



تهیه نقشه روشنیه تاجی جنگل‌های خزری با استفاده از داده‌های پهپاد (مطالعه موردی: جنگل شصت کلاته گرگان)

شمیم امینی^{۱*}، شعبان شتایی جویباری^۲، محمدهادی معیری^۳ و رامین رحمانی^۴

^۱ دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
^۲ استاد گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
^۳ دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
^۴ دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۲۲)

چکیده

تهیه نقشه روشنیه‌ها با استفاده از روش‌های دقیق و داده‌های مناسب برای درک بهتر ساختار جنگل و مدیریت آن ضروری است. هدف این پژوهش، بررسی و مقایسه روش‌های استخراج روشنیه در تهیه نقشه روشنیه‌های تاجی با استفاده از داده‌های پهپاد در بخشی از توده مدیریت‌شده طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت کلاته) بوده است. مدل ارتفاعی تاج با استفاده از مدل رقومی سطح تاج حاصل از داده‌های پهپاد و مدل رقومی زمین حاصل از داده‌های لایدار استخراج شد. استخراج روشنیه‌ها با روش‌های آستانه‌گذاری مدل ارتفاعی تاج (ارتفاع و شیب ثابت و ارتفاع نسبی) و طبقه‌بندی شیء پایه مدل ارتفاعی تاج و اورتوفتوموزائیک پهپاد انجام گرفت. نقشه واقعیت زمینی نقطه‌ای و محدوده‌ای با استفاده از برداشت زمینی و تفسیر بصری اورتوفتوموزائیک پهپاد تهیه شد. ویژگی‌های محدوده‌ای روشنیه (مساحت، محیط و پیچیدگی شکل) محاسبه شد. صحت نقطه‌ای و تطابق هندسه محدوده‌ای روشنیه‌های استخراجی با نقشه واقعیت زمینی ارزیابی شد. نتایج ارزیابی صحت نقطه‌ای نشان داد که به‌کارگیری روش آستانه شیب ۶۰ درصد با صحت کلی ۹۱/۷ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۷ دارای بهترین نتیجه بوده است. در ارزیابی تطابق محدوده‌ای، بیشترین تطابق روشنیه‌های استخراج‌شده با روشنیه‌های واقعیت زمینی در آستانه ارتفاع نسبی و آستانه شیب ۶۰ درصد به دست آمد. کمترین میانگین خطای برآورد پیچیدگی شکل روشنیه، با آستانه شیب ۷۰ درصد مدل ارتفاعی تاج (۰/۱۵) و کمترین میانگین خطای برآورد مساحت (۳۳/۷۶ متر مربع) و محیط (۱۶/۸۰ متر) در روش طبقه‌بندی شیء پایه مشاهده شد. به‌طور کلی چنانچه تطابق هندسی محدوده‌ای روشنیه‌ها مدنظر باشد، روش طبقه‌بندی شیء پایه با صحت کلی (۸۹ درصد)، می‌تواند روشنیه‌هایی با تطابق مناسب و کمترین خطای برآورد محدوده ترسیم کند.

واژه‌های کلیدی: آستانه‌گذاری، پهپاد، شیء پایه، قطعه‌بندی، مدل ارتفاعی تاج.

مقدمه

حاصل استقرار زادآوری، ترکیب جنگل، چرخه مرگومیر و برهم‌خوردگی‌هاست. برهم‌خوردگی‌ها رویدادهایی با منشأ طبیعی یا انسانی هستند که رشد، تکثیر یا انتشار گیاه یا بخشی از پوشش گیاهی را متأثر می‌سازند (Sefidi & Sadeghi, 2021)

جنگل‌های شمال کشور تنوع زیستی و ساختاری پیچیده‌ای دارند که تنها با شناخت کامل این بوم‌سازگان می‌توان به مدیریت بهینه و درست آنها امیدوار بود (Amiri et al., 2009). ساختار جنگل

سرنشین یا پهپادها^۲ (UAV) به عنوان پلتفرمی جدید از منابع دورسنجی به‌کلی تحول یافت. پهپادها ویژگی‌هایی دارند که استفاده از آنها را در عرصه‌های جنگلی توجیه می‌کند که از آن جمله می‌توان به انعطاف‌پذیری در برنامه‌ریزی پرواز، کیفیت و تراکم زیاد داده‌ها و امکان استفاده از الگوریتم‌های خودکار در پردازش‌ها اشاره کرد (Nasiri et al., 2020). همچنین برداشت تصاویر با قدرت تفکیک زیاد، پیشرفت در دید کامپیوتری و توسعه مدل‌های فتوگرامتری ساختار حرکت‌مبنا^۳ (SfM) امکان تولید ساختارهای سه‌بعدی با قدرت تفکیک بسیار زیاد و داده‌های طیفی جنگل را از تصاویر پهپاد فراهم می‌کند. این فرایند قابلیت ارزیابی و اندازه‌گیری ساختار جنگل در سطح تک‌درخت را با هزینه‌ای کمتر از منابع معمول دورسنجی مثل تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و داده‌های لایدار فراهم می‌کند (Gu et al., 2020).

از سویی دیگر، تهیه نقشه روشن‌ها با استفاده از داده‌های دورسنجی از طریق روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که هر یک دارای مزایا و معایبی است. بررسی و معرفی روش‌های مناسب به تهیه نقشه روشن‌ها برای مدیریت جنگل کمک زیادی می‌کند. یکی از روش‌های تهیه نقشه روشن‌ها در توده‌های جنگلی، تکنیک آستانه‌گذاری ویژگی‌های ارتفاع و شیب مدل رقومی ارتفاعی تاج است. آستانه‌گذاری نوعی روش استخراج پدیده‌هاست که از شرط آستانه‌گذاری برای تفکیک پدیده‌ها استفاده می‌کند و با تعریف شرایط خاصی، هر یک از قطعات تصویر را به طبقه متعلق به آن پدیده اختصاص می‌دهد (Salmani et al., 2019). در این روش انتخاب حد دقیق آستانه‌ها اهمیت زیادی در تعیین دقت نقشه‌های حاصل دارد. این روش بیشتر برای تفکیک و استخراج روشن‌ها از تاج‌پوشش درختان بر روی داده‌های ارتفاعی نظیر

برهم‌خوردگی‌هایی مانند توفان، آفات، بیماری یا رقابت و همچنین بهره‌برداری و قطع درختان می‌توانند سبب ایجاد روشن‌های تاجی^۱ طبیعی و غیرطبیعی کوچک و بزرگ شوند (Lingua et al., 2011). هرگونه بازشدگی در لایه تاج‌پوشش درختان روشن‌نامیده می‌شود (Brokaw, 1989). طبق این تعریف، روشن‌ها سادگی از بالای تاج قابل مشاهده است و محدوده آن به صورت تصویر عمودی لبه‌های تاج درختان احاطه‌کننده روشن‌ها تا سطح زمین ترسیم می‌شود و به همین دلیل این تعریف برای دورسنجی روشن‌ها مناسب است (Schliemann & Bockheim, 2011). روشن‌ها به همراه پوشش تاجی جنگل و تغییرات عمودی ارتفاع تاج، از اجزای مهم ساختاری بوم‌شناسی جنگل محسوب می‌شوند (Zielewska, Büttner et al., 2016)؛ بنابراین تهیه نقشه دقیق از روشن‌ها و پراکنش آنها برای درک بهتر ساختار جنگل ضروری است.

امروزه برای تهیه نقشه روشن‌ها به جای روش‌های پرهزینه و زمان‌بر زمینی، از منابع سنجش از دور استفاده می‌شود. سنجنده‌ها و تصاویر متفاوتی از منابع سنجش از دور، برای تهیه نقشه روشن‌ها استفاده شده‌اند که از آن جمله می‌توان به تصاویر ماهواره‌ای (Hobi et al., 2015)، لیزر اسکنر هوایی (Koukoulas, 2008; Vepakomma et al., 2004; Blackburn & Vepakomma et al., 2008)، لیزر اسکنر زمینی (Seidel et al., 2015) و داده‌های پهپاد (Getzin et al., 2014) اشاره کرد.

داده‌های دورسنجی امکان استخراج خودکار روشن‌ها را فراهم می‌کنند، اما تفکیک روشن‌ها و استخراج دقیق محدوده آنها با استفاده از هر یک از روش‌ها کاری پیچیده است (Vepakomma et al., 2008). نقشه‌برداری هوایی با سکوه‌های هوایی مانند هواپیما، دارای قابلیت‌های ارزشمندی برای تهیه اطلاعات روشن‌هاست. اما نقشه‌برداری هوایی تحت تأثیر پیشرفت‌های اخیر در مورد پرند‌های بدون

2. Unmanned Aerial Vehicle
3. Structure from Motion

1. Canopy gaps

تهیه نقشه روشن‌ها با استفاده از آستانه ارتفاعی ثابت در طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (گرگان) مقایسه کردند. نتایج این بررسی صحت کلی ۹۹ و ۹۳ درصد را به ترتیب برای داده‌های لایدار و تصاویر رقومی هوایی نشان داد. (White et al., 2018) قابلیت نسبی داده‌های لایدار و تصاویر رقومی هوایی UltraCam را در تهیه نقشه روشن‌ها در یک جنگل کوهستانی آمیخته در ونکوور کانادا مقایسه کردند. در این بررسی از آستانه‌های ثابت و نسبی برای استخراج روشن‌ها استفاده شد و نتایج با استفاده از داده‌های مستقل مستخرج از تفسیر بصری تصویر، اعتبارسنجی شدند.

بررسی حد تطابق روشن‌های حاصل از روش‌های مختلف آستانه‌گذاری ارتفاع و شیب سطح تاج و روش‌های طبقه‌بندی شیء‌پایه با محدوده‌های روشن‌های واقعی زمینی از نظر برخی ویژگی‌های شکلی روشن‌ها نیز در اطمینان از تهیه دقیق موقعیت و محدوده واقعی روشن‌ها مؤثر است که به‌تازگی در برخی تحقیقات همانند (Gu et al., 2020) انجام گرفته است.

تحقیقاتی برای تهیه نقشه روشن‌ها با استفاده از منابع سنجش از دور در جهان انجام گرفته، ولی تا کنون تحقیقی با هدف مقایسه روش‌های مختلف تهیه نقشه روشن‌های تاجی و همچنین بررسی حد تطابق هندسه محدوده روشن‌ها روی داده‌های مدل ارتفاعی تاج حاصل از تصاویر پهپادی در جنگل‌های هیرکانی اجرا نشده است. پژوهش حاضر به مقایسه کارایی روش‌های مختلف آستانه‌گذاری و روش طبقه‌بندی شیء‌پایه در تفکیک و استخراج روشن‌ها و همچنین میزان تطابق هندسی محدوده‌ای روشن‌ها با شاخص‌های هندسی با استفاده از مدل ارتفاعی تاج و اورتوفتوپهپاد در توده جنگلی پهن‌برگ شمال ایران به‌صورت مطالعه موردی در بخشی از توده مدیریت‌شده طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا گرگان به‌منظور معرفی بهترین روش تفکیک روشن‌ها و تهیه نقشه آن می‌پردازد.

