

تهیه نقشه سطح و تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس شمالی با کاربرد تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در استان آذربایجان غربی، ایران

جلال هناره‌خلیانی^{۱*}، ناصر احمدی‌ثانی^۲ و فرحناز رشیدی^۳

۱) استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: jhenareh@gmail.com
۲) دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.
۳) استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۳

چکیده

با توجه به اعلام آمارهای مختلف و متفاوت در زمینه سطح، پراکنش و تراکم جنگل‌های زاگرس، پایش و ارزیابی مستمر این جنگل‌ها با مشکلات اجرایی مواجه است. آمار و اطلاعات موجود از رویشگاه زاگرس به دلایل فراوان نظیر تهیه آنها به روش سنتی یا قدیمی بودن آن، کارایی لازم در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در این جنگل‌ها را ندارد. در این پژوهش به تهیه نقشه سطح و تراکم تاج پوشش عرصه‌های جنگلی زاگرس و تعیین حدود سایر کاربری‌ها، با دقت بالا با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ سال ۲۰۱۹ در جنوب استان آذربایجان غربی پرداخته شده است. طبقه‌بندی تصاویر با روش نظارت شده و الگوریتم‌های ML و SVM در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 انجام شد. برای تهیه نقشه واقعیت زمینی به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های خروجی از تصاویر مرورگر Bing و تصاویر Google Earth استفاده شد. در این پژوهش علاوه بر ۳ طبقه انبوهی جنگل، پنج کاربری غیرجنگلی شامل مرتع، باغ، زراعت، منابع آب و اراضی بایر و مسکونی طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد الگوریتم حداکثر احتمال با صحت کلی ۸۷/۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۷۴، بیشترین دقت را در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش داشت. بررسی آمار موجود نشان داد تاج پوشش جنگل‌های استان از وضعیت مطلوبی برخوردار نیست و سطح جنگل‌های زاگرسی استان معادل ۶۰۲۰۰/۵۵ هکتار است که حدوداً معادل ۹۰ درصد آمار سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۶۷۲۳۵/۹۱ هکتار) در سال ۱۳۹۹ است. می‌توان اظهار کرد داده‌های سنتینل-۲ برای تهیه نقشه پراکنش و تراکم تاج پوشش مناطق جنگلی و تهیه نقشه کاربری اراضی از لحاظ دقت و هزینه کارایی قابل قبولی دارد.

واژه‌های کلیدی: تراکم جنگل، جنگل‌های زاگرس، حداکثر احتمال، سنتینل-۲، کاربری اراضی.

مقدمه

جنگل بوده است. در سال‌های اخیر به استناد آخرین آمار فائو، مساحت جنگل‌های جهان معادل ۴/۰۶ میلیارد هکتار است. در دهه گذشته (۲۰۲۰-۲۰۱۰)، هر ساله ۴/۷ میلیون هکتار از جنگل‌های جهان در اثر عوامل تخریبی مختلف از دسترس

پیشینه جنگل‌های دنیا از این واقعیت حکایت دارد که کره زمین روزگاری بالغ بر شش میلیارد هکتار جنگل داشته و به عبارت دیگر حدود ۵۰ درصد خشکی‌های زمین پوشیده از

خارج شده‌اند (FAO, 2020). بر اساس اطلاعات ارزیابی جهانی جنگل در سال ۲۰۲۰ سرانه جهانی جنگل معادل ۰/۵۲ هکتار به ازای هر نفر و سرانه ملی جنگل در ایران ۰/۱۷ هکتار به ازای هر نفر است. ایران به‌عنوان یک کشور با پوشش کم جنگل در جهان همواره با چالش‌های محیط‌زیستی ناشی از تخریب جنگل‌ها روبه‌رو بوده است (مدیررحمتی، ۱۳۹۵). طبق اطلاعات و آمار مستند، ۱۲/۴ میلیون هکتار جنگل در ایران وجود دارد که این سطح فقط ۷/۳ درصد کشور را در برمی‌گیرد (مروی‌مهاجر، ۱۳۸۴). البته در سال‌های اخیر آمار رسمی اعلام شده از سوی سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری بیش از این سطح بوده است.

یکی از چالش‌های روبروی برنامه‌ریزان، مدیران و کارشناسان کشور وجود آمارهای متعدد و مبهم از منابع و اطلاعات متناقض می‌باشد. تعدد آمارها و گویا نبودن آنها غالباً ناشی از تهیه با روش‌های غیرمستند و غیرعلمی و نیز استفاده از منابع نامطمئن جمع‌آوری آمار و اطلاعات می‌باشد. شناسایی منابع طبیعی در هر مقیاس مبتنی بر مطالعات مختلف از جمله مطالعات فیزیوگرافی، اقلیم‌شناسی، ژئومورفولوژی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و غیره می‌باشد. اصلی‌ترین رکن این شناسایی در عرصه‌های وسیع منابع طبیعی اطلاع از وضعیت کمی و کیفی و سطح پوشش گیاهی و جنگلی است. تهیه نقشه از این منابع و تعیین حدود کاربری‌های مختلف از قبیل جنگل، مرتع، اراضی بیابانی و غیره در سال‌های گذشته در قالب طرح‌های مختلف مطالعاتی با مقیاس‌های متفاوت به صورت پراکنده در سطح ملی و استان‌ها انجام شده است.

پایش، ارزیابی و تهیه نقشه طبقات پوشش اراضی و پراکنش و تراکم جنگل‌ها توسط کارمندان بسیار زمان‌بر و پرهزینه است (احمدی‌ثانی، ۱۳۹۹) و کاربرد تصاویر ماهواره‌ای یک گزینه عملی در این موارد است (Rujoiu- Mare & Mihai, 2016) و برای غلبه بر فقدان آمارها و داده‌های زمینی، اغلب از سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود (Jain et al., 2017؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۸).

استفاده از دستاوردهای مختلف علمی به‌عنوان روش‌های جایگزین با هزینه کمتر و سطح دقت قابل قبول مانند سنجش

از دور می‌تواند اطلاعات دقیق و به موقع در مورد جنگل‌ها را در بسیاری از مناطق در مقیاس محلی تا جهانی و وضوح زمانی و مکانی مختلف ارائه دهد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۸). نقشه‌های پایه و به‌هنگام مبنای مدیریت پایدار در رویشگاه جنگلی زاگرس می‌باشد. استفاده از تصاویر جدید با قابلیت بالا در پایش زمین و محیط‌زیست باعث افزایش دقت و سرعت در روند تهیه این نقشه‌ها می‌شوند. ماهواره سنتینل ۲ دارای توان تصویربرداری چندطیفی با توان تفکیک مکانی و زمانی بالا و عرض برداشت زیاد است (احمدی‌ثانی، ۱۳۹۹؛ Forkuor et al., 2017). این ماهواره برای تامین داده در حوزه‌های تغییرات پوششی کاربری اراضی و نظارت بر جنگل طراحی شده است (Clerici et al., 2017; Phiri et al., 2020). طی سال‌های اخیر، استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل افزایش یافته و کارایی این تصاویر با توان تفکیک مکانی مطلوب در تهیه نقشه پوشش جنگل و کاربری اراضی نیز بسیار موفقیت آمیز بوده است (Hawryło et al., 2018; Immitzer et al., 2016; Inglada et al., 2015).

احمدی‌ثانی (۱۳۹۹) در یک تحقیق تهیه نقشه پوشش اراضی با دقت بالا با کاربرد تصاویر Sentinel-2A بستر Google Earth Engine را با استفاده از سه الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی، ماشین‌بردار پشتیبان و درخت تصمیم مورد ارزیابی و مقایسه قرار داد. در این مطالعه شاخص‌های متعدد با استفاده از روش‌های تبدیل و نسبت‌گیری طیفی تهیه و صحت نقشه‌های حاصل در مقایسه با نقشه‌های مرجع زمینی ارزیابی شد. نتایج مطالعه نشان داد بهترین صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب برابر ۸۶ درصد و ۰/۸۲ توسط الگوریتم جنگل تصادفی حاصل شده است. همچنین نتیجه‌گیری این تحقیق نشان داد تصاویر Sentinel-2A برای تهیه نقشه پوشش اراضی از لحاظ هزینه و دقت، کارایی بالایی دارد. در رابطه با تهیه نقشه جنگل و سایر کاربری‌های اراضی تحقیقات متعددی با کاربرد داده‌های ماهواره‌ای مختلف و با کمک شاخص‌های طیفی و الگوریتم‌های مختلف انجام شده است.

