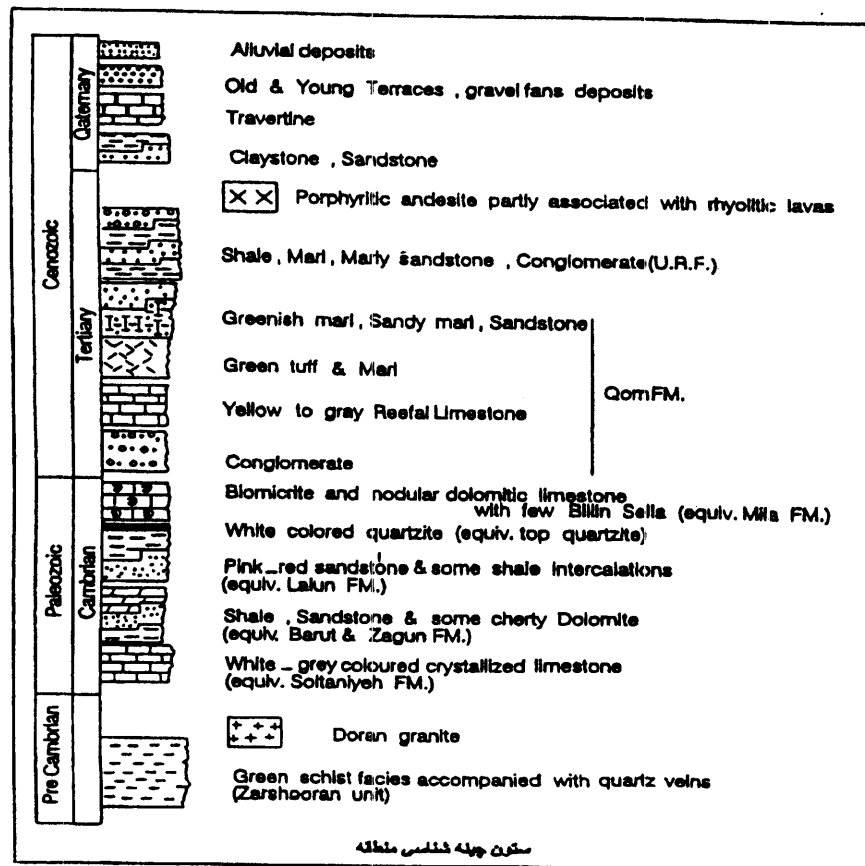
شکل ۶. نقشه مشتق قائم منطقه شیرمرد (فاصله پربندی ۵ نانوتسلا)



شکل ۷. نمودار طیف چگالی انرژی متوسط شعاعی منطقه شیرمرد

پس از طی یک دوره کار صحرایی علاوه بر تکمیل نقشه زمین‌شناسی و پیاده نمودن ساختارها و واحدهای شناسایی شده در محل، یک سری

سطحی مشخص‌تر می‌شوند. برای بدست آوردن عمق متوسط توده‌های عمیق و سطحی منطقه طیف چگالی انرژی لگاریتمی داده‌ها رسم شده است



شکل ۸. ستون چینه‌شناسی منطقه مطالعاتی

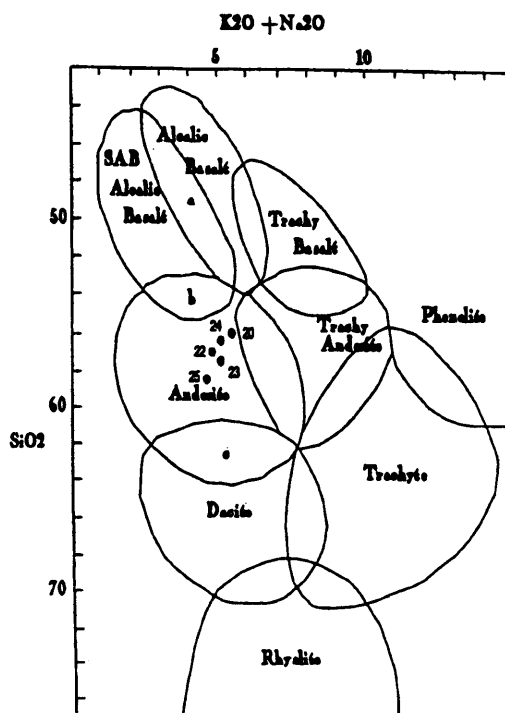
این منحنی‌ها گرانیت (از نوع درونی) و آندزیت (از نوع بیرونی) تشخیص داده شده است (شکل‌های ۹ و ۱۰). وجود توده گرانیتی و توده‌های زیرسطحی در منطقه مطالعاتی اشکال دیابیری در نقشه بی‌هنجاریهای مغناطیسی را توجیه می‌نماید. مطالعات کانی‌شناسی منطقه معدنی زرشوران و آغدره وجود پاراژنز کامل کانه‌زایی تیپ کارلین را در منطقه تایید می‌نماید. در منطقه زرشوران میزان کانه طلا در واحد شیل خاکستری تفکیک شده از واحد شیل سیاه است. نتایج حاصل از آنالیز ۱۴ نمونه برای تعیین طلا نشان می‌دهد که در نمونه‌های حاوی مقادیر قابل توجهی رآلگار و اریمنت (زرنیخ) در حد ppb طلا دارند که بسیار

