



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد شانزدهم، شماره سوم، ۱۳۸۸

www.gau.ac.ir/journals

## طبقه‌بندی طبقات سنی توده‌های جنگلی با استفاده از داده‌های ماهواره لندست،

### سنجنده ETM+

جهانگیر محمدی<sup>۱</sup>، \*شعبان شتایی<sup>۲</sup>، فرهاد یغمایی<sup>۳</sup> و عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۳</sup> استادیار گروه آمار، دانشگاه گلستان، <sup>۴</sup> استادیار گروه محیط زیست،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۳

### چکیده

تفکیک طبقات سنی در سطوح بزرگ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در مدیریت پایدار توده‌های جنگلی اهمیت فراوانی دارد. در این پژوهش به منظور قابلیت داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ در تفکیک طبقات سنی، داده‌های رقومی این سنجنده مربوط به ۱۶ تیر ماه ۱۳۸۱ از جنگل بلوط لوه در استان گلستان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. جمع‌آوری داده‌های زمینی مورد نیاز جهت تفکیک طبقات سنی توده‌های جنگلی مدیریت شده به روش تدریجی پناهی منطقه از طریق نمونه‌برداری به روش خوشه‌ای صورت گرفته و تعداد ۹۹ قطعه نمونه شامل ۳۲ قطعه نمونه در دانگ اول (۲۵-۴۵ ساله)، ۳۳ قطعه نمونه در دانگ دوم (۵-۲۵ ساله) و ۳۴ قطعه نمونه در توده بهره‌برداری نشده (بیشتر از ۴۵ ساله) پیاده شد. تصاویر ماهواره‌ای پس از اعمال تصحیحات هندسی و کاهش اثر اتمسفری مورد پردازش‌های نسبت‌گیری باندها و ایجاد شاخص‌های متداول گیاهی و تجزیه مؤلفه‌های اصلی قرار گرفتند. در این پژوهش، تفکیک‌پذیری سه طبقه سنی به روش نظارت شده و با الگوریتم‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال، حداقل فاصله، متوازی‌السطوح و فیشر مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که الگوریتم حداکثر احتمال با سه طبقه سنی به ترتیب با دقت کلی ۷۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۸ بهتر از دیگر الگوریتم‌ها توانست طبقات سنی را تفکیک نماید. نتایج به دست آمده از

\* مسئول مکاتبه: shataee@yahoo.com

ارزیابی صحت و تفکیک‌پذیری طبقات نشان‌دهنده تداخل طیفی بین طبقات سنی ۲۵-۵ و بیشتر از ۴۵ ساله بود. با ادغام این دو طبقه سنی صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب معادل ۹۴ درصد و ۰/۸۶ به‌دست آمد. و این اطلاعات در برآورد بالومیس و کربن و همچنین شناسایی مکان‌هایی که نیاز به تیمارهای جنگل‌شناسی و دیگر فعالیت‌های مدیریتی جنگل دارند مفید می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** طبقات سنی، توده جنگلی، طبقه‌بندی، لندست ETM+، لوه

### مقدمه

جنگل‌ها اکوسیستمی حیاتی و یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه کربن جهانی و از لحاظ اکولوژیکی زیستگاه حیاتی بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهی و منبع اقتصادی مهم برای بشر بوده و نقشی کلیدی در چرخه مواد غذایی، هیدرولوژی و دیگر عملکردهای اکوسیستم ایفا می‌نمایند. یکی از پارامترهای مهم در برآورد بایومس جنگل و تهیه نقشه کربن جهانی، نقشه طبقه‌بندی شده طبقات سنی توده‌های جنگلی می‌باشد که تأثیر به‌سزایی نیز در عملکرد اکوسیستم دارد. بنابراین برای دستیابی به بیش‌بیشتر در مفاهیم فرآیندهای اکوسیستم به اطلاعات دقیقی درباره گستره و طبقات سنی جنگل نیاز داریم. معمولاً تهیه اطلاعات مرتبط با طبقات سنی از طریق عملیات میدانی و با دقتی بالا صورت می‌گیرد. اما این روش‌های جمع‌آوری اطلاعات، مستلزم صرف زمان و هزینه‌های زیادی است. علاوه‌بر این گستردگی سطح جنگل‌ها، کوهستانی بودن عرصه‌ها و همچنین تغییرات شدید با فواصل زمانی کوتاه، به‌کارگیری این روش‌ها را با پرسش‌های جدی روبه‌رو ساخته است. بنابراین، همواره سعی می‌شود تا با استفاده از دست‌آوردهای به‌دست آمده در زمینه‌های مختلف علمی از روش‌های جایگزین، با هزینه کمتر و با سطح دقت قابل قبول، استفاده گردد (ناصری، ۲۰۰۳). داده‌های ماهواره‌ای، به دلایل برخورداری از مزایایی چون، سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار و به‌هنگام شدن مداوم، سهولت پردازش، هم‌زمان با داده‌های میدانی می‌توانند در این زمینه نقش مؤثری ایفا نموده و به‌عنوان یک گزینه در جمع‌آوری اطلاعات مطرح گردند (خرمی، ۲۰۰۴؛ سونگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ فرانکلین، ۲۰۰۱؛ شتایی، ۲۰۰۳). بیشتر مطالعات سعی در ارزیابی برآورد مشخصه‌های کمی مانند تولید خالص اولیه (رانینگ، ۱۹۹۰)، شاخص سطح برگ (گونگ و همکاران، ۱۹۹۵)، حجم سرپا (هال و همکاران، ۲۰۰۶) و غیره را دارند که بیشترین تغییرات این مطالعات به طبقات سنی توده‌های جنگلی

