

ارزیابی طبقه‌بندی‌های پیکسل-پایه و شیء-پایه تصاویر هوایی برای تشخیص گونه‌های درختی (مطالعه موردی: جنگلکاری چمستان نور)

امید رفیعیان^{۱*}، علی اصغر درویش‌صفت^۲، ساسان بابایی کفاکی^۳ و اسداله متاجی^۴

^۱ عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، گروه مهندسی محیط زیست

^۲ استاد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۳ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه جنگلداری

^۴ دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه جنگلداری

(تاریخ دریافت: ۸۹ / ۷ / ۲۸، تاریخ پذیرش: ۸۹ / ۱۰ / ۲۲)

چکیده

تصاویر هوایی رقومی جنگل‌های شمال که با دوربین هوایی پیشرفته UltraCamD گرفته شده‌اند، منبع بسیار با ارزشی برای تولید اطلاعات مفید جنگل هستند. ویژگی‌های خاص این تصاویر، ضرورت تعیین روش بهینه طبقه‌بندی آنها را مطرح می‌سازد. در این تحقیق داده‌های ادغام‌شده این سنجنده در چهار باند طیفی ۱۶ بیتی و با اندازه تفکیک مکانی ۷ سانتی‌متر مربوط به سال ۱۳۸۷ از یک منطقه جنگلکاری در چمستان نور، با هدف تشخیص گونه‌های درختی، تجزیه و تحلیل شدند. در تصحیح هندسی دقیق تصاویر، علاوه بر داده‌های GPS و IMU همراه تصویر، از نقاط کنترل زمینی اخذشده با DGPS نیز استفاده شد. بارسازی‌های مناسب انجام گرفت و باندهای حاصل به همراه باندهای اصلی به کار گرفته شدند. نمونه‌های تعلیمی یکسان در هر دو روش طبقه‌بندی استفاده شدند. نقشه واقعیت زمینی برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی‌ها، به روش میدانی تهیه شد. در روش پیکسل-پایه، طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر تشابه انجام گرفت. در روش شیء-پایه، ابتدا قطعه‌بندی تصویر با ترکیب‌های باندی و ضرایب مناسب شاخص‌های رنگ، شکل، فشردگی، همواری و مقیاس به اجرا درآمد و در ادامه، طبقه‌بندی به روش نزدیک‌ترین همسایه و بر مبنای منطق فازی در سطوح طبقات والد و وارث اجرا و بهترین حالت طبقه‌بندی با استفاده از معیارهای پایداری طبقه‌بندی، تفکیک‌پذیری طبقات و ارزیابی صحت تعیین شد. ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل از دو روش در مقایسه با داده‌های مبنای نشان‌دهنده برتری معنی‌دار از نظر صحت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی شیء-پایه است. ضمن اینکه نقشه‌های حاصل از آن، حالت نامناسب فلفل‌نمکی موجود در نقشه‌های پیکسل-پایه را ندارد. به علاوه روش شیء-پایه با بهره‌گیری از اطلاعات مکانی موجود در تصویر، در کنار اطلاعات طیفی آن، در تفکیک گونه‌هایی که تشابه طیفی زیادی با هم داشتند، بسیار موفق عمل کرد. صحت طبقه‌بندی شیء-پایه بر روی داده‌های با توان تفکیک مکانی زیاد، وابسته به نوع طبقات و ماهیت تفکیک‌پذیری آنها، کیفیت قطعه‌بندی، اندازه نمونه‌ها، کیفیت نمونه‌برداری، چارچوب و قالب طبقه‌بندی و توزیع مکانی و درجه آمیختگی جنگل است.

واژه‌های کلیدی: تصویر هوایی رقومی، طبقه‌بندی پیکسل-پایه و شیء-پایه، تشخیص گونه‌های درختی، سلسله‌مراتب طبقات.

مقدمه و هدف

تعلق یا تعلق یک پدیده تصویری به طبقه‌ای خاص به کار می‌روند. همچنین برای توصیف یک طبقه می‌توان از ویژگی‌هایی مانند بافت و همراهی (نحوه ارتباط با طبقات یا سطوح دیگر)، استفاده کرد (Baatz & Schape, 1999). تحقیقات انجام گرفته در قالب مقایسه دو روش طبقه‌بندی یادشده، اغلب نشان‌دهنده برتری نسبی روش شیء-پایه از نظر صحت، دقت و همگنی اطلاعات تولیدی بوده است (شتایی جویباری و همکاران، ۱۳۸۶، Baatz & Schape, 1999; Chang et al., 2008; Wang et al., 2004) به تفکیک گونه‌های مختلف مانگرو با تصاویر IKONOS به هر دو روش ذکرشده و تلفیقی از آنها پرداختند و نتایج را مقایسه کردند. نتایج ارزیابی صحت، بیانگر صحت کلی کمتر و ضریب کاپای بیشتر برای روش شیء-پایه بود. چرا که برخی گونه‌ها با صحت بیشتر و بعضی با صحت کمتری تفکیک شده بودند. (Dehvari & Heck, 2009) نیز که از تصاویر رقومی هوایی برای تولید نقشه پوشش زمین استفاده کردند، با وجود کسب صحت بیشتر برای روش شیء-پایه، نشان دادند که بعضی پدیده‌ها با صحت کمتری شناسایی و تفکیک شدند.

محققان زیادی به استخراج اطلاعات کمی و کیفی جنگل (مانند مساحت، حجم در هکتار، تعداد در هکتار، درصد تاج‌پوشش جنگل، شاخص سطح برگ، نوع گونه‌ها) براساس تصاویر رقومی هوایی پرداخته‌اند (Brandtberg, 1999; Laliberte et al., 2004; Ozdemir et al., 2008; Baltsavias et al., 2007). در ایران نیز با فراهم شدن امکان دسترسی به تصاویر دوربین رقومی UltraCamD، کیفیت و کاربرد این تصاویر، تنها طی پژوهش‌های معدودی، در زمینه‌های مختلف از جمله جنگلداری ارزیابی شد (معصومی، ۱۳۸۵؛ سهرابی، ۱۳۸۸؛ رفیعیان و همکاران، ۱۳۸۸). در این راستا، تحقیق حاضر به مقایسه طبقه‌بندی پیکسل-پایه با شیء-پایه به منظور تشخیص نوع گونه‌های درختی اصلی با استفاده از این تصاویر در یک منطقه جنگلداری شده در شمال کشور پرداخته است.

