

بکارگیری تکنیک‌های مختلف به منظور اکتشاف، مدل‌سازی و تخمین ذخیره کانسار گچ در ناحیه شمال غرب تفرش، استان مرکزی

رضا احمدی^(۱)

۱. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۲

چکیده

در پژوهش حاضر به منظور اکتشاف ذخایر گچ در گستره شمال غرب تفرش، فرآیند اکتشافات سیستماتیک از مراحل پی‌جویی تا تخمین ذخیره صورت گرفته است. در این راستا برای شناسایی و تعیین پتانسیل‌های معدنی، ابتدا گستره وسیعی به مساحت ۴۵۰۰ کیلومتر مربع با عملیات دورسنجی به کمک تصویربرداری عملیاتی زمین (OLI) ماهواره لندست هشت مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از تکنیک‌های پیش‌پردازش و پردازش مناسب همانند تحلیل مولفه‌های اصلی، ترکیب رنگی کاذب، کمترین مربعات رگرسیون شده و نگاشت زاویه طیفی بر روی تصویرها، تعداد ۱۷ پهنه امیدبخش به صورت پراکنده در سطح ناحیه شناسایی شد. بر پایه بررسی‌ها و مطالعات میدانی دقیق‌تر مناطق امیدبخش، تمرکز ویژه بر روی کانسار گچ دربر واقع در مجاورت روستای دربر صورت گرفت. بنابراین، فعالیت‌های اکتشافی متنوعی شامل احداث شش رشته ترانشه اکتشافی با حجم کلی ۱۳۵/۶۱ مترمکعب، ایجاد سینه‌کار اکتشافی، تهیه نقشه ۱:۱۰۰۰ توپوگرافی-زمین‌شناسی، تجزیه شیمیایی تعداد نه نمونه و حفر یک حلقه گمانه اکتشافی با عمق حدود ۴۰ متر انجام شد. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها نشان می‌دهد که مجموع درصد ترکیبات CaO و SO_3 برای تمام نمونه‌های آزمایش شده، بیش از ۷۶ درصد است. همچنین نتیجه آزمون بازاریابی و کاربردی از طریق انجام آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های کیفی سنگ و قابلیت پخت در مقیاس صنعتی توسط کارخانه سیمان نیزار قم، مطلوب ارزیابی شد. مدل‌سازی و تخمین ذخیره گچ این کانسار نیز با روش کلاسیک خطوط تراز و به کمک نرم‌افزار Surfer انجام شد. براساس محاسبات صورت گرفته، میزان ذخیره بر جای کانسار گچ دربر حدود ۵۹۸۲۶۱۰ تن برآورد شد که میزان ذخیره قابل توجهی است.

واژه‌های کلیدی: گچ، شمال غرب تفرش، دورسنجی، لندست ۸ (OLI)، تخمین ذخیره، خطوط تراز.

مقدمه

گچ یکی از انواع مواد معدنی غیرفلزی است که در صنایع مختلفی از جمله صنعت ساختمان، سیمان، ساخت چینی، کاشی و سرامیک، قالب‌سازی و پزشکی کاربرد دارد. مهم‌ترین کانی‌های گچ را ژبیس^۱، انیدریت^۲، سلنیت^۳

1. Gypsum
2. Anhydrite
3. Selenite

* نویسنده مرتبط: Rezahmadi@gmail.com

مراحل شناسایی و پی‌جویی شامل مطالعه بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی پایه و بررسی احتمال باارزش یا بدون ارزش اقتصادی بودن کانسار می‌باشد. در مرحله عملیات اکتشاف عمومی، نواحی قابل اهمیت از نقطه نظر مواد معدنی مورد بررسی بیشتر قرار می‌گیرد. تجزیه و تحلیل زمین‌شناسی عمومی و ساختمانی، نمونه برداری سیستماتیک، مطالعات مینرالوژیکی (کانی‌شناسی)، تعیین محدوده کانسار در حد امکان، تهیه نقشه‌ها، گزارش اکتشاف نهایی و پیشنهادهای از جمله کارهای مرحله اکتشاف تفصیلی می‌باشد.

در پژوهش حاضر، ابتدا از قابلیت‌های سنجنده لندست ۸ (OLI^۲) به کمک تکنیک‌های دورسنجی برای بارزسازی و شناسایی محدوده‌های با پتانسیل بالای نهشته‌های گچ در ناحیه وسیعی از شمال غرب تفرش استفاده شد. سپس، عملیات اکتشاف، ارزیابی کیفی و کمی کانسار گچ شناسایی شده با پتانسیل معدنی در بخش محدودی از این ناحیه (به نام کانسار گچ دربر) صورت گرفت.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

پهنه مورد مطالعه، یک گستره وسیع با مساحت ۴۵۰۰ کیلومتر مربع واقع در شمال غرب شهر تفرش می‌باشد. شکل ۱ حد و مرز پهنه مورد مطالعه را بر روی تصویر Google Earth نشان می‌دهد (چهارضلعی زردرنگ). به طور کلی این گستره در دو پهنه ساختاری ایران مرکزی و سندیج-سیرجان قرار دارد و بخشی از چهارگوش‌های زمین‌شناسی قم و ساوه می‌باشد. عملیات دورسنجی بر روی این ناحیه وسیع صورت گرفته و منجر به شناسایی پتانسیل معدنی گچ دربر شده که نقشه توپوگرافی-زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ این کانسار در شکل ۲ نشان داده شده است. این نقشه بر اساس کلیه اطلاعات به دست آمده از مرحله پی‌جویی و کنترل بر روی ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فرمپین، تهیه شده و بر روی نقشه توپوگرافی برداشت شده هوایی با پهپاد، منطبق شده است. بر روی این نقشه، واحدهای لیتولوژی، نحوه گسترش

ساتین اسپار^۱، آلاباستر^۲ و مارین گلاس^۳ تشکیل می‌دهند (آقانباتی، ۱۳۸۵؛ Donoghue, 2006). ژئوپس متداول‌ترین و فراوان‌ترین نوع کانی گچ است که نوع معمول و متراکم آن به گچ سنگی معروف است. به طور کلی ذخایر گچ بر اساس نحوه تشکیل و پیدایش، به دو نوع سنگی و خاکی تقسیم می‌شوند. ذخایر گچ سنگی به تجمعی از سولفات کلسیم آبدار و یا بی‌آب با ناخالصی‌هایی مانند کلسیت، کوارتز، دولومیت و با میان لایه‌ها یا مخلوطی از گل‌سنگ، شیل، لای‌سنگ و سنگ‌آهک، و ذخایر گچ خاکی به تجمعی از مخلوط‌های گچ و خاک رس در افق‌های سطحی خاک گفته می‌شود. سنگ گچ ممکن است نودولی شکل (گرهکی)، توده‌ای، ورقه‌ای (لایه‌ای)، رشته‌ای و بلورین باشد. سنگ گچ از سنگ‌های رسوبی است و به دلیل میل ترکیبی شدید، به طور خالص یافت نمی‌شود. همواره ذخایر معدنی گچ به دلیل ماهیت انعطاف‌پذیر خود به شکل لایه‌های منظم با رسوبات کم‌عمق و یا چشمه‌های دریایی دیده می‌شوند (Yilmaz et al., 2011).

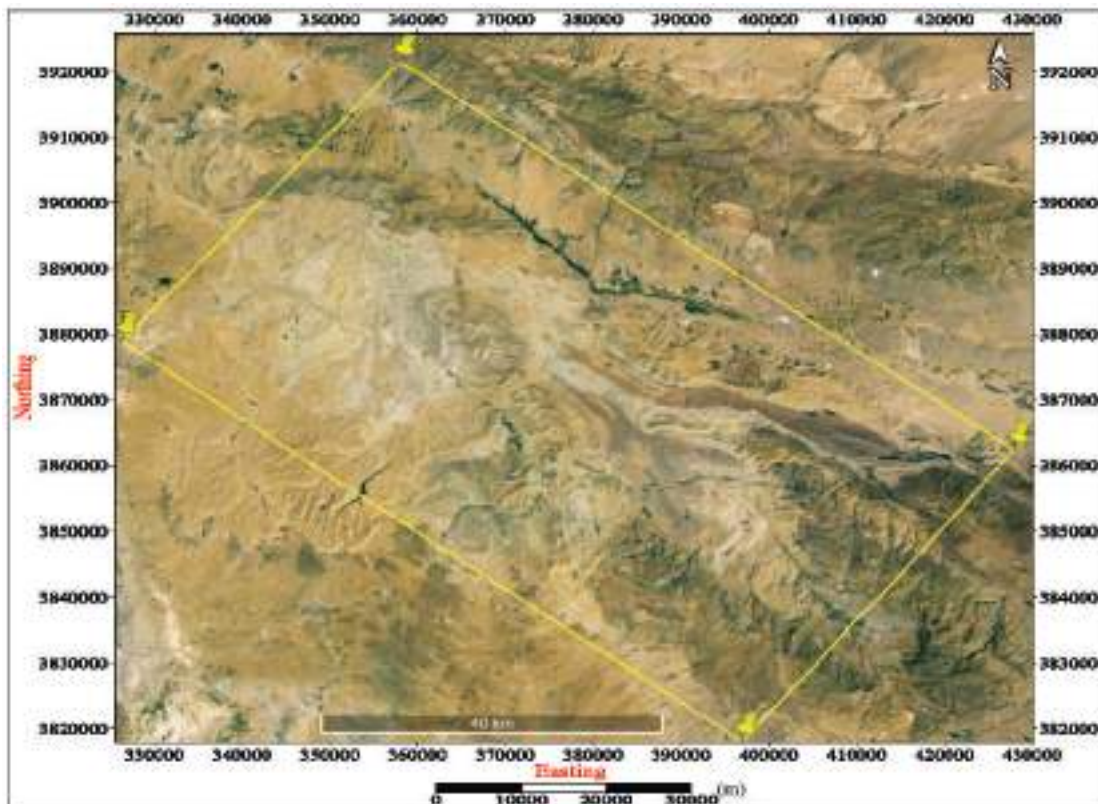
هر نوع کانی که نسبت به سایر کانی‌ها دارای ویژگی‌ها و طیف متمایز باشد، در سنجش از دور قابل تشخیص و تفکیک است. از آنجایی که عوامل مختلفی همانند انواع نوفه‌ها بر روی داده‌ها و تصویرهای ماهواره‌ای تاثیرگذارند و امکان حذف کامل یا تضعیف آن‌ها امکان‌پذیر نیست، در نتیجه همواره نتایج حاصل از این روش‌ها صددرصد درست نمی‌باشد و با مقداری خطا همراه است. در هر صورت این روش‌ها به عنوان راهنمای اولیه می‌باشند و با هدف اکتشاف مواد معدنی همانند گچ در مراحل شناسایی اولیه، پی‌جویی و اکتشاف مقدماتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تاکنون در بسیاری از کشورها از جمله عمان، ترکیه، اسپانیا، پاکستان و ایران از این روش برای اکتشاف کانسارهای گچ استفاده شده (Khan et al., 2020; Sabins, 1987) و در موارد بکارگرفته شده نتایج قابل قبولی حاصل شده است.

