



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی شیراز

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره چهارم، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

برآورد مساحت تاج تک درختان بنه با استفاده از DSM تصاویر هوایی پهپاد در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس

افروز چناری^۱، *سیدیوسف عرفانی فرد^۲، مریم دهقانی^۳ و حمیدرضا پورقاسمی^۴

^۱ کارشناسی ارشد، بخش منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، ^۲ دانشیار، بخش منابع طبیعی و محیط زیست،

دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، ^۳ استادیار، بخش مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران،

^۴ استادیار، بخش منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: تاج پوشش درختان در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا بخش‌هایی از زمین که زیر تاج درختان قرار دارند، محیطی مناسب برای استقرار تجدید حیات و حیات سایر موجودات زنده است. بنابراین آگاهی از وضعیت تاج پوشش درختان و درختچه‌ها، پایش تغییرات و ارزیابی سلامت آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. داده‌های سنجش از دور برداشت شده به وسیله اغلب ماهواره‌ها، امکان اندازه‌گیری نااریب مساحت تاج تک درختان را فراهم نمی‌آورد زیرا از توان تفکیک مکانی مناسب برای این منظور برخوردار نیست. از طرف دیگر، دسترسی به این داده‌ها در زمان مورد نظر پژوهشگر همواره میسر نیست و در صورت دسترسی، هزینه تهیه آن‌ها زیاد است. پیشرفت‌های روزافزون سنجش از دور منجر به دسترسی پژوهشگران به پهپاد یا هواپیمای بدون سرنشین شده که تصاویر برداشت شده توسط این سکو علاوه بر برخوردار از توان تفکیک مکانی بسیار زیاد برای مطالعه دقیق ویژگی‌های زیست‌سنجی تک درختان، دسترسی به تصاویر در زمان مطلوب پژوهشگر را نیز ممکن کرده است. با توجه به این موضوع، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کارایی تصاویر پهپاد و مدل رقومی سطح زمین (DSM) حاصل از تصاویر استریو آن‌ها برای برآورد مساحت تاج تک درختان بنه در ناحیه رویشی زاگرس انجام شد. همچنین بررسی تأثیر اندازه توان تفکیک مکانی DSM بر صحت و دقت برآورد مساحت تاج درختان هدف دیگر این مطالعه بود.

مواد و روش‌ها: بخشی از جنگل تحقیقاتی بنه با مساحت ۴۵ هکتار پوشیده از یک توده خالص بنه در استان فارس انتخاب شد. در مهرماه ۱۳۹۵، منطقه مورد نظر با ۱۰۷۶ قطعه تصویر هوایی با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷ سانتی‌متر برداشت شده به وسیله یک پهپاد با ارتفاع پرواز ۷۰ متر تصویربرداری شد. این تصاویر که به صورت استریو برداشت شده بود، با استفاده از ۱۲ نقطه کنترل زمینی ثبت شده با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی سه فرکانسه Leica Viva GS15 تصحیح شده و موزاییک آن‌ها تهیه شد. پس از آن، DSM حاصل از فرآیند پردازش Bundle adjustment با سه توان تفکیک مکانی ۳/۴۷، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر تولید شد. تعداد ۱۰۰ درخت بنه که قبلاً موقعیت مکانی آن‌ها ثبت شده و مساحت تاج آن‌ها اندازه‌گیری شده بود، در محدوده مورد بررسی به طور تصادفی انتخاب شدند. ابتدا به کمک الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر

*مسئول مکاتبه: erfanifard@shirazu.ac.ir

پردازش شیء مبنا تاج درختان به صورت اتوماتیک از لایه DSM استخراج شدند. سپس میانگین مساحت تاج به دست آمده از DSM تصویر پهپاد و مقدار واقعی آن‌ها با آزمون t جفتی مقایسه شد. همچنین از سه شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، کارایی مدل (ME) و امتیاز اریبی (BS) برای ارزیابی دقت نتایج استفاده شد.

یافته‌ها: ارتوفتوموزاییک منطقه مورد مطالعه با RMSE برابر ۸ سانتی‌متر تهیه شد. از ۱۰۰ درخت بنه تصادفی که برای این پژوهش انتخاب شده بود، در DSM با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر به ترتیب ۱۰۰، ۸۹ و ۸۰ درخت قابل شناسایی بودند. اگرچه بین میانگین واقعی مساحت تاج ۸۰ درخت (۵۱/۳ مترمربع) شناسایی شده در هر سه DSM و میانگین مساحت تاج روی سه DSM ۳/۴۷ (۴۲/۶ مترمربع)، ۵۰ (۴۴/۵ مترمربع) و ۱۰۰ سانتی‌متر (۳۹/۲ مترمربع) اختلاف معنی‌داری (در سطح ۰/۰۵) وجود نداشت ولی همبستگی آن‌ها کاهش پیدا کرد. علاوه بر این، با کاهش توان تفکیک مکانی DSM مقدار RMSE افزایش و مقدار ME و BS کاهش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتیجه‌گیری شد که DSM تصاویر پهپاد ابزاری مناسب برای شناسایی و اندازه‌گیری مساحت تاج تک‌درختان بنه در منطقه مورد مطالعه بود که به وضوح، تاج درختان را از سایه و سایر پدیده‌ها جدا کرد. علاوه بر این، نشان داده شد که با کاهش توان تفکیک مکانی DSM، پردازش داده‌ها تسهیل شده و اختلاف معنی‌داری بین اندازه‌گیری‌ها و مقدار واقعی وجود نداشت ولی از دقت نتایج کاسته شد.

واژه‌های کلیدی: پهپاد، مدل رقومی سطح زمین، مساحت تاج، زاگرس

مقدمه

برآورد نااریب مساحت تاج درختان در ناحیه رویشی زاگرس از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا در این ناحیه رویشی و سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند آن، بخش‌هایی از زمین که در زیر تاج درختان و درختچه‌ها قرار دارند، مکانی مناسب برای استقرار تجدید حیات گیاهان و همچنین ادامه حیات سایر موجودات زنده محسوب می‌شود (۵)، (۱۲). از سوی دیگر، محققین در مطالعات ارزشمندی که در ناحیه رویشی زاگرس انجام دادند بر اهمیت تاج پوشش و همبستگی زیاد آن با زی‌توده جنگل‌ها و درختزارهای این ناحیه رویشی تأکید کرده‌اند (۱، ۱۴). برای اندازه‌گیری مساحت تاج درختان و درختچه‌ها می‌توان از آماربرداری میدانی استفاده کرد که با توجه به دسترسی دشوار و همچنین تراکم اندک درختان و درختچه‌ها در زاگرس نیازمند صرف زمان و هزینه

