



سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال شانزدهم / شماره دوم) تابستان ۱۴۰۴

نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیوپلیکا، گوگل اسکولار

آدرس وب سایت: <https://sanad.iau.ir/journal/girs>



شناسایی و تفکیک پوشش‌های زمین با استفاده از تلفیق تصاویر اپتیک و رادار

مقاله
پژوهشی

مصطفی کابلی‌زاده^{۱*}، سجاد زارعی^۱، رحمان خنافره^۲

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳ / پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۸ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱

روش اول بازتاب نرمال شده عوارض با توجه به ویژگی‌های استخراج شده و روش دوم اعمال شاخص ضریب بهینه (Optimum Index Factor) بر روی ویژگی‌های بافتی و طیفی استخراج شده می‌باشد. به این منظور فرآیند طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین بردار (Support Vector Machine)، بر روی تصویر راداری ستینل-۱ و تصویر چندطیفی ستینل-۲، ویژگی‌های بهینه انتخاب شده با دو روش و ترکیب باندهای تصویر با ویژگی‌های بهینه انتخاب شده با دو روش و در آخر با تلفیق بهترین ترکیب باندهای رادار و اپتیک انجام گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده، طبقه‌بندی با استفاده از ویژگی‌های طیفی دقت بالاتری نسبت به طبقه‌بندی با استفاده از ویژگی‌های بافت دارد. با تلفیق ویژگی‌های اپتیک و رادار و بدست آمدن مقادیر ۹۷/۰۷ درصد برای دقت کلی و ۹۶/۰ برای ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی تا حد زیادی بهبود داده شد. این تحقیق نشان داد که با انتخاب ویژگی‌های بهینه و تلفیق داده‌های طیفی و راداری می‌توان از ویژگی‌های متفاوت هر یک از داده‌ها استفاده کرد و به نتایج بهتری رسید. همچنین تلفیق ویژگی بافتی از تصویر راداری و ویژگی طیفی از تصویر اپتیکی می‌تواند تأثیر بسیار خوبی در بهبود نتایج طبقه‌بندی پوشش زمین داشته باشد.

چکیده

طبقه‌بندی و تفکیک پوشش زمین از مهم‌ترین کاربردهای سنجش از دور می‌باشد. برای انجام طبقه‌بندی، داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی ابزاری کارآمد می‌باشند، اما متأسفانه در برخی از شرایط، مانند آب و هوای ابری در دسترس نیستند. همچنین اکثر الگوریتم‌های طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور بر اساس ویژگی‌ها و اطلاعات طیفی پیکسل ها عمل می‌کنند که این مسئله باعث نادیده گرفتن اطلاعات مکانی مفید قابل استخراج از تصاویر، از جمله؛ بافت تصاویر می‌شود. استفاده همزمان از بافت و اطلاعات طیفی مبحثی است که به آن کمتر پرداخته شده است. بنابراین با در نظر گرفتن این ایده جهت انتخاب ویژگی‌های بهینه برای تهیه نقشه پوشش‌های زمین از دو روش استفاده شد.

مصطفی کابلی‌زاده^۱(✉)، سجاد زارعی^۱، رحمان خنافره^۲

۱. استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

DOI: 10.30495/girs.2023.1975829.2031

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: m.kabolizade@scu.ac.ir

Schmidt-Gram چهارم، با استفاده از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان ENVI ۴.۸ تهیه شد. در نهایت در مرحله پنجم، هر کدام از نقشه‌های پوشش تهیه شده با استفاده از شاخصهای دقت کلی، ضربی کاپا، دقت تولید کننده و دقت کاربر مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج و بحث: در تحقیق حاضر از دو روش ضربی شاخص بهینه و نمودار بازتاب نرمال عوارض به منظور انتخاب ویژگی‌های بهینه استفاده شده است. در روش اول (ضربی شاخص بهینه) با توجه به بالاترین مقدار ضربی شاخص بهینه ۳ ویژگی برای هریک از ویژگی‌های طیفی و بافت استفاده شد که این ویژگی‌ها عبارت‌اند از، زاویه تماس لحظه-VH و کتراست-Vh و زاویه تماس لحظه-VV. در بین شاخص‌های طیفی، ۳ شاخص که بیشترین مقدار شاخص ضربی بهینه را داشتند به عنوان ویژگی بهینه برای طبقه‌بندی انتخاب شدند. این شاخص‌ها عبارت‌اند از، BI2 و NDWI و NDVI. در روش دوم (نمودار بازتاب نرمال عوارض) ۵۰ نمونه برای هر کلاس انتخاب شد و میانگین بازتاب آن در ویژگی‌های مورد نظر برداشت شد سپس بعد از نرمال کردن مقادیر بازتاب، بصورت نمودار نشان داده شد. از میان ۱۶ آماره بافت استخراج شده از تصویر Sentinel-1 آماره واریانس در قطبش VH، آماره واریانس در قطبش VV، آماره میانگین در قطبش VV و آماره زاویه تماس لحظه‌ای در قطبش VV به دلیل مقدار همبستگی کمتر و در نتیجه توانایی تفکیک بیشتر عوارض برای انجام طبقه‌بندی انتخاب گردید. از میان ۱۴ شاخص طیفی استخراج شده از تصویر Sentinel-2 NDBI2 MNDWI و NDBI، BU، MNDWI و MNDWI2 بدلیل مشابهت زیاد در منحنی بازتاب طیفی، حذف شدند و طبقه‌بندی با ۱۰ شاخص دیگر انجام گرفت. در این پژوهش با تلفیق بهترین ترکیب باندهای راداری سنتینل-۱ و بهترین ترکیب باندهای تصویر چندطیفی سنتینل-۲ طبقه‌بندی انجام شد. بدین منظور با توجه به ارزیابی نتایج بدست آمده بهترین ترکیب باندهای مشخص شده و با استفاده از الگوریتم Gram-Schmidt ماشین بردار پشتیبان پیاده‌سازی گردید (شکل ۸). در این

پیشینه و هدف: امروزه داده‌های ماهواره‌ای در سنجش از دور به طور گسترشده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. شناسایی پدیده‌ها در حوزه مدیریت توسعه شهری، منابع طبیعی و زیست محیطی از جایگاه ویژگی‌های برخوردار است. تهیه نقشه صحیح و دقیق از کاربری اراضی و استفاده از روش مناسب و بهروز به موضوعی بسیار مهم تبدیل شده است. در گذشته روش‌های معمول برداشت زمینی، به لحاظ زمانی، هزینه و نیروی انسانی مقرر به صرفه نبودند اما با ظهور فناوری سنجش از دور ضمن آنکه سختی‌های بازدید صحرائی را به کمترین سطح کاهش داده است، توانسته به واسطه پوشش گستردۀ ماهواره‌ها، یک نمای جامع و دقیق از سایت‌های مطالعاتی را برای کاربران فراهم سازد. مطالعه حاضر با هدف تفکیک پوشش اراضی در شهرستان اهواز انجام شد. با توجه به این نکته که اکثر الگوریتم‌های طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور بر اساس ویژگی‌ها و اطلاعات طیفی پیکسل‌ها عمل می‌کنند و این مسئله باعث نادیده گرفتن اطلاعات مکانی مفید قابل استخراج از تصاویر، از جمله؛ بافت تصاویر می‌شود. استفاده همزمان از بافت و اطلاعات طیفی مبحثی است که به آن کمتر پرداخته شده است. بنابراین با در نظر گرفتن این ایده پژوهش حاضر با هدف انتخاب بهترین ترکیب ویژگی‌های طیفی و بافتی جهت بهبود دقت طبقه‌بندی پوشش زمین انجام شد.

مواد و روش: داده‌های استفاده شده در تحقیق حاضر شامل تصاویر ماهواره سنتینل-۱ مربوط به تاریخ ۱۸ خرداد ۱۴۰۰ و سنتینل-۲ مربوط به تاریخ ۱۹ خرداد ۱۴۰۰ می‌باشد. تصاویر اخذ شده نیازمند پیش پردازش هستند بنابراین ابتدا پیش-پردازش‌های لازم شامل تصحیح اتمسفری (تصویر سنتینل-۲) به روش Sen2core اعمال شد. مهم‌ترین مراحل پیش-پردازشی که بروی تصاویر سنتینل-۱ انجام شد عبارت است از کالیبراسیون سیگما صفر، فیلتر اسپلکل، تصحیح اثر ناهمواری زمین و تبدیل به واحد dB بر SNAP. است که کلیه پیش پردازش‌ها در محیط نرم افزار SNAP بر روی تصاویر اعمال شدند. در مرحله دوم، از تصاویر مورد استفاده ویژگی‌های طیفی و بافتی استخراج و ویژگی‌های بهینه مشخص شدند و در مرحله سوم، با استفاده از الگوریتم

انجام گرفت. ویژگی‌های بهینه انتخاب شده با دو روش آن و ترکیب باندهای تصویر با ویژگی‌های بهینه انتخاب شده با دو روش آن طبقه‌بندي صورت گرفت. و در آخر با تلفیق بهترین ترکیب باندهای رادار و اپتیک انجام گرفت. الگوریتم استفاده شده در این تحقیق Gram-Schmidt که یکی از الگوریتم‌های تلفیق در سطح پیکسل می‌باشد، برخلاف تبدیل فضای رنگی IHS در تعداد باندهای طیفی که می‌توانند در یک زمان از طریق این تبدیل پردازش شوند، محدودیتی وجود ندارد. از ماتریس خطای حاصل مقایسه پیکسل‌های واقعیت زمین و پیکسل‌های متناظر در خروجی روش‌های طبقه‌بندي پوشش زمین است، پارامترهای دقت کلی، ضربی کاپا، دقت تولیدکننده و دقت کاربر برای کلیه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش برآورد شدند. با توجه به نتایج بدست آمده، با تلفیق ویژگی‌های اپتیک و رادار دقت کلی ۹۷/۰۷ درصد و ضربی کاپا ۰/۹۶ طبقه‌بندي بهبود داده شد.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های بافتی، پوشش‌های زمین در محیط‌های شهری، طبقه‌بندي، روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)، انتخاب ویژگی.

طبقه‌بندي خروجی بدست آمده دارای کمترین خطای باشد. کلاس‌های مختلف به خوبی طبقه‌بندي شدند، هم چنان تداخل بین کلاس‌ها کمتر دیده می‌شود. تنها تداخل کمی بین کلاس زمین باير و کلاس ساخت و ساز مشاهده می‌شود. دقت کلی بدست آمده ۹۷/۰۷ درصد و ضربی کاپا ۰/۹۶ می‌باشد.

نتیجه‌گیری: هدف از این پژوهش دست یابی به دقت بالا در طبقه‌بندي پوشش زمین با استفاده از تلفیق بهترین ویژگی بافت تصویر SAR و بهترین ویژگی طیفی تصویر سنتینل-۲ می‌باشد. این هدف با استخراج ویژگی‌های بافت با استفاده از ماتریس رخداد هرمان از تصویر راداری سنتینل-۱ و شاخص‌های طیفی از تصویر سنتینل-۲ اعمال گردید. در این پژوهش برای انتخاب ویژگی‌های بهینه برای تولید نقشه پوشش زمین از دو روش استفاده شد. روش اول بازتاب نرمال شده عوارض با توجه به ویژگی‌های استخراج شده و روش دوم اعمال شاخص ضربی بهینه (OIF) بر روی ویژگی‌های بافت و طیفی استخراج شده می‌باشد. به این منظور فرایند طبقه‌بندي با استفاده از روش ماشین بردار (SVM) بر روی تصویر راداری سنتینل-۱ و تصویر چندطیفی سنتینل-۲

مقدمه

تلفیق تصاویر می‌باشد که با هدف افزایش کیفیت تصویر جهت تفسیر چشمی (بصری) مورداستفاده قرار می‌گیرد (۱۲ و ۲۹). برای تلفیق تصاویر در سطح پیکسل روش‌های مختلفی ارائه شده است که پرکاربردترین آنها عبارت‌اند از: تکنیک Brovey، تلفیق تصاویر به کمک تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تلفیق در فضای HIS. تلفیق در سطح ویژگی؛ ویژگی‌های مختلف تصویر را مانند پارامترهای بافت، خطوط، لبه‌ها را از منابع مختلف داده استخراج کرده که در نهایت از این پارامترهای استخراج شده به عنوان داده اصلی در پردازش‌های بعدی استفاده کند، اما تلفیق در سطح تصمیم‌گیری نتایج الگوریتم‌های مربوط به منابع چندگانه را ترکیب می‌کند تا به تصمیم‌گیری نهایی برسد (۳۵). داده‌های اپتیک از حد تفکیک رادیومتریکی مناسبی برخوردار می‌باشند که آن‌ها را جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، نقشه تغییرات، شناسایی اهداف و کاربردهای متنوع دیگر مناسب می‌سازد. (۳۱). اما این چنین داده‌هایی به میزان زیادی از فاکتورهای محیطی همچون ابرناکی، مهآلودگی، گردوغبار و میزان تشعشع خورشیدی تأثیر می‌پذیرند. داده‌های رادار برخلاف داده‌های اپتیک، توانایی برداشت در تمامی شرایط آب و هوایی را دارند. این نوع داده‌ها قابلیت آن را دارند که اطلاعات بالارزشی از بافت و ساختمان پذیردها ارائه دهند این داده‌ها به فاکتورهایی همچون هندسه، جهت‌گیری، میزان زبری و مقدار رطوبت عوارض روی زمین حساسیت دارند (۲۸). از طرفی استفاده صرف از این نوع داده‌ها در کاربردهای شهری، تفسیری و طبقه‌بندی که کلاس‌های مختلف عوارض را در تصاویر تولید می‌کند... کارایی مطلوبی ندارند. وجود نویز و عدم آشکارسازی مناسب به‌ها از جمله ضعف‌های موجود در این نوع داده‌ها است (۴۳). استفاده از ویژگی‌های تصاویر اپتیک و راداری با توجه به مزیت‌های هر یک از این طیف‌ها و مکمل بودن داده‌های نوری و راداری (۹) و همچنین اینکه منحنی رفتار طیفی جسم در هریک از محدوده طیف الکترومغناطیس متفاوت است صورت می‌گیرد. هر طیف حاوی اطلاعاتی از رفتار جسم نسبت به