امروزه سنجش از دور ابزاری ضروری و اجتناب‌ناپذیر در پژوهش‌های منابع طبیعی محسوب می‌شود. سنجش از دور گذشته از اینکه موجب افزایش سرعت و دقت و کاهش هزینه‌ها در پژوهش‌های جنگلداری می‌شود، ارائه ویژگی‌های کمی و کیفی جنگل را به صورت نقشه با دقت مکانی و صحت زیادی که پیشتر میسر نبود، ممکن می‌سازد. روش سنتی استخراج نیمه خودکار اطلاعات از داده‌های دورسنجی، طبقه‌بندی پیکسل-پایه بوده است که در اصل، برای تصاویری با قدرت تفکیک مکانی متوسط و کم طراحی شده بود. تحقیقات زیادی به منظور استخراج ویژگی‌های کمی و کیفی جنگل به کمک این روش انجام گرفته است (درویش‌صفت، ۱۳۷۶؛ عباسی، ۱۳۸۰؛ Lillesand & Kiefer, 2008). در بررسی‌هایی که با تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی زیاد و به روش پیکسل-پایه صورت گرفته، به برخی از کاستی‌های این روش از جمله ایجاد حالت لفل‌نمکی^۱ در نتایج طبقه‌بندی اشاره شده است (Yu et al., 2007; Baltsavias et al., 2006). برای رفع این اشکالات، از دهه ۱۹۷۰ میلادی ایده طبقه‌بندی کننده‌های طیفی-مکانی با عنوان استخراج و طبقه‌بندی پدیده‌های همگن^۲ مطرح شد (Ketting & Landgrebe, 1976)، اما کاربرد روش یاد شده به دلیل نبود نرم‌افزار مناسب و تفکیک مکانی کم تصاویر، محدود بود، تا اینکه افزایش روزافزون قدرت تفکیک مکانی در تصاویر ماهواره‌ای و به‌ویژه ظهور و گسترش سنجنده‌های رقومی هوایی از یک سو و توسعه نرم‌افزار eCognition (Definiens Imaging, 2002) از سوی دیگر، موجب کاربرد گسترده‌تر روش طبقه‌بندی شیء-پایه از اوایل قرن بیست و یکم شد (Dehvari & Heck, 2009; Leberl & Gruber, 2005). در این روش، اساس تجزیه و تحلیل‌ها به جای پیکسل، مجموعه‌ای از پیکسل‌ها با عنوان پدیده‌های تصویری است و طبقه‌بندی با طبقه‌بندی کننده‌های نرم^۳ که بر پایه منطق فازی بنا شده‌اند، انجام می‌گیرد. به این مفهوم که توابع عضویت چندبعدی^۴ بین صفر و یک، برای عدم

1- Salt and Pepper Effect

2- Homogeneous Objects

3- Soft Classifier

4- Multidimensional Membership Functions.

مواد و روش‌ها

- منطقه تحقیق

این پژوهش در منطقه چمستان شهرستان نور در استان مازندران انجام گرفت که جزء محدوده جنگل‌های جلگه‌ای منطقه رویشی هیرکانی محسوب می‌شود. اما به دلیل تخریب در گذشته، بخش‌هایی از آن با گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ جنگلکاری شده است. منطقه، مسطح و ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۲۰۰ متر است. تحقیق حاضر در دو منطقه ۱/۵ هکتاری از این جنگل‌های دستکاشت ۲۰ ساله انجام گرفت که توده یک‌آشکوبه و به‌نسبت همسالی را تشکیل می‌دهند. منطقه ۱ اغلب شامل بلندمازو *Quercus castaneifolia* (QU) و کاج تدا *Pinus taeda* (PI) با آمیختگی گروهی، به‌همراه تک‌پایه‌های پراکنده سرو نقره‌ای *Cuppressus arizonica* (CU) و بوته‌های متراکم تمشک *Rubus fruticosos* (RU) است. در منطقه ۲ علاوه بر گونه‌های یادشده، درختان لیلکی *Gleditsia caspica* (GL)، توت *Morus alba* (MO) شب‌خسب *Albizia julibrissin* (AL) افرا پلت *Acer velutinum* (AC) و ملج *Ulmus carpinifolia* (UL) گونه‌های درختی اصلی منطقه هستند. در این منطقه ضمن تنوع بیشتر، آمیختگی گونه‌ها نیز به‌جز بلندمازو، بیشتر به‌صورت انفرادی یا در گروه‌های کوچک است.

- داده‌ها

در این تحقیق از تصاویر UltraCamD استفاده شد. این دوربین هوایی دارای چهار باند طیفی در محدوده‌های طیفی آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک و یک باند پانکروماتیک است. اندازه فیزیکی پیکسل معادل ۹ میکرون در باند پانکروماتیک است که به ارائه توان تفکیک مکانی بسیار زیاد منجر می‌شود (Leberl & Gruber, 2005). تصویر به‌کاررفته در این تحقیق، در چهار باند طیفی به‌صورت ۱۶ بیتی، اخذشده در ۲۶ مهر ۱۳۸۷ به‌صورت ادغام‌شده با باند پانکروماتیک است. هر فریم با مقیاس اسمی ۸۰۰:۱ و اندازه پیکسل ۷ سانتی‌متری، منطقه‌ای به ابعاد ۸۰۰×۵۵۰ متر را پوشش می‌دهد. منطقه تحقیقاتی، دو پنجره به ابعاد ۱۰۰×۱۵۰ متر (۲۱۴۲×۱۴۲۸ پیکسل) از یک فریم است (شکل ۱-الف و ۲-الف).

- پیش‌پردازش داده‌ها

داده‌های این دوربین دارای قابلیت زمین‌مرجع کردن مستقیم تصاویر با استفاده از GPS^۱ و IMU^۲ هستند (معصومی، ۱۳۸۵). به‌عبارت دیگر شاخص‌های توجیه خارجی^۳ (X, Y, Z, ω, φ, κ) در هنگام پرواز ثبت می‌شود و با در اختیار داشتن داده‌های تجهیزات یاد شده و بدون نیاز به نقطه کنترل زمینی می‌توان عملیات مثلث‌بندی را انجام داد. در این تحقیق به‌منظور تصحیح هندسی دقیق‌تر تصاویر، علاوه بر شاخص‌های توجیه خارجی، از نقاط کنترل زمینی اخذشده با DGPS (به‌صورت پردازش ثانویه) نیز استفاده شد. علاوه بر باندهای طیفی اصلی، تصاویر پردازش‌شده مانند NDVI^۴ (IR-R/IR+R) و HIS^۵ و PCA^۶ براساس چهار باند طیفی موجود، ایجاد شده و در فرایند قطعه‌بندی^۷ و طبقه‌بندی، استفاده شدند.