نمونه برداری زمین‌شناسی و معدنی انجام پذیرفت و محل این نمونه‌ها بر روی نقشه زمین‌شناسی پیاده گردید. تهیه عکسهای لازم، انجام مطالعات و یادداشت برداری و تکمیل جدول‌های اطلاعات زمین‌شناسی از موارد دیگر انجام شده در دوره کار صحرائی می‌باشند. از نمونه‌های برداشت شده محل بسته به نوع مطالعه مقاطع نازک و صیقلی تهیه و مطالعه شد. همچنین بر روی نمونه‌ها آزمایشات XRD و XRF، آزمایش طلا اسپکترومتری و تحلیل‌های لازم دیگر صورت پذیرفت. بر اساس این تحلیلها، منحنی‌ها و نمودارهای لازم ترسیم شده و تحلیل‌های کامپیوتری صورت پذیرفته است. نوع سنگهای آذرین منطقه مطالعاتی توسط

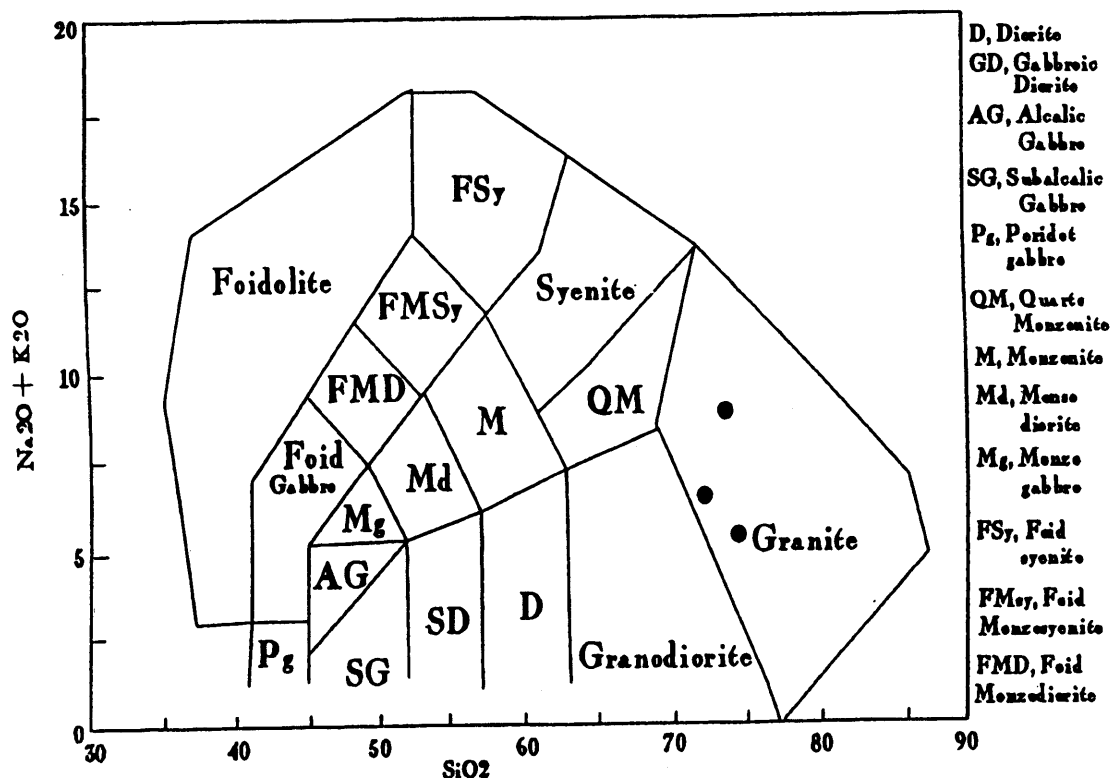
طبیعی و قابل توجه می باشد. همچنین نمونه هایی که مربوط به شیل سیاه و خاکستری زرشوران هستند در حد ppm طلا دارند که با انجام نمونه برداری خاص به ۱۲ ppm هم می رسد که بسیار حایز اهمیت است (شکل ۱۱).

