

## نقش قدرت تفکیک مکانی و رادیومتری تصاویر هوایی در تشخیص گونه‌های درختی به روش طبقه‌بندی شیء- پایه

امید رفیعیان<sup>۱\*</sup> و علی اصغر درویش صفت<sup>۲</sup>

\* - نویسنده مسئول، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، گروه محیط‌زیست، تبریز، ایران. پست الکترونیک: o\_rafiayan@iaut.ac.ir

۲- استاد، دانشگاه تهران، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۷/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۲۸

### چکیده

حجم بسیار زیاد تصاویر هوایی چند طیفی، منجر به کاهش شدید سرعت پردازش داده‌ها و بروز مشکلاتی در آرشیو و مدیریت آنها برای تولید نقشه گونه‌های درختی می‌شود. بنابراین پژوهش پیش‌رو به منظور بررسی تأثیر کاهش توان تفکیک مکانی و رادیومتری این تصاویر، در تشخیص گونه‌های درختی به روش طبقه‌بندی شیء- پایه در سه منطقه جنگلی مجزا انجام شد. ابتدا تصاویر اصلی (با اندازه تفکیک مکانی ۷ سانتی‌متر و توان تفکیک رادیومتری ۱۶ بیت) مورد قطعه‌بندی واقع شده و پس از دستیابی به مطلوب‌ترین نتیجه، طبقه‌بندی شدند. سپس به ترتیب با ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ برابر کردن اندازه پیکسل‌ها و همچنین کاهش عمق رادیومتری از ۱۶ بیت به ۸ بیت، فرایند طبقه‌بندی بر مبنای همان قطعه‌بندی و مجموعه باندها، توصیف‌گرها و نمونه‌های تعلیمی، مجدداً تکرار شده و نتایج به‌دست آمده مورد ارزیابی صحت قرار گرفتند. طبق نتایج، در هر سه منطقه، با کاهش توان رادیومتری از ۱۶ به ۸ بیت، صحت کلی و ضریب کاپا نسبت به تصاویر اصلی به شکل محسوسی کاهش یافت. اما با کاهش توان تفکیک مکانی، روند یکسانی از تغییرات صحت در این سه منطقه مشاهده نشد. از این‌رو نتیجه‌گیری شد که در جنگلکاری‌های یکدست یا جنگل‌های با تنوع گونه‌های درختی کم و آمیختگی گروهی، افزایش اندازه پیکسل‌ها تا حد ۴ برابر، در مطالعات اجرایی که با موضوع پژوهش پیش‌رو انجام می‌شود، قابل توجیه و توصیه است. اما در جنگل‌های طبیعی که از تنوع گونه‌های درختی بیشتری برخوردار بوده و آمیختگی، بیشتر به‌صورت پایه‌ای است، افزایش اندازه پیکسل‌ها باید با احتیاط بیشتری انجام شده و تحقیقی مشابه پژوهش پیش‌رو باید در قسمت‌هایی از آنها انجام شود.

واژه‌های کلیدی: UltraCamD، قطعه‌بندی تصویر، طبقه‌بندی شیء- پایه، قدرت تفکیک مکانی و رادیومتری.

### مقدمه

حتی افزایش دقت و صحت انواع نقشه‌های موضوعی جنگل اقدام کرد. از جمله این فناوری‌ها، می‌توان به عکسبرداری رقومی هوایی با دوربین UltraCamD اشاره کرد که قادر به ارائه تصاویری با توان تفکیک مکانی (Spatial Resolution) بسیار زیاد و به صورت چندطیفی (Multispectral) با توان تفکیک رادیومتری (Radiometrical Resolution) زیاد (۱۶ بیت) است. هر چند که این فناوری‌ها دارای قدمت زیادی نیستند، اما

جنگل‌های شمال کشور از لحاظ قدمت و تنوع گونه‌ای، جزء جنگل‌های نادر و منحصربه‌فرد جهان محسوب می‌شوند. تعیین و تفکیک واحدهای همگن گیاهی تحت عنوان تیپ‌بندی جنگل از مهم‌ترین نیازهای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح این جنگل‌ها به شمار می‌رود، که مستلزم شناسایی گونه‌های درختی جنگل است. امروزه می‌توان به کمک روش‌ها و فناوری‌های نو به‌منظور بهنگام‌سازی و

*al.*, 2011; Heikkinen *et al.*, 2011).

Waser و همکاران (۲۰۱۱) به طبقه‌بندی نیمه خودکار ۷ گونه درختی با استفاده از تصاویر هوایی ۱۱ بیتی چندزمانه (Airborne Digital Sensor = ADS40) با اندازه پیکسل ۲۵ سانتی‌متر پرداختند. در این تحقیق از روش طبقه‌بندی شیء- پایه و مدل رقومی پدیده‌های سطح زمین (Digital Surface Model = DSM) حاصل از داده‌های لیدار (Light Detection And Ranging = LIDAR) استفاده شد. در مقایسه با واقعیت زمینی، صحت کلی ۶۷-۸۰ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۹-۰/۶۰ کسب شد که این مقادیر برای گونه‌های مختلف، متفاوت بود.

Knight و Lunetta (۲۰۰۳) به ارزیابی تأثیر کوچکترین واحد نقشه (Minimum Mapping Unit = MMU) بر صحت نقشه‌های کاربری اراضی با ۲۰ طبقه، حاصل از تصاویر لندست ۷ و اسپات ۴ پرداختند. قبل از طبقه‌بندی، ابتدا اندازه تفکیک زمینی تصاویر یادشده به ۱۵ متر تغییر یافت و سپس در نقشه‌های تولیدشده، MMU به ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰، ۸۴، ۱۲۰ و ۱۶۰ متر تغییر یافته و صحت کلی و ضریب کاپای نقشه‌های حاصل با نقشه واقعیت زمینی مقایسه شدند. نتایج، نشان‌دهنده افزایش صحت، تا اندازه پیکسل ۸۴ متر و سپس کاهش (در ۱۲۰ متر) و دوباره افزایش آن (در ۱۶۰ متر) بود. همچنین استفاده از آزمون Z نشان داد که تغییرات صحت، تنها در تغییرات شدید MMU به‌عنوان مثال از ۲۰ به ۸۴ متر، معنی‌دار و محسوس بود. در ضمن با بررسی ضریب کاپای هر طبقه در MMU های مختلف، نمودار هر طبقه رفتار متغیری نشان داده و ضریب کاپای برخی طبقه‌ها حالت ثابت، برخی صعودی و برخی حالت سینوسی داشتند. دلیل این تغییرات ناهماهنگ، به سطوح متفاوت و آمیختگی مختلف در طبقه‌های مربوط بود. به‌طور مثال طبقه جنگل آمیخته که اغلب در سطح گسترده و به‌صورت ناهمگن بود، با افزایش MMU حالت یکدست‌تر و نرم‌تری پیدا کرد که موجب افزایش صحت شد. برعکس، در طبقه کشاورزی که ذاتاً همگن بود، با افزایش MMU تغییر چندانی در صحت حاصل نشد.

