



پتانسیل یابی کانی سازی مس با استفاده از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست در شمال شرقی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ رباط

مرتضی حصیری^۱، سید سعید قنادرپور^۲*

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران morteza.hasiri77@aut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده معدن دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران s.ghannadpour@aut.ac.ir

چکیده

کمر بند فلز زایی ارومیه - دختر به علت وجود توده های نفوذی بسیار که عامل کانی سازی مس و فلزات گران بهای دیگر از جمله طلا بوده، حائز اهمیت است. این کمر بند فلز زایی به صورت یک نوار آتش فشانی بین زون ایران مرکزی و ساندج - سیرجان کشیده شده است. با استفاده از علم سنجش از دور و به کمک تصاویر ماهواره ای سنجنده های گوناگون و در نهایت اعمال پیش پردازش و پردازش های مختلف بر آنها، می توان نواحی امیدبخش از نظر کانی سازی و پتانسیل های معدنی را در محدوده مطالعاتی مشخص کرد. در این مطالعه از تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ جهت پتانسیل یابی کانی سازی مس پورفیری استفاده شده است. محدوده مطالعاتی در شمال شرقی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ رباط و در ۴۵ کیلومتری شهربابک در استان کرمان واقع شده است. سنگ های موجود در محدوده شامل سنگ های آتش فشانی کالک آلکان، آندزیت، داست، دیوریت، کوارتز دیوریت و گرانودیوریت، کنگلومرا، ماسه سنگ و کلریت شیست و کانی های شاخص محدوده شامل کوارتز، آرژیلیت، فلدسپار، سربسیت، کلریت، مگنتیت، ارتوکلاز، پیریت، اپیدوت، کالکوپیریت و بیوتیت است. در این مطالعه، از روش های پیش پردازش متنوعی همچون تصحیحات هندسی و رادیومتریک که شامل IAR Reflectance, Dark Subtraction, Correction و Log Residuals Correction است، استفاده گردید. علاوه بر این، روش های گوناگونی در پردازش تصاویر که شامل تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA)، ترکیب رنگی کاذب (FCC)، نسبت باندهای (Band Ratio) و روش کمترین مربعات رگرسیون (LS-Fit) است، به کار گرفته شد که منجر به شناسایی کانی های رسی، مناطق امیدبخش مس و کانی زایی اکسید آهن در محدوده مطالعاتی شده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده اهمیت محدوده مطالعاتی از نظر کانی سازی مس پورفیری بوده است.

واژه های کلیدی

لندست ۸، مس پورفیری، سنجش از دور، ارومیه - دختر، تحلیل مؤلفه های اصلی، پتانسیل یابی.



۱. مقدمه

باگذشت زمان و پیشرفت فناوری نیاز بشر به فلزات مهمی مثل مس، طلا، سرب و روی، آهن، لیتیوم و غیره، بیشتر شده است که در نتیجه نیاز به کشف منابع جدید روزبه‌روز افزایش می‌یابد. یکی از روش‌های جدید و بسیار مهم استفاده از علم سنجش‌ازدور است. به دلیل امکان پوشش گسترده و توانایی در دریافت اطلاعات چند طیفی و چند زمانی، داده‌های سنجش‌ازدور از اهمیت ویژه‌ای در حوزه اکتشافات مواد معدنی، کانسارها و نقشه‌برداری واحدهای سنگی برخوردارند. فناوری سنجش‌ازدور در مراحل ابتدایی اکتشاف و تعیین پتانسیل معدنی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش مهمی دارد. یکی از خصوصیات مهم این فناوری این است که امکان شناسایی کانی‌ها و عناصر خاصی که با مواد معدنی وابسته‌اند، وجود دارد. این قابلیت اهمیت زیادی در اکتشاف کانی‌ها دارد، زیرا این تکنولوژی امکان شناسایی و تمایز اجزای مختلف معدنی را با دقت فراهم می‌کند [1]. در فوریه ۲۰۱۳، ماهواره لندست ۸ با موفقیت وارد مدار زمین شد. این ماهواره هفتمین عضو موفق از خانواده ماهواره‌های لندست است که در مدار زمین قرار گرفته است. لندست ۸ با ویژگی‌های منحصربه‌فرد، از جمله ۱۱ باند در طول موج مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه و مادون قرمز حرارتی بهره‌مند است. این ویژگی‌ها به ماهواره این امکان را می‌دهند که اطلاعات گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف از جمله مشاهده سطح زمین، آب‌ها و تغییرات اقلیمی را به دقت و کیفیت بالا ثبت و ارائه نماید [2]. در جدول ۱ ویژگی‌های باندهای مختلف سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ ارائه شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های طیفی تمامی باندهای سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ [7].

