نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی
جلد هفتم، شماره اول، ۱۳۹۷
۴۷-۵۹
http://ejang.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejang.2019.6917.1201

# مروری بر خوارزمی‌های تشخیص و مرزبندی تاج درختان بر روی تصاویر هوایی

**[*]اقدس قاسمی رزوه[۱] و شعبان شتائی جویباری[۲]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]استاد گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۰۳

## چکیده

**سابقه و هدف:** مدیریت کارآمد جنگل نیاز به اطلاعات دقیق و به‌موقع دارد. تصاویر سنجش‌ازدوری باقدرت تفکیک مکانی بالا (عکس‌های هوایی)، پتانسیل بالایی در برآورد اطلاعات جنگل با هزینه کم‌تر را دارند. نکته مهم در این زمینه، اجرای روش بهینه طبقه‌بندی و استخراج اطلاعات مفید از این داده‌های با توان تفکیک مکانی زیاد است. روش‌های طبقه‌بندی شی پایه با توجه به استخراج و جداسازی پدیده‌های همگن و طبقه‌بندی آن‌ها، دارای نتایج بهتری نسبت به طبقه‌بندی پیکسل پایه است. با قطعه‌بندی و طبقه‌بندی تاج درختان در تصاویر باقدرت تفکیک بالا اطلاعات باارزشی از جنگل استخراج می‌شود که می‌تواند در مدیریت جنگل‌ها مفید واقع شود.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش از نوع مروری بوده که به روش کتابخانه‌ای و با استفاده از مدارک و سوابق موجود، خوارزمی‌های تشخیص و مرزبندی تاج درختان مورد بررسی قرار گرفته است.

**یافته‌ها:** در این پژوهش خوارزمی‌های مختلفی برای قطعه‌بندی تاج درختان ارائه‌شده و با یکدیگر برای تعیین قوت و ضعف هر کدام مقایسه‌ای صورت گرفته است. خوارزمی‌های قطعه‌بندی در دو مرحله تشخیص و مرزبندی تاج درختان انجام می‌شود. هم‌چنین کارایی و شرایط هر کدام از خوارزمی‌ها مورد بررسی و بحث قرار گرفته است. هر کدام از خوارزمی‌های تشخیص (فیلتر حداکثر محلی، دوتایی‌سازی تصویر، تحلیل مقیاس، تطبیق الگو) و مرزبندی (الگوی دره، قطعه‌بندی حوضه آبخیز، رویش ناحیه‌ای) دارای معایب و مزایایی هستند.

**نتیجه‌گیری:** در این مطالعه مشخص شد که از بین خوارزمی‌های تشخیص، تطبیق الگو برای این‌که متناسب بر هر نوع تاج درختی است می‌تواند در جنگل‌های شمال مورداستفاده قرار گیرد و اگر منطقه‌ای جنگل‌کاری‌شده باشد فیلتر حداکثر محلی بهترین کاربرد را دارد. از بین خوارزمی‌های مرزبندی، قطعه‌بندی حوضه آبخیز و الگوی دره برای جنگل‌های زاگرس مناسب است و رویش ناحیه‌ای مناسب جنگل‌های متراکم است به‌شرطی‌که فضای بین تاج‌ها دیده نشود.

***واژه‌های کلیدی:*** خوارزمی‌های تشخیص تاج درخت، خوارزمی‌های مرزبندی تاج درخت، جنگل، عکس هوایی، قدرت تفکیک مکانی بالا

[*] مسئول مکاتبه: zghasemi90@gmail.com

## مقدمه

جنگل‌ها نقش خاصی را در اکوسیستم جهانی، محیط، اقتصاد و جامعه بازی می‌کنند (۵). جنگل‌هایی با مدیریت صحیح، فقط منابع تجدیدشدنی برای فعالیت‌های بشر تأمین نمی‌کنند بلکه در حفاظت اکوسیستم با حفظ تنوع زیستی، نگهداری مواد غذایی و چرخه انرژی و جلوگیری از پس‌روی خاک و فرسایش آن، شرکت می‌کنند. اساس و پایه مدیریت جنگل‌ها دستیابی به جزئیاتی از موجودی جنگل است که با اندازه‌گیری دوره‌ای، از پارامترهای هر درخت در ناحیه نمونه‌برداری انجام می‌گیرد. پارامترهای درخت شامل: موقعیت درختان، گونه‌های درختی و اندازه تاج درخت است (۱۸). تاج پوشش به‌عنوان عامل مناسب در مدیریت پایدار جنگل‌ها و پایش تغییرات جنگل‌ها معرفی‌شده است (۸). نخستین گام در توسعه پایدار منابع جنگلی هر کشور، ناحیه و یا منطقه، آگاهی از وضعیت این منابع است. کسب این آگاهی برای مدیریت و برنامه‌ریزی مؤثر در جنگل، نیازمند آماربرداری زمینی، استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و بهره‌گیری مناسب از سامانه‌های اطلاعات مکانی است. ازآنجایی‌که واحد مدیریت جنگل یک سطح وسیع است، نیاز به علم سنجش‌ازدور اجتناب‌ناپذیر است. امروزه سنجش‌ازدور، جایگاه ویژه‌ای در جنگلداری دارد و از کارآمدترین و مناسب‌ترین ابزارها برای تولید و بهنگام‌سازی اطلاعات جنگل محسوب می‌شود یکی از رایج‌ترین، کاربردی‌ترین و اقتصادی‌ترین انواع داده‌های سنجش‌ازدور، عکس‌های هوایی هستند (۸). در دهه‌های اخیر، روند جایگزینی دوربین‌های سنتی بر پایه فیلم، با دوربین‌های رقومی و چندطیفی و تمایل به تصویربرداری و پردازش‌های رقومی شتاب بیش‌تری گرفته و با ظهور و گسترش سنجنده‌های رقومی هوایی مانند Ultracam-D، DMS[1] و غیره فصل جدیدی در تهیه نقشه‌های موضوعی بزرگ‌مقیاس آغاز شده است (۲۵). عکس‌های هوایی در مقایسه با سایر داده‌های سنجش‌ازدور از مزایایی مختلفی چون قدرت تفکیک مکانی بالا، سابقه طولانی، دستیابی در دوره‌های مختلف زمانی، امکان دید سه‌بعدی، مقیاس‌های متفاوت، قابلیت تصحیح هندسی، درک ساده و سهولت ساده برخوردار هستند (۱ و ۲۲). از عکس‌های هوایی می‌توان در مطالعه جنگل‌ها بهره گرفت که این موضوع، در جنگل‌هایی با سطوح وسیع با ساختار ساده تاج پوشش (با یک اشکوب) و تعداد گونه‌های محدود نتایج بسیار مطلوبی ارائه می‌دهد (۹). یکی از مشخصه‌های جنگل که می‌توان آن را روی عکس‌های هوایی مطالعه نمود، سطح تاج درختان و انبوهی آن‌ها است. ازآنجایی‌که در عکس‌های هوایی، تاج درختان از بالا دیده می‌شود در نتیجه، اندازه‌گیری‌های تاج و انبوهی دقیق‌تر خواهد بود (۸). تاج پوشش[2] سطحی است که توسط تصویر عمودی تاج درخت روی زمین پوشیده می‌شود (۸). تفسیر بصری از عکس‌های هوایی برای تحلیل و برآورد موجودی در اوایل دهه ۱۹۶۰ گزینه مؤثری بوده است به‌هرحال اندازه‌گیری زمینی و تفسیر بصری تکنیک‌هایی هستند که بسیار دشوار و پرهزینه هستند. تکنولوژی سنجش‌ازدور به‌سرعت از سال ۱۹۵۰ توسعه پیدا کرد (۱۸). هم سنسورهای هوایی و هم سنسورهای ماهواره‌ای امروزه قادر به تهیه عکس‌ها و تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بالا و هزینه کم‌تر هستند.

