

تعیین و تشخیص خودکار تاج درخت در تصویر دیجیتال UltraCam-D

علیرضا صالحی^۱، معصومه گمرکی^{۲*}، زهرا عزیزی^۳ و حامد صادقیان^۴

- ۱- استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
- ۲- کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران.
- ۳- استادیار، دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
- ۴- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۲۸

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی نتایج اعمال الگوریتم‌های حداکثر فیلتر محلی، تطبیق الگو و تقسیم‌بندی حوضه بر روی تصویر هوایی UltraCam-D برای تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lind) در مقایسه با نتایج حاصل از روش‌های تفسیر چشمی و آماربرداری زمینی تاج درختان انجام شده است. پس از پردازش اولیه تصویر، در عرصه‌ای با مساحت حدود ۱۰ هکتار در بخشی از پارک جنگلی یاسوج، تعداد ۱۰۰ پایه درخت بلوط ایرانی به روش تصادفی برای انجام این بررسی انتخاب شد. مساحت تاج درختان با روش تفسیر چشمی مشخص و پس از محاسبه به‌عنوان مساحت واقعی در نظر گرفته شد. در روش آماربرداری زمینی مساحت تاج و تعداد پایه هر درخت اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین، به‌منظور تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان، الگوریتم‌های مذکور با برنامه‌نویسی بر روی تصویر مذکور اعمال شدند. نتایج نشان داد که خطای جذر میانگین مربع‌ها (RMSE) الگوریتم تقسیم‌بندی حوضه در مقایسه با دیگر روش‌های تعیین مساحت تاج درختان بهتر و معادل ۲/۴۱ درصد است. صحت کل و ضریب کاپا به‌دست‌آمده توسط ماتریس خطا برای هر یک از الگوریتم‌های نشان داد که دقت الگوریتم تطبیق الگو به‌منظور تشخیص تاج درختان یا به عبارتی تشخیص تک‌پایه یا جست‌گروه بودن درختان نسبت به دیگر الگوریتم‌های مورد استفاده در این پژوهش بیشتر است.

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

روش دیگر جمع‌آوری اطلاعات، استفاده از فن‌های دورسنجی است که در آشکارسازی و اندازه‌گیری ویژگی‌های تاج‌پوشش جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌های دورسنجی به دلیل برخورداری از مزایایی چون هزینه اندک، سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار، سهولت پردازش و به‌روز بودن داده‌ها توانسته‌اند نقش مؤثری را در جمع‌آوری و تأمین اطلاعات موردنظر ایفا کنند (Azizi et al., 2008). از اوایل دهه ۶۰ میلادی تفسیر چشمی عکس‌های هوایی مناسب‌ترین جایگزین روش‌های اندازه‌گیری زمینی تاج درختان شد (Sohrabi, 2009). عکس‌های هوایی در مقایسه با دیگر داده‌های سنجنش‌زدور از مزایای مختلفی چون توان تفکیک مکانی بالا، پوشش مشترک، سابقه طولانی و دستیابی به آن در دوره‌های مختلف زمانی، امکان دید سه‌بعدی، مقیاس‌های متفاوت، قابلیت تصحیح هندسی، درک ساده، سهولت کاربرد و هزینه کم برخوردارند (Zobeiri, 2007). در ایران، دسترسی به تصاویر هوایی به‌دست‌آمده از دوربین رقومی UltraCam-D که توان تفکیک زمینی بسیار زیاد دارد (۱/۰۹ متر) امکان بررسی بسیار دقیق تاج-پوشش درختان را در مناطق جنگلی فراهم ساخته است (Rafieyan et al., 2011). تاج درختان از مهم‌ترین و بارزترین پدیده‌های قابل‌استخراج از داده‌های دورسنجی به شیوه دستی و خودکار هستند استخراج دستی داده‌های دورسنجی وقت‌گیر، پرهزینه و شامل خطاهای انسانی است، اما استخراج خودکار تاج درختان دارای مزایایی مانند به‌روزرسانی پایگاه‌های داده در زمان کوتاه‌تر و با هزینه کمتر و در نتیجه دسترسی سریع‌تر به داده‌ها است. این روش ارائه ویژگی‌های تاج درختان جنگلی را به‌صورت نقشه با دقت مکانی و صحت زیادی که در گذشته میسر نبود،

گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lind.) عمدتاً حوزه‌های جنگلی جنوب غربی زاگرس را در بر می‌گیرد (Jazirehi and Ebrahimi Rostaghi, 2003). این جنگل‌ها در طول قرن‌های متمادی در معرض تخریب و چرای دام قرار گرفته‌اند (Salehi et al., 2008). هرگونه برنامه‌ریزی برای حفاظت و احیاء این جنگل‌ها نیازمند گستره وسیعی از اطلاعات همه‌جانبه و بهنگام از شرایط و وضعیت پوشش درختی آن‌ها است (Salehi et al., 2008). از آنجایی که پوشش جنگلی زاگرس قادر به تولید چوب قابل‌استفاده در صنایع مربوطه نیست (Jazirehi and Ebrahimi Rostaghi, 2003)، نمی‌توان حجم سرپای درختان جنگل را به‌عنوان یک عامل اصلی مورد بررسی قرار داد؛ در نتیجه، باید از مشخصه دیگری مانند تاج-پوشش برای اندازه‌گیری و کنترل تغییرات کمک گرفت (Salehi et al., 2008). اندازه تاج درخت یکی از متغیرهای اصلی در معادله‌های آلومتریک برای برآورد زی‌توده جنگل و محاسبات ترسیب کربن درختان بوده و شکل تاج درختان معرف ویژگی‌های مهمی برای تشخیص گونه‌های درختی مانند نوع و فرم رویشی آن‌ها است (Hudak et al., 2012, Ke and Quackenbursh, 2011)؛ از این‌رو، نیاز به شناخت و استفاده از مؤلفه‌هایی است که بتوانند ساختار تاج درختان را تشریح کنند. روش‌های متعددی برای تشخیص و تعیین تاج در توده‌های جنگلی دانه‌زاد و شاخه‌زاد وجود دارد. جمع‌آوری اطلاعات به شیوه زمینی، روش معمول کسب اطلاعات در این زمینه است. جمع‌آوری اطلاعات به شیوه زمینی در جنگل‌های کوهستانی کاری زمان‌بر و پرهزینه است (Jazouli et al., 1994).

ممکن می‌سازد (Makela and Pekkarinen, 2004, Holopainen et al., 2006).

