

## بررسی کارایی داده‌های ماهواره‌ای GeoEye-1 برای تهیه نقشه مراحل تحولی در جنگل‌های شمال ایران

امین مهدوی سعیدی<sup>۱</sup>، ساسان بابایی کفاکی<sup>۲</sup> و اسداله متاجی<sup>۳</sup>

- (۱) دانشجوی دکتری گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.  
(۲) دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. \*رایانامه نویسنده مسئول: s.babaiek@yahoo.com  
(۳) استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۳۱

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۱۸

### چکیده

امروزه در علم سنجش از دور با وجود سنجنده‌های با توان تفکیک مکانی و طیفی بالا و به‌کارگیری انواع شاخص‌های گیاهی، امکان شناسایی و تفکیک دقیق‌تر ساختار پدیده‌های طبیعی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای فراهم شده است. بر این اساس کسب اطلاعات از ساختار جنگل‌ها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای کمک به مدیریت منابع جنگلی تجدیدپذیر مورد توجه مدیران و محققین قرار دارد. در این تحقیق با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره GeoEye-1 و الگوریتم‌های طبقه‌بندی مختلف در روش‌های پیکسل پایه، شی پایه و مدل پایه نسبت به تهیه نقشه‌های مراحل تحولی جنگل‌های طبیعی در شمال کشور اقدام شد. صحت نقشه‌های خروجی با پارامترهای صحت کلی و ضریب کاپا ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که حداکثر دقت (۷۸ درصد) در روش شی پایه متکی به قطعه‌بندی ناظر به شاخص NDVI و الگوریتم حداکثر احتمال می‌باشد. همچنین الگوریتم‌های تابع الگوهای ساختاری در توزیع پیکسل‌ها، دقت بالاتری را ارائه دادند. به‌طور کلی نتایج بیانگر پتانسیل بالای داده‌های GeoEye-1 در تهیه نقشه‌های مراحل تحولی جنگل بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** پیکسل پایه، جنگل، شی پایه، مراحل تحولی، GeoEye-1.

### مقدمه

را در جنگل ایجاد می‌کند. بذرها ریخته شده در این روشنه با مهیا بودن شرایط، جوانه زده و نهال‌های حاصل در نتیجه رقابت و طی مراحل رویشی گوناگون، توده جنگلی نهایی را به وجود می‌آورند. تمام اتفاقاتی که در این مدت به وقوع می‌پیوندد، همراه با تحولاتی در جنگل است که مراحل تحولی نامیده می‌شوند (Korpel, 1995). مراحل تحولی بر اساس روش Korpel (۱۹۹۵) شامل مرحله اولیه<sup>۲</sup>، مرحله اوج<sup>۳</sup> و مرحله پوسیدگی یا تخریب<sup>۴</sup> می‌باشد. بررسی مراحل تحولی

مراحل تحولی در نتیجه تغییرات ساختار توده که ناشی از رشد و مراحل رویشی توده‌های جنگلی می‌باشد، مشخص می‌گردد و در هر جنگل طبیعی بر اساس مشخصات ظاهری درختان و ساختار توده، مراحل تحولی مختلفی قابل تشخیص است (متاجی و ثاقب‌طالبی، ۱۳۸۶؛ Mataji et al., 2014; Akhavan et al., 2012). یک درخت در جنگل با رسیدن به سن دیرزیستی فیزیولوژیک و فرارسیدن مرگ، افتاده و روشنه‌ای<sup>۱</sup>

<sup>3</sup> Optimal

<sup>4</sup> Decay

<sup>1</sup> Gap

<sup>2</sup> Initial

در جنگل از اطلاعات مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت جنگل‌ها محسوب می‌شود و شناخت دقیق از آن برای برنامه‌های کاربردی و مدیریت منابع طبیعی مهم است. همچنین این امکان را فراهم می‌سازد که دخالت‌های جنگل‌شناسی مناسبی را بتوان اتخاذ نمود تا اصل استمرار تولید و پایداری جنگل حفظ شود (Valbuena et al., 2016b; Kavzoglu et al., 2015). در روش‌های معمول، تشخیص مراحل تحولی بر پایه مطالعات جنگل‌شناسی و با استفاده از روش‌های آماربرداری زمینی متداول در جنگل و در سطوح کوچک‌تر انجام می‌پذیرد که بسیار پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد (Mataji et al., 2014; Akhavan et al., 2012). اجرای چنین روشی در برآورد مراحل تحولی هر عرصه جنگلی، علاوه بر بالا بودن حجم عملیاتی که جهت استخراج اطلاعات از عرصه جنگلی باید صورت پذیرد، طولانی شدن مدت زمان اجرای عملیات (که خود تاثیر منفی در دقت الگوی مراحل تحولی تعیین شده دارد) و همچنین دشواری‌هایی را در اجرا در پی خواهد داشت (متاجی و ثاقب‌طالبی، ۱۳۸۶؛ Bulut et al., 2019).

استفاده از دستاوردهای حاصل شده در زمینه‌های مختلف علمی به عنوان 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 (وحیدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ناصری و همکاران، ۱۳۹۸؛ Valbuena et al., 2016b; Rafieyan et al., 2011). بیشتر ماهواره‌های با توان تفکیک بالا دو نوع سنجنده چندطیفی و پانکروماتیک را حمل می‌کنند و به دلیل پوشش تکراری و تفکیک بالا، به‌طور عملی برای پایش حوادثی که در سطح زمین رخ می‌دهد و دسترسی به آنها مشکل است، کاربرد دارند تا جایی که امروزه کاربرد داده‌های چندطیفی ماهواره‌ای به‌منظور سنجش و تشخیص شاخص‌های حیاتی در عرصه‌های طبیعی و جنگلی گسترش فراوانی یافته است و آن را به یکی از سریع‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌های کسب اطلاعات به منظور تهیه نقشه‌های بخش جنگل برای محققان تبدیل نموده است (پاکخصال و بنیاد، ۱۳۹۲؛ وحیدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Kavzoglu et al., 2015; Bulut et al., 2019).

امروزه سنجش از دور به عنوان مجموعه فناوری‌هایی که به جمع‌آوری، ذخیره و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی در زمینه گسترده ژئوماتیک می‌پردازد، مطالعه و پایش اکوسیستم‌ها را با کمترین هزینه و زمان و بالاترین سرعت ممکن ساخته است (پاکخصال و بنیاد، ۱۳۹۲؛ شاهولی کوهشور و همکاران، ۱۳۹۱؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Chen et al., 2012; Bulut et al., 2019). فناوری سنجش از دور، می‌تواند دسترسی به اطلاعات و الگوهایی که به طور معمول دستیابی به آنها مستلزم حضور گسترده و طولانی‌مدت در عرصه‌های طبیعی می‌باشد را تامین کند (شاهولی کوهشور و همکاران، ۱۳۹۱؛ رعیتی‌شوازی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Morales, 2012; Amiri, 2013). همچنین داده‌های ماهواره‌های مشاهده زمینی، گستره وسیع و متفاوتی از اطلاعات را با قدرت تفکیک مکانی، زمانی، طیفی و رادیومتریکی ارائه می‌دهند که می‌توان با بهره‌گیری از تکنیک‌های گوناگون مانند شاخص‌های پوشش گیاهی و تلفیق داده‌ها، نسبت به ادغام و ترکیب این داده‌ها و باندهای طیفی در تحقیقات مختلف اقدام نمود (سفیانیان و مدنیان، ۱۳۹۰؛ دانشی و همکاران، ۱۳۹۵؛ احمدی و نارنگی‌فرد، ۱۳۹۴؛ روستایی و همکاران، ۱۳۹۸؛ وحیدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ فیضی‌زاده و هلالی، ۱۳۸۹). نتیجه این عملیات‌ها، تصویری با قابلیت‌های بیشتر، قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالاتر و حجم بیشتر اطلاعات مفید در جهت انواع طبقه‌بندی برای اهداف مورد نظر می‌باشد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۵؛ وحیدی و همکاران، ۱۳۹۷). این داده‌ها در عین حال قابلیت به کارگیری در نرم‌افزارهای گوناگون تحلیل سنجش از دوری را نیز دارند (رعیتی‌شوازی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Chen et al., 2012). به کار بردن این تکنیک‌ها، محدودیت‌های موجود در رابطه با هدف پژوهش مورد نظر و تصاویر دریافت شده از سنجنده‌های گوناگون را کاهش داده است (سفیانیان و مدنیان، ۱۳۹۰؛ دانشی و همکاران، ۱۳۹۵؛ وحیدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ فیضی‌زاده و هلالی، ۱۳۸۹؛ Amiri, 2013).

