

Structural analysis of the Akhtachi deposit using magnetometric method, west of Hamedan

Reza Alipoor^{1*}, Leyli Izadi kiyani¹, Peyman Tomak¹, Sahar Ghamarian¹

1- Department of Geology, Faculty of Basic Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Keywords: Structural analysis, Remote sensing, Magnetometric method, Akhtachi deposit, Hamedan

1-Introduction

The Akhtachi iron ore deposit is located west of the Hamadan, in the northwest part of the Sanandaj-Sirjan metamorphic zone. This zone was a main continental arc during the Mesozoic subduction of the Neo-Tethyan Ocean beneath the Iranian plateau, and some vital iron mineralization was formed in the NW part of this zone during the subduction phase (Ghalamghash et al., 2009, Mohajjel and Fergusson, 2014). Generally, primary iron mineralization in the northwest part of the Sanandaj-Sirjan zone is divided into four classes including the Triassic-Lower Jurassic deposits in the Sanandaj-Sirjan zone and Central Iranian microcontinent, Cretaceous skarn and hydrothermal type deposits in the Hamedan region, Cretaceous Fe-Mn volcano-sedimentary deposits with low Mn grade (38 wt%) and intermediary Fe grade (2050 wt%) and Fe-Mn ores related to Cretaceous ophiolitic melange related to the Cretaceous ophiolitic melange at the southern edge of the Central Iranian microcontinent (Nabatian et al., 2015). The proposed evolution model of iron mineralization in the Hamedan region indicates the formation of iron ore minerals in the Jurassic rift basin, folding and metamorphism, the intrusion of Eocene volcanism causing contact metamorphism and skarn-type mineralization in adjacent carbonate rocks and finally development of shear zones and concentration of iron within this shear zone (Nabatian et al., 2015). So, structural features as the shear zones and related fractures and fault structures have the leading role in the concentration of iron in the Hamedan region. However, some researchers believe that there is no relationship between the skarn-type mineralization and tectonics in the Hamedan region. This study investigates the relationship between the mineralization and tectonics in the Akhtachi deposit using the interpretation of satellite images with high spatial resolution, field observations, and magnetometric methods.

2-Methodology

In this study field observations, the magnetometric method (Karimpour et al., 2012; Kaviani Sadr et al., 2013) and remote sensing have used to structural analysis, the relationship between the mineralization and tectonic and role of structural elements in the mineral concentration of the Akhtachi deposit. Firstly, the Gaofen-2 satellite images with 80 cm (panchromatic band) and 2.3 (multispectral bands) spatial resolutions were used to extract lineaments. Then, strike and dip of the fault structures and fractures have been measured in field surveys. Finally, according to the remote sensing and field studies, a network for the magnetometric surveys in the 1461 points of the study area was prepared, and magnetometric interpretation was combined with the results of remote sensing analysis and field studies.

3- Results and discussion

By applying pan-sharp and high-pass filters on the panchromatic band of the Gaofen-2 satellite images and integration with multispectral bands, Lineaments of the study area were carefully extracted. Results indicate that there are two sets of linear structures with the NE-SW and NW-SE trends in the study area. Filed studies

*Corresponding author: rezaalipoor116@gmail.com

DOI: 10.22055/AAG.2020.31484.2048

Received 2019-10-22

Accepted 2020-02-07

indicate that the NE-SW linear structures are consistent with the major fault, and NW-SE lineaments indicate the same trend with the minor fault of the study area. Given the importance of magnetometric studies in the identification of ore deposits (Butler and Sinha, 2012), a network for the magnetometric surveys were prepared based on iron mineralization outcrops and fault density map after identifying the fault trends in the field observation and remote sensing studies. Then, the total magnetic field intensity, residual field, the vertical derivative of the magnetic field, upward extension at different elevations, rotate to pole maps were plotted on the fault map of the study area. The dimensions and direction of the iron mineralization have been determined with reversing modeling and construction of seven profiles on the residual magnetic field map. These profiles indicate that iron vein-type mineralization has formed in some parts of the study area. Generally, these vein-type iron mineralization in the Akhtachi deposit indicates the same trend as the study area's fractures. It seems that mineralization is formed along with the existing fractures because of the linear trends evidence of mineralization in magnetometric studies. In fact, by identifying fault structures in the study area and mapping the iron mineralization, it was concluded that the iron ore had been concentrated in fault zones. So, it seems that after the intrusion of the Eocene rocks and formation of the skarn-type iron mineralization in the adjacent carbonate rocks, deformation pattern and major structures affecting the iron mineralization in the study area developed as a shear zone and NW-SE and NE-SW trending faults. The minor NW-SE trending faults have the primary role in the control and concentration of the iron mineralization in the study area. Field observation indicates that these fault structures formed in the altered dioritic and meta-quartz rocks and N30W is the primary trend of these minor faults.

4-Conclusion

Interpretation of high-resolution satellite images (Gaofen-2) and extraction of the lineaments indicate two sets of NW-SW and NE-SW trend structures in the study area. Results of the magnetometric surveys and construction of profiles on the residual magnetic field map indicate the formation of the vein-type iron mineralization in the study area. The strike of these vein-type iron mineralization is entirely consistent with the minor NW-SE trending faults of the study area. So, it seems fault structures have controlled iron mineralization or concentration of iron ore.

References

- Butler, S.L., Sinha, G., 2012. Forward modeling of applied geophysics methods using Comsol and comparison with analytical and laboratory analog models. *Computer and Geoscience* 42, 168–176.
- Ghahamghash, J., Bouchez, J.L., Vosoughi-Abedini, M., Nedelec, A., 2009. The Urumieh Plutonic Complex (NW Iran): record of the geodynamic evolution of the SanandajSirjan zone during Cretaceous times—Part II: Magnetic fabrics and plate tectonic reconstruction. *Journal of Asian Earth Sciences* 36, 303-317.
- Karimpour, M.H., Malekzadeh-Shafarodi, A., Golmohamadi, A., 2012. Mining and discovery of magnetite by terrestrial magnetometric in the area between the Baghak and C-North, Sangan Khaf iron ore mine. *Journal of Advanced Applied Geology* 2, 38-54.
- Kaviani Sadr, K.H., Khatib, M.M., Zarinkob, M.H., 2013. The relationship between structural status and mineralization based on aeromagnetic, satellite and field studies data in the Cheshmeh Khormining area (northwest Birjand). *Journal of Advanced Applied Geology* 3, 54-62.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L., 2014. Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros orogen in northwestern Iran. *International Geology Review* 56, 263-287.
- Nabatian, Gh., Rastad, E., Neubauer, M., Honarmand, M., Ghaderi, M., 2015. Iron and Fe- Mn mineralization in Iran: implication for Tethyan metallogeny. *Australian Journal of Earth Sciences* 62, 211-241.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Alipoor, R., Izadi kiyan, L., Tomak, P., Ghamarian, S., 2020. Structural analysis of the Akhtachi deposit using magnetometric method, west of Hamedan. *Adv. Appl. Geol.* 10(2), 271-283.

DOI: 10.22055/AAG.2020.31484.2048

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15337.html?lang=en

تحلیل ساختاری کانسار سنگ آهن اختاچی با استفاده از روش مغناطیس‌سنجی، باختر همدان

رضا علی پور*

دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

لیلی ایزدی‌کیان

دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

پیمان تومک

دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

سحر قمریان

دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۸

*rezaalipoor116@gmail.com

چکیده

کانسار سنگ آهن اختاچی در باختر همدان و در پهنه دگرگونی سنندج - سیرجان واقع شده است. به منظور ارتباط کانه‌زایی با زمین‌ساخت و نقش عناصر ساختاری در تمرکز ماده معدنی در این کانسار از مطالعات صحرایی، روش مغناطیس‌سنجی و دورسنجی استفاده شده است. بر این اساس با استفاده از مطالعه تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا دو دسته ساختار خطی با امتداد NE-SW و NW-SE، در محدوده مورد مطالعه شناسایی گردید. سپس یک شبکه برداشت جهت مطالعات مغناطیس‌سنجی انتخاب و نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی کل، میدان باقیمانده، مشتقات قائم میدان مغناطیسی، گسترش به بالا در ارتفاعات مختلف، برگردان به قطب برای محدوده مورد مطالعه ترسیم گردید. با طراحی تعدادی پروفیل بر روی آنومالی‌ها و مدل‌سازی معکوس، ابعاد و امتداد محدوده‌های سنگ آهن و روند کانی‌زایی به صورت خطی با امتداد NW-SE مشخص شده است. با توجه به روندهای خطی کانی‌سازی در مطالعات مغناطیس‌سنجی، به نظر می‌رسد که کانی‌سازی بیشتر در راستای شکستگی‌های موجود در منطقه شکل گرفته است. در واقع با شناسایی گسل‌های منطقه مورد مطالعه و به نقشه درآوردن نقاط پرعبار آهن این نتیجه حاصل گردید که تمامی نقاط پرعبار آهن در پهنه‌های گسلی کانسار متمرکز و امتداد ذخایر سنگ آهن با گسل‌های فرعی دارای امتداد NW-SE کاملاً مطابقت دارند.

کلمات کلیدی: آنالیز ساختاری، دورسنجی، مغناطیس‌سنجی، کانسار اختاچی، همدان

مقدمه

مزیت‌های سنجش از دور در مطالعات زمین‌شناسی، پوشش وسیع ناحیه مورد مطالعه است که اطلاعات بسیار سودمندی از الگوهای ساختاری را ارائه می‌دهد. گسل‌ها و شکستگی‌ها ساختارهایی هستند که به خوبی بر روی تصاویر ماهواره‌ای شناسایی می‌شوند (Kavyani sadr et al., 2013). در اکتشاف ذخایر معدنی از روش‌های مختلف آشکارسازی برای تفکیک و تشخیص شواهد کنترل‌کننده کانی‌سازی استفاده می‌شود (Safaei et al., 2016).

