

# تعیین و تشخیص خودکار تاج تک درختان بلوط ایرانی به کمک الگوریتم تطبیق الگو

حامد صادقیان<sup>۱</sup>، علیرضا صالحی<sup>۲\*</sup>، زهرا عزیزی<sup>۳</sup>، معصومه گمرکی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری علوم جنگل، جنگلداری - دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی - دانشگاه لرستان  
sadeghian.ha@fa.lu.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار گروه جنگلداری - دانشکده کشاورزی - دانشگاه یاسوج  
asalehi@mail.yu.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار گروه سنجش از دور و اطلاعات جغرافیایی - دانشکده محیط زیست و انرژی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران  
zazizi@srbiau.ac.ir

<sup>۴</sup> کارشناس ارشد فتوگرامتری - دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری - دانشگاه تفرش  
m.gomroki92@gmail.com

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۵، تاریخ تصویب فروردین ۱۳۹۶)

## چکیده

روش آماربرداری زمینی اطلاعات مورد نیاز از وضعیت تاج پوشش درختان جنگل را فراهم می‌کند، اما این روش زمان‌بر و هزینه‌بر است. امروزه تصاویر سنجش از دوری فرصت بالقوه‌ای را جهت تجزیه و تحلیل خودکار مشخصه‌های جنگل با دقت بالا و هزینه‌های کم فراهم می‌کنند. این پژوهش با هدف ارزیابی نتایج اعمال الگوریتم تطبیق الگو 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 شد. پس از پردازش اولیه تصویر، در عرصه‌ای با مساحت حدود ۱۰ هکتار در بخشی از پارک جنگلی یاسوج، تعداد ۱۰۰ اصله درخت بلوط ایرانی به روش تصادفی جهت انجام این مطالعه انتخاب گردید. مساحت تاج درختان انتخاب شده با روش تفسیر چشمی در محیط نرم افزار Arcview مشخص و پس از محاسبه به عنوان مساحت واقعی در نظر گرفته شد. در روش آماربرداری زمینی مساحت تاج و تعداد پایه هر درخت اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین، جهت تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان، الگوریتم تطبیق الگو با برنامه نویسی در محیط نرم افزار Matlab R2014b بر روی تصویر مذکور اعمال شد. نتایج نشان داد که دقت (RMSE) الگوریتم تطبیق الگو برای تعیین مساحت تاج در مقایسه با روش آماربرداری زمینی بهتر و معادل ۴/۹۱ درصد می‌باشد. همچنین صحت کلی و ضریب کاپا بین تشخیص خودکار تعداد قله تاج در استفاده از الگوریتم مذکور با تعداد جست شمارش شده در هر درخت در واقعیت زمینی به ترتیب ۷۷ و ۷۴ درصد بدست آمد.

**واژگان کلیدی:** پردازش تصویر، تاج پوشش، تصویر هوایی UltraCam-D، تفسیر چشمی

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lind.) عمدتاً حوزه‌های جنگلی جنوب‌غربی زاگرس را در بر می‌گیرد [۷]. این جنگل‌ها در طول قرن‌های متمادی در معرض تخریب و چرای دام قرار گرفته‌اند [۲۰]. هرگونه برنامه ریزی جهت حفاظت و احیاء این جنگل‌ها نیازمند گستره وسیعی از اطلاعات همه‌جانبه و به‌هنگام از شرایط و وضعیت پوشش درختی آن‌ها می‌باشد [۲۰]. از آنجایی که پوشش جنگلی زاگرس قادر به تولید چوب قابل استفاده در صنایع مربوطه نمی‌باشد [۷]، نمی‌توان حجم سرپای درختان جنگل را به عنوان یک عامل اصلی مورد بررسی قرار داد؛ در نتیجه، باید از مشخصه دیگری مانند تاج پوشش برای اندازه‌گیری و کنترل تغییرات کمک گرفت [۲۰]. اندازه تاج درخت یکی از متغیرهای اصلی در معادله‌های آلومتریک برای برآورد بیوماس جنگل و محاسبات ترسیب کربن درختان بوده و شکل تاج درختان معرف ویژگی‌های مهمی برای تشخیص گونه‌های درختی از جمله نوع و فرم رویشی آن‌ها می‌باشد [۶ و ۹]؛ از این رو، نیاز به شناخت و استفاده از مؤلفه‌هایی است که بتوانند ساختار تاج درختان را تشریح نمایند. روش‌های متعددی برای تشخیص و تعیین تاج در توده‌های جنگلی دانه‌زاد و شاخه‌زاد وجود دارد. عملیات میدانی و جمع‌آوری اطلاعات به شیوه زمینی، روش معمول کسب اطلاعات در این زمینه می‌باشد. جمع‌آوری اطلاعات به شیوه زمینی در جنگل‌های کوهستانی کاری زمان‌بر و پرهزینه است [۸]. روش دیگر جمع‌آوری اطلاعات، استفاده از تکنیک‌های دورسنجی می‌باشد 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 به روز بودن داده‌ها توانسته‌اند نقش موثری را در جمع‌آوری و تامین اطلاعات مورد نظر ایفا نمایند [۱]. از اوایل دهه ۶۰ میلادی تفسیر چشمی عکس‌های هوایی مناسب‌ترین جایگزین روش‌های اندازه‌گیری زمینی تاج درختان شد [۲۲]. عکس‌های هوایی در مقایسه با سایر داده‌های سنجش از دور از مزایای مختلفی چون تفکیک مکانی بالا، پوشش مشترک، سابقه طولانی و دستیابی به آن در دوره‌های مختلف زمانی، امکان دید سه بعدی، مقیاس‌های متفاوت، قابلیت تصحیح هندسی، درک ساده، سهولت کاربرد و هزینه کم برخوردارند [۲۷]. در ایران، دسترسی به تصاویر