تحقیقات در مورد الگوریتم‌های تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان بر روی تصاویر رقومی به اواسط دهه ۱۹۸۰ برمی‌گردد؛ الگوریتم‌های تعیین و تشخیص خودکار تاج به‌طور کلی به هفت دسته شامل حداکثر فیلتر محلی، تصویر باینری (Image binarization)، آنالیز مقیاس (Scale analysis)، تطبیق الگو، تطبیق گودی (Valley - Following)، منطقه در حال رشد (Region growing) و تقسیم‌بندی حوضه تقسیم می‌شوند (Ke and Quackenbursh, 2011). منظور از تعیین خودکار تاج درخت تعیین حدود تاج و برآورد مساحت آن است و تشخیص تاج درخت به‌عنوان فرآیندی که به پیدا کردن تعداد قله یا برآمدگی تاجی در تاج پوشش جنگل منجر می‌شود، اطلاق می‌شود. گرچه استفاده از الگوریتم حداکثر فیلتر محلی از قدیمی‌ترین پژوهش‌های مربوط به تشخیص خودکار تاج درختان است (Jazouli et al., 1994)، با گسترش استفاده از تصاویر هوایی با قدرت تفکیک مکانی بیشتر، الگوریتم‌هایی مانند تطبیق الگو و تقسیم‌بندی حوضه نیز به‌منظور تعیین و تشخیص تاج درختان معرفی شدند. الگوریتم‌های تطبیق الگو (Pollock, 1999, Quackenbush et al., 2000, Pouliot and King, 2005) و تقسیم‌بندی حوضه (Lucas, 2006, Lamar et al., 2005) در توده‌های جنگلی مختلف پهن‌برگ و سوزنی‌برگ برای تعیین و تشخیص تاج تک‌درختان برای تصاویر هوایی با قدرت تفکیک مکانی بالا مورد استفاده قرار گرفته است؛ که در همه موارد دقت تعیین و تشخیص تاج به‌وسیله آن‌ها بهتر از حالت برداشت زمینی بوده است. به دلیل نبود چنین مطالعاتی در منطقه زاگرس و حتی به‌طور گسترده‌تر در ایران، هدف اصلی این پژوهش،

استفاده از الگوریتم‌های حداکثر فیلتر محلی، تطبیق الگو و تقسیم‌بندی حوضه برای تعیین و تشخیص خودکار تاج جست‌گروه‌ها یا تک‌پایه‌های بلوط ایرانی بر روی تصاویر هوایی UltraCam-D و مقایسه کارایی آن با روش تفسیر چشمی تاج درختان بر روی همین تصاویر به‌عنوان روش مبنا و همچنین مقایسه این نتایج با برآورد زمینی اندازه تاج درختان در یک توده جنگلی بلوط ایرانی در منطقه زاگرس جنوبی است.

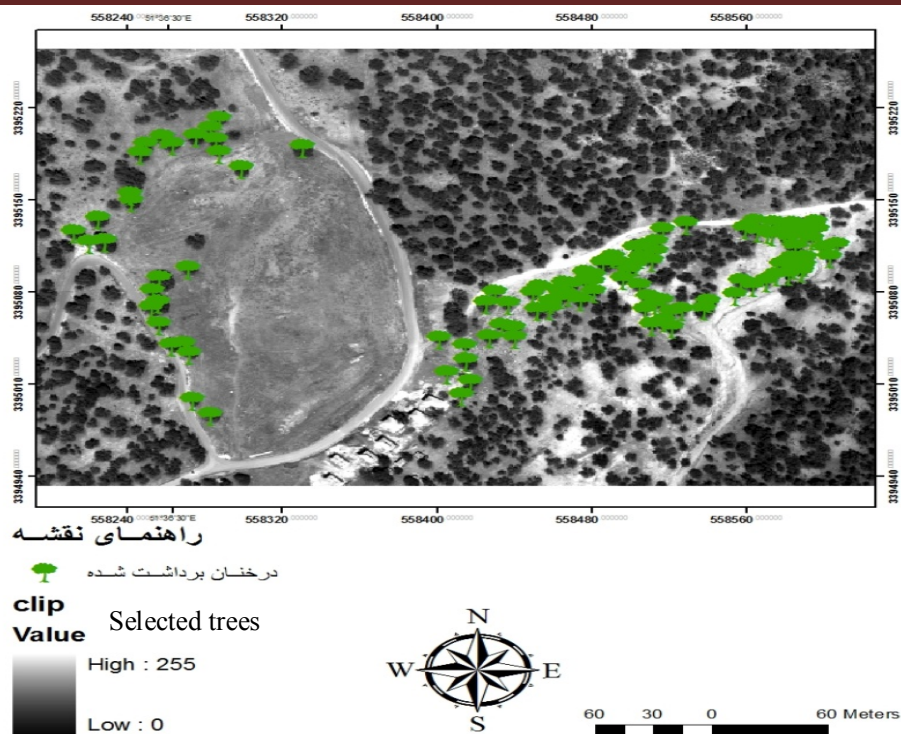
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

این پژوهش در یک توده جنگلی خالص بلوط ایرانی 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 موقعیت درختان انتخاب شده بر روی تصویر هوایی UltraCam-D در پارک جنگلی یاسوج را نشان می‌دهد. عرصه مورد بررسی با متوسط ارتفاع ۲۱۴۲ متر از سطح دریا بر دامنه‌ای با جهت شمال غربی با شیب متوسط ۱۰ درصد واقع شده است.

روش تحقیق

در این تحقیق از تصویر دوربین هوایی دیجیتال UltraCam-D استفاده شد. این دوربین تصویر چند طیفی در محدوده‌های طیفی آبی، سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک در ابعاد ۴۰۰۸×۲۶۷۲ پیکسل و تصویر پانکروماتیک در ابعاد ۷۵۰۰×۱۱۵۰۰ پیکسل را به‌طور هم‌زمان تولید می‌کند. تصویر به‌کاررفته در این پژوهش در ۲۵ فروردین ۱۳۸۷ تهیه شده بود.



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

Figure 1. The location of selected trees on the UltraCam-D aerial image in the Forest Park of Yasooj

گون‌های تاج درختان به‌عنوان مساحت واقعی تاج هرکدام از درختان، در نظر گرفته شد (Erfanfard *et al.*, 2007). همچنین مختصات دقیق مرکز تاج این درختان برای انجام عملیات میدانی بر روی دستگاه موقعیت‌یاب مکانی ثبت شد. 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، امکان یافتن هر یک از درختان انتخاب‌شده در منطقه مورد بررسی به‌راحتی امکان‌پذیر بود. بعد از مشخص کردن هرکدام از درختان مورد بررسی در عرصه جنگل، دو قطر کوچک و بزرگ تاج (قطرهای عمود بر هم) و یا برحسب 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.