امروزه داده‌های ماهواره‌ای در سنجش‌از دور به طور گسترده‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرند. شناسایی پدیده‌ها در حوزه مدیریت توسعه شهری، منابع طبیعی و زیستمحیطی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. تهیه نقشه صحیح و دقیق از کاربری اراضی و استفاده از روش مناسب و به‌روز به موضوعی بسیار مهم تبدیل شده است. درگذشته روش‌های معمول برداشت زمینی، به لحاظ زمانی، هزینه و نیروی انسانی مقرن به صرفه نبودند (۱۴). اما با ظهور فناوری سنجش‌از دور ضمن آنکه سختی‌های بازدید صحرائی را به کمترین سطح کاهش داده است، توانسته به واسطهٔ پوشش گسترده ماهواره‌ها، یک دمای جامع و دقیق از سایت‌های مطالعاتی را برای کاربران فراهم سازد که تمامی این موارد در نهایت منجر به کاستن هزینهٔ پژوهش شده است (۱۵). همچنین با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌از دور شناسایی و تهیه نقشه کاربری اراضی در زمان کمتری انجام می‌شود. ماهواره‌های سنجش‌از دور مجموعه داده‌هایی با ویژگی‌های طیفی و مکانی گوناگون را از سطح زمین برداشت می‌کنند که هر یک از آن‌ها توانایی بازسازی قسمتی از خصوصیات پدیده‌ها را دارند (۱۶). در مواردی مشاهده می‌شود که مجموعه داده‌ی حاصل از یک سنجنده خاص به‌نهایی برای مطالعه‌ی هدف و پدیده موردنظر کافی نیست. به‌منظور دریافت انرژی بیشتر و جلوگیری از کاهش نسبت سیگنال به نویز، تصاویر چندطبیقی با دقت طیفی بالا، دارای دقت مکانی پایینی هستند و تصاویر دارای دقت مکانی بالا، گستره طیفی وسیع‌تری دارند (۳۴). با کمک تلفیق تصاویر، به دست آوردن تصویری با دقت مکانی بالا و اطلاعات طیفی مناسب امکان‌پذیر است (۴۷). منظور از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، آمیختن مجموعه داده‌های مختلف جهت بالا بردن و اخذ میزان اطلاعات بیشتر نسبت به کاربرد یک مجموعه داده‌ی منفرد است؛ به‌طورکلی این عملیات در سه سطح متفاوت شامل تلفیق در سطح پیکسل، تلفیق در سطح ویژگی و تلفیق در سطح تصمیم‌گیری صورت می‌پذیرد (۳۰). تلفیق در سطح پیکسل ساده و در عین حال پرکاربردترین تکنیک

های تصاویر نوری و راداری در شبکه عصبی استفاده نمودند به این منظور ابتدا سه مجموعه داده به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس ویژگی‌های ترکیب مختلف با یکدیگر تلفیق داده شد، که نتایج تلفیق بیش از ۱۰ درصد افزایش ضریب کاپا را نشان می‌دهد. شاکریاری و همکاران (۳۷) در پژوهشی به مقایسه الگوریتم‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای پرداختند. نتایج نشان دادند که روش آرتمنپ فازی بیشترین میزان دقت را با صحت کلی ۹۶/۶۸ و ضریب کاپای ۰/۹۱ نسبت به دو روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه با صحت کلی ۹۲/۹۹ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۹ و ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی ۹۰/۹۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۵ در طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای دارد. کابلی‌زاده و همکاران (۱۹) در تحقیقی با هدف بررسی کارایی ادغام تصاویر ماهواره‌ای مربوط به لنست ۸ و سنتینل-۲ در پایش محیطی شهر اهواز، روش‌های Gram Schmidt، CN، Brovey، DWT، SFLM و Multiplication را مورد استفاده قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند روش‌های DWT و Brovey به ترتیب بهترین روش‌ها از لحاظ حفظ اطلاعات طیفی و مکانی می‌باشد. اصغری سراسکانرود و همکاران (۳۸) در پژوهشی به مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی پیکسل پایه و شیء‌گرا پرداختند. نتایج آنها نشان داد که از بین روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه مورد استفاده در این مطالعه، روش‌های طبقه‌بندی حداقل احتمال و روش حداقل فاصله تا میانگین با ضریب کاپای به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۸۵ از دقت قابل قبولی برخوردار هستند. همچنین مقایسه نتایج حاصل از طبقه‌بندی پیکسل پایه و شیء‌گرا نشان داد که روش شیء‌گرا با اعمال پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی و توسعه قوانین جهت اطلاح طبقه‌بندی اولیه شیء‌گرا با ضریب کاپای ۰/۹۵ از نظر دقت در استخراج نقشه کاربری اراضی از روش‌های پیکسل پایه از اولویت برخوردار است. کیم (۲۱) در پژوهشی به طبقه‌بندی کاربری زمین و تجزیه و تحلیل تغییر کاربری زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در جزیره لومبوک، اندونزی با استفاده از تصاویر

انرژی الکترومغناطیس است که می‌تواند در تفکیک هر چه بهتر پوشش‌های زمین نقش بسزایی داشته باشد (۳۶). آگاهی از انواع پوشش سطح زمین و فعالیت‌های انسانی در قسمت‌های مختلف به عنوان پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف اهمیت ویژه‌ای دارد. کاربری اراضی می‌تواند به عنوان مفهومی ترکیبی از نظر فیزیکی، اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و اطلاعاتی از هر کشوری مورد توجه قرار گیرد. در حقیقت بررسی پوشش‌های زمین برای نیازهای مختلف انسانی می‌باشد. با توجه به اینکه آگاهی از الگوهای کاربری اراضی و تغییرات آن در طول زمان پیش‌نیازی برای استفاده مطلوب از سرمایه ملی است، ازین‌رو استخراج نقشه‌های پوشش زمین و کاربری اراضی به عنوان مهم‌ترین هدف در مدیریت پایگاه منابع طبیعی می‌توانند مورد توجه قرار گیرد. آگاهی از کاربری اراضی و پوشش سطح زمین شرطی اساسی در نحوه مدیریت سرمایه‌های طبیعی منطقه می‌باشد. یکی از روش‌های مؤثر در شناسایی و پایش پوشش منطقه، استفاده از داده‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای است.

در رابطه با تلفیق تصاویر رادار و اپتیک مطالعات بسیاری در داخل و خارج از ایران انجام شده است که در ادامه به برخی از مهم‌ترین این مطالعات اشاره می‌شود. ملک نژاد یزدی و همکاران (۲۴) در مطالعه‌ای به بررسی بهبود دقت طبقه‌بندی با استفاده از ادغام تصویر تک باند ALI با تصاویر ابرطیفی Hyperion پرداختند. براساس یافته‌ها این تحقیق، افزودن بافت به طیف تصویر ادغامی به روش CNT دقت طبقه‌بندی را به مرتب افزایش داد. محمد نژاد نیازی (۲۵) روشی جهت ادغام تصاویر چندطیفی و پانکروماتیک مبتنی بر مناطق بهبودی‌یافته پیشنهاد نمود در این فرآیند، باند سبز بهوسیله ترکیبی از باند قرمز و NIR بهبود داده شد. آنالیزهای بصری و آماری حاکی از این مطلب بود که روش موردبیث در این مطالعه توانسته است کیفیت تصویر ادغام شده را نسبت به خروجی روش‌های مرسوم بهبود دهد. در پژوهش تیموری و همکاران (۳۹) به منظور شناسایی ساختمان در مناطق شهری از تلفیق ویژگی-

مناطق مسکونی به ترتیب ۱۵/۶۱ درصد و ۸/۰۵ درصد افزایش معنی داری در حوضه داشته‌اند.

مطالعه حاضر با هدف تفکیک پوشش اراضی در شهرستان اهواز با بکارگیری تکنیک‌های تلفیق تصاویر اپتیک و رادار انجام شد. با توجه به این نکته که اکثر الگوریتم‌های طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور بر اساس ویژگی‌ها و اطلاعات طیفی پیکسل‌ها عمل می‌کنند و این مسئله باعث نادیده گرفتن اطلاعات مکانی مفید قابل استخراج از تصاویر، از جمله؛ بافت تصاویر می‌شود، استفاده همزمان از بافت و اطلاعات طیفی مبحثی است که به آن کمتر پرداخته شده است. بنابراین با در نظر گرفتن این ایده پژوهش حاضر با هدف انتخاب بهترین ترکیب ویژگی‌های طیفی و بافتی جهت بهبود دقت طبقه‌بندی پوشش زمین انجام شد.

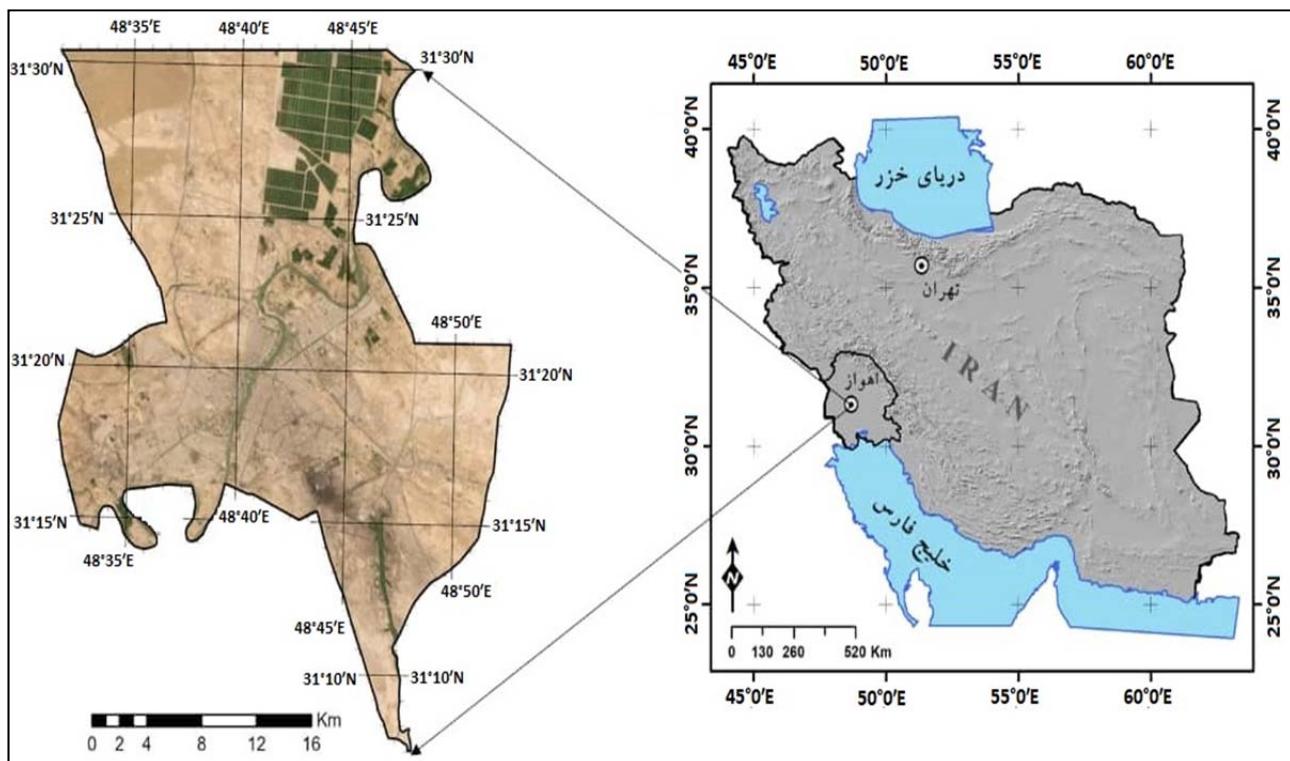
مواد و روش‌ها

با توجه به موقعیت و شرایط خاص اقلیمی شهرستان اهواز و نیز نوع استفاده از زمین در این شهرستان، به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد. شهرستان اهواز با مساحت ۸۲۱۲ کیلومتر مربع بین عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). شهرستان اهواز به عنوان مرکز استان خوزستان از سمت شمال به شهرستان‌های شوش و باوی، از غرب به شهرستان دشت آزادگان و از سمت جنوب به شهرستان‌های کارون، شادگان و ماشهر و از سمت مشرق به شهرستان‌های رامشیر، رامهرمز و هفتگل محدود می‌شود. شهرستان اهواز طبق آخرین تقسیمات کشوری دارای سه بخش مرکزی، اسماعیله، غیزانیه می‌باشد در این پژوهش منطقه مورد مطالعه قسمت اعظم بخش مرکزی این شهرستان را شامل می‌شود.

ماهواره لندست و ستینل-۱ پرداختند. نتایج آنها نشان داد که در حالتی که تصاویر اپتیک با رادار تلفیق می‌شود طبقه‌بندی دارای دقت بالاتری می‌باشد. کلریسی و همکاران (۲) از تلفیق تصویر راداری ستینل-۱ و تصویر نوری ستینل-۲ برای طبقه‌بندی پوشش زمین استفاده کرده‌اند. در این مطالعه از الگوریتم‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان، نزدیک‌ترین همسایگی و جنگل‌های تصادفی استفاده شده است. در نهایت الگوریتم ماشین بردار پشتیبان بهترین دقت کلی طبقه‌بندی را با ۸۸/۷۵ درصد داشت.

