

آشکارسازی درختان پرتقال و تشخیص تنش گیاهی بر اساس داده‌های طیفی اخذ شده از پهپاد

مژده میرکی^۱، هرمز سهرابی^{۱*}، پرویز فاتحی^۲

۱ - گروه جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، نور
۲ - گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، کرج

چکیده

یکی از الزامات برای رسیدن به حداکثر بهره‌وری، پایش و بررسی مداوم محصولات کشاورزی است. اما روش‌های سنتی پایش باغ‌ها بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. هواپیماهای بدون سرنشین^۱ (پهپادها) با استفاده از تصویربرداری رنگی واقعی (قرمز/سبز/آبی)^۲، ممکن است یک گزینه اقتصادی مناسب برای تشخیص تنش‌ها و بیماری‌ها در محصولات کشاورزی باشند. این تحقیق با دو هدف متفاوت، توانایی داده‌های پهپاد در آشکارسازی درختان و ارزیابی سلامت مرکبات انجام شده است. به همین منظور، تصویربرداری و آماربرداری زمینی درختان در تیر ماه ۱۳۹۸ انجام شد. پس از پردازش تصاویر و تولید مدل ارتفاع تاج در پنج اندازه پیکسل مختلف، آشکارسازی درختان پرتقال با استفاده از الگوریتم رشد ناحیه‌ای انجام شد. مدل ارتفاع تاج با اندازه پیکسل ۵۰ سانتی‌متر، بالاترین مقدار صحت کلی (۰/۶۳) را ارائه داد. در گام بعدی، اورتوموزاییک^۳ جنگل مورد مطالعه با اندازه پیکسل دو و نیم سانتی‌متر با استفاده از الگوریتم ساختار حرکت مبنا تولید شد. سپس باندها و شاخص‌های پوشش گیاهی به‌دست آمده از اورتوموزاییک و فضای رنگی به‌عنوان داده ورودی در الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج طبقه‌بندی، تشخیص درختان دارای تنش را با صحت کلی ۶۹ درصد نشان داد که کارآیی پهپادها را برای آگاهی دادن به بهره‌برداران نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: الگوریتم جنگل تصادفی، الگوریتم رشد ناحیه‌ای، پهپاد، تنش، فضای رنگی.

Citrus trees identification and trees stress detection based on spectral data derived from UAVs

Mojdeh Miraki¹, Hormoz Sohrabi^{1*}, Parviz Fatehi²

1-Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2- Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Abstract

One of the requirements for achieving efficiency and maximum productivity is continuous monitoring and identifying of horticultural and agricultural products. Traditional plant monitoring and evaluation methods are time-consuming, labor-intensive, and costly. Unmanned aerial vehicles (UAVs) using real color imaging (red/green/blue) is an economically viable option for recognizing stress and disease. In this paper, the ability of UAV images was evaluated for identifying citrus trees and determining their health using a simple method. For this purpose, in June 2019, the study area was photographed and surveyed. The region growing algorithm was tested for a series of CHMs generated from point clouds, across a range of spatial resolutions. The highest overall accuracy for the individual tree crown delineation was achieved for a spatial resolution of 50 cm (F-score = 0.63). In the next step, the orthomosaic was generated with a pixel size of 2.5 cm was generated by structure from motion algorithm. Then vegetation indices and bands obtained from orthomosaic and CIE L*a*b* color space were used as input data in a random forest classification algorithm. We classified the trees into 2 classes: health trees and unhealthy trees. The classification resulted in overall accuracies of 69% which display the effectiveness of UAVs to inform stakeholders.

Keywords: Color space, Random forest algorithm, Region-growing algorithm, Stress, UAV

1. Unmanned aerial vehicles (UAVs)
2. RGB
3. Orthomosaic

۱- مقدمه

طبق آمار سازمان غذا و کشاورزی (FAO)، سالانه حدود ۱۲۲ میلیون تن مرکبات با هزینه‌ای نزدیک به ۱۷ میلیارد دلار تولید می‌شود (DadrasJavan *et al.*, 2019). این در حالی است که در سال‌های اخیر زیان اقتصادی زیادی در این محصول به دلیل تهدید عوامل زنده و غیرزنده رخ داده است. بدیهی است که آگاهی از وضعیت تنش در درختان و میزان پیشرفت آن نقش مهمی در کنترل بیماری‌ها و جلوگیری از ضرر اقتصادی ناشی از آن خواهد داشت. یکی از فنون تشخیص بیماری و تنش در زمینه‌های کشاورزی، جنگل‌داری و باغ‌ها استفاده از سنجش از دور است که داده‌های ارزشمندی در این زمینه می‌تواند در اختیار کاربران قرار دهد (Abdulridha *et al.*, 2019).

پیشرفت در تکنولوژی سنجش از دور به خصوص امکان اخذ تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا، توسعه نقشه‌برداری در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای را فراهم کرده است. امروزه استفاده از پهپاد به دلیل توانایی آن‌ها در برداشت تصاویر با توان تفکیک مکانی بهتر در پژوهش‌هایی که در مقیاس محلی انجام می‌شوند از محبوبیت بیشتری برخوردار است (Safonova *et al.*, 2019). در سال‌های اخیر، پهپادها به دلیل مزایای متعددی چون قابلیت جمع‌آوری داده‌ها با تکرار بالا و هزینه‌های کم عملیاتی در کشاورزی دقیق برای آماربرداری، تشخیص علف‌های هرز و بیماری، تشخیص و ارزیابی پوشش گیاهی، تشخیص تنش و وضعیت سلامت، وضعیت مواد مغذی و ارزیابی میزان رشد همواره مورد توجه بوده است (Maes and Steppe, 2019).

