[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

کاربرد ماشین بردار پشتیبان در تفکیک زون‌های دگرسانی هیدروترمال با استفاده از سنجنده آستر

سعید مجدی فر*، نسترن استاد مهدی عراق؛
دانشگاه صنعتی اراک

تاریخ: دریافت ۹۶/۰۷/۰۹ پذیرش ۹۷/۰۵/۱۳

چکیده

در این پژوهش با استفاده از سنجنده آستر تلاش شده است کاربرد الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در تفکیک دگرسانی‌های هیدروترمال ذخایر مس پورفیری بررسی شود. برای آموزش این الگوریتم در مجموع ۲۲۰٤ پیکسل از مناطق کانی‌سازی شده انتخاب شد. باندهای ٤، ٦، ۷ و ۸ سنجنده آستر برای شناسایی دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک و ۹ باند محدودهٔ مرئی و مادون قرمز نزدیک برای شناسایی دگرسانی پروپیلیتیک به‌عنوان ورودی این الگوریتم انتخاب شدند. به‌منظور ارزیابی خطای طبقه‌بندی، ماتریس درهم آمیختگی بررسی شد. نتایج ماتریس در هم آمیختگی بیان‌گر آن است که خطای طبقه‌بندی برای زون فیلیک و آرژیلیک نسبتاً بالاست و امکان تفکیک این دو زون به سادگی امکان‌پذیر نیست در حالی‌که دگرسانی پروپیلیتیک به‌خوبی طبقه‌بندی شده است. هم‌چنین این تحقیق تابع خطای جدیدی به‌نام خطای کور را تعریف کرد که با استفاده از ماتریس درهم آمیختگی نسبت پیکسل‌های دگرسان طبقه‌بندی نشده را محاسبه می‌کند. بر اساس مقدار این خطا، ماشین بردار پشتیبان ۷۳/٦ درصد از پیکسل‌های دگرسان را طبقه‌بندی نمی‌کند. هم‌چنین صحت کل طبقه‌بندی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برابر٦٦/۰٦ درصد و ضریب کاپا برابر۰/٦٥۲۲ است.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی آرژیلیک، دگرسانی فیلیک، دگرسانی پروپیلیتیک، مس پورفیری، ماشین بردار پشتیبان.

***نویسنده مسئول** mojeddifar@yahoo.com

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

مقدمه

در سال‌های اخیر با رشد سریع فناوری سنجش از دور، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، یکی از روش‌های رایج در اکتشافات معدنی است. علم سنجش از دور با بهره‌گیری از رفتار طیفی منحصر به‌فرد کانی‌ها، به شناسایی و اکتشاف مناطق دارای پتانسیل معدنی می‌پردازد. در این روش منحنی‌های شاخص بازتابندگی و جذب طیف، به‌دلیل ارائه اطلاعاتی از رفتار طیفی اجسام در طول موج‌های مختلف، اهمیت زیادی دارد. در واقع هر نوع سنگ یک واکنش طیفی مخصوص به‌خود را دارد که شناسایی و تفکیک آن از سنگ‌های دیگر به‌وسیلهٔ همین واکنش طیفی ممکن می‌شود. در این تحقیق داده‌های حاصل از سنجندهٔ آستر در کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان به‌کار گرفته شده است. آستر یک سنجندهٔ چند طیفی با توان تفکیک بالاست کهبه‌وسیلهٔ ماهواره ترا حمل می‌شود. این سنجنده ۱٤ باند دارد که امکان شناسایی بعضی از کانی‌ها را در محدودهٔ خاص و مناسب امواج الکترومغناطیس فراهم می‌کند. آستر داده‌ها را در سه بازهٔ طیفی برداشت می‌کند که شامل بازه‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR)، مادون قرمز کوتاه موج (SWIR)، و مادون قرمز حرارتی (TIR)، است. توان تفکیک مکانی باندهای مادون قرمز نزدیک، ۱۵ متر و توان تفکیک مکانی باندهای مادون قرمز کوتاه موج ۳۰ متر است در حالی‌که توان تفکیک مکانی تصاویر مادون قرمز حرارتی ۹۰ متر است [۱]، [۲]. آنالیز نسبت‌های باندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، روش کراستا و تصاویر کامپوزیت مهم‌ترین روش‌های مرسوم پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای شناسایی زون‌های دگرسانی هیدروترمال منطقه هستند که در تحقیقات گذشته به‌صورت متداول استفاده شده‌اند. پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که روش‌های کلاسیک مذکور در تمایز زون‌های دگرسانی از پوشش‌های گیاهی دچار خطا می‌شوند یا توانایی آن‌ها در تفکیک زون‌های دگرسان هیدروترمال ضعیف است. علت را می‌توان در هم‌پوشانی اثر انگشت‌های طیفی کانی‌های دگرسانی با یک‌دیگر و پوشش‌های گیاهی دانست. کانی‌های دگرسانی معمولاً دارای پیوند هیدروکسیل در ساختار خود هستند همانند رس‌ها که عمدتاً از کانی‌های دارای Mg-OH- و Al-OH- تشکیل شده‌اند. این پیوندهای شیمیایی در محدودهٔ طول موجی ۲/٤-۲/۱

میکرومتر از تابش‌های الکترومغناطیس جذب قوی از خود نشان می‌دهند و در محدودهٔ ۱/۷–۱/٦ میکرومتر از خود بازتابش بالا نشان می‌دهد. بنابراین تفکیک میان کانی‌های دگرسانی به‌دلیل اشتراک در رفتار طیفی سخت است. هم‌چنین حضور آب در بافت گیاهان باعث به‌وجود آمدن هم‌پوشانی طیفی با کانی‌های هیدروکسیل‌دار می‌شود که تفکیک آن‌ها را نیز با مشکل رو به‌رو می‌کند. پژوهش‌*های* گذشته این امر را تأیید می‌کند که روش‌های پردازش تصویر کلاسیک همانند نسبت باندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، کراستا و تصاویر کامپوزیت نمی‌توانند موفقیت چشم‌گیری در تفکیک زون‌های دگرسانی مختلف از یک‌دیگر داشته باشند. اما برای رفع این مشکل می‌توان از روش‌های جدیدی که در علوم مختلف استخراج شده است، استفاده کرد. روش ماشین بردار پشتیبان یک الگوریتم طبقه‌بندی کننده است که به‌دلیل دقت زیاد کاربرد وسیعی در پردازش تصاویر ماهواره‌ای داشته است. گودرزی مهر و همکاران (۱۳۹۱) کارایی روش ماشین بردار پشتیبان را برای طبقه‌بندی ٦ واحد سنگ‌شناسی موجود در منطقه، با روش‌های طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی و حداکثر احتمال مقایسه کردند و سه تابع استفاده شده در این روش یعنی تابع پایهٔ شعاعی، چند جمله‌ای و خطی را از نظر قدرت طبقه‌بندی بررسی کردند و دریافتند که هر سه تابع توانسته است بیش‌ترین دقت را نسبت به دو روش دیگر ارائه کند. قاسمی و همکاران (۱۳۹۰) داده‌های مربوط به دو کانسار مس پورفیری علی‌آباد و درهٔ زرشک را به‌وسیلهٔ روش طبقه‌بندی نظارتی ماشین بردار پشتیبان، آنالیز تمایز خطی و آنالیز تمایز غیرخطی ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که در کانسار علی‌آباد روش ماشین بردار پشتیبان با صحتی برابر ۸۰٪ در مقایسه با دو روش دیگر عملکرد بهتری را ارائه کرده است. در کانسار دره زرشک نیز روش ماشین بردار پشتیبان با صحت ۹۰٪ نسبت به دو روش دیگر موفق‌تر بوده است. هیوآنگ و همکاران (۲۰۰۸) به‌منظور طبقه‌بندی جنگل از روش ماشین بردار پشتیبان استفاده کردند و دقت آن را مطابق با اثر شیب و جهت زمین، ارتفاع و آزیموت خورشید، موقعیت نسبی درختان ارزیابی کردند. آن‌ها دریافتند که پس از تصحیحات توپوگرافیک دقت طبقه‌بندی به میزان ۳/٦ درصد در تمامی طبقات بهبود یافته است. اومن و همکاران (۲۰۰۸) برای طبقه‌بندی واحدهای

