

بررسی قابلیت تصاویر UltraCam-D در تشخیص گونه‌های درختی به روش شیء-پایه در جنگلکاری همسال آمیخته

علی اصغر درویش صفت*^۱، امید رفیعیان^۲، ساسان بابایی کفاکی^۳ و اسداله متاجی^۴

^۱استاد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۲دانشجوی دکتری جنگلداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

^۳استادیار گروه جنگلداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

^۴دانشیار گروه جنگلداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱/۱۷، تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۲/۲۸)

چکیده

نکته مهم در بهره‌گیری از تمام قابلیت‌های تصاویر هوایی رقومی در جنگلداری، اجرای روش بهینه طبقه‌بندی و استخراج اطلاعات مفید است. در این راستا، روش طبقه‌بندی شیء-پایه، تغییرات طیفی درون طبقه‌های ناشی از بافت تاج درختان، فاصله بین تاج‌ها و سایه را کاهش می‌دهد و با ایجاد قطعات همگن، امکان لحاظ کردن همزمان ویژگی‌های طیفی و هندسی را در طبقه‌بندی فراهم می‌آورد. هدف این تحقیق بررسی امکان تشخیص گونه‌های درختی اصلی و تهیه نقشه آنها با استفاده از تصاویر هوایی رقومی UltraCam-D به روش شیء-پایه در منطقه جنگلکاری شده است. پس از پردازش اولیه تصاویر، مقادیر مختلف مشخصه‌های قطعه‌بندی بر روی تصویر اجرا شد و بعد از انتخاب بهترین حالت، قطعه‌بندی بر اساس معیارهای موجود، در دو سطح انجام گرفت. طبقات مورد نظر نیز متناسب با این سطوح، به صورت سلسله‌مراتبی تعریف و به کمک توصیف‌گرهای مناسب، تشریح شدند. پس از انتخاب نمونه‌های تعلیمی، طبقه‌بندی به روش نزدیک‌ترین همسایه انجام گرفت و نتیجه آن با نقشه واقعیت زمینی که به روش میدانی تهیه شده بود، مقایسه و صحت آن ارزیابی شد. صحت کلی و ضریب کاپای به دست آمده، به ترتیب ۹۰ درصد و ۰/۸۲ است. برای ارزیابی بهتر روش و داده‌های مذکور باید تحقیقات مشابهی در ساختارهای متفاوتی از جنگل انجام گیرد. همچنین استفاده از داده‌های ارتفاعی مناسب و دقیق مانند DSM، LiDAR و DTM، در تجزیه و تحلیل این داده‌ها بسیار کمک‌کننده، مفید و اغلب، ضروری است.

واژه‌های کلیدی: UltraCam-D، طبقه‌بندی شیء-پایه، تشخیص گونه‌های درختی، جنگلکاری همسال آمیخته، قطعه‌بندی سلسله‌مراتبی.

مقدمه و هدف

امروزه سنجش از دور، جایگاه ویژه‌ای در جنگلداری دارد و از کارآمدترین و مناسب‌ترین ابزارها برای تولید و بهنگام‌سازی اطلاعات جنگل محسوب می‌شود. در دهه‌های اخیر، روند جایگزینی دوربین‌های سنتی بر پایه فیلم، با دوربین‌های رقومی و چندطیفی و تمایل به تصویربرداری و پردازش‌های رقومی شتاب بیشتری گرفته و با ظهور و گسترش سنجنده‌های رقومی هوایی مانند¹ ATM،² ADS²40، HRSC³، DiMAC⁴، JAS⁵، DMC⁶ و UltraCam، فصل جدیدی در تهیه نقشه‌های موضوعی بزرگ مقیاس آغاز شده است (Leberl & Gruber, 2005). در میان تحقیقاتی که به استخراج اطلاعات کمی و کیفی جنگل بر اساس تصاویر رقومی هوایی پرداخته‌اند، می‌توان به پژوهش‌های سهرابی، ۱۳۸۸؛ Millette & Hyward, 2004; Naasset & Gobakken, 2005; Baltsavias et al., 2007; Chang et al., 2008; Ozdemir et al., 2008; Bohlin et al., 2007; Hirschmugl et al., 2007; Wang et al., 2008; Yu et al., 2006 اشاره کرد.

نکته مهم در این زمینه، اجرای روش بهینه طبقه‌بندی و استخراج اطلاعات مفید از این داده‌های با توان تفکیک مکانی زیاد^۷ است. همیشه با افزایش توان تفکیک مکانی تصاویر، نتیجه طبقه‌بندی بهتر نمی‌شود، چرا که کاهش اندازه پیکسل‌ها، موجب تغییرات شدید درون طبقه‌ای^۸ و کاهش صحت طبقه‌بندی در روش‌های سنتی پیکسل پایه^۹ می‌شود (Schiewe, 2002). با افزایش توان تفکیک مکانی، تفاوت طیفی پیکسل‌های داخل هر طبقه بیشتر می‌شود، تفکیک‌پذیری طبقات کاهش می‌یابد و در نتایج طبقه‌بندی به دلیل اینکه تک پیکسل‌های طبقه‌بندی شده با پیکسل‌های مجاور خود تفاوت دارند، حالت فلفل-نمکی^{۱۰} ظاهر می‌شود (Yu et al., 2006). از سوی دیگر در این نوع تصاویر که

اندازه پیکسل‌ها از بسیاری از پدیده‌ها کوچک‌تر است و امکان به‌دست آوردن اطلاعات ترکیبی^{۱۱} از آنها وجود دارد، روش شیء-پایه^{۱۲} از نظر تئوری و عملی منطقی‌تر است (Baatz & Schape, 1999). این روش به‌ویژه در جنگل، تغییرات طیفی منطقه‌ای ناشی از بافت تاج درختان، فاصله بین تاج‌ها^{۱۳} و سایه را کاهش می‌دهد و با ایجاد قطعات همگن^{۱۴}، امکان لحاظ کردن همزمان ویژگی‌های طیفی و هندسی (مانند شکل، اندازه و بافت^{۱۵}) را در طبقه‌بندی فراهم می‌آورد (Yu et al., 2006).