هاس و همکاران (۷) پتانسیل استفاده از تلفیق تصویر راداری ستینل-۱ و تصویر نوری ستینل-۲ برای طبقه‌بندی پوشش شهری را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه تعداد ۱۲ کلاس در نظر گرفته و از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی استفاده شده است. که دقت نهایی بدست آمده در این مطالعه ۸۰ درصد بوده است. رنگز و همکاران (۳۳) در مطالعه خود با عنوان نظارت متقابل همپوشانی را برای بهبود قابلیت تصاویر حرارتی، راداری و اپتیک برای طبقه‌بندی ارائه دادند. روش به کار رفته در این تحقیق بخوبی توانسته است در طبقه‌بندی، چهار کلاس سکونتگاه‌ها، زمین‌های بایر، رودخانه و ساحل رودخانه از یکدیگر جدا کرده همچنین به این نتیجه رسیدند که محاسبه LST با استفاده از داده‌های حرارتی تأثیرات مثبتی در بهبود نتایج طبقه‌بندی داشته است.

توابه و فن تاهم (۴۰) با هدف تهیه نقشه کاربری اراضی و شناسایی تغییرات پوشش زمین در حوضه دریاچه تانا، شمال غربی ایوبی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های پردازش تصویر در باز زمانی ۳۲ ساله پرداختند. در این پژوهش طبقه‌بندی با استفاده از شش طبقه پوشش زمین (آب، بوته زار، مرتع، جنگل، زراعی و مسکونی) انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در دوره ۳۲ ساله اخیر، اراضی کشاورزی و



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Fig 1. Geographical location of study area.

سال بیشتر هم مورد استفاده قرار گیرند. Sentinel-2A و Sentinel-2B در مداری یکسان با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نسبت به هم قرار دارند و به صورت قطبی (خورشید آهنگ) طراحی شده و دارای زوایه میل گرد ۹۸/۵۸ درجه می‌باشند. ماهواره سنتینل-۲ در ارتفاع ۷۸۶ کیلومتری سطح زمین قرار داشته با یک دوره ۱۰۰/۶ دقیقه‌ای (۱۴/۳ چرخش در روز)، در ساعت ۱۰:۳۰ به وقت محلی از استوا عبور می‌کند. این زمان منطبق با زمان عبور ماهواره SPOT و همچنین نزدیک به زمان عبور ماهواره لنdest است از استوا است (۶).

روش تحقیق

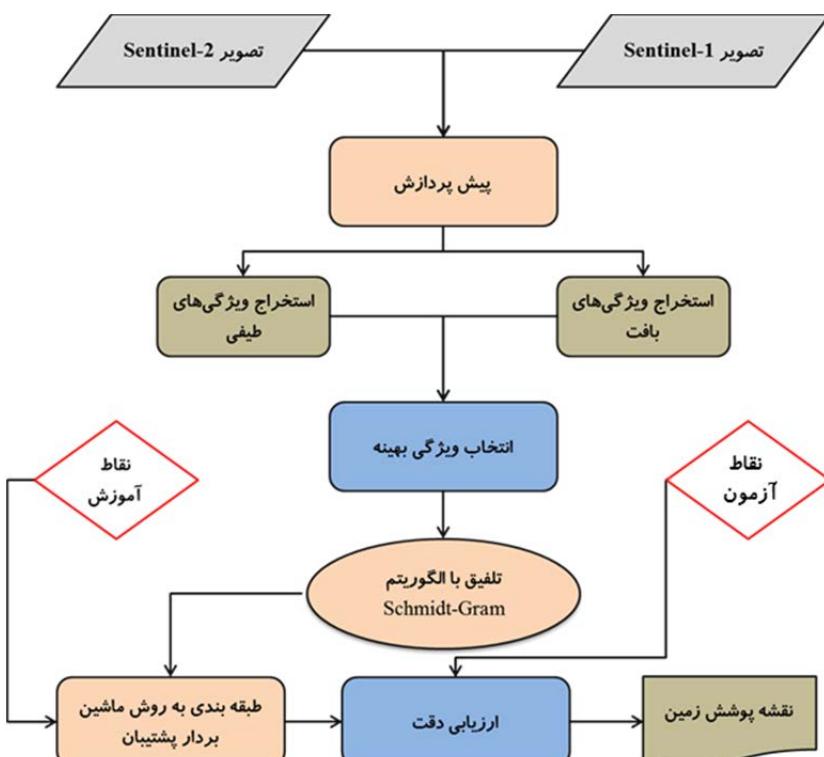
مراحل اصلی تحقیق حاضر در شکل (۲) آورده شده است. ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم شامل تصحیح اتمسفری (تصویر سنتینل-۲) و تصحیحات رادیومتریک، کالیبراسیون، سطح زمین و تصحیح نویز اسپکل (تصویر سنتینل-۱) در محیط نرم افزار SNAP انجام شد. در مرحله دوم، از تصاویر مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده

داده‌های استفاده شده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره سنتینل-۱ مربوط به تاریخ ۱۸ خرداد ۱۴۰۰ و سنتینل-۲ مربوط به تاریخ ۱۹ خرداد ۱۴۰۰ می‌باشد که از سایت Copernicus Data Space Ecosystem دانلود و استفاده شدند. قدرت تفکیک تصاویر سنتینل-۱ از ۵ متر تا ۴۰ متر و عرض آن از ۲۰ کیلومتر تا ۴۰۰ کیلومتر بسته به حالت تصویر برداری آن متفاوت است. سنجنده سنتینل ۱ در چهار حالت Stripmap Extra Interferometric WideSwath (IW), (SM) WaveMode (WM) و Wideswath (EW) تصویر برداری می‌کند. عرض تصویر برداری و قدرت تفکیک مکانی تصویر با توجه به هر حالت متفاوت است. در این تحقیق، هدف مورد نظر کاربری پوشش است بنابرین از حالت تصویر برداری IW و فرمت تصویر برداری (GRD) سطح یک استفاده شد. سنتینل-۲ شامل دو ماهواره دو قلو با نام‌های Sentinel-2A و Sentinel-2B بوده و با وجود عمر مفید ۲/۷ سال، می‌تواند ۵

بندی ماشین بردار پشتیبان نقشه‌های مختلف پوشش زمین در محیط ENVI 4.8 تهیه شد. در نهایت در مرحله پنجم، هر کدام از نقشه‌های پوشش تهیه شده مورد ارزیابی دقت قرار گرفتند. ارزیابی نقشه‌ها نیز در محیط نرم افزار ENVI 4.8 انجام شد.

ویژگی‌های طیفی و بافتی استخراج و ویژگی‌های بهینه مشخص شدند و در مرحله سوم، با استفاده از الگوریتم Schmidt-Gram ویژگی‌های بهینه در محیط نرم افزار ENVI 4.8 تلفیق شدند. در مرحله چهارم، با استفاده از روش طبقه-



شکل ۲. مراحل اصلی روش تحقیق در این مطالعه.

Fig 2. The main steps of the research method in this study.

فرایندی به نام تصحیحات زمینی تصحیح شوند (۲۳). اثر اسپکل همیشه در تصاویر راداری فعال و SAR وجود دارد و کیفیت این تصاویر را کاهش می‌دهد (۱۰). بنابراین، ضروری است به منظور افزایش کیفیت تصویر، اثر اسپکل در تصاویر راداری کاهش یابد. در تحقیق تصحیح اثر اسپکل در محیط نرم افزار SNAP و با استفاده از فیلتر لی سیگما با اندازه پنجره ۷ کاهش داده شد.

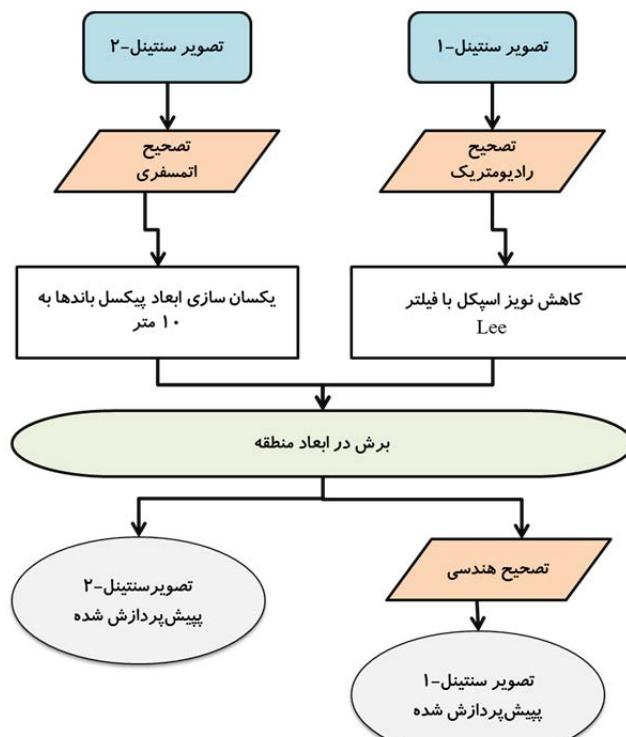
تصاویر سنتینل-۲ به صورت زمین مرجع شده ارائه می‌شوند و نیاز به تصحیح هندسی ندارند؛ اما جهت استفاده ابتدا باید تصحیحات اتمسفری روی آن اعمال گردد و از حالت بازتابش بالای اتمسفر به بازتابش زیر اتمسفر تبدیل شوند.

پیش‌پردازش

مهم‌ترین مراحل پیش‌پردازشی که بروی تصاویر سنتینل-۱ انجام شد عبارت است از کالیبراسیون سیگما صفر، فیلتر اسپکل، تصحیح اثر ناهمواری زمین و تبدیل به واحد dB می‌باشند. تصحیحات مداری تصاویر راداری باعث می‌شود که در فرآیند محاسبه ایترفرومتری، زمین مکانی و مدل رقومی ارتفاع (DEM) مؤثر باشد (۸). از کالیبراسیون برای تبدیل میزان شدت به ضربی بارتاب سیگما نات استفاده می‌شود. به دلیل نحوه برداشت تصاویر SAR در ارتفاعات خیلی بلند و زمین‌های شبیدار، انحرافات شدید هندسی وجود دارد. قبل از اینکه تصاویر SAR به منظور تولید نقشه‌های دقیق سطحی و نمایش تغییرات استفاده شوند، این انحرافات باید توسط

شده است.

مراحل اصلی پیش‌پردازش تصاویر در شکل (۳) نشان داده



شکل ۳. شماتیک مراحل پیش‌پردازش.

Fig 3. Schematic of pre-processing steps.

شبکه رخداد ماتریسی است که تعداد سطرها و ستون‌های آن مساوی با تعداد سطوح درجات خاکستری موجود در تصویر مورد استفاده می‌باشد. یعنی اگر تعداد درجات خاکستری یک تصویر G تا باشد، آنگاه ابعاد ماتریس شبکه رخداد مورد نظر برابر با یک ماتریس $G \times G$ خواهد بود. عنصر ماتریسی $P_{i,j}$ نشان دهنده تعداد تکرارهای رابطه بین دو پیکسل که به وسیله فاصله پیکسلی $(\Delta x, \Delta y)$ جدا سازی شده‌اند و بر اساس رابطه همسایگی تعریف شده که یکی از پیکسل‌ها دارای درجه n و دیگری دارای درجه خاکستری z می‌باشد، اتفاق می‌افتد (۲۷). آماره‌های بافت استخراج شده در جدول (۱) نشان داده شده است.

ماتریس شبکه رخداد (GLCM)^۱ یکی از روش‌های متداول استخراج ویژگی‌های بافت، استفاده از ماتریس رخداد شبکه (Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM)) تصاویر است. Haralick و همکاران در سال ۱۹۷۳ اولین بار ۱۴ ویژگی بافتی را براساس ماتریس شبکه رخداد تصاویر استخراج کردند و هر یک را به عنوان نماینده یک مشخصه معرفی کردند (۱). در آنالیزهای آماری بافت، ویژگی‌های بافتی از طریق توزیع‌های آماری ترکیبات مشاهده شده برای درجات خاکستری در یک موقعیت خاص در رابطه با یکدیگر محاسبه می‌شود. آماره‌های بافتی عموماً به آماره‌های بافتی نوع اول، نوع دوم و مراتب بالاتر تقسیم‌بندی می‌شوند (۱۳). ماتریس رخداد هم‌زمان روشهای استخراج اطلاعات بافتی از نوع دوم می‌باشد. یک ماتریس

^۱ Gray Level Co-Occurrence Matrix

جدول ۱. ویژگی‌های بافت ماتریس شبکه رخداد (GLCM) (۸).

Table 1. Texture characteristics of the Gray-Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) (8).