داده‌های مدل ارتفاعی تاج پوشش (CHM) حاصل از داده‌های لایدار یا مدل‌های حاصل از اعمال روش‌های تداخل‌سنجی راداری (InSAR) استفاده می‌شود. آستانه‌گذاری از نظر تعداد شروط اعمال‌شده برای طبقه‌بندی به دو دسته ساده و چندآستانه‌ای تقسیم می‌شود. در روش آستانه‌گذاری ساده، مقداری ثابت به عنوان آستانه روی یک لایه رستری منفرد، مانند مدل ارتفاعی تاج یا شیب مدل ارتفاعی تاج اعمال می‌شود. رایج‌ترین روش استخراج روشن‌ها، به‌کار بردن آستانه ارتفاعی ثابت بر مدل ارتفاعی تاج است، اگرچه در بیشتر بررسی‌ها مقدار آستانه به‌کاررفته و حداقل سطح روشن‌ها با یکدیگر متفاوت است.

یکی دیگر از روش‌های استخراج روشن‌ها، طبقه‌بندی مستقیم تصاویر و داده‌های مدل رقومی تاج با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی شیء‌پایه است. بدین معنا که پدیده‌های موجود در تصاویر توده‌های جنگلی باید به یکی از دو طبقه روشن‌ها و غیر روشن‌ها (تاج پوشش) اختصاص یابد. برخلاف روش طبقه‌بندی پیکسل‌پایه که به‌طور مستقیم پیکسل‌ها را طبقه‌بندی می‌کند، روش شیء‌پایه ابتدا پیکسل‌های تصویر را براساس الگوریتم‌های قطعه‌بندی تجمیع کرده و سپس هر یک از این قطعات یا پدیده‌ها را طبقه‌بندی می‌کند (Liu & Xia, 2010).

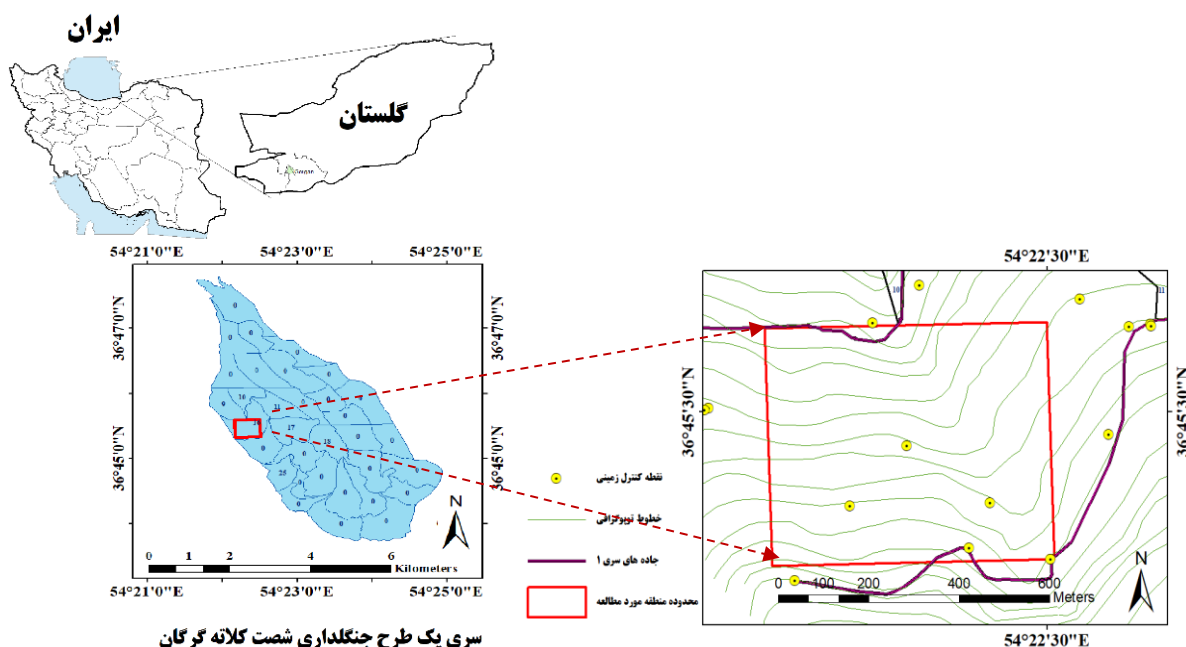
پژوهش‌های متعددی کارایی روش‌ها و منابع مختلف سنجش از دور در تهیه نقشه روشن‌ها را مقایسه کرده‌اند که بیشتر آنها با استفاده از داده‌های لایدار یا عکس‌های هوایی انجام گرفته است. برای مثال Bonnet et al. (2015) در بررسی سه روش تهیه نقشه شامل آستانه‌گذاری، طبقه‌بندی نظارت‌شده پیکسل‌پایه و شیء‌پایه با استفاده از داده‌های لایدار دارای برگ و بدون برگ به تفکیک روشن‌ها مناسبی دست یافتند، به‌طوری که صحت کلی بیشتر از ۸۲ درصد و صحت کاربر اغلب بیشتر از ۹۰ درصد بود. Kosari et al. (2015) قابلیت داده‌های لایدار و تصاویر رقومی هوایی (Ultra Cam) را در شناسایی و

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این پژوهش در یک قطعه ۲۵ هکتاری در سری یک طرح جنگلداری شصت کلاته (دکتر بهرام‌نیا) در حوضه آبخیز ۸۵ جنگل‌های شمال با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی انجام گرفت (شکل ۱). جهت عمومی منطقه شمال و شمال غربی، متوسط شیب منطقه ۳۰-۱۵ درصد و ارتفاع از سطح دریا بین ۳۹۲ تا ۵۶۸ متر است. منطقه پژوهش واقع در پارسل ۱۶

سری یک با روش دانه‌زاد ناهمسال و شیوه پرورشی تک‌گزینی طی سه دوره ده‌ساله اجرای طرح بهره‌برداری شده بود. ساختار جنگل در این قطعه دارای دو تا سه آشکوب و تنوع گونه‌ای به نسبت زیاد است. گونه‌های درختی غالب در این قطعه نمونه، ممز (*Carpinus betulus L.*) و انجیلی (*Parrotia persica C.A.May.*) همراه با دیگر گونه‌های پهن‌برگ مثل راش شرقی (*Fagus orientalis*) (Lipsky)، افرا پلت (*Acer velutinum* Bioss.) و افرا شیردار (*Acer cappadocicum* Gled.) است.



شکل ۱- موقعیت منطقه پژوهش در سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا، گرگان، گلستان

معادل یا بیشتر از نصف متوسط ارتفاع تاج درختان حاشیه روشن بود، به‌عنوان روشن‌پوشی پرشده در نظر گرفته شدند و بررسی نشدند (Gagnon et al., 2004; Orman et al., 2018; Kubel et al., 2010). در فصل رویش سال ۱۳۹۷، سی روشن در سه رده مساحتی کوچک، متوسط و بزرگ با رعایت توزیع یکنواخت در سطح منطقه انتخاب شدند (Amini et al., 2021). سپس هر روشن به صورت یک چندضلعی نامنظم در نظر گرفته و فاصله و آزیموت محل اتصال

شیوه اجرای پژوهش

برداشت زمینی روشن‌ها

نقشه واقعت زمینی روشن‌های این عرصه از طریق عملیات میدانی تهیه شد. منظور از روشن، بازشدگی تاج پوشش جنگل با مساحت دست‌کم ۱۵ متر مربع یا بیشتر است که پس از مرگ درختان یا تخریب طبیعی یا قطع و بهره‌برداری درخت به وجود آمده است (Dam, 2001). شایان ذکر است که در بررسی زمینی، روشن‌هایی که ارتفاع زادآوری آنها

گیرد (Zeybek & Şanlıoğlu, 2019). در نهایت مدل ارتفاعی سطح با قدرت تفکیک ۲۱/۵ سانتی‌متر و اورتوفتوموزائیک پهپاد با قدرت تفکیک ۵ سانتی‌متر در پیکسل تولید شد. اورتوفتوی حاصل از نظر وجود نویز بررسی و به کمک فیلتر پایین‌گذر در ArcGIS 10.4 فیلتر شد. نمونه‌گیری مجدد با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه به منظور تولید اورتوفتو با قدرت تفکیک یک متر در پیکسل انجام گرفت. در نهایت مدل ارتفاعی تاج (CHM) با قدرت تفکیک یک متر، از تفریق لایه مدل رقومی زمین به دست آمده از داده‌های لایدار (DTM_{iDAR}) موجود منطقه با دقت ارتفاعی کمتر از نیم متر (Mohammadi et al., 2017)، از مدل رقومی سطح حاصل از داده‌های پهپاد (DSM_{UAV}) در محیط ArcGIS تولید شد. داده‌های لایدار استفاده‌شده در این تحقیق در تاریخ ۱۳۹۰/۰۷/۲۰ توسط شرکت رایان نقشه با استفاده از هواپیما TB-20 با میانگین تراکم ۴-۵ پالس در متر مربع و به وسیله دستگاه Riegl LMS برداشت شد (Mohamadi et al., 2017). همچنین لایه شیب سطح رویی تاج از مدل رقومی ارتفاعی تاج تولید شد.

روش‌های تهیه نقشه روشن‌ها

تهیه نقشه از روشن‌ها برای تفکیک روشن‌ها از تاج پوشش و عوارضی همچون زمین خالی، نواحی دارای پوشش گیاهی کم ارتفاع متفاوت با روشن‌ها یا جاده انجام می‌گیرد. (Bonnet et al., 2015). در این بررسی از روش شناخته‌شده استخراج روشن‌ها شامل روش‌های آستانه‌گذاری (ارتفاع و شیب مدل ارتفاعی تاج ثابت، ارتفاع نسبی) روی داده‌های مدل ارتفاعی تاج و طبقه‌بندی شیء پایه داده‌های مدل ارتفاعی تاج و اورتوفتوپهپاد استفاده شد. روش معمول به کاررفته برای تفکیک خودکار روشن‌ها، دو نوع آستانه‌گذاری ارتفاعی ثابت و متغیر است (White et al., 2018). در این بررسی از هر دو روش استفاده شد تا مقایسه نتایج میسر شود.

اضلاع تا مرکز روشن‌ها با استفاده از ژالون، متر لیزری و قطب‌نما اندازه‌گیری شد (Brokaw & Scheiner, 1989; Green, 1996; Mathews, 2015; Schliemann & Bockheim, 2011). با ترسیم چندضلعی در نرم‌افزار ArcGIS، محیط و مساحت تک تک روشن‌ها به دست آمد (شکل ۲). موقعیت مکانی مرکز هر روشن‌ها با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی (DGPS) به‌طور دقیق ثبت شد. مختصات داده‌های نقطه‌ای، پلی‌گون روشن‌ها روی اورتوفتوموزائیک تصاویر پهپاد قرار گرفت تا مختصات آنها تأیید شود.