- تعریف طبقات

به‌منظور طبقه‌بندی شیء-پایه در منطقه ۱، یک شبکه سلسله‌مراتب وراثتی طبقات^۸ ایجاد شد که در سطح بالاتر شامل سه طبقه کلی (طبقات والد^۹) متشکل از پهن‌برگ، سوزنی‌برگ و سایه کامل هستند (شکل ۱-۵) و طبقات فرعی یا وارث^{۱۰}، گونه‌های اصلی را شامل می‌شوند (شکل ۱-ز). در منطقه ۲ طبقه‌بندی تنها در یک سطح (گونه‌های درختی) انجام گرفت که در شکل ۲-ج آمده‌اند. در هر دو روش طبقه‌بندی، چون بخشی از تاج درختان به دلیل قرارگیری در نور مستقیم خورشید بسیار روشن و بخش دیگر تحت تأثیر سایه شاخه‌های بالاتر، تیره‌تر بود، هرکدام از این حالت‌ها به‌عنوان طبقه فرعی تعریف شدند (برای مثال QU in shadow, QU in full sun). اما در نقشه‌های نهایی، این دو طبقه یکپارچه شدند و تحت عنوان کلی همان درخت (QU) قرار گرفتند (شکل ۱-ز و ۵-د). برای طبقه‌بندی پیکسل-پایه،

- 1- Global Positioning System
- 2- Inertial Measurement Unit
- 3- Exterior Orientation Parameters
- 4- Normalized Difference Vegetation Index
- 5- Hue, Intensity and Saturation Transformation
- 6- Principle Component Analysis
- 7- Segmentation
- 8- Inheritance Class Hierarchy
- 9- Parent Class
- 10- Child Class

- قطعه‌بندی

قطعه‌بندی، فرایند یکپارچه‌سازی پیکسل‌ها براساس همگنی پدیده‌های تصویری است و براساس سه شاخص کنترل می‌شود: رنگ/شکل، فشردگی/همواری^۴ و شاخص مقیاس (Batz & Schape, 1999). قطعات باید در داخل خود همگن بوده و تنها نماینده یک طبقه باشند، نه ترکیبی از چند طبقه و در عین حال باید در کل تصویر، ناهمگنی و اختلاف بین پدیده‌های مجاور وجود داشته باشد (Definiens Imaging, 2006). ایجاد شبکه سلسله‌مراتب قطعه‌بندی^۵ با استفاده از شاخص مقیاس امکان‌پذیر است که در آن سطوح مختلفی از قطعات ایجاد می‌شوند. در این سلسله‌مراتب، قطعات کوچک‌تر^۶ همواره محاط در قطعات سطوح بالاتر^۷ هستند.

حالت‌های مختلف قطعه‌بندی (ترکیب‌های باندی مختلف، ضرایب وزنی متفاوت باندها و شاخص‌های مختلف قطعه‌بندی) با آگاهی لازم و به‌صورت هدفمند، آزمون شدند. نتایج هر یک از قطعه‌بندی‌ها با نقشه پلی‌گنی تعدادی از تاج‌هایی که با تفسیر بصری، رقومی شده بودند، به‌صورت کیفی مقایسه شد (Batz & Schape, 1999; Schiewe, 2002; Ozdemir *et al.*, 2008) و در نهایت شاخص‌های مطلوب طبق جدول ۱ به‌دست آمد. در این تحقیق، علاوه بر باندهای اصلی، تصاویر پردازش‌شده NDVI و Saturation که به‌ویژه برای تفکیک پهن‌برگان از سوزنی‌برگان مناسب بودند، با ضریب وزنی ۲ در قطعه‌بندی شرکت داده شدند.

طبقات مشخص‌شده در شکل‌های ۱-ج و ۲-ب مد نظر قرار گرفتند.

- انتخاب نمونه‌های تعلیمی

برای هر دو روش طبقه‌بندی (پیکسل-پایه و شیء-پایه)، انتخاب یک رشته از نمونه‌های تعلیمی به‌عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات ضروری بود (Dehvari & Heck, 2009; Wang *et al.*, 2004). بنابراین نمونه‌هایی از طبقات به‌تعداد مناسب و متناسب با فراوانی و پراکندگی هر طبقه در منطقه و براساس اطلاعات میدانی انتخاب شدند. این نمونه‌ها همگی خارج از محدوده پلات واقعیت زمینی قرار داشتند تا در ارزیابی صحت وارد نشوند. نمودار توزیع ارزش طیفی نمونه‌های تعلیمی در تمامی باندهای طیفی بررسی شد که از توزیع نرمال برخوردار بودند (شتایی جویباری، ۱۳۸۲). از روش‌ها و شاخص‌های مختلف آماری مثل ارزیابی مقدار همپوشانی دامنه پراکنش طیفی طبقات مختلف و نیز شاخص‌های تبدیل‌شده دایورجنس^۱ و فاصله باتاچاریا برای ارزیابی کیفیت و تفکیک‌پذیری طیفی نمونه‌های تعلیمی استفاده شد.

- طبقه‌بندی پیکسل-پایه

ترکیب‌های مختلفی از باندهای اصلی و پردازش‌شده در فرایند طبقه‌بندی استفاده شدند و پس از ارزیابی نتایج طبقه‌بندی به‌ازای هر یک از مجموعه باندها، در نهایت مجموعه باندی مناسب انتخاب شد و طبقه‌بندی به‌روش حداکثر تشابه انجام گرفت و در نهایت به‌منظور حذف تک‌پیکسل‌های مزاحم، از فیلتر مد^۲ استفاده شد (شکل ۱-ج).

- طبقه‌بندی شیء-پایه

در این روش اساس تجزیه و تحلیل‌ها به‌جای پیکسل، مجموعه‌ای از پیکسل‌ها با عنوان پدیده‌های تصویری است که در نتیجه فرایند قطعه‌بندی حاصل می‌شوند. در مرحله بعد بر اساس نمونه‌های تعلیمی یا تعریف حد آستانه^۳ بر مبنای منطق فازی، طبقه‌بندی انجام می‌گیرد. دو مرحله قطعه‌بندی و طبقه‌بندی شیء-پایه در ادامه تشریح شده است:

4- Compactness/Smoothness

5- Hierarchical Image Object network

6- Sublevel & Subobject

7- Superlevel & Superobject

1- Transformed Divergence

2- Mode Filter

3- Threshold

جدول ۱- مقادیر شاخص‌های نهایی منظور شده برای قطعه‌بندی در منطقه تحقیق

مقیاس	همواری	فشرده‌گی	شاخص‌ها		مناطق
			رنگ	شکل	
۸۰۰	۰/۹	۰/۱	۰/۲	۰/۸	۱
۶۰۰	۰/۹	۰/۱	۰/۱	۰/۹	۲

- طبقه‌بندی

بزرگ‌مقیاس و استفاده از دستگاه گیرنده GPS، قطر و نوع گونه کلیه درختان قطورتر از ۱۵ سانتی‌متر در داخل پلاتی دایره‌ای به شعاع ۳۰ متر (معادل ۰/۲۸ هکتار و ۱۸ درصد مساحت منطقه) ثبت شد (شکل‌های ۱-الف و ۲-الف). به دلیل کارکرد ضعیف دستگاه گیرنده GPS در زیر تاج پوشش متراکم جنگل، برای تعیین موقعیت تک‌تک درختان، ابتدا فاصله و آزمون هر درخت به ترتیب با استفاده از متر لیزری و قطب‌نما اندازه‌گیری و براساس آن، نقشه نقطه‌ای رقومی موقعیت درختان در قطعه نمونه تهیه شد. پس از نمایش بر روی تصویر، در مرحله بعد تصویر قطعه نمونه در مقیاس مناسب چاپ شد. 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 (شکل‌های ۱-ح و ۲-د).