بافت	معادله	توصیف
میانگین (Mean)	$\mu_i = \sum_{i,j=0}^{N-1} (p_{ij})i$	میانگین، متوسط ارزش در روزنۀ محلی است. در اینجا میانگین برابر با میانگین ساده درجات خاکستری نیست.
همبستگی (correlation)	$\sum_{i,j=0}^{N-1} \left[\frac{(i - \mu_j)(j - \mu_j)}{\sqrt{(\sigma_i^2)(\sigma_j^2)}} \right]$	همبستگی، اندازه‌گیری وابستگی خطی سطح خاکستری در تصویر است. σ_i^2 و σ_j^2 واریانس ارزشها در روزنۀ محلی هستند.
واریانس (variance)	$\sigma_i^2 = \sum_{i,j=0}^{N-1} (p_{ij})(i - \mu_j)^2$	واریانس در روزنۀ محلی است
همگنی (homogeneity)	$\sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{p_{ij}}{1 + (i - j)^2}$	همگنی، صافی از بافت تصویر است. یکنواختی محلی یک جفت پیکسل را اندازه گیری می‌کند. برای تصاویری با بخش‌های همگن بزرگ، این معیار بالاتر خواهد بود.
کترانست (contrast)	$\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{ij}(i - j)^2$	کترانست، اندازه گیری تغییرات در GLCM است.
عدم تشابه (dissimilarity)	$\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{ij} i - j $	شباهت زیادی به کترانست دارد؛ با این تفاوت که وزنی برابر با تفاوت درجات خاکستری به ماتریس داده می‌شود؛ در حالی که در کترانست توان دوم اختلاف به مثابه وزن استفاده می‌شود.
آنتروپی (entropy)	$\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{ij}(-\ln p_{ij})$	آنتروپی، معیاری از درجه آشفتگی در یک تصویر است.
زاویه تماس لحظه‌ای (angular second moment)	$\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{ij}^2$	ASM، یک اندازه گیری از یکنواختی بافت است. معیاری برای اندازه گیری نرمی است. تعداد جفت پیکسلهای تکراری را نشان می‌دهد. در حالت یکنواختی کامل، مقدار آن یک و در صورت یکنواخت نبودن کامل، بسیار نزدیک به صفر است.
I شماره ستون، j شماره ردیف، p_{ij} ارزش در ماتریس سلول i و j ، N تعداد ردیفها و ستونها و برابر با تعداد سطوح خاکستری است. پیکسل در روزنۀ محلی شاخصی از صفر است.		

بین دو یا چند باند طیفی می‌باشند که به‌واسطه آن، پدیده مورد نظر بارزتر می‌شود. در جدول ۲ نحوه محاسبه تعدادی از شاخص‌های طیفی که در چهار کاربری پوشش گیاهی، آب، مناطق ساخته شده و زمین بایر کارامد می‌باشند، بیان شده است.

جهت کاهش اثرات توپوگرافی و روشنایی تصویر و بالابردن امکان تشخیص و تفکیک عوارض از اختلاف شاخص‌های طیفی متعددی جهت آشکار سازی عوارض استفاده می‌شود. شاخص‌های طیفی حاصل یک محاسبه ریاضی

جدول ۲. شاخص‌های طیفی مورد استفاده این تحقیق.

Table 2. Spectral indexes used in the present research.

ردیف	رابطه	شاخص طیفی
۱	$BI=sprt(((R^*R)+(G^*G))/2.0)$	BI
۲	$BI2=sprt(((R^*R)+(G^*G)+(NIR^* NIR))/2.0)$	BI2
۳	$BU=ndbi- ndvi$	BU
۴	$CI=(R-G)/(R+G)$	CI
۵	$DVI= NIR -Red$	DVI
۶	$MNDWI=(GMID)/(G+MID)$	MNDWI
۷	$NDBI = (SWIR- NIR)/((SWIR+NIR)$	NDBI
۸	$NDPI=(G-SWIR)/(G+SWIR)$	NDPI
۹	$NDTI=(R-G)/(R+G)$	NDTI
۱۰	$NDVI= NIR- Red/ NIR+ Red$	NDVI
۱۱	$SAVI=(1+L)/*[(NIR- Red)/ (NIR+ Red+L)]$	SAVI
۱۲	$NDWI=(NIR-MID)/(NIR+MID)$	NDWI
۱۳	$NDWI2=(G-NIR)/(G+NIR)$	NDWI2
۱۴	$PVI=\sin(A)*NIR-\cos(A)*R$	PVI

(۴۵). امروزه SVM از الگوریتم‌های پرکاربرد برای طبقه‌بندی داده‌های سنچش از دوری محسوب می‌شود. دلیل عدمه گسترش استفاده از این روش و نتایج مطلوب آن در مقایسه با دیگر طبقه‌بندی کننده‌ها، استفاده الگوریتم ماشین بردار پشتیبان از ویژگی‌های هندسی داده‌های آموزشی به جای ویژگی‌های آماری آنهاست (۲۸). هدف از روش ماشین بردار پشتیبان، یافتن فراصفحه‌ای است که بتواند به بهترین صورت دو کلاس متمایز را از یکدیگر جدا کند. حال با توجه به تفکیک پذیر بودن کلاس‌ها به صورت خطی یا غیرخطی، نحوه طبقه‌بندی داده‌ها و یافتن ابرصفحه توسط این الگوریتم متفاوت خواهد بود (۲۸).

روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبان (SVM) یک الگوریتم طبقه‌بندی بوده و به عنوان یکی از بهترین تکنیک‌های طبقه‌بندی شناخته می‌شود و این روش برخلاف الگوریتم‌های خوشبندی در دسته یادگیری با نظارت محسوب می‌شود و دو فاز آموزش و تست دارد. ماشین بردار پشتیبان ابتدا توسط آقای Vapnic برای تفکیک و دسته‌بندی داده‌هایی که جدایی‌پذیر خطی بودند ساخته شد ولی بعدها توسط خود ایشان و آقای کورتس برای حالت غیر خطی هم تعمیم داده شد

دارای قدرت تفکیک کم را در تصویر حاصل از ادغام آن با داده پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی زیاد حفظ کند.

ارزیابی دقت

معمولًاً معیارهای ارزیابی دقت به سه دسته معیارهای ارزیابی داخلی، خارجی و نسبی تقسیم می‌شوند. معیارهای داخلی معمولًاً با استفاده از پارامترهای آماری، دقت روش مورد مطالعه را محاسبه می‌کنند. معیارهای خارجی بر اساس مقایسه نتایج با داده‌های زمین مرجع و واقعیت زمینی محاسبه می‌شوند و معیارهای نسبی با مقایسه نتایج یک روش با روش دیگر به دست می‌آیند (۴۲). همانطور که مشخص است، در صورت فراهم بودن داده‌های زمینی، استفاده از معیارهای خارجی دقت، واقعی‌تر و مناسب‌تر است. معمولًاً از پارامترهای آماری برای تعیین معیارهای ارزیابی دقت در سنجه از دور استفاده می‌شود. این پارامترها بر اساس ماتریس خطأ که یک ماتریس مربوعی با ابعاد $n \times n$ است محاسبه می‌شوند (۵). این ماتریس حاصل مقایسه داده‌های مرجع و نتایج حاصل از طبقه‌بندی است. ستون‌های ماتریس خطأ، تعداد پیکسل‌های هر کلاس در داده‌های مرجع و سطرهای آن تعداد پیکسل‌های اختصاص یافته به هر کلاس به وسیله الگوریتم است. با استفاده از عناصر ماتریس خطأ، پارامترهای ارزیابی دقت از جمله دقت کل، ضریب کاپا، دقت کاربر و دقت تولید کننده محاسبه می‌شوند (۱۷). دقت کلی، نشان دهنده پیکسل‌هایی است که به درستی شناسایی شده‌اند که در واقع نشان دهنده دقت کلی الگوریتم است. این پارامتر از تقسیم مجموع عناصر روی قطر اصلی ماتریس خطأ به تعداد کل پیکسل‌ها به دست می‌آید. ضریب ارزیابی کاپا، یک روش چند متغیره گستته آماری است که تفاوت بین ماتریس خطای حاصل از الگوریتم و ماتریس خطای ایده‌آل را مشخص می‌کند. محاسبه کاپا براساس اندازه‌گیری تفاوت بین تعداد پیکسل‌هایی که به درستی شناسایی شده‌اند و تعداد پیکسل‌هایی که به صورت نادرست تعیین شده‌اند انجام می‌شود. دقت کاربر نشان دهنده احتمال آن است که در داده‌های مرجع، پیکسلی در کلاسی قرار دارد و الگوریتم طبقه‌بندی کننده

به منظور طبقه‌بندی داده‌های با پیچیدگی بالا، داده‌ها را به وسیله تابع کرنل (Φ) به فضای با ابعاد خیلی بالاتر می‌بریم، تابع کرنل داده‌ها را از فضای ورودی به فضایی با ابعاد بالاتر به گونه‌ای تصویر می‌کند که امکان جداسازی خطی داده‌ها در آن فضا وجود داشته باشد. سپس داده‌های آموزشی انتقال داده شده توسط یک فراصفحه بهینه در آن فضا را جداسازی می‌کند. در واقع بدون هیچ تغییری در ماهیت مسئله بهینه‌سازی با بکارگیری تابع انتقال Φ داده‌ها به فضایی با ابعاد بالاتر نگاشت می‌شوند تا در این فضا سطح تصمیم‌گیری به صورت خطی تعیین شود (۴۷). در روش SVM یافتن پارامترهای بهینه کرنل به بازه جستجو و فواصل تعریف شده توسط کاربر بستگی دارد که در جستجوهایی که در بازه‌های گسترده انجام می‌شود بسیار زمان بر و کم بازده می‌باشد (۳۸). در این مطالعه از تابع کرنل پایه شعاعی‌ای طبقه‌بندی SVM استفاده شد.

Gram-Schmidt

این روش یکی از روش‌های تلفیق تصاویر چند طیفی است که همانند روش PCA جز روش‌های جایگزینی مؤلفه به حساب می‌آید. در این الگوریتم ابتدا با استفاده از باندهای چند طیفی باند پانکروماتیک شبیه‌سازی شده و با سایر باندها تلفیق می‌شود. سپس یک تبدیل Gram Schmidt روی تصویر چند باندی اعمال می‌گردد که به اندازه تعداد باندهای تلفیق شده مؤلفه ایجاد می‌شود. در مرحله بعد با جایگزینی مؤلفه اول این تصویر با باند پانکروماتیک اصلی تلفیق انجام می‌شود (۴۶). از روش تبدیل Gram-Schmidt در ادغام تصاویر با اهداف افزایش وضوح تصاویر چند طیفی به طور موفقیت آمیزی استفاده شده است (۱۶، ۲۷ و ۴۱). این تبدیل دو مزیت عمده دارد که آن را از دیگر روش‌های ادغام جایگزینی مؤلفه متمایز می‌کند. در این روش برخلاف تبدیل فضای رنگی IHS، در تعداد باندهای طیفی که می‌توانند در یک زمان از طریق این تبدیل پردازش شوند، محدودیتی وجود ندارد. تبدیل GS قادر است خصوصیات تصویر چندطیفی با تصاویر پانکروماتیک

از روش نمونه گیری تصادفی برای انتخاب تصادفی نمونه‌های آموزشی و ارزیابی استفاده شد. برای هر کدام از چهار کلاس مورد بررسی، بصورتی که در جدول ۳ آمده نمونه آموزشی و تست استفاده شد.

نیز آن پیکسل از تصویر را در همان کلاس قرار دهد. دقت تولید کننده نشان دهنده احتمال آن است که الگوریتم طبقه‌بندی کننده پیکسلی از تصویر را در کلاسی قرار دهد که در داده‌های مرجع نیز این پیکسل در همان کلاس قرار دارد (۱۴). در این پژوهش

جدول ۳. تعداد نمونه آموزشی و تست برای هر کلاس‌ها.

Table 3. The number of training samples and tests for each class.

نام	نوع کلاس	تعداد کل نمونه‌ها در هر تصویر	نام نمونه تست	نام نمونه آموزشی
مناطق مسکونی	۱	۶۷۳	۲۵۶	
پوشش گیاهی	۲	۶۲۰	۲۴۰	
مناطق آبی	۳	۵۲۲	۱۷۵	
زمین باز	۴	۶۷۱	۲۶۸	

با توجه به بالاترین مقدار ضریب شاخص بهینه ۳ ویژگی برای هریک از ویژگی‌های طیفی و بافت استفاده شد که این ویژگی‌ها عبارت‌اند از، زاویه تماس لحظه-VH و کتراست-Vh- و زاویه تماس لحظه-VV (جدول ۴).

نتایج

انتخاب ویژگی‌های بهینه

در تحقیق حاضر از دو روش ضریب شاخص بهینه و نمودار بازتاب نرمال عوارض به منظور انتخاب ویژگی‌های بهینه استفاده شده است. در روش اول (ضریب شاخص بهینه)

جدول ۴. آماره‌های بافت با بالاترین مقدار OIF

Table 4. Texture statistics with the highest value of OIF.

ترکیب باند	OIF
zawieh تماس لحظه‌ای vv+ زاویه تماس لحظه‌ای vh+ کتراست_vh	۲۲۲۳۰/۱۰
کتراست_vv عدم تشابه vv آنتروپی	۱۲۸۱۷۸/۳۷
کتراست_vh واریانس vv+ همگنی	۱۸۵۹۱/۶۶
عدم تشابه vv+ آنتروپی vv واریانس	۱۶۱۶۲/۹۶
کتراست_vv+ زاویه تماس لحظه‌ای vv+ واریانس	۱۰۵۱۸/۴۴
zawieh تماس لحظه‌ای vv+ کتراست vv+ همگنی	۱۰۴۰۹/۹۹

طبقه بندی انتخاب شدند. این شاخص‌ها عبارت‌اند از، NDVI، BI2 و NDWI (جدول ۵).