در نتیجه تحلیل تصاویر و شناخت ویژگی‌های پدیده‌ها در سیستم‌های رایانه‌ای به‌آسانی صورت می‌گیرد که پیش‌نیاز این کار شناخت و مرزبندی

1- Digital Mapping Camera
2- Canopy cover

پدیده‌ها است. شناخت و مرزبندی تاج درخت برای تخمین اندازه تاج و گونه‌های درختی سودمند است (۱۰ و ۲٤). کشف تاج شامل مرحله پیدا کردن نوک تاج یا موقعیت درختان می‌شود در حالی‌که مرزبندی تاج، رسم خودکار از محوطه بیرونی تاج است (۱۸). کشف تاج، گام اولیه مهم در مرزبندی تاج است و دقت آن تأثیر مهمی در مرزبندی دارد. خوارزمی‌های کشف و مرزبندی به شرایط ناحیه مطالعاتی، نوع تصاویر و دقت ارزیابی خوارزمی‌ها بستگی دارند. در این صورت تشخیص و مرزبندی تاج درختان روی تصاویر می‌تواند روی جنگل‌های آمیخته شهری، باغات و جنگل‌های طبیعی به‌کار رود. لوسی و همکاران (۱۹۹٦)، در طی پژوهشی روی یک جنبه خاص از تاج، شکل تاج مخروطی یا نامنظم تمرکز کرده‌ند (۱۸). پژوهش‌های مربوط به کشف و شناسایی تاج درختان بر روی تصاویر هوایی به اواسط دهه ۱۹۸۰ برمی‌گردد که اولین پژوهش مربوط به خوارزمی‌های کشف و مرزبندی تاج، توسط پینز (۱۹۹۱) بوده که توانسته مرکز تاج و شعاع تاج را با خوارزمی فیلتر حداکثر محلی تعیین و تخمین نماید. بعد از پینز، گوگن (۱۹۹۵) خوارزمی الگوی دره[1] را معرفی کرد و با آن توانست تاج تمام سوزنی‌برگان را مرزبندی کند. در همین دوره خوارزمی تطبیق الگو[2] توسط پولوک (۱۹۹٦) برای تشخیص تاج تک‌درختان معرفی شد. به‌مرور زمان خوارزمی‌های قطعه‌بندی تصویر مثل رویش ناحیه‌ای[3] و حوضه آبخیز برای شناسایی و مرزبندی تاج درختان هم اضافه شدند. گوگن و لی‌کی (۲۰۰۳)، بر اساس پژوهش‌های قبلی پژوهشگران، بیان کردند که کارایی خوارزمی‌ها در سه دسته کشف مکان تاج، تعیین ابعاد تاج و مرزبندی تاج قرار می‌گیرد. که هر کدام از خوارزمی‌ها در یکی از دسته‌ها یا چند دسته قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر داده‌های لیدار در توسعه خوارزمی‌ها نقش به‌سزایی ایفا کرده است، زیرا این داده‌ها اطلاعات باارزشی از ساختار عمودی تاج درخت ارائه داده‌اند و در شناسایی تاج درختان کمک زیادی می‌نمایند.

در دو دهه اخیر تنوع وسیعی از خوارزمی‌ها کشف و مرزبندی توسعه‌یافته است؛ که ویژگی کلی این روش‌ها را می‌توان در دو دسته مربوط به تشخیص و مرزبندی تاج دانست. پیش‌نیاز اولیه در مرزبندی، تشخیص تاج درخت به‌عنوان یک پدیده در تصویر است. به همین خاطر باید قدرت تفکیک مکانی تصویر بزرگ‌تر از اندازه تاج باشد. دامنه قدرت تفکیک مناسب تصاویر سنجش‌ازدوری برای تشخیص تاج تک‌درختان ۱۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر برای هر پیکسل است (۱٤). از سوی دیگر به‌کارگیری موفق یک خوارزمی بستگی به تعداد درختان، ترکیب گونه‌ها، تراکم جنگل و حتی ترکیب گونه‌ها در یک محیط مشابه با روش‌های متفاوت نتیجه متفاوتی دارد.

در اکثر مطالعات، تشخیص نوک تاج درخت به‌منزله تشخیص و کشف درخت دانسته‌اند و تشخیص پیرامون تاج را به منزله مرزبندی تاج قرار داده‌اند. از این نظر، تشخیص تاج درخت به‌عنوان هدف واقع نشده، بلکه به‌عنوان یک گام مهم اولیه در مرزبندی تاج و تعیین پارامترهای اندازه تاج است. با مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده مشخص شد که اکثر مطالعه‌ها کارایی خوارزمی‌ها را به دو بخش تشخیص و مرزبندی دسته‌بندی کردند. در مطالعه پولیت و کینگ (۲۰۰۵)، فقط به موضوع تشخیص تاج درخت پرداخته‌اند. ولی مطالعات شینگ و همکاران (۲۰۰۱)، کولوینور (۲۰۰۲)، وانت و همکاران (۲۰۰٤) تشخیص و مرزبندی را با هم مورد بررسی قرار دادند. از سوی دیگر گوگن (۱۹۹۵)، هم تشخیص و مرزبندی تاج درختان را مترادف و هم‌ارز دانسته است.