شناخت کیفی و کمی از نحوه گسترش ماده معدنی در سطح و عمق، مستلزم اجرای عملیات اکتشافی دقیق و علمی می‌باشد. عملیات اکتشاف مواد معدنی شامل مراحل شناسایی، پی‌جویی، اکتشاف عمومی و تفصیلی است.

1. Satin Spar
2. Alabaster
3. Marienglas
4. Operational Land Imager

و توفها با سن الیگوسن، میوسن و الیگومیوسن در این منطقه مشاهده می‌شود. مطابق راهنمای رنگی این نقشه، واحد مشخص شده با رنگ آبی (E^{gy}) مربوط به سنگ گچ در گستره کانسار می‌باشد که به ائوسن بالایی نسبت داده شده است.

ماده معدنی و حد و مرز منطقه اکتشافی ثبتي (به صورت یک نه‌ضلعی غیرمنتظم) نمایش داده شده است. با توجه به این نقشه تنوع لیتولوژی زیادی از انواع سنگ‌ها بیشتر شامل سنگ‌های رسوبی شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، آهک، آهک مارنی، مارن، مارن رسی و گاهی سنگ‌های آذرآواری



شکل ۱. موقعیت پهنه اکتشافی مورد مطالعه بر روی تصویر Google Earth (چهارضلعی زرد رنگ)

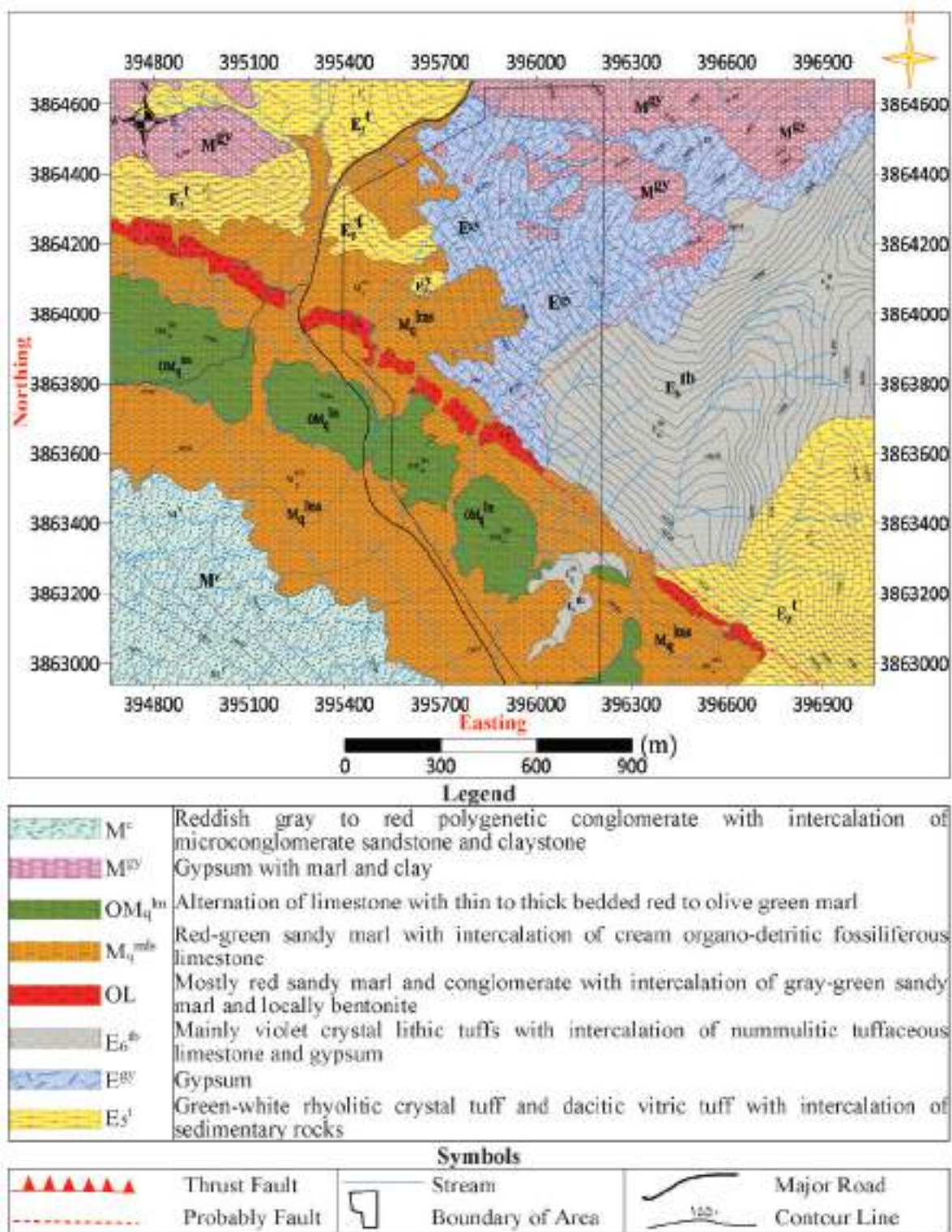
روش مطالعه

اصلی^۱ (PCA)، ترکیب رنگی کاذب (RGB)، روش کمترین مربعات (LS-Fit) و زاویه طیفی^۲ (SAM) به‌عنوان ابزاری قدرتمند، مقرون به‌صرفه و سریع در تشخیص و شناسایی انواع نواحی مافیک، اولترامافیک، دگرگونی، نهشته‌های مواد معدنی و کانی‌سازی‌های دارای دگرسانی هیدروترمال مانند افیولیت‌ها، کربناتیت‌ها و تبخیری‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (احمدی و قره‌شیخ بیات، ۱۴۰۰؛ Shuai et al., 2022).

در این پژوهش برای شناسایی و بارزسازی هرچه بهتر گستره‌های امیدبخش نهشته‌های گچ در پهنه وسیعی در شمال غرب تفرش، از تصویرهای سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. دلیل استفاده از این تصویرها، کاربرد مناسب آن‌ها در کانی‌شناسی سطحی و تفکیک‌پذیری زیاد انواع سنگ‌ها و دگرسانی‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به سبب فقیروبودن پوشش گیاهی است (احمدی و سلطانعلی، ۱۴۰۲؛ Adiri et al., 2020). در این راستا، تکنیک‌های سنجش از دور همانند نسبت‌گیری بانندی، تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های

1. Principal Component Analysis

2. Spectral Angle Mapper



شکل ۲. نقشه توپوگرافی-زمین‌شناسی کانسارگچ دربر

ارزش طیفی پیکسل‌های تصویرها با یکدیگر ضروری است. فراوانی‌نمای^۱ تصویر در واقع میزان روشنایی تصویر را به صورت گرافیکی بیان می‌کند و تا زمانی که فراوانی‌نمای تصویرهای مورد استفاده متفاوت باشند، تصویرها آماده پردازش نیستند. در این راستا از روش تناظریابی فراوانی‌نمای که یکی از روش‌های نرمال‌سازی نسبی محسوب می‌شود و تأثیر مطلوبی در کاهش نسبی خطاهای رادیومتری و اتمسفری تصویرها دارد، استفاده می‌شود (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۰). از آنجایی که همواره دگرسانی‌های گسترده و وسعت بیشتری نسبت به بخش اصلی کانی‌سازی در سطح زمین از خود نشان می‌دهند، شناسایی آن‌ها و همچنین تشخیص عوارض ساختاری زمین به کمک داده‌های ماهواره‌ای آسان‌تر و دقیق‌تر است. با توجه به تفاوت کارایی و توانایی انواع پردازش‌ها و همچنین وجود خطا و نوفه، لازم است که از چند روش مختلف برای پردازش داده‌ها استفاده شود. روش‌های بسیاری برای پردازش داده‌های ماهواره‌ای وجود دارند که در ادامه اصول روش‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر، به اختصار توضیح داده می‌شوند.

ترکیب رنگی کاذب: استفاده از رنگ‌ها در تصویرهای

ماهواره‌ای باعث به وجود آمدن درکی بهتر از گستره مورد تجسس می‌شود. به همین دلیل لازم است که سه طیف بانندی که عارضه‌های موردنظر در آن باندها بیشترین تابش را از خود نشان می‌دهند، شناسایی شوند و به هر یک، یکی از سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی اختصاص داده شود.

