

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف مواد معدنی

بررسی دگرسانی‌های ذخایر مس $\pm$ مولیبدن $\pm$ طلاپورفیری با استفاده از تلفیق اطلاعات حاصل از تصاویر
لندست-۸ و سنتینل-۲ به منظور اکتشاف ذخایر پورفیری در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا، شمال غرب ایران

نگارنده: مریم خانی الموتی

اساتید راهنما

دکتر سوسن ابراهیمی

دکتر بهناز بیگدلی

بهمن ۱۴۰۰

تقدیم اثر

بدون شک خدای من بسیار خدای قادرست که عشق به علم و بیشتر آموختن را در من پرورش داده است و من بنده ناچیز آن تا لحظه‌ای که می‌توانم برای کسب علم تلاش خواهم کرد. بند بند آموزه‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مرا امید راه بوده‌اند و عشق به تحصیل و هدف‌هایم را در من پرورش داده‌اند. به مهربان‌ترین زندگی‌ام پدرم، به چشمان پر امید و عشق مادر نازنینم و خواهرانم که در لحظه لحظه‌ی دوران پرفراز زندگی‌ام همراهم بوده‌اند. هرآنچه بیاموزم، هرچه بیشتر در دریای عشق آموخته‌هایم غرق شوم نمی‌توانم نگاه پرمهر و تکیه‌گاه استوار شما را قدردان باشم.

تشکر و قدردانی

بر خود واجب و لازم می‌دانم از زحمات استاد عزیزم سرکار خانم دکتر ابراهیمی که یکی از بهترین مشوق‌های بنده در زمینه تحصیل و عشق به بیشتر آموختن بوده‌اند، تشکر و قدردانی به عمل آورم. همچنین تشکر و سپاس از استاد گرانقدر سرکار خانم دکتر بیگدلی که در تمامی مراحل انجام پایان نامه‌ام مرا از کمک خود دریغ نکرده‌اند. تشکر و سپاس از آقای مهندس ثقفی که یکی از بهترین همراهان و کمک دهنده در تحقق این تحقیق بوده‌اند. بی‌شک بدون راهنمایی شما اساتید بزرگوار اتمام این پژوهش میسر نبود است، همچنین از پدر و مادر و خانواده عزیزم که در طول زمان تحصیل همواره پشتیبان و یاری‌دهنده من بوده‌اند کمال تشکر را دارم. امیدوار هستم این تحقیق راه و گام کوچکی در جهت رفع مشکلات کشورم باشد.

تعهد نامه

اینجانب مریم‌خانی‌الموتی دانشجوی دوره کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی اکتشاف مواد معدنی، دانشکده نفت، ژئوفیزیک، معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده پایان‌نامه بررسی دگرسانی‌های ذخایر مس[±] مولیبدن[±] طلاپورفیری با استفاده از تصاویر لندست-۸ و سنتینل-۲ به منظور اکتشاف ذخایر پورفیری در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا، شمال‌شرق ایران، تحت راهنمایی دکتر سوسن ابراهیمی و دکتر بهناز بیگدلی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

کانی‌سازی پورفیری-اپی‌ترمال مس-طلا مسجدداغی در شرق شهرستان جلفا و در استان آذربایجان شرقی واقع شده است و از لحاظ زمین‌شناسی در زون متالوژنی ارسباران و زون ماگمایی البرز-آذربایجان قرار دارد. سنگ میزبان کانی‌سازی شامل فلیش و تراکی‌آندزیت ائوسن و توده نفوذی کوارتز مونزودیوریت الیگوسن می‌باشد. دگرسانی‌های مهم منطقه شامل پتاسیک، فلیک، آرژیلیک متوسط و پیشرفته، سیلیسی و پروپیلیتیک می‌باشند و کانی‌سازی طلا به صورت رگه و رگچه‌های سیلیسی-باریتی در قسمت فوقانی توده پورفیری تشکیل شده است. به منظور آشکارسازی دگرسانی‌ها بر روی تصاویر سنجنده سنتینل-۲ و ماهواره لندست-۸ از روش‌های متفاوتی نظیر ترکیب‌رنگی کاذب (RGB)، نسبت‌بندی (Band Ratio) و روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit) استفاده شده است. همچنین از سه طبقه‌بندی نظارت شده شبکه عصبی (ANN)، بیشترین شباهت (ML) و ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و تلفیق سه طبقه‌بندی با رویکرد حداکثر رای‌گیری (MV) استفاده شد. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد، روش نسبت‌بندی در ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ و کمترین مربعات رگرسیون شده در سنجنده سنتینل-۲ و ماهواره لندست-۸ در بارزسازی نواحی دارای اکسید آهن و مناطق دگرسانی‌های آرژیلیک، فلیک و پروپیلیتیک به خوبی عمل کرده است. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی نشان می‌دهد؛ ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) نسبت به سایر طبقه‌بندی‌ها دارای صحت و دقت بالاتری است. نتایج تلفیق نشان می‌دهد، روش حداکثر رای‌گیری (MV) نسبت به ماشین‌بردار پشتیبان از دقت بالاتری برخوردار است. با توجه به روش‌های اعمال شده بر روی ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲، سنجنده سنتینل-۲ برای بارزسازی دگرسانی‌های موجود در محدوده مطالعاتی دارای دقت و صحت بالاتری بوده است و تطبیق بیشتری را با شواهد زمین‌شناسی محدوده نشان داده است.

کلمات کلیدی: مس پورفیری، سنجش از دور، ماشین‌بردار پشتیبان، بیشترین شباهت، شبکه عصبی، حداکثر رای‌گیری، مسجدداغی، جلفا.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ مروری بر فعالیتهای انجام شده	۴
۳-۱ ضرورت و هدف از انجام پایان نامه	۷
۴-۱ روش تحقیق	۸
۵-۱ ساختار پایان نامه	۹
فصل دوم: زمین شناسی منطقه مورد مطالعه	۱۱
۱-۲ مقدمه	۱۲
۲-۲ موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به محدوده مورد مطالعه	۱۲
۳-۲ زمین شناسی محدوده جلفا	۱۴
۱-۳-۲ توان معدنی محدوده مطالعاتی جلفا	۱۷
۴-۲ انواع ذخایر پورفیری	۱۷
۱-۴-۲ کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی	۱۸
۲-۴-۲ کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی	۱۹
۵-۲ زمین شناسی محدوده کانی سازی مسجدداغی	۲۰
۱-۵-۲ دگرسانی محدوده مطالعاتی مسجد داغی	۲۲
۲-۵-۲ کانی سازی منطقه مسجد داغی	۲۶
فصل ۳: مطالعات دورسنجی و روش تحقیق	۲۹
۱-۳ مقدمه	۳۰
۲-۳ سنجنده های چندطیفی	۳۰
۳-۳ کاربرد داده های ماهواره ای و سنجش از دور	۳۲
۴-۳ معرفی تصاویر ماهواره های لندست-۸ و سنتینل-۲	۳۴
۱-۴-۳ ماهواره لندست-۸	۳۴
۲-۴-۳ ماهواره سنتینل	۳۵
۵-۳ روش های اعمال شده بر روی محدوده مطالعاتی مسجدداغی و جلفا	۳۷
۱-۵-۳ پیش پردازش و تصحیحات سنتینل-۲ و لندست-۸	۳۷
۲-۵-۳ روش نسبت باندی (BR)	۳۷
۳-۵-۳ روش ترکیب رنگی کاذب (FCC)	۳۹

۳۹	۴-۵-۳ روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit)
۴۰	۵-۵-۳ طبقه‌بندی (Classification)
۴۰	۳-۵-۵-۱ طبقه‌بندی نظارت‌شده
۴۶	۳-۵-۶ تلفیق داده‌ها
۴۷	۳-۵-۶-۱ رای‌گیری حداکثری (MV)
۴۸	۳-۶-۶ صحت‌سنجی
۴۹	۳-۶-۱ دقت کلی (OA)
۵۰	۳-۶-۲ ضریب کاپا (K)
۵۱	فصل ۴: خروجی و تلفیق تصاویر ماهواره‌های لندست-۸ و سنتینل-۲
۵۲	۴-۱ مقدمه
۵۲	۴-۲ پیش‌پردازش و تصحیحات سنتینل-۲ و لندست-۸ در محدوده مسجداغی
	۴-۳ روش‌های استفاده شده در محدوده مورد مطالعاتی مسجداغی با استفاده از داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲
۵۲	۴-۳-۱ روش نسبت‌بندی (BR) در محدوده مورد مطالعاتی مسجداغی
۵۴	۴-۳-۲ ترکیب رنگی کاذب (FCC) در محدوده مورد مطالعاتی مسجداغی
۵۵	۴-۳-۳ روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit) در محدوده مورد مطالعاتی مسجداغی
۵۷	۴-۳-۴ طبقه‌بندی تصاویر و تلفیق نتایج در محدوده مورد مطالعاتی مسجداغی
۶۳	۴-۴ محدوده مطالعاتی جلفا
۶۳	۴-۴-۱ مقدمه
۶۴	۴-۴-۵ پیش‌پردازش و تصحیحات سنتینل-۲ و لندست-۸ در محدوده مطالعاتی جلفا
	۴-۴-۶ روش‌های استفاده شده در محدوده مورد مطالعاتی جلفا با استفاده از داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲
۶۴	۴-۴-۱ روش نسبت‌بندی (BR) در محدوده مورد مطالعاتی جلفا
۶۶	۴-۴-۲ ترکیب رنگی کاذب (FCC) در محدوده مورد مطالعاتی جلفا
۶۷	۴-۴-۳ روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit) در محدوده مورد مطالعاتی جلفا
۶۹	۴-۴-۴ طبقه‌بندی تصاویر و تلفیق نتایج در محدوده مورد مطالعاتی جلفا
۷۴	۴-۷ نتایج صحت‌سنجی طبقه‌بندی و تلفیق تصاویر
۸۱	فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۲	۵-۱ مقدمه
۸۲	۵-۲ نتیجه‌گیری

۳-۵ پیشنهادات ۸۴

منابع ۸۵

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: فلوچارت روش پیشنهادی ۸
- شکل ۱-۲: نقشه راه‌های ایران و موقعیت جلفا ۱۳
- شکل ۲-۲: نقشه ساده شده ساختاری-زمین‌شناسی ایران ۱۴
- شکل ۳-۲: نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی جلفا ۱۵
- شکل ۴-۲: نقشه ساده شده زمین‌شناسی-معدنی محدوده کانی‌سازی مسجدداغی ۲۱
- شکل ۵-۲: تصاویری از نمونه‌های دستی و مقاطع نازک دگرسانی‌های منطقه مسجدداغی ۲۵
- شکل ۶-۲: نمایی از منطقه مسجدداغی ۲۷
- شکل ۱-۳: سنجنده‌های فعال و غیرفعال ۳۰
- شکل ۲-۳: شمای کلی از نحوه دریافت داده‌ها از طریق سنجنده‌های ماهواره‌ای ۳۲
- شکل ۳-۳: سنجنده سنتینل-۲ ۳۶
- شکل ۴-۳: شبکه عصبی مصنوعی (NN) ۴۲
- شکل ۵-۳: قاعده کلی طبقه‌بندی الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) ۴۵
- شکل ۶-۳: ادغام تصمیم‌گیری یا ادغام طبقه‌بندی‌کننده ۴۶
- شکل ۱-۴: روش نسبت‌بندی (BR) تصاویر ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ در منطقه مسجدداغی ۵۴
- شکل ۲-۴: روش ترکیب رنگی کاذب تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ در منطقه مسجدداغی ۵۵
- شکل ۳-۴: روش کمترین مربعات رگرسیون شده در تصاویر ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ در منطقه مسجدداغی ۵۷
- شکل ۴-۴: ROI‌های آموزشی و آزمایشی جداشده بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ برای بارزسازی مناطق دگرسانی و غیردگرسانی محدوده مطالعاتی مسجدداغی ۶۰
- شکل ۵-۴: سه طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه‌عصبی، بیشترین شباهت، ماشین‌بردار پشتیبان و تلفیق نتایج طبقه‌بندی‌ها با استفاده از روش رای‌گیری حداکثری در تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ در محدوده مطالعاتی مسجدداغی ۶۲
- شکل ۶-۴: روش نسبت‌بندی تصاویر سنجنده لندست-۸ و سنتینل-۲ در منطقه جلفا ۶۶
- شکل ۷-۴: روش ترکیب رنگی کاذب تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ در منطقه جلفا... ۶۷
- شکل ۸-۴: روش Ls-Fit در تصاویر ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ در محدوده مطالعاتی جلفا... ۶۹

- شکل ۴-۹: سه طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه‌عصبی، بیشترین شباهت، ماشین بردار پشتیبان و تلفیق نتایج طبقه‌بندی‌ها توسط روش رای‌گیری حداکثری در تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ در محدوده مطالعاتی جلفا ۷۴
- شکل ۴-۱۰: نمودار نتایج حاصل از ادغام و طبقه‌بندی‌ها در محدوده مطالعاتی مسجدداغی ۷۷
- شکل ۴-۱۱: نمودار نتایج حاصل از ادغام و طبقه‌بندی‌ها در محدوده مطالعاتی جلفا ۷۸

فهرست جداول

جدول ۳-۱: اطلاعات تعدادی از سنجنده‌های غیرفعال براساس نوع سنجنده	۳۱
جدول ۳-۲: اطلاعات باندهای ماهواره لندست-۸	۳۵
جدول ۳-۳: اطلاعات باندهای سنجنده سنتینل-۲	۳۶
جدول ۳-۴: نسبت‌بندی استفاده‌شده در تحقیق	۳۸
جدول ۳-۵: ترکیب‌رنگی استفاده‌شده در تحقیق	۳۹
جدول ۳-۶: نمایی از جدول ماتریس خطا برای طبقه‌بندی چهارکلاسه	۴۹
جدول ۳-۷: محدوده تفسیر ضریب کاپا (k)	۵۰
جدول ۴-۱: مقایسه نتایج دقت کلی (OA) و ضریب کاپا (K) سه طبقه‌بندی ANN، ML و SVM و ادغام گر MV در محدوده مطالعاتی مسجدداغی	۷۶
جدول ۴-۲: مقایسه نتایج دقت کلی (OA) و ضریب کاپا (Kappa) سه طبقه‌بندی ANN، ML و SVM و ادغام گر MV در محدوده مطالعاتی جلفا	۷۶

فهرست علائم

MTMF	Mixture Tuned Matched Filtering
OLI	Operational Land Image
FCC	False Color Composite
SAM	Spectral Angle Mapper
MSI	Multi Spectral instrument
PCA	Principal Components algorithm
XRD	X Ray Diffraction
ML	Maximum likelihood
NN	Neural Network
SVM	Support Vectore Machine
TIRS	Thermal Infrared Sensor
BR	Band Ratio
FCC	False Color Composite
La-Fit	Least Squarr Fit
RBF	Rasial Basis Function
BP	Back Propagation
MLF	Multi-Layer Perceptron
MV	Majoroty Voting Algorithm
ENVI	The Environment For Visualizing Images
OTB	Orfeo Tool Box
OA	Overall Accuracy
K	Kappa
RS	Remote Sensing

فصل اول: کلیات

کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا یکی از مهمترین مناطق تشکیل کانسارهای پورفیری در دنیا است. این کمربند از شمال بالکان شروع شده و پس از عبور از ترکیه، ارمنستان، ایران و پاکستان به سمت تبت، هند و چین می‌رود (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۴). کشور ایران در بخش میانی این کمربند واقع شده است و کانسارهای مهمی از این نوع کانی‌سازی در شمال غرب (استان آذربایجان) و جنوب شرق (استان کرمان) اکتشاف و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. کانسارهای مس پورفیری دارای ذخیره بالای مس $\pm$ مولیبدن $\pm$ طلا بوده و استخراج روباز این نوع کانسار اهمیت اکتشاف آن را دو چندان می‌نماید. این ذخایر همراه با سنگ‌های مونزونیتی، تونالیتی، دیوریتی و گرانودیوریتی کالک آلکالن در کمربندهای تکتوتیکی زون فرورانش حاشیه قاره‌ها و جزایر قوسی تشکیل شده‌اند (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۴). سنگ میزبان کانی‌سازی متحمل دگرسانی‌های وسیع (گاه به شعاع ۵ کیلومتر) شده‌اند؛ که تشخیص و بارزسازی این دگرسانی‌ها نقش بسیار مهمی را در اکتشاف کانسارهای پورفیری ایفا می‌نماید.

یکی از روش‌های مهم در شناسایی و پی‌جویی ذخایر مس $\pm$ مولیبدن $\pm$ طلا پورفیری استفاده از داده‌های سنجش از دور^۱ است. سنجش از دور تکنولوژی کسب اطلاعات و تصویربرداری از زمین با استفاده از تجهیزات هوانوردی مانند هواپیما، بالن یا تجهیزات فضائی نظیر ماهواره است (Sirvastav et al., 2000). این روش از انرژی الکترومغناطیسی بهره می‌گیرد که قویترین منبع تولیدکننده این انرژی، خورشید است. در کنار منبع طبیعی تولید انرژی الکترومغناطیسی که در سنجش از دور غیر فعال^۲ کاربرد دارد، انرژی الکترومغناطیسی می‌تواند به‌طور مصنوعی نیز تولید شود؛ که آن را اصطلاحاً سنجش از دور فعال^۳ می‌نامند (Acharya et al., 2018). وقتی انرژی الکترومغناطیسی به زمین می‌رسد، قسمتی از آن بازتابیده و قسمت دیگری جذب می‌شود. انرژی جذب شده ممکن است متعاقباً تابش گردد؛ که سهم بازتاب شده یا جذب و تابش مجدد

¹ Remote Sensing (RS)

² Passive Remote Sensing

³ Active Remote Sensing

انرژی الکترومغناطیسی، برای مواد گوناگون متفاوت است. با اندازه‌گیری مقدار انرژی الکترومغناطیسی بازتابی و یا تابش شده و مقایسه آن با منحنی‌های بازتاب طیفی، می‌توان اطلاعات مناسبی از عوارض سطحی زمین کسب کرد. در این میان استفاده از داده‌های سنجش از دوری طیفی^۱ مانند داده‌های چند طیفی به منظور اکتشاف و شناسایی مناطق و مواد معدنی امری مرسوم می‌باشد (Samarasinghea et al., 2010). سنجنده‌های قدیمی‌تر در این گروه ماهواره لندست-۸^۲ و برای سنجنده‌های جدیدتر می‌توان به داده‌های حاصل از سنجنده سنتینل-۲^۳ اشاره کرد. سنجش از دور ابزار مفیدی برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، مطالعات ساختاری زمین، سنگ‌شناسی و تعیین دگرسانی‌ها است که در مراحل اولیه اکتشاف به‌ویژه در مراحل پی‌جویی و پتانسیل‌یابی مواد معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌های دورسنجی به دلیل پوشش دادن یک منطقه گسترده و پوشش‌های چندطیفی و چند زمانی می‌توانند در شناسایی ایالت‌ها و کمربندهای کانه‌زایی مورد استفاده قرار گیرند (Gupta, 2003).

برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی جلفا در شمال استان آذربایجان شرقی واقع شده و کانسار مس-طلا مسجدداغی در ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان جلفا قرار گرفته است. محدوده مسجدداغی در سال‌های ۱۳۷۹ تا سال ۱۳۸۵ از طرف سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور و شرکت ملی مس ایران برای کانی‌سازی طلای اپی‌ترمال و مس پورفیری تحت عملیات اکتشافی قرار گرفته است. از آنجا که منطقه شمال غرب ایران یکی از مناطق مهم کانی‌سازی پورفیری-اپی‌ترمال محسوب می‌شود؛ لذا استفاده از روش‌های جدیدتر سنجش از دور می‌تواند در اکتشاف بالقوه این نوع کانی‌سازی کمک نماید. با توجه به اینکه کانی‌سازی پورفیری-اپی‌ترمال مسجدداغی در برگه جلفا واقع شده است؛ لذا مطالعه موردی کانی‌سازی مسجدداغی در این منطقه می‌تواند در تعیین صحت نتایج حاصل از این مطالعات کمک شایانی نماید.

¹ Spectral

² Landsat-8

³ Sentinel-2

۲-۱ مروری بر فعالیت‌های انجام شده

جهت انجام این تحقیق نیاز به مطالعات انجام شده و جمع‌آوری سابقه موضوع می‌باشد؛ لذا تعدادی از تحقیقات سال‌های اخیر در این زمینه مورد بررسی قرار گرفت.

- خالقی و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از داده‌های سنجنده Sentinel-2، ASTER^۱ و ماهواره Landsat-8 در جنوب کرمان به مطالعه تغییرات دگرسانی‌ها و اکسید آهن مرتبط با کانسارهای پورفیری در کمربند آتشفشانی- ماگمایی سنوزوئیک کرمان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات دگرسانی‌های فیلک، آرژلیک و پروپیلیتیک در فیلتر MTMF^۲ بر روی داده‌های استر به خوبی نمایش داده شده است. همچنین داده‌های سنتینل-۲ نسبت به OLI^۳ و استر به‌طور قابل توجهی بارزسازی بهتری در اکسیدهای آهن داشته است. از طرفی کاربرد روش MTMF در این تحقیق انواع دگرسانی‌ها و اکسیدهای آهن را بهتر نشان داد.

- کریم‌پورگلی و همکاران (۱۳۹۹) در محدوده مسجدداغی واقع در استان آذربایجان شرقی به‌منظور اکتشاف کانسارهای مس پورفیری با استفاده از داده‌های سنجنده‌های Sentinel-2، ASTER و ماهواره Landsat-8 با به‌کارگیری روش‌های نسبت‌بندی (BR)، ترکیب‌بندی (FCC)^۴ و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده SAM^۵ این نتیجه حاصل شده است؛ که داده‌های استر به دلیل داشتن باندهای متعدد می‌تواند به‌طور موثرتری برای پی‌جویی و بررسی زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی به‌خصوص درمورد کانسارهای پورفیری استفاده شود.

- هو^۶ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از کاربرد مصنوعی داده‌های MSI^۷، Sentinel-2A، ASTER و Hyperion^۱ در منطقه Duolpng فلات تبت چین به نقشه‌برداری مواد معدنی گرمابی تغییر یافته پرداختند.

^۱ ASTER

^۲ Mixture Tuned Matched Filtering (MTMF)

^۳ Operational land image (OLI)

^۴ False Color Composite (FCC)

^۵ Spectral Angle Mapper (SAM)

^۶ Hu and et al., 2018

^۷ Multi spectral instrument (MSI)

روش‌های مورد استفاده در این تحقیق Sentinel-2A, MSI و تابش‌سنج انتشار و انعکاس (ASTER) و داده Hyperion برای تهیه نقشه تغییر یافته است که از نظر گرمایی با هم ترکیب می‌شوند.

- مجدی‌فر و همکاران (۱۳۹۸) در محدوده مطالعاتی کدر، گودکولواری، ایجو، سرنو و چاه فیروزه با استفاده از سنجنده ASTER به شناسایی نواحی مستعد دگرسانی پرداخته‌اند. در این تحقیق که با به کارگیری روش کاربرد ماشین بردار پشتیبان صورت گرفته است نتایج نسبتاً قابل قبولی برای شناسایی دگرسانی آرژلیک، فلیک و پروپیلیتیک به دست آمده است. نتیج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد، دگرسانی پروپیلیتیک به خوبی بارزسازی شده است اما راه کار مناسبی برای تفکیک دگرسانی فلیک و آرژلیک وجود ندارد، به همین دلیل بهتر است از روش‌های تصحیح دیگری استفاده شود.

-عباس‌زاده (۱۳۹۷) در منطقه آران با استفاده از کاربرد تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ به شناسایی نواحی مستعد کانی‌سازی در این منطقه پرداخته است. در این تحقیق که پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ سنجنده OLI صورت گرفته است، با استفاده از روش‌های ترکیب رنگی کاذب (FCC)، نسبت باندی (BR)، آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی (PCA)^۲ و روش کمترین مربعات رگرسیون شده انجام شده است. نتایج حاصل از این تحقیق مناطق دگرسانی کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن را به خوبی نشان داده است.

- صالحی و هاشمی تنگستانی (۱۳۹۷) مطالعه موردی جهت بارزسازی زون‌های دگرسان در کانسارهای مس-مولیبدن پورفیری در شمال شرق اصفهان انجام دادند؛ که در این تحقیق قابلیت سنجنده MSI ماهواره Sentinel-2A با استفاده از روش MTMF مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این روش نشان داد که سنجنده MSI با توجه به توان تفکیک مکانی بالا در محدوده مرئی-فروسرخ نزدیک به خصوص پهنای باندی گسترده در باند ۸ الگوی بهتری برای بارزسازی اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) و جاروسیت ارائه داده است. روش MTMF توانست کانی‌های بنیان AL-OH را به دلیل شباهت

^۱ Hyperion

^۲ Principal Components algorithm (PCA)

طیفی آن‌ها در ۱۹/۲ میکرومتر به صورت زون فلیک-آرژلیک با فراوانی بالای ۸۰ درصد بارز نماید. هرچند مشاهدات صحرایی، نتایج XRD^۱ و طیف‌سنجی حضور زون پروپلیتیک را در منطقه تایید کردند، سنجنده MSI قادر به بارزسازی و نقشه برداری کانی‌های کلریت و اپیدوت بوده است.

-روستائی و همکاران (۱۳۹۷) جهت طبقه‌بندی^۲ کاربری اراضی در محدوده مطالعاتی منطقه اهر-ورزقان با هدف مقایسه دو روش بیشترین شباهت (ML) و ماشین‌بردارپشتیبان (SVM) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ به مطالعه پرداخته‌اند. با مقایسه مربوط به دقت کلی و ضریب‌کاپا دو روش استفاده‌شده این نتایج حاصل می‌شود؛ که روش ماشین‌بردارپشتیبان دارای دقت بالاتری نسبت به روش بیشترین شباهت است.

-عباس‌زاده و مجدالدین (۱۳۹۴) جهت تعیین مناطق امیدبخش کانه‌زایی مس و آهن در جنوب‌شرق کاشان از تصویر سنجنده لندست ETM+ استفاده کردند. در این پژوهش از روش‌های آنالیز مولفه‌های اصلی PCA و آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی کروستا و نسبت‌های باندی مرتبط با کانه‌زایی مورد استفاده شده است. نتایج حاصل از این مطالعات توانست نواحی امیدبخش کانی‌سازی مس و آهن و همچنین هاله‌های دگرسانی را به‌خوبی نشان دهند.

-بمانی و انصاری (۱۳۹۳) با استفاده از داده‌های لندست ETM+ و معرفی روش‌های مناسب روی این داده به‌منظور تعیین مناطق امیدبخش کانی‌سازی آهن در منطقه معدنی بافق-ساغند با به‌کارگیری روش‌های ترکیب باندی، نسبت باندی، آنالیز مولفه‌های اصلی استاندارد، انتخابی و هدایت شده و کمترین مربعات رگسیون شده تصاویری جهت تعیین مناطق امیدبخش در این مطالعه ایجاد شد. روش‌های ترکیب باندی و نسبت باندی به‌خوبی آلتراسیون‌های هیدروترمالی مربوط به کانی‌های رسی، اکسیدهای آهن و آهن سه ظرفیتی را نشان دادند. تکنیک‌های آنالیز مولفه اصلی (استاندارد، کروستا و هدایت شده) قادر بود آلتراسیون‌های هیدروکسیدی و اکسید آهن را در منطقه مورد مطالعه تعیین کند.

^۱ X Ray Diffraction (XRD)

^۲ Classification

۳-۱ ضرورت و هدف از انجام پایان نامه

سنجش از دور در بسیاری از زمینه‌های علمی و تحقیقاتی کاربردهای گسترده‌ای دارد یکی از کاربردهای آن در اکتشاف معادن است که نه تنها سرعت انجام مطالعات را بیشتر می‌کند، بلکه از نظر دقت، هزینه و نیروی انسانی نیز باصرفه خواهد بود. از آنجا که کانسارهای پورفیری دارای دگرسانی‌های گسترده می‌باشد و همچنین ساختارهای گسلی در تشکیل این نوع ذخایر نقش دارد موارد زیر می‌تواند در ضرورت انجام این تحقیق موثر باشد:

۱- استفاده از سنجنده سنتینل-۲ در اکتشاف ذخایر مس پورفیری در شمال غرب تا به حال انجام نشده‌است و این تحقیق می‌تواند نکات مهمی در رابطه با دگرسانی‌های موجود و مرتبط با این نوع ذخایر ارائه دهد.

۲- از آنجا که کانسارهای مس پورفیری به صورت خوشه‌ای تشکیل می‌شود؛ این مطالعات می‌تواند در اکتشاف ذخایر کشف نشده کمک نماید و منطقه مجدداً مورد بررسی قرار گیرد.

۳- تلفیق داده‌های سنتینل-۲ و لندست-۸ می‌تواند نواحی امیدبخش معدنی و لایه‌های اطلاعاتی مرتبط با آن را (نوع واحدهای سنگی، ساختار تکتوتیکی، ساختمان‌های ماگمایی و دگرسانی‌ها) به عنوان نواحی امیدبخش معرفی نماید که نسبت به سایر مناطق احتمال بیشتری برای کانی‌زایی داراست.

در این تحقیق سعی می‌شود برای استخراج کانسارهای موجود از روش‌های طبقه‌بندی‌کننده نظارت‌شده مبتنی بر یادگیری ماشین مانند: بیشترین شباهت^۱، روش‌های شبکه‌های عصبی^۲ و ماشین بردار پشتیبان^۳ استفاده گردد.

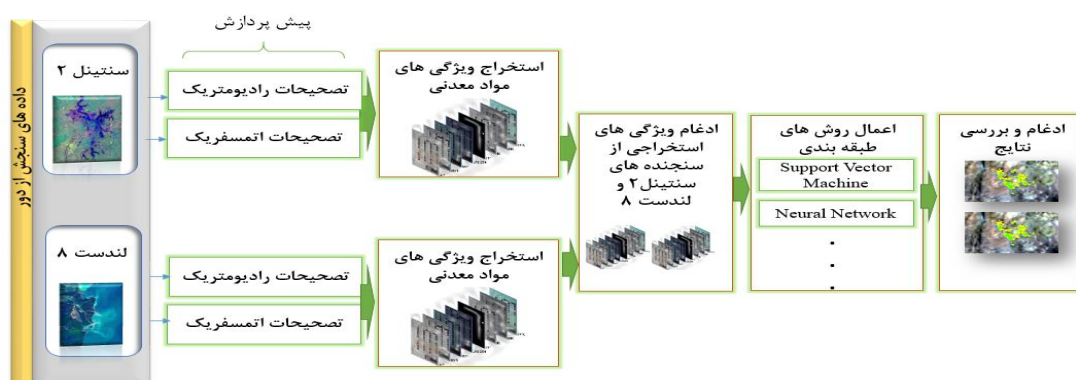
^۱ Maximum likelihood (ML)

^۲ Neural Network (NN)

^۳ Support Vector Machine (SVM)

۴-۱ روش تحقیق

در سال‌های اخیر استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به منظور اکتشاف ذخایر معدنی مورد توجه بسیار زیادی قرار گرفته است. تحقیق پیش رو سعی دارد از داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی لندست-۸ و سنتینل-۲ و روش‌های تلفیق آن‌ها برای بارزسازی و کشف کانسارهای مس پورفیری به صورت بهینه استفاده کند. شکل ۱-۱: الگوریتم روش پیشنهادی را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۱: فلوچارت روش پیشنهادی به منظور شناسایی ذخایر پورفیری با استفاده از ادغام داده‌های سنجنده از دور مطابق شکل روش پیشنهادی داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، شامل داده‌های چندطیفی سنتینل-۲ و لندست-۸ می‌باشد. سنجنده Sentinel-2 دومین سری از ماهواره‌های Sentinel بوده که در ۲۳ ژوئن ۲۰۱۵ ماموریت خود را آغاز کرد. Sentinel-2 نیز ماهواره مدار قطبی است که ماموریت آن اخذ تصاویر با وضوح بالا برای پایش و شناسایی پدیده‌های مختلف زمینی می‌باشد. این سنجنده از ۱۳ باند طیفی در محدوده‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه برخوردار می‌باشد. پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به منطقه مطالعاتی و هم‌مرجع کردن آنها، تصحیحات رادیومتریک^۱ و اتمسفریک^۲ بر روی تصاویر دریافتی از سنجنده‌های نوری سنتینل-۲ و ماهواره لندست-۸ انجام می‌شود. در این مرحله برای هر کدام از تصاویر، ویژگی‌های مربوطه استخراج می‌شوند. این ویژگی‌ها^۳ در قالب نسبت‌های باندی و یا روابط پیچیده‌تر به منظور شناسایی بهتر مواد معدنی کاربرد فراوانی دارند. در

^۱ Radiometric Calibration

^۲ Atmospheric correction

^۳ Features

ادامه ویژگی‌های استخراجی از داده‌ها برای ماهواره‌لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ بطور جداگانه با یکدیگر ترکیب شده و داده ورودی جدیدی را ایجاد می‌کنند. ترکیب هریک از داده‌ها کمک می‌کند تا معایب روش‌های اعمال‌شده بر روی ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ رفع شود و از مزایای هر دو داده سنجش از دوری در کنار یکدیگر استفاده کرد و از مقایسه آن‌ها اطلاعات سودمندی به‌دست‌آورد. داده‌های حاصل از ماهواره لندست و سنجنده سنتینل-۲ برای شناسایی هر چه بهتر عوارض، تحت روش‌های مختلف طبقه‌بندی قرار می‌گیرد. روش ماشین بردار پشتیبان از جمله مهمترین و دقیق‌ترین این روش‌ها است، که از مبانی یادگیری ماشین برای شناسایی کلاس‌های مختلف طیفی استفاده می‌کند. نتایج حاصل از طبقه‌بندی کننده‌های مختلف در ادامه مورد بررسی، مقایسه و در صورت نیاز ترکیب قرار می‌گیرد.