خوشبختانه تصاویری با این دوربین از بخش‌هایی از جنگل‌های شمال کشور با هدف کاربرد گسترده آن در طرح‌های اجرایی جنگلداری برداشته شده است. اما با وجود مزایای زیاد این تصاویر، به دلیل فناوری جدید و پیچیده آنها و عدم وجود تجارب و تحقیق‌های کافی در این زمینه، مطالعات زیادی روی قابلیت آنها و کاربردها در زمینه‌های یادشده در ایران انجام نشده است. در اغلب مطالعات انجام‌شده، حجم بسیار زیاد تصاویر که منجر به کاهش شدید سرعت پردازش داده‌ها و مشکلات ناشی از آرشیو و مدیریت آنها شده است، بسیار مورد توجه بوده و جزء محدودیت‌های این تصاویر ذکر شده است (Hirschmugl *et al.*, 2007; Ozdemir *et al.*, 2008; Rafieyan *et al.*, 2011; Shabanipoor, 2011)، به طوری که تجزیه و تحلیل این داده‌ها به‌ویژه در مناطق بزرگ نیازمند رایانه‌هایی با قدرت پردازش و حجم حافظه بسیار زیاد است. این چنین حجم عظیم اطلاعات، ناشی از توان تفکیک مکانی زیاد (اندازه پیکسل در حد چند سانتی‌متر، بسته به ارتفاع پرواز) و توان تفکیک رادیومتری زیاد تصاویر (۱۶ بیت در مقابل ۸ بیت تصاویر متداول) است. منظور از توان تفکیک رادیومتری، دامنه ارزش‌های رقومی است که در یک تصویر می‌تواند وجود داشته باشد. به‌طور مثال در تصاویر ۸ بیتی و ۱۶ بیتی، ارزش رقومی پیکسل‌ها به ترتیب می‌تواند بین ۰-۲۵۵ و ۰-۶۵۵۳۵ باشد. این دو فاکتور موجب شده که هر فریم تصویر مورد استفاده در این تحقیق که تنها منطقه کوچکی به ابعاد تقریبی ۵۵۰×۸۰۰ متر را پوشش می‌دهد (شکل ۱)، دارای ۸۶ میلیون پیکسل ۱۶ بیتی در چهار باند طیفی، با حجمی در حدود ۷۰۰ مگابایت باشد.

استفاده از تصاویر هوایی با توان تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتری متفاوت، برای بررسی ویژگی‌های کیفی و کمی جنگل (به‌ویژه تشخیص گونه‌های درختی)، در تحقیق‌های زیادی به‌ویژه در خارج از ایران انجام شده است. از آن جمله می‌توان به تحقیق‌های متفاوتی اشاره کرد (Baltsavias *et al.*, 2007; Hirschmugl *et al.*, 2007; Bohlin *et al.*, 2007; Ozdemir *et al.*, 2008; Waser *et*

کاهش حجم تصاویر، منجر به کاهش صحت جزئی می‌شود، می‌توان در تحقیق‌های مشابه (به‌ویژه تحقیق‌های اجرایی در گستره وسیع)، از تصاویر ۸ بیتی و با اندازه پیکسل بزرگتر استفاده کرد.

پژوهش پیش‌رو در واقع براساس طبقه‌بندی نیمه‌خودکار تصاویر رقومی هوایی به روش شی- پایه به‌منظور تشخیص نوع گونه‌های درختی در جنگل‌های طبیعی و دست‌کاشت استوار است که پس از دستیابی به بهترین نتیجه با استفاده از تصاویر اصلی، این فرایند با تغییر اندازه پیکسل و تغییر عمق رادیومتری تصاویر، تکرار می‌شود تا تأثیر هر یک از آنها بر صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی مشخص شود. بنابراین هدف از این پژوهش، تعیین تأثیر کاهش قدرت تفکیک مکانی و رادیومتری تصاویر هوایی UltraCamD بر نتایج حاصل از طبقه‌بندی شی- پایه آنها به‌منظور تولید نقشه گونه‌های اصلی جنگلی است.

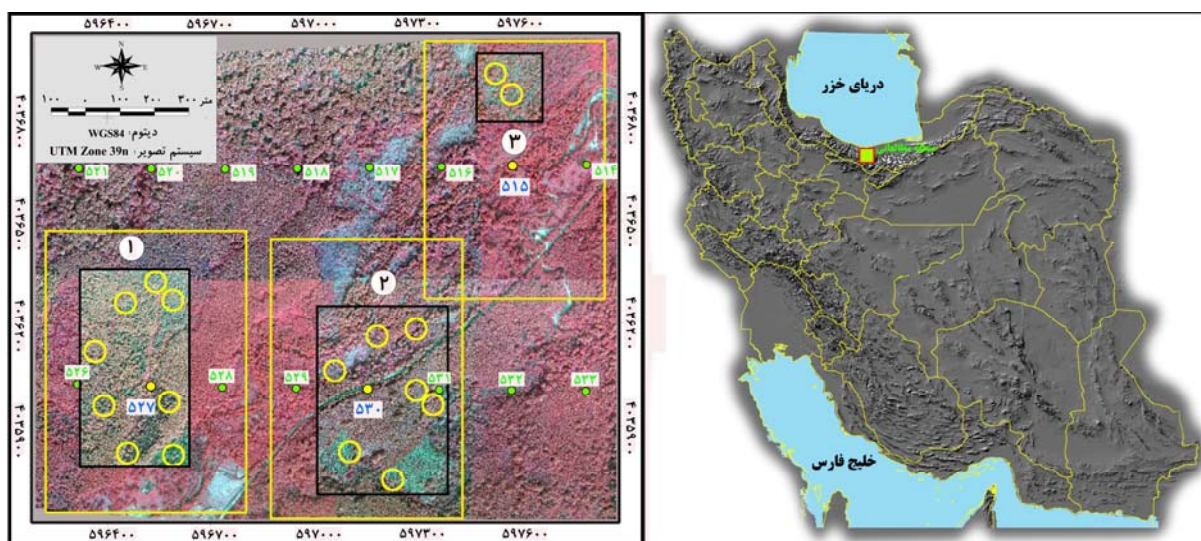
## مواد و روش‌ها

### مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه تحقیق، بخشی از پارک جنگلی کیش چمستان از توابع شهرستان نور در استان مازندران است. این منطقه به‌نسبت مسطح، جزء جنگل‌های جلگه‌ای منطقه رویشی هیرکانی محسوب شده و دامنه ارتفاعی آن از سطح دریا ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر است. به‌دلیل تخریب در گذشته، بخش‌هایی از آن با گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ جنگلکاری و قرق شده است. جنگل‌های طبیعی و دست‌کاشت منطقه عموماً یک‌آشکوبه هستند. سطح مقیاس بسیار بزرگ مطالعات (تک درخت به‌عنوان واحد پژوهش) و همچنین حجم زیاد تصاویر، موجب شد تا برای اجتناب از حجم بسیار زیاد محاسبات، اندازه‌گیری‌ها و پردازش‌های رایانه‌ای و به‌منظور بررسی متمرکز و دقیق، بخش‌های کوچک و مجزایی از این محدوده به‌عنوان مناطق مورد مطالعه انتخاب شوند. بنابراین سه منطقه مجزا با مجموع مساحت ۴۲/۵ هکتار، در ابعاد متفاوت و از فریم‌های مختلف طبق شکل ۱ انتخاب شدند.