تکنیک‌های طبقه‌بندی یکی از مهمترین روش‌های آشکارسازی تغییرات، تفسیر و استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای است (Chen et al., 2012; Al-Doski et al., 2013). ماهواره‌ای است (Chen et al., 2012; Al-Doski et al., 2013). به طور کلی روش‌های طبقه‌بندی به دو دسته نظارت شده و

منابع آب و خاک، انتخاب گردید. بیشتر مطالعات صورت گرفته در مورد الگوی مراحل تحولی این جنگل ها بر پایه آماربرداری از مشخصات جنگل شناسی در عرصه بوده است (پرهیزکار و همکاران، ۱۳۹۰؛ متاجی و ثاقب طالبی، ۱۳۸۶؛ Mataji et al., 2014 Akhavan et al., 2012).

سابقه تحلیل و تفسیر داده های ماهواره ای برای بررسی مراحل تحولی در جنگل، زیاد نیست. Valbuena و همکاران (۲۰۱۶b) و (۲۰۱۶a) از داده های (ALS)<sup>۳</sup> با استفاده از انواع روش های طبقه بندی نظارت شده در جنگل های فنلاند استفاده نمودند. Bulut و همکاران (۲۰۱۹) مراحل توسعه توده را بر اساس استفاده از داده های ماهواره ای لندست ۷ ETM+ و IKONOS و روش های طبقه بندی حداکثر احتمال، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در جنگل های ترکیه مورد بررسی قرار دادند.

این تحقیق به دنبال آن بوده است تا با تحلیل و پردازش داده های ماهواره ای، ضمن شناسایی مراحل تحولی در بخشی از جنگل های طبیعی در استان مازندران، الگوریتم مناسب جهت تولید نقشه مراحل تحولی را نیز تعیین نماید. بدین منظور از داده های با توان تفکیک بالای سنجنده ماهواره GeoEye-1، با قدرت تفکیک مکانی در حدود ۱/۶۵ متر (چند طیفی) و ۴۱ سانتی متر (در حالت پانکروماتیک) و قدرت تفکیک طیفی مناسب در محدوده ۴ باند استفاده شد تا با استخراج اطلاعات از فرآیند پویایی جنگل از نتایج این مطالعه در راستای مدیریت پایدار این اکوسیستم ارزشمند، اقدام شود.

### مواد و روش ها

منطقه مورد بررسی، در قسمتی از جنگل های حوضه آبخیز شماره ۳۰ صفارود- شهرستان رامسر در استان مازندران واقع شده است (شکل ۱). جنگل های منطقه مورد مطالعه از جمله جنگل های طبیعی معتدله پهن برگ خزان کننده و ناهمسال می باشد. گونه راش (*Fagus orientalis*) به عنوان گونه غالب منطقه بوده و تک پایه هایی از سایر گونه ها مانند انواع افراها، توسکا، ممرز و غیره حضور دارند.

نظارت نشده تقسیم می شوند (شاهولی کوهشور و همکاران، ۱۳۹۱؛ رعیتی شوازی و همکاران، ۱۳۹۶؛ احمدی و نارنگی فرد، ۱۳۹۴؛ وحیدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Lu & Weng, 2007). با این وجود در دهه های گذشته روش ها و الگوریتم های مختلفی برای طبقه بندی داده ها در سنجش از دور استفاده شده است که هر کدام بر اساس هدف مطالعه دارای مزایا و محدودیت هایی هستند (پاکخصل و بنیاد، ۱۳۹۲؛ سفیانیان و مدنیان، ۱۳۹۰؛ دانشی و همکاران، ۱۳۹۵). در حقیقت انتخاب روش طبقه بندی به هدف مطالعه و داده های در دسترس بستگی دارد (Al-Doski et al., 2013; Kavzoglu, 2012; Shataee et al., 2012; Desclée et al., 2006; et al., 2015).

جهت استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره ای می توان بر اساس ویژگی های پردازش تصویر و عوارض مورد بررسی، از انواع روش های طبقه بندی پیکسل مینا<sup>۱</sup>، شیء مینا<sup>۲</sup> و مدل مینا<sup>۳</sup> و دانش مینا استفاده کرد (فیضی زاده و هلالی، ۱۳۸۹). در روش های پیکسل مینا، واحد اصلی آنالیز و پردازش پیکسل است و صرفاً از اطلاعات طیفی برای انجام آنالیزهای تصویری استفاده می شود. ولی در روش های شیء مینا، مجموعه ای از پیکسل ها که اصطلاحاً به آن شیء گفته می شود، مبنای محاسبات در نظر گرفته می شود و علاوه بر ویژگی های طیفی، ویژگی های بافت، ساختار، مقیاس و سایر خصوصیات عوارض مورد استفاده قرار می گیرند. طبقه بندی مدل مینا بر اساس مدل کردن بخش جمع آوری داده ها در یک سیستم سنجش از دور شامل بخش های سنجنده، اتمسفر و اشیاء مورد تصویربرداری، شکل می گیرد. با ایجاد فرضیه های مختلف برای تشخیص عوارض موجود در تصویر بر پایه مدل های مذکور، می توان بهترین مقادیر پارامترهای این فرضیات و یا شاخص های جدید را تعیین نمود. این فرآیند طبقه بندی بر پایه این شاخص ها و پارامترها عمل می کند (Chen et al., 2012).

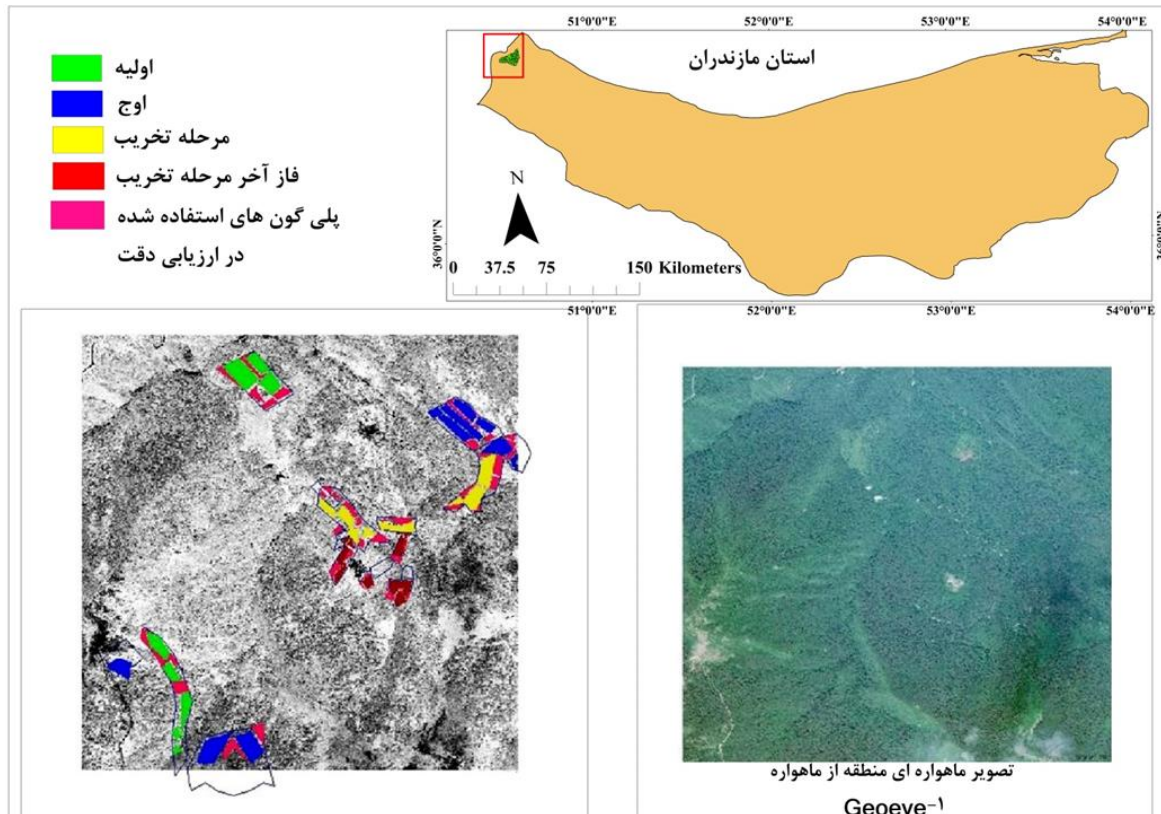
به منظور انجام این مطالعه جنگل های طبیعی در شمال ایران با توجه به ویژگی های منحصربه فرد این جنگل ها به لحاظ موقعیت، قدمت، تنوع زیستی و ساختار در مناطق کوهستانی و صعب العبور کوه های البرز و اهمیت این جنگل ها از نظر حفظ

