

تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان بلوط ایرانی به کمک الگوریتم حداکثر فیلتر محلی

حامد صادقیان^۱

علیرضا صالحی^{۲*}

asalehi@mail.yu.ac.ir

زهرا عزیزی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۵

چکیده

زمینه و هدف: امروزه تصاویر سنجش از دور فرصت مناسبی را جهت تجزیه و تحلیل خودکار مشخصه‌های جنگل فراهم می‌کنند. این پژوهش با هدف ارزیابی نتایج به کارگیری الگوریتم خودکار حداکثر فیلتر محلی برای تعیین مساحت تاج و تشخیص تاج تک درختان بلوط ایرانی بر روی تصاویر هوایی UltraCam-D در مقایسه با روش تفسیر بصری بر روی این تصاویر و اندازه‌گیری زمینی، انجام گرفته است.

روش بررسی: مساحت تاج ۱۰۰ اصله درخت، انتخاب شده به صورت تصادفی و قابل تشخیص در عرصه جنگل و تصویر هوایی، به روش تفسیر بصری بر روی تصویر هوایی، اندازه‌گیری، محاسبه و به عنوان مساحت واقعی در نظر گرفته شد. در روش آماری‌برداری زمینی، مساحت تاج و تعداد پایه هر کدام از درختان مذکور اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس الگوریتم حداکثر فیلتر محلی با برنامه نویسی در محیط نرم افزار Matlab R2014b جهت تعیین مساحت و تشخیص تعداد قله‌های تاج بر روی تصویر یادشده اعمال شد.

یافته‌ها: با آزمون تحلیل واریانس یک طرفه، اختلاف معنی داری بین میانگین سطح تاج حاصل از این روش‌ها مشاهده نگردید. درصد RMSE جهت برآورد دقت الگوریتم حداکثر فیلتر محلی و روش زمینی نسبت به روش تفسیر بصری به ترتیب ۵/۸۲ درصد و ۶/۰۸ درصد به دست آمد. همچنین صحت کلی و ضریب کاپا در ارتباط با برآورد دقت الگوریتم حداکثر فیلتر محلی جهت تشخیص تعداد قله تاج درختان به ترتیب ۶۴ درصد و ۵۹ درصد به دست آمد.

بحث و نتیجه‌گیری: استفاده از الگوریتم حداکثر فیلتر محلی جهت تعیین و تشخیص تاج بلوط ایرانی و به دنبال آن بررسی وضعیت شاخه زادی این درختان قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم تعیین و تشخیص، بلوط ایرانی، تصویر UltraCam-D.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- دانشیار، دپارتمان منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

Automated delineation and detection of tree crowns of Persian oak on UltraCam-D images using local maximum filtering algorithm for delineation and detection of the crowns of Persian Oak trees

Hamed Sadeghian¹

Alireza Salehi^{2*}

asalehi@mail.yu.ac.ir

Zahra Azizi³

Admission Date: February 13, 2025

Date Received: November 25, 2024

Abstract

Background and Objective: Remote sensing images provide a good opportunity to be analyzed automatically the features of the forests. This study aims to evaluate the use of an automatic algorithm under the name of the local maximum filter to determine and recognize the crown area of Persian oak trees, using Ultra Cam-D aerial imageries, in comparison to the results of visual interpretation of images and measurements on the field.

Material and Methodology: Crown area of 100 Persian oak trees selected randomly in the forest, also recognizable in aerial images, were measured and calculated by mentioned methods, while the results of the visual interpretation was considered as the control method. The local maximum filtering algorithm was programmed, using Matlab R2014b software. This program was used to diagnose the number of peaks of a crown and to determine the area of that.

Findings: Using ANOVA analysis, no significant differences were observed between the mean values of canopy resulted by these methods. The RMSEs for estimating the accuracy of the local maximum filtering and the field measurement method in comparison to the visual interpretation methods were obtained 5.82% and 6.08 %, respectively. The overall accuracy and kappa coefficient associated with the estimation by the algorithm to determine the numbers of peaks of tree crowns are 64% and 59%, respectively.

Discussion and Conclusion: The use of local maximum filtering algorithm for determining the canopy of Persian oak trees could be recommended.

Keywords: Delineation and detection algorithm, *Quercus brantii*, Ultra Cam-D image, Remote sensing.

1- MSc. Student of forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Yasouj, Yasuj, Iran.
*(Corresponding Author)

2- Associate Prof., Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, Iran.

3- Associate Prof., Department of Natural Resources and Environment, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

از دیدگاه اکولوژیکی یکی از مهمترین اجزای اکوسیستم جنگل، تاج درختان است. برای مثال، (۱) بیان می‌کنند که تاج جنگل رابط بین ۹۰ درصد زی‌توده‌ی (Biomass) روی خاک با اتمسفر است و همچنین نقش مهمی را در حفظ تنوع زیستی ایفا می‌کند. اندازه تاج درخت یکی از متغیرهای اصلی در معادله‌های آلومتریک برای برآورد بیوماس جنگل و محاسبات ترسیب کربن درختان می‌باشد و در تهیه شکل تاج گونه‌های مختلف، برآورد حجم سرپا و سن توده‌های جنگلی از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین، شکل تاج معرف ویژگی‌های مهمی برای تشخیص گونه‌های درختی از جمله نوع و فرم رویشی آن‌ها می‌باشد (۲،۳)، از این رو نیاز به شناخت و استفاده از مؤلفه‌هایی است که بتوانند ساختار تاج را تشریح نمایند. روش‌های متعددی برای تشخیص و اندازه‌گیری تاج درختان در توده‌های جنگلی دانه‌زاد و شاخه‌زاد وجود دارد، که از جمله این روش‌ها می‌توان به عملیات میدانی و جمع‌آوری اطلاعات به شیوه زمینی به عنوان روش معمول (۴) و همچنین استفاده از تکنیک‌های دورسنجی (۵) اشاره نمود. جمع‌آوری اطلاعات به شیوه زمینی در جنگل‌های کوهستانی زاگرس کاری زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد، که نتیجه آن نبود اطلاعات کافی و دقیق از عمده مناطق جنگلی و بروز نبودن اطلاعات در دسترس مدیران جنگل می‌باشد. از طرفی، سیستم‌های دورسنجی جدید قادرند داده‌های کم‌هزینه‌ای با توان تفکیک مکانی و طیفی بالا فراهم آورند. در ایران، دسترسی به تصاویر هوایی تهیه شده به وسیله دوربین رقومی UltraCam-D که اندازه تفکیک مکانی بالایی دارد (۰/۹ متر)، امکان مطالعه بسیار دقیق تاج‌پوشش درختان را در مناطق جنگلی فراهم ساخته است (۷،۶). تاج درختان از مهمترین و بارزترین پدیده‌های قابل استخراج از داده‌های دورسنجی به شیوه دستی و اتوماتیک هستند، استخراج دستی داده‌های دورسنجی نیز، به نسبت وقت‌گیر، پرهزینه و شامل خطاهای انسانی است. اما، استخراج خودکار تاج درختان دارای مزایایی مانند به روز رسانی پایگاه‌های داده در زمانی کوتاه‌تر و با هزینه کمتر و در نتیجه دسترسی سریع‌تر به داده‌ها است؛ این