تهیه تصاویر پهپاد

تصاویر رقومی پهپاد با استفاده از پرند DJI Phantom 4 pro در ۲۰ شهریور ۱۳۹۷ با همپوشانی طولی ۸۰ درصد و جانبی ۶۵ درصد و با استفاده از دوربین Sony معمولی FC6310 با قدرت تفکیک ۲۰ مگاپیکسل و فاصله کانونی ۸/۸ میلی‌متر ثبت و برداشت شد. در مجموع ۳۱۷ تصویر از منطقه ۲۵ هکتاری برداشت و برای تولید مدل رقومی سطح (DSM) و اورتوفتوموزائیک استفاده شد. پریک‌گذاری تعدادی از نقاط قبل از پرواز به منظور تهیه نقاط کنترل زمینی (GCP) برای زمین مرجع‌سازی دقیق تصاویر انجام گرفت و مختصات دقیق این نقاط با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی (DGPS) به روش پردازش بعد از برداشت (PPK) ثبت شد.

پردازش تصاویر

پس از کنترل کیفیت تصاویر، از هفت نقطه کنترل زمینی برای زمین مرجع‌سازی مدل استفاده شد. تصاویر برداشت‌شده برای تولید ابرنقاط و دیگر محصولات پهپاد پردازش شدند. در این فرایند از الگوریتم‌های ساختار حرکت‌مبنا (SFM) و دید استریوسکوپی استفاده شد تا توجیحات تصاویر دارای همپوشانی کافی و بازسازی تصاویر سه‌بعدی در نرم‌افزار Metashape. Agisoft PhotoScan[®] صورت

روش آستانه شیب ثابت مدل ارتفاعی تاج

در توده جنگلی، محل تلاقی تاج درخت و محدوده روشنه، حداکثر شیب مدل ارتفاعی تاج را نشان می‌دهد. بنابراین یکی از روش‌های تفکیک روشنه، تعیین مقدار مشخصی از شیب مدل ارتفاعی تاج به عنوان حد آستانه تفکیک روشنه است. (et al., 2015) Bonnet استفاده از سنجه شیب مدل ارتفاعی تاج را برای بهبود استخراج محدوده روشنه پیشنهاد کردند. آنها بیان داشتند که استفاده از این سنجه اثر نواحی کوچک دارای زیر آشکوب و زادآوری مرتفع را کاهش می‌دهد. با آزمون مقادیر شیب مدل ارتفاعی تاج بر روی تصویر مشخص شد که مقادیر شیب مدل ارتفاعی تاج کمتر از ۶۰ درصد نشان‌دهنده تغییرات درون محیط تاج درختان پهن‌برگ خزان‌کننده و شیب مدل ارتفاعی بیشتر از این نشان‌دهنده لبه‌های تاج است (Koukoulas & Blackburn, 2004). مقادیر شیب مدل ارتفاعی تاج ۶۰، ۷۰ و ۷۵ درصد، آستانه تفکیک روشنه انتخاب شدند. در این بررسی قابلیت این آستانه برای طبقه‌بندی روشنه‌های تاجی در توده آمیخته بررسی شد.

روش آستانه ارتفاعی نسبی

آستانه ارتفاعی نسبی، نسبت به ارتفاع رأس تاج درختان اطراف روشنه تعیین می‌شود. این کار براساس ارتفاع نسبی خط آبریز تاج صورت می‌گیرد (White et al., 2018). طبق روش معرفی شده توسط Gaulton & Malthus, (2010) آستانه ارتفاعی نسبی برای هر پیکسل CHM، ابتدا با به‌کارگیری الگوریتم فیلتر حداکثر محلی^۱ یک فیلتر با پنجره ۵×۵ اعمال و پیکسل نشان‌دهنده حداکثر ارتفاع تاج (رأس تاج) شناسایی شد. این روش نوعی الگوریتم رشد ناحیه‌ای است که پیکسل رأس تاج به‌عنوان هسته الگوریتم شناسایی می‌شود و در مراحل بعد، پیکسل‌های مشابه در پیکسل هسته ادغام می

همچنین آستانه‌گذاری روی شیب مدل رقومی تاج به‌عنوان روشی نوین و تکمیلی انجام گرفت. افزون‌بر این قطعه‌بندی و طبقه‌بندی شیء پایه مدل ارتفاعی تاج (CHM) و اورتوفتوپهپاد (شکل ۳) با استفاده از نرم‌افزار eCognition 9.0 به‌منظور مقایسه کارایی این روش در مقابل روش آستانه‌گذاری انجام گرفت.

روش آستانه ارتفاعی ثابت

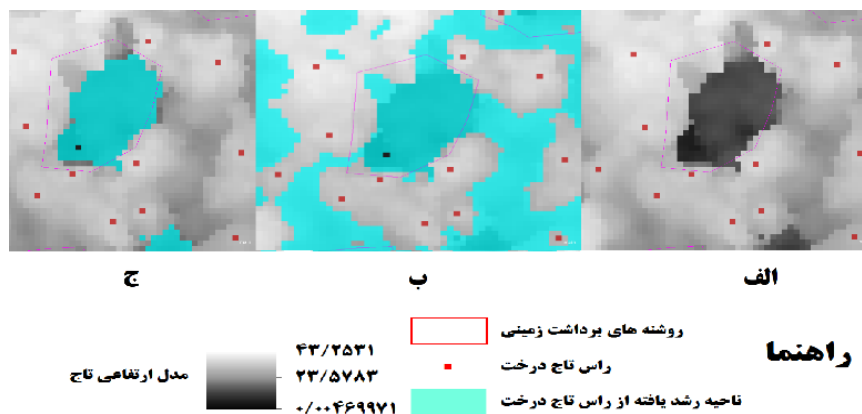
در روش آستانه ارتفاعی ثابت، یک پیکسل مدل ارتفاعی تاج (CHM) حاصل از تصاویر پهپاد در صورتی به‌عنوان روشنه تعریف می‌شود که ارتفاعی کمتر از حد آستانه ارتفاعی تاج پوشش توده در منطقه داشته باشد (White et al., 2018). آستانه ارتفاعی ثابت به‌طور معمول توسط کاربر با در نظر گرفتن شرایط توده جنگلی تحت بررسی انتخاب می‌شود. مطابق با بررسی سابقه تحقیق برای تعیین حد آستانه ارتفاعی روشنه، هنگامی که رویش ارتفاعی زادآوری درون روشنه به نصف ارتفاع تاج درختان اطراف رسید، آن روشنه، پرشده در نظر گرفته شد (Gagnon et al., 2004; Kucbel et al., 2010; Orman et al., 2018). در بررسی حاضر نیز نصف میانگین ارتفاع درختان به‌عنوان حد بالای آستانه ارتفاعی ثابت و یک‌سوم ارتفاع درختان به‌عنوان حد پایین آستانه ارتفاعی در نظر گرفته شد. بر مبنای اندازه‌گیری میدانی ارتفاع درختان، ارتفاع متوسط درختان در منطقه حدود ۲۴ متر و مقادیر ۱۲ و ۸ متر به ترتیب به‌عنوان حد بالا و پایین آستانه ارتفاعی ثابت در نظر گرفته شد. همچنین روشنه‌هایی با سطح کمتر از ۱۵ متر مربع و بیشتر از ۱۰۰۰ متر مربع از تجزیه و تحلیل‌های بعدی حذف شدند. پیکسل‌ها با استفاده از تابع زیر از مدل ارتفاعی تاج CHM استخراج شدند. سپس پیکسل‌ها به پلی‌گون تبدیل شدند. تابع روشنه (G_i) در نقطه x, y از CHM به صورت رابطه (۱) تعریف شد (Yang et al., 2015):

$$G_i = \begin{cases} 1 & \text{if } CHM_i(x,y) \leq h \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{رابطه ۱}$$

1. Local maxima

دوم: حد ارتفاع ۱۲ متر) بر پیکسل‌های مدل ارتفاعی تاج، طبقه‌بندی انجام گرفت (شکل ۳). همانند روش آستانه‌گذاری ثابت، روشن‌های با سطح کمتر از ۱۵ متر مربع و بیشتر از یک‌دهم هکتار از مراحل بعدی تجزیه و تحلیل حذف شدند (شکل ۲).

شوند. اندازه فیلتر مقداری انتخاب شد که رأس تاج درون روشن‌های کوچک بین درختان قرار نگیرد و نیز تغییرات ارتفاعی درون توده حفظ شود. بعد از این مرحله با استفاده از الگوریتم Assign class و اعمال شروط ریاضی (شروط اول: $h_{pix} < 0.67 h_{top}$ و شرط



شکل ۲- اجرای خوارزمی رشد ناحیه‌ای در روش آستانه‌گذاری نسبی و شناسایی رأس تاج به‌عنوان هسته (الف)، رشد ناحیه‌ای از نقاط هسته به نواحی واجد شروط لازم (ب)، و طبقه‌بندی با اعمال حد ارتفاعی (ج)، در بخشی از منطقه پژوهش، نرم‌افزار eCognition

بعد از قطعه‌بندی تصویر، از آستانه‌شیب مدل ارتفاعی تاج ۶۰ درصد، آستانه‌ارتفاعی ۱۲ متر و مقادیر شاخص طیفی^۱ GRVI برای تفکیک طبقات روشن و تاج پوشش استفاده شد. (Larrinaga & Brotons, 2019) این سنجه به این دلیل انتخاب شد که به تغییرات پوشش و نیز نسبت بین بازتاب سبز و قرمز برگ گیاهان سبز و تفاوت رنگ آنها حساس بوده و تفسیر آن آسان است (Motohka et al., 2010). شاخص GRVI تفاوت بین سطوح فعال فتوسنتزی و سطح خاک لخت نظیر جاده را افزایش می‌دهد و پاسخ روشنی به برهم‌خوردگی‌های کوچک نشان می‌دهد (Dupuis et al., 2020). (Motohka et al., 2010) این سنجه را شاخص مناسبی برای تفکیک برهم‌خوردگی‌ها و انواع بوم‌سازگان معرفی کردند (رابطه ۲). در این تحقیق، این شاخص به‌منظور تفکیک دقیق تاج‌پوشش درختان از روشن‌های دارای پوشش علفی، با استفاده از بازتاب‌های باند قرمز و سبز اورتوفتوپهپاد به‌صورت زیر محاسبه شد:

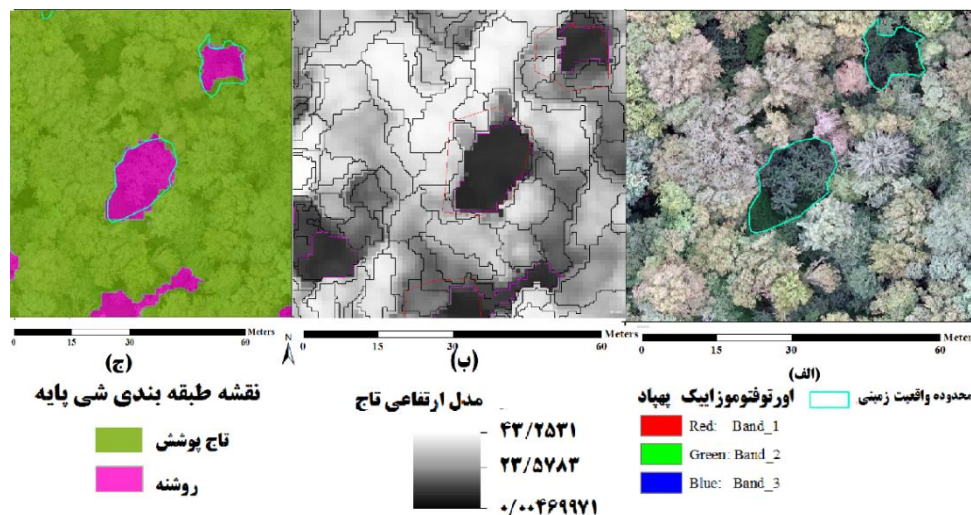
روش طبقه‌بندی شیء پایه

در این پژوهش از روش قطعه‌بندی چندمقیاسه در محیط نرم‌افزار eCognition استفاده شد که با استفاده از یک خوارزمی پایین به بالا، پیکسل‌های مشابه را در پیکسل‌های واقعی بزرگ‌تر ادغام می‌کند. این فرایند تا زمانی ادامه می‌یابد که دیگر هیچ پیکسل همسایه‌ای با شروط الگوریتم تطابق نداشته باشد (González-Ferreiro et al., 2013). در روش قطعه‌بندی چندمقیاسه با سعی و خطا و اجراهای متعدد، پارامترهای مناسب قطعه‌بندی تصویر، با مقادیر ۰/۶ برای متغیر شکل، ۰/۳ برای فشردگی و مقیاس ۲۰ انتخاب شد (شکل ۳). همچنین برای در نظر گرفتن اطلاعات طیفی، افزون بر لایه مدل ارتفاعی تاج و لایه شیب مدل ارتفاعی تاج، باندهای قرمز، سبز و آبی اورتوفتوپهپاد نیز در فرایند قطعه‌بندی دخالت داده شد. به‌نحوی که در نهایت وزن‌های ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶ به‌ترتیب برای باندهای قرمز، آبی و سبز اورتوفتو، مدل ارتفاعی تاج و شیب ارتفاعی تاج در فرایند قطعه‌بندی اعمال شد.

ویژگی شیب مدل ارتفاعی تاج هر قطعه استفاده شد (شکل ۵). به طور کلی، برای کسب اطمینان از تحقق شروط تعیین شده، ابتدا مجموعه قوانین در بخش کوچکی از منطقه پژوهش تنظیم و آزمایش شد و پس از اطمینان از عملکرد روش به کاررفته در تفکیک طبقات، مجموعه قوانین طراحی شده برای کل منطقه اعمال شد.

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{GRVI} = \frac{\text{green} - \text{red}}{\text{green} + \text{red}}$$

افزون بر این در این بررسی تفکیک طبقه جاده از طبقه روشن با کمک طبقه بندی دانش پایه انجام گرفت. در این روش از ویژگی های هندسی قطعه مثل تعداد پیکسل، طول قطعه و نسبت طول به عرض قطعه و نیز



شکل ۳- نمونه ای از پلی گون واقعیت زمینی بر اورتوفتوپهپاد (الف)، قطعه بندی چندمقیاسه بر مدل ارتفاعی تاج (ب)، و بخشی از نقشه طبقه بندی شده به روش شیء پایه (ج).

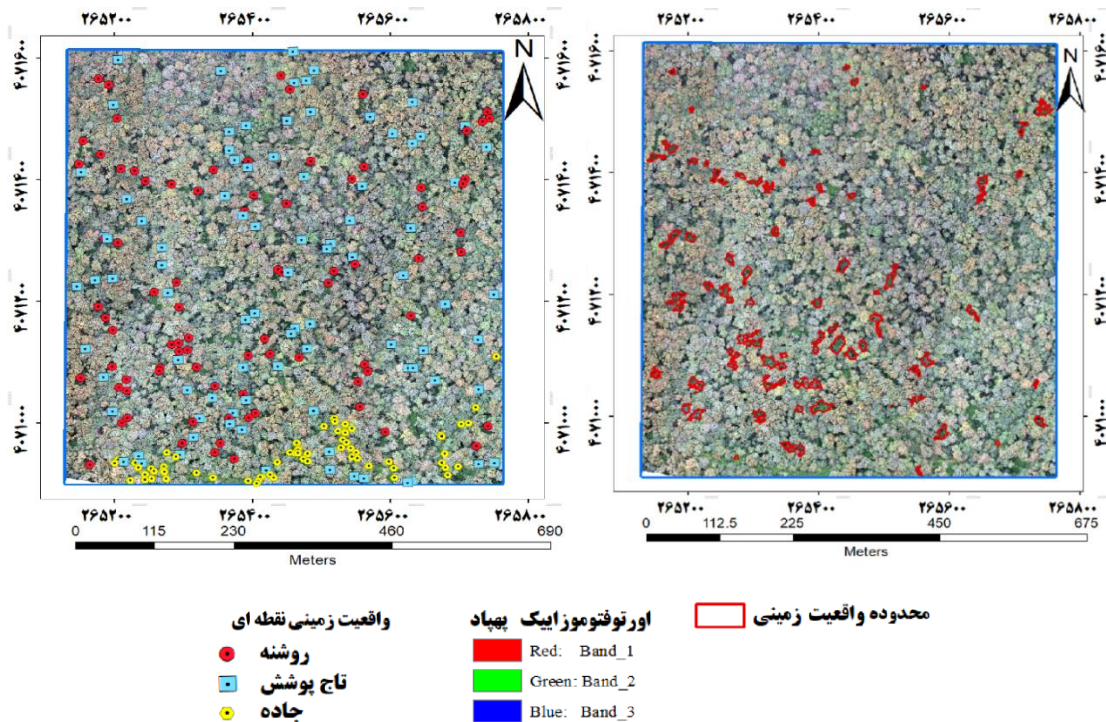
ارزیابی تطابق هندسی محدوده روشن: ارزیابی تطابق هندسی محدوده روشن استخراج شده به منظور بررسی مطابقت محدوده ای روشن های استخراجی با واقعیت زمینی است. هدف از استخراج روشن، ارائه یک پلی گون مشخص و واحد به ازای هر یک از روشن های مرجع (واقعیت زمینی) است. با بررسی نقاط نمونه (مرکز روشن ها) واقعیت زمینی آن به عنوان طبقه روشن ثبت شده و نیز در محل روشن هایی که در عرصه برداشت شد، محدوده آن روشن به صورت دستی بر روی اورتوفتوپهپاد با قدرت تفکیک ۵ سانتی متر و نیز در نظر گرفتن مدل ارتفاعی تاج به صورت دستی رقومی شد (شکل ۴). شباهت ویژگی های هندسی همانند مساحت، محیط و پیچیدگی شکل روشن های استخراج شده با روشن های مرجع در قالب ارزیابی تطابق محدوده ای روشن ها بررسی شد.

تهیه نقشه واقعیت زمینی و ارزیابی صحت و تطابق هندسی روشن ها^۱

در این تحقیق دو نوع ارزیابی صحت نقطه ای و ارزیابی تطابق هندسه محدوده روشن Gu et al., (2020) صورت گرفت.

ارزیابی صحت نقطه ای: برای ارزیابی صحت موقعیت روشن ها، ابتدا ۲۴۰ نقطه نمونه تصادفی (۸۴ نمونه روشن، ۹۱ نمونه تاج پوشش و ۶۵ نمونه جاده) تولید شد (شکل ۴). سپس موقعیت هر یک از نقاط روی تصویر اورتوفتوپهپاد با قدرت تفکیک ۵ سانتی متر و مدل ارتفاعی تاج یک متری به عنوان واقعیت زمینی ثبت شد. صحت نقطه ای روشن ها با استفاده از ماتریس خطا بر حسب صحت کلی، صحت کاربر، صحت تولید کننده و ضریب کاپا برای هر یک از روش های استخراج روشن اندازه گیری و ارزیابی شد.

1. Knowledge-base



شکل ۴- موقعیت و پراکنش نقاط و محدوده واقعیت زمینی بر اورتوفتوموزائیک منطقه پژوهش

به منظور برآورد کیفیت طبقه‌بندی روشن‌ها و بررسی تطابق محدوده‌های استخراجی، سه سنجه کیفیت استخراج روشنه برای هر یک از روش‌های طبقه‌بندی محاسبه شد. به صورت کلی، کیفیت طبقه‌بندی (نکویی^۱) با استفاده از ناهنجاری‌هایی به نام کم‌برآورد و بیش‌برآورد (رابطه‌های ۳ و ۴) تعیین می‌شود. بیش‌برآورد هنگامی اتفاق می‌افتد که یک پدیده از دنیای واقعی به زیرپدیده‌های کوچک‌تری تقسیم شود و کم‌برآورد زمانی رخ می‌دهد که یک پدیده واقعی و یا بخش‌هایی از آن به عنوان بخشی از پدیده دیگر طبقه‌بندی شود (Kavzoglu & Tonbul, 2017). بیش‌برآورد و کم‌برآورد با مقادیری بین ۰ تا ۱ مشخص می‌شوند و در شرایط بهینه، مقدار کم‌برآورد و بیش‌برآورد معادل صفر است. در این وضعیت، پلی‌گون طبقه‌بندی شده دقیقاً با نمونه واقعیت زمینی تطابق دارند (Clinton et al., 2010).

$$\text{Over seg.} = 1 - \frac{A_{r(i) \cap s(j)}}{A_{r(i)}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\text{Under seg.} = 1 - \frac{A_{r(i) \cap s(j)}}{A_{s(j)}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$D = \sqrt{\frac{Oseg^2 + Useg^2}{2}} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این روابط $r(i)$ نشان‌دهنده تأمین پلی‌گون مرجع و $s(i)$ نشان‌دهنده پلی‌گون طبقه‌بندی شده متناظر است که دارای همپوشانی با $r(i)$ است. نماد \cap نشان‌دهنده محدوده اشتراکی بین $r(i)$ و $s(i)$ است.