روش کمترین مربعات رگرسیون شده: این روش فرض

می‌کند که باندهای مورد استفاده به‌عنوان مقادیر ورودی، متغیرهای یک عبارت خطی است و مقادیر خروجی عبارت خطی به‌عنوان اطلاعات پیش‌بینی شده از مقادیر ورودی می‌باشند. این باند پیش‌بینی شده همان بانندی است که باید مطابق با معادله خطی باشد. کانی‌هایی که نسبت به یک باند خاص حساس هستند و اختلاف خوبی از نظر شاخص جذب و یا بازتاب در آن باند خاص نشان می‌دهند، با در نظر گرفتن تفاوت بین باندهای پیش‌بینی شده و باند مدل شده به‌عنوان یک تصویر نهایی محاسبه می‌شوند (Feizi and Mansouri, 2013).

همچنین در کانسار گچ دربر به‌عنوان مهم‌ترین پتانسیل معدنی گچ حاصل از عملیات دورسنجی پژوهش حاضر، فعالیت‌های اکتشافی متعددی صورت گرفته است. تهیه نقشه توپوگرافی-زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰، احداث جاده اکتشافی دسترسی به ماده معدنی با راستای تقریبی شرقی-غربی به طول ۶۵۰ متر (که خود در حکم یک ترانشه اکتشافی طولانی نیز می‌باشد)، حفر تعداد شش رشته ترانشه اکتشافی به‌طور کامل منظم نسبت به یکدیگر با راستای کم‌وبیش شمالی-جنوبی عمود بر امتداد تقریبی ماده معدنی با حجم کلی ۱۳۵/۶۱ مترمکعب توسط بیل مکانیکی، ایجاد سینه‌کار اکتشافی و حفر یک حلقه گمانه اکتشافی با عمق ۴۰ متر مهم‌ترین فعالیت‌های اکتشافی این کانسار هستند که اطلاعات همه آنها در دسترس می‌باشد. برای تهیه نقشه توپوگرافی-زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ کانسار ابتدا توپوگرافی تمام سطح محدوده مورد مطالعه با استفاده از پهپاد به‌صورت هوایی برداشت شد. سپس نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ کانسار از طریق شبکه‌بندی، بررسی میدانی واحدهای لیتولوژی گسترده و به کمک ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فرم‌هین تهیه شد و بر روی نقشه توپوگرافی گسترده، پیاده شد. در نهایت، تخمین ذخیره کانسار با روش کلاسیک خطوط تراز و به کمک نرم‌افزار Surfer صورت گرفت.

اصول پایه پیش‌پردازش و پردازش تصویرهای ماهواره‌ای

گام نخست در استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای، انجام پیش‌پردازش‌های رادیومتری^۱ و هندسی^۲ تصویرهای خام است (رنجبر و معصومی، ۱۳۹۰). داده‌های ماهواره‌ای به دلایلی همانند ناهمواری‌های سطح زمین، وجود انحناء و چرخش آن، ارتفاع سنجنده، انحراف پانوراماتیک، ثابت نبودن سکوها و خطای مربوط به تجهیزات، دارای خطاهایی است که منجر به غیرواقعی بودن مختصات عوارض زمینی می‌شوند. تصحیح هندسی به‌منظور ایجاد تصویری در قالب یک شبکه تعیین‌شده جغرافیایی انجام می‌گیرد (آقاجانی و همکاران، ۱۳۸۵). تصحیح رادیومتری برای همانندسازی

1. Radiometric correction
2. Geometric correction
3. Histogram

مختصات (X, Y) و ارتفاع سطح پایینی ماده معدنی (Z_2) وارد می‌شود. ارتفاعات بالایی (Z_1) و پایینی (Z_2) ماده معدنی را می‌توان از روی نقشه توپوگرافی-زمین‌شناسی رسم شده یا اطلاعات کارهای اکتشافی انجام شده به دست آورد. همچنین مختصات نقاط حاشیه‌ای (حد و مرز ماده معدنی) در روی نقشه بدون داشتن ارتفاع، در یک فایل جداگانه وارد خواهد شد که به نام فایل تخلیه نامیده می‌شود. با ادغام این فایل با فایل‌هایی که پیشتر ایجاد شده‌اند، در واقع برای ماده معدنی، حد و مرزی تعریف می‌شود.

به طور کلی در نرم افزار Surfer سه روش برای محاسبه حجم وجود دارد. روش استفاده از قانون دوزنقه^۲، قانون سیمسون^۳، قانون $3/8$ سیمسون، و روش کندن و پرکردن^۴. این سه روش تحت عنوان تابع اولیه عددی و یا انتگرال گیری عددی شناخته می‌شوند (Thakur et al., 2023). فرمول‌های انتگرال گیری دوزنقه‌ای، سیمسون و $3/8$ سیمسون حالت‌های خاصی از فرمول انتگرال گیری نیوتن هستند. در تمام این روش‌ها هدف محاسبه یک انتگرال معین مطابق رابطه ۱ می‌باشد.

$$I = \int_a^b f(x) dx \quad \text{رابطه ۱}$$

هر یک از این روش‌ها جواب رابطه ۱ را به صورت رابطه ۲ تعریف می‌کند.

$$I = \int_a^b f(x) dx = F(X) + R(X) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه، $R(X)$ میزان خطای ناشی از تقریب خواهد بود. در تمام این روش‌ها برای انتگرال گیری عددی بین دو بازه مشخص، از فواصل عددی معین استفاده می‌شود. در روش دوزنقه سطح زیر یک منحنی محصور به دو فاصله مشخص با سطح یک دوزنقه، تقریب زده می‌شود، حال آنکه در روش سیمسون چنین سطحی را با سطح زیر یک منحنی، تقریب می‌زنند و خطای آن به مراتب کمتر از روش دوزنقه است. بنابراین دقت روش سیمسون از روش دوزنقه بیشتر خواهد بود. تفاوت روش سیمسون با روش

تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی: تجزیه مؤلفه‌های اصلی یک روش ریاضی است که امروزه در صنعت پردازش تصویر به شکل گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ به گونه‌ای که تعدادی از باندهای طیفی همبسته را به تعداد کمتری از باندهای طیفی غیرهمبسته به نام اجزای اصلی تبدیل می‌کند (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۰). در حقیقت این روش به منظور کاهش باندهای ورودی و به کار بردن باندهای شامل اطلاعات مهم‌تر استفاده می‌شود (کیانی و طباطبایی، ۱۳۹۶)، همچنین این روش ابزاری دقیق به منظور کاهش اثرات پوشش گیاهی و آشکار سازی پهنه‌های دگرسانی است. با این حال PCA، قادر به حذف اثرات توپوگرافی و جوی نیست (هدایت و طباطبایی، ۱۳۹۲).

بارسازی به روش نگاشت زاویه طیفی: بردار هندسی پیکسل‌ها در فضای n بعدی طیفی دارای بزرگی (طول) و زاویه اندازه‌گیری شده نسبت به محورهایی است که به عنوان سیستم مختصات در فضا تعریف شده‌اند. یک روش ساده ولی مناسب برای طیف خطی غیرترکیبی که هیچ مفهوم آماری ندارد، روش نگاشت زاویه طیفی است. شناسایی پیکسل‌ها در این روش تنها به واسطه اطلاعات زاویه‌ای است. بدین صورت که اگر به فرض دو باند طیفی در طبقه‌بندی وارد شود، فضایی دوبعدی به وجود آمده و ویژگی‌های طیفی همه توسط زاویه آن‌ها به نسبت محور افقی و یا عمودی، ویژه‌سازی می‌شود و طیف آن‌ها می‌تواند از هر زاویه طیفی موثر دیگر متمایز گردد (Girouard et al., 2004; Paola and Schowengerdt, 1997).

روش خطوط تراز محاسبه ذخیره با نرم افزار Surfer

اساس روش محاسبه ذخیره با استفاده از نرم افزار Surfer تعیین حجم ماده معدنی محصور بین دو مقطع افقی، مطابق تئوری روش خطوط تراز و سپس تعیین میزان ذخیره ماده معدنی می‌باشد. برای این منظور ابتدا بایستی داده‌های ورودی را پردازش کرد. در این راستا باید در نرم افزار Surfer دو فایل جداگانه ایجاد شود. در فایل اول مختصات (X, Y) و ارتفاع سطح بالایی ماده معدنی (Z_1) و در فایل دوم

1. Blank file
2. Trapezoidal
3. Simpson
4. Cut and Fill

است نتیجه‌ها اهمیت کمی داشته باشند؛ به‌ویژه وقتی که نتیجه‌ها نزدیک به صفر باشند. در این حال باید به نتایج حجم‌های کردن و پرکردن نیز توجه کرد تا یک ایده برای خطای نسبی حاصل شود. اختلاف حجم‌های کردن و پرکردن همواره خیلی نزدیک به روش دوزنقه است (Tutorial-Golden software, 2024).