1- Valley Following Algorithm
2- Template matching
3- Region growing

در سال‌های اخیر عمدتاً مطالعات زیادی در مورد تشخیص و مرزبندی تاج درختان در مناطق مختلف صورت گرفته است. پولیت و همکاران (۲۰۰۲)، طی پژوهشی در جنگل‌های سوزنی‌برگ در استرالیا برای تشخیص تاج درختان نتیجه گرفتند که خوارزمی فیلتر حداکثر محلی در مقایسه با سایر خوارزمی‌های مورد بررسی بیش‌ترین صحت را در مورد تشخیص تاج درختان نشان داده است. کی و همکاران (۲۰۱۰) و (۲۰۱۱)، با مقایسه سه خوارزمی (الگوی دره، رویش ناحیه‌ای، حوضه آبخیز) در جنگل‌های آمیخته از پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در ایالات متحده مرکزی به این نتیجه رسیدند که خوارزمی رویش ناحیه‌ای بیش‌ترین صحت را در برداشته است که صحت کاربر و تولیدکننده در این پژوهش ۷۰ درصد به‌دست آمده و مجذور میانگین مربعات خطا برای قطر تاج ۱۵ درصد تخمین زده شده است. نتایج این پژوهش مشخص نمود که نتایج این سه روش در تصاویر پهلونگر (Off-Nadir) ماهواره‌ای نسبت به تصاویر هوایی قائم، کم‌ترین صحت را دارند. لی و همکاران (۲۰۰۸)، با مقایسه‌ای بین خوارزمی رویش ناحیه‌ای و خوارزمی حوضه آبخیز صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که خوارزمی رویش ناحیه‌ای نتیجه بهتری در جنگل‌های متراکم دارد. به این خاطر که توده‌ها به هم نزدیک هستند و زمینه خالی بین تاج‌ها پیدا نیست و فقط با نوک تاج در ارتباط است، اما خوارزمی حوضه آبخیز نتیجه بهتری درجاهایی که محیط پیچیده است می‌دهد زیرا این خوارزمی هم ویژگی‌های طیفی و هم ویژگی‌های بافتی از تاج را در نظر می‌گیرد. نوتنی و همکاران (۲۰۱۱)، در توده‌های جنگلی منطقه Cerna Hora با گونه‌های سوزنی‌برگ نوئل نروژی (Norway Spruce) از خوارزمی‌های فیلتر حداکثر محلی و ناحیه رویش برای تشخیص و مرزبندی تاج درخت استفاده کردند. نتایج نشان داد که هر دو خوارزمی نتیجه خوبی را ارائه دادند، در این پژوهش حدود ۷۸ درصد از درختان تشخیص داده شده و ۵۲ درصد از ناحیه جلگه‌ای Dual مرزبندی شد، بنابراین هدف در این مقاله ارائه پژوهش‌ها در مورد روش‌های خودکار کشف و مرزبندی تاج بر روی تصاویر هوایی و تعداد خوارزمی‌های توسعه‌یافته است و همچنین بیان معایب و مزایای هریک از خوارزمی‌ها و کارایی آن‌ها در جنگل‌هایی با ساختار متفاوت است؛ و در آخر تخمین کارایی آن‌ها نسبت به کارکرد آن‌ها در ساختار جنگل‌های ایران است.

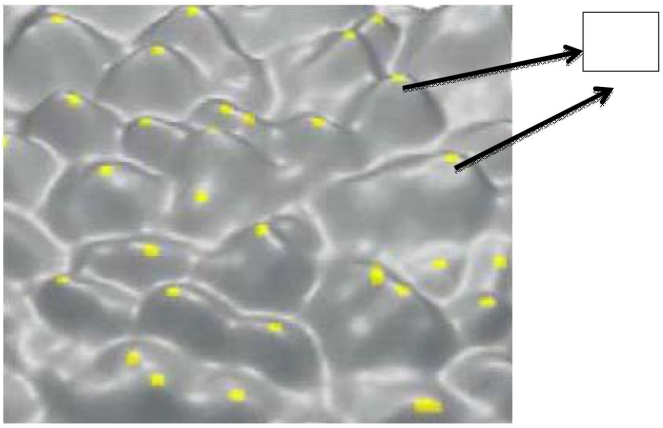
**خوارزمی‌های کشف و مرزبندی تاج درختان:** در طول دهه گذشته طیف گسترده‌ای از خوارزمی‌های کشف و مرزبندی تاج درختان توسعه‌یافته است. ویژگی‌های هر روش می‌تواند روی دقت و کارایی تشخیص و مرزبندی تاج درختان تأثیر گذارد. پس انتخاب یک خوارزمی مناسب اهمیت دارد. خوارزمی‌ها در دو دسته کلی، خوارزمی‌های تشخیص و خوارزمی‌های مرزبندی تاج تقسیم می‌شوند (۳۳). سه عامل مؤثر در انتخاب خوارزمی‌ها عبارت‌اند از: قدرت تفکیک مکانی تصویر، ویژگی‌های طیفی و زاویه دید با زاویه تابش خورشید (۲۶). تاکنون خوارزمی‌های زیادی برای تشخیص تاج مطرح و به‌کار گرفته شده‌اند که به‌شرح زیر به چهار دسته تقسیم شده‌اند: خوارزمی فیلتر حداکثر محلی[1]، خوارزمی دوتایی‌سازی تصویر[2]، خوارزمی تحلیل مقیاس[3]، خوارزمی تطبیق الگو[4]. از بین خوارزمی‌های ذکرشده، خوارزمی فیلتر حداکثر محلی بیش‌تر مورد استفاده قرار گرفته است. مثل مطالعاتی که توسط نوتنی و همکاران (۲۰۱۱)، پولیت و همکاران (۲۰۰۲)، انجام شده است. خوارزمی‌های طراحی‌شده برای مرزبندی تاج درختان که مورد استفاده قرار گرفته‌اند به‌شرح زیر است: خوارزمی الگوی دره[5]، خوارزمی رویش ناحیه‌ای[6]، خوارزمی قطعه‌بندی حوضه

1- Local Maximum Filtering
2- Binarization Image
3- Scale Analysis
4- Template Matching
5- Valley-Following Algorithm
6- Region-Growing Algorithm

آبخیز[1]. در پژوهش‌ها و مطالعات انجام‌شده از بین خوارزمی‌های ذکرشده در این گروه عمدتاً از خوارزمی الگوی دره استفاده شده است. مثل مطالعاتی که توسط لی و همکاران (۲۰۰۸) و کی و همکاران (۲۰۱۰) انجام شده است.