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

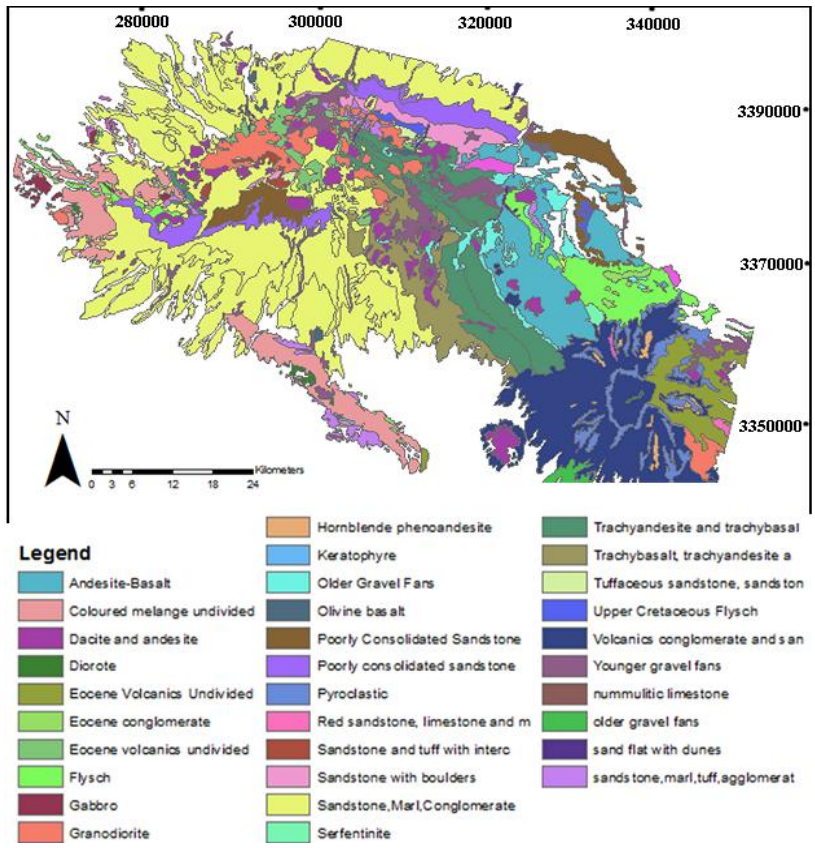
سنگ‌شناسی از روش ماشین بردار پشتیبان و روش حداکثر احتمال استفاده کردند که نتایج آن نشان‌دهندهٔ بیش‌تر بودن دقت روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به روش حداکثر احتمال است. این تحقیق تلاش دارد الگوریتم ماشین بردار پشتیبان را به‌منظور شناسایی و جداسازی زون‌های دگرسانی پروپیلیتیک، آرژیلیک و فیلیک به‌کار بگیرد و توانایی آن را با روش‌های مرسوم آنالیز تصاویر ماهواره‌ای مقایسه کند. از آن‌جاکه ذخایر مس پورفیری شناخته شده در منطقهٔ بررسی شده این تحقیق شامل کدر، گودکولواری، ایجو، سرنو و چاه فیروزه است انتظار می‌رود بهترین روش طبقه‌بندی بتواند دگرسانی را در محدوده‌های معدنی مذکور آشکارسازی کند

زمین شناسی منطقه و داده‌های استفاده شده

منطقهبررسی شده در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی-رسوبی ایران مرکزی قرار گرفته است. ناحیهٔ بررسی شده، خاستگاه کانسارهای پورفیری مهمی مانند کدر، گودکولواری، ایجو، سرنو و چاه فیروزه است و در جنوب غربی شهر کرمان واقع شده است. آمیزه رنگین کرتاسه قدیمی‌ترین و نهشته‌های کواترنر و مخروط‌های افکنه گراولی در زمره جوان‌ترین رخنمون‌های ناحیهٔ مطالعاتی قرار دارند. رسوبات کرتاسه عمدتاً از سنگ‌های فلیشی تشکیل شده‌اند. سنگ‌های رسوبی کمپلکس آتشفشان رسوبی اغلب از نوع ماسه‌سنگ و اندکی سنگ آهک هستند. سنگ‌های آتشفشانیبه‌وسیلهٔ سنگ‌های نفوذی الیگوسن میوسن با جنس گرانودیوریت، کوارتز دیوریت، مونزونیت، تونالیت وگرانیت تسخیر شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی به‌واسطه هم‌جواری بلا اصل این توده‌های نفوذی، در بسیاری موارد دچار دگرسانی و تغییر شده‌اند. اغلب سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی به‌طور درجا دچار دگرسانی هیدروترمال و کانی‌سازی شده‌اند. دگرسانی‌های آرژیلیکی، سرسیتی و پروپیلیتیک در زمره شایع‌ترین دگرسانی هیدروترمال ناحیه قرار دارند. رسوبات الیگوسن میوسن در بخش جنوب شرق ناحیه رخنون یافته‌اند که به‌طور دگرشیب به‌وسیلهٔ سازندهای ائوسن پوشیده می‌شوند. ضخامت این سری‌ها بالغ بر ۲۰۰ متر است. رسوبات نئوژن به‌وسیلهٔ یک دگرشیبی، میان پایین‌ترین و بالاترین عضوها جدا شده‌اند. عضو پایینی عمدتاً از ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ریز

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

دانه همراه با رگه‌های ژیپس و تداخلات‌هالیت شکل می‌گیرد. عضو بالایی شامل رسوباتی است که طبقه‌بندی سست و نادرستی نشان می‌دهند و استحکام کافی ندارند. این رسوبات در بخش‌های پایینی از نوع کنگلومرا و ماسه سنگ و در بخش‌های بالایی شامل قطعات‌سنگی و ریگ‌های گرد شده و قطعات ساییده شده داسیتی هستند [۳]، [٤]، [٥]، [٦]، [۷]، [۸]، [۹]، [۱۰]. تصویر زمین‌شناسی منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. تصویر زمین‌شناسی منطقهٔ بررسی شده

این تحقیق از سه تصویر سنجنده آستر در سطح 1B استفاده کرده است. دو تصویر در ۱۸ آپریل ۲۰۰۰ و تصویر دیگر در ۱۵ ژوئن ۲۰۰۷ گرفته شده است. تصاویر ابتدا به‌وسیلهٔ کراستاک و سپس با IARR تصحیح رادیومتریک شدند و به‌صورت موزاییک در کنار یک‌دیگر

قرار گرفتند. شکل ۲ تصویر ماهواره ای منطقه را نشان می‌دهد که در آن مناطق شناخته شدهٔ معدنی در آن نمایش داده شده است. ۳ باند محدودهٔ مرئی و ٦ باند محدودهٔ مادون قرمز نزدیک به‌عنوان ورودی‌های این تحقیق استفاده شدند که اطلاعات آماری داده‌ها و جدول ضرایب هم‌بستگی آن‌ها در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است