روش گذشته از اینکه موجب افزایش سرعت، دقت و کاهش هزینه‌ها می‌شود ارائه ویژگی‌های تاج درختان جنگلی را به صورت نقشه با دقت مکانی و صحت زیادی که در گذشته میسر نبود، ممکن می‌سازد (۹،۸).

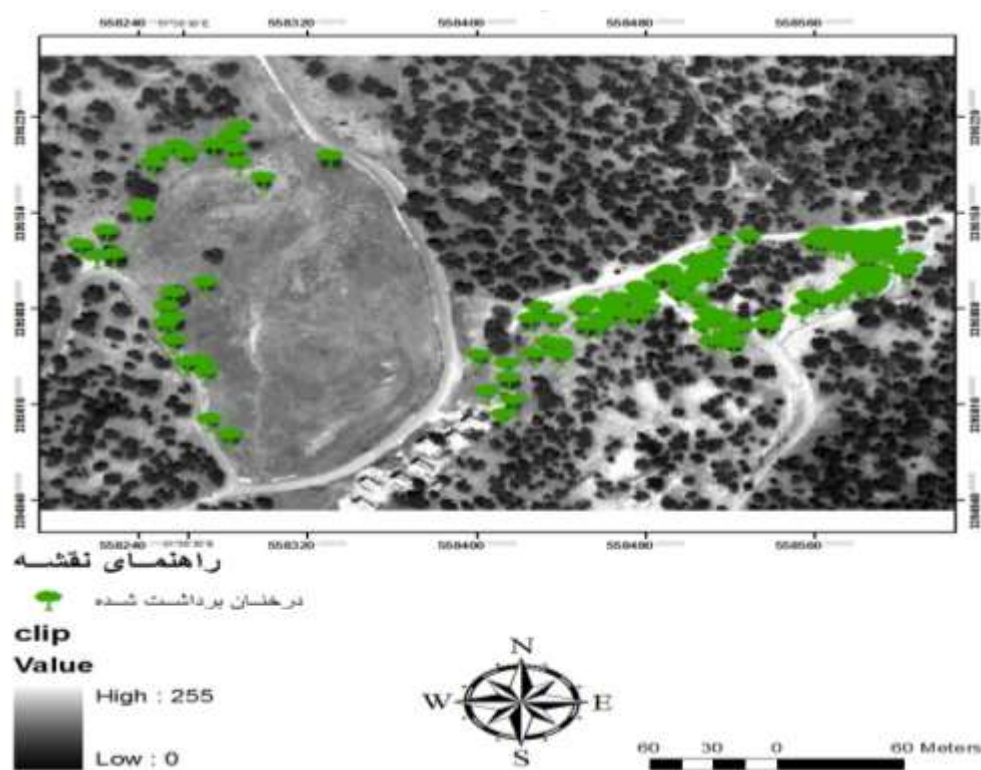
تحقیقات در مورد الگوریتم‌های تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان بر روی تصاویر رقومی به اواسط دهه ۱۹۸۰ برمی‌گردد؛ منظور از تعیین تاج درخت تعیین خودکار حدود تاج و برآورد مساحت آن می‌باشد و تشخیص تاج درخت به عنوان فرآیندی است که به پیدا کردن تعداد قله یا برآمدگی تاجی در تاج-پوشش جنگل منجر می‌گردد. یکی از قدیمی‌ترین پژوهش‌های مربوط به تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان، پژوهش (۱۰) می‌باشد. ایشان با استفاده از الگوریتم حداکثر فیلتر محلی موفق به تشخیص تاج درختان سوزنی برگ با در نظر گرفتن حداکثر ارزش پیکسل‌ها در تصاویر هوایی با اندازه پیکسل ۱۰ سانتی‌متر شد. در اواسط دهه ۱۹۹۰ (۱۱) الگوریتم زیر دره (Valley Following) را ارائه داد که قوانین پایه این الگوریتم منجر به تعیین و تشخیص تاج درختان سوزنی‌برگ با در نظر گرفتن حداقل ارزش پیکسل‌ها در تصاویر هوایی با قدرت تفکیک مکانی ۳۶ سانتی‌متر شد. در همان دوران بررسی مقیاس‌های متعدد در تصاویر هوایی با وضوح بالاتر جهت تعیین و تشخیص تاج درختان انجام پذیرفت (۱۲) و بر این اساس الگوریتم تطبیق الگو (Template Matching) جهت تعیین و تشخیص تاج درختان معرفی شد، پس از آن سایر الگوریتم‌های تعیین و تشخیص تاج درخت مانند منطقه در حال رشد (Region Growing) و تقسیم بندی حوزه (Watershed Segmentation) معرفی شدند (۱۳). اکثر تحقیقات انجام شده در رابطه با روش‌های تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان در جنگل‌های سوزنی‌برگ انجام پذیرفته است که در این رابطه از الگوریتم حداکثر فیلتر محلی جهت تشخیص خودکار تعداد قله یا برآمدگی تاج درختان استفاده شده است. (۱۴) از الگوریتم حداکثر فیلتر محلی جهت تشخیص تک درختان بر روی تصاویر پهپادی در باغ فاتح کرج استفاده کردند