## خوارزمی‌های تشخیص تاج

**خوارزمی فیلتر حداکثر محلی:** خوارزمی فیلتر حداکثر محلی در سال ۲۰۰۰ توسط ولدر و همکاران توسعه یافت. فیلتر حداکثر محلی (LMF) از خصوصیات رادیومتری درخت به‌عنوان فرضیه استفاده می‌کند. خواص رادیومتری درخت همانند چشم‌انداز کوهستان است که قله کوه به مشابه نوک تاج و دره به مشابه فضای بین تاج‌ها در نظر گرفته می‌شود (۱۲ و ۱۳). Hill-Climbing، خوارزمی بهینه ریاضی از خانواده محلی است که اهداف آن تعیین بیش‌ترین ارزش در کارکرد یک پدیده است. یکی از بخش‌های جدید خوارزمی فیلتر حداکثر محلی در کشف و مرزبندی تاج درختان است که تفاوت آن با دیگر بخش‌ها در این است که ویژگی‌های شکلی و طیفی تاج درخت را در نظر گرفته است (۲۱). هدف اصلی همیشه در کارها ارائه روشی است که روش‌های قبلی را بهبود بخشد. این خوارزمی هم از یک سری ویژگی‌های خاص درخت (خصوصیات رادیومتری) استفاده کرده است (۱۶). اختلاف عمده این خوارزمی با خوارزمی‌های دیگر در تشخیص نقطه حداکثر پدیده (تاج درخت) و تمرکز بر پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر برای رسیدن به نقطه اوج است (۱۸). خوارزمی فیلتر حداکثر محلی در جنگل‌کاری دوگلاس ۴۰ ساله، جنگل‌های طبیعی ۱۵۰ ساله دوگلاس، توده‌های همسال ۶۰ ساله زبان‌گنجشک، جنگل‌کاری ۸۰ ساله نوئل سفید به همراه با درصد کمی از دوگلاس و جنگل‌کاری ۶ تا ۷ ساله نوئل سفید کارایی خوبی نشان داده است. در این خوارزمی فرض می‌شود که نوک بالاترین ارزش رادیومتری را دارد (۲۹ و ۳۳). محاسبه تک‌تک ارزش پیکسل‌ها در خوارزمی فیلتر حداکثر محلی، کاری وقت‌گیر است، به این خاطر در پنجره‌های با اندازه ثابت N×N صورت می‌گیرد (۳۴). دقت کار در این خوارزمی به‌اندازه پنجره بستگی دارد. پنجره بزرگ‌تر باعث حذف درختان می‌شود زیرا یک پنجره شامل چندین نوک درخت است. درحالی‌که پنجره کوچک شامل یک نوک درخت است (۲۶) با توجه به شکل ۱ نمونه‌ای از یک کارایی خوارزمی فیلتر حداکثر محلی در جنگل را نشان می‌دهد و نقاط زرد در تصویر نوک تاج درخت را نشان می‌دهند (۴).



**شکل ۱- تصویر حاصل از اجرای خوارزمی فیلتر حداکثر محلی (۴).**

**Figure 1. The image of the execution of the algoritm local maximum filter (4).**

1- Watershed-Segmentation Algorithm

**خوارزمی دوتایی‌سازی تصویر:** خوارزمی دوتایی‌سازی تصویر توسط کینگ و والورث (۱۹۹۹) توسعه یافت و اکثراً در عکس‌های هوایی رقومی با قدرت تفکیک مکانی ٤٧ سانتی‌متر استفاده شده است. هدف، تبدیل تصویر با درجات مختلف خاکستری[1] به تصویری سیاه‌وسفید که نقاط سفید نشان‌دهنده پدیده‌های مورد دلخواه و پیکسل‌های سیاه نشان‌دهنده زمینه است. روشنایی تاج درختان در مقایسه با ناحیه‌های سیاه اطراف جداسازی تاج از زمینه سیاه را مشخص می‌کند. در پژوهشی مشخص شد که دقت کشف و پیدایش تاج درخت بین دو خوارزمی فیلتر حداکثر محلی و خوارزمی دوتایی‌سازی تصویر، با اندازه ثابت پنجره در جنگل‌های پرتراکم به یک اندازه بود و هیچ تفاوتی نداشتند. به‌هرحال در جنگل‌های باز که درختان پراکنش کمی دارند خوارزمی دوتایی‌سازی تصویر سهم کم‌تری در کشف دارد زیرا بیش‌تر زمینه تصویر را مشخص می‌کند. این خوارزمی در جنگل‌های ۷۹ ساله با گونه‌های غالبی از صنوبر کارایی خوبی نشان داده است (۱۸).

**خوارزمی تحلیل مقیاس:** خوارزمی تحلیل مقیاس در سال ۲۰۰۰ توسط کولوینور توسعه یافت. در بسیاری از مطالعات این خوارزمی یک فاکتور تأثیرگذار در کشف و پیدایش تاج درخت بوده است. برای تصاویری که اندازه تاج‌ها متفاوت و قدرت تفکیک مکانی تصویر هم ثابت است در کشف و پیدایش همه تاج‌ها مشکلاتی ایجاد می‌شود. ممکن است چندین تاج برای یک درخت تعیین شود و زمانی که اندازه تاج با اندازه پیکسل زمینی مقایسه می‌شود خوارزمی، تصویر را با فیلتر نرم یکنواخت می‌کند.

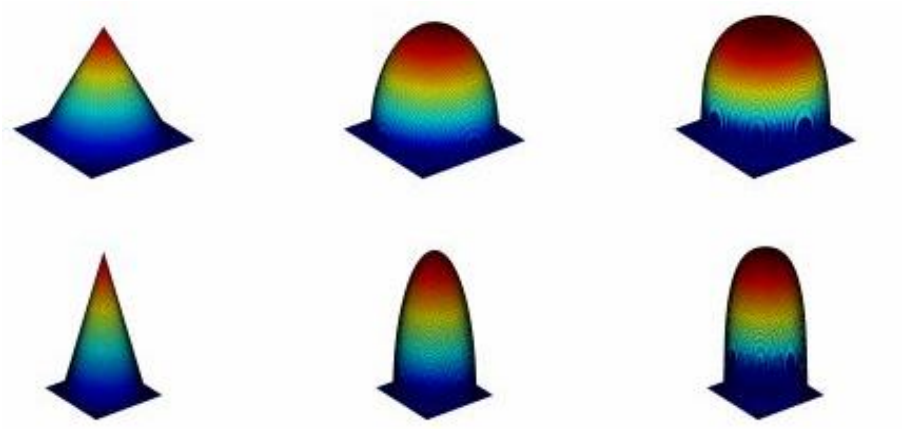
خوارزمی تحلیل مقیاس اندازه تاج را مورد لحاظ قرار نداده است، پس ممکن است در توده‌های جنگلی با اندازه‌های تاجی متفاوت دقت کم‌تری داشته باشد.

کینگ و پولیت (۲۰۰۵)، برای حل این مشکل از LSF[2] یا فاکتور محلی نرم استفاده کردند (۱۸). از جمله مطالعاتی که در این رابطه انجام‌شده پژوهش‌های مربوط به برانتبرگ (۱۹۹۸) و لیندبرگ (۱۹۹٦) است. این خوارزمی در جنگل‌های سوزنی‌برگ با ساختارهای متفاوت کارایی خوبی از خود نشان داده است.