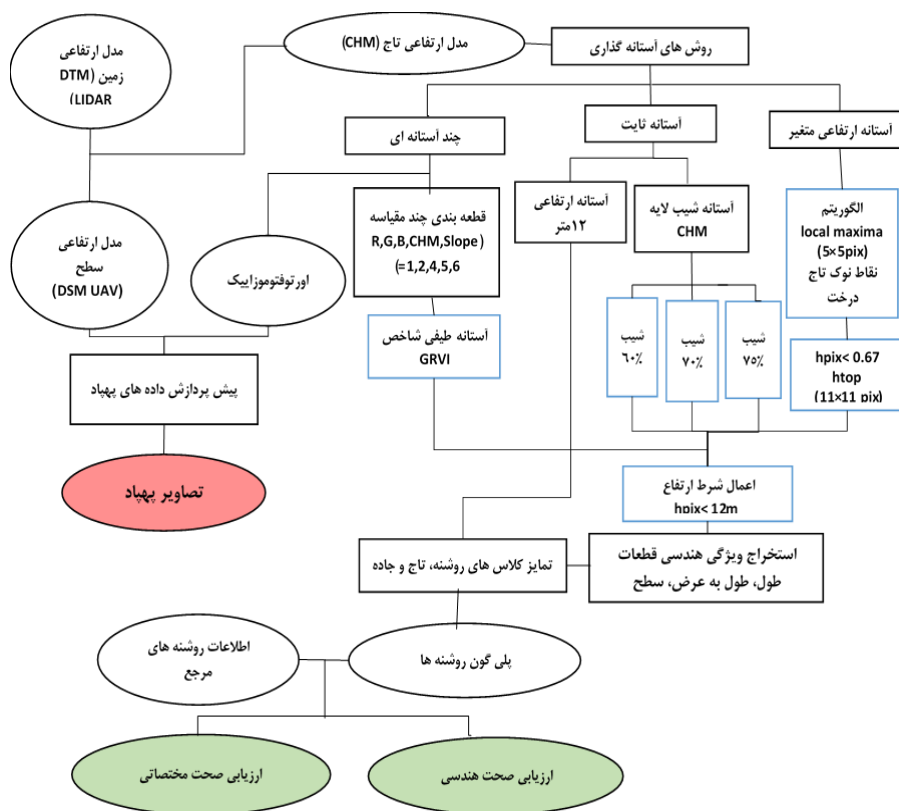
شاخص D : از این سنجه در پژوهش‌های متعددی (مثل Bonnet et al., 2015; Clinton et al., 2010)

1. Goodness

نشان دهنده نسبت محیط روشنه (P) به محیط روشنه دایره شکل با همان مساحت (A) است. مقدار ۱، نمایانگر شکل دایره کامل است و با افزایش مقدار این شاخص پیچیدگی شکل روشنه بیشتر می شود. برای مثال، مقادیر ۱/۴۰ و ۲/۶۰ نشان می دهند که شکل روشنه به ترتیب ۴۰ و ۱۶۰ درصد پیچیدگی دارد (Koukoulas & Blackburn, 2005). فلوجارت کلی تحقیق هم در شکل ۵ ارائه شده است.

$$GSCI = \frac{P}{\sqrt{4\pi A}} \quad \text{رابطه ۶}$$

Over seg: خطای بیش قطعه بندی، Under seg: خطای کم قطعه بندی، $A_{S(j)}$: مساحت کل روشنه های استخراج شده، $A_{R(i)}$: مساحت کل روشنه های مرجع و $A_{R(i)} \cap A_{S(j)}$: مساحت کل همپوشانی روشنه های استخراج شده و مرجع است. شاخص بعدی برای ارزیابی تطابق هندسی روشنه، شاخص پیچیدگی شکل روشنه (رابطه ۶) (Koukoulas & Blackburn, 2005) است که سنجه مهمی برای اندازه گیری روشنه های جنگل محسوب می شود (Kern et al., 2014) و



شکل ۵- فلوجارت تحقیق، استخراج روشنه با استفاده از داده های پهپاد در جنگل های آمیخته

به آستانه ارتفاعی نسبی دارای صحت کاربر بیشتر و برعکس صحت تولیدکننده بسیار کمتری در استخراج طبقه روشنه بود (جدول ۲). در مجموع با استفاده از روش آستانه ارتفاعی نسبی در مقایسه با آستانه ارتفاعی ثابت ۱۲ متر صحت کلی (به ترتیب ۸۹ و ۸۰ درصد) و ضریب کاپای (به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۶۹) بیشتری به دست آمد.

با افزایش حد آستانه شیب مدل ارتفاعی تاج از ۶۰

نتایج^۱

ارزیابی صحت نقطه ای

نتایج ارزیابی صحت نقطه ای نشان داد که با افزایش حد آستانه ارتفاعی از ۸ متر به ۱۲ متر صحت کاربر، صحت تولیدکننده و در نهایت صحت کلی استخراج روشنه به طور چشمگیری افزایش یافت (جدول ۲). همچنین آستانه ارتفاعی ۱۲ متر نسبت

1. Gap shape complexity index (GSCI)

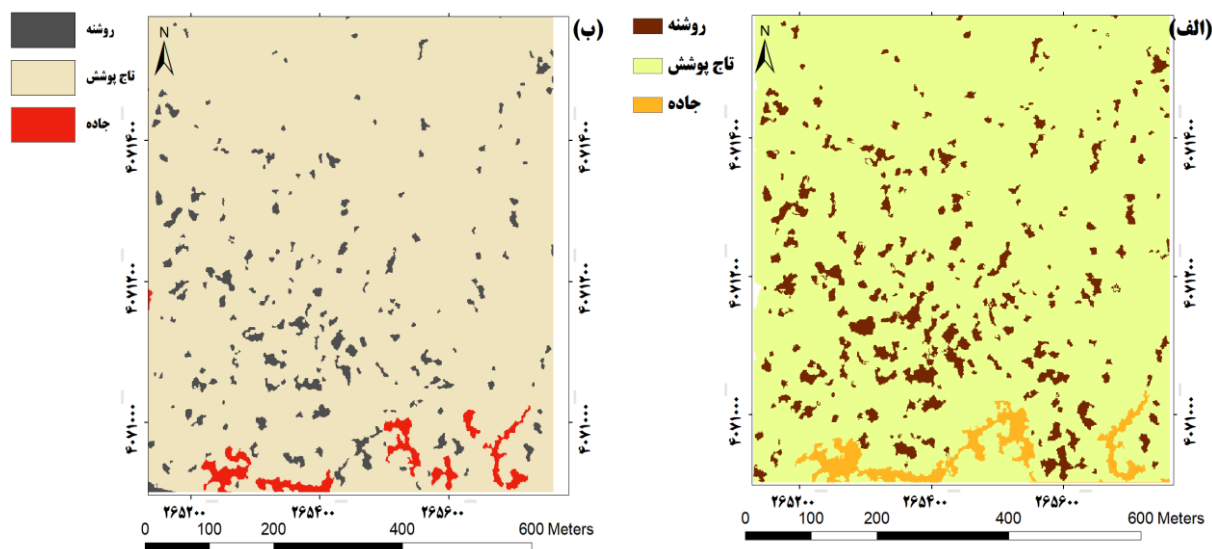
تا ۷۵ درصد، صحت کاربر تفکیک روشنه افزایش یافت، به طوری که در حد آستانه شیب ۷۵ درصد مدل ارتفاعی تاج، مقدار این صحت به ۹۱ درصد رسید. هرچند صحت تولیدکننده، صحت کلی و ضریب کاپا در حد آستانه شیب ۶۰ درصد مدل ارتفاعی تاج به صورت جزئی بهتر از حد شیب مدل ارتفاعی تاج ۷۰ و ۷۵ درصد بود (جدول ۲).

در روش طبقه‌بندی شیء پایه که مقیاس قطعه‌بندی ۱۰ در نظر گرفته شد، صحت کاربر طبقه روشنه ۸۵ درصد، صحت تولیدکننده ۷۷ درصد و صحت کلی ۸۴ درصد به دست آمد. با افزایش مقیاس قطعه‌بندی در روش طبقه‌بندی شیء پایه، صحت تولیدکننده طبقه روشنه به ۹۲ درصد و صحت کلی

به ۸۹ درصد افزایش یافت. آستانه ارتفاعی ثابت ۸ متر و قطعه‌بندی با مقیاس ۱۰ به دلیل نتایج ضعیف صحت از باقی پردازش‌ها حذف شد. با در نظر گرفتن مجموع روش‌های استخراج روشنه، آستانه شیب ۶۰ درصد مدل ارتفاعی تاج، بیشترین صحت کلی و ضریب کاپا را به ترتیب با مقادیر ۹۱/۷ و ۸۷/۴ درصد دارا بود. کمترین صحت استخراج طبقات، در روش ارتفاع ثابت (۱۲ متر) به ترتیب با صحت کلی ۸۰ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۹ مشاهده شد (جدول ۲). نتایج طبقه‌بندی با بهترین و ضعیف‌ترین صحت کلی به صورت نقشه موضوعی روشن تاجی، نحوه توزیع روشنه در منطقه پژوهش را نشان می‌دهد (شکل ۶).

جدول ۲- ارزیابی صحت نقطه‌ای کلاس‌های روشنه، تاج پوشش و جاده با استفاده از روش‌های آستانه‌گذاری

ضریب کاپا	صحت کلی	صحت تولیدکننده			صحت کاربر			روش
		جاده	تاج پوشش	روشنه	جاده	تاج پوشش	روشنه	
۰/۳۷۱	۰/۶۱۲	۰/۳۵۶	۱	۰/۳۴۵	۰/۹۱۳	۰/۵۳۴	۰/۸۳۳	ارتفاع ثابت ۸ متر
۰/۶۹۱	۰/۸۰۰	۰/۶۶۱	۰/۹۷۸	۰/۷۱۴	۰/۹۷۷	۰/۶۶۴	۰/۹۶۸	ارتفاع ثابت ۱۲ متر
۰/۸۳۵	۰/۸۹۲	۰/۸۶۱	۰/۸۷۹	۰/۹۲۹	۰/۹۴۹	۰/۸۹۹	۰/۸۴۸	ارتفاع نسبی
۰/۸۷۴	۰/۹۱۷	۰/۹۲۳	۰/۸۵۷	۰/۹۷۶	۰/۹۳۷	۰/۹۷۵	۰/۸۵۴	شیب ۶۰٪ مدل ارتفاعی تاج
۰/۸۳۶	۰/۸۹۲	۰/۸۱۵	۰/۸۶۸	۰/۹۷۶	۰/۹۳۰	۰/۸۹۸	۰/۸۶۳	شیب ۷۰٪ مدل ارتفاعی تاج
۰/۸۶۱	۰/۹۰۸	۰/۸۸۰	۰/۸۷۹	۰/۹۶۴	۰/۹۳۴	۰/۸۸۹	۰/۹۱۰	شیب ۷۵٪ مدل ارتفاعی تاج
۰/۷۵۹	۰/۸۴۲	۰/۸۳۱	۰/۹۰۱	۰/۷۸۶	۰/۹۴۷	۰/۷۸۱	۰/۸۴۶	طبقه‌بندی شیء پایه - مقیاس ۱۰
۰/۸۳۶	۰/۸۹۲	۰/۸۹۲	۰/۸۶۹	۰/۹۱۷	۰/۹۲۱	۰/۹۱۹	۰/۸۴۶	طبقه‌بندی شیء پایه - مقیاس ۲۰



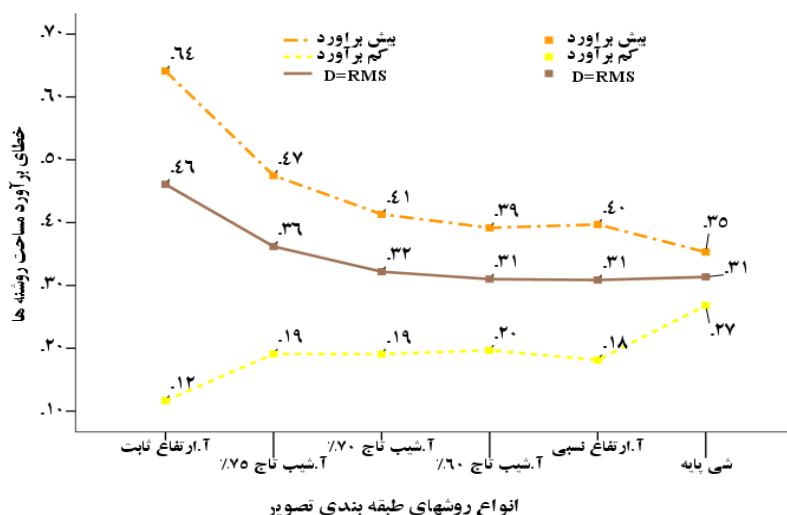
شکل ۶- نتایج طبقه‌بندی آستانه‌گذاری با آستانه شیب ۶۰ درصد مدل ارتفاعی تاج (الف) و آستانه ارتفاعی ثابت ۱۲ متر (ب).