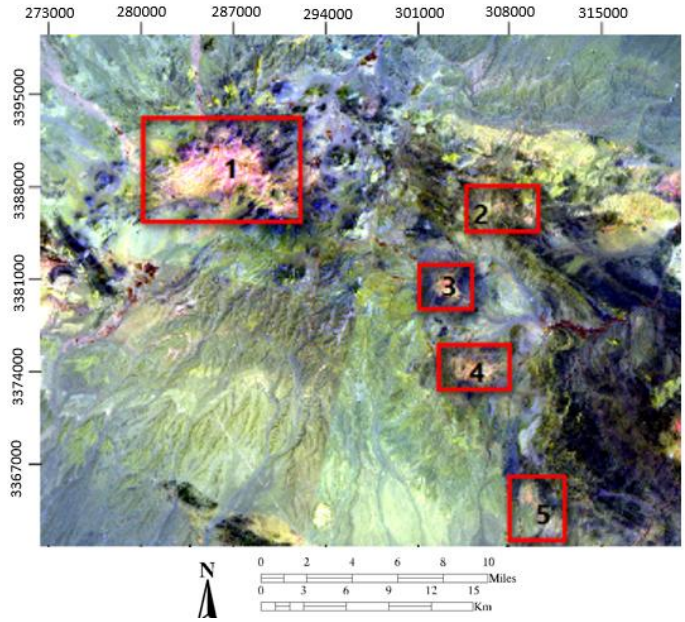
جدول ۱. اطلاعات آماری ۹ باند محدودهٔ مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجندهٔ استر

آمار پایه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف استاندارد
باند ۱	۰/۱٦۷۹۷۷	۲/۰۷۹٦۷۳	۰/۹۰٤۰۷۰	۰/۱۱۹۱۱۹
باند ۲	۰/۱۵۷٦۱۳	۱/۹۸٦۸٤۷	۰/۹۱۷۲۲۰	۰/۱۱۸۰۲۱
باند ۳	۰/۲۵۲٦۱۳	۱/۸٤۳۷۵۱	۰/۹۷۷۳۳۷	۰/۰۹۸٦۹٤
باند ٤	۰/۳۲۰۰۳۹	۱/۵۸۲٦۸۸	۰/۹۰۷۷۱۳	۰/۱۰۷۱٦۱
باند ۵	۰/۳۸۵۲۹٤	۱/۳۷۵۳۲٤	۰/۸۸۸۰۷٦	۰/۰۹۳۸۰۰
باند ٦	۰/۳۲۱٦٦۸	۱/٤٤۰۸۷۲	۰/۸۹۰۳۱۸	۰/۱۰۰۰۲۲
باند ۷	۰/۳٤۰۱۰۳	۱/٤٤۰۰۹۷	۰/۹۰٦۷۸۳	۰/۰۹۱۳۸۵
باند ۸	۰/۳۲٤۲۰۸	۱/۵٤۷۸۸٤	۰/۹۳٤۲٦۲	۰/۱۰۲۰۲۵
باند ۹	۰/٤۰٤۸۱۹	۱/۵۰۳۵٤۸	۰/۹۲۳۵۳۲	۰/۰۹٤۳۹۷

جدول ۲. جدول ضرایب هم‌بستگی ۹ باند محدودهٔ مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجندهٔ استر

همبستگی	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ٤	باند ۵	باند ٦	باند ۷	باند ۸	باند ۹
باند ۱	۱,۰۰۰۰۰۰	۰,۹۷۳۰۰۸	۰,۷۸۹۲٦۳	۰,۷۲۲۷۳۷	۰,۷۵۰۲۱۲	۰,۷٤٦٤٤۵	۰,۷٤۵۲۵۰	۰,۷٤٦۵۸۲	۰,۷٤۰۳۳۷
باند ۲	۰,۹۷۳۰۰۸	۱,۰۰۰۰۰۰	۰,۸۲۷٦۵۹	۰,۷٦۵٦۷۳	۰,۷۸۷۷٤۹	۰,۷۸٦۷۳۸	۰,۷۸۸۷٤۵	۰,۷۹۰۹٦۵	۰,۷۸۱۷۳۲
باند ۳	۰,۷۸۹۲٦۳	۰,۸۲۷٦۵۹	۱,۰۰۰۰۰۰	۰,۷۸۰۸۰۱	۰,۷۳۱۸۵۲	۰,۷٤۰۱٤۲	۰,۷۳۹٤۳۸	۰,۷۳۳۸٦۳	۰,۷۱۲۲۳۷
باند ٤	۰,۷۲۲۷۳۷	۰,۷٦۵٦۷۳	۰,۷۸۰۸۰۱	۱,۰۰۰۰۰۰	۰,۹٤٤٦٦٦	۰,۹۲۹۸٤۷	۰,۹۳۲۱۵۹	۰,۸۹٤۸٦۵	۰,۸۸۱۲۷۹
باند ۵	۰,۷۵۰۲۱۲	۰,۷۸۷۷٤۹	۰,۷۳۱۸۵۲	۰,۹٤٤٦٦٦	۱,۰۰۰۰۰۰	۰,۹۸٤۰۸۸	۰,۹٦۵۷۷۵	۰,۹۵۵۹۲۲	۰,۹۵٦۱٤٤
باند ٦	۰,۷٤٦٤٤۵	۰,۷۸٦۷۳۸	۰,۷٤۰۱٤۲	۰,۹۲۹۸٤۷	۰,۹۸٤۰۸۸	۱,۰۰۰۰۰۰	۰,۹٦٦۵٤۱	۰,۹٦٦۹٤۹	۰,۹٦۸۵۵۳
باند ۷	۰,۷٤۵۲۵۰	۰,۷۸۸۷٤۵	۰,۷۳۹٤۳۸	۰,۹۳۲۱۵۹	۰,۹٦۵۷۷۵	۰,۹٦٦۵٤۱	۱,۰۰۰۰۰۰	۰,۹۷۱۳٦۸	۰,۹٦۰۹۷۵
باند ۸	۰,۷٤٦۵۸۲	۰,۷۹۰۹٦۵	۰,۷۳۳۸٦۳	۰,۸۹٤۸٦۵	۰,۹۵۵۹۲۲	۰,۹٦٦۹٤۹	۰,۹۷۱۳٦۸	۱,۰۰۰۰۰۰	۰,۹۸۲۷٤۹
باند ۹	۰,۷٤۰۳۳۷	۰,۷۸۱۷۳۲	۰,۷۱۲۲۳۷	۰,۸۸۱۲۷۹	۰,۹۵٦۱٤٤	۰,۹٦۸۵۵۳	۰,۹٦۰۹۷۵	۰,۹۸۲۷٤۹	۱,۰۰۰۰۰۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

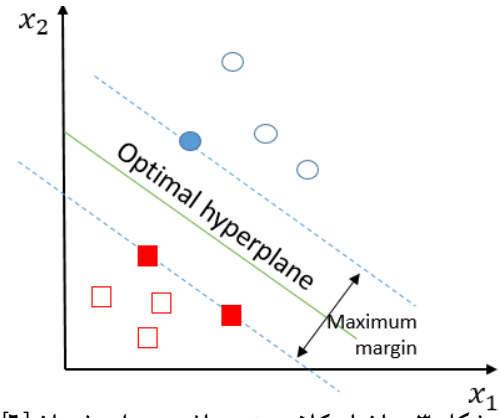


شکل ۲. تصویر کاذب رنگی(باند ٦ قرمز، باند ٤ سبز، باند ۱ آبی) منطقهٔ بررسی شده، ۱)کدر، ۲) گودکولواری، ۳) ایجو، ٤) سرنو، ٥) چاه فیروزه

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان یکی از شناخته شده‌ترین روش‌ها در زمینهٔ دسته‌بندی داده‌ها است. عموما در مسائلی که دو دسته داده وجود دارد از ماشین بردار پشتیبان استفاده می‌شود. بر طبق این روش دو صفحه به اندازه‌ای از هم دور می‌شوند تا در مرز دو کلاس داده‌ها قرار گیرند. هدف اصلی این الگوریتم، یافتن مرزی بین این دو صفحه است که بیش‌ترین جدایش را بین دو دسته از داده‌ها ایجاد کند (شکل ۳). در مواردی که داده‌ها به‌صورت خطی قابل جدایش نیستند، می‌توان با استفاده از توابعی نظیر RBF، خطی، چندجمله‌ای و سیگموئید آن‌ها را به فضایی با ابعاد بیش‌تر تعمیم داد، سپس به‌صورت خطی تفکیک کرد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]



شکل ۳. ساختار کلاسه‌بندی ماشین بردار پشتیبان [٦]