مهدوی‌سعیدی و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی به‌منظور تهیه نقشه مراحل تحولی در جنگل‌های شمال ایران روش شی پایه متکی به قطعه‌بندی ناظر به شاخص NDVI و الگوریتم

جنگل، آب، کشاورزی و زمین‌های خالی تفکیک شدند. نتایج آنها نشان داد روش حداکثر احتمال اعمال شده روی تصاویر Sentinel-2A دقت کلی و ضریب کاپای بالاتر از SVM را دارد.

آمار جنگل‌های زاگرس به دلیل گسستگی‌های فراوان، تغییرات کاربری شدید در طی دهه‌های اخیر و به‌خصوص زوال بلوط، بسیار متناقض و مبهم است و از آنها نمی‌توان در مدیریت پایدار و احیا جنگل به‌منظور بهینه کردن طرح‌های جنگل‌داری و جنگل‌کاری استفاده نمود. طبق آمار سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، مساحت جنگل‌های زاگرس استان آذربایجان غربی در طبقات مختلف تاج پوشش ۵ درصد تا بیش از ۷۵ درصد به میزان ۱۰۱۱۵۰ هکتار بود (بی‌نام، ۱۳۸۹) که شامل مساحت جنگل‌های پیوسته شهرستان‌های سردشت و پیرانشهر با گونه‌های غالب بلوط (*Quercus infectoria*, *Quercus libani*, *Quercus persica*) و آمیخته با گونه‌های جنگلی دیگر می‌باشد. بر اساس آمار ذکر شده مساحت جنگل‌های حوزه سردشت ۹۱۱۱۷ هکتار و حوزه پیرانشهر ۷۵۰۰ هکتار می‌باشد. این سطح در بررسی ۱۰ سال بعد برای تمام اراضی جنگلی محدوده رویشی زاگرس در استان آذربایجان غربی با سطح تاج پوشش بیش از یک درصد به ۶۷۲۳۵ هکتار رسیده است (بی‌نام، ۱۳۹۹). کاهش سطح جنگل استان در بین دوره بررسی می‌تواند ناشی از تفاوت در روش محاسبه و همچنین تخریب جنگل و تغییر کاربری باشد.

اطلاعات موجود از رویشگاه زاگرس به لحاظ داشتن نواقص فراوان نظیر تهیه آن به روش سنتی، عدم وجود مستندات علمی و کارشناسی و یا قدیمی بودن آن، کارایی لازم در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی این جنگل‌ها را ندارد. از آنجایی که پایش و ارزیابی مستمر عرصه‌های جنگلی رویشگاه زاگرس می‌تواند یکی از ابزارهای مدیریت پایدار این جنگل‌ها باشد، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی و ارزیابی کمی (سطح، پراکنش و انبوهی جنگل) و مساحت سایر کاربری‌های موجود در داخل عرصه‌های جنگلی زاگرس در استان آذربایجان غربی است تا با استفاده از این اطلاعات بتوان نسبت به مدیریت پایدار و بهینه این جنگل‌ها اقدام نمود.

حداکثر احتمال را دارای بیشترین دقت و صحت در طبقه‌بندی اعلام کردند. احمدی‌ثانی و همکاران (۱۳۸۷)، قابلیت تصاویر ASTER برای تهیه نقشه تراکم جنگل‌های زاگرس در مریوان را ارزیابی نمودند. در این پژوهش روش تحلیل مولفه‌های اصلی و نسبت‌گیری‌های مختلف برای تهیه باندهای مصنوعی اجرا شد و برای تجزیه و تحلیل تصاویر از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده متوازی‌السطوح، حداقل فاصله از میانگین، حداکثر احتمال و فازی استفاده گشت. در نهایت نتیجه‌گیری شد صحت کلی ۶۸/۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۵۱ نسبتاً مطلوب بوده است. در زمینه کاربرد روش‌های دور سنجی در محاسبه سطوح کاربری‌های کشاورزی نیز در تحقیقی با هدف برآورد سطح و تراکم کشت با استفاده از سنجش از دور در دشت همدان، شاخص‌های SAVI و NDVI جهت محاسبه سطح و تراکم کشت در منطقه مورد استفاده قرار گرفت و با آمار سطح زیرکشت سازمان جهاد کشاورزی مقایسه شد. نتایج نشان داد سطح زیرکشت برآورد شده مطابقت خوبی با آمار سازمان جهاد کشاورزی دارد (امینی‌بازیبی و همکاران، ۱۳۹۲).

در مطالعات خارج از کشور نیز در تحقیقی سطح جنگل‌های باقی‌مانده اقیانوس اطلس در ایالت سانتاکاتارینا در جنوب برزیل با کاربرد داده‌های لندست و اسپات و آماربرداری‌های زمینی برآورد شد. نتایج حاکی از صحت کلی نقشه‌ها از ۸۷ تا ۹۲ درصد بود. در این مطالعه نتیجه‌گیری شد برآورد سطح پوشش جنگل با استفاده از سنجش از دور، دارای محدودیت‌هایی چون پردازش تصویر و کسب و تفسیر داده‌ها می‌باشد (Vibrans et al., 2013). بررسی امکان تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه زونگولداغ ترکیه با استفاده از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲، نشان داد تصاویر ماهواره سنتینل ۲ با ضریب کاپا ۰/۸۵ از قابلیت بیشتری نسبت به تصاویر لندست ۸ با ضریب کاپای ۰/۷۸ برخوردار است (Marangoz et al., 2017).

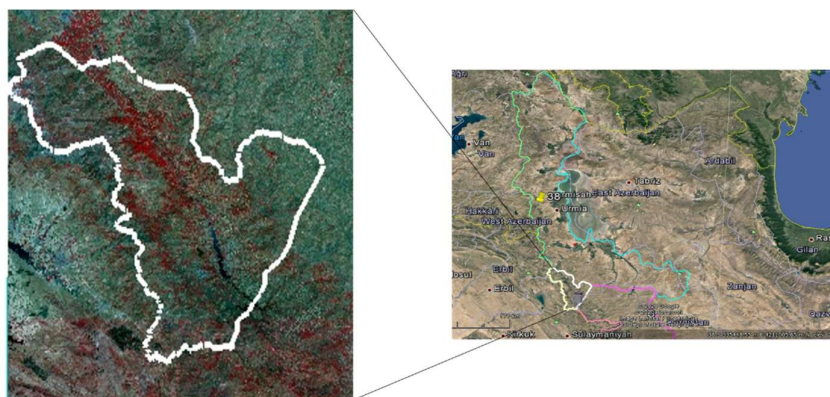
Majidi Nezhad و همکاران (۲۰۱۹)، طبقه‌بندی پوشش زمین را با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ در شهر رم انجام دادند. طبقه‌بندی آنها با استفاده از دو نوع الگوریتم حداکثر احتمال و ماشین‌بردار پشتیبان صورت پذیرفت و طبقه‌های شهری،

موارد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در این پژوهش، رویشگاه جنگلی زاگرس در جنوب استان آذربایجان غربی بود. در تعیین محدوده رویشگاه، مرز غربی مرز سیاسی ایران و عراق و محدوده جنوبی و شرقی مرز سیاسی استان آذربایجان غربی با استان کردستان تعیین شد. مرز شمالی هم از طریق بررسی پراکنش جنگل و با ملاک قرار دادن عوارض طبیعی تعیین گردید. در شکل (۱) مرز رویشگاه به عنوان منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. این منطقه بخشی از شهرستان‌های پیرانشهر و سردشت در استان آذربایجان غربی هستند که از روستای پردانان در جنوب

پیرانشهر شروع شده و تا مرز سیاسی شهرستان سردشت و شهرستان بانه ادامه می‌یابد. این محدوده بین مختصات عرض ۴۵ درجه و ۲ دقیقه و ۱۳ ثانیه تا ۴۵ درجه و ۴۶ دقیقه و ۵۸ ثانیه شرقی و طول ۳۵ دقیقه و ۵۸ ثانیه و ۱۹ ثانیه تا ۳۶ دقیقه و ۳۷ ثانیه و ۴۲ ثانیه شمالی قرار دارد. جنگل‌های زاگرس در استان آذربایجان غربی دارای ۲ تیپ متمایز است. تیپ شاخه‌زاد متراکم که بیشتر در شهرستان پیرانشهر پراکنش دارد و تیپ شاخه و دانه‌زاد بلوط که بیشتر در شهرستان سردشت پراکنش دارد. مجموع مساحت منطقه مورد مطالعه که به عنوان رویشگاه جنگلی زاگرس در استان آذربایجان غربی است، ۲۲۱۶۶۳/۸۴ هکتار می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و تصویر ماهواره‌ای آن (RGB842)

داده‌های مورد استفاده

برای انجام این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ که دومین سری از ماهواره‌های سنتینل هستند، استفاده شد. سامانه Sentinel-2 بر اساس عملکرد هم‌زمان دو ماهواره مشابه (به نام‌های 2A و 2B) است. هر یک از این ماهواره‌ها دارای یک سنجنده چندطیفی (MSI) هستند و بازتاب پدیده‌های روی زمین را در ۱۳ باند طیفی از مرئی تا مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR) اندازه‌گیری می‌کنند (Thales Alenia Space, 2017). ۸ باند از داده‌های ماهواره‌ای Sentinel-2 (۴ باند در اندازه تفکیک ۱۰ متر و ۴ باند در اندازه تفکیک ۲۰ متر) با توجه به هدف تحقیق حاضر، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند.