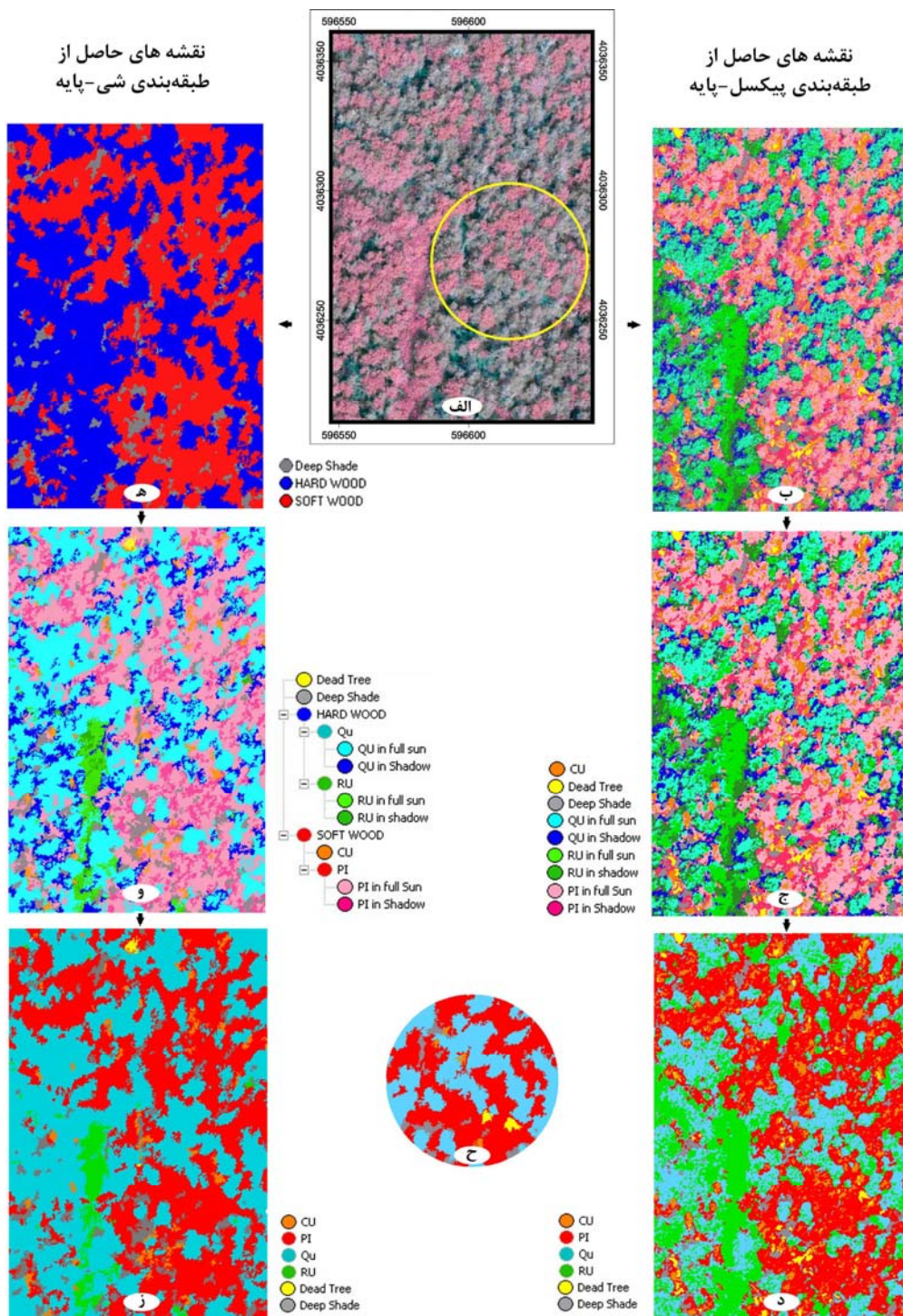
نتایج

شکل‌های ۱ و ۲ نتایج طبقه‌بندی به هر دو روش را در مراحل مختلف نشان می‌دهند. مقایسه بصری نقشه‌های حاصل از دو روش، به وضوح نشان می‌دهد که نتیجه طبقه‌بندی شیء-پایه حالت یکدست‌تر و نزدیک به واقعیت موجود در طبیعت را ارائه می‌دهد، در حالی که در نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی پیکسل-پایه، گروه‌های کوچکی از پیکسل‌ها که به دلیل اختلاف طیفی با پیکسل‌های مجاور به طبقه دیگری اختصاص داده شده‌اند، به وفور به چشم می‌خورند. البته اینها افزون بر تک‌پیکسل‌هایی هستند که به دلیل نمایش تصویر در ابعاد کوچک و اعمال فیلتر، مشاهده نمی‌شوند. تنوع بیشتر طبقات در منطقه ۲ نیز در نقشه‌های مذکور مشهود است. همچنین با مقایسه نقشه‌های حاصل از دو روش در منطقه ۲ (شکل ۲-ب و ۲-ج)، ناتوانی روش پیکسل-پایه در شناسایی و تفکیک لیلکی به وضوح نمایان است.

ابتدا یک طبقه‌بندی به روش نزدیک‌ترین همسایه در سطح طبقات وارث (سوزنی‌برگان، پهن‌برگان و سایه کامل) انجام گرفت. پس از آزمون توصیف‌گرها^۱ و باندهای مختلف و اصلاح نمونه‌های تعلیمی، در نهایت بهترین طبقه‌بندی انتخاب و نهایی شد. برای انتخاب بهترین حالت طبقه‌بندی از معیارهایی چون پایداری طبقه‌بندی^۲ (بر مبنای میانگین فاصله بین مقادیر عضویت برای اولویت اول و دوم در سیستم فازی)، تفکیک‌پذیری طبقات و ارزیابی صحت طبقه‌بندی بر مبنای نمونه‌های تعلیمی و واقعیت زمینی استفاده شد. با توجه به صحت زیاد نقشه در سطح طبقات والد و با این هدف که گونه‌های پهن‌برگ فقط در محدوده طبقه پهن‌برگان و درختان سوزنی‌برگ تنها در محدوده طبقه سوزنی‌برگان طبقه‌بندی شوند، تمامی قطعات متصل به هم این طبقات کلی، یکپارچه شده و به عنوان قطعه‌بندی سطح بالاتر منظور شدند. سپس یک قطعه‌بندی مجدد با همان شاخص‌ها و دخالت دادن قطعه‌بندی یکپارچه‌شده، انجام گرفت و به این ترتیب یک قطعه‌بندی در سطح پایین‌تری محاط در قطعه‌بندی طبقات والد پدید آمد و برای طبقه‌بندی طبقات فرعی به روش نزدیک‌ترین همسایه آماده شد. برای تشریح طبقات وارث، شرط عضویت در طبقه والد نیز اعمال شد. بر مبنای تحقیقات مشابه و تجارب کسب‌شده، باندهای پردازش‌شده Saturation, NDVI, PCA نیز در فرایند طبقه‌بندی آزمون شده و به کار برده شدند.

