



دانشگاه گورگان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و هفتم، شماره دوم، ۱۳۹۹

۷۹-۹۸

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2020.17881.1866

ارزیابی قابلیت تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ و سنتینل ۲ برای تهیه نقشه تپ جنگل‌های هیرکانی در حوضه آبخیز کجور

حسین شیخی^۱، * علی اصغر درویش‌صفت^۲، پرویز فاتحی^۳، منیژه رجب‌پور رحمتی^۴ و وحید اعتماد^۵

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،

^۲ استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،

^۳ استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،

^۴ کارشناس اداره امور اراضی سازمان جهاد کشاورزی استان البرز،

^۵ دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۴

چکیده

سابقه و هدف: آگاهی از موقعیت مکانی تپ‌های جنگلی، اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار جنگل‌ها فراهم می‌کند. استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در تهیه این گونه اطلاعات به‌ویژه در مناطق کوهستانی و صعب‌العبور، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و مجریان طرح‌های جنگلداری است. به همین منظور پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسه قابلیت تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ و سنتینل ۲ در تهیه نقشه تپ جنگل‌های هیرکانی در حوضه آبخیز کجور، ضمن بررسی و مقایسه عملکرد برخی الگوریتم‌های طبقه‌بندی پارامتریک و ناپارامتریک و هم‌چنین نقش میزان نمونه‌های تعلیمی انجام شد.

مواد و روش‌ها: پس از بررسی کیفیت داده‌ها، به‌منظور استخراج هرچه بهتر اطلاعات پردازش‌هایی مانند تهیه شاخص‌های گیاهی، تبدیل تسلدکپ، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و ادغام بر روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت. به‌منظور تهیه نقشه واقعیت زمینی از اطلاعات موجود (شهریور ۱۳۹۲ و اردیبهشت ۱۳۹۳) و هم‌چنین برداشت‌های میدانی انجام‌شده در شهریور ۱۳۹۷ (در مجموع ۶۰ قطعه‌نمونه)، استفاده گردید. تعیین تپ تمامی قطعه‌نمونه‌ها بر اساس درصد فراوانی گونه‌ها انجام شد. در ادامه پس از بررسی میزان تفکیک‌پذیری تپ‌ها با استفاده از آزمون جفری ماتوزیتا و واگرایی تغییریافته و تعیین تعداد طبقات (راش خالص، راش آمیخته، راش-ممرز، ممرز آمیخته، لور خالص و لور-اوری)، نقشه‌های تپ جنگل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و به‌کارگیری الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی، شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر تشابه تهیه شد. به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر عملکرد روش‌های طبقه‌بندی از دو دسته نمونه تعلیمی با تعداد پیکسل‌های متفاوت برای آموزش در الگوریتم‌های طبقه‌بندی استفاده شد.

* مسئول مکاتبه: adarvish@ut.ac.ir

یافته‌ها: صحت کلی و ضریب کاپا در طبقه‌بندی تصاویر لندست ۸ در چهار تیپ جنگلی با استفاده از روش جنگل تصادفی به ترتیب ۸۲/۱۵ درصد و ۰/۷ و این مقادیر برای تصاویر سنتینل ۲، ۸۳/۸۹ درصد و ۰/۷۱ به دست آمد. بر اساس نتایج، قابلیت تصاویر ماهواره سنتینل ۲ تنها اندکی بیش‌تر از تصاویر ماهواره لندست ۸ برای تهیه نقشه تیپ جنگل با استفاده از روش‌های به‌کار گرفته شده است. هم‌چنین مشخص شد که با به‌کارگیری روش ادغام مناسب برای تصاویر هر یک از ماهواره‌ها، می‌توان نقشه تیپ جنگل دقیق‌تری تولید کرد. ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی نیز نشان داد که میزان نمونه‌های تعلیمی در نتایج تأثیر دارد، به‌طوری‌که با استفاده از نمونه‌های تعلیمی کم‌تر، روش‌های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر تشابه در بیش‌تر حالت‌ها بهترین عملکرد را ارائه کردند، اما با افزایش ۱۰۰ درصدی تعداد نمونه‌های تعلیمی، بهترین نتایج در تمامی حالت‌ها با استفاده از روش جنگل تصادفی حاصل گردید.

نتیجه‌گیری: بر اساس یافته‌های این پژوهش، می‌توان بیان داشت که تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ و سنتینل ۲ با تفاوتی اندک نسبت به هم هر دو از قابلیت متوسط (صحت کلی حدود ۷۵ درصد در طبقه‌بندی با چهار تیپ) و کم و بیش برابر برای تهیه نقشه تیپ جنگل‌های هیرکانی برخوردار هستند و برای ارزیابی دقیق‌تر این داده‌ها، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های تکمیلی در سایر رویشگاه‌های جنگل‌های هیرکانی ضمن در نظر گرفتن ویژگی‌های فنولوژیکی و شرایط توپوگرافی منطقه انجام شود. هم‌چنین با توجه به نتایج باثبات‌تر روش‌های ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی در حالت‌های مختلف طبقه‌بندی، می‌توان بیان نمود که الگوریتم‌های مذکور برای تهیه نقشه تیپ در شرایط جنگلی مورد مطالعه، قابلیت بالاتری نسبت به دو روش دیگر دارند.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، جنگل تصادفی، طبقه‌بندی تیپ جنگل، ماشین بردار پشتیبان

مقدمه

جنگلی از اهمیت بالایی برخوردار است. شناسایی و تشخیص واحدهای همگن و تفکیک آن‌ها و در نهایت برنامه‌ریزی جداگانه برای هر واحد، اصولی‌ترین راه مدیریت بر واحدهای جنگلی محسوب می‌شود (۱۹). تیپ‌های جنگلی به‌عنوان واحدهای نسبتاً همگن به لحاظ گونه‌های درختی، نیازمند روش‌های جنگل‌شناسی و جنگلداری خاص خود برای مدیریت می‌باشند و تهیه نقشه به‌هنگام و دقیق تیپ جنگل، به‌عنوان گامی مهم در این راستا به‌شمار می‌رود.

متداول‌ترین شکل تهیه نقشه تیپ جنگل پیمایش زمینی و تعیین محدوده مکانی تیپ‌ها است. استفاده از این روش در جنگل‌های هیرکانی که عمدتاً کوهستانی

جنگل‌های هیرکانی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و باارزش‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی کشور، خدمات اکوسیستمی مختلفی ارائه می‌دهند. این جنگل‌ها از نظر تنوع گونه‌های چوبی نیز جزء جنگل‌های غنی محسوب می‌شوند، به‌طوری‌که ۸۰ گونه درختی و ۵۰ گونه درختچه‌ای به‌صورت طبیعی در این جنگل‌ها یافت می‌شود (۱۳). از سوی دیگر، نقش مهم پوشش درختی در جلوگیری از فرسایش و حفاظت خاک و هم‌چنین حفظ و ذخیره آب، اهمیت این منابع جنگلی را دوچندان کرده است. به همین دلیل برنامه‌ریزی صحیح برای مدیریت پایدار این منابع در جهت تحقق اهدافی هم‌چون حفاظت، احیاء و توسعه این منابع

