

Original Article

Iranian Remote Sensing GIS
Journal of Sensing

Investigation and Use of Remote Sensing and Geophysical Methods to Potential Iron Ore- Northeast of Deh Chah-Fars

Saeid Mojarad^{*}

Affiliation

Surveying Group, University of Bojnourd, Bojnourd, Iran

ABSTRACT

Introduction: The Gravimetric method is an early exploration tool for minerals. In other areas, the use of this method has been developed from common applications such as mapping the bedrock structure to a wider range of applications, including the location of faults in the environment Sedimentary deposits, revealing hidden semiconductor associations, determining the position of salt domes in sedimentary environments with weak Gravity response, and finally, modeling the structures by means of a three-dimensional return of Gravimetric data.

Material and Methods: In this study, using first-order data from an ASTER sensor of type-1A, which was used in 2007, was first used by using remote sensing methods including spectral analysis of color combinations and band ratio with software The ENVI, which carried out the ASTER data, the alteration zones associated with iron Fe mineralization were identified in the region. In the next step, the geomorphic data of ground Gravimetric measurement in the study area has been used and has been applied to the processing and analysis of ground Gravity complete bougure data using Oasis Montaj software. Finally, with the simultaneous use of three major exploratory data, significant areas of iron ore mineralization have been identified and investigated within the study area.

Results and Discussion: The important iron ore reserves in this zone can be noted that the Gol-Gohar iron ore geological units Gol-Gohar iron ore schists, metamorphic sandstone, quartzite, and metamorphic masses are diabasic. The RGB color combination (123) has been processed on ASTER sensor data, and the interpretation of the studied area with respect to field geological information in the region is such that iron-metallurgical units are observed in dark blue. The color Composition (468) RGB was processed on ASTER sensor data, and the interpretation of the studied area is due to the field geological information in the region. Band Ratio is the image processing method that involves dividing a band into another band. The ratio (Band 5 + Band 7) / Band 6 was applied to the ASTER sensor data, as presented in the figure, bright pixels showing sericite, muscovite, Illite, and smectite minerals. As seen in all processed ASTER data, the anomalies of numbers A, B, C, and D differ from other geological units in the study region. Using methods of ground gravimetric processing, many methods were used to identify the sources. We were able to identify five anomalies under the ground that it is very important. Anomalies B' related to two geological dikes with a lower depth than other anomalies. Anomalies A', C', D' and E' are much larger and longer. And they have an important source at high depths.

Conclusion: In this study, according to remote sensing studies and ground gravimetric studies, five anomalies have been discovered. In both methods, the results are consistent with each other. In fact, the anomalies A, B, C and D in the remote sensing method overlap with the anomalies A', B', C', D' and E' in the method of ground gravimetric. The most stable changes in the gravity field in all gravimetric analyzes are related to the A' and C' anomalies. The bonding method with a mathematical ratio of Band 3 / Band 1 and Band 5 / Band 4 ratio was also applied to ASTER sensor data. The ratio (Band 5 + Band 7) / Band 6 was applied to the ASTER sensor data, as presented in the figure, bright pixels showing sericite, muscovite, Illite, and smectite minerals. As seen in all processed ASTER data, the anomalies of numbers A, B, C, and D differ from other geological units in the study region. In the study area, we were able to identify four anomalies under the ground that it is very important. The geological structure of these anomalies is Northwest-South East. Anomalies A and anomalies B are related to two geological dikes with a lower depth than other anomalies. Anomalies C and anomalies D are much larger and longer. And they have an important source at high depths. According to the results of method Analytic Signal and method Vertical Derivative, we were able to identify the edges of these anomalies. In fact, the anomalies A, B, C and D in the remote sensing method overlap with the anomalies.

Keywords: Remote Sensing, Gravimetric, ASTER, Deh Chah, Iron ore.

Citation:

Mojarad, S., Investigation and Use of Remote Sensing and Geophysical Methods to Potential Iron Ore- Northeast of Deh Chah-Fars, Iran J Remote Sens GIS. 17(2):121-148.

* Corresponding Author: Mojaradsaeed021@gmail.com
DOI: <https://doi.org/10.48308/gisj.2024.221224.1013>

Received: 2021.03.28
Accepted: 2024.07.24





بررسی و ارزیابی روش‌های دورسنجی و ژئوفیزیکی جهت پتانسیل‌یابی منابع آهن‌دار در نیمه شمال شرق ده چاه-فارس

سعید مجرد^۱

سمت

گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

چکیده

سابقه و هدف: امروزه استفاده از منابع معدنی زیرزمینی، مانند سنگ‌آهن، اولویتی مهم در عصر اقتصاد جوامع است و این منابع جزء ضروری‌ترین و ابتدایی‌ترین مواد فلزی در جوامع امروزی شمرده می‌شوند. از این رو اکتشاف سنگ‌آهن در مناطق مهم که پتانسیل‌های منابع فلزی دارند، در اولویت قرار دارد. تا کنون روش‌های بسیاری، برای پتانسیل‌یابی سنگ‌آهن در زیر سطح زمین، ابداع شده که مهم‌ترین آنها روش‌های دورسنجی و ژئوفیزیکی است. در منطقه مورد مطالعه، با توجه به سیستم لیتولوژی و ساختارهای گسلش منطقه، وجود منبع سنگ‌آهن در زیر سطح زمین تا حدی تأیید می‌شود ولی برای کاستن هزینه‌های اکتشافات، قبل از حفاری و صرف هزینه‌های هنگفت، باید مطالعات دقیق ژئوفیزیکی و زمین‌شناختی انجام بشود. هدف مطالعاتی، در منطقه مورد مطالعه، ترکیب و تلفیق چند روش دورسنجی و گرانی‌سنجی زمینی و تطبیق اطلاعات با مغناطیس‌سنجی و همچنین اعتبارسنجی نتایج آنها با مطالعات زمین‌شناسی است.

مواد و روش‌ها: این عملیات گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی از قدیمی‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی است که برای فعالیت‌های اکتشافی در زمینه‌های گوناگون و به‌ویژه اکتشاف ذخایر آهن به کار می‌رود. محدوده مورد مطالعه در شمال شرق استان فارس و نیمه شمالی شهرستان نی‌ریز واقع شده است. در این پژوهش ابتدا، با استفاده از داده یک برگ از سنجنده، از نوع Level-1A و متعلق به تاریخ ۲۰۰۷/۰۹/۲۲ و به‌کارگیری روش‌های دورسنجی، شامل پردازش و تحلیل طیفی ترکیب‌های رنگی متفاوت و نسبت‌گیری بانندی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی باندها و نقشه‌برداری زاویه طیفی کانی‌ها با استفاده از نرم‌افزار ENVI روی داده‌های استر (ASTER)، پهنه‌های دگرسانی و مناطق کانی‌سازی شده مرتبط با کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مشخص شد. در مرحله بعد، داده‌های ژئوفیزیکی گرانی‌سنجی زمینی در این منطقه به کار رفت و این داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Oasis Montaj، پردازش و تحلیل شد. در نهایت، با استفاده هم‌زمان از هر دو سری داده‌های اکتشافی مهم، مناطق مهم کانی‌زایی آهن‌دار در محدوده مورد مطالعه شناسایی و پی‌جویی شد.

بحث و نتیجه‌گیری: در این پژوهش، با توجه به نتایج مطالعات سنجش از دور و مطالعات گرانی‌سنجی زمینی، چهار نوع آنومالی شناسایی و پی‌جویی شده است که در هر دو روش، نتایج منطبق بر یکدیگر است. در واقع، آنومالی‌های A، B، C و D در روش سنجش از دور با آنومالی‌های A، B، C، D و E در روش گرانی‌سنجی زمینی هم‌پوشانی داشته و همچنین تمامی نتایج، با داده‌های مغناطیس‌سنجی به‌منظور اعتبارسنجی، مطابقت داشته است. با توجه به مجاورت توده نفوذی آذرین با سنگ‌های آهکی، به‌صورت کلی به نظر می‌رسد آنومالی‌های A، B و C می‌تواند ناشی از کانی‌زایی آهن از نوع اسکارن در این ناحیه باشد. وجود کانی‌زایی گارنت در این زون احتمال صحت این ادعا را افزایش می‌دهد. این آنومالی‌ها در اعماق و زیر واحدهای آهکی واقع شده است. با توجه به نقشه گرانی‌سنجی، کانی‌زایی آهن‌دار در راستای شمال‌غرب-جنوب شرق اتفاق افتاده و آنومالی‌های A، B و C ناشی از دو دایک مجاور هم در منطقه است. آنومالی D و E در جنوب محدوده و جنوب آنومالی A و C واقع شده و بر سنگ‌های شیست سبز و آمفیبولیت‌ها و گارنت شیست‌ها منطبق است. مهم‌ترین آنومالی A و C است که با توجه به طول و ضخامت توده، وضعیت کانی‌زایی مناسبی دارد. آنومالی مجاور آن نیز B است که احتمالاً با آنومالی‌های A و B منشأ یکسانی دارد و به نظر می‌رسد این کانی‌زایی در مرز سنگ‌های آهکی با توده نفوذی رخ داده باشد.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌آهن، گرانی‌سنجی، سنجش از دور، ده چاه، استر، مغناطیس‌سنجی زمینی.

استناد:

مجرد، س.، بررسی و ارزیابی روش‌های دورسنجی و ژئوفیزیکی جهت پتانسیل‌یابی منابع آهن‌دار در نیمه شمال شرق ده چاه-فارس، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴: ۱۴۸-۱۲۱.



۱- مقدمه

عملیات گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی از قدیمی‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی است که در فعالیت‌های اکتشافی درزمینه‌های گوناگون و به‌ویژه اکتشاف ذخایر آهن، کاربرد دارد. برداشت اصولی و تفسیر صحیح داده‌های گرانی‌سنجی زمینی در کنار دیگر داده‌های اکتشافی می‌تواند، ضمن کاهش هزینه‌ها، اطلاعات ارزشمندی درمورد موقعیت، عمق و ابعاد بخش‌های پنهان ذخایر آهن در اختیار پژوهشگران قرار دهد (Carlson & Ripley, 1997; Ganiyu et al., 2013).

روش گرانی‌سنجی از ابزارهای اکتشافی اولیه در پی‌جویی کانی‌ها به شمار می‌رود. در عرصه‌های دیگر، استفاده از این روش براساس کاربردهای متداولی، همچون به‌نقشه‌درآوردن ساختار سنگ بستر، به طیف وسیع‌تری از کاربردها گسترش یافته است که از آن جمله می‌توان به تعیین محل گسل‌ها در محیط‌های رسوبی، آشکار ساختن هم‌بری‌های سنگ‌شناسی پنهان، تعیین موقعیت گنبد‌های نمکی در محیط‌های رسوبی و مدل‌سازی ساختارهای مورد نظر، با استفاده از داده‌های گرانی‌سنجی زمینی، اشاره کرد (Chattoraj et al., 2020). این کاربردهای جدید موجب گسترش استفاده از این روش درزمینه‌های متنوعی مانند اکتشاف منابع معدنی، نفت و گاز، منابع زمین‌گرمایی، آب‌های زیرزمینی و همین‌طور اهداف دیگری مانند ارزیابی بلایای طبیعی، تعیین محل برخورد شهاب‌سنگ‌ها و مطالعات مهندسی و زیست‌محیطی شده است (Okpoli et al., 2022).

روش‌های میدان پتانسیل متداول‌ترین شیوه‌های ژئوفیزیکی برای نقشه‌برداری زمین‌شناختی، اکتشاف مواد معدنی و نفت محسوب می‌شوند (Paterson & Reeves, 1985). پی‌جویی‌های هوایی گرادیان گرانی به‌همراه مغناطیس‌سنجی در سال‌های اخیر، برای اکتشاف هماتیت و مگنتیت در بخش‌های گوناگون جهان، از جمله شمال کانادا، غرب آفریقا و امریکای جنوبی، موفقیت‌آمیز بوده است (Chander et al., 2009). در منطقه بافین ایسلند کشور کانادا نیز مطالعات نقشه‌های

پالئومغناطیس و رادیومتری به کشف ذخایر پنهان روی منجر شده است (Siemon, 2001). در بیشتر یافته‌های جدید اکتشافی، ژئوفیزیک نقش مؤثری در اکتشاف و نمایش ذخایر پنهان در عمق ایفا می‌کند (Bishop & Lewis, 1992). در مناطق شرقی کشور فنلاند نیز، با استفاده از ویژگی‌های متفاوت ذخایر سولفیدی، مغناطیس‌سنجی، گرانی‌سنجی و اشعه گاما، ابتدا جایگاه ذخایر شناخته‌شده مشخص شد و سپس، براساس همین ویژگی‌ها، جایگاه ذخایر کشف‌نشده یا پنهان تعیین شد (Clark, 1999). سیستم‌های سنجش از دور و تکنیک‌های پیشرفته پردازش تصاویر امکانات مناسبی را به‌منظور تحلیل‌های مکانی، طیفی و زمانی، برای محققان و مدیران و برنامه‌ریزان فراهم کرده است. ازجمله مزایای استفاده از سنجش از دور، مقرون‌به‌صرفه بودن آن و امکان به‌روزرسانی سریع آن است (Walker, 2006). کانی‌های رسی و آهن جزء محصولات دگرسانی گرمایی سنگ‌هاست و با استفاده از ویژگی‌های طیفی این کانی‌ها، می‌توان مناطق دگرسان‌شده را شناسایی کرد (Silver et al., 2011). داشتن اطلاعاتی درباره رفتار طیفی اجسام با طول‌موج‌های گوناگون، براساس منحنی‌های شاخص بازتابندگی و جذب طیف، اهمیت فراوانی در سنجش از دور دارد (Gupta & Roy, 2006). به‌کارگرفتن سنجش از دور و فناوری استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند کمبودهای احتمالی روش‌های اکتشافی دیگر، همچون روش‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی را رفع کند (Chattoraj et al., 2020).

محدوده مورد مطالعه در شمال شرق استان فارس و نیمه شمالی شهرستان نیریز واقع شده است. در این پژوهش، ابتدا، از داده یک برگ از سنجنده استر^۱ استفاده شد؛ این داده از نوع Level-1A و متعلق به تاریخ ۲۰۰۲/۰۹/۲۲ است. همچنین روش‌های دورسنجی، شامل پردازش و تحلیل طیفی ترکیب‌های

1. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

عبدی و کریم‌پور^۲ (۲۰۱۲)، با استفاده از ترکیب داده‌های زمین‌شناختی، دگرسانی، کانه‌زایی، پتروژنز، سن‌سنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک هوابرد در منطقه اکتشافی کوه‌شاه، جنوب‌غرب بیرجند، توانستند آنومالی‌ها و مناطق مستعد کانه‌زایی دارای مس و طلا را شناسایی کنند.

۱-۲-۱- روش ترکیب رنگی کاذب (FCC)^۳

تصاویر دیجیتالی معمولاً به سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی (RGB)، به صورت ترکیب رنگی، نمایش داده می‌شوند (Di Tommaso, & Rubinstein, 2007). در تصاویر چندطیفی، برای نمایش طیف شاخص کانی به صورت ترکیب رنگی، این سه رنگ افزوده می‌شود و بیشترین انعکاس در طیف آن کانی را نشان می‌دهد. این روش آشکارسازی حاصل ترکیب باندهای مرئی و فرورسرخ است (Crosta & Moore, 1989).