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در یک توده جنگلی خالص بلوط ایرانی (*Quercus brantii* L.) به مساحت حدود ۱۰ هکتار در پارک جنگلی یاسوج واقع در شمال شرق شهر یاسوج انجام پذیرفت. مختصات جغرافیایی منطقه تحقیق از ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه و ۲۸ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه و ۴۳ ثانیه طول شرقی و از ۳۰ درجه و ۴۱ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۴۱ دقیقه و ۱۹ ثانیه عرض شمالی است (شکل ۱). عرصه مورد مطالعه با متوسط ارتفاع ۲۱۴۲ متر از سطح دریا بر دامنه‌ای با جهت شمال غربی با شیب متوسط ۱۰ درصد واقع شده است.

با این حال، در تحقیقات گذشته، سابقه‌ای از تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان بلوط در منطقه زاگرس به چشم نمی‌خورد. هدف اصلی تحقیق حاضر استفاده از الگوریتم حداکثر فیلتر محلی به همراه سایر روش‌های پردازش تصاویر رقومی جهت تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان بلوط ایرانی بر روی تصاویر رقومی UltraCam-D در منطقه زاگرس جنوبی و مقایسه نتیجه آن با نتایج حاصل از روش‌های تفسیر چشمی (بصری) بر روی تصاویر هوایی و اندازه‌گیری زمینی تاج درختان می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت درختان برداشت شده بر روی تصویر هوایی UltraCam-D در پارک جنگلی یاسوج

Figure 1. Location of harvested trees on the UltraCam-D' aerial image in Yasuj Forest Park

روش پژوهش

Orientation Parameters ($X, Y, Z, \omega, \phi, \kappa$) هنگام پرواز ثبت می‌شود و با در اختیار داشتن داده‌های تجهیزات نامبرده و بدون نیاز به نقطه کنترل زمینی، می‌توان عملیات مثلث‌بندی (Triangulation) را انجام داد. در این پژوهش تصاویر مذکور با استفاده از پارامترهای توجیه خارجی در حد

برای دستیابی به اهداف این پژوهش از تصاویر هوایی UltraCam-D استفاده شد. داده‌های تصویری این دوربین، قابلیت زمین مرجع شدن مستقیم با استفاده از داده‌های GPS و IMU (Inertial Measurement Unit) را دارند (۱۵). به عبارت دیگر پارامترهای توجیه خارجی (Exterior

ارتوفتو تصحیح هندسی شدند و سپس از آن‌ها موزاییک تهیه گردید. عملیات مذکور در محیط نرم‌افزار Leica Photogrammetry Suite انجام پذیرفت. بعد از بررسی کلی ارتوفتوموزاییک تهیه شده از منطقه، با استفاده از مجموعه-ای از ۱۰۰ نقطه تصادفی تهیه شده در محیط نرم‌افزار Arcview بر روی نقشه منطقه مورد مطالعه و قرار دادن آن‌ها بر روی ارتوفتوموزاییک، تعداد ۱۰۰ اصله از نزدیک‌ترین درختان بلوط ایرانی شامل تک‌پایه و جست‌گروه به این نقاط انتخاب گردید و با تکیه بر توان تفکیک مکانی تصویر (۰/۹ متر) و استفاده از ابزار بزرگ‌نمایی نرم‌افزار، در حد امکان مرز تاج درختان منتخب بر روی تصویر مشخص و به شکل پلی‌گون (چند ضلعی) در یک فایل وکتوری ثبت شد و مساحت هر یک از پلی‌گون‌ها محاسبه و به عنوان مساحت واقعی تاج هر کدام از درختان (۱۶) در نظر گرفته شد. همچنین مختصات دقیق این درختان جهت انجام عملیات میدانی بر روی دستگاه موقعیت یاب مکانی معمولی ثبت گردید. با توجه به وسعت حدود ۱۰ هکتاری منطقه مورد بررسی، تراکم کم پوشش جنگلی منطقه و در اختیار داشتن موقعیت مکانی هر یک از درختان هدف در دستگاه موقعیت یاب و استفاده از تصاویر هوایی همراه که موقعیت درختان هدف بر روی آن‌ها مشخص شده بود، امکان یافتن هر یک از درختان انتخاب شده در منطقه مورد مطالعه به راحتی امکان پذیر بود. قابل ذکر است که در این پژوهش از پایه‌های درختی قابل شناسایی و تشخیص هم بر روی تصاویر هوایی همراه و هم در طبیعت استفاده گردید؛ حال آن که در توده‌های متراکم‌تر استفاده از دستگاه‌های موقعیت یاب مکانی دقیق‌تر توصیه می‌گردد. بعد از مشخص کردن هر کدام از درختان مورد مطالعه در عرصه جنگل، دو قطر کوچک و بزرگ تاج (قطرهای عمود بر هم) (۱۷) و یا بر حسب مورد تاج جست گروه، برای اندازه‌گیری سطح تاج‌پوشش هر درخت اندازه‌گیری شدند. همچنین تعداد پایه یا پایه‌های هر درخت یا جست گروه شمارش و ثبت شدند.