Rama Rao و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی تأثیر توان تفکیک رادیومتری تصاویر LISS-III بر تهیه نقشه‌های کاربری/پوشش زمین در منطقه زراعی پرداختند. نتایج نشان‌دهنده افزایش صحت کلی ۳ درصد در تصاویر ۱۲ بیتی شبیه‌سازی شده، در مقایسه با تصاویر اصلی ۷ بیتی (Original images) بود. همچنین افزایش صحت ۴-۶ درصد در طبقه‌های کتان، شکر، فلفل، نخود و نیشکر مشاهده شد که نشان‌دهنده برتری تصاویر دارای توان تفکیک رادیومتری بیشتر، در تفکیک بهتر طبقاتی است که در داخل خود ناهمگن هستند.

در ایران از بین معدود تحقیق‌های انجام‌شده می‌توان به ارزیابی روش طبقه‌بندی شی- پایه تصاویر هوایی برای شناسایی گونه‌های درختی اشاره کرد (Rafieyan et al., 2011; Shabanipoor, 2011). تاکنون تحقیقی به‌منظور بررسی تأثیر توان تفکیک مکانی و رادیومتری این تصاویر در تشخیص گونه‌های درختی انجام نشده است. بنابراین انجام مطالعاتی در راستای بررسی قابلیت آنها برای کاربرد در مطالعات مختلف جنگل، به‌منظور دستیابی به روش اجرایی در سطح وسیع منطقه‌ای و ملی ضروری به‌نظر می‌رسد. اما با عنایت به مطالب ذکرشده در خصوص حجم زیاد تصاویر هوایی و با توجه به روش خاص تجزیه و تحلیل این داده‌ها که اغلب به روش طبقه‌بندی شی- پایه بوده و مستلزم انجام عملیات پردازش سنگینی است، ضروریست که تأثیر کاهش تعداد پیکسل‌ها (با افزایش اندازه پیکسل و یکپارچه‌سازی آنها) و همچنین کاهش عمق رادیومتری آنها (از ۱۶ بیت به ۸ بیت) بر روی نتایج طبقه‌بندی این تصاویر بررسی شود. زیرا با تغییرات اشاره شده در تصاویر، اطلاعات طیفی و مکانی، دستکاری شده و از کیفیت تصاویر کاسته می‌شود که ممکن است بر روی نتایج طبقه‌بندی تأثیر منفی بگذارد. حال ضروریست که تعادلی بین مقدار کاهش حجم و کیفیت رادیومتری تصاویر از یک طرف و سطح دقت و صحت موردانتظار از نتایج طبقه‌بندی، از سوی دیگر برقرار شود. به عبارت ساده‌تر می‌توان چنین بیان داشت که اگر تغییرات حاصل به‌منظور



شکل ۱- راست: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران. چپ: نمایی از منطقه مورد مطالعه با پس زمینه موزاییک تصاویر هوایی با ترکیب رنگی 432 (RGB). کادراهی زرد و سیاه به ترتیب نشان‌دهنده چارچوب فریم‌ها و مناطق مورد مطالعه می‌باشند. نقاط سبز و دایره‌های زرد به ترتیب موقعیت مرکز فریم‌ها و قطعات واقعیت زمینی نمونه‌ای را نشان می‌دهند.

لیلیکی و مرز تشکیل داده‌اند.

#### داده‌ها

در این تحقیق از تصاویر دوربین رقومی UltraCamD استفاده شد. کلاً ۱۶ فریم از دو خط پرواز کنار هم (شکل ۱)، با پوشش مشترک طولی و عرضی به ترتیب حدود ۶۰ درصد و ۲۰ درصد تهیه شد. تصاویر در چهار باند طیفی به صورت ادغام شده با باند پانکروماتیک (سطح تصحیحات ۳) به صورت ۱۶ بیتی در فرمت Tif دریافت شدند. تاریخ تصویربرداری ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷ بود. ارتفاع پرواز از سطح ارتفاع متوسط منطقه ۸۰۰ متر، مقیاس اسمی تصاویر ۱:۸۰۰۰ و اندازه زمینی پیکسل ۷ سانتی‌متر بود.

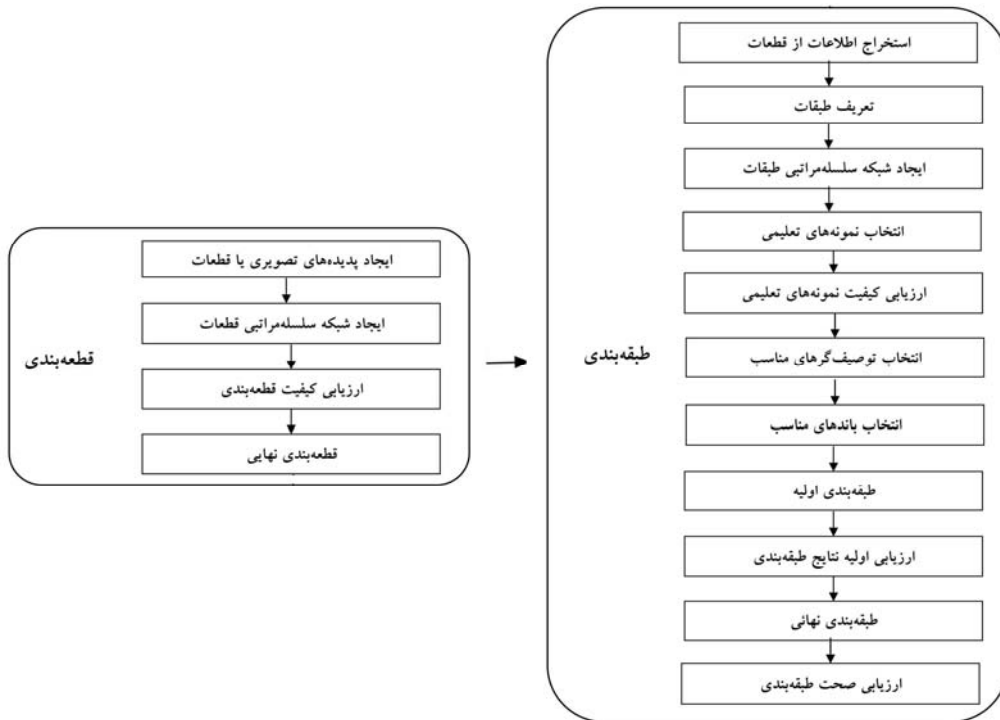
#### روش پژوهش

روش به کار رفته برای طبقه‌بندی تصاویر هوایی به منظور تهیه نقشه‌های گونه‌های درختی اصلی، روش شیء- پایه است که فرایند کلی آن در قالب دو مرحله کلی قطع‌بندی (Segmentation) و طبقه‌بندی در شکل ۲ نشان داده شده است. حال با توجه به هدف ذکر شده، ابتدا تصاویر اصلی (با اندازه تفکیک مکانی ۷ سانتی‌متر و توان تفکیک رادیومتری ۱۶ بیت) پس از تغییر مشخصه‌های مختلف،