زیاد است. در حالی‌که پژوهش‌های پیشین (۳) تأیید کردند که داده‌های حاصل از سنجش از دور با فراهم آوردن دید تقریباً عمودی، ابزاری مناسب برای اندازه‌گیری مساحت تاج به حساب می‌آیند. اگرچه بررسی‌های قبلی (۴) نشان داده است که بسیاری از تصاویر تهیه شده از سنجنده‌های نصب شده بر سکوهای ماهواره‌ای از توان تفکیک مکانی و زمانی مناسبی برخوردار نیستند و نمی‌توانند علاوه بر فراهم آوردن امکان برآورد مساحت تاج گیاهان، زمینه را برای پایش تغییرات آن‌ها در زمان موردنظر پژوهشگران ممکن نمایند. از سوی دیگر پیشرفت‌های اخیر در فناوری سنجنده‌ها امکان دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی بیشتر (به‌عنوان مثال حدود ۳۰ سانتی‌متر در ماهواره Worldview) را به وجود آورده‌اند ولی هزینه آن در مطالعه ویژگی‌های تک‌درختان زیاد است (۳). همچنین سنجنده‌های

لازم به ذکر است که در مطالعات انجام شده به برخی ویژگی‌های منفی این داده‌ها (اعم از مدت کم زمان پرواز، هزینه زیاد در سطوح وسیع و حجم زیاد تصاویر) نیز اشاره شده که کاربرد آن‌ها را محدود می‌نماید.

یکی از مشکلاتی که پژوهشگران در برآورد ویژگی‌های تاج درختان در مناطق کم تراکم روی داده‌های سنجش از دور با آن مواجه هستند، شناسایی مرز تاج تک‌درختان از سایر ویژگی‌ها (مانند سایه) است. بروز خطا در تعیین مرز تاج از سایر پدیده‌ها ناشی از توان تفکیک مکانی نامناسب تصویر و یا قابلیت روش‌های طبقه‌بندی، منجر به برآورد نادرست این ویژگی درختان روی داده‌های سنجش از دور می‌شود. به همین دلیل، در مطالعات اخیر بر روی تاج درختان از مدل رقمی سطح زمین (DSM)^۳ استفاده شده است (۵). هرچند DSM داده‌های لیدار در بررسی تاج درختان به‌کار رفته است (۶) ولی دسترسی به این داده‌ها همیشه امکان‌پذیر نیست. در حالی‌که از تصاویر برداشت شده به‌وسیله پهپادها می‌توان ارتقوتو تهیه نمود و بنابراین، امکان تهیه DSM نیز فراهم است. به‌نظر می‌رسد DSM به دست آمده از پهپادها به‌دلیل توان تفکیک مکانی بسیار زیاد تصاویر و همچنین دسترسی به موقعیت یاب جهانی دقیق همراه پهپادها ابزاری مناسب برای مطالعه محدوده تاج درختان باشد که نیاز به بررسی و پژوهش بیشتر دارد.

بنابراین با توجه به قابلیت‌ها و ویژگی‌های مثبت پهپادها، سهولت دسترسی به آن‌ها توسط پژوهشگران علوم جنگل و گسترش رو به رشد کاربرد آن‌ها در زمینه‌های مختلف، بررسی کارایی DSM تصاویر هوایی پهپاد در برآورد مساحت تاج تک‌درختان

نصب شده روی سکوهاى هواپرد^۱ که تصاویری با توان تفکیک مکانی زیاد تهیه می‌کنند (به‌عنوان مثال تصاویر UltraCam-D با توان تفکیک مکانی ۶ سانتی‌متر) نیز گران بوده و تهیه تصاویر مناسب برای پایش تغییرات در پوشش گیاهی دشوار است. علاوه بر این موضوع، تصاویر UltraCam-D همه مناطق در ناحیه رویشی زاگرس را پوشش نمی‌دهند و دسترسی به تصاویر هوایی در زمان‌های مختلف مستلزم ثبت سفارش و صرف هزینه زیاد است.

پیشرفت‌های اخیر در علم سنجش از دور، دسترسی به تصاویر هوایی برداشت شده به‌وسیله پرنده هدایت‌پذیر از دور (پهپاد) یا وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAV)^۲ را فراهم کرده است. از ویژگی‌های مهم پهپادها، تهیه تصاویر هوایی با تلفیقی از توان تفکیک مکانی بسیار زیاد و توان تفکیک زمانی موردنظر پژوهشگر است. علاوه بر این دو ویژگی، هزینه عملیاتی و پیچیدگی آن در مقایسه با سایر ابزارهای اشاره شده بسیار کمتر است (۳، ۴). با وجود این ویژگی‌های مناسب، بررسی کارایی پهپادها در اندازه‌گیری مساحت تاج تک‌درختان در ناحیه رویشی زاگرس ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین سنجنده‌های نصب شده روی آن‌ها مانند دوربین‌های تجاری با قابلیت ثبت طیف مرئی (قرمز، سبز، آبی) و در برخی موارد مادون قرمز نزدیک باید مورد مطالعه دقیق قرار بگیرند تا قابلیت آن‌ها در برآورد مشخصات تاج درختان تأیید شود. اگرچه تاکنون در داخل کشور برای اندازه‌گیری تاج درختان با استفاده از تصاویر هوایی حاصل از پهپاد کمتر مطالعه‌ای صورت گرفته است، ولی عملکرد این داده‌ها در پایش تغییرات گیاهان زراعی (۱۵، ۱۶) و همچنین اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های درختان (۳، ۹، ۱۰) تأیید شده است. البته

1- Airborne

2- Unmanned Airborne Vehicle (UAV)

3- Digital Surface Model (DSM)

ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور، این مطالعه بر اساس این فرضیه انجام شده است که مرز تاج تک‌درختان و در نتیجه مساحت آن‌ها روی DSM به‌دست آمده از تصاویر هوایی پهپاد قابل اندازه‌گیری است. توان تفکیک مکانی بسیار زیاد تصاویر هوایی پهپاد و در نتیجه، DSM حاصل از آن‌ها، به وضوح نشان خواهد داد که تغییرات ارتفاعی تاج درختان از کجا شروع شده و این موضوع، در تفکیک مرز تاج درختان از سایه آن‌ها که روی زمین تشکیل شده، بسیار مؤثر است. برای آزمون فرضیه ذکر شده، بخشی از جنگل تحقیقاتی بنه در نزدیکی شهرستان فیروزآباد در استان فارس انتخاب شد. یکی از اهداف این مطالعه، بررسی قابلیت DSM تصاویر هوایی پهپاد در شناسایی و تفکیک مرز تاج تک‌درختان بنه از سایر پدیده‌ها (سایه، درختچه‌های بادام) و برآورد مساحت آن‌ها بود. در این راستا الگوریتمی مبتنی بر پردازش شیء‌مبنای لایه DSM طراحی شد که طی چندین مرحله تاج درختان به‌طور خودکار از DSM استخراج شد. همچنین مطالعه تأثیر تغییرات توان تفکیک مکانی DSM بر صحت و دقت برآورد مساحت تاج درختان بنه از اهداف دیگر مطالعه حاضر قرار گرفت. در مقایسه با بررسی‌های قبلی، این پژوهش از نظر استفاده از DSM حاصل از پهپاد برای برآورد مساحت تاج درختان در درختزارهای کم‌تراکم زاگرس دارای نوآوری است که در صورت تأیید کارایی آن، می‌تواند برای ارزیابی سایر ویژگی‌های پوشش گیاهی در مطالعات آتی روی این ناحیه رویشی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: در این پژوهش، بخشی از جنگل تحقیقاتی بنه در نزدیکی شهرستان فیروزآباد در