۴ نتیجه گیری

با استفاده از نقشه های هوامغناطیسی محل توده های مغناطیسی در منطقه مشخص شده، همچنین با به کار بردن صافی های مختلف بی هنجاری مربوط به توده های عمیق و سطحی تعیین شده است. تغییر شدید دامنه بی هنجاری در محدوده زرشوران وجود گسل در این مسیر را نشان می دهد. با توجه به نقشه هوامغناطیسی، محدوده منطقه مورد مطالعه جهت بررسی صحرایی تعیین

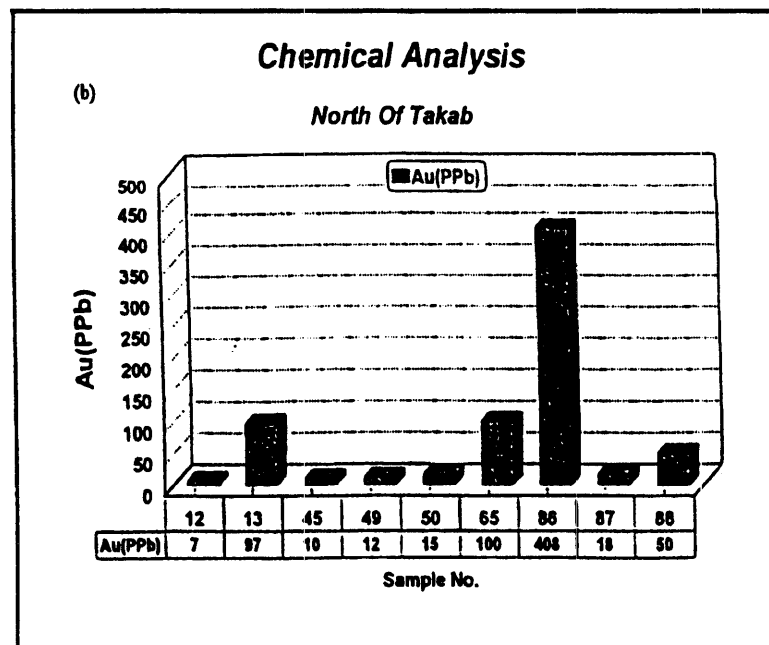
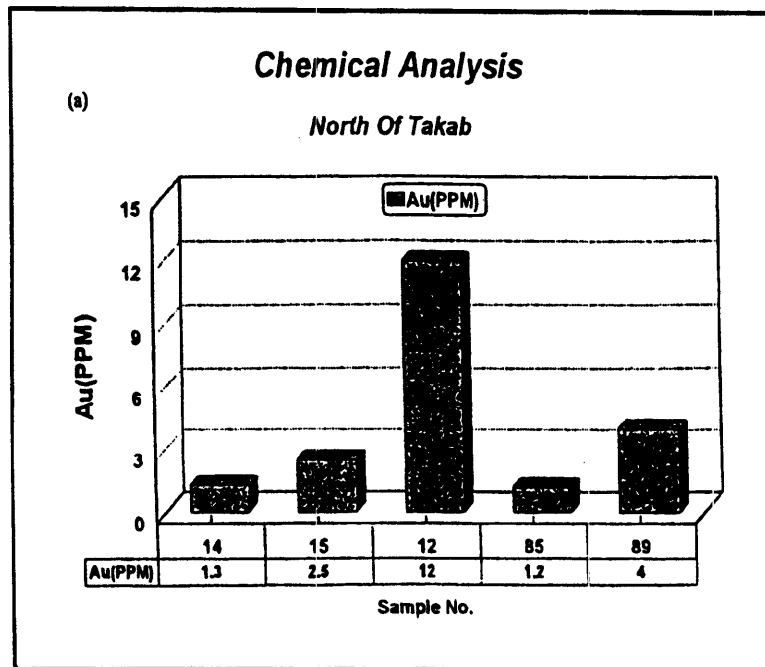