**خوارزمی تطبیق الگو:** خوارزمی تطبیق الگو توسط پولیت در سال ۱۹۹٦ توسعه یافت و بعدها توسط لارسن و رودمو (۱۹۹۷)، تکمیل‌تر شد (۲٦). تکنیکی در فرایند پردازش تصویر، برای تشخیص پدیده‌ها است که مدلی از پدیده‌های (الگو نامیده می‌شود)، تصویر است (۱۱). هدف تعیین موقعیت پدیده‌ها و دادن ارزش عددی به آن‌ها است. در واقع خوارزمی ساده‌ای در واضح‌سازی پدیده و به‌دست آوردن مدلی از پدیده در تصویر اصلی است و برای هر نوع تاج درخت مناسب است (۱۸). یکی از مزایای مهم و کارایی این خوارزمی بهترین نتیجه را در حالاتی که تاج درختان درهم‌تنیده باشد به‌نحوی‌که زمینه بین تاج‌ها دیده نشود، است. از معایب این خوارزمی می‌توان به زمان‌بر بودن، عدم انعطاف نسبی اندازه و شکل تاج در مدل و زاویه خورشیدی اشاره نمود (۲٦). در توده‌های ۸۰ ساله طبیعی همسال آمیخته با نوئل نروژی و کاج اسکاتلند، توده‌های آمیخته از سوزنی‌برگ و پهن‌برگ با یک دامنه‌ای از اندازه تاج درخت، توده سوزنی‌برگ خالص، توده همسال نوئل نروژی با ارتفاع ۲۲/۷ متر نتیجه مناسبی ارائه کرده است (۱۸). از جمله مطالعاتی که در رابطه با خوارزمی تطبیق الگو انجام‌شده می‌توان به پژوهش‌های مربوط به اولوفسون (۲۰۰۲ و ۲۰۰٦) و لارسن و همکاران (۱۹۹۸) اشاره نمود. در شکل ۲ نمونه‌ای از به‌کارگیری خوارزمی تطبیق الگو نشان داده شده است.

1- Grey Level

2- Local smoothing factor

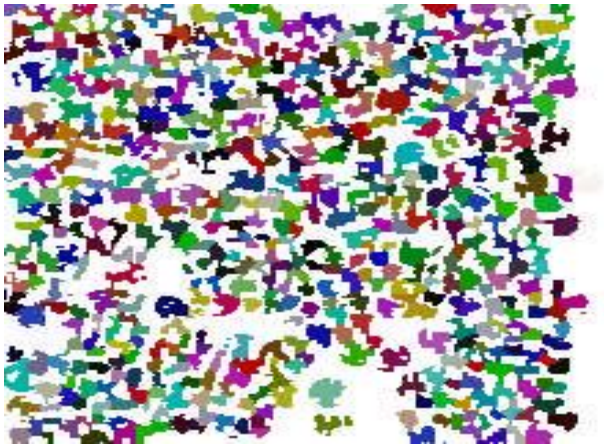


**شکل ۲- تصویر حاصل از اجرای خوارزمی تطبیق الگو (٦).**

**Figure 2. The image of execution algoritm of pattern matching(6)**

### خوارزمی‌های مرزبندی تاج

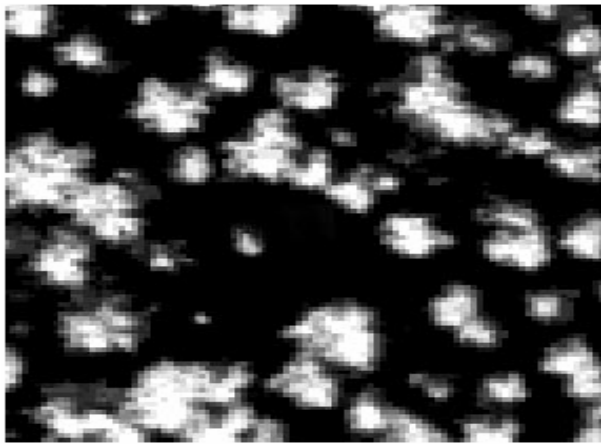
**خوارزمی رویش ناحیه‌ای:** کولوینور در سال ۲۰۰۲ از این روش برای مرزبندی تک‌درختان استفاده کرده است (۲۰). خوارزمی برای جداسازی ناحیه‌ها و تشخیص پدیده‌ها در تصویر است. خوارزمی رویش ناحیه‌ای بر اساس فرضیه استوار است و فرض می‌کند که در نوک تاج درخت، شدت بالای رنگ وجود دارد و این شدت رنگ با پایین آمدن از نوک به مرز تاج کم‌تر می‌شود. اگر گونه‌های متفاوت درختی درهم‌تنیده شده باشند، تغییرات در داخل تاج کم‌تر از تغییرات در میان درختان است بر این اساس اریکسون (۲۰۰٤)، این روش را برای طبقه‌بندی تاج درخت بر مبنای رویش ناحیه‌ای توسعه داد (۱۷). این خوارزمی در جنگل‌های پرتراکم بهترین نتیجه را خواهد داد ولی در مواردی که جنگل تنک و بین تاج‌ها قطعاتی از زمین دیده می‌شود به‌خوبی کار نمی‌کند (۷). در شکل ۳ نمونه‌ای از به‌کارگیری خوارزمی رویش ناحیه‌ای نشان داده شده است. این خوارزمی در شرایط جنگلی مثل توده‌های همسال ٦۰ ساله زبان‌گنجشک، توده‌های جنگلی آمیخته بالغ، توده‌های سوزنی‌برگ ۸۰ ساله خالص آمیخته با نوئل نروژ، کاج اسکاتلندی، توس و صنوبر نتایج خوبی در برداشته است (۱۸).