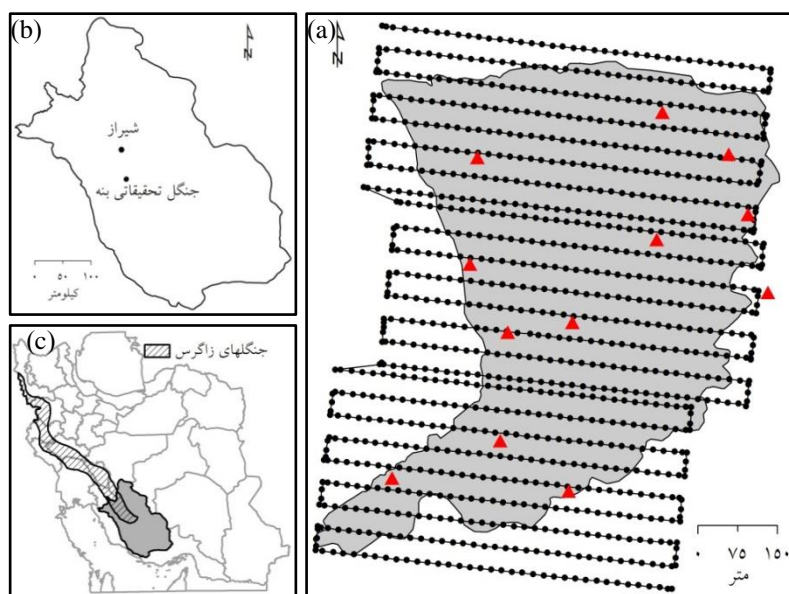
جنوب غربی استان فارس و در فاصله ۶۵ کیلومتری جنوب شیراز انتخاب شد که در بخش انتهایی ناحیه رویشی زاگرس قرار دارد. این جنگل تحقیقاتی با مساحت کل در حدود ۹۳۷۴ هکتار از سال ۱۳۷۵ زیر نظر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس مدیریت می‌شود و در عرض ۲۹ درجه و ۱۵ دقیقه ۲۹ ثانیه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه ۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی قرار دارد. این منطقه با متوسط ارتفاع از سطح دریای ۱۹۲۰ متر از توده‌های خالص و آمیخته درختان بنه (*Pistacia atlantica* var. *mutica*) پوشیده شده است (۱۳). در بخشی از این جنگل تحقیقاتی با وسعت حدود ۴۵ هکتار (شکل ۱)، موقعیت مکانی درختان بنه با قطر برابر سینه بزرگتر از ۲/۵ سانتی‌متر با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)^۱ دوفراکنسه مارک Leica مدل GS10 با دقت بهتر از یک سانتی‌متر در مطالعه قبلی ثبت شده بود (۸). در مطالعه‌ای دیگر ویژگی‌های زیست‌سنجی قطر برابر سینه (با استفاده از نوار قطرسنج)، ارتفاع و دو قطر بزرگ و کوچک تاج (با استفاده از متر لیزری) مربوط به هر درخت نیز تهیه شد (۱۱).

تصویربرداری با پهپاد: پهپادی که برای تصویربرداری در این مطالعه به‌کار رفت، کوادروتور فانتوم ۴ با قابلیت صعود و فرود عمودی است. این پهپاد با وزن ۱۳۸۰ گرم، دارای دوربینی با قابلیت فیلمبرداری و امکان ثبت عکس‌های ۱۲ مگاپیکسلی (۳۰۰۰×۴۰۰۰ پیکسل) خام و با فرمت JPEG و در محدوده طیف مرئی می‌باشد. در این دوربین با طراحی یک لنز غیرکروی با زاویه دید ۹۴ درجه (f/2.8)، ضبط تصاویر 4K با سرعت ۳۰ تصویر بر ثانیه ممکن است. دوربین فانتوم ۴ بر روی یک سامانه لرزشگیر و

1- Global Positioning System: GPS

می‌گردد تا موقعیت خود را به صورت دقیق و کامل حفظ کند. این قابلیت باعث می‌شود تا پهپاد نقطه شروع، محل پرواز و ارتباط آن با کاربر را در طول پرواز حفظ نماید (۱۷).

پایدارساز سه محوره حرفه‌ای (با انحراف $\pm 0/03$ درجه) نصب شده است که هیچگونه لرزش و تکانی در تصویر دیده نخواهد شد. این پهپاد با قابلیت اتصال بسیار سریع به ۲۴ ماهواره به صورت همزمان موجب



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد بررسی (پلی گون خاکستری)، مسیر پرواز (خط تیره)، نقاط کنترل زمینی (مثلث قرمز) و مراکز تصاویر هوایی (دایره مشکی) (a) در استان فارس (b) و ایران (c).

Figure 1. Location of study plot (grey polygon), flight plan (black line) and centers of aerial images (black points) (a) in Fars province (b) and Iran (c).

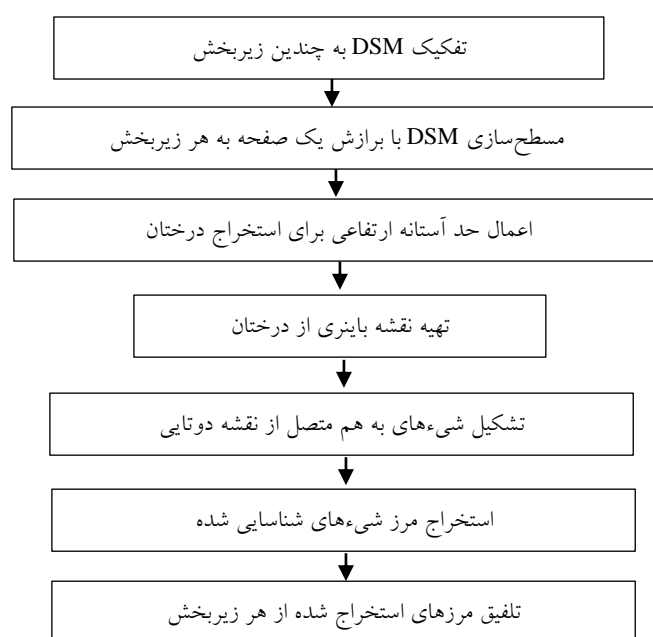
روش کار: به منظور دستیابی به یکی از اهداف این پژوهش از تصاویر استریو، بر اساس مطالعات پیشین (۳) DSM با سه اندازه تفکیک مکانی ۳/۴۷، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر تهیه شد. یکی از موضوعات اصلی در این پژوهش استخراج تاج پوشش درختان از DSM بود. این کار طی الگوریتم پیشنهادی که مراحل آن در شکل ۲ نشان داده شده است، انجام گرفت. در ابتدا DSM منطقه مطالعاتی به چند زیربخش تقسیم می‌گردد. سپس هر زیربخش نسبت به شیب احتمالی منطقه در آن زیربخش با برآزش یک صفحه به نقاط غیر از درخت تصحیح می‌شود. یک حد آستانه ارتفاعی برابر با کوتاه‌ترین درخت در منطقه بر روی DSM‌های مسطح شده اعمال شده تا پیکسل‌های