<sup>3</sup> Model base

<sup>4</sup> Airborne laser scanning

<sup>1</sup> Pixel base

<sup>2</sup> Object base

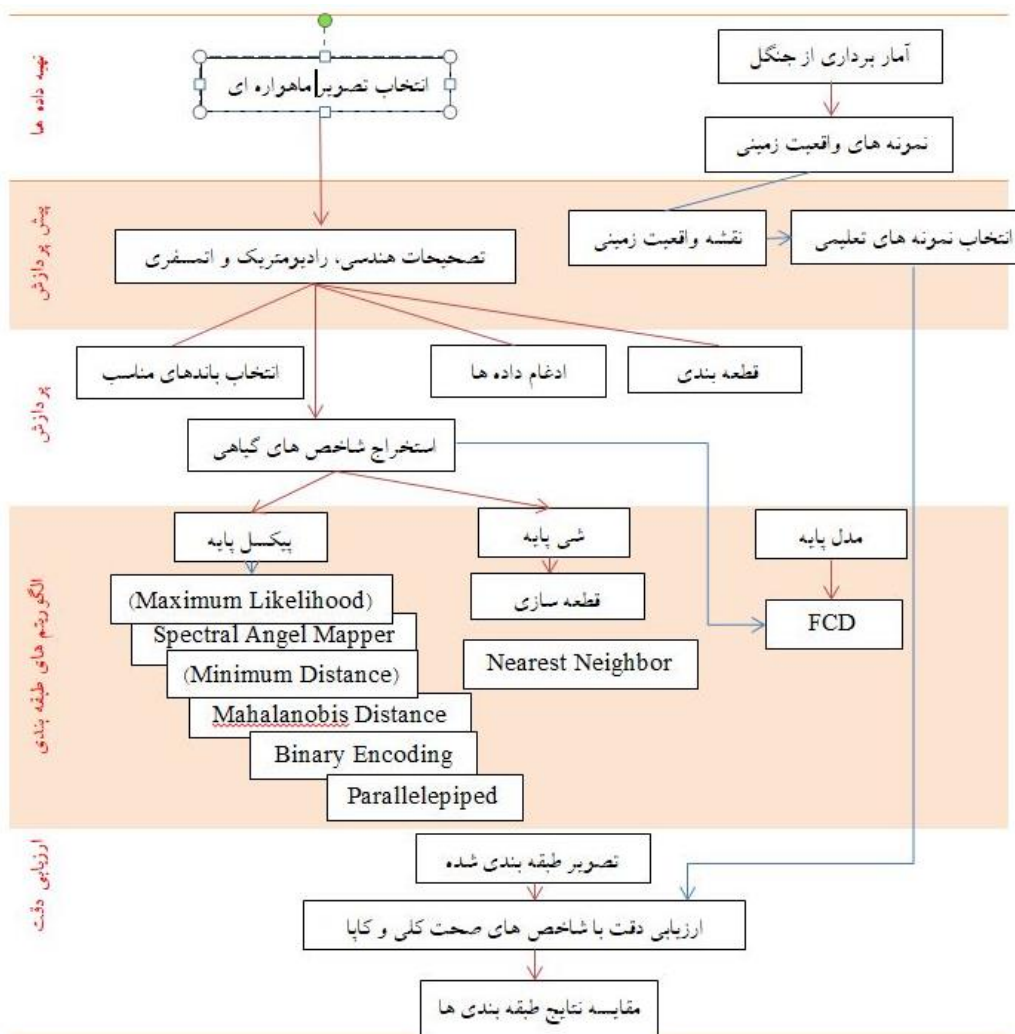


شکل ۱. موقعیت، تصویر ماهواره‌ای و نمونه‌های تعلیمی در منطقه مورد مطالعه

ارتفاعی، حضور یا عدم حضور درختان افتاده و وضعیت خشکه‌دارها و زادآوری انجام شد. سپس پهنه بندی مراحل تحولی با توجه به پارامترهای مورد اندازه‌گیری و الگوی ساختار در مناطق مطالعه انجام شد و نقشه واقعیت زمینی در محیط GIS تهیه و محل نمونه‌های تعلیمی که بیانگر هر یک از مراحل تحولی است، مشخص گردید (شکل ۲).

مراحل تحولی بر اساس روش Korpel (۱۹۹۵) شامل مراحل اولیه، اوج و پوسیدگی یا تخریب است. در این مطالعه به دلیل وسعت مرحله تخریب و بر اساس بازدیدهای انجام گرفته، مرحله تخریب به صورت مرحله تخریب و فاز نهایی مرحله تخریب معرفی گردید.

۱. روش جمع آوری اطلاعات جنگل‌شناسی و تهیه نقشه واقعیت زمینی از مراحل تحولی در ابتدا محدوده مناطق مورد مطالعه بر روی نقشه توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ پیاده شد. پس از آن آماربرداری ۱۰۰ درصد در هر یک از سری‌های انتخاب شده انجام شد که در آن اطلاعات پایه جنگل‌شناسی مانند قطر برابر سینه، ارتفاع درختان، نوع گونه، قطر تاج درختان، آزمون و فاصله درختان نسبت به یکدیگر، همچنین روشنه‌ها، حضور یا عدم حضور درختان افتاده و وضعیت خشکه‌دارها، زادآوری و تعداد اشکوب‌ها اندازه‌گیری و براشت گردید. سپس بر اساس اطلاعات به دست آمده برآوردهای آماری مانند تعداد در هکتار به تفکیک گونه و تعداد در طبقات قطری، تعداد در طبقات



شکل ۲. مدل انتزاعی مراحل انجام مطالعه

۲. روش استخراج اطلاعات از داده ماهواره ای و تولید نقشه مراحل تحولی

۱-۲- مشخصات داده های ماهواره ای و پیش پردازش داده ها

داده ماهواره ای استفاده شده در این مطالعه مربوط به تاریخ ۲۰۱۵/۰۷/۰۱ از ماهواره GeoEye-1 انتخاب شد. قدرت تفکیک مکانی برای باند پانکروماتیک (۴۵۰-۸۰۰ نانومتر) و رنگی (با باندهای طیف آبی: ۴۵۰-۵۱۰ نانومتر؛ طیف سبز: ۵۱۰-۵۸۰ نانومتر؛ طیف قرمز: ۶۹۰-۶۵۵ نانومتر؛ طیف مادون قرمز نزدیک: ۷۸۰-۹۲۰ نانومتر) به ترتیب ۰/۴۱ و ۱/۶۵ متر می باشد. در این سنجنده در مقابل کاهش تعداد طیف های تصویر، قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریک افزایش قابل ملاحظه ای یافته است. تصحیح هندسی تصویر تا سطح

۱. Orthorectification با استفاده از تعدادی نقاط کنترل زمینی<sup>۱</sup> و لایه برداری جاده های منطقه مطالعه استخراج شده از نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری ایران و DEM منطقه انجام شد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳). تصحیح خطاهای رادیومتریک و اتمسفری با استفاده از نرم افزار Geomatica انجام شد.