همچنین امروزه بررسی‌های ژئوفیزیکی از بهترین روش‌های مطالعات زیرسطحی زمین به‌شمار می‌روند. روش‌های ژئوفیزیکی مغناطیس و گرانی در مطالعات بزرگ مقیاس و کوچک مقیاس به کار می‌روند (Kearey, 2002). این روش‌ها کاربردهای متعددی دارند که برخی از آن‌ها عبارتند از: اکتشاف منابع معدنی، اکتشاف منابع نفت و گاز، شناسایی حفره‌ها و کارست‌ها، مطالعات زمین‌شناسی، باستان‌شناسی، مطالعات زیست‌محیطی و نظامی (Sharma, 1997). در اکتشافات ژئوفیزیکی، خواص فیزیکی زمین با ابزارهای ویژه اندازه‌گیری شده و با تفسیر نتایج حاصله، شرایط زیر زمین استنتاج می‌شود. در اکتشافات ژئوفیزیکی خواصی از سنگ‌ها شامل: هدایت

ذخایر آهن در ایران در طی چندین فاز فلزایی در کامبرین، کامبرین پیشین - اردویسین پسین، پالئوزوئیک پسین، دوران‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک شکل گرفته‌اند و بیشتر ذخایر آهن متعلق به فازهای کامبرین و سنوزوئیک می‌باشند (Karimpour, 1989; Mazaheri et al., 1994; Maanijou, 2002; Daliran et al., 2007, 2010). کانسارهای اصلی رسوبی - آتشفشانی آهن و آهن - منگنز ایران بیشتر در پهنه‌های سنندج - سیرجان و ایران مرکزی قرار گرفته است (Nabatian et al., 2015). این ذخایر به خاطر بیشترین میزان ماده معدنی و کمترین مقدار ناخالصی از ارزش و اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند (Ghorbani, 1993).

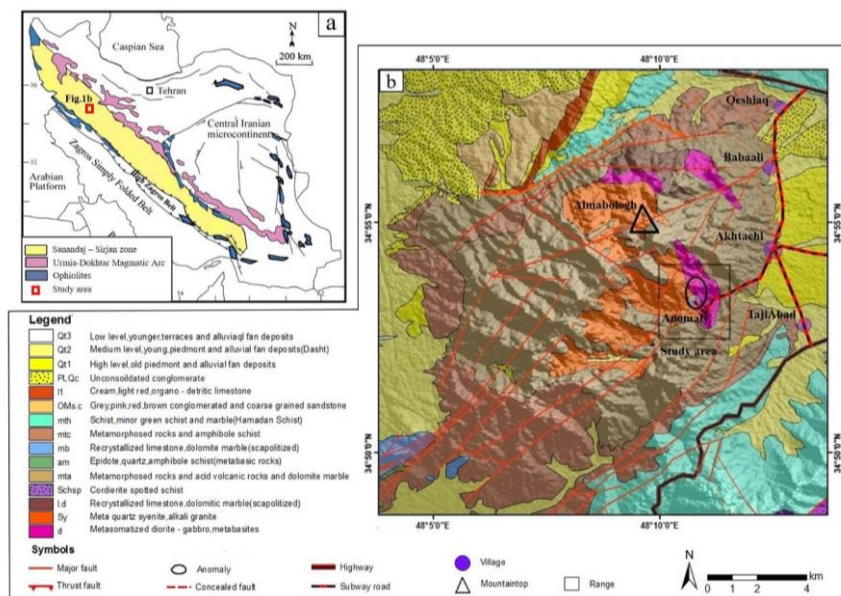
استفاده از تکنولوژی سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای امروزه به طور گسترده‌ای در بسیاری از شاخه‌های علوم منابع طبیعی به ویژه در زمین‌شناسی و یافتن مناطق مستعد معدنی رو به گسترش است. نقشه‌برداری از الگوهای ساختاری و شکستگی‌ها یکی از کاربردهای مهم علم سنجش از دور است (Sabins, 1999; Sirvastav et al., 2000). یکی از

داده‌های مغناطیس‌سنجی، محل آنومالی مشخص و اقدام به مدل‌سازی معکوس دوبعدی داده‌ها شده است.

جایگاه ساختاری و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار سنگ آهن اختاچی در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال‌باختری همدان در برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ نقشه زمین‌شناسی توپوگرافیک واقع است. از لحاظ زمین‌شناسی ساختاری محدوده مطالعاتی بخشی از پهنه دگرگونی سنندج - سیرجان بوده و ویژگی‌های آن را داراست (Mohajjel and Fergusson, 2014) (شکل ۱a). این پهنه دگرگونی بین پهنه زمین‌درز زاگرس و مرز جنوب‌باختری کمان ماگمایی ارومیه - دختر قرار گرفته و یکی از واحدهای زمین‌ساختی اصلی کوه‌زایی زاگرس است (Mohajjel and Fergusson, 2009; Sarkarinejad et al., 2000). برخلاف مرز جنوب‌باختری، که با راندگی اصلی زاگرس مشخص می‌شود، ارتباط شمال‌خاوری سنندج - سیرجان با مناطق دیگر ایران میانی، به دلیل پوشش گسترده سنگ‌های ترشیری و کواترنر، تغییرات جانبی رخساره‌ها و نیز دگرشکلی‌های پیچیده، به خوبی مشخص نیست. از بارزترین ویژگی‌های این منطقه برونزد توده‌های نفوذی گابرویی و گرانیتوئیدی درون سنگ‌های آذرین بازیک و اسیدی در کوه‌های آلبولاغ و الوند و با رخساره‌های گوناگون (Izadi kiyan, 2004) و مجموعه متنوعی از سنگ‌های گابرویی، گابرو - دیوریتی، گرانیتی - گرانودیوریتی، گرانیت‌های پنوماتولیتیکی هولولوکوکرات و غیره را به وجود آورده است (Eshraghi, 2001) (شکل ۱b).

الکتریکی، هدایت حرارتی، چگالی، خاصیت مغناطیسی و رادیواکتیویته سنجد می‌شوند (Butler and Sinha, 2012). برداشت داده‌های مغناطیسی به طور مستقیم برای مشخص نمودن توده‌هایی با خاصیت مغناطیسی بالا مانند کانسارهای آهن و به طور غیرمستقیم برای اکتشاف هاله‌های اطراف کانسارها (مانند کانسارهای سولفیدی) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Masoumi et al., 2017). این روش به صورت زمینی و هوایی برای کشف توده‌های معدنی، ساختارهای زمین‌شناسی، حوضه‌های رسوبی و نظایر آن انجام می‌گیرد. از مزیت‌های برداشت‌های مغناطیسی نسبت به سایر روش‌های ژئوفیزیکی، می‌توان به سهولت برداشت و هزینه پایین‌تر آن اشاره داشت (Bellott et al., 1991). هدف اصلی از مطالعات ژئوفیزیک دست‌یابی به وضعیت ساختارهای زیرسطحی و بدون شک تعیین محل آنومالی‌ها است اما علاوه بر موقعیت مکانی آنومالی، تعیین عمق و مرز پیکره مسبب آنومالی نیز بسیار اهمیت دارد. روش‌های بسیار متعددی برای تعیین عمق میدان‌های پتانسیل وجود دارند. مدل‌سازی معکوس به‌عنوان یکی از روش‌های تصویرسازی کانسنگ، در ژئوفیزیک جایگاه ویژه‌ای دارد و برای بررسی و تفسیر ناهنجاری‌های مغناطیسی و گرانی‌سنجی از این روش استفاده می‌شود (e.g. Parker and Huestis, 1974; Scales and Snieder, 2000; Carbone et al., 2006; Fatehi et al., 2013; Ghiasvand et al., 2016; Masoumi et al., 2017). هدف در این پژوهش ارائه نتایج و بررسی ارتباط کانه‌زایی با زمین‌ساخت و نقش عوامل ساختاری در تمرکز ماده معدنی (مطالعه موردی کانسار آهن اختاچی) بوده که با انجام مطالعات صحرایی، دورسنجی و اعمال فیلترهای مناسب بر روی



شکل ۱- (a) نقشه واحدهای اصلی زمین‌ساختی ایران (Alavi, 1991; Aghanabati, 1998-2005; Ghasemi and Talbot, 2006). چهارگوش قرمز رنگ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. (b) نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (Eshraghi, 2001).

Fig. 1. (a) Main tectonic units of Iran map (Alavi, 1991; Aghanabati, 1998-2005; Ghasemi and Talbot, 2006). The red rectangle shows the location of the study area. (b) Geological map of the study area (Eshraghi, 2001).

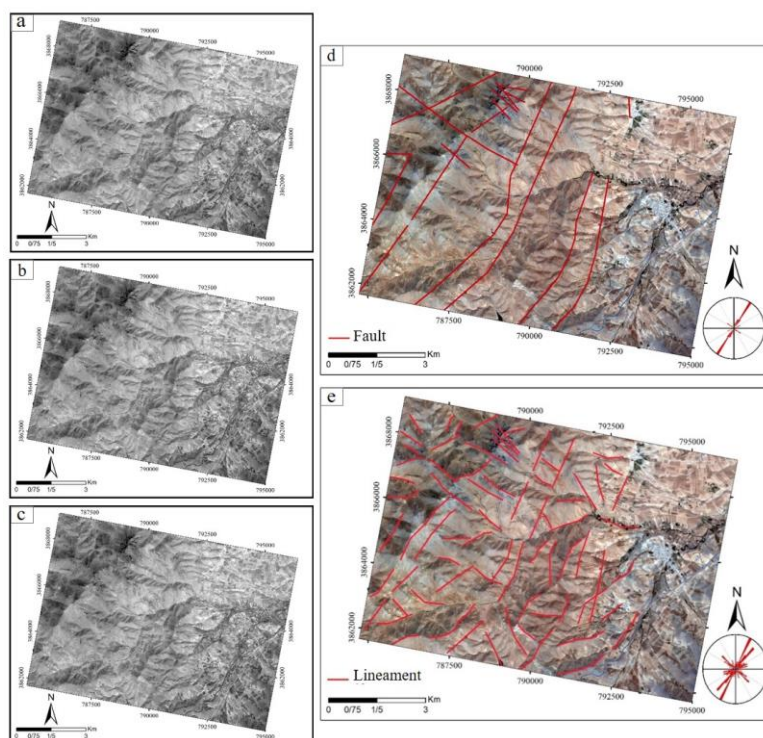
نقشه از آن‌ها با استفاده از داده‌ها و روش‌های دورسنجی یکی از روش‌های مهم در مطالعات زمین‌ساختی است (Shupe and Akhavi, 1989; Tibaldi and Ferrari, 1991; Kar, 1994; Rolet et al., 1995; Philip, 1996; Marghany and Hashim, 2010). مطالعات در مورد استخراج و تحلیل خطواره‌ها را به طور کلی می‌توان به دو قسمت تقسیم نمود: الف) تحلیل و بررسی خطواره‌ها با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های پردازش و فیلترکردن