تصویر UltraCam-D قابلیت زمین مرجع شدن مستقیم با استفاده از داده‌های GPS و IMU را دارد (Masumi, 2006). در این پژوهش تصویر UltraCam-D از منطقه مورد بررسی با استفاده از شاخص‌های توجیه خارجی ($X, Y, Z, \omega, \phi, \kappa$) در محیط نرم‌افزار Leica Photogrammetry Suite در حد ارتوفتو تصحیح هندسی شد. با استفاده از مجموعه‌ای از ۱۰۰ نقطه تصادفی تهیه‌شده در محیط نرم‌افزار Arcview و قرار دادن آن بر روی تصویر ارتوفتو شده، تعداد ۱۰۰ پایه درخت بلوط ایرانی شامل تک‌پایه و جست‌گروه که قابلیت شناسایی بر روی تصویر و زمین را داشتند، انتخاب شد. با تکیه بر قابلیت توان تفکیک زمینی بسیار زیاد تصویر (۰.۹ متر) و استفاده از ابزار بزرگ‌نمایی نرم‌افزار، مرز تاج درختان منتخب بر روی تصویر به شکل پلی گون در یک فایل وکتوری ثبت شد. مساحت هر یک از پلی-

مراحل برنامه‌نویسی الگوریتم حداکثر فیلتر محلی در نرم‌افزار Matlab

با اجرای موازی یک الگوریتم دوبخشی (الگوریتم حداکثر فیلتر محلی) که در نرم‌افزار Matlab R2014b برنامه‌نویسی شده بود (شکل ۲)، به تعیین و تشخیص تاج درختان منتخب اقدام شد. ابتدا به منظور نرم کردن تصویر و حذف خطاهای احتمالی در تصویر، فیلتر گوسین با سایز پنجره 3×3 و انحراف از معیار پنج (Culvenor, 2002)، بر روی کل تصویر رنگی اعمال شد. برای تعیین مرز تاج درختان (شکل ۲)، تصویر فیلتر شده با استفاده از فیلتر گوسین به تصویر با مقیاس خاکستری تبدیل شد در تصویر با مقیاس خاکستری به جای آنکه 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 (Pouliot et al., 2002). اعمال این فیلتر بخش اصلی روش برای جداسازی مناطق مرز تاج درختان است. پس از اعمال ماکزیمم فیلتر محلی، گرادیان شدت روشنایی پیکسل-ها با استفاده از فیلتر فضایی خطی سوبل در دو راستای عمودی و افقی محاسبه شد تا مرز تاج درختان که توسط ماکزیمم فیلتر محلی مشخص شده است برجسته‌تر شود. از آنجاکه مرز درختان به صورت بیضوی است، این گرادیان در هر دو راستای عمودی و افقی اعمال شد (Wulder et al., 2000). برای آنکه مرز تاج درختانی که در مراحل قبل توسط ماکزیمم فیلتر محلی تعیین شده و با محاسبه گرادیان برجسته شده‌اند بهبود داده شود، از فیلترهای مورفولوژیکی باز کردن (Opening)، ایروژن (Erosion)، بستن (Closing)، دیلیشن (Dilation) به ترتیب و پشت سر

هم استفاده شد (Pouliot et al., 2002). پس از بهبود مرز درختان توسط فیلترهای مورفولوژیکی، مرز مربوط به تاج درختان برچسب‌گذاری شد و تاج هر درخت شماره برچسب مربوط به خود را گرفت. پس از برچسب‌گذاری درختان و جداسازی کامل آن‌ها از زمینه، مساحت مشخص شده تاج درختان توسط توابع داخلی نرم‌افزار محاسبه شد. برای 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 ExG (بیش از حد سبز)، ExR (بیش از حد قرمز) و تفاضل آن-ها $\Delta ExGR$ که روابط آن‌ها (رابطه ۱ تا ۳) به ترتیب بیان شده، به منظور تمایز تاج درخت از سایه و خاک، محاسبه شد (Meyer and Neto, 2008).

$$\text{ExG} = (2 \times G) - R - B \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{ExR} = (1.4 \times R) - G \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\Delta \text{ExGR} = \text{ExG} - \text{ExR} \quad \text{رابطه (۳)}$$

پس از محاسبه شاخص گیاهی ΔExGR ، ماکزیمم فیلتر محلی با اندازه پنجره 3×3 بر روی آن اعمال شد. باید توجه داشت که به دلیل استفاده از شاخص ΔExGR بر روی تصویر، عملکرد این فیلتر در این مرحله (تشخیص قله‌های تاج) با عملکرد آن در مرحله تعیین مرز تاج متفاوت است. پس از اعمال ماکزیمم فیلتر محلی در این مرحله، نقاطی به عنوان قله‌های تاج درختان به دست می‌آید، سپس مختصات این نقاط (x و y) ذخیره‌سازی شد و با توجه به درختانی که در مرحله تعیین مرز برچسب‌گذاری شده بودند، نقاط مربوط به قله‌های تاج هر درخت جداسازی شد.



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

Figure 2. The process of delineation and detection crown by Local maximum filtering algorithm

مراحل برنامه نویسی الگوریتم تطبیق الگو در نرم افزار
Matlab
 به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، با اجرای موازی
 یک الگوریتم دوبخشی (الگوریتم تطبیق الگو) (شکل
 ۳) که در نرم افزار Matlab R2014b برنامه نویسی شده
 بود، به تعیین و تشخیص تاج درختان منتخب اقدام
 شد. برای تعیین مرز تاج درختان توسط الگوریتم
 تطبیق الگو، طبق مدل ارائه شده توسط Wang and
 Hui Fu (2010)، تصاویر از فضای رنگی RGB به

فضای رنگی $L^*a^*b^*$ تبدیل شدند. مؤلفه های فضای
 رنگی $L^*a^*b^*$ شامل L که مقادیر روشنایی تصویر در
 این مؤلفه، بین صفر معادل تیره و ۱۰۰ معادل انعکاس
 کامل نور متغیر است؛ a که مقادیر روشنایی تصویر در
 این مؤلفه نامحدود است و مقادیر مثبت معادل رنگ
 قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز است و b که
 مقادیر روشنایی تصویر در این مؤلفه نیز نامحدود و
 مقادیر مثبت آن معادل رنگ زرد و مقادیر منفی معادل
 رنگ آبی است، هستند. سیستم رنگی $L^*a^*b^*$ برای

تصویر اصلی یکی بود، مختصات x و y پیکسل مرکزی آن پنجره به‌عنوان مرکز قله شناسایی و ذخیره-سازی شد. سپس، با توجه به درختانی که در مرحله تعیین مرز برچسب‌گذاری شده بودند نقاط مربوط به قله‌های هر درخت جداسازی شد (Wang and Hui, 2010).