پس از شناسایی و رفع خطاها به منظور آشکارسازی بهتر پوشش گیاهی و بارزسازی اطلاعات موجود در داده ماهواره ای، پردازش های مختلفی همانند محاسبه انواع شاخص ها و تبدیل های طیفی و ادغام تصاویر صورت گرفت (Richards, 2013).

انواع شاخص های تولید و استفاده شده عبارتند از NDVI، SAVI، ARVI و RVI. میزان همبستگی این شاخص ها با ۴

<sup>1</sup> GCP

طبقه بر اساس ویژگی‌های طیفی اختصاص پیدا کند، تصویر به بخش‌های مختلفی قطعه‌بندی شده که از لحاظ طیفی همگون و دارای ویژگی‌های مشابهی هستند به گونه‌ای که هر قطعه، یک پدیده را پوشش می‌دهد (فیضی‌زاده و هلالی، ۱۳۸۹؛ Chen et al., 2012; Shataee et al., 2012; Desclée et al., 2006).

کلیه الگوریتم‌های طبقه‌بندی به کار گرفته شده بر روی داده‌های ادغام شده نیز اعمال گردید. پردازش و طبقه‌بندی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و PCI-Geomatica، eCognition 3/5 انجام گرفت. قابل ذکر است که داده‌های ادغام شده تنها در روش طبقه‌بندی شیء مینا بر پایه قطعه‌بندی تصویر در محیط نرم‌افزار eCognition مورد استفاده قرار گرفت (فیضی‌زاده و هلالی، ۱۳۸۹؛ وحیدی و همکاران، ۱۳۹۷).

### ۲-۳- ارزیابی دقت طبقه‌بندی

بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، اقدام به ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده گردید. به این منظور از مجموع مناطق آماربرداری شده، حدود ۷۰ درصد پلی‌گون‌ها به عنوان نمونه‌های تعلیمی و حدود ۳۰ درصد به عنوان واقعیت زمینی برای بررسی دقت طبقه‌بندی استفاده شد. در این تحقیق از دو شاخص صحت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی استفاده شد. صحت کلی عبارت از نسبت پیکسل‌های به درستی طبقه‌بندی شده بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده است. به دلیل ایرادات وارده بر دقت کلی، غالباً در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مورد توجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را نیز مدنظر قرار می‌دهد. حالت ایده‌آل برای ضریب کاپا عدد ۱ است و چنانچه این مقدار برابر صفر باشد، طبقه‌بندی کاملاً تصادفی و اگر مقدار منفی به دست آید، نشان‌دهنده خطا در طبقه‌بندی است (سفیانیان و مدنیان، ۱۳۹۰؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Congalton & Green, 1999).

باند طیفی اصلی تصویر بررسی شد. عدم همبستگی بین شاخص‌های تولید شده و باندهای اصلی، عملکرد بهتر این شاخص‌ها به عنوان باند جدید برای طبقه‌بندی تصویر را آشکار نمود. در این مطالعه جهت بهبود قدرت تفکیک مکانی، عملیات ادغام<sup>۱</sup> تصاویر با استفاده از باند پانکروماتیک با ۴ باند دیگر تصویر انجام شد. در تکنیک ادغام داده‌هایی که دارای قدرت تفکیک بالای طیفی (چند طیفی) هستند در کنار داده‌هایی با قدرت تفکیک بالای مکانی قرار می‌گیرند (Campbell & Wynne, 2011).

### ۲-۲- طبقه‌بندی داده ماهواره ای و استخراج اطلاعات

در این پژوهش استخراج اطلاعات از طریق انواع روش‌های طبقه‌بندی و با بهره‌گیری از نمونه‌های تعلیمی انجام گرفت. در الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده، عموماً احتیاج به عملیات صحرایی دارد (Campbell & Wynne, 2011). طبقه‌بندی با روش‌های پیکسل مینا (ملاک و مینای طبقه‌بندی بر اساس ارزش پیکسل‌ها)، شیء مینا (پدیده‌هایی که دارای الگوی مشخص هستند، ملاک طبقه‌بندی قرار می‌گیرند) و مدل مینا (مدل FCD) انجام گرفت. با اجرای الگوریتم‌های حداکثر احتمال<sup>۲</sup>، حداقل فاصله از میانگین<sup>۳</sup>، فاصله ماهالانوبیس<sup>۴</sup>، نقشه برداری زاویه طیفی<sup>۵</sup>، متوازی‌السطوح<sup>۶</sup>، رمزگذاری باینری<sup>۷</sup>، از روش‌های پردازش پیکسل پایه و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه<sup>۸</sup> از روش‌های پردازش شیء پایه و مدل FCD نیز از روش‌های مدل مینا انتخاب گردید (جدول ۱).

روش‌های طبقه‌بندی شیء گرامنتی بر قطعه‌بندی<sup>۹</sup> تصاویر هستند (پیشنمازاحمدی و همکاری، ۱۳۹۶؛ Lindquist & D'Annunzio, 2016; Darvishsefat et al., 2011). قطعه<sup>۱۰</sup> به گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه از تصویر که دارای مشخصات مشابه (نظیر ارزش عددی یا بافت) هستند، گفته می‌شود. در این روش به جای آنکه هر یک پیکسل به یک

