

تولید نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای Sentinel-2 در سامانه Google Earth Engine

حسین محمدزاده صدیق^{۱*}، میثم داودآبادی فراهانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

چکیده

تولید نقشه پوشش زمین در مناطقی با تنوع زیاد عوارض، انواع استفاده از زمین، کشت متناوب، قطعات کوچک زمین‌های کشاورزی چالش‌های زیادی را منجر می‌شود. استخراج ویژگی‌های مناسب کمک بسزایی به جداسازی انواع مختلف پوشش زمین می‌کند. امروزه با توسعه تکنولوژی رایانش ابری، شرکت گوگل پلتفرمی آنلاین بر مبنای رایانش ابری توسعه داده است که پردازش داده‌های بزرگ^۳ سنجش از دور را بسیار آسان و کم‌هزینه کرده است. هدف از این پژوهش تولید نقشه پوشش زمین با استفاده از قابلیت‌های پلتفرم رایانش ابری گوگل ارث انجین (GEE^۴)، شامل الگوریتم قطعه‌بندی^۵، الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی (RF^۶) و سری زمانی تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در استان قم است. در این مطالعه در مجموع ۵۱۴۵ نمونه دستی برای آموزش و صحت سنجی جمع آوری شده است. بر مبنای نتایج ارزیابی، صحت کلی طبقه‌بندی ۹۵/۱ درصد و ضریب کاپا ۹۴/۳ درصد است که نشان دهنده صحت بالا طبقه‌بندی می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به کارگیری سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های کاهش ابعاد ویژگی، محاسبه اطلاعات بافت تصاویر و استفاده از روش‌های قطعه‌بندی تصاویر می‌توانند در تولید نقشه پوشش زمین با دقت مناسب، بسیار مفید باشند.

واژگان کلیدی: سنجش از دور، نقشه پوشش زمین، سنتینل-۲، الگوریتم جنگل تصادفی، گوگل ارث انجین، قطعه‌بندی تصویر.

^۱ دانشجوی ترم آخر کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری گرایش سنجش از دور، دانشگاه حکمت

^۲ استادیار موسسه آموزش عالی حکمت قم

^۳ Big Data

^۴ Google Earth Engine

^۵ Segmentation

^۶ Random Forest

مقدمه

امروزه با افزایش جمعیت و توسعه جوامع انسانی بهره برداری از منابع طبیعی افزایش چشم گیری یافته است (Sikarwar and Chattopadhyay 2016). یکی از راه های دستیابی به اطلاعات از وضعیت سرزمین، تولید نقشه های پوشش و کاربری اراضی است. نقشه های کاربری و پوشش اراضی علاوه بر نشان دادن ظرفیت های وضعیت فعلی سرزمین، برحسب زمان تهیه، اطلاعات مفیدی را از وضعیت پوشش اراضی در گذشته در اختیار متخصصین قرار داده و بدین طریق آن ها علاوه بر مطالعه روند تخریب منابع محیطی از گذشته تا به حال، می توانند برای استفاده درست از این منابع در آینده مطابق با نیاز جوامع برنامه ریزی کنند (Liu et al. 2005). در دهه های اخیر، فن سنجش از دور از جمله تکنیک های قابل توجه در امر تهیه اطلاعات از زمین بوده است. استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره ای نیازمند دانش درباره چگونگی رفتار عوارض سطح زمین در طول موج های مختلف امواج الکترومغناطیس است، لذا بر همین اساس می توان آن ها را در کلاس هایی جداگانه طبقه بندی کرد. به دنبال تغییرات مداوم سیمای زمین در اثر فعالیت های بشر، هر ساله نیاز به روز رسانی نقشه های پوشش زمین امری ضروری است. استفاده از داده های سنجش از دور ماهواره ای به عنوان منبعی ایده آل از نظر سرعت، دقت و هزینه، به منظور مطالعات سطح زمین مورد توجه مدیران و محققان حوزه های مختلفی که نیاز به اطلاعات پوششی از سطح زمین دارند، قرار گرفته است (سیدی و همکاران ۱۳۹۸). در حال حاضر بهترین تصاویر ماهواره ای رایگان از لحاظ قدرت تفکیک مکانی و زمانی مربوط به ماهواره سنتینل-۲ است. با پیشرفت تکنولوژی رایانش ابری گوگل و بهره گیری از قابلیت های ماهواره سنتینل-۲ امکان تولید نقشه های پوشش زمین با قدرت تفکیک مکانی بالا با کم ترین هزینه ممکن فراهم شده است. هدف اصلی از تحقیق حاضر تولید نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنتینل-۲ است. به منظور تولید نقشه پوشش زمین با دقت مناسب با توجه به مشکلات پیش رو هنگام جداسازی کلاس های اصلی و زیر کلاس ها در منطقه مورد مطالعه، اهداف اصلی در این تحقیق را می توان به شرح موارد فوق در نظر گرفت: نیاز به تصاویر چند زمانه از منطقه مورد مطالعه برای بهره گیری از رفتار طیفی پدیده ها در طی زمان، لزوم ایجاد مجموعه داده ای ترکیبی^۷ با قدرت تفکیک زمانی یک ماهه را روشن می سازد. استخراج ویژگی های منحصر به فرد برای جداسازی کلاس های اصلی و زیر کلاس ها در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مجموعه داده تولید شده و دیگر داده های کمکی نظیر مدل رقومی ارتفاعی^۸، توسعه الگوریتم قطعه بندی مناسب در بستر GEE به منظور قطعه بندی ویژگی های استخراج شده و تولید اشیا یی که از نظر خصوصیات طیفی شبیه هم باشند. انتخاب طبقه بندی مناسب برای طبقه بندی ویژگی های استخراج شده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲.

روش استفاده شده در تحقیق حاضر به طور خلاصه شامل مراحل زیر است:

استانداردسازی و تعیین لیست کلاس های پوشش زمین در منطقه جهت برداشت نمونه های آموزشی از کلاس های تعریف شده. تولید تصاویر ترکیبی با قدرت تفکیک زمانی ماهانه از تصاویر سنتینل-۲ به منظور حذف اثر پوشش ابر. استخراج ویژگی های منحصر به فرد از تصاویر ترکیبی تولید شده برای جداسازی کلاس های پوشش زمین در منطقه. اجرای الگوریتم قطعه بندی بر روی ویژگی های استخراج شده به منظور ایجاد اشیا یی با خصوصیات مشترک. انتخاب الگوریتم مناسب از نظر سرعت و دقت عملکرد به منظور طبقه بندی ویژگی های استخراج شده برای تولید نقشه پوشش زمین.

پوشش زمین، طبق تعریف سازمان غذا و کشاورزی (FAO)^۹ به پوشش (بیو) فیزیکی مشاهده شده سطح زمین که توسط ویژگی های طبیعی مانند پوشش گیاهی، آب، سطوح غیر قابل نفوذ و سازه های مصنوعی بشر ساخت پوشیده شده است، اطلاق می گردد (Rozenstein and Karnieli 2011). تهیه نقشه پوشش زمین نیازمند مدل مفهومی و استانداردسازی است تا بتوان این نقشه های را به نحو مناسب استفاده نموده و همچنین قابلیت تکرار و تفسیر را دارا باشند. از مهم ترین استانداردهای تهیه شده برای نقشه های پوشش زمین می توان به دو استاندارد طبقه بندی فائو و اندرسون (سیستم سازمان زمین شناسی ایالات متحده) اشاره نمود که در سطح وسیع استفاده شده اند.

⁷ Composite

⁸ Digital Elevation Model

⁹ Food and Agriculture Organization

سامانه ابری گوگل ارث انجین (Google Earth Engine)

گوگل ارث انجین (GEE) یک سامانه سنجش از دور تحت وب است که به منظور پردازش حجم بالایی از تصاویر ماهواره‌ای در یک مقیاس وسیع و در کمترین زمان ممکن طراحی شده است (Sidhu, Pebesma, and Câmara 2018). از جمله مزایای مهم سامانه GEE استفاده آسان از این سامانه و همین‌طور دسترسی به حجم وسیعی از اطلاعات سنجش از دور است (Sidhu, Pebesma, and Câmara 2018). این توانایی موجب شده است که کاربران متعددی از سامانه GEE در ارتباط با پروژه‌های مختلفی از قبیل پروژه جهانی تهیه نقشه کاربری زمین (MC Hansen et al. 2013) و پروژه بررسی پوشش‌های جنگلی در مقیاس جهانی (Zanin and Sillère 2015) به نحو فزاینده‌ای استفاده به عمل آورند.

از جمله قابلیت‌های این سامانه استفاده از زبان‌های برنامه‌نویسی Javascript و Python است. همچنین می‌تواند از کدهای تهیه‌شده توسط این سامانه به راحتی استفاده کرد و در اختیار دیگر کاربران قرار داد. قابلیت دسترسی به حجم وسیعی از داده‌های ماهواره‌ای و سایر اطلاعات مورد نیاز کاربران را قادر به تهیه نتایج علمی معتبر و عاری از بسیاری مشکلات مربوط به تهیه نتایج در مقیاس بزرگ می‌سازد. GEE در واقع یک محیط یا فضای جهت بررسی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس بزرگ و تهیه‌شده در طول چهل سال اخیر است. این سامانه به کاربران امکان فراخوان و بررسی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین محاسبات مورد نیاز در کمترین زمان ممکن را ارائه می‌دهد. توانایی بررسی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای در مقیاس جهانی، قاره‌ای و ملی توسط یک سامانه سنجش از دوری GEE صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در زمان و همین‌طور هزینه و منابع مورد نیاز را به عمل می‌آورد. یکی دیگر از توانایی و مزیت‌های GEE قابلیت پردازش داده‌های وکتوری در مقیاس وسیع است. در واقع در این سامانه می‌توان این نوع از داده‌ها را هم مورد بررسی قرار داده و خروجی‌هایی به صورت فایل‌های KML و KMZ تهیه کرد.