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، با اجرای موزای یک الگوریتم دو بخشی (الگوریتم حداکثر فیلتر محلی) که در نرم-افزار Matlab R2014b برنامه‌نویسی شده بود (شکل ۲)، به

تعیین و تشخیص تاج درختان منتخب اقدام گردید. ابتدا به‌منظور نرم کردن تصویر و حذف خطاهای احتمالی در تصویر، فیلتر گوسین با سایز پنجره 3×3 و انحراف از معیار پنج (۱۸) بر روی کل تصویر رنگی اعمال شد. جهت تعیین مرز تاج درختان (شکل ۲)، تصویر فیلتر شده با استفاده از فیلتر گوسین به تصویر با مقیاس خاکستری (Grayscale) تبدیل گردید؛ در تصویر با مقیاس خاکستری به جای آن که به هر پیکسل سه عدد مربوط به باندهای قرمز، سبز و آبی نسبت داده شود، فقط یک عدد به عنوان شدت به هر پیکسل نسبت داده می‌شود. سپس بر روی تصویر با مقیاس خاکستری، ماکزیمم فیلتر محلی با سایز پنجره 3×3 اعمال شد (۱۹). اعمال این فیلتر بخش اصلی روش برای جداسازی مناطق مرز تاج درختان می‌باشد. پس از اعمال ماکزیمم فیلتر محلی، گرادیان شدت روشنایی پیکسل‌ها با استفاده از فیلتر فضایی خطی سوبل (Sobel) در دو راستای عمودی و افقی محاسبه شد تا مرز تاج درختان که توسط ماکزیمم فیلتر محلی مشخص شده است برجسته‌تر گردد. از آن‌جا که مرز درختان به صورت بیضوی است، این گرادیان در هر دو راستای عمودی و افقی اعمال شد (۲۰). برای آن‌که مرز درختانی که در مراحل قبل توسط ماکزیمم فیلتر محلی تعیین شده و با محاسبه گرادیان برجسته شده‌اند بهبود داده شود، از فیلترهای مورفولوژیکی بازکردن (Opening)، ایروژن (Erosion)، بستن (Closing)، دیلیشن (Dilation) به ترتیب و پشت سر هم استفاده شد (۱۹). پس از بهبود مرز درختان توسط فیلترهای مورفولوژیکی، مرز مربوط به تاج درختان برچسب‌گذاری (Labeling) شد و تاج هر درخت شماره برچسب مربوط به خود را گرفت. پس از برچسب‌گذاری تاج درختان و جداسازی کامل آن‌ها از زمینه، مرز تاج هر درخت، قطر کوچک و بزرگ تاج جهت برآورد مساحت تاج در نرم‌افزار اندازه‌گیری گردید.

جهت تشخیص قله‌های تاج درختان (شکل ۲)، باندهای قرمز، سبز و آبی تصویر که فیلتر گوسین بر روی آن اعمال شده بود، جداسازی شدند. سپس سه شاخص گیاهی (Vegetation ExG index) (بیش از حد سبز)، ExR (بیش از حد قرمز) و تفاضل آنها ExG-ExR که روابط آن‌ها (رابطه ۱ تا ۳) به

عملکرد این فیلتر در این مرحله (تشخیص قله‌های تاج) با عملکرد آن در مرحله تعیین مرز تاج متفاوت می‌باشد. پس از اعمال ماکزیمم فیلتر محلی در این مرحله، نقاطی به عنوان قله‌های درختان بدست می‌آید، سپس مختصات این نقاط (X و Y) ذخیره‌سازی شد و با توجه به درختانی که در مرحله تعیین مرز برچسب گذاری شده بودند، نقاط مربوط به قله‌های هر درخت جداسازی شد.

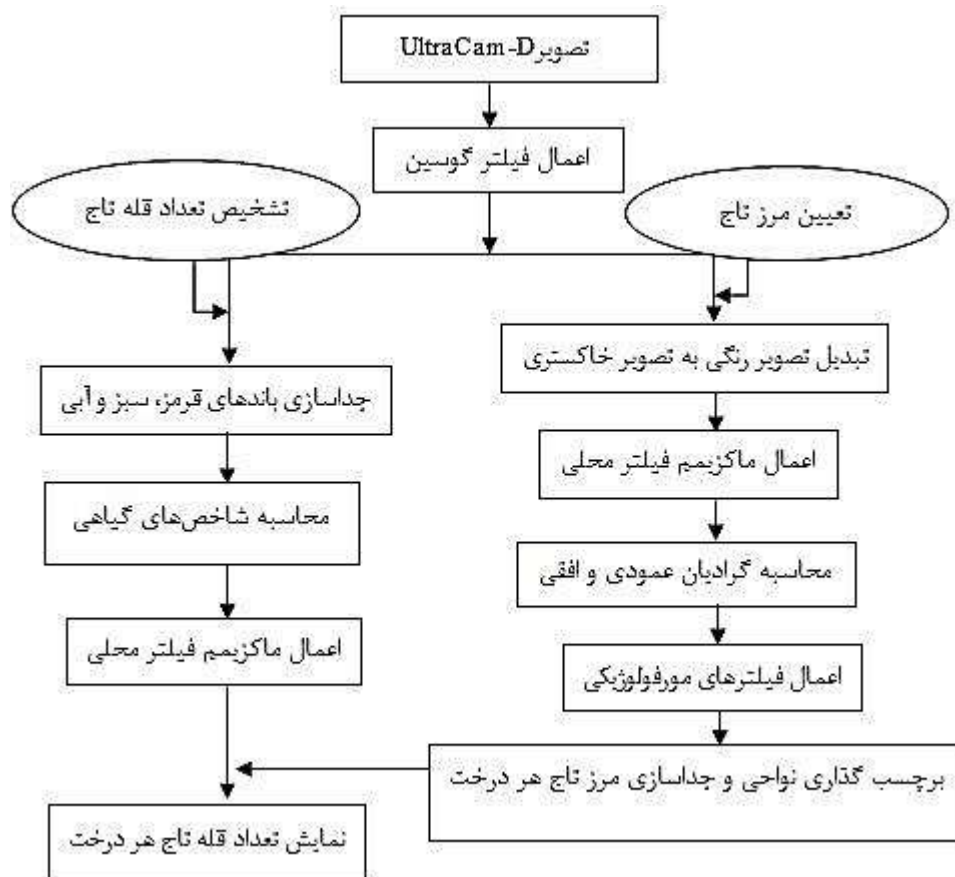
ترتیب بیان شده، به منظور تمایز تاج درخت از سایه و خاک، محاسبه شد (۲۱).

$$ExG = (2 \times G) - R - B \quad (۱)$$

$$ExR = (1.4 \times R) - G \quad (۲)$$

$$\Delta ExGR = ExG - ExR \quad (۳)$$

پس از محاسبه شاخص گیاهی $\Delta ExGR$ ، ماکزیمم فیلتر محلی با اندازه پنجره 3×3 بر روی آن اعمال شد. باید توجه داشت که به دلیل استفاده از شاخص $\Delta ExGR$ بر روی تصویر،