مطالعات متعددی استفاده از سنجش از دور را برای کاربردهای دقیق کشاورزی توصیه کرده‌اند (Colaco *et al.*, 2017; Kerkech *et al.*, 2018; Maes and Steppe, 2019; Qin *et al.*, 2009). کولاکو و

همکاران (Colaco *et al.*, 2017) از داده‌های لایدار^۱ زمینی برای آشکارسازی و برآورد ارتفاع و حجم تاج پوشش درختان پرتقال در یک مزرعه ۲۵ هکتاری در برزیل استفاده کردند و استفاده از آن را برای مدیریت اختصاصی در باغ‌های پرتقال را مفید دانستند. کین و همکاران (Qin *et al.*, 2009) از تصاویر فراطیفی در محدوده طیفی ۴۵۰ تا ۹۳۰ نانومتر برای تشخیص ضایعات سرطان روی میوه مرکبات استفاده کردند. روش طبقه‌بندی واگرایی اطلاعات طیفی^۲ (SID)، برای تمایز سرطان از پوست‌های طبیعی و سالم میوه مرکبات به کار برده شد. دقت طبقه‌بندی کلی با استفاده از یک مقدار آستانه SID بهینه شده ۹۶ درصد بود. این تحقیق نشان داد که تصویربرداری فراطیفی همراه با روش طبقه‌بندی تصویر مبتنی بر SID می‌تواند برای تمایز سرطان مرکبات از سایر بیماری‌ها استفاده شود. چلیک و همکاران (Csillik *et al.*, 2018) برای جداسازی تک درختان پرتقال و سایر درختان باغی از تصاویر پهپاد با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی پیچشی ساده^۳ (CNN) استفاده کردند. این تحقیق در یک محیط نسبتاً پیچیده کشاورزی با اهداف چندگانه شامل درختان مختلف پرتقال، گردو و انار در سن‌های متفاوت در ایالت کالیفرنیا با دقت بالای ۹۶/۲۴ درصد انجام شد. آمپاتزیدیس و پارتل (Ampatzidis and Partel, 2019) با استفاده از داده‌های چندطیفی حاصل از تصویربرداری پهپاد و شبکه عصبی یادگیری عمیق در یک باغ ۱۴ هکتاری از درختان پرتقال در ایالت فلوریدای آمریکا به منظور آشکارسازی و شمارش درختان، طبقه‌بندی درختان بر اساس اندازه تاج پوشش آن‌ها و توسعه شاخص‌های سلامت تک‌پایه‌های درختان پرتقال استفاده کردند. نتایج نشان داد که آشکارسازی درختان با صحت

1. Lidar
2. Spectral information divergence classification
3. Simple convolutional neural network

با شاخص پوشش گیاهی ExGR و CNN با ترکیبی از شاخص‌های پوشش گیاهی ExR، ExG و ExGR بهترین نتیجه را با دقت بیش از ۹۵/۸ درصد نشان داد. مرور منابع نشان داد که در داخل کشور مطالعات کمی در این زمینه صورت گرفته است. در واقع با استفاده از پهپاد و سنجنده‌های رنگی واقعی در زمینه آشکارسازی و بررسی وضعیت سلامت درختان باغی در داخل کشور مطالعه‌ای صورت نگرفته است. در رابطه با مطالعه درختان غیر باغی، عابدی و اسماعیلی (۱۳۹۸) بر اساس داده‌های چندطیفی و با استفاده از مطالعه شاخص تفاضل نرمال شده به بررسی وضعیت سلامت درختان پسته پرداختند. بنابراین با توجه به هزینه‌های بالای سنجنده‌های لایدار، فراطیفی و چندطیفی هدف از این مطالعه آشکارسازی درختان پرتقال و شناسایی درختان دارای تنش با استفاده از تصاویر رنگی واقعی با وضوح بسیار بالا اخذ شده از پهپاد است.