در ۱۹ مهرماه ۱۳۹۵ بین ساعت حدود ۱۰ صبح تا ۱۵ بعدازظهر، در منطقه مورد مطالعه تصویربرداری با همپوشانی طولی ۷۰ درصد در ۲۵ خط پرواز و در ارتفاع ۷۰ متر بالاتر از ارتفاع متوسط زمین انجام شد. برای زمین‌مرجع‌سازی تصاویر از ۱۲ نقطه کنترل زمینی با استفاده از GPS سه فرکانسه Leica Viva GS15 به روش RTK¹ در کل منطقه استفاده شد. زیانگ و تیان (۲۰۱۰) نیز ارتفاع پرواز ۷۰ متر پهپاد و تعداد ۱۲ کنترل زمینی برای زمین‌مرجع‌سازی را تأیید کردند (۱۸).

1- Real Time Kinematic

در نهایت با هم تلفیق شده و نقشه مرز تاج درختان تهیه می‌گردد. نقشه حاصل از این مراحل در نرم‌افزار MATLAB ماهیت رستری دارد که برای تبدیل به بردار و تحلیل‌های بعدی وارد سامانه اطلاعات مکانی شد.

مربوط به درختان استخراج گردد. با اعمال حد آستانه یک نقشه دوتایی تولید شده که مقادیر یک در آن درختان و مقادیر صفر غیر درخت را نشان می‌دهد. سپس هر درخت با آنالیز عوارض متصل، به یک شیء تبدیل شده که می‌توان مرز هر شیء را به‌طور خودکار استخراج نمود. مرزهای استخراج شده از هر زیربخش



شکل ۲- الگوریتم پیشنهادی برای استخراج تاج درختان بته از DSM.

Figure 2. The proposed algorithm to extract crown of wild pistachios on DSM.

مساحت تاج درختان بته روی DSM ارتوفتوموزاییک از سه شاخص RMSE، کارایی مدل^۱ و امتیاز اریبی^۲ استفاده شد (جدول ۱) (۲). انجام این تحلیل‌ها علاوه بر ارزیابی کارایی روش مورد استفاده، بررسی تأثیر توان تفکیک مکانی DSM بر صحت نتایج را نیز ممکن نمود.

تعداد ۱۰۰ درخت بته به صورت تصادفی انتخاب شدند تا مساحت تاج آنها اندازه‌گیری شود (شکل ۳). در تصویر دوتایی محدوده تاج درختان بته مشخص شده و مساحت آنها محاسبه گردید. به منظور ارزیابی صحت نتایج، میانگین مساحت تاج درختان بته به میانگین واقعی آنها که در عرصه اندازه‌گیری شده بود با استفاده از آزمون t جفتی در سطح ۰/۰۵ مقایسه شد. با توجه به نرمال نبودن داده‌ها، ضریب همبستگی اسپیرمن مساحت تاج واقعی و برآوردی درختان نیز اندازه‌گیری شد و نمودار متناظر آنها بررسی گردید. همچنین دقت برآورد

1- Model Efficiency: ME

2- Bias score: BS

جدول ۱- شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی مساحت تاج برآوردی درختان بنه روی DSM پهباد.

Table 1. Indices applied for evaluation of estimated crown area of wild pistachio on UAV DSM.

شاخص (Index)	علامت اختصاری (Abbreviation)	رابطه (Equation)	بهترین مقدار (دامنه) (The best value [Range])
جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error)	RMSE	$\sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 / n}$	0 [0, +∞]
کارایی مدل (Model Efficiency)	ME	$\frac{ \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 }{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$	+1 [-∞, +1]
امتیاز اریبی (Bias score)	BS	$\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}$	+1 [0, +∞]

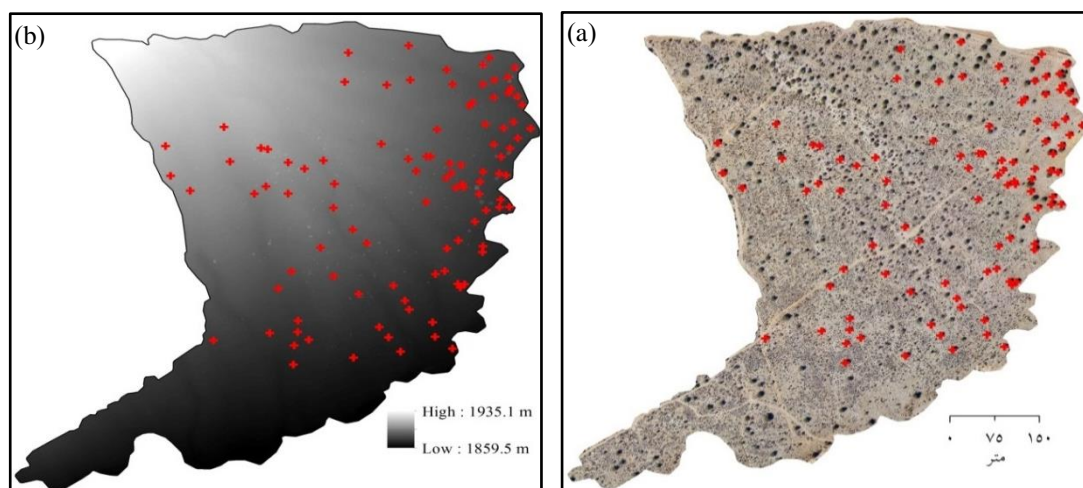
y_i : مساحت تاج واقعی، \hat{y}_i : مساحت تاج برآوردی، n : تعداد نمونه، \bar{y} : میانگین مساحت تاج واقعی.