از مزایای روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های پیشین می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده همزمان و ادغام دو داده چندطیفی سنجش‌ازدور

- استفاده از روش‌های استخراج اطلاعات مبتنی بر یادگیری ماشین^۱ مانند روش‌های ماشین‌بردارپشتیبان (SVM) و...

- استفاده از مفهوم ادغام تصمیم‌گیری‌ها یا طبقه‌بندی کننده‌ها به‌منظور بهبود روش‌های اکتشاف معدنی

۱-۵ ساختار پایان‌نامه

این تحقیق مشتمل بر پنج فصل می‌باشد. فصل اول به مقدمه، سابقه تحقیق، ضرورت و هدف و روش کار پرداخته است. فصل دوم به موقعیت جغرافیایی، شرح برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی جلفا و منطقه کانی‌سازی مسجوداگی پرداخته می‌شود. فصل سوم به مطالعات دورسنجی و روش‌های به‌کاررفته پرداخته خواهد شد و در فصل چهارم خروجی حاصل از روش‌ها و تلفیق ارائه می‌گردد و فصل پنجم شامل نتایج این تحقیق و پیشنهادات خواهد داد.

^۱ Machine learning

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۲-۱ مقدمه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان شرقی واقع شده است و از لحاظ زمین‌شناسی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی جلفا قرار دارد. مطالعات زمین‌شناسی در دهه‌های اخیر نشان می‌دهد که شمال غرب ایران پتانسیل بالقوه‌ای از ذخایر پورفیری-اپی‌ترمال دارد. ذخایر پورفیری نظیر سونگون، هفت چشمه، سوناجیل و میوه‌رود و ذخایر اپی‌ترمال شرف‌آباد، مسجدداغی، زگلک و سفی‌خانلو نمونه‌هایی از اکتشافات این ذخایر در شمال غرب ایران است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶). در این فصل سعی بر این است که نکات مهم زمین‌شناسی جلفا و ویژگی‌های مهم ذخیره مس-طلا پورفیری-اپی‌ترمال مسجدداغی توضیح داده شود تا بر مبنای آن تفسیرهای نتایج حاصل از مطالعات دورسنجی با دقت و صحت بیشتری امکان‌پذیر باشد.

۲-۲ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه

برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا با مختصات جغرافیایی $30^{\circ} 45'$ تا $00^{\circ} 46'$ و $30^{\circ} 38'$ تا $00'$ در شمال غرب ایران قرار گرفته است که دارای موقعیت مرزی بوده و سرتاسر شمال آن مرز بین ایران و جمهوری نخجوان است.

راه‌های این منطقه در فاصله‌های بین مرند به جلفا و زنوز و هادی شهر و نیز جلفا به سیاهرود آسفالت‌ه است و جاده‌های درجه ۲ و هم چنین راه‌های مال‌رو در همه جای منطقه گسترش دارد. راه آهن سراسری نیز از بخش میانی آن می‌گذرد که در انتها به راه آهن جمهوری نخجوان متصل می‌گردد. نقشه راه‌های ایران در شمال غرب و منطقه کانی‌سازی مسجدداغی بر روی شکل ۲-۱ نشان داده شده است.

محدوده کانی‌سازی مسجدداغی با وسعت تقریبی ۸ کیلومتر مربع در بازه طول شرقی $53'' 55'$ تا 45° تا $21'' 57'$ و عرض شمالی $16'' 52'$ تا $14'' 53'$ قرار دارد. کانه‌زایی مسجدداغی در بستر و حاشیه رودخانه فصلی آریاچای قرار دارد و برای دسترسی به محدوده مورد مطالعه می‌توان از طریق

جاده بین المللی تبریز-جلفا با طی مسافت ۱۲۵ کیلومتر و از جاده آسفالته جلفا- سیه رود با طی مسیر ۴۵ کیلومتر به منطقه مسجدداغی رسید.

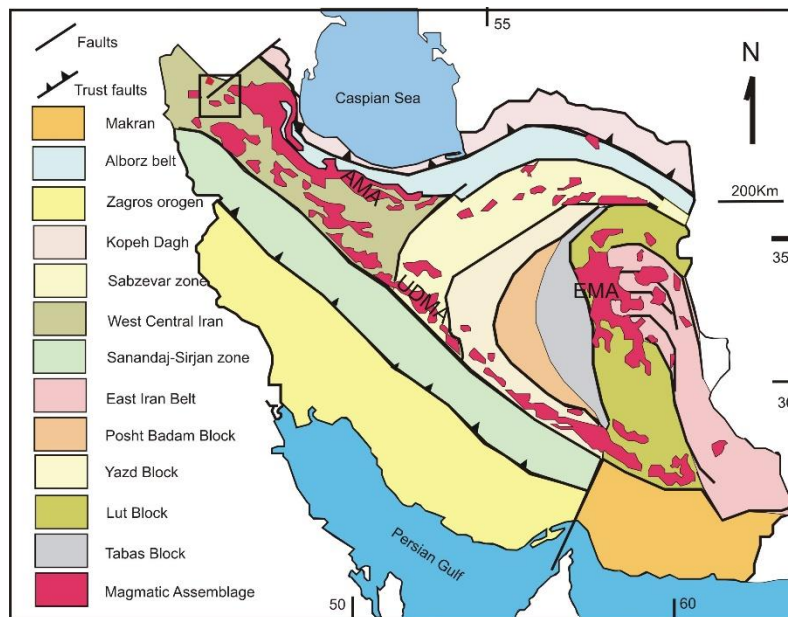
این منطقه به دلیل بارندگی کم دارای پوشش گیاهی نسبتاً کم می‌باشد؛ لذا کشاورزی در کنار رودخانه ارس، ایری‌چای و زنوزچای و همچنین جنوب محدوده گسترش بیشتری دارد. این منطقه در فصل زمستان در بخش‌های کوهستانی سرد و برفی است و در تابستان در نواحی پست آب و هوای گرم دارد. از نظر توپوگرافی منطقه مورد بررسی به دو بخش مرتفع و کم ارتفاع تقسیم‌بندی می‌شود؛ بخش مرتفع و کوهستانی بیشتر در شرق و مرکز و تا حدودی شمال‌غرب قرار دارد که کوه کیامکی با ارتفاع ۳۴۱۴ متر در شمال‌شرق منطقه قرار دارد. بخش کم ارتفاع در جنوب و شمال منطقه گسترش دارد و شامل پست‌ترین نقاط در کنار رود ارس و جلفا است که در شمال‌غرب سیاه رود با ارتفاع ۶۴۶ متر از سطح دریا قرار دارد.



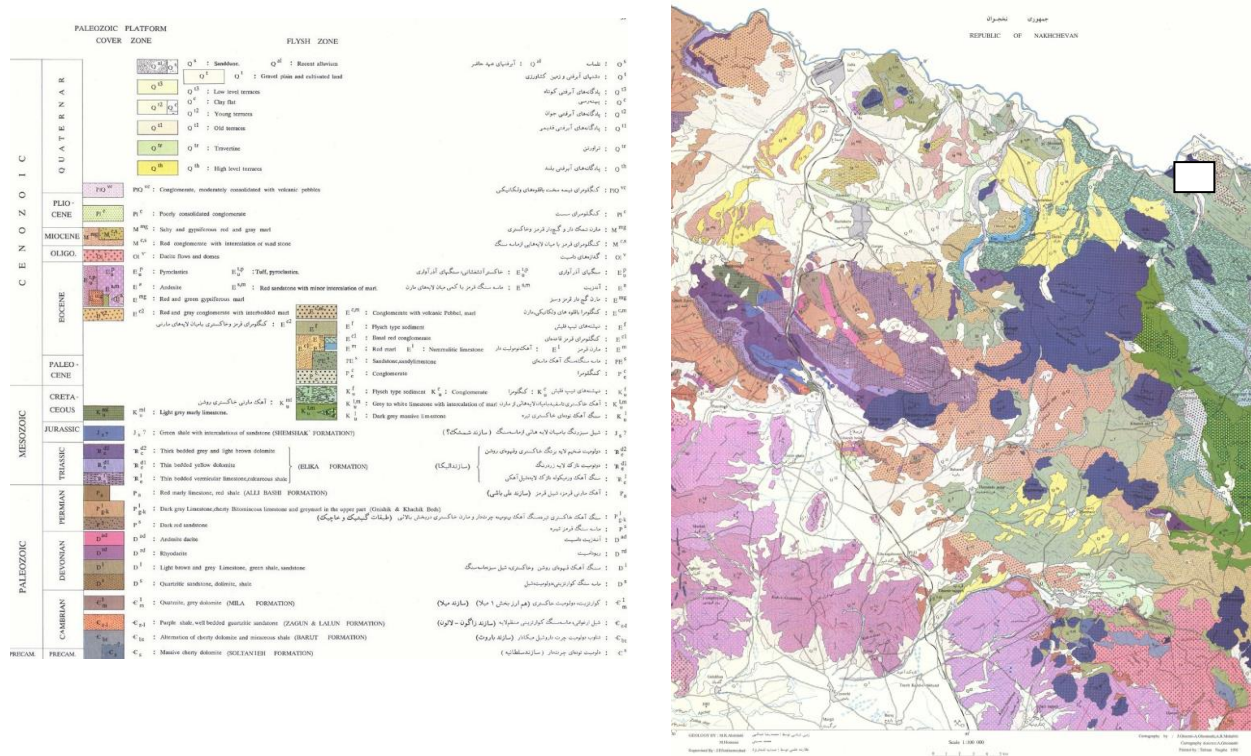
شکل ۲-۱: نقشه راه‌های ایران و موقعیت جلفا و منطقه مسجدداغی که با ستاره سیاه مشخص شده است.

۳-۲ زمین‌شناسی محدوده جلفا

منطقه مطالعاتی جلفا در زون فلزایی ارسباران و در انتهای کمان ماگمایی البرز-آذربایجان واقع شده است (شکل ۲-۲). براساس توضیحات نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا، می‌توان توصیف واحدهای موجود در منطقه را به شرح آتی در نظر گرفت (عبداللهی و همکاران، ۱۹۹۶) (شکل ۳-۲).



شکل ۲-۲: نقشه ساده شده ساختاری-زمین‌شناسی ایران (علوی، ۱۹۹۱؛ اشتوکلین، ۱۹۶۸) که موقعیت منطقه جلفا در شمال غرب ایران با مستطیل مشخص شده است.



شکل ۲-۳: نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی جلفا که محدوده معدنی مسجدداغی با مربع سفید بر روی آن مشخص شده است.

واحدهای منطقه براساس نوع سنگ‌های برونزد یافته و رخساره آن‌ها به دو بخش فلیشی و بخش پوشش پلاتفرمی قابل تفکیک است. بخش پلاتفرمی شامل نهشته‌های پالئوزوئیک و بخشی از نهشته‌های مزوزوئیک است که دنباله پلاتفرم ایران مرکزی و البرز می‌باشد و بخش فلیشی آن مربوط به بخش‌های کرتاسه و نهشته‌هایی با تیپ فلیش ائوسن است. بخش فوقانی پرکامبرین-کامبرین آغازین قدیمی‌ترین نهشته‌های موجود در این ناحیه است. آثار اولیه فعالیت‌های آتشفشانی مربوطه به زمان کرتاسه است ولی اوج فعالیت آتشفشانی با ترکیب حدواسط تا اسیدی در ائوسن می‌باشد.

این محدوده از نظر رخدادهای زمین‌ساختی به دو بخش تقسیم می‌شود:

بخش پوشش پلاتفرمی پالئوزوئیک

در نواحی جنوب، مرکز و غرب منطقه این بخش وسعت زیادی را دربر گرفته است. این بخش در مقایسه با ایران مرکزی و البرز دارای شرایط سکونی (پلاتفرمی) در طول دوران پالئوزوئیک بوده است. عامل اصلی

پایدار بودن پی سنگ بالکالین می تواند ناشی از اثرات فاز کوهزایی پرکامبرین بالایی در نظر گرفت، همچنین نهشته گذاری در چنین شرایطی تا پس از دوران ژوراسیک نیز ادامه داشته است.

قدیمی ترین نهشته های این بخش از لحاظ زمانی معادل با پرکامبرین-پالئوزوئیک آغازین است که توسط نهشته های زاگون و لالون پوشانده می شود، قرار گرفتن این نهشته ها به گونه ای است که کمتر رخداد عمده ای را می توان در آن مشاهده کرد، در اواخر دونین بالایی یک فعالیت ولکانیکی با ترکیبی ریوداسیت تا آندزیت-داسیت شروع شده است که مشخص کننده نا آرامی های تکنوتیکی موجود در آن زمان است. با توجه به زمین شناسی ساختمانی در بخش پلاتفرمی در سنگ های تشکیل شده در این بخش شرایط پلاتفرمی قابل تشخیص نیست اما در راستای دره دیز با وجود بهم ریختگی که بر اثر نفوذ گنبد های داسیتی زیاد شده است وجود یک ناودیس که در هسته های ژوراسیک و یک تاقدیس که در هسته آن نهشته های دونین قرار دارد تشخیص داده شده است. گسل خوردگی های این بخش اغلب از نوع گسل های نرمال است به جز شمال غرب دره دیز که گسل راندگی در آن مشاهده می شود. روند غالب نهشته های موجود در این زون در جهت شمال غرب به جنوب شرق مشخص می شود.

حرکت آرام خشکی زائی بین پرمین و تریاس

در این بخش رسوبگذاری در دوره پرمین بدون وقفه در دوره تریاس ادامه داشته است. پس از گذر از یک مرحله رسوبگذاری آهک چرت دار، آهک مارنی و مارن خاکستری با ضخامت ۲۰ متر آهک و آهک مارنی و سیلتی مارن به طور هم شیب زیر واحد آهکی نازک لایه و ورمیکوله و فسیل دار تریاس زیرین نهشته های کربناتی پرمین قرار می گیرند (تنها در بخشی از محدوده و همچنین جنوب مرند وقفه رسوب گذاری بین دو دوره ایجاد می شود). در شمال روستای زال (برش زال) واحدهای آهکی نازک لایه تریاس زیرین پس از گذشت از مرحله رسوبگذاری دولومیت، آهک نازک لایه و دولومیت ماسیو با همراه با میان لایه های کنگلومرانی تشکیل شده است که با همبری نا هم ساز فرسایشی نسبت به نهشته های شیل، ماسه سنگ و کنگلومرای ژوراسیک قرار می گیرند. در مرحله گذر از تریاس به ژوراسیک تغییرات زیادی رخ نداده است زیرا

اثر فاز کیمبرین پیشین ضعیف عمل کرده است. وجود نا آرامی‌های تکنوتیکی شدید باعث به وجود آمدن گدازه‌های آندزیتی، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و پیروکلاستیک در زمان ائوسن در محدوده مورد نظر شده است. با توجه به زمین‌شناسی بخش فلیشی کرتاسه پایانی-ائوسن، پی‌سنگ حوضه فلیشی از سنگ‌های افیولیتی و فلیش‌های قره‌باغ تشکیل می‌دهد. پیدایش چندین رخنمون افیولیتی در کلیبر شمال مشکین شهر و قره داغ تا حدودی این بخش را از بخش پلاتفرمی جدا کرده است. گسترش این نهشته‌ها بیشتر در بخش شرقی و شمال شرقی منطقه است و شامل مجموعه‌ای از نهشته‌های آهکی، شیل، ماسه‌سنگ و مارن قابل توجه می‌باشد که نشان دهنده سرعت رسوب گذاری در طی دوره‌های کرتاسه بالا و ائوسن است.

۲-۳-۱ توان معدنی محدوده مطالعاتی جلفا

محدوده مورد مطالعاتی از نظر کانسارهای فلزی غنی به نظر نمی‌رسد و کانسارهای فلزی که به صورت پراکنده یافت می‌شود از نظر اقتصادی چندان با ارزش نیستند. از مهم‌ترین ذخایر فلزی که از گذشته تاکنون مورد بهره برداری قرار گرفته‌اند، کائولن زنوز است که از دگرسانی‌های موجود در سنگ‌های داسیتی گنبد‌های نفوذی آذرین الیگوسن به وجود آمده است، عوامل ایجاد کننده این دگرسانی‌ها را می‌توان به فازهای گرمایی نسبت داد. سنگ آهک‌های پرمین و کرتاسه دارای وسعت زیادی در محدوده مورد مطالعه است که علاوه بر تولید آهک برای کارخانه سیمان به عنوان مصالح ساختمانی نیز استفاده می‌شود. تراورتن موجود در زنوز نیز برای سنگ نمای ساختمانی و مرمریت‌های موجود در جلفا که دارای لایه‌هایی از اونیکس هستند نیز در این محدوده مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. ذخایر خاک رس این محدوده نیز برای آجر-سازی و مصالح اولیه مورد استفاده قرار گرفته است همچنین در نهشته‌های مارنی میوسن این محدوده نیز لایه‌هایی از گچ و نمک مورد بهره برداری قرار می‌گیرد.

۲-۴ انواع ذخایر مس پورفیری

ذخایر مس پورفیری براساس موقعیت تکتوتیکی و سنگ میزبان به دو گروه تقسیم می‌شوند؛ (۱) کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی، (۲) کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی (کریم پور و همکاران، ۱۳۸۴).

۲-۴-۱ کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی

اکتشاف این نوع ذخایر مس پورفیری در دهه ۱۹۵۰ در کشور استرالیا و در بخشی از آسیا شروع شد و در سال ۱۹۶۱ کانساری به نام مون مرا کشف گردید. سپس مناطقی از کشورهای فیلیپین و گینه مورد تحقیق و اکتشاف قرار گرفت. در سال ۱۹۶۴ کانسار بزرگ (Mo-Au) پنگانا کشف گردید، این کانسار شد. اکتشاف مس پورفیری در ایران از سال ۱۹۶۱ شروع و تا کنون ادامه داشته است که کانسار سرچشمه مهمترین کانسار پورفیری در ناحیه کرمان است که کلاس جهانی دارد.

این نوع ذخایر همراه با سنگ‌های مونزونیتی و گرانودیوریتی پورفیری کالک آلکالن در کمرندهای تکنوتیکی زون فروانش حاشیه قاره تشکیل می‌شوند. به دلیل آغشتگی ماگما در حین بالا آمدن با سنگ‌های مسیر اختلاط ماگمایی صورت می‌گیرد؛ لذا مقادیر سیلیس، عناصر آلکالی و مولیبدن در این کانسارها نسبت به ذخایر مس پورفیری نوع دیوریتی بیشتر است. محلول‌های ماگمایی غنی از کاتیونهای سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن سنگ میزبان کانی‌سازی را متحمل دگرسانی می‌کند، گسترش و شدت زون‌های آلتراسیون بستگی به حجم محلول ماگمایی، ساختمان‌های اولیه و ثانویه و همینطور ترکیب شیمیایی سنگ‌های منطقه دارد، که از مرکز سیستم پورفیری به سمت خارج شامل زون پتاسیک، فلیک، آرژلیک و پروپلیتیک است.

زون پتاسیک در بخش فوقانی توده‌های نفوذی و سنگهای مجاور توده‌ها تشکیل می‌شود که تحت تاثیر آب-های ماگمایی غنی از کاتیون‌های K و Na و همینطور کمپلکس‌های کلر و مس، سرب و روی به‌وجود آمده است و حاوی کانیهای دگرسانی کوارتز، ارتوز و بیوتیت ثانویه بوده و ماده معدنی به صورت پیریت، مولیبدنیت، مگنتیت و کالکوپیریت تشکیل شده است. دمای محلول ماگمایی در زون پتاسیک بین ۴۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. زون فلیک یا کوارتز-سرسیت-پیریت در بالای زون پتاسیک قرار دارد که حاوی پیریت، بورنیت، کالکوپیریت و مقدار کمی مولیبدنیت است. زون آرژلیک در بالای زون سرسیت واقع شده است و عمدتاً از کانی‌های رسی تشکیل شده است قسمت داخلی این زون تحت تاثیر آب‌های زیرزمینی تشکیل شده است و دمای محلول آن ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد است. این زون دارای ذخیره معدنی

نیست و مشاهده آن در مراحل اکتشاف، راهنمای بسیار مناسبی برای روش‌های اکتشافی خواهد بود. در مواردی گسترش زون آرژلیک آن‌چنان در منطقه زیاد است که به تشکیل ذخایر غنی از کائولین منجر می‌شود، به‌طوری که با فاصله کمی از یک کانسار مس پورفیری مونزونیتی معدن کائولین نیز می‌تواند تشکیل شود این زون در بالای زون سرسیت قرار دارد. زون پروپلیتیک خارجی‌ترین زون دگرسانی است که از بالا به زون سرسیت-پیریت و از پایین به زون پتاسیک ختم می‌شود که گسترش نسبتاً زیادی دارد و در کانسارهای بزرگ تا شعاع ۵ کیلومتری از مرکز سیستم آثار آن یافت می‌شود. وجود این زون با وسعت زیاد یکی از راهنماهای مناسب برای اکتشاف ذخایر مس پورفیری است.

کانسارهایی که مرتبط با ذخایر مس پورفیری نوع مونزونیتی هستند و اکتشاف آنها در مناطق اطراف محتمل است شامل اسکارن Mo-Cu ، Zn-Pb ، کانی‌سازی اپی‌ترمال Au-Ag-Cu-Au-Ag با سولفید کم و زیاد، رگه‌های Pb-Zn-Ag. پلاسره‌های طلا و ذخایر کائولین است.

بزرگ‌ترین کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی کشف شده در کشور شیلی پدید آمده است.

۲-۴-۲ کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی

این کانسار در کمرندهای زون فرورانس جزایر قوسی همراه با سنگ‌های دیوریتی-تونالیتی کالک آلکالن تشکیل شده‌اند. از آنجا که این کانسار در زون فرورانس جزایر قوسی تشکیل می‌شوند و آغشتگی ماگما با پوسته قاره‌ای وجود ندارد؛ لذا ماگمای کالک آلکالن اکسیدان‌تر بوده به همین دلیل طلا به عنوان محصول جانبی تشکیل می‌شود. وجود مگنتیت و انیدریت بالا، موید بالا بودن اکسیژن محلول ماگمایی می‌باشد. به-دلیل پایین بودن مقدار سولفید در این ذخایر زون‌های دگرسانی فلیک و آرژلیک تشکیل نمی‌شود، بنابراین کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی دارای دو نوع دگرسانی پتاسیک و پروپلیتیک هستند و ذخیره مس عمدتاً در زون پتاسیک و به مقدار بسیار جزئی در زون پروپلیتیک واقع شده است. این نوع کانسار ارزش اقتصادی بالایی از عناصر مس و طلا داشته و از نظر اکتشافی حائز اهمیت هستند. کانسارهایی که با این نوع ذخایر یافت می‌شوند شامل اسکارن Cu ، کانی‌سازی Au-Ag با سولفید زیاد و کم، اپی‌ترمال غنی از Te-F و پلاسره‌های طلا می‌باشند.

یکی از بهترین راه‌های اکتشافی برای ذخایر مس پورفیری وجود کلاhek آهنی یا زون اکسیدان گوسان در سطح زمین است. معمولاً زون غنی از کانی‌های سولفیدی که در سطح زمین رخنمون خوبی دارند اکسید شده و تشکیل کلاhek آهنی را در سطح زمین می‌دهند. کلاhek‌های آهنی به رنگ قرمز تا نارنجی دیده می‌شوند که در اثر وجود اکسید آهن ثانویه تشکیل می‌شوند.

۲-۵ زمین‌شناسی محدوده کانی‌سازی مسجدداغی

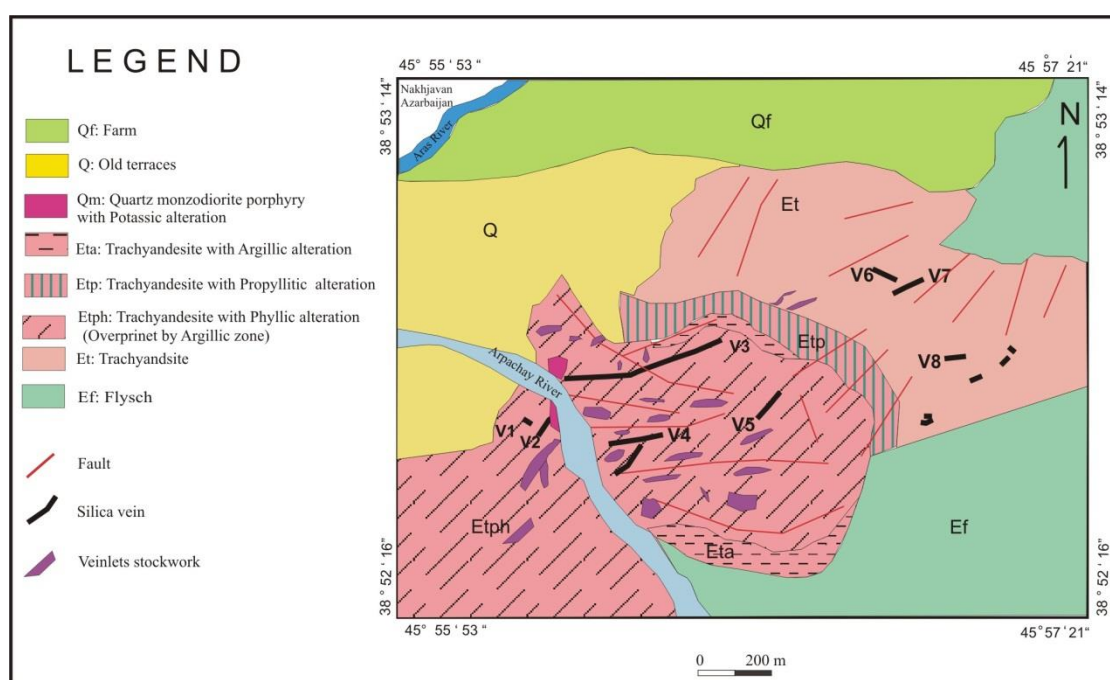
کانسار مس- طلا مسجدداغی در ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان جلفا و در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این محدوده در سال ۱۳۷۹ شناسایی شده است و از همان سال تا سال ۱۳۸۵ از طرف طرح اکتشاف سراسری طلا توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور تحت عملیات اکتشافی قرار گرفته است، همزمان با این مطالعات، عملیات اکتشافی به جهت اکتشاف ذخایر پورفیری توسط شرکت ملی صنایع مس ایران در این محدوده برای اکتشاف مس پورفیری آغاز شد.

نقشه زمین‌شناسی کانسار پورفیری-پی‌ترمال مسجدداغی توسط محمدی (۱۳۸۵) تهیه شده است (شکل ۲-۴). مهم‌ترین رویداد ناحیه که بیشتر کانی‌سازی‌های فلزی با آن مرتبط می‌باشد، توده نفوذی قره‌داغ در شرق منطقه مسجدداغی است. واحدهای سنگی این ناحیه به‌طور عمده شامل توده نفوذی کم با ترکیب سنگ‌شناسی دیوریت تا کوارتز مونزودیوریت پورفیری با سن الیگومیوسن است. قدیمی‌ترین واحد سنگ‌شناسی در محدوده مسجدداغی، مجموعه‌ای از سنگ‌های فلیش گونه ائوسن است که بخش زیادی از شمال-غرب ایران را در بر گرفته است و بسیار چین‌خورده و گسلیده شده است. نهشته‌های فلیش از ماسه سنگ، آهک، شیل و سیلت همراه با لایه‌هایی از کنگلومرا خاکستری و سبز تشکیل شده است و به‌دلیل فرسایش نامنظم بخش‌های مختلف آن، مورفولوژی ملایم تا خشن پیدا کرده است. این مجموعه رسوبی تشکیل شده توسط سنگ‌های آتش فشانی ائوسن پوشیده شده است. سنگ‌های آتش فشانی ترکیبی از آندزیت و تراکی آندزیت داشته و توپوگرافی خشن‌تری دارد. ترکیب سنگ‌شناسی قسمت‌های شرقی محدوده، آندزیتی تا تراکی آندزیتی با دگرسانی کم‌تر است ولی بخش‌های غربی محدوده را سنگ‌هایی با همان ترکیب ولی با

دگرسانی بیشتر تشکیل داده است. یک توده نفوذی کوارتز مونزودیوریت پورفیری الیگومیوسن به درون سنگ‌های آتش فشانی نفوذ کرده است که در سطح زمین رخنمون کمی دارد اما گسترش آن در عمق زیاد است که میزبان اصلی ذخیره پورفیری مسجد داغی است.

سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی رگه‌ای سنگ‌های آتشفشانی است که دچار دگرسانی شده است. توده کوارتز مونزودیوریت پورفیری که شامل درشت بلورهای پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن، بیوتیت و مقدار اندکی کوارتز و هورنبلند است.

واحد تراکی‌آندزیتی دارای گسترش زیادی در منطقه بوده و سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی رگه‌های طلا دار و ذخیره مس پورفیری است، این سنگ به همراه پلاژیوکلاز، بیوتیت، سانیدین، هورنبلند و مقدار ناچیزی کلینوپروکسن، در زمینه شیشه‌ای و میکرولیتی مشخص می‌شود.



شکل ۲-۴: نقشه ساده شده زمین‌شناسی-معدنی محدوده کانی‌سازی مسجدداغی (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵).

۲-۵-۱ دگرسانی محدوده مطالعاتی مسجد داغی

مطالعات دقیقی بر روی دگرسانی‌های منطقه مسجدداغی صورت گرفته است که نشان می‌دهد؛ دگرسانی گرمابی در محدوده مسجدداغی گسترش وسیعی دارد به‌خصوص واحدهای تراکی‌آندزیت و کوارتز مونزودیوریت که بر مبنای آن شش دگرسانی در منطقه تشخیص داده شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ امامعلی پور و همکاران، ۱۳۸۸؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶). این دگرسانی‌ها شامل پتاسیک، فلیک، آرژیلیک حدواسط، آرژیلیک پیشرفته، سیلیسی و پروپیلیتیک است. دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک حدواسط و پروپیلیتیک با کانی‌سازی طلاپی‌ترمال مرتبط بوده و به ترتیب از داخل رگه به سمت خارج گسترش دارد. دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌سازی مس پورفیری شامل پتاسیک، فلیک، آرژیلیک حدواسط و پروپیلیتیک است.