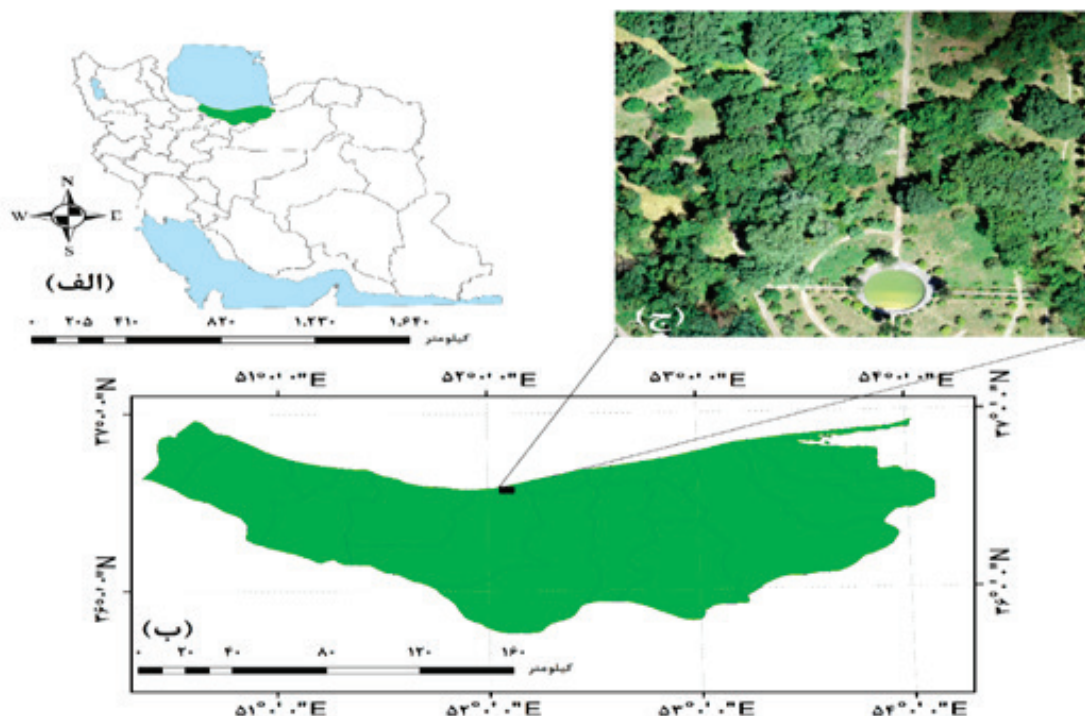
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر در محدوده‌ای از مناطق جلگه‌ای هیرکانی در ۵ کیلومتری شرق شهرستان نور، استان مازندران در محدوده دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه دارای دامنه شیب صفر تا چهار درصد است که در ارتفاع ۲۷- متر از سطح دریا قرار دارد. طبق طبقه‌بندی اقلیمی دومارتون، اقلیم منطقه مرطوب و متوسط بارندگی و دمای سالانه به ترتیب ۹۹۷ میلی‌متر و ۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد است. پوشش غالب منطقه ترکیبی از درختان باغی شامل پرتقال (*Citrus sinensis*)، نارنج (*Citrus aurantium*) و انار (*Punica Granatum*) و درختان جنگلی شامل بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia*)، انجیلی (*Parrotia persica*)، سفیدپلت (*Populus capsica*) و اوجا (*Ulmus minor*) است.

کلی ۸۵/۵ درصد انجام شد. این تحقیق نشان داد که روش‌های مبتنی بر داده‌های به‌دست آمده از پهپادها برای ارزیابی ویژگی‌های فنوتیپی گونه‌های مرکبات یک روش پایدار، مقرون به صرفه و سریع ارائه می‌دهد. در اکثر این مطالعات از داده‌های لایدار و فراطیفی استفاده شده است. با این حال، برای بسیاری از کشورها استفاده از سنجنده‌های لایدار و فراطیفی علی‌رغم کارایی بالا، بسیار پرهزینه و دور از دسترس است. به همین علت، در اغلب پهپادها از دوربین‌های رنگی واقعی کم هزینه استفاده می‌شود (Effiom, 2018). همچنین ساختار حرکت مبنا به‌عنوان یک الگوریتم در تبدیل تصاویر دو بعدی به سه بعدی نشان داده است که ابر نقطه سه بعدی حاصل از این روش با استفاده از داده‌های پهپاد با آنچه که از طریق لایدار به‌دست می‌آید قابل اعتماد است و می‌تواند اطلاعات مشابهی با آنچه که توسط داده‌های لایدار به‌دست آمده است را ارائه دهد (Hernandez-Santin *et al.*, 2019). در همین زمینه اکی و اوزدارچی (Ok and Ozdarici-Ok, 2018) برای آشکارسازی خودکار درختان مرکبات از یک مدل رقومی سطح^۱ (DSM) استفاده کردند. آن‌ها از یک رویکرد جدید شامل اطلاعات تقارن جهت و الگوریتم پیشینه محلی بر روی هشت مدل رقومی سطح تولید شده از تصاویر پهپاد استفاده کردند و نتایج نشان داد که رویکرد جدید قادر به شناسایی درختان مرکبات با موفقیت بالا ۹۲/۵ درصد است. همچنین کرکچ و همکاران (Kerkech *et al.*, 2018) روشی را بر مبنای داده‌های به دست آمده از تصاویر رنگی واقعی پهپاد و الگوریتم شبکه عصبی پیچشی (CNN) و اطلاعات فضای رنگی و شاخص‌های پوشش گیاهی جهت تشخیص علائم بیماری در تاکستان انگور توسعه دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که الگوریتم‌های CNN دارای فضای رنگی YUV همراه

1. digital surface model (DSM)



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه: الف: ایران، ب: استان مازندران، ج) موزاییک منطقه مورد مطالعه.