هدف سازمان‌ها، تهیه نقشه‌های پوشش زمین در مقیاس جهانی بوده و هست. به عنوان مثال می‌توان به نقشه‌های پوشش زمین تهیه‌شده با دقت مکانی بالا که توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS¹⁰)، آژانس فضایی اروپا (ESA)، کنسرسیون و ویژگی‌های اراضی چند دفته (MRLC) ایالات متحده و سازمان فضایی جمهوری اسلامی ایران تهیه شده‌اند اشاره نمود. سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) با استفاده از تصاویر Landsat7 نقشه‌های پوشش درختی، پهنه‌های آبی و اراضی بایر جهان را با دقت مکانی ۳۰ متر تهیه نموده است. نقشه پوشش درختی در سال ۲۰۱۰ تهیه شده است زمان کسب این تصاویر در حداکثر زمان رشد درختان هر منطقه صورت گرفته است و از الگوریتم درخت رگرسیونی برای طبقه‌بندی استفاده گردیده است (Matthew C Hansen et al. 2013). در ایران هم سازمان فضایی ایران پژوهش‌هایی برای تهیه نقشه‌های پوشش زمین در سطح کشور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام داده است. سازمان فضایی ایران در سال ۱۳۹۵ نقشه پوشش زمین کل کشور با استفاده از سنجنده MODIS با دقت مکانی ۵۰۰ متر تهیه نموده است. همچنین در سال ۱۳۹۶ نقشه پوشش و کاربری زمین جزیره قشم در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ با دقت مکانی ۱۰ متر توسط این سازمان تولید شده است.

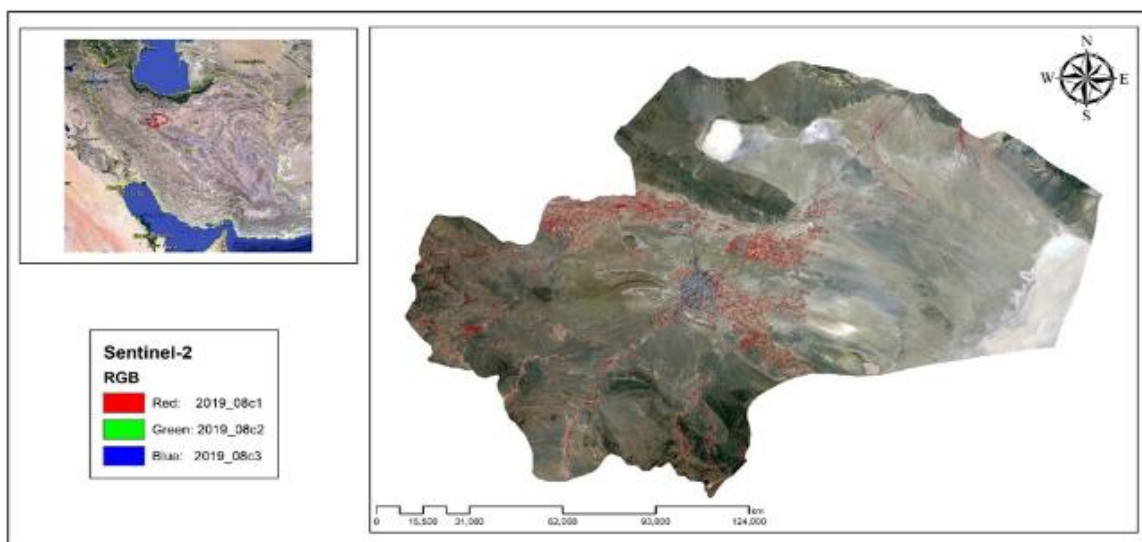
اسکندری (۱۳۹۷) در مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه بندی برای تولید نقشه پوشش زمین در بخشی از رویشگاه استان ایلام با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ بر اساس نتایج، طبقه بندی‌ها مقایسه و دقت الگوریتم‌ها ارزیابی شد. نتایج نشان داد که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی ۰/۷۹ و ضریب کاپای ۰/۷ بیشترین دقت را در تولید نقشه پوشش زمین داشته است. میرزایی زاده و همکاران (۱۳۹۴). دقت الگوریتم‌های طبقه بندی نظارت شده غیر پارامتریک شامل الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم‌گیری و شبکه عصبی مصنوعی فازی آرتمپ را در تهیه نقشه پوشش زمین در حوزه آبخیز ارکواز شهرستان ملکشاهی با استفاده از تصاویر لندست ۸ را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که طبقه بندی کننده ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی ۹۱/۲۶ درصد و ضریب کاپای ۸۷ درصد نتایج مطلوب تری نسبت به سایر الگوریتم‌ها داشته است. اسلمی و همکاران (۱۳۹۴). برای تهیه نقشه پوشش و کاربری اراضی شهرستان اردبیل، از تصاویر ماهواره لندست

¹⁰ United States Geological Survey

۸ استفاده نمودند. در این پژوهش از روش های طبقه بندی شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و شی پایه به ترتیب ۸۹/۹۱ درصد، ۸۵/۶۸ درصد و ۹۴/۳۷ درصد و میزان ضریب کاپا به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۸۲ و ۰/۹۳ برآورد شد. مرسیر و همکاران (۲۰۱۹). اقدام به تهیه نقشه پوشش زمین (جنگل- کشاورزی) در کشورهای اسپانیا و برزیل با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره سنتینل-۱ و سنتینل-۲ نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که تلفیق تصاویر در این دو ماهواره موجب افزایش صحت نتایج طبقه بندی می شود. مارانگز و همکاران (۲۰۱۷). به بررسی امکان تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه ژانگولداک کشور ترکیه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنتینل-۲ پرداختند. نتایج نشان داد که تصاویر ماهواره سنتینل-۲ با ضریب کاپای ۸۵ درصد از قابلیت بیشتری نسبت به تصاویر لندست ۸ با ضریب کاپای ۷۸ درصد برخوردار است. توپالوگلو و همکاران (۲۰۱۶). قابلیت تصاویر دو ماهواره سنتینل-۲ و لندست-۸ را برای طبقه بندی پوشش زمین و کاربری اراضی در استانبول ترکیه بررسی کردند. نتایج نشان داد که تصاویر سنتینل-۲ با صحت کلی ۷۶/۴ درصد و ضریب کاپای ۷۲ درصد برای روش طبقه بندی حداکثر احتمال و صحت کلی ۸۴/۱۷ درصد و ضریب کاپای ۸۱ درصد برای روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به تصاویر لندست-۸ قابلیت بیشتری در تهیه نقشه پوشش زمین داشته اند.

داده ها و روش ها

منطقه مورد مطالعه پروژه فوق، استان قم است که از نظر مختصات جغرافیایی، بین ۵۰ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و بین ۳۴ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. مساحت این استان برابر ۱۱۲۴۰ کیلومترمربع است. منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. این استان در یک منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده است و آب و هوای گرم و خشک دارد. استان قم از نظر وسعت پس از استان البرز کوچک ترین استان ایران است. استان قم دارای سه شهرستان است. شهرهای قم و سلفچگان مهم ترین شهرهای استان به شمار می روند. شهرستان دارای ۵ بخش، ۹ دهستان، ۶ شهر و ۳۶۳ آبادی تشکیل شده است. این استان از نظر موقعیت جغرافیایی؛ از شمال با استان تهران، از شرق با استان سمنان، از جنوب با استان مرکزی و اصفهان و از غرب با استان مرکزی هم مرز است (شکل ۲).



شکل ۱- تصویر ماهواره ای سنتینل-۲ ترکیب باندی (۳-۴-۸) آگوست ۲۰۱۹ از منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه شهرستان های استان قم

برای تعیین کلاس های پوشش زمین در پروژه فوق، پس از بررسی نیازمندی های سازمان ها و کاربران احتمالی این نقشه ها و نظر به توزیع کلاس های پوشش زمین مختلف در کشور و منطقه مطالعاتی این پروژه، تعداد ۸ کلاس مختلف پوشش زمین در نظر گرفته شد که اطلاعات این کلاس ها به لحاظ مدیریتی در سطوح مختلف کشوری و تصمیم سازی نقش حیاتی دارند. این کلاس ها شامل؛ جنگل ها، مراتع، اراضی زراعی، اراضی بایر، پهنه های آبی، باغات، اراضی ساخته شده و اراضی شور می باشند.