هوایی به‌دست آمده از دوربین رقومی UltraCam-D که توان تفکیک زمینی بسیار زیاد دارد (۰/۹ متر) امکان مطالعه بسیار دقیق تاج‌پوشش درختان را در مناطق جنگلی فراهم ساخته است [۱۹]. تاج درختان از مهمترین و بارزترین پدیده‌های قابل استخراج 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 بروز رسانی پایگاه‌های داده در زمان 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 به‌صورت نقشه با دقت مکانی و صحت زیادی که در گذشته میسر نبود، ممکن می‌سازد [۱۱و۱۵]. تحقیقات در مورد الگوریتم‌های تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان بر روی تصاویر رقومی به اواسط دهه ۱۹۸۰ برمی‌گردد [۹]. در همین راستا، شنگ<sup>۱</sup> و همکاران [۲۱] از تکنیک‌های فتوگرامتری در عکس‌های هوایی برای شناسایی، مدل‌سازی و اندازه‌گیری تک درختان سوزنی‌برگ استفاده کردند. اخیراً فناوری سنجش از دور بهبود یافته است و گسترش داده‌های نوری با کیفیت بالا و لیدار، به‌طور فزاینده‌ای تشخیص تک درخت را ممکن ساخته است. تشخیص و تعیین تک درختان در علوم جنگل حیاتی است، و مطالعه جمعیت تک درختان و مدل‌سازی رشد [۲۳]، درک درستی از زیستگاه و رفتار حیات وحش، و اندازه‌گیری دقیق از زیست توده در جنگل را ممکن می‌سازد [۲۶]. چن<sup>۲</sup> و همکاران [۲] در پژوهش خود بیان کردند که ابر نقاط متراکم لیدار امکان اندازه‌گیری ساختار عمودی دقیقی از تاج درخت فراهم می‌نماید. آنها از داده‌های لیدار جهت استخراج اطلاعات تک درخت مانند قطر تاج و ارتفاع درخت استفاده کردند.

الگوریتم‌های تعیین و تشخیص خودکار تاج به‌طور کلی به هفت دسته شامل؛ حداکثر فیلتر محلی<sup>۳</sup>، تصویر باینری<sup>۴</sup>، آنالیز مقیاس<sup>۵</sup>، تطبیق الگو<sup>۶</sup>، زیر دره<sup>۷</sup>، منطقه در حال رشد<sup>۸</sup> و تقسیم بندی حوزه<sup>۹</sup> تقسیم می‌شوند [۹]. منظور از تعیین خودکار تاج درخت تعیین حدود تاج و برآورد مساحت آن