در بین شاخص‌های طیفی، ۳ شاخص که بیشترین مقدار شاخص ضریب بهینه را داشتند به عنوان ویژگی بهینه برای

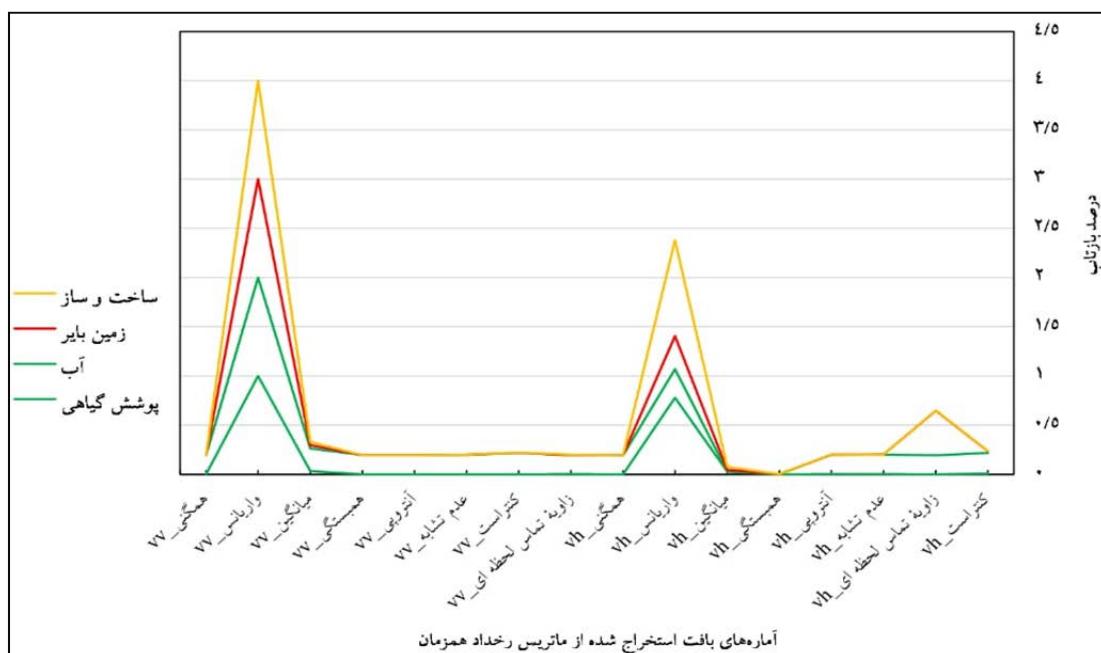
جدول ۵. شاخص‌های طیفی با بالاترین مقدار OIF

Table 5. Spectral indexes statistics with the highest value of OIF.

ترکیب باند	OIF
bi2 ndvi ndwi	۷۱/۵۰
bi ndvi ndwi	۶۸/۴۷
bi2 bu ndvi	۶۲/۱۶
bi2 ndvi ndwi2	۶۱/۵۴
bi2 mdwi ndvi	۶۱/۳۹
bi2 dvi ndvi	۶۱/۲۹

آماره واریانس در قطبش VH، آماره واریانس در قطبش VV، آماره میانگین در قطبش VV و آماره زاویه تماس لحظه‌ای در قطبش VV به دلیل مقدار همبستگی کمتر و در نتیجه توانایی تفکیک بیشتر عوارض برای انجام طبقه‌بندی انتخاب گردید.

در روش دوم (نمودار بازتاب نرمال عوارض) ۵۰ نمونه برای هر کلاس انتخاب شد و میانگین بازتاب آن در ویژگی‌های مورد نظر برداشت شد سپس بعد از نرمال کردن مقادیر بازتاب، بصورت نمودار نشان داده شد. با توجه شکل (۴) از میان ۱۶ آماره بافت استخراج شده از تصویر Sentinel-1

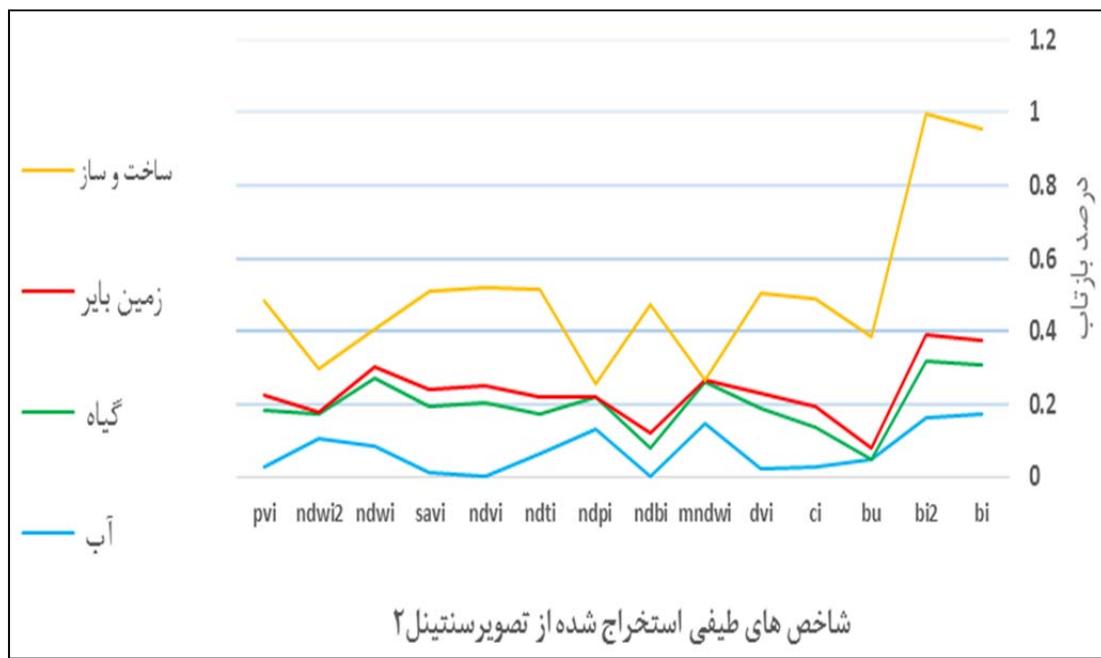


شکل ۴. بازتاب نرمال شده کاربری اراضی.

Fig 4. The normalized reflectance of the land uses.

طیفی، حذف شدن و طبقه‌بندی با ۱۰ شاخص دیگر انجام گرفت.

با توجه به شکل (۵) از میان ۱۶ شاخص طیفی استخراج شده از تصویر Sentinel-2 شاخص‌های طیفی MNDWI، BU، MNDWI2 و NDBI مشابهت زیاد در منحنی بازتاب



شکل ۵. بازنگاری نرمال شده عوارض.

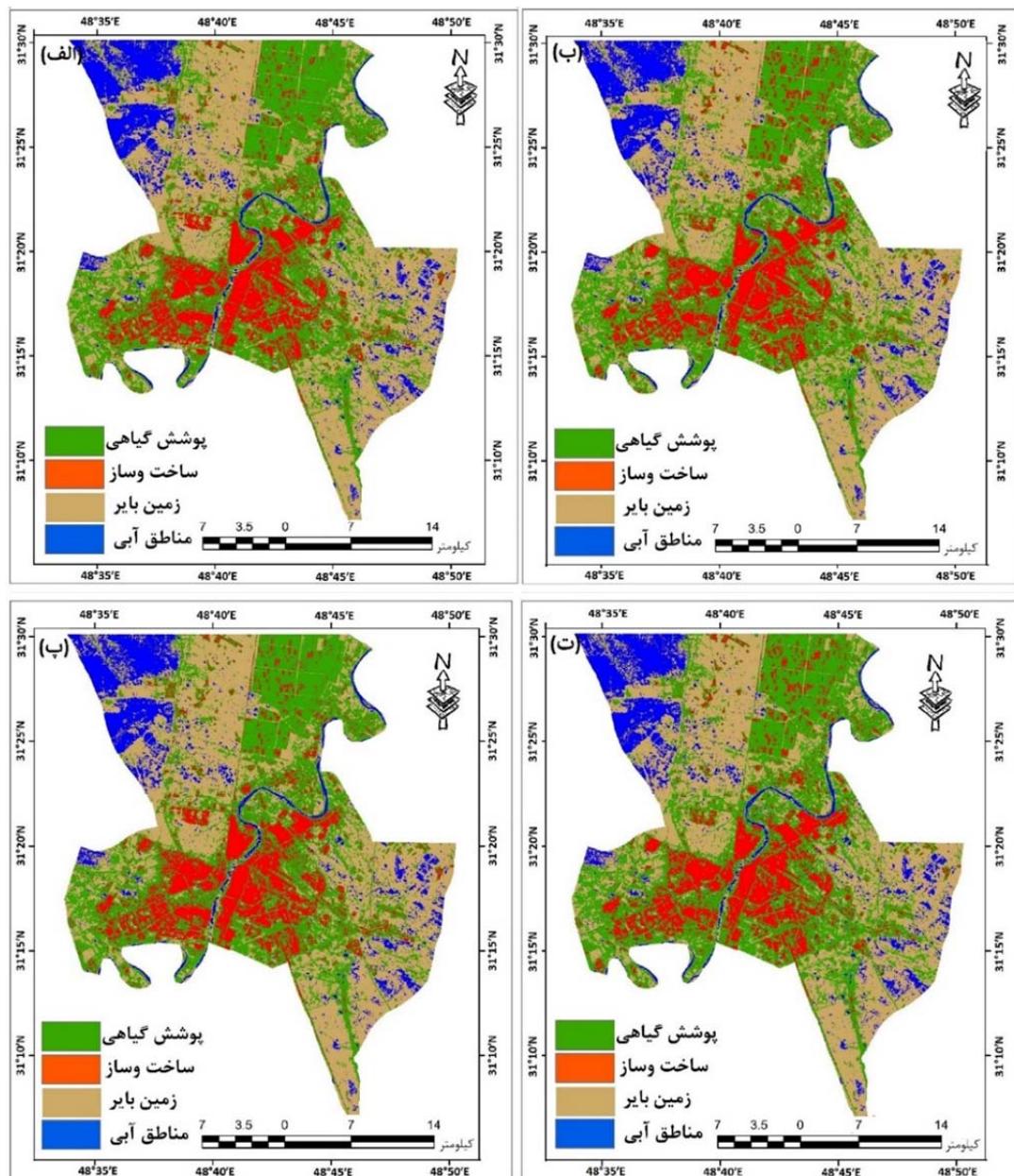
Fig 4. The normalized reflectance of the land uses.

طبقه‌بندی ویژگی بهینه با استفاده از ضریب شاخص بهینه انجام گرفت (شکل ۶ ج). این تصویر نیز مانند ویژگی بهینه استخراج شده از نمودار دارای خطاب بسیار زیادی در کلاس زمین بایر می‌باشد و کلاس‌ها تداخل زیادی با هم دارند. در این بین کلاس مناطق آبی بهتر طبقه‌بندی شده و دارای خطاب کمتری می‌باشد. دقت کلی بدست آمده $81/4$ و ضریب کاپا $0/75$ می‌باشد. همانطور که در شکل ۶ د نشان داده شده است، در این مرحله طبقه‌بندی ویژگی‌های طیفی انتخاب شده از نمودار با باندهای اصلی تصویر اپتیک انجام گرفت. این تصویر نیز مانند ویژگی بهینه استخراج شده از نمودار دارای خطاب بسیار زیادی در کلاس زمین بایر می‌باشد و کلاس‌ها تداخل زیادی با هم دارند. در این بین کلاس مناطق آبی و ساخت و ساز بهتر طبقه‌بندی شده و دارای خطاب کمتری می‌باشد. دقت کلی بدست آمده $84/2$ و ضریب کاپا $0/79$ می‌باشد. و نهایتاً، طبقه‌بندی ویژگی‌های طیفی انتخاب شده از OIF با باندهای اصلی تصویر اپتیک انجام گرفت (شکل ۶ ث). این تصویر دارای خطاب بسیار زیادی در کلاس زمین بایر می‌باشد و کلاس‌ها تداخل زیادی با هم دارند. در این بین کلاس مناطق آبی و ساخت و ساز بهتر

طبقه‌بندی با استفاده از تصاویر ستینیل - ۱ تصاویر ستینیل - ۱ دارای دو قطبیدگی مشابه (VV) و غیر مشابه (VH) می‌باشند. بنابراین طبقه‌بندی با استفاده از مقادیر شدت در دو قطبش VV و VH انجام گرفت، نتیجه حاصل از طبقه‌بندی در شکل ۶ الف و نتایج حاصل از ارزیابی دقت در جدول ۶ آورده شده است. تصویر بدست آمده دارای خطاب بسیار زیادی مخصوصاً در کلاس زمین بایر می‌باشد و کلاس‌ها تداخل زیادی با هم دارند. دلیل این امر می‌تواند نسبت پایین نمونه‌های آموختشی به مساحت در این کلاس باشد در این بین کلاس مناطق آبی و ساخت و ساز به نسبتاً خوب طبقه‌بندی شده و دارای خطاب کمتری می‌باشد. دقت کلی بدست آمده $81/7$ درصد و ضریب کاپا $0/75$ می‌باشد. همچنین طبقه‌بندی ویژگی بهینه با استفاده از نمودار بازنگاری نرمال شده عوارض انجام گرفت (شکل ۶ ب). تصویر بدست آمده دارای خطاب بسیار زیادی مخصوصاً در کلاس زمین بایر می‌باشد و کلاس‌ها تداخل زیادی با هم دارند. در این بین کلاس مناطق آبی بهتر طبقه‌بندی شده و دارای خطاب کمتری می‌باشد. دقت کلی بدست آمده $80/7$ درصد و ضریب کاپا $0/74$ می‌باشد. اما در ادامه،

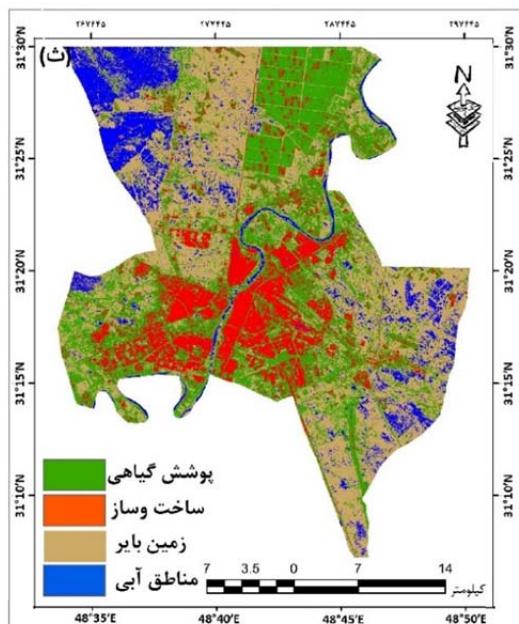
آمده ۸۴/۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۹ می‌باشد.