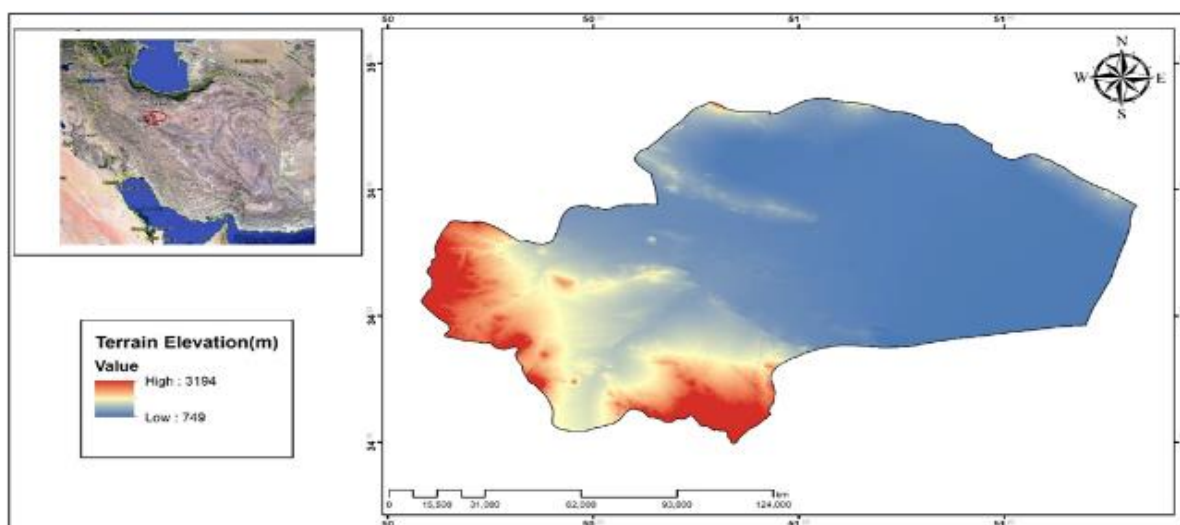
پس از تعریف انواع کلاس های مربوط به منطقه مورد مطالعه، لازم است که تصاویر ماهواره ای مناسبی انتخاب شود که امکان استخراج این نوع پوشش ها را فراهم کند. سطح جزئیات طبقه بندی با دقت مکانی تصاویر مورد استفاده ارتباط مستقیمی دارد. با توجه به اهداف پروژه که تهیه نقشه پوشش زمین با دقت مکانی ۱۰ متر است داده های ماهواره سنتینل-۲ جهت تولید نقشه های پوشش زمین انتخاب شده است. سنتینل-۲ ماهواره مدار قطبی است که مأموریت آن اخذ تصاویر با وضوح بالا برای پایش پدیده هایی همانند آب، خاک، پوشش گیاهی و غیره است. این سنجنده دارای ۱۳ باند طیفی در محدوده های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه با قدرت تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر است. تصویربرداری چند طیفی با ۱۳ باند در محدوده طیف مرئی، فروسرخ نزدیک و موج کوتاه فروسرخ از طیف الکترومغناطیسی انجام می شود قدرت تفکیک زمانی این ماهواره ۵ روز و قدرت تفکیک رادیومتریکی آن ۱۲ بیت می باشد (جدول ۱).

جدول ۱- اطلاعات باندهای ماهواره سنتینل ۲

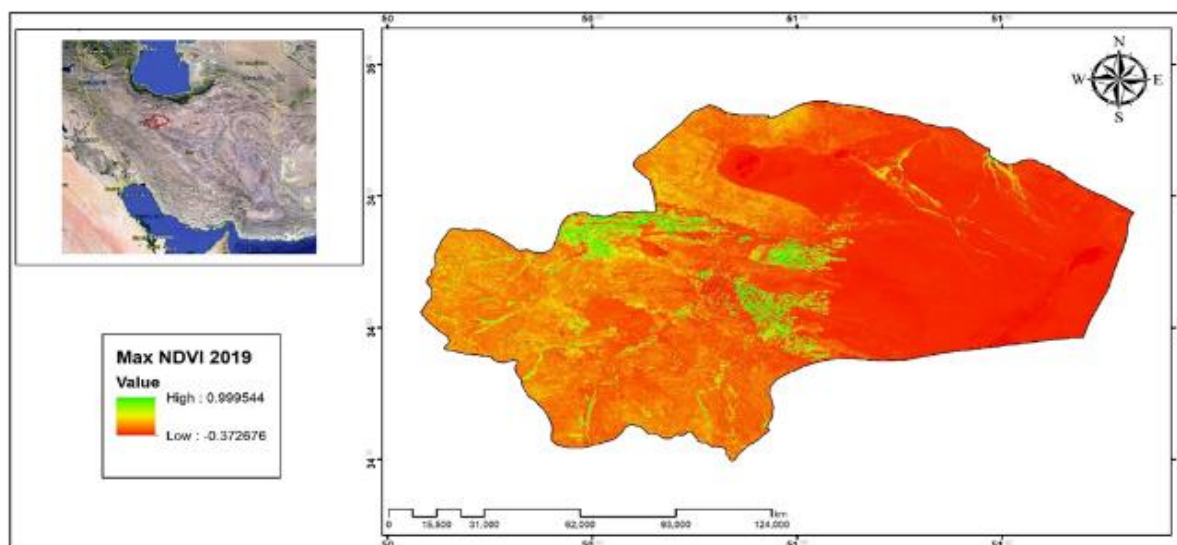
شماره باند	شرح باند	مرکز طول موج (μm)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱	Coastal	۰/۴۴۲	۶۰
۲	blue	۰/۴۹۲	۱۰
۳	green	۰/۵۵۹	۱۰
۴	red	۰/۶۶۴	۱۰
۵	Vegetation red edge	۰/۷۰۴	۲۰
۶	Vegetation red edge	۰/۷۴۰	۲۰
۷	Vegetation red edge	۰/۷۸۲	۲۰

۱۰	۰/۸۳۲	NIR	۸
۲۰	۰/۸۶۴	Narrow NIR	۸a
۶۰	۰/۹۴۵	Water vapour	۹
۶۰	۱/۳۷۳	SWIR- Cirrus	۱۰
۲۰	۱/۶۱۳	SWIR	۱۱
۲۰	۲/۲۰۲	SWIR	۱۲

از طرفی داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه وضعیت‌های گوناگون زمین را در مقاطع مختلف زمانی را ثبت می‌کنند و اطلاعات مفیدی را برای طبقه‌بندی ارائه می‌کنند. کارایی استفاده از داده‌های چند زمانه برای بهبود صحت طبقه‌بندی در مقایسه با کاربرد تصاویر تک زمانه اثبات شده است (V F Rodriguez-Galiano et al. 2012; de Colstoun et al. 2003). بنابراین، در تحقیق فوق از داده‌های چند زمانه سنتینل-۲، از ۱ آوریل ۲۰۱۹ تا ۱ دسامبر ۲۰۱۹، برای طبقه‌بندی استفاده گردید تا یک چرخه رشد کامل در منطقه پوشش داده شود. علاوه بر داده‌های ماهواره‌ای، از مجموعه داده‌های جانبی مکانی نیز می‌توان برای کمک به طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل کلاس‌های پوشش زمین استفاده کرد. داده‌های جانبی می‌توانند شامل هر نوع داده باشند، به عنوان مثال داده‌های ارتفاعی و مشتقات آن‌ها نظیر: ارتفاع، شیب و جهت شیب، متغیرهای محیطی (شامل کیفیت خاک، مورفولوژی، بارندگی، دما)، را می‌توان نام برد. مدل رقومی SRTM پس از پردازش از وبسایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) به آدرس <http://earthexplorer.usgs.gov> دریافت شد و برای تطابق با سیستم مختصات و دقت مکانی تصاویر سنتینل-۲ سیستم مختصات و اندازه پیکسل آن به ۱۰ متر کاهش یافت (شکل ۳). همچنین چندین شاخص و بافت طیفی از داده‌های طیفی استخراج گردید. و در فرایند طبقه‌بندی استفاده شده است (شکل ۴).



شکل ۳- مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴- نقشه NDVI بیشینه بهار تا پاییز برای منطقه مورد مطالعه سال ۲۰۱۹

در این تحقیق منطقه مورد مطالعه از لحاظ توپوگرافی، پوشش گیاهی و محیط با توجه به دقت مکانی سنتینل-۲ (۱۰ متر) بسیار پیچیده است. پیچیدگی از این واقعیت ناشی می‌شود که بسیاری از انواع پوشش مخلوط زمین در منطقه مورد مطالعه وجود دارند و ویژگی‌های طیفی مشابهی با هم دارند. از طرف دیگر، به دلیل مرحله رشد، فصل، تنوع و شرایط محیطی تنوع طیفی قابل توجهی را می‌توان در انواع پوشش زمین مشابه در سطح منطقه مشاهده کرد. از جمله پیچیدگی‌های موجود برای طبقه‌بندی در منطقه مورد مطالعه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: شباهت‌های طیفی بین کلاس‌های پوشش زمین، تنوع طیفی درون کلاسی، کشت مخلوط و کلاس‌های مختلط، تغییرات زمانی نوع پوشش زمین و زمین‌های زراعی کوچک و باریک، وجود ابر و سایه و محدودیت‌های برداشت داده‌های زمینی (هزینه و زمان).

با توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه و پیچیدگی کلاس‌های مورد بررسی، تهیه نمونه‌های مرجع به لحاظ هزینه و زمان با چالش‌هایی همراه بود. برای غلبه بر این مشکل نمونه‌های زمینی بسیار زیادی از تصاویر ماهواره‌ای با دقت مکانی بالا مانند Google Earth و همچنین نمونه‌برداری به کمک سری زمانی NDVI جمع‌آوری شدند.

در تحقیق فوق، ارزیابی صحت مهم‌ترین بخش هر طبقه‌بندی است که اساساً کیفیت و قابلیت اطمینان یک نقشه طبقه‌بندی شده را تعیین می‌کند. کمپبل (۲۰۱۱) صحت را به عنوان "اندازه‌گیری مطابقت بین یک استاندارد که درست فرض شده و یک تصویر طبقه‌بندی شده که کیفیت آن ناشناخته است" و دقت را "به عنوان سطح جزئیات موجود در طبقه‌بندی" تعریف می‌کند (Campbell and Wynne 2011). پرکاربردترین روش برای ارزیابی کمی صحت طبقه‌بندی، انتخاب تعدادی پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آن‌ها با نتایج طبقه‌بندی است که نمونه‌های معلوم را واقعیت زمینی یا داده‌های مرجع می‌نامند، داده‌های مرجع از بازدید میدانی یا تصاویر با وضوح بالا جمع‌آوری می‌شود. برای ارزیابی صحت نقشه‌های پوشش زمین روش‌های متعددی وجود دارد (Foody 2015) که می‌توان به صحت کلی، خطاهای omission، خطاهای commission، صحت کاربر، صحت تولیدکننده و ضریب کاپا اشاره نمود.

اساساً ارزیابی خطا و برآورد صحت طبقه‌بندی بر اساس پارامترهای آماری استخراج شده از ماتریس خطا صورت می‌گیرد. به ماتریس خطا ماتریس ابهام نیز گفته می‌شود. ماتریس خطا به صورت جدول نمایش بیان می‌شود که داده‌های زمینی در ستون‌ها و داده‌های مربوط به نتایج طبقه‌بندی در سطرها نمایش داده می‌شوند. پیکسل‌های روی قطر اصلی ماتریس تعداد پیکسل‌هایی هستند که درست طبقه‌بندی شده‌اند و عناصر غیر قطری مجموعه پیکسل‌های خطاها را بیان می‌کنند. صحت کلی میانگینی از صحت طبقه‌بندی است که نسبت اشیاء صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل اشیاء معلوم را نشان می‌دهد و به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{N}$$

صحت کاربرد احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$U.A_j = \frac{X_{ii}}{\sum_{i=1}^n X_{i+}}$$

صحت تولیدکننده، بیانگر صحت طبقه‌بندی پیکسل‌های مربوط به یک کلاس خاص در نقشه واقعیت زمینی است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$A_j = \frac{X_{jj}}{\sum_{i=1}^n X_{+j}}$$

خطای Omission (یا خطای نوع یک)، اشاره به خطای کم برآورد در کلاس‌های مختلف دارد. در طبقه‌بندی شیء‌گرا خطای نوع اول زمانی رخ می‌دهد که تعداد اشیائی که به یک کلاس خاص نسبت داده می‌شوند کمتر از واقعیت باشد. خطای Commission (یا نوع دو) اشاره به بیش برآورد شدن دارد و زمانی اتفاق می‌افتد که تعداد اشیائی که به یک کلاس خاص نسبت داده می‌شود بیشتر از واقعیت باشند. بر اساس دو صحت یادشده دو خطای Omission و Commission به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$C_e = 1 - U.A$$

$$O_e = 1 - P.A$$

ضریب کاپا از شاخص‌های بسیار مهم در ارزیابی صحت است و اعتبار بالایی دارد. ضریب کاپا برخلاف صحت کلی میزان صحت را بر اساس تمامی اشیائی که درست و غلط طبقه‌بندی شده‌اند محاسبه می‌نماید. این شاخص در مقایسه با شاخص صحت کلی برای ارزیابی صحت نقشه طبقه‌بندی بسیار معتبر و قابل‌اعتمادتر است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n (X_{i+} * X_{+j})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (X_{i+} * X_{+j})}$$

نتایج و بحث

جمع‌آوری داده‌های زمینی که با عناوینی نظیر "داده‌های واقعیت زمینی" و "داده مرجع زمین" نیز شناخته می‌شوند به جمع‌آوری داده‌های مربوط به اهداف دور سنجی با استفاده از منابع مختلف مانند بررسی میدانی فیزیکی و عکس‌های هوایی مربوط می‌شود (Lillesand, Kiefer, and Chipman 2015). فاکتورهای مختلفی وجود دارد که هنگام جمع‌آوری داده‌های واقعیت زمینی باید در نظر گرفته شود زیرا کیفیت و قابلیت اطمینان نتایج به این اندازه‌گیری‌ها بستگی دارد. این عوامل شامل توزیع، تعداد، نوع، اندازه و موضوعیت اندازه‌گیری‌ها می‌شود. برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی صحیح یک طبقه‌بندی باید تعداد کافی از داده‌های واقعیت زمین جمع‌آوری شود.

از آنجایی که نمونه‌برداری دقیق از کلاس‌های پوشش زمین مستلزم کار میدانی و صرف هزینه‌های زیادی است، توسعه روشی مطمئن که بتوان در کم‌ترین زمان و بدون صرف هزینه‌ای نمونه‌هایی قابل اطمینان از کلاس‌های پوشش زمین برداشت، به شدت احساس می‌شود. بنابراین در تحقیق حاضر روشی با استفاده از انواع داده‌های مکانی رایگان از جمله تصاویر ماهواره‌ای با دقت مکانی بالا گوگل ارث، داده‌های توپوگرافی، فایل وکتور قطعه‌بندی تصاویر سنتینل-۲ و سری زمانی شاخص NDVI توسعه داده شد. این روش با استفاده از قابلیت‌های بستر رایانش ابری گوگل ارث انجین (GEE) از قبیل امکان مدیریت سری زمانی بلندمدت تصاویر ماهواره‌ای، ابزارهای ترسیم نمودار، فراخوانی هم‌زمان داده‌های موردنیاز برای تحلیل یک متخصص سنجش‌ازدور طراحی و پیاده‌سازی شد.

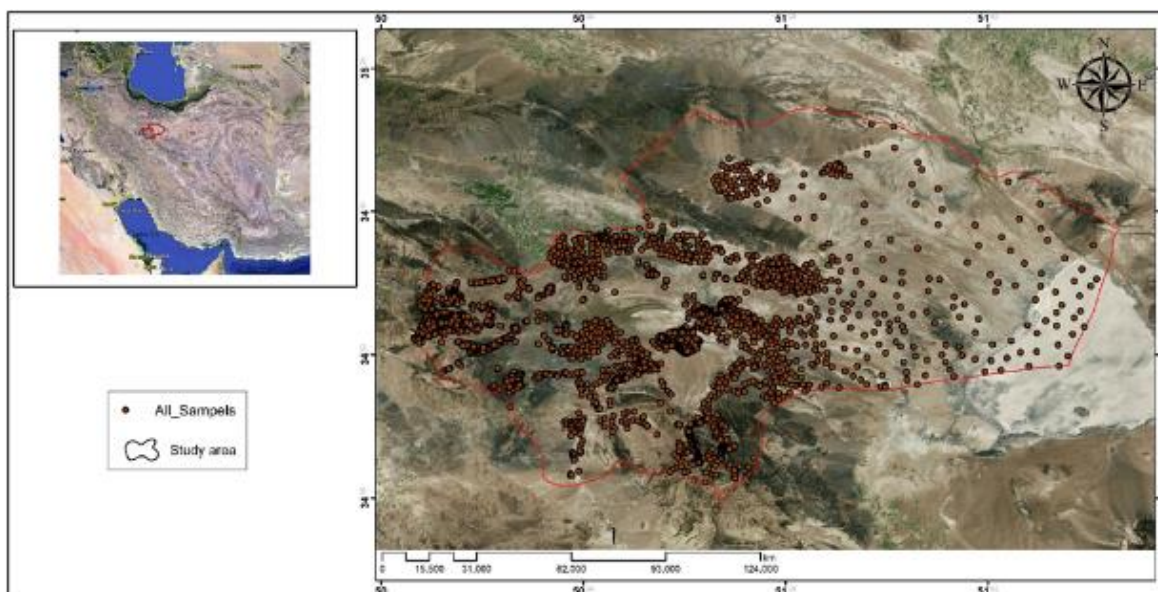
با استفاده از بررسی سری زمانی NDVI در چندین محدوده در سطح مراتع به اطلاعاتی درباره فنولوژی گیاهان مرتعی خواهیم رسید. با دستیابی به اطلاعات فنولوژی گیاهان مرتعی نظیر شروع دوره رشد، زمان رسیدن به اوج، بیشینه مقدار NDVI، طول دوره رشد و پایان دوره رشد می‌توان اقدام به نمونه‌برداری بر اساس دیگر داده‌های کمکی از قبیل وکتور قطعه‌بندی،

داده‌های ارتفاع و شیب و تصاویر گوگل ارث نمود. در این تحقیق با اندازه گیری های زمینی از طریق تفسیر و بررسی بصری تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی بالا مانند تصاویر Google Earth و استفاده از سری زمانی شاخص NDVI، نمونه ها جمع آوری شدند. به طور کلی در این تحقیق ۵۱۴۵ نمونه از انواع کلاس های پوشش زمین در سطح منطقه مورد مطالعه (استان قم) جمع آوری شده است. جدول ۲ تعداد نمونه ها به تفکیک نوع کلاس پوشش آورده شده است.