۲-۲- آماربرداری و تهیه واقعیت زمینی

جمع‌آوری داده‌های زمینی تنها برای درختان پرتقال که در موزاییک تصویر قابل مشاهده بودند، انجام شد. موقعیت درختان و وضعیت سلامت آن‌ها در دو طبقه سالم و درختان دارای تنش ثبت گردید. به این منظور، درختانی که خصوصیات ظاهری مانند زرد شدن برگ درخت، چروکیدگی و کوچک شدن برگ و تغییر شکل تاج درختان را نشان می‌دادند به عنوان درختان دارای تنش در نظر گرفته شدند، که در طی آن ۴۶ درخت سالم و ۲۷ درخت ناسالم مورد آماربرداری قرار گرفت. به دلیل محدودیت دریافت سیگنال در زیر تاج درختان توسط گیرنده‌های سامانه موقعیت‌یاب جهانی، موقعیت هر درخت با روش آزیموت-فاصله ثبت گردید.

۲-۳- پردازش و برداشت تصاویر پهپاد

در این مطالعه برای برداشت تصاویر هوایی از پهپاد مدل Phantom 4 Pro ساخت شرکت DJI کشور

چین که قادر به ثبت تصاویر رنگی واقعی با فرمت JPG، ابعاد ۳۶۴۸×۵۴۷۲ و کیفیت ۲۰ مگاپیکسل است، استفاده شد. قبل از اجرای پروژه برداشت تصاویر، مسیر پرواز و نقاط کنترل زمینی مشخص شد. سپس از ۱۲ نقطه کنترل زمینی در داخل منطقه مورد مطالعه برای ارتقای دقت هندسی نقشه‌های نهایی به‌دست آمده از تصاویر پهپاد استفاده شد. برای نقاط کنترل قرار گرفته بر روی جاده از اسپری و نقاط داخل منطقه جنگلی از صفحه‌های پارچه‌ای سفید و قرمز مستقر در نقاط قابل دید از بالای تاج پوشش استفاده شد (شکل ۲). مختصات هر کدام از نقاط کنترل با استفاده از GPS-RTK مدل Gintec G10 برداشت شد. سپس شبکه پرواز با در نظر گرفتن ارتفاع پرواز ۸۰ متر، مقدار همپوشانی طولی و عرضی ۸۰ درصد و سرعت پرواز ۸ متر بر ثانیه طراحی شد و پرواز در تیر ماه ۱۳۹۸ در شرایط تابش عمود نور آفتاب و نبود وزش باد انجام شد. تمامی تصاویر به‌دست آمده از فرآیند پرواز



شکل ۲- نقاط کنترل زمینی.

و ارتفاع زمین در آن پیکسل را نشان می‌دهند (Brovkina *et al.*, 2018). پس از تولید مدل ارتفاع تاج، به منظور آشکارسازی تاج درختان پرتقال مدل ارتفاع تاج در ۵ اندازه پیکسل ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ سانتی‌متر در نرم‌افزار Arcmap10.3 با استفاده از عملیات resampling تولید شد.

۲-۴- آشکارسازی درختان

الگوریتم‌های آشکارسازی پایه‌های درختی معمولاً به دو قسمت تعیین موقعیت درخت و تعیین تاج درخت که به شناسایی تاج هر پایه درختی اشاره دارد، تقسیم می‌شود. برای تعیین تاج درختان معمولاً از الگوریتم‌هایی چون پیرو دره^۳، قطعه‌بندی حوضه آبخیز^۴ و رشد ناحیه‌ای^۵ استفاده می‌شود (Harikumar *et al.*, 2019).

در این مطالعه برای آشکارسازی تاج درختان

1. Digital terrain model
2. Digital surface model
3. Valley-following
4. Watershed segmentation
5. Region-growing

به صورت مجزا ارزیابی شد و تصاویری که از کیفیت مناسب برخوردار نبودند از مراحل پردازش حذف شدند (Brovkina *et al.*, 2018). تصاویر باقیمانده در نرم‌افزار Agisoft PhotoScan v1.27 بازخوانی شدند. در مرحله اول، تصاویر بر اساس مختصات هر عکس و نقاط کنترل زمینی در کنار هم چیده شدند. پس از مرتب کردن تصاویر در کنار یکدیگر ابرنقاط پراکنده با استفاده از الگوریتم ساختار حرکت مبنا تولید شد. مراحل پردازش تصاویر به منظور تولید ابرنقطه متراکم بر اساس عملکرد تنظیمات با صحت بالا^۱ به این صورت که هر دو پیکسل در مرحله تولید ابرنقطه به عنوان یک نقطه در نظر گرفته شد، انجام شد. در نهایت ابرنقاط متراکم تولید شده در تهیه مدل ارتفاع تاج (به منظور آشکارسازی تاج درختان) و موزاییک تصویر (به منظور طبقه‌بندی درختان دارای تنش) مورد استفاده قرار گرفت.

مدل ارتفاع تاج از تفاضل مدل رقومی زمین^۱ و مدل رقومی سطح^۲ به دست می‌آید. مدل رقومی سطح و مدل رقومی زمین یک لایه رستری هستند که هر پیکسل آن به ترتیب ارتفاع از سطح دریا

۳، ۵، ۷ و ۹ و آستانه رشد برابر ۵/۰ برای هر اندازه تفکیک در نظر گرفته شد. تک پایه‌های درختی برای اندازه تفکیک‌های مختلف بر روی مدل ارتفاع تاج در منطقه مورد مطالعه در پکیج itcSegment در نرم افزار R ترسیم شد.