ارزیابی تطابق هندسه محدودهای

نتایج نشان داد که بین مقادیر کم‌برآورد مساحت روشنه حاصل از آستانه‌های شیب مدل ارتفاعی تاج و ارتفاع نسبی، تفاوت چندانی وجود نداشت و مقدار خطای کم‌برآورد آنها به‌طور تقریبی ثابت بود (شکل ۷). آستانه ارتفاعی ثابت (۱۲ متر) خطای کم‌برآورد مساحت روشنه اندک و در عین حال خطای بیش برآورد چشمگیری (۰/۶۴) برای مساحت روشنه‌های استخراج شده نشان داد (شکل ۷). کمترین خطای بیش برآورد مساحت پل‌گون‌ها در روش طبقه‌بندی شی‌پایه (۰/۳۵) به‌دست آمد؛ مانند خطای کم‌برآورد، روش‌های آستانه ارتفاعی و آستانه شیب ۶۰ و ۷۰

درصد مدل ارتفاعی تاج عملکرد مشابهی نشان دادند (شکل ۷).

روش‌های آستانه ارتفاع نسبی، شیب ۶۰ درصد مدل ارتفاعی تاج و روش طبقه‌بندی شی‌پایه مقادیر مشابهی از شاخص D را نمایش دادند (۰/۳۱). با در نظر داشتن تأثیر خطای کم‌برآورد، روشی که شاخص D و خطای کم‌برآورد آن به صفر نزدیک‌تر باشد، دقیق‌تر خواهد بود؛ بنابراین به ترتیب در روش‌های ارتفاع نسبی و شیب ۶۰ درصد مدل ارتفاعی تاج تطابق بهتری بین مساحت روشنه‌های مرجع و روش‌های استخراج شده به‌دست آمد.



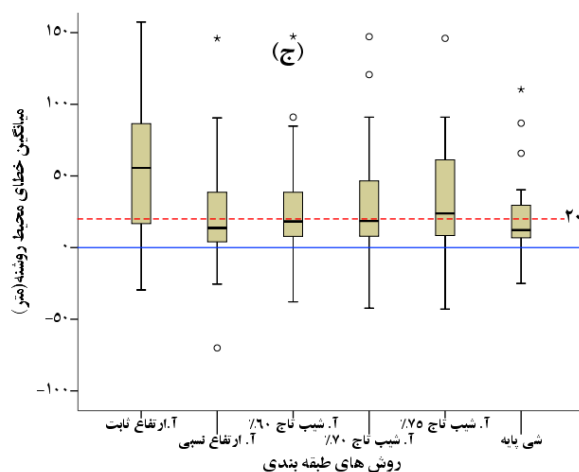
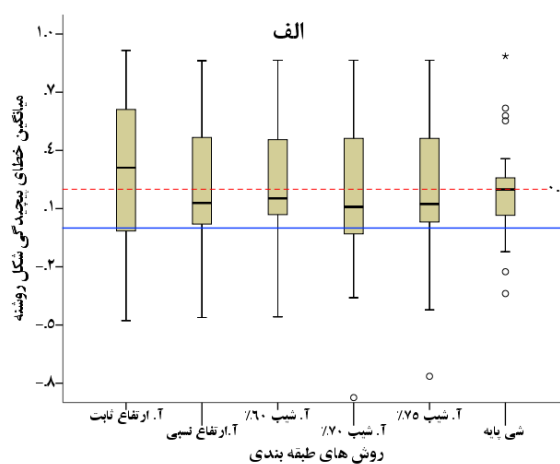
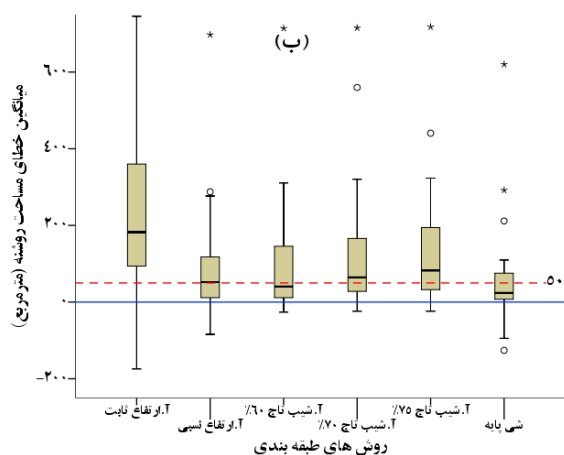
شکل ۷- مقایسه روش‌های مختلف آستانه‌گذاری و طبقه‌بندی شی‌پایه از نظر تطابق مساحت روشنه‌های استخراج شده

شکل روشنه‌های استخراج شده به‌طور میانگین ۰/۱۵ کمتر از پیچیدگی شکل روشنه‌های واقعیت زمینی برآورد شد (شکل ۸ الف). ضعیف‌ترین نتایج خطای پیچیدگی شکل روشنه استخراج شده مربوط به روش آستانه ارتفاعی ثابت (۱۲ متر) بود که بزرگ‌ترین میانگین خطا (۰/۲۸) و مقادیر مرزی را نشان داد (شکل ۸ الف). روش‌های دیگر آستانه‌گذاری، عملکردی مشابه داشتند و همه آنها در مقایسه با داده‌های مرجع به سمت کم‌برآورد پیچیدگی شکل روشنه تمایل داشتند (مقادیر مثبت خطا). از نظر خطای برآورد مساحت روشنه، در همه

در بخش زیر ویژگی‌های هندسی محدوده روشنه‌های استخراج شده توسط روش‌های مختلف طبقه‌بندی، براساس معیار خطا با روشنه‌های مرجع مقایسه شدند. این مقدار خطا از تفاضل مقدار استخراج شده از مقادیر داده‌های مرجع محاسبه شد (شکل ۸). بهترین عملکرد از نظر میانگین خطای شاخص پیچیدگی روشنه‌های استخراج شده مربوط به روش‌های آستانه شیب ۷۰ و ۷۵ درصد مدل ارتفاعی تاج (به ترتیب با میانگین خطای ۰/۱۵ و ۰/۱۷) بود (شکل ۸ الف). بدین معنا که با استفاده از روش آستانه شیب ۷۰ درصد مدل ارتفاعی تاج، پیچیدگی

۳۳/۷۶ مترمربع کمتر از مقدار مرجع برآورد شد. روش آستانه ارتفاعی ثابت (۱۲ متر) با مقدار ۲۲۹/۷۲ متر مربع، ضعیف‌ترین عملکرد را نشان داد (شکل ۸ ب). در برآورد محیط روشن نیز روش‌های مختلف آستانه‌گذاری عملکردی مشابه داشتند و کمترین خطای برآورد محیط روشن در روش طبقه‌بندی شیء پایه و سپس آستانه ارتفاعی نسبی به دست آمد (شکل ۸ ب).

روش‌ها میانگین خطای مساحت برآورد شده نسبت به مساحت روشن‌های مرجع، دارای کم‌برآورد بود (مقادیر خطای مثبت) (شکل ۸ ب). بهترین نتایج از نظر خطای برآورد مساحت در روش طبقه‌بندی شیء پایه و پس از آن در روش آستانه ارتفاعی نسبی، به ترتیب با میانگین خطای ۳۳/۷۶ و ۸۳/۵۲ مترمربع مشاهده شد. در واقع با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء پایه، میانگین مساحت روشن‌های مستخرج



شکل ۸- مقایسه روش‌های مختلف آستانه‌گذاری و طبقه‌بندی شیء پایه از نظر خطای برآورد مشخصه‌های هندسی روشن: پیچیدگی شکل (الف)، مساحت (ب) و محیط (ج) روشن

(Bonnet et al., 2015). در این پژوهش، نقشه روشن پوشش تاجی در جنگل‌های آمیخته و ناهمسال شصت کلاته گرگان با استفاده از تصاویر پهپاد تهیه شد. برای این منظور چند روش طبقه‌بندی روی مدل ارتفاعی تاج و اطلاعات طیفی اورتوفتو پهپاد آزموده و

بحث

تهیه نقشه روشن، پایه و اساس بسیاری از کاربردهای مدیریتی و پژوهشی مانند تحول روشن، توزیع روشن در سطح جنگل، مدل‌سازی رویشگاه و دارای کاربردهای عملی در پرورش جنگل است

ثابت نسبت به آستانه ارتفاع نسبی از نظر تفکیک روشنه باشد. همچنین با توجه به اجرای شیوه تک‌گزینی و متفاوت بودن سن روشنه‌ها، ارتفاع نهال‌ها و خال‌های درون روشنه و متفاوت بودن مراحل تحولی هر یک از روشنه‌ها در گذر زمان، تعیین یک حد آستانه ارتفاعی ثابت ممکن است سبب نادیده گرفتن روشنه‌های مسن‌تر شود (Zhang et al., 2008).

آستانه ارتفاعی ثابت در طبقه‌بندی نقاط مربوط به طبقه جاده نیز دقت مطلوب را نداشت (صحت تولیدکننده ۶۶ درصد). مجموع عوامل مذکور سبب کاهش صحت کلی این روش شد. در مقابل، روش ارتفاع نسبی افزون‌بر تفکیک صحیح نقاط مربوط به طبقه روشنه، در طبقه‌بندی نقاط طبقه تاج و جاده نیز صحت مطلوبی نشان داد و در نتیجه صحت کلی بیشتری (۸۹/۲ درصد) داشت. هرچند White et al. (2018) در داده‌های لایدار با به‌کارگیری آستانه ارتفاعی ثابت به صحت کلی ۹۶/۵ درصد و با آستانه ارتفاعی نسبی به صحت ۸۹/۵ درصد رسیدند. علت این تفاوت ممکن است متفاوت بودن تیپ جنگل‌های تحت بررسی باشد. در بررسی White et al. (2018) تیپ غالب جنگل از نوع سوزنی‌برگ بود که به نسبت جنگل‌های پهن‌برگ فاقد تغییرات شدید ارتفاع تاج است و طبیعی است که در این شرایط آستانه ارتفاعی ثابت در شناسایی روشنه عملکرد مطلوبی داشته باشد. در طبقه‌بندی شیء‌پایه عوامل متعددی از جمله داده‌های ورودی، وزن لایه‌ها، شکل، پیچیدگی و پارامتر مقیاس، در نتایج قطعه‌بندی اثرگذارند (Mao et al., 2020). در پژوهش حاضر، در روش طبقه‌بندی شیء‌پایه، با افزایش مقیاس در قطعه‌بندی چندمقیاسه از مقدار ۱۰ به ۲۰، صحت کلی و ضریب کاپا صحت نقطه‌ای طبقه‌بندی روشنه افزایش یافت. پارامتر مقیاس عبارتی است که در محیط نرم‌افزار eCognition اندازه قطعات را تعیین می‌کند. این پارامتر مقدار معینی ندارد و باید توسط کاربر مشخص شود. با انتخاب مقیاس کوچک، قطعات کوچک‌تر و با انتخاب مقیاس بزرگ‌تر

صحت محدوده‌ای و نقطه‌ای این روش‌ها در تفکیک و استخراج روشنه‌ها مقایسه شد.