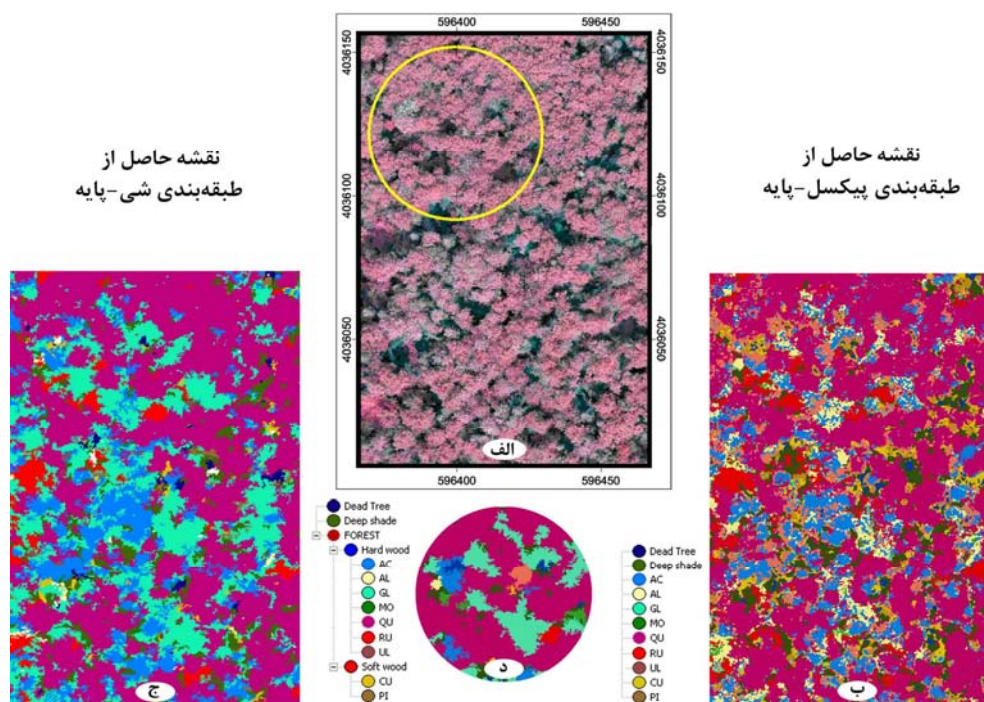
- تهیه نقشه واقعیت زمینی

برای تهیه نقشه واقعیت زمینی به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل، عملیات میدانی در مهر ۱۳۸۸ انجام گرفت. پس از یافتن مرکز قطعه نمونه، با تطبیق تصویر چاپ‌شده



HARDWOOD	پهن‌برگ	CU	سرو نقره‌ای	PI	کاج تدا
SOFT WOOD	سوزنی‌برگ	Dead Tree	خشک‌دار	RU	تمشک
		Deep Shade	سایه کامل	QU	بلندمازو

شکل ۱- نتایج طبقه‌بندی و نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای در منطقه ۱: تصویر منطقه تحقیق و موقعیت واقعیت زمینی به شکل دایره زرد (الف)، نقشه حاصل از طبقه‌بندی به روش پیکسل-پایه با طبقات فرعی (ب)، اعمال فیلتر مد و حذف تک‌پیکسل‌های مجزا (ج)، یکپارچه کردن طبقات و تولید نقشه نهایی به روش پیکسل-پایه (د)، نقشه حاصل از طبقه‌بندی شیء-پایه در سطح طبقات والد (ه)، نقشه حاصل در سطح طبقات وارث به همراه سلسله‌مراتب طبقات (و)، یکپارچه کردن طبقات فرعی (در سایه یا نور) و تولید نقشه نهایی به روش شیء-پایه (ز)، نقشه واقعیت زمینی در سطح طبقات یکپارچه شده (ح) (این شکل به صورت رنگی در وبگاه مجله موجود است)



HARDWOOD	پهن برگ	Dead Tree	خشک‌دار	QU	کاج ندا
SOFT WOOD	سوزنی برگ	QU	بلندمازو	RU	تمشک
GL	لیلکی	CU	سرو نقره‌ای	AL	شب خسب
AC	افرا	MO	توت	UL	ملج

شکل ۲- نتایج طبقه‌بندی و نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای در منطقه ۲: تصویر منطقه تحقیق و موقعیت قطعه نمونه واقعیت زمینی به شکل دایره زرد (الف)، نقشه نهایی حاصل از طبقه‌بندی پیکسل-پایه پس از اعمال فیلتر مد به همراه طبقات مربوطه (ب)، نقشه نهایی حاصل از طبقه‌بندی شی-پایه به همراه سلسله مراتب گروهی طبقات (ج)، نقشه واقعیت زمینی در سطح طبقات نهایی (د) (این شکل به صورت رنگی در وبگاه مجله موجود است)

با تمشک و همچنین کاج با خشک‌دار نیز مشهود بوده و موجب افزایش خطا در طبقه‌بندی این گونه‌ها شده است. تفکیک‌پذیری طیفی پایین در نمونه‌های تعلیمی گونه‌های یادشده براساس شاخص فاصله باتاچاریا نیز مؤید این مطلب است. درختان بلندمازو و کاج بیشترین فراوانی را در منطقه دارند و بیشترین صحت را به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج ارزیابی صحت دو روش طبقه‌بندی در دو منطقه، در جدول‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ آمده است. البته به دلیل ابعاد بزرگ جدول‌ها و پرهیز از تکرار مطالب، جدول‌های ۴ و ۵ به صورت خلاصه نمایش داده شده‌اند.

در منطقه ۱ در روش پیکسل-پایه، صحت کلی و ضریب کاپا^۱ برای طبقه‌بندی گونه‌های اصلی به ترتیب ۶۷ درصد و ۰/۴۸ به دست آمد (جدول ۲). طبق این جدول، به دلیل نبود تمشک در داخل قطعه نمونه واقعیت زمینی، این طبقه مورد ارزیابی صحت واقع نشد. همچنین در مورد سرو نقره‌ای بیشترین خطا پیش آمده و اغلب به اشتباه به عنوان کاج ندا طبقه‌بندی شده است. به دلیل تشابه طیفی این دو گونه و با توجه به تاکید بر بازتاب طیفی در این روش، این نتیجه دور از انتظار نیست. در این زمینه، اختلاط بلندمازو

1- Kappa Index of Agreement (KIA)

جدول ۲- نتیجه ارزیابی صحت روش پیکسل-پایه در منطقه ۱ بر مبنای گونه‌های درختی

مجموع	کاج تدا	بلندمازو	خشکه‌دار	سایه کامل	تمشک	سرو نقره‌ای	نقشه مینا
							نقشه طبقه‌بندی شده
۴۳۷۸۶	۳۸۹۰۶	۱۶۴۰	۳۵۵	۳۲	۰	۱۸۵۳	سرو نقره‌ای
۷۵۶۸۴	۹۸۵۷	۶۵۲۹۴	۰	۵۱۱	۰	۲۲	تمشک
۱۷۷۳۲	۵۰۰۱	۱۹۷۸	۳۳	۱۰۷۰۱	۰	۱۹	سایه کامل
۶۷۲۳	۴۱۰۷	۰	۲۲۰۱	۴۱۵	۰	۰	خشکه‌دار
۱۶۹۶۳۱	۲۱۸۶۶	۱۴۴۸۲۲	۵۹	۲۶۵۴	۰	۲۳۰	بلندمازو
۲۶۵۷۹۱	۲۲۷۳۳۹	۲۲۶۸۵	۲۸۴۷	۹۲۵۵	۰	۲۶۶۵	کاج تدا
	۳۰۷۰۷۶	۲۳۷۴۱۹	۵۴۹۵	۲۳۵۶۸	۰	۴۷۸۹	مجموع
	۷۴/۰۳	۶۰/۹۹	۴۰/۰۵	۴۵/۴۰	۰	۳۸/۶۹	صحت تولیدکننده (درصد)
	۸۵/۵۳	۸۵/۳۷	۳۲/۷۳	۶۰/۲۴	۰	۴۳۳	صحت کاربر (درصد)
	۰/۵۳	۰/۴۵	۰/۴۰	۰/۴۴	۰	۰/۳۳	ضریب کاپا
						۶۶/۹۱	صحت کلی (درصد)
						۰/۴۹	ضریب کاپای کلی