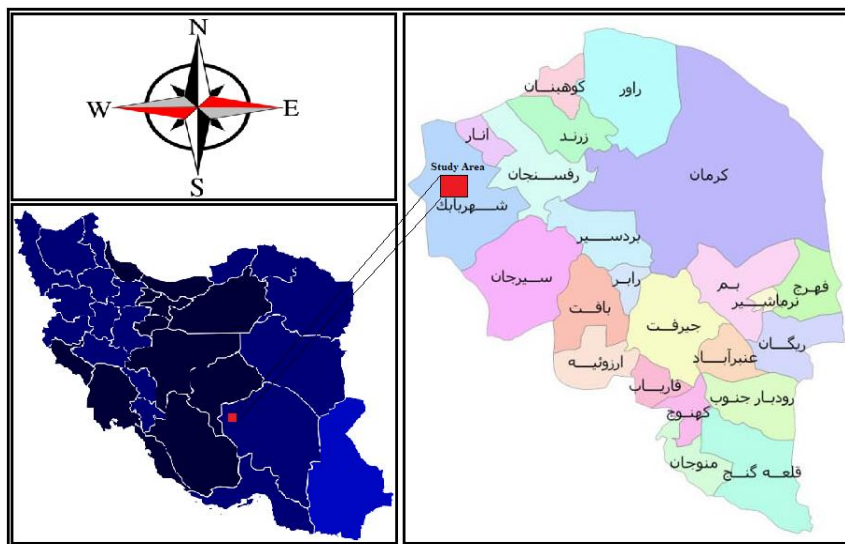
Sensor	Subsystem	Channel number	Spectral-range (μm)	Ground spatial resolution (m)
Landsat-8	VNIR	1	0.433-0.453	30
	VNIR	2	0.450-0.515	30
	VNIR	3	0.525-0.600	30
	VNIR	4	0.630-0.680	30
	SWIR	5	0.845-0.885	30
	SWIR	6	1.560-1660	30
	SWIR	7	2.100-2.300	30
	Pan	-	0.500-0.680	15
	SWIR	9	1.360-1.390	30
	TIR	10	10.30-11.30	100
	TIR	11	11.50-12.50	100

در این پژوهش از تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ جهت پتانسیل‌یابی کانی‌سازی مس پورفیری در محدوده مطالعاتی استفاده شده است. بر روی تصاویر ماهواره‌ای در محدوده مطالعاتی پردازش (تصحیحات هندسی و رادیومتریک که شامل Dark Subtraction, IAR, Reflectance Correction و Log Residuals Correction است) و پیش‌پردازش‌های مختلفی (تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، ترکیب رنگی کاذب (FCC)، نسبت بانندی (Band Ratio) و روش کمترین مربعات رگرسیون (LS-Fit)) در نرم‌افزار ENVI اعمال شده است.

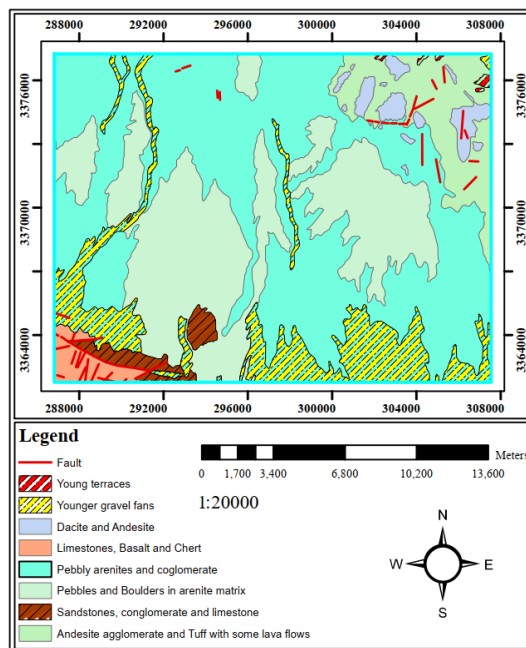


۲. زمین‌شناسی

محدوده مطالعاتی با مختصات جغرافیایی $30^{\circ}30'$ شمالی و $55^{\circ}00'$ شرقی در ۴۵ کیلومتری شهربابک استان کرمان واقع شده است (شکل ۱). از نظر موقعیت زون ساختاری در امتداد کمربند فلززایی ارومیه - دختر قرار دارد در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی نمایش داده شده است. سنگ‌های محدوده مطالعاتی اغلب شامل آندزیت‌های ائوسن که توسط سنگ‌های نفوذی میوسن قطع شده‌اند. سنگ‌های موجود دیگر در محدود شامل سنگ‌های آتشفشانی کالک آلکان، آندزیت، داسیت، دیوریت، کوارتز دیوریت، گرانودیوریت، ماسه‌سنگ و کلریت شیست می‌باشند که توسط کنگلومرا و آبرفت‌های جوان‌تر پوشیده شده است. کانی‌های مهم شامل کوارتز، آرژیلیت، فلدسپار، سرسیت، کلریت، مگنتیت، ارتوکلاز، پیریت، اپیدوت، کالکوپیریت و بیوتیت است [3-4].



شکل ۱. نمایش محدوده مطالعاتی در ۴۵ کیلومتری شهرستان شهربابک از توابع استان کرمان.