دگرسانی پتاسیک: این دگرسانی با گسترش کم (۲۰۰۰ مترمربع) در اطراف و حاشیه رودخانه آریپای قابل مشاهده است (شکل ۲-۴). اما حفاری‌های شرکت ملی مس نشانگر گسترش این دگرسانی تا عمق ۷۰۰ متری بوده که با کانی‌زایی مس نیز همراه است. دگرسانی پتاسیک، به واحدهای کوارتز مونزودیوریت محدود شده است اما به طور جزئی واحدهای تراکی‌آندزیت را تحت تاثیر قرار داده است. مطالعات نشان می‌دهد، دگرسانی پتاسیک تحت تاثیر دگرسانی‌های فلیک و آرژیلیک قرار گرفته و باعث همپوشانی بین این دگرسانی‌ها شده است، به‌همین دلیل کانی‌های پتاسیم فلدسپار، بیوتیت ثانویه در دگرسانی پتاسیک به سرسیت، کلریت و رس تبدیل شده است. کانی‌شناسی این دگرسانی شامل پتاسیم فلدسپار، بیوتیت و مگنتیت همراه با مقادیری سرسیت، کلریت و رس می‌باشد (شکل ۲-۵-A,B).

دگرسانی فلیک: این دگرسانی بخش وسیعی از سطح منطقه را در بر می‌گیرد و در اطراف و حاشیه رودخانه آریپای به‌صورت هاله‌هایی دگرسانی پتاسیک را پوشانده است (شکل ۲-۴). این دگرسانی در سطح فقط مشخص کننده واحد تراکی‌آندزیت است اما در عمق واحد کوارتز مونزودیوریت را تحت تاثیر قرار داده است (شیخ و همکاران، ۱۳۸۷). مطالعات کانی‌شناسی نشان می‌دهد، کانی‌های سیلیکاته مانند پلاژیوکلاز،

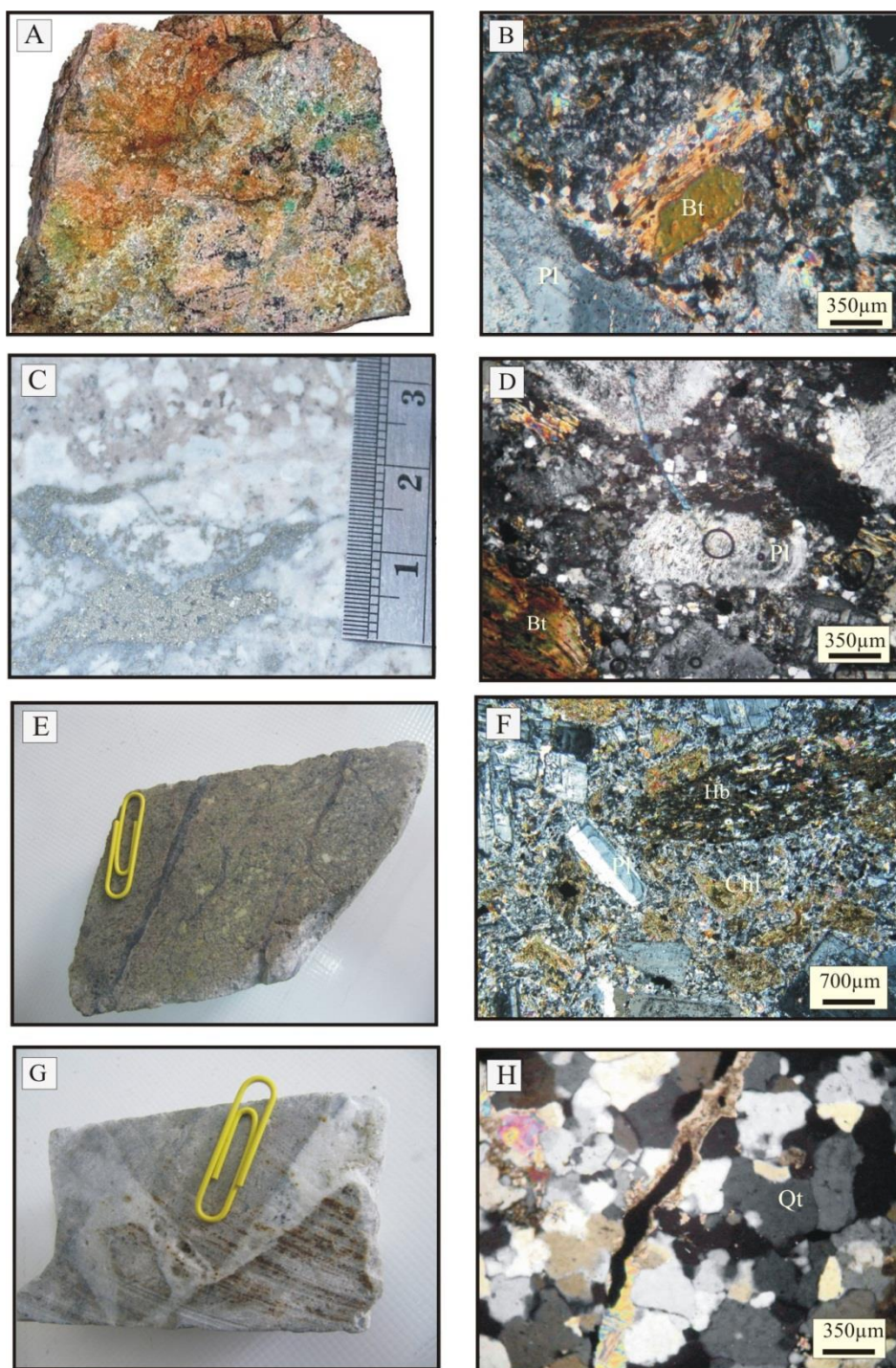
پتاسیم فلدسپار و کانی‌های فرومنیزین (هورنبلند و بیوتیت) در سنگ اولیه دگرسان شده و به کانی‌های سرسیت و کوارتز به عنوان کانی‌های اصلی و کلریت به عنوان کانی فرعی همراه با کانی‌های سولفیدی جانشین شده‌اند. کانی‌شناسی و هم‌چنین بافت اولیه سنگ، به دلیل وجود این دگرسانی تا حد زیادی از بین رفته است. بین مناطقی با دگرسانی پتاسیک و فیلیک، یک زون حد واسط وجود دارد که در آن کانی‌های شاخص دگرسانی پتاسیک به طور بخشی به وسیله سرسیت و گاهی سرسیت-کلریت جایگزین شده است. این دگرسانی به طور گسترده توسط دگرسانی آرژیلیک همپوشانی شده است. هم‌چنین رگچه‌های سیلیسی استوکورکی همراه با مواد معدنی در سطح منطقه و در زون فیلیک گسترش نسبتاً خوبی را نشان می‌دهد (شکل ۲-۵-D, C).

دگرسانی آرژیلیک پیشرفته: این دگرسانی به طور محدود و در مجاورت رگه‌های سیلیسی طلادار تشکیل شده است. این دگرسانی بر روی سنگ میزبان (تراکی آندزیت) تاثیر زیادی داشته و پلاژیوکلاز موجود در سنگ میزبان را به کانی‌های رسی مخصوصاً کائولینیت تبدیل کرده و بافت اولیه سنگ را از بین برده است. کانی‌های تشکیل دهنده این دگرسانی شامل کوارتز، کائولینیت، آلونیت هیپوژن، باریت، پیریت و تورمالین است (امامعلی پور، ۱۳۸۷).

دگرسانی آرژیلیک متوسط: با گسترش نسبتاً زیاد در بخش میانی محدوده کانی‌سازی (قسمت غرب و جنوب غرب منطقه کانی‌سازی) گسترش دارد اما در حاشیه رگه‌های طلادار به عنوان دگرسانی اصلی دیده می‌شود و در بسیاری موارد با دگرسانی فیلیک همپوشانی حاصل کرده است (شکل ۲-۴). این دگرسانی در اطراف رگه‌های طلادار گسترش پیدا کرده و به دگرسانی پروپیلیتیک می‌رسد. این دگرسانی به مناطقی محدود می‌شود که مقدار سولفید به ویژه پیریت در سنگ زیاد بوده باشد زیرا اکسایش پیریت باعث ایجاد اسید سولفوریک شده که مقدار دگرسانی را زیاد می‌کند. ترکیب کانی‌شناسی این دگرسانی شامل کائولینیت، ایلیت، کوارتز و کربنات است

دگرسانی پروپیلیتییک: این دگرسانی با گسترش نسبتاً محدود خارجی‌ترین زون دگرسانی است که در حاشیه شرقی منطقه مشاهده شده است و در سطح گسترش کمی دارد و بیشتر در واحدهای تراکی آندزیت دیده می‌شود (شکل ۲-۴). کانی‌های شاخص این دگرسانی اپیدوت، کلریت و کلسیت است که هورنبلند و پیروکسن به کلریت و کلسیت تبدیل شده و پلاژیوکلاز توسط کلسیت، اپیدوت، کلریت و هم‌چنین کانی‌های رسی جایگزین شده است (شکل ۲-۵-E,F).

دگرسانی سیلیسی: این نوع دگرسانی در اطراف رگه‌های مینرالیزه یافت می‌شود که محیط و شرایط مناسبی برای کانی‌سازی طلا را فراهم کرده است و یکی از شاخص‌ترین دگرسانی‌های منطقه است که به صورت رگه و رگچه و سیلیس بازماندی در سنگ میزبان تراکی آندزیتی دیده می‌شود و بافت‌های آن نواری، توده‌ای، برشی و کوارتز حفره‌ای است. مقادیر بالای سیلیس در منطقه، بیان‌گر اشباع بودن محلول‌های هیدروترمال از سیلیس می‌باشد. این نوع دگرسانی‌ها میزبان اصلی کانی‌سازی طلا هستند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶) (شکل ۲-۵-G,H).

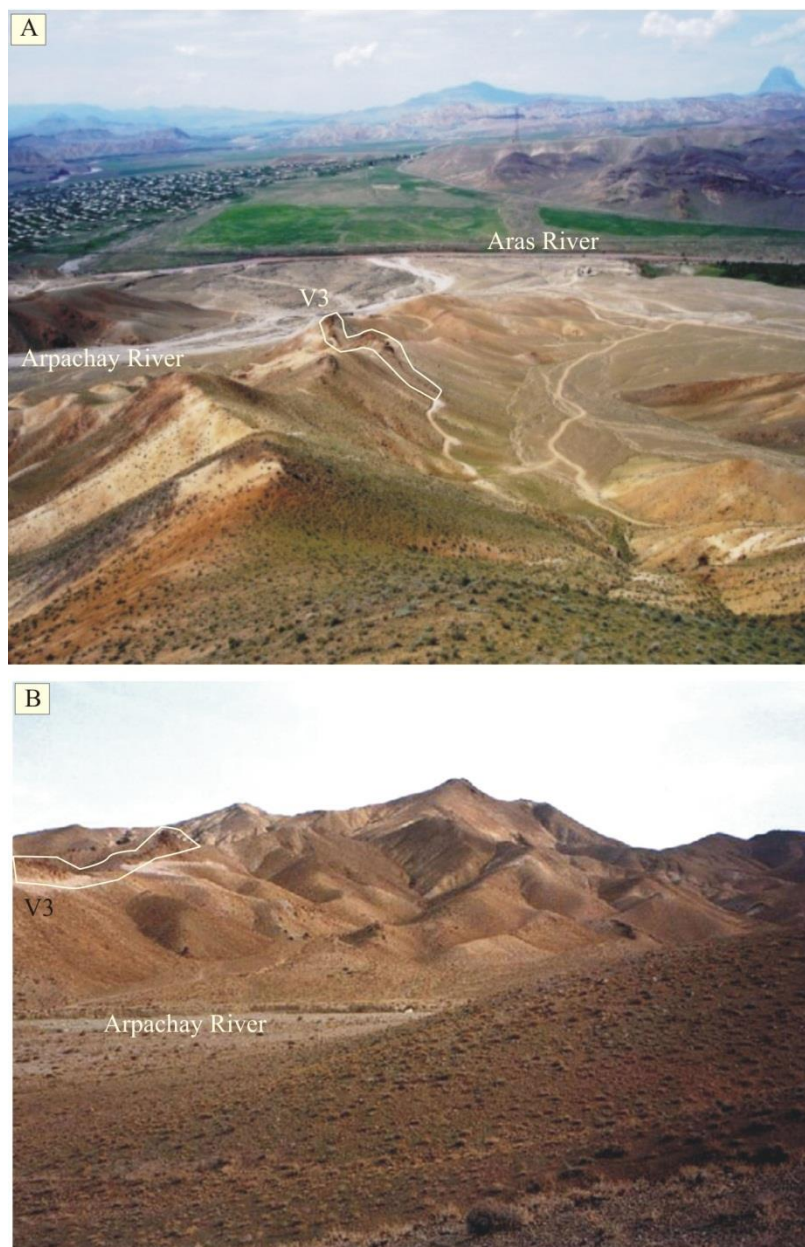


شکل ۲-۵: تصاویری از نمونه‌های دستی و مقاطع نازک دگرسانی‌های منطقه مسجدداغی؛ A: دگرسانی پتاسیک که آلكالی فلدسپارهای صورتی در آن مشخص است، B: تبدیل بیوتیت اولیه به بیوتیت ثانویه در سنگ میزبان کوارتز مونزیوریت؛ C: دگرسانی فیلیک همراه با رگچه سیلیسی و ماده معدنی در سنگ میزبان تراکی آندزیت؛ D: تبدیل پلاژیوکلاز به سرسیت در سنگ میزبان تراکی آندزیت؛ E: دگرسانی پروپیلیتیک همراه با رگچه‌های سیلیسی در سنگ میزبان تراکی آندزیت؛ F: تبدیل هورنبلند به کلریت در سنگ میزبان تراکی آندزیت؛ G: دگرسانی سیلیسی همراه با رگچه‌های سیلیسی؛ H: کوارتز در دگرسانی سیلیسی همراه با رگچه حاوی ماده معدنی. (بیوتیت: Bt، پلاژیوکلاز: Pl، هورنبلند: Hb، کلریت: Chl، کوارتز: Q). حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010).

۲-۵-۲ کانی سازی منطقه مسجد داغی

از ویژگی های جالب منطقه مورد مطالعه، تنوع بسیار زیاد کانی ها در آن است. از آنجا که سنگ میزبان و عامل به وجود آورنده کانی ها در این محدوده از نوع آتشفشانی فلسیک است، لذا کانی های شاخص آن به فراوانی قابل مشاهده است. همچنین وجود فلیش های ائوسن در کنار گنبد های داسیتی نیمه آتشفشانی آراپای هم باعث ایجاد کانی های دگرگونی در محدوده شده است (اکبرپور و همکاران، ۱۳۸۵).

سیستم کانی سازی مسجدداغی از دو نوع کانی سازی مس پورفیری و طلای اپی ترمال تشکیل شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶). مهم ترین کانی سازی موجود در کانسار پورفیری مسجدداغی شامل کانی های روتیل، مولیبدنیت، منیتیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، اسفالریت، کالکوسیت و کوولیت می باشد. کانی سازی طلای اپی ترمال شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت و طلا همراه با کوارتز، باریت و انیدریت است. نمایی از رگه های طلا دار و دگرسانی های آرژلیک و فلیک در شکل ۲-۶ قابل مشاهده است.



شکل ۲-۶: نمایی از منطقه مسجدداغی، A: رگه سیلیسی طلادار V3 که بزرگترین رگه معدنی در منطقه است همراه با مناطق اکسید آهن که با رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای، مناطق دگرسانی آرژیلیک به رنگ کرم و مناطق دگرسانی فیلیک با رنگ خاکستری در سنگ میزبان تراکی آندزیت مشاهده می‌شود (دید به سمت شمال غرب)، B: همپوشانی دگرسانی فیلیک و آرژیلیک در سنگ میزبان تراکی آندزیت همراه با رگه معدنی V3 در حاشیه رودخانه آرپاچای (دید به سمت شمال شرق).

فصل ۳: مطالعات دورسنجی و روش‌های اعمال شده در تحقیق

۱-۳ مقدمه

سنجش از دور تکنولوژی کسب اطلاعات و تصویربرداری از زمین با استفاده از تجهیزات هوانوردی است؛ که با استفاده از این تصاویر و تجزیه و تحلیل آنها اطلاعات مفیدی به دست می‌آید (Sabins, 1999). مطالعات حاضر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی شامل ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ انجام شده است.

۲-۳ سنجنده‌های چندطیفی

به منظور جمع‌آوری داده‌ها سنجنده‌های سنجش از دور مطابق شکل ۱-۳ به دو بخش فعال و غیر فعال تقسیم‌بندی می‌شوند. در بخش غیر فعال که شامل تک‌طیفی^۱، چندطیفی^۲ و فراطیفی^۳ است، امواج نوری که به سطح زمین تابیده شده است؛ توسط سنجنده مورد تحلیل و دریافت قرار می‌گیرد. از بارزترین و مهم‌ترین خصوصیات این دسته از سنجنده‌ها، قدرت و توانایی آنها در دریافت اطلاعات باندهای مرئی و مادون قرمز می‌باشد. به گونه‌ای که بخش وسیعی از داده‌ها را برای بررسی عوارض سطح زمین با دقت بسیار بالا در اختیار ما قرار می‌دهد (Klemas, 2015). همچنین در مواقعی که شرایط آب هوایی صاف و بدون مه و بارندگی وجود دارد و تنها نور موجود، نور تابش شده از خورشید است، قادر به دریافت اطلاعات می‌باشد.



شکل ۱-۳: سنجنده‌های فعال و غیر فعال (After Mandatory and Following, 2013)

¹ Panchromatic

² Multispectral

³ Hyperspectral

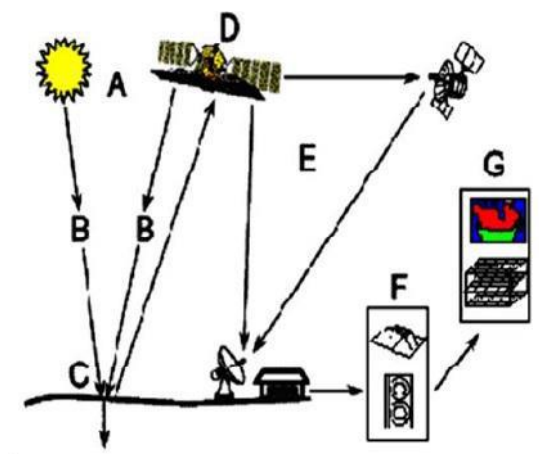
در جدول ۱-۳ بخشی از سنجنده‌های غیرفعال چندطیفی همراه با اطلاعات توان تفکیک زمانی که بازه زمانی هر دوره تصویربرداری سنجنده‌ها را نشان می‌دهد همراه با دقت مکانی آن‌ها را معرفی کرده است.

جدول ۱-۳: اطلاعات تعدادی از سنجنده‌های غیرفعال براساس نوع سنجنده

نوع	سنجنده	توان تفکیک زمانی	توان تفکیک مکانی
تک‌طیفی	Landsat-OLI Spot	۱۶ روز ۵ روز	۱۵ متر ۱,۵ تا ۱۰ متر
چندطیفی	Landsat-OLI Spot Sentinel-2	۱۶ روز ۵ روز ۱۰ روز	۳۰ تا ۱۲۰ متر ۶ تا ۲۰ متر ۱۰ تا ۶۰ متر
فراطیفی	AVIRS EO-1Hyperion	۳۶۵ روز ۱۶ روز	۲۰ متر ۳۰ متر

در بین سنجنده‌های نوری چندطیفی در این پژوهش، ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ علاوه بر داشتن توان تفکیک مکانی مناسب، توان تفکیک زمانی شبیه نسبت به یکدیگر نیز دارند. از بارزترین و بهترین خصوصیات این دو سنجنده می‌توان به در دسترس بودن و رایگان بودن داده‌های آن اشاره کرد. در سنجش از دور ارسال و دریافت اطلاعات با استفاده از تشعشعات الکترومغناطیسی صورت می‌پذیرد.

شکل ۲-۳: شمای کلی از نحوه دریافت داده‌ها از طریق سنجنده را نشان می‌دهد:



شکل ۳-۲: شمای کلی از نحوه دریافت داده‌ها از طریق سنجنده‌های ماهواره‌ای (Quattara et al., 2004)

A: منبع انرژی که معمولاً به دو صورت فعال (نور خورشید) و غیرفعال (مانند امواج رادار ارسالی توسط سنجنده به زمین) می‌باشد.

B: انتشار انرژی از میان جو و برخورد آن به سطح زمین و انعکاس آن.

C: فعل و انفعالات انرژی بر اثر برخورد با عوارض سطحی زمین.

D: سنجنده‌های هوایی و یا فضایی.

E: انتقال اطلاعات کسب شده به ایستگاه زمینی.

F: دریافت اطلاعات اولیه و تولید داده‌ها به صورت رقومی و یا تصویری.

G: فرایند تجزیه و تحلیل داده؛ شامل بررسی و تعبیر و تفسیر داده‌ها با به‌کارگیری وسایل مختلف دیداری و کامپیوتری به منظور آنالیز داده‌های حاصل از سنجنده‌ها.

۳-۳ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای و سنجش از دور

زمین‌شناسی و اکتشاف معدن: تهیه نقشه زمین‌شناسی، اکتشاف کانسارهای معدنی، شناسایی دگرسانی‌ها، مطالعه و تشخیص گسل‌ها، مطالعه بر روی آتش‌فشان‌ها و زلزله.

خاک‌شناسی: مسائل حفاظت خاک، تهیه نقشه حرارتی خاک، مطالعه و تحقیق رطوبت خاک، مطالعه و تحقیق بر روی خاک‌های سطحی، مطالعه و تحقیق شوری خاک، تهیه نقشه‌های پوشش زمین و کار برای اراضی.

کشاورزی: شناسایی و شناخت آفات و بیماری‌های گیاهان، شناسایی و شناخت پوشش گیاهی، کمبودهای غذایی گیاهان، تخمین و ارزیابی مراحل رویش و عملکرد گیاهان.

منابع طبیعی: برداشت منابع جنگلی، طبقه‌بندی جنگل‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، تخمین تراکم، سن گیاه، تشخیص آسیب‌های وارد شده به جنگل و مدیریت بر منابع.

آب: مطالعات و شناسایی تغییرات دریاچه‌های فصلی، باتلاق‌ها، تشخیص سیل‌ها، آبراهه‌ها، مناطق آبرفتی، مخروط افکنه‌ها، کیفیت آب، مطالعه و تشخیص زمین‌های مرطوب، حرکت یخچال‌ها، چشمه‌های آب گرم و آب سرد معدنی.

هواشناسی: مطالعه دمای سطح آب، پیش‌بینی وضع هوا، تغییرات بیابانی شدن و پیش‌بینی بلایای طبیعی.

شیلات و محیط زیست: ماهیگیری، مطالعه گیاهان آبی و آلودگی دریاها.

مزایای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

-میدان دید وسیع.

-پوشش تکراری و مکرر تصاویر از مناطق مشخص با فاصله زمانی تعیین شده.

-چند باندی بودن داده‌های ماهواره‌ای.

-امکان فراهم کردن تصاویر رنگی برای انجام کارهای مهم صحرایی مانند: تشخیص دگرسانی و تعیین موقعیت آن‌ها.

-توانایی تلفیق سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی.

-امکان نقشه برداری زمین و سنگ شناسی.

به همین دلیل می توان گفت داده های ماهواره ای به علت دسترسی آسان، دقت و سرعت بالا در تجزیه و تحلیل داده ها، همچنین کاهش هزینه های ناشی از کارهای اکتشافی به طور چشم گیری موثر بوده است (Acharya et al., 2018).

مزایای مطالعه بر روی تصاویر ماهواره ای در فعالیت های زمین شناسی که قبل از بازدید میدانی می تواند به کار گرفته شود موارد زیر خواهد بود:

-مطالعه و تحقیق بر روی تصاویر ماهواره ای منجر به آشنایی افراد با جغرافیای منطقه شده و می توانند در انتخاب محل و مسیر کمک بسیاری کند.

-استفاده از تصاویر ماهواره ای به دلیل داشتن دید بسیار بالا نسبت به عکس های هوایی امکان همبستگی بین عوارض مختلف زمین شناسی را خواهد داد.

-مطالعه و تحقیق بر روی داده های ماهواره ای در تشخیص نوع سنگ، ساختار خطی و حلقوی، دگرسانی ها، توده های نفوذی، امکانات زیادی در اختیار زمین شناس می دهد که برای تشخیص و اکتشاف ذخایر منطقه ای مفید است (Clark, 1999).

۳-۴ معرفی تصاویر ماهواره ای لندست-۸ و سنتینل-۲

۳-۴-۱ ماهواره لندست-۸

ماهواره لندست-۸ با همکاری مشترک ناسا و سازمان زمین شناسی آمریکا در سال ۲۰۰۰ به فضا پرتاب شد و شامل دو سنجنده TIRS^۱ و OLI است. ۹ باند از ۱۱ باند این سنجنده مربوط به OLI و ۲ باند دیگر آن مربوط TIRS بوده، که شامل موج های حرارتی می باشند. این سنجنده نسبت به سنجنده های قدیمی تر

^۱ Thermal Infrared Sensor (TIRS)

دارای قدرت تفکیک طیفی و رادیومتری بالاتری است (از ۱۵ تا ۱۰۰ متری از سطح زمین)؛ که امکان شناخت و شناسایی نواحی مرتبط با کانی‌سازی و محدوده‌های دگرسان را فراهم می‌کند (Van der Werff and Van der Meer, 2016). در جدول ۲-۳ مشخصات باندهای لندست-۸ ذکر شده است.

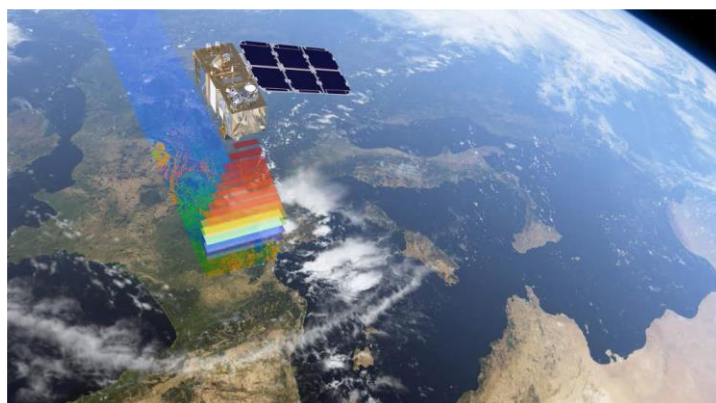
جدول ۲-۳: اطلاعات باندهای ماهواره لندست-۸

نوع سنجنده	شماره باند	نام باند	میانگین طول موج (μm)	توان تفکیک مکانی (m)
OLI	۱	Coastal / Aerosol	۰/۴۵-۰/۴۳	۳۰
OLI	۲	Blue	۰/۵۱-۰/۴۵	۳۰
OLI	۳	Green	۰/۶۰-۰/۵۲	۳۰
OLI	۴	Red	۰/۶۸-۰/۶۳	۳۰
OLI	۵	Near Infrared	۰/۸۸-۰/۸۴	۳۰
OLI	۶	Short Wavelength Infrared	۱/۶۶-۱/۵۶	۳۰
OLI	۷	Short Wavelength Infrared	۲/۳-۲/۱	۳۰
OLI	۸	Panchromatic	۰/۶۸-۰/۵۰	۱۵
OLI	۹	Cirrus	۱/۳۹-۱/۳۶	۳۰
TIRS	۱۰	Long Wavelength Infrared	۱۱/۳-۱۰/۳	۱۰۰
TIRS	۱۱	Long Wavelength Infrared	۱۲/۵-۱۱/۳	۱۰۰

۲-۴-۳ ماهواره سنتینل

سنجنده Sentinel-2A و Sentinel-2B دومین سری از ماهواره‌های Sentinel به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ در مدار قرار داده شده‌اند (Esa Earth online, 2000). این ماهواره‌ها با تصویربرداری در ۱۳ باند توسط سنجنده MSI در ۳ ناحیه مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز طول موج کوتاه است. این

سنجنده با تفکیک مکانی که شامل ۴ باند ۱۰ متری، ۶ باند ۲۰ متری و ۳ باند ۶۰ متری است دارای میدان دید ۲۹۰ کیلومتری است؛ که از مدار ۵۶ درجه جنوبی تا ۶۴ درجه شمالی را به صورت منظم پوشش جهانی می دهد (European Space Agency, 2020). شکل ۲-۳ نمایی از سنجنده سنتینل-۲ را نشان می دهد و در جدول ۳-۳ مشخصات باندهای سنتینل-۲ ذکر شده است.



شکل ۳-۳: سنجنده سنتینل-۲

جدول ۳-۳: اطلاعات باندهای سنجنده سنتینل-۲

توان تفکیک مکانی (m)	میانگین طول موج (μm)	نام باند	شماره باند
۶۰	۰/۴۳	Coastal aerosol	۱
۱۰	۰/۴۹	Blue	۲
۱۰	۰/۵۶	Green	۳
۱۰	۰/۶۵	Red	۴
۲۰	۰/۷	Vegetation Red Edge	۵
۲۰	۰/۷۴	Vegetation Red Edge	۶
۲۰	۰/۷۸	Vegetation Red Edge	۷
۱۰	۰/۸۴	NIR	۸
۲۰	۰/۸۶	NIR	۸A
۶۰	۰/۹۴	Water vapor	۹
۶۰	۱/۳۷	SWIR-Cirrus	۱۰
۲۰	۱/۶۱	SWIR	۱۱
۲۰	۲/۱۹	SWIR	۱۲

۳-۵ روش‌های اعمال شده بر روی محدوده مطالعاتی مسجدداغی و جلفا

۳-۵-۱ پیش پردازش و تصحیحات سنتینل-۲ و لندست-۸

در مواقعی که تصویربرداری توسط سنجنده‌ها صورت می‌گیرد به دلیل زاویه تابش آفتاب، حرکت زمین، امواج الکترومغناطیسی و عوامل بسیار زیاد دیگر این تصاویر برداشت شده دچار جابه‌جایی و عدم یکپارچگی رنگ‌ها و غیره می‌شود. یکی از مهم‌ترین روش‌هایی که قبل از پیاده‌سازی داده‌های برداشت شده صورت می‌گیرد انجام تصحیحات و پیش‌پردازش داده‌های ماهواره‌ای است (Rosich, 2004). با انجام تصحیحات مورد نظر داده‌ها از نظر رادیومتریکی، هندسی و اتمسفریک تصحیح می‌شوند. انجام این فرایندها باعث بهتر شدن و بهبود اطلاعات طیفی سنجنده‌ها خواهد شد و داده‌های ماهواره‌ای را برای پردازش آماده خواهد کرد. تصحیح رادیومتریک و اتمسفریک برای از بین بردن اثرات جوی و تصحیح داده‌های دریافتی صورت می‌پذیرد (Rosich and Meadows, 2004). عواملی که باعث ایجاد تغییر در انرژی رسیده شده به سنجنده باشد، تصحیح رادیومتریکی نامیده می‌شود. این عوامل می‌تواند خود سنجنده و یا اتمسفر باشد (اکبری، ۱۳۸۸). تصحیح اتمسفریک تمام اثراتی که اتمسفر بر روی امواج رسیده به سنجنده می‌گذارد را اصلاح می‌کند (Gupta, 2003).