منطقه یک از تنوع گونه‌های درختی به نسبت مناسبی برخوردار است (۷ گونه اصلی) و به طور عمده متشکل از توده‌های جنگلکاری شده، با گونه‌های مختلف است که نیمه شمالی و غربی آن حالت آمیخته‌ای از پهن‌برگان و سوزنی‌برگان دارد. دو توده بزرگ خالص، همسال و مترکم پلت در شرق و جنوب غربی و یک توده همسال کریپتومریا در جنوب شرقی منطقه مستقر است. منطقه دو، از تنوع گونه‌ای بیشتری برخوردار بوده (۱۰ گونه اصلی) و جاده اصلی آسفالتی، منطقه را به دو قسمت تقسیم می‌کند که بخش جنوبی آن به طور عمده شامل جنگلکاری وسیع، انبوه و همسال جوان از گونه پلت است. اما در حاشیه شمالی جاده، آمیختگی اغلب گونه‌ها به صورت پایه‌ای و یا در لکه‌های بسیار کوچک است. این منطقه با دارا بودن توأمان جنگل‌های آمیخته طبیعی و جنگل‌های خالص دست‌کاشت، می‌تواند به عنوان الگویی از شرایط کلی جنگل‌های شمال تلقی شود. منطقه کوچک سه کاملاً متفاوت با دو منطقه دیگر بوده و کمترین تنوع گونه‌های درختی را دارد (چهار گونه اصلی). بیش از نصف آن را درختان به نسبت بلند لیلیکی با تراکم نه چندان انبوه و حدود ۷۰ درصد آن را دو گونه

قطعه‌بندی و همان مجموعه باندها، توصیف‌گرها (Features) و نمونه‌های تعلیمی (Training areas) (مورد استفاده برای تصاویر اصلی) مجدداً تکرار شده و نتایج به دست آمده، در مقایسه با نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای، مورد ارزیابی صحت قرار گرفتند تا حد آستانه تغییرات اعمال شده تا جایی که کمترین مقدار کاهش صحت را داشته باشد، تعیین شود.

مورد قطعه‌بندی واقع شده و پس از دستیابی به مطلوب‌ترین نتیجه قطعه‌بندی (ارزیابی چشمی مقدار انطباق مرز اغلب قطعات با مرز تاج درختان در تصویر)، طبقه‌بندی شدند. سپس به ترتیب با ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ برابر کردن اندازه پیکسل‌ها و همچنین کاهش عمق رادیومتری از ۱۶ بیت به ۸ بیت، فرایند طبقه‌بندی تصاویر حاصل، بر مبنای همان



شکل ۲- نمودار عملیاتی طبقه‌بندی به روش شیء-پایه

بر اساس چهار باند طیفی موجود ایجاد شد و مورد استفاده قرار گرفت.

#### قطعه‌بندی

قطعه‌بندی که اساس و مبنای طبقه‌بندی شیء-پایه محسوب می‌شود، یک فرایند یکپارچه‌سازی پیکسل‌ها بر اساس همگنی قطعات یا پدیده‌های تصویری (Image objects) است و توسط سه شاخص کنترل می‌شود: (۱) رنگ / شکل، (۲) فشردگی / همواری (Compactness/Smoothness) و (۳) مشخصه مقیاس (Scale parameter) (Benz et al., 2004). با تغییر هر یک از آنها، شکل و اندازه‌های مختلفی برای قطعات تصویر

تصحیح هندسی و پیش‌پردازش تصویر

داده‌های این دوربین دارای قابلیت زمین‌مرجع کردن مستقیم با استفاده از (Global Positioning System) GPS و (Inertial Measurement Unit) IMU می‌باشند. در این تحقیق به منظور تصحیح هندسی دقیق‌تر تصاویر، علاوه بر شاخص‌های توجیه خارجی، از ۲۶ نقطه کنترل زمینی اخذ شده توسط DGPS نیز استفاده شد. علاوه بر باندهای طیفی اصلی، تصاویر پردازش شده مانند (Normalized Difference Vegetation Index) NDVI و (Hue, Intensity and Saturation Transformation) HIS و (Principle Component Analysis) PCA

به ارتباط توان تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتری تصاویر با شکل و اندازه قطعات ایجاد شده و کنترل چشمی قطعات حاصل، در نهایت استفاده از مقادیر شاخص‌ها و باندهای اصلی و مصنوعی طبق جدول ۱، بهترین نتایج را ارائه دادند.

به دست می‌آید. اصل کلی در این رابطه این است که قطعات باید تا حد امکان بزرگ بوده و در عین حال مناطق متفاوت را از هم تفکیک کنند (در مطلوب‌ترین حالت؛ هر قطعه، یک تاج درخت را دربرمی‌گیرد). با توجه به تحقیق‌های مشابه و درک نقش هر یک از شاخص‌های یادشده و اصول مربوط