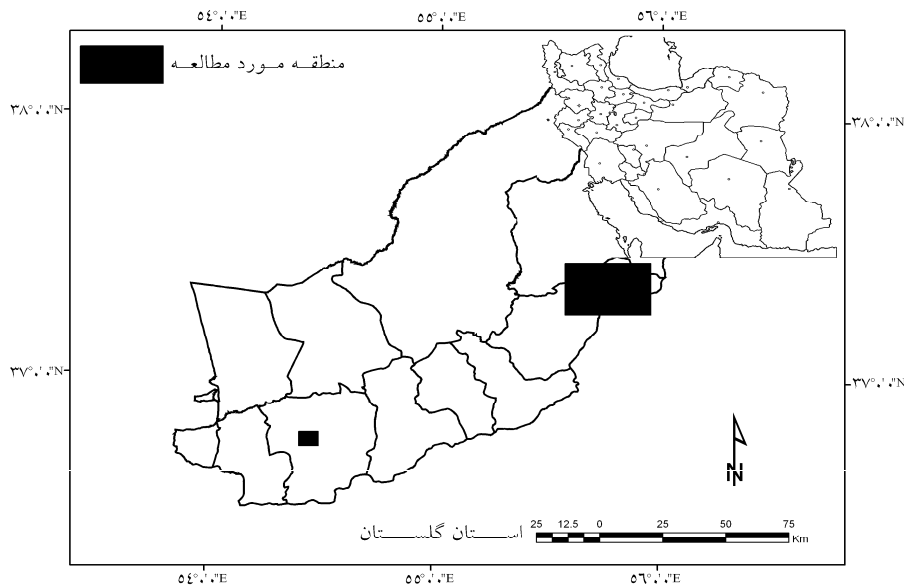
برمی‌گردد. در زمینه طبقه‌بندی طبقات سنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در خارج از کشور مطالعات زیادی انجام شده است (جنسن و همکاران، ۱۹۹۹؛ کاپلیچ، ۲۰۰۶؛ استینینجر، ۱۹۹۶؛ موران و همکاران، ۱۹۹۴). جنسن و همکاران (۱۹۹۹) برآورد سن توده‌های جنگلی سوزنی‌برگ را با استفاده از داده‌های سنجنده TM به دو روش آماری و شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با روش‌های آماری نتایج بهتری ارائه داده است که نشان‌دهنده پتانسیل شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد پارامترهای بیوفیزیکی با استفاده از سنجنش از دور می‌باشد. ویرا و همکاران (۲۰۰۳) طبقه‌بندی طبقات سنی جنگل را با استفاده از داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> در جنگل‌های شرق آمازون مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی نشان داد که باند ETM5 و NDVI بهتر از باندهای دیگر (دقت کلی ۸۱ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۶۸) این کلاسه‌ها را از هم تفکیک نموده‌اند. کاپلیچ (۲۰۰۶) طبقه‌بندی طبقات سنی زادآوری جنگل را با استفاده از داده‌های سنجنده TM و SAR<sup>۱</sup> به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در جنگل‌های آمازون مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که دقت طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های SAR برای ۶ کلاسه ۳۰ درصد می‌باشد که با تلفیق طبقات سنی زادآوری به یک طبقه دقت طبقه‌بندی به ۸۰ درصد بهبود یافت. با استفاده از تلفیق داده‌های TM و SAR و تلفیق طبقات سنی زادآوری به دو طبقه ۵-۰ ساله و ۱۸-۶ ساله دقت کلی به ۸۷ درصد بهبود یافت. سیوانپیلای و همکاران (۲۰۰۶) قابلیت داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> را در برآورد سن توده‌های مدیریت شده کاج تگزاس امریکا مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی نشان داد که با استفاده از باندهای اصلی و پردازش شده، ضریب تبیین تعدیل شده و میانگین مجذور خطای مربعات برای سن به ترتیب (۶۸/۲ و ۳/۴۴ درصد) و (۷۷/۵ و ۲/۸۹ درصد) به‌دست آمد. سونگ و همکاران (۲۰۰۷) قابلیت داده‌های سنجنده TM مربوط به ۴ آگوست ۱۹۸۴، ۷ ژولای ۱۹۹۱، ۳۱ ژولای ۱۹۹۴ و ۲۳ ژولای ۱۹۹۷ را جهت برآورد طبقات سنی جنگل‌های سوزنی‌برگ در غرب اورگان<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی جنگل به ۲۲ طبقه سنی طبقه‌بندی شده است. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که با افزایش سن میزان ارزش‌های مؤلفه‌های نمناکی، سبزیگی و روشنایی کاهش می‌یابند و مشخص شد که مؤلفه‌های سبزیگی و روشنایی بهتر از دیگر شاخص‌ها سن را برآورد نموده و در رگرسیون

1. Synthetic Aperture Radar
2. Oregon

چندگانه استفاده از داده‌های چندزمانه نتایج را بهبود بخشید. با بررسی‌های اولیه مشخص گردید که این‌گونه پژوهش‌ها در جنگل‌های متفاوت با جنگل‌های شمال کشور و با شرایط مختلف گونه‌ای، توپوگرافی و با داده‌های ماهواره‌ای مختلفی صورت گرفته که نتایج متفاوتی نیز به دست آمده است. صرف‌نظر از این نتایج، بررسی امکان استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در تفکیک طبقات سنی در جنگل‌های شمال کشور می‌تواند امکان سوق دادن استفاده از این نوع داده‌ها را برای جایگزین نمودن با سایر روش‌های متداول فراهم نماید. امروزه نقشه طبقات سنی در سطوح وسیع از اهمیت ویژه‌ای دارد تا با تولید نقشه‌های دقیق و به‌هنگام از طبقات سنی، بتوان کیفیت برنامه‌ریزی در جنگل را در سطوح مختلف بهبود بخشید. هدف از این پژوهش تفکیک طبقات سنی توده‌های جنگلی و همچنین مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای  $ETM^+$  در جنگل‌های بلوط لوه گرگان می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه در طرح جنگل‌داری لوه در حوزه آبخیز ۹۴ اداره کل منابع طبیعی گلستان و در ۲۴ کیلومتری شرق شهرستان گالیکش و با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی واقع است (شکل ۱). مساحت کل طرح جنگل‌داری لوه ۱۰۶۸۳ هکتار می‌باشد. جنگل‌های منطقه از آغاز بهره‌برداری به شیوه جنگل‌شناسی پناهی (تدریجی-گروهی) ولی در سال‌های اخیر با انجام طرح تجدید نظر ۱۰ ساله پنجم به شیوه تک‌گزینی اداره می‌شوند. گونه‌های غالب منطقه مورد مطالعه شامل بلندمازو (*Quercus castaneafolia*)، ممرز (*Carpinus betulus*) و انجیلی (*Parrotia persica*) می‌باشند. حاصل اجرای این شیوه در منطقه وجود توده‌های با طبقات سنی متفاوت به صورت دانگ دوم (۵-۲۵ ساله)، دانگ اول (۴۵-۲۵ ساله) و بهره‌برداری نشده (بیشتر از ۴۵ ساله) می‌باشد.