روش کار

روش‌های سنجش از دور در چند دهه اخیر به‌طور چشم‌گیری رشد کرده و به‌طور گسترده‌ای در زمین‌شناسی ساختمانی و زمین‌ساخت مورد استفاده قرار می‌گیرند (Masoud and Koike, 2006; Alipoor, 2009; Hashim et al., 2013; Alipoor et al., 2017). آشکارسازی خطواره‌ها و تهیه

ماهواره Gaofen-2 در تاریخ ۲۰۱۷/۴/۹ از منطقه برداشت شده و به مساحت ۲۵ کیلومتر مربع خریداری شده است. ابتدا فیلتر Pansharp بر روی تصویر پانکروماتیک اعمال گردیده و سپس فیلتر بالاگذر (Highpass) با سایز ۳×۳ بر روی تصویر Pansharp اعمال گردیده است. سپس با تلفیق عکس‌های چند طیفی و پانکروماتیک تصویری خواهیم داشت که به لحاظ طیفی و هندسی دارای قدرت تفکیک بالایی است. خطواره‌های استخراج شده از منطقه مورد مطالعه شامل دو دسته با فراوانی بالا هستند که اولین و بزرگ‌ترین آن‌ها با راستای N030E و دسته دوم دارای جهت NW - SE می‌باشند (شکل ۲).

تصاویر رقومی ماهواره‌ای مانند رادارست و Gaofen است. (ب) تحلیل و بررسی خطواره‌ها با استفاده از تکنیک‌های استخراج اتوماتیک از تصاویر ماهواره‌ای و الگوهای سایه رقومی. در این مطالعه جهت استخراج خطواره‌های منطقه مورد از روش نیمه‌اتوماتیک و از تصاویر ماهواره Gaofen-2 استفاده شده است. این ماهواره در حالت چند بانندی، دارای ۴ باند است که باند ۱ در محدوده قرمز نور مرئی، باند ۲ در محدوده سبز مرئی، باند ۳ در محدوده آبی مرئی و باند ۴ در محدوده مادون قرمز نزدیک است و دارای قدرت تفکیک ۸۰ سانتی‌متر در پانکروماتیک (Panchromatic) و ۲/۳ متری در تصاویر رنگی است. تصویر



شکل ۲- (a) تصویر پانکروماتیک، (b) تصویر Pansharp، (c) تصویر فیلتر بالاگذر، (d) و (e) گسل‌ها و خطواره‌های استخراج شده بر روی تصویر چندطیفی ماهواره Gaofen-2 و نمودار گل‌سرخ آن‌ها.

Fig. 2. (a) Panchromatic image, (b) Pansharp image, (c) Highpass filter image, (d) and (e) Fault and extracted lineaments on the multispectral image of the Gaofen-2 satellite and related rose diagrams.

بررسی و تحلیل داده‌ها

دستیابی به تفسیر به عوامل زیادی مربوط است که زمین‌شناسی و مقیاس برداشت از مهم‌ترین آن‌ها به‌شمار می‌رود. برای محاسبه کمی و کیفی ناهنجاری‌ها، لازم است فرضیه‌های ساده‌ای در مورد چشمه آن‌ها وضع شود چرا که دانستنی‌ها در مورد زمین‌شناسی آن‌ها، موقعیت ماده معدنی پدیده‌های ساختاری بسیار اندک است (Billings et al., 2006). بدین منظور فیلترهایی بر روی داده‌های برداشت شده صورت می‌گیرد تا با کم‌ترین خطای ممکن به نتایج مطلوب دست یافت. البته هیچ کدام از این عملیات فیلتر کردن به طور کامل آنومالی‌های مورد علاقه را از غیر مطلوب جدا نمی‌کند، اما آن‌ها نشان داده‌اند که برای واضح‌تر نشان دادن پدیده‌های مورد علاقه، کاملاً مفید هستند. به منظور بررسی دقیق‌تر نقشه‌های ژئوفیزیکی و تعبیر و تفسیر نتایج حاصله اقدام به اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده‌ها و ترسیم نقشه‌های حاصله در منطقه مورد مطالعه گردید. در بخش‌های بعد به شرح مراحل انجام کار و بررسی نتایج به‌دست آمده پرداخته می‌شود.

همچنین در این مطالعه به منظور شناسایی آنومالی‌های احتمالی پنهان از روش مغناطیس‌سنجی استفاده شده است. در مورد اکتشاف کانی‌های آهن، این روش با توجه به خواص مغناطیسی کانی‌های مگنتیت و مگنتیت - همتایت، بهترین روش مورد استفاده است (Paterson and Reeves, 1985; Bellott et al., 1991; Butler and Sinha, 2012). بنابراین در دو مرحله با تعداد ۱۴۶۱ نقطه و شبکه‌ای به ابعاد ۱۰ در ۲۰ متر طراحی و برداشت گردید. مرحله اول در آن نیم‌رخ‌هایی به فاصله ۲۰ متر از یکدیگر و فاصله ایستگاه‌های ۱۰ متری طراحی و در نهایت ۸۲۳ نقطه در امتداد جنوب - شمال برداشت شد. مرحله دوم محدوده‌ای به ابعاد ۶۰۰ در ۴۵۰ متر مورد برداشت‌های مغناطیس‌سنجی در شبکه‌ای به ابعاد ۱۰ در ۲۰ متر قرار گرفت. دو آنومالی مجزا در این محدوده مشخص گردید، آنومالی اول که در باختر محدوده و آنومالی دیگری در خاور این محدوده قرار دارد. هر دو آنومالی دارای شدت میدان‌های قوی و دو قطبی‌های مغناطیسی مناسبی جهت کانی‌سازی آهن می‌باشند.

نقشه شدت میدان مغناطیسی کل

شدت میدان مغناطیسی در هر منطقه بستگی به میدان مغناطیسی زمین و خاصیت مغناطیسی سنگ‌ها (در صورت در نظر گرفتن میدان‌های بازماند) دارد، که این خود در ارتباط با کانی‌های مغناطیسی، به خصوص کانی‌های آهن‌دار بوده و در سنگ‌های مختلف تفاوت دارد. با اندازه‌گیری شدت کل مغناطیسی، علاوه بر مشخص نمودن بی‌هنجاری‌های مغناطیسی حاصل از تجمع کانی‌های مغناطیسی می‌توان پدیده‌های ساختمانی نظیر کنتاکت‌ها و گسل‌های احتمالی را نیز مشخص نمود.

در شکل ۳a، نقشه شدت میدان مغناطیسی کل در محدوده مورد مطالعه رسم گردیده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد میدان مغناطیسی از حداقل ۳۸۱۹۵ تا حداکثر ۶۸۰۷۰ گاما در تغییر است. دوقطبی‌های مغناطیسی متعددی در این محدوده دیده می‌شود. به منظور دقت بیشتر و تفکیک آنومالی‌های موجود، هر یک از آن‌ها را به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌دهیم.

دو قطبی مغناطیسی موجود در باختر محدوده دارای ابعاد نسبتاً بزرگ و اختلاف میدان مغناطیسی زیادی است. با در نظر گرفتن شدت میدان مغناطیسی ۵۲۰۰۰ گاما برای قطب مثبت ابعاد آن ۱۰۰ متر در ۶۰ متر و برای قطب منفی اگر شدت میدان ۴۲۰۰۰ گاما را در نظر بگیریم ۹۰ متر در ۳۰ متر است. بنابراین آنومالی این بخش نه تنها به لحاظ شدت میدان مغناطیسی دارای مقادیر مناسبی می‌باشد، بلکه به لحاظ ابعاد نیز تقریباً بزرگ بوده، لذا احتمال انجام کانی‌سازی آهن در این آنومالی بسیار زیاد است. در خاور محدوده مورد مطالعه که خود به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش خاوری آن به صورت یک دوقطبی مغناطیسی و بخش باختری آن به شکل تک قطبی مغناطیسی ظاهر شده است. با در نظر گرفتن کنتور ۵۲۰۰۰ گاما برای قطب مثبت، ابعاد ۲۵۰ در ۵۰ متر و ۴۲۰۰۰ برای قطب منفی، ابعاد ۱۱۰ در ۳۵ متر به دست می‌آید. در خصوص تک قطبی مغناطیسی این محدوده نیز ابعاد ۱۳۰ در ۵۰ متر حاصل می‌شود. لذا احتمال حضور کانی‌سازی آهن در بخش خاوری این آنومالی که به صورت دوقطبی است، بسیار زیاد می‌باشد، اما در خصوص بخش باختری خیلی دقیق نیست، چرا که در بسیاری از موارد توده سنگ‌های آذرین با خاصیت مغناطیسی قوی می‌تواند چنین تک قطبی‌های مغناطیسی را ایجاد کند. در ادامه ضمن اعمال فیلترهای مناسب بر روی این آنومالی‌ها بیشتر در خصوص