دسته دوم از داده‌های مورد استفاده، داده‌های رفرنس یا واقعیت زمینی بود. برای این منظور از تصاویر Google Earth و تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک بالا که از طریق برنامه SASPlanet و مرورگر Bing دانلود شدند، استفاده شد. با این

توضیح که تصاویر گوگل و بینگ نیز از طریق برداشت ۲۴۰ نمونه واقعیت زمینی مورد صحت‌سنجی قرار گیرد که نتایج آن در ادامه آورده شده است. در مجموع، در این پژوهش از ۶۹ برگ نقشه ۱/۲۵۰۰۰ و ۷۵ تصویر Bing و گوگل‌ارث استفاده شد. محققان بسیاری در سراسر دنیا از تصاویر گوگل‌ارث استفاده کرده و دقت افقی و مکانی این تصاویر در پژوهش‌های این محققان به اثبات رسیده است (Benker et al., 2011; Farah & Algarni, 2014; Pulighe et al., 2015; Goudarzi & Landry, 2017).

روش پژوهش

پیش‌پردازش و پردازش‌های سنجنش از دوری

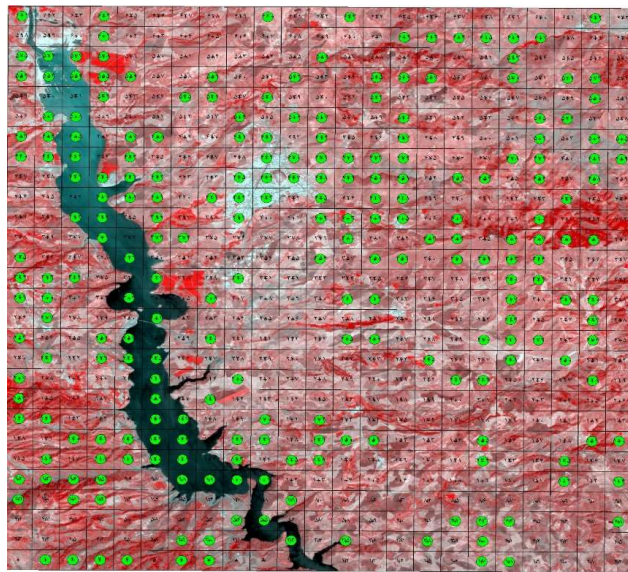
برای تصحیحات اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای از الگوریتم Quick atmospheric correction استفاده شد (Moravec et al., 2021). در این پژوهش از هشت باند مورد استفاده، باندهای ۴، ۳، ۲ و ۸ به دلیل تفکیک مکانی مطلوب (۱۰ متر) در طبقه‌بندی‌ها استفاده شد. به منظور تفکیک بهتر طبقه‌های پوشش گیاهی از دو شاخص گیاهی پرکاربرد نیز استفاده شد و پایگاه

جنگل و جانمایی سایر کاربری ها انتخاب شد و در طراحی شبکه یک برگ با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ که هر هشت کاربری مورد نظر در آن قرار داشته باشد، مد نظر قرار گرفت. آماربرداری زمینی با هدف برداشت ۲۴۰ نمونه واقعیت زمینی در ۸ کاربری مورد نظر بود (هر کاربری ۳۰ نمونه) و به این صورت، نقشه واقعیت زمینی و مرجع معتبری جهت ارزیابی صحت نقشه های طبقه بندی شده در این شیت به دست آمد (شکل ۲). نمونه های زمینی در کاربری جنگل در سه طبقه انبوهی جنگل به صورت مربعی شکل و به ابعاد ۳۰×۳۰ متر برداشت شد. طبقه انبوهی تاج پوشش در هر قطعه نمونه روی زمین، از طریق اندازه گیری نسبت سطح تصویر عمود تاج درختان روی زمین به کل سطح قطعه نمونه تعیین شد. در سایر طبقات پوشش زمین (غیر جنگل) تعیین طبقه پوشش زمین به صورت مشاهده در محل بود. هشت کاربری مورد نظر در برداشت های زمینی عبارت بودند از: (۱) جنگل با تاج پوشش انبوه (بالای ۵۰ درصد)؛ (۲) جنگل با تاج پوشش نیمه انبوه (۲۵-۵۰ درصد)؛ (۳) جنگل با تاج پوشش تنک (۲۵-۵ درصد)؛ (۴) مرتع؛ (۵) باغ؛ (۶) آب؛ (۷) مسکونی و خاک لخت؛ و (۸) زراعت.

باندها با ۱۲ باند (۱۰ باند سنتینل و دو شاخص NDVI و SAVI) تشکیل شد. مرور منابع مطالعاتی بیانگر آن است که شاخص NDVI (شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی) رابطه مستقیمی در تفکیک پوشش گیاهی با تراکم تاج و شاخص سطح برگ دارد و در کاهش اثرات نامطلوب توپوگرافی نیز موثر می باشد و شاخص SAVI (شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده بر حسب خاک) که اثر خاک پس زمینه در آن تعدیل شده باعث تمایز پوشش گیاهی با بازتاب خاک و کم کردن اثر خاک می باشد، باعث بالا رفتن تفکیک پذیری بهتر پوشش گیاهی به خصوص قسمت جنگلی می شود (Práválie, et al., 2022; Islam et al., 2021). در این پژوهش بهترین ترکیب باندهای استفاده از معیار Divergence برای هر تصویر ماهواره ای محاسبه شد (Newete et al., 2022; Huang et al., 2016).

ارزیابی صحت تصاویر بینگ و گوگل ارث

به منظور ارزیابی صحت تصاویر بینگ و گوگل ارث، شبکه نمونه برداری سیستماتیک به فاصله قطعات ۵۰۰ در ۵۰۰ متر طراحی شد. ابعاد شبکه بر اساس حداقل و حداکثر تاج پوشش

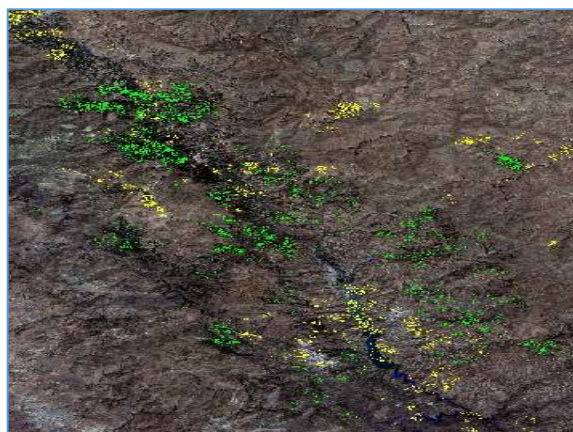


شکل ۲. شبکه آماربرداری و محل برداشت نمونه های واقعیت زمینی (+ شبکه آماربرداری، ⊕ نقاط واقعیت زمینی)

شد. نمونه های تعلیمی در شکل (۳) نشان داده شده است. در این مرحله تعداد ۶۶۹۳ پلیگون با ۱۰۶۳۲۵ پیکسل و مجموع ۱۰۶۳۲۵ هکتار به عنوان نمونه تعلیمی انتخاب شدند (شکل ۳).

انتخاب نمونه های تعلیمی

در ادامه، نمونه های تعلیمی با اندازه و پراکنش مناسب برای دو کاربری جنگل و غیر جنگل بر روی تصاویر سنتینل برداشت



شکل ۳. نمونه‌های تعلیمی روی تصاویر سنتینل

روش حداکثر احتمال نیز در بسیاری از تحقیقات داخلی و خارجی برای تهیه نقشه پوشش و کاربری زمین نتایج قابل قبولی را ارائه کرده است (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۲؛ Stefanov *et al.*, 2001; Erbek *et al.*, 2004; Reis, 2008; Thakkar *et al.*, 2017).