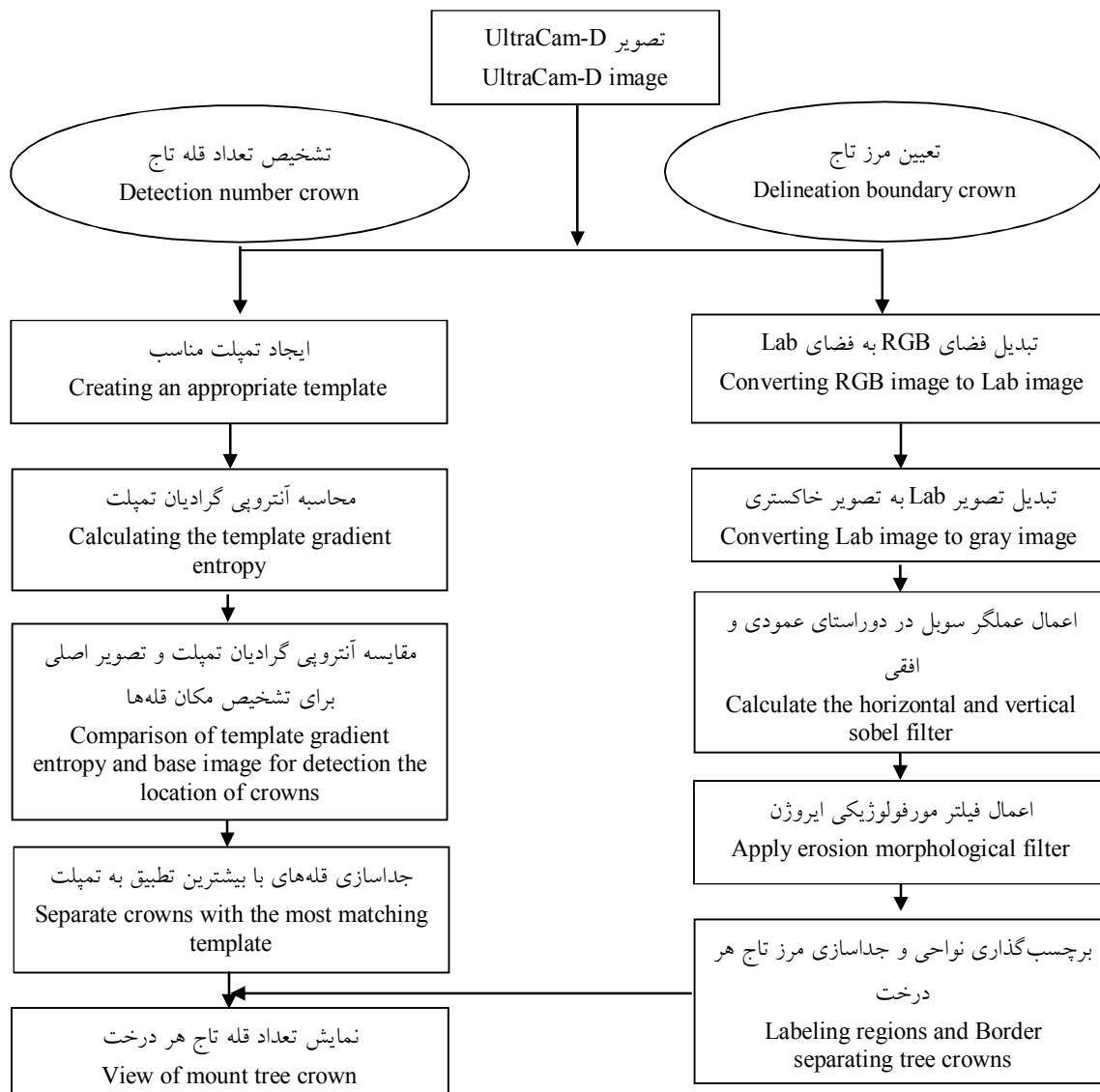
مراحل برنامه‌نویسی الگوریتم تقسیم‌بندی حوضه در نرم-

افزار Matlab

به‌طورکلی تقسیم‌بندی حوضه توسط سه فن انجام می‌پذیرد: ۱- تقسیم‌بندی حوضه با استفاده از تبدیل فاصله، ۲- تقسیم‌بندی حوضه با استفاده از گرادیان‌ها، ۳- تقسیم‌بندی حوضه کنترل‌شده توسط نشانه‌ها (Wang et al., 2004). در این پژوهش از فن تقسیم‌بندی حوضه با استفاده از تبدیل فاصله استفاده شد. در واقع تبدیل فاصله برابر با فاصله هر پیکسل با مقدار غیر صفر است. توجه شود پیکسل‌هایی که دارای مقدار ۱ هستند دارای مقدار فاصله صفر می‌باشند (Wang et al., 2004). برای تعیین و تشخیص تاج-پوشش درختان با استفاده از الگوریتم تقسیم‌بندی حوضه باندهای قرمز، سبز و آبی تصویر جداسازی می‌شوند، سپس سه شاخص گیاهی ExG (بیش‌ازحد سبز)، ExR (بیش‌ازحد قرمز) و تفاضل آن‌ها $\Delta ExGR$ که روابط آن‌ها در بخش ۲-۲-۱، به ترتیب بیان شده، به‌منظور تمایز تاج درخت از سایه و خاک، محاسبه شد (Meyer and Neto, 2008).

دست‌کاری تصویر شامل بهبود کنتراست و تن‌کارایی بیشتری دارد. تصویر حاصل در فضای $L^*a^*b^*$ به تصویر با مقیاس خاکستری تبدیل شد (Wang and Hui Fu, 2010). در تصویر با مقیاس خاکستری به-جای آن‌که به هر پیکسل سه عدد مربوط به کانال‌های L و a و b نسبت داده شود، فقط یک عدد به‌عنوان شدت نسبت داده می‌شود. در ادامه، بر روی تصویر با مقیاس خاکستری، عملگر مورفولوژیکی سویل در هر دو راستای افقی و عمودی اعمال شد و سپس فیلتر مورفولوژیکی ابروژن برای جداسازی مرز مربوط به تاج درختان بر روی تصویر اعمال شد (Wang and Hui Fu, 2010). پس از بهبود مرز درختان توسط فیلترهای مورفولوژیکی، مرز مربوط به تاج درختان برچسب‌گذاری شد و تاج هر درخت شماره برچسب مربوط به‌خود را گرفت. پس از برچسب‌گذاری درختان و جداسازی کامل آن‌ها از زمینه، مساحت مشخص‌شده تاج درختان توسط توابع داخلی نرم‌افزار محاسبه شد.