مجموعه داده $\delta = \{X_1 ,\ldots, X_n\}$ و $(X_i \in X = R^p)$ را در نظر بگیرید که از n داده تشکیل شده است. متناظر با هر یک از این داده‌ها یک برچسب (y_i) وجود دارد که مشخص می‌کند آن داده به چه کلاسی تعلق دارد $(y_1 ,\ldots, y_n \in Y)$. ماشین‌های بردار پشتیبان دسته ای از روش‌های مبتنی بر کرنل هستند که در مرحلهٔ آموزش با استفاده از مجموعه دادهٔ آموزشی برچسب‌دار (δ)، یک تابع $f : X \rightarrow Y$ یاد می‌گیرند و سپس در مرحلهٔ آزمایش سیستم از این تابع برای پیش‌بینی کردن برچسب داده جدیدی که وارد سیستم می‌شود استفاده می‌کنند. در این فصل ما فقط حالتی را در نظر می‌گیریم که هر الگو متعلق به یکی از دو کلاس ۱ و ۲ است که بر چسب این دو کلاس را با ۱+ و ۱- نشان می‌دهیم $(y \in \{+1\text{و}-1\})$. این مسئله ساده، مسئله طبقه‌بندی دوتایی نامیده می‌شود. در این حالت ماشین بردار پشتیبان تلاش می‌کند که دو کلاس داده را با استفاده از یک تابع خطی به فرم $f(x) = w^T x + b$ از هم تفکیک کند $(w \in R^p , b \in R)$. چنین تابعی به داده‌های $x \in X , f(x) > 0$ برچسب ۱+ می‌دهد و به داده‌های $x \in X , f(x) < 0$ برچسب ۱- می‌دهد [۱۱]، بنابراین مسئله ماشین بردار پشتیبان یادگرفتن چنین تابعی (f) روی مجموعه مشاهدات δ است.

یک مرز تصمیم‌گیری خطی را در حالت کلی می‌توان بدین‌صورت نوشت:

x یک نقطه روی مرز تصمیم‌گیری و w یک بردار n بعدی عمود بر مرز تصمیم‌گیری است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

$b/\| w \|$ فاصله مبدأ تا مرز تصمیم‌گیری و $w.x$ بیان‌گر ضرب داخلی دو بردار w و x است. از آن‌جاکه با ضرب یک ثابت در دو طرف (۱) باز هم تساوی برقرار است، برای تعریف یکتای مقدار w و x این شرایط روی آن‌ها اعمال می‌شود:

۱. $y_i(w.x_i) = 1$ → اگر x_i یک بردار پشتیبان باشد

۲. $y_i(w.x_i) > 1$ → اگر x_i یک بردار پشتیبان نباشد

اولین مرحله برای محاسبهٔ مرز تصمیم‌گیری بهینه، پیدا کردن نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی دو کلاس است. در مرحلهٔ بعد فاصله آن نقاط از هم در راستای عمود بر مرزهایی که دو کلاس را به‌طور کامل جدا می‌کند، محاسبه می‌شود. مرز تصمیم‌گیری بهینه مرزی است که حداکثر حاشیه بهینه را داشته باشد. مرز تصمیم‌گیری بهینه با حل مسئله بهینه‌سازی رابطهٔ (۳) محاسبه می‌شود:

$$\max_{w,\ b}\ \min_{i=1,\ldots,L}[yi\ \frac{w.x++b}{|w|}] \qquad (۳)$$

حل کردن مسئله بهینه‌سازی کار دشواری است. برای ساده کردن آن از روش ضرایب نامعین لاگرانژ استفاده می‌شود. طبقه‌بندی کننده نهایی از رابطهٔ (٤) به‌دست می‌آید [۱۱]:

$$f(x, w, b) = sgn(w.x + b) \qquad (٤)$$

الگوریتم بالا مرز خطی دو کلاس کاملاً جدا از هم را به‌دست می‌دهد، اما در حالتی که کلاس‌ها با هم پوشانی داشته باشند جدا کردن کلاس‌ها به‌وسیلهٔ مرز تصمیم‌گیری خطی همواره با خطا همراه است. برای حل این مشکل می‌توان ابتدا داده‌ها را از فضای اولیه R^n با استفاده از یک تبدیل غیرخطی φ، به فضای R^m با ابعاد بیش‌تر منتقل کرد که در فضای جدید کلاس‌ها تداخل کم‌تری با یک‌دیگر داشته باشند. سپس در فضای جدید با استفاده از معادلات قبلی و جای‌گزینی x_i با یک تابع هسته $\varphi(x_i)$، مرز تصمیم‌گیری بهینه محاسبه می‌شود. یک تابع هسته‌ای در واقع یک تابع در فضای اولیه است که برابر با ضرب داخلی دو بردار در فضای ویژگی است. در این تحقیق برای طبقه‌بندی مس پورفیری از تابع پایه شعاعی استفاده می‌شود

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

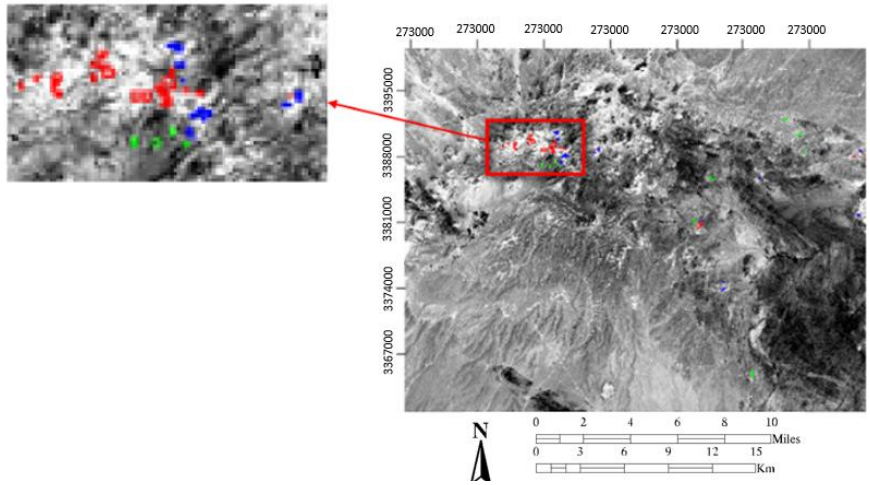
نقشه برداری زون‌های دگرسانی

تحقیق حاضر به‌منظور نقشه‌برداری دگرسانی‌های هیدروترمال، از روش ماشین بردار پشتیبان استفاده می‌کند. این روش از کاربردی‌ترین روش‌های مدل‌سازی داده‌های اکتشافی است که بر پایهٔ اصول یادگیری استوار است. از خصوصیات اصلی این روش قدرت بالا در به‌کارگیری نمونه‌های آموزشی کم‌تر و دقت بیش‌تر است. در این الگوریتم کانسار به دو محدودهٔ آموزشی و آزمایشی تقسیم می‌شود. ابتدا برای مشخص کردن داده‌های آموزشی باید مناطقی از تصویر را که دارای پیکسل‌های همگن هستند، انتخاب کرد، سپس با عبور یک مرز خطی و با به‌کارگیری تمامی باندها و یک الگوریتم، داده‌ها را کلاس‌بندی کرد. به این صورت که تعدادی از نقاط آموزشی که دارای حداقل فاصله تا مرز تصمیم‌گیری هستند، به‌عنوان بردار پشتیبان در نظر گرفته می‌شوند. روش ماشین بردار پشتیبان برای آشکارسازی زون‌های دگرسانی، نیازمند مناطق آموزشی برای یادگیری است. این مناطق به‌صورت پلیگون‌هایی با رنگ‌های قرمز، سبز و آبی در شکل ۷ مشخص شده‌اند. در مجموع ۲۲۰٤ پیکسل برای معرفی مناطق آموزشی انتخاب شد که ٥۱٦ پیکسل مربوط به زون دگرسانی آرژیلیک، ۱۲۷۸ پیکسل مربوط به زون دگرسان فیلیک و ٥۰۰ پیکسل مربوط به زون دگرسانی پروپیلیتیک است. پیکسل‌های مناطق آموزشی از تمامی مناطق معدنی کدر، گودکولواری، ایجو، سرنو و چاه فیروزه انتخاب شده است که شکل ۷ پیکسل‌های آموزشی مناطق معدنی مختلف را نشان می‌دهد.