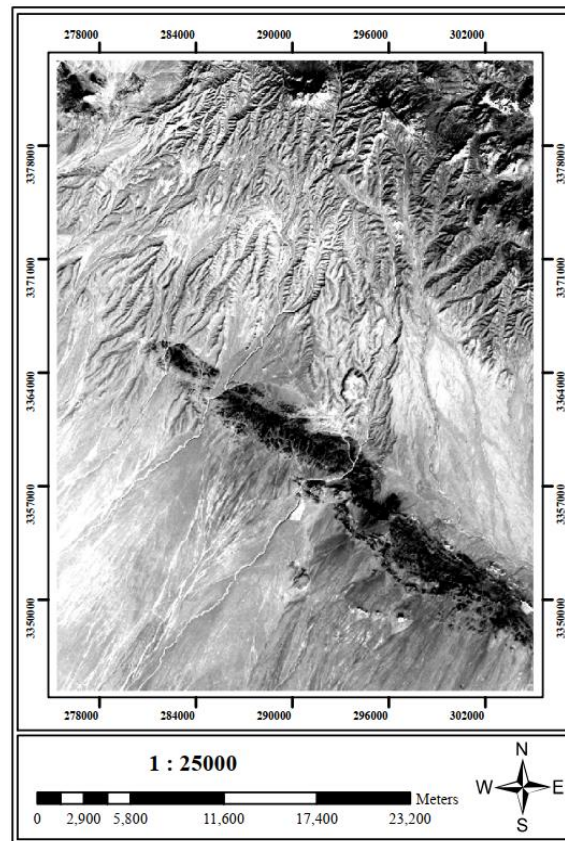


شکل ۲. زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی.



۳. پیش‌پردازش تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸

در اولین مرحله پیش‌پردازش بر تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست، باندهای موردنیاز از تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ را با استفاده از Layer Stacking یکی کرده و تصویر چند باندهی به‌دست‌آمده را جهت راحتی مراحل پیش‌پردازش و پردازش بعدی Resize نموده و پس از آن تصحیحات هندسی، Dark Subtraction، IAR Reflectance Correction و Log Residuals Correction بر روی تصویر چند باندهی اعمال شد (شکل ۳).

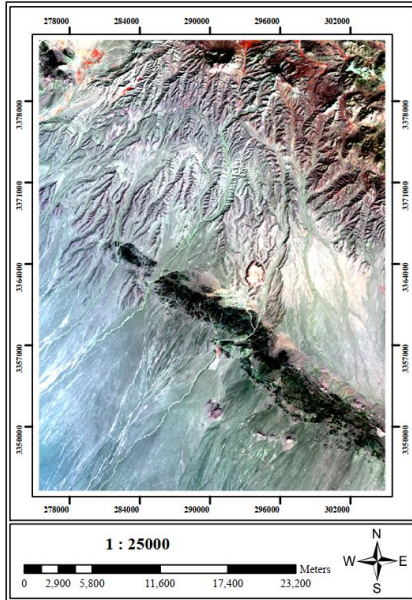


شکل ۳. تصویر حاصل از تصحیحات Dark Subtraction، IAR Reflectance Correction و Log Residuals Correction بر تصویر چند باندهی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸.

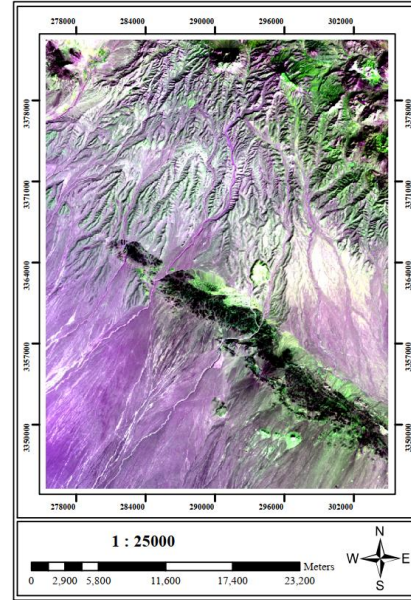
۴. پردازش تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸

۱.۴ ترکیب رنگ کاذب (FCC)

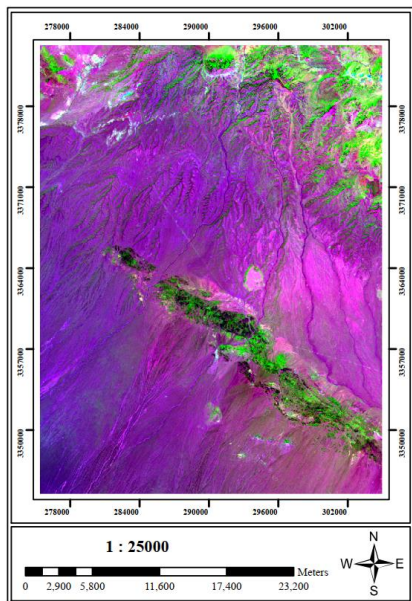
ترکیب رنگ کاذب به فرآیند ایجاد یک تصویر ترکیبی با استفاده از باندهای مختلف داده‌های سنجنش از راه دور و اختصاص رنگ‌های کاذب به آن‌ها برای تجسم و تفسیر بهتر گفته می‌شود. ترکیب رنگ کاذب در زمینه نقشه‌برداری سنگ‌شناسی قابل توجه است زیرا امکان تجسم و تمایز انواع سنگ‌های مختلف را بر اساس ویژگی‌های طیفی آن‌ها فراهم می‌کند. با اختصاص باندهای مختلف داده‌های ماهواره‌ای به کانال‌های قرمز، سبز و آبی، می‌توان تصاویر ترکیبی رنگ کاذب تولید کرد. این تصاویر کنتراست بین واحدهای سنگ‌شناسی مختلف را افزایش می‌دهند و شناسایی و نقشه‌برداری آن‌ها را آسان‌تر می‌کنند [8]. در این پژوهش از RGB=531 برای شناسایی اکسید آهن (شکل ۴)، RGB=462 و RGB=4/2,6/7,5 برای شناسایی دگرسانی هیدروترمال (شکل ۵ و ۶) و RGB=752 برای شناسایی پوشش گیاهی استفاده گردید (شکل ۷).