۲-۱-۲- روش نسبت‌گیری بانندی (BR)

نسبت‌گیری بانندی^۴ روشی برای پردازش تصویر چندطیفی است که شامل تقسیم یک باند بر باند دیگر می‌شود. این عمل، صرف‌نظر از روشن‌سازی مناطق، باعث به‌سازی تصاویر می‌شود؛ همچنین تأثیرات توپوگرافی و سایه‌ها را از بین می‌برد، اختلاف بین درجات روشنایی را آشکارتر و مرزها را مشخص‌تر می‌کند. بنابراین روش مورد اشاره را می‌توان برای جدا کردن مرز واحدهای سنگی به کار برد. با شناخت ویژگی‌های انعکاسی پدیده‌های گوناگون و استفاده از روش یادشده، می‌توان پدیده‌های متفاوت را بارز ساخت (Abrams et al., 2002). در روش نسبت بانندی باید باندهای متفاوت را با توجه به منطقه و نوع کاربرد، بر هم تقسیم کرد تا بهترین نتیجه حاصل شود. برتری اصلی این روش آن است که ویژگی‌های رنگی یا طیفی

گوناگون رنگی و نسبت‌گیری بانندی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی باندها و نقشه‌برداری زاویه طیفی کانی‌ها، با استفاده از نرم‌افزار ENVI^۱ روی داده‌های استر، به کار رفت تا پهنه‌های دگرسانی و مناطق کانی‌سازی شده مرتبط با کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مشخص شود. در مرحله بعد، داده‌های ژئوفیزیکی گرانی‌سنجی زمینی در این منطقه به کار رفت و با استفاده از نرم‌افزار Oasis Montaj، داده‌های گرانی‌سنجی زمینی پردازش و تحلیل شد. در نهایت با استفاده هم‌زمان هر دو سری داده‌های اکتشافی مهم، مناطق اصلی کانی‌زایی آهن‌دار، در محدوده مورد مطالعه، شناسایی و پی‌جویی شد.

۲- روش شناسی

۱-۲- مطالعات سنجش از دور

یکی از کاربردهای دانش سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای استخراج اطلاعات مورد نیاز برای کشف معادن روی زمین است و با استفاده از تصاویر سنجنده‌های گوناگون و الگوریتم‌های خاص و پردازش تصاویر، می‌توان اطلاعات مورد نیاز را برای شناسایی معادن متفاوت به دست آورد.

استفاده بهینه از داده‌های ماهواره‌ای با هدف اکتشاف مواد معدنی، به‌ویژه در اکتشاف کان‌سارها، شناخت و نقشه‌برداری محدوده‌های دگرسانی مرتبط، به اکتشاف ذخیره منابع معدنی زیرزمینی و به‌ویژه آهن، کمک شایانی می‌کند. در این روش برای بارزسازی و شناسایی هدف اکتشافی مورد نظر، پس از انجام دادن پیش‌پردازش‌ها و تصحیحات، روش‌های گوناگونی به کار می‌رود (Noorollahi et al., 2007). انرژی الکترومغناطیس یکی از مهم‌ترین نیروهایی است که در سنجش از دور کاربرد اساسی دارد و سریع‌ترین وسیله ارتباطی میان اجسام دور و سنجنده است (Ranjbar et al., 2004). این انرژی، پس از برخورد به اجسام، به سمت سنجنده بازمی‌گردد و پس از ثبت رقومی امواج الکترومغناطیس، امکان ارزیابی و تشخیص الگوها و در نهایت، شناخت پدیده‌های زمینی میسر می‌شود.

1. Environment for Visualizing Images
2. Abdi & Karimpour
3. False Color Composite
4. Band Ratio

بین ۰ و ۱ است که هرچه مقدار این زاویه کوچک‌تر باشد، طیف هدف مورد نظر به طیف مرجع نزدیک‌تر و تشابه آنها نیز بیشتر خواهد بود (Kruse et al., 1993). در این روش، مشابهت بین دو طیف با استفاده از زاویه طیفی بین آن دو محاسبه می‌شود. در واقع، با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضایی با ابعاد تعداد باندها، زاویه بین دو بردار به دست می‌آید. برای محاسبه زاویه بین دو بردار به جهت بردارها اهمیت دارد و نه طول آنها؛ بنابراین عامل‌های دیگر در نظر گرفته نمی‌شود. در واقع، هرچه مقدار زاویه (بین ۰ تا ۱) کمتر باشد، شناسایی دقیق‌تر خواهد بود (Pour et al., 2018; Rao & Guha, 2018; Guha et al., 2019). در صورتی که مقدار زاویه ۱ باشد، کل تصویر به‌منزله پدیده مورد نظر شناسایی می‌شود.

۲-۲- مطالعات گرانی‌سنجی زمینی

برداشت‌های گرانی‌سنجی شامل اندازه‌گیری تغییرات میدان گرانی زمین می‌شود و هدف آن تعیین توده‌های با چگالی کمتر یا بیشتر، در قیاس با محیط اطراف است. حاصل تفسیر نتایج گرانی‌سنجی برابر است با تعیین چگالی سنگ‌ها و در نتیجه، ساختارهای زمین‌شناسی و جنس سنگ‌ها. تغییرات محلی چگالی سنگ‌های نزدیک به سطح زمین باعث تغییر میدان گرانی می‌شود. در تقسیم‌بندی کلی روش‌های ژئوفیزیکی، روش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی معمولاً به‌منزله روش‌های میدان پتانسیل شناخته می‌شوند. وجود کانی‌های مغناطیسی، مانند مگنتیت، ممکن است سبب اغتشاش محلی یا منطقه‌ای در میدان زمین شود. خاصیت مغناطیسی (میدان پتانسیل) سنگ‌های آذرین و دگرگونی معمولاً بیشتر از سنگ‌های رسوبی است. اندازه‌گیری تغییرات محلی میدان مغناطیسی را اغلب می‌توان در شناسایی تغییرات لیتولوژی به کار برد.

به‌منظور اکتشاف کانی‌های آهن‌دار مانند هماتیت و مگنتیت، از خاصیت مغناطیس‌پذیری کانی‌هایی همچون

پدیده‌های تصویر را بدون توجه به تغییرات شرایط نوردهی منطقه که بر اثر تغییرات توپوگرافی ایجاد می‌شود، انتقال می‌دهد و بر محتوای رنگ داده تأکید می‌کند (Silver et al., 2011).

۳-۱-۲- روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۱

اطلاعات باندهای متفاوت تصاویر چندطیفی سنجش از دور غالباً همبستگی دارند. معمولاً مابین باندهای مرئی و فروسرخ و مثبت بین باندهای مرئی، روی پوشش‌های خاکی و سنگی، همبستگی منفی وجود دارد. وجود همبستگی بین تصاویر باندهای چندطیفی بیانگر وجود اطلاعات مشترک و یا، به عبارت دیگر، تکرار اطلاعات است. آنالیز مؤلفه‌های اصلی، در اصل، برای فشرده‌سازی داده‌ها به کار می‌رود اما، در سنجش از دور، به‌منظور حذف اطلاعات تکراری یا اضافی طیفی و متمرکز کردن اطلاعات چند باند که کم‌وبیش دارای همبستگی‌اند، در یک باند با واریانس بالا کاربرد دارد (Ladoni et al., 2010; Khaleghi & Ranjbar, 2011). تبدیل مؤلفه‌های اصلی تبدیلی خطی است؛ در این تبدیل، محورهای مختصات فضایی چندباندی به‌گونه‌ای می‌چرخند که اولین محور در راستای حداکثر واریانس ارزش‌های باندها و دومین محور عمود بر محور اول و در راستای واریانس باقی‌مانده قرار می‌گیرد و به این ترتیب، از تعداد n باند شرکت‌کننده در این تبدیل، n باند جدید ایجاد می‌شود که همبستگی بالایی با یکدیگر ندارند زیرا، در PC پایین‌تر، نویز افزایش می‌یابد و تصویر حالت ازهم‌پاشیده پیدا می‌کند (Crosta & Moore, 1989).

۴-۱-۲- نقشه‌برداری زاویه طیفی

نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM)^۲ از روش‌های رده‌بندی‌شده سریع است که از راه ارزیابی میزان تشابه طیف‌های تصویر و مرجع عمل، نقشه‌برداری واحدهای زمین‌شناسی را انجام می‌دهد (Kruse et al., 1993; Van, 2003; Der Meer et al., 2012; Rowan & Mars, 2003). خروجی‌های این روش پیکسل‌های دارای زاویه طیفی

1. Principal Component Analysis
2. Spectral Angle Mapper

مقادیر مشاهده شده دارد افزایش خواهد یافت؛ بنابراین روند ایده‌آل، در مورد جریان تفکیک، همان آنومالی است. برای محدوده مورد نظر، با توجه اطلاعات حاصل از مطالعات قبلی، بهترین برازش ممکن مربوط به روند سطح مرتبه دوم است. البته باید به این نکته اشاره کرد که روندهای متفاوت، از درجه مدنظر به بعد، تغییر خاصی نشان نداده‌اند که در ادامه، مطرح شده است. در صورت نبود اطلاعات مغناطیس‌سنجی، اطلاعات دورسنجی و زمین‌شناختی، می‌توان با استفاده از آزمون فیشر و پارامترهای آماری، روند منطقه را حذف و جداسازی کرد.

۲-۲-۲- نقشه‌های گسترش به بالا (روش ادامه فراسو)
روش ادامه فراسو^۱ اثر آنومالی‌های سطحی با فرکانس بالا را حذف و به این طریق، اثر آنومالی‌های عمیق‌تر را بهتر آشکار می‌کند (Ganiyu et al., 2013). این فیلتر تأثیر منابع محلی و کم‌عمق را که در نقشه‌های گرادبان عمودی آشکار بود، حذف می‌کند و بدین ترتیب اثر آنومالی‌های عمیق را بهتر آشکار می‌سازد. این روش، در واقع، آنومالی‌های دارای طول موج کوتاه را حذف و دامنه آنومالی را تضعیف می‌کند و اختلالات را کاهش می‌دهد (Tarlowski et al., 1997).

برای بررسی کیفی عمق منشأهای ناهنجاری، سطح برداشت داده‌ها به ترتیب در ارتفاع‌های ۱۰، ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ متری منتقل شده است. بررسی یکپارچه نقشه‌های فراسو دید بسیار خوبی از نحوه گسترش آنومالی‌های گرانی‌سنجی زمینی در عمق به دست می‌دهد؛ نقشه‌های مذکور با استفاده از نقشه باقی‌مانده درجه دو تهیه شده‌اند که با ویژگی‌های زمین‌شناختی منطقه مورد مطالعه، تطابق بهتری داشته است.

۳-۲-۲- نقشه مشتق قائم مرتبه اول
محاسبات مشتق قائم مرتبه اول میدان از روش‌های پرکاربرد برای واضح‌تر کردن ناهنجاری‌های محلی محسوب می‌شود و اثر آن ضعیف کردن ناهنجاری

سنگ آهن مگنتیت استفاده می‌شود؛ در مورد روش گرانی‌سنجی، اختلاف چگالی بین تغییرات لیتولوژی‌ها بیشتر مدنظر قرار می‌گیرد (Abedi & Norouzi, 2012; Zhang & Li, 2019; Chatteraj et al., 2020).

۲-۲-۱- نقشه آنومالی باقی‌مانده

برای به دست آوردن آنومالی باقی‌مانده، از روش آنالیز سطح روند استفاده شده است. این روش بر مبنای سطحی استوار است که بیشترین مناسبت و یا به عبارت دیگر، بهترین تطابق را با مقادیر مشاهده شده داشته باشد. این روش برای اطلاعات ژئوفیزیکی به منزله تأثیرات منطقه‌ای انتخاب می‌شود و پس از تصحیحات روی داده‌های برداشت‌شده، اطلاعات باقی‌مانده ژئوفیزیکی به دست می‌آید. بنابراین، اگر G_i اطلاعات مشاهده شده و T_i اطلاعات سطح مزبور باشد، R_i اطلاعات باقی‌مانده طبق رابطه (۱) به دست خواهد آمد.

$$R_i = G_i - T_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

تأثیرات منطقه‌ای عبارت است از

$$T(x) = A_0 + A_1x + A_2x^2 + \dots + A_nx^n \quad \text{رابطه (۲)}$$

و در حالت دوبعدی،

$$T(x, y) = A_{00} + A_{10}x + A_{01}y + A_{11}x^2 + A_{21}x^2y + \dots + A_{pq}x^p y^q \quad \text{رابطه (۳)}$$

این در صورتی است که مجموع باقی‌مانده‌ها نزدیک به صفر شود؛ یعنی

$$\sum R_i \approx 0 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این حالت مربع اطلاعات باقی‌مانده، یعنی مربع تفاضل اطلاعات مشاهده شده و اطلاعات روند سطحی، باید کمترین مقدار را داشته باشد (روش کمترین مربعات).

$$\sum_{i=1}^n R_i^2 = \sum (G_i - T_i)^2 = \text{the lessest value} \quad \text{رابطه (۵)}$$

هرچه درجه روند سطحی بیشتر باشد، امکان دسترسی به سطحی که بیشترین مناسبت یا تطابق را با

در مورد منبع‌های دوبعدی (دایک، استوانه افقی، سطح تماس)، شکل منحنی دامنه سیگنال تحلیلی از کمیت‌های جهتی، مانند مغناطیس‌شوندگی، زاویه شیب، زاویه میل و زاویه انحراف میدان و امتداد، کاملاً مستقل و همواره تابعی زوج و متقارن است. این کمیت‌ها فقط در اندازه دامنه سیگنال تحلیلی تأثیر دارند. بی‌تأثیر بودن آنها در شکل منحنی دامنه از ویژگی‌های مهم سیگنال تحلیلی در حالت دوبعدی است. این اثر، به‌ویژه در مناطقی که مقدار و جهت مغناطیس باقی‌مانده معلوم نیست، درخور توجه است (Nabighian, 1972; Roest et al., 1992; Hsu et al., 1998).

۵-۲-۲- نقشه زاویه تمایل (تیلت)^۳

برای تشخیص مرز آنومالی‌ها، روش‌های گوناگونی معرفی شده‌اند (Cooper & Cowan, 2006). فیلتر فاز محلی از دیگر ابزارهایی است که بدین‌منظور به کار می‌رود. برای جلوگیری از ابهام در فاز داده‌ها در روش‌های معمول، از ادامه فراسو قبل از اعمال فیلتر استفاده می‌شود (Miller & Singh, 1994). میلر و سینگ^۴ (۱۹۹۴) فیلتر فازی زاویه تیلت یا تمایل را این‌گونه معرفی کردند:

$$TA = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}} \right) \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه بالا، f میدان گرانی یا مغناطیس، TA زاویه تمایل، $\frac{\partial f}{\partial x}$ ، $\frac{\partial f}{\partial y}$ و $\frac{\partial f}{\partial z}$ مشتق‌های میدان نسبت به x ، y و z هستند. فیلتر زاویه تمایل، هنگامی که نقاط مشاهده روی چشمه آنومالی قرار دارد، دارای مقادیر مثبت است. در لبه آنومالی‌ها مقدار گرادیان قائم برابر

منطقه‌ای و تقویت ناهنجاری محلی است (Heydaryan et al., 2006). با اعمال این فیلتر روی نقشه باقی‌مانده درجه دو، آنومالی‌های سطحی نمود بیشتری می‌یابد. از این راه، رفتار توده‌ها در سطح را بهتر می‌توان بررسی کرد (Gunn et al., 1997). مشتق قائم درواقع فیلتری بالاگذر است زیرا بسامدهای بالا را درقیاس با بسامدهای پایین، افزایش می‌دهد (Newsuparp et al., 2005). روش مشتق قائم برای تقویت ناهنجاری‌های سطحی و کم‌عمق‌تر و تضعیف آنومالی‌های عمیق، از جمله پی‌سنگ‌های منطقه، در برداشت‌های هوایی به کار می‌رود و در برداشت‌های زمینی نیز، برای اکتشاف مواد معدنی در برخی موارد، اهمیت فراوانی دارد. از کاربردهای آن تعیین مرز منشأها و جدایش میدان زمینه از بی‌هنجاری‌هاست.

۴-۲-۲- نقشه سیگنال تحلیلی

سیگنال تحلیلی، با استفاده از مشتق در جهات متفاوت، اثر روند منطقه‌ای را که از نوع درجه اول است، در سه جهت حذف می‌کند و با حذف اثر، آنومالی‌های سطحی توده را بهتر نشان می‌دهد. نقشه‌هایی که بر مبنای سیگنال‌های تحلیلی تهیه می‌شوند بیانگر نقطه‌های عطف نمودارهای تغییرات میدان‌اند؛ تغییرات نمودارهای میدان پتانسیل پیرامون پیکره‌ها، در این نقشه‌ها، به میزان بیشینه خود می‌رسد و به کمک آنها می‌توان مرز پیکره‌های بی‌هنجار را تا حدودی تعیین کرد. نقشه سیگنال تحلیلی، به‌منزله فیلتری کارآمد و اساسی، در انتقال محل آنومالی به محل اصلی خود بسیار استفاده می‌شود. این نقشه‌ها تنها فیلتری‌اند که در داده‌های مغناطیس، روی داده‌های تبدیل به قطب‌نشده هم می‌توان آنها را اعمال کرد (Nabighian, 1972).