طبقه‌بندی شده و دارای خطای کمتری می‌باشد. دقت کلی بدست



شکل ۶. (الف) طبقه‌بندی با استفاده از تصویر SAR، (ب) طبقه‌بندی با استفاده ویژگی‌های بافت تصویر SAR انتخاب شده از نمودار، (ج) طبقه‌بندی با استفاده ویژگی‌های بافت تصویر SAR انتخاب شده از OIF، (د) طبقه‌بندی با استفاده از ترکیب ویژگی‌های بافت تصویر SAR انتخاب شده از نمودار با باندهای تصویر SAR

Fig 6. A) Classification using SAR images, B) Classification using SAR image texture characteristics selected from the graph, C) Classification using SAR image texture characteristics selected from OIF, D) Classification using SAR image texture characteristics selected from graph of the SAR bands,



ادامه شکل ۶. ث) طبقه‌بندی با استفاده از ترکیب ویژگی‌های بافت تصویر SAR انتخاب شده از OIF با باندهای اصلی تصویر SAR.

Fig 6. E) Classification using SAR image texture characteristics selected from OIF of the SAR bands.

جدول ۶. ارزیابی نتایج طبقه‌بندی با استفاده از ویژگی بافت.

Table 6. Evaluation of classification results using texture characteristic.

		دقت تولیدکننده (%)						شاخص‌های بافت				طبقه‌بندی
دقت کاربر (%)		زمین	مناطق آبی	پوشش گیاهی	ساخت و ساز	زمین	مناطق آبی	پوشش گیاهی	ساخت و ساز	ضریب کاپا	دقت کلی (%)	
۸۵/۹	۸۰/۷۴	۸۰/۷۷	۸۰/۸۷	۵۸/۲۶	۹۶/۴۶	۸۱/۵۵	۹۱/۰۸	۰/۷۵	۸۱/۷۱	۸۱/۷۱	VV, VH	
۸۷/۹۵	۸۵/۴۸	۷۵/۲۱	۷۵/۹۳	۶۳/۴۸	۹۳/۸۱	۸۵/۴۴	۸۱/۱۹	۰/۷۴	۸۰/۷۸	۸۰/۷۸	باندهای نمودار	
۷۶/۹۶	۹۲/۹۲	۷۵/۸۶	۷۵/۹۳	۶۶/۹۶	۹۲/۹۲	۸۵/۴۴	۸۱/۱۹	۰/۷۵	۸۱/۴۸	۸۱/۴۸	OIF	
۸۷/۲۱	۸۶/۸۹	۸۱/۰۸	۸۲/۳	۶۵/۲۲	۹۳/۸۱	۸۷/۳۸	۹۲/۰۸	۰/۷۹	۸۴/۲۵	۸۴/۲۵	باندهای نمودار و VV, VH	
۸۷/۶۴	۸۶/۷۸	۸۰/۳۶	۸۳/۶۴	۶۷/۸۳	۹۲/۹۲	۸۷/۳۸	۹۱/۰۹	۰/۷۹	۸۴/۴	۸۴/۴	باندهای OIF و VV,VH	

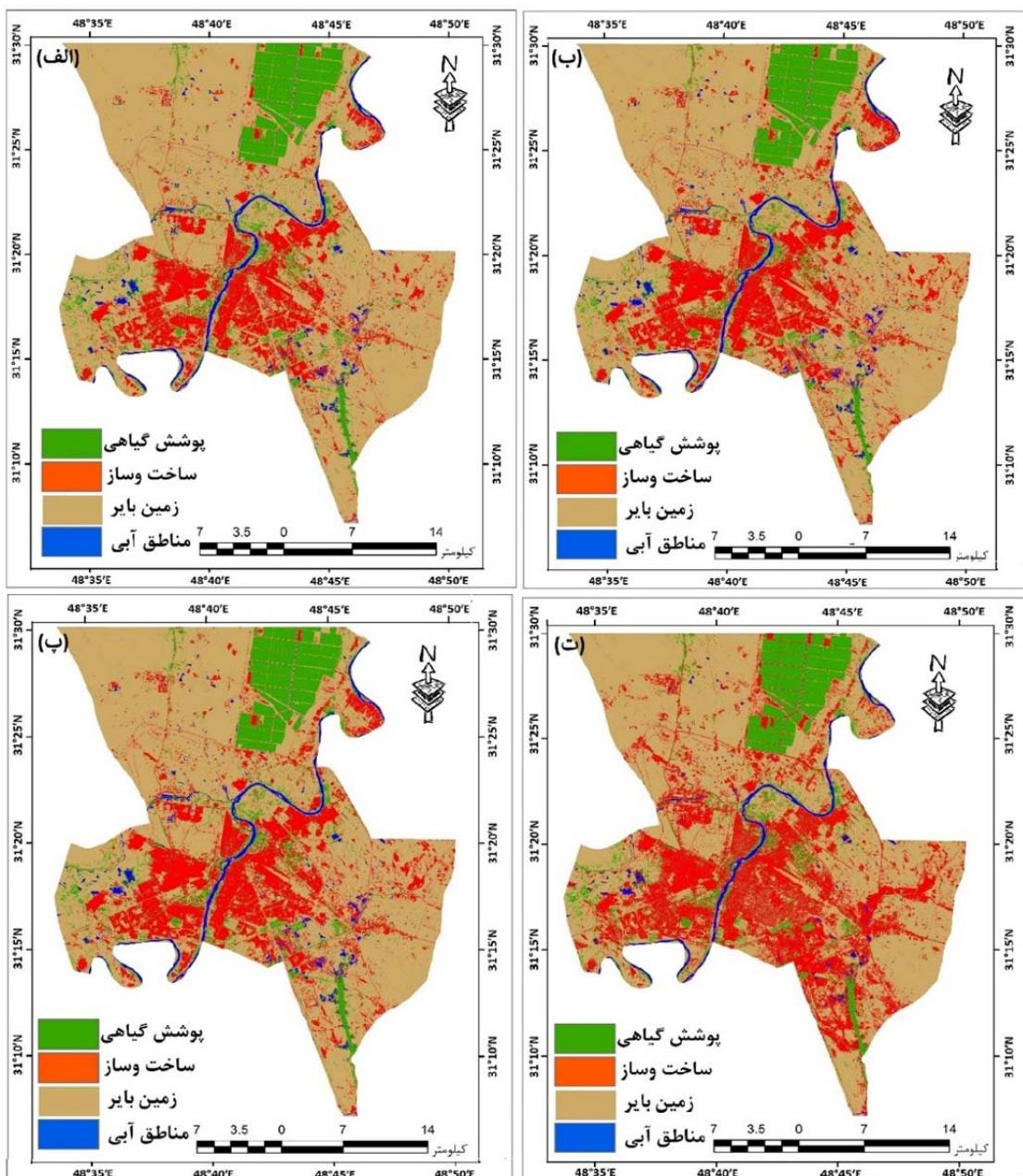
بسیار کمتر می‌باشند (جدول ۷)، هم چنین تداخل بین کلاس‌های پوشش گیاهی و مناطق آبی و زمین بایر کمتر دیده می‌شود. کلاس آب نیز به خوبی تشخیص داده شده است. در کل دقت طبقه‌بندی نسبت به داده‌های راداری بسیار بهتر می‌باشد. دقت کلی بدست آمده ۸۹/۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۶ می‌باشد. با توجه به شکل ۷ ب، در این بخش ویژگی‌ها

طبقه‌بندی با استفاده از تصاویر ستینیل-۲

نتایج طبقه‌بندی با استفاده از تصویر اپتیک که در آن از باندهای ۲ و ۳ و ۴ و ۸ تصویر چند طیفی ستینیل-۲ برای طبقه‌بندی استفاده شده است در شکل ۷ الف آورده شده است. در این طبقه‌بندی نیز همانند طبقه‌بندی داده‌های راداری، خروجی بدست آمده دارای خطای خطای می‌باشد ولی نسبت به روش‌های قبل

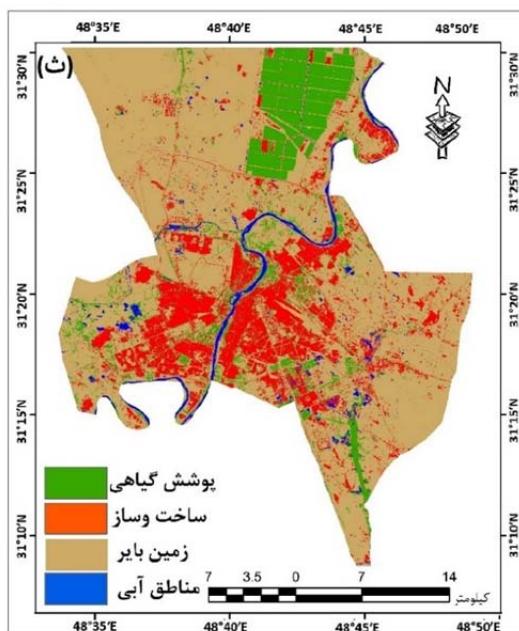
بسیار بهتر می‌باشد. دقت کلی بدست آمده ۹۳/۵ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۱ می‌باشد. همچنین طبقه‌بندی دیگری با استفاده از ترکیب ویژگی‌های طیفی انتخاب شده از نمودار با باندهای اصلی تصویر اپتیک انجام گرفت (شکل ۷ د). در این بخش ویژگی‌ها بهینه طیفی انتخاب شده از نمودار از تصویر چند طیفی سنتینل-۲ (باندهای ۲ و ۳ و ۴ و ۸) برای طبقه‌بندی استفاده گردید. در این طبقه‌بندی خروجی بدست آمده دارای خطای می‌باشد ولی بسیار کمتر می‌باشد، هم چنین تداخل بین کلاس‌ها کمتر دیده می‌شود. کلاس آب و پوشش گیاهی به خوبی تشخیص داده شده است. بیشترین تداخل در کلاس ساخت و ساز و زمین بایر می‌باشد. دقت کلی بدست آمده ۹۴/۲ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۲ می‌باشد. و در نهایت، طبقه‌بندی با استفاده از ترکیب ویژگی‌های بهینه طیفی انتخاب شده از OIF و تصویر چند طیفی سنتینل-۲ (باندهای ۲ و ۳ و ۴ و ۸) انجام گرفت که نتایج آن در شکل ۷ ث نشان داده شده است. در این طبقه‌بندی خروجی بدست آمده دارای خطای می‌باشد ولی بسیار کمتر می‌باشد، هم چنین تداخل بین کلاس‌ها کمتر دیده می‌شود. کلاس آب و پوشش گیاهی به خوبی تشخیص داده شده است. بیشترین تداخل در کلاس ساخت و ساز و زمین بایر می‌باشد. دقت کلی بدست آمده ۹۳/۷ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۱ می‌باشد.

بهینه طیفی انتخاب شده از نمودار از تصویر چند طیفی سنتینل-۲ برای طبقه‌بندی استفاده گردید. نتایج طبقه‌بندی با استفاده از شاخص‌های طیفی انتخاب شده از نمودار که شامل BI، CI، DVI، NDBI، NDTI، SAVI، NDVI، VI و BI2) می‌باشند در شکل ۷ ب نشان داده شده است. در این طبقه‌بندی خروجی بدست آمده دارای خطای کلی می‌باشد همچنین تداخل بین کلاس‌ها کمتر دیده می‌شود. کلاس آب نیز دوباره به خوبی تشخیص داده شده است. بیشترین تداخل در کلاس ساخت و ساز و زمین بایر می‌باشد. در کل دقت طبقه‌بندی نسبت به داده‌های راداری بسیار بهتر می‌باشد. دقت کلی بدست آمده ۹۴/۴۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۲ می‌باشد. در ادامه همچنین ویژگی‌های بهینه طیفی انتخاب شده از OIF از تصویر چند طیفی سنتینل-۲ برای طبقه‌بندی استفاده گردید. نتایج طبقه‌بندی با استفاده از شاخص‌های طیفی انتخاب شده از نمودار (DVI و MNDWI، NDVI، BI2، BI، NDWII) در شکل ۷ ج نشان داده شده است. در این طبقه‌بندی خروجی بدست آمده دارای خطای کمتر می‌باشد همچنین تداخل بین کلاس‌های پوشش گیاهی و مناطق آبی، زمین بایر کمتر دیده می‌شود. کلاس آب نیز دوباره به خوبی تشخیص داده شده است. بیشترین تداخل در کلاس ساخت و ساز و زمین بایر می‌باشد. در کل دقت طبقه‌بندی نسبت به داده‌های راداری



شکل ۷. (الف) طبقه بندي با استفاده از تصویر اپتیک، (ب) طبقه بندي با استفاده ویژگی های بهینه طیفی تصویر اپتیک انتخاب شده از نمودار، (ج) طبقه بندي با استفاده ویژگي های طيفي تصویر اپتيک انتخاب شده از OIF، (د) طبقه بندي با استفاده از ترکيب ویژگي های طيفي انتخاب شده از نمودار با باندهای اصلی تصویر اپتيک،

Fig 7. A) Classification using optical images, B) Classification using the optimal spectral characteristics of optical image selected from the graph, C) Classification using the optimal spectral characteristics of optical image selected from the OIF, D) Classification using the combination of spectral characteristics selected from the graph with the main bands of optical image,



ادامه شکل ۷. ث) طبقه‌بندی با استفاده از ترکیب ویژگی‌های طیفی انتخاب شده از OIF با باندهای اصلی تصویر اپتیک.