بحث

پردازش تصویرهای ماهواره‌ای گستره مورد مطالعه

در پژوهش حاضر ابتدا از نسبت‌گیری باندی باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۸ نسبت به باند ۷ برای تشخیص کانسار ژیبس استفاده شد، اما با توجه به بزرگی گستره مورد بررسی، این روش کارایی چندانی نداشت. در گام به‌کارگیری روش ترکیب رنگی کاذب، از تفاوت در میزان بازتاب و جذب کانی ژیبس در باندهای مختلف استفاده شد. در سنجنده OLI لندست ۸ در خصوص کانی ژیبس (ماده معدنی گچ) بیشترین میزان جذب و بازتاب به ترتیب مربوط به باندهای شماره ۷ و ۲ می‌باشد. شکل ۳ نتایج حاصل از این مرحله از فرایند را نشان می‌دهد. مطابق این شکل با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب، تعداد ۱۷ پتانسیل گچ به‌صورت دوایر توخالی قرمز رنگ در گستره مورد مطالعه شناسایی شده است. همان‌گونه که بیان شد، روش PCA برای کاهش ابعاد داده‌های ورودی به‌کار می‌رود تا امکان از دست رفتن اطلاعات مفید کمینه شود، زیرا گاهی تنها اطلاعات خاصی از برخی باندهای طیفی مورد نیاز است و لازم نیست که تمامی باندها مورد تحلیل قرار گیرند. همچنین در هنگام کاهش باندهای ورودی، احتمال مشخص کردن یک مؤلفه اصلی معین برای کانی‌های خاص افزایش می‌یابد. نتیجه‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی سنجنده OLI در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به داده‌های این جدول مشاهده می‌شود که PC4 منجر به حصول بهترین نتیجه می‌شود و تصویر حاصل از این پردازش نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل نیز دوایر توخالی قرمز رنگ نشان‌دهنده محدوده‌های امیدبخش دارای گچ هستند.

برای داده‌های سنجنده OLI با روش LS-Fit، ترکیب

۳/۸ سیمسون در چگونگی انتخاب فواصل انتگرال‌گیری می‌باشد.

فرض کنید $x_n = b$ و $x_0 = a$ ، به‌ازای هر $0 \leq i \leq n$ ، $h = \frac{b-a}{n}$ ، $x_i = a + ih$ ، $\sum_{i=0}^n a(i)f(i)$ فرمول انتگرال‌گیری $n+1$ نقطه بسته نیوتن باشد، در این صورت فرمول انتگرال‌گیری بسته نیوتن به‌ازای $n=1$ (رابطه ۳) فرمول دوزنقه‌ای را ایجاد می‌کند.

$$\int_{x_0}^{x_1} f(x) dx = \frac{h}{2} [f(x_0) + f(x_1)] - \frac{h^3}{12} f''(\zeta),$$

رابطه ۳ $\zeta \in [x_0, x_1]$

فرمول انتگرال‌گیری نیوتن به‌ازای $n=2$ (رابطه ۴) فرمول سیمسون را تشکیل می‌دهد.

$$\int_{x_0}^{x_2} f(x) dx = \frac{h}{3} [f(x_0) + 4f(x_1) + f(x_2)] - \frac{h^5}{90}$$

رابطه ۴ $f^{(5)}(\zeta), \zeta \in [x_0, x_2]$

و فرمول انتگرال‌گیری بسته نیوتن به‌ازای $n=3$ (رابطه ۵) فرمول ۳/۸ سیمسون را به‌وجود می‌آورد.

$$\int_{x_0}^{x_3} f(x) dx = \frac{3h}{8} [f(x_0) + 3f(x_1) + 3f(x_2) + f(x_3)]$$

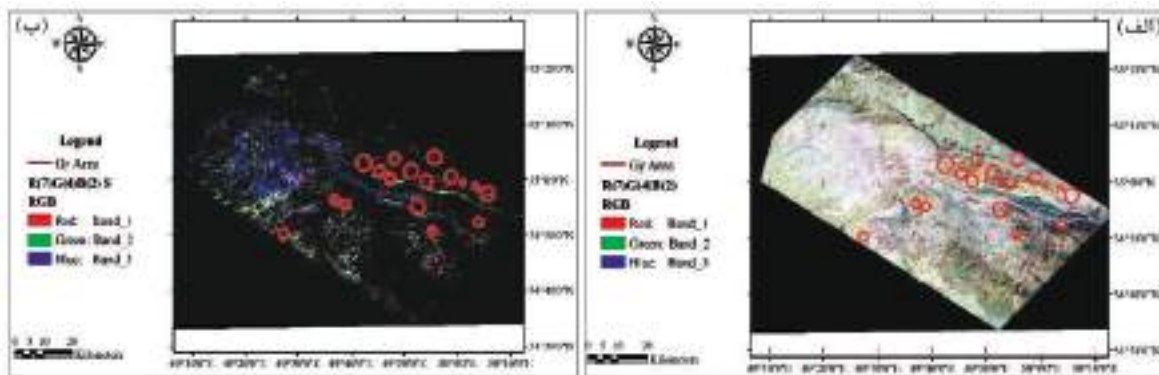
رابطه ۵ $-\frac{3h^5}{80} f^{(5)}(\zeta), \zeta \in [x_0, x_3]$

روش‌های انتگرال‌گیری عددی که اختصاصی به آن‌ها اشاره شد، به‌عنوان یک انتگرال سطح در نظر گرفته می‌شوند و یک بعدی هستند. حال آنکه برای محاسبه حجم، به انتگرال‌گیری عددی در دو بعد نیاز است.

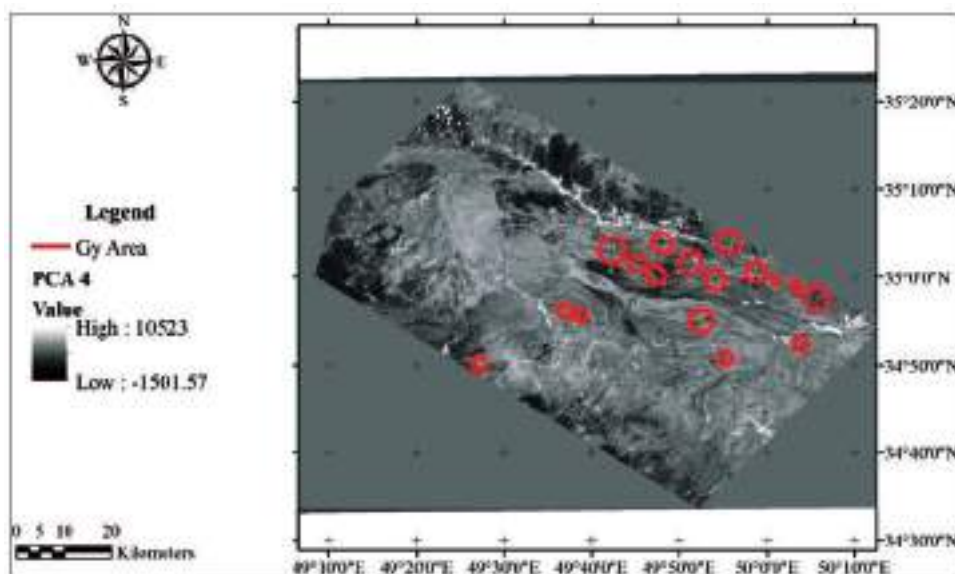
روش‌های محاسبه حجم بکار رفته در نرم‌افزار Surfer به‌عنوان یک انتگرال پشت‌سرهم در نظر گرفته می‌شوند که محاسبات، ابتدا در مسیر X و سپس در مسیر Y انجام می‌گیرند. برای تخمین میزان خطا می‌توان نتایج حاصل از سه روش را با یکدیگر مقایسه کرد. اگر سطح بالایی همواره بالای سطح زیرین باشد، نتایج همواره دست‌کم تا پنج یا شش رقم اعشار قابل قبول هستند. باوجوداین اگر سطح بالایی همواره بالای سطح زیرین باشد، ممکن

جدول ۱. بردارهای ویژه حاصل از تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی داده‌های سنجنده OLI در محدوده مورد مطالعه

	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
PC1	-0.408021	-0.458259	-0.532970	-0.582633
PC2	-0.434617	-0.262697	-0.317032	0.800992
PC3	0.459816	0.409660	-0.784452	0.073364
PC4	0.658176	-0.743752	0.008286	0.116481



شکل ۳. تصویرهای گستره مورد بررسی حاصل از سنجنده OLI با اعمال ترکیب رنگی کاذب، الف) (R(7)G(4)B(2)، ب) (R(7)G(4)B(2) Stretch




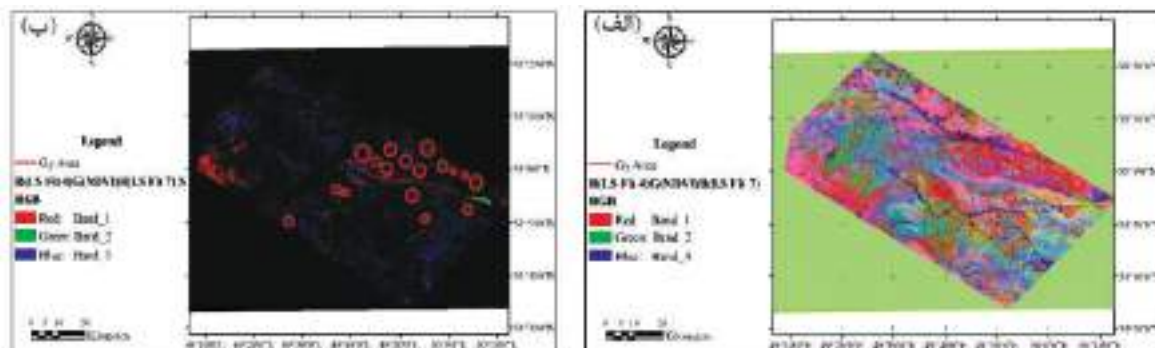
شکل ۴. تصویر داده‌های OLI ناحیه مورد مطالعه با PC4

ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج دورسنجی

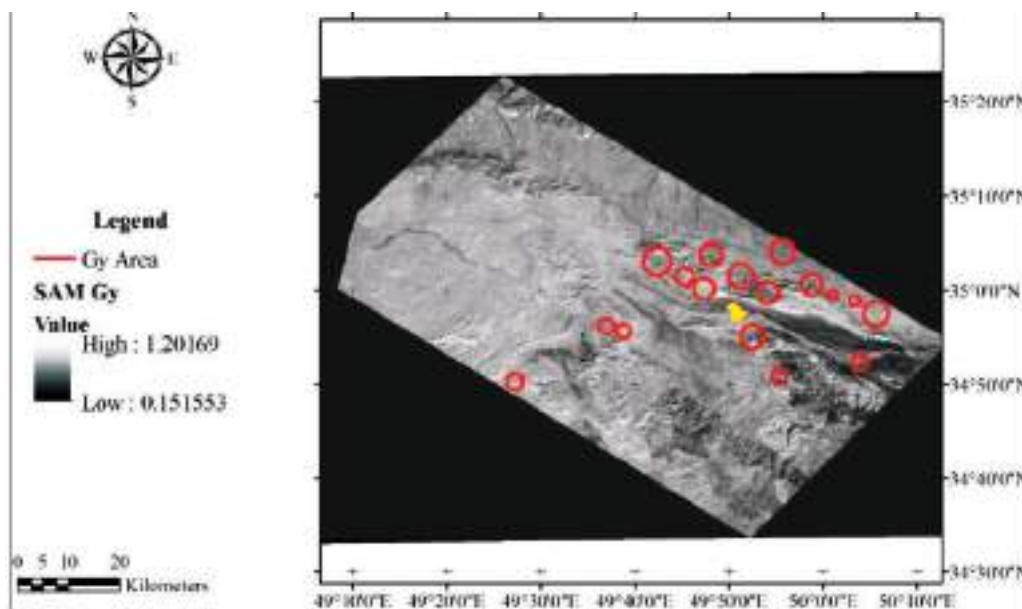
پس از انجام عملیات دورسنجی، اعمال پیش‌پردازش و پردازش‌های مناسب و شناسایی مناطق با پتانسیل بالای گچ (دوایر توخالی قرمز رنگ در شکل ۶)، به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج، بازدیدهای میدانی از ناحیه شمال غرب تفرش صورت گرفت. بررسی‌های میدانی نشان داد که تعداد

رنگی R(4)G(NDVI)B(7) نتیجه شده است. در شکل ۵ نواحی با رنگ‌های نارنجی و زرد، احتمال بالای کانی‌سازی ژئیس را نشان می‌دهند. با استفاده از داده‌های کتابخانه طیفی، داده‌های ناحیه مورد مطالعه با روش SAM مورد پردازش قرار گرفته که تصویر حاصل از آن در شکل ۶ آورده شده است.


۱۷ اندیس از نهشته‌های گچ به‌طور پراکنده در سطح این ناحیه وجود دارد. به‌ویژه در منطقه مشخص‌شده با دایره توخالی قرمز رنگ و نماد  بالای آن، پتانسیل معدنی قابل توجهی از گچ وجود دارد.



شکل ۵. ترکیب رنگی RGB(6,7,5) فیلتر LS-Fit داده‌های OLI ناحیه مورد مطالعه، الف) B(7)R(4)G(NDVI)، ب) R(4)G(NDVI)B(7) Stretch



شکل ۶. تصویر حاصل از به‌کارگیری روش SAM برای شناسایی پتانسیل‌های ژئوپس در ناحیه مورد مطالعه

در شکل ۷ نیز نمای نزدیک نهشته بالقوه معدنی گچ در محدوده مورد مطالعه (متناظر با دایره توخالی قرمز رنگ و نماد  بالای آن در شکل ۶) واقع در مجاورت روستای دربر نشان داده شده است. گچ این منطقه بیشتر از نوع توده‌ای است که در بعضی نقاط انواع گچ نودولار، رشته‌ای و بلورین نیز دیده می‌شود. به‌منظور تعیین دقیق پهنه گسترش سطحی و عمقی و میزان ذخیره کانسار، در این گستره عملیات اکتشاف تکمیلی صورت گرفت و نوع، درجه خلوص و کیفیت گچ کانسار نیز از طریق آزمایش‌های تجزیه شیمیایی و پخت، تعیین شد.



شکل ۷. نمایی نزدیک از نهشته بالقوه معدنی گچ دربر (دید به سمت شمال غرب)

ساختار معدنی منطقه

غربی و عرض تقریبی ۱۰ متر در راستای شمالی-جنوبی ایجاد شده است (چهارضلعی S1S2S3S4 در شکل‌های ۸ و ۱۰). برای تعیین کیفیت سنگ گچ گستره، ترکیب شیمیایی سنگ‌های گستره، تشخیص نوع عناصر و درصد حضور کانی‌های سازنده سنگ، از ترانسه‌های مختلف و بخش‌های دارای پتانسیل معدنی، تعداد نه نمونه برداشت شده (شکل ۱۰) و تجزیه شیمیایی چندعنصری با روش‌های ذوب قلیایی^۱ و فلورسانس اشعه ایکس (XRF) در آزمایشگاه موسسه مطالعات معدنی زرآما و آزمایشگاه تحقیقاتی حسگر مواد صبا (HMS) بر روی آن‌ها صورت گرفته که نتیجه آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به داده‌های این جدول مشاهده می‌شود که مجموع درصد ترکیبات SO_3 و CaO به عنوان یکی از مهم‌ترین معیارهای سنجش اولیه سنگ گچ، برای تمام نمونه‌های آزمایش شده از ۷۶ درصد بیشتر است؛ به عبارت دیگر درجه خلوص و کیفیت سنگ گچ گستره مورد مطالعه، تا اندازه‌ای مطلوب ارزیابی می‌شود. همچنین برای انجام آزمون مشخصات فنی و کاربردی، یک نمونه بزرگ در مقیاس صنعتی از محل سینه‌کار اکتشافی، برداشت شده و برای انجام آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های کیفی سنگ و قابلیت پخت، در آزمایشگاه شرکت سیمان نیزار قم مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته است ($CaO=32.34\%$, $SO_3=44.27\%$) که نتیجه آن نیز مطلوب می‌باشد.

بخش با اهمیت از نظر وجود ماده معدنی در کانسار گچ دربر به صورت یک توده کم‌وبیش هم‌بعد (نمایش داده شده با خط ضخیم آبی‌رنگ بر روی شکل ۲) است و حدود ۳۵ درصد از کل سطح گستره مورد مطالعه (نهضلعی غیرمنتظم ثبت‌شده برای انجام عملیات اکتشاف) را ماده معدنی گچ تشکیل می‌دهد. البته کیفیت گچ در تمام بخش‌ها به طور کامل یکسان نیست. در واقع در بخش‌های جنوبی و غربی گستره، تپه‌ماهورهای رسی، مارنی، توفی و آهکی وجود دارند که در آن‌ها هرگز ماده معدنی وجود ندارد و در بخش شمالی گستره نیز کیفیت ماده معدنی به دلیل اختلاط با رس‌ها و آهک‌ها، بسیار پایین است.

ترانسه‌های اکتشافی در بخش پرتانسیل ماده معدنی و در طرفین جاده دسترسی به ماده معدنی، ایجاد شده و از شرق به غرب به ترتیب با شماره‌های ۱ تا ۶ و به نام‌های T_1 تا T_6 نام‌گذاری شده‌اند. در شکل ۸ نمایی از جاده دسترسی، محل سینه‌کار و موقعیت ترانسه‌های اکتشافی ایجادشده، بر روی تصویر هوایی Google Earth سطح منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. در این شکل موقعیت ابتدا و انتهای ترانسه‌ها با نماد زردرنگ مشخص شده‌اند. در شکل ۹ نیز تصویر برخی از این ترانسه‌ها نمایش داده شده است. در بخش نزدیک به مرکزی نیمه شمالی کانسار و بر روی بخش مستعد معدنی، یک سینه‌کار اکتشافی به نسبت کوچک به طول حدود ۱۸ متر در راستای شرقی-

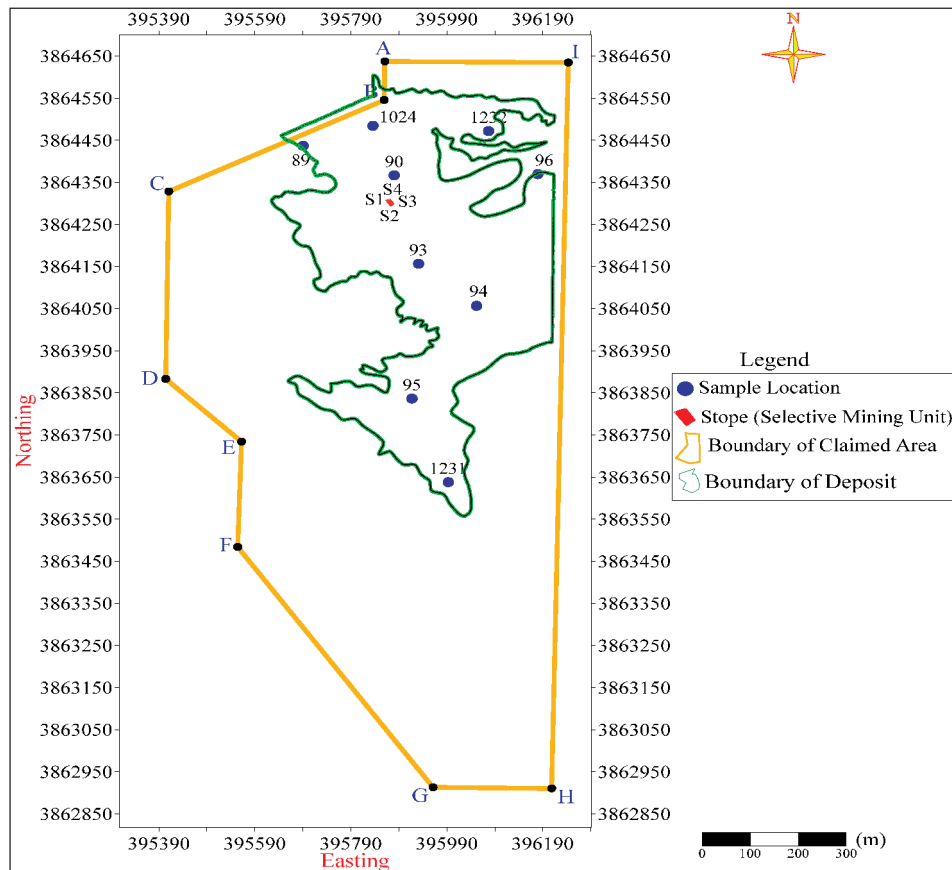
1. Alkaline Fusion



شکل ۸. جاده دسترسی، سینه‌کار و ترانشه‌های اکتشافی ایجاد شده در کانسار گچ دربر روی تصویر Google Earth