آدامز^۱ و همکاران (۱۹۸۶) تأثیر تصحیح انتقال به قطب، در جابه‌جایی سیگنال تحلیلی داده‌ها، در عرض‌های جغرافیایی کم و تفسیر دایک‌ها^۲ را بیان کردند. دامنه سیگنال تحلیلی، با توجه به شکل منبع، روی منبع یا روی مرزهای آن به مقدار بیشینه می‌رسد.

1. Adams
2. Dyke
3. Tilt Angle
4. Miller & Singh

نمود. برگ‌وارگی ضعیفی در این سنگ‌ها دیده می‌شود. این واحد با واحدهای سرسیت-کلریت شیبست و سنگ‌آهک به صورت هم‌پری دیده می‌شوند.

بر اساس مطالعات میکروسکوپی و مشاهدات صحرائی، هورنبلاند شاخص‌ترین کانی این واحد است که همراه با کانی‌هایی مانند پلاژیوکلاز، کوارتز، اپیدوت، بیوتیت و کلریت دیده می‌شود.

وجود هورنبلاند به‌منزله کانی شاخص و نبود کانی‌هایی مانند استارولیت، کیانیت، سلیمانیت و ترمولیت نشان می‌دهد که گدازه‌های بازالتی و دیاباز پروتولیت‌ها آمفیبولیت را تشکیل می‌دهند. روند برگ‌وارگی در این واحدها اغلب شمال‌غرب-جنوب‌شرق است و شیئی معمولاً به‌سوی شمال‌شرق دارند. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در محدوده مورد مطالعه، چندین نمونه جهت مقطع میکروسکوپی آورده شده است. نمونه (الف) مقطع مورد مطالعه نشان‌دهنده سنگی دگرگونی متعلق به گروه آمفیبولیت‌هاست. اجزای اصلی سازنده سنگ را کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و هورنبلاند تشکیل می‌دهند. بلورهای هورنبلاند واجد جهت‌یافتگی ترجیحی نسبی‌اند و حضور متراکم دانه‌های کوارتز و فلدسپار در اندازه متوسط، همراه با بلورهای آمفیبول، سبب شکل‌گیری بافت نماتوگرانوبلاستیک در نمونه شده است. در بلورهای فلدسپار، طی دگرگونی، آثار خردشدگی و شکستگی مشخص شده است و مانند کوارتزها، شواهد انحلال در برخی از آنها به چشم می‌خورد. در مرزهای بلوری کوارتز و فلدسپار، رشد بلورهای هورنبلاند مشاهده می‌شود. کانی کلریت، در نتیجه فرایند دگرگونی پس‌رونده و با فراوانی اندک، در بلورهای هورنبلاند جانشین شده است. کربنات‌ها با فراوانی اندک و به صورت پراکنده در کانی‌ها دیده می‌شود.

با صفر است و گرادیان‌های افقی بیشینه‌اند؛ بنابراین مقدار این فیلتر در لبه‌ها برابر با صفر و در سایر نقاط، دارای مقدار منفی خواهد بود. مقادیر زاویه تمایل، با صرف نظر کردن از مقدار مشتقات افقی و عمودی، در بازه $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$ قرار می‌گیرد.

با اعمال فیلتر زاویه تمایل روی داده‌های میدان پتانسیل (مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی)، می‌توان گسل‌ها را شناسایی کرد؛ بدین صورت که مقدار این زاویه، وقتی میل (شیب) میدان مغناطیسی ۹۰ درجه باشد، روی گسل صفر است. به کمک زاویه تمایل می‌توان تاحدودی به جهت شیب گسل نیز پی برد زیرا از محل گسل در جهت شیب، مقدار زاویه تمایل منفی است.

۳- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

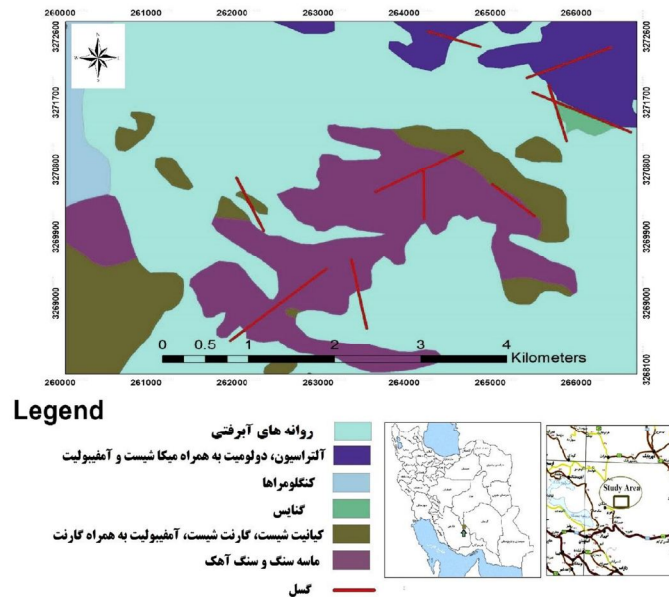
۳-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

بر اساس تقسیم‌بندی ساختاری ایران از سوی استاکلین^۱ (۱۹۶۸)، افتخارنژاد^۲ و همکاران (۱۹۸۳) و علوی^۳ (۱۹۹۱)، محدوده مورد مطالعه در کمربند دگرگونی سنندج-سیرجان جنوبی قرار گرفته است.

فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته ایران باعث برخورد دو صفحه ایران و عربی و تشکیل کمربند کوه‌زایی زاگرس شد. شمال‌شرق محدوده مورد مطالعه را سنگ‌های آهکی و واحدهای سرسیتی-کلریت شیبست تشکیل می‌دهد. در بخش مرکزی این محدوده، واحدهای آمفیبولیت گسترش چشمگیری دارد؛ به طوری که از لحاظ میزان گسترش در این محدوده، پس از واحدهای سرسیت-کلریت شیبست قرار می‌گیرد.

تشکیل ریفتم ناقص در زون سنندج-سیرجان جنوبی، در زمان دونین، به تشکیل گدازه‌ها و توده‌های نیمه‌عمیق بازیکی منجر شده است که ترکیبی معمولاً بازالتی تا دیابازی داشته‌اند. این سنگ‌ها، طی دگرگونی زون سنندج-سیرجان، به آمفیبولیت دگرگون شده‌اند. این واحد در رخ‌نمون‌ها به رنگ سبز تیره است که سبب می‌شود بتوان آن را به راحتی از واحدهای دیگر جدا

1. Stoecklin
2. Eftekharmezhad
3. Alavi



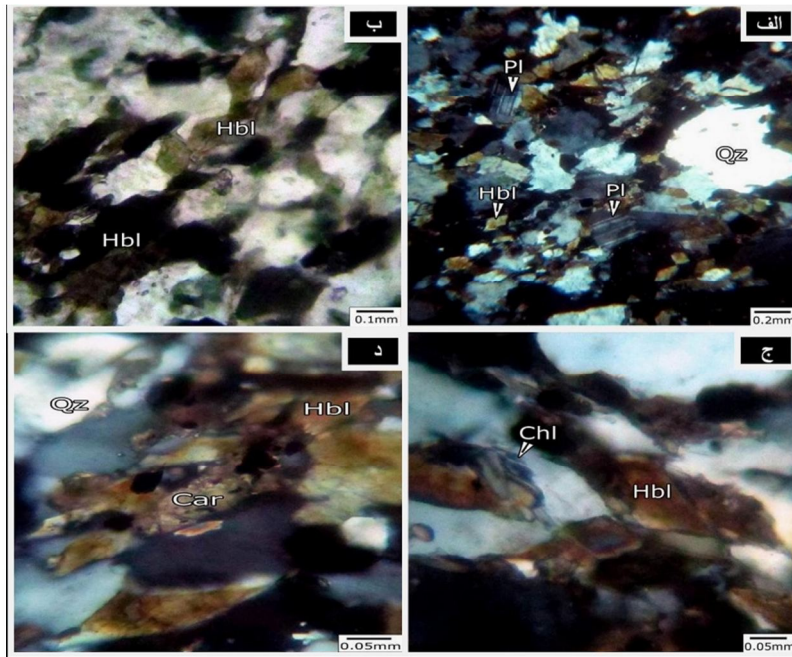
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

وجود دارد. کانه‌های مات و روتیل اجزای فرعی سازنده سنگ را تشکیل می‌دهند. پروتولیت نمونه سنگ آذرینی حدواسط تا بازیک است که در رخساره آمفیبولیت (زون گارنت) دگرگون شده است. شکل ۳ مقطع میکروسکوپی نمونه (ب) را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.

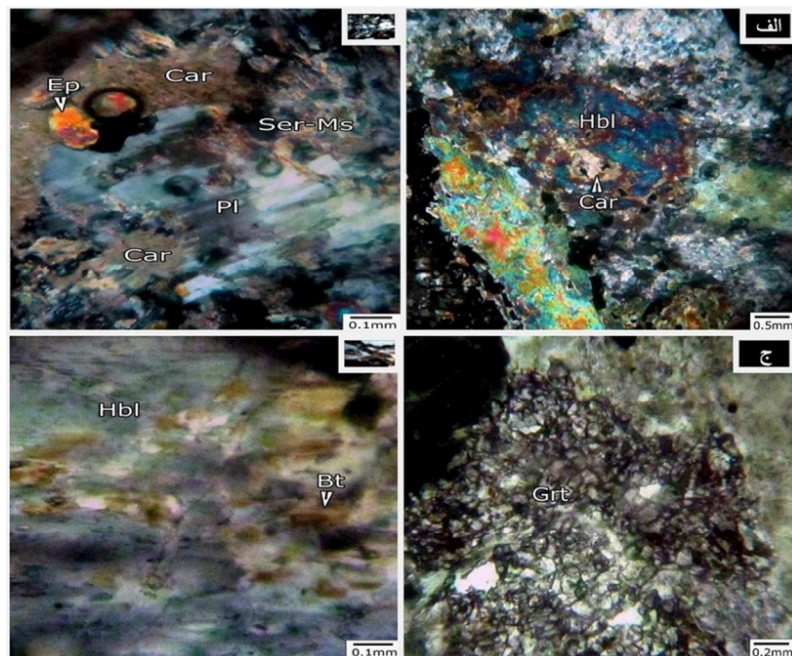
نمونه (ج) مقطع میکروسکوپی بیانگر سنگ دگرگونی مجاورتی‌ای از گروه هورنبلاند هورنفلس است. اجزای اصلی سازنده آن را بلورهای آمفیبول (هورنبلاند و اکتینولیت)، کربنات، با فراوانی کمتر کوارتز، بیوتیت و کلریت تشکیل می‌دهند. بلورهای متبلور و درشت سبب شکل‌گیری بافت گرانوبلاستیک در نمونه شده است. بلورهای بیوتیت و کلریت به‌صورت پراکنده در زمینه کربناتی و یا در حاشیه آمفیبول‌ها مشاهده می‌شوند. حضور اکسیدهای آهن سبب آغشتگی کربنات‌ها شده است که در امتداد سطوح رخ شکل گرفته‌اند. کانه‌های مات اجزای فرعی سازنده سنگ را تشکیل می‌دهند. پروتولیت نمونه ممکن است از انواع سنگ‌های آهکی- دولومیتی باشد که تا رخساره هورنبلاند هورنفلس دگرگون شده است. شکل ۴ مقطع میکروسکوپی نمونه (ج) را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.

برآثر تنش‌های واردشده، بلورهای کوارتز و فلدسپار جهت‌یافتگی ترجیحی ضعیف تا بسیار ضعیف نشان می‌دهند. بلورهای کوارتز در امتداد سطوح ریزشکستگی مشاهده می‌شوند. کانه‌های مات پراکنده اجزای فرعی سازنده سنگ را تشکیل می‌دهند. پروتولیت نمونه ممکن است از انواع سنگ‌های آذرین حدواسط تا بازیک باشد که در رخساره آمفیبولیت دگرگون شده است. شکل ۲ مقطع میکروسکوپی نمونه (الف) را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.

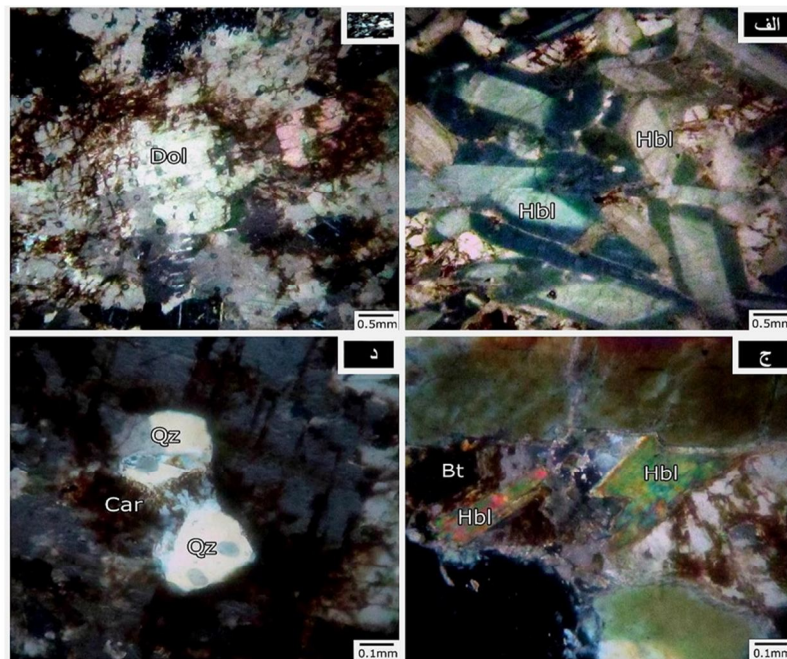
نمونه (ب) مقطع میکروسکوپی نشان‌دهنده سنگی دگرگونی متعلق به گروه آمفیبولیت است. اجزای اصلی سازنده سنگ را کانی‌های هورنبلاند، پلاژیوکلاز و گارنت تشکیل می‌دهد. کانی‌ها به‌صورت تبلور یافته و درشت‌اند که سبب شکل‌گیری بافت گرانوبلاستیک در نمونه شده‌اند. بلورهای هورنبلاند، پلاژیوکلاز و گارنت طی دگرگونی قهقرایی، با درجه متوسط تا ضعیف، با بلورهای کربنات و سریسیت- مسکویت جانشین شده‌اند. بلورهای فلدسپار دگرسانی‌های نسبتاً شدید سریسیتی- موسکویتی، اپیدوتی و کربناتی را نشان می‌دهند. بسیاری از بلورهای گارنت با کربنات جانشین شده‌اند و فقط امکان شناسایی قالب‌هایی از آنها در مقطع



شکل ۲. مقطع میکروسکوپی نمونه (الف) محدوده مورد مطالعه: نمایی از بلورهای پلاژیوکلاز، هورنبلاند و کوارتز (الف)؛ نور (PPL) Plain Polarized Light نشان‌دهنده بلورهای هورنبلاند (ب)؛ جانشینی کلریت در بلور هورنبلاند (ج)؛ دگرسانی کربنات در بلور هورنبلاند، در مجاورت بلور کوارتز (د). علائم اختصاری در شکل: کوارتز = Qz، کربنات = Car، هورنبلاند = Hbl و پلاژیوکلاز = Pl



شکل ۳. مقطع میکروسکوپی نمونه (ب) محدوده مورد مطالعه: جانشینی کربنات در بلورهای پورفایروپلاست هورنبلاند (الف)؛ بقایای پلاژیوکلاز با جانشینی کربنات، سریسیت-موسکویت و اپیدوت (ب)؛ نور (PPL) Plain Polarized Light نشان‌دهنده بلور پورفایروپلاست و انهدرال گارنت است (ج)؛ نمایی از بلورهای ریز بیوتیت در زمینه بلور پورفایروپلاست هورنبلاند که بافت پوئیکیلوبلاستیک را تشکیل داده است (د). علائم اختصاری در شکل: هورنبلاند = Hbl، کربنات = Car، اپیدوت = Ep، سریسیت و موسکویت = Ser-Ms، بیوتیت = Bt و گارنت = Grt



شکل ۴. مقطع میکروسکوپی نمونه (ج) محدوده مورد مطالعه: نمایی از بلورهای هورنبلاند زون که ترکیب آنها، از هسته به سمت حاشیه، به شدت تغییر می‌کند و نشان‌دهنده رخداد واکنش‌های دگرگونی پیوسته در نمونه است (الف)؛ نمایی از بلورهای دولومیت با آغستگی به اکسیدهای آهن (ب)؛ نمایی از بلورهای هورنبلاند در کنار بلور بیوتیت، در زمینه کربناتی (ج)؛ بلورهای کوارتز در زمینه کربنات (د). علائم اختصاری در شکل: Hbl = هورنبلاند، Dol = دولومیت، Bt = بیوتیت، Qz = کوارتز و Car = کربنات

اشاره کرد که واحدهای زمین‌شناسی آن شامل شیست، ماسه‌سنگ دگرگونه، کوارتزیت و توده‌های دیابازیک دگرگونه می‌شود (Sheikholeslami et al., 2008). کان‌سار آهن گل‌گهر نواری و از نوع راپیتان است.