برای تشخیص قله‌های تاج درختان، پس از مشخص کردن یک قله تاج درخت به‌عنوان واقعیت زمینی در تصویر، یک پنجره با ابعاد 5×5 به‌عنوان الگو در نرم‌افزار تعریف شد، به‌طوری‌که قله تاج درخت در مرکز این پنجره واقع شود. سپس تغییرات تدریجی ارزش عددی سلول‌ها در الگوی تعریف‌شده در دو راستای عمودی و افقی مورد‌محاسبه قرار گرفتند و آنتروپی آن در هر دو راستا محاسبه شد (Larsen, 1997). سپس پنجره تعریف‌شده بر روی تصویر اصلی حرکت داده شد و آنتروپی گرادیان ارزش عددی سلول‌ها در راستای افقی و عمودی محاسبه شد. هرجایی که مقدار آنتروپی گرادیان مذکور در دو راستای افقی و عمودی پنجره تعریف‌شده بر روی

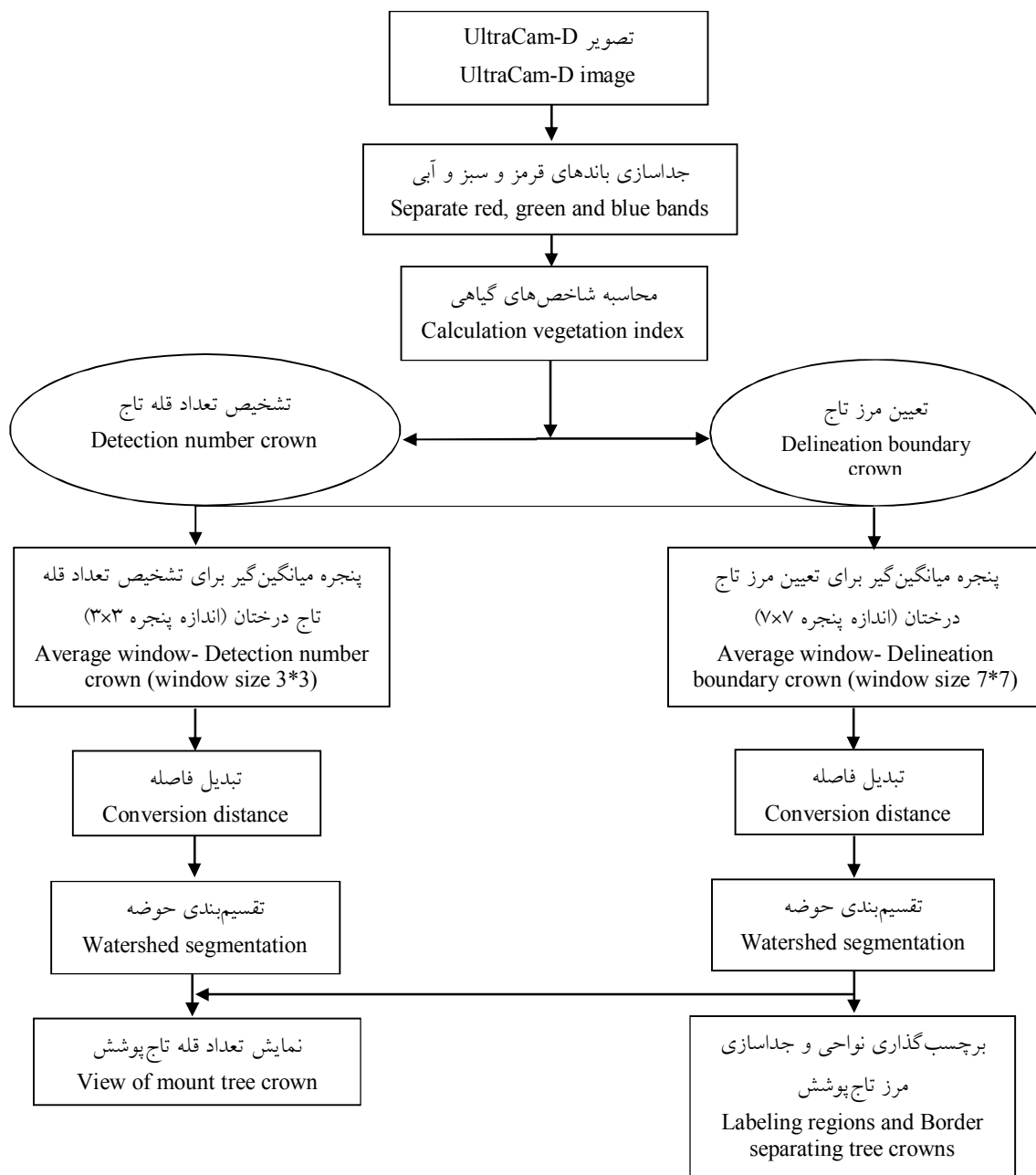


شکل ۳- مراحل تعیین و تشخیص تاج درخت به‌وسیله الگوریتم تطبیق الگو

Figure 3. The process of delineation and detection crown by Template matching algorithm

پس از برچسب‌گذاری درختان و جداسازی کامل آن‌ها از زمینه، مساحت مشخص شده تاج درختان توسط توابع داخلی نرم‌افزار محاسبه شد. روش تشخیص تعداد قله‌های تاج‌پوشش نیز همانند روش تعیین تاج است با این تفاوت که اندازه پنجره میان‌گیر متحرک 3×3 است (Culvenor, 2002). فرآیند تعیین و تشخیص تاج درختان به‌وسیله الگوریتم تقسیم‌بندی حوضه در شکل ۴ نمایش داده شده است.

سپس با استفاده از یک پنجره متحرک با اندازه 7×7 سانتی‌متر، به جداسازی مرز تاج درختان در یک حوضه، نسبت به زمین پرداخته می‌شود. در ادامه از فن تبدیل فاصله استفاده می‌شود و ماتریس‌های حاصل از اعمال این فن تقسیم‌بندی و برچسب‌گذاری می‌شوند؛ فن تبدیل فاصله در نرم‌افزار Matlab، فاصله هر پیکسل تصویر باینری از نزدیک‌ترین پیکسل دارای ارزش غیر صفر تعریف می‌شود (Wang et al.,



شکل ۴- مراحل تعیین و تشخیص تاج درخت به‌وسیله الگوریتم تقسیم‌بندی حوضه

Figure 4. The process of delineation and detection crown by Watershed segmentation algorithm

از طریق اندازه‌گیری قطر بزرگ و کوچک درختان و تعداد پایه‌های (جست‌ها) شمارش شده آن‌ها در روش معمول آماربرداری زمینی و داده‌های مربوط به روش تعیین و تشخیص خودکار مساحت تاج به‌وسیله الگوریتم‌های حداکثر فیلتر محلی، تطبیق الگو و