فرزانه (۱۳۸۵) تهیه این داده‌ها را از جنگل‌های شمال اعلام کرده و به معرفی آنها پرداخته است. تنها انجام دو پژوهش با استفاده از تصاویر UltraCam-D در جنگل‌های ایران گزارش شده است. سهرابی (۱۳۸۸) قابلیت این داده‌ها را برای برآورد مشخصه‌های کمی جنگل آزمون کرده است. رفیعیان و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی کیفی و قابلیت‌های این داده از جنگل‌های شمال اقدام کرده‌اند. روش شیء-پایه نیز به‌ندرت در ایران استفاده شده است. شتایی (۱۳۸۲) قابلیت این روش را در مقایسه با روش‌های متداول پیکسل پایه و بر اساس داده‌های Landsat-ETM در یک منطقه جنگلی بررسی کرده است. فیضی‌زاده (۱۳۸۶) نیز این روش را برای بررسی‌های شهری و کاربری اراضی به‌کار برده است. تاکنون این تصاویر به روش شیء-پایه در جنگل‌های شمال ایران، تجزیه و تحلیل نشده است. این پژوهش در یک جنگلکاری آمیخته پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در شمال ایران انجام شده است. هدف از این تحقیق بررسی امکان تشخیص گونه‌های درختی اصلی و تهیه نقشه آنها به روش شیء-پایه است.

- منطقه تحقیق

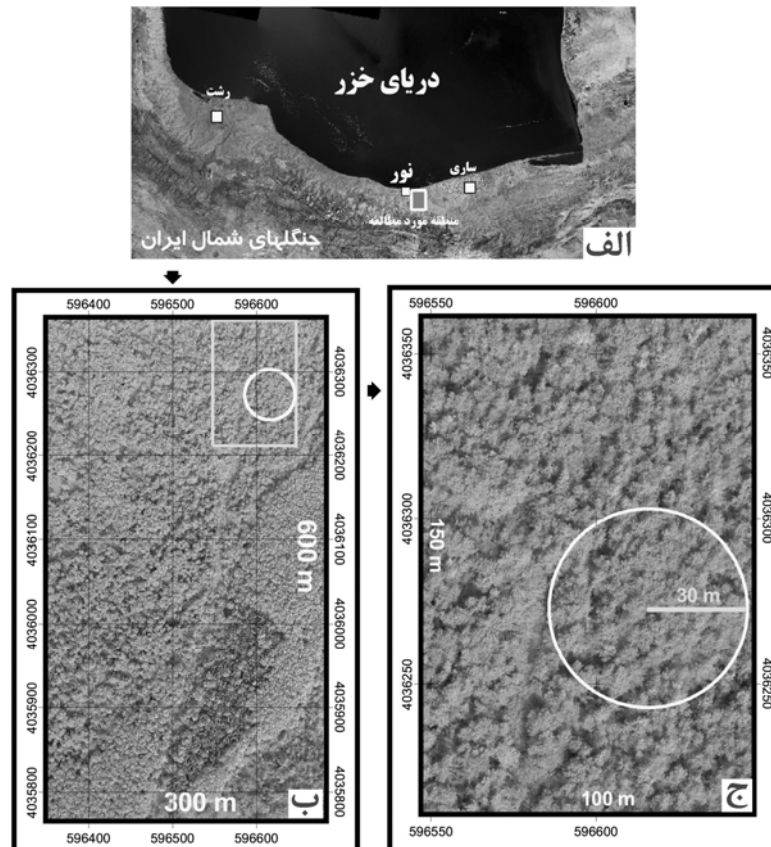
منطقه چمستان در جنوب دریای خزر و شهرستان نور در استان مازندران قرار گرفته است. این منطقه در محدوده جنگل‌های جلگه‌ای منطقه رویشی هیرکانی واقع شده

- 1- Adaptive Triangular Mesh
- 2- Airborne Digital Sensor
- 3- High Resolution Stereo Camera
- 4- Digital Modular Aerial Camera
- 5- Jena Airborne Scanner
- 6- Digital Mapping Camera
- 7- High Resolution
- 8- Intra-class
- 9- Pixel-based
- 10- Salt-pepper Effect

- 11- Compositional information
- 12- Object-based
- 13- Gap
- 14- Segment
- 15- Texture

این توده جنگلی یک آشکوبه و تقریباً همسال بوده و بیشتر شامل دو گونه *Pinus teada* و *Quercus castanifolia* با آمیختگی به صورت گروهی، به همراه تک‌پایه‌هایی از گونه *Cupressus arizonica* و بوته‌های متراکم *Rubus idaeus* است.

(شکل ۱-الف) و به دلیل تخریب در گذشته، بخش‌هایی از آن با گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ جنگلکاری شده است. این منطقه مسطح بوده و ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۲۰۰ متر است. تحقیق حاضر در محدوده‌ای ۱/۵ هکتاری از این جنگل‌های دست‌کاشت بیست ساله انجام گرفت (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه تحقیق: موقعیت در جنگل‌های هیرکانی (الف)، موقعیت منطقه در فریم کامل (ب)، وضعیت کلی آمیختگی درختان در منطقه تحقیق و موقعیت پلات واقعیت زمینی (دایره سفید) در آن (ج).

ارتفاع پرواز ۳۳۰ و ۱۴۰۰ متر، اندازه تفکیک در این باند به ترتیب برابر با ۳ و ۱۲/۵ سانتی‌متر خواهد بود (فرزانه، ۱۳۸۵؛ Leberl & Gruber, 2005).

تصویر به کار رفته در این تحقیق، در چهار باند طیفی با توان تفکیک رادیومتری ۱۶ بیت در ۲۶ مهر ۱۳۸۷ در سطح تصحیحات ۳ و به صورت ادغام‌شده با باند پانکروماتیک^۱ بود. هر فریم، با اندازه پیکسل ۷ سانتی‌متری، منطقه‌ای به ابعاد ۶۰۰×۳۰۰ متر را پوشش می‌دهد (شکل ۱-ب). منطقه تحقیقی، پنجره‌ای به ابعاد ۱۰۰×

مواد و روش‌ها

– داده‌ها

در این تحقیق از تصاویر دوربین هوایی دیجیتال UltraCam-D استفاده شد. این دوربین، تصاویر چندطیفی در محدوده‌های طیفی آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک در ابعاد ۲۶۷۲ × ۴۰۰۸ پیکسل و تصویر پانکروماتیک در ابعاد ۷۵۰۰ × ۱۱۵۰۰ پیکسل را به‌طور همزمان تولید می‌کند. اندازه فیزیکی پیکسل، ۹ میکرون در باند پانکروماتیک است که به توان تفکیک زمینی بسیار زیاد و متناسب با ارتفاع پرواز منجر می‌شود. برای مثال در

1- Pan-sharpened

مورد استفاده از توان تفکیک مکانی بسیار زیادی برخوردار بود، اما کیفیت رادیومتری بسیار خوب و اطلاعات طیفی ارزشمند آن موجب شد وزن کمتری به "شکل" داده شود. همچنین بر خلاف نقشه‌های کاربری اراضی که مجموعه‌ای از پدیده‌های متنوع‌اند، در این تحقیق همه پدیده‌های مورد طبقه‌بندی، از یک نوع (درخت) هستند. از سوی دیگر درهم‌تنیدگی و اختلاف ارتفاع تاج درختان، وجود سایه در بخشی از تاج و فاصله از مرکز فریم موجب شد که شکل تاج درختان از قاعده خاصی پیروی نکند و تاج یک گونه خاص، در شکل‌های متنوعی ظاهر شود، بنابراین دادن اهمیت زیاد به مشخصه "شکل" منطقی به نظر نمی‌رسد.