ارزیابی کمی نتایج آشکارسازی با استفاده از معیارهای دقت^۲، فراخوانی^۳ و صحت کلی^۴ انجام شد. در روش‌های مربوط به آشکارسازی، هر قطعه یا پولیگون به عنوان یک درخت در نظر گرفته می‌شود. نتایج آشکارسازی به سه دسته تقسیم می‌شود: قطعه‌بندی صحیح^۵ که هر قطعه کاملاً با یک پایه درختی در اندازه‌گیری زمینی همخوانی دارد، بیش‌قطعه‌بندی^۶ که یک پایه درخت حقیقی به شکل چندین قطعه (درخت) تشخیص داده شده است و کم‌قطعه‌بندی^۷ که چندین درخت حقیقی در یک قطعه قرار می‌گیرند. با توجه به این تعاریف قطعه‌بندی صحیح، بیش‌قطعه‌بندی و کم‌قطعه‌بندی به ترتیب با FP، FN و TP مطابقت دارند (Yin & Wang, 2016). ارزیابی صحت با استفاده از فرمول‌های زیر

پرتقال از الگوریتم رشد ناحیه‌ای استفاده شده است (شکل ۳). الگوریتم رشد ناحیه‌ای یک روش تقسیم‌بندی تصویر است که برای جدا کردن بخش‌ها و شناسایی اشیای درون یک تصویر استفاده می‌شود. در این الگوریتم پیکسل‌هایی به عنوان پیکسل‌های شروع اولیه یا پیکسل‌های بذر^۱ انتخاب می‌شود و با شروع از این پیکسل‌ها، پیکسل‌های همسایه مورد آزمون قرار می‌گیرد و اگر به اندازه کافی شبیه پیکسل بذر باشند، به منطقه در حال رشد اضافه می‌شوند و تا هنگامی که یک مرز قابل توجه به دست آید این روند ادامه پیدا خواهد کرد. بنابراین در این روش برای جلوگیری از رشد نادرست نواحی، پیکسل بذر و معیارهای مربوط به رشد باید به درستی تعیین شوند (Dalponte et al., 2019). در این مطالعه برای انتخاب پیکسل بذر از الگوریتم پیشینه محلی استفاده شد، یعنی پیکسلی که دارای بیش‌ترین ارزش ارتفاعی در تاج هر پایه درختی است به عنوان پیکسل بذر انتخاب می‌شود. برای انجام این الگوریتم، اندازه پنجره جستجو برای یافتن پیکسل‌های بذر در اندازه‌های



شکل ۳- راست: مدل ارتفاع تاج، چپ: موزاییک تصویر با نتیجه الگوریتم رشد ناحیه‌ای در آشکارسازی تاج درختان.

1. Seed pixel
2. Precision
3. Recall
4. F-measure
5. Correct segmentation
6. Over-segmentation
7. Under-segmentation

محاسبه شد:

$$r = \frac{n_{TP}}{n_{TP} + n_{FN}}$$

$$P = \frac{n_{TP}}{n_{TP} + n_{FP}}$$

$$F = \frac{2rp}{r + p}$$

نتیجه هر سه رابطه در بازه بین صفر و یک قرار می‌گیرد. هر چه مقدار r و p بالاتر، مقدار F یا صحت کلی نیز بالاتر خواهد بود. مقدار F برابر یک یعنی تاج کلیه درختان به صورت کامل آشکارسازی شده است.

۲-۵- طبقه‌بندی

جنگل تصادفی یک الگوریتم طبقه‌بندی ناپارامتری متشکل از تعداد زیادی درخت تصمیم است که توسط مجموعه‌ای از نمونه‌های تعلیمی تصادفی ایجاد شده است. هر درخت یک طبقه‌بندی ارائه خواهد داد و جنگل تصادفی از بین همه

درخت‌های تصمیم، طبقه‌بندی‌ای که بیش‌ترین آرا را داشته باشد انتخاب می‌کند. این الگوریتم برای اجرا به چند پارامتر از جمله تعداد درختان و تعداد ویژگی‌های پیش‌بینی‌کننده نیاز دارد و نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی نیاز به محاسبات و زمان اجرای کم‌تر و دقت طبقه‌بندی بالاتر در مدل‌های پیچیده است (Ballanti et al., 2016). کلیه درختان برداشت شده در این تحقیق به‌عنوان داده آموزشی در نظر گرفته شدند. الگوریتم جنگل تصادفی در پکیج randomForest انجام شد.

بعد از ایجاد موزاییک، تصویر شاخص‌های سبز افزوده شده، شاخص مقاومت اتمسفری مرئی، شاخص اختلاف رنگ نرمال شده و شاخص وبک (جدول ۱) بر اساس باندهای طیفی به‌عنوان شاخص‌های پوشش گیاهی در محدوده نور مرئی برای بررسی تنش درختان در نرم افزار Arcmap10.3 محاسبه شدند.

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در محدوده نور مرئی.