تفکیک روشنه و استخراج محدوده آن با استفاده از هر یک از روش‌ها کار پیچیده‌ای است. در تهیه نقشه روشنه با استفاده از داده‌های دورسنجی فرض بر این است که روشنه‌ها با استفاده از اختلاف ارتفاع آنها نسبت به تاج درختان اطراف تفکیک پذیرند. پژوهشگران مختلف با توجه به نوع و ارتفاع درختان جنگل مورد پژوهش، حد آستانه (آستانه ثابت یا به‌کارگیری تفاوت نسبی ارتفاع گیاهان) تفکیک روشنه و روشنه بسته‌شده را پیشنهاد کرده‌اند (Vepakomma et al., 2008). در تعیین آستانه ارتفاعی باید توجه شود که وقتی که مقادیر بزرگ آستانه ارتفاعی نزدیک به ارتفاع درختان اطراف یک روشنه است، احتمال ایجاد خطای بیش‌برآوردی وجود دارد و چنانچه مقدار آستانه ارتفاعی بزرگ‌تر از ارتفاع درختان اطراف باشد، احتمال دارد در شناسایی روشنه ناموفق باشد (Zhang et al., 2008). از طرف دیگر، انتخاب آستانه ارتفاعی کوچک می‌تواند سبب بروز خطای کم‌برآورد برای روشنه‌های با نهال‌های بلند شوند.

ارزیابی صحت نقطه‌ای

در پژوهش حاضر، روش آستانه ارتفاعی نسبی در مقایسه با روش آستانه ارتفاعی ثابت (۱۲ متر)، صحت نقطه‌ای بیشتری نشان داد و در تفکیک روشنه موفق‌تر بود. با استفاده از روش آستانه ارتفاعی ثابت تفکیک روشنه‌ها با صحت تولیدکننده کمتری (۷۱/۴ درصد) انجام گرفت که نشان‌دهنده خطای حذف است. به عبارت دیگر، با استفاده از این روش ۲۸/۶ درصد نقاط طبقه روشنه (۲۴:۸۴) به‌درستی طبقه‌بندی نشدند. وجود زادآوری‌های بلندتر (پیش از بسته شدن کامل روشنه)، دقت آستانه ارتفاعی ثابت را در تفکیک روشنه کاهش می‌دهد (Gaulton & Malthus, 2010). آمیختگی و ناهم‌سال بودن توده تحت بررسی و در نتیجه تغییرات چشمگیر ارتفاع درختان شکل‌دهنده تاج پوشش، می‌تواند سبب کاهش دقت آستانه ارتفاعی

میزان دسترسی به منابع مؤثر است، اما اندازه‌گیری آن دشوار است. کیفیت طبقه‌بندی به کیفیت داده و تنظیم بهینه ویژگی‌های الگوریتم برای تطبیق نتایج با نتایج طبقه‌بندی روی روشن‌های مرجع وابسته است؛ بنابراین می‌توان با اتکا به بحث تطبیق عوارض براساس ویژگی‌های هندسی بین آنها، نتایج طبقه‌بندی را ارزیابی و توصیف کرد (Moradi et al., 2018). شاخص D نشان‌دهنده برآورد دو خطای کم برآورد و بیش برآورد سطح روشن‌های استخراج شده نسبت به پلی‌گون روشن‌های مرجع است و برای انتخاب روش بهینه استخراج به کار می‌رود. آستانه‌های ارتفاع نسبی، شیب ۶۰ درصد مدل ارتفاعی تاج و روش طبقه‌بندی شیء پایه از نظر مقادیر سنجه D (۰/۳۱) مشابه بودند. بدین معنا که در هر سه روش، تطابق مجموع سطح روشن‌های استخراج شده با سطح روشن‌های مرجع مشابه بود.

در پژوهش حاضر، به جز روش آستانه ارتفاعی ثابت و شیب ۶۰ درصد مدل ارتفاعی تاج، میانگین خطای برآورد پیچیدگی شکل روشن‌ها در روش‌های دیگر کمتر از ۰/۲ بود. بهترین عملکرد از نظر برآورد شاخص پیچیدگی روشن‌های استخراج شده، در روش آستانه شیب ۷۰ درصد مدل ارتفاعی تاج، با کوچک‌ترین میانگین خطا (میانگین خطای ۰/۱۵) مشاهده شد. بدین معنا که با استفاده از روش آستانه شیب ۷۰ درصد مدل ارتفاعی تاج، پیچیدگی شکل روشن‌های استخراج شده به طور میانگین ۰/۱۵ کمتر از پیچیدگی شکل روشن‌های مرجع برآورد شد. در مقابل، روش آستانه ارتفاعی ثابت، در برآورد مشخصه‌های محدوده‌ای روشن (پیچیدگی شکل، مساحت و محیط) میانگین خطای بزرگ‌تری دارد و بنابراین برای استخراج روشن‌ها به عنوان روشی دقیق پیشنهاد نمی‌شود.

Bonnet et al. (2015) بیان کردند که صحت نقشه‌های حاصل از به‌کارگیری داده‌های طیفی به دلیل ساختار ناخالص، ناهمسان و تراکم متفاوت، از

قطعات بزرگ‌تری حاصل می‌شوند (Xuegang et al., 2020)؛ بنابراین صحت تفکیک روشن‌ها تحت تأثیر مقیاس قطعه‌بندی قرار می‌گیرد. Xuegang et al. (2020) از اورتوفتو عکس هوایی و داده‌های لایدار برای تفکیک خودکار روشن‌های جنگل باز رسته چین استفاده کردند. آنها مقیاس ۲۰ را مقدار بهینه در تفکیک خودکار روشن‌ها با بیشترین صحت (صحت کلی ۸۷ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۱) معرفی کردند که نتایج پژوهش حاضر با آن مطابقت دارد.

استخراج روشن‌ها هنگامی دارای دقت مطلوب است که صحت کلی بیشتر از ۸۲ درصد و صحت کاربر بیشتر از ۹۰ درصد باشد. به طور کلی از نظر صحت نقطه‌ای تفکیک روشن‌ها، روش آستانه ۶۰ درصد شیب مدل ارتفاعی تاج و سپس آستانه شیب ۷۵ درصد به ترتیب با صحت کلی ۹۱/۷ و ۹۰/۸ درصد دارای بهترین عملکرد در بین روش‌های مختلف طبقه‌بندی بود. Gaulton & Malthus (2010) در جنگل‌های مدیریت شده، حداکثر صحت کلی ۸۸ درصد را با استفاده از ابر نقاط متراکم، از طریق شناسایی حداکثر محلی و فیلتر کردن و خوشه‌بندی ابر نقاط به دست آوردند. Yang et al. (2015) با استفاده توأم تصاویر چندطیفی و مدل ارتفاعی تاج، صحت کلی ۸۰/۲۸ درصد در طبقه‌بندی روشن‌ها را به دست آوردند.

انتخاب بهترین روش استخراج روشن‌ها به هدف بررسی بستگی دارد؛ به عبارت دیگر باید یکی از دو ویژگی زیر را انتخاب کرد: الف) تشخیص روشن‌ها با اطمینان زیاد که با خطای حذف و شناسایی نشدن بعضی روشن‌ها همراه است؛ ب) شناسایی بیشترین تعداد روشن‌ها که با خطای شناسایی اشتباه بعضی اشیای تصویر به جای روشن‌ها همراه است (Bonnet et al., 2015).

ارزیابی تطابق محدوده‌ای

استخراج هندسه دقیق روشن‌ها برای درک و کمی‌سازی الگوی پراکنش روشن‌ها ضروری است (Vepakomma et al., 2008). شکل و توزیع اندازه روشن‌ها در تشریح و تعیین حدود برهم‌خوردگی و

مدنظر باشد، با استفاده از روش‌های آستانه شیب‌های ۶۰ درصد و ۷۵ درصد مدل ارتفاعی تاج، روشن‌ها با بیشترین صحت کلی (۹۰٪ >) طبقه‌بندی می‌شوند؛ اما در صورتی که صحت محدوده‌ای روشن‌های استخراج‌شده نیز حائز اهمیت باشد، روش‌های طبقه‌بندی شیء‌پایه و آستانه ارتفاعی نسبی ضمن دارا بودن صحت کلی مناسب (۸۹ درصد)، روشن‌ها را با تطابق نزدیک به روشن‌های مرجع طبقه‌بندی می‌کنند. همچنین در صورت در دسترس بودن داده‌های طیفی، قطع‌بندی چند مقایسه و طبقه‌بندی شیء‌پایه، کمترین خطای برآورد مساحت و محیط را در روشن‌های استخراج‌شده خواهد داشت. همچنین در این بررسی مشخص شد که روش آستانه ارتفاعی ثابت در برآورد مشخصه‌های هندسی روشن‌ها (پیچیدگی شکل، مساحت و محیط) میانگین خطای بسیاری دارد و بنابراین روش مناسبی در استخراج محدوده روشن‌ها محسوب نمی‌شود.

در این بررسی با استفاده از آستانه‌گذاری و طبقه‌بندی شیء‌پایه داده‌های پهپاد روشن‌های تاجی توده آمیخته جنگل شصت‌کلاته گرگان با صحت مکانی و هندسی مطلوب استخراج شدند؛ اگرچه مقادیر پارامترهای استفاده‌شده در این بررسی در روش‌های آستانه‌گذاری و طبقه‌بندی شیء‌پایه مختص توده آمیخته جنگل شصت‌کلاته گرگان تنظیم شده و بررسی‌های بیشتری برای تأیید نتایج به‌دست‌آمده در توده‌های مختلف ضروری است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده صرف نظر از عملکرد روش‌های ارائه‌شده، موضوع صحت هندسی روشن‌های استخراج‌شده نیز در نظر گرفته شود.

صحت نقشه‌های حاصل از اطلاعات ارتفاعی کمتر بود و در صورت استفاده از داده‌های ارتفاعی، محدوده روشن‌ها واضح‌تر از داده‌های طیفی خواهد بود. آنان به همین دلیل این نوع داده‌ها را برای شناسایی روشن‌ها مناسب‌تر از اطلاعات طیفی دانستند. این یافته با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد. در پژوهش حاضر به‌کارگیری اطلاعات طیفی اورتوفتوموزائیک پهپاد در قطع‌بندی تصویر و نیز استفاده از شاخص گیاهی سبب بهبود استخراج محدوده (محیط و مساحت) روشن‌ها شد (شکل ۸).

Gu et al. (2020) صحت محدوده‌ای و نقطه‌ای تفکیک تاج درختان را براساس طبقه سطح تاج درخت بررسی کردند. هرچند هدف این بررسی و رابطه استفاده‌شده برای برآورد صحت محدوده‌ای با بررسی حاضر متفاوت است، به‌دلیل مشابه بودن نوع داده‌ها (پهپادی) ذکر نتایج آن مفید است. نتایج این بررسی نشان داد که در برآورد تاج درختان، صحت بیش‌برآوردی ۵۹ درصد و صحت کم‌برآوردی ۴۲ درصد است.