"مشخصه مقیاس" حداکثر ناهمگنی ممکن را برای هر قطعه تعیین می‌کند و با تغییر آن می‌توان اندازه قطعات را تغییر داد. در قطعه‌بندی تصویر که پایه و اساس طبقه‌بندی شیء- پایه محسوب می‌شود، دستیابی به اندازه مناسب قطعات بسیار مهم است. اصل کلی در این زمینه این است که قطعات باید تا حد امکان بزرگ باشد و در عین حال مناطق متفاوت را از هم تفکیک کند. به عبارت دیگر، قطعات باید در داخل خود همگن و تنها نماینده یک طبقه باشند نه ترکیبی از چند طبقه و در عین حال در کل تصویر، ناهمگنی و اختلاف بین پدیده‌های مجاور وجود داشته باشد (Definiense AG (b), 2006). ایجاد سلسله‌مراتب در قطعه‌بندی^{۱۱} به وسیله مشخصه مقیاس امکان‌پذیر است که در آن سطوح مختلفی از قطعات ایجاد می‌شود. در این سلسله‌مراتب، قطعات کوچک‌تر^{۱۲} همواره محاط در قطعات سطوح بالاتر^{۱۳} هستند. بر این اساس در این منطقه، یک قطعه‌بندی برای تفکیک طبقات کلی‌تر (والد^{۱۴}) و یک قطعه‌بندی فرعی برای طبقه‌بندی طبقات جزئی‌تر (وارث^{۱۵}) اجرا شد (شکل ۲).

با مدنظر قرار دادن موارد ذکر شده، حالت‌های مختلف قطعه‌بندی (ترکیب‌های بانندی مختلف، ضرایب وزنی متفاوت باندها و مشخصه‌های مختلف قطعه‌بندی) با آگاهی

۱۵۰ متر (۲۱۴۲×۱۴۲۸ پیکسل) از فریم مذکور است (شکل ۱-ج).

- پیش‌پردازش تصویر

داده‌های تصویری این دوربین، قابلیت زمین مرجع شدن مستقیم با استفاده از داده‌های GPS و IMU^۱ پرواز را دارند (معصومی، ۱۳۸۵). به عبارت دیگر، پارامترهای توجیه خارجی^۲ (X, Y, Z, ω, φ, κ) هنگام پرواز ثبت می‌شود و با در اختیار داشتن داده‌های تجهیزات نامبرده و بدون نیاز به نقطه کنترل زمینی، می‌توان عملیات مثلث‌بندی^۳ را انجام داد. به منظور تصحیح هندسی دقیق‌تر تصاویر در این تحقیق، علاوه بر داده‌های پروازی، از نقاط کنترل زمینی برداشت‌شده توسط DGPS^۴ نیز استفاده شد. علاوه بر باندهای طیفی اصلی، تصاویر پردازش‌شده مانند NDVI، HIS^۵ و PCA ایجاد و در فرایند قطعه‌بندی^۶ و طبقه‌بندی به کار رفت.

- قطعه‌بندی

قطعه‌بندی نوعی فرایند یکپارچه‌سازی پیکسل‌ها بر اساس همگنی قطعات یا پدیده‌های تصویری^۷ است و به کمک سه مشخصه رنگ/شکل، فشردگی/همواری^۸ و مقیاس^۹ کنترل می‌شود (Benz et al., 2004). "رنگ" به‌ویژه در تصاویر چندطیفی و تصاویری با توان رادیومتری زیاد، اهمیت زیادی دارد. در تصاویر پانکروماتیک، نقش "رنگ" اندک است. "شکل" در تصاویر دارای بافت قوی^{۱۰}، نقش مؤثری در بهبود نتیجه قطعه‌بندی دارد و به کمک مشخصه "فشردگی/همواری" کنترل می‌شود (Definiense AG (a), 2006). در چنین داده‌هایی، مشخصه "شکل" می‌تواند به حفظ لبه‌های هموار و شکل فشرده کمک کند. از نظر کیفی، چنین قطعاتی بهتر و مفیدتر از قطعات نامنظم و شاخه‌دارند (Baatz & Schape, 1999). هر چند که تصویر

- 1- Inertial Measurement Unit
- 2- Exterior Orientation Parameters
- 3- Triangulation
- 4- Differential Global Positioning System
- 5- Hue, Intensity and Saturation Transformation
- 6- Segmentation
- 7- Image Objects
- 8- Compactness/Smoothness
- 9- Scale Parameter
- 10- Strongly Textured

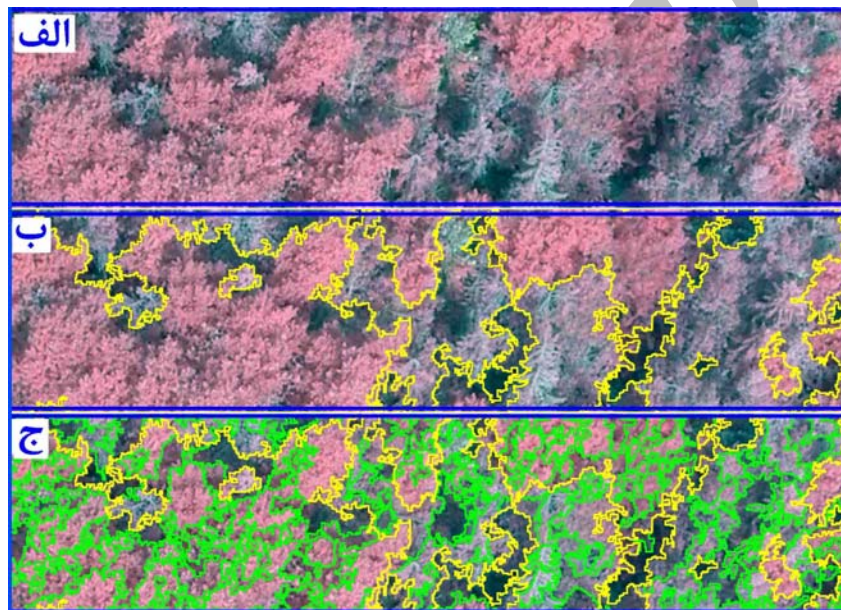
- 11- Hierarchical Image Object Network
- 12- Sublevel & Subobject
- 13- Superlevel & Superobject
- 14- Parent Class
- 15- Child Class

باندهای اصلی، تصاویر پردازش شده NDVI و Saturation که به ویژه برای تفکیک پهن برگان از سوزنی برگان مناسب بودند، با ضریب وزنی ۲ در قطعه بندی شرکت داده شدند.