برخی از رخ‌نمون‌های صحرایی کانی‌زایی آهن‌دار در محدوده مورد مطالعه نیز در شکل ۵ نشان داده شده است. از نظر زمین‌شناسی اقتصادی، در زون سنندج-سیرجان ذخایر متعدد کانی‌زایی آهن وجود دارد. از ذخایر مهم سنگ آهن در این زون، می‌توان به سنگ آهن گل‌گهر



شکل ۵. نمایی از رخ‌نمون‌های کانی‌زایی آهن‌دار در محدوده مورد مطالعه که قطعات پراکنده هماتیت-گوتیت به صورت نابر جا در واحد سربیسیت-کلریت شیست مشاهده می‌شود (دید به سمت غرب)

۳-۲- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، ابتدا از داده یک سین (برگه) از سنجنده استر، از نوع Level-1A، استفاده شده است که تاریخ آن به سال ۲۰۰۷ بازمی‌گردد. مشخصات این سنجنده در جدول ۱ آورده شده است. با به‌کارگیری روش‌های سنجش از دور، شامل پردازش و تحلیل طیفی ترکیب‌های متفاوت رنگی و نسبت‌گیری باندی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی باندها و نقشه‌برداری زاویه طیفی کانی‌ها با استفاده از نرم‌افزار ENVI که روی داده‌های استر انجام شد، پهنه‌های دگرسانی و مناطق کانی‌سازی شده مرتبط با کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مشخص شد؛ محدوده طیفی برخی کانی‌ها و باندها در شکل ۶ نشان داده شده است. همچنین با استفاده از دستگاه گرانی‌سنج CG-5 ساخت شرکت سینترکس کشور کانادا، داده‌های گرانی‌سنجی زمینی در پنج پروفیل، در منطقه مورد مطالعه، برداشت شده است؛ فاصله بین نقاط برداشت ده متر و فاصله پروفیل‌ها از یکدیگر چهل متر بوده است. تصحیحات مورد نیاز،

از قبیل تصحیح توپوگرافی، تصحیح ایستگاه مبنایی، تصحیحات طول و عرض جغرافیایی و تصحیح ارتفاعی، روی داده‌های برداشت شده انجام شده است.

۴- نتایج و بحث

در ابتدا، ترکیبات رنگی روی تصاویر سنجنده ماهواره‌ای استر مطالعه و ترکیب رنگی (۱۲۳) RGB روی داده‌های این سنجنده اعمال شد. تفسیر منطقه مورد مطالعه، با توجه با اطلاعات زمین‌شناسی صحرایی در این منطقه، بدین صورت است که واحدهای کانی‌زایی آهن‌دار به رنگ آبی تیره مشاهده می‌شوند. مطابق ترکیب رنگی‌ای که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، این واحدها از بقیه واحدها متمایز شده‌اند. ترکیب رنگی (۴۶۸) RGB روی داده‌های سنجنده مورد نظر پردازش شد. محدوده طیفی کانی‌های رسی، نظیر موسکویت و کائولینیت، در باندهای ۴ و ۸ بیشترین انعکاس و در باند ۶ بیشترین جذب را دارند؛ به همین دلیل، این ترکیب رنگی RGB در منطقه مورد مطالعه تهیه شده است.

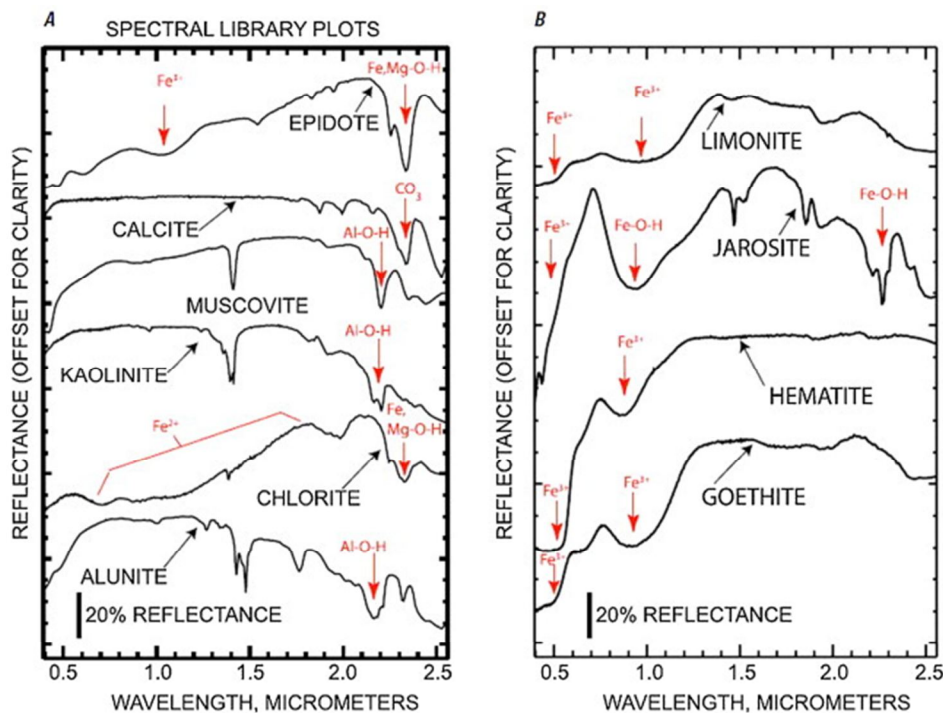
جدول ۱. ویژگی‌های باندهای سنجنده استر

زیرسیستم	شماره باند	بازه طیفی (میکرومتر)	تفکیک مکانی (متر)	تفکیک زمانی	تفکیک راد یومتری
VNIR	۱	۰/۶۰-۰/۵۲	۱۵ متر	چهار تا شانزده روز و پهنای تصویربرداری ۱۸۰ کیلومتر	۸ بایت
	۲	۰/۶۹-۰/۶۳			
	۳	۰/۸۶-۰/۷۸			
	۳	۰/۸۶-۰/۷۸			
SWIR	۴	۱/۷۰-۱/۶۰	۳۰ متر	چهار تا شانزده روز و پهنای تصویربرداری ۱۸۰ کیلومتر	۸ بایت
	۵	۲/۱۸-۲/۱۴			
	۶	۲/۲۲-۲/۱۸			
	۷	۲/۲۸-۲/۲۳			
	۸	۲/۳۶-۲/۲۹			
	۹	۲/۴۳-۲/۳۶			
TIR	۱۰	۸/۴۷-۸/۱۲	۹۰ متر		۱۲ بایت
	۱۱	۸/۸۲-۸/۴۷			
	۱۲	۹/۹۲-۹/۲۷			
	۱۳	۱۰/۹۵-۱۰/۲۵			
	۱۴	۱۱/۶-۱۰/۹۵			

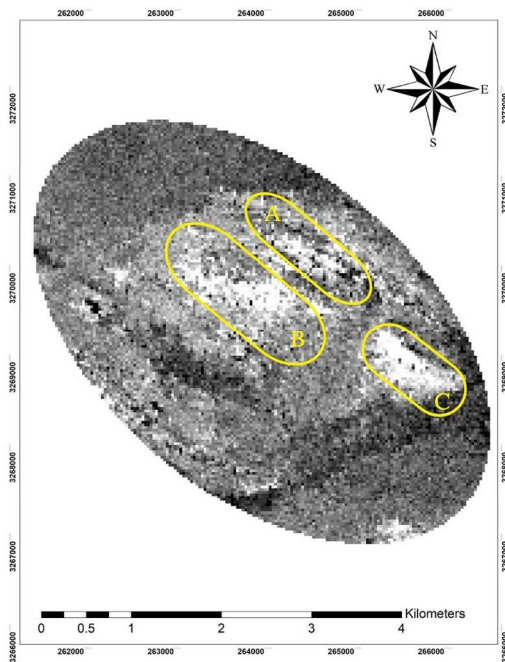
مطابق شکل ۸، کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه با توجه به ترکیب رنگی کاذب (RGB:468) نیز با گسل‌ها، ساختارها و زون عمومی سنندج-سیرجان هم‌روند است. آلتراسیون‌های پروپلیتیکی و کلریتی، به‌رنگ‌های آبی تیره تا سبز کم‌رنگ، و آنومالی‌های A، B، C و D هم‌جهت با شیب عمومی منطقه، به‌صورت شمال‌غرب-جنوب‌شرق، در این تصویر مشاهده می‌شوند. روش نسبت‌گیری بانندی با نسبت ریاضیاتی Band 5 / Band 4 و $\text{Band 6 / (Band 5 + Band 7)}$ نیز روی داده‌های سنجنده استر اعمال و پردازش شد. تفسیر منطقه مورد نظر، با توجه با اطلاعات زمین‌شناسی صحرائی در این منطقه، بدین‌صورت است که در این شکل، پیکسل‌های روشن گویای عوامل کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه است. شکل‌های ۹ و ۱۰، به‌ترتیب، نتایج روش نسبت‌گیری بانندی سنجنده استر را نشان می‌دهند.

واحدهای سنگ‌آهک در شمال‌شرق منطقه با رنگ زرد متمایز شده است. در بخش جنوبی، در راستای این واحدهای آهکی در شمال‌شرق منطقه، کانی‌های رسی همانند موسکوئیت، مونتموریونیت و ایلیت مشاهده می‌شود که در شکل، با رنگ صورتی روشن، از دیگر واحدها متمایز گشته است. واحدهای کانی‌زایی آهن‌دار در مرکز شکل، با رنگ‌های آبی تیره، وجود کانی‌های کلریتی، سرپیتی و آمفیبولیتی و تمایز آنها را از دیگر واحدها نشان می‌دهد (شکل ۸) که به ترکیب رنگی (۴۶۸) RGB اشاره دارد.

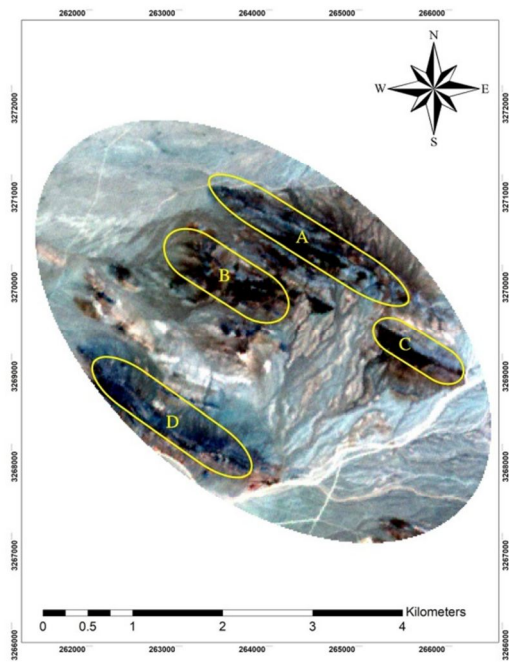
همان‌طور که مشاهده می‌شود، شیب عمومی ساختارها و لیتولوژی این ناحیه به‌صورت شمال‌غرب-جنوب‌شرق و هم‌روند با ساختارها و گسل‌های زون سنندج-سیرجان در منطقه مورد مطالعه است. کانی‌زایی‌های آهن‌دار به‌صورت آنومالی‌های A، B، C و D، هم‌روند با گسل‌های منطقه و ساختارهاست.



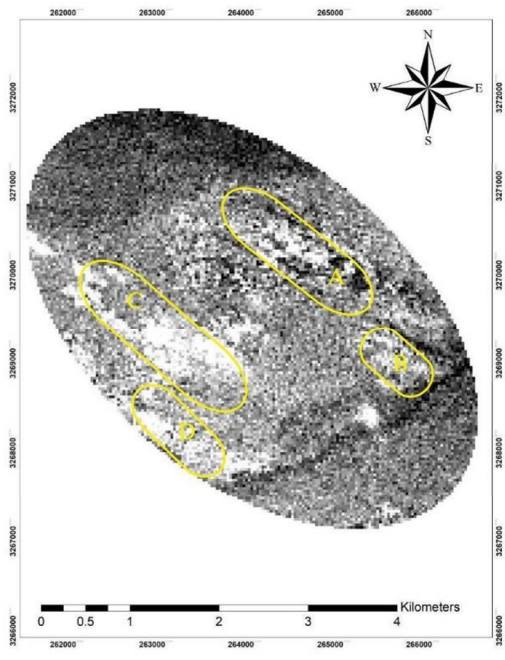
شکل ۶. محدوده طیفی باندهای کانی‌های شاخص کتابخانه‌ای (USGS)



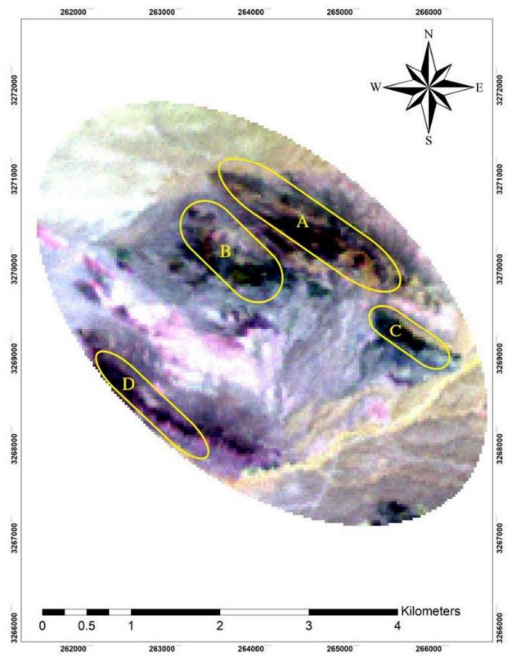
شکل ۹. نسبت‌گیری باندی 4 / Band 5 و آنومالی‌های احتمالی کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷. ترکیب رنگی (۱۲۳) RGB و آنومالی‌های احتمالی کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه



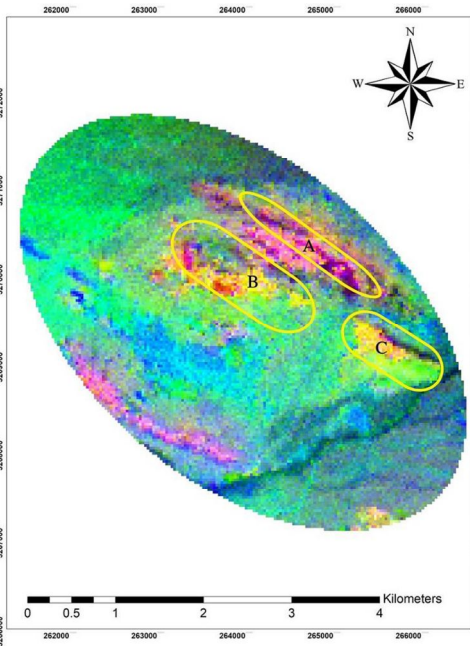
شکل ۱۰. نسبت‌گیری باندی 6 / (Band 5 + Band 7) و آنومالی‌های احتمالی کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. ترکیب رنگی (۴۶۸) RGB و آنومالی‌های احتمالی کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه

در شکل ۱۰، پردازش نسبت‌گیری بانندی $(Band\ 5 + Band\ 7) / Band\ 6$ به چشم می‌خورد و همچنین، با توجه به مطالعات زمین‌شناسی صحرایی، پیکسل‌های روشن نشان‌دهنده کانی‌های سریسیت، موسکویت، ایلیت و اسمکتیت است؛ این مجموعه آلتراسیون فیلیک را در منطقه مورد مطالعه، از دیگر واحدها متمایز کرده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در تمامی داده‌های سنجنده پردازش‌شده استر، آنومالی‌های A، B، C و D از دیگر واحدهای زمین‌شناسی در منطقه مورد نظر متمایز شده‌اند.