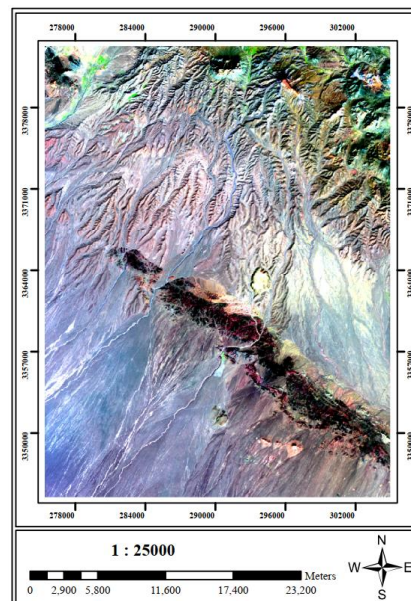
شکل ۴. تصویر ترکیب رنگی کاذب RGB=531 جهت بارز سازی اکسید آهن.



شکل ۵. تصویر ترکیب رنگی کاذب RGB=462 جهت بارز سازی دگرسانی هیدروترمال.



شکل ۶. تصویر ترکیب رنگی کاذب RGB=4/2,6/7,5 حاصل از تلفیق نسبت بانندی و ترکیب رنگی کاذب جهت بارز سازی دگرسانی هیدروترمال.

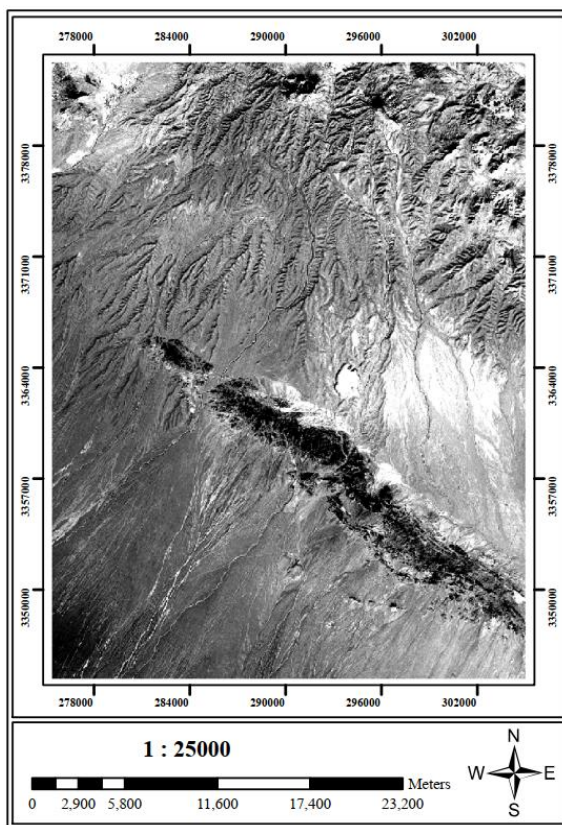


شکل ۷. تصویر ترکیب رنگی کاذب RGB=752 جهت بارز سازی پوشش گیاهی.

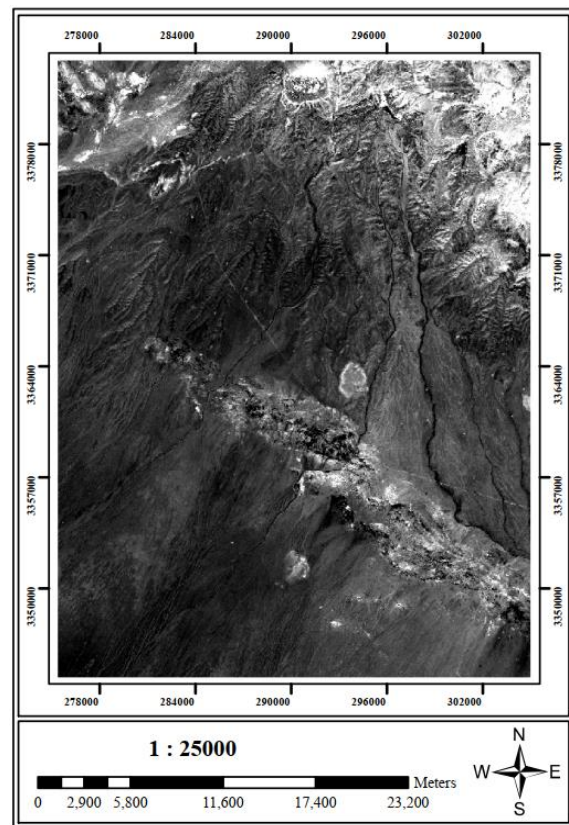


۲,۴. نسبت بانندی (Band Ratio)