۳-۵-۲ روش نسبت بانندی (BR)^۱

یکی از روش‌های پرکاربرد و رایج در پردازش و مطالعه تصاویر ماهواره‌ای روش نسبت بانندی است؛ که از تقسیم دو باند بر یکدیگر به دست می‌آید (Rowan et al., 1997). روش نسبت بانندی کاربردهای بسیاری در بخش‌های تفکیک واحدهای سنگس، تشخیص مناطق دگرسانی و کانی‌ها دارد. این روش شامل تقسیم مقادیری از یک باند بر روی باند دیگر و مشخص کردن یک کانی خاص است. بانندی که کانی موردنظر در آن بیشترین جذب را دارد در صورت کسر و بانندی که کانی موردنظر در آن کمترین مقدار جذب را دارد در

^۱ Band Ratio (BR)

مخرج کسر قرارداد (Beiranvand pour and Hashim, 2011). با استفاده از این روش می‌توان اثرات توپوگرافی و سایه‌ها را در تصویر کاهش داد و اختلاف موجود بین درجات روشنایی را از بین برد، همچنین برای جدا کردن مرز واحدهای سنگی و نیز شناسایی سنگ‌ها به کار می‌رود (Sabins, 1999). نسبت‌های باندی در شناسایی و تفکیک نهایی تصاویر هنگام پردازش مفید هستند. در تصاویر نسبتی، تغییرات ظریف طیفی پدیده‌ها بهتر از تصاویر خام مشخص می‌شود (به دلیل حذف اثرات زیان‌آور همانند اثر توپوگرافی) که بر اساس محدوده و نوع کاربرد آن‌ها باید باندهای مناسب بر هم تقسیم گردد تا بهترین نتیجه حاصل شود (Rouskav et al., 2005). باتوجه به جدول ۳-۴ نسبت‌های باندی مورد استفاده برای بارزسازی نواحی مورد نظر آورده شده است

جدول ۳-۴: نسبت‌باندی استفاده شده در تحقیق (زمانی و همکاران، ۱۳۹۵; Seo et al., 2005)

ویژگی	نسبت‌باندی	سنجنده‌ها
اکسید آهن به رنگ روشن	Band 4 / Band 2	لندست-۸
دگرسانی فیلیک و آرژیلیک به رنگ روشن	Band 6 / Band 7	
اکسید آهن به رنگ روشن	Band 4 / Band 2	سنتینل-۲
دگرسانی فیلیک و آرژیلیک به رنگ روشن	Band 11 / Band 12	

۳-۵-۳ روش ترکیب رنگی کاذب (FCC)^۱

استفاده و شناخت رنگ‌ها اطلاعات بهتر و مفهومی‌تری از تصاویر ماهواره‌ای در اختیار قرار می‌دهد. نمایش هم‌زمان بیش از یک باند در تصاویر بسیار سودمند و کارآمد است؛ فهمیدن روابط موجود بین طول موج‌های مختلف برای تشخیص پدیده‌های مورد نظر و همچنین نوع پوشش موجود در محدوده مطالعاتی بسیار حائز اهمیت است. به‌همین دلیل استفاده از این روش در تهیه تصاویر رنگی بسیار سودمند است (Lowell and Guilbert, 1970). در این روش از سه باند مختلف با رنگ‌های قرمز، سبز و آبی استفاده می‌شود تا تصویر رنگی مورد نظر به‌دست آید. در این روش با به‌کارگیری خصوصیات طیفی مشخص شده پدیده‌ها، باندهایی که بیشترین اطلاعات را دارند انتخاب خواهند شد (Crosta et al., 2003). با توجه به جدول ۳-۵ ترکیب‌رنگی استفاده‌شده در تحقیق نشان داده شده‌است.

جدول ۳-۵: ترکیب‌رنگی استفاده‌شده در تحقیق (زمانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ کریم‌پورگلی و همکاران، ۱۳۹۸).

سنجنده‌ها	ترکیب‌رنگی	ویژگی
لندست-۸	R:6/7,G:4/2,B:5/4	نواحی زرد مشخص‌کننده دگرسانی فیلیک و آرژیلیک
سنتینل-۲	R:11/12,G:4/2,B:8/4	نواحی زرد مشخص‌کننده دگرسانی فیلیک و آرژیلیک

۳-۵-۴ روش کمترین مربعات رگرسیون شده (Ls-Fit)^۲

این روش براساس تخمین زدن خطی صورت می‌گیرد که با روش کمترین مربعات به‌دست آمده، پایه‌گذاری شده است. با استفاده از اختلاف موجود بین کانی‌هایی که نسبت به یک باند خاص حساس هستند و از نظر شاخص جذب یا انعکاس با آن باند اختلاف قابل قبولی نشان می‌دهند، می‌توان تصویر خروجی مناسب جهت جداسازی دگرسانی‌های مورد نیاز به‌دست آورد (Moor et al., 2006). در این تحقیق برای اعمال این روش

^۱ False Color Composite (FCC)

^۲Least Square Fit(Ls-Fit)

برروی ماهواره لندست-۸ باند ۷ به عنوان باند مدل که نسبت به کانی خاص حساس است انتخاب شده است و دگرسانی فلیک و آرژلیک را در محدوده به رنگ تیره مشخص می‌کند. هم‌چنین در سنجنده سنتینل-۲ باند ۱۲ به عنوان باند مدل استفاده شده است که دگرسانی فلیک و آرژلیک محدوده را به رنگ تیره مشخص می‌کند. هم‌چنین با استفاده از ترکیب‌رنگی Ls-fit با $(RGB=7,3,4)$ در ماهواره لندست-۸ و ترکیب‌رنگ Ls-fit با $(RGB=12,3,4)$ نقاط مشترک کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن و پوشش گیاهی مشخص شده است (اسدی‌هارونی و همکاران، ۱۳۸۸).

۳-۵-۵ طبقه‌بندی^۱

طبقه‌بندی یعنی دسته‌بندی تعداد کثیری از پیکسل‌های منفرد به طبقه‌ها یا بخش‌های موضوعی کوچک که بیشتر قابل مدیریت و رسیدگی هستند. هر پدیده بر روی زمین دارای خصوصیات طیفی منحصر به فرد و جداگانه‌ای است (جعفری، ۱۳۹۲). در بررسی داده‌های دورسنجی از این تعریف استفاده می‌شود و به گروه‌بندی پدیده‌ها پرداخته خواهد شد. پوشش گیاهی، مناطق کشاورزی، مناطق مسکونی و خاک مشمول این گروه‌بندی می‌شوند. به‌طور کلی طبقه‌بندی یا دسته‌بندی داده‌های ماهواره‌ای به دو صورت نظارت‌شده و نظارت‌نشده صورت می‌گیرد (Huang et al., 2002). در این تحقیق با استفاده از باندهای ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ و با بهره‌گیری از نقاط انتخابی^۲ به‌صورت پراکنده، در دو محدوده مسجداغی و محدوده گسترده‌تر جلفا با استفاده‌های روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه‌های عصبی، بیشترین شباهت و ماشین‌بردار پشتیبان با هدف شناسایی مناطق دارای پتانسیل مس-طلا پورفیری استفاده شده است.

۳-۵-۵-۱ طبقه‌بندی نظارت‌شده

تلاش طبقه‌بندی نظارت‌شده بر این است که بین مجموعه پیکسل‌ها با پوشش واقعی سطح زمین ارتباطی ایجاد نماید. بدین ترتیب این مجموعه‌ها رده‌های اطلاعاتی نامیده می‌شود (جعفری، ۱۳۹۲). این روش به اطلاعات و داده‌های اولیه همانند تعداد کلاس، نمونه‌های معلوم از هر کلاس و خصوصیات آن‌ها نیاز دارد. این

¹ Classification

² ROI

داده‌های اولیه از طریق عملیات میدانی، تفسیر عکس‌های هوایی و همین‌طور نقشه مناسب به‌دست می‌آید. در طبقه‌بندی نظارت‌شده طبقه‌بندی بر اساس پیکسل‌ها و نقاط کنترلی انتخاب‌شده (مناطق و عارضه‌های خاص) صورت می‌گیرد (Lu and Weng, 2007). در این تحقیق از سه طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شده است؛ که هر یک به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

الف: روش شبکه‌های عصبی (NN)

شبکه‌های عصبی از جمله شبکه‌های محاسباتی هستند که از شبکه عصبی مغز حیوانات ایده گرفته‌اند، این شبکه‌ها از گره‌های متصلی به نام نورون‌ها تشکیل شده‌اند که آن‌ها را درون یک مغز مدل می‌کند

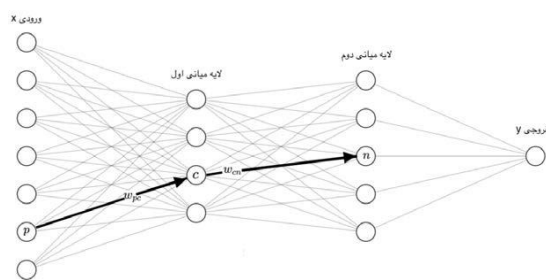
(Watts, 2001). هر یک از این اتصال‌ها می‌تواند هر سیگنال را به‌طور جداگانه به سایر نورون‌ها متصل نماید. این طبقه‌بندی نظارت‌شده به دلیل داشتن ساختار غیرپارامتریک و همچنین استقلال توزیع نرمال آن در طبقه‌بندی در چند دهه اخیر بسیار مورد توجه پژوهشگران سنجش از دور قرار گرفته است (Shi and Horvath, 2004). یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین ویژگی شبکه‌های عصبی، نداشتن نیاز به داده‌های آموزشی و همچنین متغیرهای آماری می‌باشد، که همین موضوع علاوه بر ایجاد سرعت در داده‌های خروجی، کاربرد آن را نیز وسیع‌تر و پیشرفته‌تر خواهد کرد. شبکه‌های عصبی همانند توابع شعاعی پایه^۱، گسترش برگشتی^۲، پرسپترون چندلایه^۳ و غیره از گونه‌های مختلف این الگوریتم می‌باشند، که به بررسی و پردازش داده‌ها می‌پردازند (Wijaya, 2005). یادگیری در این سیستم به گونه‌ای است که با استفاده از مثال‌ها، در سیستم جدید پاسخ صحیح بر اساس تغییر وزن سیناپس‌ها ایجاد می‌شود. یکی از کاربردی‌ترین روش‌هایی که کمک به حل بهینه‌سازی می‌کند شبکه‌های عصبی پس انتشار است. نیاز نداشتن به داده‌های آموزشی زیاد و داشتن متغیرهای آماری از مهم‌ترین و بارزترین ویژگی‌های آن است که باعث شده است علاوه بر سرعت بالا در خروجی، کاربرد آن نیز گسترده‌تر شود (Huang et al., 2006; Strobl and Forte, 2007). این طبقه‌بندی‌کننده از سه بخش داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی شبکه و خروجی طبقه‌بندی، تشکیل شده

¹Radial Basis Function (RBF)

²Back Propagation (BP)

³Multi-Layer Perceptron (MLP)

است. در شبکه عصبی پس از دریافت کردن داده‌های اولیه و وزن دادن به داده‌ها، آن‌ها را در لایه پنهان مورد پردازش و بررسی قرار می‌دهند (Tien Bui et al., 2012). در شبکه عصبی گسترش برگشتی که مورد نظر است، پس از پردازش داده‌ها در زمان صحت‌سنجی داخلی اگر معیارهای مورد نظر حاصل نگردید، داده‌ها برای بار دیگر بازگشت داده شده و مورد وزن‌دهی قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است برای ایجاد تعداد لایه‌های پنهان سعی و خطای بسیاری انجام می‌گیرد تا نتیجه مورد نظر به دست‌آید (Aldrich and Aurwt, 2013)



شکل ۳-۴: شبکه عصبی مصنوعی (Neural Network)

با توجه به شکل داده‌های ورودی مشخص‌شده از سلول عصبی p به سلول عصبی c وارد شده را با b_{pc} نشان داده شده است. در رابطه ۱-۳ وزنی که به عصب c وارد می‌شود با w_{pc} نشان داده شده است، همین‌طور a_c نشان‌دهنده جمع ضرب ورودی‌ها به همراه وزن‌هایشان است.

$$a_c = \sum_p w_{pc} \times b_{pc} \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

با استفاده از معادله ۱-۳ می‌توان از روی تابع غیرخطی را به دست آورد.

$$b_{pc} = \theta_c (a_c) \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

بعلاوه خروجی که از سلول c خارج شده است و به سلول n وارد می‌شود را با b_{cn} نشان می‌دهند و همین‌طور وزن آن را با w_{cn} نشان داده شده است. از آنجا که هدف یادگیری وزن‌ها می‌باشد، تمامی وزن‌ها در مجموعه بزرگ‌تری به نام W قرار داده شده است. اگر خروجی‌های داده x ، y باشد و همین‌طور خروجی‌های شبکه عصبی نیز $hw(x)$ باشد، هدف به‌دست‌آوردن W است. اگر داده‌های y و $hw(x)$ همگرا بوده و نتایج حاصل آن‌ها به یکدیگر نزدیک شود، هدف از این کار کوچک‌کردن تابع هزینه بر روی تمامی

داده‌های در دسترس است؛ یعنی با توجه به رابطه (۳-۳) اگر تابع هزینه را با L و همینطور داده‌ها را با $(y_1, x_1), \dots, (y_n, x_n)$ نشان داده شده است، کمینه تابع هدف $Q(w)$ شبکه عصبی گسترش است.

$$Q(w) = \sum_{i=1}^n l(h_w(x_i), y_i) \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

ب: روش بیشترین شباهت (ML)

روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت یکی از معروف‌ترین روش‌های آماری طبقه‌بندی است. در این طبقه‌بندی کلاسی به پیکسل مورد نظر انتصاب خواهد شد که بیشترین احتمال تعلق و وجود پیکسل به آن کلاس وجود داشته باشد. در این روش طبقه‌بندی استفاده از حد آستانه مرسوم است، گاهی اوقات به دلیل هم‌پوشانی اتفاق افتاده در طیف‌ها، برای چند کلاس نزدیک به هم یک احتمال محاسبه می‌شود و یا اینکه بزرگ‌ترین احتمال مقدار کوچکی است، در این حالت با اطمینان صد درصد نمی‌توان کلاس کامل را به پیکسل نسبت داد و از یک حد آستانه برای کنترل استفاده می‌شود (پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۷). تعیین حد آستانه بسیار مهم است و به صورت سعی و خطا بر اساس نوع کلاس‌ها و مقدار هم‌پوشانی تعیین می‌شود. این طبقه‌بندی سطح تصمیم‌گیری را به شکل کوادارتیک با استفاده از فرمول توزیع نرمال چندبعدی تشکیل می‌دهد که نتیجه حاصل به شکل‌های بیضوی، دایره و سهمی خواهد بود. علاوه بر حد آستانه در این طبقه‌بندی، ماتریس واریانس-کواریانس مورد استفاده قرار می‌گیرد تا دیگر مزیت‌های داده‌ها نیز مورد پردازش قرار بگیرد و دقت طبقه‌بندی بالاتر قرار گیرد، این روش یکی از روش‌های قابل مدیریت و انعطاف‌پذیر در طبقه‌بندی است (Richards and Jia, 1999). طبقه‌بندی بیشترین شباهت توابع متفاوت را برای هر پیکسل در تصویر بررسی و محاسبه می‌کند که در رابطه ۳-۴ مشخص شده است.

$$g_i(x) = \ln p(w_i) - \frac{1}{2} \ln |N_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^T N_i^{-1} (x - m_i) \quad (۴-۳)$$

در رابطه بالا برای مشخص کردن کلاس‌ها از i ، داده‌های n بعدی (n تعداد باند ها می باشد) از x ، برای مشخص کردن احتمال اینکه کلاس ω_i در تصویر ایجاد شود از $p(w_i)$ استفاده می‌شود و از $|N_i|$ برای

تعیین ماتریس کواریانس داده‌ها در کلاس ω_i ، N_i^{-1} نشان‌دهنده ماتریس معکوس و m_i بردار میانگین را نشان می‌دهد.

ج: روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده است که در سال ۱۹۹۵ توسط Boser و Vapnik توسعه یافته و در مطالعات زمین‌شناسی در حال استفاده است (Vapnik, 1998). به دلیل جای گرفتن طبقه‌بندی SVM در طبقه‌بندی خطی داده‌های ورودی آن را به دو دسته یا کلاس $+1$ و -1 تقسیم‌بندی می‌کنند. هدف اصلی طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان، اختصاص جداگانه هریک از پیکسل‌ها به گروه یا کلاس خاص توسط یک صفحه جداکننده است، به طوری اختلاف هریک از گروه یا پیکسل‌ها در بیشترین حالت خود باشد (Vapnik, 1998). پیکسل‌های ایجاد شده بر روی هریک از مرز کلاس‌ها و یا مرز گروه‌ها را بردار پشتیبان نامیده می‌شود، که الگوریتم آن به تعدادی نقاط تعلیمی و آموزشی نیاز دارد (Joachims, 1999). به صورت جامع و کلی طبقه‌بندی داده‌ها به صورت خطی در اکثر موارد امکان‌پذیر نیست زیرا یک عدم پیوستگی بین اطلاعات ورودی وجود دارد به همین دلیل برای حل این مشکل الگوریتم ماشین بردار پشتیبان داده‌ها را به ابعاد بزرگ‌تر انتقال داده تا صفحه‌ای مناسب داده‌ها ایجاد کند، به طور کامل‌تر با استفاده از هسته مرکزی (تابع انتقال) داده‌ها در فضای غیرخطی طبقه‌بندی می‌شوند

(Guahtieri and Gromp, 1999). به دلیل توانایی بالای ماشین بردار پشتیبان برای پردازش حجم بالای داده‌ها و هم‌ین‌طور در یادگیری و آموزش باعث شده‌است؛ که امروزه از این طبقه‌بندی استفاده‌های بسیاری صورت بگیرد (Hsu and Lin, 2002). این طبقه‌بندی قادر است داده‌های دوکلاسه را مورد پردازش قرار دهد به همین دلیل پژوهشگران با تلاش بسیار ماشین بردار پشتیبان چندکلاسه را نیز گسترش داده‌اند

(Vander Linden et al., 2009) یکی از مزیت‌های روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به دیگر روش‌ها این است که این الگوریتم در آموزش‌های خود نیازی به بهینه‌کننده‌های محلی ندارد، و کلاسه‌بندی و دسته‌بندی‌ها را با بیشترین احتمال تعمیم بنا خواهد کرد، ساختار خود را به صورت بهینه تعمیم و توابع

غیرخطی خود را به آسانی و با کمترین محاسبه، با استفاده از توابع غیرخطی ایجاد می‌کند (Arekhi and Adibnejad, 2011).

رابطه (۵-۳) شکل کلی طبقه‌بندی کننده‌های خطی را نشان می‌دهد.

$$F(X) = W^T X + b \quad (۵-۳)$$

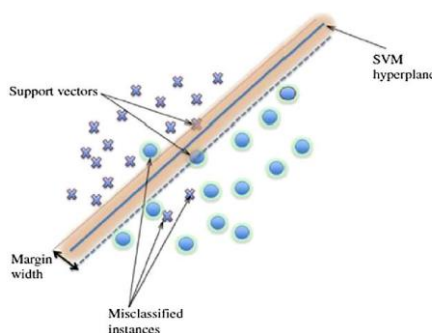
در این فرمول و رابطه بردار وزن را با w و بایاس را با b نشان می‌دهند. این رابطه مرزی که بین دو کلاس در یک صفحه را مشخص می‌کنند. نقاطی که در این بخش ایجاد شده‌اند و قرار گرفته‌اند در حالت دوبعدی به شکل یک خط، در حالت سه‌بعدی به شکل یک صفحه و در حالت کلی (ابرصفحه) به شکل چندصفحه ایجاد می‌شود (Yu et al., 2012). در صفحات تقسیم‌کننده کار اصلی شکل می‌گیرد و بهترین صفحه جداکننده از بین صفحات موجود انتخاب می‌شود، صفحه انتخاب شده تمامی داده‌های ورودی را به بهترین حالت و با فاصله مناسب از مرز صفحات جدا می‌کند؛ به همین علت برای شناخت مناسب‌ترین حالت از مسئله بهینه‌سازی مفید همانند رابطه (۶-۳) استفاده می‌شود (Zuo and Carranza, 2011).

$$\text{Minimize : } \frac{1}{2} \|w^2\| \quad (۶-۳)$$

$$\text{Subject to : } y_i (w^T x + b) \geq 1$$

هم‌چنین برای حل مسئله درجه دوم بهینه‌سازی می‌توان از ضرایب لاگرانژ همانند رابطه (۷-۳) استفاده می‌شود

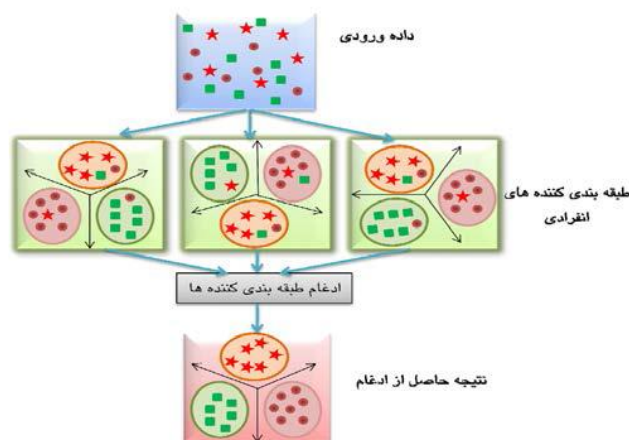
$$L(w, b, h) = \frac{1}{2} \|w^2\| - [\sum_{i=1}^N h_i |w_{x_i} + b| - 1] \quad (۷-۳)$$



شکل ۵-۳: قاعده کلی طبقه‌بندی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) (Abedi et al., 2012).

۳-۵-۶ تلفیق داده‌ها

سنجنده‌ها دارای طراحی و کاربرد گسترده و هم‌چنین دارای محدودیت‌های فنی بوده، هرکدام از سنجنده‌ها نیز به طور جداگانه دارای کاربرد خاصی بوده و دارای محدودیت‌هایی نسبت به سایر کاربردهای خود است، به همین دلیل برای به دست آوردن و مشخص کردن یک کاربرد خاص و بررسی و تحلیل پدیده‌های مختلف داده‌ها و تصاویر به دست‌آمده به گونه‌ای با یکدیگر تلفیق خواهد شد که تمامی داده‌ها و تصاویر جدید دارای تمامی خصوصیات داده‌های اولیه باشد (wang et al., 2005). به تمامی روش‌های اعمال‌شده و تلفیق به کاربرده شده به اصطلاح ادغام تصاویر گفته می‌شود (Romer et al., 2012). که با کمک آن تصاویر تولیدشده دارای قدرت تفکیک به‌ترو همین‌طور نمایش بهتری از پدیده‌های زمینی است. در حالت کلی پدیده ادغام تصاویر بسیار اقتصادی‌تر و مناسب‌تر از ساخت و طراحی سنجنده‌ها می‌باشد و بدون شک به کاربردن اطلاعات مکانی و طیفی داده‌ها بدون اعمال روش ادغام تصاویر میسر نخواهد بود (Pal and Mather, 2004).



شکل ۳-۶: ادغام تصمیم‌گیری یا ادغام طبقه‌بندی‌کننده

در این تحقیق از یک ادغام گر قوی برای تلفیق داده‌ها استفاده شده است. که در زیر به شرح آن پرداخته خواهد شد.

۳-۵-۶-۱ رای گیری حداکثری (MV)^۱

در این تحقیق از الگوریتم رای گیری حداکثری (MV) برای ادغام تصاویر خروجی به دست آمده از سه طبقه بندی شبکه عصبی (NN)، بیشترین شباهت (ML) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) با استفاده از نرم افزار ENVI^۲ و OTB^۳ و استفاده از ROI های به دست آمده از محدوده مورد نظر استفاده شده است.

این روش تصاویر ایجاد شده و همین طور افزایش قابلیت تفسیر داده هارا بیشتر می کند، که باعث عملکرد قوی تر، افزایش سطح اعتماد و کاهش ابهام در تحلیل تصاویر می شود. یکی از پرکاربردترین و البته دقیق ترین روش های اعمال شده استفاده از رای گیری حداکثری (MV) است. که بسیار دقیق، ساده و مطمئن است. در این روش پیکسل به کلاسی تعلق خواهد گرفت، که در مقایسه با دیگر کلاس ها، بیشترین تکرار را برای آن کلاس داشته باشد، به طور کامل تر اگر تمامی نتایج های به دست آمده دارای دقت و وزن یکسانی باشند، در انتها کلاس نهائی با بالاترین رای به عنوان کلاس انتخاب شده تعیین می گردد (Kuncheva et al., 2003; Mani, 2020). در رابطه (۳-۸) نشان داده شده است:

$$\sum_{l=1}^L d_{j,k} = \max_j^l = 1d_{i,j} \quad (۳-۸)$$

d_i که i مساوی است با (۱ و ۲ و و m) است و در آن m تعداد روش های تصمیم گیری است.

d_j که j مساوی است با (۱ و ۲ و و c) است و در آن c تعداد کلاس های موجود و شناخته شده است.

$d_{i,j}$ که $\{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{in}\}$ برای هر طبقه بندی کننده بردار c بعدی است، هم چنین مقدار $d_{i,j}$ می تواند

یکی از مقادیر ۰ یا ۱ باشد.

^۱ Majoroty Voting Algorithm (MV)

^۲ The Environment For Visualizing Images (ENVI)

^۳ Orfeo Tool Box (OTB)

برای استفاده بهتر و نتیجه درست از اطلاعات به دست آمده نیاز به دانستن صحت و دقت کاراست، بدین منظور یکی از بهترین روش‌های ارزیابی دقت طبقه‌بندی کننده‌ها، به دست‌آوردن ماتریس خطا^۱ (Confusion Matrix) طبقه‌بندی است (Vidal and Madjar, 1997). در مطالعات سنجش از دور به طور گسترده‌ای از ماتریس خطا استفاده می‌شود، روش کار بدین صورت است، که داده‌های تست و آزمایشی که در کلاس‌های طبقه‌بندی تعریف شده است، با تصاویر طبقه‌بندی به دست‌آمده از فایل آموزشی تلاقی داده می‌شود، به گونه‌ای که تمامی پیکسل‌های نمونه برداری شده با کلاس‌های موجود در طبقه‌بندی تلاقی پیدا خواهد کرد، و در نهایت امکان بررسی و صحت طبقه‌بندی‌ها فراهم خواهد شد (Vidal and Madjar, 1997).

بدست‌آوردن دقت و صحت برای فهم و درک نتیجه حاصل بسیار سودمند است. و استفاده از این نتایج به دست‌آمده برای تصمیم‌گیری نهایی معمولاً بر اساس داده‌های آماری استخراج شده از ماتریس خطا می‌باشد (Pal and Mather, 2004). از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین داده‌ها به دست‌آوردن دقت پارامترهای معیار دقت کلی^۲، پارامتر صحت^۳، است؛ که در ادامه به توضیح آن می‌پردازیم.

ماتریس خطا به صورت یک جدول توافقی تعریف شده است، که اختلاف موجود بین اطلاعات واقعی زمین و تصویر را نشان می‌دهد، داده‌های هر پیکسل مشخص شده با داده پیکسل متناظر خود مقایسه خواهد شد، و نتایجی که یکسان است، با یکدیگر جمع می‌شود و داده پیکسل‌هایی که با یکدیگر تفاوت داشته است، و هم‌خوانی ندارند، نیز محاسبه خواهد شد (Pal and Mather, 2005). همین‌طور که در توضیحات گذشته گفته شده است، طبقه‌بندی نظارت‌شده نیاز به آموزش و تعلیم دارد، به همین‌منظور برای آموزش تعدادی نمونه برای این دست از طبقه‌بندی‌ها انتخاب خواهد شد، بعلاوه در زمان نمونه‌برداری از تمامی داده‌های مطالعاتی، تعدادی از نقاط که از آن اطمینان کامل حاصل شده است، و در آن نقطه فلان پوشش و یا رخداد، اتفاق افتاده است، برای داده‌های تست انتخاب خواهد شد، این کار سبب خواهد شد که تمامی داده‌هایی که

¹ Confusion Matrix (CM)

² Overall Accuracy (OA)

³ Kappa (k)

برای طبقه‌بندی اعمال شده‌است، با نقاطی که رخداد آن بر روی زمین حتمی است، مورد صحت‌سنجی قرارگیرد (جعفری، ۱۳۹۲). در این پژوهش از ۴ کلاسه‌بندی (فیلیک، آرژیلیک، پروپیلیتیک و مناطق غیر دگرسان) استفاده شده‌است.

جدول ۳-۶: نمائی از جدول ماتریس خطا برای طبقه‌بندی چهار کلاسه

	c_1	c_2	c_3	c_4	$Total$
c_1	a	b	c	d	$a + b + c + d = c1_{corr}$
c_2	e	f	g	h	$e + f + g + h = c2_{corr}$
c_3	w	z	n	m	$w + z + n + m = c3_{corr}$
c_4	r	s	i	q	$r + s + i + q = c4_{corr}$
$Total$	$a + e + w + r = c1_{pred}$	$b + f + z + s = c2_{pred}$	$c + g + n + i = c3_{pred}$	$d + h + m + q = c4_{pred}$	N

در جدول آورده شده در بالا سطر بالایی (Total) نشان‌دهنده پیش بینی‌ها توسط الگوریتم‌است، و ستون سمت چپ اعدادی‌است، که برحسب واقعیت (زمین مرجع) استفاده شده‌است.

۳-۶-۱ دقت کلی (OA)

یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین پارامتر برای صحت‌سنجی در ماتریس، خطا دقت کلی می‌باشد. در این پارامتر با توجه به اطلاعاتی که در قطر ماتریس خطا وجود دارد، پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند، نسبت به کل پیکسل‌ها (N) سنجیده می‌شود (Pal and Mather, 2004)؛ که در رابطه ۳-۹ مشخص شده‌است.

$$OA = \frac{a+f+n+q}{N} \quad (9-3)$$

از معایب پارامتر دقت کلی می‌توان گفت که با همه‌ی کلاس‌های طبقه‌بندی به صورت یکسان برخورد می‌کند و اختلافی برای آن‌ها در نظر نمی‌گیرد، به همین دلیل در کارهای اجرائی برای دقت و صحت‌سنجی بهتر،

طبقه‌بندی‌ها از شاخص کاپا استفاده می‌شود، زیرا این شاخص پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی را نیز در نظر می‌گیرد که در ادامه به توضیح آن پرداخته می‌شود.

۳-۶-۲ ضریب کاپا (K)

یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد و با اهمیت صحت‌سنجی ضریب کاپا می‌باشد. این پارامتر تمامی پیکسل‌های درست و نادرست طبقه‌بندی را همانند رابطه ۳-۱۰ مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌دهد (Congalton, 1999)

$$\text{kappa} = \frac{N \times (a + f + n + q) - (c1_{\text{corr}} \times c1_{\text{pred}} + c2_{\text{corr}} \times c2_{\text{pred}} + c3_{\text{corr}} \times c3_{\text{pred}} + c4_{\text{corr}} \times c4_{\text{pred}})}{N^2 - (c1_{\text{corr}} \times c1_{\text{pred}} + c2_{\text{corr}} \times c2_{\text{pred}} + c3_{\text{corr}} \times c3_{\text{pred}} + c4_{\text{corr}} \times c4_{\text{pred}})} \quad (3-10)$$

جدول ۳-۷: محدوده تفسیر ضریب کاپا (K)

عملکرد بسیار ضعیف	کمتر از ۰
عملکرد ضعیف	بین ۰ تا ۰,۲
عملکرد متوسط رو به ضعیف	بین ۰,۲۱ تا ۰,۴۰
عملکرد متوسط	بین ۰,۴۱ تا ۰,۶
عملکرد خوب	بین ۰,۶۱ تا ۰,۸۱
عملکرد عالی	بین ۰,۸۱ تا ۱

فصل ۴: خروجی و تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و
سنتینل-۲

کانی‌سازی پورفیری-پی‌ترمال مس-طلا مسجداغی در شرق جلفا و در استان آذربایجان شرقی واقع شده‌است و از لحاظ زمین‌شناسی در زون متالوژنی ارسباران و زون ماگمایی البرز-آذربایجان قرار دارد. سنگ میزبان کانی‌سازی شامل فلیش و تراکی‌آندزیت ائوسن و توده نفوذی کوارتز مونزودیوریت الیگوسن می‌باشد. دگرسانی‌های مهم منطقه شامل پتاسیک، فلیک، آرژلیک متوسط و پیشرفته، سیلیسی و پروپیلیتیک می‌باشند و کانی‌سازی طلا به‌صورت رگه و رگچه‌های سیلیسی-باریتی در قسمت فوقانی توده پورفیری تشکیل شده‌است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶). جهت آشکارسازی دگرسانی‌ها بر روی تصاویر سنجنده سنتینل-۲ و ماهواره لندست-۸ از روش‌های متفاوتی نظیر ترکیب‌رنگی کاذب، نسبت‌بندی، روش کمترین مربعات رگرسیون شده و طبقه‌بندی که شامل روش‌های شبکه‌عصبی، بیشترین شباهت و ماشین‌پرداز پشتیبان استفاده شده‌است.