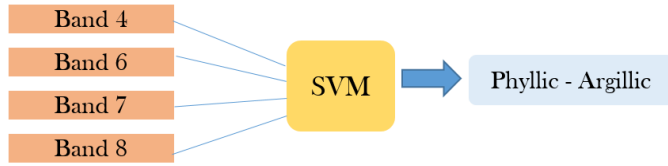
نقشه برداری زون دگرسانی فیلیک و آرژیلیک

براساس پژوهش‌های زمینی و آزمایشگاهی انجام شده به‌وسیلهٔ مجدی‌فر و همکاران (۲۰۱۳) و هنرمند و همکاران (۲۰۱۱)، ۱۲۷۸ پیکسل از مناطق کانی‌سازی شدهٔ زون فیلیک و ٥۱٦ پیکسل از زون آرژیلیک به‌عنوان مناطق آموزشی انتخاب شد. موقعیت این پیکسل‌ها با رنگ سبز و قرمز به‌ترتیب برای زون فیلیک و آرژیلیک در شکل ۷ نشان داده شده است. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با استفاده از تابع پایهٔ شعاعی برای شناسایی زون دگرسانی فیلیک و آرژیلیک به‌کار گرفته شد. برای یادگیری بهتر ماشین بردار پشتیبان باندهای ٤، ٦، ۷،

۸ به‌عنوان ورودی این الگوریتم انتخاب شدند که به‌عنوان باندهای مؤثر در اثرانگشت طیفی کانی‌های سریسیت و کائولینیت شناخته می‌شوند. شکل ۸ ساختار اصلی داده‌های ورودی را برای زون‌های فیلیک و آرژیلیک نشان می‌دهد

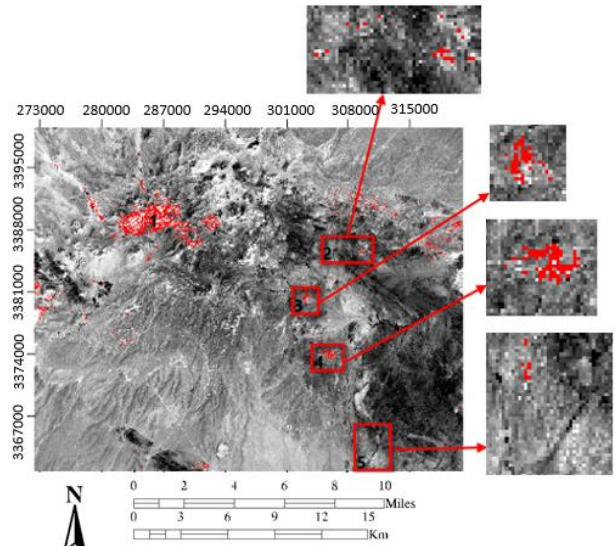


شکل ۷. مناطق آموزشی زون‌های دگرسانی مختلف
(قرمز: آرژیلیک، سبز: فیلیک، آبی: پروپیلیتیک)

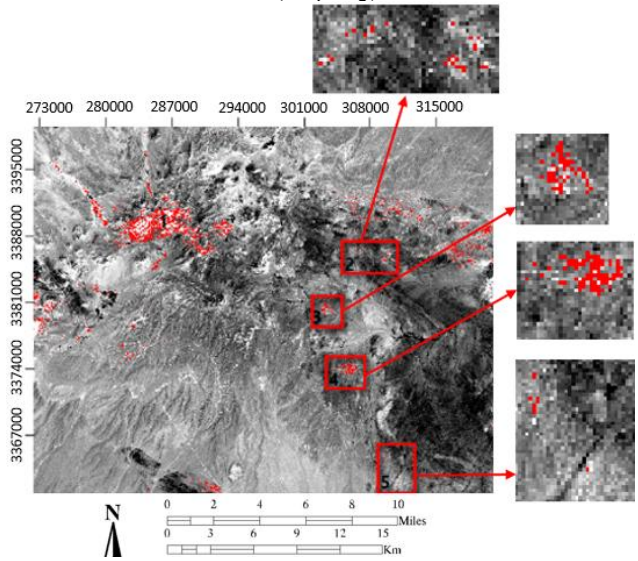


شکل ۸ ساختار داده‌های ورودی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی زون‌های دگرسانی فیلیک و آرژیلیک

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]



شکل ۹. نقشه‌برداری زون دگرسانی فیلیک با استفاده از باندهای ٤، ٦، ٧، ٨ آستر به‌وسیلهٔ ماشین بردار پشتیبان



شکل ۱۰. نقشهٔ برداری زون دگرسانی آرژیلیک با استفاده از باندهای ٤، ٦، ٧، ٨ آستر به‌وسیلهٔ ماشین بردار پشتیبان

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

شکل ۹ و ۱۰ خروجی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان را برای زون‌های فیلیک و آرژیلیک نشان می‌دهد. براساس پژوهش‌های هنرمند و همکاران (۲۰۱۱)، دگرسانی فیلیک در ذخایر ایجو، سرنو، چاه فیروزه و کدر غالب است که ماشین بردار پشتیبان توانسته است توزیع دگرسانی فیلیک را در ذخایر کدر، ایجو، سرنو و چاه فیروزه آشکارسازی کند. علاوه بر این، دگرسانی آرژیلیک در ذخایر کدر، سرنو و گودکولواری در پژوهش‌های زمینی مشاهده شده است که به‌وسیلهٔ ماشین بردار پشتیبان در مناطق کدر و سرنو به‌خوبی شناسایی شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، کاملاً مشخص است که ماشین بردار پشتیبان نمی‌تواند زون‌های دگرسانی فیلیک و آرژیلیک را از یک‌دیگر تفکیک کند زیرا نتوانسته است دگرسانی آرژیلیک را در گودکولواری نشان دهد و طبقه‌بندی تقریباً مشابهی با زون فیلیک نشان می‌دهد. دلیل را می‌توان در شباهت طیفی کانی‌های کائولینیت و سریسیت دانست.

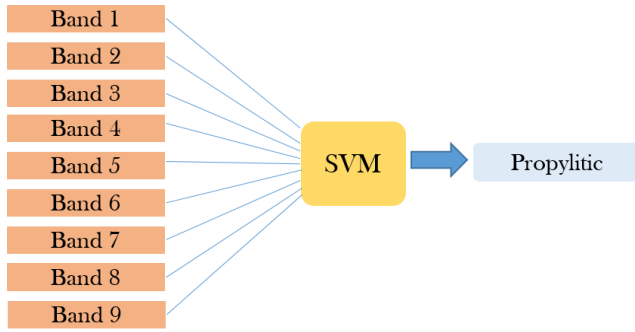
نقشه‌برداری زون دگرسانی پروپیلیتیک

برای آشکارسازی زون پروپیلیتیک به‌وسیلهٔ ماشین بردار پشتیبان، تابع پایه شعاعی به‌عنوان تابع هستهٔ این الگوریتم انتخاب شد و هم‌چنین تعداد ۵۰۰ پیکسل به‌عنوان منطقهٔ آموزشی انتخاب شد. موقعیت پیکسل‌های آموزشی زون پروپیلیتیک در شکل ۷ با رنگ آبی نشان داده شده است. این تحقیق از ۹ باند مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجندهٔ آستر به‌عنوان ورودی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان استفاده کرد. شکل ۱۱ ساختار ورودی‌های زون دگرسانی پروپیلیتیک را نشان می‌دهد