<sup>6</sup> Parallelepiped

<sup>7</sup> Binary Encoding

<sup>8</sup> K-Nearest Neighbor

<sup>9</sup> Segmentation

<sup>10</sup> Segment

<sup>1</sup> Fusion

<sup>2</sup> Maximum Likelihood

<sup>3</sup> Minimum Distance

<sup>4</sup> Mahalanobis Distance

<sup>5</sup> Spectral Angel Mapper

جدول ۱. الگوریتم ها و مدل های استفاده شده در طبقه بندی در تحقیق

توضیحات	الگوریتم طبقه بندی
<p>در روش حداکثر احتمال شباهت، در مرحله اول بر اساس نمونه های تعلیمی طبقات، میانگین واریانس و کوواریانس برای باندهای مورد استفاده در طبقه بندی محاسبه می شود. در مرحله دوم، میزان احتمال تعلق پیکسل ها به هر یک از طبقات محاسبه می شود و بر اساس بالاترین میزان احتمال، عمل طبقه بندی و اختصاص پیکسل ها به طبقات گوناگون صورت می گیرد. در این روش پس از ارزیابی احتمالات در هر طبقه، پیکسل ها به طبقه هایی اختصاص می یابند که بیشترین شباهت را دارند.</p>	<p>حداکثر احتمال (MLC)</p>
<p>در این تکنیک ابتدا میانگین همه طبقات که قبلا با استفاده از روش تعیین نواحی تعلیمی از یکدیگر تفکیک گردیده اند، تعیین و سپس فاصله اقلیدوسی بازتاب هر پیکسل را از میانگین تمام طبقات محاسبه می کنند. هر پیکسل به طبقه ای تعلق می گیرد که کمترین مقدار فاصله را تا میانگین آن طبقه داشته باشد. این نوع طبقه بندی از نظر ریاضی ساده و از نظر محاسباتی کارا می باشد. اما مبنای نظری آن به اندازه طبقه بندی کننده حداکثر مشابهت قوی نمی باشد.</p>	<p>حداقل فاصله</p>
<p>این روش یک طبقه بندی حساس به مقدار فاصله است که از روش های آماری برای هر طبقه بهره می برد. این روش شبیه به طبقه بندی حداکثر شباهت است، اما فرض بر این است که تمام طبقه ها، کوواریانس یکسانی دارند و هیستوگرام باندها به صورت نرمال می باشد. بنابراین یک روش سریع تر است. همه پیکسل ها به نزدیک ترین طبقه، طبقه بندی می شوند مگر اینکه یک آستانه فاصله در نظر گرفته شود که در این حالت برخی پیکسل ها ممکن است در طبقه بندی در نظر گرفته نشوند.</p>	<p>فاصله ماهالانوبیس</p>
<p>یک روش بسیار ساده طبقه بندی تصاویر ماهواره ای است. این روش داده ها و طیف ها را بر اساس اینکه یک باند بالاتر یا پایین تر از میانگین طیفی باشد به ترتیب بین صفر و یک کدهی می کند. روشی است ساده که بر پایه کدگذاری اطلاعات بیان شده و طبقه بندی بر اساس قوانین حاکم بر روش های رمزگذاری و کدگذاری اعمال می شود. عملیات کدگذاری خود بر اساس نسبت دهی ارزش ها به هر پیکسل قابل کنترل می باشد.</p>	<p>رمزگذاری باینری</p>
<p>این روش با برآوردی از حداقل و حداکثر میزان ارزش طیفی پیکسل ها عمل کرده و در محدوده ای از انحراف- معیار در دو طرف میانگین ارزش های طیفی هر پدیده تعریف می شود. به این ترتیب مجموعه ای متوازی السطوح تشکیل شده و هر پیکسل بر اساس اینکه در اولین مرحله در کدام متوازی السطوح قرار می گیرد، طبقه بندی می شود. به این ترتیب ممکن است پیکسل طبقه بندی شده در طبقات دیگر هم جای گیرد، لیکن با قرارگیری در اولین متوازی السطوح، این امکان از دست می رود. این روش بر اساس قاعده تصمیم گیری و با استفاده از منطق بولین (Boolean logic) است.</p>	<p>متوازی السطوح</p>
<p>روش طبقه بندی نقشه زاویه طیفی یکی از روش های طبقه بندی تصاویر ماهواره ای است که پایه آن بر اساس طبقه بندی طیفی است. در این روش از یک زاویه بدون بعد برای نسبت دادن پیکسل های مورد نظر به طیف بانندی استفاده می گردد. این روش زمانی استفاده می شود که داده ها نسبت به انعکاس کالیبره شده و تقریباً در مقابل اثرات نور و آلبیدو (albedo) غیرحساس هستند. این روش بر اساس بازتاب طیفی عناصر و کانی ها بنا گردیده است. به طور معمول میزان و ارزش طیفی هر یک از این بازتاب ها در جداول مخصوص موجود است و به عنوان معیار مقایسه و طبقه بندی قابل به کارگیری می باشند.</p>	<p>نقشه زاویه طیفی</p>

<p>الگوریتم K نزدیکترین همسایه (KNN) بر اساس شباهت طیفی قطعه‌های هم طبقه پایه‌ریزی می‌شود. نزدیکی قطعه‌ها بر اساس محاسبه فاصله بین آنها در فضای چند طیفی برآورد می‌شود. در واقع در این نوع طبقه‌بندی، طبقه‌ای که اکثریت را در بین تعداد مشخصی (K) از قطعه‌های معلوم حول قطعه مورد نظر دارد، به قطعه مجهول نسبت می‌دهند. بدین ترتیب مشخص می‌شود که حضور کدام طبقه در حول قطعه مجهول قوی‌تر است. در نهایت قطعه به طبقه دارای بیشترین فراوانی متعلق می‌شود. مقدار K که توسط کاربر تعیین می‌شود بر صحت طبقه‌بندی تاثیر مستقیم دارد. در این الگوریتم پس از انتخاب مقیاس مناسب طبقه‌بندی بر اساس شباهت اکثریت اجزا و قانون همسایگی در فضای تصویر، عمل طبقه‌بندی انجام شد.</p>	<p>نزدیکترین همسایه</p>
<p>روش FCD روش مدل مبنایی است که با استفاده از روش واکنش طیفی عوارض سطح زمین، تراکم جنگل را محاسبه می‌کند. شامل مدل‌سازی بازتابش پدیده‌های زیست فیزیکی و تحلیل داده‌های به دست آمده از اعمال ۴ شاخص پوشش گیاهی پیشرفته AVI، BI، SI و TI می‌باشد. شاخص سایه هم‌مقیاس شده است که مقدار آن از صفر تا ۱۰۰ می‌باشد. این مدل نیاز به نمونه‌های تعلیمی ندارد (۱، ۲).</p> <p>1) AVI (Advanced-vegetation-index) = ((Band5(4) + 1). (2048 - Band4). (Band5 - Band4))<sup>1/3</sup>                  2) BI (Bare Soil Index) = (((B6(4)+B4)-(B5+B2))/(((B6+B4)+(B5+B2))))×100+100                  3) SI (Shadow Index) = ((2048 - Band2) . (2048 - Band3) . (2048 - Band4))<sup>1/3</sup>                  4) VD (Vegetation density) = VD = BI+VI                  5) FCD (Forest canopy density) = (VD x SSI+1)<sup>1/2</sup>-1</p> <p>SSI (Scaled Shadow Index): شاخص سایه هم‌مقیاس شده است که مقدار آن از صفر تا ۱۰۰ می‌باشد.                  VD (Vegetation Density): تراکم گیاهی می‌باشد.</p>	<p>مدل FCD (شاخص تراکم تاج پوشش جنگل)</p>

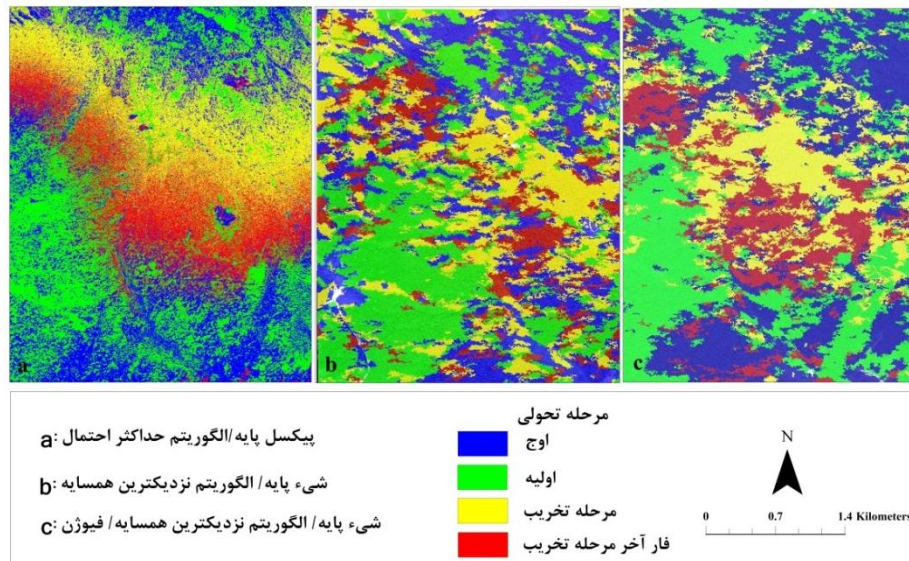
ماخذ: یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Richards, 2013; Lu & Weng, 2007

## نتایج

تصویر ساخته شد، افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان دقت طبقه‌بندی ارائه کرد. اما نتایج بررسی دقت طبقه‌بندی نشان داد که در سایر روش‌ها و الگوریتم‌ها، ادغام داده‌های چند طیفی و پانکروماتیک اغلب تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر طبقه‌بندی نداشته است. همچنین در برخی نقشه‌ها با وجود دقت طبقه‌بندی کمتر از ۵۰ درصد، ساختار هر ۴ مرحله تحولی دیده شده است مانند روش‌های پیکسل مبنای فاصله ماهالانوبسیس، حداکثر شباهت در مقابل نقشه‌های خروجی از دیگر روش‌های طبقه‌بندی مانند حداقل فاصله، رمزگذاری باینری، متوازی‌السطوح، نقشه زاویه طیفی و مدل FCD علاوه بر دقت کمتر از ۵۰ درصد، ساختار توده در مراحل تحولی را نشان نمی‌دهند.