۴-۲ پیش پردازش و تصحیحات سنتینل-۲ و لندست-۸ در محدوده مسجداغی

همان‌طور که در فصل گذشته توضیح داده شده است، تمامی تصحیحات هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری بر روی داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ محدوده مسجداغی صورت گرفته است تا خطاهای احتمالی ناشی از اتمسفر، جو و غیره..... بر روی تصاویر تصحیح گردد.

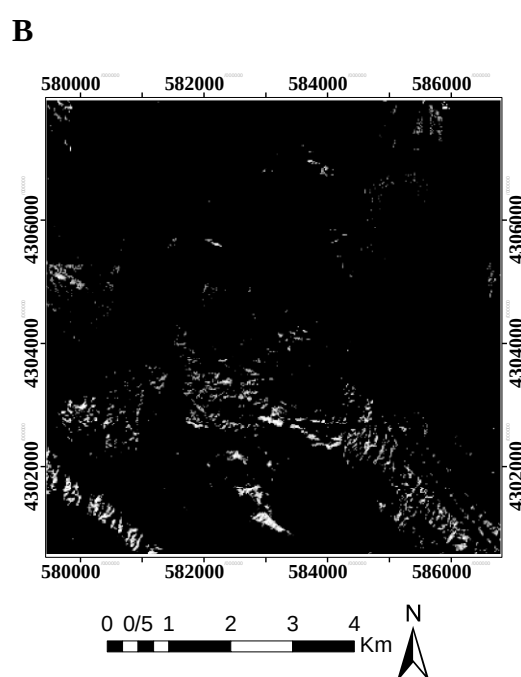
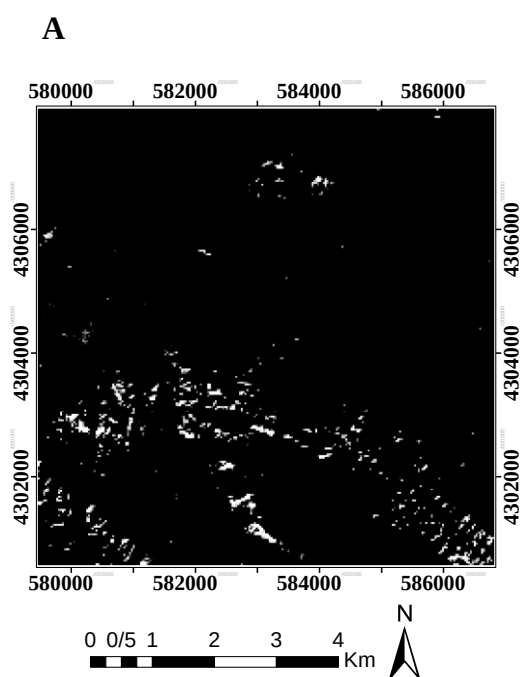
۴-۳ روش‌های استفاده شده در محدوده مورد مطالعاتی مسجداغی با استفاده از داده‌های

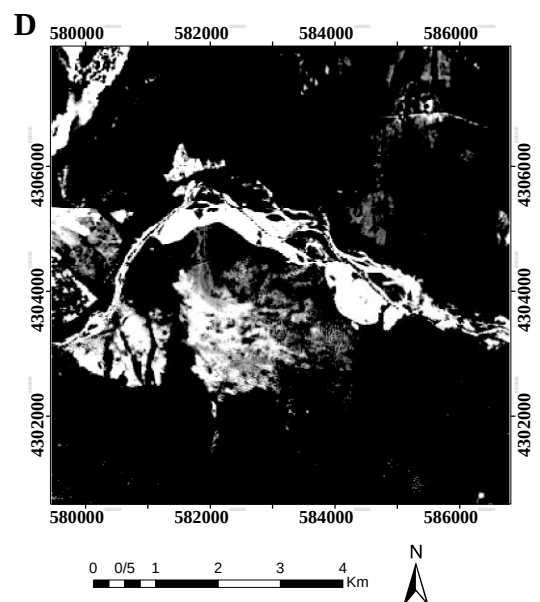
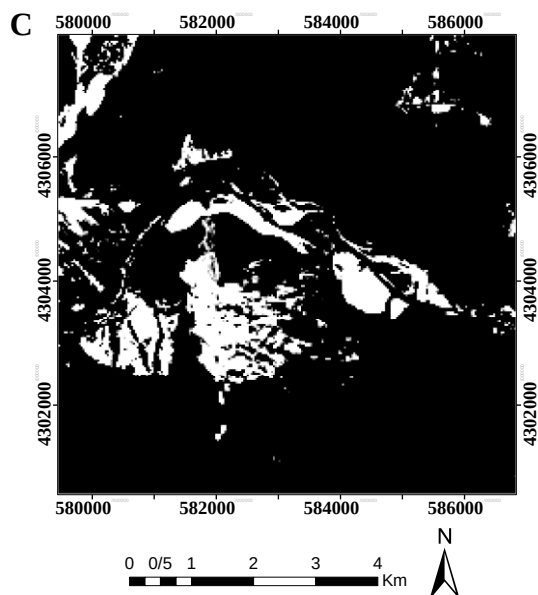
لندست-۸ و سنتینل-۲

۴-۳-۱ روش نسبت‌بندی (BR)

در کانسارهای مس پورفیری وجود کلاک‌های آهنی که در قسمت فوقانی کانسار تشکیل می‌شود نشانه خوبی برای شناخت و شناسایی مناطق کانی‌سازی است. از آنجا که کلاک‌های آهنی دارای کانی‌های اکسیدهای آهن هستند؛ لذا جهت بارزسازی کانی‌های اکسید آهن می‌توان از این روش استفاده کرد (Seo et al., 2005). همچنین تجزیه کانیهای سولفیدی آهن دار موجود در دگرسانی‌های ذخایر پورفیری نظیر پیریت

و کالکوپیریت به کانی‌های هیدروکسید آهن نشانه خوبی جهت اکتشاف است. برای تشخیص اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) از نسبت باندی ۴ به ۲ استفاده شده است؛ که در هر دو ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ باند ۴ دارای بازتاب بالا و باند ۲ دارای جذب بسیار خوبی در محدوده طیفی است؛ که نواحی با پیکسل‌های روشن مشخص‌کننده مناطق آهن‌دار موجود در منطقه می‌باشد شکل (A-۱-۴) نشان‌دهنده آهن موجود با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست-۸ می‌باشد و شکل (B-۲-۴) با همین نسبت باندی ۴ به ۲ اکسید آهن را با نواحی روشن در سنجنده سنتینل-۲ مشخص می‌کند. همچنین برای بارزسازی کانی‌های کائولینیت و مونتموریلونیت (به عنوان شاخص دگرسانی آرژیلیک) و کانی سربیسیت (به عنوان شاخص زون دگرسانی فیلیک) از نسبت باندی ۶ به ۷ در ماهواره لندست-۸ استفاده شده است؛ که باند ۶ دارای بازتاب بسیار بالا و باند ۷ دارای جذب بسیار خوب و بالایی در ماهواره لندست-۸ می‌باشد که در آن پیکسل‌های روشن مشخص‌کننده این دگرسانی‌ها در منطقه است (شکل C-۱-۴). برای بارزسازی این کانی‌ها با استفاده از سنجنده سنتینل-۲ و نسبت باندی ۱۱ به ۱۲ که باند ۱۱ بازتاب بالا و باند ۱۲ جذب بالایی را دارا می‌باشد، دگرسانی فیلیک و آرژیلیک محدوده با پیکسل‌های روشن مشخص شده است (شکل D-۱-۴).

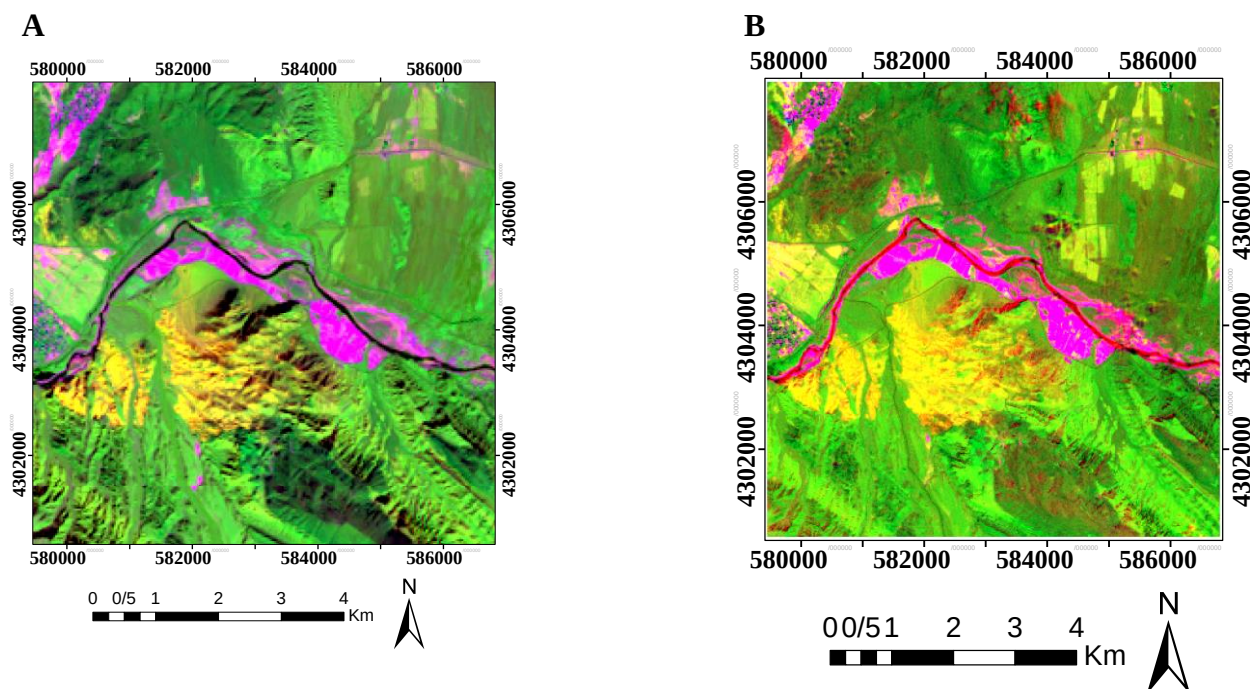




شکل ۴-۱: روش نسبت بانندی تصاویر سنجنده لندست-۸ و سنتینل-۲ در منطقه مسجداغی، A: پیکسل‌های روشن نشان دهنده اکسید آهن (هماتیت، گوتیت، لیمونیت) در منطقه با استفاده از داده‌های ماهواره ای لندست-۸ است، : پیکسل‌های روشن نشان دهنده اکسید آهن (هماتیت، گوتیت، لیمونیت) در منطقه با استفاده از داده‌های سنجنده سنتینل-۲ است، C: در ماهواره لندست-۸ پیکسل‌های روشن نشان دهنده دگرسانی فیلیک (سریسیت) و آرژیلیک (کائولینیت و مونتوریلونیت) می‌باشد، D: در سنجنده سنتینل-۲ که پیکسل‌های روشن نشان دهنده دگرسانی فیلیک (سریسیت) و آرژیلیک (کائولینیت و مونتوریلونیت) است.

۴-۳-۲ ترکیب رنگی کاذب (FCC)

همان‌طور که گفته شد، نمایش بیش از یک باند در یک تصویر اطلاعات سودمندی در اختیار قرار می‌دهد؛ لذا با استفاده از ترکیب رنگی (6/7, 4/2, 5/4) RGB در ماهواره لندست-۸ (شکل ۴-۲-A) و همین‌طور ترکیب رنگی (11/12, 4/2, 8/4) RGB در سنجنده سنتینل-۲ (شکل ۴-۲-B) پیکسل‌های زرد موجود در تصویر نشان دهنده کانی‌های سریسیت، کائولینیت و مونتوریلونیت (دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک موجود در منطقه می‌باشد).



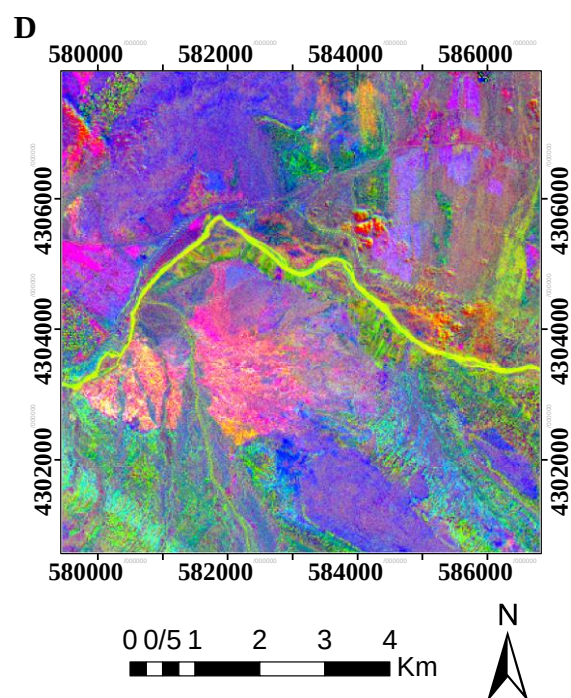
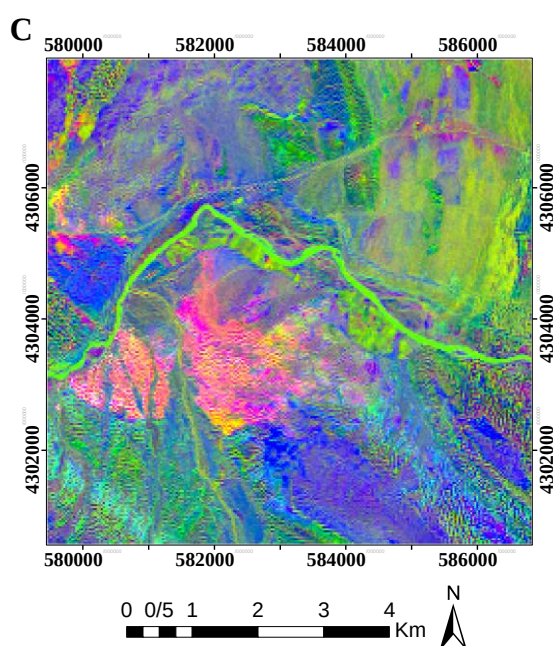
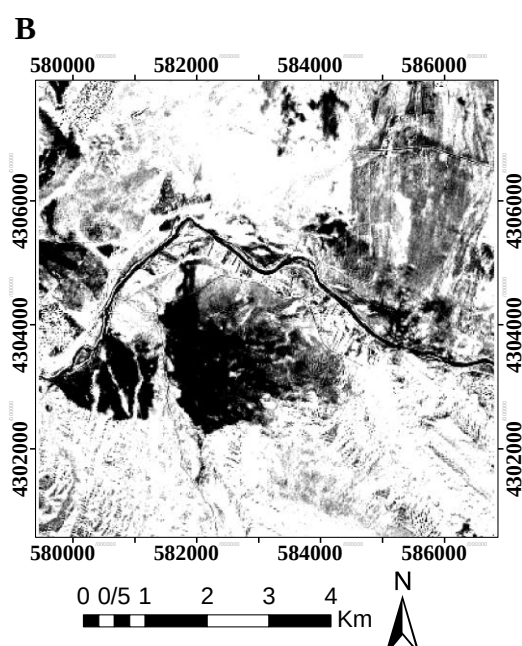
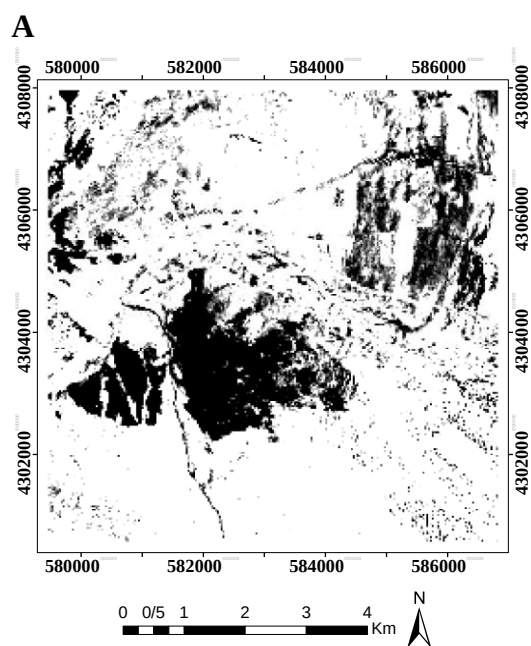
شکل ۴-۲: روش ترکیب رنگی کاذب تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ در منطقه مسجداغی،

A: در ماهواره لندست-۸ در محدوده مسجداغی که رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی فیلک (سریسیت) و آرژلیک (کائولینیت و مونتوریلونیت) است، B: در سنجنده سنتینل-۲ در محدوده مسجداغی که رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی فیلک (سریسیت) و آرژلیک (کائولینیت و مونتوریلونیت) است

۴-۳-۳ روش کمترین مربعات رگرسیون شده (Ls-Fit)

در تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ از باند ۷ و سنتینل-۲ از باند ۱۲ به عنوان باند مدل، جهت شناسایی کانی‌های رسی استفاده شده است. با استفاده از روش کمترین مربعات رگرسیون شده کانی‌های رسی (کانی کائولینیت، مونتوریلونیت و سریسیت) موجود در منطقه به صورت نواحی تیره در لندست-۸ (شکل ۴-۳-A) و در سنجنده سنتینل-۲ (شکل ۴-۳-B) مشخص شده است. همچنین ترکیب رنگی کاذب Ls-Fit نسبت به باند ۷ (تصویر منفی شده باقی‌مانده) در ماهواره لندست-۸ و نسبت به باند ۱۲ (تصویر منفی شده باقی‌مانده) در سنجنده سنتینل-۲ و باند ۳ و ۴ در هر دو ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ برای تشخیص نقاط مشترک کانی‌های رسی (کانی کائولینیت، مونتوریلونیت و سریسیت) و اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) و پوشش گیاهی استفاده شده است. رنگ بنفش نشان‌دهنده بازتاب بالا در باند ۳ و جذب بالا در باند ۷ در ماهواره لندست-۸ (شکل ۴-۳-C) و جذب بالا در باند ۱۲ در سنتینل-۲ است (شکل ۴-۳-D) که مشخص

کننده پیکسل‌های مشترک دارای کانی‌های رسی (کانی کائولینیت، مونتموریلونیت و سریسیت) و اکسید آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) است. پیکسل قرمز مشخص‌کننده کانی‌های ایلیت، سریسیت و کائولینیت و پیکسل زرد و نارنجی نشان‌دهنده مجموع کانی‌های ایلیت، سریسیت، کائولینیت و اکسید آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) می‌باشد. (شکل ۳-۴ و D)



شکل ۴-۳: روش کمترین مربعات رگرسیون شده در تصاویر ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ در منطقه مسجداغی، A: پیکسل‌های تیره رنگ نشان دهنده کانی‌های رسی موجود در دگرسانی‌های فلیک (سرسیت) و آرژلیک (کائولینیت و مونتموریلونیت) با استفاده از داده‌های لندست-۸ است، B: پیکسل‌های تیره رنگ نشان‌دهنده کانی‌های رسی موجود در دگرسانی‌های فلیک و آرژلیک با استفاده از داده‌های سنتینل-۲ است، C: ترکیب‌رنگی در ماهواره لندست-۸ که رنگ‌های زرد و نارنجی نشان‌دهنده کانی‌های ایلیت، سرسیت، کائولینیت و اکسید آهن است، D: ترکیب‌رنگی در سنتینل-۲ که رنگ‌های زرد و نارنجی نشان‌دهنده کانی‌های ایلیت، سرسیت، کائولینیت و اکسید آهن است.

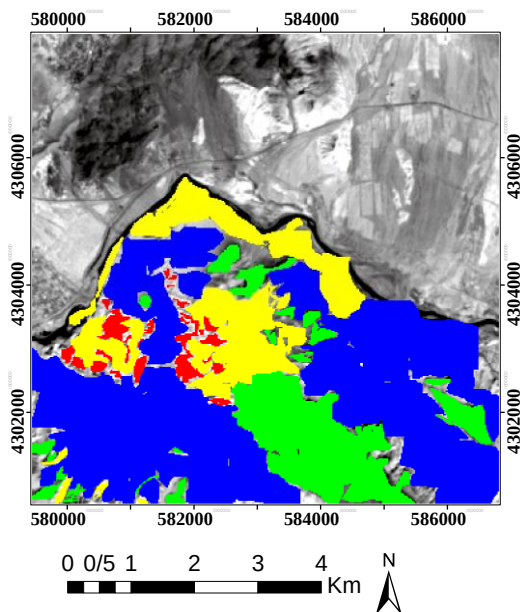
۴-۳-۴ طبقه‌بندی تصاویر و تلفیق نتایج در محدوده مورد مطالعاتی مسجداغی

همان‌طور که در فصل ۳ در مورد طبقه‌بندی و روش‌های استفاده‌شده در این تحقیق توضیح داده‌شده است، در این تحقیق با استناد بر نقشه مرجع تهیه‌شده از محدوده مورد مطالعاتی مسجداغی (شکل ۲-۴) و همچنین برداشت‌های صحرایی انجام‌شده بر روی محدوده مسجداغی (شکل ۲-۵) و (شکل ۲-۶) (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶)، با به‌کارگیری روش‌های اعمال‌شده (نسبت‌بندی، ترکیب‌رنگی کاذب و کمترین مربعات رگرسیون شده) بر روی تصاویر لندست-۸ و سنتینل-۲ و اطمینان بر صحت محل دگرسانی در نقاط مورد نظر که به خوبی دگرسانی‌های موجود بر روی محدوده مورد مطالعه را نشان داده است. با استفاده از روش‌های ذکرشده؛ ROI‌هایی از محدوده موردنظر تحت عنوان داده‌های آموزشی انتخاب و جدا گردیده است، که در این تصویر ۱۸۳۰ پیکسل مشخص‌کننده دگرسانی فلیک (کانی سرسیت) به رنگ قرمز، ۱۱۳۴۲ پیکسل مشخص‌کننده دگرسانی آرژلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد، ۱۳۰۰۴ پیکسل مشخص‌کننده دگرسانی پروپیلیتیک (کانی اپیدوت و کلریت) به رنگ سبز و ۴۳۰۳۸ پیکسل مشخص‌کننده مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی است (شکل ۴-۴-A). همچنین همانند مراحل قبل و اطمینان بر صحت وجود دگرسانی با استناد بر برداشت‌های صحرایی انجام‌شده و نقشه مرجع از محدوده مطالعاتی مسجداغی با به‌کارگیری روش‌های اعمال‌شده (نسبت‌بندی، ترکیب‌رنگی کاذب و کمترین مربعات رگرسیون شده) بر روی تصاویر لندست-۸ و سنتینل-۲ و اطمینان بر صحت محل دگرسانی در نقاط مورد نظر که به خوبی دگرسانی‌های موجود بر روی محدوده مورد مطالعه را نشان داده است. با استفاده از روش‌های ذکرشده؛

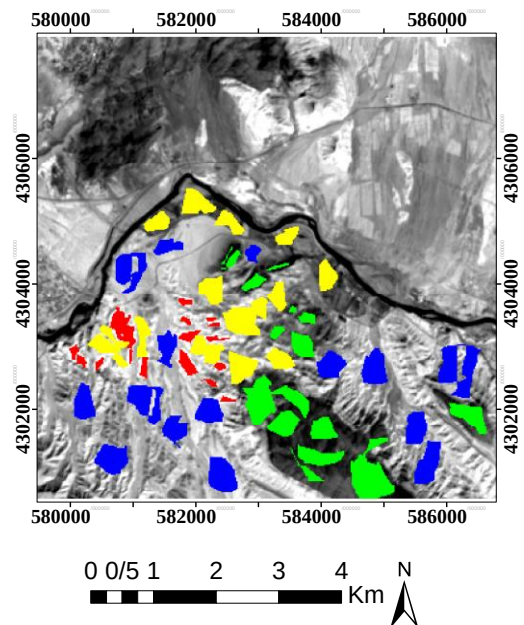
ROIهایی از محدوده موردنظر تحت عنوان داده‌های آزمایش انتخاب و جدا گردیده‌است، که در این تصویر ۱۰۸۸ پیکسل مشخص‌کننده دگرسانی فیلیک (کانی سرسیت) به رنگ قرمز، ۴۰۵۴ پیکسل مشخص‌کننده دگرسانی آرژیلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد، ۳۹۱۹ پیکسل مشخص‌کننده دگرسانی پروپیلیتیک (کانی اپیدوت و کلریت) به رنگ سبز و ۵۸۷۶ پیکسل مشخص‌کننده مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی است (شکل ۴-۴-B). درنهایت تمامی روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده؛ شبکه‌های عصبی، بیشترین شباهت و ماشین‌بردارپشتیبان مورد نیاز تحقیق با ROIهای یکسان توسط نرم‌افزار ENVI نسخه ۵/۳ پس از مطابقت دادن داده‌های آموزشی و آزمایشی برروی یکدیگر و مطابقت آن‌ها با هم، برروی تصاویر اعمال‌گردید، و در نهایت دگرسانی‌های مورد نیاز از محدوده مورد نظر به‌دست آمد. سپس در ادامه خروجی‌های مناسب از هر سه طبقه‌بندی برای هر دو سنجنده Landsat-8 و Sentinel-2 با رویکرد ادغام تصمیم‌گیری و با استفاده از الگوریتم رای‌گیری حداکثری و در محیط نرم افزار OTB با یکدیگر تلفیق شدند، و خروجی نهایی با دقتی بالاتر نسبت به نتایج حاصل از دیگر طبقه‌بندی‌ها به دست‌آمد. به‌طورکلی محدوده مورد نظر از چهار قسمت دگرسانی فیلیک، دگرسانی آرژیلیک، دگرسانی پروپیلیتیک و مناطق دگرسان‌نشده تشکیل‌شده‌است. ROIها به صورت نقاط آموزشی و آزمایشی برروی دیگر روش‌های ذکرشده (نسبت باندی، ترکیب رنگی کاذب و کمترین مربعات رگرسیون‌شده) اعمال شده‌است. سپس با استفاده از طبقه‌بندی‌های انجام شده برروی تصاویر دگرسانی‌های موردنیاز به‌دست آمده‌است. در ادامه با استفاده از روش شبکه‌های عصبی در ماهواره لندست-۸ دگرسانی‌های فیلیک (کانی سرسیت) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژیلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد و دگرسانی پروپیلیتیک (اپیدوت و کلریت) به رنگ سبز و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی در محدوده مسجوداغی مشخص‌شده‌است (شکل ۴-۵-A). هم‌چنین با استفاده از روش شبکه‌های عصبی در سنجنده سنتینل-۲ دگرسانی فیلیک (کانی سرسیت) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژیلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد و دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی مشخص‌شده‌است (شکل ۴-۵-B). با استفاده از روش بیشترین شباهت در ماهواره لندست-۸ دگرسانی فیلیک (کانی سرسیت) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژیلیک

(کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد و دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی در محدوده مسجدداغی مشخص شده است (شکل ۴-۵-C). هم‌چنین با استفاده از روش بیشترین شباهت در سنجنده سنتینل-۲ دگرسانی فیلک به رنگ قرمز (کانی سربست)، دگرسانی آرژیلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد و دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی مشخص شده است (شکل ۴-۵-D). با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان در ماهواره لندست-۸ دگرسانی فیلک (کانی سربست) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژیلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد و دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی در محدوده مسجدداغی مشخص شده است (شکل ۴-۵-E). هم‌چنین با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان در سنجنده سنتینل-۲ دگرسانی فیلک (کانی سربست) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژیلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد و دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی مشخص شده است (شکل ۴-۵-F). در ادامه با تلفیق تصاویر خروجی از سه طبقه‌بندی استفاده شده در تحقیق به روش الگوریتم رای‌گیری حداکثری (MV) در ماهواره لندست-۸ دگرسانی فیلک (کانی سربست) به رنگ سبز، دگرسانی آرژیلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد و دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ قرمز و بنفش و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی کم‌رنگ مشخص شده است (شکل ۴-۵-G). هم‌چنین با استفاده از روش الگوریتم رای‌گیری حداکثری (MV) در سنجنده سنتینل-۲ دگرسانی فیلک (کانی سربست) به رنگ سبز، دگرسانی آرژیلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد و دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ قرمز و بنفش و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی کم‌رنگ مشخص شده است (شکل ۴-۵-S).