بعد از تفکیک دو طبقه جنگل و غیرجنگل در محدوده جنگل تفکیک سه طبقه انبوهی شامل ۱) جنگل با تاج پوشش انبوه (بیشتر از ۵۰ درصد)؛ ۲) جنگل با تاج پوشش نیمه انبوه (۲۵ تا ۵۰ درصد)؛ و ۳) جنگل با تاج پوشش تنک (۲۵-۵ درصد) با استفاده از باندهای اصلی و شاخص‌ها انجام گرفت. بر این اساس، ابتدا نقشه مقادیر پیوسته NDVI در محدوده جنگل تهیه شد، سپس با توجه به قابلیت NDVI در بررسی انبوهی جنگل با تصاویر سنتینل-۲ در مطالعات پیشین (Frampton *et al.*, 2013; Barakat *et al.*, 2018)، انبوهی جنگل بر اساس مقادیر NDVI پیکسل‌ها در سه کلاس طبقه‌بندی شد. حد آستانه طبقه‌بندی NDVI برای ۳ طبقه تراکمی در جدول (۱) آورده شده است. حدود آستانه بر اساس مقادیر NDVI در نمونه‌های واقعی زمینی (۹۰ قطعه نمونه ۳۰*۳۰) استخراج شد.

بعد از انتخاب نمونه‌های تعلیمی با بررسی هیستوگرام نمونه‌ها مناسب بودن نمونه‌ها مورد تایید قرار گرفت. در صورت تبعیت هیستوگرام نمونه‌های تعلیمی یک کاربری از منحنی نرمال نشان از کیفیت بالای نمونه‌های انتخابی دارد و همچنین جهت بررسی مناسب بودن نمونه‌های کل کاربری‌ها، signature value (نشانه طیفی) نمونه‌های تعلیمی همه کاربری‌ها مورد بررسی قرار گرفت تا دارای کمترین تداخل طیفی و همپوشانی باشند.

طبقه‌بندی

طبقه‌بندی تصاویر سنتینل-۲ و تهیه نقشه جنگل و غیرجنگل با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان و حداکثر احتمال انجام شد. روش ماشین‌بردار پشتیبان در بسیاری از تحقیقات خارجی برای تهیه نقشه پوشش جنگل و کاربری زمین مورد استفاده قرار گرفته و نتایج مناسبی ارائه کرده است (Topaloglu *et al.*, 2016; Jedrych *et al.*, 2017; Mustafa *et al.*, 2018; Hawrylo *et al.*, 2018). همچنین دقت این روش برای تهیه نقشه پوشش زمین در مطالعات داخلی نیز به اثبات رسیده است (داودی‌منظم و همکاران، ۱۳۹۳؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳).

جدول ۱. حد آستانه در NDVI برای ۳ طبقه تراکم تاج پوشش جنگل

حد آستانه	تراکم تاج پوشش
۰/۰۰۱-۰/۳۲۵۹۱۱	تنک
۰/۳۲۵۹۱۱-۰/۵۹۳۲۸۵	نیمه انبوه
۰/۵۹۳۲۸۵-۰/۸۰۰۶۵۹	انبوه

مقایسه دقت الگوریتم‌های طبقه‌بندی

به منظور مقایسه نقشه حاصل از طبقه‌بندی‌ها با نقشه واقعیت زمینی، ارزیابی صحت برای خروجی طبقه‌بندی‌ها با استفاده از ماتریس خطا و معیارهای صحت کلی، ضریب کاپا، صحت تولیدکننده و صحت کاربر ارزیابی شد. منطقه پایلوت به منظور بررسی دقت طبقه‌بندی‌کننده‌ها انتخاب گردید. نقشه‌های حاصل از دو طبقه‌بندی‌کننده SVM و ML شامل نقشه کاربری جنگل و غیرجنگل، نقشه ۶ طبقه (جنگل، مرتع، باغ، زراعت سالانه، اراضی بایر و آب) و نقشه ۸ کلاسه (طبقات قبلی و تفکیک جنگل به جنگل انبوه، جنگل نیمه انبوه و جنگل تنک) با معیارهای مذکور مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج

نمونه‌های تعلیمی و ترکیبات باندی

بهترین ترکیب باندی مورد استفاده در جدول (۲) آورده شده است. بیشترین تفکیک‌پذیری بین کلاسه‌های جنگل و غیرجنگل (۲ کلاسه‌ای) و کمترین تفکیک‌پذیری بین طبقه‌های ۸ گانه (۳ طبقه تراکم جنگل، مرتع، باغ، زراعت سالانه، اراضی بایر و آب) به دست آمد. ولی به طور کلی تفکیک‌پذیری تمام کلاسه‌ها بالاتر از ۱/۸ حاصل شد. تفکیک‌پذیری هر چقدر به ۲ نزدیک‌تر باشد نشان از تفکیک‌پذیری بهتر نمونه‌های تعلیمی و در نتیجه دقت بالاتر نقشه نهایی خواهد داشت که نتایج این تحقیق هم بیانگر میزان جداسازی خوب طبقات بر اساس باندهای طیفی است.

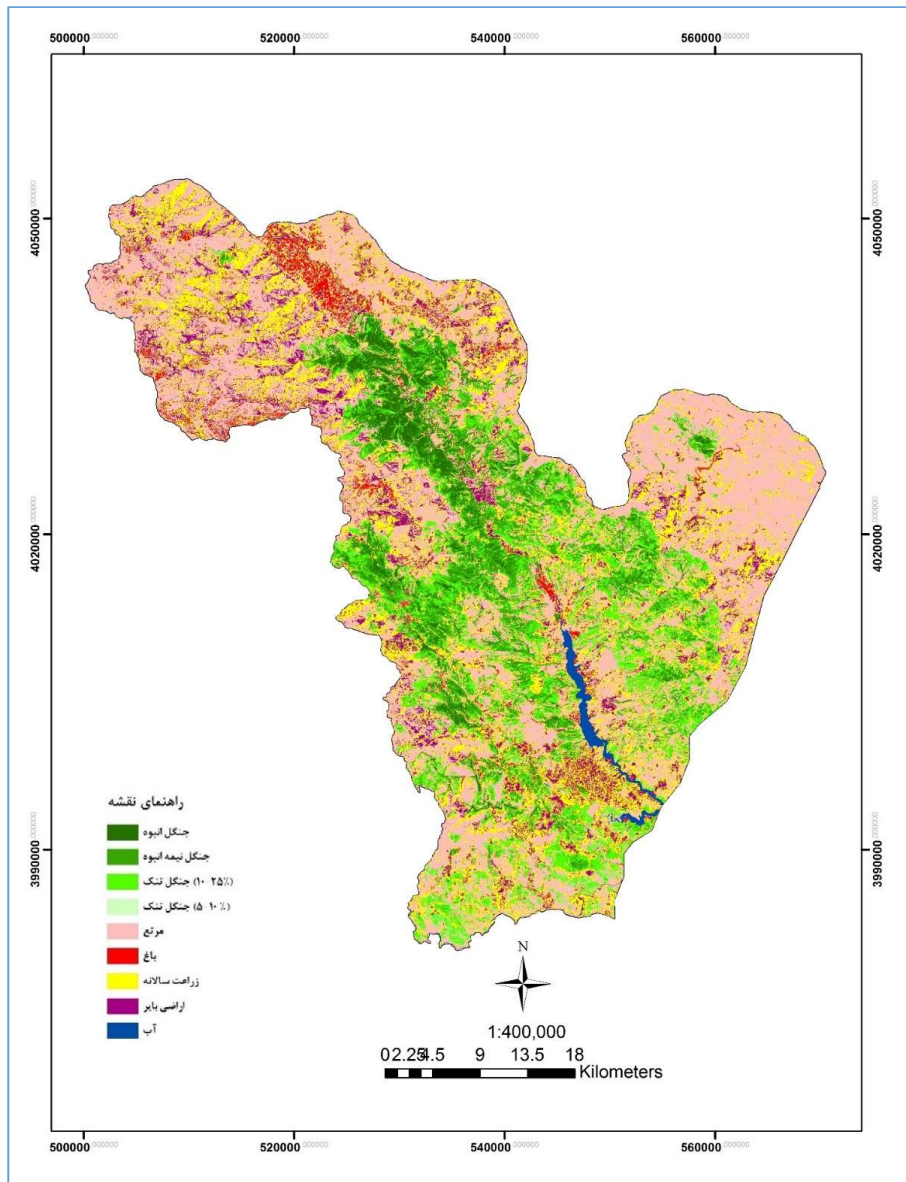
جدول ۲. بهترین ترکیب باندی مورد استفاده در طبقه‌بندی