برای تفکیک پهنه‌های دگرسانی نوع پروپلیتیکی، از باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹ که در جدول ۲ آمده استفاده شده است. تصویر ترکیب رنگی مجازی RGB حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (RGB: PC4-t1, -PC3-t1, -) در شکل ۱۱ نشان داده شده و با رنگ زرد لیمویی، از دیگر واحدها متمایز شده است. مقادیر ویژه تحلیل مؤلفه اصلی دگرسانی فیلیک در جدول ۳ آمده است. در بررسی‌های ماتریس مقادیر ویژه زون فیلیک، بیشترین اختلاف بین باندهای ۶ و ۷ در PC3 مشاهده می‌شود. در تصویر حاصل از PC3، پیکسل‌های روشن بیانگر مناطق دگرسانی فیلیک است. در شکل ۱۲، مناطق دگرسانی فیلیک به صورت پیکسل‌های روشن نشان داده شده است.



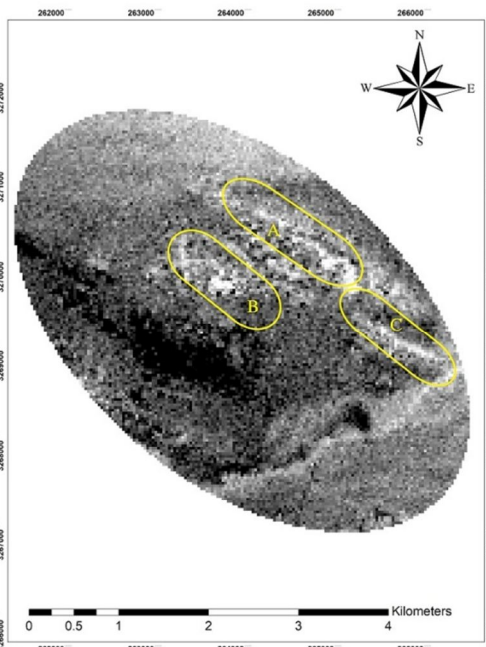
شکل ۱۱. تحلیل مؤلفه اصلی (RGB: PC4-t1, -PC3-t1, -PC1) آلتراسیون پروپلیتیکی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۲. مقادیر ویژه تحلیل مؤلفه اصلی باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹

Eigenvector	Band 3	Band 5	Band 8	Band 9
PC1	0/994	0/016	-0/057	0/090
PC2	0/012	-0/999	-0/019	0/036
PC3	0/070	-0/024	0/986	-0/148
PC4	0/080	-0/031	-0/155	-0/984

جدول ۳. مقادیر ویژه تحلیل مؤلفه اصلی باندهای ۴، ۶ و ۷

Eigenvector	Band 4	Band 6	Band 7
PC1	0/567	0/822	0/030
PC2	0/601	-0/389	-0/696
PC3	0/561	-0/413	0/719



شکل ۱۲. تحلیل مؤلفه اصلی مربوط به PC3 آلتراسیون فیلیک در منطقه مورد مطالعه

جنوب شرق جایگیری شده است (شکل ۱۴). نقشه شکل ۱۴ زاویه طیفی گسترش کانی‌ها در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پراکندگی کانی‌های کلریتی، اپیدوتی و ایلیتی هم‌روند با ساختارهای عمومی زمین‌شناسی منطقه است.

پس از پردازش‌های لازم روی داده‌های خام گرانی‌سنجی برداشت‌شده، نقشه آنومالی بوگه تهیه شد. این نقشه نشان‌دهنده تأثیرات توده‌های به‌وجودآورنده آنومالی‌ها در اعماق متفاوت است که به‌طور کلی، از جنوب به سمت شمال، تأثیر گذاشته و تغییرات شتاب ثقل را در منطقه مذکور به وجود آورده است. اغلب، با توجه به مقیاس عددی آنومالی‌ها که در برخی موارد به ۵ میلی‌گال می‌رسد و در شرایط معمولی، بدون حذف پدیده‌های مزاحم، انتظار می‌رود تغییرات میدان پتانسیل گرانی از جنوب به شمال روندی کاملاً افزایشی داشته باشد؛ در نقشه بوگه کامل منطقه، با توجه به تغییرات توپوگرافی، این روند همچنان وجود دارد. در بخش مرکزی و انتهایی محدوده دارای روند افزایشی یا آنومالی بسته، گرانی را می‌توان مشاهده کرد و پس از حذف تأثیرات مزاحم گوناگون، مثل عرض جغرافیایی و توپوگرافی، می‌توان این بخش را برجسته‌تر نشان داد. شکل ۱۵ نقشه آنومالی بوگه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شکل‌های ۱۶ و ۱۷، به ترتیب، نقشه آنومالی باقی‌مانده درجه یک و درجه دو را نشان می‌دهند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شکل ۱۶، نقشه آنومالی باقی‌مانده درجه یک آنومالی‌های شماره A' در بخش غربی، آنومالی B' در شمال منطقه و آنومالی C' در بخش شرقی آن شناسایی شده است. آنومالی A' و آنومالی C' بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند و انتظار می‌رود این دو آنومالی عمق بیشتری داشته باشند. مطابق شکل ۱۷ که نقشه آنومالی باقی‌مانده درجه دو گرانی‌سنجی زمینی را نشان می‌دهد، با توجه به وجود آنومالی‌های شماره A', B', C' به ترتیب، آنومالی‌های D' و E' نیز در جنوب منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است. در شکل ۱۷، نقشه آنومالی

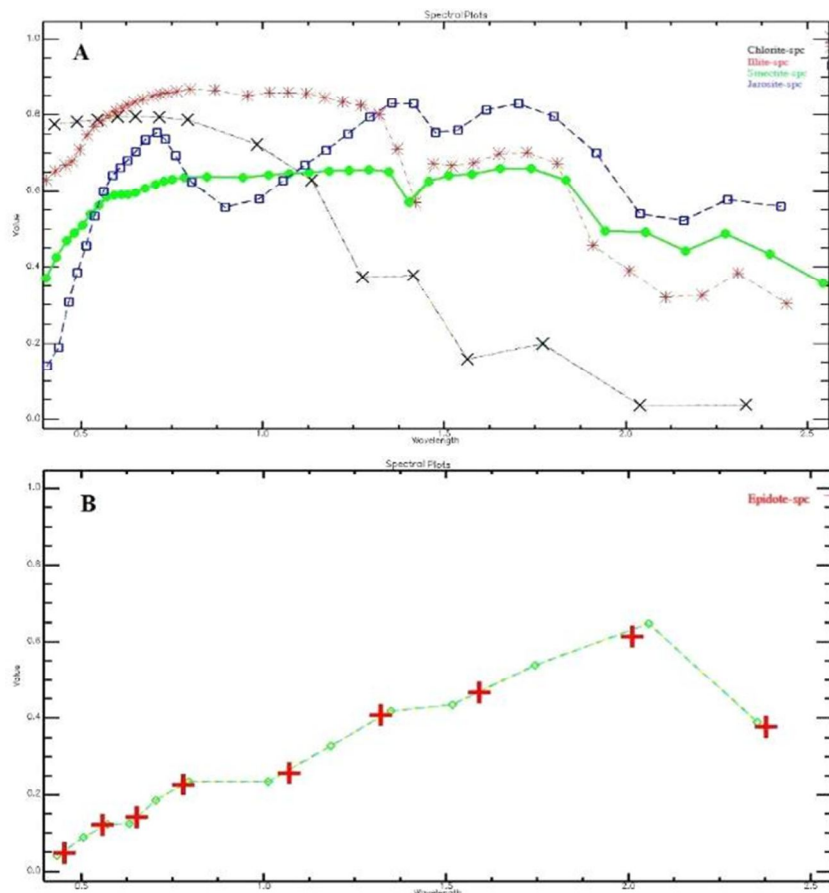
برای مقایسه یک پیکسل، طیف پیکسل مورد نظر از منطقه بررسی شد؛ با طیف همان پیکسل در آزمایشگاه (کتابخانه طیفی کانی‌ها)، روی دو باند در یک محور مختصات رسم می‌شود. سپس نقاط به‌دست‌آمده به مبدأ وصل می‌شود و زاویه بین دو خط به‌دست‌آمده با نام زاویه شناسایی پیکسل شناخته می‌شود. شکل ۱۳ نمودار نقشه‌برداری زاویه طیفی و پراکندگی کانی‌های A) کلریتی، ایلیتی، اسمکتیتی و ژاروسیت و B) نمودار نقشه‌برداری زاویه طیفی کانی‌سازی اپیدوتی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در صورتی که از تعداد n باند برای شناسایی پدیده مورد نظر استفاده شود، طیف نقاط آزمایشگاهی t و مرجع r با معادله زیر برای به دست آوردن زاویه به کار می‌رود (رابطه (۷)).

$$\alpha = \text{Cos}^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^{nb} r_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right) \quad \text{رابطه (۷)}$$

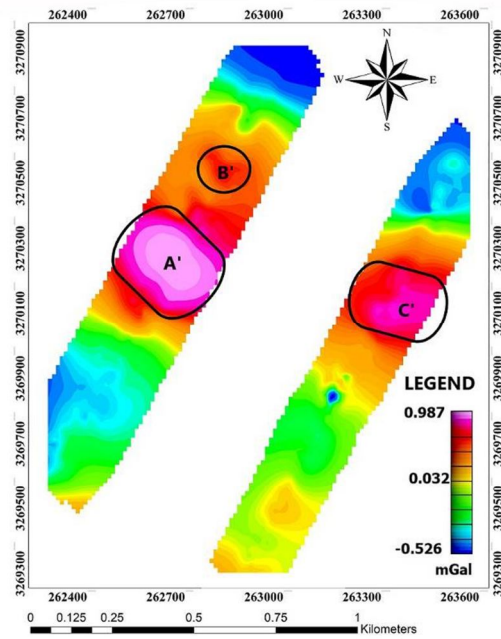
در این معادله، nb تعداد باندهاست (Kruse et al., 1993). به‌منظور شناسایی مناطق دگرسان‌شده، برخی از کانی‌های این مناطق با روش یادشده و تصاویر استر نقشه‌برداری شد و نتایج ایلیت و سریسیتی (در زون فیلیک) و کلریت و اپیدوت (در زون پروپیلیتیکی) بهتر از دیگر کانی‌ها بوده است. در این روش نیز، بین مناطق دگرسان‌شده (زون فیلیکی و پروپیلیتیکی) و کانی‌های شناسایی شده ارتباط مطلوبی دیده می‌شود. در این تصویر، بخش عمده کلریت روی مناطق مرکزی دگرسان‌شده در منطقه و تاحدودی در بخش‌های شمال شرق و باختری منطقه دیده می‌شود. دگرسانی کلریتی و اپیدوتی بیشتر منطقه را می‌پوشاند. دگرسانی‌های ایلیتی در بخش‌های شمال شرق، شرق و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه، با توجه به روند و سازوکارهای زون سنندج-سیرجان، ساختارها و گسل‌های زمین‌شناسی به‌صورت شمال غرب-

کرد، از روی نقشه شدت میدان باقی‌مانده درجه دو حذف و یا تضعیف شده است و در نتیجه، آنومالی‌های مورد نظر به‌طور مناسب‌تر نمایش داده می‌شود. نقشه گرانی‌سنجی باقی‌مانده درجه دو ادامه فراسوی ۵۰ متری در شکل ۱۸- ب نشان داده شده است. مطابق آن، آنومالی‌های ادامه فراسو واحد زیادی برای تمامی نواحی باقی مانده است. آنومالی‌ها به ترتیب عبارت‌اند از شماره 'A', 'B', 'C', 'D' و 'E'. از این بین، آنومالی 'B' سطحی و تضعیف شده است و احتمال حذف آن در ارتفاعات بالاتر وجود دارد. در شکل ۱۸- ج، نقشه گرانی‌سنجی باقی‌مانده درجه دو ادامه فراسوی ۸۰ متر نشان داده شده است؛ همانند نقشه ادامه فراسوی ۵۰ متری، آنومالی‌ها تغییرات بسیاری نداشته‌اند و فقط آنومالی 'B' خیلی تضعیف شده است و احتمال حذف آن در ارتفاعات بالاتر وجود دارد.

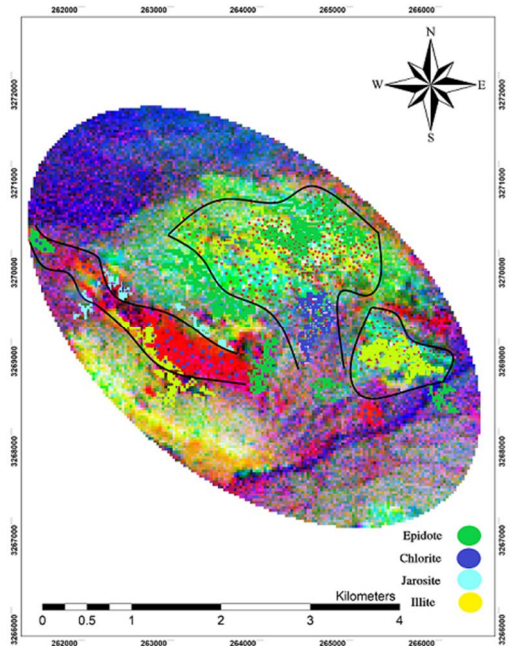
باقی‌مانده درجه دو گرانی‌سنجی زمینی انطباق بهتری با آنومالی‌ها و مطالعات دورسنجی دارد و این نقشه ملاک پردازش‌ها و تفسیرهای بعدی است. در منطقه مورد مطالعه، واریزه‌های مگنتیتی و هماتیتی به‌صورت پراکنده مشاهده می‌شود. بیشترین میزان آنومالی ثبت شده با شماره‌های 'A' و 'C' در مرکز پروفیل‌ها بوده است که این مورد توده معدنی با عمق بالا را نشان می‌دهد. البته دو مورد آنومالی 'D' و 'E' نیز، در جنوب پروفیل‌ها، نشان از وجود توده‌ای با عمق نسبتاً بالا دارد. نقشه آنومالی باقی‌مانده گرانی‌سنجی ادامه فراسوی ۱۰ متر در شکل ۱۸- الف نشان داده شده است. براساس شکل، آنومالی‌های ادامه فراسو واحد زیادی باقی مانده است. به عبارت دیگر، در این نقشه، فقط آنومالی‌های ریز و کوچک که حتی در مواردی می‌توان آنها را نويز محسوب