**شکل ۳- تصویر تاج درختان حاصل اجرای خوارزمی رویش ناحیه‌ای (۳۰).**

**Figure 3. The image of the crown of the trees resulted from the execution of the region-growing of algoritm (30).**

**خوارزمی الگوی دره:** خوارزمی الگوی دره توسط گوگن در سال ۱۹۹۵ برای مرزبندی خودکار تاج درختان در جنگل‌های سوزنی‌برگان بوره‌آل در کانادا طراحی شد. هدف خوارزمی الگوی دره پیدا کردن پیکسل‌هایی باارزش بیش‌تر است که در دره‌ها ارزش پیکسل‌ها کم‌تر است (۱۸). سپس با طبقه‌بندی رتبه-پایه از پنج سطح برای کامل کردن مرزبندی استفاده کرده است، سطح پایین‌تر حالت استثناهایی مثل شاخه‌هایی که جلو آمده‌اند و شکل‌های محدب از تاج را شرح می‌دهد و سطوح بالاتر شاخه‌ها و جداسازی دو تاج را نشان می‌دهد (۲۰). گوگن در سال ۱۹۹۵ با استفاده از خوارزمی فیلتر حداکثر محلی نوک تاج را و از خوارزمی فیلتر حداقل محلی دره‌ها را مشخص کرد (۱۸). خوارزمی الگوی دره در توده‌های درختی با تاج متراکم نتایج نسبتاً دقیق را ارائه داده است. در این خوارزمی فرض بر این است که پیکسل‌های تاریکی که بین تاج درختان وجود دارد دره‌ها را نشان می‌دهند و پیکسل‌های روشن قله و نوک تاج را نشان می‌دهند. در شکل ٤ پیکسل‌های تاریک نشان‌دهنده دره‌ها هستند. در شرایط طبیعی که درختان به هم چسبیده و مرز تاریکی بین آن‌ها وجود ندارد، این فرض همیشه درست نیست (۳٦). دقت بالا در نتیجه خوارزمی الگوی دره بستگی زیادی به وجود پیکسل‌های تاریک و روشن دارد. اگر هر یک از مفروضات مشخص نباشد خطا بزرگی رخ می‌دهد (۱۷). در این روش ابتدا جداسازی تاج از زمینه صورت می‌گیرد و در مرحله بعد با استفاده از پنج سطح پایه مرزبندی تاج تک‌درخت صورت می‌گیرد (۱۲) در جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگ بالغ که دارای گونه‌های یکنواخت و یکدستی مثل نوئل قرمز، کاج قرمز دارند، در جنگل‌کاری ٤۹ ساله دوگلاس، توده‌های سوزنی‌برگ خالص، در جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگ بالغ با گونه‌های کاج قرمز، نوئل سفید و کاج اسکاتلندی با سن متوسط ٦٥ تا ۸۰ ساله نتایج خوبی در برداشته است.

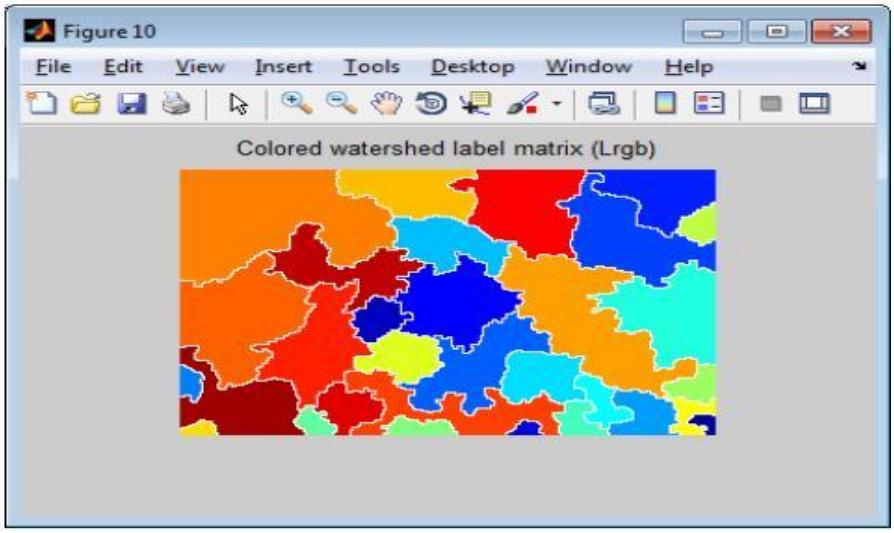


**شکل ٤- تشخیص ناحیه‌های تاریک که پیرامون تاج را نشان می‌دهد (۱۲).**

**Figure 4. Detecting the dark areas that environs the crown (12).**

**خوارزمی قطعه‌بندی حوضه آبخیز:** خوارزمی قطعه‌بندی حوضه آبخیز را وانگ و همکاران (۲۰۰٤) توسعه دادند. بر پایه یک اصل استوار است که تصویری با سطح خاکستری به‌عنوان یک سطح توپوگرافی دیده شود که ارزش رقومی هر پیکسل ارتفاع نقطه موردنظر است (۱۱). نوع دیگری از این خوارزمی، خوارزمی

Marker-Countor است که در اکثر مطالعات استفاده می‌شود. در این خوارزمی فرض شده که شکل تاج شبیه دایره است و شعاع دایره، اندازه تاج را نشان می‌دهد (۱۷). قطعه‌بندی حوضه آبخیز در جنگله‌هایی که درختان تاج متفاوتی دارند نتیجه مناسبی ارائه ندهد. در اکثر مطالعات مربوطه به تشخیص و مرزبندی درختان خوارزمی قطعه‌بندی حوضه آبخیز برای تشخیص نوک تاج از خوارزمی فیلتر حداکثر محلی استفاده شده است. در جنگل‌کاری‌های ۸۰ ساله نوئل سفید با درصد کوچکی از دوگلاس و توده‌های آمیخته پهن‌برگ با ممرز نتایج خوبی را ارائه کرده است (۱۸). شکل ۵ کارایی به‌کارگیری خوارزمی قطعه‌بندی حوضه آبخیز را در یک منطقه جنگلی نشان می‌دهد.




**شکل ۵- تصویر حاصل از اجرای به‌کارگیری خوارزمی قطعه‌بندی حوضه آبخیز (۱۷).**

**Figure 5. The image of exection of olgoritm segment of the watershed (17).**

## نتیجه‌گیری

در گذشته خوارزمی‌های کشف و مرزبندی بر اساس ویژگی طیفی تاج درخت عمل می‌کردند. ساختار طیفی تاج شبیه قسمت نوک یک مخروط یا شکل کوه در دید سه‌بعدی است (۳۵). به‌کارگیری تصاویری با زمینه خاکستری در جنگل‌هایی با تراکم متوسط و با سطح سه‌بعدی، ساختار خاصی دارد که در ناحیه‌های کوهستانی پیکسل‌هایی با بازتاب طیفی بالا کوه‌ها و پیکسل‌هایی با بازتاب پایین دره‌ها را نشان می‌دهد. برای درختانی با ساختار مخروطی پیکسل‌های روشن در تصویر تاج درخت و پیکسل‌های تاریک ناحیه‌های مجاور تاج را نشان می‌دهد. روی تصاویر عمودی تاج درختان به‌صورت دایره نمایش داده می‌شود؛ و نوک تاج به‌صورت پیکسل‌های در مرکز تاج مربوط می‌شود. این انعکاس و الگوهای مکانی فرض اساسی در بیش‌تر روش‌های مرزبندی و کشف تاج درخت است. در خوارزمی الگوی دره خوارزمی حداقل محلی شکل دره‌ها و شکل دایره‌ای تاج را توسط مرزهای تاج نمایان یا کشف می‌کند. خوارزمی قطعه‌بندی حوضه آبخیز نوک درخت را بر اساس خوارزمی فیلتر حداکثر محلی مشخص می‌کند و خصوصیت مورفولوژیکی را خوارزمی قطعه‌بندی حوضه آبخیز برای مرزبندی تاج کار می‌برد. خوارزمی ناحیه رویش از هر دو خوارزمی، فیلتر حداقل و

حداکثر محلی استفاده می‌کند اما از شکل تاج استفاده نمی‌کند. این خوارزمی‌ها نماینده کلی از بسیاری از خوارزمی‌های تشخیص و مرزبندی هستند و کاربرد کلی‌تری نسبت به بقیه دارند (۲۰).