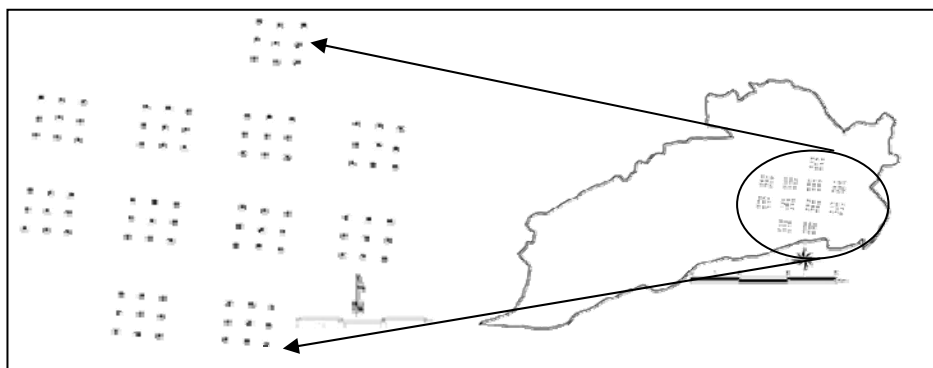


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران.

**داده‌های مورد استفاده:** جمع‌آوری داده‌های زمینی مورد نیاز جهت تفکیک طبقات سنی توده‌های جنگلی منطقه از طریق نمونه‌برداری به روش خوشه‌ای صورت گرفت، به طوری که هر خوشه دارای ۹ قطعه نمونه به فواصل ۲۰۰ متر و فاصله مرکز هر خوشه تا مرکز خوشه بعدی یک کیلومتر در نظر گرفته شد. سعی بر این بود که شبکه آماربرداری طوری طراحی گردد که سه توده مورد نظر را تقریباً به طور مساوی شامل شود. پس از ثبت موقعیت مرکز قطعه نمونه در حافظه GPS<sup>۱</sup> و فرم‌های آماربرداری، اطلاعات مربوط به طبقه سنی توده ثبت گردید. به این ترتیب تعداد ۹۹ قطعه نمونه از سه توده دانگ دوم (۵-۲۵ ساله)، دانگ اول (۲۵-۴۵ ساله) و بهره‌برداری نشده (بیشتر از ۴۵ ساله) شامل ۳۲ قطعه نمونه در دانگ اول، ۳۳ قطعه نمونه در دانگ دوم و ۳۴ قطعه نمونه در توده بهره‌برداری نشده پیاده شد (شکل ۲). سن توده با توجه به اجرای شیوه پناهی و همچنین اطلاعات موجود از کتابچه‌های طرح مشخص گردید. به طوری که قطعات واقع در دانگ دوم دارای سن ۵ تا ۲۵ ساله، قطعات واقع در دانگ اول دارای سن ۲۵ تا ۴۵ ساله و قطعات واقع در توده بهره‌برداری نشده دارای سن بیشتر از ۴۵

## 1. Global Positioning System

ساله می‌باشد. در این بررسی از داده‌های باندهای مرئی و مادون قرمز سنجنده  $ETM^+$  ماهواره لندست به شماره گذر ۱۶۲ و ردیف ۳۴ مربوط به ۱۶ تیر ماه ۱۳۸۱ استفاده شده است. در این بررسی به دلیل ناکارایی ویژگی‌های حرارتی در تفکیک مشخصات کمی و کیفی پوشش گیاهی مانند طبقات سنی از باندهای ۶ و همچنین به دلیل قدرت تفکیک طیفی بسیار پایین باندهای ۸ یا پانکروماتیک و با توجه به نتایج بررسی‌ها انجام شده در ناکارایی آنها، باندهای یاد شده از فرایند بررسی حذف شدند.



شکل ۲- نقشه مراکز قطعات نمونه برداشت شده.

پیش‌پردازش و پردازش تصاویر: با توجه به این‌که تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قبلاً توسط سازمان نقشه‌برداری کشور و با استفاده از مدل رقومی زمین و نقاط کنترل زمینی ضمن رفع خطای جابجایی ناشی از پستی و بلندی تصحیح هندسی شده بودند، در این پژوهش فقط صحت هندسی این داده‌ها با استفاده از لایه وکتوری جاده‌ها و نقاط دقیقی که توسط GPS برداشت شده بودند، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و مشخص گردید که داده‌ها دارای صحت هندسی قابل قبولی می‌باشند. برای کاهش اثر اتمسفر بر روی تصاویر از روش کاست<sup>۱</sup> استفاده شد (ماهینی و ترنر، ۲۰۰۷). این روش توسط Chavez در سال ۱۹۹۶ توسعه یافته و سعی در تصحیح نسبی و کاهش اثر اتمسفری دارد. پارامترهای مورد نیاز در روش کاست شامل سال، ماه، روز و ساعت تصویربرداری، زاویه دید

1. Cost

ماهواره، زاویه ارتفاع خورشید<sup>۱</sup>، مرکز یا وسط طول موج هر باند، تیرگی هوا،  $L_{min}$ ،  $L_{max}$  و  $DN_{max}$  می‌باشد. در این پژوهش پردازش‌های مختلف نظیر نسبت‌گیری، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تبدیل تسلدکپ<sup>۲</sup> بر روی باندهای اصلی به‌منظور استفاده از قابلیت‌های بارزسازی تصویر و ایجاد باندهای ترکیبی صورت گرفته است. این باندها به همراه باندهای اصلی در انتخاب بهترین باندها در طبقه‌بندی به‌منظور تفکیک طبقات سنی مورد استفاده قرار گرفتند.