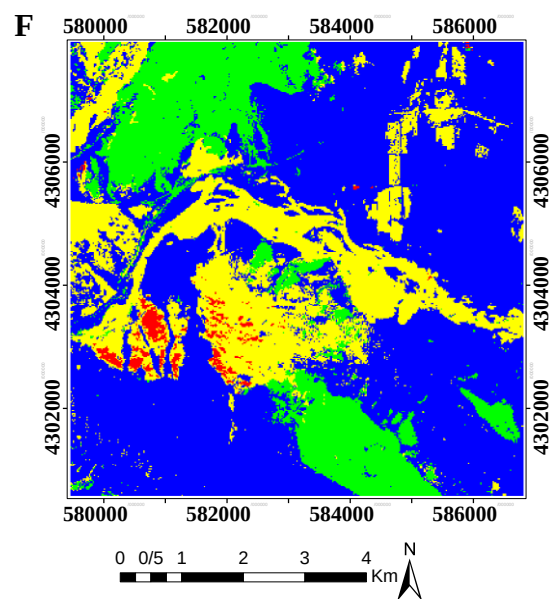
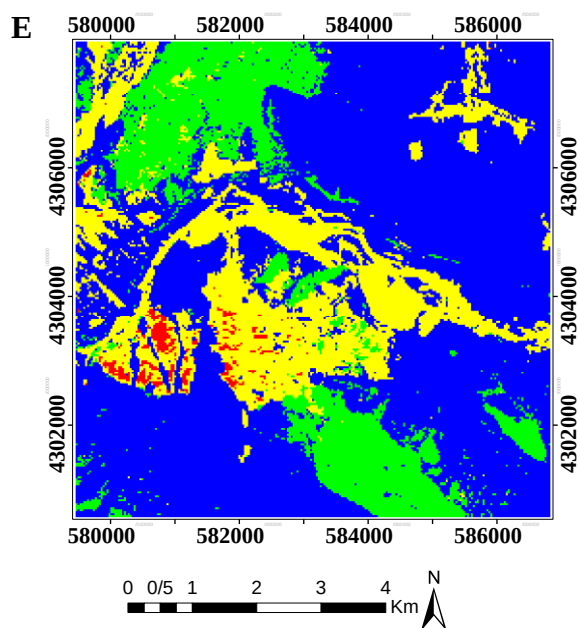
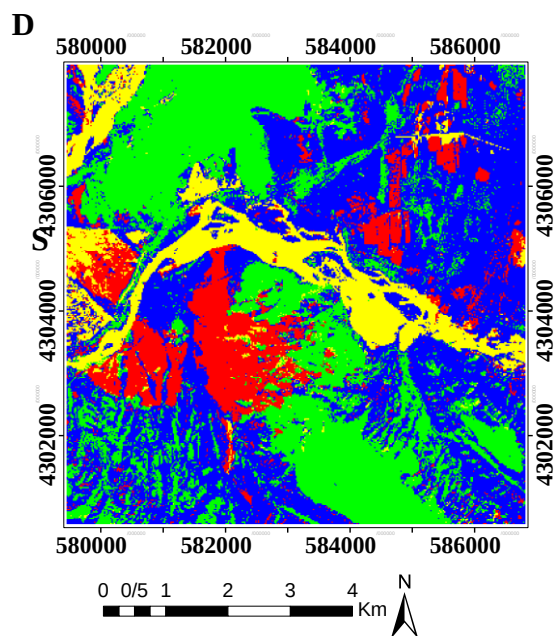
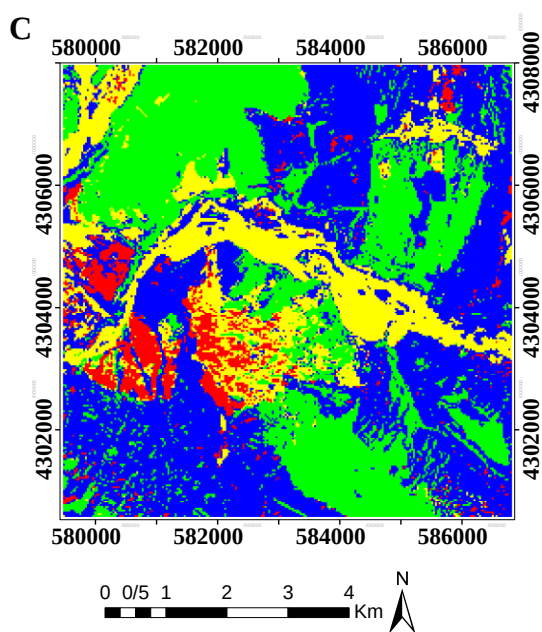
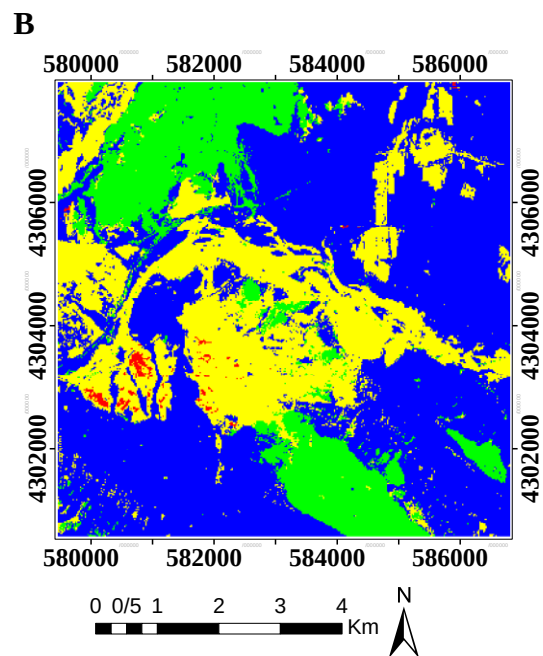
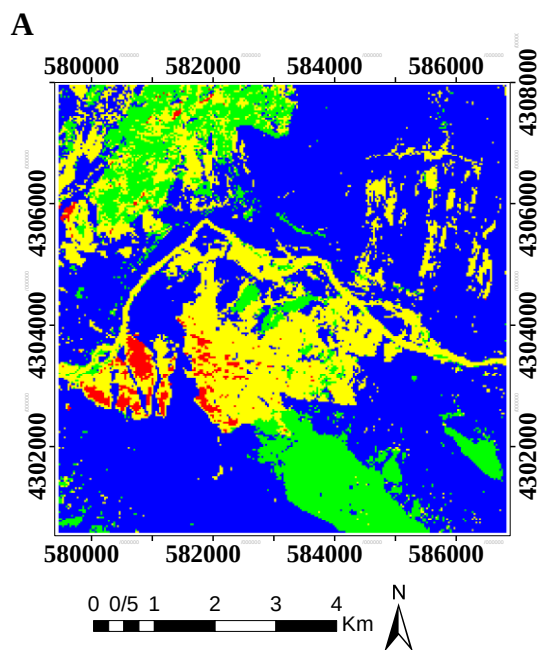
A

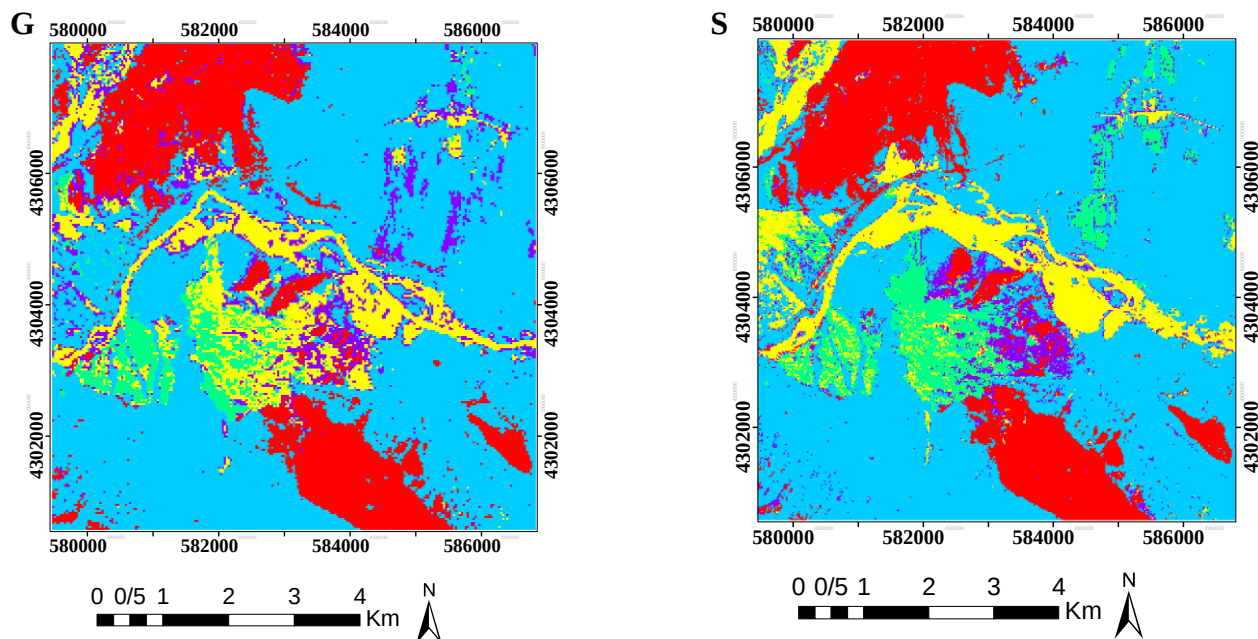


B



شکل ۴-۴: ROI های آموزشی و آزمایشی جدا شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ برای بارزسازی مناطق دگرسانی و غیردگرسانی محدوده مطالعاتی مسجدداغی؛ A: داده‌های آموزشی جدا شده بر روی محدوده که دگرسانی فیلیک (سرسیت) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژیلیک (کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد، دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی مشخص شده است. B: داده‌های آزمایشی جدا شده بر روی محدوده که دگرسانی فیلیک (سرسیت) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژیلیک (کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد، دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی مشخص شده است.





شکل ۴-۵ : سه طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه‌عصبی، بیشترین شباهت، ماشین‌بردار پشتیبان و تلفیق نتایج طبقه‌بندی‌ها با استفاده از روش رای‌گیری حداکثری در تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ در محدوده مطالعاتی مسجدداغی ؛ در روش شبکه‌های عصبی ، A: در ماهواره لندست-۸ و B: در سنجنده سنتینل-۲ رنگ قرمز نشان‌دهنده دگرسانی فیلیک (سریسیت)، رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی آرژلیک (کائولینیت و مونتموریلونیت)، رنگ سبز نشان‌دهنده دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) و رنگ آبی نشان‌دهنده مناطق غیر دگرسان می‌باشد. در روش بیشترین شباهت، C: در ماهواره لندست-۸ و D: در سنجنده سنتینل-۲ رنگ قرمز نشان‌دهنده دگرسانی فیلیک (سریسیت)، رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی آرژلیک (کائولینیت و مونتموریلونیت)، رنگ سبز نشان‌دهنده دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) و رنگ آبی نشان‌دهنده مناطق غیر دگرسان می‌باشد. در روش ماشین‌بردار پشتیبان، E: در ماهواره لندست-۸ و F: در سنجنده سنتینل-۲ رنگ قرمز نشان‌دهنده دگرسانی فیلیک (سریسیت)، رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی آرژلیک (کائولینیت و مونتموریلونیت)، رنگ سبز نشان‌دهنده دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) و رنگ آبی نشان‌دهنده مناطق غیر دگرسان می‌باشد. در روش رای‌گیری حداکثری ، G: در ماهواره لندست-۸ و S: در سنجنده سنتینل-۲ رنگ قرمز و بنفش نشان‌دهنده دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) ، رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی آرژلیک (کائولینیت و مونتموریلونیت)، رنگ سبز نشان‌دهنده دگرسانی فیلیک (سریسیت) و رنگ آبی کم‌رنگ نشان‌دهنده مناطق غیر دگرسان می‌باشد.

۴-۴ محدوده مطالعاتی جلفا

۴-۴-۱ مقدمه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب واحد زمین‌ساختی البرز-آذربایجان قرار گرفته‌است. بر اساس نوع سنگ‌های برونزد و رخساره آن‌ها به دو بخش فلیشی و بخش پوشش پلاتفرمی قابل تفکیک‌است. بخش پلاتفرمی شامل نهشته‌های پالئوزوئیک و بخشی از نهشته‌های مزوزوئیک دنباله پلاتفرم ایران مرکزی و البرزاست. بخش فلیشی آن نیز مربوط به بخش‌های کرتاسه و نهشته‌هایی با تیپ فلیش ائوسن می‌باشد، نهشته‌های مربوط به پالئوزوئیک و مزوزوئیک شدیدتر است. بخش فوقانی پرکامبرین-کامبرین آغازین قدیمی‌ترین سن نهشته‌ها در ناحیه مورد بررسی است. فعالیت‌های ولکانیکی شدیدتری که از اواسط ائوسن آغاز می‌گردد. همراه با نفوذ ولکانیک‌های داسیتی الیگوسن وسعت زیادی را در برمیگیرد. چین‌خوردگی‌های مربوط به پالئوزوئیک و مزوزوئیک شدیدتر است. جریان گدازه‌های ولکانیکی باعث خردشدن و پوشیده‌شدن سنگ‌های

قدیمی‌تر در بخش جنوب‌شرق و مرکزی منطقه شده‌است. نهشته‌های کنگلومرایی ومارن

و ماسه سنگ میوسن و پلیوسن وسعت زیادی در شمال منطقه دارد. در این تحقیق بر

روی دگرسانی موجود در محدوده که بیشتر در مطالعه موردی بخش کوچک تر شرق

جلفا (مسجدداغی) پرداخته شده است، به همین‌منظور جهت آشکارسازی دگرسانی‌ها بر روی تصاویر

سنجنده سنتینل-۲ و ماهواره لندست-۸ از روش‌های متفاوتی نظیر ترکیب‌رنگی کاذب، نسبت‌بندی، روش

کمترین مربعات رگرسیون شده و سه طبقه‌بندی؛ روش‌های شبکه‌عصبی، بیشترین شباهت،

ماشین‌بردار پشتیبان استفاده شده‌است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد، روش نسبت‌بندی در ماهواره

لندست-۸ و سنتینل-۲ کمترین مربعات رگرسیون شده در سنجنده سنتینل-۲ و ماهواره لندست-۸ در

بارزسازی نواحی دارای اکسید آهن و مناطق دگرسانی آرژلیک و فلیک به‌خوبی عمل کرده‌است. روش‌های

به‌کار گرفته شده در سنجنده سنتینل-۲ و لندست-۸ نظیر نسبت‌بندی، ترکیب‌رنگی کاذب و

کمترین مربعات رگرسیون شده در بارزسازی دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌سازی پورفیری نظیر آرژلیک، فلیک و پروپیلیتیک مطابقت خوبی با نقشه زمین‌شناسی نشان می‌دهند؛ هم‌چنین پس از بررسی و مقایسه دقت سه طبقه‌بندی‌کننده این نتایج حاصل شده‌است. که ماشین‌بردار پشتیبان نسبت به دو طبقه‌بندی دیگر دارای دقت بسیار مناسبی است. و هم‌چنین با استفاده از تلفیق طبقه‌بندی‌ها با روش رای‌گیری حداکثری این نتیجه حاصل شده‌است. که سنجنده سنتینل-۲ نسبت به ماهواره لندست-۸ دارای دقت بیشتر و مناسب‌تری برای تحقیق و موضوع مورد مطالعه بر روی محدوده مورد نظر است.

۴-۵ پیش پردازش و تصحیحات سنتینل-۲ و لندست-۸ در محدوده مطالعاتی جلفا

تمامی پیش‌پردازش‌ها و تصحیحاتی که بر روی داده‌های سنتینل-۲ و لندست-۸ محدوده مسجوداگی صورت گرفت، به همان ترتیب بر روی محدوده جلفا نیز صورت می‌گیرد.

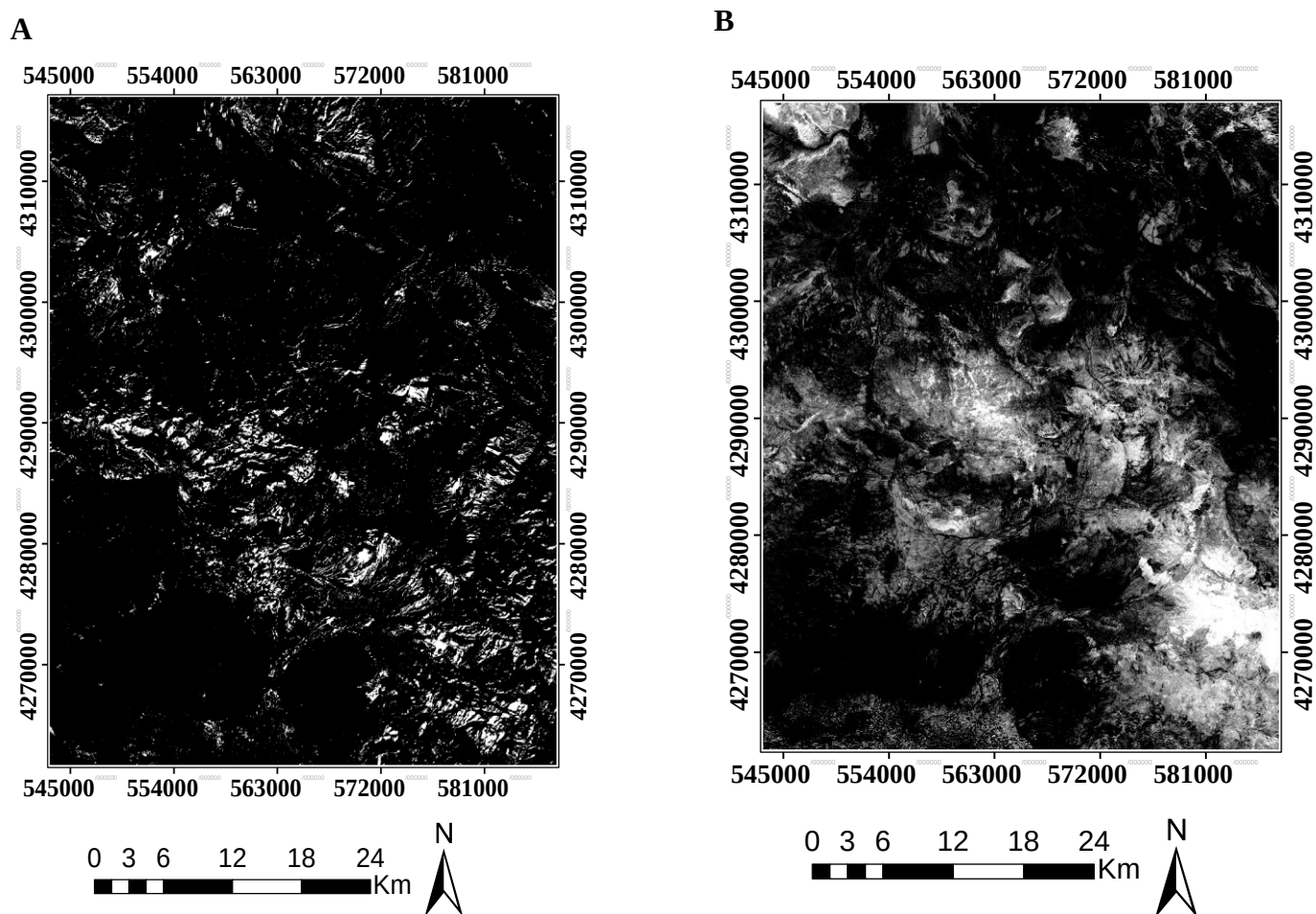
۴-۶ روش‌های استفاده‌شده در محدوده مورد مطالعاتی جلفا با استفاده از داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲

تمامی روش‌های استفاده شده در نسبت‌بندی، ترکیب‌رنگی کاذب و روش کمترین مربعات رگرسیون شده محدوده مطالعاتی مسجوداگی به صورت کاملاً یکسان و شبیه در محدوده بزرگ‌تر جلفا پیاده‌سازی شده‌است. و تمامی باندها و روش‌های اعمال شده یکسان و در محدوده بزرگ‌تر نشان داده می‌شود.

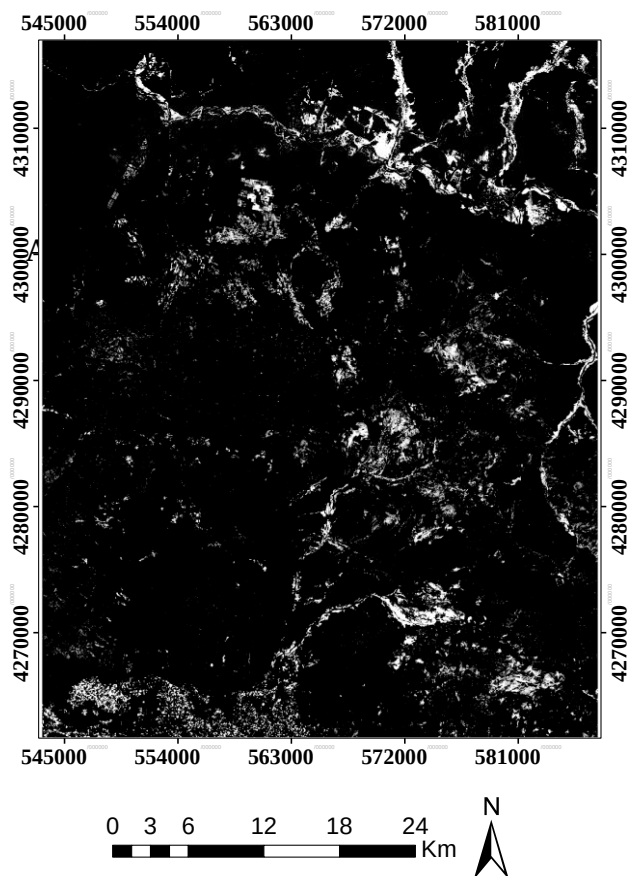
۴-۶-۱ روش نسبت‌بندی (BR)

برای مشخص کردن مناطق دارای کانی‌های آهن‌دار از نسبت باندی ۴ به ۲ استفاده شده‌است؛ که نواحی با پیکسل‌های روشن مشخص‌کننده مناطق آهن‌دار موجود در منطقه‌است شکل (۴-۶-۱) نشان‌دهنده آهن موجود با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست-۸ بوده‌است و شکل (۴-۶-۲) با همین نسبت باندی ۴ به ۲ اکسید آهن را با نواحی روشن در سنجنده سنتینل-۲ مشخص می‌کند. همچنین برای مشخص کردن دگرسانی

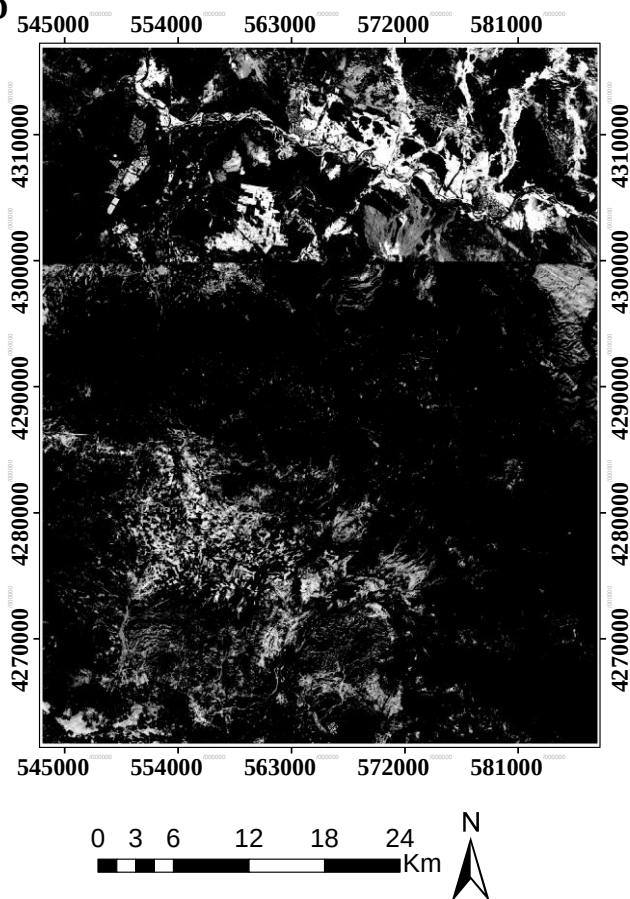
فیلیک و آرژیلیک محدوده از نسبت بانندی ۶ به ۷ در ماهواره لندست-۸ استفاده شده است که پیکسل‌های روشن مشخص‌کننده این دگرسانی‌ها در منطقه است (شکل ۴-۶-۱). با استفاده از سنجنده سنتینل-۲ و نسبت بانندی ۱۱ به ۱۲ دگرسانی فیلیک و آرژیلیک محدوده با پیکسل‌های روشن مشخص شده است (شکل ۴-۶-۲)



C



D

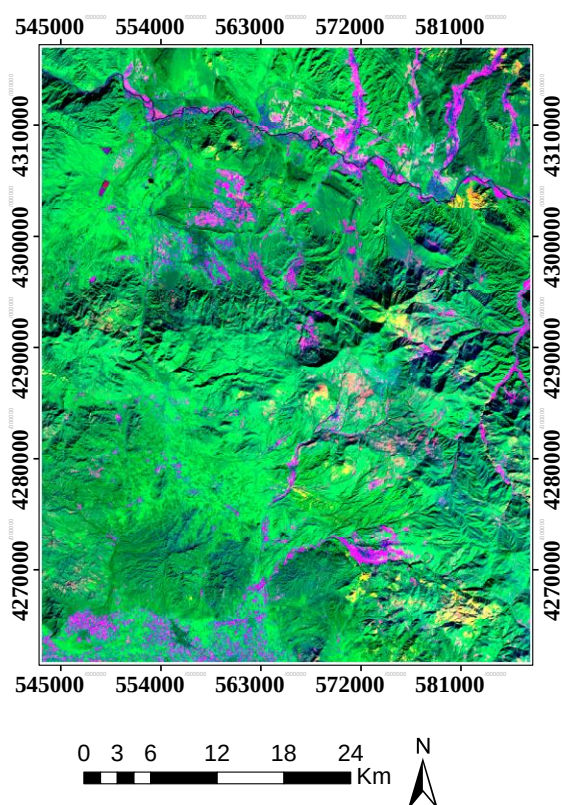


شکل ۴-۶: روش نسبت‌باندی تصاویرسنجنده لندست-۸ و سنتینل-۲ در منطقه جلفا، A: در ماهواره لندست-۸ و B: در سنجنده سنتینل-۲ پیکسل‌های روشن نشان دهنده اکسید آهن (هماتیت، گوتیت، لیمونیت) در منطقه است، C: در ماهواره لندست-۸ و D: در سنجنده سنتینل-۲ پیکسل‌های روشن نشان‌دهنده دگرسانی فلیک (سریسیت) و آرژلیک (کائولینیت و مونتوریلونیت) است.

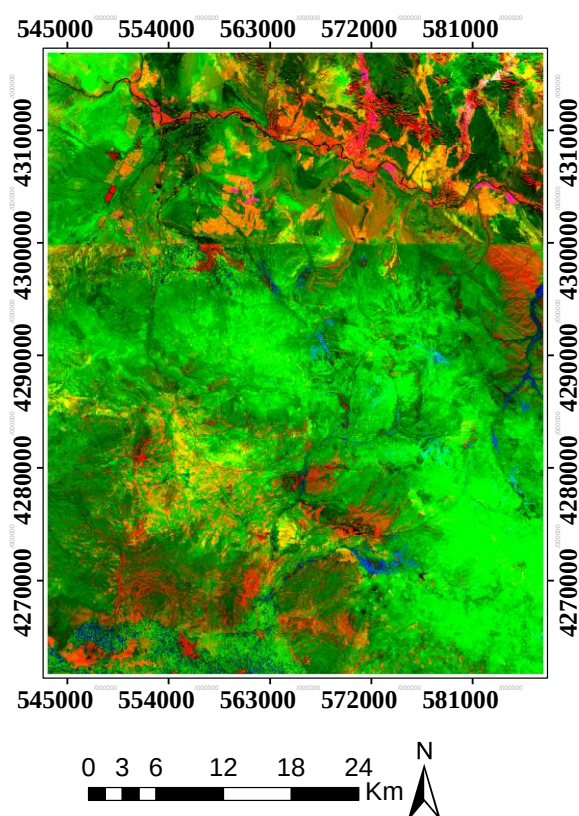
۴-۶-۲ ترکیب‌رنگی کاذب (FCC)

با استفاده از ترکیب رنگی RGB: (6/7, 4/2, 5/4) در ماهواره لندست-۸ (شکل ۴-۷-A) و همین‌طور ترکیب رنگی RGB: (11/12, 4/2, 8/4) در سنجنده سنتینل-۲ (شکل ۴-۷-B) پیکسل‌های زرد موجود در تصویر نشان‌دهنده کانی‌های موسکوویت، کائولینیت و مونتوریلونیت (دگرسانی‌های فلیک و آرژلیک) موجود در منطقه می‌باشد.

A



B



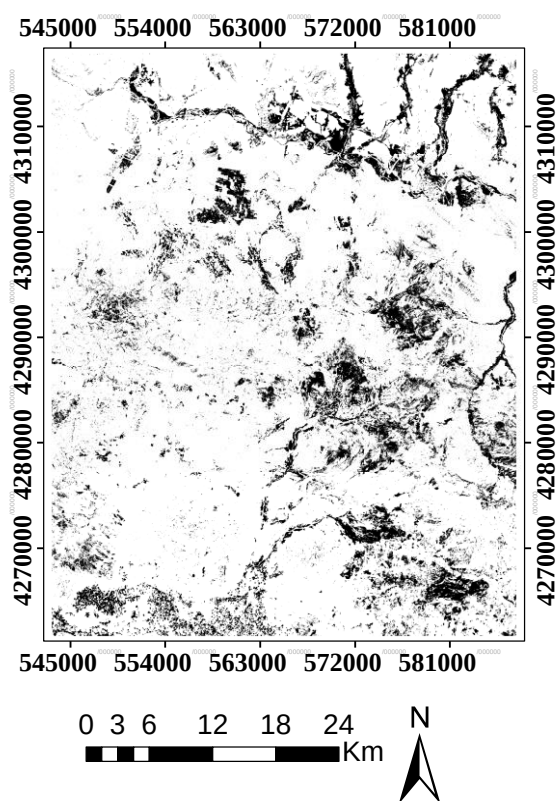
شکل ۴-۷: روش ترکیب رنگی کاذب تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ در منطقه جلفا، A: ترکیب رنگی کاذب R (6/7), G (4/2), B (5/4) داده‌های لندست-۸ در محدوده جلفا که رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی فیلیک (موسکوویت) و آرژلیک (کائولینیت و مونتموریلونیت) است، B: ترکیب رنگی کاذب R (11/12), G (4/2), B (8/4) داده‌های سنتینل-۲ در محدوده مجلفا که رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی فیلیک (موسکوویت) و آرژلیک (کائولینیت و مونتموریلونیت) است.

۴-۶-۳ روش کمترین مربعات رگرسیون شده (Ls-Fit)

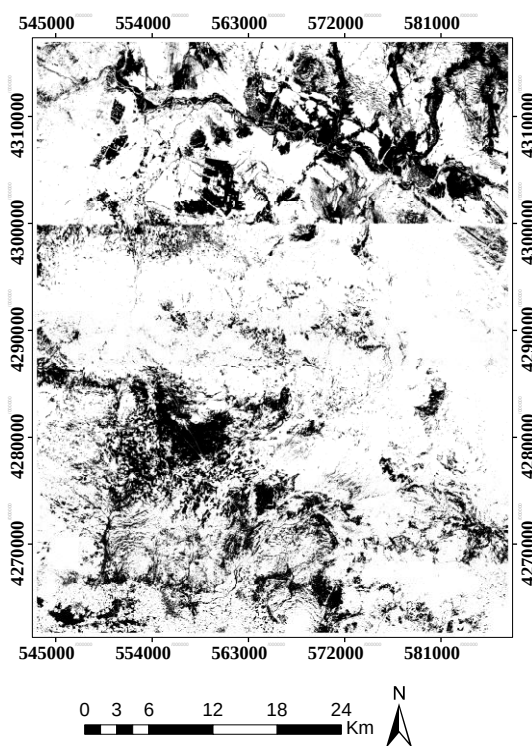
در تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ از باند ۷ و سنتینل-۲ از باند ۱۲ به عنوان باند مدل، جهت شناسایی کانی‌های رسی استفاده شده است. با استفاده از روش کمترین مربعات رگرسیون شده (کانی کائولینیت، مونتموریلونیت و سریسیت) که نشان‌دهنده دگرسانی آرژلیک و فیلیک است، به صورت نواحی تیره در لندست-۸ (شکل ۴-۸ A) و در سنجنده سنتینل-۲ (شکل ۴-۸ B) مشخص شده است. همچنین ترکیب رنگی کاذب Ls-Fit نسبت به باند ۷ (تصویر منفی شده باقی مانده) در ماهواره لندست-۸ و نسبت به باند ۱۲

(تصویر منفی شده باقی مانده) در سنجنده سنتینل-۲ و باند ۳ و ۴ در هر دو ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ برای تشخیص نقاط مشترک کانی‌های رسی (کانی کائولینیت، مونتموریلونیت و سربسیت) و اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) و پوشش گیاهی استفاده شده است. رنگ بنفش نشان‌دهنده بازتاب بالا در باند ۳ و جذب بالا در باند ۷ در ماهواره لندست-۸ است (شکل ۴-۸-۴). و جذب بالا در باند ۱۲ در سنتینل-۲ است (شکل ۴-۸-۴). و مشخص کننده پیکسل‌های مشترک دارای کانی‌های رسی (کانی کائولینیت، مونتموریلونیت و سربسیت) و اکسید آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) است. پیکسل قرمز مشخص کننده کانی‌های ایلیت، سربسیت و کائولینیت و پیکسل زرد و نارنجی نشان‌دهنده مجموع کانی‌های ایلیت، سربسیت، کائولینیت و اکسید آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) می‌باشد. (شکل ۴-۸-۴) و (شکل ۴-۸-۴)

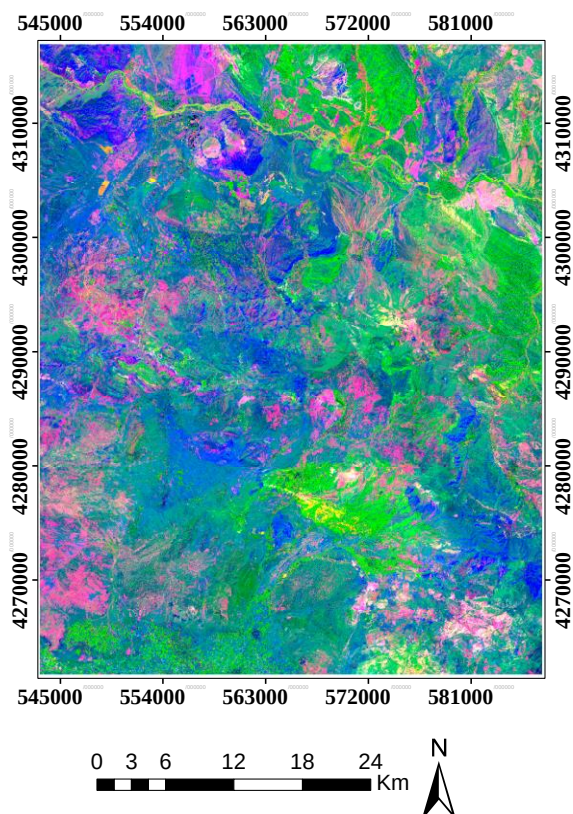
A



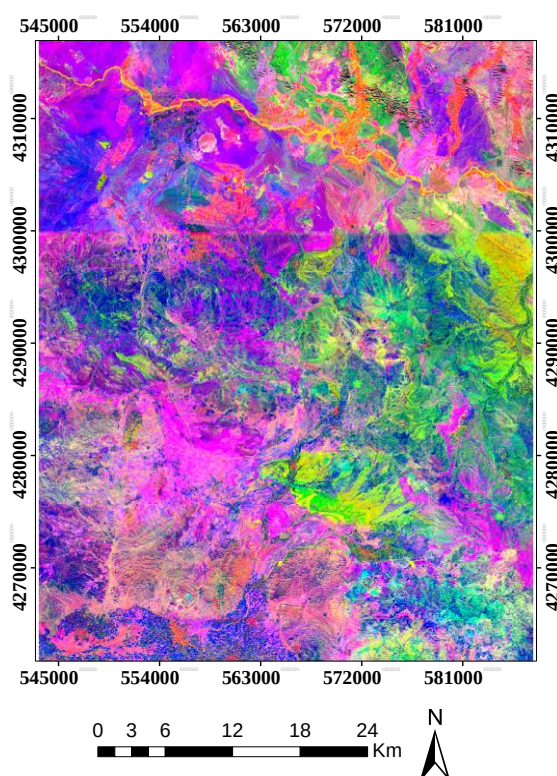
B



C



D



شکل ۴-۸: روش Ls-Fit در تصاویر ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ در محدوده مطالعاتی جلفا، A: در ماهواره لندست-۸ و B: در سنجنده سنتینل-۲ پیکسل‌های تیره رنگ نشان‌دهنده کانی‌های رسی موجود در دگرسانی‌های فیلک و آرژلیک است، C: ترکیب‌رنگی کاذب در ماهواره لندست-۸ و D: در سنجنده سنتینل-۲ که رنگ‌های زرد و نارنجی نشان‌دهنده کانی‌های ایلیت، سرسیت، کائولینیت و اکسید آهن است،