فرمول	شاخص گیاهی
$EXG = (2 * green) - red - blue$	شاخص‌های سبز افزوده شده
$VARI = \frac{green - red}{green + red - blue}$	شاخص مقاومت اتمسفری مرئی
$NGRDI = \frac{green - red}{green + red}$	شاخص اختلاف رنگ نرمال شده
$WI = \frac{green - blue}{red - green}$	شاخص وبک

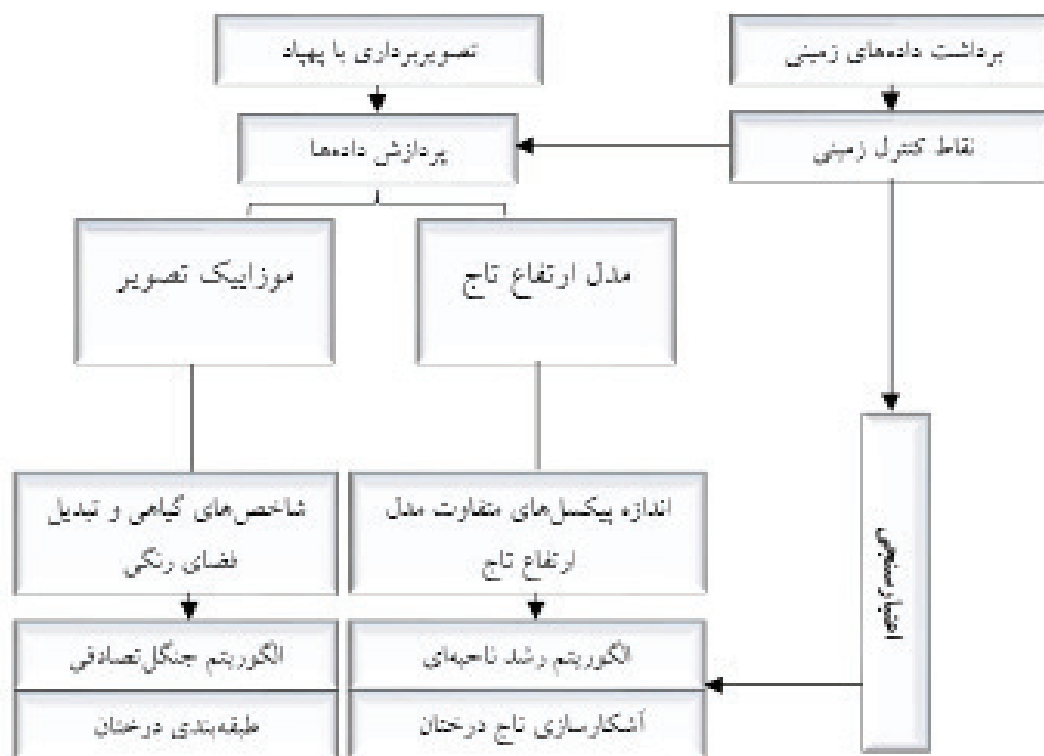
از رنگ را تجسم می‌کند، انتخاب شد. بنابراین موزاییک تصویر تولید شده که در فضای رنگی RGB قرار داشت، برای بررسی تنش و وضعیت سلامت درختان به فضای رنگی $CIE L^*a^*b$ تغییر داده شد. در این فرمول L^* نشان‌دهنده کانال روشنایی است به نحوی که مقدار صفر آن به منزله سیاه و مقدار ۱۰۰ نشان‌دهنده نور کامل است، a^* موقعیت بین ارغوانی و سبز است که مقادیر منفی a^* نشان‌دهنده

تغییر فضای رنگی نیز نقش مهمی در تشخیص مشکلات برگ‌ها دارد. فضاهای رنگی متنوعی مانند $CIE LAB$ ، $Ycbcr$ و HSV در دسترس است. این فضاهای رنگی تغییر رنگ، درخشندگی و رنگی بودن لایه‌ها را طبقه‌بندی می‌کنند که در تحلیل ذهنی قضاوت تصاویر برگ‌ها بسیار مفید است (Gavhale et al., 2014). فضای رنگی $CIE L^*a^*b$ به دلیل توزیع یکنواخت رنگ‌ها، همان‌طور که تصور انسان

در دو کلاس سالم و دارای تنش از روش اعتبارسنجی K-fold استفاده شد. به این صورت که مقدار K برابر ۱۰ در نظر گرفته شد و مجموعه داده‌های آموزشی به‌طور تصادفی به ۱۰ زیرنمونه با حجم یکسان تفکیک شد. در هر مرحله از فرایند، تعداد K-۱ از این لایه‌ها به‌عنوان داده آموزشی و یک لایه به‌عنوان داده اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. برای دستیابی به مدل مناسب، این فرآیند ۱۰ بار تکرار شد (Nevalainen et al., 2017). سپس از معیارهای صحت تولیدکننده، صحت کاربر و صحت کلی برای ارزیابی مدل استفاده شد. مراحل اجرای فرآیند تحقیق در شکل ۴ نشان داده شده است.

رنگ‌های سبز و مقادیر مثبت آن به‌منزله رنگ‌های ارغوانی هستند و b* موقعیت بین زرد و آبی است که مقادیر منفی b* نشان‌دهنده رنگ‌های آبی و مقادیر مثبت آن به‌منزله رنگ‌های زرد هستند (Chianucci et al., 2016). تبدیل فضای رنگی در این تحقیق با نرم افزار matlab R2015a انجام شد.