تصاویر ماهواره‌های آی.آر.اس. و لندست ۷ را در تهیه نقشه تیپ در جنگل‌های قلاجه استان کرمانشاه با استفاده از روش‌های حداکثر تشابه و حداقل فاصله از میانگین ارزیابی کردند. در مجموع، نتایج نشان‌دهنده قابلیت نسبتاً مناسب‌تر تصاویر آی.آر.اس. در مقایسه با تصاویر لندست ۷ در تهیه نقشه تیپ جنگل بود. بالاترین صحت کلی (۷۱/۴۴ درصد) و ضریب کاپا (۰/۳۳) در چهار طبقه با استفاده از تصاویر آی.آر.اس. و روش حداکثر تشابه حاصل گردید (۱۶). فلاح و همکاران (۲۰۱۵) از تصاویر سنجنده آستر و روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیونی^۱ و جنگل تصادفی^۲، برای تهیه نقشه تیپ جنگل آموزشی دارابکلا استفاده کردند. در این بررسی، نقشه تهیه‌شده با روش جنگل تصادفی (صحت کلی ۶۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۵۸) نتایج بهتری نسبت به روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیونی (صحت کلی ۵۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۴۹) ارائه داد (۶). در پژوهشی که توسط ایسوهوایلاس و همکاران (۲۰۱۸) برای طبقه‌بندی انواع پوشش در جنگل‌های کوهستانی آند کشور پرو صورت گرفت، تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی ناپارامتریک جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان^۳ و k نزدیک‌ترین همسایه^۴ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش، دو الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی (با صحت کلی ۸۱ و ۷۹ درصد به ترتیب)، عملکرد مناسبی داشتند (۹). وسل و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی قابلیت تصاویر ماهواره

و صعب‌العبور هستند، مستلزم صرف زمان و هزینه زیادی است. در مقابل تصاویر ماهواره‌ای با ویژگی‌های خاص خود از جمله پوشش مکانی در سطح وسیع با ویژگی‌های توپوگرافی مختلف، قابلیت تکرار در فواصل زمانی کوتاه و به هنگام شدن مداوم می‌توانند امکان مناسبی را در این زمینه فراهم نمایند. از این رو با توجه به تنوع رویشگاه‌های جنگلی و گوناگونی جنگل‌ها از نظر ترکیب گونه‌ای و ساختار، ضروری است تا با تعیین قابلیت تصاویر مختلف سنجنش‌ازدوری و روش‌های نوین تجزیه و تحلیل آن‌ها، رویکردهای مناسب تهیه این چنین نقشه‌ها برای رویشگاه‌های مختلف تبیین شود.

تاکنون پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج از ایران در زمینه به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای جهت تهیه نقشه تیپ مناطق جنگلی انجام شده است. به‌طور مثال، محمدی عباس و همکاران (۲۰۰۹) به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌پایه و شی‌پایه و درخت تصمیم برای تهیه نقشه تیپ‌های جنگل با استفاده از تصویر ماهواره‌ای اسپات ۵ در محدوده‌ای از جنگل آستارا پرداختند. نتایج بیانگر پتانسیل بالای روش شی‌پایه با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه (صحت کلی ۶۳/۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۵۴) در به‌کارگیری داده‌های طیفی برای طبقه‌بندی تیپ‌های آمیخته جنگل در مقایسه با روش طبقه‌بندی پیکسل‌پایه شبکه عصبی مصنوعی (صحت کلی ۵۲/۰۴ درصد و ضریب کاپای ۰/۳۹) بود. هم‌چنین ترکیب اطلاعات توپوگرافی و طیفی سبب تفکیک بهتر تیپ‌های آمیخته جنگل با روش درخت تصمیم (صحت کلی ۷۶/۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۷) نسبت به روش‌های پیکسل‌پایه و شی‌پایه شد (۱). پرما و همکاران (۲۰۱۰) قابلیت

- 1- Classification and regression tree (CART)
- 2- Random forest
- 3- Support vector machine (SVM)
- 4- K-nearest neighbor (KNN)

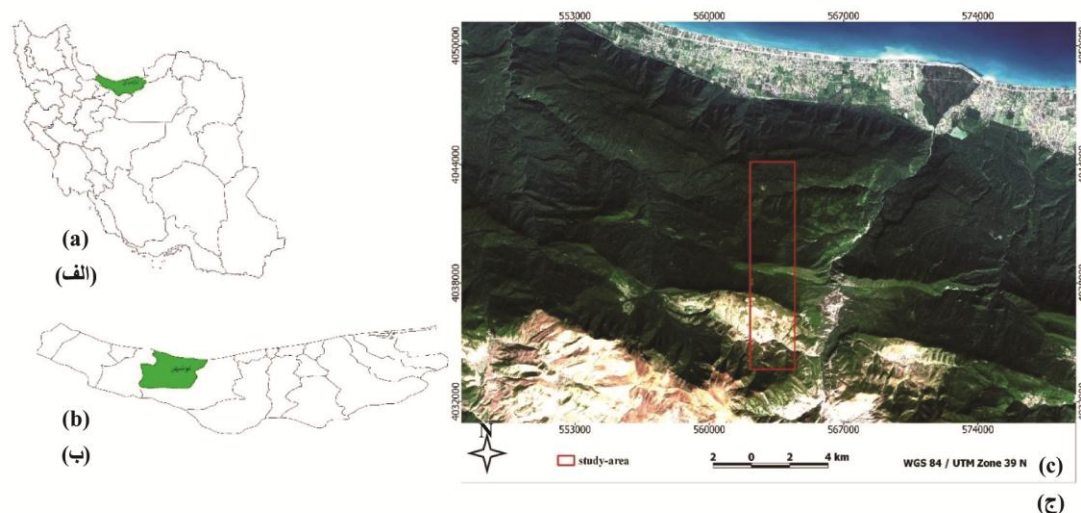
الگوریتم‌های ناپارامتریک ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی^۱ و روش پارامتریک حداکثر تشابه در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، نقش میزان نمونه‌های تعلیمی و همچنین باندهای محاسباتی فرایند ادغام در بهبود نتایج طبقه بندی.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق: منطقه موردبررسی، بخشی از جنگل‌های حوضه ۴۶ شهرستان نوشهر استان مازندران است که به صورت یک پروفیل ارتفاعی شمالی- جنوبی (به طول ۱۰/۴ کیلومتر و عرض ۲/۳ کیلومتر) بوده و مساحتی بالغ بر ۲۴۳۵ هکتار را شامل می‌شود (شکل ۱). این منطقه از نظر شرایط توپوگرافی دارای شیب متوسط تا زیاد بوده و در ارتفاعات میان‌بند تا بالابند (۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) گسترش دارد. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۱۲۰۰ میلی‌متر و میانگین حداقل و حداکثر دما نیز به ترتیب ۶ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. رویشگاه‌های پهن‌برگ آمیخته با گونه‌های غالب راش (*Fagus orientalis*) و ممرز (*Carpinus betulus*) در ارتفاعات میان‌بند و گونه‌های لور (*Carpinus orientalis*) و اوری (*Quercus macranthera*) در نواحی ییلاقی موردبررسی، وجود دارد (۱۸).