پوشش داده شود. پس از تهیه ارتوفتوموزاییک با DSM برابر ۸ سانتی‌متر از این تصاویر، RMSE تصویر با دامنه ارتفاعی ۱۸۵۹/۵ تا ۱۹۳۵/۱ متر به‌دست آمد (شکل ۲). سپس DSM با سه توان تفکیک مکانی ۳/۴۷، ۱۲۰۰ (مگابایت)، ۵۰، ۱۰۰ (سه مگابایت) و ۱۰۰ (مگابایت) (سه مگابایت) تولید شد. کاهش توان تفکیک مکانی سرعت پردازش داده‌ها را افزایش داد که هزینه این موضوع کاهش دقت در برآورد مساحت تاج درختان بنه بود.

هرقدر مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل کارآمدتر است. مقدار ME=1 بیانگر کارایی بسیار خوب مدل است، در حالی که مقدار منفی آن به معنی رد کارایی مدل است. در صورتی که مقدار BS بیشتر از یک باشد، نشان‌دهنده بیش برآوردی مساحت تاج و در صورت کمتر بودن BS از یک، مقدار مساحت تاج کمتر برآورد شده است.

نتایج و بحث

در مجموع ۱۰۷۶ تصویر با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷ سانتی‌متر تهیه شد تا کل محدوده مورد بررسی



شکل ۳- موقعیت مکانی ۱۰۰ درخت بنه تصادفی روی ارتوفتوموزاییک (a) و DSM با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷ سانتی‌متر (b) منطقه مورد بررسی.

Figure 3. Spatial locations of 100 random wild pistachio trees on orthophoto mosaic (a) and DSM with spatial resolution of 3.47 cm (b) of the study plot.

اندازه‌گیری شده روی سه DSM در سطح ۰/۰۵ با میانگین واقعی آن‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت. بررسی ضریب همبستگی اسپیرمن نیز نشان داد بیشترین همبستگی بین مساحت تاج برآوردی و واقعی ۸۰ درخت بانه روی DSM با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ۲). در راستای دستاوردهای مطالعه حاضر، داندویس و الیس (۲۰۱۳) و کانلیف و همکاران (۲۰۱۶) نیز کارایی DSM حاصل از تصاویر پهپاد با توان تفکیک یک تا ۳۰ سانتی‌متر را برای مطالعه ویژگی‌های تاج گیاهان در مناطق خشک و مرطوب تأیید کردند (۵، ۶).

از ۱۰۰ درخت بانه تصادفی که برای این پژوهش انتخاب شده بود، در DSM با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۱۰۰، ۸۹ و ۸۰ درخت قابل شناسایی بودند. چیانوچی و همکاران (۲۰۱۶) نیز در بررسی ویژگی‌های تاج درختان راش با استفاده از تصاویر پهپاد تأیید کردند که با کاهش توان تفکیک مکانی، تعداد درختان قابل تشخیص کاهش پیدا می‌کند (۳). بنابراین مقایسه مساحت تاج در ۸۰ درختی ادامه پیدا کرد که در DSM با هر سه توان تفکیک مکانی تشخیص داده شده بودند. میانگین مساحت‌های تاج

جدول ۲- مقایسه مقدار واقعی و برآوردی مساحت تاج ۸۰ درخت بانه روی DSM پهپاد با سه توان تفکیک مکانی.

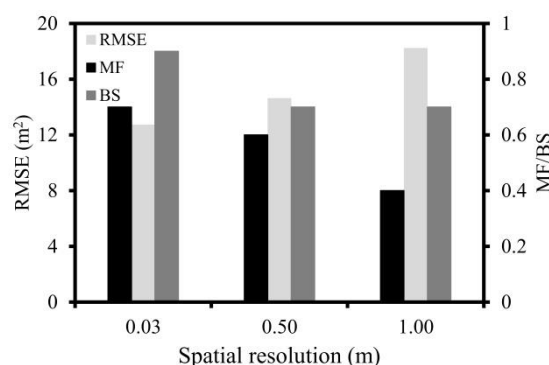
Table 2. Comparison of true and estimated crown area of 80 wild pistachios on DSM with three spatial resolutions.

100 cm	50 cm	3.47 cm	توان تفکیک مکانی (Spatial resolution)
80	89	100	تعداد درخت قابل شناسایی از ۱۰۰ درخت (No. of recognizable trees from 100 trees)
	51.3		میانگین مساحت تاج واقعی ۸۰ درخت (True mean crown area of 80 trees) (m ²)
39.2 ^{ns}	44.5 ^{ns}	42.6 ^{ns}	میانگین مساحت تاج برآوردی ۸۰ درخت (Estimated mean crown area of 80 trees) (m ²)
	11.6		واقعی (True)
3.1	6.8	7.4	برآوردی (Estimated)
	134.1		واقعی (True)
115.1	118.1	114.5	برآوردی (Estimated)
	23.3		واقعی (True)
24.5	25.9	22.8	برآوردی (Estimated)
			انحراف معیار مساحت تاج (SD of crown area) (m ²)
0.7 ^{**}	0.8 ^{**}	0.9 ^{**}	ضریب همبستگی اسپیرمن (Spearman correlation coefficient)

ns: غیرمعنی‌دار در سطح ۰/۰۵، **: معنی‌دار در سطح ۰/۰۵.

BS نشان داد که با افزایش توان تفکیک مکانی از کمتر برآورد کردن مساحت تاج کاسته شده و بیشترین شباهت بین مقدار واقعی و برآوردی در DSM با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷ سانتی‌متر رخ داد (شکل ۴).

با کاهش توان تفکیک مکانی DSM، مقدار RMSE افزایش پیدا کرده و ME و BS نیز کاهش پیدا کردند به نحوی که حداقل مقدار RMSE و حداکثر مقدار ME در DSM با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷ سانتی‌متر مشاهده شد. همچنین مقایسه مقادیر

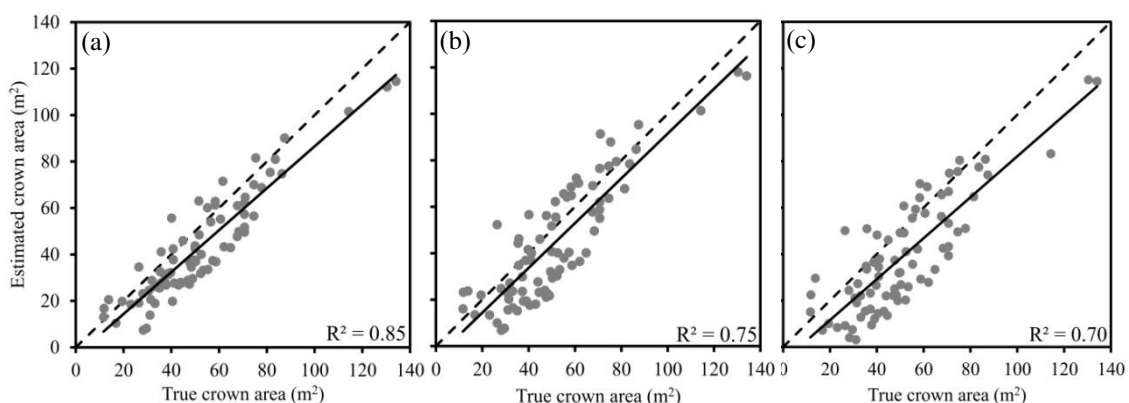


شکل ۴- تغییرات شاخص‌های دقت برآورد مساحت تاج درختان بنه با تغییر توان تفکیک مکانی DSM

Figure 4. Changes in precision indices of estimation of wild pistachio crown area with changing spatial resolution of DSM.