<sup>۱</sup> Sheng

<sup>۲</sup> Chen

<sup>۳</sup> Local maximum filtering

<sup>۴</sup> Image binarization

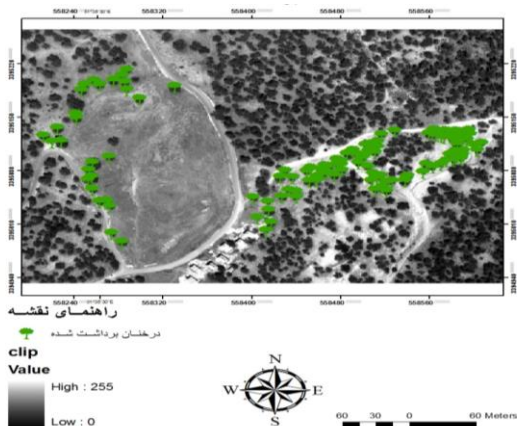
<sup>۵</sup> Scale analysis

<sup>۶</sup> Template Matching

<sup>۷</sup> Valley - Following

<sup>۸</sup> Region growing

<sup>۹</sup> Watershed segmentation



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

## ۲-۲- روش تحقیق

برای دستیابی به اهداف این پژوهش از تصویر هوایی دوربین UltraCam-D استفاده شد. این تصویر قابلیت زمین مرجع شدن مستقیم با استفاده از داده‌های GPS و IMU<sup>۱</sup> را دارد [۱۲]. به عبارت دیگر پارامترهای توجیه خارجی<sup>۲</sup> (X, Y, Z, ω, φ, κ) هنگام پرواز ثبت می شود و با در اختیار داشتن داده‌های تجهیزات نامبرده و بدون نیاز به نقطه کنترل زمینی، می توان عملیات مثلث بندی را انجام داد. در این پژوهش تصویر UltraCam-D منطقه مورد مطالعه با استفاده از پارامترهای توجیه خارجی در محیط نرم افزار Leica Photogrammetry Suite با تصحیح اثر جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع به ارتوفتو تبدیل شد. با استفاده از مجموعه‌ای از ۱۰۰ نقطه تهیه شده در محیط نرم افزار Arcview و قرار دادن آن بر روی تصویر ارتوفتو شده، تعداد ۱۰۰ اصله درخت بلوط ایرانی شامل تک‌پایه و جست‌گروه که قابلیت شناسایی بر روی تصویر و زمین را داشتند، انتخاب گردید. با تکیه بر توان تفکیک زمینی بسیار زیاد تصویر (۰/۹ متر) و استفاده از ابزار بزرگ‌نمایی نرم افزار، مرز تاج درختان منتخب بر روی تصویر به شکل پلی‌گون در یک فایل وکتوری ثبت شد. مساحت هر یک از پلی‌گون‌های تاج درختان به عنوان مساحت واقعی تاج هر کدام از درختان [۳] در نظر گرفته شد. همچنین مختصات دقیق مرکز تاج این درختان جهت انجام عملیات میدانی بر روی دستگاه موقعیت یاب مکانی ثبت گردید. با توجه به وسعت حدود ۱۰ هکتاری منطقه

می‌باشد و تشخیص تاج درخت به عنوان فرآیندی که به پیدا کردن تعداد قله یا برآمدگی تاجی در تاج‌پوشش جنگل منجر می‌گردد، اطلاق می‌شود. گرچه استفاده از الگوریتم حداکثر فیلتر محلی از قدیمی ترین پژوهش‌های مربوط به تشخیص خودکار تاج درختان می‌باشد [۸]، با گسترش استفاده از تصاویر هوایی با قدرت تفکیک مکانی بالاتر، الگوریتم‌هایی نظیر تطبیق الگو نیز جهت تعیین و تشخیص تاج درختان معرفی شدند. الگوریتم تطبیق الگو در توده‌های جنگلی مختلف پهن‌برگ و سوزنی برگ [۱۵، ۱۶ و ۱۸] جهت تعیین و تشخیص تاج تک درختان برای تصاویر هوایی با قدرت تفکیک مکانی بالا مورد استفاده قرار گرفته است؛ که در همه موارد دقت تعیین و تشخیص تاج بوسیله آن بهتر از حالت برداشت زمینی بوده است. به دلیل نبود چنین مطالعاتی در منطقه‌ی زاگرس و حتی به طور گسترده‌تر در کشور، هدف اصلی این پژوهش، استفاده از الگوریتم تطبیق الگو جهت تعیین و تشخیص خودکار تاج جست‌گروه‌ها یا تک پایه‌های بلوط ایرانی بر روی تصویر هوایی UltraCam-D و مقایسه‌ی کارایی آن با روش تفسیر چشمی تاج درختان بر روی همین تصویر به عنوان روش مبنا و همچنین مقایسه این نتایج با برآورد زمینی اندازه تاج درختان در یک توده جنگلی بلوط ایرانی در منطقه زاگرس جنوبی می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر 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 مطالعه با متوسط ارتفاع ۲۱۴۲ متر از سطح دریا بر دامنه‌ای با جهت شمال غربی با شیب متوسط ۱۰ درصد واقع شده است.

<sup>۱</sup> Inertial Measurement Unit

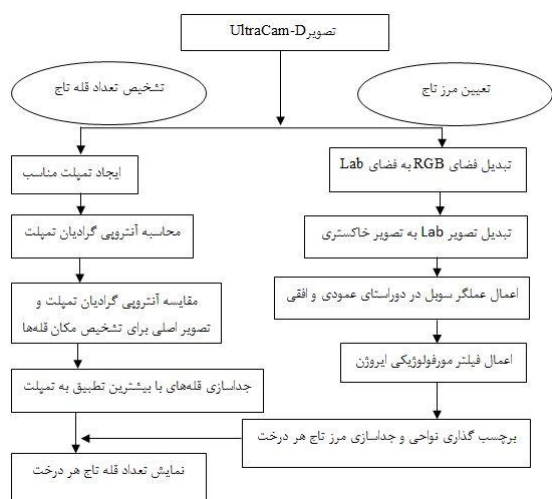
<sup>۲</sup> Exterior Orientation Parameters

مورد بررسی، تراکم کم پوشش جنگلی منطقه و در اختیار داشتن موقعیت مکانی هر یک از درختان هدف، امکان یافتن هر یک از درختان انتخاب شده در منطقه مورد مطالعه به راحتی امکان پذیر بود. بعد از مشخص کردن هر کدام از درختان مورد مطالعه در عرصه جنگل، دو قطر کوچک و بزرگ تاج (قطرهای عمود بر هم) و یا بر حسب مورد، تاج جست گروه، برای اندازه‌گیری سطح تاج پوشش هر درخت اندازه‌گیری شدند. همچنین تعداد پایه یا پایه‌های هر درخت یا جست گروه شمارش و ثبت گردیدند.