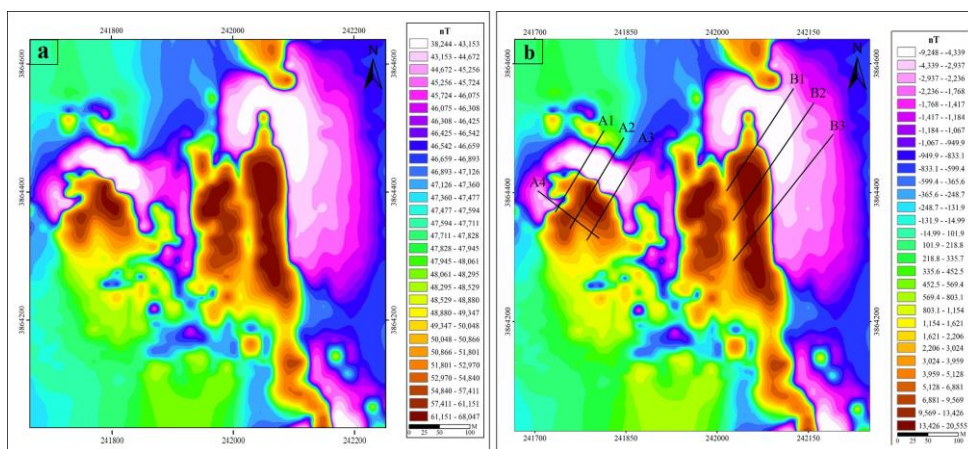
آن‌ها صحبت خواهد شد. در سایر بخش‌های این محدوده آنومالی مغناطیسی قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود اما در جنوب‌خاوری آن یک دوقطبی مغناطیسی در حال ظاهر شدن می‌باشد. بنابراین لازم است با ادامه عملیات ژئوفیزیکی در این بخش به بررسی بیشتر این آنومالی پرداخته شود.

شدت میدان منطقه‌ای و نقشه مقدار باقیمانده

برای تعیین میدان منطقه‌ای روش‌های مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به میانگین‌گیری از کل داده‌های برداشت شده از میدان اندازه‌گیری شده در ایستگاه مبدأ و برازش یک صفحه با درجه‌های مختلف به داده‌ها و یا استفاده از نقشه‌ها و مقادیر تعیین شده با استفاده از (IGRF International Geomagnetic Reference Field) اشاره نمود. میدان منطقه‌ای برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از میانگین کل داده‌ها یا مقدار میانه که کمتر تحت تأثیر عوامل حاشیه‌ای باشد و مقدار به دست آمده از IGRF محاسبه شده است.

نقشه شدت میدان باقیمانده در محدوده مطالعاتی در شکل ۳b نشان داده شده است. حداقل میدان مغناطیسی مقدار میدان ۹۲۹۶- گاما و حداکثر میدان مقدار ۲۰۵۷۸ گاما است که اختلافی بیش از ۲۹۰۰۰ گاما را نشان می‌دهد. در بخش باختری دوقطبی مغناطیسی موجود تقریباً شکل متقارنی دارد. اختلاف شدت میدان در این آنومالی بیش از ۲۲۰۰۰ گاما می‌باشد. بنابراین چنین اختلاف میدانی نمی‌تواند مولدی به جز کانی‌سازی آهن داشته باشد. لذا احتمال کانی‌سازی سنگ آهن در این آنومالی بسیار زیاد است.

در بخش خاوری شدت میدان مغناطیسی از ۷۰۰۰- تا ۱۹۰۰۰ گاما متغیر است اما ابعاد آنومالی منفی بسیار کوچکتر از آنومالی مثبت می‌باشد. بنابراین احتمال کانی‌سازی آهن در بخش خاوری این آنومالی زیاد است، اما در آنومالی بخش باختری این آنومالی، که فقط شاهد قطب مثبت هستیم شدت میدان مغناطیسی تا حدود ۱۵۰۰۰ گاما افزایش می‌یابد. در خصوص کانی‌سازی آهن در این آنومالی که هم ابعاد کوچکی دارد و هم اختلاف میدان مغناطیسی نسبت به زمینه کمتر از سایر آنومالی‌های منطقه است باید با احتمال ضعیف‌تری صحبت نمود. یک دایک و یا توده نفوذی با خاصیت مغناطیسی قوی می‌تواند چنین آنومالی را به وجود آورد.



شکل ۳- (a) نقشه شدت میدان مغناطیسی کل در منطقه مورد مطالعه که روند آنومالی‌ها به صورت شمال شمال باختری است و (b) نقشه شدت میدان مغناطیسی باقیمانده، و موقعیت شش نیمرخ مدل‌سازی شده با راستای شمال‌خاوری-جنوب‌باختری و یک نیمرخ با راستای شمال‌باختری - جنوب‌خاوری نشان داده شده است.

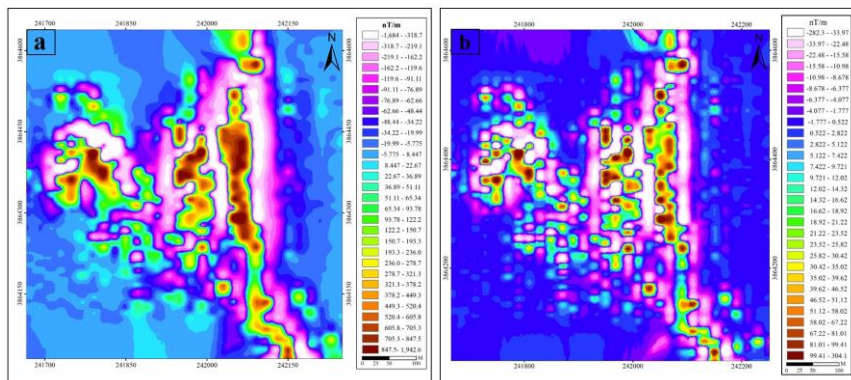
Fig. 3. (a) The total magnetic field intensity map of the study area with north northwest anomaly trends and (b) Residual field intensity map and position of the six northeast-southwest trending modeled profile and profile with a northwest-southeast trend.

می‌گردد. آنومالی‌های سطحی پراکنده‌ای در این محدوده وجود دارد علت این امر را می‌توان به ساختارهای موجود در منطقه و همچنین رخنمون‌های سنگی نسبت داد. در بخش باختری محدوده و منطبق بر همان نواحی که دارای شدت میدان مغناطیسی بالایی بودند شاهد آنومالی‌های مشتق اول و دوم مغناطیسی هستیم. در بخش خاوری نیز در هر دو بخش، شاهد آنومالی‌های سطحی فراوانی هستیم.

مشتقات قائم میدان مغناطیسی

از جمله فیلترهایی که برای حذف بی‌هنجاری‌های عمیق نسبت به بی‌هنجاری‌های سطحی مورد استفاده می‌گیرد فیلتر گرادین قائم است. این فیلتر طول موج‌های کوتاه (فرکانس بالا) را در مقایسه با طول موج‌های بلند (فرکانس پایین) تقویت می‌نماید.

در منطقه مورد مطالعه فیلترهای مشتق اول و دوم بر روی داده‌ها اعمال گردید که در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. همانگونه که در این نقشه‌ها ملاحظه



شکل ۴- نقشه مشتقات قائم میدان مغناطیسی (a) مشتق اول و (b) مشتق دوم در منطقه مورد مطالعه که روند کلی آنومالی‌ها را نشان می‌دهد.

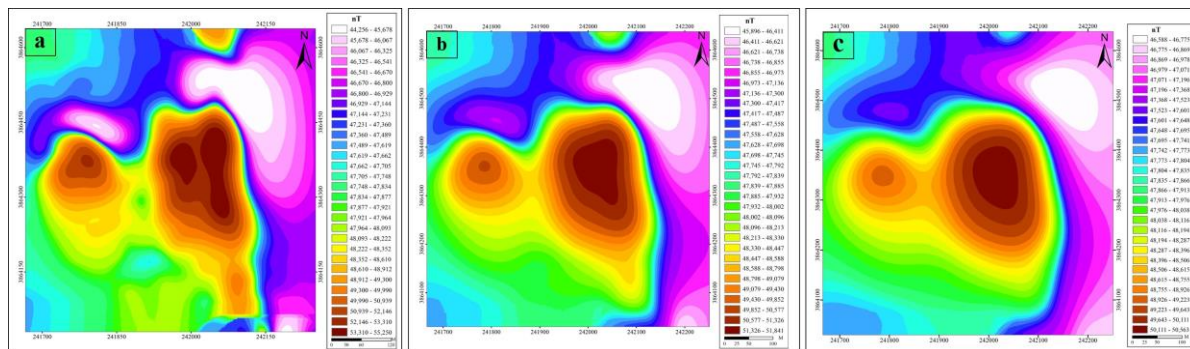
Fig. 4. The derivatives map of the magnetic field; (a) First derivative and (b) Second derivative of the study area showing the general trend of the anomalies.

اختلاف میدان بین قطب مثبت و منفی در این آنومالی به حدود ۳۰۰۰ گاما می‌رسد. در اینجا قطب منفی بسیار ضعیف شده است. بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که گسترش عمقی این آنومالی زیاد نیست. در محدوده باختری آنومالی به طور کلی شکل دوقطبی در این آنومالی وجود دارد. بنابراین گسترش عمقی این آنومالی بیشتر از آنومالی بخش باختری است. در نقشه گسترش به بالا در ارتفاع ۸۰ متری (شکل ۵c)، تغییرات زیادی نسبت به نقشه شدت میدان مغناطیسی کل ایجاد شده است. آنومالی بخش باختری بسیار ضعیف شده و در حال از بین رفتن می‌باشد. اختلاف میدان در این آنومالی نسبت به زمینه به کمتر از ۱۰۰۰ گاما رسیده و قطب منفی به طور کامل از بین رفته است. در آنومالی باختری نیز قطب منفی بسیار ضعیف شده در حال از بین رفتن و تبدیل شدن به مقدار زمینه می‌باشد. قطب مثبت این آنومالی هم به صورت یک پارچه در آمده و اختلاف میدانی در حدود ۲۰۰۰ گاما نسبت به زمینه دارد. بنابراین گسترش عمقی آنومالی بخش خاوری بیشتر از آنومالی بخش باختری است. اما ضعیف شدن شدت میدان مغناطیسی به حدی است که نمی‌توان انتظار حضور کانی‌سازی را در اعماق زیاد تصور نمود.