درصد و ۰/۸۲ برای گونه‌های اصلی بود (جدول ۳). براساس این جدول هیچ یک از سروهای نقره‌ای داخل واقعیت زمینی، درست طبقه‌بندی نشد و خشکه‌دارها با کاج تدا داخل داشتند و تفکیک آنها با صحت کمتری انجام گرفت. از سوی دیگر در مقایسه با روش پیکسل-پایه، مقدار بسیار کمتری از بلندمازوها به اشتباه به عنوان تمشک طبقه‌بندی شده بودند که با توجه به تشابه طیفی این دو گونه، نشان از برتری روش شیء-پایه در استفاده از ویژگی‌های غیرطیفی دارد.

در طبقه‌بندی شیء-پایه در منطقه ۱، صحت کلی و ضریب کاپا در سطح طبقات والد (برای تفکیک پهن‌برگان از سوزنی‌برگان) به ترتیب ۹۴ درصد و ۰/۸۹ به دست آمد. با توجه به این صحت زیاد، طبقه‌بندی نهایی به گونه‌ای انجام گرفت که گونه‌های درختی تنها اجازه حضور در داخل محدوده طبقه والد خود را داشته باشند. به این ترتیب از اختلاط گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ جلوگیری شد. نتیجه ارزیابی صحت نقشه حاصل از طبقه‌بندی شیء-پایه نشان‌دهنده صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب برابر با ۹۰

جدول ۳- نتیجه ارزیابی صحت روش شیء-پایه در منطقه ۱ بر مبنای گونه‌های درختی

مجموع	کاج تدا	بلندمازو	خشکه‌دار	سایه کامل	تمشک	سرو نقره‌ای	نقشه مینا
							نقشه طبقه‌بندی شده
۴۲۹۶	۴۲۹۶	۰	۰	۰	۰	۰	سرو نقره‌ای
۸۶۷۰	۰	۸۶۷۰	۰	۰	۰	۰	تمشک
۲۶۵۸۷	۳۴۵۱	۷۳۵	۰	۲۲۴۰۱	۰	۰	سایه کامل
۱۱۸۷	۵۰۵	۰	۶۸۲	۰	۰	۰	خشکه‌دار
۲۴۹۶۹۷	۲۴۶۰۹	۲۲۴۶۱۴	۰	۴۷۴	۰	۰	بلندمازو
۲۸۷۹۱۰	۲۷۴۲۱۵	۳۴۰۰	۴۸۱۳	۶۹۳	۰	۴۷۸۹	کاج تدا
	۳۰۷۰۷۶	۲۳۷۴۱۹	۵۴۹۵	۲۳۵۶۸	۰	۴۷۸۹	مجموع
	۸۹/۳۰	۹۴/۶۰	۱۲/۴۱	۹۵/۰۵	۰	۰	صحت تولیدکننده (درصد)
	۹۵/۲۴	۸۹/۹۵	۵۷/۴۶	۸۴/۲۶	۰	۰	صحت کاربر (درصد)
	۰/۷۸	۰/۹۰	۰/۱۲	۰/۹۴	۰	-۰/۰۰۷	ضریب کاپا
						۹۰/۲۴	صحت کلی (درصد)
						۰/۸۲	ضریب کاپای کلی

۰/۲۷ به دست داد که به طور خلاصه در جدول ۴ آمده است. بر اساس این جدول، کاج تدا در داخل محدوده واقعیت

در منطقه ۲ نقشه حاصل از طبقه‌بندی پیکسل-پایه، صحت کلی و ضریب کاپا را به ترتیب برابر با ۵۱ درصد و

زمینی وجود نداشت و مورد ارزیابی صحت قرار نگرفت. در این منطقه، تشخیص لیلکی و توت به روش پیکسل-پایه با بیشترین خطا همراه است. لیلکی بیشترین اختلاط را با

شب‌خسب، افرا، ملج و بلندمازو دارد و توت‌ها اغلب به‌عنوان تمشک طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۴- خلاصه نتیجه ارزیابی صحت روش پیکسل-پایه در منطقه ۲ برمبنای گونه‌های درختی

نقشه مینا نقشه طبقه‌بندی شده	بلندمازو	لیلکی	افرا	سرونقره‌ای	تمشک	خشکه‌دار	توت	شب‌خسب	ملج	سایه کامل
صحت تولیدکننده (درصد)	۷۰/۱۵	۳/۹۴	۲۸/۷۴	۳۹/۳۸	۸/۸۴	۱۷/۷۲	۹۵/۴۸	۸۱/۵۸	۵۵/۹۲	۴۹/۳۳
صحت کاربر (درصد)	۸۶/۸۵	۴۱/۸۱	۱۱/۹۵	۹/۲۶	۸/۵۰	۴۹/۰۱	۲۲/۴۳	۳/۸۵	۶/۹۸	۶۳/۷۷
ضریب کاپا	۰/۴۰	۰/۰۲	۰/۱۹	۰/۳۸	۰/۵۵	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۸۰	۰/۵۰	۰/۴۷
صحت کلی (درصد)	۵۰/۸۴									
ضریب کاپای کلی	۰/۲۷									

سرو نقره‌ای و ملج موجود در نقشه واقعیت زمینی، صحیح تشخیص داده نشدند و بیشترین خطا را دارند، در صورتی که به روش پیکسل-پایه، بخشی از آنها (هرچند با صحت کم) درست تشخیص داده شده‌اند که چون از فراوانی بسیار کمی برخوردارند، تاثیر زیادی در کاهش صحت کلی نقشه نداشته‌اند.