نوع طبقه‌بندی	شماره SCENE	بهترین ترکیب باندی	تعداد باند
۲ طبقه (جنگل و غیرجنگل)	T38SNE_20190807T093831	NDVI+SAVI+8+4+3+2	۶
	T38SNF_20190807T093831	NDVI+SAVI+8+4+3+2	۶
۶ طبقه (جنگل، مرتع، باغ، زراعت، بایر و مسکونی و منابع آب)	T38SNE_20190807T093831	2+4+5+8+8a+ NDVI+SAVI	۷
	T38SNF_20190807T093831	2+3+4+8+8a+ NDVI+SAVI	۷
۸ طبقه (جنگل انبوه، جنگل نیمه انبوه، جنگل تنک، مرتع، باغ، زراعت، بایر و مسکونی و منابع آب)	T38SNE_20190807T093831	2+4+5+8+8a+12+ NDVI	۷
	T38SNF_20190807T093831	2+4+5+8+8a+12+ NDVI	۷

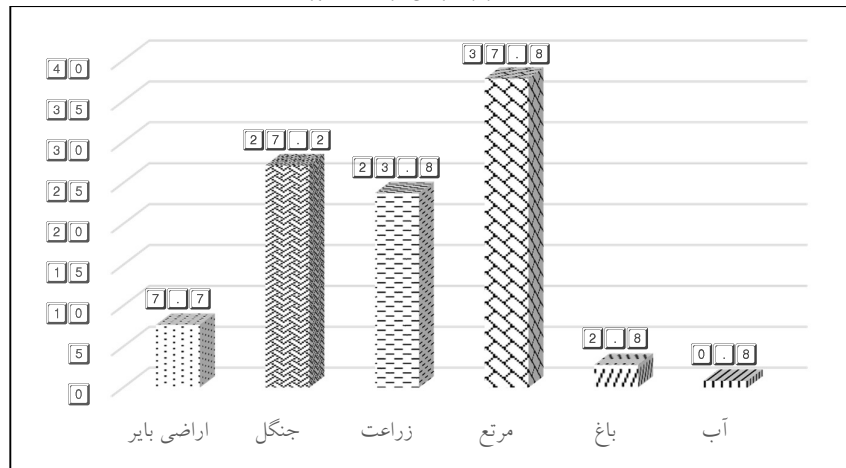
کاربری‌های اراضی در رویشگاه زاگرسی استان

نقشه کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج نشان داد کاربری مرتع با مساحت ۸۳۶۹۱/۴۴ هکتار معادل ۳۷/۸ درصد بیشترین و کاربری آب با مساحت ۱۸۵۶/۴۵ هکتار معادل ۰/۸ درصد کمترین سطح را در داخل رویشگاه به خود اختصاص داده است. مساحت جنگل‌ها با ۶۰۲۰۰/۵۵ هکتار معادل ۲۷/۲ درصد سطح منطقه

است. سطح باغات برابر ۶۴۸۴ هکتار معادل ۲/۸ درصد و زراعت ۵۲۷۲۹/۸۳ هکتار برابر ۲۳/۷ درصد از کل منطقه مورد مطالعه است. اراضی بایر ۱۷۰۰۹/۳۴ هکتار برابر ۷/۷ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده است (شکل ۴). در شکل (۵) نیز نمودار درصد پوشش کاربری اراضی در رویشگاه زاگرسی استان آمده است.



شکل ۴. نقشه کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه

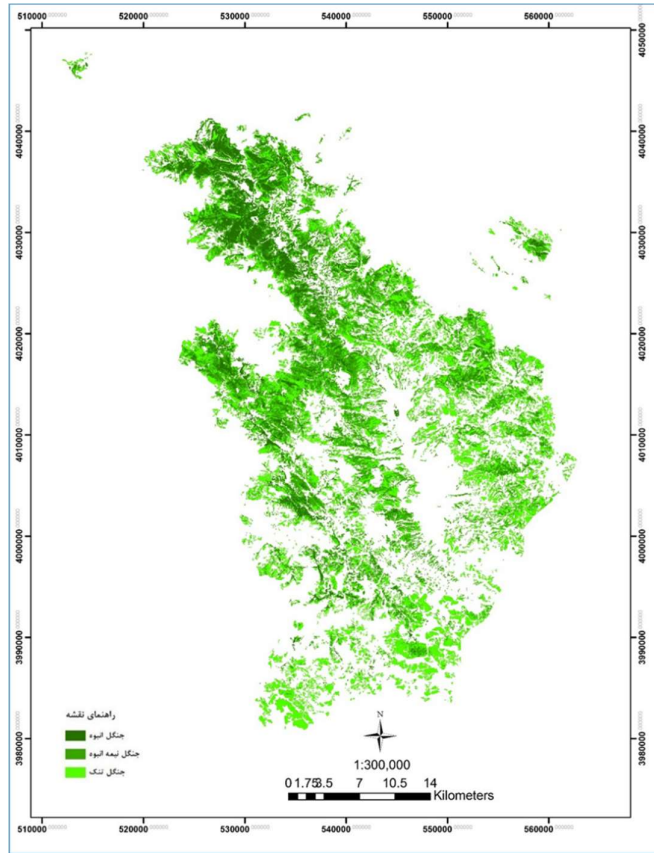


شکل ۵. درصد پوشش کاربری اراضی در رویشگاه زاگرسی استان

تهیه نقشه سطح و تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس شمالی با کاربرد تصاویر ماهواره سنتینل.../۵۹

مساحت جنگل انبوه (بالای ۵۰ درصد) ۷۲۹۴/۷۲ هکتار، جنگل نیمه انبوه (۵۰-۲۵ درصد) ۲۴۳۲۲/۱۴ هکتار و جنگل تنک (۵ تا ۲۵ درصد) ۲۸۵۸۳/۶۸ هکتار به دست آمد (شکل ۶).

نقشه انبوهی جنگل در سه طبقه تاج پوشش: جنگل انبوه، نیمه انبوه و تنک که از طریق شاخص NDVI به دست آمد در شکل (۶) آمده است. بر اساس مساحت طبقات محاسبه شده،

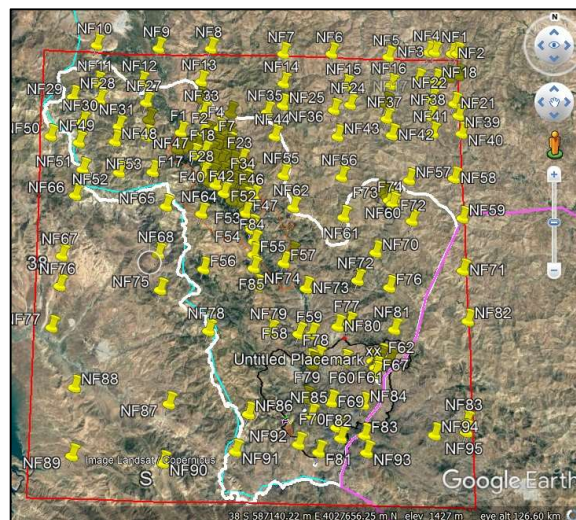


شکل ۶. نقشه انبوهی جنگل (۳ طبقه)

۰/۹۳ (تصاویر بینگ) و صحت کلی ۹۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۶ (تصاویر گوگل‌ارث) بود که نشان از دقت بالای هر دو تصویر به عنوان واقعیت زمینی دارد (شکل ۷).

صحت تصاویر گوگل‌ارث/بینگ

ارزیابی صحت تصاویر بینگ و گوگل‌ارث با نقشه واقعیت زمینی تهیه شده بیانگر صحت کلی ۹۵ درصد و ضریب کاپا



شکل ۷. نقاط واقعیت زمینی روی تصاویر گوگل

معیارهای ارزیابی صحت

بیشترین صحت تولیدکننده (۹۹/۵۵ درصد) و مناطق باغی دارای کمترین صحت تولیدکننده (۷۱/۱۲ درصد) است. در رابطه با صحت کاربر، کمترین صحت (۵۹/۱۷ درصد) مربوط به باغ و بیشترین صحت مربوط به جنگل انبوه (۹۷/۲۴ درصد) است. کلاسه های مرتع، جنگل و زراعت حدود ۹۰ درصد پوشش زمین در منطقه را شامل می شوند، بنابراین صحت های وزنی مساحت آنها باعث تاثیر نسبتا بیشتری روی صحت کلی شده است.