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، با اجرای موازی یک الگوریتم دو بخشی (الگوریتم تطبیق الگو) (شکل ۲)، که در نرم‌افزار Matlab R2014b برنامه‌نویسی شده بود، به تعیین و تشخیص تاج درختان منتخب اقدام گردید. جهت تعیین مرز تاج درختان توسط الگوریتم تطبیق الگو، طبق مدل ارائه شده توسط [۲۴]، تصاویر از فضای رنگی RGB به فضای رنگی  $L^*a^*b^*$  تبدیل شدند. مؤلفه‌های 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 می‌باشد؛  $a$  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، می‌باشند. سیستم رنگی  $L^*a^*b^*$  برای دستکاری تصویر؛ شامل بهبود کنتراست و تن کارایی بیشتری دارد. تصویر حاصل در فضای Lab به تصویر با مقیاس خاکستری<sup>۱</sup> تبدیل گردید [۲۴]. در تصویر با مقیاس خاکستری به جای آن که به هر پیکسل سه عدد مربوط به کانال‌های  $L$  و  $a$  و  $b$  نسبت داده شود، فقط یک عدد به عنوان شدت نسبت داده می‌شود. جهت جدا سازی مرز مربوط به تاج درختان بر روی تصویر با مقیاس خاکستری، فیلتر لبه سوبل در هر دو راستای افقی و عمودی اعمال گردید [۲۵]. برای بهبود مرز تاج درختانی که در مرحله قبل توسط فیلتر لبه سوبل تعیین شده است، از فیلتر مورفولوژیکی ایزوژن<sup>۲</sup> به منظور پر کردن حفره‌ها و نرم کردن لبه مرزهای تاج، استفاده شد [۱۷]. در نهایت، مرز مربوط به تاج پوشش درختان برچسب‌گذاری شد و هر درخت شماره برچسب

مربوط به خود را گرفت. پس از برچسب گذاری درختان و جداسازی کامل آنها از زمینه، مساحت تاج درختان توسط توابع داخلی نرم‌افزار Matlab محاسبه شد.

جهت تشخیص قله‌های تاج درختان، پس از مشخص کردن یک قله تاج درخت به عنوان واقعیت زمینی در تصویر، یک پنجره با ابعاد  $5 \times 5$  به عنوان الگو در نرم افزار تعریف شد. به طوری که، قله تاج درخت در مرکز این پنجره واقع شود. سپس تغییرات تدریجی ارزش عددی سلول‌ها در الگوی تعریف شده در دو راستای عمودی و افقی مورد محاسبه قرار گرفتند و آنتروپی آن در هر دو راستا محاسبه شد [۱۰]. سپس پنجره تعریف شده بر روی تصویر اصلی حرکت داده شد و آنتروپی گرادینان ارزش عددی سلول‌ها در راستای افقی و عمودی محاسبه شد. هر جایی که میزان آنتروپی گرادینان مذکور در دو راستای عمودی و افقی پنجره تعریف شده بر روی تصویر اصلی یکی بود، مختصات  $x$  و  $y$  پیکسل مرکزی آن پنجره به عنوان مرکز قله شناسایی و ذخیره سازی گردید. سپس، با توجه به درختانی که در مرحله تعیین مرز بر چسب گذاری شده بودند، نقاط مربوط به قله‌های هر درخت جداسازی شد [۲۴]. فرآیند تعیین و تشخیص تاج درختان به‌وسیله الگوریتم تطبیق الگو در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- مراحل تعیین و تشخیص تاج درخت بوسیله الگوریتم تطبیق الگو

## ۲-۲- روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت تحلیل داده‌ها از سه گروه داده، شامل مساحت تاج درختان یا همان مساحت پلی‌گون‌های فایل وکتوری که از روش تفسیر چشمی بر روی تصویر ارتوفتو بدست

<sup>۱</sup> Grayscale  
<sup>۲</sup> Erosion

گردید؛ و صحت کلی و ضریب کاپا طبق روابط ۲ تا ۴ محاسبه شد [۱۳]. تجزیه و تحلیل داده‌ها جهت تعیین مساحت تاج درختان با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 صورت پذیرفت. مقدار سطح معنی‌داری، برای آزمون‌های انجام شده کوچکتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

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

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 مطالعه با  $\bar{O}$  نمایش داده شده است.

$$\text{صحت کل} = \theta_1 = \frac{1}{n} \sum P_{ii} \quad (2)$$

$$\theta_2 = P_{i0} \times P_i \frac{1}{n^2} \sum \quad (3)$$

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (4)$$

در روابط ۲ تا ۴، 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 ۳) با  $P_{i0}$ ، مجموع هر یک از ستون‌ها در جدول ماتریس خطا با  $P_i$  و ضریب کاپا با  $K$  نمایش داده شده است.