نسبت بانندی یک تکنیک سنجش‌ازدور است که برای برجسته کردن ویژگی‌ها یا مواد خاصی در یک تصویر استفاده می‌شود که ممکن است به راحتی در باندهای خام قابل مشاهده نباشند. این تکنیک شامل تقسیم مقدار عدد دیجیتال (DN) یک باند بر مقدار DN یک باند دیگر است. نسبت‌های باند ابزار ارزشمندی در سنجش‌ازدور برای برجسته کردن ویژگی‌های زمین‌شناسی خاص و موادی هستند که ممکن است به راحتی در باندهای خام قابل مشاهده نباشند [9]. در این روش از نسبت، بانندی که بیشترین انعکاس به بانندی که بیشترین جذب را برای هدف مورد نظر دارد، استفاده می‌شود که در این پژوهش برای شناسایی اکسید آهن از نسبت بانندی ۴/۲ (شکل ۸) و برای شناسایی کانی‌های رسی از نسبت بانندی ۶/۷ (شکل ۹) استفاده شده است [5].



شکل ۸. بارزسازی اکسید آهن با نسبت بانندی ۴/۲ به صورت پیکسل‌های روشن.



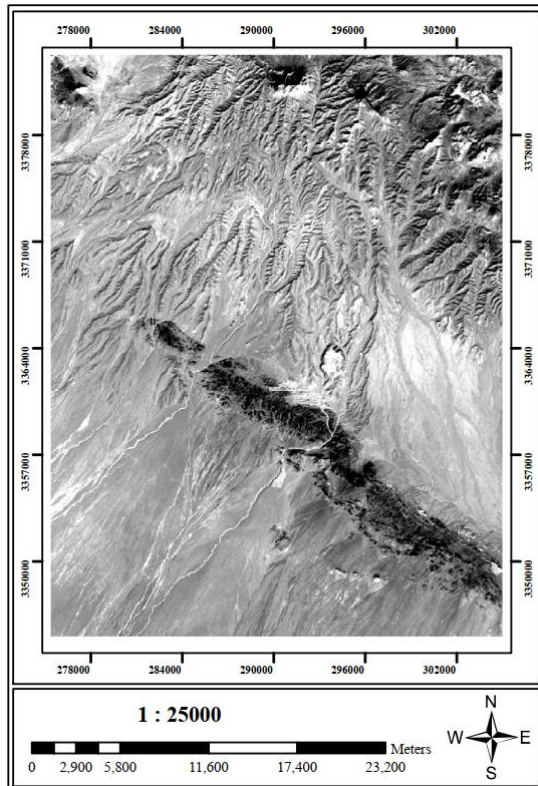
شکل ۹. بارزسازی کانی‌های رسی با نسبت بانندی ۶/۷ به صورت پیکسل‌های روشن.

۳,۴. روش کمترین مربعات رگرسیون (LS-Fit)

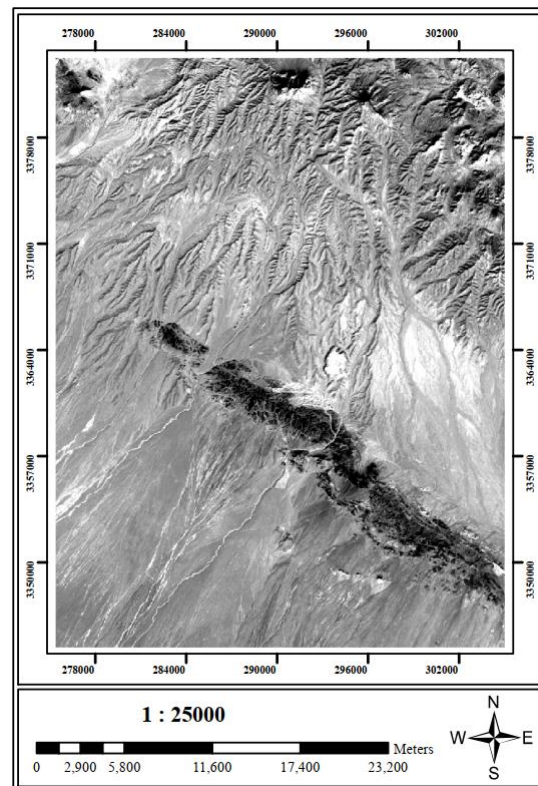
روش کمترین مربعات رگرسیونی تکنیکی است که برای پیش‌بینی باند انتخابی به عنوان ترکیب خطی باندهای پیش‌بینی کننده استفاده می‌شود. این شامل تخمین تفاوت (باقیمانده) بین باند واقعی و باند مدل‌سازی شده برای شناسایی وجود یک ویژگی ناشناخته، مانند نور جذبی است. این روش در کاهش نویز درون تصاویر مؤثر است و می‌تواند برای یافتن نواحی پاسخ طیفی غیرعادی در یک مجموعه داده، به ویژه برای شناسایی کانی‌های رسی تغییر یافته استفاده شود [10]. تفاوت بین باند واقعی و باند مدل‌سازی شده محاسبه می‌شود و پیکسل‌هایی با باقیمانده بزرگ وجود ویژگی‌ای را نشان می‌دهند که پیش‌بینی نشده بود، مانند باند جذب LS-Fit. نتایج به دست آمده از روش کمترین مربعات رگرسیونی می‌تواند برای شناسایی و نقشه‌برداری مناطق معدنی و تمایز واحدهای سنگ‌شناسی در یک محدوده



مطالعاتی استفاده شود [11]. باندهای مدل انتخاب شده عبارتند از باند ۴ برای بارز سازی کانی‌های آهن‌دار (شکل ۱۰) و باند ۵ برای بارز سازی کانی‌های شاخص زون‌های دگرسانی (شکل ۱۱) [6].