جدول ۲- نمونه‌های زمینی به تفکیک نمونه‌های برداشت‌شده برای هر یک از کلاس‌های پوشش زمین

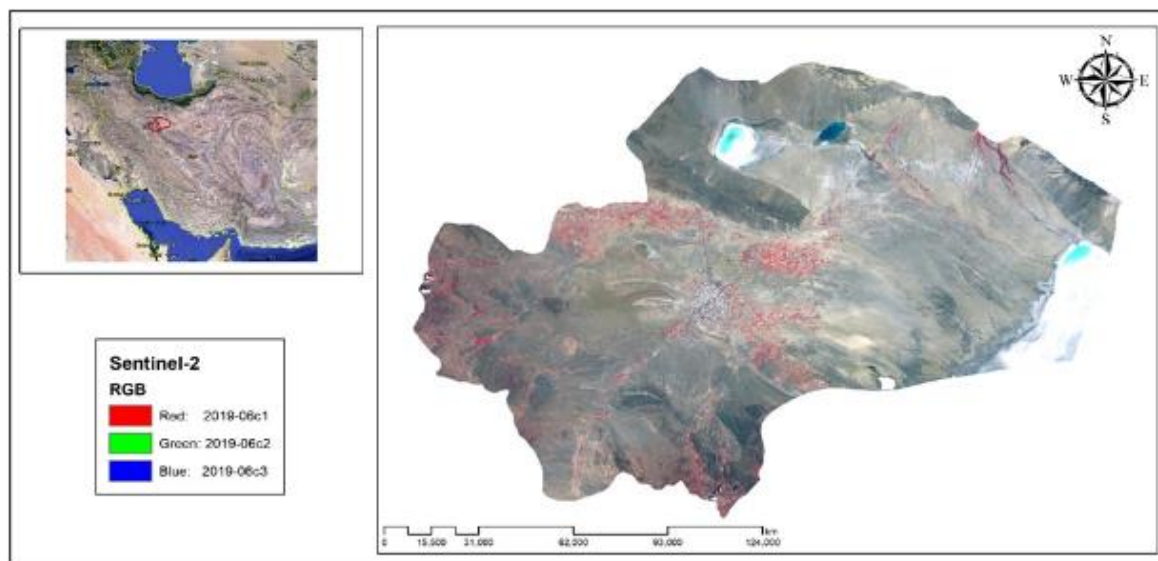
نوع پوشش زمین	نمونه‌های آموزشی	نمونه‌های تست	کل نمونه‌ها
جنگل	۲۲۱	۱۰۴	۳۲۵
مراتع	۷۲۲	۳۱۵	۱۰۳۷
زراعت	۵۵۸	۲۴۷	۸۰۵
اراضی بایر	۳۶۴	۱۵۶	۵۲۰
پهنه آبی	۵۶۷	۲۴۲	۸۰۹
باغات	۶۵۵	۲۳۷	۸۹۲
اراضی ساخته‌شده	۴۲۴	۱۶۷	۵۹۱
اراضی شور	۱۲۴	۴۲	۱۶۶
کل نمونه‌ها	۳۶۳۵	۱۵۱۰	۵۱۴۵

نقاط نمونه‌برداری شده به ۲ مجموعه ۳۰ و ۷۰ درصد تقسیم شدند و به‌طور جداگانه برای آموزش و اعتبارسنجی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده مورد استفاده قرار گرفت. طی فرآیند جمع‌آوری نمونه‌های مرجع از تصاویر با وضوح بالا، سعی شد نقاط نمونه با دقت بسیار بالایی انتخاب شود. برای دستیابی به این هدف، برای کلیه نقاط نمونه‌برداری شده وضعیت سنوات قبل و حتی فصول مختلف سال نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق ۷۰ درصد نمونه‌های برداشت شده (۳۶۳۵ نمونه) به عنوان نمونه‌های آموزشی و ۳۰ درصد نمونه‌های برداشت شده (۱۵۱۰ نمونه) جهت اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفتند. شکل ۵ پراکنش کل نمونه‌های زمینی برداشت شده در سطح منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۵- پراکنش کل نمونه‌های زمینی برداشت‌شده در سطح منطقه مورد مطالعه

برای تهیه تصاویر موزاییک با توجه به اندکس تصاویر سنتینل-۲، در هر تاریخ تصاویر در کنار یکدیگر قرار داده شده سپس با استفاده از موزاییک سازی در نرم افزار Erdas9.1 سه تصویر به یک تصویر واحد تبدیل شده و تصویر ایجاد شده بر مبنای محدوده منطقه مورد مطالعه توسعه یافت (شکل ۶).



شکل ۶- موزاییک تولید شده ترکیب باندی (۲-۸-۱۱) ماه ژوئن سال ۲۰۱۹ منطقه مورد مطالعه

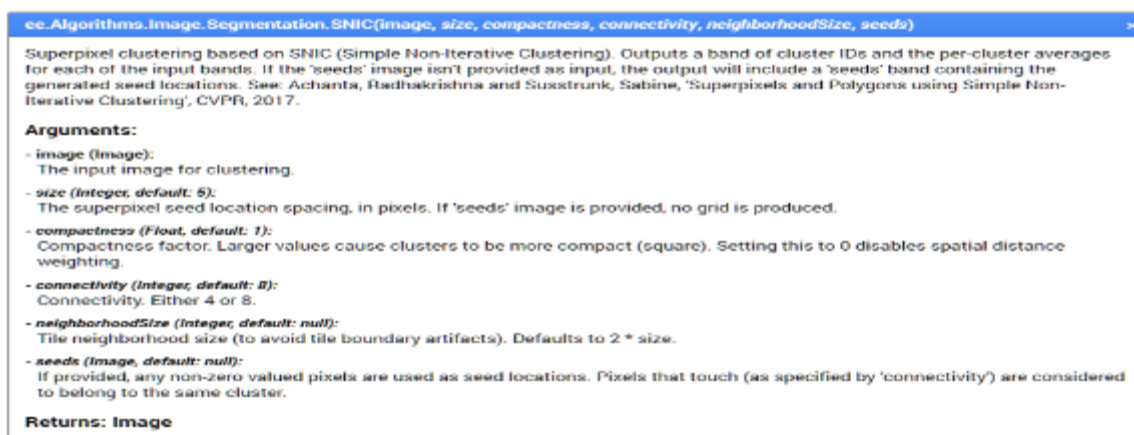
به دلیل گوناگونی عوارض و مخلوط بودن آن ها در منطقه مورد مطالعه باید از انواع ویژگی ها برای قابل تفکیک سازی کلاس های پوشش زمین بهره گرفت. یکی از این خصوصیات، رفتار فنولوژیکی گیاهان طی دوره رشد است. استفاده از رفتار فنولوژیکی گیاهان طی زمان با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره با قدرت تفکیک های زمانی متفاوت مقدور است. بر همین اساس قدرت تفکیک زمانی ماهانه برای جداسازی کلاس های پوشش گیاهی موجود در منطقه در نظر گرفته شد. بنابراین می توان تصاویر ترکیبی به صورت ماهانه تولید کرد. تولید تصاویر ترکیبی از چند نظر می تواند در فرآیند تولید نقشه کار سازی باشد: ۱) حذف پوشش ابر از روی تصاویر سری زمانی سنتینل-۲. ۲) کاهش حجم داده ها جهت پردازش. سامانه GEE با ایجاد بستری رایگان جهت فراخوانی و پردازش تصاویر ماهواره ای، امکان تولید تصاویر ترکیبی با قدرت تفکیک زمانی ماهانه را فراهم می کند (شکل ۷).

```

1- var temporalCollection = function(collection, start, count, interval, units) {
2   // Create a sequence of numbers, one for each time interval.
3   var sequence = ee.List.sequence(0, ee.Number(count).subtract(1));
4
5   var originalStartDate = ee.Date(start);
6
7-  return ee.ImageCollection(sequence.map(function(i) {
8     // Get the start date of the current sequence.
9     var startDate = originalStartDate.advance(ee.Number(interval).multiply(i), units);
10
11    // Get the end date of the current sequence.
12    var endDate = originalStartDate.advance(
13      ee.Number(interval).multiply(ee.Number(i).add(1)), units);
14
15    return collection.filterDate(startDate, endDate)
16      .median()
17      .set('system:time_start', startDate.millis())
18      .set('system:time_end', endDate.millis());
19  }));
20 };
    
```

شکل ۷- الگوریتم تولید تصاویر ماهانه ترکیبی در بستر GEE

الگوریتم‌های قطعه‌بندی یک الگوریتم خوشه‌بندی است که برای تقسیم تصاویر در سطح پیکسل یا اشیا تصویری استفاده می‌شود. قطعه‌بندی تصویری خوب، پیش‌نیازی ضروری برای پردازش شی‌گرا به شمار می‌آید (Baatz, n.d.). در این تحقیق برای قطعه‌بندی تصاویر ماهواره سنتینل-۲ برای ۳ ماه که عبارت‌اند از ۱۵ ماه می تا ۱۵ ماه جون، از ۱۵ جون تا ۱۵ جولای و ۱۵ اوت تا ۱۵ سپتامبر سال ۲۰۱۹ کسب شد. باندهای ۱۰ متری که شامل باندهای ۱ تا ۴ است جداسازی شد و برای هر ماه شاخص NDVI محاسبه شد و به‌عنوان یک لایه ذخیره گردید. در گام بعد این ۱۵ لایه (۱۲ باند طیفی و ۳ لایه NDVI) استک شد و تحلیل PCA^{۱۱} بر روی آن اعمال گردید و ۴ مؤلفه اصلی که دارای بیش از ۹۵/۵۵٪ از کل واریانس بودند را انتخاب نمودیم. سپس از این ۴ مؤلفه به‌عنوان ورودی برای قطعه‌بندی استفاده شد. قطعه‌بندی تصویری عملی تجربی بوده و لازم است با آزمون و خطا و تکرار مقادیر پارامترهای مقیاس اشیا، رنگ و شکل برای مجموعه ویژگی‌های استخراج‌شده تعیین شود. شکل ۸ الگوریتم قطعه‌بندی تصویر در سامانه GEE را نمایش می‌دهد.