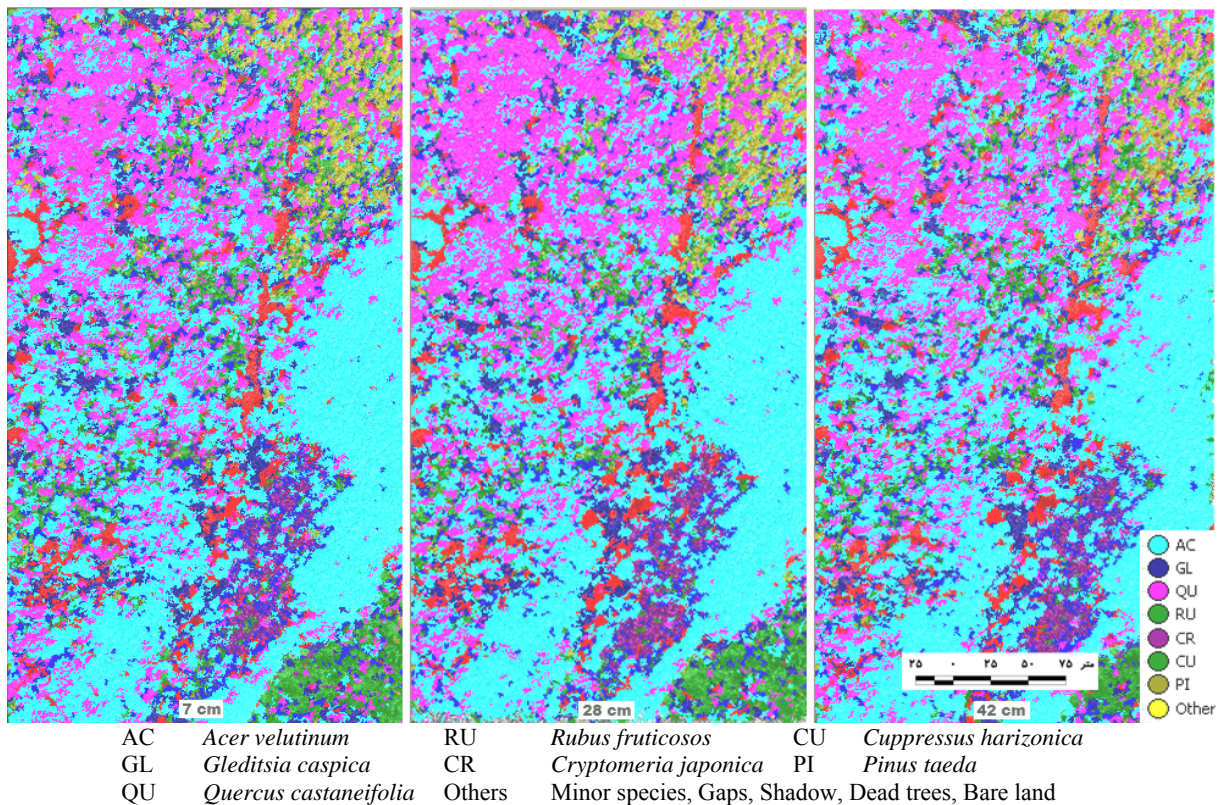
جدول ۱- مقادیر نهایی ضرایب شاخص‌های قطعه‌بندی و وزن باندهای ورودی به تفکیک مناطق مطالعاتی

تعداد قطعات	وزن باندهای ورودی به قطعه‌بندی				ضرایب شاخص‌های قطعه‌بندی													
	PCA2-4B	PCA1-4B	PCA2-3B	PCA1-3B	S	I	H	NDVI	b4	b3	b2	b1	مقیاس	همجاری	تشریح	رنگ	مطابق	
۱۰۵۹۵	۲	-	۲	۲	-	-	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱۲۰۰	۰/۵	۰/۵	۰/۳	۰/۷	۱
۸۷۵	۲	۲	-	۱	-	-	-	۲	۱	۱	۱	۱	۱۴۰۰	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۶	۲
۲۶۰۶	۲	-	-	۲	-	-	-	۲	۱	۱	۱	۱	۱۰۰۰	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۶	۳

#### طبقه‌بندی شیء- پایه

همانند کسب اطلاعات آماری از قطعات (Image object information) و تابع بهینه‌سازی فضای توصیف‌گرها (Feature space optimization)، انتخاب شده و در همه طبقه‌ها اعمال شدند. در ادامه، روش نزدیک‌ترین همسایه که بر مبنای منطق فازی، هر یک از قطعات تصویری حاصل از قطعه‌بندی را به طبقه‌های تعیین شده اختصاص می‌دهد، اعمال شد. در پایان فیلتر مد (Mode filter) بر نتایج طبقه‌بندی‌ها اعمال شده و نقشه‌های تصویر تاج درختان به دست آمد. در مرحله بعد، برای بررسی نقش توان تفکیک مکانی و رادیومتری در طبقه‌بندی گونه‌های درختی، اندازه پیکسل تصاویر اصلی به ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ برابر با روش نمونه‌گیری مجدد نزدیک‌ترین همسایه تغییر یافت و تصاویر مصنوعی و ترکیبی مانند NDVI، PCI، HIS نیز بر مبنای این تصاویر تغییر یافته، تولید شد. همچنین در تصاویر اصلی، یک تبدیل رادیومتری از ۱۶ بیت به ۸ بیت انجام و تصاویر مصنوعی آنها نیز تولید شدند. در نهایت فرایند قطعه‌بندی روی تمامی این تصاویر بر مبنای قطعه‌بندی حاصل از تصاویر اصلی انجام شد و نتایج طبقه‌بندی با اعمال فیلتر مد به صورت نقشه‌های تصویر تاج درختان به دست آمد (شکل ۳).

این نوع طبقه‌بندی بر مبنای قطعه‌بندی انجام می‌شود. طبقه‌ها بر اساس یک سری توصیف‌گرها تشریح می‌شوند. این توصیف‌گرها می‌توانند بر مبنای ارزش طیفی (میانگین، انحراف معیار، حداقل، حداکثر و غیره)، شکل (مساحت، محیط، طول، عرض، تقارن، راستا، تراکم، فشردگی، نرمی، گردی و غیره) و بافت هر یک از قطعات در هر کدام از باندهای ورودی باشند (Definiens, 2006). در این پژوهش، از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه استاندارد (Standard nearest neighbor) برای طبقه‌بندی استفاده شد. به این ترتیب که پس از دستیابی به مطلوب‌ترین قطعه‌بندی، تعداد و نوع طبقه‌ها که همان نوع گونه درختان اصلی هر منطقه بودند، تعیین شدند. سپس تعدادی نمونه تعلیمی به ازای هر طبقه، بر مبنای مطالعات میدانی تعریف شد و توسط مشخصه‌هایی مانند شاخص تبدیل شده دایورجنس (Transformed divergence) و فاصله باتاچاریا (Bhattacharyya distance) و نیز هیستوگرام نمونه‌های تعلیمی، مورد ارزیابی قرار گرفته و نهایی شدند. در ادامه، مجموعه باندهای مناسب و توصیف‌گرهای بهینه، بر مبنای تحقیق‌های مشابه و ابزارها و روش‌های ارزیابی موجود



شکل ۳- نقشه گونه‌های درختی اصلی منطقه دو حاصل از طبقه‌بندی شی- پایه تصاویر با اندازه‌های پیکسل ۲۸، ۷ و ۴۲ سانتی‌متری

### تهیه نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای

برای ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل، یک نقشه واقعی از تصویر عمودی تاج درختانی که در آشکوب بالا قرار دارند، به روش تلفیقی چشمی- میدانی تهیه شد. به این منظور، عملیات میدانی در شهریور و مهرماه ۱۳۸۸ (منطبق بر فصل تصویر هوایی مورد استفاده) انجام شد. نقشه واقعیت زمینی مذکور به صورت نمونه‌ای در قطعات دایره‌ای ۰/۲۸ هکتاری (با شعاع ۳۰ متر) تولید شد. پس از یافتن مرکز قطعه نمونه به کمک GPS و تطبیق منطقه و تصویر بزرگ مقیاس چاپ شده، نوع گونه کلیه درختان آشکوب بالا در داخل قطعات نمونه ثبت شد. برای تعیین موقعیت تک تک درختان، ابتدا فاصله و آزیموت هر درخت به ترتیب توسط فاصله یاب لیزری و قطب‌نما اندازه‌گیری شده و بر مبنای مختصات به دست آمده، نقشه نقطه‌ای رقومی موقعیت درختان در قطعه نمونه تهیه شده و پس از انتقال بر روی تصویر رقومی، با تشخیص و ترسیم محدوده تاج هر درخت، تبدیل

به نقشه رقومی پلی‌گونی شد.