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان‌دهنده اهمیت و دشواری معرفی روشی بهینه برای تهیه نقشه روشن‌های تاجی در شرایط مختلف است. انتخاب مناسب‌ترین روش به ساختار جنگل، داده‌های در دسترس و هدف بررسی بستگی دارد. این پژوهش با هدف تهیه نقشه روشن‌های پوشش تاجی در بخشی از جنگل‌های آمیخته و ناهمسال طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته) با استفاده از تصاویر پهپاد انجام گرفت. نتایج نشان داد که در منطقه پژوهش با توجه به هدف تهیه نقشه، چنانچه صرفاً تفکیک نقطه‌ای و تشخیص روشن‌ها

References

- Amini, Sh., Moayeri, M.H., Shataee Jouibary, Sh., & Rahmani, R. (2021). Geometric indices and regeneration species diversity in natural and man-made canopy gaps. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 28(1), 1-20.
- Amiri, M., Dargahi, D., Azadfar, D., & Habashi, H. (2009). Comparison structure of the natural and managed Oak (*Quercus castaneifolia*) stand (shelter wood system) in forest of Loveh, Gorgan. *Journal of Agricultural Natural Resour Sciences*, 15(6), 1-11.

- Bonnet, S., Gaulton, R., Lehaire, F., & Lejeune, P. (2015). Canopy gap mapping from airborne laser scanning: An assessment of the positional and geometrical accuracy. *Remote Sensing*, 7(9), 11267-11294.
- Brokaw, N.V.L., & Scheiner, S.M. (1989). Species composition in gaps and structure of a tropical forest. *Ecology*, 70(3), 538-541.
- Clinton, N., Holt, A., Scarborough, J., Yan, L.I., & Gong, P. (2010). Accuracy assessment measures for object-based image segmentation goodness. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76(3), 289-299.
- Dam, O. (2001). Forest Filled with Gaps: Effects of Gap Size on Water and Nutrient Cycling in Tropical Rain Forest: A Study in Guyana: Universiteit Utrecht.
- Dupuis, C., Lejeune, P., Michez, A., & Fayolle, A. (2020). How can remote sensing help monitor tropical moist forest degradation?-A systematic review. *Remote Sensing*, 12(7), 1-24.
- Gagnon, J.L., Jokela, E.J., Moser, W.K., & Huber, D.A. (2004). Characteristics of gaps and natural regeneration in mature longleaf pine flatwoods ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 187(2-3), 373-380.
- Gaulton, R., & Malthus, T.J. (2010). LiDAR mapping of canopy gaps in continuous cover forests: A comparison of canopy height model and point cloud based techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 31(5), 1193-1211.
- Getzin, S., Nuske, R.S., & Wiegand, K. (2014). Using unmanned aerial vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests. *Remote Sensing*, 6(8), 6988-7004.
- González-Ferreiro, E., Diéguez-Aranda, U., Barreiro-Fernández, L., Buján, S., Barbosa, M., Suárez, J.C., Bye, I.J., & Miranda, D. (2013). A mixed pixel- and region-based approach for using airborne laser scanning data for individual tree crown delineation in *Pinus radiata* D. on plantations. *International Journal of Remote Sensing*, 34(21), 7671-7690.
- Green, P.T. (1996). Canopy gaps in rain forest on Christmas Island, Indian Ocean: Size distribution and methods of measurement. *Journal of Tropical Ecology*, 12(3), 427-434.
- Gu, J., Grybas, H., & Congalton, R.G. (2020). A comparison of forest tree crown delineation from unmanned aerial imagery using canopy height models vs. spectral lightness. *Forests*, 11(6), 2-15.
- Hobi, M. L., Ginzler, C., Commarmot, B., & Bugmann, H. (2015). Gap pattern of the largest primeval beech forest of Europe revealed by remote sensing. *Ecosphere*, 6(5) 1-15.
- Kavzoglu, T., & Tonbul, H. (2017). A comparative study of segmentation quality for multi-resolution segmentation and watershed transform. *8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), June*, 113-117.
- Kern, C.C., Montgomery, R.A., Reich, P.B., & Strong, T.F. (2014). Harvest-created canopy gaps increase species and functional trait diversity of the forest ground-layer community. *Forest Science*, 60(2), 335-344.
- Koukoulas, S., & Blackburn, G.A. (2004). Quantifying the spatial properties of forest canopy gaps using LiDAR imagery and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 25(15), 3049-3072.
- Koukoulas, S., & Blackburn, G.A. (2005). Spatial relationships between tree species and gap characteristics in broad- leaved deciduous woodland. *Journal of Vegetation Science*, 16(5), 587-596.
- Kucbel, S., Jaloviar, P., Saniga, M., Vencurik, J., & Klimaš, V. (2010). Canopy gaps in an old-growth fir-beech forest remnant of Western Carpathians. *European Journal of Forest Research*, 129(3), 249-259.
- Larrinaga, A.R., & Brotons, L. (2019). Greenness indices from a low-cost UAV imagery as tools for monitoring post-fire forest recovery. *Drones*, 3(1), 1-16.

- Lingua, E., Garbarino, M., Mondino, E.B., & Motta, R. (2011). Natural disturbance dynamics in an old-growth forest: From tree to landscape. *Procedia Environmental Sciences*, 7, 365-370.
- Liu, D., & Xia, F. (2010). Assessing object-based classification: Advantages and limitations. *Remote Sensing Letters*, 1(4), 187-194.
- Mao, X., & Hou, J. (2019). Object-based forest gaps classification using airborne LiDAR data. *Journal of Forestry Research*, 30(2), 617-627.
- Mathews, A. J. (2015). A practical UAV remote sensing methodology to generate multispectral orthophotos for vineyards: Estimation of spectral reflectance using compact digital cameras. *International Journal of Applied Geospatial Research*, 6(4), 65-87.
- Mohammadi, J., Shataee, S., Namiranian, M., & Nasset, E. (2017). Modeling biophysical properties of board-leaved stands in the hyrcanian forest of Iran using fused airborne laser scanner data and UltraCam-D images. *International journal of applied earth observation geoinformation*, 61, 32-45.
- Motohka, T., Nasahara, K. N., Oguma, H., & Tsuchida, S. (2010). Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sensing*, 2(10), 2369-2387.
- Moradi, A., Satari, M., & Momeni, M. (2018). Extracting the individual trees of urban forests from high density airborne LiDAR data. *Iranian Journal of Forest*, 10(1), 27-42.
- Nasiri, V., Darvishsefat, A.A., Arefi, H., & Namiranian, M. (2020). Estimating mean crown diameter using UAV imagery based on multiresolution and watershed segmentation methods (case study: Kheyroud forest). *Iranian Journal of Forest*, 12(1), 131-145.
- Orman, O., Dobrowolska, D., & Szwagrzyk, J. (2018). Gap regeneration patterns in Carpathian old-growth mixed beech forests – Interactive effects of spruce bark beetle canopy disturbance and deer herbivory. *Forest Ecology and Management*, 430, 451-459.
- Salmani, S., Ebrahimi, H., Mohammadzade, K., & Valizadeh Kamran, K. (2019). Evaluating efficiency of object-based classification techniques used to extract land use from IKONOS satellite imagery. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (Sepehr)*, 28(111), 205-215.
- Schliemann, S.A., & Bockheim, J.G. (2011). Methods for studying treefall gaps: A review. *Forest Ecology and Management*, 261(7), 1143-1151.
- Sefidi, K., & Sadeghi, M.M. (2021). Anthropogenic disturbance impacts on spatial pattern of Caucasian Oak (*Quercus macrnanthera*) stands in Hatam Mashe Si forests, Arasbaran. *Iranian Journal of Forest*, 13(2), 155-168.
- Seidel, D., Ammer, C., & Puettmann, K. (2015). Describing forest canopy gaps efficiently, accurately, and objectively: New prospects through the use of terrestrial laser scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 213, 23-32.
- Vepakomma, U., St-Onge, B., & Kneeshaw, D. (2008). Spatially explicit characterization of boreal forest gap dynamics using multi-temporal lidar data. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2326-2340.
- White, J.C., Tompalski, P., Coops, N.C., & Wulder, M.A. (2018). Comparison of airborne laser scanning and digital stereo imagery for characterizing forest canopy gaps in coastal temperate rainforests. *Remote Sensing of Environment*, 208, 1-14.
- Xuegang, M., Liang, Z., & Fan, W. (2020). Object-oriented automatic identification of forest gaps using digital orthophoto maps and LiDAR data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 46(2), 177-192.
- Yang, J., Jones, T., Caspersen, J., & He, Y. (2015). Object-based canopy gap segmentation and classification: Quantifying the pros and cons of integrating optical and LiDAR data. *Remote Sensing*, 7(12), 15917-15932.
- Zeybek, M., & Şanlıoğlu, İ. (2019). Point cloud filtering on UAV based point cloud. Measurement. *Journal of the International Measurement Confederation*, 133, 99-111.

Zhang, K. (2008). Identification of gaps in mangrove forests with airborne LIDAR. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2309-2325.

Zielewska-Büttner, K., Adler, P., Ehmann, M., & Braunisch, V. (2016). Automated detection of forest gaps in spruce dominated stands using canopy height models derived from stereo aerial imagery. *Remote Sensing*, 8(3), 1-21.



Research Article

Canopy gap delineation using UAV data in a Hyrcanian forest (Case study: Shastklateh Forest)

Sh. Amini^{1*}, Sh. Shataee Jouibary², M.H. Moayeri³, and R. Rahmani⁴

¹Ph.D. Candidate of Forestry, Dept. of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran

² Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran

³ Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran

⁴ Associate Prof., Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran

(Received: 31 August 2021; Accepted: 13 December 2021)

Abstract

Canopy gap delineation is essential for achieving a better comprehension of forest structure. This study aims to (a) extract canopy gaps using UAV data and (b) compare the performance of different canopy gap extraction methods in a managed stand in the northeast of Iran. A canopy height model (CHM) was produced by subtracting LIDAR digital terrain model from the UAV digital surface model. CHM classification performs to extract gaps by thresholding CHM (fixed height and CHM slope and relative height thresholds) and object-based classification on the UAV CHM and orthophoto. Ground truth was produced in the point and polygon forms through field measurements and visual interpretation of the UAV orthophoto. The geometry of the canopy gaps (Area, perimeter, and shape complexity) was calculated. Finally, the point and polygon base accuracy of delineated gaps were assessed for each of the methods. Point accuracy assessment suggests that 60% CHM slope produces the highest overall accuracy and Kappa coefficient of 91.7% and 0.874, respectively. About area accuracy assessment, the best match between delineated gaps and ground truth polygons was achieved by using relative height and 60% CHM slope thresholds. The lowest mean errors of GSCI produced by 70% CHM slope (0.15). Moreover, object-based classification showed the lowest mean error of area (33.76 m²) and perimeter (16.80 m). In general, if area accuracy is considered, the best fit of the delineated gap's geometry is gained by the object-based classification.

Keywords: Canopy Height Model, Object-based, Segmentation, Thresholding, UAV.