از پهباد، ویژگی ارتفاع تاج درختان را با همبستگی ۰/۸۵ با مقدار واقعی برآورد کردند (۱۹) که در مطالعه حاضر نیز مساحت تاج درختان بنه روی DSM با همبستگی ۰/۸۵ با مقدار واقعی آن‌ها اندازه‌گیری شد.

بررسی نمودار یک به یک مقدار مساحت تاج واقعی و برآوردی هر یک از ۸۰ درخت بنه نیز نشان داد که با کاهش توان تفکیک مکانی DSM، از همبستگی بین برآوردها و مقدارهای واقعی کاسته شد (شکل ۵). زهاوی و همکاران (۲۰۱۵) نیز با استفاده



شکل ۵- نمودار یک به یک مساحت تاج واقعی و برآوردی ۸۰ درخت بنه روی DSM با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷ سانتی‌متر (a)، ۵۰ سانتی‌متر (b) و ۱۰۰ سانتی‌متر (c).

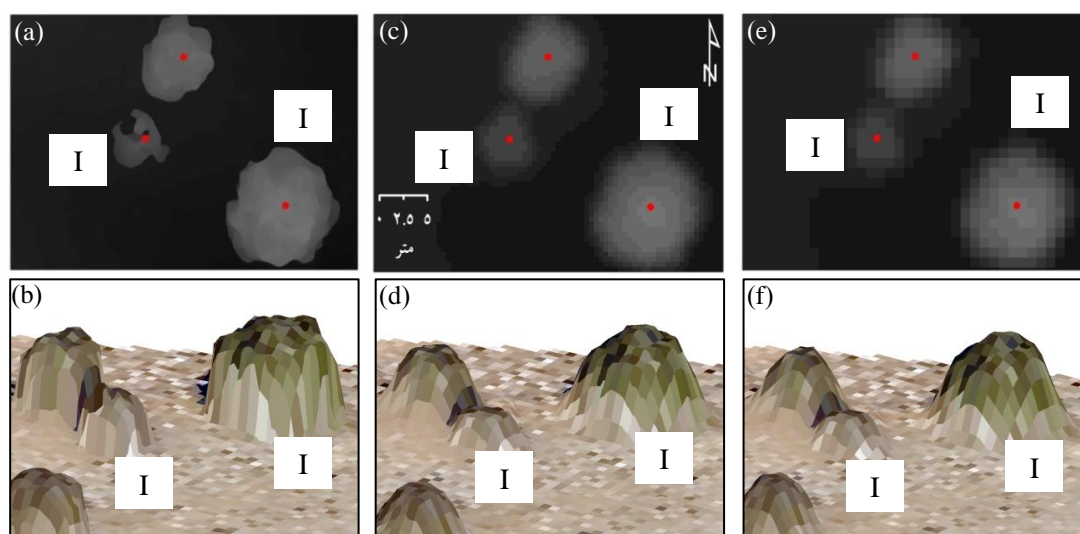
Figure 5. Cross validation of true and estimated crown area of 80 wild pistachios on DSM with spatial resolution of 3.47 cm (a), 50 cm (b), and 100 cm (c).

(شکل ۵- a, c, e). در هر دو درخت نمونه، کاهش توان تفکیک مکانی باعث گسترده‌تر شدن تاج شده است که این موضوع در درخت I کاملاً مشخص است (شکل ۵- b, d, f). بروز این تغییرات در گستره تاج با کاهش توان تفکیک مکانی DSM، می‌تواند کاهش همبستگی میانگین مساحت تاج واقعی و برآوردی (جدول ۲) و افزایش RMSE و کاهش

افزایش توان تفکیک مکانی این امکان را فراهم آورد تا مرز تاج درختان از سایر پدیده‌ها به‌ویژه سایه آن‌ها بهتر تفکیک شده و همچنین کلیه ۱۰۰ درخت بنه تصادفی روی DSM شناسایی شوند. همچنین کاهش توان تفکیک مکانی از ۳/۴۷ به ۱۰۰ سانتی‌متر باعث کلی‌تر شدن محدوده تاج دو درخت بنه I و II شد که برآورد مساحت تاج را با خطا مواجه کرد

گرفتند توان تفکیک مکانی تأثیری بر صحت اندازه‌گیری ویژگی‌های آفتابگردان نداشته است (۱۶). در صورتی‌که نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاهش توان تفکیک مکانی بر دقت برآورد مساحت تاج درختان بینه تأثیر داشت. علت این تفاوت در نتیجه‌گیری ممکن است این باشد که کاهش توان تفکیک مکانی بر ویژگی‌های تصویر پهباد اثر کمتری دارد در حالی‌که بر دقت DSM مؤثر است.

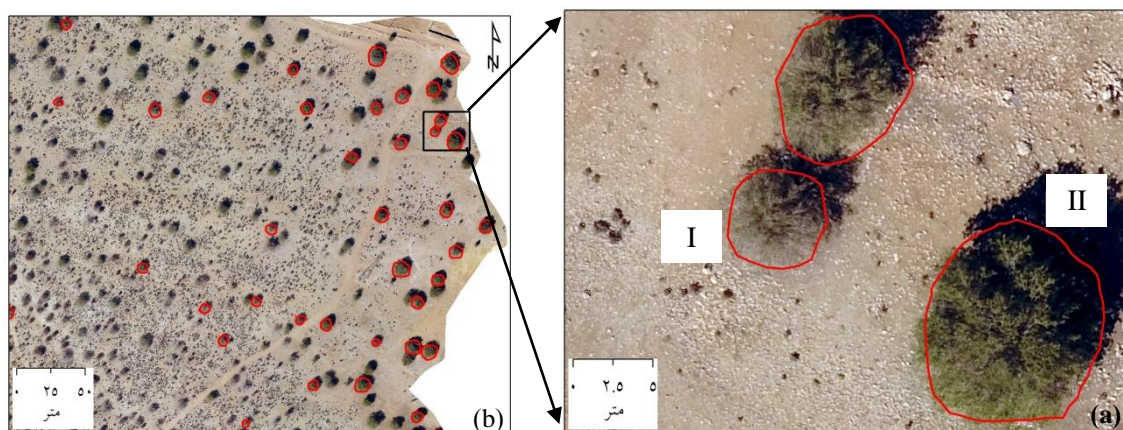
ME و BS (شکل ۴) را توجیه نماید. زارکو- تجادا و همکاران (۲۰۱۴) و دیاز- وارلا و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعه روی درختان زیتون با استفاده از DSM تصاویر پهباد به قابلیت این داده در برآورد ویژگی‌های تاج درختان اشاره کرده و آن را تأیید کرده‌اند (۷، ۲۰). هرچند وگا و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود روی مزارع آفتابگردان با استفاده از تصاویر پهباد با توان تفکیک مکانی یک، ۳۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر نتیجه



شکل ۶- شکل دو درخت بینه روی DSM با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷ سانتی‌متر (a, b)، ۵۰ سانتی‌متر (c, d) و ۱۰۰ سانتی‌متر (e, f).
Figure 6. Shape of a wild pistachio tree on DSM with spatial resolution of 3.47 cm (a), 50 cm (b) and 100 cm (c).