شکل ۹. تصویر برخی از ترانشه‌های اکتشافی ایجاد شده در منطقه، الف) ترانشه‌های T1 و T2 در یک قاب (دید به سمت جنوب)، ب) نمای کلی ترانشه T4 (دید به سمت جنوب)، ج) نمایی از ترانشه T6 (دید به سمت شمال)



شکل ۱۰. موقعیت نمونه‌های برداشت شده از کانسار و سینه کار اکتشافی احداث شده در گستره مورد مطالعه

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی تعداد نه نمونه برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

Sample	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MnO (%)	BaO (%)	SO ₃ (%)	Sr (%)	LOI (%)
۸۹	۰/۹۴	۰/۲۴	<	۰/۰۸	۳۲/۱۳	۰/۰۸	<	<	<	۴۵/۸۸	>	۲۰/۶۵
۹۰	۲/۶۳	۰/۵۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۳۱/۳۸	۰/۲۲	<	۰/۰۵	<	۴۴/۸	۰/۰۷	۲۰/۱۷
۹۳	۰/۷۲	۰/۱۷	<	۰/۱۶	۳۲/۱۵	۰/۰۶	<	<	<	۴۵/۸۹	۰/۱۹	۲۰/۶۶
۹۴	۰/۴۶	۰/۱	<	۰/۱۱	۳۲/۲۵	۰/۰۶	<	<	<	۴۶/۰۵	۰/۲۴	۲۰/۷۳
۹۵	۰/۵۲	۰/۰۸	<	۰/۰۶	۳۲/۲۵	۰/۰۹	<	<	<	۴۶/۰۴	۰/۲۴	۲۰/۷۲
۹۶	۰/۳۵	<	<	<	۳۲/۴۲	<	<	<	<	۴۶/۲۹	۰/۱	۲۰/۸۴
۱۰۲۴	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۳	۳۲/۱۳	<۰/۰۱	<۰/۰۱	N	N	۴۵/۸	N	۲۱/۹
۱۲۳۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۳۲/۳۰	۰/۰۲	۰/۰۱	-	-	۴۶/۳۳	-	۲۰/۸۵
۱۲۳۲	۰/۲۵	۰/۳۱	۰/۰۹	۰/۳۵	۳۲/۷۶	<۰/۰۱	<۰/۰۱	-	-	۴۴/۹۲	-	۲۱/۳

جغرافیایی ۳۸۶۴۲۶۰ متر حفاری شده است. براساس نتایج حاصل از حفر این گمانه متوسط ضخامت ماده معدنی کانسار در سطح گستره دارای پتانسیل معدنی، حدود ۳۰ متر تخمین زده می‌شود. در شکل ۱۱ موقعیت دهانه این گمانه اکتشافی و چندتکه از مغزه‌های حاصل از حفاری نشان داده شده است.

به منظور دستیابی به اطلاعات اکتشافی در اعماق و تعیین میزان ضخامت ماده معدنی در گستره، نیاز به حفر گمانه اکتشافی عمیق می‌باشد. برای این منظور یک حلقه گمانه اکتشافی قائم با قطر ۱۰ سانتی‌متر و عمق حدود ۴۰ متر در موقعیت مناسب دارای پتانسیل معدنی و در بخش مرتفع از منطقه با طول جغرافیایی ۳۹۵۸۵۰ متر و عرض



شکل ۱۱. موقعیت دهانه گمانه اکتشافی و چندتکه از مغزه‌های حاصل از حفاری

انتخاب روش محاسبه ذخیره کانسار گچ دربر

میان روش‌های مختلف محاسبه ذخیره، روش کلاسیک خطوط تراز (منحنی‌های میزان)، مناسب‌تر است. این کار با استفاده از نرم‌افزار Surfer صورت گرفت. میزان چگالی ماده معدنی نیز براساس آزمایش‌های فیزیکی انجام شده بر روی دو نمونه سنگ، به‌طور متوسط برابر با ۱/۹۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب منظور شد.

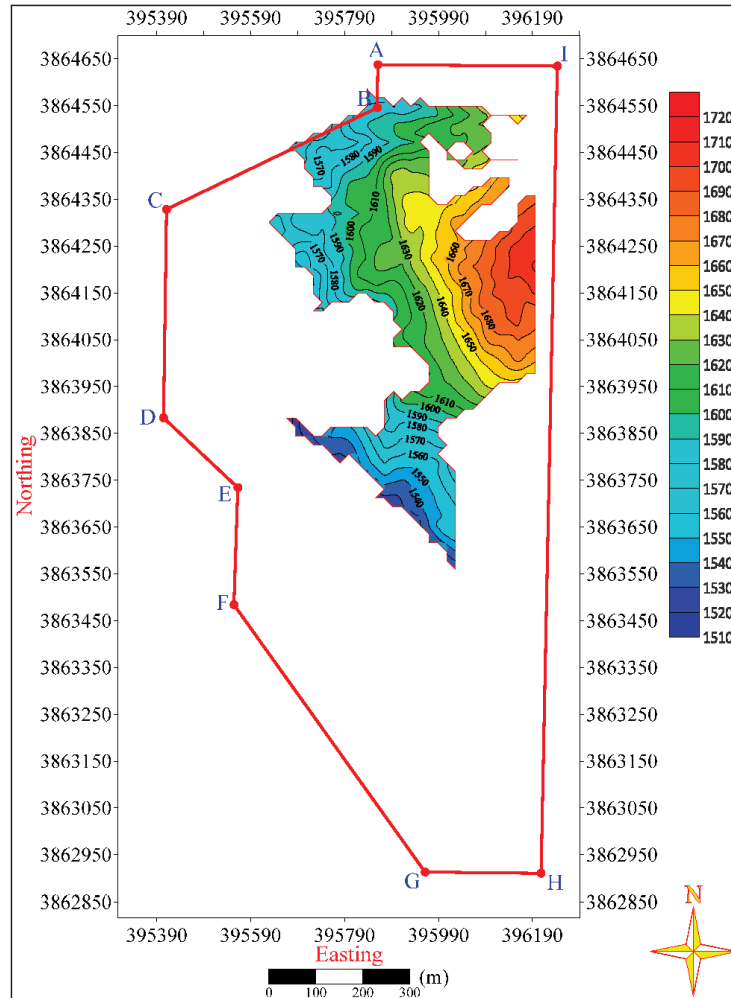
مدل‌سازی و تخمین ذخیره کانسار گچ دربر

برای محاسبه ذخیره ماده معدنی در گستره، سطح بالایی ماده معدنی، توپوگرافی سطح زمین (با کسر یک متر نخست سطحی به‌عنوان قشر هوازده سطحی) و سطح پایینی آن یک سطح افقی با ارتفاع ۱۵۱۲ متر منظور شد. درون‌یابی سطح بالایی ماده معدنی نیز توسط یک شبکه مربعی با سلول‌هایی به‌ابعاد حدود ۱۹×۱۹ متر با استفاده از الگوریتم عکس مجذور فاصله انجام شد. حد و مرز نهایی ماده معدنی در سطح گستره هم براساس بازدیدهای صحرایی از منطقه تعیین شد (خط ضخیم آبی‌رنگ بر روی شکل ۲).

در شکل ۱۲ نیز نقشه توپوگرافی سطح بالایی ماده معدنی در کانسار گچ دربر رسم شده است. در واقع ذخیره ماده معدنی بین این سطح و یک سطح افقی پایینی، محصور است. ذخیره برجای ماده معدنی در بخش شمال شرق گستره متمرکز می‌باشد. در شکل ۱۳ نقشه دوبرعده‌ای حد و مرز ماده معدنی و مدل سه‌بعدی (جامد) ذخیره برجای گستره مورد مطالعه نشان داده شده است. البته به دلیل وجود

هر کانسار دارای ویژگی‌هایی مانند عیار، ضخامت، عمق و مانند آن‌ها است که در حقیقت توسط آن‌ها تعریف می‌شود. شناخت کامل یک کانسار، مستلزم انجام یک سری عملیات پردازشی و مدل‌سازی داده‌های اکتشافی است (عطائی‌پور، ۱۳۹۸؛ Erickson, 1992). مدل‌سازی کمی کانسارها کمک زیادی به شناخت کامل‌تر توده‌های کانساری، ساختار آن‌ها، نحوه جهت‌یافتگی و گسترش فضایی آن‌ها و در نتیجه تخمین درست میزان ذخیره می‌کند (Jones et al., 2017; Haldar, 2018; Revuelta, 2018, 2019). این کار به‌دلیل پیچیدگی‌های موجود، زمان‌بر بودن و مشکل بودن محاسبات مربوطه، با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی، دقیق‌تر و سریع‌تر انجام می‌شود. محاسبه ذخیره کانسار با روش‌های مختلفی انجام می‌شود و انتخاب روش محاسبه ذخیره، تابع وضعیت ماده معدنی و مشخصات کارهای اکتشافی است (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷؛ مدنی، ۱۳۷۶؛ Dimitrakopoulos, 2020; Annels, 2012). نکته مهم و قابل توجه در مورد محاسبه ذخیره معدنی آن است که چون در اغلب موارد اکتشاف کانسار براساس اطلاعات اکتشافی کم صورت می‌گیرد و شرایط زمین‌شناسی در تمام گستره نیز یکسان نمی‌باشد و دارای پیچیدگی و تغییرات است، بنابراین ذخیره محاسبه‌شده همواره با مقداری خطا توأم می‌باشد (احمدی، ۱۳۹۹). براساس نوع و وضعیت ماده معدنی، میزان و نوع کارهای اکتشافی انجام شده و اطلاعات اکتشافی موجود، برای محاسبه ذخیره کانسار گچ دربر از