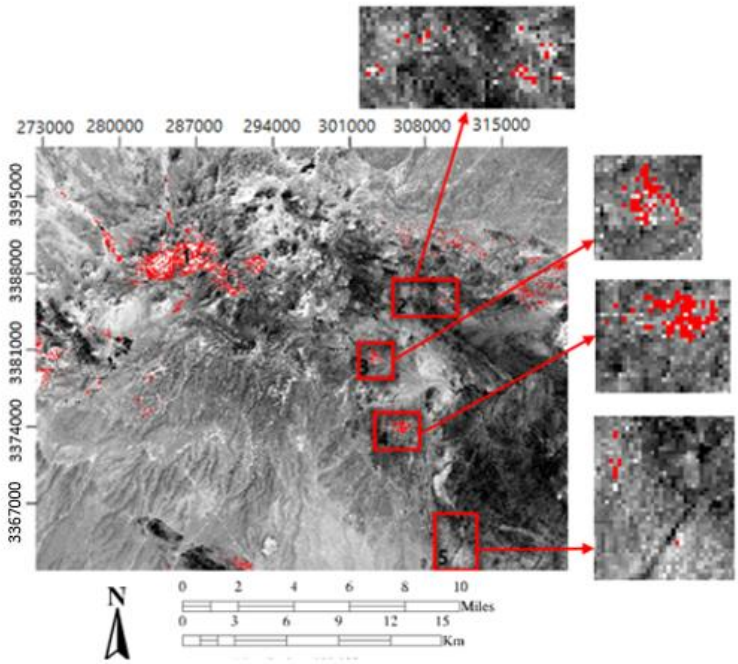
هنرمند و همکاران (۲۰۱۱) بیان می‌کنند که دگرسانی‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک در منطقهٔ کدر به‌صورت یک‌نواخت مشاهده می‌شود. هم‌چنین تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که دگرسانی پروپیلیتیک در اطراف بیش‌تر ذخایر معدنی پورفیری منطقه توزیع شده است. شکل ۱۲ خروجی دگرسانی پروپیلیتیک با استفاده از ماشین بردار پشتیبان را نشان می‌دهد. شکل ۱۲ دقیقاً نتیجهٔ پژوهش‌های زمینی و آزمایشگاهی را تأیید می‌کند و در اطراف ذخایر پورفیری منطقه، دگرسانی پروپیلیتیک آشکارسازی شده است. کدر منطقه‌ای است که به‌وسیلهٔ

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

ماشین بردار پشتیبان هر سه زون دگرسانی آن به‌خوبی شناسایی شده است.



شکل ۱۱. ساختار داده‌های ورودی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی زون دگرسانی پروپیلیتیک



شکل ۱۲. رداری زون دگرسانی پروپیلیتیک با استفاده از ۹ باند مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده آستر به‌وسیلهٔ ماشین بردار پشتیبان

اعتبارسنجی روش ماشین بردار پشتیبان

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

زون‌های دگرسانی فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک با کانی‌های شاخص سریسیت، کائولینیت و کلریت و اپیدوت شناخته می‌شوند. البته کانی‌های ثانویهٔ متداول دیگری مانند گوتیت، ژاروسیت و هماتیت نیز در بیش‌تر ذخایر پورفیری منطقه دیده شده است. مهم‌ترین کانی‌هایی که هم‌پوشانی طیفی زیادی از خود نشان می‌دهند کانی‌های سریست و کائولینیت می‌باشند که این معضل به‌خوبی در نتایج ماشین بردار پشتیبان (شکل ۹ و ۱۰) مشاهده می‌شود. این الگوریتم نتوانسته است تفکیک قابل توجه‌ای میان این دو زون دگرسانی برقرار کند. علاوه براین، تحقیق حاضر تلاش دارد کیفیت طبقه‌بندی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان را در قالب ماتریس درهم آمیختگی کمی‌سازی کند. ماتریس درهم آمیختگی جدولی با تعداد سطر و ستون‌های برابر با تعداد کلاس‌ها است که می‌تواند توانایی الگوریتم کلاسه‌بندی کننده را ارزیابی کمی کند. برای این منظور ماتریس درهم آمیختگی برای سه کلاس دگرسانی فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک در جدول ۳ ارائه شده است

جدول ۳. ماتریس درهم آمیختگی نتایج طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

ماتریس درهم آمیختگی	آرژیلیک (FIELD)	فیلیک (FIELD)	پروپیلیتیک (FIELD)	مجموع پیکسل‌ها	خطای انجام
آرژیلیک (SVM)	۹٤	۲۳۷	٤	۳۳٥	۷۱/۹٤ %
فیلیک (SVM)	۱۲۷	٥۱۸	٤	٦٤۹	۲۰/۱۸ %
پروپیلیتیک (SVM)	۰	٦	۱۲٤	۱۳۰	٤/٦۱ %
طبقه بندی نشده	۲۹٥	٥۱۷	۳٦۸	۱۱۸۰	
کل پیکسل‌ها	٥۱٦	۱۲۷۸	٥۰۰	۲۲۹٤	
خطای حذف	٥۷/٤٦%	۳۱/۹۳ %	٦/۰٦ %		صحت کل: ٦٦/۰٦%
خطای کور	٥۷/۱۷ %	٤۰/٤٥ %	۷۳/٦ %		ضریب کاپا: ۰/٦٥۲۲

در ماتریس درهم آمیختگی جدول ۳، هر ستون دربارهٔ پیکسل‌های واقعی به‌کار گرفته شده در یک زون اطلاعات می‌دهد. بدین‌معنی که تعداد پیکسل‌های استخراج شده از زون آرژیلیک ٥۱٦ عدد است که ماشین بردار پشتیبان تعداد ۹٤ پیکسل را به‌عنوان زون آرژیلیک،