گسترش به بالای داده‌های مغناطیسی

فیلتر گسترش به بالا بر روی داده‌های منطقه مورد مطالعه در افق‌های مختلف اعمال شد تا نحوه گسترش عمقی کانی‌سازی، دایک‌ها، گسل‌ها و سنگ بستر به صورت واضح‌تری مشخص شود. در کانسار سنگ آهن اختاچی این فیلتر در افق‌های ۲۰، ۴۰ و ۸۰ متر بر روی داده‌های شدت میدان مغناطیسی کل اعمال شد که نقشه‌های حاصله در شکل ۵ ارائه شده است.

همانگونه که در نقشه گسترش به بالا در ارتفاع ۲۰ متری مشاهده می‌گردد (شکل 5a) در محدوده باختری، بخش زیادی از آنومالی‌های سطحی از بین رفته‌اند و شکل دوقطبی موجود تقریباً منظم و متقارن شده است. در محدوده خاوری نیز وضعیتی مشابه حاکم می‌باشد. اما در آنومالی بخش خاوری، قطب منفی ضعیف‌تر و دارای ابعاد کوچکتری نسبت به قطب مثبت است. بخش مرکزی که فاقد قطب منفی می‌باشد در حال پیوستن به بخش خاوری است. سایر آنومالی‌های کوچکی که در منطقه حضور داشتند در حال از بین رفتن و بسیار ضعیف شده‌اند. در نقشه گسترش به بالا در ارتفاع ۴۰ متری (شکل 5b)، در محدوده خاوری شاهد ضعیف شدن شدت میدان مغناطیسی هستیم و



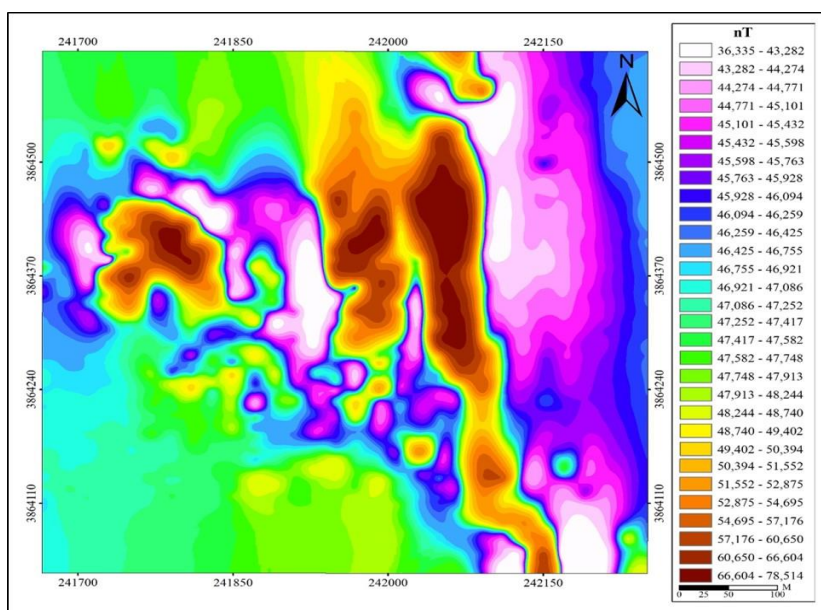
شکل ۵- نقشه گسترش به بالا در ارتفاع‌های (a) ۲۰ متری، (b) ۴۰ متری و (c) ۸۰ متری.

Fig. 5. The upward extension map at elevations; (a) 20 meters, (b) 40 meters and (c) 80 meters.

برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی

برگردان به قطب یک روش کمکی برای سادگی در تفسیر نقشه‌های مغناطیسی است. فیلتر برگردان به قطب بر روی داده‌های محدوده کانسار اختاچی اعمال شد که نقشه آن در شکل ۶ ارائه شده است. در آنومالی بخش باختری تقریباً قطب منفی از بین رفته و آنومالی با کمی جابجایی به سمت شمال به صورت تک قطبی در آمده است. بنابراین به راحتی می‌توان به محل دقیق توده مولد آنومالی پی‌برد. در آنومالی بخش خاوری آن قطب منفی کاملاً از بین رفته است و قطب مثبت با جابجایی به سمت شمال به محل واقعی خود بر روی منشأ ایجاد کننده آن حرکت کرده است. بخش مرکزی آنومالی که به

صورت تک قطبی بود تغییر زیادی نکرده و فقط کمی به سمت شمال جابجا شده است. بنابراین می‌توان به حذف اثرات میدان بازماند و قرارگرفتن آنومالی‌های مغناطیسی بر روی منشأ آن‌ها پی‌برد. اما در مورد آنومالی‌های موجود در باختر محدوده، هنوز قطب منفی در تعدادی از نقاط وجود دارد. به همین دلیل باید منشأ ایجاد کننده این آنومالی‌ها را عوامل دیگری به غیر از توده‌های مگنتیتی در نظر گرفت. همانگونه که قبلاً بیان گردید، احتمال رخداد گسل در این محدوده زیاد است. به همین دلیل بخشی از این ناهنجاری‌ها را باید به چنین عواملی نسبت داد.



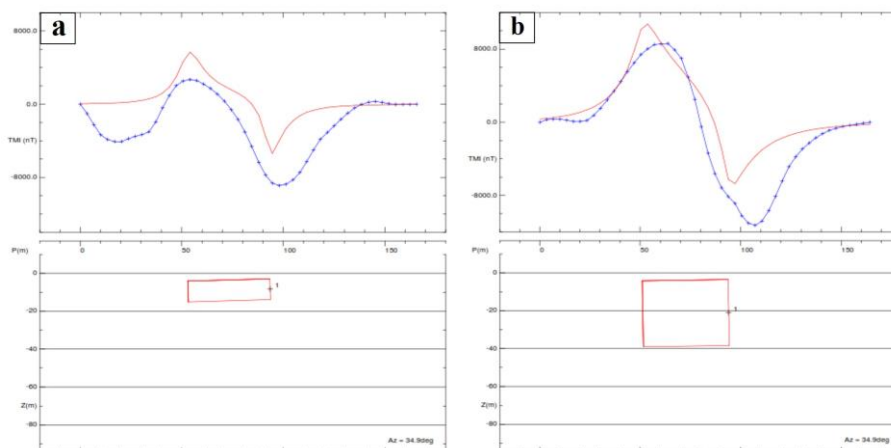
شکل ۶- نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی.

Fig. 6. The rotate to pole map of magnetic data.

مدل‌سازی کانسار

در مطالعات ژئوفیزیک دست‌یابی به وضعیت ساختارهای زیرسطحی و بدون شک تعیین محل آنومالی‌ها و موقعیت مکانی آنومالی و همچنین تعیین عمق و مرز پیکره مسبب آنومالی نیز بسیار اهمیت دارد. روش‌های بسیار متعددی برای تعیین عمق میدان‌های پتانسیل وجود دارند. از روش‌های مدل‌سازی می‌توان جهت نمایش شکل و گستردگی کانی‌سازی به صورت گرافیکی استفاده نمود. در این پژوهش از روش مدل‌سازی معکوس به منظور بررسی وضعیت توده‌های مدفون در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. مدل‌سازی معکوس داده‌ها روشی مناسب برای شبیه‌سازی آنومالی‌های مغناطیسی‌سنجی برای پی‌بردن به شکل کانسار به حساب می‌آید (Namaki et al., 2011). روش مدل‌سازی معکوس راه‌کاری مناسب به منظور تعیین شکل تقریبی توده کانی‌سازی در یک مقطع انتخابی است. فرض اصلی در آن، این است که کشیدگی منشأهای مورد بررسی در یک جهت خیلی بیشتر از جهات دیگر می‌باشد که این هر ساختار کشیده‌ای در زمین‌شناسی مانند دایک‌ها و گسل‌ها را شامل می‌شود. در این ساختارها می‌توان فرض نمود که در راستای امتداد، جنس توده یکنواخت باقی می‌ماند. در این روش می‌توان تقریباً تمامی پارامترهای مدل از جمله جنس، عمق و شکل هندسی را به‌دست آورد. در محدوده مورد مطالعه، فرآیند مدل‌سازی معکوس در امتداد ۷ نیمرخ در جهات مختلف بر روی آنومالی‌ها

انجام گرفت. در شکل ۳b موقعیت نیمرخ‌ها بر روی نقشه شدت میدان مغناطیسی باقیمانده در محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است. نیمرخ A1: نتیجه مدل‌سازی معکوس بر روی نیمرخ A1 در محدوده باختری در شکل ۳a آورده شده است. این نیمرخ در امتداد شمال‌خاوری - جنوب‌باختری کشیده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد کانی‌سازی احتمالی به صورت رگه‌ای با عرض حدود ۴۰ متر و ضخامت حدود ۱۰ متر تشکیل شده است. این کانی‌سازی به سمت خاور و باختر ادامه دارد. عمق آن کم بوده از نزدیک به سطح زمین شروع می‌شود و دارای خودپذیری مغناطیسی بالایی می‌باشد بنابراین عیار کانی‌سازی آهن در امداد این نیمرخ بالا می‌باشد. نیمرخ A2: نتیجه مدل‌سازی معکوس بر روی نیمرخ A2 با امتداد شمال‌خاوری - جنوب‌باختری در شکل ۳b نمایش داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد کانی‌سازی احتمالی دارای ابعاد نسبتاً بزرگی بوده از نزدیک به سطح زمین شروع و با شیب کمی به سمت شمال‌خاور ادامه می‌یابد. خودپذیری مغناطیسی در این توده متوسط می‌باشد و احتمال وجود سنگ‌آهن با عیار متوسط وجود دارد. از دلایل بالا نبودن عیار می‌توان به حضور میان لایه‌های باطله اشاره نمود. طول این توده در حدود ۴۰ متر و ضخامتی در حدود ۳۰ متر دارد.