لازم و به صورت هدفمند، آزمون شدند. مطلوب ترین قطعه بندی با مقادیر مشخصه های مندرج در جدول ۱ به دست آمد که در آن بیشتر قطعات همگن و تنها نماینده تاج یک طبقه خاص بودند. در این تحقیق، علاوه بر

جدول ۱- مقادیر مشخصه های مورد بررسی خشکه دارها در عرصه مورد بررسی

مقیاس	شکل (۰/۲)		رنگ
	همواری	فشرده گی	
۸۰۰	۰/۹	۰/۱	۰/۸



شکل ۲- بخشی از سلسله مراتب قطعه بندی: تصویر اصلی (الف)، قطعه بندی برای تفکیک طبقات والد (ب)، قطعه بندی برای تفکیک گونه های درختی (ج)

خشکه دار و سایه کامل بود. در این سطح، چون بخشی از تاج برخی گونه ها (QU, RU, PI) به دلیل قرار گیری در نور مستقیم خورشید، بسیار روشن و بخش دیگر تحت تأثیر سایه شاخه های بالاتر، تیره تر بود، هر کدام از این حالتها به عنوان طبقه مجزا تعریف شد (برای مثال QU in shadow, QU in full sun). اما در سلسله مراتب گروهی طبقات مجموع این دو طبقه، زیر عنوان کلی همان درخت (QU) قرار گرفت (شکل ۳-ج)

تعریف طبقات چنانچه در بخش قبلی بیان شد، قطعه بندی در دو سطح انجام گرفت: به این ترتیب که یک شبکه سلسله مراتب وراثتی طبقات^۱ ایجاد شد که در سطح بالاتر سه طبقه کلی (طبقات والد) پهن برگ، سوزنی برگ و سایه کامل (در طبقه بندی با نام های: Deep shade, Softwood, Hardwood) تعریف شد (شکل ۳-ب) و طبقات جزئی تر گونه های اصلی و غالب منطقه متشکل از QU^۲, RU^۳, PI^۴, CU^۵ و همچنین

1- Inheritance Class Hierarchy

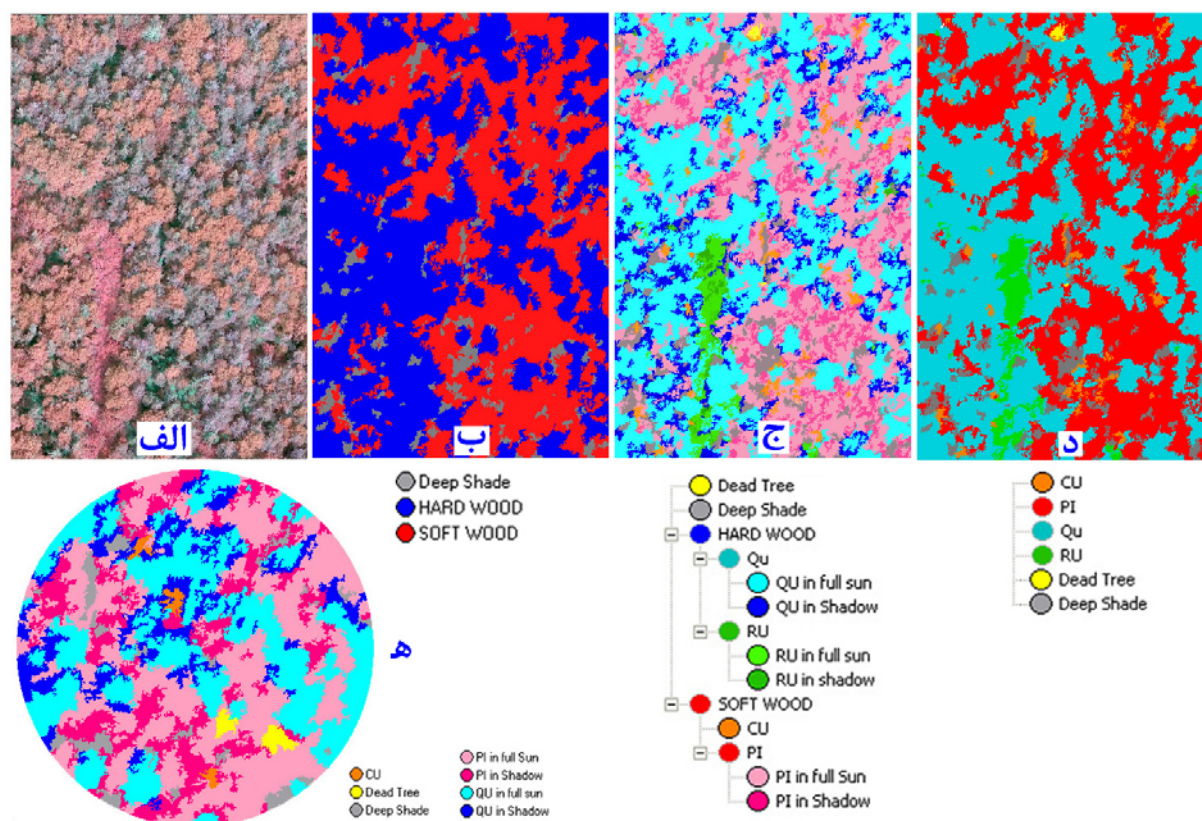
۲- بلوط

۳- تمشک

۴- کاج

۵- سرو نقره ای

6- Group Class Hierarchy



شکل ۳- مراحل طبقه‌بندی و سلسله‌مراتب متناظر هر طبقه: تصویر اصلی (الف)، نقشه طبقه‌بندی شده در سطح طبقات والد (ب)، نقشه طبقه‌بندی شده در سطح طبقات وارث (ج)، نقشه نهایی گونه‌های غالب پس از یکپارچه کردن طبقات بر اساس سلسله‌مراتب گروهی طبقات (د) و نقشه واقعیت زمینی (ه).