شکل ۲- مراحل تعیین و تشخیص تاج درخت بوسیله الگوریتم حداکثر فیلتر محلی

Figure 2. Steps for determining and recognizing tree crowns using the local maximum filter algorithm

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

تشخیص خودکار مساحت تاج و تعداد قله‌های تاج به وسیله الگوریتم حداکثر فیلتر محلی استفاده گردیدند. از آنجا که اندازه‌گیری قطرهای تاج نامتقارن درختان بلوط ایرانی در مطالعات میدانی با دشواری همراه، و از دقت پایینی برخوردار است به همین منظور مساحت تاج درختان به دست‌آمده از

جهت تحلیل داده‌ها از سه گروه داده، شامل مساحت تاج درختان یا همان پلی‌گون‌های فایل وکتوری که از روش تفسیر بصری بر روی تصاویر ارتوفتو به ۹ دست آمدند، سطح محاسبه شده تاج درختان از طریق اندازه‌گیری قطر بزرگ و کوچک درختان و تعداد پایه‌های (جست‌ها) شمارش شده در روش معمول آماربرداری زمینی، و داده‌های مربوط به روش تعیین و

درختان یا به عبارتی بررسی میزان همبستگی میان تعداد قله تاج پوشش شناسایی شده توسط الگوریتم مذکور بر روی تصاویر دیجیتال، با تعداد پایه های درختی شمارش شده در هر جست گروه در واقعیت زمینی از جدول ماتریس خطا (جدول ۶) استفاده گردید (۲۳) که صحت کلی و ضریب کاپای آن (۲۴) طبق روابط ۵ و ۶ محاسبه شد (۲۵). تجزیه و تحلیل داده ها جهت تعیین مساحت تاج درختان با استفاده از نرم افزار SPSS 19 انجام شد. آزمون های انجام شده در سطح زیر ۰/۰۵ معنی داری تلقی شدند.

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (P_i - O_i)^2}}{\bar{O}} \times 100 \quad (4)$$

در رابطه فوق، تعداد کل درختان مورد اندازه گیری با n ، مقدار برآورد شده مساحت هر درخت با P_i ، مقدار واقعی مساحت هر درخت با O_i ، میانگین مقدار واقعی مساحت تمام درختان مورد مطالعه با $\bar{O}$ نمایش داده شده است.

$$\text{مجموع سلی های درست طبقه بندی شده (قطر جدول خطا)} \\ \text{تعداد کل سلی ها} = \text{صحت کلی} \quad (5)$$

$$\text{ضریب کاپا} = \frac{(\text{تعداد کل سطرها} \times \text{تعداد کل ستون ها}) - (\text{تعداد کل قطر جدول خطا} \times \text{تعداد کل ستون ها})}{(\text{تعداد کل سطرها} \times \text{تعداد کل ستون ها}) - (\text{مجموع قطر جدول خطا} \times \text{تعداد کل سطرها})} \quad (6)$$

یافته ها

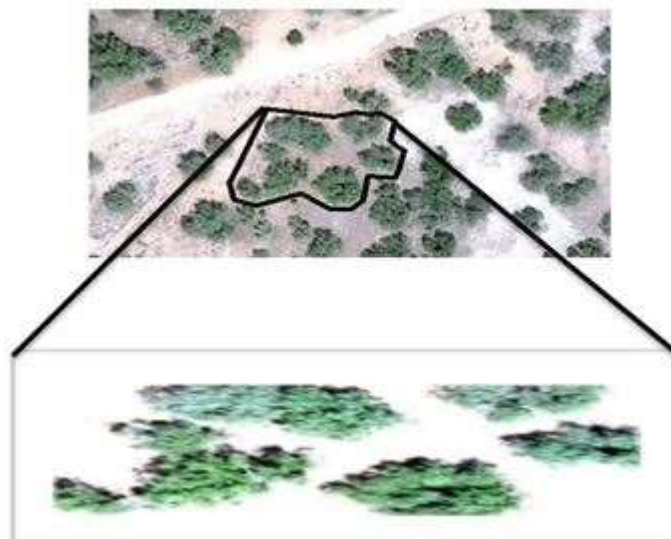
(شکل ۳) مشخص تر می باشند. در شکل ۷ نتیجه اعمال فیلتر خطی سو بل جهت محاسبه گرادیان شدت روشنایی پیکسل ها و در شکل های ۷ الف تا د نتایج اعمال فیلترهای مورفولوژیکی جهت تعیین مرز تاج درختان نمایش داده شده است. در شکل ۸ مرز تاج درختان جداسازی شده توسط هر بر چسب به طور مشخص نمایش داده شده است.

در شکل های ۹ الف تا ج تصاویر محاسبه شاخص های گیاهی و در شکل ۱۰ تشخیص تعداد قله یا قله های موجود در تاج هر تک درخت یا جست گروه در محدوده تعیین شده تاج، نمایش داده شده است.

روش بصری، مبنای مقایسه سایر روش های اندازه گیری مساحت تاج، در نظر گرفته شد (۱۶).