روش تحلیل داده‌ها به‌منظور تحلیل داده‌ها از سه گروه داده، شامل مساحت تاج درختان یا همان مساحت پلی‌گون‌های فایل وکتوری که از روش تفسیر چشمی بر روی تصاویر ارتوفتو به دست آمدند، سطح محاسبه‌شده تاج درختان

اندازه همبستگی میان تعداد قله تاج پوشش شناسایی شده توسط الگوریتم‌های مذکور بر روی تصاویر دیجیتال، با تعداد پایه‌های درختی در واقعیت زمینی از جدول‌های ماتریس خطا (جدول‌های ۳ تا ۵) استفاده شد و صحت کل و ضریب کاپا طبق روابط ۵ تا ۷ محاسبه شد (Paine and Kiser, 2012). تجزیه و تحلیل داده‌ها برای تعیین مساحت تاج درختان با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 صورت پذیرفت. آزمون‌های انجام شده در سطح زیر ۰/۰۵ معنی‌داری تلقی شد.

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (P_i - O_i)^2}}{\bar{O}} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه فوق، تعداد کل درختان مورد اندازه‌گیری 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 بررسی با \bar{O} نمایش داده شده است.

$$\theta_1 = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\theta_2 = \frac{1}{N^2} \sum P_{i0} \times P_i \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در روابط ۵ تا ۷، تعداد کل درختان مورد اندازه‌گیری با N ، عناصر قطر اصلی در ماتریس خطا با P_{ii} ، مجموع هر یک از سطرها در جدول ماتریس خطا (جدول ۱) با P_{i0} ، مجموع هر یک از ستون‌ها در جدول ماتریس خطا (جدول ۱) با P_i و ضریب کاپا با K نمایش داده شده است.

نتایج

نتایج آمار توصیفی پنج گروه داده به دست آمده به منظور مقایسه مساحت تعیین شده تاج درختان با روش‌های مذکور در جدول ۱ نمایش داده شده است. در جدول ۲ نتایج تحلیل واریانس روش‌های مختلف تعیین

تقسیم‌بندی حوضه استفاده شدند. از آنجاکه اندازه‌گیری قطرهای تاج نامتقارن درختان بلوط ایرانی در مطالعات میدانی با دشواری همراه بوده و از دقت پایینی برخوردار است به همین منظور مساحت تاج درختان به دست آمده از روش چشمی مبنای مقایسه دیگر روش‌های اندازه‌گیری مساحت تاج، در نظر گرفته شد (Erfanifard et al., 2007).

برای مقایسه میانگین سه گروه داده به دست آمده برای تعیین مساحت تاج درختان، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شد. در این رابطه ابتدا مفروضات انجام این آزمون مانند تصادفی بودن داده‌ها، نرمال بودن داده‌ها و همسان بودن واریانس درون‌گروهی داده‌ها مدنظر قرار گرفت. برای بررسی نرمال بودن از آزمون کلموگروف - اسمیرنوف و برای بررسی همسان بودن واریانس درون‌گروهی داده‌ها از آزمون لون استفاده شد (Wulder et al., 2000). در تحلیل واریانس یک‌طرفه فرض اولیه (H_0) آن است که اختلافی بین میانگین جمعیت‌ها وجود ندارد و در مقابل فرض ثانویه (H_1) آن است که حداقل بین دو گروه از این جمعیت‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. اگر فرض اولیه رد شد و میانگین‌ها متفاوت بودند از آزمون‌های مقایسه میانگین، برای بررسی این‌که کدام یک از میانگین‌ها باهم تفاوت دارند استفاده می‌شود. در صورتی که فرض ثانویه تأیید شود، برای برآورد دقت نسبی تعیین مساحت تاج در دو روش خودکار و آماربرداری زمینی در مقایسه با روش تفسیر بصری تاج درختان به‌عنوان روش دقیق، درصد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود (Pouliot et al., 2002). همچنین برای ارزیابی دقت الگوریتم‌های حداکثر فیلتر محلی، تطبیق الگو و تقسیم‌بندی حوضه، برای تشخیص تک-پایه یا جست‌گروه بودن درخت یا به عبارتی یافتن

مساحت تاج درختان ارائه شده است. با توجه به اطلاعات ذکر شده در جدول ۲ ($F=0/53$)، می توان بیان کرد که تفاوت میانگین مساحت تاج درختان در بین روش های مورد استفاده به منظور تعیین مساحت تاج درختان، شامل روش های

تفسیر بصری، آماربرداری زمینی، حداکثر فیلتر محلی، تطبیق الگو و تقسیم بندی حوضه از نظر آماری معنی دار نبوده و اختلاف موجود بین میانگین مساحت تاج درختان حاصل از روش های مذکور، تصادفی است.

جدول ۱- آمار توصیفی ۵ روش تعیین مساحت تاج درختان

Table 1. Descriptive statistics of five methods of determining the crown area

تقسیم بندی حوضه	تطبیق الگو	حداکثر فیلتر محلی	زمینی	بصری	
Watershed segmentation	Template matching	Maximum local filter	Ground	Visual	
100	100	100	100	100	تعداد Number
30.75	31.16	32.18	33.42	30.54	میانگین Average
17.70	17.62	17.72	17.52	17.71	انحراف معیار Standard deviation

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس یک عامله

Table 3. Results of One-Way Analysis of variance

سطح معنی داری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
Significant level		Average of squares	degrees of freedom	Sum of squares	
0.70	0.53	168.030	4	672.121	بین گروه ها Between groups
		311.879	495	154380.017	درون گروه ها Within groups
			499	155052.138	مجموع Total

است. با استفاده از جدول های ماتریس خطا (جدول- های ۳ تا ۵) و روابط ۵ تا ۷، صحت کلی و ضریب کاپا به منظور یافتن اندازه ارتباط میان تعداد قله تاج- پوشش شناسایی شده توسط الگوریتم های حداکثر فیلتر محلی، تطبیق الگو و تقسیم بندی حوضه بر روی تصاویر دیجیتال، با تعداد پایه های درخت در واقعیت زمینی، به ترتیب ۶۴ درصد و ۵۹ صدم، ۷۷ درصد و ۷۴ صدم، ۶۰ درصد و ۵۵ صدم به دست آمد.