سنتینل ۲ برای تفکیک گونه‌های سوزنی‌برگ، راش و بلوط در دو منطقه جنگلی در ایالت بایرن کشور آلمان پرداختند. در این پژوهش از تصاویر مربوط به فصول مختلف رویشی در طول یک سال برای افزایش امکان تفکیک‌پذیری گونه‌های سوزنی‌برگ از پهن‌برگ استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، ایشان بیان داشتند که قابلیت تصاویر سنتینل ۲ برای طبقه‌بندی گونه‌های درختی قابل مقایسه با تصاویر سنجنده‌های تجاری با توان تفکیک بالا است. در این پژوهش، تفکیک گونه‌های بلوط و راش با استفاده از روش شی‌پایه الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی ۹۱ درصد انجام گرفت (۲۱). به طور کلی، انتظار می‌رود که با افزایش تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای، قابلیت تفکیک تیپ‌های مختلف جنگل افزایش یابد. تصاویر ماهواره سنتینل ۲ در مقایسه با تصاویر لندست ۸ به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالاتر و ویژگی‌های طیفی مناسب مانند باندهای لبه قرمزی که برای پایش پوشش گیاهی طراحی شده‌اند، می‌توانند از قابلیت بالاتری برای تهیه نقشه تیپ‌های جنگل برخوردار باشند. پژوهش‌های انجام شده در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ بیانگر قابلیت متوسط این داده‌ها برای تهیه نقشه تیپ جنگل بوده است (۴ و ۱۲)، اما با توجه به نبود تصاویر سنتینل ۲ نسبت به لندست ۸ تاکنون قابلیت این داده‌ها در شرایط جنگل‌های هیرکانی ارزیابی نشده است. در این پژوهش، عملکرد این دو ماهواره در شرایط مطالعاتی یکسان در تفکیک تیپ‌های جنگل‌های هیرکانی در حوضه آبخیز کجور، به عنوان هدف اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. اهداف فرعی پژوهش نیز عبارتند از مقایسه عملکرد

1- Artificial neural network (ANN)



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (الف)، استان مازندران و شهرستان نوشهر (ب) بر روی تصویر سنتینل ۲ با ترکیب رنگی واقعی (ج).

Figure 1. Location of the study area in Iran (a), Mazandaran province and Nowshahr (b) on true color composite image of Sentinel-2 (c).

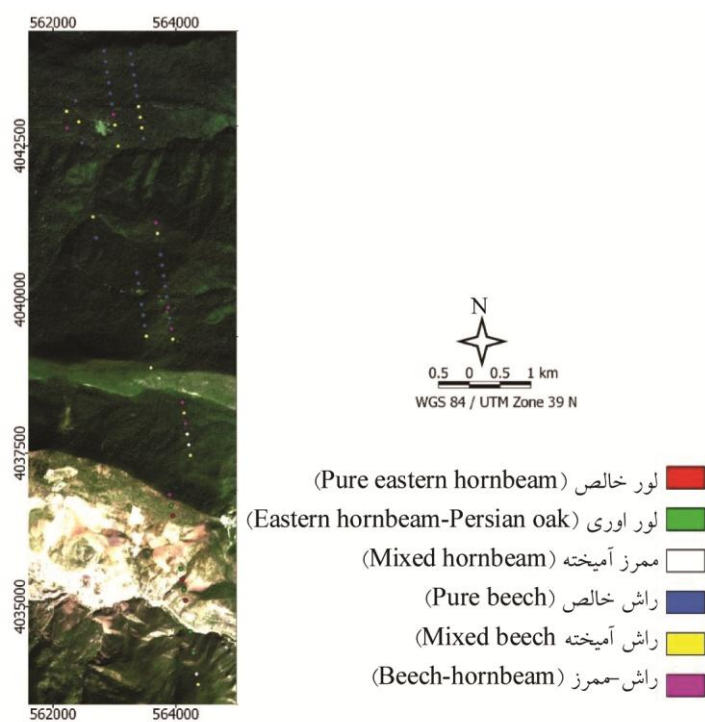
به صورت دایره‌ای با شعاع ۳۵ متر در فواصل ۱۷۰ متر از یکدیگر در امتداد دو نوار شمالی- جنوبی (بر اساس هدف مطالعه یادشده)، برداشت شده بودند. تعداد ۲ قطعه نمونه نیز با اندازه مشابه پژوهش پیشین (۱۸) در شهریور ۹۷ برداشت و استفاده شد (در مجموع ۶۰ قطعه نمونه). با توجه به این که نوع گونه در تمامی قطعه نمونه‌ها ثبت شده بود، نوع تیپ آن‌ها بر اساس درصد فراوانی هر یک از گونه‌ها، تعیین شد (۸). در گام بعد با توجه به قابلیت و ویژگی‌های تصاویر ماهواره‌ها، تیپ‌های فرعی در تیپ‌های کلی‌تر ادغام و شش تیپ راش خالص، راش- ممرز، راش آمیخته، ممرز آمیخته، لور خالص و تیپ لور- اوری برای تجزیه و تحلیل‌های نهایی انتخاب شد. جدول ۱، تعداد قطعات نمونه در هر یک از شش تیپ مذکور و شکل ۲، موقعیت مکانی آن‌ها را روی تصویر سنتینل ۲ نشان می‌دهد.

داده‌های مورد استفاده: در این پژوهش از تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ با سطح تصحیحات L1T به تاریخ ۲۳ شهریور ۱۳۹۷ و یک مجموعه تصویر سنجنده MSI ماهواره سنتینل ۲ با سطح تصحیحات L1C مربوط به تاریخ ۳ مهر ۱۳۹۷ تهیه گردید. با توجه به هدف مورد نظر، هفت باند طیفی لندست ۸ (باندهای چند طیفی دو تا هفت به همراه باند پانکروماتیک) و ۱۰ باند طیفی سنتینل ۲ (باندهای طیفی با تفکیک مکانی ۱۰ و ۲۰ متر) مورد استفاده قرار گرفت. به منظور کنترل کیفیت هندسی تصاویر ماهواره‌ای، از نقشه توپوگرافی تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، استفاده گردید. نقشه واقعیت زمینی: به طور تهیه نقشه واقعیت زمینی، از اطلاعات میدانی موجود مربوط به ۵۸ قطعه نمونه، تهیه شده در شهریور ۱۳۹۲ و اردیبهشت ۱۳۹۳ توسط رجب پور (۲۰۱۵) استفاده گردید (۱۸). این قطعات

جدول ۱- تعداد قطعات نمونه زمینی در شش تپ مورد بررسی.

Table 1. Number of sample plots in the six forest types.

تپ جنگلی Forest type	تعداد Number
لور خالص Pure eastern hornbeam	3
لور- اوری Eastern hornbeam-Persian oak	5
ممرز آمیخته Mixed hornbeam	3
راش خالص Pure beech	26
راش آمیخته Mixed beech	15
راش- ممرز Beech-hornbeam	8



شکل ۲- موقعیت مکانی قطعات نمونه زمینی روی تصویر رنگی سنتینل ۲.

Figure 2. Location of sample plots on color composite image of Sentinel-2.

تصاویر ماهواره لندست ۸ انجام گردید. ولی شاخص گیاهی که بر پایه باند لبه قرمز سنتینل بنا نهاده شده محاسبه شد. برای ادغام باندهای چند طیفی و باند پانکروماتیک لندست ۸ از روش قدرتمند گرام اشمیت^۶ استفاده شد (۱۰). همچنین برای ادغام باندهای با تفکیک مکانی ۱۰ متر و ۲۰ متر ماهواره سنتینل ۲ از روش LMVM^۷ افزونه OTB^۸ نرم افزار SNAP^۹ استفاده گردید. با توجه به این که روش مذکور جزء روش های ادغام بر اساس باند پانکروماتیک بوده و ماهواره سنتینل ۲ فاقد این باند است، با محاسبه میانگین باندهای با تفکیک مکانی ۱۰ متر این ماهواره (باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸a) یک باند پانکروماتیک مصنوعی تهیه و سپس با به کارگیری الگوریتم LMVM عمل ادغام انجام گردید (۱۵).