برای مقایسه میانگین سه گروه داده به دست آمده جهت تعیین مساحت تاج درختان، از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) استفاده گردید. در این رابطه ابتدا مفروضات انجام این آزمون از جمله تصادفی بودن داده ها، نرمال بودن داده ها و همسان بودن واریانس درون گروهی داده ها مد نظر قرار گرفت. برای بررسی نرمال بودن آزمون کلموگروف - اسمیرنوف و برای بررسی همسان بودن واریانس درون گروهی داده ها از آزمون لون (Leven) استفاده گردید (۲۲). دقت نسبی تعیین مساحت تاج در دو روش خودکار و آماربرداری زمینی در مقایسه با روش تفسیر بصری تاج درختان، با محاسبه درصد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE%) طبق رابطه ۴ محاسبه شد (۱۹). همچنین برای ارزیابی دقت الگوریتم حداکثر فیلتر محلی جهت تشخیص تک پایه یا جست گروه بودن

نتایج اعمال الگوریتم حداکثر فیلتر محلی بر روی ارتوفتوموزاییک تهیه شده جهت تعیین تاج درختان در شکل های ۳ تا ۸ و جهت تشخیص تاج آنها یا به عبارت دیگر شناسایی تعداد قله های تاجی هر درخت در شکل های ۹ و ۱۰ نمایش داده شده است. در شکل ۳ بخشی از ارتوفتوموزاییک تهیه شده برای منطقه مورد مطالعه و در شکل ۴ تصویر همان منطقه پس از اعمال فیلتر گوسین نمایش داده شده است. در شکل ۵ تصویر بخشی از منطقه با مقیاس خاکستری و در شکل ۶ تصویر تاج درختان پس از اعمال الگوریتم حداکثر فیلتر محلی نمایش داده شده است. در شکل ۶، مرز تاج تک درختان یا جست گروه ها نسبت به این مرزها در ارتوفتوموزاییک اصلی



شکل ۳- بخشی از ارتوفتوموزاییک تهیه شده برای منطقه مورد مطالعه

Figure 3. Part of the orthophoto mosaic prepared for the study area



شکل ۴- تصویر پس از اعمال فیلتر گوسین

Figure 4. Image after applying the Gaussian filter



شکل ۵- تصویر مقیاس خاکستری

Figure 5. Grayscale image



شکل ۶- تصویر پس از اعمال ماکزیمم فیلتر محلی

Figure 6. Image after applying maximum local filter



شکل ۷- تصویر اعمال فیلتر خطی سوبل برای محاسبه گرادیان

Figure 7. Image of applying a linear Sobel filter to calculate the gradient



شکل ۷ الف- تصویر پس از

اعمال باز کردن

Figure 7 a. Image after opening

شکل ۷ ب- تصویر

پس از اعمال ایروژن

Figure 7b. Image after applying erosion

شکل ۷ ج- تصویر

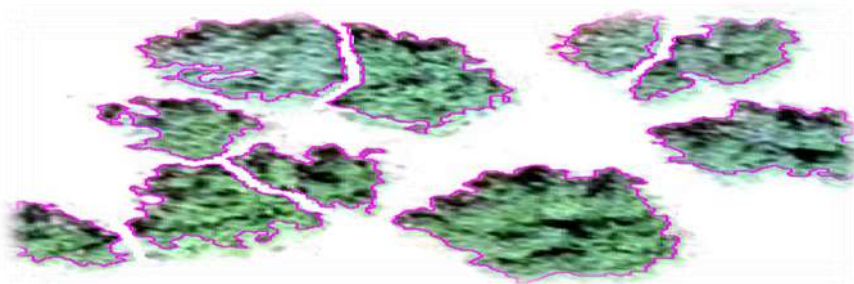
پس از اعمال بستن

Figure 7 c. Image after applying the closure

شکل ۷ د- تصویر پس

از اعمال دیلیشن

Figure 7d. Image after deletion



شکل ۸- مرز تاج درختان تعیین شده

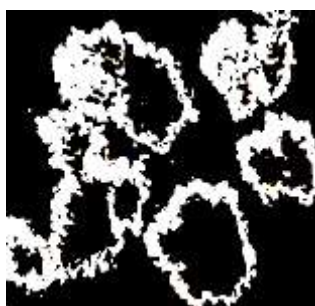
Figure 8. The determined tree crown boundary



شکل ۹ ج- تصویر

ExG-ExR

Figure 9 c. ExG-ExR
Image



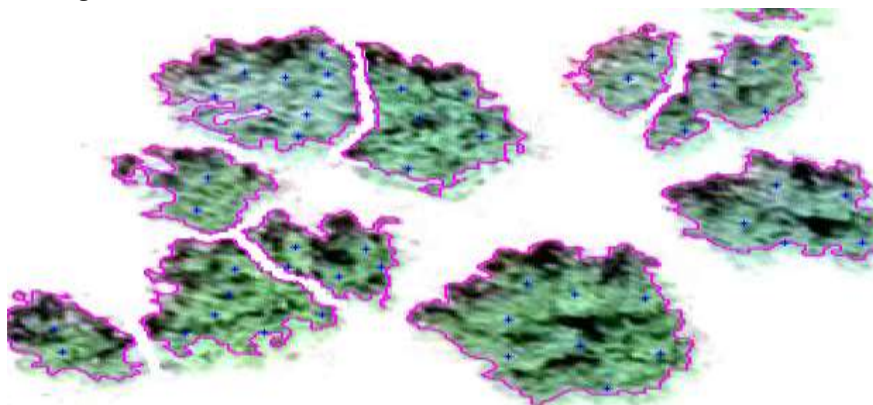
شکل ۹ ب- تصویر ExR

Figure 9 b. ExR Image



شکل ۹ الف- تصویر ExG

Figure 9 a. ExG Image



شکل ۱۰- تصویر مرز و قله های درختان، نقاط قله با ستاره های آبی مشخص شده

Figure 10. Image of the tree tops and borders, with the peaks marked with blue stars

به سطح معنی داری آماره لون استفاده از تحلیل واریانس یک عامله بلامانع است. مطابق جدول ۳، سطح معنی داری محاسبه شده برای آماره F برابر $0/48$ بوده و نشان از عدم اختلاف میان روش های محاسبه تاج درختان در سطح احتمال ۹۵ درصد دارد.