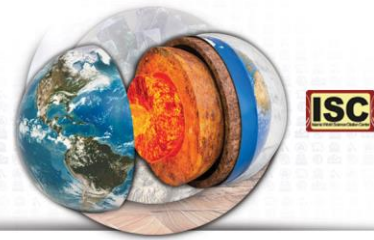
شکل ۱۰. بارز سازی کانی‌های آهن با استفاده از پردازش Ls-Fit که با پیکسل‌های سفیدرنگ مشخص شده است.



شکل ۱۱. بارز سازی کانی‌های شاخص زون‌های دگرسانی با استفاده از پردازش Ls-Fit که با پیکسل‌های سفیدرنگ مشخص شده است.

۴.۴. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی یک تکنیک آماری است که در تجزیه و تحلیل تصاویر لندست ۸ برای شناسایی و استخراج اطلاعات مرتبط از باندهای طیفی استفاده می‌شود. تکنیک PCA شامل تبدیل باندهای اصلی به مجموعه جدیدی از متغیرهای غیرهمبسته به نام اجزای اصلی (PC) است. این PC ها ترکیبی خطی از باندهای اصلی هستند و بر اساس مقدار واریانس که در داده‌ها توضیح می‌دهند مرتب می‌شوند. در این تحلیل، چهار PC از باندهای لندست ۸ تولید شد. مقادیر بارگذاری بردارهای ویژه برای هر PC نشان‌دهنده سهم هر باند در PC است. به طور کلی، PCA امکان استخراج اطلاعات ارزشمند از تصاویر لندست ۸ را فراهم کرد و شناسایی ویژگی‌های ساختاری، ویژگی‌های کانی‌سازی و مناطق دگرسانی گرمایی را در محدوده مورد مطالعه تسهیل کرد [12]. با توجه به نمودار طیفی کانی‌های شاخص، برای کانی‌های رسی باندهای ۱، ۴، ۵، ۷، مناطق امیدبخش مس باندهای ۲، ۵، ۶، ۷ و اکسید آهن باندهای ۱، ۳، ۴، ۵ به عنوان باندهای ورودی روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) انتخاب شدند. برای انتخاب PC مناسب در روش تحلیل مؤلفه اصلی به بررسی ماتریس مقادیر ویژه که بر اساس شرط انتخاب بیشترین اختلاف بین باندها است، PC مناسب برای کانی‌های رسی PC4 (جدول ۲، شکل ۱۲)، مناطق امیدبخش مس PC4 (جدول ۳، شکل ۱۳) و اکسید آهن PC2 (جدول ۴، شکل ۱۴) انتخاب شد.



جدول ۲. ماتریس بردار ویژه کانی‌های رسی به‌دست‌آمده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی.

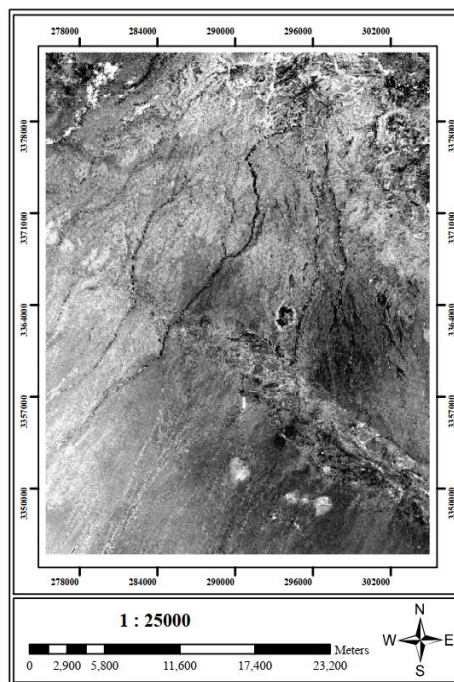
	باند ۱	باند ۴	باند ۵	باند ۷
PC 1	۰/۲۵۴۷۷۹	۰/۵۶۷۲۲۸	۰/۵۴۰۴۲۴	۰/۵۶۶۸۱۸
PC 2	۰/۳۶۸۹۸۳	۰/۴۸۶۸۲۱	۰/۱۳۳۵۸۶	-۰/۷۸۰۳۹۲
PC 3	۰/۵۹۰۶۴۷	۰/۱۷۸۰۸۵	-۰/۷۴۱۶۴۶	۰/۲۶۳۴۰۷
PC 4	۰/۶۷۰۸۷۷	-۰/۶۳۹۹۵۶	۰/۳۷۴۲۴۴	-۰/۰۱۷۹۵۰

جدول ۳. ماتریس بردار ویژه مناطق امیدبخش مس به‌دست‌آمده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی.