Fig 7. E) Classification using the combination of spectral characteristics selected from the OIF with the main bands of optical image.

جدول ۷. ارزیابی نتایج طبقه‌بندی با استفاده از ویژگی طیفی.

Table 6. Evaluation of classification results using spectral characteristic.

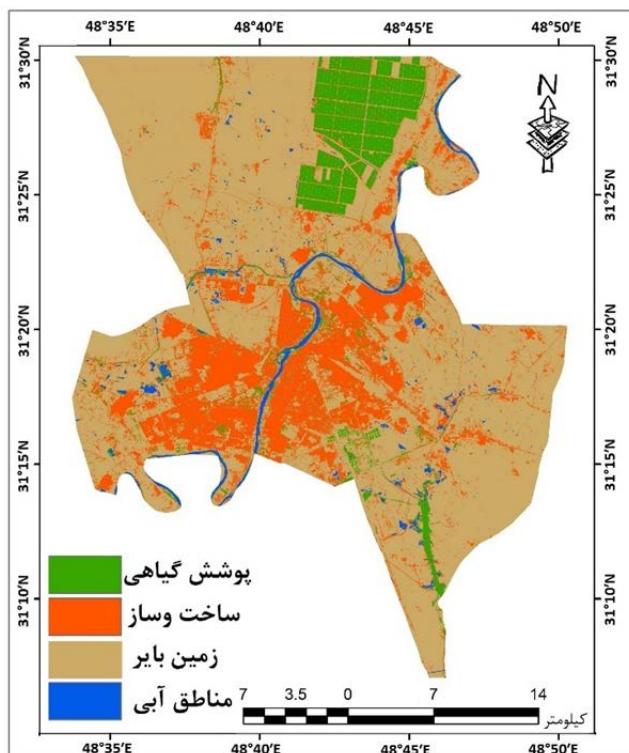
		دقت کاربر (%)				دقت تولیدکننده (%)				شاخص‌های طیفی		
طبقه بندی	باندهای	زمین	مناطق	پوشش	ساخت	زمین	مناطق	پوشش	ساخت	ضریب کاپا	دقت کلی (%)	
باندها	باندهای	۸۸/۴۲	۹۵/۲۶	۹۴/۲	۷۳/۹۵	۷۳/۰۴	۹۳	۹۲/۵	۸۷/۱۳	۰/۸۶	۸۹/۸۱	۲۳۴۸
باندهای	نمودار	۸۹/۶۶	۹۶/۰۱	۹۵/۱	۸۸/۸۹	۹۰/۴۳	۹۵/۲۵	۹۵/۷	۸۷/۱۳	۰/۹۲	۹۴/۴۴	
باندهای	OIF	۸۶/۲۹	۹۴/۴۱	۹۴/۶۸	۹۱/۰۱	۹۳/۰۴	۹۴/۲	۹۳/۲۶	۸۰/۲۰	۰/۹۱	۹۳/۵۱	
باندهای	نمودار و باند ۲ و ۴ و ۳	۹۱/۱۵	۹۴/۴۱	۹۶/۱	۸۸	۸۹/۵۷	۹۴/۲۶	۹۴/۶۸	۸۷/۱۳	۰/۹۲	۹۴/۲۱	۲
باندهای	OIF و باند ۲ و ۳ و ۴ و ۸	۸۸/۱۴	۹۵/۲۶	۹۵/۲۷	۸۰/۵۴	۹۰/۴۳	۹۴/۶۵	۹۴/۵۶	۸۴/۱۶	۰/۹۱	۹۳/۷۵	۳ و ۲ و ۳ و ۸
طبقه بندی با استفاده از تلفیق تصاویر در این پژوهش با تلفیق بهترین ترکیب باندهای راداری سنتینل - ۱ و بهترین ترکیب باندهای تصویر چندطیفی سنتینل - ۲											۲	

۲ طبقه‌بندی انجام شد. بدین منظور با توجه به ارزیابی نتایج بدست آمده بهترین ترکیب باندهای مشخص شده و با استفاده از الگوریتم Gram-Schmidt تلفیق انجام داده و طبقه‌بندی به

طبقه‌بندی با استفاده از تلفیق تصاویر در این پژوهش با تلفیق بهترین ترکیب باندهای راداری سنتینل - ۱ و بهترین ترکیب باندهای تصویر چندطیفی سنتینل -

بین کلاس‌ها کمتر دیده می‌شود. تنها تداخل کمی بین کلاس زمین بایر و کلاس ساخت و ساز مشاهده می‌شود. دقت کلی بدست آمده ۹۷/۰۷ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۶ می‌باشد.

روش ماشین بردار پشتیبان پیاده‌سازی گردید (شکل ۸). در این طبقه‌بندی خروجی بدست آمده دارای کمترین خطای می‌باشد. کلاس‌های مختلف به خوبی طبقه‌بندی شدند، هم چنین تداخل



شکل ۸ طبقه‌بندی با تلفیق بهترین ترکیب ویژگی‌ها.

Fig 8. Classification by using the best composition of features.

جدول ۸ ارزیابی نتایج طبقه‌بندی با استفاده از تلفیق ویژگی‌های بافت و طیفی.

Table 8. Evaluation of classification results using texture and spectral characteristics.

طبقه‌بندی	تلفیق آماره‌های بافت با شاخص‌های طیفی									
	دقت کلی	ضریب کاپا	ساخت و ساز	پوشش گیاهی	مناطق آبی	زمین بایر	مناطق	پوشش	ساخت	دقت کاربر
تلفیق بهترین										
ترکیب بافت	٪۹۷.۰۷۳۲	۰.۹۶۱۰	۹۳.۱۴	۹۵.۷۱	۱۰۰.۰۰	۹۹.۳۶	۹۵.۰۰	۹۰.۳۶	۹۶.۲	۹۳.۶۷
با بهترین										
ترکیب طیفی										

دقت و صحت بیشتر تلفیق کرده‌اند (۴). هدف از پژوهش حاضر دست یابی به دقت بالا در طبقه‌بندی پوشش زمین با استفاده از تلفیق بهترین ویژگی بافت تصویر SAR و بهترین ویژگی طیفی تصویر سنتینل-۲ می‌باشد. این هدف با استخراج ویژگی‌های بافت با استفاده از ماتریس رخداد هم‌مان از تصویر راداری سنتینل-۱ و شاخص‌های طیفی از تصویر سنتینل-۲ اعمال گردید. در این پژوهش برای انتخاب ویژگی‌های بهینه برای تولید نقشه پوشش زمین از دو روش استفاده شد. روش اول بازتاب نرمال شده عوارض با توجه به ویژگی‌های استخراج شده و روش دوم اعمال شاخص ضربی بهینه (OIF) بروی ویژگی‌های بافت و طیفی استخراج شده می‌باشد. به این منظور فرایند طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین بردار (SVM)، بروی تصویر راداری سنتینل-۱ و تصویر چندطیفی سنتینل-۲ انجام گرفت. ویژگی‌های بهینه انتخاب شده بادو روش آن و ترکیب باندهای تصویر با ویژگی‌های بهینه انتخاب شده با دو روش آن طبقه‌بندی صورت گرفت. و در آخر با تلفیق بهترین ترکیب باندهای رادار و اپتیک انجام گرفت. الگوریتم استفاده شده در این تحقیق Gram-Schmidt که یکی الگوریتم‌های تلفیق در سطح پیکسل می‌باشد، برخلاف تبدیل فضای رنگی IHS در تعداد باندهای طیفی که می‌توانند در یک زمان از طریق این تبدیل پردازش شوند، محلودیتی وجود ندارد. از ماتریس خطای حاصل مقایسه پیکسل‌های واقعیت زمین و پیکسل‌های متناظر در خروجی روش‌های طبقه‌بندی پوشش زمین است، پارامترهای دقت کلی، ضربی کاپا، دقت تولیدکننده و دقت کاربر برای کلیه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش برآورد شدند. با توجه به نتایج بدست آمده، با تلفیق ویژگی‌های اپتیک و رادار دقت کلی ۹۷/۰۷ درصد و ضربی کاپای ۹۶/۰ طبقه‌بندی بهبود داده شد.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه داده‌های ماهواره‌ای در سنجش از دور به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبقه‌بندی و تفکیک پوشش زمین از مهم‌ترین کاربردهای سنجش از دور در این راستا است. برای کاربردهای طبقه‌بندی، داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی ابزاری کارآمد می‌باشند، اما متناسبانه در برخی از شرایط، مانند آب و هوای ابری در دسترس نیستند. این مشکل را می‌توان با داده‌های SAR حل کرد. اخیراً قدرت تفکیک مکانی و زمانی داده‌های رادار بهبود پیدا کرده است. اکثر الگوریتم‌های طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور بر اساس ویژگی‌ها و اطلاعات طیفی پیکسل‌ها عمل می‌کنند. این مسئله باعث نادیده گرفتن اطلاعات مکانی مفید قابل استخراج از این تصاویر، مانند؛ بافت تصاویر می‌شود. گاهی اطلاعات بافت بدست آمده از داده‌ی راداری را می‌توان به صورت یک لایه اطلاعاتی اضافی برای تفکیک کلاس‌هایی که شباهت طیفی دارند، استفاده کرد. استفاده هم زمان از بافت و اطلاعات طیفی مبحثی است که به آن کمتر پرداخته شده است. بر این اساس با تلفیق داده‌های طیفی و راداری می‌توانیم از ویژگی‌های متفاوت هر کدام استفاده کرده و به نتایج بهتری دست پیدا کنیم. طبقه‌بندی حاصل از تلفیق دو سنجنده سنتینل-۱ و ۲ دارای صحت بهتری نسبت به نتایج بدست آمده از طبقه‌بندی تصاویر سنتینل-۱ و سنتینل-۲ بصورت جداگانه می‌باشند. همچنین استفاده از تصاویر سری زمانی قابلیت بالایی در تفکیک محصولات کشاورزی دارند و آمار حاصل از این روش‌ها با آمار زمینی توافق بالایی دارد. در این میان پلاریزاسیون VH سنتینل-۱ نیز دارای سهم پوشش گیاهی قوی می‌باشد و به خوبی با شاخص NDVI قابلیت تلفیق دارد (۳). محققان دیگری نیز تصاویر ماهواره‌ای مختلف را به منظور دستیابی به

منابع مورد استفاده

Albregtsen F. 2008. Statistical texture measures computed from gray level cooccurrence matrices. Image processing laboratory, department of informatics, university of oslo. 14pp.

Cervantes J, Garcia-Lamont F, Rodríguez-Mazahua L, Lopez A. 2020. A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends. Neurocomputing, 408: 189-215

- Clerici N, Valbuena Calderón C, Posada J. 2017. Fusion of Sentinel-1A and Sentinel-2A data for land cover mapping: a case study in the lower Magdalena region, Colombia. *Journal of Maps*, 13(2), 718-726.
- Congalton RG, Green K. 2019. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC press. 200pp.
- Dihkan M, Guneroglu N, Karsli F, Guneroglu A. 2013. Remote sensing of tea plantations using an SVM classifier and pattern-based accuracy assessment technique. *International Journal of Remote Sensing*, 34(23), 8549-8565.
- Filipponi F. 2019. Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. The 3rd International Electronic Conference on Remote Sensing (ECRS 2019), 22 May–5 June, Vol. 3.
- Haas J, Ban Y. 2017. Sentinel-1A SAR and sentinel-2A MSI data fusion for urban ecosystem service mapping. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, 41-53.
- Haghigat M, Zonouz S, Abdel-Mottaleb M. 2013. Identification using encrypted biometrics. In *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 440-448.
- Hamidi M, Homayouni S, Safari A, Hasani H. 2024. Deep learning based crop-type mapping using SAR and optical data fusion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 129, 103860. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103860>.
- Han, S, Li H, Gu H. 2008. The study on image fusion for high spatial resolution remote sensing images. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. XXXVII. Part B*, 7, 1159-1164.
- Hoseinpour S, Mohammadzadeh A, Eslami M. 2017. Evaluation of the Textural Statistics of the Gray Level Co-Occurrence Matrix Performance for Change Detection. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 6(3), 119-129.
- Houcay G, Dingqi Y, Hanzeuy X, Lorenzo B. 2024. OBSUM: An object-based spatial unmixing model for spatiotemporal fusion of remote sensing images. *Remote Sensing of Environment*. 304, 114046. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114046>.
- Hu J, Ghamisi P, Zhu X. 2018. Feature extraction and selection of sentinel-1 dual-pol data for global-scale local climate zone classification. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(9), 379.
- Ienco D, Interdonato R, Gaetano R, Minh D. H. T. 2019. Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 Satellite Image Time Series for land cover mapping via a multi-source deep learning architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 158, 11-22.
- Jafar Biglou M, Saman N, Kamyar E, Fatmeh M. 2018. Investigation and prediction of land use changes for lands under the influence of sand dunes in the eastern of the city of Boshrooyeh using Remote Sensing and Geographic Information System, 6(3), 117-134. (In Persian)
- Jalby W, Philippe B. 1991. Stability analysis and improvement of the block Gram-Schmidt algorithm. *SIAM journal on scientific and statistical computing*, 12(5), 1058-1073.
- Joshi N, Baumann M, Ehammer A, Fensholt R, Grogan K, Hostert P, Waske B. 2016. A review of the application of optical and radar remote sensing data fusion to land use mapping and monitoring. *Remote Sensing*, 8(1), 70.
- Kabulizadeh M, Rangzan K, Mohammadi Sh. 2017. Application of combining Landsat-8 and Sentinel-2 satellite images in environmental monitoring. *Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources*, 9(3), 53-71. (In Persian)
- Kim C. 2016. Land use classification and land use change analysis using satellite images in Lombok Island, Indonesia. *Forest Science and Technology*, 12(4), 183-191.
- Kong Y, Hong F, Leung H, Peng X. 2021. A Fusion Method of Optical Image and SAR Image Based on Dense-UGAN and Gram-Schmidt Transformation. *Remote Sensing*, 13(21), 4274.
- Kranjčić N, Medak D, Župan R, Rezo M. 2019. Support vector machine accuracy assessment for extracting green urban areas in towns. *Remote Sensing*, 11(6), 655.
- Lee J, Grunes M, Ainsworth T, Du L, Schuler, D, Cloude S. 1999. Unsupervised classification using polarimetric decomposition and the complex Wishart classifier. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(5), 2249-2258.
- Ling J, Zhang H, Lin Y. 2021. Improving Urban Land Cover Classification in Cloud-Prone Areas with Polarimetric SAR Images. *Remote Sensing*, 13(22), 4708.
- Maleknejad Yazdi A, Ghasemian H, Cesei V, Shahesvari A, Kosha H. 2014. Investigating the improvement of classification accuracy using single-band ALI image fusion with Hyperion hyperspectral images. *Iran Remote Sensing and GIS*, 7(3), 65-82. (In Persian)
- Mathur A, Foody G. 2008. Multiclass and binary SVM classification: Implications for training and classification users. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 5(2), 241-245.
- Mavroforakis M, Theodoridis S. 2006. A geometric approach to support vector machine (SVM) classification. *IEEE transactions on neural networks*, 17(3), 671-682.
- Mohammad Nejad Niazi S, Mokhtar Zade M, Saeed Zadeh F. 2016. A Novel IHS-GA Fusion Method Based on Enhancement Vegetated Area. *JGST, Journal of Geomatics Sciences and Techniques*, 6 (1), 235-248. (In Persian)