بعد از تصحیحات هندسی و اتمسفری، ۴ شاخص NDVI، SAVI، RVI و ARVI تولید و به مجموعه باندهای طیفی تصویر جهت طبقه‌بندی اضافه شد. در مرحله بعد طبقه‌بندی با الگوریتم‌های متفاوت در سه روش پیکسل مبنای، شی مبنای و مدل مبنای انجام شد (شکل ۳).  
 نقشه‌های به دست آمده از طبقه‌بندی نشان داد که روش شیء مبنای در دو حالت داده ادغام شده و عادی به ترتیب با صحت کلی ۷۸٪ و ۷۴ درصد بالاترین دقت طبقه‌بندی را ارائه نموده‌اند. پس از آن الگوریتم حداکثر احتمال، از روش‌های پیکسل مبنای با دقت ۵۳/۱۳ درصد قرار گرفت. داده‌های ادغام شده تنها در روش طبقه‌بندی شیء مبنای که بر پایه قطعه‌بندی





شکل ۳. نقشه طبقه بندی مراحل تحولی از الگوریتم های دارای بالاترین دقت

### بحث و نتیجه گیری

نتایج طبقه بندی در مطالعه حاضر نشان داد که الگوریتم نزدیکترین همسایه و روش شیء مبنا در دو حالت داده ادغام شده و عادی و الگوریتم حداکثر احتمال از روش های پیکسل مبنا، به ترتیب با صحت کلی ۷۸ و ۷۴ و ۵۳/۱۳ درصد بالاترین دقت طبقه بندی را نشان دادند. الگوریتم های رمزگذاری باینری، متوازی السطوح، نقشه زاویه طیفی از الگوریتم های روش پیکسل مبنا و روش مدل مبنا (FCD) ضعیف ترین دقت را در میان انواع الگوریتم ها ارائه نموده اند. نتایج مطالعه حاضر حاکی از کارایی بالاتر روش های شیء مبنا در مقابل روش های پیکسل مبنا و مدل مبنا دارد. روش هایی مانند روش مدل مبنا (FCD)، برای اجرا وابسته به نمونه های تعلیمی حاصل از آماربرداری از سطح عرصه نیستند ولی روش های شیء مبنا و پیکسل مبنا به آماربرداری از سطح عرصه وابستگی کامل دارند.

الگوریتم هایی که به بررسی پارامترهای ساختاری جنگل می پردازند، نقاط ضعف و قوت هر کدام با توجه به سابقه طولانی به کارگیری آنها شناخته شده است، در حالی که تصمیم گیری در مورد انتخاب روش های طبقه بندی مراحل تحولی، به خاطر کمبود تحقیقات در این زمینه بسیار کم مورد بررسی قرار گرفته است که از آن جمله می توان به مطالعه Valbuena و همکاران (۲۰۱۶a) و (۲۰۱۶b) اشاره نمود که از داده های هواپرد لیزر و انواع الگوریتم های حداکثر شباهت، نزدیکترین همسایه، شبکه

عصبی، درخت تصادفی، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، Minimum volume ellipsoid و Naïve Bayes برای بررسی مراحل تحولی در جنگل های فنلاند استفاده نمودند. نتایج نشان داد که دقت کلی برای روش های SVM و ANN بیشترین بوده است و داده های ALS را دارای پتانسیل بالایی برای پیش بینی متغیرهای طبقه بندی مراحل تحولی جنگل معرفی نمودند (Valbuena et al., 2016a; Valbuena et al., 2016b). در مطالعه ای دیگر Bulut و همکاران (۲۰۱۹) در واحد جنگل کاری اوگورلو در شمال شرق ترکیه از تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک کمتر از داده ماهواره ای استفاده شده در مطالعه حاضر (Landsat 7 ETM+ و IKONOS) و روش های طبقه بندی مختلف (حداکثر احتمال، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی) استفاده کردند. نتایج نشان داد که مراحل تحولی جنگل با استفاده از تصویر لندست ۷ ETM+، شبکه عصبی مصنوعی با صحت کلی ۰/۹۲ و ضریب کاپای ۰/۸۳ و با استفاده از داده IKONOS روش بردار پشتیبان (تابع چند جمله ای) با صحت کلی ۰/۹۵ و ضریب کاپای ۰/۹۴ بهترین روش ها بودند. همچنین ماهواره IKONOS و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (تابع چند جمله ای) تخمین بهتری از مراحل تحولی جنگل را در مقایسه با Landsat 7 ETM+ و سایر روش های طبقه بندی نظارت شده تولید نمودند (Bulut et al., 2019). نکته مهم تفاوت این مطالعات با پژوهش حاضر، اختلاط و نزدیکی

روش‌های طبقه‌بندی پیکسل مینا می‌گردد، اما در روش طبقه بندی شیء مینا اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و مجموعه ای از پیکسل‌ها بر اساس شکل، بافت، تن در سطح تصویر با مقیاس مشخص طبقه‌بندی شده و طبقه‌بندی تصویر بر اساس این قطعه‌ها انجام می‌شود (Amiri, 2013; Desclée et al., 2006; Darvishsefat et al., 2011; Lindquist & D'Annunzio, 2016; Osio et al., 2018; فیضی‌زاده و هلالی، ۱۳۸۹).

رویکرد شیء مینا تغییر طیف‌های ناشی از بافت تاج درختان، روشنه‌ها و سایه‌ها را در جنگل کاهش می‌دهد (Rafieyan et al., 2011). با توجه به داده با توان تفکیک مکانی استفاده شده، حداکثر سعی مینی بر انطباق مرز نمونه‌های تعلیمی در تصاویر با مرزبندی جنگل‌شناسی مراحل تحولی انجام شده است. هر یک از مراحل تحولی، خصوصیات ویژه‌ای دارد که بر بازتاب طیفی دریافت شده توسط سنجنده تاثیرگذار می‌باشند. به عنوان مثال میزان کلروفیل در مراحل اولیه و اپتیمال بیشتر از مرحله تخریب می‌باشد. فاکتورهای طبیعی موثر زیادی در تشخیص مراحل تحولی نقش دارند که در بازتاب طیفی باندهای تصویر دارای عکس‌العمل متقابل می‌باشند. همچنین مساحت روشنه‌های ایجاد شده در مرحله تخریب بزرگ‌تر از سایر مراحل تحولی است و هر محدوده مراحل تحولی، خود مجموعه‌ای از محاط کوچک‌تر دارای سن و مراحل متفاوت رویشی است که فازهای تحولی نامیده می‌شود. شباهت نشانه‌های طیفی برای گونه‌های مختلف درختان، دشواری انتخاب و تشخیص آستانه‌ها برای هر طبقه، دقت جمع‌آوری اطلاعات آماربرداری جنگل به دلیل تنوع توپوگرافی این جنگل‌ها، ساختار و اندازه‌های متفاوت تاج‌ها به دلیل ساختار ناهمسال و پیچیده، تعیین و تایید مناطق شاخص برای هر مرحله تحولی از محدودیت‌های مهم در این مطالعه و پایین بودن صحت برخی نقشه‌های حاصل از به‌کارگیری الگوریتم‌های گوناگون می‌باشد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۸؛ متاجی و نایب‌طالبی، ۱۳۸۶; Amiri, 2013; Rafieyan et al., 2011; Darvishsefat et al., 2011; Valbuena et al., 2016b).