شکل ۸- الگوریتم قطعه‌بندی تصویر در بستر GEE

استخراج ویژگی‌ها رکن اصلی در فرآیند تولید نقشه با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا است. پس از تولید تصویر کامپوزیت عاری از ابر ماهواره سنتینل-۲، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای استخراج ویژگی‌های مکانی روی تصاویر موزاییک استفاده شده است. برای هر کدام از بازه‌های یک ماهه، (۱۵ ماه می تا ۱۵ ماه جون، از ۱۵ جون تا ۱۵ جولای و ۱۵ اوت تا ۱۵ سپتامبر) تحلیل PCA انجام شد و PC اول تا چهارم که دارای بیشترین واریانس است و برای تحلیل آینده انتخاب شد. سپس برای استخراج ویژگی‌های بافت از تصاویر ترکیبی، از روش تجزیه و تحلیل بافت ماتریس هم‌زمان وقایع خاکستری (GLCM)^{۱۲} بر روی PC1-PC4 هر یک از ۳ ماه استفاده شد (به دلیل اوج تفاوت بافت بین پوشش‌های سطح اراضی) و در نتیجه ۹ ویژگی بافت برای هر PC شامل: گشتاور دوم زاویه‌ای، کنتراست، همبستگی، گشتاور تفاوت معکوس، جمع میانگین، جمع واریانس، جمع آنروپی، عدم تشابه و اینرسی استخراج شد. بنابراین برای هر ماه تعداد ۹ ویژگی بر روی هر باند PC محاسبه می‌شود که در نهایت تعداد ۱۰۸ ویژگی به دست می‌آید. همچنین شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، شاخص تفاوت آب نرمال شده (NDWI)، شاخص تفاوت خاک‌ورزی نرمال شده (NDTI)^{۱۳} و شاخص اراضی ساخته‌شده نرمال شده (NBI) یک دوره ۸ ماهه (اول ماه آوریل تا اول ماه دسامبر) استخراج شدند. سه ویژگی توپوگرافی (DEM)، شیب و جهت شیب) نیز به‌عنوان ویژگی‌های اضافی و ۳۲ باند طیفی حاصل از کامپوزیت ماهانه زمانی ماهواره سنتینل ۲ برای ۸ ماه (هرماه ۴ باند) در فرآیند طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. بنابراین یک مجموعه مرکب از ۱۷۵ باند برای انجام طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت که دربرگیرنده موارد زیر است (جدول ۳).

¹¹ Principal Component Analysis (PCA)

¹² Gray Level Co-occurrence Matrix

¹³ Normalized Difference Tillage Index

جدول ۳- لیست ویژگی‌های استخراج شده برای طبقه‌بندی

ویژگی	تاریخ	نوع	تعداد	معادله
Terrain	-	Elevation, slope, aspect	3	-
PCA	Jun(6), Jul(7), Sep(9)	PC1 to PC4	12	-
GLCM	Jun(6), Jul(7), Sep(9)	'asm', 'contrast', 'corr', 'idm', 'savg', 'svar', 'sent', 'diss', 'inertia'	9	-
NDVI	Apr(4) – Nov(11)	-	8	$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$
NDWI	Apr(4) – Nov(11)	-	8	$NDWI = \frac{B3 - B8}{B3 + B8}$
NDTI	Apr(4) – Nov(11)	-	8	$NDT = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2}$
NBI	Apr(4) – Nov(11)	-	8	$NBI = \frac{SWIR1 * B4}{B8}$
Original Bands	Apr(4) – Nov(11)	B2, B3, B4, B8	32	-
Total	۲۰۱۹	A-Z	175	-

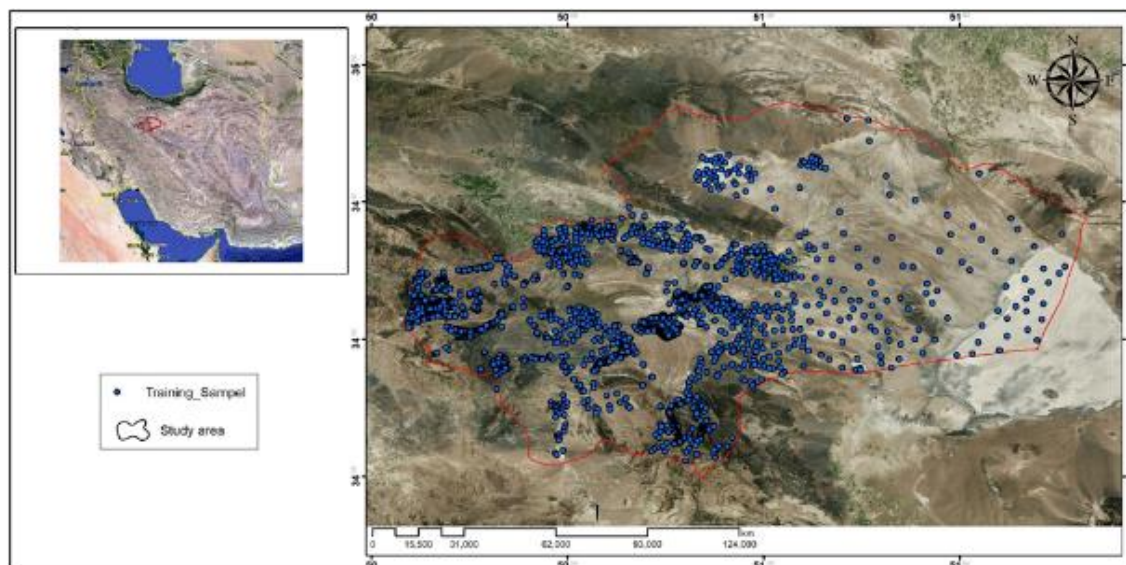
در این تحقیق از الگوریتم طبقه بندی جنگل تصادفی به دلیل انسجام و کارایی آن برای طبقه بندی تصویر استفاده شده است. یکی دیگر از دلایل انتخاب RF، عملکرد خوب این روش در مقایسه با سایر طبقه بندی کننده‌ها بوده است. برای آموزش طبقه بندی کننده از مجموعه‌ای از داده‌های آموزش استخراج شده از تصاویر با وضوح بالا (به عنوان مثال Google Earth) و داده‌های کمکی استفاده شده است. برای پیاده سازی این الگوریتم طبقه بندی، استفاده از تابعی که بتواند برای کل نمونه های آموزشی مقادیر باندها را در کل منطقه مورد مطالعه استخراج کند ضروری است. برای ارزیابی میزان همخوانی بین نمونه های برداشت شده، ۷۰ درصد نمونه ها به عنوان داده های آموزشی و ۳۰ درصد آن ها به عنوان داده های تست در نظر گرفته شدند. شکل ۹ الگوریتم طبقه بندی جنگل تصادفی (RF) در بستر GEE و شکل ۱۰ پراکنش نمونه های آموزشی در منطقه مورد مطالعه را نمایش می دهد.

```
ee.Classifier.smileRandomForest(numberOfTrees, variablesPerSplit, minLeafPopulation, bagFraction, maxNodes, seed)
Creates an empty Random Forest classifier.

Arguments:
- numberOfTrees (Integer):
  The number of decision trees to create.
- variablesPerSplit (Integer, default: null):
  The number of variables per split. If unspecified, uses the square root of the number of variables.
- minLeafPopulation (Integer, default: 1):
  Only create nodes whose training set contains at least this many points.
- bagFraction (Float, default: 0.5):
  The fraction of input to bag per tree.
- maxNodes (Integer, default: null):
  The maximum number of leaf nodes in each tree. If unspecified, defaults to no limit.
- seed (Integer, default: 0):
  The randomization seed.

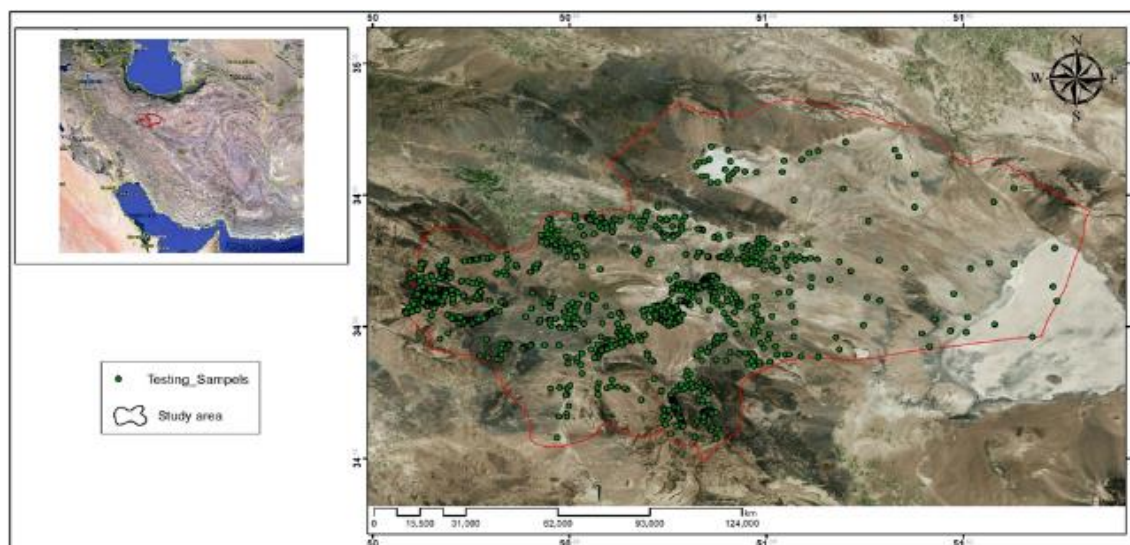
Returns: Classifier
```