### ۳- نتایج

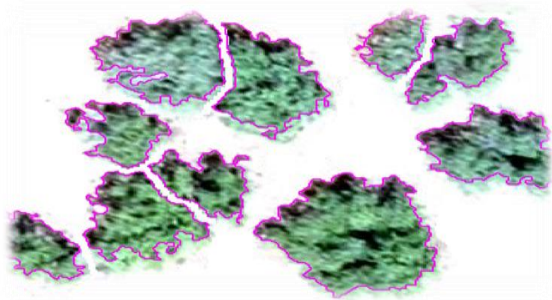
نتایج اعمال الگوریتم تطبیق الگو بر روی تصویر ارتوفتو تهیه شده جهت تعیین تاج درختان در شکل‌های ۳ تا ۸ نمایش داده شده است. در شکل ۳ بخشی از تصویر ارتوفتو شده منطقه مورد مطالعه و در شکل ۴ تصویر همان منطقه پس از تبدیل به فضای رنگی Lab نمایش داده شده است. در شکل ۵ تصویر بخشی از منطقه با مقیاس خاکستری، در شکل ۶ تصویر اعمال فیلتر لبه سوبل و در شکل ۷ تصویر منطقه پس از اعمال فیلتر مورفولوژیکی ایروژن نمایش داده شده است. در شکل ۸، مرز تاج تک درختان یا جست گروه‌ها نسبت به این مرزها در تصویر ارتوفتو اصلی (شکل ۳) مشخص تر می‌باشند.

آمده، سطح محاسبه شده تاج درختان از طریق اندازه‌گیری قطر بزرگ و کوچک درختان و تعداد پایه‌های (جست‌ها) شمارش‌شده آنها در روش معمول آماربرداری زمینی و داده‌های مربوط به روش تعیین و تشخیص خودکار مساحت تاج به‌وسیله الگوریتم تطبیق الگو استفاده گردید. از آنجا که 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 بدست‌آمده از روش چشمی مبنای مقایسه سایر روش‌های اندازه‌گیری مساحت تاج، در نظر گرفته شد [۳].

برای مقایسه میانگین سه گروه داده بدست آمده جهت تعیین مساحت تاج درختان، از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه<sup>۱</sup> استفاده گردید. در این رابطه ابتدا مفروضات انجام این آزمون از جمله تصادفی بودن داده‌ها، نرمال بودن داده‌ها و همسان بودن واریانس درون گروهی داده‌ها مد نظر قرار گرفت. برای بررسی نرمال بودن آزمون کلموگروف - اسمیرنوف و برای بررسی همسان بودن واریانس درون گروهی داده‌ها از آزمون لون<sup>۲</sup> استفاده گردید [۲۵]. در تحلیل واریانس یک طرفه 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 با هم 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 به عنوان روش دقیق، درصد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۱۷]. همچنین برای ارزیابی دقت الگوریتم تطبیق الگو جهت تشخیص تک‌پایه یا جست‌گروه بودن درخت یا به عبارتی یافتن میزان همبستگی میان تعداد قله تاج‌پوشش شناسایی شده توسط الگوریتم مذکور بر روی تصویر دیجیتال، با تعداد پایه‌های درختی در واقعیت زمینی از جدول ماتریس خطا (جدول ۳) استفاده

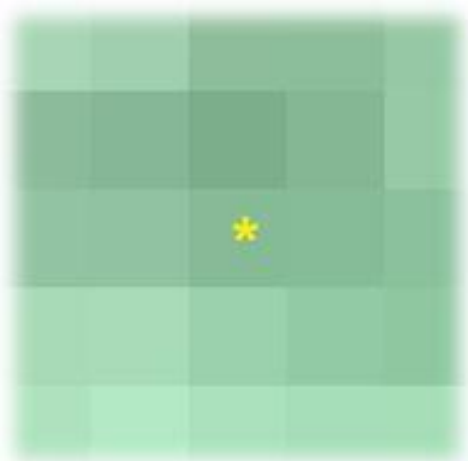
<sup>۱</sup> One- way ANOVA  
<sup>۲</sup> Leven





شکل ۸- مرز تاج درختان تعیین شده

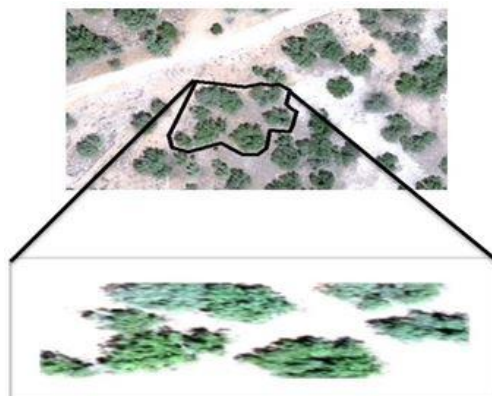
نتایج اعمال الگوریتم تطبیق الگو جهت تشخیص تعداد قلعه‌های تاج هر درخت (شکل ۲) در شکل‌های ۹ تا ۱۱ نمایش داده شده است. شکل ۹، پنجره تعریف شده ۵ در ۵ را که مرکز قلعه تاج درخت در آن با ستاره زرد رنگ مشخص شده، نشان می‌دهد. در شکل ۱۰ تصویر گرادیان ارزش عددی سلول‌ها در پنجره تعریف شده در بخشی از منطقه مورد مطالعه و در شکل ۱۱ تصویر مرز تاج و قلعه‌های تشخیص داده شده در آن نمایش داده شده است.