در راستای توسعه روش‌ها و تکنیک‌های پیشرفته به منظور بهبود دقت طبقه‌بندی مراحل تحولی جنگل می‌توان به استفاده از الگوریتم‌هایی مانند شبکه عصبی مصنوعی، درخت

مقادیر پیکسلی قطعه‌ها در داده‌های با توان تفکیک بالای استفاده شده در این تحقیق و در عین حال دقت بالاتر طبقه‌بندی در آن است. علاوه بر آن تعاریف متفاوت در توصیف مراحل تحولی برای هر منطقه و روش آماربرداری متفاوت همراه با نرم‌افزارهای متفاوت مورد استفاده از دیگر تفاوت‌های این مطالعات با مطالعه حاضر است.

بررسی نتایج تحقیقات مختلف در مورد پارامترهای جنگل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نشان داده‌اند که انتخاب الگوریتم و روش طبقه‌بندی مناسب در دستیابی به نتایج صحیح نقش مهمی دارد. اما به طور خاص، روش‌های شیء مینا بستر منحصر به فردی را برای بهره‌برداری از تصاویر با توان تفکیک بالا فراهم می‌کند و دارای دقت بالاتر و کارایی بیشتری می‌باشد (سفیانیان و همکاران، ۱۳۹۰؛ روستایی و همکاران، ۱۳۹۸؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Chen Shataee et al., 2012; et al., 2012). آشکارسازی مراحل تحولی جنگل به روش شیء مینا که علاوه بر ویژگی‌های طیفی از ویژگی‌های مکانی، هندسی و ساختاری استفاده می‌کند در مقایسه با رویکرد پیکسل مینا نتایج بسیار خوبی به همراه داشته است. استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر روشی موثر برای ارتقا کیفیت طبقه‌بندی است (Desclée et al., 2006). روش شیء مینا پتانسیل تفکیک بیشتری در آنالیز تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا را دارا بوده و امکانات متنوع و مفیدی بر اساس استفاده از روش طبقه‌بندی فازی دارد (دانشی و همکاران، ۱۳۹۵؛ پیش‌نمازاحمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Desclée et al., 2006; Darvishsefat et al., 2011; Lindquist & D'Annunzio, 2016).

مطالعه Osio و همکاران (۲۰۱۸) در شناسایی جنگل‌های تخریب شده آکاسیا (*Acacia Xanthophloea*) در کنیا با داده‌های لندست و پژوهش Taghi Mollaei و همکاران (۲۰۱۸) در برآورد خصوصیات کمی درختان بلوط با تصاویر WorldView-2 در جنگل‌های هفت برم شیراز در ایران نیز نشان دادند که طبقه‌بندی شیء مینا بالاترین و بهترین دقت را در برآوردها داشته و صحت نتایج را بهبود بخشیده است. توانایی روش‌های کلاسیک پیکسل مینا در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای هنگامی که پدیده‌های متفاوت اطلاعات طیفی مشابهی دارند، محدود می‌باشد. این امر موجب کاهش صحت

شناسایی دقیق معیارهای آماری لازم برای تشخیص هر مرحله تحولی، مکان یابی دقیق محل نمونه های تعلیمی، نوع نرم افزار مورد استفاده، روش های ادغام اطلاعات، دقت در تصحیحات هندسی در مناطق جنگلی، نوع روش و الگوریتم استفاده شده در طبقه بندی می تواند از عوامل تعیین کننده در دقت خروجی نقشه نهایی تولید شده باشد. در کل، یک رویکرد آزمون خطا در بهینه سازی شاخص ها و الگوریتم ها و برنامه های نرم افزاری پیشنهاد می گردد. افزایش تحقیقات در این زمینه می تواند نقشه های مناسبی را برای پیش بینی موقعیت تحولی جنگل های طبیعی منطقه و تدوین استراتژی های مدیریتی ایجاد کند. همچنین به منظور پیگیری بیشتر این مبحث و در نظر گرفتن فازها در داخل هر یک از مراحل تحولی، کارایی الگوریتم ها را در مساحت های کمتر و مقیاس های جزئی تر می توان بررسی نمود.

تصمیم گیری، ماشین بردار پشتیبان و سیستم های هوشمند با داده های در دسترس اشاره کرد. تجویز یک الگوریتم واحد تحت هر شرایطی قابل توصیه نیست. با تولید اطلاعات مورد نیاز جهت نظارت مراحل تحولی با استفاده از داده های سری زمانی ماهواره های مشابه می توان مدل پویایی مراحل تحولی اکوسیستم های جنگلی را از یک مدل مفهومی به یک مدل کاربردی و ملموس تبدیل نمود تا بتوان اطلاعات را بر اساس روند حرکت طبیعی این جنگل ها در آینده بهتر مدیریت نمود. در نهایت نتایج این پژوهش نشان داد که طبقه بندی داده های ماهواره ای با روش شیء پایه، بالاترین دقت را تولید نموده است. همچنین استفاده از داده با تفکیک مکانی بالا مانند Geoeye-1 خصوصا با قطعه بندی دقیق در روش طبقه بندی شیء مبنای مطالعه مراحل تحولی جنگل، نتایج قابل اطمینانی را ارائه داده است. پیچیدگی فرآیندهای تحولی در جنگل های طبیعی، دقت عملیات آماربرداری در جنگل و

#### منابع

دانشی، ع.، وفاخواه، م. و پناهی، م. (۱۳۹۵) مقایسه کارایی الگوریتم های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، مطالعه موردی حوزه آبخیز سیمینه رود. سنجش از دور و GIS ایران. ۸(۲): ۷۳-۸۶. رعیتی شوازی، م.، کرم، ا.، غفاریان مالمیری، ح. و سپهر، ع. (۱۳۹۶) مقایسه کارایی برخی الگوریتم های طبقه بندی در مطالعه تغییرات لندفرم بیابانی دشت یزد- اردکان. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۶(۱): ۵۷-۷۳. روستایی، ش.، مختاری، د.، ولیزاده کامران، خ. و خدائی قشلاق، ل. (۱۳۹۸) مقایسه روش پیکسل پایه (بیشترین شباهت) و شیء گرا (ماشین بردار پشتیبان) در طبقه بندی کاربری اراضی (منطقه اهر- ورزقان). پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۸(۱): ۱۱۸-۱۲۹. سفینیان، ع. و مدنیان، م. (۱۳۹۰) مقایسه روش های طبقه بندی کننده حداکثر شباهت و حداقل فاصله از میانگین در تهیه نقشه پوشش اراضی، مطالعه موردی استان اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۵(۵۷): ۲۳۶-۲۶۴.

احمدی، م. و نارنگی فرد، م. (۱۳۹۴) برآورد کیفیت و آشکارسازی تغییرات پهنه های جنگلی با استفاده از تصاویر ماهواره ای، مطالعه موردی شهرستان رستم، فارس. کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۶(۳): ۸۷-۱۰۰. پاکخصال، ا. و بنیاد، ا. (۱۳۹۲) طبقه بندی تراکم تاجپوشش جنگل های خزری با استفاده از مدل FCD (مطالعه موردی: حوضه شفاورد گیلان). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۱): ۹۹-۱۱۴. پرهیزکار، پ.، ثاقب طالبی، خ.، متاجی، ا.، نمیرانیان، م.، حسنی، م. و مرتضوی، م. (۱۳۹۰) بررسی وضعیت درختان و زادآوری در مراحل مخالف تحولی در رانشستان های طبیعی کلاردشت، مطالعه موردی پارسل شاهد، سری یک لنگا. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۹(۱): ۱۴۱-۱۵۳. پیش نماز احمدی، م.، محمدزاده، ک. و حجازی، س. (۱۳۹۶) ارزیابی الگوی تغییرات پوشش جنگلی با استفاده از تکنیک های فازی شیء گرا، مطالعه موردی شهرستان کلبر. جغرافیا و پایداری محیط، ۷(۲۵): ۹۵-۱۱۱.