نقشه حاصل از طبقه‌بندی شیء-پایه در منطقه ۲، صحت کلی و ضریب کاپای بیشتری نسبت به روش پیکسل-پایه ارائه داد که به ترتیب ۷۰ درصد و ۰/۵۰ بود (جدول ۵). افزایش صحت در گونه‌هایی که تشابه طیفی زیادی داشته و در روش قبلی با خطای زیادی تفکیک شده بودند، نشان از بهره‌گیری این روش از اطلاعات با ارزش غیرطیفی دارد. نکته مهم در این جدول این است که هیچ یک از درختان

جدول ۵- خلاصه نتیجه ارزیابی صحت روش شیء-پایه در منطقه ۲ برمبنای گونه‌های درختی

نقشه مینا نقشه طبقه‌بندی شده	بلندمازو	لیلکی	افرا	سرونقره‌ای	تمشک	خشکه‌دار	توت	شب‌خسب	ملج	سایه کامل
صحت تولیدکننده (درصد)	۷۴/۸۸	۷۳/۵۰	۷۵/۱۷	۰	۸۹/۸۴	۱۶/۲۸	۱۸/۲۹	۴۰/۱۵	۰	۵۵/۹۸
صحت کاربر (درصد)	۹۱/۸۹	۵۲/۰۲	۲۴/۱۲	۰	۲۳/۹۸	۴۱/۵۸	۹۵/۴۸	۷۴/۵۴	۰	۹۱/۴۴
ضریب کاپا	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۴۷	-۰/۰۰۷	۰/۹۰	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۴۷	-۰/۰۰۰۲	۰/۵۶
صحت کلی (درصد)	۶۹/۸۱									
ضریب کاپای کلی	۰/۵۰									

بحث

با مقایسه نتایج تحقیق حاضر (صحت کلی بین ۵۰ تا ۹۰ درصد) و تحقیقات مشابه، می‌توان نتایج حاصل را تا حدودی هم‌سطح ارزیابی کرد. برای مثال در تحقیقی با استفاده از تصویر رقومی هوایی با اندازه پیکسل ۲۵ سانتی‌متری، تفکیک سه طبقه کاج، نوئل و پهن‌برگان با صحت کلی ۷۶ درصد به‌روش نزدیک‌ترین همسایه صورت گرفت

روش پیکسل-پایه در هر دو منطقه، نقشه‌هایی با صحت کمتر نسبت به روش شیء-پایه تولید کرد. ضمن اینکه ایجاد حالت فلفل‌نمکی در این روش از موانع اصلی کاربرد آن بر روی تصاویر با توان تفکیک مکانی زیاد محسوب می‌شود (Baltsavias et al., 2007; Yu et al., 2006).

حجم عظیمی از اطلاعات رقومی (به دلیل ابعاد کوچک و عمق زیاد رادیومتری پیکسل‌ها) است. استفاده از داده‌های ارتفاعی مناسب و دقیق که اغلب بر پایه^۲ LiDAR تهیه می‌شوند، در تجزیه و تحلیل این تصاویر بسیار کمک‌کننده، مفید و اغلب ضروری است (Baltsavias *et al.*, 2007; Korpela *et al.*, 2007; Chang *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2008; Dehvari & Heck, 2009)، اما این نوع اطلاعات، به‌ویژه در مناطق جنگلی ایران اغلب تهیه نشده‌اند و تهیه آنها بسیار پرهزینه است. این تحقیق در یک منطقه کوچک جنگلکاری شده یک آشکوبه انجام گرفت. این در حالی است که تولید چنین نقشه‌های بزرگ‌مقیاسی با صحت زیاد در جنگل‌های معتدله، که چندین گونه از جنس‌های مختلف در یک توده قرار دارند و اغلب تاج درختان درهم تنیده شده، بسیار مشکل است. از آنجا که این تصاویر در جنگل‌های ایران به‌تازگی و به‌ندرت، استفاده شده‌اند، آزمون و کسب تجارب بیشتر به‌ویژه در جنگل‌های منحصر به فرد و خاص شمال ضروری است. بنابراین نتایج این تحقیق در حال حاضر به کل جنگل‌های شمال تعمیم‌پذیر نیست و به‌عنوان قدم بعدی، باید این تصاویر و روش شیء-پایه و همچنین دو روش طبقه‌بندی به‌کار گرفته شده در این تحقیق، در مناطق دیگر و نیز در ساختارهای متفاوتی از جنگل‌های هیرکانی ارزیابی و مقایسه شود.

سپاسگزاری

به این وسیله از مدیریت محترم سازمان جغرافیایی به دلیل تأمین تصاویر هوایی و همکاری صمیمانه به‌منظور بهره‌گیری از تجارب کارشناسان محترم آن سازمان کمال تشکر را داریم. به‌ویژه از همکاری‌های بی‌دریغ آقایان مهندس معصومی، عنایتی، عابدی، جبللی، خزائی و اسماعیلی که همواره از تجارب ارزنده‌شان در طول مدت تحقیق استفاده شد، قدردانی می‌شود.

منابع

(Groesz & Kastdalen, 2007) و یا تفکیک چهار گونه توس، صنوبر لرزان، نوئل و کاج در یک توده طبیعی ۸۰ ساله با تصاویر هوایی و پس از آزمون سه روش مختلف قطعه‌بندی، با صحت ۷۷ درصد، به انجام رسید (Erikson, 2004). مقدار صحت، در تحقیقات مشابه دیگر، حدود ۴۰ تا ۷۵ درصد بود (Brandtberg, 1999; Haara & Haarala, 2002).

صحت طبقه‌بندی شیء-پایه با داده‌های دارای توان تفکیک مکانی زیاد، وابسته به نوع طبقات و ماهیت تفکیک‌پذیری آنها، کیفیت قطعه‌بندی، اندازه نمونه‌ها، کیفیت نمونه‌برداری، چارچوب و قالب طبقه‌بندی^۱ و توزیع مکانی و درجه آمیختگی پوشش گیاهی است (رفیعیان، ۱۳۸۸; Yu *et al.*, 2006). دستیابی به صحت کمتر در منطقه ۲ نسبت به منطقه ۱ به دلیل تنوع زیاد و آمیختگی شدید گونه‌ها بوده و حتی روش شیء-پایه نیز با وجود توانایی‌ها و امکانات منحصر به فرد، قادر به تفکیک تک‌درختان یا گروه‌های کوچک درختی با دقت زیاد نبوده و برخی گونه‌ها را با صحت کمتری نسبت به روش پیکسل-پایه تفکیک کرده است. جدول‌های ارزیابی صحت در اغلب موارد، رابطه مستقیمی بین فراوانی گونه‌ها و صحت آنها ارائه دادند (Wang *et al.*, 2004). بنابراین گونه‌های فراوان با آمیختگی گروهی در سطوح به نسبت وسیع و یکپارچه، با صحت بیشتری در مقایسه با تک درختان پراکنده جدا می‌شوند. ضمن اینکه صحت کم به دست آمده در مورد گونه‌های کمیاب در منطقه را نمی‌توان اصل کلی قلمداد کرد و تعمیم داد. درباره این گونه‌ها باید در مناطق جنگلی دیگری که از فراوانی مناسبی برخوردارند، ارزیابی و قضاوت شود.