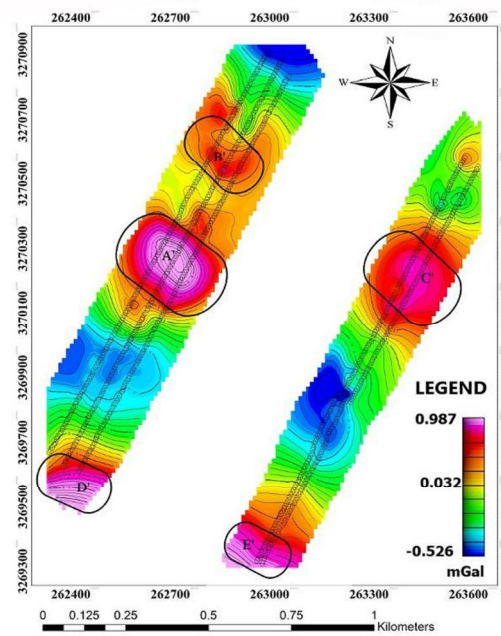
شکل ۱۳. نمودار نقشه‌برداری زاویه طیفی و پراکندگی کانی‌های کلریتی، ایلیتی، اسمکتیتی و ژاروسیت (A)؛ نمودار نقشه‌برداری زاویه طیفی کانی‌سازی اپیدوتی در منطقه مورد مطالعه (B)



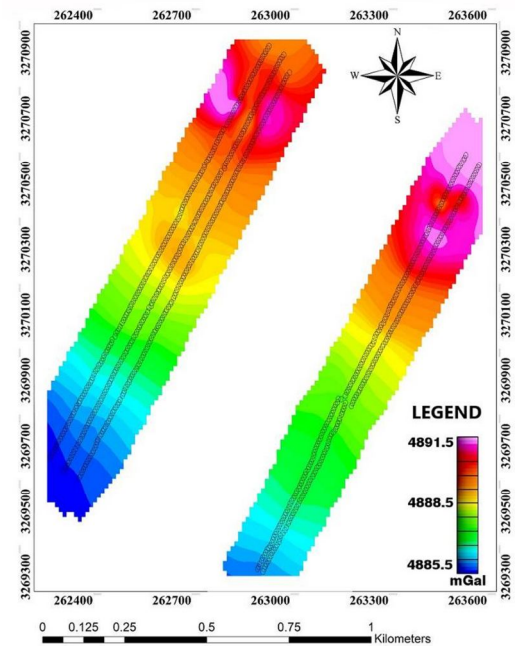
شکل ۱۶. نقشه آنومالی باقی مانده درجه یک منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۴. نقشه برداری زاویه طیفی گسترش کانی‌ها در منطقه مورد مطالعه. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پراکندگی کانی‌های کلریتی، اپیدوتی و ایلیتی هم‌روند با ساختارهای عمومی زمین‌شناسی منطقه است



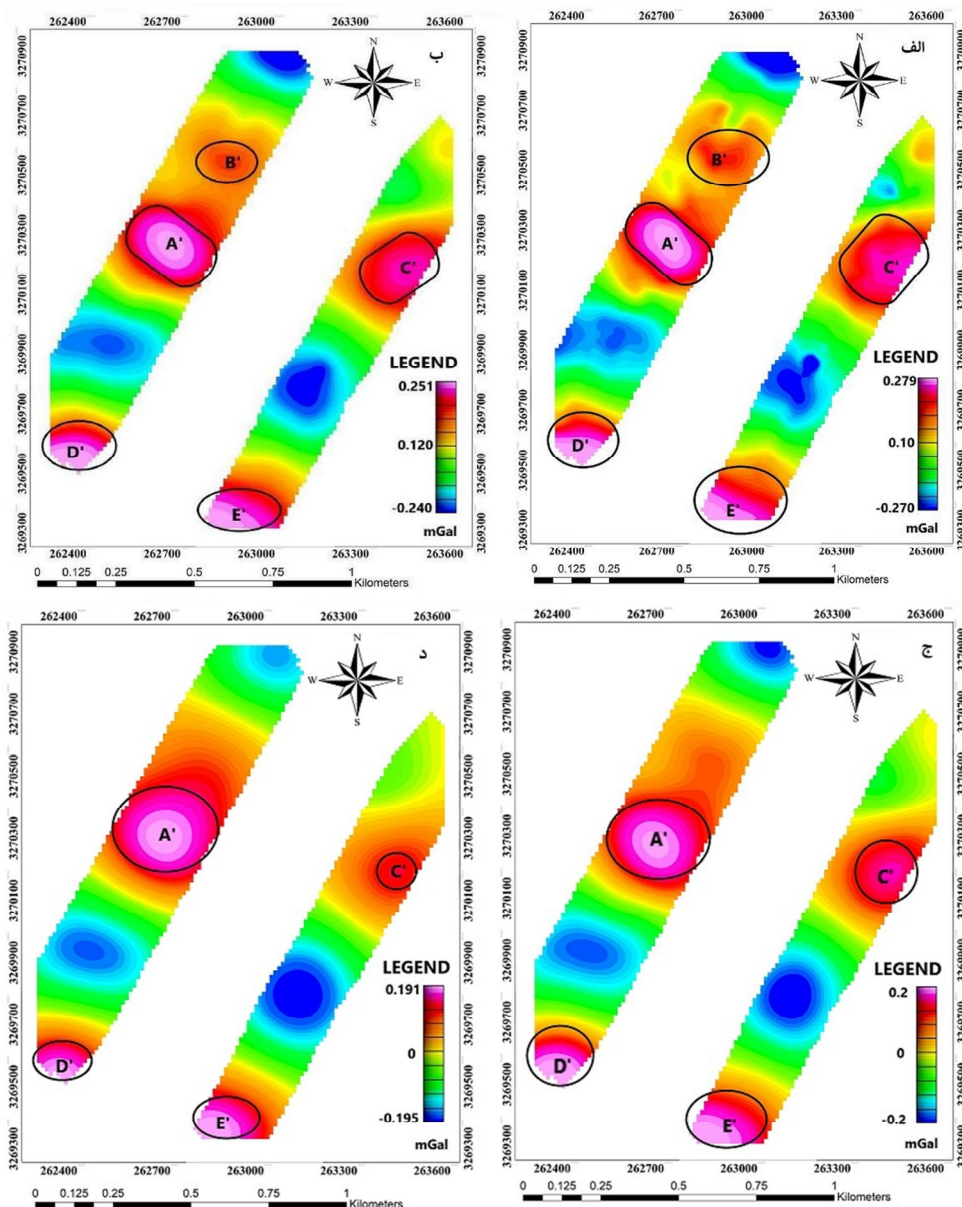
شکل ۱۷. نقشه آنومالی باقی مانده درجه دو، به همراه خطوط کنترلی برداشت داده‌های گرانی‌سنجی زمینی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۵. نقشه آنومالی بوگه تصحیح‌شده، به همراه خطوط کنترلی برداشت داده‌های گرانی‌سنجی زمینی منطقه مورد مطالعه

ملاحظه می‌شود که آنومالی A' در توده دارای ریشه در عمق‌های بالا وجود دارد و آنومالی C' بسیار ناچیز دیده می‌شود؛ این آنومالی را می‌توان در این عمق به‌طور کلی حذف کرد. آنومالی‌های D' و E' نیز به‌صورت هم‌زمان کوچک و تضعیف شده است.

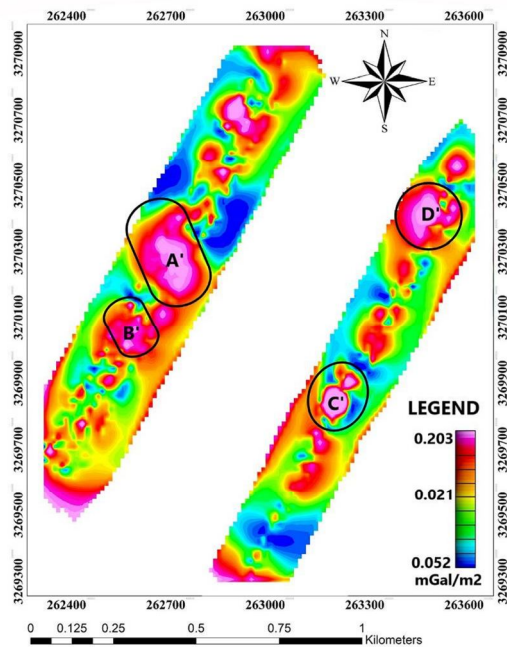
در شکل ۱۸-د، نقشه گرانیتی سنجی باقی‌مانده درجه دو ادامه فراسوی ۱۰۰ متر نشان داده شده است. طبق آن، آنومالی‌های A', C', D' و E' دیده می‌شود و آنومالی B' حذف شده است. عمق آنومالی A' از آنومالی‌های دیگر بیشتر است و آنومالی C' نسبتاً ضعیف‌تر شده و این نکته به عمق کم توده اشاره دارد. به‌صورت کلی و با مقایسه،



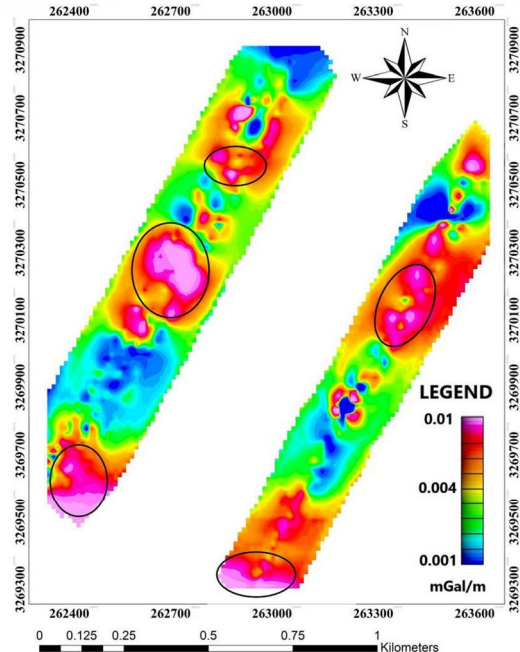
شکل ۱۸. نقشه‌های ادامه فراسوی روی نقشه باقی‌مانده درجه دو گرانیتی سنجی زمینی؛ نقشه ادامه فراسوی با ارتفاع ۱۰ متر از سطح زمین (الف)؛ نقشه ادامه فراسوی با ارتفاع ۵۰ متر از سطح زمین (ب)؛ نقشه ادامه فراسوی با ارتفاع ۸۰ متر از سطح زمین (ج)؛ نقشه ادامه فراسوی با ارتفاع ۱۰۰ متر از سطح زمین در محدوده مورد مطالعه (د)

شکل ۱۹ نقشه مشتق قائم مرتبه اول را نشان می‌دهد؛ آنومالی‌های مذکور در نقشه مشخص شده است.

این بخش شناسایی شده و گویای سطحی بودن این نوع آنومالی‌هاست.



شکل ۲۰. نقشه سیگنال تحلیلی روی نقشه باقی‌مانده درجه دو گرانی‌سنجی زمینی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۹. نقشه مشتق قائم مرتبه اول روی نقشه باقی‌مانده درجه دو گرانی‌سنجی زمینی در محدوده مورد مطالعه

شکل ۲۱ بیانگر نقشه زاویه تمایل روی نقشه باقی‌مانده درجه دو در منطقه مورد مطالعه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خطواره‌های منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است.

تشخیص خطواره‌ها از مهم‌ترین مراحل تفسیر کیفی است و نقشه مشتق قائم اول نقش بسزایی در نمایش خطواره‌های توده‌ها ایفا می‌کند. طبق این نقشه، مرز محدوده آنومالی‌ها با وضوح بیشتری شناسایی و ردیابی می‌شود. از آنجاکه حساسیت فیلتر مشتقات قائم بیشتر از آنومالی‌های سطحی‌تر است، مرز آنومالی‌های A', B', C' و D' و E' با وضوح بیشتری مشخص شده است.

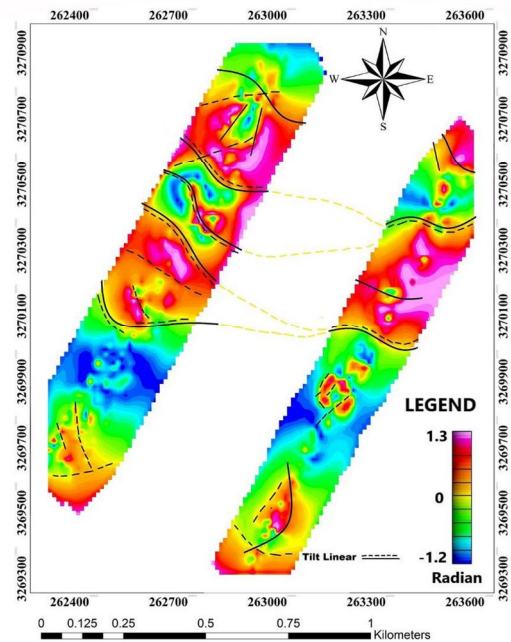
۴-۱-۴- اعتبارسنجی

با توجه به اعتبارسنجی و صحت اطلاعات حاصل از نتایج مطالعات کمی و کیفی سنجش از دور و گرانی‌سنجی زمینی، به منظور تهیه نقشه پتانسیل‌یابی معدنی و کانی‌زایی منابع آهن‌دار در محدوده مورد مطالعه، از داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی و آنالیز آزمایشگاهی به روش XRD و با تعداد ۵۲ نمونه استفاده شده و موقعیت برداشت نمونه‌ها در شکل ۲۴ و نتایج آنالیز XRD در جدول ۴ نشان داده شده است.

در شکل ۲۰، نقشه سیگنال تحلیلی روی داده‌های گرانی‌سنجی باقی‌مانده درجه دو در منطقه مورد مطالعه آمده است. در این نقشه، می‌توان لبه‌ها و محدوده مرز آنومالی‌ها را شناسایی کرد. آنومالی‌های A' و D' نمود بیشتری یافته‌اند و مرز این توده‌ها مشخص شده است. آنومالی‌های B' و C' که در نقشه‌های باقی‌مانده درجه دو به صورت آنومالی‌های بسته مشاهده می‌شدند، در

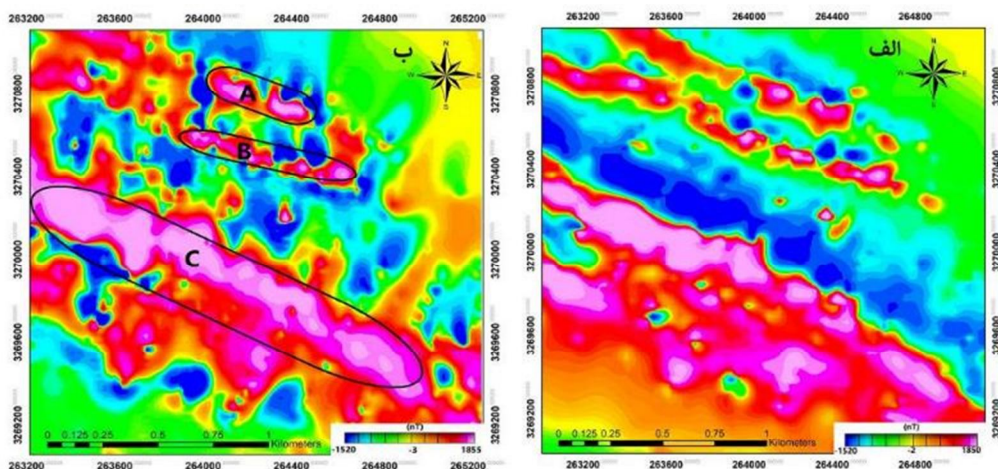
Reduce To Pole (RTP) نشان داده شده است که با توجه به تصحیحات اعمال شده روی داده‌ها، آنومالی‌های مغناطیسی منطبق بر توده‌های نفوذی مغناطیس‌پذیر، زیر سطح زمین جایگیر شده‌اند. طبق این شکل، آنومالی‌های مغناطیسی برگردان به قطب شده دقیقاً بر روند شمال غرب- جنوب شرق زون کانی‌زایی سنندج- سیرجان منطبق‌اند؛ این نکته نشان‌دهنده کمربند نواری و وجود دایک‌های نفوذی و مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه است و سه نوع آنومالی مغناطیسی A، B و C با روند عمومی این منطقه نشان داده شده است. این آنومالی‌های شناسایی شده مغناطیس‌سنجی بر نتایج پردازشی سنجش از دور و گرانی‌سنجی در این منطقه منطبق‌اند.