تاج، مرز تاج از سایه به خوبی جدا شده است اگرچه در تفسیر بصری، بخشی از تاج به دلیل قرار گرفتن در سایه با سایه روی زمین قابل تفکیک نیست. به نظر می‌رسد این شباهت در بازتاب بر صحت و دقت طبقه‌بندی تصویر تأثیر منفی بگذارد در صورتی‌که بر طبقه‌بندی DSM اثر چندانی نداشته است. هرچند تأیید این موضوع نیاز به بررسی بیشتر و مطالعه روش‌های مختلف طبقه‌بندی روی تصاویر پهباد و DSM آن در پژوهش‌های آتی دارد.

همچنین نتیجه نهایی تاج درختان شناسایی شده روی DSM با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷ سانتی‌متر در بخشی از منطقه مطالعاتی در شکل ۷ به همراه همان دو درخت I و II در شکل ۶ نشان داده شده است. چنانچه در شکل ۶-a مشخص است، با وجود این‌که مرز تاج درخت بینه I در قسمت جنوبی به دلیل خشکیدگی آن چندان مشخص نیست و به لحاظ رنگ شباهت زیادی با اطرافش دارد، ولی به دلیل تغییرات ارتفاعی آن روی DSM به خوبی تشخیص داده شده است. همچنین در درخت بینه II نیز در قسمت شمالی



شکل ۷- بخشی از ارتوفتوموزاییک با توان تفکیک مکانی ۳/۴۷ سانتی‌متر و مرز تاج سه درخت شناسایی شده روی آن (a) در گوشه منطقه مورد مطالعه (b).

Figure 7. A part of orthophoto mosaic with spatial resolution of 3.47 cm and crown boundary of three trees (a) in the corner of study area (b).

تفکیک مکانی، تعداد درختان بنه قابل تشخیص و دقت برآورد مساحت تاج آن‌ها نیز تحت تأثیر قرار گرفت. همچنین با کاهش توان تفکیک مکانی، بین مساحت تاج واقعی و برآوردی در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی همبستگی بین آن‌ها کاهش پیدا کرد. بررسی دقت نتایج نیز بیانگر کاهش دقت اندازه‌گیری مساحت تاج با کاهش توان تفکیک مکانی بود. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش کارایی DSM تصاویر پهپاد را برای برآورد مساحت تاج تک‌درختان بنه در منطقه مورد مطالعه تأیید نمود ولی مقایسه این نتایج با روش‌های طبقه‌بندی شیء پایه و پیکسل پایه روی تصاویر پهپاد برای برآورد مساحت تاج تک‌درختان در مطالعات آتی نیز می‌تواند گامی مهم در راستای توسعه کاربرد پهپادها در زیست‌سنجی جنگل‌های زاگرس محسوب گردد.

سیاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای مهندس روزگار و همکاران ایشان به‌خاطر انجام عملیات تصویربرداری از منطقه مورد مطالعه و

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش به بررسی قابلیت DSM حاصل از تصاویر هوایی پهپاد در برآورد مساحت تاج تک‌درختان بنه در بخشی از جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس پرداخت. ابتدا به کمک الگوریتم پیشنهادی، DSM منطقه مورد پردازش قرار گرفت و تاج درختان به‌طور خودکار استخراج شد. سپس تأثیر توان تفکیک مکانی DSM بر صحت و دقت برآورد این ویژگی مهم زیست‌سنجی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که DSM تصاویر هوایی پهپاد به‌دلیل توان تفکیک مکانی بسیار زیاد (۳/۴۷ سانتی‌متر در این پژوهش) قادر به ثبت دقیق تغییرات ارتفاعی بود و فرضیه اولیه با توجه به دستاوردهای پژوهش حاضر تأیید شد. توان تفکیک مکانی DSM در تفکیک مرز تاج درختان بنه از سایر پدیده‌ها (مانند سایه) و همچنین شناسایی تاج درختان بنه که بخشی از آن خشک شده و رنگ آن تفاوتی با محیط اطرافش ندارد، مؤثر بود. اگرچه کاهش توان تفکیک مکانی DSM در کاهش حجم آن تأثیر زیادی داشته و سرعت پردازش آن را افزایش داد ولی با کاهش توان