شکل ۹- پنجره ۵ در ۵ تعریف شده



شکل ۱۰- تصویر گرادیان ارزش عددی سلول‌های پنجره ۵ در ۵ تعریف شده، در بخشی از منطقه مورد مطالعه



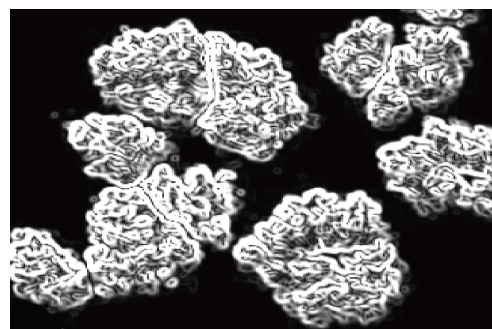
شکل ۳- بخشی از تصویر ارتوفتو شده برای منطقه مورد مطالعه



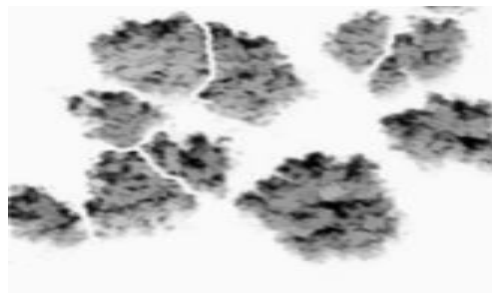
شکل ۴- تصویر در فضای Lab



شکل ۵- تصویر با مقیاس خاکستری



شکل ۶- تصویر اعمال فیلتر لبه سوبل



شکل ۷- تصویر پس از اعمال عملگر مورفولوژیکی ایروژن

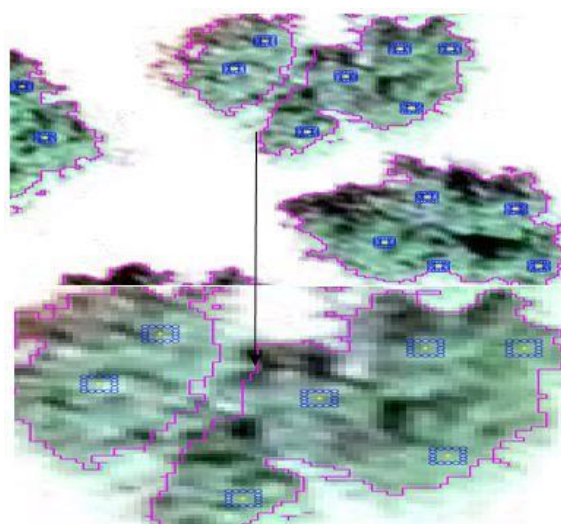
میانگین مساحت تاج درختان حاصل از روش‌های مذکور، تصادفی می‌باشد.

درصد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) طبق رابطه ۱ برای روش‌های تعیین مساحت تاج پوشش شامل روش آماربرداری زمینی و روش تطبیق الگو، در مقایسه با روش تفسیر بصری، به ترتیب ۶/۰۸ و ۴/۹۱ محاسبه گردید. این مطلب بیانگر این است که دقت تعیین خودکار مساحت تاج درختان با استفاده از الگوریتم تطبیق الگو بر روی تصاویر هوایی رقومی نسبت به برآورد مساحت تاج درختان به روش زمینی بهتر است.

جدول ۳ ارزیابی دقت الگوریتم تطبیق الگو جهت تشخیص تاج درختان یا به عبارتی همبستگی میان تعداد قله تشخیص داده شده در تاج درختان با استفاده از الگوریتم تطبیق الگو بر روی تصویر رقومی را با تعداد پایه های درختی شمارش شده در جست گروه‌ها در واقعیت زمینی، نشان می‌دهد. با استفاده از جدول ۳ و روابط ۲ تا ۴، صحت کلی و ضریب کاپا به منظور یافتن میزان ارتباط میان تعداد قله شناسایی شده در تاج درختان توسط الگوریتم تطبیق الگو بر روی تصویر دیجیتال، با تعداد پایه‌های درخت شمارش شده در واقعیت زمینی، به ترتیب ۷۷ و ۷۴ درصد بدست آمد.

جدول ۱- آمار توصیفی سه روش تعیین مساحت تاج درختان

روش	تعداد	میانگین	انحراف معیار
بصری	۱۰۰	۳۰/۵۴	۱۷/۷۱
زمینی	۱۰۰	۳۳/۴۲	۱۷/۵۲
تطبیق الگو	۱۰۰	۳۱/۱۶	۱۷/۶۲
مجموع	۳۰۰	۳۱/۷۱	۱۷/۶۰



شکل ۱۱- مرز تاج درختان و محل قله‌های تشخیص داده شده در آن‌ها

نتایج آمار توصیفی سه گروه داده بدست آمده جهت مقایسه مساحت تعیین شده تاج درختان با روش‌های مذکور در جدول ۱ نمایش داده شده است. برای انجام تحلیل واریانس یک طرفه، نرمال بودن و یکسانی واریانس متغیر وابسته از طریق آماره لون با ارزش عددی ۰/۰۰۱ و سطح معنی‌داری ۰/۹۹ مورد بررسی قرار گرفت؛ از آنجا که سطح معنی‌داری مذکور از ۰/۰۵ بزرگتر است، ارزش داده ها، مفروضه تساوی خطای واریانس آن‌ها را زیر سوال نبرده‌اند و می‌توان از تحلیل واریانس یک طرفه استفاده نمود. در جدول ۲ نتایج تحلیل واریانس یک طرفه برای بررسی نتایج حاصل از سه روش تعیین مساحت تاج درختان ارائه شده است. با توجه به اطلاعات ذکر شده در جدول ۲، ( $F= ۰/۷۳$ ،  $sig = ۰/۴۷$ )، می‌توان بیان کرد که تفاوت میانگین مساحت تاج درختان در بین روش‌های مورد استفاده جهت تعیین مساحت تاج درختان، شامل روش‌های تفسیر بصری، آماربرداری زمینی و تطبیق الگو از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده و اختلاف موجود بین