**انتخاب نمونه‌های تعلیمی:** برای تهیه نمونه‌های تعلیمی از دقیق‌ترین روش یعنی بازدید مستقیم زمینی استفاده شد. به این منظور از ۹۹ قطعه نمونه برداشت شده در سه طبقه (۲۵-۵ ساله، ۴۵-۲۵ ساله و بیشتر از ۴۵ ساله)، ۲۵ درصد از قطعات نمونه از هر کلاسه سنی به‌صورت انتخابی به‌عنوان نمونه تعلیمی برای آن طبقه در نظر گرفته شدند.

**بررسی تفکیک‌پذیری کلاسه‌ها:** در این پژوهش از معیارهای واگرایی، واگرایی تبدیل‌شده و فاصله باتاچاریا برای بررسی تفکیک‌پذیری طبقات سنی با استفاده از نشانه‌های طیفی طبقات مورد نظر استفاده گردید.

**بررسی تفکیک‌پذیری کلاسه‌ها و انتخاب مناسب‌ترین مجموعه باندها برای طبقه‌بندی:** در این پژوهش از معیارهای واگرایی، واگرایی تبدیل‌شده و فاصله باتاچاریا برای بررسی تفکیک‌پذیری طبقات سنی با استفاده از نشانه‌های طیفی طبقات مورد نظر استفاده شد. در این مطالعه علاوه بر باندهای اصلی، باندهای ترکیبی نیز برای شرکت در طبقه‌بندی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و از طریق معیارهای تفکیک‌پذیری واگرایی بهترین مجموعه ۷ باندها به‌عنوان مناسب‌ترین باندهای لازم برای طبقه‌بندی انتخاب گردیدند.

**طبقه‌بندی تصاویر و پردازش نتایج طبقه‌بندی:** در این پژوهش از ۴ الگوریتم حداکثر احتمال<sup>۳</sup>، کمترین فاصله<sup>۴</sup>، متوازی‌السطوح<sup>۵</sup> و فیشر<sup>۶</sup> برای طبقه‌بندی تصاویر به روش نظارت شده استفاده شد. معمولاً بازتاب طیفی طبقات در بعضی از بخش‌های طیف الکترومغناطیس با هم شبیه بوده و بنابراین

1. Sun Elevation
2. Tasseled Cap Transformation
3. Maximum Likelihood
4. Minimum Distance
5. Parallepiped
6. Fisher

استفاده از این باندها برای طبقه‌بندی، علاوه بر این که هیچ کمکی به بهبود فرآیند طبقه‌بندی نمی‌کند، بلکه سبب کاهش سرعت و دقت طبقه‌بندی می‌شود. بنابراین یکی از موارد بسیار مهم در پیش‌پردازش طبقه‌بندی، آنالیز وابستگی باندها و حذف باندهای اضافه می‌باشد. متداول‌ترین روش انتخاب بهترین باندها استفاده از خصوصیات آماری نمونه‌های تعلیمی است. در این روش اساس کار بر پایه تفاوت آمار طیفی نمونه‌های تعلیمی و انحراف معیار آنها از میانگین و ماتریس کوواریانس طبقات استوار می‌باشد. در این مطالعه علاوه بر باندهای اصلی، باندهای ترکیبی نیز برای شرکت در طبقه‌بندی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و از طریق معیارهای تفکیک‌پذیری و اگرایی بهترین مجموعه ۷ باندهی به‌عنوان مناسب‌ترین باندها برای طبقه‌بندی انتخاب گردید. پس از انتخاب یک مجموعه ۷ باندهی مناسب با استفاده از نشانه‌های طیفی نمونه‌های تعلیمی طبقات مورد نظر، طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از الگوریتم‌های مختلف صورت گرفت و تصاویر به سه طبقه ۵ تا ۲۵ ساله، ۲۵ تا ۴۵ ساله و بیشتر از ۴۵ ساله طبقه‌بندی شدند. در این مطالعه پس از اتمام طبقه‌بندی، به‌منظور حذف تک پیکسل‌ها بر روی نقشه به‌دست آمده از فیلترنما<sup>۱</sup> با ابعاد  $5 \times 5$  استفاده شد.

**طبقه‌بندی با دو طبقه سنی:** بررسی معیارهای صحت کاربر و تولیدکننده و نیز معیارهای تفکیک‌پذیری باتاچاریا، و اگرایی و اگرایی تبدیل‌شده بیان‌گر تفکیک‌پذیری پایین طبقات ۲۵-۵ و بیشتر از ۴۵ ساله بود. بر این اساس این دو طبقه در یکدیگر ادغام شده و طبقه‌بندی با دو طبقه ۲۵-۵، بیشتر از ۴۵ ساله و ۲۵-۴۵ ساله تکرار گردید. عمل ادغام طبقات ۲۵-۵ و بیشتر از ۴۵ ساله نیز در نقشه واقعیت زمینی برای بررسی نتایج به‌دست آمده از طبقه‌بندی با دو طبقه سنی نیز صورت گرفت. با تهیه نمونه‌های تعلیمی دوباره برای طبقات مورد نظر، مناسب‌ترین مجموعه باندهی نیز انتخاب و طبقه‌بندی با الگوریتم حداکثر احتمال انجام شد. پس از اعمال فیلترنما به ابعاد  $5 \times 5$  پیکسل بر روی تصویر طبقه‌بندی شده اعمال گردید.

**ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی:** در این پژوهش از ۹۹ قطعه نمونه برداشت شده در سه طبقه سنی (۲۵-۵ ساله، ۲۵-۴۵ ساله و بیشتر از ۴۵ ساله) ۷۵ درصد از هر طبقه سنی به‌عنوان نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای برای استفاده در ارزیابی صحت طبقه‌بندی در نظر گرفته شد و جدول خطا برای ارزیابی مقادیر خطا تشکیل گردید.