نتایج ارزیابی صحت نقشه های خروجی (ضریب کاپا و صحت کلی) با استفاده از روش طبقه بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان^۱ و حداکثر احتمال^۲ در جدول (۳) و ماتریس خطا برای بهترین طبقه بندی در جدول (۴) آورده شده است. بر اساس نتایج، طبقه بندی کننده ML در همه موارد دارای صحت کلی و ضریب کاپای بالاتری نسبت به طبقه بندی کننده SVM است. از میان همه طبقات، اراضی مسکونی و بایر دارای

جدول ۳. دقت الگوریتم های طبقه بندی در منطقه پایلوت

شماره	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	طبقه بندی کننده
۱	۰/۸۴	۹۲/۲۲	ML_2Class
۲	۰/۷۶	۸۸/۳۳	ML_6Class
۳	۰/۷۵	۸۸/۲	SVM_2Class
۴	۰/۷۴	۸۷/۳	ML_8Class
۵	۰/۷۳	۸۶/۴	SVM_8Class
۶	۰/۷۴	۸۵/۲	SVM_6Class

جدول ۴. ماتریس خطای بهترین طبقه بندی

معیارها	جنگل انبوه	جنگل نیمه انبوه	جنگل تنک (۱۰-۲۵٪)	مرتع	زراعت	باغ	مسکونی و بایر	آب
صحت کاربر	۹۷/۲۴	۹۱/۱۷	۸۳/۱۴	۹۴/۲۵	۶۱/۳۲	۵۹/۱۷	۹۴/۳۵	۱۰۰
صحت تولیدکننده	۹۱/۷۲	۸۱/۲۶	۸۹/۲۲	۸۱/۱۲	۷۵/۸۷	۷۱/۱۲	۹۹/۵۵	۹۸/۷۲

صحت کلی (درصد): ۸۷/۳
ضریب کاپا: ۰/۷۴

بحث و نتیجه گیری

تهیه نقشه جنگل ها و سایر پوشش اراضی در منطقه مورد مطالعه به دلیل دخالت های انسانی و تخریب و تغییرات زیاد کاربری به ویژه جنگل ها، چالش برانگیز و ضروری است. پیشرفت در سنجش ازدور و افزایش دسترسی به داده های ماهواره ای این امکان را ایجاد کرده است که این نقشه ها با دقت بالا تهیه شوند، اگرچه روش تهیه نقشه با توجه به شرایط محیطی، ویژگی داده های ورودی و نوع کاربرد می تواند متفاوت باشد.

تفکیک پذیری بهتر پوشش گیاهی به خصوص قسمت جنگلی می شود. همچنین عملکرد دو الگوریتم (ML و SVM) برای طبقه بندی پوشش اراضی و تراکم تاج پوشش در یک منطقه جنگلی ناهمگن مورد ارزیابی قرار گرفت. به کارگیری الگوریتم های مختلف طبقه بندی نشان داد بهترین نتیجه مربوط به الگوریتم حداکثر احتمال است که در راستای نتایج حاصل از بزرافکن و همکاران (۱۳۹۳)، حیدریان و همکاران (۱۳۹۲)، Stefanov و همکاران (۲۰۰۱)، Erbek و همکاران (۲۰۰۴) و Mustafa و همکاران (۲۰۱۸) است. همچنین نتایج این پژوهش هم راستا با تحقیقات مهدوی سعیدی و همکاران (۱۳۹۹) است که قطعه بندی ناظر به شاخص NDVI و الگوریتم حداکثر احتمال را دارای بیشترین دقت و صحت در طبقه بندی جنگل های شمال ایران اعلام کردند.

در این پژوهش داده های Sentinel-2 سال ۲۰۱۹ و دو شاخص پرکاربرد NDVI (شاخص نرمال شده پوشش گیاهی که رابطه مستقیمی در تفکیک پوشش گیاهی با تراکم تاج و شاخص سطح برگ دارد) و SAVI (شاخص که اثر خاک پس زمینه در آن تعدیل شده و باعث تمایز پوشش گیاهی با بازتاب خاک و کم کردن اثر خاک می باشد) باعث بالا رفتن

طبقه بندی های متعددی برای تولید نقشه های کاربری اراضی و پراکنش و تراکم تاج پوشش جنگل ها توسعه یافته و مورد

1 Support Vector Machine

2 Maximum Likelihood

و طبقات پوشش نیز این مطلب را تایید می‌کند (Bolyn et al., 2018; Alonso et al., 2021).

معمولا تصاویر فصل تابستان صحت و کارایی مناسبی برای تهیه نقشه پراکنش جنگل‌ها و سایر کاربری‌های اراضی نشان داده است، هرچند که ممکن است بهترین ماه متفاوت باشد. در این تحقیق نیز از تصویر مرداد ماه استفاده شد. در مرور منابع تحقیق Gomez و همکاران (۲۰۱۶) نیز پیدا است که بیشتر از تصاویر فصل تابستان استفاده شده و در مطالعات Msigwa و همکاران (۲۰۱۷) نیز بهترین فصل برای تفکیک پوشش و کاربری‌های مختلف، فصل خشک معرفی شده است. نتایج نشان داد علی‌رغم اینکه منطقه جنگلی است، جنگل فقط ۲۷ درصد سطح پوشش منطقه را به خود اختصاص داده است که از این مقدار هم بیشتر سطح منطقه (حدود ۹۰ درصد) در طبقه تراکمی تاج پوشش کمتر از متوسط قرار دارد که نشان از تبدیل و تخریب شدید جنگل‌ها برای استفاده‌های مختلف و وضعیت نامطلوب تاج پوشش و نحوه مدیریت جنگل‌های استان است. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد سطح جنگل‌های زاگرس استان، ۶۰۲۰۰/۵۵ هکتار است که معادل حدود ۶۰ درصد مساحت اعلام شده در برآوردهای قبلی توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در سال ۱۳۸۹ می‌باشد که طبیعتا تعاریف متفاوت از جنگل و مرتع و سرعت تخریب و تغییر کاربری اراضی می‌تواند دلایل اصلی تفاوت در مساحت ارزیابی شده باشد، چرا که در آمار به‌هنگام سازمان مذکور سطح این جنگل‌ها ۶۷۲۳۵/۹۱ هکتار اعلام شده که با نتایج این مطالعه حدود ۱۰ درصد تفاوت دارد.

به‌طور کلی همان‌طور که در مطالعه احمدی‌ثانی (۱۳۹۹) و Schulz و همکاران (۲۰۲۱) نیز بیان شد با توجه به نتایج می‌توان ادعا نمود که تصاویر Sentinel-2 برای تهیه نقشه پوشش زمین و پراکنش و تراکم تاج پوشش از لحاظ هزینه و دقت، کارایی بالایی دارد و می‌تواند در کاربردهای مختلف مانند داده‌های ورودی برای کشف و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌ها، بوم‌شناسی سیمای سرزمین و اثرات نامطلوب فعالیت‌های انسانی در راستای برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین

استفاده قرار گرفته است. در بسیاری از مطالعات از طبقه‌بندی‌های ماشین یادگیری مانند SVM و ML استفاده شده است و بر کارایی و سودمندی نتایج آنها تاکید شده است (Mengist et al., 2022; Phiri et al., 2020; Maxwell et al., 2018). الگوریتم‌های مختلف می‌توانند عملکرد متفاوتی نسبت به میزان نمونه تعلیمی و نوع رویشگاه (نوع جنگل و گونه‌های درختی) داشته باشند (Xie et al., 2019). الگوریتم‌ها با افزایش نسبت نمونه تعلیمی نتایج بهتری را ارائه می‌دهند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت روش‌های طبقه‌بندی با توجه به میزان نمونه تعلیمی، عملکردهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند و نمی‌توان گفت که روش خاصی همیشه نتایج بهتری را ارائه خواهد داد. چنانچه در تحقیق Rimal و همکاران (۲۰۲۰)، Deilmai و همکاران (۲۰۱۴) و Taati و همکاران (۲۰۱۵)، بهترین نتیجه مربوط به الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان بوده است. تجزیه و تحلیل صحت طبقات نشان داد طبقه‌بندی‌کننده‌ها از نظر قدرت در تشخیص ویژگی‌های پوشش زمین در هر طبقه متفاوت هستند. به‌عنوان مثال در طبقات جنگل تنک، باغ و زراعت، دقت بالایی تولیدکننده در ترکیب با دقت کم کاربر نشان‌دهنده بیش برآورد در این مناطق است، درحالی‌که طبقه مرتع را کم برآورد کرده است که با توجه به ناهمگنی و تشابه طیفی مراتع با دیم‌زارها و خاک لخت قابل توجیه است. چنانچه در تحقیق Rasul و همکاران (۲۰۱۸) نیز اشاره شده است اختلاط طیفی بین مراتع و اراضی بایر و زمین‌های زراعی شخم خورده و دیم‌زارها یک محدودیت شناخته‌شده در سنجش‌ازدور است.