هر کدام از این خوارزمی‌ها معایبی دارند مثلاً حوضه آبخیز با فرض این‌که شکل تاج، دایره‌ای است کار می‌کند پس در جنگلی که گونه‌های درختی شکل تاجی متفاوت دارند کاربرد نخواهد داشت یا در الگوی دره وجود پیکسل‌های تاریک و روشن ضروی است. در خوازرمی‌های تشخیص هم زمان‌بر بودن خوارزمی تطبیق الگو، بستگی داشتن دقت فیلتر حداکثر محلی به اندازه پنجره و هم‌چنین لحاظ نشدن اندازه تاج در تحلیل مقیاس می‌توانند نتایج متفاوتی در ساختاردهی متفاوت جنگل داشته باشند. البته نکته دارای اهمیت این است که بیش‌تر خوارزمی‌ها در گذشته روی عکس‌های هوایی و در توده‌های سوزنی‌برگ استفاده شده‌اند و کم‌تر روی تصاویر ماهواره‌ای و در جنگل‌های پهن‌برگ به‌کار گرفته شده‌اند.

## رهیافت‌های ترویجی

با توجه به مطالب گفته‌شده در مورد کارایی هر کدام از خوارزمی‌ها می‌توان آن خوارزمی که مناسب شرایط جنگل‌های ایران است را انتخاب کرد. از بین خوارزمی‌های تشخیص تاج درخت (فیلتر حداکثر محلی، تحلیل مقیاس، دوتایی‌سازی تصویر، تطبیق الگو) خوارزمی تطبیق الگو برای این‌که متناسب بر هر نوع تاج درختی است برای تشخیص تاج درختان در جنگل‌های ایران مناسب است. البته در حالاتی تاج درختان به هم تنیده باشد نتیجه دقیق‌تری ارائه می‌دهد. اگر منطقه‌ای جنگل‌کاری شده باشد می‌توان از خوارزمی فیلتر حداکثر محلی استفاده کرد. از خوارزمی دوتایی‌سازی تصویر هم می‌توان در جنگل‌های شمال استفاده کرد به‌شرطی‌که در قسمت‌هایی به‌کار برده شود که توده‌ها متراکم باشند. چون در بین دو خوارزمی دیگر (تطبیق الگو و تحلیل مقیاس) فضای بین تاج‌ها مطرح است که دیده نشود می‌توان گفت خوارزمی فیلتر حداکثر محلی مناسب جنگل‌های زاگرس است. از بین خوارزمی‌های مرزبندی تاج درختان (الگوی دره، رویش ناحیه‌ای، قطعه‌بندی حوضه آبخیز) خوارزمی قطعه‌بندی حوضه آبخیز و خوارزمی الگوی دره برای جنگل‌های زاگرس مناسب است. درصورتی‌که خوارزمی رویش ناحیه‌ای متناسب جنگل‌های متراکم است به شرطی که فضای بین تاج‌ها دیده نشود. قابل ذکر است که تاکنون در ایران چنین مطالعه‌ای صورت نگرفته است و همه این نتایج به‌صورت تئوری برای جنگل‌های ایران بیان شده است و باید در عمل روی تصاویر مربوط به ساختارهای متفاوت جنگل‌های ایران بررسی شود.

## منابع


1. Avery, T.E. 1977. Interpretation of aerial photographs, Burgess Publication, USA, 392p.
2. Biomedical imaging grouwebsite.recovery 2013.http://bigwww.epfl.ch/sage/soft/watershed/.
3. Brandtberg, T., and Walter., F. 1998. Automated delineation of individual tree crowns in high spatial resolution Aerial images by multiple-scale analysis. Machine vision and applications, 11: 64-73.
4. Culvenor, D.S. 2002. TIDA: An algorithm for the delineation of tree crowns in high spatial resolution remotely sensed imagery, Computers & Geosciences, 28: 1. 33-44.
5. Davis, L.S., Johnson, K.N., Bettinger, P.S., and Howard, T.E. 2005. Forest Management – To Sustain Ecological Economic and Social values, Waveland Pr Inc, 816p.