بهترین طبقه‌بندی انتخاب و نهایی شد. برای انتخاب بهترین حالت طبقه‌بندی از معیارهایی چون پایداری طبقه‌بندی^۳، تفکیک‌پذیری طبقات^۴ و ارزیابی صحت طبقه‌بندی، بر مبنای نمونه‌های تعلیمی و واقعیت زمینی استفاده شد. در ادامه و با این هدف که گونه‌های پهن‌برگ (QU, RU) فقط در محدوده طبقه HARDWOOD و درختان CU, PI تنها در محدوده طبقه Softwood طبقه‌بندی شوند، همه قطعات متصل به هم این طبقات کلی، یکپارچه شده و دوباره به‌عنوان قطعه‌بندی سطح بالاتر استفاده شد. سپس قطعه‌بندی مجدد با همان مشخصه‌ها و دخالت دادن قطعه‌بندی کلی حاصل از یکپارچه‌سازی یادشده، انجام گرفت و به این ترتیب یک قطعه‌بندی در سطح پایین‌تری محاط در قطعه‌بندی طبقات والد ایجاد و آماده طبقه‌بندی

- طبقه‌بندی شیء-پایه

این نوع طبقه‌بندی بر مبنای قطعه‌بندی صورت می‌گیرد. طبقات بر اساس یک سری توصیف‌گرها^۱ تشریح می‌شوند. این توصیف‌گرها می‌توانند بر مبنای ارزش طیفی (میانگین، انحراف معیار، نسبت، حداقل، حداکثر و...)، شکل (مساحت، محیط، طول، عرض، تقارن، راستا، تراکم، فشردگی، نرمی، گردی و...) و بافت هر یک از قطعات در هر کدام از باندهای ورودی باشند. همچنین برای توصیف یک طبقه می‌توان از ویژگی همراهی^۲ یعنی نحوه ارتباط با طبقات یا سطوح دیگر استفاده کرد (Definiense AG (a), 2006).

ابتدا یک طبقه‌بندی به‌روش نزدیک‌ترین همسایه در سطح طبقات وارث انجام گرفت. پس از آزمون توصیف‌گرها و باندهای مختلف و اصلاح نمونه‌های تعلیمی، در نهایت

3- Classification Stability
4- Class Separability

1- Features
2- Context

ضریب کاپا را برای هر یک از طبقات، محاسبه کرد. (Congalton, 1991; Lillesand & Kiefer, 2000). همزمان با جمع‌آوری اطلاعات برای تولید نقشه واقعیت زمینی، تعداد کافی از تک‌پایه‌های گونه‌های مختلف با پراکندگی مناسب در منطقه، شناسایی و نوع و موقعیت دقیق این درختان بر روی تاج آنها در تصویر نقشه چاپ شده، یادداشت شد تا به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی مورد استفاده قرار گیرند. این درختان همگی خارج از محدوده قطعه نمونه قرار داشتند تا در ارزیابی صحت نهایی وارد نشوند.

نتایج

استفاده از نقاط کنترل زمینی در تصحیح هندسی تصاویر، تأثیر مثبتی بر افزایش دقت آن داشت. مقایسه موقعیت تعدادی از پدیده‌های شاخص روی تصویر با موقعیت واقعی آنها در روی زمین نشان‌دهنده دقت مکانی خوب تصاویر تصحیح شده بود.

صحت کلی و ضریب کاپا در سطح طبقات والد (برای تفکیک پهن‌برگان از سوزنی‌برگان) به ترتیب ۹۴ درصد و ۰/۸۹ و برای طبقه‌بندی جزئی تر (۷ طبقه) به ترتیب ۵۶ درصد و ۰/۴۱ به دست آمد (جدول ۲). به دلیل نبود RU در داخل قطعه نمونه واقعیت زمینی، صحت این طبقه، ارزیابی نشد. بیشترین خطا مربوط به CU بود، چراکه سروهای داخل قطعه نمونه درست طبقه‌بندی نشده بودند. همچنین طبقه Dead Tree با طبقات PI و Deep shade تداخل داشت و تفکیک آن با صحت کمتری انجام گرفت.

قطعات جزئی تر شد. برای تشریح طبقات وارث، شرط عضویت در طبقه سطح بالاتر یا والد، متناظر با هر طبقه اعمال شد.

- تهیه نقشه واقعیت زمینی و نمونه‌های تعلیمی به‌روشنی میدانی

برای ارزیابی صحت، نقشه‌های طبقه‌بندی شده باید با یک نقشه واقعیت زمینی مقایسه شوند. به این منظور یک نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای به‌روشنی میدانی تهیه شد. عملیات میدانی در مهرماه ۱۳۸۸ با حضور در محل قطعه نمونه‌هایی که پیشتر روی تصویر مشخص شده بود، انجام گرفت. پس از یافتن مرکز قطعه نمونه با تطبیق تصویر نقشه چاپ شده و استفاده از دستگاه گیرنده DGPS، قطر و نوع گونه همه درختان قطورتر از ۱۵ سانتی‌متر در داخل قطعه نمونه‌ای دایره‌ای به شعاع ۳۰ متر (برابر با ۰/۲۸ هکتار و ۱۸ درصد مساحت منطقه تحقیقاتی) ثبت شد. برای تعیین موقعیت تک تک درختان، ابتدا فاصله و آзимوت هر درخت به ترتیب به وسیله متر لیزری و قطب‌نما اندازه‌گیری شد و بر اساس آن نقشه نقطه‌ای رقومی موقعیت درختان در قطعه نمونه تهیه شد. در مرحله بعد، تصویر نقشه قطعه نمونه با استفاده از تصویر UltraCam-D در مقیاس مناسب تولید و چاپ شد و پس از حضور مجدد در عرصه، با تعیین محدوده تاج هر درخت و اصلاح خطاها بر روی آن در عرصه، یک نقشه پلی‌گونی نوع درختان تهیه شد (شکل ۳-ه).