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس یک طرفه

مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
۴۵۹/۱۵	۲	۲۲۹/۵۷	۰/۷۳	۰/۴۷
۹۲۲۴۰/۲۲	۲۹۷	۳۱۰/۵۷		
۹۲۶۹۹/۳۷	۲۹۹			

جدول ۳- جدول ماتریس خطا برای تحلیل حداکثر تعداد قله شمارش شده با استفاده از الگوریتم تطبیق الگو و تعداد پایه های درختی شمارش شده در واقعیت زمینی در ۱۰۰ اصله درخت آماربرداری شده

تعداد پایه	قله										مجموع
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	
۱	۸		۲	۱							۱۱
۲		۸	۱			۱					۱۰
۳	۱	۲	۴		۱						۸
۴		۱		۱۵		۱					۱۷
۵		۱	۱	۱	۹						۱۲
۶			۱		۱	۹					۱۱
۷				۱			۶				۷
۸			۱	۳				۹			۱۳
۹						۱			۵		۶
۱۰								۱		۴	۵
مجموع	۹	۱۲	۱۰	۲۱	۱۱	۱۲	۶	۱۰	۵	۴	۱۰۰

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

می‌باشد. از این جهت، نتایج این پژوهش جهت تعیین مساحت تاج درختان به وسیله الگوریتم تطبیق الگو با نتایج پژوهش های [۹ و ۱۸، ۱۴] همسو می‌باشد. از طرفی، در این پژوهش به منظور برآورد دقت الگوریتم تطبیق الگو جهت تشخیص و شمارش خودکار تعداد تاج در هر جست گروه و مقایسه آن نسبت به تعداد جست شمارش شده در هر جست گروه در روش آمار برداری زمینی، صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۷۷ و ۷۴ درصد محاسبه شدند. با توجه به بالا بودن نسبی این دو ارزش، همچنین، می‌توان الگوریتم تطبیق الگو جهت تشخیص و شمارش خودکار تاج درختان را به عنوان روشی مناسب معرفی نمود که نسبت به پوشیدن چکمه و عزیمت به جنگل جهت اندازه گیری مساحت تاج درختان بلوط ایرانی و شمارش تعداد جست در جست گروه‌ها از ارجحیت بیشتری برخوردار می‌باشد. بنابراین، هزینه‌بر بودن و زمان بر بودن روش زمینی [۸] نسبت به روش خودکار مورد اشاره جای تامل دارد. هرچند پیشنهاد می‌گردد برای اطمینان بیشتر مطالعاتی نیز در زمینه دقت، هزینه و زمان‌بری تعیین و تشخیص تاج درختان بلوط ایرانی بر روی داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای و تصاویر هوایی UltraCam-D و لیدار با استفاده از سایر الگوریتم های خودکار انجام پذیرد.

در این پژوهش با استفاده از الگوریتم تطبیق الگو به تعیین سطح تاج و تشخیص قله‌های تاج تک درختان بلوط ایرانی بر روی تصویر هوایی رقومی UltraCam-D و مقایسه نتایج آن با نتایج حاصل از روش‌های آماربرداری زمینی و تفسیر چشمی پرداخته شد. با توجه به منابع بررسی شده، از آنجا که اندازه‌گیری قطر تاج‌های نامتقارن درختان بلوط ایرانی جهت محاسبه مساحت تاج در روش آماربرداری زمینی از دقت پایینی‌تری نسبت به استفاده از روش تفسیر چشمی برخوردار است [۳ و ۴]، مساحت محاسبه شده برای تاج درختان با استفاده از روش تفسیر چشمی به عنوان روش کنترل در نظر گرفته شد. با توجه به معنی‌دار نبودن اختلاف میانگین مساحت محاسبه شده برای سطح تاج، از سه روش مذکور (جدول ۱ و جدول ۲)، محاسبه RMSE برای مقایسه دقت نتایج حاصل از روش‌های تعیین خودکار مساحت تاج درختان با استفاده از الگوریتم تطبیق الگو و برآورد مساحت تاج درختان به روش زمینی با نتایج حاصل از روش کنترل، تفسیر چشمی، نشان می‌دهد که استفاده از روش تعیین خودکار مساحت تاج درختان با استفاده از الگوریتم تطبیق الگو بر روی تصویر هوایی رقومی نسبت به برآورد مساحت تاج درختان به روش زمینی از ارجحیت بیشتری برخوردار