نقشه زاویه تمایل مغناطیس‌سنجی زمینی از محدوده مورد مطالعه نیز تهیه شده که در شکل ۲۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند ساختارهای نفوذی یا روند آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی، به صورت شمال غرب- جنوب شرق، با روند عمومی زون کانی‌زایی سنندج- سیرجان انطباق دارد و می‌توان گستره لبه‌های دایک‌های نفوذی و خطواره‌های مغناطیسی را بررسی و شناسایی کرد. شکل ۲۴ نیز نقشه پتانسیل‌یابی منابع آهن‌دار مغناطیس‌سنجی زمینی را به همراه موقعیت نمونه‌های XRD در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.

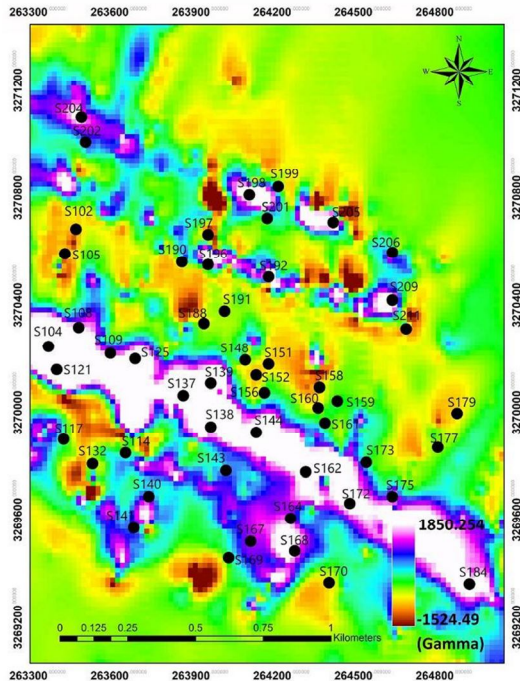


شکل ۲۱. نقشه زاویه تمایل به همراه خطواره‌های استخراج شده روی نقشه باقی‌مانده درجه دو گرانی‌سنجی زمینی در محدوده مورد مطالعه

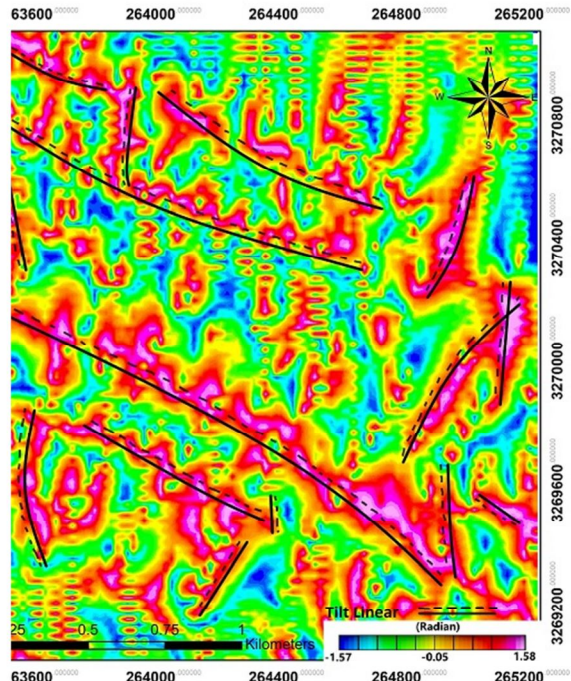
نقشه میدان مغناطیسی باقی‌مانده منطقه مورد مطالعه در شکل ۲۲- الف ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دایک‌های مغناطیسی مطابق با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق زون کانی‌زایی یا فلز زایی سنندج- سیرجان وجود دارد. در شکل ۲۲- ب، نقشه میدان مغناطیسی برگردان به قطب شده



شکل ۲۲. نقشه میدان مغناطیسی باقی‌مانده (الف)؛ نقشه برگردان به قطب شده مغناطیس‌سنجی زمینی در منطقه مورد مطالعه (ب)



شکل ۲۴. نقشه پتانسیل یابی منابع آهن‌دار مغناطیس‌سنجی زمینی به‌همراه موقعیت نمونه‌های XRD در محدوده مورد مطالعه (نمونه‌های XRD دایره‌های مشکی و ۵۲ عددند)



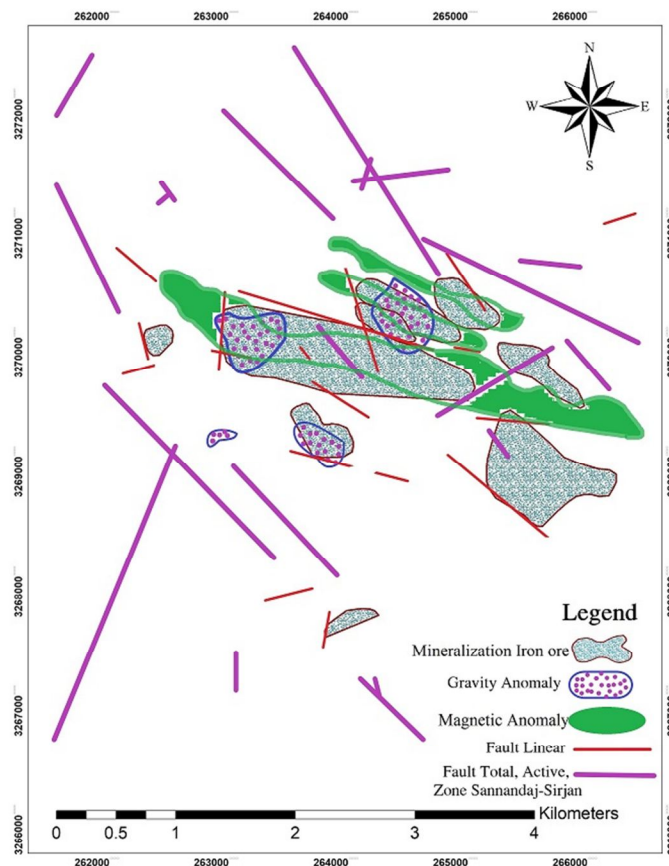
شکل ۲۳. نقشه زاویه تمایل به‌همراه خطواره‌های مغناطیسی شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه

جدول ۴. نتایج کانی‌شناسی (XRD) در محدوده مورد مطالعه

S. NO	XRD RESULTS	S. NO	XRD RESULTS
S-102	Jarosite+ Quartz	S-168	QUARTZ+ CLAYMINERALS+SERPENTINE
S-105	CALCITE.	S-169	Alunite+ QUARTZ+Clay minerals
S-108	Feldspar	S-170	Alunite+ Clay minerals
S-109	Jarosite+ QUARTZ+Tridymite+Crystobalite	S-172	Jarosite+ QUARTZ
S-104	Jarosite+ QUARTZ+ Crystobalite	S-173	Cryptomelane+ QUARTZ
S-121	Calcite+ QUARTZ	S-175	Feldspar+ QUARTZ+ (Clay minerals)
S-125	QUARTZ+MONTMORILLONITE+FELDSPAR.	S-177	QUARTZ+Goetite+Felspar+Mica+Clay minerals
S-117	Feldspar	S-179	QUARTZ+ Clay minerals (minor).
S-114	QUARTZ+ILLITE+HEMATITE (minor).	S-184	QUARTZ+ PYROPHYLLITE
S-132	QUARTZ+FELDSPAR+ Clay minerals (ILLITE+KAOLINITE).	S-188	QUARTZ.
S-137	QUARTZ+KAOLINITE.	S-191	ALUNITE+ Clay minerals (minor).
S-139	QUARTZ+ HEMATITE	S-192	CRYPTOMELANE +QUARTZ.
S-138	QUARTZ+PYROPHYLLITE+KAOLINITE+ILLITE	S-190	FELDSPAR+QUARTZ+ Clay minerals (minor).
S-140	FELDSPAR+ CLAYMINERAL.	S-196	FELDSPAR+QUARTZ+ Clay minerals (minor).
S-141	FELDSPAR+ QUARTZ	S-197	QUARTZ+GOETHITE+FELDSPAR+MICA + CLAYMINERAL.
S-143	QUARTZ+ CRYPTOMELANE+ HEMATITE	S-198	ILLITE+ HEMATITE
S-144	ALUNITE+ ILLITE+ QUARTZ+ Jarosite	S-199	FELDSPAR+ GOETHITE+ QUARTZ
S-148	CLAYMINERALS+SERPENTINE+	S-201	MAGNETIC+Clay mineral (minor)
S-151	GOETHITE+ PYROPHYLLITE	S-202	QUARTZ
S-152	MAGNETIC+ QUARTZ+ ALUNITE	S-204	ALUNITE+ FELDSPAR
S-156	ILLITE+ HEMATITE+ FELDSPAR	S-205	GOETHITE+ PYROPHYLLITE+ QUARTZ
S-159	QUARTZ+ KAOLINITE	S-206	Jarosite+ QUARTZ
S-160	GOETHITE+ Clay minerals (minor).	S-209	QUARTZ
S-161	KAOLINITE+ ILLITE+ QUARTZ	S-211	GOETHITE+ FELDSPAR
S-164	GOETHITE+ PYROPHYLLITE+ QUARTZ		
S-167	GOETHITE+ Clay minerals (minor)+ QUARTZ		

مطالعات سنجش از دور داده‌های سنجنده استر شناسایی شده و در نهایت، آنومالی‌های حاصل از بررسی‌های داده‌های گرانی‌سنجی زمینی در این منطقه، در شکل ۲۵، هم‌زمان با تمامی داده‌های دسترس مقایسه شده و انطباق یافته است. گسل‌های زمین‌شناسی و زون ساختاری در منطقه مورد نظر، در جابجیری و جهت‌گیری توده اسکارنی آهن، نقش مهمی داشته است. آنومالی‌های حاصل از هر دو روش زون ساختاری و گسل‌های منطقه را با توجه به نوع جابجیری و جهت‌گیری توده کانی‌سازی شده آهن‌دار، به‌خوبی نمایش داده‌اند و تمامی آنومالی‌ها نیز کاملاً بر یکدیگر منطبق و دارای هم‌پوشانی کامل‌اند.

با توجه به بررسی‌های این پژوهش، نقشه پتانسیل‌یابی منابع کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۲۵). طبق این نقشه، با توجه به موقعیت زمین‌شناسی و زون ساختاری ویژه ساندج- سیرجان، بیشتر گسل‌ها و کنتاکت‌های زمین‌شناسی به‌صورت هم‌روند، با شیب عمومی شمال‌غرب- جنوب‌شرق، جهت‌گیری دارند. گسل‌های فعال و اصلی بزرگ‌مقیاس که در این زون معرفی شده نمایش داده شده است. گسل‌های شناسایی شده زمین‌شناسی با مقیاس منطقه مورد مطالعه و خطوط‌های شناسایی شده با توجه به مطالعات گرانی‌سنجی زمینی و نقشه زاویه‌تماایل انطباق یافته است. از طرفی، آلتراسیون‌ها و کانی‌سازی‌های آهن‌دار با توجه به



شکل ۲۵. نقشه جامع پتانسیل‌یابی منابع کانی‌سازی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه، پراکندگی آنومالی‌های گرانی‌سنجی، آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی، آلتراسیون‌ها و کانی‌سازی‌های آهن‌دار، گسل‌های فعال و اصلی زون ساندج- سیرجان در منطقه مورد مطالعه؛ نتایج با یکدیگر هم‌پوشانی و انطباق دارند

زمین‌شناسی و با ساختارهای به‌صورت شمال‌غرب-جنوب‌شرق جایگیری کرده‌اند. همان‌طور که در شکل ۱۵ ملاحظه می‌شود، پس از تمامی تصحیحات پردازشی روی داده‌های خام گرانی‌سنجی زمینی، نقشه آنومالی بوگه کامل گرانی‌سنجی زمینی به‌همراه نقاط کنترلی برداشت در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است؛ این نقشه شامل پنج پروفیل در جهت شمالی-جنوبی می‌شود که در فاصله بین نقاط برداشتی ده‌متری و نیز فاصله چهل متری بین پروفیل‌ها از یکدیگر تهیه شده است. در شکل‌های ۱۶ و ۱۷، نقشه‌های باقی‌مانده درجه یک و دو پس از حذف تأثیرات، به‌صورت سطح روند تهیه شده است. شکل ۱۷، با توجه به مطالعات زمین‌شناسی و دورسنجی، انطباق بهتری با زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد؛ از این‌رو ملاک پردازش‌های بعدی نیز در نظر گرفته شده است. شکل ۱۷ نقشه باقی‌مانده درجه دو گرانی‌سنجی زمینی، به‌همراه خطوط کنترلی برداشت را نشان می‌دهد که پنج آنومالی A'، B'، C' و D' در آن مشهود است. آنومالی A' در مرکز خطوط برداشت، آنومالی B' در بخش شمالی، آنومالی C' در نیمه مرکزی و آنومالی‌های D' و E' نیز در بخش جنوبی منطقه نشان داده شده است. در شکل ۱۸، به‌ترتیب نقشه‌های گرانی‌سنجی زمینی به‌روش ادامه فراسو با ارتفاع ۱۰، ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ متر تهیه شده و به‌ترتیب، آنومالی‌های کوچک با عمق متوسط، کمتر و سطحی‌تر از نقشه‌های ادامه فراسو، به‌تبع ارتفاعات بالاتر، حذف شده است. همچنین آنومالی‌های دارای عمق متوسط تا زیاد و آنومالی‌های ریشه‌دار در منطقه نمایش داده شده که آنومالی‌های A' و C' جزء آنومالی‌های ریشه‌دار و با عمق بسیار زیاد در این منطقه است؛ این نکته، با توجه به شرایط زون سنجندج-سیرجان و زون دگرگونی فعال زمین‌شناسی در محدوده مطالعاتی، نشان از توده‌ای نفوذی در اعماق منطقه دارد. در شکل ۱۹، آنومالی‌هایی که به‌صورت مقداری سطحی‌تر شناسایی می‌شوند، نمایش داده شده است. با این روش می‌توان

در این پژوهش، طبق شکل‌های ۷ و ۸ و با توجه به روش ترکیب رنگی کاذب، ترکیب‌های رنگی (RGB: 123) و (RGB:468) به‌ترتیب، وجود کانی‌زایی آهن‌دار را در منطقه مورد مطالعه، با شیب عمومی و روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق، نشان می‌دهد. در شکل‌های ۹ و ۱۰، با روش نسبت‌گیری باندی، کانی‌زایی آهن‌دار در این منطقه نیز به‌صورت پیکسل‌های هدف سفید، هم‌جهت با شیب عمومی منطقه، نمایش داده شده و در شکل ۱۰، کانی‌های سربیسیت، موسکویت، ایلیت و اسمکتیت دیده می‌شود که مجموعه‌ای از آلتراسیون‌های فیلیک را در ناحیه مورد نظر، از دیگر واحدها متمایز کرده است. مطابق شکل ۱۱، از تحلیل مؤلفه اصلی به‌صورت ترکیب رنگی (RGB: PC4-t1, -) (PC3-t1, -) استفاده شده است؛ کانی‌زایی آهن‌دار و عوامل آن آلتراسیون پروپیلیتیکی در منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده و تمامی عوامل مورد بررسی و پتانسیل‌یابی شده، با روند و ساختارهای منطقه، به‌صورت شمال‌غرب-جنوب‌شرق منطبق‌اند.