## 1. Mode Filter



### نتایج

بررسی تفکیک‌پذیری طبقات سنی: با استفاده از خصوصیات طیفی نمونه‌های تعلیمی تفکیک‌پذیری طبقات سنی در باندهای مختلف با استفاده از روش‌های آماری واگرایی، واگرایی تبدیل شده و فاصله باتاچاریا مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین تفکیک‌پذیری براساس معیارهای واگرایی، واگرایی تبدیل شده و فاصله باتاچاریا مربوط به طبقه سنی ۲۵-۵ و ۲۵-۴۵ (به ترتیب ۵۳۰۱/۳۱، ۲۰۰۰ و ۷۷/۴۱) و کمترین تفکیک‌پذیری بین دو طبقه سنی ۲۵-۵ و بیشتر از ۴۵ ساله (به ترتیب ۱۰/۸۹، ۱۴۸۷/۶ و ۵/۶۲) می‌باشد.

جدول ۱- میزان تفکیک‌پذیری طبقات سنی براساس معیارهای واگرایی، واگرایی تبدیل شده و فاصله باتاچاریا.

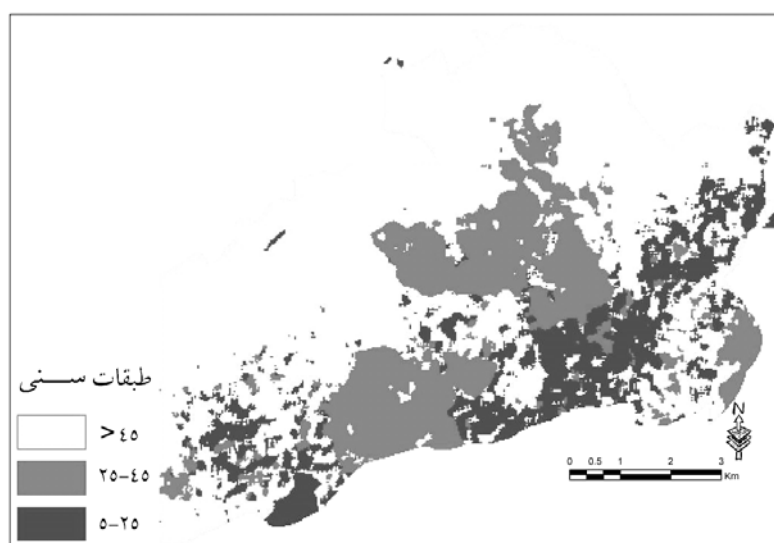
فاصله باتاچاریا		واگرایی تبدیل شده		واگرایی		
>۴۵	۲۵-۴۵	>۴۵	۲۵-۴۵	>۴۵	۲۵-۴۵	طبقات سنی
۵/۶۲	۷۷/۴۱	۱۴۸۷/۶	۲۰۰۰	۱۰/۸۹	۵۳۰۱/۳۱	۵-۲۵
	۷۱/۸۹		۲۰۰۰		۳۸۲۸/۶۷	>۴۵
۵۱/۶۷		۱۸۲۹-۲		۳۰۴۶/۹۶		میانگین

انتخاب مناسب‌ترین مجموعه باندهای برای طبقه‌بندی: از میان باندهای طیفی تصاویر سنجنده  $ETM^+$  و تصاویر ترکیبی تولید شده، انتخاب باندهای مناسب جهت طبقه‌بندی پس از استخراج علائم طیفی باندها و براساس واگرایی بین طبقات تعیین شده صورت گرفت. با معرفی نشانه‌های طیفی ساخته شده برای طبقات مورد نظر، تعداد ۷ باند به‌عنوان بهترین مجموعه باندهای برای طبقه‌بندی انتخاب شدند. جدول ۲ مجموعه باندهای وارد شده در مرحله انتخاب بهترین باندها و باندهای منتخب را نشان می‌دهد.

جدول ۲- بهترین مجموعه باندهای برای طبقه‌بندی سه طبقه سنی.

ETM1, ETM2, ETM3, ETM4, ETM5, ETM7, NR, DVI, NDVI	مجموعه باندهای وارد شده
Moisture, Greenness, Brightness, GEMI, NDWI, NRVI,	
PCA(۷,۵,۴,۳,۲,۱)	
ETM1, ETM2, ETM3, NDVI, سبزی‌نگی، نمناکی، روشنایی،	مجموعه باندهای انتخاب شده

طبقه‌بندی با سه طبقه سنی و مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی: با تعیین نمونه‌های تعلیمی و انتخاب مجموعه باندهای مناسب، طبقه‌بندی توده‌ها با ۳ طبقه (۲۵-۵ ساله، ۲۵-۴۵ ساله و بیشتر از ۴۵ ساله) و با ۴ الگوریتم حداکثر احتمال، کمترین فاصله، متوازی‌السطوح و فیشر انجام شد. همچنین به منظور حذف تک‌پیکسل‌ها در تصاویر طبقه‌بندی شده، فیلترنما به ابعاد ۵×۵ اعمال گردید (شکل ۳).



شکل ۳- تصویر طبقه‌بندی شده سه طبقه سنی با الگوریتم حداکثر احتمال.

ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی با سه طبقه سنی: نتایج این طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۳ صحت کلی و ضریب کاپا به دست آمده از طبقه‌بندی ۴ الگوریتم مختلف ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج طبقه‌بندی سه طبقه سنی با الگوریتم‌های مختلف.

الگوریتم طبقه‌بندی	حداکثر احتمال	کمترین فاصله	متوازی‌السطوح	فیشر
صحت کلی (درصد)	۷۹	۷۰	۶۲	۷۴
ضریب کاپا	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۴۲	۰/۶

## جهانگیر محمدی و همکاران

نتایج نشان داد که الگوریتم حداکثر احتمال دارای بیشترین صحت کلی (۷۹ درصد) و ضریب کاپا (۰/۶۸) می‌باشد (جدول ۴). جدول ۴ صحت کلی، صحت کاربر، صحت تولیدکننده و ضریب کاپا به‌دست آمده از طبقه‌بندی الگوریتم حداکثر احتمال را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتایج طبقه‌بندی سه طبقه سنی با الگوریتم حداکثر احتمال.