نتایج آمار توصیفی سه گروه داده به دست آمده جهت تعیین مساحت تاج درختان در جدول ۱ نمایش داده شده است. برای انجام تحلیل واریانس یک عامله، آزمون برابری واریانس ها در جدول ۲ نمایش داده شده است. در جدول ۳ نتایج تحلیل واریانس یک عامله برای بررسی نتایج حاصل از سه روش تعیین مساحت تاج درختان ارایه شده است. مطابق جدول ۲ و با توجه

جدول ۱- آمار توصیفی سه روش تعیین مساحت تاج درختان

Table 1. Descriptive statistics of three methods for determining tree crown area

روش	تعداد	میانگین	انحراف معیار
بصری	۱۰۰	۳۰/۵۴	۱۷/۷۱
زمینی	۱۰۰	۳۳/۴۲	۱۷/۷۷
حداکثر فیلتر محلی	۱۰۰	۳۲/۸۱	۱۷/۸۸
مجموع	۳۰۰	۳۱/۲۶	۱۷/۷۷

جدول ۲- آزمون برابری واریانس‌ها

Table 2. Test for equality of variances

آماره لون	درجه آزادی روش‌ها	درجه آزادی فاکتورها	سطح معنی‌داری
۰/۰۰۷	۲	۲۹۷	۰/۹۹

جدول ۳- نتایج تحلیل واریانس یک عامله

Table 3. Results of one-way analysis of variance

	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
بین گروه‌ها	۴۶۱/۱۵	۲	۲۳۰/۵۷	۰/۷۲	۰/۴۸
درون گروه‌ها	۹۴۰۲۴/۹۱	۲۹۷	۳۱۶/۵۸		
مجموع	۹۴۴۸۶/۰۶	۲۹۹			

سپس برای ارزیابی دقت الگوریتم حداکثر فیلتر محلی جهت تشخیص تاج درختان یا به عبارتی یافتن میزان همبستگی میان تعداد قله تاج‌پوشش شناسایی شده توسط الگوریتم مذکور بر روی تصاویر دیجیتال، با تعداد پایه‌های درختی در واقعیت زمینی از جدول ماتریس خطا (جدول ۴) استفاده گردید.

درصد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE%) طبق رابطه ۴ برای هر کدام از روش‌های تعیین مساحت تاج‌پوشش شامل روش زمینی و روش خودکار، در مقایسه با روش تفسیر بصری، به ترتیب ۶/۰۸ و ۵/۸۲ به دست آمد. که این مطلب بیانگر این است که دقت تعیین خودکار مساحت تاج‌پوشش نسبت به برآورد مساحت تاج‌پوشش به روش زمینی بهتر است.

جدول ۴- ماتریس خطا برای آنالیز حداکثر تعداد قله بدست آمده توسط الگوریتم حداکثر فیلتر محلی با حداکثر تعداد پایه مشاهده شده در بین ۱۰۰ درخت مورد آماربرداری

Table 4. Error matrix for analyzing the maximum number of peaks obtained by the local maximum filter algorithm with the maximum number of bases observed among the 100 surveyed trees.

تعداد پایه	تعداد قله										مجموع
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	
۱	۷	۲		۱				۱	۱	۱	۱۳
۲		۵	۱	۱	۱	۱		۱			۱۰
۳			۵		۳	۳	۱	۳	۱		۱۶
۴	۱			۱۴			۱				۱۶
۵	۳	۲	۱		۸				۱		۱۵
۶						۷					۷
۷							۵	۱			۶
۸		۱		۱				۶			۸
۹			۱						۴		۵
۱۰								۱		۳	۵
مجموع	۱۱	۱۵	۱۷	۱۳	۱۱	۹	۸	۹	۵	۲	۱۰۰

گرفت. مطابق با یافته‌های اشاره شده در جدول ۱، میانگین مساحت تاج درختان بدست آمده با استفاده از الگوریتم حداکثر فیلتر محلی به این نتایج در روش تفسیر بصری (مینا) نزدیک‌تر است. جهت بررسی معنادار بودن این موضوع آزمون تحلیل واریانس یک عامله صورت گرفت (جدول ۳). با توجه به این که سطح معنی داری آماره F در جدول ۳ بیانگر عدم اختلاف میان ۳ روش اندازه‌گیری مساحت تاج درختان می‌باشد، از درصد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) طبق رابطه ۴، برای مقایسه نتایج تعیین مساحت تاج درختان به وسیله روش‌های آماربرداری زمینی و خودکار نسبت به روش تفسیر بصری استفاده شد. نتایج محاسبه درصد مجذور میانگین مربعات خطا بیانگر این است که دقت الگوریتم حداکثر فیلتر محلی جهت تعیین مساحت تاج درختان نسبت به تعیین این کمیت با روش آماربرداری زمینی بهتر است. نتایج این پژوهش جهت تعیین مساحت تاج درختان بلوط ایرانی به وسیله الگوریتم حداکثر فیلتر محلی با نتایج پژوهش‌های (۱۹،۲۶) که حتی برای بررسی تاج پوشش سوزنی‌برگان انجام شده‌اند همسو می‌باشد. همچنین

با استفاده از جدول ۴ و روابط ۵ و ۶، صحت کلی و ضریب کاپا به منظور یافتن میزان ارتباط میان تعداد قله تاج‌پوشش شناسایی شده توسط الگوریتم حداکثر فیلتر محلی بر روی تصاویر دیجیتال، با تعداد پایه‌های درخت در واقعیت زمینی، به ترتیب ۶۴ و ۵۹ درصد به دست آمد. که نشان‌دهنده آن است که دقت الگوریتم حداکثر فیلتر محلی برای تشخیص تاج درختان بلوط ایرانی نسبتاً مناسب می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی بر آن شد که با استفاده از الگوریتم حداکثر فیلتر محلی به تعیین مساحت و تشخیص قله‌های تاج درختان بلوط ایرانی بر روی تصاویر UltraCam-D و مقایسه آن با روش زمینی و روش تفسیر بصری پرداخته شود. از آنجا که اندازه‌گیری قطرهای تاج نامتقارن درختان بلوط ایرانی در مطالعات میدانی از دقت پایینی برخوردار است و همچنین به دلیل استفاده گسترده پژوهشگران (۲۵،۱۶)، نتایج تفسیر بصری به عنوان داده مرجع و مبنای مقایسه‌های مورد استفاده قرار