شکل ۹. رده بندی شیمیایی میدلموست ۱۹۸۰



شکل ۱۰. طبقه بندی سنگهای آذرین درونی میدلموست ۱۹۹۴





شکل ۱۱. نمودار میزان طلا در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی

- منطقه شیرمرد، انرژی اتمی.  
 کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۷۴، زمین‌شناسی اقتصادی  
 کاربردی: انتشارات جاوید، مشهد.  
 مهندسین مشاور تحقیقات معدنی خاک خوب،  
 ۱۳۷۳، گزارش بررسی و مطالعه معدنی  
 چهارگوش تکاب.  
 مهندسین معدن کاو، ۱۳۷۱، گزارش بررسی  
 زمین‌شناسی و اکتشاف مقدماتی در منطقه  
 معدنی زرشوران.  
 مهندسین مشاور کانساران، ۱۳۷۱، گزارش  
 زمین‌شناسی معدنی طلا-آنتیموان در جنوب  
 آغدره بالا.  
 Bhattacharyya, B. K., 1966, Continuous  
 spectrum of the total magnetic field  
 anomaly to a rectangular prismatic  
 body: *Geophysics*, **31**, 97-121.  
 Kis, K. I., and Agocs, W. B., 1999, Magne-  
 tic sources from vertical magnetic  
 anomalies: *Geophysical Transactions*,  
**42**, 133-157.  
 Muller, D., Groves, D., and David, I.,  
 1997, ... Potassic igneous rocks and  
 associated gold copper mineralization:  
 Springer, Verlag, Germany.  
 Sillito, R. H., 1994, Epithermal models-  
 genetic types, geometrical controls and  
 shallow features.  
 Spector, A., and Grant, F. S., 1970,  
 Statistical models for interpreting  
 aeromagnetic data: *Geophysics*, **35**,  
 293-302.

شد، پس از بررسی‌های ذکر شده مشخص شد که  
 الگوی کانه‌زایی در منطقه تشابه زیادی به کانه‌زایی  
 تیپ کارلین دارد. اما با توجه به عوامل متعدد از  
 جمله سن سنگ در برگیرنده ماده معدنی زرشوران  
 و میزان بعضی عناصر در منطقه مثل نقره و مس  
 بهتر است فقط وجود تشابه با این تیپ کانه‌زایی ذکر  
 شود و نام جدیدی برای آن انتخاب گردد. سنگ در  
 برگیرنده ماده معدنی در منطقه زرشوران شیلهای  
 سیاه واحد زرشوران با سن پرکامبرین و در آغدره  
 آهکهای میوسن سازند قم با سن میوسن می‌باشد.  
 سنگهای آذرینی که در منطقه مرتبط با کانه‌زایی  
 هستند، سنگهای زیر سطحی پلوتونیک و ساب  
 ولکانیک (نتایج حاصل از ژئوفیزیک هوایی) و  
 سنگهای ولکانیک آندزیتی و تراکی آندزیتی  
 (نتایج حاصل از مطالعات صحرایی) بوده و سن  
 فعالیت ولکانیک نئوژن می‌باشد. نوع محلول کانه  
 ساز، آبهای گرمابی در اختلاط با چرخه نزولات  
 جوی بوده و پاراژنز موجود در منطقه مطابق با دوره  
 کامل شرایط اپی ترمال ترکیبات آرسنیک، جیوه به  
 صورت سینابر و طلا، نقره، مس، باریت،  
 اسفالریت، گالن، استینیت و ... می‌باشد.  
 عوامل نشست ماده معدنی در منطقه زرشوران  
 شیلهای سیاه به عنوان یک سد ژئوشیمیایی و نفوذ  
 شیرابه‌های سیلیسی به همراه عناصر تشکیل دهنده  
 پاراژنز مربوط در آهکهای میوسن است. وجود  
 تعداد قابل توجهی چشمه‌های تراورتن ساز و  
 گوگرد در هر دو منطقه مویده فعالیت‌های گرمابی در  
 عهد حاضر می‌باشد.

## منابع

اطلاعات خام هوا مغناطیسی برگه ۵۰/۰۰۰:۱