پردازش و بارزسازی تصاویر: با روی هم گذاری لایه راه های منطقه و تصاویر ماهواره ای، کیفیت هندسی تصاویر مورد بررسی قرار گرفت. کیفیت رادیومتری تصاویر نیز ضمن بررسی چشمی تک باندها، هیستوگرام باندها و ترکیبات رنگی مختلف، بررسی و تأیید شد. با توجه به کمترین تفکیک مکانی تصاویر سنتینل ۲ (۱۰ متر)، یکسان سازی اندازه پیکسل تمام باندها (در هر دو ماهواره) با عمل باز نمونه گیری^۱ بر روی دیگر باندهای با اندازه پیکسل بزرگتر انجام شد. پردازش هایی شامل استخراج شاخص های گیاهی^۲، تحلیل مؤلفه های اصلی^۳، تبدیل تسلدکپ^۴ و ادغام^۵ بر روی تصاویر ماهواره ای انجام شد (جدول ۲). با توجه به عدم ارائه ضرایب باندهای ماهواره سنتینل ۲ برای تبدیل تسلدکپ، این نوع بارزسازی تنها بر روی

جدول ۲- پردازش های انجام شده برای هر یک از تصاویر ماهواره ای.

Table 2. Applied processes on each of satellite data.

ادغام با روش LMVM Fusion	ادغام گرام اشمیت Gram Schmidt Fusion	تحلیل مؤلفه های اصلی PCA*	تبدیل تسلدکپ TCT	$RENDVI^{10} = \frac{RE2 - RE1}{RE2 + RE1}$	$SR^{11} = \frac{NIR}{R}$	$NDVI^{12} = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	داده data
-	+	+	+	-	+	+	لندست ۸ Landsat-8
+	-	+	-	+	+	+	سنتینل ۲ Sentinel-2

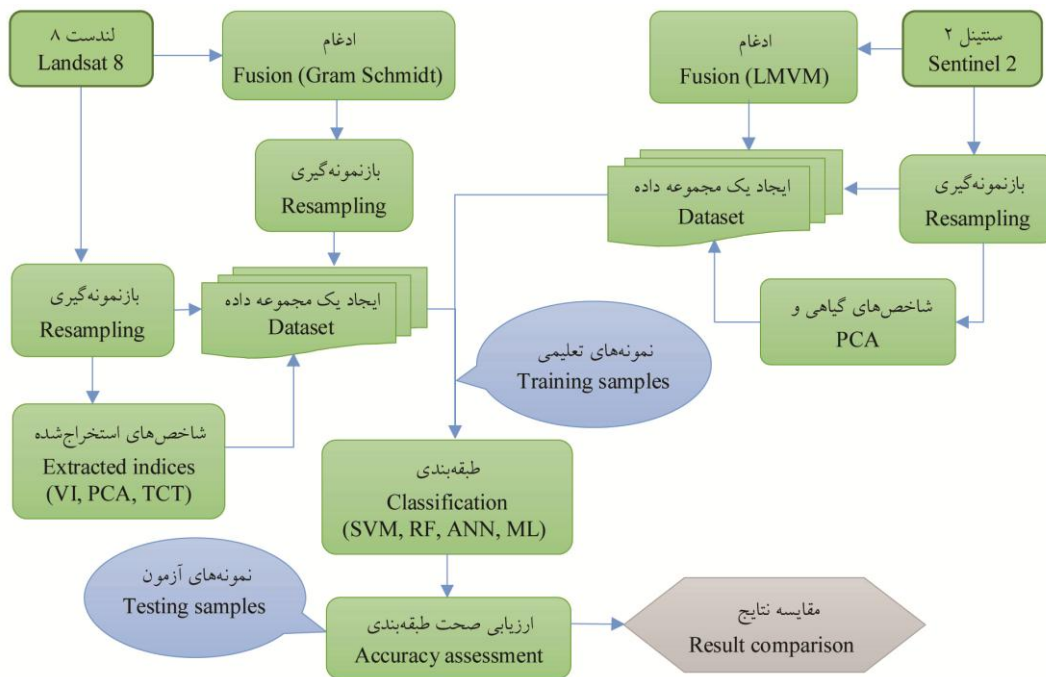
* مؤلفه اول حاصل از تحلیل مؤلفه های اصلی در تجزیه و تحلیل ها استفاده گردید.

* The first component resulted from PCA was used in analyses.

- 1- Resampling
- 2- Vegetation index
- 3- Principle components analysis (PCA)
- 4- Tasseled cap transformation (TCT)
- 5- Fusion
- 6- Gram schmidt
- 7- Local mean and variance matching
- 8- Orfeo tool box
- 9- Sentinel application platform
- 10- Red edge normalized difference vegetation index
- 11- Simple ratio
- 12- Normalized difference vegetation index

و (۲۱) روش جنگل تصادفی با ۵۰۰ درخت تصمیم، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با استفاده از کرنل تابع پایه شعاعی و روش شبکه عصبی مصنوعی با ۱۰۰۰ بار تکرار فرآیند آموزش اجرا و طبقه‌بندی داده‌ها در شش تیپ راش خالص، راش-ممرز، راش آمیخته، ممرز آمیخته، لور خالص و لور-اوری انجام شد. در نهایت نیز بر اساس پژوهش‌های پیشین (۵ و ۱۲) و با توجه به نوع گونه تیپ‌ها و قابلیت ادغام آن‌ها، برخی طبقات در هم ادغام و طبقه‌بندی با تعداد تیپ‌های کم‌تر نیز صورت گرفت. به منظور انجام طبقه‌بندی‌ها از نرم‌افزار SAGA^۲ 7.2.0 استفاده گردید. برای بررسی دقیق‌تر عملکرد روش‌های طبقه‌بندی، دو دسته نمونه تعلیمی با تعداد پیکسل‌های متفاوت به کار برده شد. به این صورت که یک‌بار ۲۲ درصد قطعه‌نمونه‌ها و در نوبت دوم ۵۰ درصد قطعه‌نمونه‌ها به‌عنوان نمونه تعلیمی استفاده شد. پس از انتخاب نمونه‌های تعلیمی برای هر یک از طبقات، از آزمون جفری ماتوسیتا و واگرایی تغییر یافته برای سنجش میزان تفکیک‌پذیری میان تیپ‌ها استفاده شد. ارزیابی صحت طبقه‌بندی نیز با استفاده از بقیه قطعه‌نمونه‌ها (به ترتیب ۷۸ و ۵۰ درصد) صورت گرفت. به این ترتیب که پس از مقایسه نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و نقشه واقعیت زمینی و تشکیل ماتریس خطا، معیارهای ارزیابی صحت هم‌چون صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه گردید. در شکل ۳ فرآیند کلی تهیه نقشه تیپ جنگل با استفاده از هر یک از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ مشاهده می‌شود.

طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی صحت: در این مرحله، طبقه‌بندی تیپ‌های جنگلی با استفاده از سه مجموعه داده مختلف مربوط به هر دو ماهواره شامل "باندهای اصلی، باندها به صورت ادغام شده و باندهای اصلی همراه با باندهای محاسباتی" براساس روش پارامتریک حداکثر تشابه و روش‌های ناپارامتریک جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی، انجام شد (جدول ۲). در الگوریتم جنگل تصادفی بیش از یک درخت تصمیم وجود دارد و در هر درخت تصمیم، زیرمجموعه‌ای از نمونه‌های اصلی به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود. در این روش علاوه بر تشکیل درختان با استفاده از یک دسته نمونه تصادفی، برای رشد هر درخت نیز تعدادی از متغیرها در هر گره به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود (۳). در الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، فقط نمونه‌های قرارگرفته در بردارهای پشتیبان (مرزی‌ترین نقاط هر دسته یا طبقه) مبنای یادگیری ماشین قرار می‌گیرند و این الگوریتم به سایر نقاط داده یا نمونه‌ها حساس نیست و هدف آن یافتن بهترین مرز بین داده‌هاست به‌گونه‌ای که بیشترین فاصله ممکن را از تمام بردارهای پشتیبان آن‌ها داشته باشد. در صورت عدم تفکیک‌پذیری داده‌ها به صورت خطی، توابع مختلفی چون شعاعی، چندجمله‌ای و سیگموئید برای امکان تفکیک داده‌ها در یک فضای غیرخطی به کار برده می‌شود (۱۴). یکی از مدل‌های متداول شبکه عصبی مصنوعی (مورد استفاده در این پژوهش)، مدل پرسپترون چندلایه^۱ است که از سه یا چندین لایه نورون متصل به یکدیگر تشکیل شده است و می‌تواند داده‌های غیرخطی را از هم تفکیک کند (۱۷). در پژوهش حاضر، با توجه به مطالعات گذشته (۱۴، ۱۷



شکل ۳- مراحل انجام تحقیق.

Figure 3. Flowchart of the research.

نتایج و بحث

نتایج: همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید، تصاویر هر دو ماهواره به‌صورت سه مجموعه داده مختلف با استفاده از دو دسته نمونه تعلیمی طبقه‌بندی شدند. در جدول‌های ۳ و ۴، به‌ترتیب، نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲ در شش طبقه (راش خالص، راش-ممرز، راش آمیخته، ممرز آمیخته، لور خالص و لور-اوری) با استفاده از الگوریتم‌های مختلف مشاهده می‌شود. بعد از انجام طبقه‌بندی با این شش طبقه و کسب نتایج نه‌چندان مناسب، برخی از

تیپ‌ها در هم ادغام شدند (با توجه به نوع گونه و قابلیت ادغام تیپ‌ها) و طبقه‌بندی با تعداد تیپ‌های کلی‌تر (پنج و چهار تیپ) نیز انجام گرفت که با افزایش صحت طبقه‌بندی‌ها همراه بود. جدول‌های ۵ و ۶، به‌ترتیب، نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲ در چهار طبقه راش خالص، راش آمیخته (تیپ راش-ممرز در این تیپ ادغام گردید)، ممرز آمیخته و لور-اوری (تیپ لور خالص در این تیپ ادغام شد) با استفاده از الگوریتم‌های مختلف را نشان می‌دهند.

جدول ۳- صحت طبقه‌بندی الگوریتم‌های مختلف برای تولید نقشه تیپ جنگل در شش طبقه با استفاده از سه مجموعه داده ماهواره لندست ۸.

Table 3. Classification accuracy of different algorithms for producing forest type maps in six classes using three datasets of Landsat 8.

نمونه تعلیمی Training samples (50%)		نمونه تعلیمی Training samples (22%)		الگوریتم Algorithm	مجموعه داده Dataset
صحت کلی (%) Overall accuracy	ضریب کاپا Kappa coefficient	صحت کلی (%) Overall accuracy	ضریب کاپا Kappa coefficient		
59.03	0.38	50.16	0.3	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باندهای اصلی Origin bands
61.82	0.42	48.15	0.28	جنگل تصادفی (RF)	
58.5	0.37	51.68	0.31	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
56.36	0.36	52	0.3	حداکثر تشابه (ML)	
61.47	0.42	56	0.37	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باندهای ادغام‌شده Fused bands
65.26	0.46	53.32	0.33	جنگل تصادفی (RF)	
59.9	0.4	52	0.33	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
60.4	0.41	57.35	0.37	حداکثر تشابه (ML)	
59.31	0.38	52.24	0.33	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باندهای اصلی همراه با باندهای محاسباتی Origin bands and extracted indices
60.97	0.43	49.47	0.29	جنگل تصادفی (RF)	
58.98	0.39	51.73	0.3	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
57.94	0.38	52.91	0.31	حداکثر تشابه (ML)	

جدول ۴- صحت طبقه‌بندی الگوریتم‌های مختلف برای تولید نقشه تیپ جنگل در شش طبقه با استفاده از سه مجموعه داده ماهواره سنتینل ۲

Table 4. Classification accuracy of different algorithms for producing forest type maps in six classes using three datasets of Sentinel-2.

نمونه تعلیمی Training samples (50%)		نمونه تعلیمی Training samples (22%)		الگوریتم Algorithm	مجموعه داده Dataset
صحت کلی (%) Overall accuracy	ضریب کاپا Kappa coefficient	صحت کلی (%) Overall accuracy	ضریب کاپا Kappa coefficient		
58.1	0.4	53.78	0.35	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باندهای اصلی Origin bands
61.34	0.43	53.5	0.35	جنگل تصادفی (RF)	
56.67	0.39	51.63	0.33	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
58.95	0.4	52.08	0.34	حداکثر تشابه (ML)	
64.51	0.45	59.49	0.4	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باندهای ادغام‌شده Fused bands
66.13	0.47	57.58	0.37	جنگل تصادفی (RF)	
62.52	0.43	58.59	0.39	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
60.59	0.42	56.44	0.37	حداکثر تشابه (ML)	
58.86	0.41	54.06	0.36	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باندهای اصلی همراه با باندهای محاسباتی Origin bands and extracted indices
60.57	0.42	53.98	0.35	جنگل تصادفی (RF)	
57.69	0.4	53.67	0.34	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
56.69	0.39	53.25	0.35	حداکثر تشابه (ML)	

جدول ۵- صحت طبقه‌بندی الگوریتم‌های مختلف برای تولید نقشه تیپ جنگل در چهار طبقه با استفاده از سه مجموعه داده ماهواره لندست ۸.

Table 5. Classification accuracy of different algorithms for producing forest type maps in four classes using three datasets of Landsat 8.