با مقایسه نقشه طبقه‌بندی شده با این نقشه، یک جدول خطا ایجاد شد تا به کمک آن بتوان معیارهای ارزیابی صحت مانند صحت تولیدکننده، صحت کاربر، صحت کلی و

جدول ۲- نتیجه ارزیابی صحت بر مبنای طبقات جزئی (۷ طبقه)

مجموع	خشکه‌دار	سایه کامل	بلوط در سایه	کاج در سایه	سرو نقره‌ای	کاج در نور	بلوط در نور	نقشه مبنا نقشه طبقه‌بندی شده
۱۸۰۳۲۷	۰	۴۷۴	۳۱۶۸۵	۹۳۵۵	۰	۶۱۰۶	۱۳۲۷۰۷	بلوط در نور
۱۹۹۸۵۳	۲۱۹۰	۲۰۲	۲۵۷۱	۶۲۹۰۲	۴۷۸۹	۱۲۶۳۷۰	۸۲۹	کاج در نور
۴۲۹۶	۰	۰	۰	۰	۰	۴۲۹۶	۰	سرو نقره‌ای
۸۸۰۵۷	۲۶۲۳	۴۹۱	۰	۱۵۲۱۳	۰	۶۹۷۳۰	۰	کاج در سایه
۶۹۳۷۰	۰	۰	۲۹۰۵۴	۸۰۶۶	۰	۱۰۸۲	۳۱۱۶۸	بلوط در سایه
۲۶۵۸۷	۰	۲۲۴۰۱	۰	۳۴۵۱	۰	۰	۷۳۵	سایه کامل
۱۱۸۷	۶۸۲	۰	۰	۰	۰	۵۰۵	۰	خشکه‌دار
۸۶۷۰	۰	۰	۵۳۳۱	۰	۰	۰	۳۳۳۹	طبقه‌بندی نشده
۵۷۸۳۴۷	۵۴۹۵	۲۳۵۶۸	۶۸۶۴۱	۹۸۹۸۷	۴۷۸۹	۲۰۸۰۸۹	۱۶۸۷۷۸	مجموع
	۰/۱۲۴۱	۰/۹۵۰۵	۰/۴۲۳۳	۰/۱۵۳۷	۰	۰/۶۰۷۳	۰/۸۷۶۳	صحت تولیدکننده
	۰/۵۷۴۶	۰/۸۴۲۶	۰/۴۱۸۸	۰/۱۷۲۸	۰	۰/۶۳۲۳	۰/۷۳۵۹	صحت کاربر
	۰/۱۲۲۳	۰/۹۴۸	۰/۳۴۴۷	۰/۰۰۱۶	-۰/۰۰۷۴	۰/۳۹۹۹	۰/۶۸۹۵	ضریب کاپا
							۰/۵۶۴۴	صحت کلی
							۰/۴۱۳۳	ضریب کاپای کلی

شد و ارزیابی صحت در قالب طبقات کلی تحت عنوان همان گونه انجام گرفت که نتیجه آن در جدول ۳ آمده است. بر این اساس، صحت کلی و ضریب کاپا برای تفکیک پنج طبقه نهایی PI, CU, QU, Dead Tree, Deep shade به ترتیب ۹۰ درصد و ۰/۸۲ به دست آمد.

بر اساس جدول ۲، تداخل طبقات یک گونه خاص در سایه و نور بسیار زیاد بود و این دو طبقه، اغلب به جای همدیگر طبقه‌بندی شده بودند و صحت طبقه‌بندی را کاهش دادند. بنابراین در مرحله بعد، در گونه‌هایی که بخشی از تاج آنها در سایه و بخشی در نور قرار داشت، این طبقات جزئی ادغام

جدول ۳- نتیجه ارزیابی صحت پس از ادغام طبقات جزئی و بر مبنای گونه‌های درختی اصلی (۵ طبقه)

مجموع	کاج	بلوط	خشکه‌دار	سایه کامل	سرو نقره‌ای	نقشه مبنا نقشه طبقه‌بندی شده	
۴۲۹۶	۴۲۹۶	۰	۰	۰	۰	سرو نقره‌ای	
۲۶۵۸۷	۳۴۵۱	۷۳۵	۰	۲۲۴۰۱	۰	سایه کامل	
۱۱۸۷	۵۰۵	۰	۶۸۲	۰	۰	خشکه‌دار	
۲۴۹۶۹۷	۲۴۶۰۹	۲۲۴۶۱۴	۰	۴۷۴	۰	بلوط	
۲۸۷۹۱۰	۲۷۴۲۱۵	۳۴۰۰	۴۸۱۳	۶۹۳	۴۷۸۹	کاج	
۸۶۷۰	۰	۸۶۷۰	۰	۰	۰	طبقه‌بندی نشده	
۵۷۸۳۴۷	۳۰۷۰۷۶	۲۳۷۴۱۹	۵۴۹۵	۲۳۵۶۸	۴۷۸۹	مجموع	
	۰/۸۹۳۰	۰/۹۴۶	۰/۱۲۴۱	۰/۹۵۰۵	۰	صحت تولیدکننده	
	۰/۹۵۲۴	۰/۸۹۹۵	۰/۵۷۴۶	۰/۸۴۲۶	۰	صحت کاربر	
	۰/۷۸۶۹	۰/۹۰۵	۰/۱۲۲۳	۰/۹۴۸	-۰/۰۰۷۴	ضریب کاپا	
						۰/۹۰۲۴	صحت کلی
						۰/۸۲۴۷	ضریب کاپای کلی

بحث

ایجاد سلسله‌مراتب قطعه‌بندی، در تفکیک پدیده‌های مختلف از نظر ابعاد بسیار مؤثر است. همچنین به مفسر امکان می‌دهد که طبقات جزئی‌تر را در محدوده طبقات کلی‌تر همان طبقه، طبقه‌بندی کند. برای مثال احتمال اینکه یک قطعه تصویری در داخل طبقه Hardwood به طبقه PI اختصاص داده شود، وجود ندارد، حتی اگر ویژگی آن بسیار شبیه PI باشد.

در مورد انتخاب لایه‌های مناسب برای قطعه‌بندی باید گفت استفاده از باند PCA₁ تأثیر مثبت معنی‌داری بر نتایج قطعه‌بندی نداشت، اما در روند طبقه‌بندی و توصیف طبقات استفاده شد.

قطعه‌بندی هم از نظر هندسی (انطباق دقیق مرز قطعات بر پدیده‌ها) و هم از نظر مفهومی (اختصاص هر قطعه تنها برای یک طبقه) قابل ارزیابی است (Yu et al., 2006). روش‌های مختلف ارزیابی نتایج قطعه‌بندی توسط محققینی چون Hoover, 1996 و Levin & Nazif, 1985; Zhang, 1996 بررسی شده‌اند، اما قابل اعتمادترین روش ارزیابی، تفسیر بصری و استفاده از چشم انسان است. بنابراین نتیجه هیچ‌نوع قطعه‌بندی پذیرفته نخواهد بود، مگر اینکه از دید مفسر راضی‌کننده باشد (Batz & Schape, 1999).