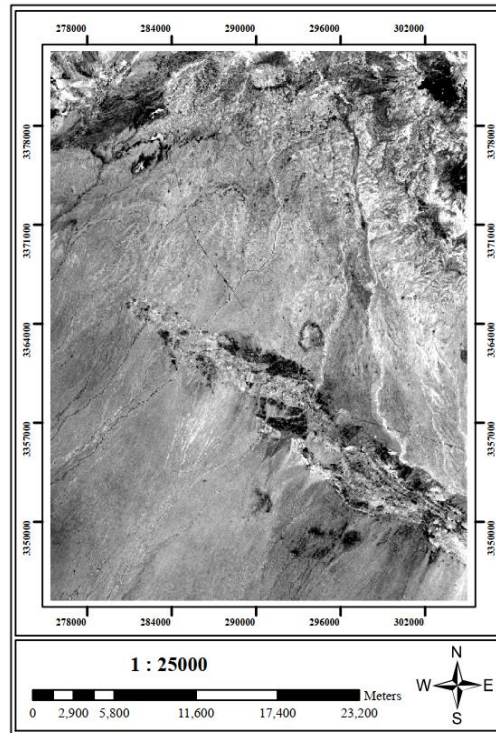
	باند ۲	باند ۵	باند ۶	باند ۷
PC 1	۰/۴۲۴۲۸۰	۰/۵۰۴۳۴۲	۰/۵۲۱۶۸۷	۰/۵۴۱۷۲۷
PC 2	۰/۷۹۷۴۶۹	۰/۱۷۵۹۷۸	-۰/۴۶۷۹۸۲	-۰/۳۳۷۷۴۰
PC 3	۰/۳۵۳۳۶۰	-۰/۷۸۲۵۳۸	-۰/۰۵۹۵۶۰	۰/۵۰۹۱۴۰
PC 4	-۰/۲۴۳۲۴۳	۰/۳۱۹۸۵۲	-۰/۷۱۰۸۳۶	۰/۵۷۷۲۶۸

جدول ۴. ماتریس بردار ویژه اکسید آهن به‌دست‌آمده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی.

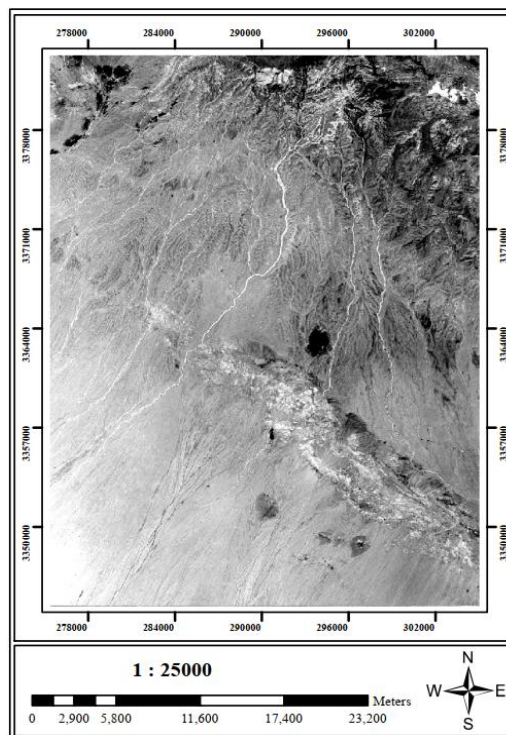
	باند ۱	باند ۳	باند ۴	باند ۵
PC 1	۰/۲۶۲۹۴۴	۰/۵۶۲۳۳۲	۰/۵۷۳۹۰۸	۰/۵۳۴۱۰۹
PC 2	۰/۴۱۵۳۷۹	۰/۴۸۳۷۴۰	۰/۰۵۱۰۶۸	-۰/۷۶۸۶۶۶
PC 3	۰/۸۵۶۲۶۱	-۰/۲۹۵۹۱۰	-۰/۳۳۸۷۴۰	۰/۲۵۳۹۸۷
PC 4	-۰/۱۵۸۵۴۸	-۰/۶۰۱۸۴۴	-۰/۷۴۳۸۲۵	۰/۲۴۳۶۵۹



شکل ۱۲. پیکسل‌های روشن نمایانگر کانی‌های رسی استخراج‌شده از روش PCA.



شکل ۱۳. پیکسل‌های روشن نمایانگر مناطق امیدبخش مس استخراج شده از روش PCA.



شکل ۱۴: پیکسل‌های تیره نمایانگر اکسید آهن استخراج شده از روش PCA.