6. Erikson, M. 2004. Species classification of individually segmented tree crowns in high-resolution aerial images using radiometric and morphologic image measures. Remote Sensing of Environment. 91: 3-4. 469-477.
7. Eriksson, M., Perrin, G., Descombes, X., and Zerubia, J. 2006. A comparative study of three methods for identifying individual tree crowns in aerial images covering different types of forests, in Proceedings of International Society for Photgrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Marne La Valle, France, 5p.
8. Erfanifard, Y., Feghhy, J., Zobeiry, and Namiranian, M. 2010. Review Possible Provision Maps Canopy Density in the Forest Using Aerial Imaging and GIS, Proceeding of the National of Eighth National Conference Geomatics. 10p.
9. Franklin, S.E. 2001. Remote sensing for sustainable forest management, Lewis Publishers, USA, 407p.
10. Gougeon, F.A. 2000. Towards semi–automatic forest inventories using individual tree crown (ITC) recognition. Technology Transfer Note – Forestry Research Applications, Canadian Forest Service, Natural Resources Canada, 22: 1-15.
11. Gonzalez, R.C., and Woods R.E. 2007. Digital Image Processing, 3rd Ed. (Upper Saddle River, Nj: Pearson Prentice Hall), 976p.
12. Gougeon, F.A. 1995. A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images, Can. J. Rem. Sens. 21: 274-284.
13. Gougeon, F.A., and Leckie, D.G. 2003. Forest information extraction from high spatial resolution images using an individual tree crown approach, Victoria: Natural Resources Canada, 26p.
14. Gougeon, F.A., and Leckie, D.G. 2001. Individual tree crown image analysis-a step towards precision forestry Page (Not paginated) in First Int. Precision Forestry Symposium Seattle, Washington, USA, June, Pp: 17-20.
15. Howard, J.A. 1991. Remote Sensing of Forest Resources, Chapman & Hall, UK, 420p.
16. Huang, S.B., and Shibasaki, R. 1995. Development of genetic algorithm hill-climbing method for spatio-temporal interpolation, Proceedings of The 6th symposium on Functional Image Information System IIS, April, Tokyo, Japan, Pp: 81-86.
17. Kalapala, M., Srinivasa, R.V., and Srinivas, K. 2012. Robust Tree Crown Delineation Using Novel Marker Controlled Watershed Segmentation Algorithm, Inter. J. Engin. Res. Technol. (IJERT), 1: 7. 1-11.
18. Ke, Y., and Quackenbush, L. 2010. A review of methods for automatic individual tree-crown detection and delineation from passive remote sensing, Inter. J. Rem. Sens. 32: 17. 4725-4747.
19. Ke, Y.Zh., and Quackenbush, W. 2010. Active contour and hill climbing for tree crown detection and delineation, photogrammetric engineering & remote sensing, 76: 10. 1169-1181.
20. Ke, Y., and Quackenbush, L. 2011. A comparison of three methods for automatic tree crown detection and delineation from high spatial resolution imagery, Inter. J. Rem. Sens. 32: 13. 3625-3647.
21. Ke, Y., and Quackenbush, L. 2009. Individual tree crown detection and delineation from high spatial resolution imagery using active contour and hill-climbing methods. In Proceedings of 2009 ASPRS Annual Conference, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Pp: 9-13.
22. Korpela, I. 2004. Individual tree measurements by means of digital aerial photogrammetry, silva fennica, monographs, 93p.
23. Larsen, M., and Rudemo, M. 1998. Optimizing templates for finding trees in aerial photographs. Pattern Recognition Letters, 19: 12. 1153-1162.
24. Leckie, D.G., Burnett, C., Nelson, T., Jay, C., Walsworth, N., Gougeon, F.A. and Cloney, E. 1999a. Forest Parameter Extraction through Computer-Based

Analysis of High Resolution Imagery. In Proceedings of The 4th International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition-21st Canadian Symposium On Remote Sensing, Pp: 21-24.
25. Leberl, F., and Gruber, M. 2005. Ultracam-d: understanding some noteworthy capabilities. In Photogrammetric Week, 5: 57-68.
26. Li, Z., Hayward, R., Zhang, J., and Liu, Y. 2008. Individual tree crown delineation techniques for vegetation management in power line corridor. In Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), Pp: 148-154.
27. Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons, Inc., USA, 750p.
28. Lindeberg, T. 1996. Scale-space: a framework for handling image structures at multiple scales. In Proceedings of the CERN School of Computing, 8-21 September, Egmond aan Zee, the Netherlands (Geneva: European Organization for Nuclear Research). 21p.
29. Migolet, P., Coulibaly, L., Adegbidi, H.G., and Hervet, E. 2006. Automatic individual delineation of trees by anisotropic LM filtering applied to high spatial resolution satellite images, in IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium & 27th Canadian Symposium on Remote Sensing, Orlando, Florida, USA, 200p.
30. Novotny, J., Hanuš, J., Lukeš, P., and Kaplan, V. 2011. Individual Tree Crowns Delineation Using Local Maxima Approach And Seeded Region Growing Technique, Gis Ostrava, Pp: 23-26.
31. Olofsson, K. 2002. Detection of songle trees in aerial images using template matching in ForsetSat 2002, Operational tools in forestry using remote sensing techniques. Proceedings CDROM. Talk FI6.3, session Forest inventory 6, Monitoring forest establishment and development, Pp: 5-9.
32. Olofsson, K., Wallerman, J., Holmgren, J., and Olsson, H. 2006. Tree species discrimination using Z/I DMC imagery and template matching of single trees Scandinavi. J. For. Res. 21: 106-110.
33. 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, 82: 322-334.
34. Pouliot, and King, D. 2005. Approaches for optimal automated individual tree crown detection in regenerating coniferous forests, Can. J. Rem. Sens. 31: 255-267.
35. Pouliot, D.A., King, D.J., and Pitt, D.G. 2005. Development and evaluation of an automated tree detection-delineation algorithm for monitoring regeneration coniferous forests, Can. J. For. Res. 35: 2332-2345.
36. Wang, Y., Soh, Y.S., and Schultz, H. 2006. Individual tree crown segmentation in aerial forestry images by mean shift clustering and graph-based cluster merging, Inter. J. Com. Sci. Net. Sec. 6: 40-45.
37. Wang, L., Gong, P., and Biging, G. 2004. Individual Tree-Crown Delineation and Treetop Detection in High-Spatial-Resolution Aerial Imagery, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70: 3. 351-357.
38. Zobeiry, M., and Majd, A. 2006. Introduction to Remote Sensing Technology and Application of Natural Resources, Tehran University Press, 317p.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
*J. of Conservation and Utilization of Natural Resources, Vol. 7 (1), 2018*
*http://ejang.gau.ac.ir*
*DOI: 10.22069/ejang.2019.6917.1201*

# A review of algorithms for trees crown detection and delineation on aerial images

***A. Ghasemi Rezvah[1] and Sh. Shataee Jouybari[2]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
[2]Professor, Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 06.27.2014; Accepted: 12.24.2014

**Abstract**
**Background and Objectives:** Efficient forest management needs accurate and timely information. Remote sensing images with high spatial resolution have high (aerial images) potential for estimating forest data with lower cost. The important point in this context is performance of optimal method for classification and useful information extraction from the high spatial resolution data. Object-based classification methods by extraction and separation of homogeneous phenomena and their classification have better results compared to pixel-based classification. By segmentation and classification of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images valuable information from forest can be obtained which can be useful in forest management.

**Materials and Methods:** This study is a review article which has been done by library method and using existing documents, algorithms for trees crown detection and delineation.

**Results:** In this study different algorithms were presented for segmenting individual tree which were compared to one another to determine the strengths and weaknesses of each one. Segmentation algorithms are divided into two steps: tree-crown detection and delineation. Also efficiency and condition of each algorithm is discussed. Each detection algorithms (Local Maximum Filtering, Image binarization, Template Matching, and Scale Analysis) and delineation algorithms (Valley-Following, Watershed Segmentation and Region-Growing) has disadvantages and advantages.

**Conclusion:** This study specified that among the detection algorithms, Template Matching can be used in north forests of Iran because suits every type of tree crown. But in plantation areas the local maximum filtering algorithm is the best algorithm. Of delineation algorithms, Watershed-Segmentation and Valley Following are suitable for Zagros forests. Region growing is suitable for dense forests if the space between crowns is invisible.

***Keywords:*** Aerial image, Forest, High spatial resolution, Tree crown detection algorithms, Tree crown delineation algorithms

* Corresponding author: zghasemi90@gmail.com