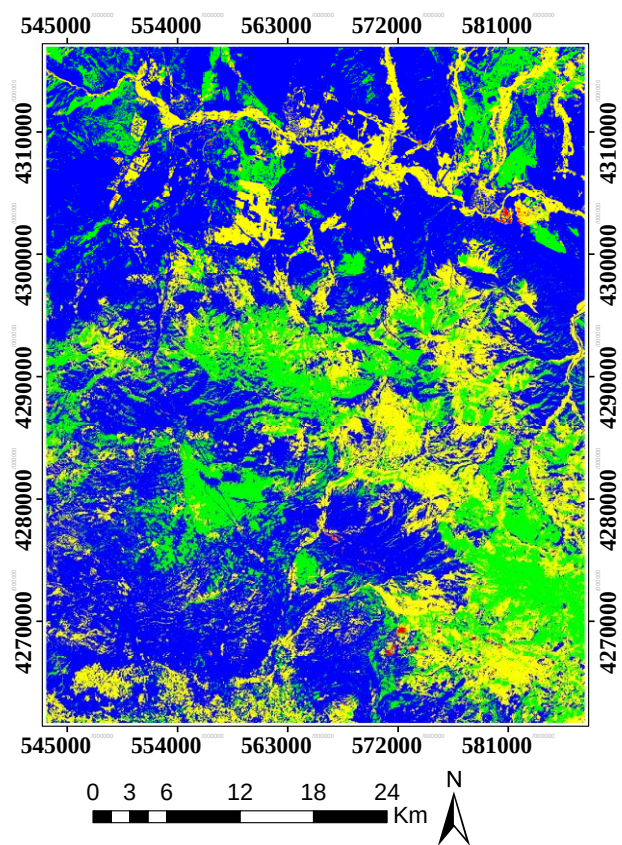
۴-۶-۴ طبقه‌بندی تصاویر و تلفیق نتایج در محدوده مورد مطالعاتی جلفا

در محدوده مطالعاتی جلفا با استفاده از همان داده‌های آموزشی و آزمایشی اعمال‌شده بر روی محدوده مسجداغی و با استناد بر نقشه مرجع در شکل ۴-۲ و برداشت‌های صحرایی انجام‌شده در شکل ۵-۲ و ۶-۲ که وجود دگرسانی‌های موردنیاز را تایید کرده‌است و با استفاده از روش‌های تاییدشده (نسبت‌بندی، ترکیب‌رنگی کاذب و مربعات رگرسیون‌شده) مبنی بر حضور دگرسانی‌های مدنظر در تحقیق سه طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه‌های عصبی، بیشترین شباهت و ماشین‌بردار پشتیبان با ROIهای یکسان توسط نرم‌افزار ENVI نسخه ۵/۳ بر روی تصاویر اعمال‌گردید، و دگرسانی‌های موردنیاز از محدوده موردنظر به دست آمده‌است. سپس همانند محدوده مسجداغی در ادامه خروجی‌های مناسب برای هر دو سنجنده Landsat-8 و Sentinel-2 با رویکرد ادغام تصمیم‌گیری و با استفاده از الگوریتم رای‌گیری حداکثری و در

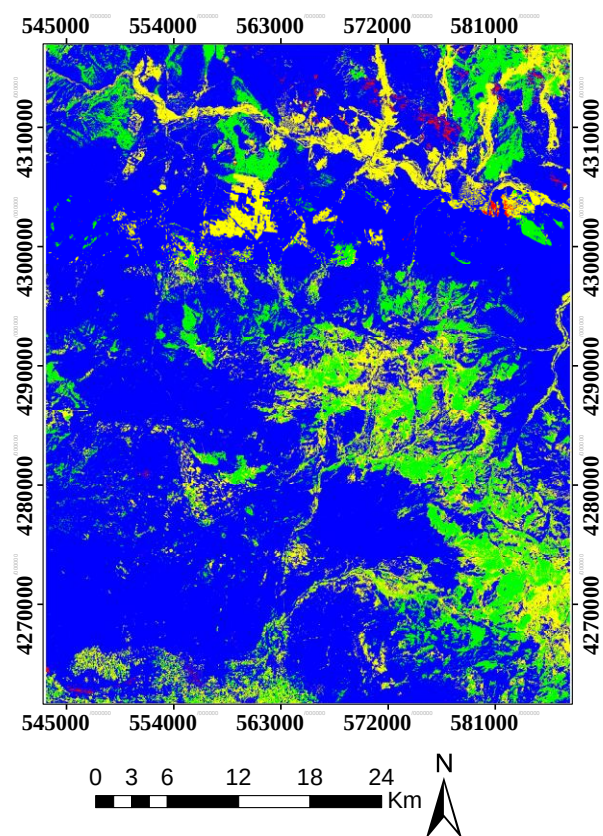
محیط نرم افزار OTB با یکدیگر تلفیق شدند، و خروجی نهایی با دقتی بالاتر نسبت به نتایج به دست آمده توسط دیگر طبقه‌بندی‌ها در محدوده مطالعاتی جلغا حاصل شده است. همانند محدوده مسجداغی، محدوده مطالعاتی جلغا نیز از چهار قسمت دگرسانی فلیک، دگرسانی آرژلیک، دگرسانی پروپیلیتیک و مناطق دگرسان‌نشده تشکیل شده است. ROIهایی به صورت نقاط آموزشی و آزمایشی بر روی دیگر روش‌های ذکر شده (نسبت‌بندی، ترکیب‌رنگی کاذب و مربعات رگرسیون شده) اعمال شده است. و سپس با استفاده از طبقه‌بندی‌های انجام شده دگرسانی‌های مورد نیاز به دست آمده است. در ادامه با استفاده از روش شبکه‌های عصبی در ماهواره لندست-۸ دگرسانی‌های فلیک (کانی سریسیت) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد، دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی در محدوده جلغا مشخص شده است (شکل ۴-۹-A). هم‌چنین با استفاده از روش شبکه‌های عصبی در سنجنده سنتینل-۲ دگرسانی فلیک (کانی سریسیت) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد، دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی به رنگ سبز مشخص شده است (شکل ۴-۹-B). با استفاده از روش بیشترین شباهت در ماهواره لندست-۸ دگرسانی فلیک (کانی سریسیت) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد، دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی در محدوده جلغا مشخص شده است (شکل ۴-۹-C). هم‌چنین با استفاده از روش بیشترین شباهت در سنجنده سنتینل-۲ دگرسانی فلیک (کانی سریسیت) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد، دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی به رنگ سبز مشخص شده است (شکل ۴-۹-D). با استفاده از روش ماشین‌بردار پشتیبان در ماهواره لندست-۸ دگرسانی فلیک (کانی سریسیت) به رنگ قرمز، دگرسانی آرژلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد، دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی به رنگ سبز در محدوده جلغا مشخص شده است (شکل ۴-۹-E). هم‌چنین با استفاده از روش ماشین‌بردار پشتیبان در سنجنده سنتینل-۲ دگرسانی فلیک (کانی سریسیت) به رنگ

قرمز، دگرسانی آرژلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ زرد، دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) و مناطق غیر دگرسان به رنگ آبی به رنگ سبز مشخص شده است (شکل ۴-۹-F). در ادامه با تلفیق تصاویر خروجی از سه طبقه بندی استفاده شده در تحقیق به روش الگوریتم رای گیری حداکثری (MV) در ماهواره لندست-۸ دگرسانی فلیک (کانی سریسیت) به رنگ سفید، دگرسانی آرژلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ آبی کم رنگ، دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ صورتی و مناطق غیر دگرسان به رنگ بنفش کم رنگ مشخص شده است (۴-۹-G). هم چنین با استفاده از روش الگوریتم رای گیری حداکثری (MV) در سنجنده سنتینل-۲ دگرسانی فلیک (کانی سریسیت) به رنگ سفید، دگرسانی آرژلیک (کانی کائولینیت و مونتموریلونیت) به رنگ آبی کم رنگ، دگرسانی پروپیلیتیک (کانی کلریت و اپیدوت) به رنگ صورتی و مناطق غیر دگرسان به رنگ بنفش کم رنگ مشخص شده است (۴-۹-S).

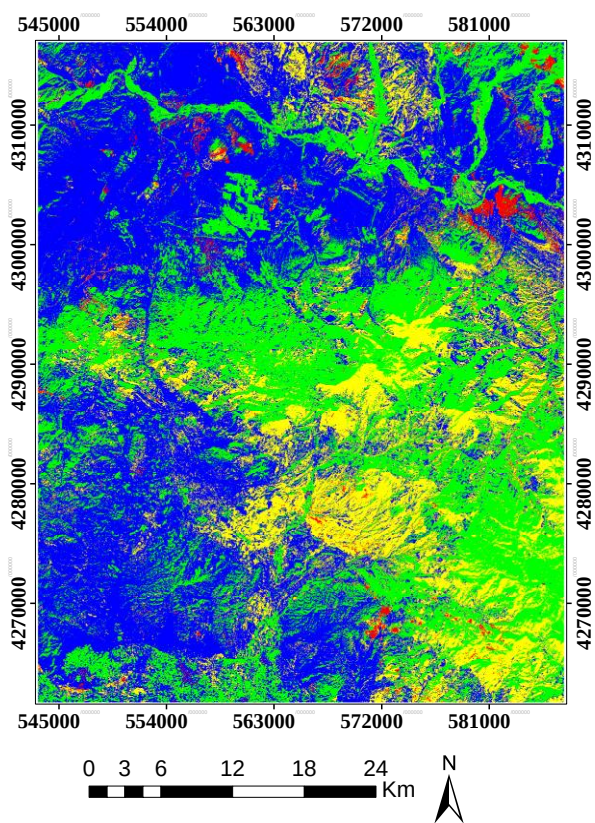
A



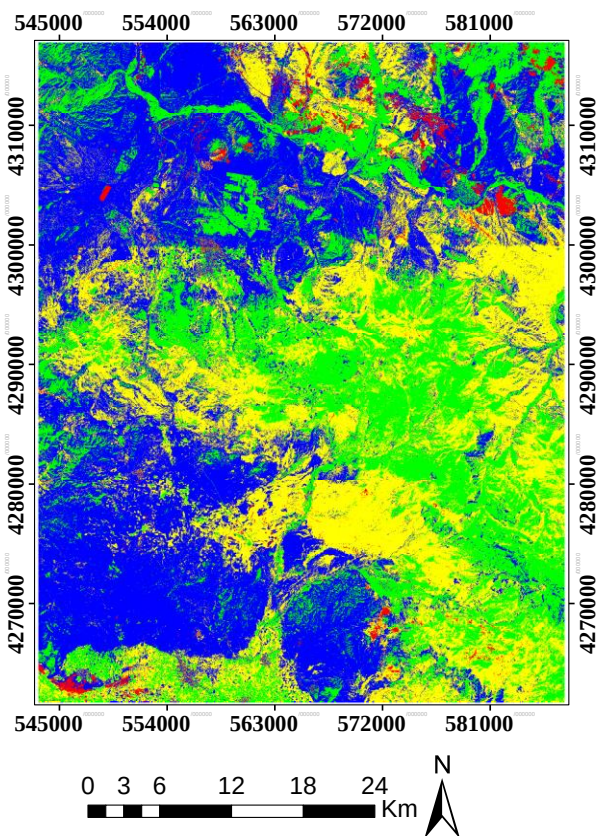
B



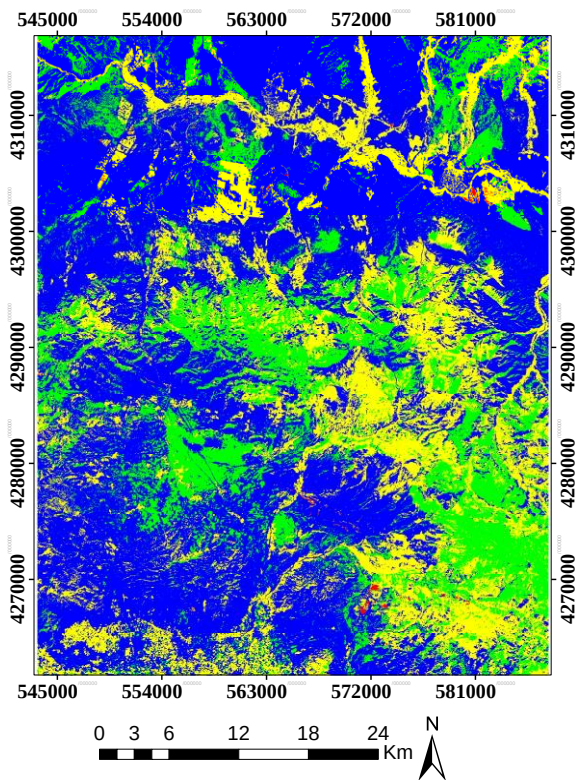
C



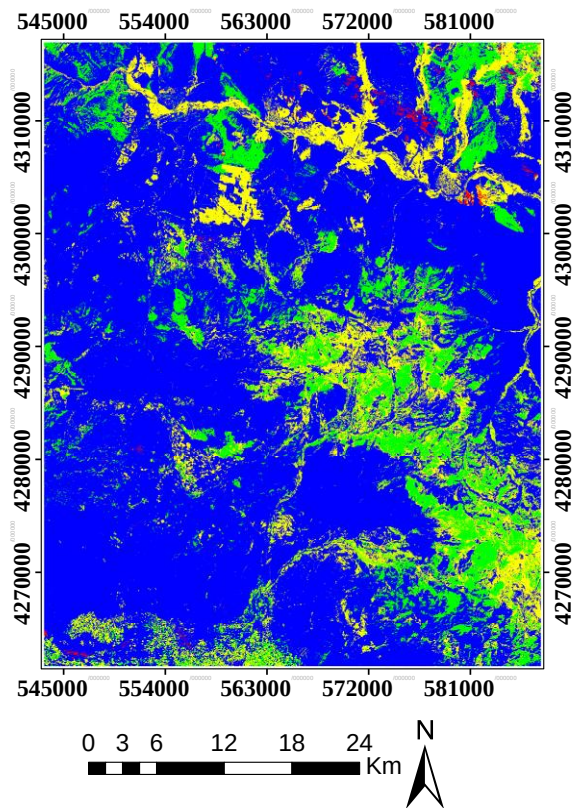
D



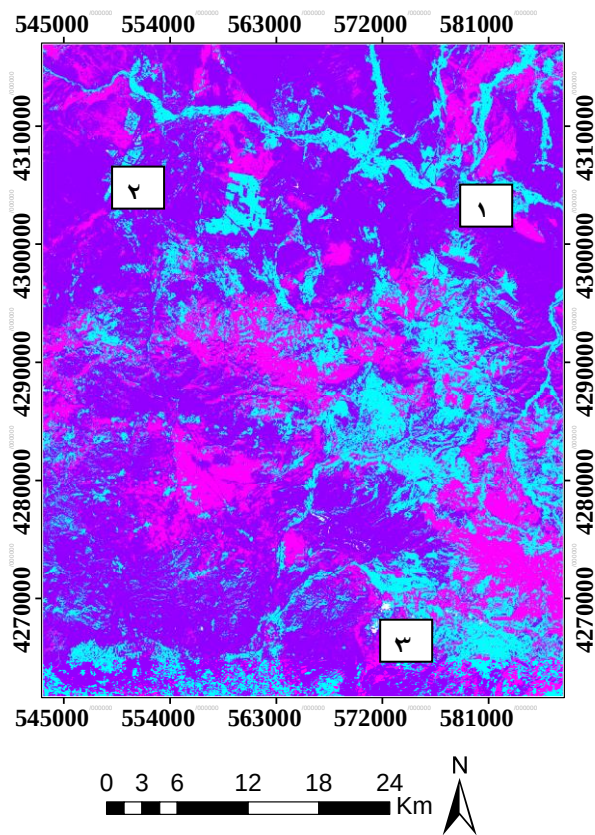
E



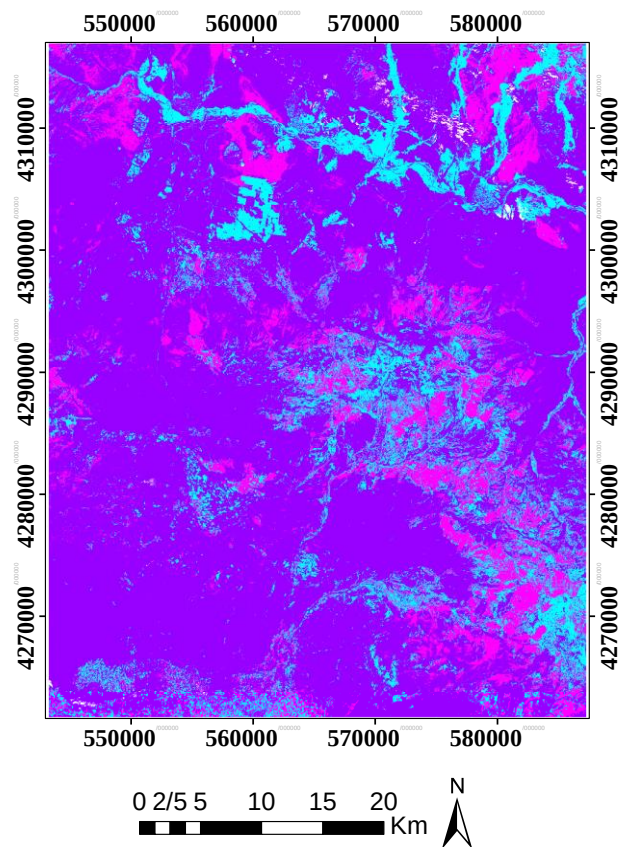
F



G



S



ΥΥ

شکل ۴-۹: سه طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه‌عصبی، بیشترین شباهت، ماشین‌بردار پشتیبان و تلفیق نتایج طبقه‌بندی‌ها توسط روش رای‌گیری حداکثری در تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ در محدوده مطالعاتی جلفا؛ روش شبکه‌های عصبی ، A: در ماهواره لندست-۸ و B: در سنجنده سنتینل-۲ رنگ قرمز نشان‌دهنده دگرسانی فیلک (سریسیت)، رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی آرژیلیک (کائولینیت، مونتموریلونیت)، رنگ سبز نشان‌دهنده دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت، اپیدوت) و رنگ آبی نشان‌دهنده مناطق غیر دگرسان می‌باشد. روش بیشترین شباهت ، C: در ماهواره لندست-۸ و D: در سنجنده سنتینل-۲ رنگ قرمز نشان‌دهنده دگرسانی فیلک (سریسیت)، رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی آرژیلیک (کائولینیت، مونتموریلونیت)، رنگ سبز نشان‌دهنده دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت، اپیدوت) و رنگ آبی نشان‌دهنده مناطق غیر دگرسان می‌باشد. روش ماشین‌بردار پشتیبان، E: در ماهواره لندست-۸ و F: در سنجنده سنتینل-۲ رنگ قرمز نشان‌دهنده دگرسانی فیلک (سریسیت)، رنگ زرد نشان‌دهنده دگرسانی آرژیلیک (کائولینیت، مونتموریلونیت)، رنگ سبز نشان‌دهنده دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت، اپیدوت) و رنگ آبی نشان‌دهنده مناطق غیر دگرسان می‌باشد. روش رای‌گیری حداکثری ، G: در ماهواره لندست-۸ و S: در سنجنده سنتینل-۲ رنگ صورتی نشان‌دهنده دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت، اپیدوت)، رنگ آبی کم‌رنگ نشان‌دهنده دگرسانی آرژیلیک (کائولینیت، مونتموریلونیت)، رنگ سفید نشان‌دهنده دگرسانی فیلک (سریسیت) شماره ۱، ۲ و ۳ مشخص‌شده در تصویر و مناطق غیر دگرسان به رنگ بنفش کم‌رنگ می‌باشد.

۴-۷ نتایج صحت‌سنجی طبقه‌بندی و تلفیق تصاویر

همان‌طور که در فصل گذشته توضیح داده‌شده است برای اطمینان از نتایج حاصل از طبقه‌بندی‌ها و همین‌طور تلفیق تصاویر از روش صحت‌سنجی استفاده می‌شود، در این بخش به توضیح نتایج حاصل از صحت‌سنجی پرداخته می‌شود:

در جدول ۴-۳ و جدول ۴-۴ صحت‌سنجی خروجی‌های تصاویر لندست-۸ و سنتینل-۲ با استفاده از پارامترهای دقت کلی، ضریب کاپا، برروی دو محدوده مطالعاتی مسجدداغی و جلفا نشان‌داده شده است.

با مقایسه نتایج به دست‌آمده از جدول ۴-۳ این نتیجه حاصل می‌شود که در ماهواره لندست-۸ سه طبقه‌بندی نظارت‌شده ANN، ML و SVM در محدوده مسجدداغی به ترتیب از دقت ۷۷٫۷۱٪، ۷۰٫۴۸٪ و ۷۹٫۲۳٪ برخوردار است، و در سنجنده سنتینل-۲ نیز سه طبقه‌بندی نظارت‌شده ANN، ML و SVM در

محدوده مسجداً به ترتیب از دقت ۷۸٫۶۹٪، ۵۹٫۱۶٪ و ۷۹٫۵۷٪ برخوردار است. نتایج به دست آمده نشان از برتری سنجنده سنتینل-۲ نسبت به لندست-۸ در بارزسازی دگرسانی‌های موجود در محدوده مطالعاتی مسجداً دارد. هم‌چنین با مقایسه ضرایب کاپا به دست آمده از لندست-۸ و سنتینل-۲ بر این برتری سنتینل-۲ تاکید دارد. نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد این است؛ که در بین طبقه‌بندی‌های اعمال شده بر روی تصاویر طبقه‌بندی SVM در هر دو ماهواره از دقت بالاتری برخوردار است؛ که این نکته نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) است. اما به این نکته باید توجه داشت که طبقه‌بندی ML در لندست-۸ نسبت به سنتینل-۲ دارای عملکرد بهتری است، که نتایج ضریب کاپا نیز این موضوع را تایید خواهد کرد. نتایج خروجی دقت کلی (OA) برای روش رای‌گیری حداکثری (MV) نسبت به روش الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان (SVM)، در ماهواره لندست-۸ حدود ۳٫۷۵٪ افزایش یافته است. رای‌گیری حداکثری با دقت کلی ۸۲٫۳۸٪ و ضریب کاپا ۰٫۶۸۶۹ برای ماهواره لندست-۸ نشان‌دهنده این است؛ که تلفیق داده‌های خروجی طبقه‌بندی‌ها به روش رای‌گیری حداکثری (MV) موجب بهبود در شناسایی دگرسانی‌ها است. هم‌چنین برای ماهواره سنتینل-۲ رویکرد رای‌گیری حداکثری با دقت کلی ۸۴٫۰۷٪ و ضریب کاپا ۰٫۷۰۷۰، نسبت به روش ماشین‌بردار پشتیبان، حدوداً ۴٫۵٪ افزایش داشته است. به همین صورت با مقایسه با نتایج به دست آمده از جدول ۴-۴ در محدوده مطالعاتی جلفا این نتیجه حاصل می‌شود؛ که با مقایسه سه طبقه‌بندی نظارت‌شده ANN، ML و SVM در ماهواره لندست-۸، به ترتیب از دقت ۷۹٫۲۸٪، ۶۶٫۹۸٪ و ۷۹٫۷۱٪ برخوردار است و در سنجنده سنتینل-۲ نیز سه طبقه‌بندی نظارت‌شده ANN، ML و SVM در محدوده مطالعاتی جلفا به ترتیب از دقت ۷۹٫۲۹٪، ۶۰٫۷۰٪ و ۸۲٫۵۷٪ برخوردار است. نتایج به دست آمده نشان از برتری سنجنده سنتینل-۲ نسبت به لندست-۸ در بارزسازی دگرسانی‌های موجود در محدوده مطالعاتی جلفا دارد. هم‌چنین با مقایسه ضرایب کاپا به دست آمده از لندست-۸ و سنتینل-۲ بر برتری سنتینل-۲ تاکید دارد. نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد این است؛ که در بین طبقه‌بندی‌های اعمال شده بر روی تصاویر طبقه‌بندی SVM در هر دو ماهواره از دقت بالاتری برخوردار است؛ که این نکته نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) است. اما به این نکته باید توجه داشت؛ که

طبقه‌بندی ML در لندست-۸ نسبت به سنتینل-۲ دارای عملکرد بهتری است، که نتایج ضریب کاپا نیز این موضوع را تایید خواهد کرد. نتایج خروجی دقت کلی (OA) برای روش رای‌گیری حداکثری (MV) نسبت به روش الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان (SVM)، در ماهواره لندست-۸ حدود ۳,۱۵٪ افزایش یافته است. رای‌گیری حداکثری با دقت کلی ۸۲,۸۱٪ و ضریب کاپا ۰,۶۹۷۱ برای ماهواره لندست-۸ نشان‌دهنده این است؛ که تلفیق داده‌های خروجی طبقه‌بندی‌ها به روش MV موجب بهبود در شناسایی‌های دگرسانی‌ها است. هم‌چنین برای ماهواره سنتینل-۲ رویکرد رای‌گیری حداکثری با دقت کلی ۸۶,۸۲٪ و ضریب کاپا ۰,۷۱۷۸، نسبت به روش ماشین‌بردار پشتیبان، حدوداً ۴,۲۵٪ افزایش داشته است.

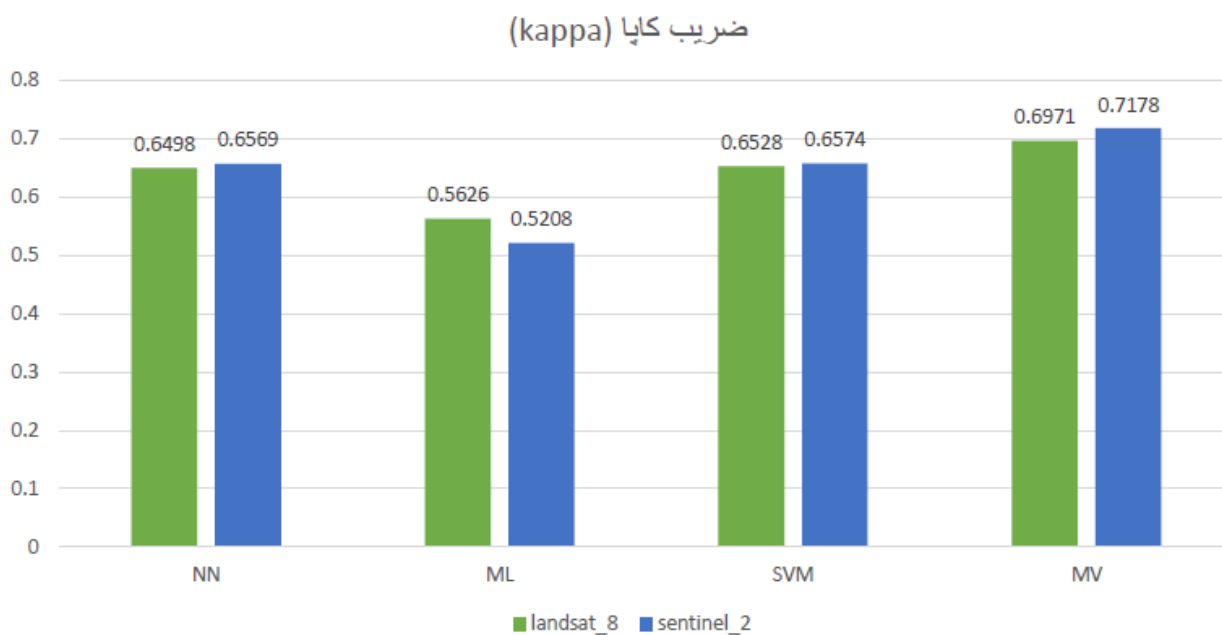
جدول ۴-۱: مقایسه نتایج دقت کلی (OA) و ضریب کاپا (K) سه طبقه‌بندی ML، ANN، SVM و ادغام‌گر MV در محدوده مطالعاتی مسجدها با استفاده از ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲

طبقه بندی کننده	NN		ML		SVM		MV	
لندست-۸	OA	٪۷۷,۷۱	OA	٪۷۰,۴۸	OA	٪۷۹,۲۳	OA	٪۸۲,۳۸
	K	۰,۶۳۲۸	K	۰,۵۴۹۳	K	۰,۶۵۶۹	K	۰,۶۸۶۹
سنتینل-۲	OA	٪۷۸,۶۹	OA	٪۵۹,۱۶	OA	٪۷۹,۵۷	OA	٪۸۴,۰۷
	K	۰,۶۴۷۴	k	۰,۴۱۲۷	K	۰,۶۵۷۰	K	۰,۷۰۷۰

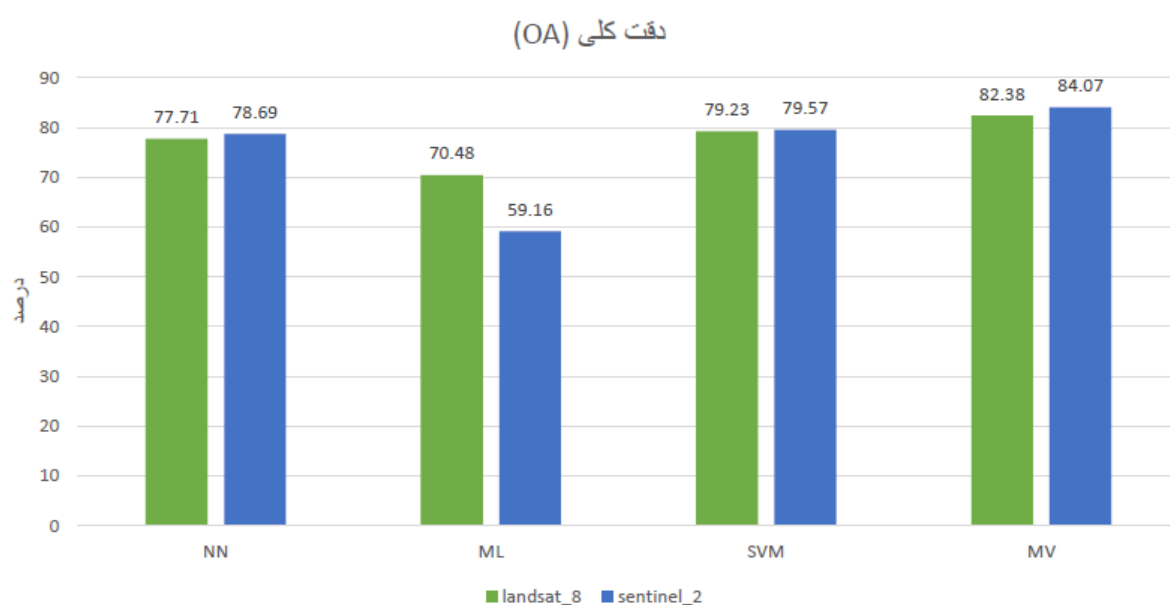
جدول ۴-۲: مقایسه نتایج دقت کلی (OA) و ضریب کاپا (K) سه طبقه‌بندی ML، ANN، SVM و ادغام‌گر MV در محدوده مطالعاتی جلفا با استفاده از ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲

طبقه بندی کننده	NN		ML		SVM		MV	
لندست-۸	OA	٪۷۹,۲۸	OA	٪۶۶,۹۸	OA	٪۷۹,۷۱	OA	٪۸۲,۸۱
	K	۰,۶۴۹۸	K	۰,۵۶۲۶	K	۰,۶۵۲۸	K	۰,۶۹۷۱
سنتینل-۲	OA	٪۷۹,۲۹	OA	٪۶۰,۷۰	OA	٪۸۲,۵۷	OA	٪۸۶,۸۲
	K	۰,۶۵۶۹	K	۰,۵۲۰۸	K	۰,۶۵۷۴	K	۰,۷۱۷۸

A

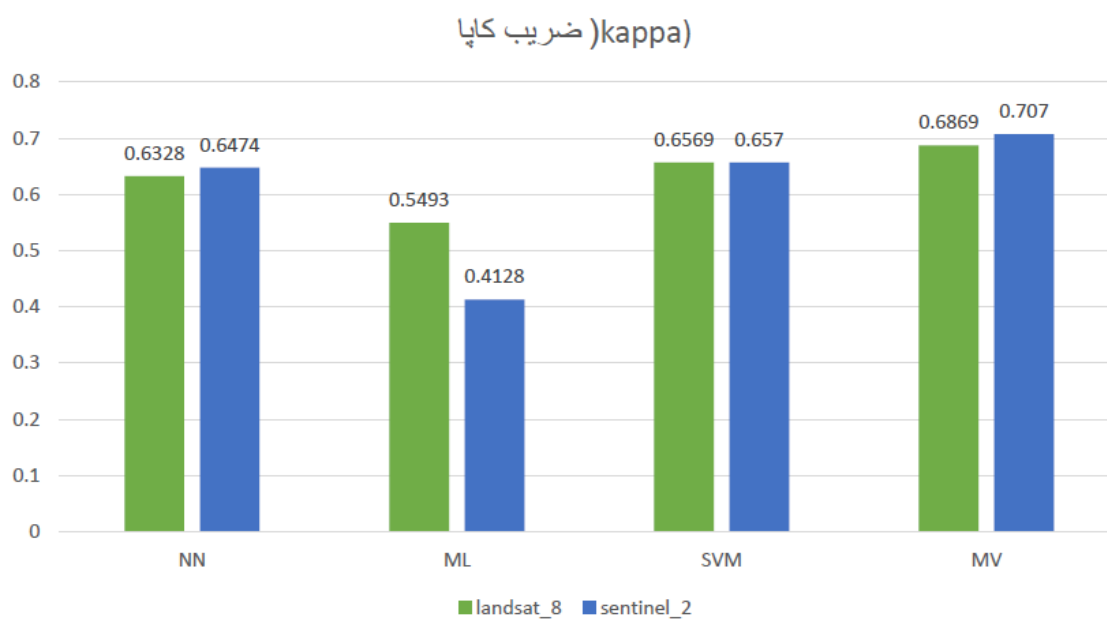


B

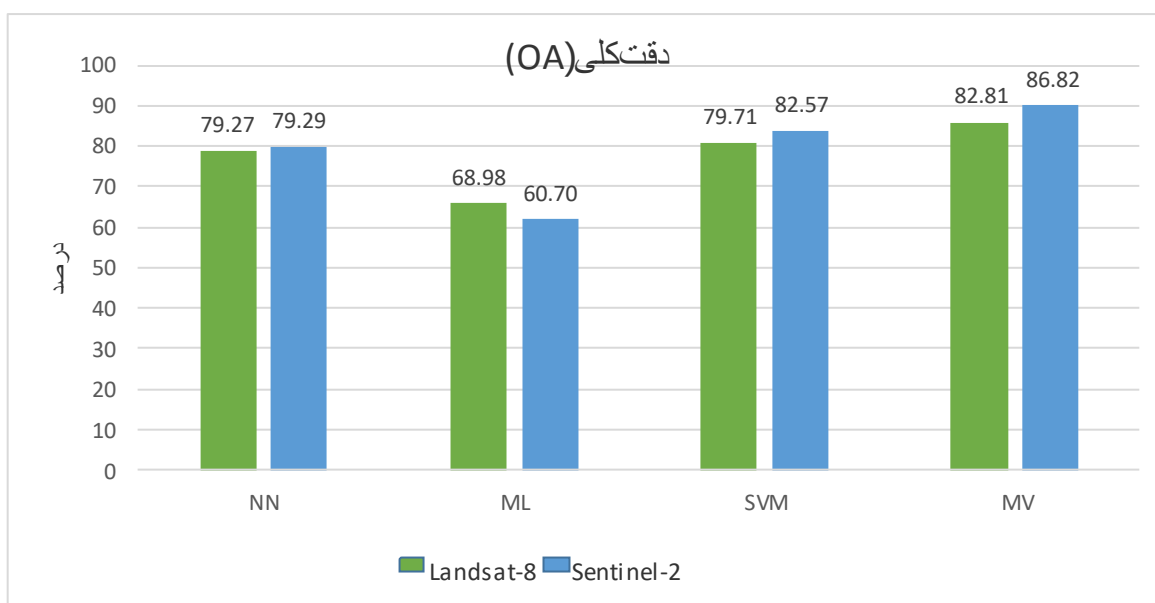


شکل ۴-۱۰: نمودار نتایج حاصل از ادغام و طبقه‌بندی‌ها در محدوده مطالعاتی مسجدداغی، (A): ضریب کاپا ، (B): دقت کلی

A



B



شکل ۴-۱۱: نمودار نتایج حاصل از ادغام و طبقه‌بندی‌ها در محدوده مطالعاتی جلفا، (A): ضریب کاپا، (B): دقت کلی

با توجه به جدول ۳-۴ و شکل ۴-۱۰ در محدوده مسجداغی مشاهده می‌شود که از بین طبقه‌بندی‌های اعمال شده بر روی تصاویر طبقه‌بندی دارای دقت کلی و ضریب‌کاپا بالاتری نسبت به دیگر طبقه‌بندی‌ها است. هم‌چنین با ادغام طبقه‌بندی‌ها با روش رای‌گیری حداکثری مشخص شده‌است؛ که این روش نسبت به طبقه‌بندی دارای دقت و ضریب‌کاپا بیشتری است. به طور کلی با مقایسه روش‌های اعمال شده بر روی داده‌های سنجنده سنتینل-۲ و لندست-۸ نشان داده‌خواهد شد که سنجنده سنتینل-۲ دارای قدرت و دقت بالاتری است. به همین صورت با توجه به جدول ۴-۴ و شکل ۴-۱۱ در محدوده مطالعاتی جلفا نیز این نتیجه مورد قبول و تایید قرار گرفته‌است.

نتایج این مطالعات نشان می‌دهد، روش نسبت‌بندی در ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ و کمترین مربعات رگرسیون شده در سنجنده سنتینل-۲ و ماهواره لندست-۸ در بارزسازی نواحی دارای اکسید آهن و مناطق دگرسانی آرژلیک و فلیک به خوبی عمل کرده‌است. روش‌های به کار گرفته شده در سنجنده سنتینل-۲ و لندست-۸ نظیر نسبت‌بندی، ترکیب‌رنگی کاذب و کمترین مربعات رگرسیون شده در بارزسازی دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌سازی پورفیری نظیر آرژلیک، فلیک و پروپیلیتیک مطابقت خوبی با نقشه زمین‌شناسی نشان می‌دهند؛ هم‌چنین پس از بررسی و مقایسه دقت سه طبقه‌بندی‌کننده این نتایج حاصل شده‌است؛ که ماشین‌بردار پشتیبان نسبت به دو طبقه‌بندی دیگر دارای دقت بسیار مناسبی است و هم‌چنین با استفاده از تلفیق طبقه‌بندی‌ها با روش رای‌گیری حداکثری این نتیجه حاصل شده‌است؛ که سنجنده سنتینل-۲ نسبت به ماهواره لندست-۸ دارای دقت بیشتر و مناسب‌تری برای تحقیق و موضوع مورد مطالعه بر روی محدوده مورد نظر است.

فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

شناسایی دگرسانی‌های موجود در محدوده با استفاده از رویکرد سنجش از دور علاوه بر دسترسی آسان، کم هزینه بودن و استفاده راحت‌تر انجام گرفت. به کارگیری روش‌های پیشنهادی در این تحقیق و ادغام طبقه‌بندی‌ها و استفاده از روش پر کاربرد حداکثر رای‌گیری که دقت بسیار بالایی برای شناسایی محدوده مورد مطالعاتی داشته‌است، اطلاعات ارزشمند و سودمندی در اختیار قرار داده است.

در این فصل با توجه به مطالب ارائه شده در فصل‌های قبل، به بررسی نتایج به دست‌آمده پرداخته خواهد شد، هم‌چنین پیشنهاداتی جهت ادامه تحقیق در آینده ارائه شده‌است.

۵-۲ نتیجه‌گیری

این مطالعه یکی از روش‌های کارآمد در شناسایی دگرسانی‌ها و شناخت کانی‌های موجود در محدوده مطالعاتی است؛ که با استفاده از تکنیک تلفیق و ادغام تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است.

نتایج حاصل از مطالعات سنجش از دور در این پژوهش شامل موارد زیر است:

۱: در این تحقیق از روش‌های ترکیب‌بندی، نسبت‌بندی، کمترین مربعات رگرسیون‌شده بر روی داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ استفاده شده‌است؛ با توجه به تصاویر خروجی و انطباق آن با محدوده زمین‌شناسی سنجنده سنتینل-۲ نسبت به ماهواره لندست-۸ دارای دقت بهتر و بالاتری است.

۲: در این تحقیق از سه طبقه‌بندی (شبکه عصبی، بیشترین شباهت و ماشین‌بردارپشتیبان) با استفاده از سنجنده سنتینل-۲ و ماهواره لندست-۸ استفاده شده‌است. نتایج حاصل از طبقه‌بندی نشان می‌دهد؛ طبقه‌بندی ماشین‌بردارپشتیبان در ماهواره لندست-۸ و سنجنده سنتینل-۲ در محدوده مطالعاتی مسجدداغی و هم‌چنین محدوده جلفا از دقت و ضریب کاپا بالاتری برخوردار است و سنجنده سنتینل-۲ نسبت به ماهواره لندست-۸ دارای دقت و صحت بالاتری است.

۳: نتایج استفاده از تکنیک ادغام و تلفیق داده‌های سنجش از دور با استفاده از روش رای‌گیری حداکثری، بر روی داده‌های سنتینل-۲ و لندست-۸ نشان می‌دهد، خروجی دقت کلی برای روش رای‌گیری حداکثری نسبت به روش الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان، در ماهواره لندست-۸ حدود ۳,۷۵٪ افزایش یافته‌است، که نشان می‌دهد تلفیق داده‌های خروجی طبقه‌بندی‌ها به روش رای‌گیری حداکثری موجب بهبود در شناسایی‌های دگرسانی‌ها شده‌است. همچنین برای سنجنده سنتینل-۲ رویکرد رای‌گیری حداکثری با دقت کلی ۸۴,۰۷٪ و ضریب کاپا ۰,۷۰۷۰، نسبت به روش ماشین‌بردار پشتیبان حدودا ۴,۵٪ افزایش داشته‌است. همچنین در محدوده مطالعاتی جلفا، نتایج خروجی دقت کلی برای روش رای‌گیری حداکثری نسبت به روش الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان، در ماهواره لندست-۸ حدود ۳,۱۵٪ افزایش یافته‌است. رای‌گیری حداکثری با دقت کلی ۸۲,۸۱٪ و ضریب کاپا ۰,۶۹۷۱ برای ماهواره لندست-۸ نشان می‌دهد تلفیق داده‌های خروجی طبقه‌بندی‌ها به روش رای‌گیری حداکثری موجب بهبود در شناسایی‌های دگرسانی‌ها شده‌است. همچنین برای سنجنده سنتینل-۲ رویکرد رای‌گیری حداکثری با دقت کلی ۸۶,۸۲٪ و ضریب کاپا ۰,۷۱۷۸، نسبت به روش ماشین‌بردار پشتیبان، حدودا ۴,۲۵٪ افزایش داشته‌است.

۴: نتیجه کلی در این تحقیق نشان می‌دهد که ادغام دو سنجنده جهت مطالعات اکتشافی بسیار کارآمد و سودمند است، همچنین سنجنده سنتینل-۲ به دلیل قدرت طیفی و مکانی بهتر دارای دقت بسیار بالایی در طبقه‌بندی‌های ارائه شده و در روش رای‌گیری حداکثری نسبت به ماهواره لندست-۸ دارد.

۵: خروجی تصاویر برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا نواحی در جنوب و قسمت میانی ناحیه خصوصیات دگرسانی فیلک را نشان می‌دهد، ولی شواهد قوی که دلالت بر کانی‌سازی پورفیری داشته باشد وجود ندارد. نواحی مشخص شده در شکل ۴-۹ (G) در ماهواره لندست-۸ دلالت بر وجود کانی‌سازی دارد، با توجه به نقاط مشخص شده در شکل، شماره ۱ نشان‌دهنده وجود کانی‌سازی در مسجداغی، شماره ۲ مشخص‌کننده مرمریت اونیکس و شماره ۳ مشخص‌کننده کائولن زنوز می‌باشد.

۵-۳ پیشنهادات

در انتها پیشنهاداتی جهت شناسایی دگرسانی‌ها و کانه‌زایی مناسب در مطالعات آینده ارائه می‌شود:

۱: یادگیری بیشتر و کاربردی‌تر هوش مصنوعی برای شناخت و درک بهتر کارهای معدنی و استفاده در کارهای معدنی.

۲: تلفیق داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ بایکدیگر به منظور شناسایی دقیق تر نواحی معدنی.

۳: انجام عملیات صحرایی در نواحی از نقشه جلفا که شواهد توام دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک را نشان می‌دهد.

منابع

- ۱- ابراهیمی، س.، علیرضایی، س.، پن، ی.، محمدی، ب.، ۱۳۹۶، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ویژگی‌های سیال کانسنگ ساز سامانه رگه ای طلا دار مسجد داغی، شمال غرب ایران، زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۹، شماره ۲، صفحات ۵۶۱ تا ۵۶۸.
- ۲- اسدی هارونی، ه.، محمدی چم پیری، س.، یوسفی فرد، س.، طباطبائی، ح.، ضیائی، م.، ۱۳۸۸، شناسایی کانی‌های در رابطه با آلتراسیون‌های کانسار مس-طلا پورفیری دالی با استفاده از آنالیز طیفی داده‌های ماهواره‌ای استر، سومین کنفرانس مهندسی معدن ایران. انجمن مهندسی معدن ایران، دانشگاه یزد و شرکت سنگ آهن مرکزی ایران، یزد، ایران. <https://civilica.com/papers/1-3707/>
- ۳- اکبرپور، الف.، رسا، الف.، مهرپرتو، م.، ۱۳۸۵، بررسی کانی‌شناسی منطقه‌ای و حاشیه‌ای هاله‌های دگرسان‌شده اطراف رگه‌های کانه‌دار محدوده مسجدداغی جلفا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، تهران، ایران، شماره ۶۳،
- ۴- امامعلی پور، ع.، خاتمیان، الف.، اسکویی، ر.، عبدالهی شریف، چ.، ۱۳۹۰، الگوی زمین‌شناسی، دگرسانی و بی‌هنجاری مغناطیسی کانسار مس پورفیری مسجد داغی (شرق جلفا)، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲، جلد ۱، صفحه ۷۸-۸۹. https://aag.scu.ac.ir/?_action=article&au=25905&_au
- ۵- امامعلی پور، ع.، عبدلی اسلاملو، ح.، حاج علیلو، ب.، ۱۳۸۹، بررسی ژئوشیمی دگرسانی‌های گرمابی مرتبط با کانی‌سازی طلای اپی‌ترمالی در ناحیه مسجدداغی، شرق جلفا باختر ایران، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ۱۹۹-۲۱۵.
- ۶- بمانی، م.، انصاری، ع.، ۱۳۹۳، تعیین پتانسیل کانی‌سازی آهن در منطقه معدنی بافق-ساغند با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ETM +7، فصل‌نامه علمی پژوهشی تحلیلی زمین‌پویا، شماره ۳.

۷- پورکاسب، ه.، رنگزن، ک.، بیرانوند، س.، زراسوندی، ع.، رنجبر، ح.، ۱۳۹۷، مقایسه سه روش طبقه‌بندی

(MLC، SAM و SID) جهت تعیین بهترین نقشه سنگ‌شناسی و استفاده از طیف‌سنجی و روش MTMF

به‌منظور بارزسازی مناطق دگرسانی، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۳۰.

۸- جعفری، ف.، ۱۳۹۲، استخراج اتوماتیک راه از تصاویر با قدرت تفکیک بالا با استفاده از مدل منحنی پویا

و سیستم استنتاج فازی، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی- دانشکده

عمران.

۹- روستائی، ش.، مختاری، م.، ولیزاده کامران، خ.، خدائی قشلاق، ل.، ۱۳۹۷، مقایسه روش پیکسل پایه

(بیشترین شباهت) و شی‌گراء (ماشین‌بردارپشتیبان) در طبقه‌بندی کاربری اراضی (منطقه اهر-

ورزقان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۱، صفحه ۱۱۸-۱۲۹

۱۰- زمانی، ع.، هنرمند، م.، نوروزی، غ.، حسینجانی زاده، م.، ۱۳۹۷، بارزسازی اکسیدهای آهن مرتبط با

کانی‌زایی با استفاده از لندست ۸ در برگه یکصد هزار کودکان، دهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی

اقتصادی ایران، دانشگاه اصفهان. <https://civilica.com/doc/805071>.

۱۱- صالحی، ط.، هاشمی‌تنگستانی، م.، ۱۳۹۷، ارزیابی داده‌های سنجنده تصویربردار چندطیفی ماهواره‌ای

سنتینل-۲ در بارزسازی زون‌های دگرسان کانسارهای مس‌پورفیری، مطالعه موردی شمال‌شرقی اصفهان،

اولین همایش ملی انجمن سنجش از دور زمین‌شناختی ایران، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری

پیشرفته کرمان.

۱۲- عباس زاده، م.، ۱۳۹۷، کاربرد تصاویر ماهواره ای لندست در شناسایی نواحی مستعد کانی‌سازی در

نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آران، دهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه اصفهان.

۱۳- عباس‌زاده، م.، مجدالدین، م. ر.، ۱۳۹۴، شناسایی نواحی امیدبخش کانی‌زایی مس و آهن در بخش

جنوب‌شرقی کاشان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM+، دومین همایش ملی زمین‌شناسی و

منابع اکتشاف، سومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، انجمن مهندسی معدن ایران، دانشگاه یزد و شرکت سنگ آهن مرکزی ایران.

۱۴- علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۲، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.

۱۵- کریم پور گلی، ه.، سید مجرد ثمرین، م.، دانشور، ع.، سید مجرد ثمرین، م.، ۲۰۲۰، مطالعات دورسنجی در کانسار مس پورفیری مسجد داغی، آذربایجان شرقی، اولین همایش بین المللی زیست شناسی و علوم زمین.

۱۶- کریم پور، م.ح.، ملک زاده، الف.، حیدریان، م.، ۱۳۸۴، اکتشاف ذخایر معدنی (مدل های زمین شناسی، ژئوشیمی، ماهواره ای و ژئوفیزیکی)، انتشارات دانشگاه فردوسی، چاپ اول.

17- Abedi, M., Norouzi, G. H., and Bahroudi, A., 2012, Support vector machine for multi-classification of mineral prospectivity areas, *Computers & Geosciences*, 46: 272-283.

18- Acharya, T. D., Subedi, A., Huang, H., and Lee, D. H., 2018, Classification of Surface Water Using Machine Learning Methods from Landsat Data in Nepal, *Proceedings*, Vol. 4, no. 1, p. 43. doi: 10.3390/ecsa-5-05833.

19- Aldrich, C., and Auret, L., 2013, Tree-Based Methods, in *Unsupervised Process Monitoring and Fault Diagnosis with Machine Learning Methods*, Springer, pp. 183-220.

20- Arekhi, S., and Asibnejad, M., 2011, Evaluation of the efficiency of support vector machine algorithms for land use classification using Landsat + ETM satellite imagery (case study: Ilam Dam), Natural Resources Department, Agriculture Sciences Faculty, University of Ilam, *Scientific Journal of Research Pasture and Desert of Iran*, Volume 18, Number 3, Page 420-440.

21- Bin, Hu., Yongyang, Xu., Bo, Wan., Xincan, Wu., Guihua, Yi., 2018, Hydrothermally altered mineral mapping using synthetic application of Sentinel-2A MSI, ASTER and Hyperion data in the Duolong area, Tibetan Plateau, China, *Journal homepage: www.elsevier.com/locate/orege* ore geology Reviews 101, 384-397.

- 22- Beiranvand Pour, A., and Hashim, M., 2010, Identification of hydrothermal alteration minerals for exploring of porphyry copper deposit using ASTER data, SE Iran. Journal of ASIAN Earth Sciences, 42(6): 1309-1323.
- 23- Crosta, A. P., De Souza Filho, C. R., Azevedo, F., and Brodie, C., 2003, Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia.
- 24- Clark, R. N., 1999, Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy. <http://speclab.cr.usgs.gov>.
- 25- Esa Earth Online. (n.d.), Retrieved January 9, 2020, from <https://earth.esa.int/eogateway>.
- 26- European Space Agency, 2020, Sentinel Online-ESA. European Space Agency- Earth Online. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel>.
- 27- Gupta, F.F., 2003, Remote sensing for mineral exploration, Ore Geology Reviews, Vol. 14, PP. 157-183.
- 28- Gualtieri, J. A., and Cromp, R. F., 1999, Support Vector Machines for Hyper-spectral Remote Sensing Classification. Proc SPIE, 3584, 221-232.
- 29- Huang, G.B., Zhu, Q.Y., and Siew, C. K., 2006, Extreme learning machine: theory and applications, Neurocomputing, vol. 70, no. 1-3, pp. 489-501.
- 30- Huang, C., Davis, L. S., and Townshend, J. R. G., 2002, An assessment of support vector machines for land cover classification. International Journal of Remote Sensing, 23, 725-749.
- 31- Hsu, C. W., & Lin, C. J., 2002, A comparison of methods for multiclass support vector machines, IEEE Transactions on Neural Networks, 13(2), 415-425.
- 32- Joachims, T., 1999, Making large scale SVM learning practical. In Advances in Kernel Methods-Support Vector Learning, pp.169-184.
- 33- Khaleghi, M., Ranjbar, H., Abedini, A., Calagari, A.A., 2020, Synergetic use of the Sentinel-2, ASTER, Landsat-8 data for Hydrothermal alteration and iron oxide minerals mapping in a mine scale, Journal homepage: <https://www.irmsm.cas.cz/acta>, Acta Geodyn, Geomater, Vol. 17, No. 3 (199), 311-328. DOI: 10.13168/AGG.2020.0023.

- 34- Kuncheva, L. I., Whitaker C. J., Shipp C. A. and Duin, R. P. W., 2003, Limits on the majority vote accuracy in classifier fusion, *Pattern Analysis & Applications*. Springer 6(1):22-31.
- 35- Klemas, V., Remote sensing of floods and flood-prone areas: an overview, 2015, *Journal of Coastal Research*, Vol. 31, no. 4, pp. 1005-1013.
- 36- Lowell, J. D., Guilbert, J M., 1970. Lateral and vertical alteration–mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Econ. Geol.* 65, 373–408.
- 37- Lu, D., and Weng, Q., 2007, A survey of image classification method and techniques for improving classification performance, *International Journal of Remote Sensing* Vol.28, No. 5, 10 March 2007, 823-870.
- 38- Mani, V. R .S., 2020, A Survey of Multi Sensor Satellite Image Fusion Techniques. [Http://Www.Sciencepublishinggroup.Com](http://www.sciencepublishinggroup.com), 8(1), 1-10. <https://doi.org/10.11648/J.IJSSN.20200801.11>.
- 39- Moor, F., Rastmanesh, F., Asadi, H., Modabberi, S., 2006, .Mapping mineralogical alteration using principal component analysis and matched filter processing in the Takab area, north-west Iran, from ASTER data.; *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 10, 20 May 2008, 2851-2867.
- 40- Mohammadi, B., Aliakbari, H., Fard, M., and Samaee, A., 2005. Geology and drilling report of Masjed Daghi area (scale 1:1000). Geological Survey of Iran, Report, 340:130
- 41- N. E. W. Mandatory and I. Following, Active and Passive Sensors New Mandatory.
- 42- Pal, M., and Mather, P. M., 2004, Assessment of the effectiveness of support vector machines for hyperspectral data, *Future generation computer systems*, vol. 20, no. 7, pp. 1215-1225.
- 43- Rosich, B., 2004, Absolute calibration of ASTER level 1 Products generated with PF-ASTER, [ftp://ftp. Esrin. Esa. It/pub/ESA-DOC/ENVISAT/ASAR/ASAR-products- absolute-calibration-vl. 4. Pdf](ftp://ftp.esrin.esa.it/pub/ESA-DOC/ENVISAT/ASAR/ASAR-products-absolute-calibration-vl.4.pdf).
- 44- Rosich, B., Meadows, P., 2004, Absolute calibration of ASTER Level 1 products, ESA/ESRIN, ENVI-CLVI-EOPG-TN-03-0010, Issue 1, Revision 5.

- 45- Rouskov, K., Popov, K., Stoykov, S., & Yamaguchi, Y., 2005, Some applications of the remote sensing in geology by using of ASTER image. In: Scientific Conference "SPACE, ECOLOGY, SAFETY". PP. 167- 173
- 46- Rowan, L. C., Goetz, A. F. h., & Ashley, R. P., 1977, Discrimination of hydrothermally altered rocks and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images: Geophysics, v. 42, p. 522-535.
- 47- Romer, H., Willroth, P., Kaiser, G., Vafeidis, A T., Ludwig, R., Sterr, H., & Revilla Diez, J., 2012, Potential of remote sensing techniques for tsunami hazard and vulnerability analysis-a case study from phangnga province, Thailand. Natural Hazards and Earth System Science, 12(6), 2103-2126.
- 48- Richards, J. A., & Gia, X., 1999, Remote Sensing Digital Image Analysis, In Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, Berlim, Pages 193-196.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-03978-6>.
- 49- Seo, M., Aung Kyaw, T., & Takashima, I., 2005, Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from ASTER and Landsat images of Tanintharyi Coastal Area, Myanmar, Akita University, v. 26, pp: 21-28
- 50- Sabins, F F., 1999, Remote sensing for mineral exploration, Ore Geology Reviews 14: 157-183.
- 51- Strobl, R. O., and Forte, F., 2007, Artificial neural network exploration of the influential factors in drainage network derivation Hydrological processes, Vol. 21, no. 22, pp. 2965-2978, doi: 10.1002/hyp.6506.
- 52- Shi, T., and Horvath, S., 2006, Unsupervised learning with random forest predictors, Journal of Computational and Graphical Statistics, vol. 15, no. 1, pp. 118-138.
- 53- Samarasinghea, S, M. J. S., Nandalalb, H. K., Weliwitiyac, D. P., Fowzes, J. S. M., Hazarikad, M. K., Samarakoond, L., 2010, Application of remote sensing and GIS for flood risk analysis a case study at Kalu-Ganga river, Sri Lanka,International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 38(Pt 8), 110-115.
- 54- Sirvastav, S. K., Bhattaacharya, A., Kamaraju, M. V. V., Sreenivasa Reddy, G., Shrimal, A. K., Mehta, D. S., List, F. K. and Burger, H., 2000, Remote sensing and GIS for locating

favourable zones of lead-zinc-copper mineralization in Rajpura-Dariba area, Rajasthan, India, International Journal of Remote Sensing, VOL. 21, N. 17, P. 3253-3267.

55-Stocklin, J., 1968, Structural history and tectonics of Iran: A review. Am Assoc Petrol Geo Bulletin 52:1229-1258.

56- Tien Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O.B., 2012, Landslide susceptibility assessment in the Hoa Binh province of Vietnam: a comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks, Geomorphology 171:12-19.

57- Van der werff, h., and Van der Meer, F., 2016, Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI Provide Data continuity for Geological Remote sensing, Journal Remote Sensing, 8:1-16. <https://doi.org/10.3390/rs8110883>.

58- Vidal-Madjar, D., Application of dempster-shafer evidence theory to unsupervised classification in multisource remote sensing, 1997, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 35, no. 4, pp. 1018-1031, doi: 10.1109/36.602544.

59- Van der Linden, S., Rabe, A., Okujeni, A., & Hostert, P., 2009, Image SVM Classification Application Manual: image SVM version, 2.

60- Vapnik, V., 1998, Statistical learning theory, New York: John Wiley and Sons Inc, New York.

61- Wijaya, A., 2005, Application of multi-stage Classification to Detect Illegal Logging with the Use of multi-source Data, MSC. Thesis, TTC, Enscheda, The Netherlands.

62- Wang, Z., Ziou, D., Armenakis, C., Li, D., Li, Q., 2005, A Comparative Analysis of Image Fusion Methods, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing., 43 (6), PP: 1391-1402.

63- Whitney, D.L., and Evans, B.W., 2010, Abbreviations for names of roch-forming minerals, American Mineralogist, 95(2): 185-187.

64-Watts, D., 2001, Land cover flapping by combinations of Multiple Artificial Neural Networks, Msc, Thesis, Department of Geometrics Engineering University of Cal.

65-Zuo, R., and Carranza, E. M., 2011, Support vector machine: A tool for mapping mineral prospectivity, Computers & Geosciences, 37: 1967-1975.

66-Yu, L., Porwal, A., Holden, E J., and Dentith, M C., 2012, Towards automatic lithological classification from remote sensing data using support vector machines, *Computers & Geosciences*, 45: 229-239.

Abstract

Porphyry-epineural copper-gold mineralization Daghi Mosque is located in the east of Jolfa city and in East Azarbaijan province and is geologically located in Arasbaran metallurgical zone and Alborz-Azerbaijan magmatic zone. Mineralization host rocks include Eocene flysch and trachyandesite and Oligocene monozodiorite quartz intrusive mass. Important alterations in the region include potash, phyllite, medium and advanced argillic, political and propylitic, and gold mineralization is formed in the form of siliceous-barite veins in the upper part of the porphyry massif. Different methods such as false color combination, band ratio and least regression squares method have been used to detect alterations on Sentinel-2 and Landsat-8 satellite images. Also, three supervised neural network classifications, maximum similarity and support vector machine, and a combination of three classifications with the maximum voting approach were used. The results of these studies show that the band ratio method in Landsat-8 and Sentinel-2 sensors and the least regression squares in Sentinel-2 and Landsat-8 satellites in the reconstruction of iron oxide areas and areas of argillic, film and propylitic alterations It worked well. Comparison of classification methods shows; The backup vector machine has higher accuracy than other classifications. The combined results show that the maximum voting method is more accurate than the backup vector machine. According to the methods applied on the Landsat-8 satellite and the Sentinel-2 sensor, the Sentinel-2 sensor has been more accurate for reconstructing alterations in the study area and has shown a more appropriate adaptation to the geological evidence of the area.

keywords: Porphyry copper, Remote sensing, Support vector machine, Maximum similarity, Neural network, Maximum voting, Masjed Daghi, Julfa



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mineral Exploration

Investigation of alterations of porphyry gold- molybdenum- copper deposits using a combination of information obtained from Landsat-8 and Sentinel-2 images in order to explore porphyry deposits in sheet 1: 100000 Jolfa, northwest of Iran

By: Maryam Khani Alamouti

Supervisors:

Dr. Susan Ebrahimi

Dr. Behnaz Bigdeli

February 2021