نمونه تعلیمی Training samples (50%)		نمونه تعلیمی Training samples (22%)		الگوریتم Algorithm	مجموعه داده Dataset
صحت کلی (%) Overall accuracy	ضریب کاپا Kappa coefficient	صحت کلی (%) Overall accuracy	ضریب کاپا Kappa coefficient		
75.59	0.62	70.5	0.53	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باندهای اصلی Origin bands
79.35	0.66	69.67	0.52	جنگل تصادفی (RF)	
73.22	0.6	67.73	0.49	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
72.06	0.59	68.6	0.51	حداکثر تشابه (ML)	
80.21	0.67	75.64	0.6	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باندهای ادغام شده Fused bands
82.15	0.7	73	0.58	جنگل تصادفی (RF)	
78.67	0.65	70.22	0.55	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
76.35	0.64	71.84	0.56	حداکثر تشابه (ML)	
76.02	0.62	70.23	0.53	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باندهای اصلی همراه با باندهای محاسباتی Origin bands and extracted indices
78.15	0.65	70.68	0.53	جنگل تصادفی (RF)	
71.91	0.59	67.91	0.51	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
73.57	0.6	69.73	0.52	حداکثر تشابه (ML)	

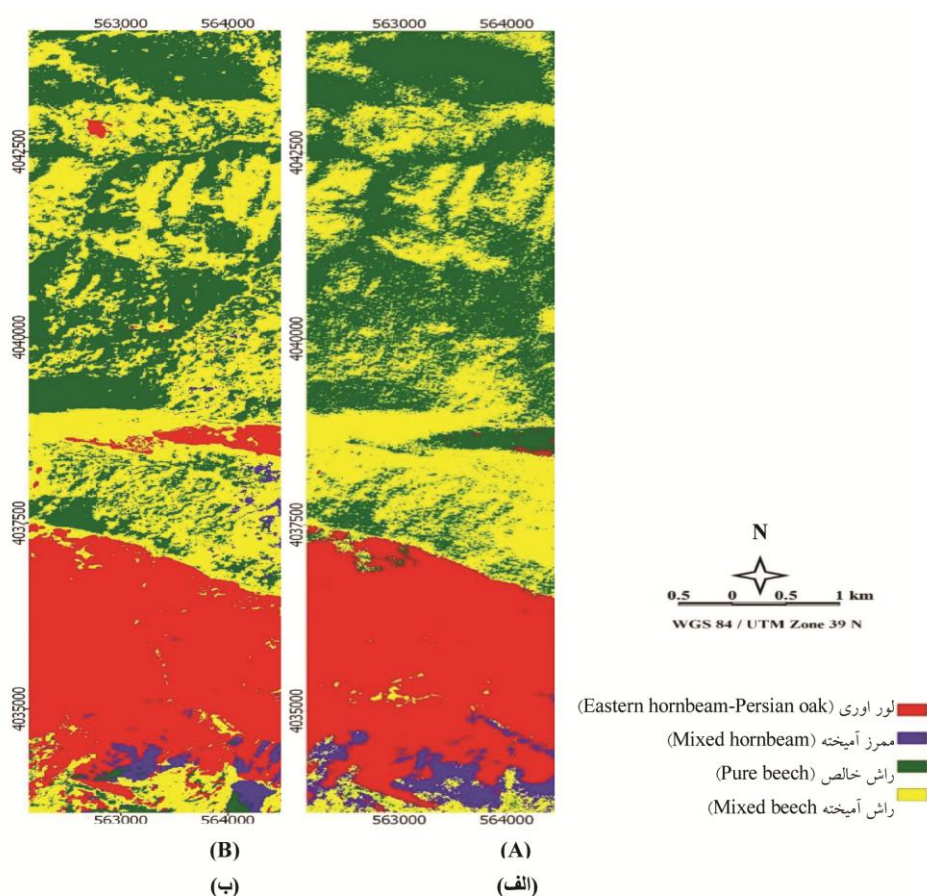
جدول ۶- صحت طبقه‌بندی الگوریتم‌های مختلف برای تولید نقشه تیپ جنگل در چهار طبقه با استفاده از سه مجموعه داده ماهواره سنتینل ۲.

Table 6. Classification accuracy of different algorithms for producing forest type maps in four classes using three datasets of Sentinel-2.

نمونه تعلیمی Training Samples (50%)		نمونه تعلیمی Training Samples (22%)		الگوریتم Algorithm	مجموعه داده Dataset
صحت کلی (%) Overall accuracy	ضریب کاپا Kappa coefficient	صحت کلی (%) Overall accuracy	ضریب کاپا Kappa coefficient		
80.76	0.66	73.5	0.58	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باند‌های اصلی Origin bands
81.21	0.68	71.08	0.56	جنگل تصادفی (RF)	
78.04	0.65	70.89	0.55	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
77.57	0.64	71.63	0.56	حداکثر تشابه (ML)	
82.6	0.7	75.06	0.61	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باند‌های ادغام‌شده Fused bands
83.89	0.71	74.62	0.6	جنگل تصادفی (RF)	
80.68	0.67	73.93	0.6	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
80.9	0.67	73.56	0.59	حداکثر تشابه (ML)	
79.92	0.66	72.27	0.57	ماشین بردار پشتیبان (SVM)	باند‌های اصلی همراه با باند‌های محاسباتی Origin bands and extracted indices
81.52	0.69	72.34	0.57	جنگل تصادفی (RF)	
77.6	0.64	70.62	0.55	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	
77.95	0.65	71.31	0.56	حداکثر تشابه (ML)	

۸۲/۱۵ و ضریب کاپا: ۰/۷؛ سنتینل ۲: صحت کلی: ۸۳/۸۹ و ضریب کاپا: ۰/۷۱). نقشه‌های تیپ تهیه‌شده با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و مجموعه شرایط ذکرشده در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

چنانچه از نتایج برمی‌آید، در طبقه‌بندی تصاویر هر دو ماهواره بالاترین میزان صحت کلی و ضریب کاپا در شرایطی به‌دست آمد که از الگوریتم جنگل تصادفی، مجموعه داده "باندهای ادغام‌شده" و ۵۰ درصد نمونه‌های تعلیمی برای تهیه نقشه تیپ چهارطبقه‌ای استفاده گردید (لندست ۸: صحت کلی:



شکل ۴- نقشه‌های تیپ جنگل تهیه‌شده با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و تصاویر سنتینل ۲ (الف) و لندست ۸ (ب).

Figure 4. Forest type maps produced using random forest algorithm; (A) Sentinel-2, (B) Landsat-8 data.

بحث

در پژوهش حاضر تلاش شد تا قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ در تهیه نقشه تیپ جنگل در بخشی از جنگل‌های هیرکانی در حوضه آبخیز کجور بررسی شود. در این راستا مجموعه تصاویر مختلف هر یک از ماهواره‌ها با استفاده از دو

هم‌چنین تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد از میان باندهای محاسباتی تصاویر ماهواره لندست ۸، مؤلفه سبزیگی حاصل از تبدیل تسلدکپ و از میان باندهای محاسباتی تصاویر ماهواره سنتینل ۲، شاخص گیاهی $RENDVI$ بالاترین میزان تأثیرگذاری را در تفکیک طبقات مختلف داشته‌اند، هر چند با تفاوت اندک.

در تمامی حالت‌ها بهترین عملکرد را داشته است. توجه به این نکته که الگوریتم‌های ناپارامتریک به تعداد نمونه تعلیمی بیش‌تری جهت آموزش مناسب الگوریتم‌ها نیاز دارند، می‌تواند بهبود نتایج طبقه‌بندی با به‌کارگیری ۵۰ درصد نمونه تعلیمی را توجیه کند. اما از آن‌جاکه روش ماشین بردار پشتیبان به میزان نمونه‌های تعلیمی حساسیت کم‌تری دارد (۱۴ و ۲۲)، این روش در حالتی که از تعداد نمونه‌های کم‌تری (۲۲ درصد نمونه تعلیمی) استفاده شد، در مقایسه با روش‌های دیگر نتایج بهتری را ارائه داد. روش شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با سایر روش‌ها عملکرد ضعیف‌تری را ارائه داد. از مشکلات این روش تنظیم سخت آن در نرم‌افزار و زمان پردازش طولانی است که باعث می‌شود در مقایسه با روش‌هایی مانند جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان و حتی حداکثر تشابه از کارایی کم‌تری برخوردار باشد (۱۷). در مجموع طبق یافته‌های این پژوهش، همان‌طور که باتوویه و ون لیون (۲۰۱۱) نیز بیان کرده‌اند، هر یک از روش‌های طبقه‌بندی نمونه تعلیمی خاص خود را نیاز دارند و برای هر یک از الگوریتم‌ها باید نمونه تعلیمی متناسب با آن استفاده شود (۲). بنابراین هرگونه تغییر در انتخاب نمونه‌های تعلیمی می‌تواند در نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای تأثیرگذار باشد.