5. Azizi, Z., Najafi, A., Sohrabi, H. 2008. Forest canopy density estimation, using satellite images. In Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress Commission VIII, 3-11 July, Beijing, China.
6. Rafiian, O., Darvishsafat, A.A., Babai K., S. 2009. Evaluation of the UltraCam-D digital aerial imagery object classification method for use in forests (study of images taken from northern forests). 03rd National Conference on Forest, Alborz - Karaj. (In Persian)
7. Sohrabi, H. 2009. Application of Visual and Numerical Interpretation of Aerial Images in Forest Inventory. PhD thesis in forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran. 100 p. (In Persian)
8. Zhou, J., Proisy, Ch., Descombes, X., le Maire, G., Nouvellon, Y., Stape, J., Viennois, G., Zerubia, J., Couteron, P. 2013. Mapping local density of young Eucalyptus plantations by individual tree detection in high spatial resolution satellite images. *Forest Ecology and Management*, 301: 129-141.
9. Khalid, N., Hamid, JR A., Latif, Z A. 2014. Accuracy assessment of tree crown detection using local maxima and multi-resolution segmentation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 18: 20-23.
10. Pinz, A. 1991. A computer vision system for recognition of trees in aerial photographs. In Proceedings of the International Association of Pattern Recognition Workshop, 14-15 June, College Park, MD (Washington, DC: NASA), 111-124.

نتایج تشخیص قله‌های تاج تک درختان بوسیله الگوریتم حداکثر فیلتر محلی در پژوهش حاضر با نتایج تحقیقات (۲۷، ۲۰، ۱۸) که در جنگل‌های طبیعی و پهن برگ صورت گرفته است همسو می‌باشد. به هر حال گرچه الگوریتم حداکثر فیلتر محلی در ابتدا برای بررسی تاج‌پوشش سوزنی برگان استفاده شده است، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از این الگوریتم در جهت بررسی تاج درختان بلوط ایرانی نیز قابل توصیه می‌باشد، هرچند پیشنهاد می‌گردد برای اطمینان بیشتر مطالعاتی نیز در زمینه تعیین و تشخیص تاج درختان بلوط ایرانی بر روی داده‌های سنجنش از دور ماهواره‌ای و تصاویر هوایی UltraCam-D، با استفاده از سایر الگوریتم‌های خودکار تعیین و تشخیص، انجام پذیرد.

References

1. Ozanne, CMP., Anhuf, D., Boulter, SL. and Keller, M. 2003. Biodiversity meets the atmosphere: a global view of forest canopies. *Science*, 301: 183-186.
2. Ke, Y and Quackenbursh, LJ. 2011. A review of methods for automatic individual tree-crown detection and delineation from passive remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 32 (17): 4725-4747.
3. Hudak, AT., Strand, EK., Vierling, LA., Byrne, JC., Eitel, JUH., Martinuzzi, SN & Falkowski, MJ. 2012. Quantifying above ground forest carbon pools and fluxes from repeat LIDAR surveys. *Remote Sensing of Environment*, 123: 25-40.
4. Reese, H., Nilsson, M., Granqvist Pahlén, T., Hagner, O., Joyce, S., Tingelöf, U., Egberth, M. and Olsson, H. 2003. Countrywide Estimates of Forest Variables Using Satellite Data and Field Data from the National Forest Inventory. *A Journal of the Human Environment*, 32: 542-548.

18. Culvenor, DS. 2002. TIDA: an algorithm for the delineation of tree crowns in high spatial resolution remotely sensed imagery. *Computers and Geosciences*, 28: 33–44.
19. Pouliot, DA., King, DJ., Bell FW., Pitt, DG. 2002. Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration. *Remote Sensing of Environment*, 82: 322–334.
20. Wulder, M., Niemann, KO., and Goodenough, DG. 2000. Local Maximum Filtering for the extraction of tree locations and basal area from high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 73: 103–114.
21. Meyer, GE., Neto, JC. 2008. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *computers and electronics in agriculture*, 6(3): 282–293.
22. Paine, DP., and Kiser, JD. 2012. *Aerial photography and image interpretation* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc., 629 p.
23. Gougeon, FA and Leckie, DG. 2006. The individual tree crown approach applied to IKONOS images of a coniferous plantation area. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72: 1287–1297.
24. Jamshid Talebi, and Azizi, Z. 2025. Enhancing land feature classification with the BTR Extractor: A novel software package for high-accuracy analysis of aerial laser scan data. *MethodsX*, 14: 103090.
25. Erfanifard, S.Y. 2014. Application of ROC curve to assess pixel-based classification methods on UltraCam-D aerial imagery to discriminate tree
11. Gougeon, FA. 1995. A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 21: 274–284.
12. Brandtberg, T. 1998. Automated delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images by multiple-scale analysis. *Machine Vision and Applications*, 11: 64–73.
13. Pollock, RJ. 1996. The automatic recognition of individual trees in aerial images of forests based on a synthetic tree crown model. PhD dissertation, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
14. Azizi, Z., and Miraki, M. 2024. Individual urban trees detection based on point clouds derived from UAV-RGB imagery and local maxima algorithm: A case study of Fateh Garden, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 26: 2331–2344.
15. Ma'soumi (Translator), H. 2005. Geometric Calibration of the Aerial Digital Camera "ULTRACAM D". *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 14(55): 48-50. (In Persian)
16. Erfanifard, S.Y., Faghihi, J., Zobeiri, M., Namiranian, M. 2010. Investigation of the feasibility of mapping canopy density in forests using aerial photographs and GIS. *National Geomatics Conference*, Karaj, 11 pages. (In Persian)
17. Azizi, Z., and Montazeri, Z. 2018. Effects of microtopography on the spatial pattern of woody species in West Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 11: 244

27. Gbreslasie, MT., Ahmed, FB., Van Aardt, JAN., Blakeway, F. 2011. Individual tree detection based on variable and fixed window size local maxima filtering applied to IKONOS imagery for even-aged Eucalyptus plantation forests, *International Journal of Remote Sensing*, 32(15): 4141-4154.
26. Larsen, M., Eriksson, EM., Descombes, X., Perrin, G., Brandtberg, T and Gougeon, FA. 2011. Comparison of six individual tree crown detection algorithms evaluated under varying forest conditions. *International Journal of Remote Sensing*, 32(20): 5827-5852.
- crowns in pure stands of Brant's oak in Zagros forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(4): 649-663. (In Persian)