نگاهی به تحقیقات مشابه از نظر اندازه تفکیک مکانی تصاویر به‌کار رفته و مقیاس تحقیقات، نشان می‌دهد که اغلب آنها در مناطق کوچک اجرا شده‌اند (Baltsavias *et al.*, 2007; Korpela *et al.*, 2007; Schiewe *et al.*, 2009; Dehvari & Heck, 2001). انتخاب مناطق کوچک برای تحقیق، به دلیل امکان پرداختن عمیق‌تر و با جزییات بیشتر به منطقه تحقیق، ابعاد کوچک پدیده‌های مورد تحقیق و محدودیت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در پردازش

- Proc. 2nd Int. symposium on operationalization of remote sensing, Enschede, ITC, 148-157.
- Brandtberg, T., 1999. Automatic individual tree-based analysis of high spatial resolution remotely sensed data, PhD. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 155 pp.
- 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.
- Definiens Imaging GmbH, 2002. eCognition User Guide: Multiresolution Segmentation, http://www.definiensimaging.com/courses/03_segmentation%20I/1segmentation_I.htm
- Definiens Imaging GmbH, 2006. Definiens Professional5 User Guide, <http://www.definiens.com/Userguide.pdf>, 249 pp.
- Dehvari, A. & R.J. Heck, 2009. Comparison of object-based and pixel based infrared airborne image classification methods using DEM thematic layer, *Journal of Geography and Regional Planning*, 2(4): 086-096.
- Erikson, M., 2004. Segmentation and classification of individual tree crowns, PhD. thesis, Centre for Image Analysis, Acta universitatis agriculturae sueciae, Silvestria.
- Groesz F.J. & L. Kastdalen, 2007. Mapping trees and thicket with optical images, oppdrags rapport (5), Hedmark University, 36 pp.
- Haara, A. & M. Haarala, 2002. Tree species classification using semi-automatic delineation of trees on aerial images., *Scandinavian Journal of Forest Resources*, (17): 556-565.
- Ketting, R.L. & D.A. Landgrebe, 1976. Classification of multispectral image data by extraction and classification of homogeneous objects, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 14(1):19-26.
- Korpela, I., B., Dahlin, H. Schafer, E. Bruun, F. Haapaniemi, J. Honkasalo, S. Ilvesniemi, V. Kuutti, M. Linkosalmi, J. Mustonen, M. Salo, O. Suomi, & H. Virtanen, 2007. Single-tree forest inventory using LiDAR and aerial images for 3D tree top positioning, species recognition, height and crown width estimation, ISPRS Workshop on Laser Scanning, Finland.
- Laliberte, A.S., A. Rango, K.M. Havstad, G.F. Paris, R.F. Beek, R. McNelly & A.L. Gonzales, 2004. Object-oriented image analysis for mapping درویش صفت، علی اصغر، ۱۳۷۶. مقایسه قابلیت داده‌های ماهواره‌ای لندست و اسپات جهت تهیه نقشه جنگل و تیپ‌بندی آن، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۰(۱): ۶۸-۶۱.
- رفیعیان، امید، علی اصغر درویش صفت و ساسان بابایی کفاکی، ۱۳۸۸. ارزیابی روش طبقه‌بندی شیء-پایه تصاویر هوایی رقومی UltraCamD با هدف کاربرد در جنگل (بررسی تصاویر برداشت شده از جنگل‌های شمال)، در لوح فشرده 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، رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ۱۰۰ص.
- شتایی جویباری، شعبان، ۱۳۸۲. بررسی امکان تهیه نقشه تیپ‌های جنگلی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: جنگل آموزشی پژوهشی خیرودکنار نوشهر)، رساله دکتری، دانشگاه تهران، ۱۵۵ص.
- شتایی جویباری، شعبان، علی اصغر درویش صفت و هوشنگ سبحانی، ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی شیء-پایه و پیکسل-پایه تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی تیپ‌های جنگل، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۰(۳): ۸۶۹-۸۸۱.
- عباسی، مزگان، ۱۳۸۰. بررسی تهیه نقشه تیپ راش با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ در سری چلیز جنگل خیرودکنار نوشهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۴۳ص.
- معصومی، حمید، ۱۳۸۵. کالیبراسیون هندسی دوربین رقومی هوایی UltraCamD، فصل‌نامه سپهر، سازمان جغرافیایی، دوره چهاردهم، ۵۵: ۲۵-۳۲.
- 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

shrub encroachment from 1937 to 2003 in southern New Mexico, *Remote Sensing of Environment*, 86: 312-323.

Leberl, F. & M. Gruber, 2005. UltraCam-D; Understanding some noteworthy capabilities, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo05/090Leberl.pdf>.

Lillesand T.M. & R.W. Kiefer, 2008. Remote Sensing and Image Interpretation, 5th edition, John Wiley and Sons, inc. USA, ISBN: 0471255157, 736 pp.

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 Proc. Symposium on geospatial theory, processing and applications, Ottawa, Canada, 235-242.

Schiewe, J., L. Tufte & M. Ehlers, 2001. Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing, *GIS-Geographische Informations Systeme*. 6: 34-39.

Wang, L., W.P. Sousa & P. Gong, 2004. Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery, *International journal of Remote sensing*, 25(24): 5655-5668.

Wang, Z., R. Boesch & C. Ginzler, 2008. Integration of high resolution aerial images and airborne LIDAR data for forest delineation, in Proc. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing, China.

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.

Evaluation of pixel-based and object-based classification methods for tree identification using aerial images (Case study: a forestation in Chamestan-Nur)

O. Rafieyan^{*1}, A.A. Darvishsefat², S. Babaii³ and A. Mataji⁴

¹Member of Scientific Board, Department of Environmental Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, I. R. Iran

²Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

³Assistant Prof., Department of Forestry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran

⁴Associated Prof., Department of Forestry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran

(Received: 19 October 2010, Accepted: 12 January 2011)

Abstract

Digital images which have been acquired by UltraCamD advanced aerial camera from Northern forests of Iran have potentially valuable data for obtaining useful information. In this study a pan-sharpened imagery (in 4 bands with 16 bit spectral and 7 cm spatial resolution) collected in 2008 from a forestation area near the town of Nur, was analyzed for tree identification. On-board GPS/IMU parameters along with ground control points using DGPS were applied to ortho-rectify the image precisely. Appropriate enhancement methods were accomplished and different band sets were utilized based on original and derivative images. The same training sets were utilized for both pixel-based and object-based classification methods. Reference map was produced through fieldwork for assessment of the accuracy of resulted maps. In pixel-based method supervised maximum likelihood classification was carried out. For object-based classification, segmentation was conducted stepwise at two levels in order to construct a hierarchical image object network. Initially various alternatives of segmentation with different color, shape, compactness, smoothness and scale parameters were tried. The classification hierarchy was developed and Nearest Neighbor classifier based on Fuzzy logic, using integration of different object features was performed. By examination of different features and band sets along with the revising training areas, the optimum classification framework was established based on Class separability, Best classification results, Class stability and Accuracy assessment. The comparison of the resulted maps with reference data showed that object-based approach produced significantly higher overall accuracy and Kappa index. Meanwhile the resulted maps indicated the nonexistence of "salt and pepper" effect, like pixel-based results. Furthermore object-based method separate properly the species mixed spectrally, considering spatial information. The accuracy of detailed vegetation classification with very high-resolution imagery is highly dependent upon the type and separability of the classes, segmentation quality, sample size, sampling quality, classification framework and ground vegetation distribution and mixture.

Key words: Digital aerial camera, Pixel-based & Object-based classifications, Tree species identification, Class hierarchy.