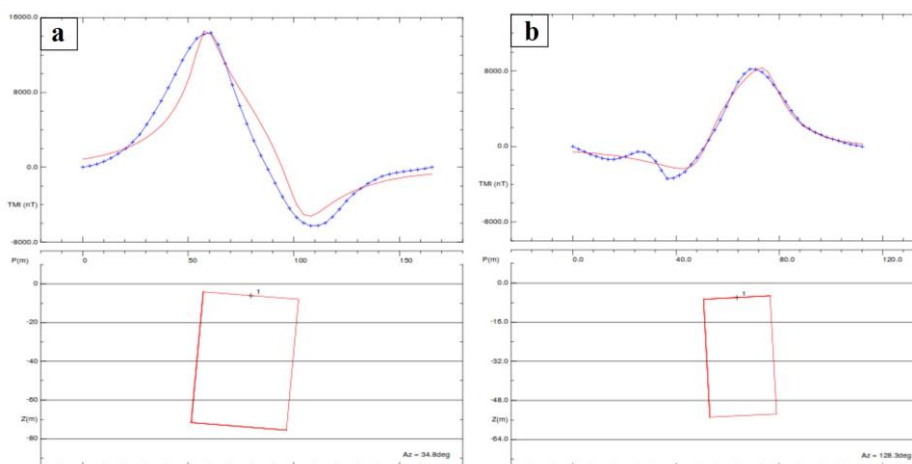


شکل ۷- مدل سازی معکوس بر روی پروفیل های (a) A1 و (b) A2.
 Fig. 7. Reverse modeling on profiles; (a) A1 and (b) A2.

وجود دارد اعمال شده است (شکل ۸a). امتداد آن شمال باختر - جنوب خاور می باشد. قطب مثبت آن گسترده تر از قطب منفی است. مدل سازی معکوس بر روی این نیمرخ نشان می دهد در این جا کانی سازی احتمالی به شکل توده ای تقریباً قائم و از عمق حدود ۱۰ متری از سطح زمین شروع و تا عمق حدود ۵۰ متری ادامه یافته است. گسترش عرضی آن زیاد نمی باشد و به همین دلیل در انتخاب نقطه حفاری به منظور اکتشاف آن باید دقت عمل بیشتری به کار برد.

نیمرخ A3: در شکل ۸a روش مدل سازی معکوس بر روی نیمرخ A3 با امتدادی مشابه دو نیمرخ A1 و A2 نشان داده است. در این جا کانی سازی احتمالی از عمق کمی نسبت به سطح زمین شروع و تا عمق بیش از ۶۰ متری ادامه می یابد. ضخامت این توده در حدود ۶۰ متر و خود پذیری مغناطیسی بالای آن بیانگر عیار خوب سنگ آهن در آن است. با انجام حداقل یک حفاری در این محل باید به بررسی وضعیت کانی سازی آن پرداخته شود.

نیمرخ A4: روش مدل سازی معکوس بر روی نیمرخ A4 در امتداد عمود بر نیمرخ های قبل و بر روی آنومالی مغناطیسی دیگری که در این منطقه



شکل ۸- مدل سازی معکوس بر روی پروفیل های (a) A3 و (b) A4.
 Fig. 8. Reverse modeling on profiles; (a) A3 and (b) A4.

بالای سنگ آهن باشد. اما لازم است با انجام حداقل یک حفاری بر روی آن به بررسی موضع پرداخته شود.

نیمرخ B2: نتیجه مدل سازی معکوس بر روی نیمرخ B2 در شکل ۸a1 نشان داده شده است. این نیمرخ به موازات نیمرخ قبل و در امتداد شمال خاور - جنوب باختر می باشد. کانی سازی احتمالی در امتداد این نیمرخ از عمق کمی نسبت به سطح زمین شروع و تا حدود ۸۰ متر ادامه یافته است. این توده تقریباً متقارن است و نمی توان شیب مشخصی برای آن تصور نمود. هرچند اختلاف میدان مغناطیسی در این توده زیاد است اما نمی توان با قطعیت کامل

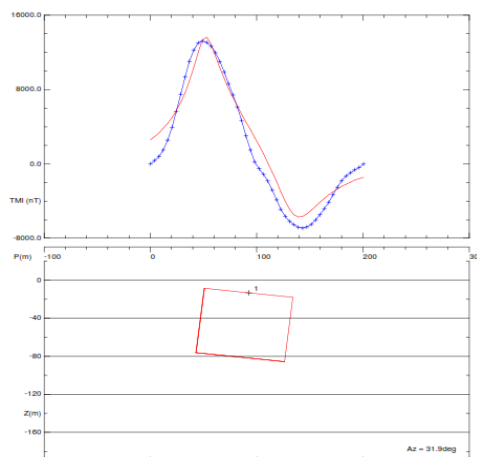
در بخش خاوری محدوده مورد مطالعه نیز سه نیمرخ در امتداد شمال خاور - جنوب باختر ترسیم و مورد مدل سازی معکوس قرار گرفته که در شکل ۸b3 موقعیت این نیمرخ ها نشان داده است.

نیمرخ B1: در شکل ۹، نتیجه مدل سازی معکوس بر روی نیمرخ B1 نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد کانی سازی احتمالی به صورت توده ای به ضخامت حدود ۸۰ متر، حدوداً از ۱۰ متری سطح زمین شروع شده به سمت عمق تا ۸۰ متر ادامه پیدا کرده است. شیب تقریبی آن به سمت شمال خاور است. خود پذیری بالای مغناطیسی در این توده می تواند به دلیل عیار

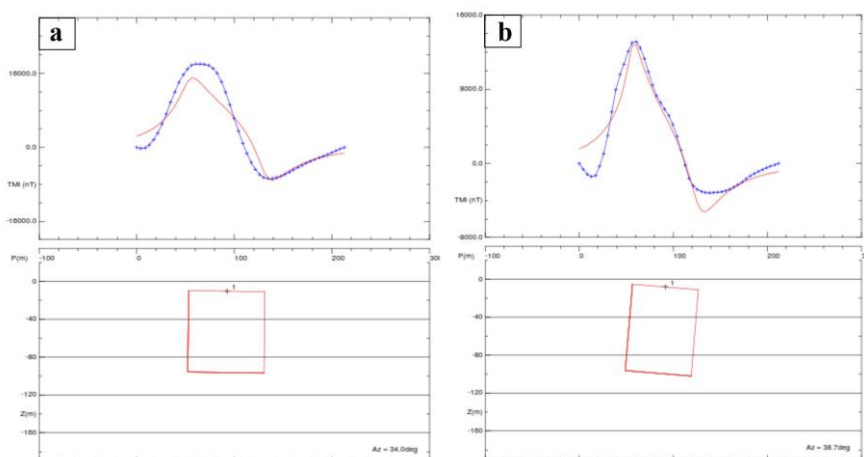
از آن طراحی شده است، وضعیت کاملاً مشابهی نسبت به آن دارد. در این جا نیز توده مولد آنومالی از نزدیک سطح زمین شروع و تا عمق حدود ۹۰ متری ادامه یافته است. خودپذیری مغناطیسی در این توده بالا بوده و در صورتی که کانی سازی آهن اتفاق افتاده باشد دارای عیار بالایی می باشد.

وجود کانی سازی آهن را برای آن تصور نمود و چه بسا توده های از سنگ های نفوذی بازیک عامل به وجود آورنده این آنومالی باشند. یکی از دلایل مطرح شدن این موضوع در خصوص این بخش از آنومالی، ضعیف بودن قطب منفی در آن است.

نیمرخ B3: در شکل ۱۰b، نتیجه روش مدل سازی معکوس بر روی نیمرخ B3 نشان داده است. این نیمرخ که به موازات نیمرخ قبل و در فاصله ۴۰ متری



شکل ۹- مدل سازی معکوس بر روی پروفیل B1
Fig. 9. Reverse modeling on profile B1.



شکل ۱۰- مدل سازی معکوس بر روی پروفیل های (a) B2 و (b) B3
Fig. 10. Reverse modeling on profiles (a) B2 and (b) B3.

بخشی از ذخایر آهن ایران در ارتباط با فرورانش و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس است، بنابراین در شمالی ترین قسمت پهنه سنج - سیرجان و پهنه ایران مرکزی و در راستای پهنه فرورانش اقیانوس نئوتتیس یک کانی زایی مهم آهن تشکیل شده است. این ذخایر را می توان بر اساس فرآیندهای کانی سازی ماده معدنی (کانسار) و سن میزبان به چهار طبقه تقسیم نمود (Nabatian et al., 2015).

۱- نهشته های تریاس زیرین - ژوراسیک: کانسارهای اصلی شامل: هزارخانی، خسروآباد سنقر و هم چنین نهشته های رسوبی آهن خرده قاره ایران مرکزی، مانند خراتق و رباط پشت بادام. کانی زایی آهن در خرده قاره ایران مرکزی در ناحیه بافق و به میزبانی شیل و ماسه سنگ واقع شده است. همانیت کانی اصلی در این ذخایر می باشد.

بحث

ذخایر آهن در ایران در یک نگاه کلی مربوط به سه فاز مهم زمین ساختی شامل، باز شدن نئوتتیس، فرورانش و بسته شدن نئوتتیس و همچنین ماگماتیسم سنوزوئیک هستند. ذخایر مربوط به فاز باز شدن نئوتتیس بیشتر در بخش های مرکزی ایران و به ویژه منطقه معدنی گل گهر و همچنین ذخایر آهن - منگنز جنوب پهنه سنج - سیرجان مثل ذخایر هنشک و ... است. ذخایر آهن مربوط به فاز فرورانش و بسته شدن نئوتتیس بیشتر در ارتباط با رسوبات آتشفشانی، اسکارن و افیولیت می باشند (Nabatian et al., 2015). ذخایر مربوط به ماگماتیسم سنوزوئیک نیز بیشتر در الف: کمر بند ماگمایی البرز و خاور البرز، ب: کمر بند ولکانیکی - پلوتونیک خاف، بردسکن و کاشمر و ج: ذخایر اسکارن و پلاسور در پهنه ایران مرکزی هستند. همانطور که بیان گردید

- رسوبی به عنوان آنکلاو و بعد، فازهای ماگمای اسیدی باعث دگرگونی حرارتی و کانی‌زایی نوع اسکارن در کربنات‌های مجاور با آندزیت‌های متابازالتی شده است و ۴- گسترش پهنه‌های گسلی و تجمع آهن درون آنکلاوها در این پهنه‌ها. در این ذخایر اسکارنی میزبان کانسارهای معدنی، کانی‌زایی حاصل یک دگرگونی ناحیه‌ای و حرارتی و آلتراسیون هیدروترمال - متاسوماتیک (جانشین) است. بنابراین همان‌طور که در مدل تکاملی ذخایر آهن در این بخش از پهنه سندانج - سیرجان بیان گردید، علاوه بر دگرسانی حرارتی و تشکیل ذخایر نوع اسکارن، دگرگونی ناحیه‌ای و پهنه‌های گسلی نیز نقش عمده‌ای در تشکیل و تمرکز آهن داشته است.