شکل ۹- الگوریتم طبقه بندی جنگل تصادفی GEE



شکل ۱۰- پراکنش نمونه های آموزشی در منطقه مورد مطالعه

به جهت اینکه داده های تست دارای توزیع نسبی در هر کلاس اطلاعاتی باشد از هر کلاس اطلاعاتی حدود ۳۰٪ نمونه های هر کلاس برای صحت سنجی کنار گذاشته شده بود و در فرآیند آموزش وارد نگردیده بودند. بنابراین تعداد ۱۵۱۰ نقطه نمونه برای صحت سنجی و ایجاد ماتریس خطا مورد استفاده قرار گرفتند. این نقاط نمونه از تفسیر بصری تصاویر با وضوح بالا Google Earth و داده های کمکی حاصل شده است. این نقاط نمونه در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- نقشه پراکنش نمونه های ارزیابی در سطح منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق نتایج حاصل از طبقه بندی در جداول ۴ و ۵ آورده شده است.

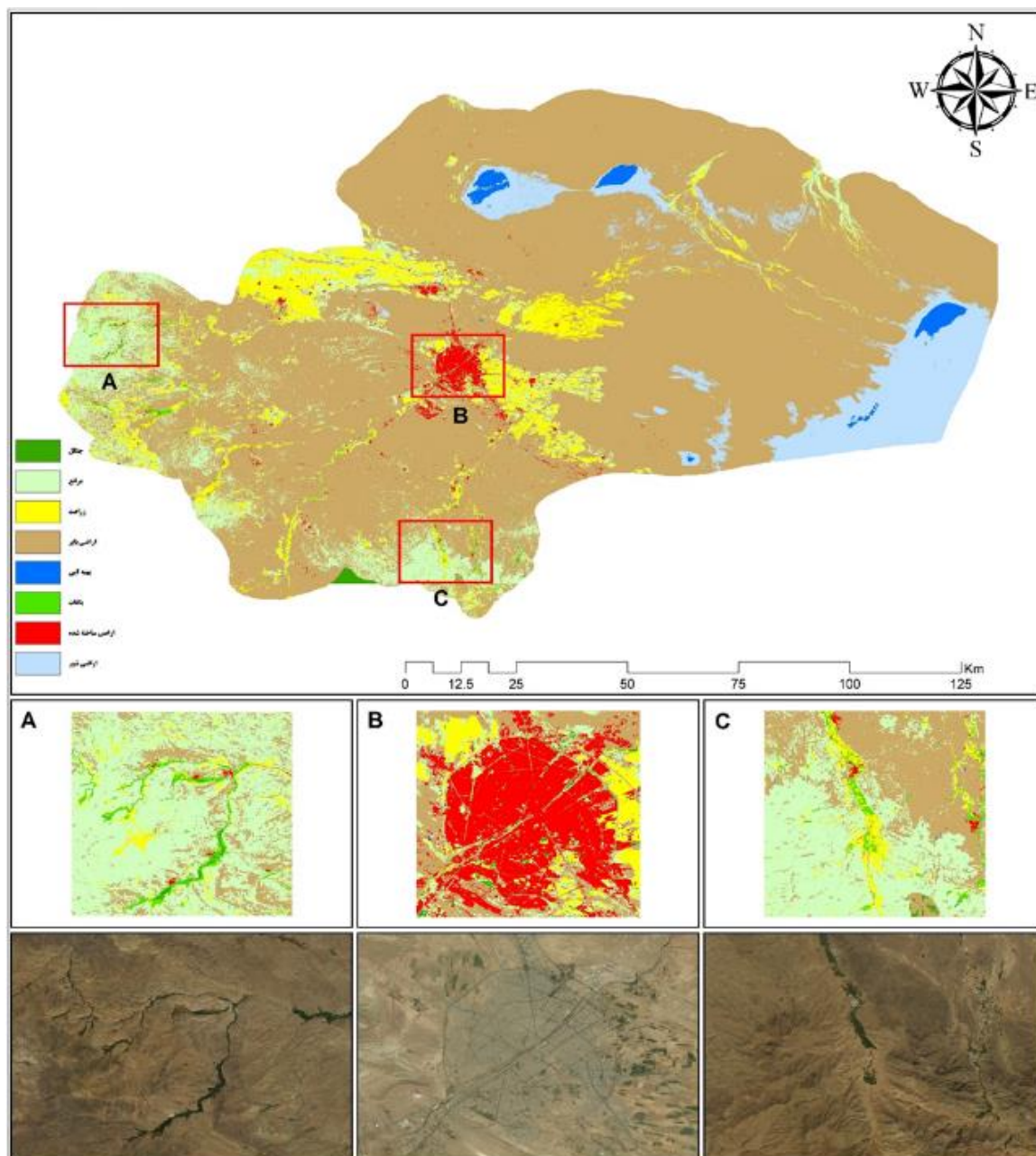
جدول ۴- ماتریس خطا

نوع پوشش زمین	جنگل	مراعی	زراعت	اراضی بایر	پهنه آبی	باغات	اراضی ساخته شده	اراضی شور	صحت کاربر
جنگل	۸۵	۲	۱	۰	۵	۸	۲	۰	۰.۸۲۵
مراعی	۱	۳۰۹	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰.۹۸۷
زراعت	۱	۰	۲۳۸	۱	۰	۲	۱	۰	۰.۹۷۹
اراضی بایر	۰	۴	۱	۱۴۵	۰	۰	۰	۰	۰.۹۶۰
پهنه آبی	۰	۰	۰	۲	۲۳۳	۴	۱	۱	۰.۹۷۱
باغات	۱۷	۰	۶	۰	۱	۲۲۳	۰	۰	۰.۹۰۳
اراضی ساخته شده	۰	۰	۰	۳	۲	۰	۱۶۳	۰	۰.۹۷۰
اراضی شور	۰	۰	۰	۴	۰	۰	۰	۴۱	۰.۹۱۱
صحت تولیدکننده	۰.۸۱۷	۰.۹۸۱	۰.۹۶۳	۰.۹۲۹	۰.۹۶۳	۰.۹۴۱	۰.۹۷۶	۰.۹۷۶	۰.۹۵۱

جدول ۵- صحت کلی، ضریب کاپا، خطای commission، خطای omission، صحت‌های کاربر و تولیدکننده

نوع پوشش زمین	خطای commission	خطای omission	صحت کاربر	صحت تولیدکننده
جنگل	۰.۱۷۵	۰.۱۸۳	۰.۸۲۵	۰.۸۱۷
مراعی	۰.۰۱۳	۰.۰۱۹	۰.۹۸۷	۰.۹۸۱
زراعت	۰.۰۲۱	۰.۰۳۷	۰.۹۷۹	۰.۹۶۳
اراضی بایر	۰.۰۴۰	۰.۰۷۸	۰.۹۶۰	۰.۹۲۲
پهنه آبی	۰.۰۲۹	۰.۰۳۷	۰.۹۷۱	۰.۹۶۳
باغات	۰.۰۹۷	۰.۰۵۹	۰.۹۰۳	۰.۹۴۱
اراضی ساخته شده	۰.۰۳۰	۰.۰۲۴	۰.۹۷۰	۰.۹۷۶
اراضی شور	۰.۰۸۹	۰.۰۲۴	۰.۹۱۱	۰.۹۷۶
صحت کلی		۰.۹۵۱		
ضریب کاپا		۰.۹۴۳		