همان‌طور که در منابع مختلف اشاره شده کار زمینی زمان‌بر و پرهزینه است و بسیاری از تصاویر ماهواره‌ای یا در دسترس نیستند یا قیمت بالایی دارند (احمدی‌ثانی، ۱۳۹۹). با توجه به دسترسی آسان و رایگان به داده‌های Sentinel-2 با تفکیک طیفی و مکانی مناسب و دوره تکرار برداشت ۱۰ روزه (Schulz et al., 2021) و با توجه به نتایج این مطالعه، امکان تهیه نقشه پراکنش و تراکم تاج پوشش نسبتا دقیق با صحت کلی و ضریب کاپای بالا با کاربرد این تصاویر فراهم است و نتایج یافته‌های اخیر علی‌رغم متفاوت بودن منطقه مورد مطالعه

مروری مهاجر، م. (۱۳۸۴) جنگل‌شناسی و پرورش زاگرس. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۳۸۸ صفحه.

مهدوی سعیدی، ا.، بابایی کفاکی، س. و متاجی، ا. (۱۳۹۹) بررسی کارایی داده‌های ماهواره‌های GeoEye-۱ برای تهیه نقشه مراحل تحولی در جنگل‌های شمال ایران. نشریه تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱۱، ۱ (پیاپی ۳۳): ۲۴-۱۱.

ناصری، م.ح.، شتایی جویباری، ش.، محمدی، ج. و احمدی، ش. (۱۳۹۸) قابلیت تصویر ماهواره‌ای Eye Rapid در تهیه نقشه پراکنش تاج پوشش درختان منطقه جنگلی دشت برم استان فارس. نشریه بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۷ (۱۴): ۶۹-۵۸.

یوسفی، ب.، احمدی‌ثانی، ن. و شریفی، س. (۱۳۹۸) ارزیابی تصاویر IRS-P6 برای برآورد سطح زیرکشت باغات. نشریه علمی- پژوهشی سنجش از دور و GIS ایران، ۱۱ (۱): ۱۱۳-۱۲۶.

یوسفی، ص.، تازه، م.، میرزایی، س.، مرادی، ح.ر. و توانگر، ش. (۱۳۹۳) مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی، مطالعه موردی شهرستان نور. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵ (۳): ۶۷-۷۶.

Alonso, L., Picos, J. and Armesto, J. (2021) Forest land cover mapping at a regional scale using multi-temporal sentinel-2 imagery and RF models. Remote sensing, 13(12): 22-37.

Barakat, A., Khellouk, R., Jazouli, A.E., Touhami, F. and Nadem, S. (2018) Monitoring of forest cover dynamics in eastern area of Béni-Mellal Province using ASTER and Sentinel-2A multispectral data. Geology, Ecology and Landscape. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1452478/>

Benker, S.Ch., Langford, R.P. and Pavlis, T.L. (2011) Positional accuracy of the Google Earth terrain model derived from stratigraphic unconformities in the Big Bend region, Texas, USA. Geocarto International, 26(4): 291-303.

Bolyn, C., Michez, A., Gaucher, P., Lejeune, P. and Bonnet, S. (2018) Forest mapping and species composition using supervised per pixel classification of Sentinel-2 imagery. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 22(3): 172-187.

Clerici, N., Valbuena Calderon, C.A. and Posada, J.M. (2017) Fusion of sentinel-1A and sentinel-2A data for land cover mapping: A case study in the lower assessment in coastal meadows. Ecological Indicators, 122: 107227.

Deilmai, B.R., Ahmad, B. and Zabihi, H. (2014)

و مدیریت پایدار منابع طبیعی به ویژه جنگل‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

احمدی‌ثانی، ن.، درویش‌صفت، ع.، زبیری، م. و فرزانه، ع. (۱۳۸۷) بررسی قابلیت تصاویر سنجنده ASTER جهت تهیه نقشه تراکم جنگل‌های زاگرس، مطالعه موردی جنگل-های مریوان. منابع طبیعی ایران، ۶۱ (۳): ۶۰۳-۶۱۴.

احمدی‌ثانی، ن. (۱۳۹۹) بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2A در بستر Google Earth Engine برای تهیه نقشه پوشش زمین. نشریه تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱۱ (۲) (پیاپی ۳۴): ۸۹-۹۹.

امینی‌بازایی، س.، اکبری، م. و زارع‌ایبانه، ح. (۱۳۹۲) برآورد سطح و تراکم کشت با استفاده از سنجش از دور در دشت همدان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱ (۷): ۳۶-۴۸.

بزرافکن، ع.، پیرباوقار، م. و فتحی، پ. (۱۳۹۳) بررسی قابلیت داده‌های سنجنده Liss III به منظور تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس، مطالعه موردی جنگل‌های مریوان. مجله جنگل ایران، ۶ (۴): ۳۸۷-۴۰۱.

بی‌نام. (۱۳۸۹) سطح جنگل‌های طبیعی و دست‌کاشت ایران. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، صفحه ۱.

بی‌نام. (۱۳۹۹) سطح جنگل‌های طبیعی و دست‌کاشت ایران. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، صفحه ۱.

حیدریان، پ.، رنگزن، ک.، ملکی، س. و تقی‌زاده، ا. (۱۳۹۲) پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست، مطالعه موردی اراضی شهر تهران. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۴ (۴): ۱۰-۱.

داودی‌منظم، ز.، حاجی‌نژاد، ع.، عباس‌نیا، م. و پوره‌اشمی، س. (۱۳۹۳) پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک سنجش از دور، مطالعه موردی شهرستان شهریار. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱ (۱): ۱-۱۳.

مدیررحمتی، ع. (۱۳۹۵) توسعه زراعت چوب، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر و حیاتی برای کشور. نشریه طبیعت ایران، ۱ (۱): ۱۴-۲۱.