درصد مجذور میانگین مربعات خطا برای هر یک از روش های تعیین مساحت تاج پوشش شامل روش زمینی، الگوریتم حداکثر فیلتر محلی، الگوریتم تطبیق الگو و الگوریتم تقسیم بندی حوضه در مقایسه با روش تفسیر بصری به ترتیب ۶/۰۸، ۵/۸۲، ۴/۹۲ و ۲/۴۱ به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده می توان بیان کرد که دقت الگوریتم تقسیم بندی حوضه برای تعیین مساحت تاج درختان نسبت به دیگر روش ها بیشتر

جدول ۳- ماتریس خطا برای آنالیز حداکثر تعداد قله به دست آمده توسط الگوریتم حداکثر فیلتر محلی با حداکثر تعداد پایه مشاهده شده در بین ۱۰۰ درخت مورد آماربرداری

Table 3. Error matrix to analyze the maximum number of peaks obtained by Local maximum filtering algorithm with the maximum number of base observed among 100 trees inventory

تعداد پایه Single tree	تعداد قله Number of crown										مجموع Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	7	1	1		2							11
2	2	5	2	1								10
3		1	5		1				1			8
4		1	1	14				1				17
5			4		8							12
6		2	1		1	7						11
7				1	1		5					7
8	1	1	2			1	1	6		1		13
9							1	1	4			6
10					2					3		5
مجموع Total	10	11	16	16	15	8	7	8	5	44		100

جدول ۴- ماتریس خطا برای آنالیز حداکثر تعداد قله به دست آمده توسط الگوریتم تطبیق الگو با حداکثر تعداد پایه مشاهده شده در بین ۱۰۰ درخت مورد آماربرداری

Table 4. Error matrix to analyze the maximum number of peaks obtained by Template matching algorithm with the maximum number of base observed among 100 trees inventory

تعداد پایه Single tree	تعداد قله Number of crown										مجموع Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	8		2	1								11
2		8	1			1						10
3	1	2	4		1							8
4		1		15		1						17
5		1	1	1	9							12
6			1		1	9						11
7				1			6					7
8			1	3				9				13
9						1			5			6
10								1		4		5
مجموع Total	9	12	10	21	11	12	6	10	5	4		100

جدول ۵- ماتریس خطا برای آنالیز حداکثر تعداد قله به دست آمده توسط الگوریتم تقسیم بندی حوضه با حداکثر تعداد پایه مشاهده شده در بین ۱۰۰ درخت مورد آماربرداری

Table 5. Error matrix to analyze the maximum number of peaks obtained by Watershed segmentation algorithm with the maximum number of base observed among 100 trees inventory

تعداد پایه Single tree	تعداد قله Number of crown										مجموع Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	9		1			1						11
2		7	1	2								10
3	1	2	4						1			8
4	1		5	9			1			1		17
5		3			8		1					12

ادامه جدول ۵.

Continued table 5.

تعداد پایه Single tree	تعداد قله Number of crown										مجموع Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
6		1	2		2	6					11
7			1			1	5				7
8			2				1	9		1	13
9		2	1	1					2		6
10				1	1	1			1	1	5
مجموع Total	11	15	17	13	11	9	8	9	5	2	100

بحث

تعیین مساحت تاج درختان با نتایج پژوهش‌های Wang *et al.*, 2004, Larsen *et al.*, 2011) همسو است.

محاسبه صحت کل و ضریب کاپا بر اساس ماتریس‌های خطای نمایش داده‌شده در جدول‌های ۳ تا ۵ برای برآورد دقت الگوریتم‌های حداکثر فیلتر محلی، تطبیق الگو و تقسیم‌بندی حوضه به‌منظور تشخیص خودکار تک‌پایه یا جست‌گروه بودن درخت نشان داد که الگوریتم تطبیق الگو برای تشخیص خودکار تک‌پایه یا جست‌گروه بودن درختان نسبت به دیگر الگوریتم‌های مورد استفاده در این پژوهش مناسب‌تر است. در این راستا نتایج پژوهش - Quackenbush *et al.*, 2000) برای تشخیص خودکار تعداد جست‌گروه‌های درختان با نتایج پژوهش حاضر منطبق بود.

در نهایت پیشنهاد می‌شود برای اطمینان از نتایج حاصل از این پژوهش مطالعاتی نیز در زمینه تعیین و تشخیص تاج درختان بلوط ایرانی بر روی داده‌های سنجش‌ازدور ماهواره‌ای و تصاویر هوایی UltraCam-D، با استفاده از دیگر الگوریتم‌های خودکار تعیین و تشخیص، انجام پذیرد.

در این پژوهش از الگوریتم‌های حداکثر فیلتر محلی، تطبیق الگو و تقسیم‌بندی حوضه برای تعیین و تشخیص تاج درختان بلوط ایرانی بر روی تصویر UltraCam-D و مقایسه آن با روش آماربرداری زمینی و روش تفسیر چشمی استفاده شد. نتایج تفسیر چشمی تصاویر رقومی 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 (Erfanifard *et al.*, 2007, Gougeon and Leckie, 2006) به‌عنوان داده مرجع و مبنای مقایسات تعیین مساحت تاج درختان مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه، بین میانگین مساحت تاج درختان به‌دست‌آمده توسط روش‌های مذکور اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. نتایج محاسبه مجذور میانگین مربعات خطا برای روش آماربرداری زمینی، الگوریتم حداکثر فیلتر محلی، الگوریتم تطبیق الگو و الگوریتم تقسیم‌بندی حوضه نشان می‌دهد که دقت الگوریتم تقسیم‌بندی حوضه برای تعیین مساحت تاج درختان نسبت به دیگر روش‌های مذکور بیشتر است. در این راستا نتایج دقت الگوریتم تقسیم‌بندی حوضه برای