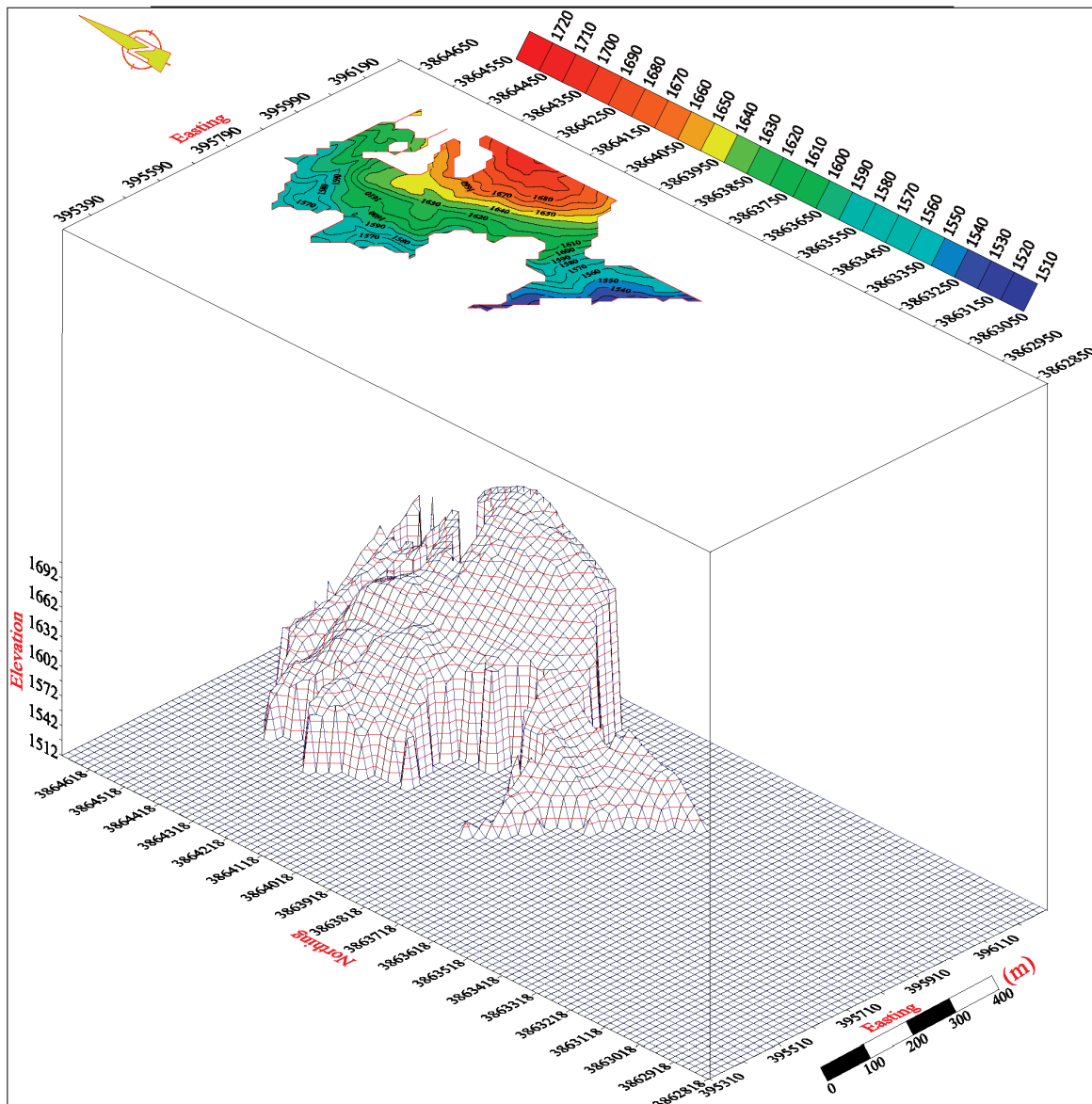
ناخالصی‌ها و باطله‌های درون این بخش از کانسار و در نتیجه اختلاط ماده معدنی با باطله تنها ۱۰ درصد از آن به عنوان ذخیره قابل استخراج منظور می‌شود. نتایج محاسبه ذخیره قطعی برجای ماده معدنی گستره مورد مطالعه با این روش هم در جدول ۳ خلاصه شده است. براساس محاسبات صورت گرفته، میزان ذخیره برجای کانسار گچ دربر، حدود ۵۹۸۲۶۱۰ تن (میانگین نتایج محاسبه ذخیره با استفاده از چهار روش جدول ۳) برآورد شد که میزان ذخیره قابل توجهی می‌باشد.



شکل ۱۲. نقشه توپوگرافی سطح بالایی ماده معدنی در کانسار گچ دربر

جدول ۳. نتایج محاسبه ذخیره برجای پهنه اکتشافی به کمک نرم‌افزار Surfer

میزان ذخیره برجای ماده معدنی (تن)	میزان حجم ماده معدنی برجا (متر مکعب)	پارامتر اندازه‌گیری روش تعیین حجم
۵۹۵۵۸۸۹/۷۵۱	۳۱۰۲۰۲۵/۹۱۲	قانون دوزنقه
۶۰۱۲۲۴۶/۷۶۲	۳۱۳۱۳۷۸/۵۲۲	قانون سیمسون
۶۰۰۶۴۱۴/۱۴۸	۳۱۲۸۳۴۰/۷۰۲	قانون ۳/۸ سیمسون
۵۹۵۵۸۸۹/۷۵۱	۳۱۰۲۰۲۵/۹۱۲	کندن و پرکردن



شکل ۱۳. نقشه دوبعدی حد و مرز ماده معدنی و مدل سه‌بعدی ذخیره برجای منطقه مورد مطالعه

مطالعات پیش‌امکان‌سنجی کانسار گچ دربر

مواد مصرفی، نیروی کار و غیره)، نزدیکی به جاده‌های آسفالته اصلی اراک-تفرش، تفرش-محلات، تفرش-آشتیان و در نتیجه امکان حمل و نقل ماده معدنی، امکان فعالیت معدنکاری در طی ۹ ماه از طول سال، کاربری ماده معدنی در بازار مصرف، نیاز روزافزون و میزان تقاضای زیاد محصول، وسعت زیاد کانسار، ضخامت مطلوب ماده معدنی (متوسط ۳۰ متر)، میزان ذخیره تخمینی بالای ماده معدنی، کیفیت مطلوب ماده معدنی، امکان فعالیت معدنکاری روباز

ازجمله مهم‌ترین عوامل موثر در ارتباط با اقتصادی بودن کانسارهای غیرفلزی همانند سنگ گچ، کمیت و کیفیت ماده معدنی، تجهیزات استخراج، شرایط دسترسی به معدن، شرایط آب‌وهوایی، حمل‌ونقل محصول و تمرکز منطقه‌ای جهت شناخت و رجوع متقاضیان خرید محصول می‌باشد. با توجه به موقعیت مکانی مناسب و توسعه‌یافتگی اقتصادی و اجتماعی گستره (نزدیکی به شهرهای تفرش، آشتیان و محلات و در نتیجه امکان دسترسی به امکانات،

اختلاف چشم‌گیر میزان جذب و بازتاب کانی ژئیس در باندهای به ترتیب ۷ و ۲ ماهواره لندست ۸ است. علاوه بر این، برای افزایش دقت و اطمینان از نتیجه‌های به دست آمده، پردازش‌های مناسب دیگری نیز بر روی تصویرها صورت گرفت. نتایج حاصل از این فرآیند منجر به شناسایی تعداد ۱۷ پهنه با پتانسیل گچ به صورت پراکنده در سطح ناحیه مورد مطالعه شد که پس از بررسی‌های میدانی، یک پهنه به عنوان پتانسیل معدنی با ارزش در مجاورت روستای دربر به نام کانسار گچ دربر انتخاب شد. برای شناخت کامل از نظر شکل هندسی، اندازه و ابعاد، نحوه گسترش فضایی، گسترش عمقی، کیفیت ماده معدنی، میزان ذخیره، اقتصادی بودن و در عین حال تامین هزینه‌های عملیات اکتشاف، مراحل اکتشافی بر روی کانسار گچ دربر صورت گرفت.

نتایج حاصل از فعالیت‌های اکتشافی و مدل‌سازی کانسار گچ دربر نشان می‌دهد که کیفیت سنگ گچ این پهنه با مجموع درصد ترکیبات SO_3 و CaO بیش از ۷۶ درصد برای تمام نمونه‌های آزمایش شده، تا اندازه‌ای مطلوب است. همچنین نتیجه آزمون بازاریابی و کاربردی از طریق انجام آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های کیفی سنگ و قابلیت پخت، توسط کارخانه سیمان نینزار قم بر روی یک نمونه بزرگ در مقیاس صنعتی، مطلوب ارزیابی شد. بر پایه مدل‌سازی و تخمین ذخیره کانسار گچ دربر به روش کلاسیک خطوط تراز به کمک نرم‌افزار Surfer میزان ذخیره بر جای کانسار، حدود ۵۹۸۲۶۱۰ تن برآورد شد که میزان ذخیره قابل توجهی می‌باشد.