همواره نقشه‌های پوشش زمین تولیدشده توسط مدل‌های طبقه‌بندی با برخی خطاها ناخواسته همراه است. الگوریتم‌های طبقه‌بندی کننده به دلیل عدم قطعیت‌های موجود در طی پروسه تولید سری زمانی تصاویر (کامپوزیت) و نمونه‌برداری از کلاس‌های پوشش زمین با خطاهایی مواجه می‌شود. بنابراین نیاز است که یک عملیات پس پردازش برای بهبود دقت و صحت نقشه‌های پوشش زمین تولید بر روی آن‌ها انجام شود. فرآیند تصمیم‌گیری برای کنترل خطاها در بین کلاس‌های پوشش زمین به این صورت قابل انجام است که پس از تولید نقشه پوشش زمین اولیه با بررسی بصری و کنترل صحت و دقت هر یک از کلاس‌ها، کلاس‌هایی که با یکدیگر تداخل دارند را شناسایی کرده و در نهایت برای کلاس‌های شناسایی شده قوانین درخت تصمیم را توسعه داده و در نهایت نقشه پوشش زمینی نهایی را تولید می‌کنیم (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- نقشه پوشش زمین استان قم پس از عملیات پس پردازش

نتیجه‌گیری

از دستاوردهای این تحقیق می‌توان به کارگیری تصاویر سری زمانی ماهواره سنتینل-۲ به منظور بهره‌گیری از رفتار فنولوژیکی گیاهان برای تفکیک انواع کلاس‌ها در سطح کلاس‌های اصلی و زیر کلاس‌ها اشاره نمود و استفاده از قابلیت های پلتفرم پردازش ابری گوگل این امکان را فراهم می‌کند که پس از پیاده‌سازی فرآیند تولید نقشه به منظور بهبود دقت یا رفع اشکال در زمان بسیار کوتاهی فرآیند تولید نقشه را بارها اجرا کرد و نتایج را مورد مقایسه قرار داد. همچنین استفاده از الگوریتم قطعه‌بندی تصاویر به منظور تولید اشیایی که از نظر رفتار طیفی یا بافتی به هم شباهت بالایی دارند در تولید نقشه پوشش زمین با دقت قابل قبول بسیار کارآمد است. استفاده از اطلاعات بافت تصاویر برای جداسازی کشت‌هایی که به صورت ترکیبی هستند (به‌عنوان مثال جداسازی باغات از ترکیب باغ زراعت) بسیار مفید بوده و از آن جا که منطقه مورد مطالعه محدوده وسیعی را شامل می‌شد، پردازش تصاویر چند زمانه به همراه ویژگی‌های استخراج‌شده نیز از عهده پلتفرم

GEE خارج بود که برای غلبه بر این مشکل با توسعه الگوریتم‌هایی که بتوانند فرآیند پردازش تصاویر را به صورت موازی و در قسمت‌های کوچک‌تر انجام دهند، پیاده‌سازی گردید.

با در نظر گرفتن کارهای انجام‌شده در زمینه طبقه‌بندی پوشش زمین و نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهاد شده در این تحقیق و روش‌های تحقیقات قبلی هنوز نیازمند اصلاحات و مطالعات بیشتری به منظور تکمیل و گسترش بیشتر هستند. لذا برای بهبود بیشتر دقت بایستی برخی عدم قطعیت‌ها در نظر گرفته شود و همچنین از آنجاکه طبقه‌بندی کننده‌های حاضر نیازمند برخی پردازش‌های قبل و بعد از طبقه‌بندی هستند یک سری پردازش‌های قبل و بعد از طبقه‌بندی باید بر روی خروجی طبقه‌بندی انجام شود. بر اساس مطالعات و نتایج و همچنین کارهای انجام‌شده در این تحقیق، به منظور تکمیل تحقیقات مشابه موارد فوق برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد: در برخی از تحقیقات برای انتخاب ویژگی از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود که در آن از ضریب کاپا یا دقت کلی طبقه‌بندی به عنوان تابع شایستگی برای وزن دهی کروموزوم‌ها یا ژن‌ها استفاده می‌شود. توصیه می‌شود در تحقیقات آینده از قابلیت تعیین اهمیت ویژگی RF جهت وزن دهی به ویژگی‌ها استفاده شود. از آنجاکه طبقه‌بندی RF از طبقه‌بندی کننده‌های درختی در داخل خود استفاده می‌کند و هر یک از این درخت‌ها از فن آستانه گذاری به منظور تفکیک کلاس‌ها استفاده می‌کنند توصیه می‌شود در تحقیقات آتی به منظور تشخیص بهتر مرزهای بین کلاس‌ها آستانه گذاری قطعی درختان تصمیم داخل RF با آستانه گذاری فازی جایگزین شده و نتایج طبقه‌بندی با کارهای قبلی مقایسه شود. با توجه به این که در این تحقیق با انتخاب ویژگی با روش RF نتایج قابل قبولی به دست آمد پیشنهاد می‌شود در کارهای آینده برای کاهش محاسبات، قبل از طبقه‌بندی، باندهای مناسب و بااهمیت از تصویر انتخاب شود و طبقه‌بندی با باندهای انتخاب‌شده انجام شود. در این تحقیق با الگوریتم RF احتمال تعلق نمونه‌ها به هر یک از کلاس‌های پوشش زمین تعیین شد و بر اساس آن نمونه‌های آموزشی جدید از پیکسل‌هایی که با احتمال بالا طبقه‌بندی شده بودند تولید شد. توصیه می‌شود در مواردی که برای طبقه‌بندی نیاز به نمونه‌های بیشتری است برای مثال برای طبقه‌بندی MLC از این روش استفاده شود. با توجه به نتایج تحقیق حاضر پیرامون استفاده از سری زمانی تصاویر اپتیک برای تولید نقشه‌های پوشش زمین، همواره در جداسازی کلاس‌هایی که از لحاظ فنولوژیکی (برای مثال، شروع دوره رشد، طول دوره رشد، زمان رسیدن به اوج و...) رفتار مشابهی دارند تداخل زیادی و غیرقابل کنترلی پیش می‌آید. بنابراین پیشنهاد می‌شود در کارهای آتی از سری زمانی تصاویر راداری مانند تصاویر Sentinel-1 و دیگر داده‌های کمکی، به دلیل ماهیت متفاوت داده‌برداری، از آنها استفاده شود.

منابع و مراجع

- [۱] دلفان، الهام؛ نقوی، حامد؛ ملک نیا، رحیم؛ نورالدینی، احمدرضا. ۱۳۹۸. مقایسه قابلیت تصاویر ماهواره های سنتینل-۲ و لندست ۸ در تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از روش های طبقه بندی پیکسل پایه و شی پایه. مجله مهندسی اکو سیستم بیابان. شماره ۲۵. صص ۱-۱۲.
- [۲] آرخی، صالح؛ کلوی، شیرین. ۱۳۹۸. مقایسه روش های طبقه بندی پیکسل پایه و شی گرا در تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مورد شناسی: شهر ایلام). فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری- منطقه ای. شماره ۲۲. صص ۱-۱۶.
- [۳] شفیعی، ساناز، مرضیه علی خواه اصل، محمد رضوانی. ۲۰۱۷. 'تهیه نقشه پوشش اراضی شهرستان اسلامشهر با استفاده از الگوریتم های حداکثر احتمال و فازی سال ۲۰۱۵، انسان و محیط زیست، ۱۵: ۲۷-۳۷.
- [۴] اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان قم. ۱۳۹۸. "سیمای منابع طبیعی". ۱۳۹۸. <https://qom.frw.ir>.
- [5] Carrasco, L., O Neil, A.W, Morton, R.D, Rowland, C.S, 2019. Evaluating Combinations of temporally aggregated Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat8 for Land Cover Mapping with Google Earth Engine. *Remote Sens.* 11 (3), 288.
- [6] Gislason, Pall Oskar, Jon Atli Benediktsson, and Johannes R Sveinsson. 2006. "Random Forests for Land Cover Classification." *Pattern Recognition Letters* 27 (4): 294-300.
- [7] Khaghani, Roghayeh, Shahla Mahmoodi, Ebrahim Pazira, and Mohammad Hassan Masihabadi. 2014. "Agricultural Land-Use Change in Qazvin Plain between 1987 and 2002 by GIS and RS." *Advances in Environmental Biology*, 129-37.
- [8] Li, Q.; Qiu, C.; Ma, L.; Schmitt, M.; Zhu, X, X. Mapping the Land Cover of Africa at 10 m Resolution from Multi- Source Remote Sensing Data with Google Earth Engine. *Remote Sens.* 2020, 12, 602.
- [9] Nikfar, Maryam, Mohammad J Valadan Zoej, Ali Mohammadzadeh, Mehdi Mokhtarzade, and Afshin Navabi. 2012. "Optimization of Multiresolution Segmentation by Using a Genetic Algorithm." *Journal of Applied Remote Sensing* 6 (1): 63592.
- [10] Phiri, D.; Simwanda, M.; Salekin, S.; Nyirenda, V.R; Murayama, Y.; Ranagalage, M. Sentinel-2 Data for Land Cover/ Use Mapping: A Review *Remote Sens.*
- [11] Smith, A. 2010. "Image Segmentation Scale Parameter Optimization and Land Cover Classification Using the Random Forest Algorithm." *Journal of Spatial Science* 55 (1): 69-79.
- [12] Sikarwar, Ankit, and Aparajita Chattopadhyay. 2016. "Change in Land Use-Land Cover and Population Dynamics: A Town-Level Study of Ahmedabad City Sub-District of Gujarat." *International Journal of Geomatics and Geosciences* 7 (2).