References

- Azizi, Z., A. Najafi & H. Sohrabi, 2008. Forest canopy density estimating, using satellite images, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII: Part B8.
- Bunting, P. & R.M. Lucas, 2006. The delineation of tree crowns in Australian mixed species forests using hyperspectral Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI) data, *Remote Sensing of Environment*, 101(2): 230-248.
- Culvenor, D.S., 2002. TIDA: an algorithm for the delineation of tree crowns in high spatial resolution remotely sensed imagery, *Computers and Geosciences*, 28(1): 33-44.
- Erfanfard, Y., M. Zobeiri, J. Fegghi & M. Namiranian, 2007. Estimation of crown cover on aerial photographs using shadow index (Case study: Zagros forests, Iran), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(3):278-288, (In Persian).
- Gougeon, F.A. & D.G. Leckie, 2006. The individual tree crown approach applied to IKONOS images of a coniferous plantation area, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(11):1287-1297.
- Holopainen, J., S. Helama & M. Timonen, 2006. Plant phenological data and tree-rings as paleoclimate indicators in south-west Finland since AD 1750, *International Journal of Biometeorology*, 51:61-72.
- Hudak, A.T., E.K. Strand, L.A. Vierling, J.C. Byrne, J.U. Eitel, S.N. Martinuzzi & M.J. Falkowski, 2012. Quantifying above ground forest carbon pools and fluxes from repeat LIDAR surveys, *Remote Sensing of Environment*, 123:25-40.
- Jazirehi, M.H. & M. Ebrahimi Rostaghi, 2003. *Silviculture in Zagros*, Tehran University Press, Teharn, 560 p. (In Persian).
- Jazouli, R., D.L. Verbyla & D.L. Murphy, 1994. Evaluation of spot pancromatic digital imagery for updating road locations in a harvested forest area, *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing*, 60(12):1449-1452.
- Ke, Y. & L.J. Quackenbursh, 2011. A comparison of three methods for automatic tree crown detection and delineation from high spatial resolution imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 32(13):3625-3647.
- Lamar, W.R., J.B. McGraw & T.A. Warner, 2005. Multitemporal censusing of a population of eastern hemlock (*Tsuga canadensis* L.) from remotely sensed imagery using an automated segmentation and reconciliation procedure, *Remote Sensing of Environment*, 94(1): 133-143.
- Larsen, M., 1997. Crown modeling to find tree top positions in aerial photographs. In proceedings of the 3rd International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark (Ann Arbor, MI: ERIM International). pp. 428-435.
- Larsen, M., E.M. Eriksson, X. Descombes, G. Perrin, T. Brandtberg & F.A. Gougeon, 2011. Comparison of six individual tree crown detection algorithms evaluated under varying forest conditions, *International Journal of Remote Sensing*, 32(20): 5827-5852.
- Makela, H. & A. Pekkarinen, 2004. Estimation of forest stand volumes by Landsat TM imagery and stand-level field inventory data, *Forest Ecology and Management*, 196(2): 245-255.
- Masumi, M., 2006. Geometric calibration of the digital aerial camera UltraCam-D, *Scientific Research Quarterly of Geographical Data (Sepehr)*, 55:25-32, (In Persian).
- Meyer, G.E. & J.C. Neto, 2008. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications, *Computers and electronics in agriculture*, 6(3):282-293.
- Paine, D.P. & J.D. Kiser, 2012. *Aerial photography and image interpretation* (3rd ed.), John Wiley & Sons, Inc., 629 p.
- Pollock, R.J., 1999. Individual tree crown recognition based on a synthetic tree crown image model. In Hill, D.A. and D.G. Leckie (Ed.). Proceedings of the International Forum on Automated Interpretation of High Spatial Resolution Digital Imagery for Forestry, Victoria, BC, Canada (Victoria, Canada: Pacific Forestry Centre, Canadian Forest Service). pp. 25-34.
- Pouliot, D.A. & D.J. King, 2005. Approaches for optimal automated individual tree crown detection in regenerating coniferous forests, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 31(3): 255-267.
- Pouliot, D.A., D.J. King, F.W. Bell & D.G. Pitt, 2002. Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital

- camera imagery of coniferous forest regeneration, *Remote Sensing of Environment*, 82(2): 322-334.
- Quackenbush, L.J., P.F. Hopkins & G.J. Kinn, 2000. Using template correlation to identify individual trees in high resolution imagery. In Proceedings of the 2000 ASPRS Annual Conference, Washington, DC (Bethesda, MD: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing).
 - Rafieyan, O., A.A. Darvishsefat, S. Babaii & A. Matajii, 2011. Evaluation of pixel-based and object-based classification methods for tree identification using aerial images (Case study: a forestation in Camestan-Nur), *Iranian Journal of Forest*, 3(1): 35-47. (In Persian)
 - Salehi, A., E. Wilhelmsson & U. Söderberg, 2008. Land cover changes in a forested watershed, southern Zagros, Iran, *Land Degradation & Development*, 19(5): 542-553.
 - Sohrabi, H., 2009. Application of visual and numerical interpretation of aerial images in forest inventory. Ph.D. thesis. Faculty of Natural Resources. University of Tarbiat Modares. Nur, Iran, 99 p. (In Persian)
 - Wang, L., P. Gong & G.S. Biging, 2004. Individual tree-crown delineation and treetop detection in high-spatial-resolution aerial imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(3): 351-357.
 - Wang, X. & X.H. Hui Fu, 2010. A Color-texture Segmentation Method to Extract Tree Image in Complex Scene. International Conference on Machine Vision and Human-machine Interface. Kaifeng, China, pp. 621-625.
 - Wulder, M., K.O. Niemann & D.G. Goodenough, 2000. Local Maximum Filtering for the extraction of tree locations and basal area from high spatial resolution imagery, *Remote Sensing of Environment*, 73(1):103-114.
 - Zobeiri, M., 2007. Forest inventory: measurement of tree and forest, 2nd Ed, Tehran University Press, Tehran, 424 p. (In Persian)

Automated tree crown delineation and detection in UltraCam-D Digital image

A. Salehi¹, M. Gomroki^{*2}, Z. Azizi³, H. Sadeghian⁴

1- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Yasooj, Yasooj, I.R. Iran.

2- MSc. Student of photogrammetry, Faculty of Civil Engineering, University of Tafresh, Tafresh, I.R. Iran.

3- Assistant Prof., Faculty of Environment and Energy, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran.

4- Ph.D. Student of forestry, Faculty of Agriculture, University of Khoramabad, Khoramabad, I.R. Iran.

Received: 19.10.2016

Accepted: 13.12.2016

Abstract

This study aimed to evaluate the results of applying Local maximum filtering, Template matching and Watershed segmentation algorithms on aerial image of UltraCam-D to delineate and detect automatically the single tree crowns of Persian Oak (*Quercus brantii* Lind) in comparison with the results of visual interpretation techniques and the filed measurement method of crown covers. After preprocessing of image, in a terrain with an area of 10 ha inside Yasooj forest park, 100 trees of Persian oak were selected randomly. The crown area of the selected trees was determined and calculated using visual interpretation and was accepted as the control data. Using the field inventory, the areas of the tree crowns were measured and the numbers of sprouts in each coppice form were counted. Using the field inventory, the areas of crowns of trees were measured and the numbers of sprouts in each coppice form were counted and recorded. Moreover, to delineate and recognize the crown of trees automatically, using programming, the Local maximum filtering, Template matching and Watershed segmentation algorithms, were applied on the mentioned image. The results showed that the accuracy of Watershed segmentation algorithm is better than the method of field measurement and it was 2.41 percent of the control method. Total accuracy and kappa coefficient obtained by error matrix algorithms for each algorithms of Local maximum filtering, Watershed segmentation and Template matching showed that Template matching algorithm was more accurate to detection crowns, or in other words, to detect single base or coppice trees than other algorithms used in this study.

Keywords: Delineation and detection algorithm, Iranian Oak, UltraCam-D image.

* Corresponding author:

Email: m.gomroki92@gmail.com