- University Putra, Malaysia. Journal of Environment and Earth Science. 3(10): 141-148.
- Amiri, N. (2013) Evaluation of different change detection techniques in forestry for improvement of spatial objects extraction algorithms by very high resolution remote sensing digital imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-1/W3, SMPR, 5-8 October 2013, Tehran, Iran, 43-47.
- Bulut, S., Günlü, A. and Keleş, S. (2019) Estimation of forest development stage and crown closure using different classification methods and satellite images: A case study from Turkey. Journal of Forest Science, 65(1): 18-26.
- Campbell, J.B. and Wynne, R.H. (2011) Introduction to remote sensing (5<sup>th</sup> Editions). The Guilford press, 717p.
- Chen, G., Hay, G.J., Carvalho, L.M. and Wulder, M.A. (2012) Object-based change detection. International Journal of Remote Sensing, 33(14): 4434-4457.
- Congalton, R.G. and Green, K. (1999) Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices, Boca Raton: Lewis Publications. Second Edition (Mapping Science) (2<sup>nd</sup> Edition): 183p.
- Darvishsefat, A.A., Rafieyan, O., Babaii, S. and Mataji, A. (2011) April. Object-based classification using UltraCam-D images for forest tree identification, Hyrcanian forest of Iran. In 34<sup>th</sup> International symposium on remote sensing of Environment. The GEOSS era: towards operational environmental monitoring, Sydney: 10-15.
- Desclée, B., Bogaert, P. and Defourny, P. (2006) Forest change detection by statistical object-based method. Remote Sensing of Environment, 102(1-2): 1-11.
- Kavzoglu, T., Colkesen, I. and Yomralioglu, T. (2015) Object-based classification with rotation forest ensemble learning algorithm using very-high-resolution WorldView-2 image. Remote Sensing Letters, 6(11): 834-843.
- Korpel, S. (1995). Die Urwald der Westkarpaten. Gustav ficher velg, Stuttgart, 310p.
- Lindquist, E.J. and D'Annunzio, R. (2016) Assessing global forest land-use change by object-based image analysis. Remote Sensing, 8(8), 678. 1-17pp.
- Lu, D. and Weng, Q. (2007) A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. International journal of Remote sensing, 28(5): 823-870.
- Mataji, A., Sagheb-Talebi, K. and Eshaghi-Rad, J. (2014) Deadwood assessment in different developmental stages of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in Caspian forest ecosystems. International Journal of Environmental Science and Technology, 11(5): 1215-1222.
- Martinez Morales, R.M. (2012) Using remotely sensed imagery for forest resource assessment and inventory. Forest ecosystems more than just trees, Chapter 7, 165-178.
- Osio, A., Lefèvre, S., Ogao, P. and Ayugi, S. (2018) OBIA-based monitoring of riparian vegetation شاهولی کوهشور، ا. پیرباوقار، م. فاتحی، پ. (۱۳۹۱) تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل در جنگل‌های نیمه انبوه تا تنک با استفاده از مدل FCD. مطالعه موردی جنگل‌های مریوان. کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۳۳(۳): ۷۸-۸۳.
- فیضی‌زاده، ب. و هلالی، ح. (۱۳۸۹) مقایسه روش‌های پیکسل پایه، شیء‌گرا و پارامترهای تاثیرگذار در طبقه‌بندی پوشش/ کاربری اراضی استان آذربایجان غربی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۲(۷۱): ۷۳-۸۴.
- قاسمی، ا.، فلاح، ا.، شتایی جویباری، ش. (۱۳۹۵) ارزیابی چهار الگوریتم پیش‌بینی سطح تاج پوشش جنگل‌های مانگرو با استفاده از تصاویر دوربین هوایی. کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۷(۲): ۱-۱۵.
- متاجی، ا. و ثاقب‌طالبی، خ. (۱۳۸۶) بررسی مراحل تحولی و پویایی دو جامعه گیاهی راش شرقی در جنگل‌های طبیعی منطقه خیرودکنار نوشهر. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵(۴): ۳۹۸-۴۱۶.
- ناصری، م.ح.، شتایی جویباری، ش.، محمدی، ج. و احمدی، ش. (۱۳۹۸) قابلیت تصویر ماهواره‌ای Rapid Eye در تهیه نقشه پراکنش تاج پوشش درختان منطقه جنگلی دشت برم استان فارس. بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۷(۱۴): ۵۸-۶۹.
- وحیدی، م.، صاحبی، م.ر.، بابایی کفاکی، س. (۱۳۹۷) ارزیابی روشی شیء‌مبنا جهت طبقه‌بندی مناطق جنگلی با استفاده از تصاویر پلاریمتری رادار و ابرطیفی. علوم و فنون نقشه- برداری، ۸(۱): ۱۳۳-۱۴۷.
- یوسفی، ص.، تازه، م.ف.، 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 GIS در علوم منابع طبیعی، ۵(۳): ۶۷-۷۶.
- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, K., Zenner, E.K. and Safavianesh, F. (2012) Spatial patterns in different forest development stages of an intact old-growth Oriental beech forest in the Caspian region of Iran. European Journal of Forest Research, 131(5): 1355-1366.
- Al-Doski, J., Mansori, S.B. and Shafri, H.Z.M. (2013) Image classification in remote sensing. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,

- algorithms. *International Journal of Remote Sensing*, 33(19): 6254-6280.
- Taghi Mollaei, Y., Karamshahi, A. and Erfanifard, S.Y. (2018) Valuation of object-based and decision tree classification methods in estimating the quantitative characteristics of single oak trees on worldview-2 and UAV Images. *Ecopersia*, 6(4): 241-257.
- Valbuena, R., Maltamo, M. and Packalen, P. (2016a) Classification of forest development stages from national low-density lidar datasets: A comparison of machine learning methods. *Revista de Teledetección*, 45(Special Issue): 15-25.
- Valbuena, R., Maltamo, M. and Packalen, P. (2016b) Classification of multilayered forest development classes from low-density national airborne lidar datasets. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 89(4): 392-401.
- applied to the identification of degraded acacia xanthophloea along lake Nakuru, Kenya. *Espace pour le développement (ESPACE DEV)*; Société T.E.T.I.S., GEOBIA'2018 – Montpellier, 18-22 June 2018.
- Rafieyan, O., Darvishsefat, A.A., Babaii, S. Mataji, A. (2011) Object-based classification of UltraCamD imagery for identification of tree species in the mixed planted forest. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 9(1): 67-79.
- Richards, J.A. (2013) *Remote sensing digital image analysis an introduction*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-30061-5. 464p. DOI 10.1007/978-3-642-30062-2/
- Shataee, S., Kalbi, S., Fallah, A. and Pelz, D. (2012) Forest attribute imputation using machine-learning methods and ASTER data: Comparison of k-NN, SVR and random forest regression

## Investigation of the efficiency of GeoEye-1 satellite data for mapping the development stages in the forests of Northern Iran

Amin Mahdavi Saeidi<sup>1</sup>, Sasan Babaie Kafaky<sup>2\*</sup> and Asadollah Mataji<sup>3</sup>

- 1) Ph.D. Student, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- 2) Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. \*Corresponding Author Email Address: s.babaiek@yahoo.com
- 3) Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Date of Submission: 2020/04/06

Date of Acceptance: 2020/07/21

### Abstract

Today, remote sensing with high spatial and spectral resolutions along with the use of a variety of plant indices has provided the possibility of more accurate analysis and classification of satellite data in the identification and structural resolution of natural phenomena. Accordingly obtain information from the structure of forests using satellite data to help the management of forest renewable resources is of interest to managers and researchers. In this research, maps of the development stages of natural forests in the north of the country were prepared using GeoEye-1 satellite data and different classification algorithms in pixel-based, object-based, and model-based methods. The ultimate accuracy of the classification maps was calculated with the overall accuracy parameters and the Kappa coefficient. The results of this study showed that maximum accuracy (78%) in the object-based method was estimated on the basis of the segmentation of the NDVI and the maximum likelihood algorithm. Also, the algorithms that follow the structural patterns for the classification of the pixel distribution provided a higher accuracy. Overall, the results showed the high potential of GeoEye-1 data in mapping forest development stages.

**Keywords:** Development stages, Forest, GeoEye-1, Object base, Pixel-based.