همان‌طور که در شکل ۱۴ دیده می‌شود، در روش نقشه‌برداری زاویه طیفی، عوامل کانی‌زایی آهن‌دار با استفاده از داده‌های سنجنده استر بررسی و شناسایی شده است. در شکل ۱۳، طیف پراکندگی‌های کانی‌های کلریتی، ایلیتی، اسمکتیتی و ژاروسیتی در نمودار (A) نشان داده شده که همبستگی میان آنها شایان توجه است و دامنه طیف‌های بازتابی و جذبشان اغلب انطباق و همبستگی دارد. نمودار (B) نیز طیف پراکندگی کانی‌های اپیدوتی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در شکل ۱۴، با استفاده از پراکندگی‌های نقشه‌برداری کانی‌ها و طیف‌های پراکندگی‌های کانی‌های منطقه مورد نظر، نقشه پراکندگی زاویه طیفی تهیه شده است. کانی‌های اپیدوت اغلب در شمال و مرکز این منطقه و کانی‌های کلریتی در نیمه مرکزی و شمال‌غرب وجود دارند. کانی‌های ژاروسیت به‌ندرت و اغلب در نیمه غربی و جنوب‌غرب و کانی‌های ایلیتی نیز، به‌صورت پراکنده، در مرکز و شمال و شمال‌شرق دیده می‌شوند که منطبق‌بر روند واحدهای

(راپیتان) دارند، تأثیرات بارزی دارد. کان‌سار آهن گل‌گهر با منطقه مورد مطالعه در این پژوهش هم‌روند است. می‌توان اهمیت و تأثیرات فعالیت‌های تکتونیکی فعال را در توزیع و جایگیری توده‌های نفوذی کان‌سار، در منطقه مورد مطالعه، ارزشمند دانست.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با توجه به نتایج مطالعات سنجش از دور و مطالعات گرانی‌سنجی زمینی، چهار نوع آنومالی شناسایی و پی‌جویی شده است که در هر دو روش به‌کاررفته، نتایج منطبق بر یکدیگرند. درواقع، آنومالی‌های A، B، C و D در روش سنجش از دور با آنومالی‌های A، B، C، D و E در روش گرانی‌سنجی زمینی هم‌پوشانی دارند و تمامی نتایج نیز با داده‌های مغناطیس‌سنجی، به‌منظور اعتبارسنجی، مطابقت داشته است.

تقریباً پایدارترین تغییرات بالای گرانی‌سنجی زمینی، در همهٔ پردازش‌ها، به آنومالی‌های A، C، D و E بازمی‌گردد و فقط آنومالی B از دیگر آنومالی‌ها سطحی‌تر بوده است. براساس نقشهٔ زمین‌شناسی، هر دو آنومالی مذکور عمدتاً بر سنگ‌های دگرگونهٔ مرمریت و شیست سبز و بخش اندکی بر سنگ‌های دگرگونهٔ آمفیبولیت و شیست منطبق‌اند.

با توجه به مجاورت تودهٔ نفوذی آذرین با سنگ‌های آهکی، به‌صورت کلی به نظر می‌رسد آنومالی‌های A، B و C ممکن است ناشی از کانی‌زایی آهن از نوع اسکارن در این ناحیه باشد و وجود کانی‌زایی گارنت در این زون سبب تقویت این ادعا می‌شود. این آنومالی‌ها در اعماق و زیر واحدهای آهکی واقع شده‌اند. براساس نقشهٔ گرانی‌سنجی، کانی‌زایی آهن‌دار در راستای شمال‌غرب- جنوب‌شرق رخ داده و آنومالی‌های A، B و C ناشی از دو دایک مجاور هم در منطقه‌اند. آنومالی D و E در جنوب محدوده و جنوب آنومالی A و C واقع شده و بر سنگ‌های شیست سبز و آمفیبولیت‌ها و گارنت شیست‌ها منطبق است.

آنومالی‌های A، B، C، D و E را با جزئیات بسیار بیشتری، درقیاس با بخش‌های لبه‌های آنومالی‌ها و کشیدگی و وسعت و انقطاع‌های آنومالی‌ها، بررسی کرد. در شکل ۲۰، نقشهٔ سیگنال تحلیلی براساس داده‌های گرانی‌سنجی منطقه مورد مطالعه آمده است. این نقشه آنومالی‌های A، B، C و D را نشان می‌دهد و با توجه به روند عمومی شیب منطقه، لبه‌ها و تمرکز آنومالی‌ها را با جزئیات بیشتری می‌توان شناسایی کرد. شکل ۲۱ حاوی نقشهٔ زاویهٔ تمایل است؛ داده‌های ورودی آن شامل نقشهٔ گرانی‌سنجی زمینی باقی‌ماندهٔ درجهٔ دو می‌شود که با لیتولوژی این منطقه انطباق کامل‌تری دارد و روند توده‌های زمین‌شناسی زیرسطحی را نشان می‌دهد. بر مبنای این شکل، روند عمومی ساختارها و زون دگرگونی فعال سنندج- سیرجان به‌صورت شمال‌غرب- جنوب‌شرق است. خط‌واره‌های حاصل از روش‌های زاویهٔ تمایل میدان پتانسیل گرانی‌سنجی زمینی با گسل‌ها، شکستگی‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه انطباق بهتری را نشان می‌دهد. در شکل ۲۲، نقشهٔ میدان مغناطیسی باقی‌مانده و نقشهٔ برگردان به‌قطب‌شدهٔ این منطقه ترسیم شده است. آنومالی‌های شناسایی‌شده شامل توده‌های نفوذی و تعدادی از دایک‌های نفوذی در منطقه‌اند. این نوع آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی بر نتایج حاصل از بررسی‌های هم‌زمان سنجش از دور و گرانی‌سنجی زمینی در منطقه انطباق دارند. شکل ۲۴ نقشهٔ پتانسیل‌یابی مغناطیس‌سنجی زمینی و موقعیت نقاط نمونه‌های آنالیز به‌روش XRD را دربردارد و در شکل ۲۵، نقشهٔ جامع پتانسیل‌یابی منابع کانی‌زایی آهن‌دار منطقه آمده است. تمامی نتایج به‌صورت هم‌زمان بر یکدیگر منطبق‌اند و هم‌پوشانی کاملی دارند.

آنومالی‌های حاصل از بررسی و پتانسیل‌یابی شده در این منطقه بر زون فعال دگرگونی سنندج- سیرجان به‌صورت شمال‌غرب- جنوب‌شرق منطبق است و فعالیت‌های تکتونیکی در این زون فعال، در روند کانی‌زایی آهن‌دار و اسکارن که اغلب توسعهٔ نواری

- Mineralization in Alwar Basin, Rajasthan, India**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 91, P. 102162.
- Clark, D.A., 1999, **Magnetic Petrology of Igneous Intrusions: Implications for Exploration and Magnetic Interpretation**, Exploration Geophysics, 30(2), PP. 5-26.
- Cooper, G.R.J. & Cowan, D.R., 2006, **Enhancing Potential Field Data Using Filters Based on the Local Phase**, Computers & Geosciences, 32(10), PP. 1585-1591.
- Crosta, A.P. & Moore, J.M.C.M., 1998, **Rehancement of LANDSAT Thematic Mapper Imagery for Residual Soil Mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: A Prospecting Case History in Greenstone Belt Terrain (Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology)**, Methods, Integration, Solutions, 7, PP. 1173-1187.
- Darjani, M., Farquharson, C.G. & Lelièvre, P.G., 2020, **Clustering and Constrained Inversion of Seismic Refraction and Gravity Data for Overburden Stripping: Application to Uranium Exploration in the Athabasca Basin, Canada**, Geophysics, 85(4), PP. 1-60.
- Di Tommaso, I. & Rubinstein, N., 2007, **Hydrothermal Alteration Mapping Using ASTER Data in the Infiernillo Porphyry Deposit, Argentina**, Ore Geology Reviews, 32(1-2), PP. 275-290.
- Eftekharneshad, J. & Behroozi, A., 1991, **Geodynamic Significance of Recent Discoveries of Ophiolites and Late Paleozoic Rocks in NE-Iran (Including Kopet Dag)**, Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 38, PP. 89-100.
- Ganiyu, S.A., Badmus, B.S., Awoyemi, M.O., Akinyemi, O.D. & Olurin, O.T., 2013, **Upward Continuation and Reduction to Pole Process on Aeromagnetic Data of Ibadan Area, South-Western Nigeria**, Earth Science Research, 2(1), P. 66.
- Guha, A., Kumar, K.V., Porwal, A., Rani, K., Sahoo, K.C., Kumar, S.A., Singaraju, V., Singh, R.P., Khandelwal, M.K., Raju, P.V. & Diwakar, P.G., 2019, **Reflectance Spectroscopy and ASTER Based Mapping of Rock-Phosphate in Parts of Paleoproterozoic Sequences of Aravalli Group of Rocks, Rajasthan, India**, Ore Geology Reviews, 108, PP. 73-87.
- مهم‌ترین آنومالی A' و C' است که با توجه به طول و ضخامت توده، وضعیت کانی‌زایی مناسبی دارد. آنومالی مجاور آن نیز B' است که احتمالاً این آنومالی و آنومالی‌های A' و B' منشأ یکسان دارند و به نظر می‌رسد این کانی‌زایی در مرز سنگ‌های آهکی با توده نفوذی اتفاق افتاده است.
- ۶- منابع**
- Abdi, M. & Karimpour, M.H., 2012, **Geology, Alteration, Mineralization, Petrogenesis, Geochronology, Geochemistry and Airborne Geophysics of Kuh Shah Prospecting Area, SW Birjand**, Journal of Economic Geology, 4(1), PP. 77-107 (In Persian).
- Abedi, M. & Norouzi, G.H., 2012, **Integration of Various Geophysical Data with Geological and Geochemical Data to Determine Additional Drilling for Copper Exploration**, Journal of Applied Geophysics, 83, PP. 35-45.
- Abrams, M., Hook, S. & Ramachandran, B., 2002, **ASTER User Handbook**, Version 2, Jet Propulsion Laboratory, 4800, P. 135.
- Adams, J.B., Smith, M.O. & Johnson, P.E., 1986, **Spectral Mixture Modeling: A New Analysis of Rock and Soil Types at the Viking Lander 1 Site**, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 91(B8), PP. 8098-8112.
- Alavi, M., 1991, **Tectonic Map of the Middle East, 1: 5000000**, Geological Survey of Iran.
- Bishop, J.R. & Lewis, R.J.G., 1992., **Geophysical Signatures of Australian Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits**, Economic Geology, 87(3), PP. 913-930.
- Carlson, T.N. & Ripley, D.A., 1997, **On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index**, Remote Sensing of Environment, 62(3), PP. 241-252.
- Chander, G., Markham, B.L. & Helder, D.L., 2009, **Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors**, Remote Sensing of Environment, 113(5), PP. 893-903.
- Chattoraj, S.L., Prasad, G., Sharma, R.U., van der Meer, F.D., Guha, A. & Pour, A.B., 2020, **Integration of Remote Sensing, Gravity and Geochemical Data for Exploration of Cu-**

- Gunn, P.J., Maidment, D. & Milligan, P.R., 1997, **Interpreting Aeromagnetic Data in Areas of Limited Outcrop**, AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17, PP. 175-186.
- Gupta, H.K. & Roy, S., 2006, **Geothermal Energy: An Alternative Resource for the 21st Century**, Elsevier.
- Heydarian Shahri, M.R., Karimpour, M.H. & Malekzadeh, A., 2006, **Magnetic Information -Taknar Polymetal Massive Sulfide Mineralization Target**, Journal of Science (University of Tehran), 32(2(section geology, 1)), 1-14, Sid. <https://sid.ir/paper/2157/en>.
- Hsu, S.K., Coppens, D. & Shyu, C.T., 1998, **Depth to Magnetic Source Using the Generalized Analytic Signal**, Geophysics, 63(6), PP. 1947-1957.
- Khaleghi, M. & Ranjbar, H., 2011, **Alteration Mapping for Exploration of Porphyry Copper Mineralization in the Sarduiyeh Area, Kerman Province, Iran, Using ASTER SWIR Data**, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(8), PP. 61-69.
- Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.W., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J. & Goetz, A.F.H., 1993, **The Spectral Image Processing System (SIPS), Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data**, In AIP Conference Proceedings, 283(1), PP. 192-201, American Institute of Physics.
- Ladoni, M., Bahrami, H.A., Alavipanah, S.K. & Norouzi, A.A., 2010, **Estimating Soil Organic Carbon from Soil Reflectance: A Review**, Precision Agriculture, 11(1), PP. 82-99.
- Miller, H.G. & Singh, V., 1994, **Potential Field Tilt—A New Concept for Location of Potential Field Sources**, Journal of Applied Geophysics, 32(2-3), PP. 213-217.
- Nabighian, M.N., 1972, **The Analytic Signal of Two-Dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross-Section: Its Properties and Use for Automated Anomaly Interpretation**, Geophysics, 37(3), PP. 507-517.
- Neawsuparp, K., Charusiri, P. & Meyers, J., 2005, **New Processing of Airborne Magnetic and Electromagnetic Data and Interpretation for Subsurface Structures in the Loei Area, Northeastern Thailand**, ScienceAsia, 31, PP. 283-298.
- Noorollahi, Y., Itoi, R., Fujii, H. & Tanaka, T., 2007, **GIS Model for Geothermal Resource Exploration in Akita and Iwate Prefectures, Northern Japan**, Computers & Geosciences, 33(8), PP. 1008-1021.
- Paterson, N.R. & Reeves, C.V., 1985, **Applications of Gravity and Magnetic Surveys: The State-of-the-Art in 1985**, Geophysics, 50(12), PP. 2558-2594.
- Pour, A.B., Hashim, M., Park, Y. & Hong, J.K., 2018, **Mapping Alteration Mineral Zones and Lithological Units in Antarctic Regions Using Spectral Bands of ASTER Remote Sensing Data**, Geocarto International, 33(12), PP. 1281-1306.
- Okpoli, C.C., Ogbole, J.O., Victor, O.A. & Okanlawon, G.O., 2022, **Mineral Exploration of Iwo-Apomu Southwestern Nigeria Using Aeromagnetic and Remote Sensing**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 25(2), PP. 371-385.
- Ranjbar, H., Honarmand, M. & Moezifar, Z., 2004, **Application of the Crosta Technique for Porphyry Copper Alteration Mapping, Using ETM+ Data in the Southern Part of the Iranian Volcanic Sedimentary Belt**, Journal of Asian Earth Sciences, 24(2), PP. 237-243.
- Rao, D.A. & Guha, A., 2018, **Potential Utility of Spectral Angle Mapper and Spectral Information Divergence Methods for Mapping Lower Vindhyan Rocks and their Accuracy Assessment with Respect to Conventional Lithological Map in Jharkhand, India**, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 46(5), PP. 737-747.
- Roest, W.R., Verhoef, J. & Pilkington, M., 1992, **Magnetic Interpretation Using the 3-D Analytic Signal**, Geophysics, 57(1), PP. 116-125.
- 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(3), PP. 350-366.
- Sheikholeslami, M.R., Pique, A., Mobayen, P., Sabzehei, M., Bellon, H. & Emami, M.H., 2008, **Tectono-Metamorphic Evolution of the Neyriz Metamorphic Complex, Quri-Kor-e-Sefid Area (Sanandaj-Sirjan Zone, SW Iran)**, Journal of Asian Earth Sciences, 31(4-6), PP. 504-521.
- Siemon, B., 2001, **Improved and New Resistivity-Depth Profiles for Helicopter Electromagnetic Data**, Journal of Applied Geophysics, 46(1), PP. 65-76.

- Silver, E., MacKnight, R., Male, E., Pickles, W., Cocks, P. & Waibel, A., 2011, **LiDAR and Hyperspectral Analysis of Mineral Alteration and Faulting on the West Side of the Humboldt Range, Nevada**, *Geosphere*, 7(6), PP. 1357-1368.
- Stoecklin, J., 1968, **Structural History and Tectonics of Iran: A Review**, *AAPG Bulletin*, 52(7), PP. 1229-1258.
- Tarlowski, C., Gunn, P.J. & Mackey, T., 1997, **Enhancements of the Magnetic Map of Australia**, *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, PP. 77-82.
- Van der Meer, F.D., Van der Werff, H.M., Van Ruitenbeek, F.J., Hecker, C.A., Bakker, W.H., Noomen, M.F., Van Der Meijde, M., Carranza, E.J.M., De Smeth, J.B. & Woldai, T., 2012, **Multi-and Hyperspectral Geologic Remote Sensing: A Review**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14(1), PP. 112-128.
- Walker, R.T., 2006, **A Remote Sensing Study of Active Folding and Faulting in Southern Kerman Province, SE Iran**, *Journal of Structural Geology*, 28(4), PP. 654-668.
- Zhang, R. & Li, T., 2019, **Joint Inversion of 2D Gravity Gradiometry and Magnetotelluric Data in Mineral Exploration**, *Minerals*, 9(9), P. 541.