طبقات سنی	صحت کاربر (درصد)	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا
۵-۲۵	۷۵	۷۱		
۲۵-۴۵	۸۵	۹۱	۷۹	۰/۶۸
> ۴۵	۷۶/۵	۷۶		

نتایج ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده با استفاده از نقشه واقعیت زمینی نشان داد که بیشترین خطا مربوط به طبقه سنی ۲۵-۵ می‌باشد و صحت کلی و ضریب کاپای مربوط ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصویر یاد شده به ترتیب ۷۹ درصد و ۰/۶۸ به‌دست آمد.

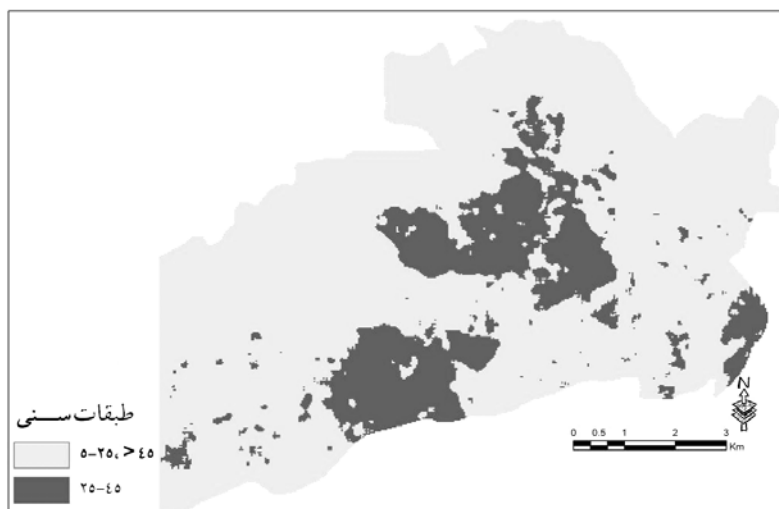
بر پایه نتایج به‌دست آمده از جدول خطا (جدول ۴) و نیز معیارهای تفکیک‌پذیری باتاچاریا، واگرایی و واگرایی تبدیل‌شده، می‌توان چنین نتیجه گرفت که ادغام دو طبقه سنی ۲۵-۵ و بیشتر از ۴۵ ساله و انجام مجدد طبقه‌بندی می‌توان نتایج به‌دست آمده را بهبود بخشید.

ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی با دو طبقه سنی: نتایج این طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۵ صحت کلی و ضریب کاپا به‌دست آمده از طبقه‌بندی الگوریتم طبقه‌بندی ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج طبقه‌بندی دو طبقه سنی با الگوریتم‌های مختلف.

الگوریتم طبقه‌بندی	حداکثر احتمال	کمترین فاصله	متوازی‌السطوح	فیشر
صحت کلی (درصد)	۹۴	۹۲	۶۸	۹۳
ضریب کاپا	۰/۸۶	۰/۸۱	۰/۴۰	۰/۸۵

نتایج نشان داد که نقشه به‌دست آمده از اعمال الگوریتم حداکثر احتمال دارای بیشترین صحت کلی (۹۴ درصد) و ضریب کاپا (۰/۸۶) می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴- تصویر طبقه‌بندی شده دو طبقه سنی با الگوریتم حداکثر احتمال.

در جدول ۶ صحت کلی، صحت کاربر، صحت تولیدکننده و ضریب کاپا به دست آمده از طبقه‌بندی دو طبقه سنی توده جنگلی با الگوریتم حداکثر احتمال ارائه شده است.

جدول ۶- نتایج طبقه‌بندی دو طبقه سنی با الگوریتم حداکثر احتمال.

طبقات سنی	صحت کاربر (درصد)	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا
>۴۵، ۵-۲۵	۹۷	۹۵	۹۴	۰/۸۶
۲۵-۴۵	۸۸	۹۳		

براساس نتایج ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده با استفاده از نقشه واقعیت زمینی، صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۹۴ درصد و ۰/۸۶ به دست آمد.

### بحث و نتیجه‌گیری

تصمیم‌های مربوط به زمان‌بندی و مکان عملیات مدیریت جنگل نیازمند اطلاعات دقیق درباره وضعیت جنگل است. از اطلاعات مهم مورد نیاز در مدیریت جنگل، نقشه‌های به‌هنگام طبقات سنی و مراحل توالی می‌باشد.

در این بررسی قابلیت سنجنده  $ETM^+$  در تفکیک طبقات سنی جنگل بلوط لوه گرگان نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در زمینه استفاده از داده‌های به‌دست آمده از بارزسازی تصاویر، نتایج نشان داده است که این داده‌ها همراه با داده‌های اصلی، توانست سبب تفکیک بهتر طبقات سنی و طبقه‌بندی آنها شوند. به طوری که بعضی از باندهای به‌دست آمده از نسبت‌گیری و تبدیل تسلدکپ در بهترین مجموعه باندها انتخاب گردیدند. بهترین باندهای ترکیبی که توانسته‌اند باعث بهبود نتایج طبقه‌بندی شوند شامل NDVI، مؤلفه‌های نمناکی، روشنایی و سبزی‌نگی به‌دست آمده از تبدیل تسلدکپ بوده‌اند و بهترین باندهای اصلی شامل باندهای ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. مطابق با نتایج سونگ و همکاران (۲۰۰۷) و ویرا و همکاران (۲۰۰۳)، مؤلفه‌های روشنایی و سبزی‌نگی به‌دست آمده از تبدیل تسلدکپ و NDVI اهمیت زیادی در تشخیص طبقات سنی توده‌های جنگلی و برآورد آنها دارند و بهتر از دیگر باندها، این طبقه‌ها را از هم تفکیک می‌نمایند.