استفاده از بافت برای تفکیک پدیده‌های مختلف پوشش زمین، مانند تفکیک جنگل از بوته‌زار می‌تواند مفید باشد، اما در داخل طبقه جنگل، برای تفکیک گونه‌های مختلف درختی همواره تأثیر زیادی ندارد، زیرا که نمود تاج درختان (از نظر شکل و بازتاب) به دلیل وجود سایه، گپ، تفاوت در سن، ارتفاع، ابعاد و سلامت و شادابی، وضعیت درخت در آشکوب از نظر چیرگی^۱ و موقعیت درخت در فریم، حتی برای یک گونه خاص، بسیار متفاوت است و به وسیله بافت به راحتی تفکیک‌پذیر نیست و مشخصه "شکل" نیز برای طبقه‌بندی انواع پوشش گیاهی چندان کارایی ندارند. (Hirschmugl et al., 2007; Yu et al., 2006). در اختیار داشتن منحنی انعکاس طیفی گونه‌های مختلف و پیش‌آگاهی از چگونگی انعکاس طیفی آنها کمک بزرگی به تعریف طبقات می‌کند (عباسی و همکاران، ۱۳۸۸).

در روش شیء-پایه، امکانات و مشخصه‌های بسیار متنوعی برای توصیف یک طبقه به صورت همزمان وجود دارد، مانند امکان بهره‌گیری آسان از اطلاعات کمکی (به صورت تصویر یا نقشه موضوعی) و استفاده از روش طبقه‌بندی فازی. اما اینکه چه ترکیبی از مشخصه‌ها و با چه روش طبقه‌بندی و کدام داده‌های تصویری یا موضوعی و با چه وزنی بهترین نتیجه طبقه‌بندی را به دست می‌دهد، به شناخت و تسلط کافی بر داده‌های مورد استفاده و مشخصه‌های مورد نظر نیاز دارد (شتایی، ۱۳۸۲؛ قدیری، ۱۳۸۳، رفیعیان، ۱۳۸۸؛ Hoover, 1996; Ozdemir et al., 2008).

همچنین استفاده از داده‌های ارتفاعی مناسب و دقیق مانند LiDAR و DSM و DTM، در تجزیه و تحلیل این داده‌ها بسیار کمک‌کننده، مفید و اغلب ضروری است (Naesset & Gobakken, 2005; Baltsavias et al., 2007; Hirschmugl et al., 2007; Chang et al., 2008; Matthew & Ramanathan, 2008; Wang et al., 2008). اما این نوع اطلاعات، به‌ویژه در مناطق جنگلی ایران اغلب تهیه نشده‌اند و تهیه آنها نیازمند صرف هزینه بسیار زیادی است.

اندازه تفکیک رادیومتری تصویر مورد استفاده در این تحقیق ۱۶ بیت بود. این افزایش دامنه رادیومتری در مقایسه با داده‌های متداول که ۸ بیتی هستند، اطلاعات و جزئیات بیشتری از پدیده‌های پوشش زمین به دست می‌دهد. همچنین در مناطق به شدت روشن یا تاریک که در تصاویری با توان تفکیک رادیومتری کم قابل مشاهده نیستند، این تصاویر اطلاعات مفیدتری ارائه می‌کنند، البته حجم بسیار زیاد و زمان بر بودن پردازش از محدودیت‌های این تصاویر محسوب می‌شود (Leberl & Gruber, 2005).

بی‌گمان هر چه زمان اجرای عملیات میدانی تهیه نقشه واقعیت زمینی به زمان تصویربرداری نزدیک‌تر و تغییرات در این فاصله زمانی کمتر باشد، ارزیابی صحت، با اطمینان بیشتری انجام خواهد گرفت. در این تحقیق بازدید میدانی تنها یک سال بعد از تصویربرداری و از نظر فصلی، همزمان با تاریخ تصویربرداری انجام گرفت تا برخی تغییرات احتمالی فنولوژیک مانند تغییر رنگ پاییزی، شروع خزان یا

منابع

رفیعیان، امید، علی اصغر درویش صفت و ساسان بابایی کفاکی، ۱۳۸۸. ارزیابی روش طبقه‌بندی شیء-پایه تصاویر هوایی رقومی UltraCam-D با هدف کاربرد در جنگل (بررسی تصاویر برداشت‌شده از جنگل‌های شمال)، مجموعه مقالات سومین همایش ملی جنگل (جنگل و توسعه پایدار، چالش‌ها و راهکارها)، انجمن جنگل‌بانی ایران، کرج.

سهرابی، هرمز، ۱۳۸۸. کاربرد تفسیر چشمی و عددی تصاویر هوایی در آماربرداری جنگل، پایان‌نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ۱۰۰ص.

شتائی جویباری، شعبان، ۱۳۸۲. بررسی امکان تهیه نقشه تپ‌های جنگلی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: جنگل آموزشی پژوهشی خیرودکنار نوشهر)، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران، ۱۵۵ص.

عباسی، مژگان، علی اصغر درویش صفت، مایکل الرت شپمن، محمدرضا مروی مهاجر و هوشنگ سبحانی، ۱۳۸۸. بررسی تفاوت انعکاس طیفی برگ مهم‌ترین گونه‌های درختی جنگل‌های خزری با استفاده از طیف‌سنجی زمینی، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۷(۴): ۵۸۰-۵۶۸.

فرزانه، علی، ۱۳۸۵. عکس‌های هوایی دیجیتال (رقومی) از جنگل‌های شمال کشور، ماهنامه طبیعت سبز، سال اول، پیش شماره، ۱۷-۱۵.

فیضی‌زاده، بختیار، ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های پیکسل پایه و شیء‌گرا در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تبریز، ۱۱۲ص.

قدیری، علی، ۱۳۸۳. ارزیابی تأثیر پارامترهای قطعه‌بندی چند مقیاسه در دقت طبقه‌بندی شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۰۸ص.

معصومی، حمید، ۱۳۸۵. کالیبراسیون هندسی دوربین رقومی هوایی UltraCam-D، فصل‌نامه سپهر، سازمان جغرافیایی، دوره چهاردهم، ۵۵: ۳۲-۲۵.

بذردهی درختان در نحوه نمایش آنها در تصویر تغییری ایجاد نکند.

تشخیص گونه‌های درختی با اطمینان زیاد همواره برای جنگلبانان ضروری بوده است. صحت رضایت‌بخش در این زمینه بیش از ۹۵ درصد است (Korpela & Tokola, 2006). دستیابی به این صحت برای تولید نقشه‌های بزرگ‌مقیاس در جنگل‌های معتدل که چندین گونه از یک خانواده، یا جنس‌های مختلف، در یک توده قرار دارند و اغلب تاج درختان در هم تنیده شده، بسیار مشکل است. صحت طبقه‌بندی شیء-پایه به کمک داده‌هایی با توان تفکیک مکانی زیاد، به کیفیت قطعه‌بندی، اندازه نمونه‌ها، کیفیت نمونه‌برداری، چارچوب طبقه‌بندی و توزیع مکانی و درجه آمیختگی پوشش گیاهی وابسته است (رفیعیان، ۱۳۸۸؛ Yu et al., 2006).