بازدیدهای میدانی تشکر نمایند. همچنین این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز (کد اعتبار 95GCU1M153126) انجام شده است. علاوه بر این، نظرات سازنده داوران محترم باعث اصلاح اشکالات نسخه اولیه شد که از ایشان صمیمانه قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abdolahi, H., and Shataee Joybari, Sh. 2012. Comparative evaluation of IRS-P6-LISS-III and LISS IV images for canopy cover mapping of Zagros forests (Case Study: Javanroud Forests). *J. Wood Forest Sci. Tech.*, 19: 1.43-60. (In Persian)
2. Bennet, N., Croke, B., Guariso, G., Guillaume, J., Hamilton, S., Jakeman, A., Libelli, S., Newham, L., Norton, J., Perrin, C., Pierce, S., Robson, B., Seppelt, R., Voinov, A., Fath, B., and Andreassian, V. 2013. Characterizing performance of environmental models. *J. Environmental Modelling and Software*. 40: 1-20.
3. Chianucci, F., Disperati, L., Guzzi, D., Bianchini, D., Nardino, V., Lastri, C., Rindinella, A., and Corona, P. 2016. Estimation of canopy attributes in beech forests using true colour digital images from a small fixed-wing UAV. *International J. Applied Earth Observation and Geoinformation.*, 47: 60-68.
4. Colomina, I., and Molina, P. 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing. *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing.*, 92: 79-97.
5. Cunliffe, A.M., Brazier, R.E., and Anderson, K. 2016. Ultra-fine grain landscape-scale quantification of dryland vegetation structure with drone-acquired structure-from-motion photogrammetry. *Remote Sensing of Environment.*, 183: 129-143.
6. Dandois, P., and Ellis, E.C. 2013. High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. *Remote Sensing of Environment*. 136: 259-276.
7. Díaz-Varela, R., de la Rosa, R., León, L., and Zarco-Tejada, P. 2014. High-Resolution Airborne UAV Imagery to Assess Olive Tree Crown Parameters Using 3D Photo Reconstruction: Application in Breeding Trials. *Remote Sensing.*, 7: 4213-4232.
8. Erfanifard, Y., and Mahdian, F. 2012. Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests (case study: Wild Pistachio Reaserch Forest, Fars province, Iran). *Iranian J of Forest and Poplar Reaserch.*, 20: 62-73. (In Persian)
9. Lin, Y., Jiang, M., Yao, Y., Zhang, L., and Lin, J. 2015. Use of UAV oblique imaging for the detection of individual trees in residential environments. *Urban Forestry and Urban Greening*. 14: 404-412.
10. McNeil, B., Pisek, J., Lepisk, H., and Flamenco, E. 2016. Measuring leaf angle distribution in broadleaf canopies using UAVs. *Agricultural and Forest Meteorology.*, 218: 204-208.
11. Moselou, M. 2012. Assessment of kNN inventory method in estimating the biometric features of wild pistachio trees (Case study: Wild Pistachio Research Forest, Fars). M.Sc. Thesis, Shiraz University. 155p. (In Persian)
12. Nazarpoorfard, K., Zarooni, M., Etemad, V., and Namiranian, M. 2016. The effect of Canopy Cover, slope and direction of domain on continuing regeneration in Zagros forests (case study: Blooran. Koohdasht, Lorestan). *Natural Ecosystems of Iran*. 7: 69-81. (In Persian)
13. Owji, M.Gh., and Hamzepour, M. 2012. Vegetation profile of wild pistachio experimental forest. *Research Institute of Forests and Rangelands. Press*, 240p. (In Persian)
14. Sohrabi, H., Askari, Y., and Zobeiri, M. 2013. Accuracy of Line Sampling Method for Estimating Canopy Cover and Density of Zagros Forests in Chartagh, Ardal. *Iranian J. Forest and Wood Product*. 66: 3.267-276. (In Persian)

15. Torres-Sanchez, F., Lopez-Granados, F., and Pena, J.M. 2015. An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV image: Application for vegetation detection in herbaceous crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 114: 43-52.
16. Vega, F., Ramírez, F., Siaz, M., and Rosua, F. 2015. Multi-temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop. *Biosystems Engineering J*. 132: 19-27.
17. www.dji.com [Available on 1 May, 2017]
18. Xiang, H., and Tian, L. 2010. Method for automatic georeferencing Aerial remote sensing (RS) images from an unmanned aerial vehicle (UAV) platform. *Biosystems Engineering j*. 108: 104-113.
19. Zahawi, R.A., Dandois, J.P., Holl, K.D., Nadwodny, D., Reid, J.L., and Ellis, E.C. 2015. Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. *Biological Conservation*. 186: 287-295.
20. Zarco-Tejada, P.J., Diaz-Varela, R., Angileri, V., and Loudjani, P. 2014. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European J. Agron*. 55: 89-99.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 24 (4), 2017
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Estimation of crown area of wild pistachio single trees using DSM of UAV aerial images in Baneh Research Forest, Fars province

A. Chenari¹, *S.Y. Erfanifard², M. Deghani³ and H.R. Pourghasemi⁴

¹M.Sc., Dept., of Natural Resources and Environment, Shiraz University, Shiraz, Iran,

²Associate Prof., Dept., of Natural Resources and Environment, Shiraz University, Shiraz, Iran,

³Assistant Prof., Dept., of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran,

⁴Assistant Prof., Dept., of Natural Resources and Environment, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 05/14/2017; Accepted: 08/19/2017

Abstract

Background and objectives: Crown cover of trees in arid and semi-arid regions is of great importance as the parts of ground under tree canopies are favorable environments for regeneration establishment and survival of other organisms. Therefore, it is essential to be aware of crown cover status of trees and shrubs, monitor their changes and assess their health. Remote sensing data obtained by most of satellites do not make unbiased measurement of crown area of single trees possible as their spatial resolution is not suitable for this purpose. On the other hand, these data are not available at the time researchers need, and if available, they are expensive. Continuous progress in remote sensing results in access of researchers to unmanned aerial vehicle (UAV) that imagery taken by this device have not only very high spatial resolution for precise study of biometric characteristics of single trees, but also availability of images at favorable time for researchers. Considering this issue, this study was aimed to evaluate UAV imagery and corresponding digital surface model (DSM) resulted from stereo images to estimate crown area of wild pistachio single trees in Zagros vegetation zone. Moreover, it was also aimed to investigate the impact of spatial resolution of DSM on accuracy and precision of estimating crown area of the trees.

Materials and methods: A part of Baneh Research Site with area of 45 ha was selected that was purely cover by wild pistachio. In October 2016, the study area was covered by 1076 aerial images with 3.47 cm spatial resolution taken by a UAV flown at 70 m above the study area. The images were geo-referenced using 12 ground control points collected by Leica Viva GS15 three-frequency global positioning system. The DSM extracted using bundle adjustment method was then resampled to three different spatial resolutions of 3.47, 50, and 100 cm. An object-based processing method was proposed in order to automatically extract the crown boundaries from DSM. Number of 100 wild pistachio trees were randomly selected that their spatial position were registered and their crown areas were measured before. The mean crown area obtained by DSM of UAV imagery and the observed mean were compared by paired sample *t*-test. In addition, three indices of root mean squared error (RMSE), model efficiency (ME), and bias score (BS) were applied to assess the precision of results.

Results: The orthophoto mosaic of the study area was obtained with RMSE of 8 cm. Among 100 wild pistachio trees randomly selected for this study, 100, 89, and 80 trees were recognized on DSMs with spatial resolution of 3.47, 50, and 100 cm, respectively. Although there was no significant difference between observed mean crown area of 80 trees (51.3 m²) recognized on all DSMs and mean crown area estimated on DSMs with 3.47 (42.6 m²), 50 (44.5 m²), and 100 cm (39.2 m²) ($\alpha=0.05$), but their correlation decreased. Moreover, RMSE increased and ME and BS decreased with decreasing spatial resolution of DSM.

Conclusion: In general, it was concluded that DSM of UAV imagery is an appropriate means to recognize and measure crown area of wild pistachio single trees in the study area that obviously separated tree crowns from their shadow and other objects. Moreover, it was revealed that with decreasing spatial resolution of DSM, data processing became easier and there was no significant difference between observations and measurements but the precision of results decreased.

Keywords: Wild pistachio, Unmanned aerial vehicle, Digital surface model, Crown area, Zagros

*Corresponding authors: erfanifard@shirazu.ac.ir