ارزیابی نتایج طبقه‌بندی مجموعه تصاویر مختلف دو ماهواره نشان می‌دهد که صحت نتایج الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی با استفاده از مجموعه تصاویر ماهواره سنتینل ۲ تنها اندکی بیش‌تر (دو درصد صحت کلی) از نتایج حاصله با به‌کارگیری مجموعه تصاویر لندست ۸ است. یافته‌های این پژوهش در این زمینه، مطابق با نتایج پژوهش‌های والدراما لاندروس و همکاران (۲۰۱۸) و لیو و

دسته نمونه تعلیمی (۲۲ و ۵۰ درصد قطعه‌نمونه‌ها) و به‌کارگیری الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی شدند. شی و همکاران (۲۰۱۹) بیان کرده‌اند که الگوریتم‌های مختلف می‌توانند عملکرد متفاوتی نسبت به میزان نمونه تعلیمی و نوع ریشگاه (نوع جنگل و گونه‌های درختی) داشته باشند (۲۲). اما به‌طورکلی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر، با افزایش تعداد نمونه‌های تعلیمی، صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به مقدار ۵ تا ۱۰ درصد افزایش یافت. فودی و همکاران (۱۹۹۵) نیز که در پژوهش خود اثر اندازه و ترکیب نمونه‌های تعلیمی را بر طبقه‌بندی تصاویر سنجنش‌ازدوری با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی بررسی کردند، بیان نمودند که اندازه نمونه‌های تعلیمی تأثیر زیادی بر صحت نتایج دارد و با افزایش تعداد نمونه‌ها به‌ویژه زمانی که تعداد طبقات زیاد باشد، عملکرد الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده بهبود می‌یابد (۷). البته باید توجه داشت که انجام کارهای میدانی و تهیه نمونه‌های تعلیمی و واقعیت زمینی بسیار زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. بنابراین باید به این اصل کلی سنجنش‌ازدور که نمونه‌های تعلیمی باید تنها به‌اندازه‌ای باشند که چگونگی بازتاب طیفی کلاسه‌ها را بیان کنند، توجه داشت. ضمن این‌که هرچه میزان واقعیت زمینی بیش‌تر باشد، صحتی که برآورد می‌شود، اطمینان‌بخش‌تر خواهد بود، البته توصیه می‌شود که قطعات خیلی وسیع نباشند، در مقابل از پراکنش خوبی برخوردار باشند. بررسی نتایج الگوریتم‌های مختلف نشان می‌دهد که زمانی که از ۲۲ درصد نمونه‌ها به‌عنوان نمونه تعلیمی استفاده شد، روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به دیگر روش‌ها از عملکرد بهتری برخوردار بود. این در حالی است که با استفاده از ۵۰ درصد نمونه‌ها، روش جنگل تصادفی

اندکی از قابلیت بیشتر برای تهیه نقشه تیپ جنگل‌های هیرکانی برخوردار هستند، ضمن این‌که در مجموع دارای قابلیت متوسط و شاید حدوداً مناسب برای نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ باشند. در رابطه با الگوریتم‌های طبقه‌بندی نیز می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با افزایش نسبت نمونه تعلیمی، روش‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان در مقایسه با الگوریتم‌های شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر تشابه نتایج بهتری را ارائه می‌دهند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که 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. بر اساس نتایج این پژوهش و با توجه به نتایج اثبات‌تر روش‌های ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی در حالت‌های مختلف طبقه‌بندی و تنظیم راحت‌تر آن‌ها در نرم‌افزار، الگوریتم‌های یادشده برای تهیه نقشه تیپ جنگل از قابلیت بالاتری برخوردار هستند. به‌طور کلی می‌توان بیان داشت که با استفاده از تصاویر ماهواره‌های سنتینل ۲ و لندست ۸ و روش‌های یادشده، می‌توان نقشه تیپ جنگل‌های هیرکانی را با صحت کلی متوسطی (در حدود ۷۵ درصد) تهیه کرد. پیشنهاد می‌شود برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر در رابطه با قابلیت این داده‌ها، پژوهش‌های تکمیلی در سایر رویشگاه‌های جنگل‌های هیرکانی و همچنین سایر مناطق جنگلی مانند زاگرس و ارسباران ضمن در نظر گرفتن ویژگی‌های فنولوژیکی و شرایط توپوگرافی منطقه انجام گیرد.

همکاران (۲۰۱۸) است که در آن‌ها از باندهای اصلی هر دو ماهواره برای تهیه نقشه تیپ جنگل استفاده شده است (۱۱ و ۲۰). هر چند که این برتری اندک است، دلیل آن را می‌توان علی‌الاصول و به‌طور کلی در قدرت تفکیک مکانی بالاتر ماهواره سنتینل ۲ و تعداد باندهای طیفی بیشتر آن در مقایسه با ماهواره لندست ۸ دانست. با توجه به ویژگی طیفی متفاوت گونه‌های جنگلی می‌توان انتظار داشت که با افزایش توان تفکیک طیفی تصاویر ماهواره‌ای، امکان تفکیک تیپ‌های مختلف جنگلی با صحت بیشتر، افزایش یابد. نکته مورد توجه دیگر در رابطه با نتایج طبقه‌بندی‌ها این است که قابلیت تفکیک‌پذیری تیپ‌ها با استفاده از مجموعه باندهای ادغام‌شده اندکی بیش از دو حالت دیگر است. در این مطالعه برای ادغام تصاویر لندست ۸ از روش گرام اشمیت استفاده شد، نتایج پژوهش‌های گذشته همگی بر قابلیت بالای این روش در بهبود اطلاعات مکانی باندها با حفظ اطلاعات طیفی آن‌ها تأکید کرده بودند (۱۲ و ۲۲) و یافته‌های پژوهش حاضر به‌نوعی تأییدکننده این موضوع است. نتایج قابل قبول ادغام تصاویر سنتینل ۲ بیانگر این نکته است که اگر روش ادغام مناسبی برای این داده‌ها به‌کار گرفته شود، می‌توان نقشه‌های دقیق‌تری تولید کرد.