جهت بررسی نتایج حاصل از مطالعات دورسنجی و مغناطیس‌سنجی، گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، در مطالعات صحرایی متعدد، برداشت گردید. به طور کلی در مشاهدات صحرایی دو دسته گسل با روندهای

NW-SE و NE-SW دارای بیشترین فراوانی در منطقه مورد مطالعه هستند که اثرات سطحی این گسل‌ها به خوبی قابل مشاهده است. این دو دسته گسل به شرح زیر در براشت‌های صحرایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

- گسل‌های F1: همانطور که در تصویر مشخص است (شکل ۱۱) این گسل در درون سنگ‌های دیوریت دگرگون شده و متاکوارتزسینیت امتداد دارد. راستای این گسل N60E و شیب آن 80SE می‌باشد و F2: این گسل با راستای شمال خاور - جنوب‌باختر در بخش‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه واقع شده است. این گسل سنگ‌های دیوریت دگرگون شده و متاکوارتزسینیت را بریده و همان‌طور که در تصویر مشخص است فاصله بین دو دیواره گسل و در واقع پهنای منطقه برشی نزدیک به یک متر می‌رسد (شکل ۱۱).

- دسته دوم از گسل‌ها با روند NW - SE، گسل F1a: منشعب شده از گسل F1 و عمود بر آن با امتداد N30W در واحدهای دیوریتی دگرگون شده قابل مشاهده است (شکل ۱۲a) و گسل F1b: این گسل با زاویه N30W و در سمت چپ گسل F1a در رخنمون سنگ‌های متاکوارتز سینیت واقع شده است. (شکل ۱۲b).

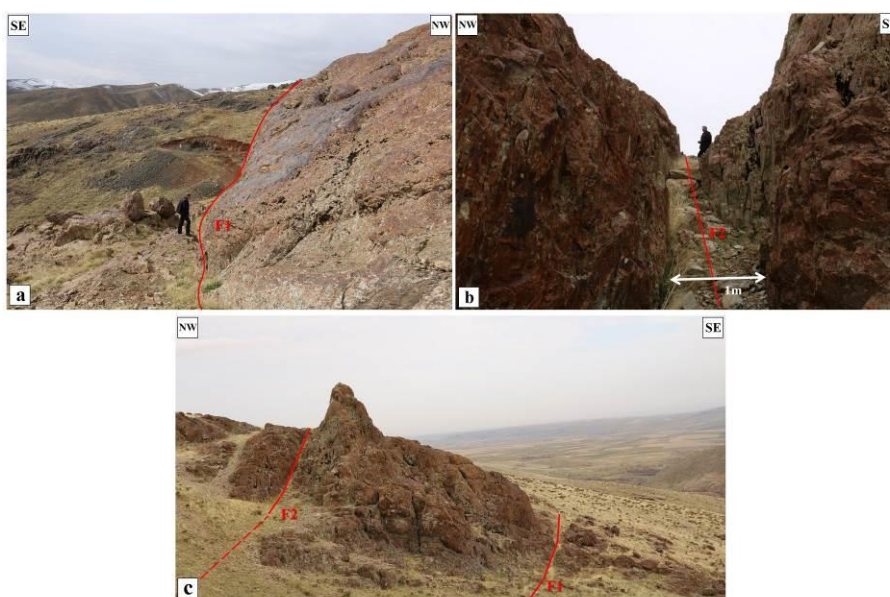
۲- اسکارن کرتاسه و ذخایر نوع هیدروترمال که شامل ذخایری در ناحیه همدان مانند: باباعلی، چناربالا(علیا)، گلالی(قره)، ذخیره اسکندریان در ناحیه خوی، که با یک توده نفوذی گابرو - دیوریت کرتاسه مرتبط است.

۳- ذخایر رسوبی - آتشفشانی آهن - منگنز کرتاسه که عموماً منگنز با عبار پایین و آهن با عیار متوسط دارند. از مهم‌ترین این ذخایر می‌توان به شمس‌آباد در جنوب اراک، چاه‌باشه در جنوب‌خاور نایین و نارینگان در بافق اشاره نمود.

۴- ذخایر آهن - منگنز مربوط به ملانژ افیولیتی کرتاسه که بیشتر در منطقه بافت دیده می‌شوند و مربوط به پوسته اقیانوسی نایین - بافت هستند.

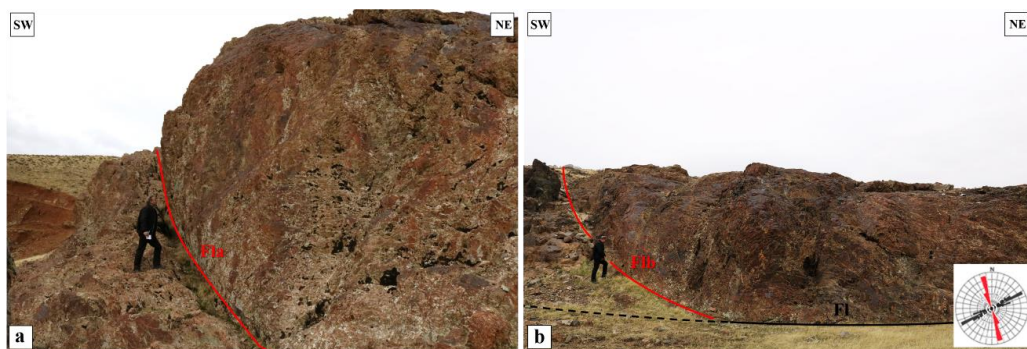
ذخایر مگنتیت باباعلی، گلالی، چنارعلیا و تکیه‌بالا در کرمانشاه، بین استان همدان، سنقر و قره واقع شده است و به عنوان ذخایر همه‌کسی شناخته می‌شوند.

منطقه مورد مطالعه در مجاورت ذخایر باباعلی، گلالی و چناربالا قرار گرفته و این ذخایر با سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی، تریاس - ژوراسیک در یک حوضه ریفتی ارتباط دارند. ذخیره باباعلی بزرگ‌ترین ذخیره با ذخیره‌ای در حدود ۶۶ میلیون تن و عیار متوسط ۶۱ درصد برآورد شده است. ذخیره اصلی در مگنتیت، کوارتزهای سینیتی و دیوریتی‌باتولیت هستند قرار گرفته و عمدتاً میزبان متادیوریت‌های نفوذی در سنگ‌های دگرگونی تریاس - ژوراسیک با رخساره شیبست سبز تا آمفیبولیت‌پایینی است. کانی‌سازی در سنگ‌های دگرگونی همراه با کانی‌های معدنی اکسیدی از جنس مگنتیت و هماتیت است، که در طی چین‌خوردگی این لایه‌های سنگی در افق‌های کربناته‌زیرین رخ داده است. مگنتیت با پیریت، کالکوپیریت، اپیدوت، کلسیت، اکتینولیت، تورمالین، آپاتیت و کوارتز همراه می‌باشد. کانی‌سازی آهن در این مساحت عمدتاً مشخصات رسوبی - آتشفشانی را نشان می‌دهد. به طور کلی برای نحوه تشکیل این ذخایر یک مدل در چهار مرحله مطرح شده که نشان‌دهنده تکامل این حوضه‌های در طی فازهای مختلف زمین‌ساختی در این بخش از سندانج - سیرجان است. مراحل این مدل به شرح زیر است: ۱- تشکیل کانسارهای آهن درون سکناس‌های آتشفشانی - رسوبی در حوضه ریفتی ژوراسیک، ۲- چین‌خوردگی، تغییر شکل و دگرگونی رخساره درجه بالا تا شیبست‌سبز، ۳- نفوذ سنگ‌های ائوسن‌بالایی و به دام‌افتادن قسمت‌هایی از سنگ‌های آتشفشانی



شکل ۱۱- (a) گسل F1 در سنگ‌های دیوریت دگرگون شده، (b) پهنه گسلی در واحدهای دیوریتی دگرگون شده و (c) گسل F1 و F2 با راستای شمال خاور - جنوب‌باختر.

Fig. 11. (a) The F1 fault in metamorphic diorite rocks, (b) The fault zone in the metamorphic diorite units and (c) The F1 and F2 fault with NE-SW trend.



شکل ۱۲- (a) گسل F1a در دیوریت‌های دگرگون‌شده، (b) گسل فرعی F1b در سنگ‌های متاکوارتز سینیت.

Fig. 12. (a) The F1a fault in metamorphic diorite rocks, (b) The F1b minor Fault in the metaquartz cinitis rocks.

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد که کانی‌سازی بیشتر در راستای شکستگی‌های ساختاری (خطواره‌ها) موجود در منطقه با امتداد شمال‌باختر - جنوب‌خاور شکل گرفته است. در واقع با شناسایی شکستگی‌ها (گسل و خطواره‌ها) در منطقه مورد مطالعه و به نقشه درآوردن نقاط پرعبار آهن این نتیجه حاصل گردید که تمامی نقاط پرعبار آهن در پهنه‌های گسلی کانسار متمرکز و امتداد ذخایر سنگ آهن با شکستگی‌های ساختاری دارای امتداد NW-SE کاملاً مطابقت دارند. همچنین برداشت‌های صحرایی نیز این شکستگی‌ها را به خوبی نشان داده و تأیید می‌کند که کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه در ارتباط با زمین‌ساخت بوده یا حداقل پهنه‌های گسلی نقش مهمی در جای‌گیری ذخایر آهن در این بخش از پهنه سنندج - سیرجان داشته است.