علاوه بر این، مطالعات اولیه طرح توجیه فنی و اقتصادی برای کانسار گچ دربر انجام شد. با توجه به ارزیابی مثبت مطالعات پیش‌امکان‌سنجی، پیشنهاد می‌شود که با جذب سرمایه‌گذاری، یک کارخانه گچ در موقعیتی مناسب و در نزدیکی کانسار، احداث شود و محصول در محل تولید شود تا هزینه‌های به نسبت بالای حمل و نقل ماده معدنی کاهش یابد. در حال حاضر هزینه حمل هر تن محصول از محل کانسار تا محل مصرف (کارخانه سیمان نینزار قم) با مسافت ۱۴۵ کیلومتر، حدود ۳۰۰۰۰۰۰ ریال (معادل سیصد هزار تومان) است.

به صورت پلکانی مستقیم با ایجاد سه پله استخراجی هر کدام با ارتفاع ۱۰ متر و تولید حدود ۹۶۰۰۰ تن محصول با کیفیت در طول یک سال، شرایط آن مطلوب ارزیابی می‌شود. همچنین متوسط قیمت روز فروش هر تن محصول (کلوخه یا سنگ گچ) تولیدی در سر معدن، ۷۰۰۰۰۰ ریال (معادل هفتاد هزار تومان) و در محل مصرف (درب کارخانه سیمان نینزار قم) حدود ۱۶۰۰۰۰۰ ریال (معادل یکصد و شصت هزار تومان)، هزینه استخراج یا تولید روز هر تن محصول (شامل هزینه‌های انفجار برابر با ۸۰۰۰۰ ریال، بارگیری به وسیله بیل مکانیکی برابر با ۳۹۰۰۰۰ ریال، هزینه‌های جانبی و متفرقه شامل سوخت گازوئیل، روغن موتور، پرسنلی و غیره مساوی با ۹۰۰۰۰ ریال) برابر با ۵۶۰۰۰۰۰ ریال (معادل پنجاه و شش هزار تومان) است. در حقیقت به طور متوسط میزان قیمت خالص فروش روز هر تن محصول سر معدن دست کم حدود ۱۴۰۰۰۰ ریال (معادل چهارده هزار تومان) می‌باشد.

بر اساس نتایج فعالیت‌های اکتشافی انجام شده و با در نظر گرفتن همه شرایط از جمله موقعیت جغرافیایی، وضعیت زمین‌شناسی، نوع و کیفیت ماده معدنی، میزان ذخیره، گسترش جانبی و عمقی کانسار، وضعیت دسترسی به ماده معدنی، میزان فاصله تا جاده‌های اصلی و محل مصرف، میزان تقاضای زیاد محصول، امکان تامین نیروی انسانی مورد نیاز و روش استخراج آسان، انجام فعالیت معدنکاری در این کانسار دارای توجیه فنی و اقتصادی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش پتانسیل‌یابی ماده معدنی گچ در ناحیه شمال غرب تفرش در گستره وسیع با استفاده از تصویرهای سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ صورت گرفت. تعیین موقعیت معادن فعال گچ بر روی نقشه زمین‌شناسی و بررسی پاسخ آنها در عملیات دورسنجی، ملاک و معیاری برای شناسایی و تشخیص پتانسیل‌های گچ ناشناخته در گستره مورد مطالعه بود. شاخص‌ترین ویژگی پهنه‌های گچ‌دار در عملیات سنجش از دور، رنگ آبی فیروزه‌ای منحصربه‌فردی است که می‌تواند با روش پردازش ترکیب رنگی کاذب، با درصد اطمینان بالایی مشخص شود. دلیل این موضوع

منابع

- احمدی، ر. و سلطانعلی، م.، ۱۴۰۲. شناسایی و تعیین محل کانسارهای خاک‌زرد (لیمونیت) در سطح استان مرکزی به‌کمک تحلیل و پردازش داده‌های ماهواره‌ای، چهارمین کنفرانس ملی داده‌کاوی در علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران.
- احمدی، ر. و قره‌شیخ‌بیات، ع.، ۱۴۰۰. تلفیق روش‌های سنجش از دور و مغناطیس‌سنجی به‌منظور اکتشاف کانسار آهن در گستره مراغ بندرچارک، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۵، ۵۹، ۴۹-۶۷.
- احمدی، ر.، ۱۳۹۹. مقایسه نتایج روش‌های زمین‌آماری خطی و غیرخطی در مدلسازی و ارزیابی ذخیره کانسار مس نارباغی شمالی ساوه، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۴، ۵۶، ۴۳-۵۹.
- آقاجانی، ح.، تاجیک، م. و احمدی، ج.، ۱۳۸۵. شناسایی مناطق امیدبخش معدنی منطقه جبال بارز (محدوده شهرهای جیرفت-یم) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۵. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۵۸۶.
- حسنی‌پاک، ع.ا.، ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴.
- رفیعی، ی.، علوی‌پناه، س.، ملک‌محمدی، ب.، رضانی‌مهربان، م. و نصیری، ح.، ۱۳۹۰. تهیه نقشه‌های پوشش اراضی به کمک سنجش از دور با استفاده از خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری (مطالعه موردی: پارک ملی و پناهگاه حیات وحش بختگان)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۹۳-۱۱۰.
- رنجبر، ح.ا. و معصومی، ف.ا.، ۱۳۹۰. نقشه‌برداری مناطق دگرسانی شده با استفاده از تصویرهای سنجنده‌های استر و ETM در نیمه شمالی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت، علوم زمین، ۷۹، ۱۲۱-۱۲۸.
- عطائی‌پور، م.، ۱۳۹۸. مبانی مدل‌سازی دوبعدی ذخائر معدنی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۳۲۶.
- کیانی، ا. و طباطبایی، س.ح.، ۱۳۹۶. شناسایی مناطق آلتراسیون مرتبط با کائولن در اطراف معدن کوه لخت، اصفهان، کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین.
- مدنی، ح.، ۱۳۷۶. اصول پی‌جویی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی. انتشارات خانه فرهنگ، ۸۱۶.
- هدایت، ب. و طباطبایی، س.ح.، ۱۳۹۲. شناسایی و تعیین آلتراسیون‌های منطقه اکتشافی کانسار طلای ساری‌گونی در استان کردستان با استفاده از داده‌های ماهواره استر، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی.
- Adiri, Z., Lhissou, R., Harti, A.E., Jellouli, A. and Chakouri, M., 2020. Recent advances in the use of public domain satellite imagery for mineral exploration: A review of Landsat-8 and Sentinel-2 applications. *Ore Geology Reviews*, 117, 103. 10.1016/j.oregeorev.2020.103332.
- Annels, A.E., 2012. *Mineral deposit evaluation: A practical approach*. Springer Science and Business Media, Springer Netherlands, 436.
- Dimitrakopoulos, R., 2020. *Ore Reserve Estimation and Strategic Mine Planning: Stochastic Models and Optimizations with Case Studies*, Springer-Verlag New York Inc., 325.
- Donoghue, M.O., 2006. *Gems*, Sixth edition, Elsevier, 378.
- Erickson, Jr.A.J., 1992. Geological interpretation, modeling and representation. In: H. Hartman (Editor), *SME Mining Engineering Handbook*. SME-AIME, New York, 333-343.
- Feizi, F. and Mansouri, E. 2013. Introducing the iron potential zones using remote sensing studies in South of Qom Province, Iran. *Open Journal of Geology*.
- Girouard, G., Bannari, A., El Harti, A. and Desorchers, A., 2004. Validated Spectral Angle Mapper Algorithm Geological Mapping: Comparative Study Between Quichbird and Landsat-Tm, *Isprs Conferences*, Istanbul.
- Haldar, S.K., 2018. *Mineral Exploration: Principles and Applications*, Second Edition, Elsevier Inc., 360.
- Jones, O., Aspandiar, M.F., Dugdale, A. and Smith, B., 2019. *The Business of Mining: Mineral Deposits, Exploration and Ore-Reserve*

Estimation. London, CRC press, 194.

- Khan, A., Faisal, S., Shafique, M., Khan, S. and Bacha, A.S., 2020. ASTER-based remote sensing investigation of gypsum in the Kohat Plateau, north Pakistan. *Carbonates and Evaporates*, 35(1), 1-13.
- Paola, J.D. and Schowengerdt, R.A., 1997. The effect of neural-network structure on a multispectral land-use/land-cover classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(5), 535-544.
- Revuelta, M.B., 2017. *Mineral Resources: From exploration to sustainability assessment*. Springer International Publishing, Switzerland, 653.
- Revuelta, M.B., 2018. *Mineral Deposits: Types and Geology*. In: *Mineral Resources*, Springer, Cham, 71.
- Sabins Jr, F.F., 1987. *Remote sensing principles and interpretation*. WH Freeman and company.
- Shuai, S., Zhang, Z., Lv, X.B. and Hao, L., 2022. Assessment of new spectral indices and multi-seasonal ASTER data for gypsum mapping. *Carbonates and Evaporites*, 37 (2), 1.
- Thakur, B.R., Kishan, H., Ujjainkar, G., Gupta, V.K., 2023. *Numerical methods and scientific computation*, Ram Prasad Publications, 296.
- Tutorial-Golden software, 2024. www.goldensoftware.com/surfer27
- Yilmaz, I., Marschalko, M. and Bednarik, M., 2011. Gypsum collapse hazards and importance of hazard mapping. *Carbonates and Evaporites*, 26(2), 193-209.