- Nadizadeh Shorabeh S, Attarchi S, Minaei, F. 2020. Evaluation of the Capability of Polarimetric Radar Bands to Extract Biophysical Properties of the Earth's Surface. *Physical Geography Research Quarterly*, 52(1), 147-164. (In Persian)
- Nadizadeh Shorabeh S, Hamzeh S, Kiavarz M, Afsharipoor S. 2018. Effects of Spatial and Temporal Land Use Changes and Urban Development on the Increase of Land Surface Temperature Using Landsat Multi-Temporal Images (Case study: Gorgan City). *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 6(3), 545-568. (In Persian)
- Orynbaykazy A, Gessner U, Conrad C. 2019. Crop type classification using a combination of optical and radar remote sensing data: A review. *International journal of remote sensing*, 40(17), 6553-6595.
- Palubinskas G, Reinartz P, Bamler R. 2010. Image acquisition geometry analysis for the fusion of optical and radar remote sensing data. *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(3), 271-282.
- Pereira L, D O, Freitas C, Sant' Anna S, Lu, D, Moran E. 2013. Optical and radar data integration for land use and land cover mapping in the Brazilian Amazon. *GIScience, remote sensing*, 50(3), 301-321.
- Potin P, Rosich B, Grimont P, Miranda N, Shurmer I, O'Connell A, Krassenburg M. 2016. Sentinel-1 mission status. In *Proceedings of EUSAR 2016: 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar* (pp. 1-6). VDE.
- Rangzan K, Kabolizadeh M, Karimi D, Zareie S. 2019. Supervised cross-fusion method: a new triplet approach to fuse thermal, radar, and optical satellite data for land use classification. *Environmental monitoring and assessment*, 191(8), 1-12.
- Saraskanrood S, khodabandelo B, Naseri A, moradi A. 2019. Extracting Land Use Map based on a comparison between Pixel-Based and Object-Oriented Classification Methods Case Study: Zanjan City, *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(110), 195-208. (In Persian)
- Sarzynski T, Giam X, Carrasco L, Lee J. 2020. Combining radar and optical imagery to map oil palm plantations in Sumatra, Indonesia, using the Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(7), 1220.
- Shakriyari M, Ehsani A, Afsari R. 2018. Determination of optimal method of classification and mapping of land cover with a comparison of artificial neural network and support vector machine algorithms by satellite data Case study: (international Hamoun wetland). *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(79), 193-208. (In Persian)
- Shao Z, Wu W, Guo S. 2020. IHS-GTF: A fusion method for optical and synthetic aperture radar data. *Remote Sensing*, 12(17), 2796.
- Sicre C. M, Fieuzaal R, Baup F. 2020. Contribution of multispectral (optical and radar) satellite images to the classification of agricultural surfaces. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 84, 101972.
- Tao Z, Jun L, Keming Y, Wenshan L, Yuyu Z. 2015. Fusion algorithm for hyperspectral remote sensing image combined with harmonic analysis and gram-schmidt transform. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 44(9), 1042.18(1), 11.
- Teimouri M, Mokhtarzade M, Valadan Z. 2017. Building Detection in Urban Areas using Features Fusion of Optical and Radar Images in Neural Networks, *Journal of Geospatial information technology*, 4 (4), 33-51. (In Persian)
- Tewabe D, Fentahun T. 2020. Assessing land use and land cover change detection using remote sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia. *Cogent Environmental Science*, 6(1), 1778998.
- Wang L, Jia Y, Yao Y, Xu D. 2019. Accuracy Assessment of Land Use Classification Using Support Vector Machine and Neural Network for Coal Mining Area of Hegang City, China. *Nature Environment, Pollution Technology*, 18(1).
- Wu R, Liu G, Zhang R, Wang X, Li Y, Zhang B, Xiang, W. 2020. A Deep Learning Method for Mapping Glacial Lakes from the Combined Use of Synthetic-Aperture Radar and Optical Satellite Images. *Remote Sensing*. 12(24), 4020. <https://doi.org/10.3390/rs12244020>
- Yilmaz V, Serifoglu Yilmaz C, Güngör O, Shan J. 2020. A genetic algorithm solution to the gram-schmidt image fusion. *International Journal of Remote Sensing*, 41(4), 1458-1485.
- Yu H, Kim S. 2012. SVM Tutorial-Classification, Regression and Ranking. *Handbook of Natural computing*, 1, 479-506.
- Yue S, Li P, Hao P. 2003. SVM classification: Its contents and challenges. *Applied Mathematics-A Journal of Chinese Universities*, 18(3), 332-342.
- Zhang H, Li J, Wang T, Lin H, Zheng Z, Li Y, Lu Y. 2018. A manifold learning approach to urban land cover classification with optical and radar data. *Landscape and Urban Planning*, 172, 11-24.



Identification and separation of land covers by fusion of optical and radar images

Mostafa Kabolizadeh^{1*}, Zareie Sajad¹, Khanaferah Rahman²

Received: 2022-11-24 / Accepted: 2023-01-28 / Published: 2025-07-22

Abstract

Classification and separation of land cover is one of the most important applications of remote sensing. To perform classification, multispectral satellite data are an efficient tool, but unfortunately, they are not available in some conditions, such as cloudy weather. Also, most remote sensing data classification algorithms operate based on the characteristics and spectral information of pixels, which causes the useful spatial information that can be extracted from the images to be ignored, including; The texture of the pictures. The simultaneous use of texture and spectral information is a topic that has been less discussed. Therefore, considering this idea, two methods were used to select the optimal features for preparing the land cover map.

Mostafa Kabolizadeh¹(✉), Zareie Sajad¹, Khanaferah Rahman²

1. Assistant professor of Remote Sensing and GIS department, Earth Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Master's student in Remote Sensing and GIS department, Earth Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

DOI: DOI: 10.30495/girs.2023.1975829.2031

e-mail: m.kabolizade@scu.ac.ir

The first method is the normalized reflection of complications according to the extracted features and the second method is applying the Optimum Index Factor on the extracted textural and spectral features. For this purpose, the classification process using the Support Vector Machine method, on the Sentinel-1 radar image and the Sentinel-2 multispectral image, the optimal features selected by the two methods and the combination of image bands with the optimal features selected by It was done by two methods and finally by combining the best combination of radar and optical bands. According to the obtained results, the classification using spectral features is more accurate than the classification using texture features. By combining the optical and radar features and obtaining values of 97.07% for the overall accuracy and 0.96% for the Kappa coefficient, the classification accuracy was improved to a great extent. This research showed that by choosing optimal features and combining spectral and radar data, different features of each data can be used and better results can be achieved. Also, the combination of texture feature from radar image and spectral feature from optical image can have a very good effect in improving the results of land cover classification.

Background and purpose: Today, satellite data are widely used in remote sensing. Identification of phenomena in the field of urban development management, natural resources and environment has a special position. Preparing a correct and accurate map of land use and using an appropriate and up-to-date method has become a very important issue. In the past, the usual methods of land collection were not economical in terms of time, cost and manpower, but with the advent of remote sensing technology, while reducing the difficulties of field visits to the lowest level, it has been able to provide a comprehensive and accurate view due to the wide coverage of satellites. To provide study sites for users. The present study was carried out with the aim of distinguishing land cover in Ahvaz city. Considering the fact that most remote sensing data classification algorithms operate based on the characteristics and spectral information of pixels, and this problem ignores useful spatial information that can be extracted from images, including; The texture of the pictures. The simultaneous use of texture and spectral information is a topic that has been less discussed. Therefore, considering this idea, the current research was conducted with the aim of choosing the best combination of spectral and textural features to improve the accuracy of land cover classification.

Materials and methods: The data used in the present research include Sentinel-1 satellite images related to June 18, 1400 and Sentinel-2 related to June 19, 1400. The captured images need pre-processing, so first the necessary pre-processing including atmospheric correction (Sentinel-2 image) was applied using Sen2core method. The most important pre-processing steps that were performed on Sentinel-1 images are zero sigma calibration, speckle filter, correction of the unevenness of the ground and conversion to dB unit. It should be noted that all pre-processing was applied to the images in SNAP. In the second step, spectral and textural features were extracted from the used images and the optimal features were determined, and in the third step, the optimal features were combined using the Schmidt-Gram algorithm. In the fourth step, different land cover maps were prepared using the support vector machine classification method in ENVI 4.8 software environment. Finally, in the fifth step,

each of the prepared coverage maps were evaluated using the general accuracy indices, Kappa coefficient, manufacturer's accuracy and user's accuracy.

Results and discussion: In this research, two methods of optimum index coefficient and normal reflection diagram of complications were used in order to select optimal characteristics. In the first method (optimal index coefficient), according to the highest value of the optimum index coefficient, 3 features were used for each of the spectral and texture features, and these features are moment contact angle-VH and contrast-Vh and moment contact angle. -VV. Among the spectral indices, 3 indices that had the highest value of the optimal coefficient index were selected as the optimal feature for classification. These indices are NDWI, BI2 and NDVI. In the second method (normalized reflection diagram of complications), 50 samples were selected for each class and the average of its reflection in the desired features was taken, then after normalizing the reflection values, it was shown as a graph. Among the 16 texture statistics extracted from the Sentinel-1 image, variance statistics in VH polarization, variance statistics in VV polarization, mean statistics in VV polarization and momentary contact angle statistics in VV polarization due to the lower correlation value and as a result, the ability to separate more complications to perform Classification was selected. Among the 14 spectral indices extracted from the Sentinel-2 image, the BU, MNDWI, NDBI and NDWI2 spectral indices were removed due to the great similarity in the spectral reflectance curve, and the classification was done with 10 other indices. In this research, classification was done by combining the best combination of Sentinel-1 radar bands and the best combination of Sentinel-2 multispectral image bands. For this purpose, according to the evaluation of the obtained results, the best combination of bands was identified and combined using the Gram-Schmidt algorithm, and the classification was implemented using the support vector machine method (Figure 8). In this classification, the obtained output has the least error. Different classes were well classified, also the interference between classes is less visible. There is only a slight overlap between the barren land class and the construction class. The overall

accuracy obtained is 97.07% and the kappa coefficient is 0.96.

Conclusion: The aim of this research is to achieve high accuracy in land cover classification by combining the best texture feature of SAR image and the best spectral feature of Sentinel-2 image. This goal was implemented by extracting the texture features using the Hammarman occurrence matrix from the Sentinel-1 radar image and spectral indices from the Sentinel-2 image. In this research, two methods were used to select the optimal features for the production of the land cover map. The first method is the normalized reflection of complications according to the extracted features, and the second method is applying the optimal factor index (OIF) on the extracted spectral texture features. For this purpose, the classification process was performed using the vector machine (SVM) method on Sentinel-1 radar image and Sentinel-2 multispectral image. The optimal features selected by its method and the combination of image bands

with the optimal features selected by its two methods were classified. And finally, it was done by combining the best combination of optical radar bands. The Gram-Schmidt algorithm used in this research, which is one of the integration algorithms at the pixel level, unlike the IHS color space conversion, there is no limit in the number of spectral bands that can be processed at one time through this conversion. From the error matrix, which is the result of the comparison of ground reality pixels and the corresponding pixels in the output of land cover classification methods, parameters of overall accuracy, kappa coefficient, manufacturer's accuracy and user's accuracy were estimated for all the methods used in this research. According to the obtained results, the overall accuracy of 97.07% and Kappa coefficient of 0.96 was improved by combining the optical and radar features.

Keywords: Texture features, land covers in urban environments, classification, support vector machine (SVM) method, feature selection.

Please cite this article as: Kabolizadeh, Mostafa, Zareie, Sajad, Khanaferah, Rahman. (2025). Identification and separation of land covers by optical and RADAR image fusion . *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 16(2): 106-132.