دستیابی به صحت کلی ۹۰ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۲ با استفاده از این تصاویر در تشخیص گونه‌های درختی اصلی در جنگلکاری‌های آمیخته، به روش شیء-پایه، امیدوارکننده است، ولی از آنجا که این تصاویر در جنگل‌های ایران به‌تازگی و به‌ندرت به‌کار گرفته شده‌اند، آزمایش و کسب تجارب بیشتر، به‌ویژه در جنگل‌های منحصر به فرد و خاص شمال ضروری است. بنابراین به تدریج، باید این تصاویر و روش شیء-پایه در مناطق دیگر و ساختارهای متفاوتی از جنگل‌های هیرکانی، ارزیابی شوند.

سپاسگزاری

از مدیریت محترم سازمان جغرافیایی به دلیل تأمین تصاویر استفاده شده و همکاری صمیمانه به‌منظور بهره‌گیری از تجارب کارشناسان محترم آن سازمان صمیمانه سپاسگزاریم، به‌ویژه از همکاری‌های بی‌دریغ آقایان مهندس معصومی، عنایتی، عابدی، جبلی، خزائی و نیز مهندس اسماعیلی که همواره از تجارب ارزنده‌شان در طول مدت تحقیق استفاده شد.

- segmentation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 7(5): 570-585.
- Lillesand, T. & R. Kiefer, 2000. Remote sensing and image interpretation, New York, USA: John Wiley & Sons, 736 pp.
- Matthew, V. & S. Ramanathan, 2008. Seasonal effect on tree species classification in an urban environment using hyperspectral data, LiDAR, and an object-oriented approach, *Sensors*, 8: 3020-3036.
- Millette, T. L. & C. D. Hayward, 2004. Detailed forest stand metrics taken from AIMS-1 sensor data, <http://www.mtholyoke.edu/dept/earth/facilities/Millette-b.pdf>
- Naaset, E. & T. Gobakken, 2005. Estimating forest growth using canopy metrics derived from airborne laser scanner data, *Remote sensing of environment*, 96(3-4): 453-465.
- Ozdemir, I., D. Norton, U. Y. Ozkan, A. Mert & O. Senturk, 2008. Estimation of tree size diversity using object-oriented texture analysis and ASTER imagery, *Sensors*, 8: 4709-4724
- Schiewe, J., 2002. Segmentation of high-resolution remotely sensed data concepts, application and problems, in Symposium on geospatial theory, processing and applications, Ottawa, Canada, 235-242.
- Yu, Q., P. Gong, N. Clinton, G. Biging, M. Kelly & D. Schirokauer, 2006. Object-Based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(7): 799-811
- Wang, Z., R. Boesch & C. Ginzler, 2008. Integration of high resolution aerial images and airborne LIDAR data for forest delineation, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing, China.
- Zhang, Y., 1996. A Survey on evaluation methods for image segmentation, *Pattern Recognition*, 29(8): 1334-1346.
- Baltsavias, E., H. Eisenbeiss, D. Akca, L.T. Waser, M. Kuckler, C. Ginzler & P. Thee, 2007. Modelling fractional shrub/tree cover and multi-temporal changes using high resolution digital surface model and CIR-aerial images, <Http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/devrim-pub1.html>
- Baatz, M. & A. Schape, 1999. Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic network, in Proc. of 2nd Int. symposium on operationalization of remote sensing, Ensched, ITC, 148-157.
- Benz, U.C., P. Hoffmann, G. Willhauck, I. Lingenfelder & M. Heynen, 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., H. K. Olsson, J. Olofsson & J. Wallerman, 2007. Tree species discrimination by aid of template matching applied to digital air photos, <http://www.rali.boku.ac.at/fileadmin/-/H857-VFL/workshops/3drsforestry/presentations/7.4-Olsson.pdf>
- Chang, A., J. O. Kim, K. Ryu & Y. I. Kim, 2008. Comparison of methods to estimate individual tree attributes using color aerial photographs and LiDAR data, *WSEAS Transactions on Signal Processing*, 4(1): 21-27
- Congalton, R. G., 1991. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
- Definiense AG (a), 2006. <http://www.definiense.com/Userguide.pdf>, 249 pp.
- Definiense AG (b), 2006. <http://www.definiense.com/Referencebook.pdf>, 122pp.
- Hirschmugl, M., M. Ofner, J. Raggam & M. Schardt, 2007. Single tree detection in very high resolution remote sensing data, <http://www.sciencedirect.com>
- Hoover, A., 1996. An experimental comparison range image segmentation algorithms, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18(7): 673-689.
- Korpela, I. & T. Tokola, 2006. Potential of aerial images-based monoscopic and multiview single-tree forest inventory- a simulation approach, *Forest Science*, 52(3): 136-147.
- Leberl, F. & M. Gruber, 2005. UltraCam-D; Understanding some noteworthy capabilities, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo05/090Leberl.pdf>.
- Levine, M.D. & A.M. Nazif, 1985. Dynamic measurement of computer generated image

Evaluation of UltraCam-D images capability for tree species identification using object-based method in the even-aged mixed forestation

A.A. Darvishsefat^{*1}, O. Rafieyan², S. Babaii Kafaki³ and A. Mataji⁴

¹Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

²Ph.D Student, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, I. R. Iran

³Assistant Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, I. R. Iran

⁴Associate Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, I. R. Iran

(Received: 6 April 2010, Accepted: 18 May 2010)

Abstract

One important point in using all the capabilities of digital aerial images in forest management is the implementation of optimized classification methods and extraction of useful information from the forest. Object-based classification reduces local spectral variations caused by crown textures, gaps and shadows. In addition, with spectrally homogeneous segments of images, both spectral values and spatial properties, such as size, shape and texture can be explicitly utilized as features for further classification. The aim of this study is to evaluate the possibility of object-based method for the identification of major tree species and mapping them using aerial digital (UltraCam-D) images in forested areas. After pre-processing of images, a trial and error method was employed to achieve the ideal segmentation results. In order to construct the hierarchical image object network, segmentation was conducted stepwise at two levels. The classification hierarchy was developed and NN classification was performed. Accuracy assessment of the produced maps, comparing with field reference data showed the overall accuracy and Kappa coefficient of 90% and 0.82, respectively. To evaluate the data and the method, similar studies seem to be necessary in different forest structures. Furthermore, classification of tree species composition with such high level of detail and accuracy would be suitable to combine with DSM, DTM or LiDAR data.

Key words: UltraCam-D, Object-based classification, Tree species identification, Even-aged mixed forestation, Hierarchical segmentation.