نتیجه‌گیری

در مجموع بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان چنین نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره سنتینل ۲ به‌دلیل تفکیک مکانی و طیفی بیشتر در مقایسه با تصاویر ماهواره لندست ۸، تنها

منابع

1. Alimohammadi, A., Matkan, A., Ziaeean, P., and Tabatabaie, H. 2009. Comparison of pixel-based and object-based classification and decision tree for forest type mapping using remote sensing data (case study: Astara forest). *J. of geographical sciences*. 10: 13. 7-26.
2. Baatuuwie, N.B., and Van Leeuwen, L. 2011. Evaluation of three classifiers in mapping forest stand types using medium resolution imagery: a case study in the Offinso Forest District, Ghana. *African J. of Environmental Science and Technology*. 5: 1. 25-36.
3. Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine learning*. 45: 1. 5-32.
4. Darvishsefat, A.A., Arjhang Choobar, R., Bonyad, A.E., and Ronoud, G. 2016. Mapping the poplar plantations using Landsat-8 data (Case Study: Talesh and Sumehsara region, Guilan province). *Iranian J. of Forest*. 8: 3. 315-326. (In Persian)
5. Darvishsefat, A.A., Abbasi, M., and Marvi Mohajer, M.R. 2009. Investigation on the possibility of beech forest type mapping using Landsat ETM+ data (Case study: Kheyrood forest). *Iranian J. of Forest*. 1: 2. 105-113. (In Persian)
6. Fallah, A., Kalbi, S., Shataee Joibari, Sh., and Karami, O. 2015. Determination of ASTER data capability for forest type mapping using classification and regression tree and random forest Algorithms. *J. of Forest and Wood Product*. 67: 4. 573-584. (In Persian)
7. Foody, G.M., Mcculloch, M.B., and Yates, W.B. 1995. The effect of training set size and composition on artificial neural network classification. *International J. of Remote Sensing*. 16: 9. 1707-1723.
8. Gorji Bahri, Y. 2000. Investigation of typology classifications and forest planning in Vaz forest. PhD. Thesis. University of Tehran. 138p. (In Persian)
9. Isuhuaylas, L.A.V., Hirata, Y., Ventura Santos, L., and Serrudo Torobeo, N. 2018. Natural forest mapping in the Andes (Peru): A comparison of the performance of machine-learning algorithms. *Remote Sensing*. 10: 782. 1-20.
10. Klonus, S., and Ehlers, M. 2009. Performance of evaluation methods in image fusion. 12th International Conference on Information Fusion. IEEE. Pp: 1409-1416.
11. Liu, Y., Gong, W., Hu, X., and Gong, J. 2018. Forest type identification with random forest using Sentinel-1A, Sentinel-2A, multi-temporal Landsat-8 and DEM data. *Remote Sensing*. 10: 946. 1-25.
12. Lohrabi, Y. 2017. Feasibility of using tree hyperspectral reflectance library physiographic and satellite data in typology map development of Chartagh forest reserve. M.Sc. Thesis. Shahrekord University. 88p. (In Persian)
13. Marvi Mohajer, M.R. 2011. Silviculture. Tehran Univ. Press. 418p. (In Persian)
14. Mirończuk, A., and Hościło, A. 2017. Mapping tree cover with Sentinel-2 data using the Support Vector Machine (SVM). *Geoinformation*. 1: 9. 27-38.
15. Nikolakopoulos, K.G. 2008. Comparison of nine fusion techniques for very high resolution data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 74: 5. 647-659.
16. Parma, R., Shataee Joybari, Sh., Khodakarami, Y., and Habashi, H. 2010. Evaluation of Landsat-ETM+ and IRS-LISS III satellite data for forest type mapping in Zagros forests (Case study: Ghalajeh forest, Kermanshah province), *Iranian J. of Forest and Poplar Research*, 17: 4. 594-606.
17. Raczko, E., and Zagajewski, B. 2017. Comparison of support vector machine, random forest and neural network classifiers for tree species classification on airborne hyperspectral APEX images. *European J. of Remote Sensing*, 50: 1. 144-154.
18. Rajabpour Rahmati, M. 2015. Estimation of forest canopy height using ICESat GLAS data (Case Study: Kojour forests). PhD. Thesis. University of Tehran. 160p. (In Persian)

19. Shataee Joibari, SH. 2003. Investigation of the possibility of forest type mapping using satellite data (Case Study: Kheyrood Forest). PhD. Thesis. University of Tehran. 158p. (In Persian)
20. Valderrama-Landeros, L., Flores-de-Santiago, F., Kovacs, J.M., and Flores-Verdugo, F. 2018. An assessment of commonly employed satellite-based remote sensors for mapping mangrove species in Mexico using an NDVI-based classification scheme. *Environmental Monitoring and Assessment*. 190: 23. 1-13.
21. Wessel, M., Brandmeier, M., and Tiede, D. 2018. Evaluation of different machine learning algorithms for scalable classification of tree types and tree species based on Sentinel-2 data. *Remote Sensing*. 10: 1419. 1-21.
22. 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.



Investigation on the capability of landsat-8 and sentinel-2 images for mapping forest type of Hyrcanian forests in Kojur watershed

H. Sheykhi¹, *A.A. Darvishsefat², P. Fatehi³, M. Rajabpour Rahmati⁴ and V. Etemad⁵

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran,

²Professor, Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran,

³Assistant Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran,

⁴Officer of Land Affairs, Agriculture-Jahad Organization of Alborz, Karaj, Iran,

⁵Associate Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 04.08.2020; Accepted: 06.03.2020

Abstract

Background and Objectives: Information on spatial distribution of forest types is of importance for sustainable forest management and planning. The use of remote sensing technology and geographic information system for providing such fundamental information especially in mountainous and remote areas is taken into consideration by many researchers and forest managers. The current study aimed to investigate the capability of Landsat-8 and Sentinel-2 satellite images to generate forest type map in Kojur watershed of Hyrcanian forests. The performance of some parametric and non-parametric classification methods was also compared.

Materials and Methods: Following quality assessment, for better data extraction, some preprocessing techniques including vegetation indices (VI) extraction, tasseled cap transformation (TCT), principal component analysis (PCA) and fusion were applied on the satellite imagery. Field information collected in September 2018 plus available field data from September 2013 and May 2014, in total 60 sample plots, were used to produce a ground truth map. Forest type was determined based on the species abundances in each plot. Based on forest types and considering the Jeffries–Matusita (JM) and transformed divergence separability indices, six types were identified (pure beech, mixed beech, beech-hornbeam, mixed hornbeam, pure eastern hornbeam, and eastern hornbeam-Persian oak) to be classified using satellite data. The performance of classifiers i.e. support vector machine (SVM), random forest (RF), artificial neural network (ANN) and maximum likelihood (ML) was analyzed using two different training datasets.

Results: The generated forest type map with four classes using the Landsat_8 images and RF algorithm had an overall accuracy of 82.15% with a Kappa coefficient of 0.7. The Sentinel_2 data gained the overall accuracy of 83.89% and the Kappa coefficient of 0.71. Our results indicated that the sentinel-2 dataset performed slightly better than Landsat-8 for producing forest type map. It was also found that applying an appropriate fusion technique on the sentinel-2 and landsat-8 images can provide a better classification result. This research confirms the effectiveness of number of training samples on the performance of classifiers. Respecting the

*Corresponding author: adarvish@ut.ac.ir

accuracy assessment criterion, the SVM and RF algorithms showed better result while only 22% of field data was used as training samples. By increasing the number of training samples to 50% of field measurements, the highest accuracy was obtained using RF algorithm applying on all datasets from two satellites.

Conclusion: Our results indicated that the Landsat-8 and Sentinel-2 satellite images showed a moderate capability for mapping forest types in Hyrcanian forests (i.e. overall accuracy around 75% for four-class map). We recommend further evaluation of the capability of the Sentinel-2 and Landsat-8 datasets in different forest sites while considering phenology of species and topographic attributes. Since the SVM and RF algorithms produced more stable and accurate results compared to the ANN and ML algorithms, it proves that the SVM and RF approaches might be applicable to the similar forested areas.

Keywords: Forest type mapping, Random forest, Satellite images, Support vector machine