### نتایج

مقادیر صحت کلی و ضرایب کاپای به دست آمده از نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ۸ بیتی و با اندازه‌های پیکسل ۱۴، ۲۱، ۲۸، ۳۵ و ۴۲ سانتی‌متری در مقایسه با تصاویر اصلی (۷ سانتی‌متری و ۱۶ بیتی) به همراه حجم تصاویر، تعداد گونه‌های درختی اصلی، تعداد و درصد نمونه‌های واقعیت زمینی و مساحت هر منطقه در جدول ۲ و شکل ۴ آمده است. مطابق این جدول در هر سه منطقه با کاهش توان رادیومتری از ۱۶ به ۸ بیت، صحت کلی و ضریب کاپا نسبت به تصاویر اصلی به شکل محسوسی کمتر شده است.

طبق جدول و شکل مذکور، با تغییر اندازه پیکسل‌ها، روند یکسانی از تغییرات صحت در این سه منطقه مشاهده نشد. نمودار تغییرات ضریب کاپا، با دو برابر کردن اندازه

پیکسل‌ها، در مناطق یک و دو، نزولی و در منطقه سه صعودی است (هر چند خیلی جزئی). در هر سه منطقه، تغییر اندازه پیکسل تا ۴ برابر، منجر به سیر صعودی ضریب کاپا و در ابعاد پیکسل بیش از ۴ برابر، موجب سیر نزولی شد.

جدول ۲- صحت کلی و ضرایب کاپای به دست آمده از نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر هوایی با اندازه تفکیک مکانی و رادیومتری مختلف در

مقایسه با تصاویر اصلی به تفکیک هر منطقه

شماره منطقه	مساحت منطقه (هکتار)	تعداد گونه‌های درختی اصلی	تعداد قطعات واقعی زمینی	نسبت مساحت واقعی زمینی به کل منطقه (درصد)	تغییر اندازه تفکیک مکانی و رادیومتری	حجم فایل (تک‌باند) (MB)	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا
۱	۱۸/۲	۷	۸	۱۲/۴	تصویر اصلی (۷cm و ۱۶bit)	۵۹/۸	۶۰/۵۰	۰/۵۲
					افزایش اندازه پیکسل به ۲ برابر	۱۷/۸	۵۷/۲۹	۰/۴۸
					افزایش اندازه پیکسل به ۳ برابر	۷/۹۲	۵۸/۷۱	۰/۵۰
					افزایش اندازه پیکسل به ۴ برابر	۴/۴۵	۶۴/۵۶	۰/۵۷
					افزایش اندازه پیکسل به ۵ برابر	۲/۸۵	۵۹/۴۸	۰/۵۱
					افزایش اندازه پیکسل به ۶ برابر	۱/۹۸	۵۸/۱۸	۰/۴۹
					کاهش عمق رادیومتری به ۸bit در تصویر اصلی (۷cm)	۳۵/۷	۵۵/۸۳	۰/۴۶
۲	۲۰/۵	۱۰	۷	۹/۶	تصویر اصلی (۷cm و ۱۶bit)	۸۱	۶۶/۵۳	۰/۶۱
					افزایش اندازه پیکسل به ۲ برابر	۲۰/۲	۴۱/۶۹	۰/۳۴
					افزایش اندازه پیکسل به ۳ برابر	۹	۴۳/۹۸	۰/۳۷
					افزایش اندازه پیکسل به ۴ برابر	۵/۰۶	۴۹/۲۸	۰/۴۲
					افزایش اندازه پیکسل به ۵ برابر	۳/۲۴	۴۷/۴۸	۰/۴۰
					افزایش اندازه پیکسل به ۶ برابر	۲/۲۵	۴۷/۳۹	۰/۴۰
					کاهش عمق رادیومتری به ۸bit در تصویر اصلی (۷cm)	۴۰/۵	۴۴/۱۸	۰/۳۶
۳	۳/۸	۴	۲	۱۴/۸	تصویر اصلی (۷cm و ۱۶bit)	۱۴/۸	۶۹/۴۴	۰/۴۶
					افزایش اندازه پیکسل به ۲ برابر	۳/۷۲	۷۱/۳۷	۰/۴۹
					افزایش اندازه پیکسل به ۳ برابر	۱/۶۵	۷۱/۵۱	۰/۵۰
					افزایش اندازه پیکسل به ۴ برابر	۰/۹۵	۷۴/۱۵	۰/۵۳
					افزایش اندازه پیکسل به ۵ برابر	۰/۶۱	۷۳/۰۴	۰/۵۱
					افزایش اندازه پیکسل به ۶ برابر	۰/۴۲	۷۰/۸۸	۰/۴۸
					کاهش عمق رادیومتری به ۸bit در تصویر اصلی (۷cm)	۷/۴۶	۵۸/۶۷	۰/۲۶

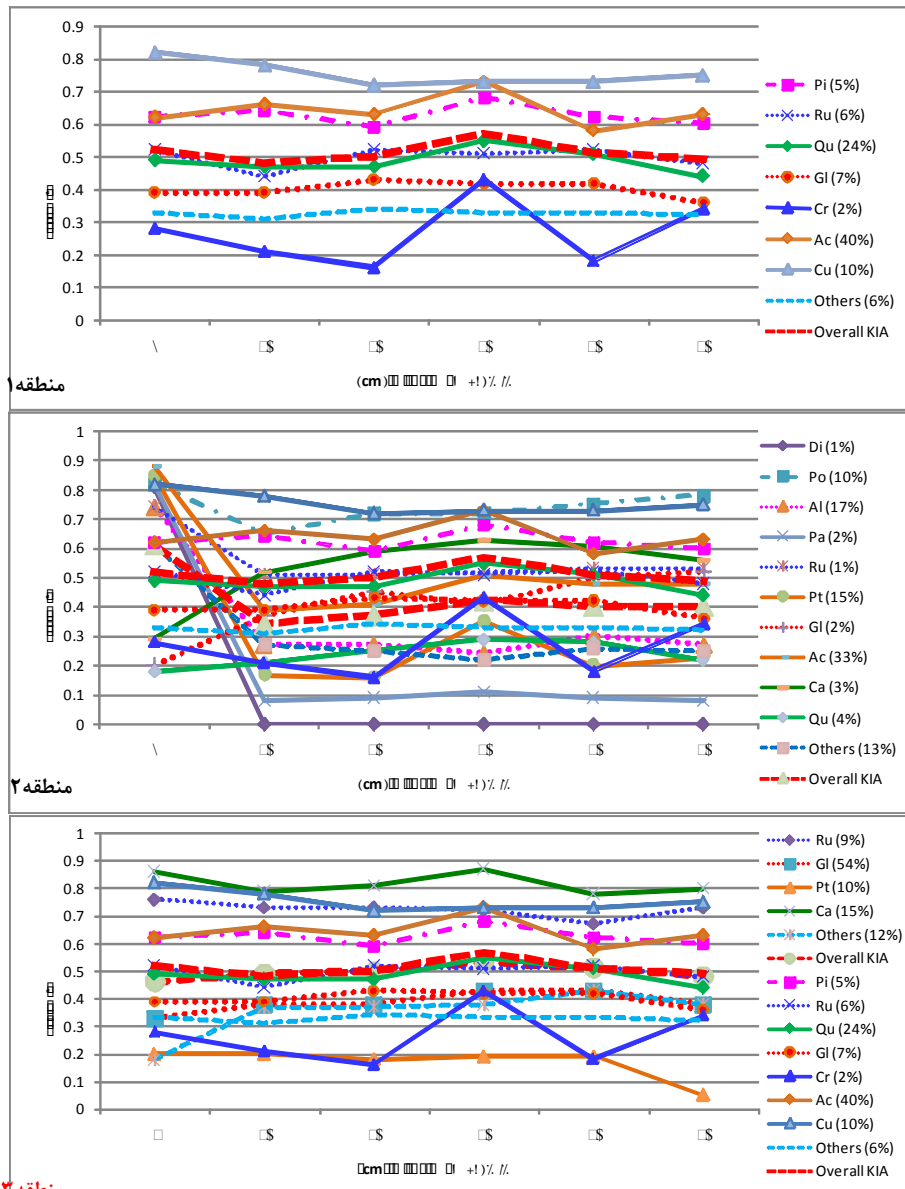
ضریب کاپای کلی هر منطقه، با تغییرات ضریب کاپای فراوان‌ترین گونه‌ها، نوعی هماهنگی به چشم می‌خورد. به‌طور مثال فراوان‌ترین گونه‌ها (از نظر نسبت سطح تصویر عمودی تاج به سطح کل منطقه) به ترتیب در منطقه یک، پلت و بلوط (۶۴ درصد)، در منطقه دو، پلت (۳۳ درصد) و در