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

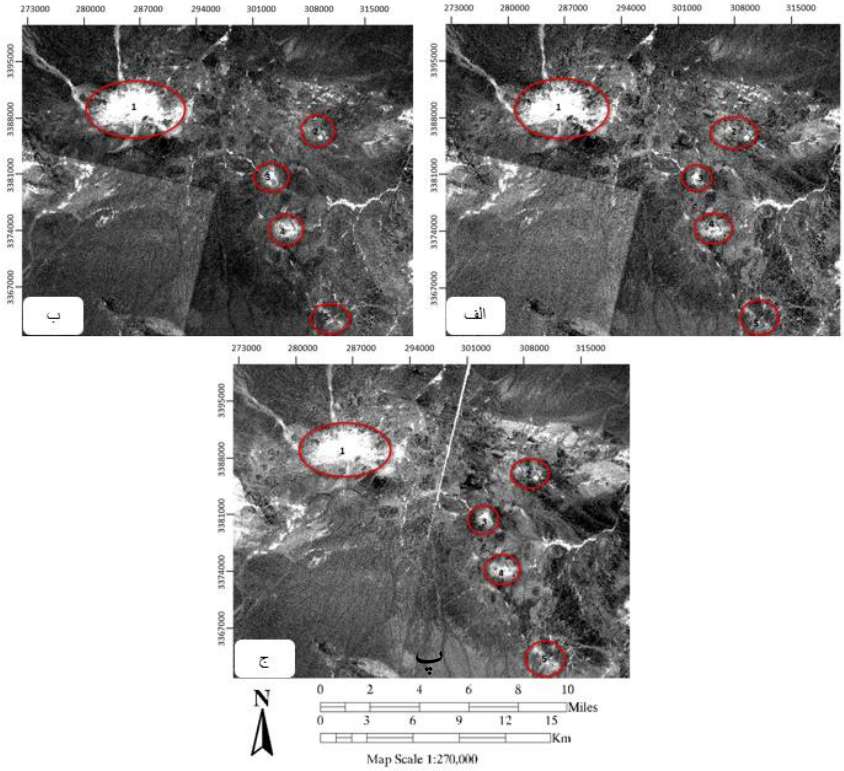
۱۲۷ پیکسل به‌عنوان زون فیلیک و ۲۹۵ پیکسل را به‌عنوان زون غیردگرسان یا طبقه‌بندی نشده تشخیص داده است. هر ردیف از ماتریس درهم آمیختگی نیز دربارهٔ پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به‌وسیلهٔ ماشین بردار پشتیبان در هر زون اطلاعات می‌دهد. بدین‌ترتیب که تعداد پیکسل‌های انتخاب شده به‌عنوان زون آرژیلیک به‌وسیلهٔ ماشین بردار پشتیبان برابر ۳۳۵ پیکسل است که تنها ۹٤ پیکسل آن به‌درستی انتخاب شده است و ۲۳۷ پیکسل از زون فیلیک و ٤ پیکسل از زون پروپیلیتیک به اشتباه به‌عنوان زون آرژیلیک طبقه‌بندی شده است. برای کمی‌سازی کیفیت طبقه‌بندی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با استفاده از ماتریس درهم آمیختگی، توابع خطای حذف و انجام، محاسبه می‌شوند [١٤]. هم‌چنین پارامتر صحت کل و ضریب کاپا نیز به‌کار گرفته می‌شوند [١٤]. خطای حذف برای زون آرژیلیک به این معنی است که ٥٧/٤٦ درصد از پیکسل‌هایی که متعلق به زون آرژیلیک هستند به اشتباه در زون‌های دیگر طبقه‌بندی شده‌اند و خطای انجام زون آرژیلیک این مفهوم را دارد که ٧١/٩١ درصد از پیکسل‌های متعلق به زون‌های دیگر به اشتباه در زون آرژیلیک قرار گرفته‌اند. پارامتر صحت کل که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده را به کل پیکسل‌ها نشان می‌دهد در حالت ایده‌آل باید برابر ۱۰۰ درصد باشد و ضریب کاپا که میزان تطابق طبقه‌بندی انجام شده با واقعیت را بیان می‌کند که کانگالتون و گریین (۲۰۰۹) فرمول آن ارائه کرده‌اند، در بهترین حالت برابر یک خواهد بود. با توجه به جدول ۳، مشاهده می‌شود علی‌رغم کم‌تر بودن پیکسل‌های آموزشی زون پروپیلیتیک ولی ماشین بردار پشتیبان بهترین عملکرد را در ارتباط با این زون نشان می‌دهد و خطاهای حذف و انجام این زون به‌ترتیب برابر با ٦/٠٦ و ٤/٦١ درصد به‌دست آمده است. ولی عملکرد الگوریتم استفاده شده در زون فیلیک و آرژیلیک ضعیف‌تر می‌شود زیرا هم‌پوشانی طیفی بین کانی‌های مشخصهٔ این زون‌ها چشم‌گیر است و باعث می‌شود نتایج ماشین بردار پشتیبان تحت تأثیر قرار گیرد. نتایج الگوریتم در زون آرژیلیک به بدترین حالت خود می‌رسد که دلیل را می‌توان در کم‌تر بودن تعداد پیکسل‌های آموزشی نسبت به زون فیلیک دانست. اما نکتهٔ دیگری که در جدول ۳ وجود دارد و در توابع خطای ذکر شدهٔ فوق نادیده گرفته شده است، پیکسل‌های دگرسانی واقعی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

است که الگوریتم آن‌ها را در هیچ‌یک از زون‌های دگرسانی طبقه‌بندی نکرده است و به‌عنوان پیکسل‌های طبقه‌بندی نشده یا غیردگرسان معرفی شدده است. بدین‌منظور که این رفتار الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نیز کمی‌سازی شود این تحقیق پارامتر خطایی را به‌عنوان خطای کور تعریف کرده است که نسبت پیکسل‌های واقعی دگرسانی طبقه‌بندی نشده در هر زون را معرفی می‌کند. برای زون آرژیلیک خطای کور بدین معنی است که ۵۷/۱۷ درصد از پیکسل‌های زون دگرسانی آرژیلیک اصلا به‌عنوان زون دگرسان تشخیص داده نشده‌اند و به‌عنوان زون غیردگرسان معرفی می‌شوند. خطای کور محاسبه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که ماشین بردار پشتیبان علی‌رغم کم‌ترین خطا در جدایش پیکسل‌ها در زون پروپیلیتیک، بیش‌ترین خطای کور را دارد یعنی قطعاً پیکسل‌های دگرسانی در منطقه وجود دارد که به‌وسیلهٔ این الگوریتم شناسایی نشده است. علاوه بر ماتریس در هم آمیختگی، این تحقیق از روش‌های مرسوم آنالیز نسبت‌های باندی و کراستا استفاده می‌کند تا میزان جدایش‌پذیری زون‌های دگرسانی را در مقایسه با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان مقایسه کند. احمدی روحانی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش‌های خود نسبت‌های باندی $\frac{٤}{٦}$ و $\frac{٤}{٥}$ را به‌ترتیب برای شناسایی زون‌های دگرسانی فیلیک و آرژیلیک مؤثر دانسته‌اند. هم‌چنین آن‌ها نسبت باندی $\frac{٤}{٧}$ را برای شناسایی کانی‌های زون دگرسانی پروپیلیتیک معرفی کرده‌اند. چنان‌که در شکل ۱۳ نشان داده شده است، نسبت‌های باندی مذکور استفاده شده‌اند و زون‌های معدنی با دایره نشان داده شده‌اند. مقایسهٔ سه تصویر خروجی هم‌پوشانی سه زون دگرسانی را در منطقه نشان می‌دهد و عملاً قابلیت تفکیک‌پذیری زون‌های معدنی وجود ندارد.

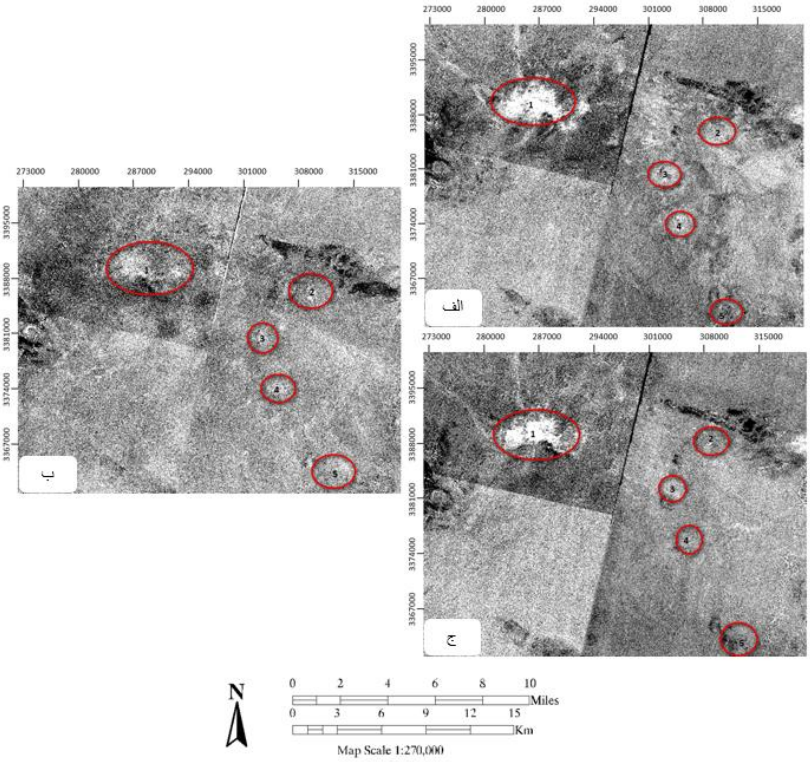
آلیانی و همکاران(۱۳۹۳) برای آشکارسازی زون‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک از روش انتخابی کراستا استفاده نمودند. آنها باندهای 4، 5، 7 را برای دگرسانی آرژیلیک و باندهای ٤، ٦، ٧ را برای دگرسانی فیلیک و باندهای ۷، ۸، ۹ را برای دگرسانی پروپیلیتیک به عنوان ورودی روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی به کار بردند. این تحقیق تلاش نموده است با به کارگیری مؤلفه‌های اصلی مذکور(شکل ١٤)، تفکیک پذیری دگرسانی‌ها را نسبت به الگوریتم بردار پشتیبان مقایسه نماید. همانطور که شکل ١٤ نشان می‌دهد شناسایی دگرسانی