۵. بحث و نتیجه‌گیری

محدوده مطالعاتی شمال شرقی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ رباط در ۴۵ کیلومتری شهر بک در استان کرمان واقع شده است. این محدوده از نظر کانی سازی مس حائز اهمیت بوده و چندین معدن و پتانسیل معدنی مهم از جمله چاه فیروز، میدوک و پرکام در نزدیکی محدوده مطالعاتی قرار دارد. در این پژوهش با استفاده از تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ محدوده مطالعاتی از نظر کانی سازی مس مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، از روش‌های پیش‌پردازش متنوعی همچون تصحیحات هندسی و رادیومتریک که شامل Dark Subtraction, IAR, Reflectance Correction و Log Residuals Correction است و روش‌های گوناگونی در پردازش تصویر که شامل تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، ترکیب رنگی کاذب (FCC)، نسبت بانندی (Band Ratio) و روش کمترین مربعات رگرسیون (LS-Fit) است، استفاده گردید. نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های پردازش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ترکیب رنگ کاذب و نسبت بانندی تطابق خوبی نسبت به هم داشته و کانی‌های رسی که مربوط به دگرسانی فیلیک و کانی‌سازی اکسید آهن و مناطق امیدبخش مس است را به خوبی بارز سازی کرده که نشان از حائز اهمیت بودن محدوده مطالعاتی از نظر کانی سازی مس بوده است. صحت سنجی نتایج به‌دست‌آمده را می‌توان از نقطه‌نظر نزدیک بدون محدوده مطالعاتی به معادن مس میدوک، چاه فیروزه و پرکام و مطابقت خوبی که نسبت به یکدیگر دارند در نظر گرفت. همچنین شایان ذکر است که نتایج به‌دست‌آمده از روش کمترین مربعات رگرسیون، عملکرد مناسبی را به همراه نداشته و قابل استناد نیستند.

منابع

- [1] فهیمه اکبری، ملیحه عباس زاده، افسانه افضل، ۱۳۹۷. شناسایی نواحی دارای کانی‌زایی آهن در استان قم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست OLI، دهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، اصفهان، ایران، ۱۱-۱۸.
- [2] امیرمحمد ابهری و اردشیر هزارخانی، ۱۳۹۵. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ برای شناسایی زون‌های دگرسانی هیدروترمال در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی باغین، نخستین همایش ملی مهندسی کامپیوتر، علوم کامپیوتر و فناوری اطلاعات، قم، ایران.
- [3] رضوان هاشمی، رضا زارعی سهامیه، محمدرضا هزاره و امین پناهی، ۱۳۹۰. پتروگرافی و کانه زایی مس و عناصر پلی متال همراه در منطقه رباط ۱ جنوب غرب کرمان، دومین همایش علوم زمین و نکوداشت استاد پیشگام علم زمین‌شناسی ایران دکتر عبدالکریم قریب، آشتیان، ایران.
- [4] محمد بومری، حبیب بیابان‌گرد و زهرا زین‌الدینی، ۱۳۹۸. بررسی سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی بخش شمالی کانسار مس پورفیری چاه فیروزه، شمال غرب شهر بک، کرمان، نشریه زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۱۱، شماره ۱، ۵۷-۸۰.
- [5] محمد نوید اردستانی، سید سعید قناد پور، ۱۴۰۱. مطالعات سنجش‌ازدور سیستم پورفیری زلفرقند در جنوب شرق اردستان - استان اصفهان با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸، چهارمین کنفرانس بین‌المللی متالوژی، مکانیک و معدن، تهران، ایران، ۱-۱۲.
- [6] افسون دستور، سید جواد مقدسی و شهره حسن‌پور، ۱۳۹۷. مطالعه دگرسانی سیستم‌های مس پورفیری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat در شمال غرب ایران (در محدوده) کانسارهای سونگون، هفت‌چشمه و کیقال، بیست‌ویکمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، قم، ایران، ۲۷-۴۴.
- [7] Howari, F., Ghrefat, H., Nazzal, Y., 2020. Delineation of Copper Mineralization Zones at Wadi Ham, Northern Oman Mountains, United Arab Emirates Using Multispectral Landsat 8 (OLI) Data, *Frontiers in Earth Science*, Volume 8, 1-15.
- [8] Pournamdari, M., Hashim, M., Beiranvand Pour, A., 2014. Spectral transformation of ASTER and Landsat TM bands for lithological mapping of Soghan ophiolite complex, south Iran, *Journal of Advances in Space Research*, Volume 54, Issue 4, 694-709.
- [9] Inzana, J., Kusky, T., Higgs, G., Tucker, R., 2003. Supervised classifications of Landsat TM band ratio images and Landsat TM band ratio image with radar for geological interpretations of central Madagascar, *Journal of African Earth Sciences*, Volume 37, Issues 1-2, 59-72.
- [10] Sadeghi, B., Khalajmasoumi, M., Afzal, P., Moarefvand, P., Yasrebi, A. B., Wetherelt, A., Foster, P., Ziazarifi, A., 2013. Using ETM+ and ASTER sensors to identify iron occurrences in the Esfordi 1:100,000 mapping sheet of Central Iran, *Journal of African Earth Sciences*, Volume 85, 103-114.
- [11] TRAORE, M., ÇAN, T., TEKİN, S., 2021. Mapping Carbonate-hosted Pb-Zn mineralization zones in Yahyali Province (Eastern Taurus - Turkey) Using ASTER Data, *Journal of Advances in Space Research*, Volume 69, Issue 1, 266-281.
- [12] Olasunkanmi, N. K., Magawata, U. Z., Bayowa, O. G., 2023. Assessment of image ratio technique: Targeting structural features and mineralization characteristics in the southwestern part of the Sokoto Basin in Nigeria using Landsat 8 imagery, *Kuwait Journal of Science*, Volume 50, Issue 4, 803-811.