به‌منظور درک و تحلیل بهتر نتایج، ضرایب کاپای یکایک گونه‌های درختی هر منطقه در اندازه‌های مختلف پیکسل نیز مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند تا مشخص شود که آیا رابطه‌ای بین فراوانی، تنوع طبقه‌ها و نحوه آمیختگی درختان با صحت‌های کسب‌شده وجود دارد یا خیر. بین تغییرات



مثال شکل منحنی‌های گونه‌های لیلکی و تمشک که در هر سه منطقه وجود دارند و یا ممرز، لرگ، بلندمازو و پلت که در دو منطقه تکرار شده‌اند، یکسان نیست.

منطقه سه، لیلکی (۵۴ درصد) است که تغییرات نمودارشان هماهنگ با نمودار کاپای کلی هر منطقه است. براساس شکل ۴، یک گونه مشخص در مناطق مختلف، صحت‌های متفاوتی از نظر ضریب کاپا نشان می‌دهد. به‌طور



Ac	<i>Acer velutinum</i>	Cu	<i>Cuppressus arizonica</i>	Pa	<i>Parrotia persica</i>	Pi	<i>Pinus taeda</i>
Al	<i>Alnus glutinosa</i>	Cr	<i>Cryptomeria japonica</i>	Ru	<i>Rubus fruticosos</i>	Di	<i>Diospyrus Lotus</i>
Ca	<i>Carpinus betulus</i>	Gl	<i>Gleditsia caspica</i>	Pt	<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	Po	<i>Populus caspica</i>
Qu	<i>Quercus castaneifolia</i>	Others	Minor species, Gaps, Shadow, Dead trees, Bare land				

شکل ۴- ضرایب کاپای کلی و ضریب کاپای یکایک گونه‌های درختی اصلی به‌همراه نسبت مساحت هر کدام، در سه منطقه مطالعاتی

## بحث

اگرچه با تبدیل تصاویر ۱۶ بیتی به ۸ بیتی، حجم تصاویر بسیار کاهش یافت، اما این تبدیل، تأثیر منفی زیادی بر روی نتایج گذاشت و موجب کاهش محسوس صحت طبقه‌بندی شد. این نکته به این ترتیب قابل توضیح است که با توجه به اندازه بسیار کوچک پیکسل‌ها در تصاویر اصلی، زیاد بودن تفاوت ارزش‌های رادیومتری پیکسل‌های مجاور، که در روش‌های سنتی طبقه‌بندی مانند پیکسل- پایه (تفکیک پیکسل‌ها تنها براساس ارزش رادیومتری‌شان) نوعی محدودیت و ایراد تلقی می‌شد، در روش شی- پایه یک مزیت محسوب می‌شود. بنابراین با کاهش عمق رادیومتری عملاً بهره‌وری روش شی- پایه کاهش یافته، صحت نتایج کمتر می‌شود. در تحقیق‌های Yu و همکاران (۲۰۰۶) و Schiewe (۲۰۰۲) نیز بر این نکته تأکید شده است. به این ترتیب، کاهش عمق رادیومتری ضمن اثربخشی به نسبت کم در کاهش حجم فایل، تأثیر منفی زیادی بر نتایج طبقه‌بندی گذاشته و قابل توصیه نیست.

اما تنها با دو برابر کردن اندازه پیکسل، حجم تصاویر به حدود یک چهارم حجم اولیه کاهش یافته و این کاهش چشمگیر نه تنها تأثیر منفی زیادی بر روی نتایج نداشته، بلکه حتی موجب بهبود نسبی صحت طبقه‌بندی در منطقه سه نیز شد و با ادامه روند افزایش اندازه پیکسل‌ها به سه و چهار برابر، ضمن کاهش حجم تصاویر به یک‌نهم و یک‌شانزدهم حجم اولیه، سیر صعودی در مقادیر صحت طبقه‌بندی مشاهده می‌شود.

با بزرگ‌تر شدن ابعاد پیکسل‌ها، مقادیر ضریب کاپای به دست آمده برای یک گونه خاص، در مناطق مختلف رفتارهای متفاوتی نشان داد که بستگی به فراوانی، نوع آمیختگی، وجود گونه مشابه از نظر طیفی و سن درختان داشته (Knight & Lunetta, 2003; Rama Rao *et al.*, 2007; Honkavaara *et al.*, 2008; Waser *et al.*, 2011; Kaartinen, *et al.*, 2012) که با بررسی وضعیت گونه‌های درختی تشکیل‌دهنده توده در هر منطقه قابل توضیح است.

بنابراین به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان چنین بیان داشت که در شرایط جنگل‌های دست‌خورده که تنوع گونه‌های درختی کم بوده و آمیختگی و پراکنش آنها به صورت گروه‌های به نسبت بزرگ و یا دربرگیرنده جنگلکاری‌های یکدست است (همانند منطقه یک و سه)، افزایش اندازه پیکسل‌ها تا حد چهار برابر، در مطالعات اجرایی که با موضوع پژوهش پیش‌رو انجام می‌شود، قابل توجیه و توصیه است و امکان کاهش صحت نسبت به تصاویر اصلی کمتر است. اما در جنگل‌های طبیعی که از تنوع گونه‌های درختی بیشتری برخوردار بوده و آمیختگی بیشتر به صورت پایه‌ای است (مانند منطقه دو)، افزایش اندازه پیکسل‌ها باید با احتیاط بیشتری انجام شده و در صورت امکان، پژوهشی مشابه پژوهش پیش‌رو در قسمت‌هایی از آنها انجام شود.