نتایج این پژوهش نشان داد که الگوریتم حداکثر احتمال بهتر می‌تواند پدیده‌ها را طبقه‌بندی نماید. این الگوریتم به‌عنوان الگوریتم مناسب برای طبقه‌بندی طبقات سنی در این مطالعه استفاده گردید. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که به‌رغم دقت زیاد در انتخاب نمونه‌های تعلیمی، همان‌طور که در نتایج تفکیک‌پذیری طبقه‌ها با استفاده از معیارهای باتاچاریا، واگرایی و واگرایی تبدیل شده نیز مشاهده شد، تداخل طیفی بین دو طبقه سنی ۲۵-۵ و بیشتر از ۴۵ وجود دارد (جدول ۱). به طوری که تفکیک آنها از یکدیگر به‌خوبی صورت نمی‌گیرد. بررسی ارزش‌های طیفی پیکسل‌های تصاویر، نشان‌دهنده تشابه نسبی ارزش‌ها در توده‌های با طبقه سنی ۲۵-۵ و توده‌های با طبقه سنی بیشتر از ۴۵ ساله می‌باشد. این امر بیانگر آن است که با توجه به باقی ماندن پایه‌های مادری در توده‌های با طبقه سنی ۲۵-۵ و نقش آنها در بازتاب ثبت شده توسط سنجنده زیاد بوده و این مسأله موجب بروز تداخل طیفی بین طبقه سنی ۲۵-۵ و بیشتر از ۴۵ ساله و در نتیجه تفکیک‌پذیری نامناسب آنها می‌باشد. ارزیابی درستی نتایج به‌دست آمده از طبقه‌بندی نشان داد که ضریب کاپا و صحت کلی به‌ترتیب معادل ۰/۶۸ و ۷۹ درصد به‌دست آمد. صحت کلی معادل ۷۹ درصد، نشان می‌دهد که ۷۹ درصد پیکسل‌ها درست طبقه‌بندی شده‌اند. برای آگاهی از درستی طبقه‌بندی هر یک از طبقه‌ها لازم است درستی تولیدکننده و درستی کاربر مورد بررسی قرار گیرد. در طبقه سنی ۲۵-۵، درستی تولیدکننده ۷۱ درصد به این معنی است که ۷۱ درصد پیکسل‌های مربوط به این طبقه در نقشه واقعیت زمینی درست طبقه‌بندی شده‌اند و ۲۹ درصد باقی‌مانده به اشتباه به طبقات دیگر تعلق پیدا کرده‌اند. صحت کاربر معادل ۷۵ درصد نیز بیان‌گر این مطلب است که ۷۵ درصد

پیکسل‌های تصویر طبقه‌بندی شده که به طبقه سنی ۲۵-۵ تعلق یافته، از این طبقه بود. و ۲۵ درصد بقیه پیکسل‌های آن مربوط به طبقات دیگر بوده و به اشتباه به این طبقه تعلق یافته‌اند. در مورد این طبقه پایین بودن صحت‌های تولیدکننده و کاربر نشان‌دهنده نبود تفکیک‌پذیری مناسب این طبقه از سایر طبقه‌ها می‌باشد و این مسأله باعث پایین آمدن ضریب کاپا نیز شده است. در طبقه سنی ۴۵-۲۵ ساله صحت تولیدکننده معادل ۹۱ درصد می‌باشد که بیان‌گر درست طبقه‌بندی شدن ۹۱ درصد از پیکسل‌های مربوط به این طبقه در نقشه واقعیت زمینی و صحت کاربر معادل ۸۵ درصد، نشان‌دهنده صحت تعلق ۸۵ درصد از پیکسل‌های مربوط به نقشه طبقه‌بندی شده در این طبقه می‌باشد. در مورد این طبقه بالا بودن دو معیار صحت تولیدکننده و صحت کاربر و همچنین نزدیک بودن مقادیر آنها به یکدیگر بیان‌گر تفکیک‌پذیری مناسب این طبقه از سایر طبقه‌ها می‌باشد. در مورد طبقه سنی بیشتر از ۴۵ ساله میزان صحت‌های تولیدکننده و کاربر به ترتیب معادل ۷۶ و ۷۶/۵ درصد می‌باشد. در مورد این طبقه نیز پایین بودن میزان صحت‌های تولیدکننده و کاربر بیانگر نبود تفکیک‌پذیری مناسب این طبقه از سایر طبقه‌ها می‌باشد.

بر پایه نتایج به دست آمده از جدول خطا، جدول ۴ و نیز بررسی معیارهای تفکیک‌پذیری باتاچاریا، واگرایی و واگرایی تبدیل شده، می‌توان چنین نتیجه گرفت که ادغام دو طبقه سنی ۲۵-۵ و بیشتر از ۴۵ ساله و انجام دوباره طبقه‌بندی می‌تواند نتایج به دست آمده را بهبود بخشد.

با ادغام دو طبقه بالا و براساس نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی با دو طبقه سنی مشخص شد که صحت کلی معادل ۹۴ درصد می‌باشد که نسبت به طبقه‌بندی با سه طبقه سنی ۱۵ درصد افزایش داشته است. ضریب کاپا نیز ۰/۸۶ درصد است که نسبت به حالت قبلی ۱۷/۸۲ درصد افزایش را نشان می‌دهد. صحت‌های تولیدکننده و کاربر در طبقه ادغام شده، افزایشی قابل ملاحظه‌ای را نسبت به هر کدام از طبقات تشکیل‌دهنده آن و نیز نسبت به طبقه ۴۵-۲۵ نشان می‌دهد و در طبقه ۴۵-۲۵، صحت‌های تولیدکننده و کاربر زیاد تغییر نکرده‌اند.