- [1] Azizi, Z., Najafi, A. and Sohrabi, H. (2008). "Forest canopy density estimating, using satellite images." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXXVII: Part B8.
- [2] Chen, Q., Baldocchi, D., Gong, P., Kelly, M. (2006). "Isolating individual trees in a Savanna woodland using small footprint LiDAR data". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol.72, PP.923-932.
- [3] Erfanifard, Y., Zobeiri, M., Fegghi, J. and Namiranian, M. (2007). "Estimation of crown cover on aerial photographs using shadow index (Case study: Zagros forests, Iran)." Iranian Journal of Forest and Poplar Research. Vol.15, No.3, PP. 278-288.
- [4] Gougeon, F.A. and Leckie, D.G. (2006). "The individual tree crown approach applied to IKONOS images of a coniferous plantation area". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol.72, PP. 1287-1297.
- [5] Holopainen, J., Helama, S. and Timonen, M. (2006). "Plant phonological data and tree-rings as paleoclimate indicators in south-west Finland since AD 1750". International Journal of Biometeorology. Vol.51, PP. 61-72.
- [6] Hudak, A.T., Strand, E.K., Vierling, L.A., Byrne, J.C., Eitel, J.U., Martinuzzi, S.N. and Falkowski, M. J. (2012). "Quantifying above ground forest carbon pools and fluxes from repeat LIDAR surveys". Remote Sensing of Environment. Vol.123, PP. 25-40.
- [7] Jazirehi, M.H. and Ebrahimi Rostaghi, M. (2003). "Silviculture in Zagros". University of Tehran Press.
- [8] Jazouli, R., Verbyla, D.L. and Murphy, D.L. (1994). "Evaluation of spot pancromatic digital imagery for updating road locations in a harvested forest area". Photogrammetry Engineering & Remote Sensing. Vol.60, PP. 1449-1452.
- [9] Ke, Y. and Quackenbursh, L.J. (2011). "A comparison of three methods for automatic tree crown detection and delineation from high spatial resolution imagery". International Journal of Remote Sensing. Vol.32, No.13, PP. 3625-3647.
- [10] 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, 7-10 July, Copenhagen, Denmark (Ann Arbor, MI: ERIM International). PP. 428-435.
- [11] Makela, H. and Pekkarinen, A. (2004). "Estimation of forest stand volumes by Landsat TM imagery and stand-level field inventory data". Forest Ecology and Management. Vol.196, PP. 245-255.
- [12] Masumi, M. (2006). "Geometric calibration of the digital aerial camera UltraCam-D". Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (Sepehr). Vol.55, PP. 25-32.
- [13] Paine, D.P. and Kiser, J.D. (2012). "Aerial photography and image interpretation (3rd ed.)". John Wiley & Sons, Inc., 629 p.
- [14] Pollock, R.J. (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.
- [15] Pollock, R.J. (1999). "Individual tree recognition based on a synthetic tree crown image model". In Hill, D. A. and D. G. Leckie (Eds), Proceedings of the International Forum on Automated Interpretation of High Spatial Resolution Digital Imagery for Forestry, 10-12 February, Victoria, BC, Canada (Victoria, Canada: Pacific Forestry Centre, Canadian Forest Service). PP. 25-34.
- [16] Pouliot, D.A. and King, D.J. (2005). "Approaches for optimal automated individual tree crown detection in regenerating coniferous forests". Canadian Journal of Remote Sensing. Vol.31, PP. 255-267.
- [17] Pouliot, D.A., King, D.J., Bell, F.W. and Pitt, D.G. (2002). "Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration". Remote Sensing of Environment. Vol.82, PP. 322-334.
- [18] Quackenbush, L.J., Hopkins, P.F. and Kinn, G.J. (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).
- [19] Rafieyan, O., Darvishsefat, A.A., Babaii, S. and Matajii, A. (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. Vol.3, No.1, PP. 35-47.
- [20] Salehi, A., Wilhelmsson, E. & Söderberg, U. (2008). "Land cover changes in a forested watershed, southern Zagros, Iran". Land Degradation & Development. Vol.19, No.5, PP. 542-553.

- [21] Sheng, Y., Gong, P., Biging, G.S. (2001). "Model-based conifer-crown surface reconstruction from high-resolution aerial images. Photogramm". Remote Sensing of Environment. Vol.67, PP. 957–965.
- [22] 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, 99p.
- [23] Vepakomma, U., Stonge, B., Kneeshaw, D. (2011). "Response of a boreal forest to canopy opening: assessing vertical and lateral tree growth with multi-temporal lidar data". Ecol. Vol.21, PP. 99–121.
- [24] Wang, X., & Hui Fu, X.H. (2010). "A Color-texture Segmentation Method to Extract Tree Image in Complex Scene". International Conference on Machine Vision and Human-machine Interface. PP. 621-625.
- [25] Wulder, M., Niemann, K.O. and Goodenough, D.G. (2000). "Local Maximum Filtering for the extraction of tree locations and basal area from high spatial resolution imagery". Remote Sensing of Environment. Vol.73, PP. 103-114.
- [26] Zhao, F., Sweitzer, R.A., Guo, Q., Kelly, M. (2012). "Characterizing habitats associated with fisher den structures in the Southern Sierra Nevada, California using discrete return lidar". Forest Ecol. Manag. Vol.280, PP. 112–119.
- [27] Zobeiri, M. (2007). "Forest inventory: measurement of tree and forest, 2nd Ed.",. University of Tehran Press.