به منظور ارتباط کانه‌زایی با زمین‌ساخت و نقش عناصر ساختاری در تمرکز ماده معدنی در این پژوهش از مطالعات صحرایی، روش مغناطیس‌سنجی و دورسنجی استفاده و از مطالعه تصاویر ماهواره‌ای دو دسته ساختار خطی (گسل‌ها و شکستگی‌های ساختاری) با امتداد NE-SW و NW-SE، در محدوده مورد مطالعه شناسایی گردید. سپس یک شبکه برداشت جهت مطالعات مغناطیس‌سنجی انتخاب و نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی کل، میدان باقیمانده، مشتقات قائم میدان مغناطیسی، گسترش به بالا در ارتفاعات مختلف، برگردان به قطب برای محدوده مورد مطالعه ترسیم گردید. با طراحی تعدادی پروفیل بر روی آنومالی‌ها و مدل‌سازی معکوس، ابعاد و امتداد محدوده‌های سنگ آهن و روند کانی‌زایی به صورت خطی با امتداد NW-SE مشخص که باتوجه به روندهای خطی کانی‌سازی در مطالعات مغناطیس‌سنجی،

منابع

- Aghanabati, A., 1998. Major sedimentary and structural units of Iran (map). *Geosciences* 7, 29-30.
- Aghanabati, A., 2005. *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran (Persian book), Tehran, Iran, p. 538.
- Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 103, 983-992.
- Alipoor, R., 2009. Structural analysis and Structural and seismotectonic analysis of the main recent fault zone and its effect on the Rudbar Lorestan dam site. MSc Thesis, University of Shahid Beheshti, Tehran.
- Alipoor, R., Sadr, A.H., Amini, P., 2017. The analysis of the dynamics tectonic the Morvarid fault at main recent Fault using remote sensing data and fractal analysis. *Journal of New Finding in Applied Geology* 11 (20), 125-138.
- Bellott, A., Corpel, J., Million, R., 1991. Contribution of magnetic modelling to the discovery of hidden massive sulfide body at Hajar, Morocco. *Geophysics* 56(7), 983-991.
- Billings, S.D., Pasion, C., Walker, S., 2006. Magnetic models of unexploded ordinance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44(8), 2115-2124.
- Butler, S.L., Sinha, G., 2012. Forward modeling of applied geophysics methods using Comsol and comparison with analytical and laboratory analog models. *Computer and Geoscience* 42, 168-176.
- Carbone, D., Current, G., Del Negro, C., Ganci, G., Napoli, R., 2006. Inverse modeling in geophysical applications, VIII Conference SIMAI (Italian Society of Mathematics Applied to Industry), Baia Samuele (Ragusa), 22-26.
- Daliran, F., Stosch, H.G., Williams, P., 2007. Multistage metasomatism and mineralization at hydrothermal Fe oxide-REE-apatite deposits and 'apatites' of the Bafq district, central-east Iran. In: Stanely C. J. eds. *Digging Deeper*, 15011504. Proceedings 9th Biennial SGA Meeting Dublin, Ireland.
- Daliran, F., Stosch, H.G., Williams, P., 2010. Lower Cambrian iron oxide-apatite-REE (U) deposits of the Bafq district, east - Central Iran. In: Corriveau, L., Mumin, A.H. eds. *exploring for iron oxide copper-gold deposits. Canada and global analogues*, p. 147159. Geological Society of Canada Short Course Notes 20. St. John's, Newfoundland Canada.
- Eshragi, S.A., 2001. Geological map of tuyserkan sheet, scale (1/100.000). Geological survey of Iran.
- Fatehi, M., Norouzi, G.H., Asghari, O., Hajiei, F., 2013. The 3D modeling of magnetic anomaly of Morvarid Zanzan deposit and method validation by using drilling data. *Iranian Journal of Geophysics* 8(2), 56-69.
- Ghasemi, A., Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 26, 683-693.

- Ghiasvand, A.R., Karimpour, M.H., Haydarian Shahri, M.R., Malekzadeh Shafaroudi, A., 2016. The mineralization and terrestrial magnetometry, in order to explore mineral deposits and determination of deep mineralization expansion in the Nishapur mines of turquoise (Neyshabur) area, Khorasan Razavi Province. *Journal of Advanced Applied Geology*, Shahid Chamran university of Ahvaz 20, 86-103.
- Ghorbani, M., 1993. Metallogeny of Iran iron deposits. Unpublished Internal Report, Shahid Beheshty University, Tehran, Iran.
- Guo, Z.Y., Liu, D.J., Chen, Z., 2012. Modeling on ground magnetic anomaly detection of underground ferromagnetic metal pipeline. *International Conference on Pipelines and Trenchless Technology*, China, Beijing, p.1011–1024.
- Hashim, M., Ahmad, S., Md Johari, M. A., Beiravand Pour, A., 2013. Automatic lineament extraction in a heavily vegetated region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) imagery: *Advances in Space Research* 51, 874–890.
- Izadi kiyani, L., 2004. Structural and petrographic analysis of the Almabolagh region (west of Hamedan). MSc Thesis, University of Tarbiat Modares, Tehran.
- Kar, A., 1994. Lineament control on channel behavior during the 1990 flood in the south- eastern Thar Desert. *International Journal of Remote Sensing* 15, 2521-2530.
- Karimpour, M., 1989. *Applied Economic Geology*. Javid Publication, Mashhad, Iran, p. 404.
- Kavyani sadr, K.H., Khatib, M.M., Zarrinkoub. M.H., 2013. The relationship of structural status with mineralization based on aeromagnetic data, Satellite and field studies of Cheshmeh Khouri Mining Area (NW of Birjand). *Journal of Advanced Applied Geology* 3(9), 54-62.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I., 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*, 3rd Edition, Blackwell Science Ltd.
- Maanijou, M., 2002. Proterozoic metallogeny of Iran. In: *International Symposium of Metallogeny of Precambrian Shields*, p. 2.13. Kyiv, Ukraine.
- Marghany, M., Hashim, M., 2010. Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data. *International Journal of the Physical Sciences* 5 (10), 1501-1507.
- Masoud, A., Koike, K., 2006. Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt. *Journal of African Earth Science* 45, 467–477.
- Masoumi, A., Ansari, H., Aslani, E., 2017. A study on inverse modelling of magnetic data for Korkora 1, Shahrak iron mine in Kurdistan Province. *Journal of Mineral Resources Engineering* 2(1), 37-47.
- Mazaheri, S.A., Andrew, A.S., Chenhall, B.E. 1994. Petrological studies of Sangan iron ore deposit. Center for isotope studies, Research Report, Sydney, Australia 48-52.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L., 2000. Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Structural Geology* 22, 1125–1139.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L., 2014. Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros orogen in northwestern Iran. *International Geology Review* 56 (3), 263-287.
- Nabatian, G.h., Rastad, E., Neubauer, M., Honarmand, M., Ghaderi, M., 2015. Iron and Fe - Mn mineralization in Iran: implication for Tethyan metallogeny. *Australian Journal of Earth Sciences* 62, 211-241.
- Namaki, L., Gholami, A., Hafizi, M.A., 2011. Edge-preserved 2-D inversion of magnetic data: an application to the Makran arc-trench complex. *Geophysical Journal International* 184, 1058–1068.
- Parker, R.L., Huestis, S.P., 1974. The inversion of magnetic anomalies in the presence of topography. *Journal of Geophysical Research* 79, 1587-1593.
- Paterson, N.R., Reeves, C.V., 1985. Applications of gravity and magnetic surveys: The state-of-the-art in 1985. *Geophysics* 50, 2558– 2594.
- Philip, G., 1996. Landsat Thematic Mapper data analysis for Quaternary tectonics in parts of the Doon Valley, NW Himalaya, India: *International Journal of Remote Sensing* 17, 143-153.
- Rolet, J., Ye'sou, H., Besnus, Y., 1995. Satellite image analysis of circular anomalies and fracturing networks in the Armorican Massif, France. *Mapping Science and Remote Sensing* 32, 21-43.
- Sabins, F.F., 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews* 14, 157-183.
- Safaei, S., Farahmandian, M., Afshari, S., Kianporian, S., 2016. Exploration of Songhor iron ore deposit using satellite and magnetometric data, the 34th National and the 2nd International Geosciences Congress, Tehran, Iran.
- Sarkarnejad, K., Godin, L., Faghih, A., 2009. Kinematic vorticity flow analysis and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology related to inclined extrusion of the HP–LT meta-morphic rocks along the Zagros accretionary prism, Iran. *Journal of Structural Geology* 31, 691–706.
- Scales, J.A., Snieder, R., 2000. The anatomy of inverse problems. *Journal of Geophysics* 65(6), 1708 -1710.
- Sharma, P.V., 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*, Cambridge University Press.
- Shupe, S.M., Akhavi, M.S., 1989. Integration of remotely sensed and GIS data for mineral exploration: Halifax Pluton area, Nova Scotia, Canada. *Geocarto International* 4-3, 49-54.
- Sirvastav, S.K., Bhattacharya, A., Kamaraju, M.V.V., Sreenivasa Reddy, G., Shrimal, A.K., Mehta, D.S., List, F.K., Burger, H., 2000. Remote sensing and GIS for locating favourable zones of lead-zinc-copper mineralization in Rajpura-Dariba area, Rajasthan, India. *International Journal of Remote sensing* 21(17), 3253-3267.
- Tibaldi, A., Ferrari, L., 1991. Multisource remotely sensed data, field checks and seismicity for the definition of active tectonics in Ecuadorian Andes. *International Journal of Remote Sensing* 12, 2343-2358.