مجموعه نتایج بالا بیان‌گر این مطلب است که به دلیل تداخل طیفی طبقات ۲۵-۵ و بیشتر از ۴۵ ساله و تفکیک‌پذیری نامناسب آنها، ادغام آنها نتیجه طبقه‌بندی را به میزان قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشیده است. بالا بودن معیارهای صحت کلی و ضریب کاپا و نزدیک بودن مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی برای این طبقه‌بندی نشان می‌دهد که تداخل طیفی بین طبقه‌ها پایین بوده و تفکیک‌پذیری آنها از یکدیگر مناسب می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از جدول خطا می‌توان چنین نتیجه

گرفت که با مجموعه داده و پردازش‌های موجود، می‌توان طبقات سنی ۲۵-۵، بیشتر از ۴۵ ساله و ۲۵-۴۵ را در این منطقه به‌خوبی از یکدیگر جدا کرد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش در زمینه توانایی تفکیک طبقات سنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با نتایج بررسی‌های ویرا و همکاران (۲۰۰۳)؛ سونگ و همکاران (۲۰۰۷) و کاپلیچ (۲۰۰۶) مطابقت دارد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، چنین می‌توان نتیجه گرفت که تفکیک طبقات سنی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های سنجنده  $ETM^+$  با نتایج مناسبی همراه بوده است و این نوع داده‌ها می‌توانند در منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه آن در تفکیک طبقات سنی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین این اطلاعات می‌تواند در برآورد زی‌توده و کربن و شناسایی مناطق درون توده که نیاز به عملیات پرورشی و دیگر فعالیت‌های مدیریتی دارند، مفید واقع شوند. امید می‌رود که با انجام پژوهش‌های مشابه و با استفاده از دیگر انواع داده‌های ماهواره‌ای، روش‌های نوین طبقه‌بندی و داده‌های کمکی، بتوان به قابلیت بالاتری از داده‌های ماهواره‌ای در استخراج اطلاعات موضوعی جنگل دست یافت.

#### منابع

1. Franklin, S.E. 2001. Remote sensing for sustainable forest management, CRC Press, United state of America.
2. Gong, P., Pu, R., and Miller, J.R. 1995. Coniferous forest leaf area index estimation along a transect in Oregon using compact airborne spectrographic imagery data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, 1107± 1117.
3. Hall, R.J., Skakun, R.S., Arsenault, E.J., and Case, B.S. 2006. Modeling forest stand structure attributes using Landsat  $ETM^+$  data: Application to mapping of aboveground biomass and stand volume. Forest Ecology and Management, 225, 378-390.
4. Jensen, J.R., Qiu, F., Ji, M. 1999. Predictive modeling of coniferous forest age using statistical and artificial neural network approaches applied to remote sensor data. International Journal Remote Sensing, 20:14, 2805-2822.
5. Khorrami, K.R. 2004. Investigation of the potential of Landsat7  $ETM^+$  data in Volume estimating of beech forest stands (case study: Sangedeh area in north of Iran). M.Sc. Thesis, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, 80p.
6. Kuplich, T.M. 2006. Classifying regenerating forest stages in Amazonia using remotely sensed images and a neural network. Forest Ecology and Management. 234, 1-9.

7. Mahiny, A.S., and Turner, B.J. 2007. A comparison of four common atmospheric correction methods. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, 73-4: 361-368p.
8. Moran, E.F., Brondizio, E., Mausel, P., and Wu, Y. 1994. Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. *BioScience*, 44, 329-338.
9. Naseri, F. 2003. Classification of forest types and estimation of their quantitative parameters in arid and semi-arid regions using satellite data (case study: National Park of khobr-Kerman Province. Ph.D. Thesis, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, 202p.
10. Running, S.W. 1990. Estimating terrestrial primary productivity by combining remote sensing and ecosystem simulation. In *Remote Sensing of Biosphere Functioning*, edited by Hobbs, R.T., and Mooner, H.H. (New York: Springer Verlag), Pp:65±86.
11. Shataee, J.Sh. 2003. Investigation of possibility of forest type mapping using satellite data (case study: Kheyroud-kenar forest in north of Iran). Ph.D. Thesis, university of Tehran, Faculty of Natural Resources, 155p.
12. Sivanpillai, R., Smith, C.T., Srinivasan., R., Messina, M.G., and Ben Wu, X. 2006. Estimation of managed loblolly pine stand age and density with Landsat ETM+ data. *Forest Ecology and Management*. 223, 247–254.
13. Song, C., Schroeder, T.A., and Cohen, W.B. 2007. Predicting temperate conifer forest successional stage distributions with multitemporal Landsat Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106, 228–237.
14. Steininger, M. 1996. Tropical secondary forest regrowth in the Amazon area and change estimation with Thematic Mapper Data. *International Journal Remote Sensing*, 17, 9-27.
15. Vieira, I.C.G., Almeida, A.S.D., Davidson, E.A., Stone, T.A., Carvalho, C.J.R.D., and Guerrero, J.B. 2003. Classifying succession of forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 87, 470-481.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 16(3), 2009  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## Forest Stand Age Classification Using Landsat ETM+ Data

**J. Mohammadi<sup>1</sup>, \*Sh. Shataee<sup>2</sup>, F. Yaghmaee<sup>3</sup> and A.R. Salman Mahini<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Former, M.Sc. Student, Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Statistics, Golestan University,

<sup>4</sup>Assistant Prof., Dept. of Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

### Abstract

Classifying age classes in a large area using remotely sensed data has considerable significance for forest sustainable management. In this research, Landsat ETM+ data from Loveh forest, dating July 2002, were analyzed to investigate the potential of this sensor for age class mapping. We applied a systematic cluster sampling method to collect field data. We used 99 plots so that contained 32 plot. In stands with 25-45 years, 33 plots in stand with 5-25 years and 34 plots in stands with >45 years. The quality of the image was first evaluated for radiometric noises. Separability of three age classes 5-25, 25-45 and >45 years, using a supervised classification and four algorithm of maximum likelihood, minimum distance, parallel piped and linear discriminate analysis (Fisher). The results showed that maximum likelihood in three and two age classes with overall accuracy and kappa coefficient were (79% and 94%) and (0.68 and 0.86), respectively. Signature separability, producer and user accuracies showed the highest spectral similarity between 5-25 and >45 age classes. By merging the two classes, the overall accuracy and kappa coefficient became equal to 94% and 0.86, respectively. These results demonstrate that the reflectance values recorded by ETM+ sensor are related to forest stands. This information could also be used to estimate forest biomass and carbon content, identify locations within the stands that might require treatment and plan other management activities.

**Keywords:** Age classes, Forest stands, Classification, Landsat ETM+, Loveh

---

\* Corresponding Author; Email: [shataee@yahoo.com](mailto:shataee@yahoo.com)