- sensing and GIS. *Environmental Challenges*, 4: 100162.
- Jain, M., Singh, B., Srivastava, A.A.K., Malik, R.K., McDonald, A.J. and Lobell, D.B. (2017) Using satellite data to identify the causes of and potential solutions for yield gaps in India's Wheat Belt. *Environmental Research Letters*, 12(09): 210-223.
- Jedrych, M., Bogdan Zagajewski, B. and Marcinkowska-Ochtyra, A. (2017) Application of Sentinel-2 and EnMAP new satellite data to the mapping of Alpine vegetation of the Karkonosze Mountains. *Polish Cartographical Review*, 49(3): 107-119.
- Majidi Nezhad, M. Heydari, A., Fusilli, L. and Laneve, G. (2019) Land cover classification by using Sentinel-2 Images: A case study in the city of Rome. Proceedings of the 4th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'19) Rome, Italy– April, 2019 Paper No. ICEPTP 158. DOI: 10.11159/iceptp19.158/
- Marangoz, A.M., Sekertekin, A. and Akcin, H. (2017) Analysis of land use land cover classification results derived from Sentinel-2 image. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, pp. 3-8.
- Maxwell, A.E., Warner, T.A. and Fang, F. (2018) Implementation of machine learning classification in remote sensing: An applied review. *International Journal of Remote Sensing*, 39(9): 2784–2817.
- Mengist, W., Soromessa, T. and Feyisa, G.L. (2022) Forest fragmentation in a forest Biosphere Reserve: Implications for the sustainability of natural habitats and forest management policy in Ethiopia. *Resources, Environment and Sustainability*, 8: 100058.
- Moravec, D., Komárek, J., López-Cuervo Medina, S. and Molina, I. (2021) Effect of atmospheric corrections on NDVI: Intercomparability of Landsat 8, Sentinel-2, and UAV sensors. *Remote Sensing*, 13(18): 3550.
- Msigwa, A., Komakech, H. and Verbeiren, B. (2017) Land use/cover mapping of the dry and wet season of Kikuletwa catchment using GIS and remote sensing techniques. In EGU General Assembly Conference Abstracts, Vienna, April: 5979.
- Mustafa, A., Rienow, A., Saadi, I., Cools, M. and Teller, J. (2018) Comparing support vector machines with logistic regression for calibrating cellular automata land use change models. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1): 391-401.
- Newete, S.W., Abutaleb, K. and Byrne, M.J. (2022) Mapping the distribution and tree canopy cover of *Jacaranda mimosifolia* and *Platanus acerifolia* in Johannesburg's urban forest. *Scientific Reports*, 12(1): 1-13.
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V.R., Murayama, Y. and Ranagalage, M. (2020) Sentinel2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14): 2291-2291.
- Comparison of two classification methods (MLC and SVM) to extract land use land cover in Johor, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 20. In 7th IGRSM International Remote Sensing and GIS Conference and Exhibition. Kuala Lumpur, Malaysia, pp: 22-23.
- Erbek, F.S., Ozkan, C. and Taberner, M. (2004) Comparison of maximum likelihood classification method with supervised artificial neural network algorithms for land use activities. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9): 1733-1748.
- FAO. (2020) Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings, Rome. Retrieved from <https://doi.org/10.4060/ca8753en/>
- Farah, A. and Algarni, D. (2014) Positional accuracy assessment of google earth in Riyadh. *Artificial satellites*, 49, 2. DOI: 10.2478/arsa-2014-0008/
- Forkuor, G., Dimobe, K., Serme, I. and Tondoh, J. (2017) Landsat-8 vs. Sentinel-2: Examining the added value of sentinel-2's red-edge bands to land-use and land-cover mapping in Burkina Faso. *GIS science and remote sensing*, 2017. DOI: 10.1080/15481603.2017.1370169/
- Frampton, W.J., Dash, J., Watmough, G. and Milton, E.J. (2013) Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82(3): 83-92.
- Gómez, C., White, J.C. and Wulder, M.A. (2016) Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116(1): 55-72.
- Goudarzi, M.A. and Landry, R.J. (2017) Assessing horizontal positional accuracy of google earth imagery in the city of montreal, Canada. *Geodesy and Cartography*, 43(2): 56-65.
- Hawryło, P., Bednarz, B., Wężyk, P. and Szostak, M. (2018) Estimating defoliation of Scots pine stands using machine learning methods and vegetation indices of Sentinel-2. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1): 194-204.
- Huang, H., Roy, D.P., Boschetti, L., Zhang, H.K., Yan, L., Kumar, S.S., Kumar, J., Gomez, D. and Li, J. (2016) Separability analysis of Sentinel-2A multi-spectral instrument (MSI) data for burned area discrimination. *Remote Sensing*, 8(10): 873-873.
- Immitzer, M., Vuolo, F. and Atzberger, C. (2016) First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe. *Remote Sensing*, 8(166): 2-27.
- Inglada, J., Arias, M., Tardy, B., Hagolle, O., Valero, S., Morin, D., Dedieu, G., Sepulcre, G., Bontemps, S., Defourny, P. and Koetz, B. (2015) Assessment of an operational system for crop type map production using high temporal and spatial resolution satellite optical imagery. *Remote Sensing*, 7: 12356-12379.
- Islam, M.R., Khan, M.N.I., Khan, M.Z. and Roy, B. (2021) A three-decade assessment of forest cover changes in Nijhum dwip national park using remote

- expert system approach to land cover classification of semiarid to arid urban centers. *Remote Sensing of Environment*, 77(2): 173-185.
- Taati, A., Sarmadian, F., Mousavi, A., Pour, C.T.H. and Shahir, A.H.E. (2015) Land use classification using support vector machine and maximum likelihood algorithms by Landsat 5 TM images. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 12(8): 681-687.
- Thakkar, A.K., Desai, V.R., Patel, A. and Potdar, M.B. (2017) Post-classification corrections in improving the classification of land Use/land cover of arid region using RS and GIS: The case of Arjuni watershed, Gujarat, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20(1): 79-89.
- Thales Alenia Space. (2017) Sentinel-2 products specification documents. ISSUE: 14.3, 487p.
- Topaloglu, R.H., Sertel, E. and Musaoglu, N. (2016) Assessment of classification accuracies of Sentinel-2 and Landsat8 data for land cover/use mapping. *Proceedings of The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLI-B8, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, pp: 1055-1059.
- Vibrans, A.C., McRoberts, R.E., Moser, P. and Nicoletti, A. (2013) Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the area of the remaining Atlantic Forest in the Brazilian state of Santa Catarina. *Remote Sensing of Environment*, 130(9): 87-95.
- Xie, Z., Chen, Y., Lu, D., Li, G. and Chen, E. (2019) Classification of land cover, forest, and tree species classes with ZiYuan-3 multispectral and stereo data. *Remote Sensing*, 11(164): 1-27.
- Prăvălie, R., Sirodoev, I., Nita, I.A., Patriche, C., Dumitrașcu, M., Roșca, B., Țișcovschi, A., Bandoc, G., Săvulescu, L., Mănoiu, V. and Birsane, M.V. (2022) NDVI-based ecological dynamics of forest vegetation and its relationship to climate change in Romania during 1987–2018. *Ecological Indicators Journal*, 136: 108629.
- Pulighe, G., Baiocchi, V. and Lupia, F. (2015) Horizontal accuracy assessment of very high-resolution Google Earth images in the city of Rome, Italy. *International Journal of Digital Earth*, 9(4): 342-362.
- Rasul, A., Balzter, H., Ibrahim, G., Hameed, H., Wheeler, J., Adamu, B., Ibrahim, S.A. and Najmaddin, P. (2018) Applying built-up and bare soil indices from landsat 8 to cities in dry climates. *Land Journal*, 7(3): 81-81
- Reis, S. (2008) Analyzing land use/land cover changes using remote sensing and GIS in Rize, North-East Turkey. *Sensors Journal*, 8(4): 6188-6202.
- Rimal, B., Rijal, S. and Kunwar, R. (2020) Comparing support vector machines and maximum likelihood classifiers for mapping of urbanization. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(1): 71-79.
- Rujoiu-Mare, M.R. and Mihai, B.A. (2016) Mapping land cover using remote sensing data and GIS techniques: A case study of Prahova Subcarpathians. *Procedia Environmental Sciences*, 32: 244-255.
- Schulz, D., Yin, H., Tischbein, B., Verleysdonk, S., Adamou, R. and Kumar, N. (2021) Land use mapping using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series in a heterogeneous landscape in Niger, Sahel. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178(2): 97-111.
- Stefanov, W.L., Ramsey, M.S. and Christensen, P.R. (2001) Monitoring urban land cover change; an

Mapping of the distribution and canopy density of Northern Zagros forests using Sentinel-2 satellite images in the West Azerbaijan province, Iran

Jalal Henareh Khalyani^{1*}, Naser Ahmadi Sani² and Farahnaz Rashidi³

1) Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran.

*Corresponding Author Email Address: jhenareh@gmail.com

2) Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.

3) Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Date of Submission: 2022/07/25

Date of Acceptance: 2022/09/18

Abstract

Since there are different statistics on the area, distribution, and density of Zagros forests, continuous monitoring and evaluation of these forests are facing implementation problems. The available statistics and information from Zagros forests are not effective in the management decisions of these forests due to many reasons such as their preparation in the traditional way or their oldness. In this research, a high-accuracy map of canopy density and distribution of Zagros forests as well as the determination of other land uses have been prepared using Sentinel-2 images of 2019 in the south of West Azarbaijan province. The image classifications were performed with the supervised method and ML and SVM algorithms in the ENVI 5.3 software environment. The Bing and Google Earth images were used to prepare the ground truth map to evaluate the accuracy of the output maps. In this research, the five non-forest land uses including ranges, gardens, agriculture, water sources, and barren and residential lands were classified. The results showed that the maximum likelihood algorithm with an overall accuracy of 87.3% and a kappa coefficient of 0.74 was the most accurate in preparing the canopy density map. The available statistics showed that the state of forest cover in the province is not in a favorable condition and the area of Zagros forest in the province is equal to 60200.55 ha, which is equivalent to about 90% of the updated statistics of the forests, rangelands, and watershed management organization of the country (67235,91 ha) in 2020. It can be stated that Sentinel-2 data has an acceptable efficiency in terms of accuracy and cost for preparing the canopy density and distribution map of forest areas and preparing the land use map.

Keywords: Forest density, Land use, Maximum probability, Sentinel-2, Zagros forests.