پروپیلیتیک توسط مؤلفه‌های ۷، ۸ و ۹ به صورت ضعیف انجام شده است و دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک همپوشانی قابل توجهٔ با یکدیگر دارند. براساس نتایج آنالیز نسبت‌های باندی و کراستا، تفکیک دگرسانی‌ها از یکدیگر قابل انجام نیست و باید از یک روش متفاوتی استفاده شود که نتایج ماشین بردار پشتیبان نشان می‌دهد این تفکیک پذیری را با صحت بیشتری انجام می‌دهد



شکل ۱۳. نقشه‌برداری الف) زون دگرسانی آرژیلیک با استفاده از نسبت باندی $\frac{4}{5}$، زون دگرسانی فیلیک با استفاده از نسبت باندی $\frac{4}{6}$ ، ج) زون دگرسانی پروپیلیتیک با استفاده از نسبت باندی $\frac{4}{7}$

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]



شکل ١٤. تصاویر حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، الف) تصویر مؤلفه سوم حاصل از آنالیز مؤلفه‌های ٤، ٦ و ٧ شناسایی زون دگرسانی فیلیک، ب) تصویر معکوس مؤلفهٔ سوم حاصل از آنالیز باندهای ٧، ٨ و ٩ برای شناسایی زون دگرسانی پروپیلیتیک، ج) تصویر مؤلفهٔ سوم حاصل از آنالیز باندهای ٤، ٥، ٧ برای شناسایی زون دگرسانی آرژیلیک

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش شده است تفکیک دگرسانی‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک در ذخایر مس پورفیری کمربند سنوزوییک ماگمایی کرمان را با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان بررسی شود. برای این منظور ۹ باند محدودهٔ مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجندهٔ آستر به‌عنوان ورودی‌های این الگوریتم انتخاب شدند. نتایج نشان می‌دهند تفکیک

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک با استفاده از ماشین بردار پشتیبان به درستی امکان‌پذیر نیست به‌دلیل این که کائولینیت به‌عنوان کانی مشخصهٔ زون آرژیلیک هم‌پوشانی طیفی چشم‌گیری با سریسیت کانی مشخصهٔ زون فیلیک دارد. این واقعیت در ماتریس درهم آمیختگی محاسبه شده نیز مشاهده می‌شود. این ماتریس بیان می‌کند که خطاهای طبقه‌بندی برای زون فیلیک و آرژیلیک زیاد است در صورتی‌که زون پروپیلیتیک به‌خوبی طبقه‌بندی می‌شود. از طرف دیگر نکته‌ای که این تحقیق به آن پرداخته است معرفی تابع خطایی به نام خطای کور است که با استفاده از ماتریس درهم آمیختگی محاسبه می‌شود. این خطا معیاری از پیکسل‌هایی است که اصلاً به‌وسیلهٔ الگوریتم به‌عنوان زون دگرسان تشخیص داده نمی‌شوند. براساس این معیار، ماشین بردار پشتیبان بیش‌تر پیکسل‌های زون پروپیلیتیک را به‌عنوان زون غیردگرسان طبقه‌بندی می‌کند ولی در صورت طبقه‌بندی به‌عنوان زون دگرسان به‌خوبی می‌تواند آن‌ها را از زون‌های فیلیک و آرژیلیک متمایز کند. هم‌چنین نتایج مرسوم پردازش تصویر مانند آنالیز نسبت‌های باندی و کراستا نشان از نداشتن توانایی این روش‌ها در تفکیک دگرسانی‌ها از یک‌دیگر می‌باشد. در صورتی‌که ماشین بردار پشتیبان با دقت بیش‌تری تفکیک‌پذیری را انجام می‌دهد. در نهایت می‌توان گفت الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نسبتاً ابزار مناسبی برای تشخیص دگرسانی‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک است ولی نمی‌تواند تفکیک قابل‌قبولی بین زون‌های فیلیک و آرژیلیک انجام دهد هم‌چنین زون پروپیلیتیک با دقت خوبی انتخاب می‌شود ولی خطای کور این زون زیاد است و باید با روش‌های دیگری تصحیح انجام شود.

منابع

۱. آلیانی ف.، دادفر ث.، معانی جو م.، "آشکارسازی زون‌های دگرسانی کانسار آهن حاجی آباد، با استفاده از داده‌های (SWIR+VNIR) سنجنده آستر"، مجلهٔ علوم زمین، شمارهٔ ۹۴ (۱۳۹۳) ۷۳ -۸۰.

۲. امینی ج.، "پردازش کامپیوتری تصاویر سنجش از دور"، ترجمه، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول (۱۳۸۸).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

۳. عباس‌زاده س.، رنجبر ح.، رحیمی پور غ. ر.، علیخانی ا.، "کاربرد روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی و انتخابی روی داده‌های سنجنده آستر جهت نقشه‌برداری مناطق دگرسان شده، مطالعه موردی، منطقه حراران، استان کرمان"، همایش ملی ژئوماتیک (۱۳۸۹).

۴. گودرزی مهر س.، عباسپور ر. ع.، احدنژاد و.، خاکباز ب.، "مقایسهٔ روش ماشین بردار پشتیبان با روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی برای تفکیک واحدهای سنگ شناسی"، فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران، شمارهٔ ۲۲ (۱۳۹۱) ۷۵-۹۲.

۵. قاسمی ا.، "تلفیق و مدل‌سازی چندمتغیره داده‌های ژئوفیزیک با حفاری‌های اکتشافی انجام شده در کانسارهای مس پورفیری علی آباد و دره زرشک جهت شناسایی کلیدهای اکتشافی"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۹۰).

۶. ایران خواه ا.، ظریف م.، مزروعی راد ا.، "تشخیص بیماری‌های صرع توسط همبستگی متقابل ماشین‌های بردار پشتیبان برای دسته بندی سیگنال مغزی"، یازدهمین سمپزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی، کمیسیون اول: مهندسی برق ، الکترونیک، پزشکی و سرزمین پایدار، مشهد، ٤ دی ماه (۱۳۹۵).

۷. احمدی روحانی ر.، کریم پور م. ح.، رحیمی ب.، ملک زاده شفارودی آ.، "بارزسازی پهنه‌های دگرسانی و ساختارهای خطی در محدودهٔ خاور بجستان با استفاده از پردازش داده‌های SPOT و ASTER و Landsat ETM^+ و داده‌های ژئوفیزیک"، مجلهٔ علوم زمین، شمارهٔ ۹٤ (۱۳۹۳) ۲۵۳-۲٦۲.

8. Huang H., Gong P., Clinton N., Hui F.,"Reduction of atmospheric and topographic effect on landsat TM data for forest classification", International Journal of Remote Sensing, 29 (2008) 5623- 5643.
9. Oommen T., "An objective analysis of Support Vector Machine based classification for remote sensing", Mathematical Geosciences, 40 (2008) 409-424.
10. Dimitrijevic M. D., "Geology of the Kerman region. Geological Survey of Iran publication", Tehran, Rep, 52 (1973) 334.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.5.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.317]

11. Wang L., "Support Vector Machine, Theory and Applications, springer" (2005).
12. Mojeddifar S., Ranjbar H., Nezamabadi-pour H., "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System application for hydrothermal alteration mapping using ASTER data, Journal of Mining & Environment", Vol. 4, No. 2 (2013) 83-96.
13. Honarmand M., Ranjbar H., Shahabpour J., "Application of Spectral Analysis in Mapping Hydrothermal Alteration of the Northwestern Part of the Kerman Cenozoic Magmatic Arc", Iran, Journal of Sciences 22 (2011) 221-238.
14. Congalton R. G., Green K., "Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data-Principles and Practices", 2nd ed. Lewis publishers, Boca Raton, (2009).