در نهایت یادآوری این مطلب ضروریست که در این تحقیق، در هر منطقه، تنها یک قطعه‌بندی براساس تصاویر اصلی آن منطقه انجام و تصاویر با اندازه‌های تفکیک مکانی و رادیومتری مختلف همگی بر مبنای یک قطعه‌بندی ثابت مورد طبقه‌بندی واقع شدند. از این‌رو در این تحقیق از بین دو مرحله کلی قطعه‌بندی و طبقه‌بندی، با فرض ثابت بودن قطعات تصویر، تنها مرحله طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت. به عبارت دیگر تمامی طبقه‌بندی‌ها (با اندازه‌های مختلف تفکیک مکانی و رادیومتری تصویر)، همگی براساس یک قطعه‌بندی ثابت و یکسان که حاصل قطعه‌بندی تصویر اصلی (۷ سانتی‌متری و ۱۶ بیتی) بود، انجام شد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تکمیل پژوهش پیش‌رو، تأثیر اندازه تفکیک مکانی و رادیومتری بر کیفیت قطعه‌بندی مورد ارزیابی قرار گیرد.

## سپاسگزاری

مقاله حاضر، از طرح تحقیقی با بودجه پژوهشی و حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز استخراج شده است.

individual tree detection and extraction using airborne laser scanning. *Remote Sensing*, 4: 950-974.

- Knight, J.F. and Lunetta, R.S. 2003. An experimental assessment of minimum mapping unit size. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(9): 2132-2134.
- Ozdemir, I., Norton, D.A., Ozkan, U.Y., Mert, A. and Senturk, O. 2008. Estimation of tree size diversity using object-oriented texture analysis and ASTER imagery. *Sensors*, 8(8): 4709-4724.
- Rafieyan, O., Darvishsefat, A.A., Babaii, S. and Mattaji, A. 2011. Identification of tree species using object-based classification of Digital Aerial Images in the Northern forests of Iran (Case study: Chamestan-Nur). *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 4(2): 63-74 (In Persian).
- Rama Rao, N., Garg, P.K. and Ghosh, S.K. 2007. Evaluation of radiometric resolution on land use/land cover mapping in an agricultural area. *International Journal of Remote Sensing*, 28(2): 443-450.
- Schiewe, J. 2002. Segmentation of high-resolution remotely sensed data concepts, application and problems. *Proceeding of Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*, Ottawa, Canada: 235-242.
- Shabanipoor, M. 2011. Investigation on the possibility of reconnaissance of tree species in high-resolution images by object-based classification. M.Sc. thesis, Department of Forestry, University of Tehran, Karaj, 73p (In Persian).
- Waser, L.T., Ginzler, C., Kuechler, M., Baltsavias, E. and Hurni, L. 2011. Semi-automatic classification of tree species in different forest ecosystems by spectral and geometric variables derived from ADS40 and RC30 data. *Remote Sensing of Environment*, 115(1): 76-85.
- Yu, Q., Gong, P., Clinton, N., Biging, G., Kelly M. and Schirokauer, D. 2006. Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(7): 799-811.

## References

- Baltsavias, E., Eisenbeiss, H., Akca, D., Waser, L.T., Kuckler, M., Ginzler, C. and Thee, P. 2007. Modeling fractional shrub/tree cover and multi-temporal changes using high-resolution digital surface model and CIR-aerial images. Available from: <http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/devrim-pub1.html>, 11p.
- Benz, U.C., Hoffmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. and Heynen, M. 2004. Multi-resolution object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58: 239-258.
- Bohlin, J., Olsson, H., Olofsson, K. and Wallerman, J. 2007. Tree species discrimination by aid of template matching applied to digital air photos. *Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry-Session 6a*, Vienna: 199-203.
- Definiens, A.G. 2006. *Definiens Professional5 User Guide*. The Image Intelligence Company, Available from: <http://read.pudn.com/downloads112/ebook/467360/eCognition5.0UserGuide.pdf>
- Heikkinen, V., Korpela, I., Tokola, T., Honkavaara, E. and Parkkinen, J. 2011. An SVM classification of tree species radiometric signatures based on the Leica ADS40 sensor. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(11): 4539-4551.
- Hirschmugl, M., Ofner, M., Raggam, J. and Schardt, M. 2007. Single tree detection in very high resolution remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 110(4): 533-544.
- Honkavaara, E., Markelin, L., Ahokas, E., Kuittinen R. and Peltoniemi, J. 2008. Calibrating digital photogrammetric airborne imaging systems in a test field. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B1): 555-560.
- Kaartinen, H., Hyypä, J., Yu, X., Vastaranta, M., Hyypä, H., Kukko, A., Holopainen, M., Heipke, C., Hirschmugl, M., Morsdorf, F., Næsset, E., Pitkänen, J., Popescu, S., Solberg, S., Wolf, B.M. and Wu, J.C. 2012. An international comparison of

## The effect of spatial and radiometric resolutions of aerial images for tree species classification by object-based approach

O. Rafieyan<sup>1\*</sup> and A.A. Darvishsefat<sup>2</sup>

1\*- Corresponding author, Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. E-mail: o\_rafieyan@iaut.ac.ir

2- Professor, Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: 05.18.2013

Accepted: 09.25.2013

### Abstract

The optimal computational capability for analyzing multispectral aerial images e.g. for fine-scale tree species mapping is often considerably constrained by their enormous data volume. This may be mainly reflected in a reduction in the speed of data processing as well as in their archiving. This research was conducted to explore the effect of alterations in spatial and radiometric resolutions in the quality of object-based tree species classification by UltraCamD aerial images. The study was conducted in three different study sites. Segmentation was firstly implemented on the original images featuring spatial and radiometric resolution of 7 cm and 8-bit, respectively. The optimum segmentation result was then classified. Following this, rescaling in spatial (to 14, 21, 28, 35 and 42 cm pixel size) and radiometric (16-bit to 8-bit) resolutions were conducted, which was followed by classification of the resulted images using the similar segmentation, input bands, features and training and validation data. Based on the conducted accuracy assessment of the resulted classified images, the accuracy was shown to reduce along with a decrease in the radiometric resolution for all of the three areas. However, the trend was shown to be non-uniform when reducing the spatial resolution of the input data. It is concluded that a downscaling of the pixel size down to 4 times coarser than the original pixel size does not notably affect the classification of even-aged or homogeneous forests, while it should be merely conducted with caution in case of natural stands encompassing undisturbed, heterogeneous and diverse groups of species.

**Key words:** UltraCamD, image segmentation, object-based classification, spatial and radiometric resolution.