پس از تهیه لایه‌های فوق، محدوده میانی تاج پایه‌های درختان پرتقال با استفاده از یک بافر دو متری ترسیم شد و آماره‌هایی مانند میانگین، مد، میانه، دامنه و انحراف معیار برای هر درخت بر روی شاخص‌های گیاهی و باندهای a و b محاسبه شد. برای ارزیابی صحت نتایج الگوریتم جنگل تصادفی

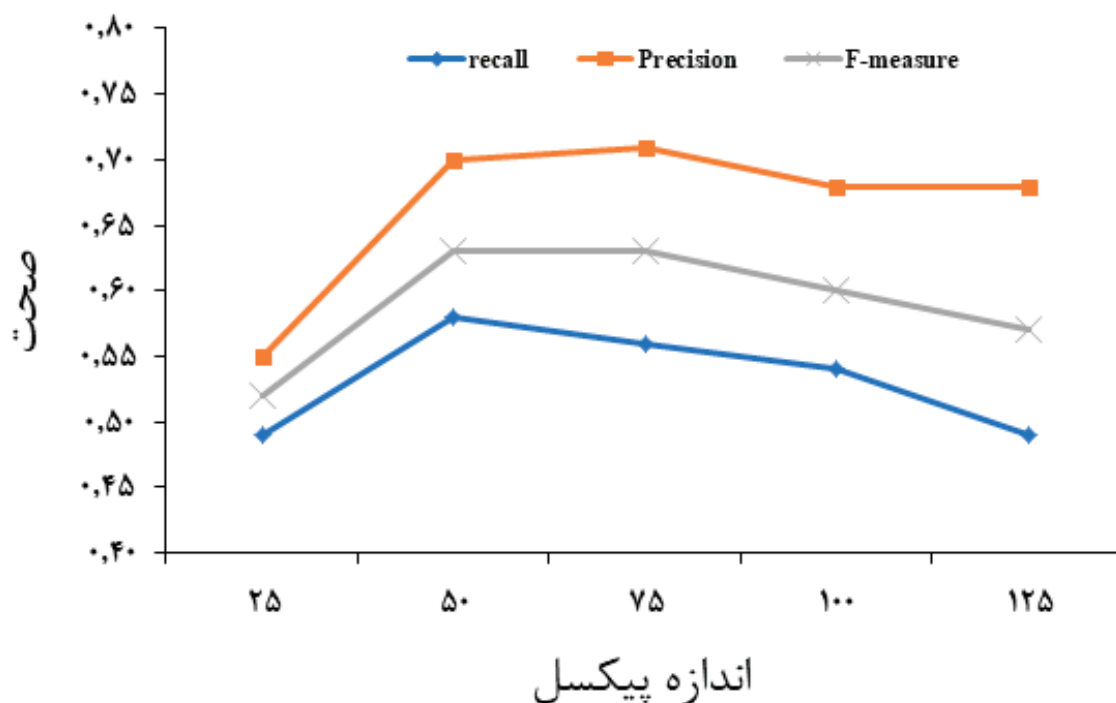


شکل ۴- نمودار مراحل انجام کار.

۳- نتایج

سانتی‌متر و بالاترین میزان دقت در اندازه پیکسل ۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد. بالاترین مقدار صحت کلی در اندازه پیکسل ۵۰ سانتی‌متر به‌دست آمد.

نتایج آشکارسازی تاج درختان برای الگوریتم رشد ناحیه‌ای در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بالاترین میزان فراخوانی برای آشکارسازی تاج درختان در اندازه پیکسل ۵۰



شکل ۵- نتایج آشکارسازی تاج درختان پرتقال برای الگوریتم رشد ناحیه‌ای.

جنگل تصادفی بر روی شاخص‌های EXG،NGRDI و WI و باندهای *a و *b انجام شد. نتایج نشان داد که با صحت کلی ۶۹ درصد تشخیص درختان دارای تنش امکان‌پذیر است (جدول ۲).

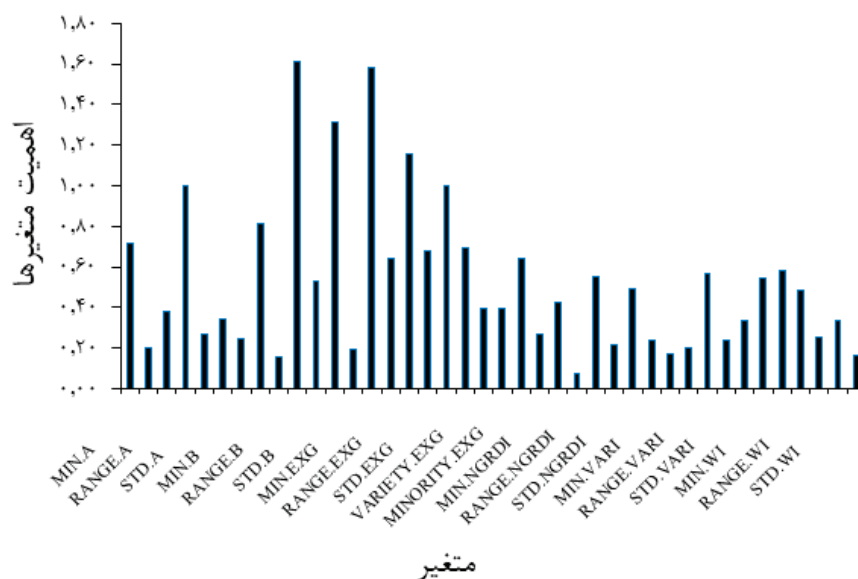
شاخص‌های گیاهی و فضای رنگی از موزاییک تصویر با اندازه پیکسل دو و نیم سانتی‌متر تهیه شدند و طبقه‌بندی درختان پرتقال به منظور تعیین تنش بر اساس داده‌های طیفی و با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی

جدول ۲- ماتریس اختلاف طبقه‌بندی جنگل تصادفی. محور عمودی واقعیت زمینی و محور افقی پیش‌بینی را نشان می‌دهد.

صحت کاربر	جمع	درختان دارای تنش	درختان سالم	کلاس
۰/۷۷	۴۷	۱۱	۳۶	درختان سالم
۰/۶۲	۲۶	۱۶	۱۰	درختان دارای تنش
صحت کلی = ۶۹ درصد		۲۷	۴۶	جمع
		۰/۵۹	۰/۷۸	صحت تولیدکننده

شدند (شکل ۶). میانگین باند *b با مقدار ۱/۶۱ و بعد از آن بیشینه شاخص EXG با مقدار ۱/۵۸ مهم‌ترین متغیر مؤثر در طبقه‌بندی جنگل تصادفی بودند.

همچنین مهم‌ترین متغیرها در فرآیند طبقه‌بندی در میان ۴۰ متغیر مورد استفاده که شامل کمینه، بیشینه، میانگین، مد، میانه، دامنه و انحراف معیار هر درخت بر روی شاخص‌های گیاهی و باندهای a و b بودند بررسی



شکل ۶- ارزش عددی متغیرهای مورد استفاده در الگوریتم جنگل تصادفی.

۴- بحث

استفاده از تصاویر پهپاد یک ابزار یا روش ارزشمند برای شناسایی بیماری‌های موثر بر درختان مرکبات در کشور و همچنین سایر مناطق تولید مرکبات است. نتایج مطالعات ما به دو بخش آشکارسازی پایه‌های درختی پرتقال و شناسایی درختان دارای تنش تقسیم شد. در زمینه آشکارسازی تاج پایه‌های درختی چنان که در شکل ۵ نشان داده شده است، نتایج، عملکرد متوسط الگوریتم رشد ناحیه‌ای را نشان داد که در صورت حل مشکلات و نواقص این روش، می‌تواند در آشکارسازی درختان باغی در کشور مورد استفاده قرار گیرد. اما دلیل عمده عملکرد متوسط الگوریتم رشد ناحیه‌ای را می‌توان اندازه درختان دانست. چرا که تعداد زیادی از درختان پرتقال موجود، درختان کم‌ارتفاع و دارای تاج کوچک بودند و درختان کوچک به علت اندازه و تراکم کم تاج درختان، نماینده ضعیفی در مدل ارتفاعی تاج هستند (Duncanson *et al.*, 2014)، به طوری که حتی اگر درخت بر روی تصویر نیز دیده شود، ممکن است در مدل ارتفاع تاج قابل شناسایی نباشد. علاوه بر این، ترکیبی از اندازه‌های مختلف

تاج در تاج پوشش متراکم باعث می‌شود که تمایز بین درختان کوچک و قسمت تحتانی تاج درختان بزرگ‌تر دشوار شود (Goldbergs *et al.*, 2018). در این تحقیق تاج درختان پرتقال در ارتفاع پایین‌تری از درختان جنگلی که ارتفاع و اندازه تاج بزرگ‌تری داشتند قرار گرفته بودند.

اندازه پیکسل مدل ارتفاعی تاج نیز بر مقدار صحت کلی بسیار مؤثر است. هنگامی که آشکارسازی تاج درختان در مدل‌های ارتفاع تاج با اندازه پیکسل ریز استفاده می‌شود، تعداد قطعه‌های حاصل از رشد ناحیه‌ای معمولاً بسیار بیش‌تر از تعداد واقعی درختان است. این قطعه‌های اضافی در درجه اول نتیجه وقوع چندین بیشینه محلی یا قله ارتفاعی در درختان در محدوده تاج هر پایه درختی هستند. به دلیل وضوح مکانی بالای تصاویر حاصل از پهپاد، ممکن است بیش از یک بیشینه محلی در هر تاج درخت تشخیص داده شود و استفاده مستقیم از الگوریتم‌های آشکارسازی می‌تواند باعث قطعه‌بندی بیش از حد تصاویر شود (Huang *et al.*, 2018). اما با افزایش اندازه پیکسل CHM، تعداد قطعه‌ها و نواحی ایجاد شده کاهش پیدا کرده و مقدار صحت کلی را، البته تا یک حد

استفاده می‌شود (Garza et al., 2020). شاخص EXG نیز که برای شناسایی پوشش گیاهی سبز طراحی شده است، به خوبی نشان‌دهنده تنش در درختان است، زیرا بدون تحت تأثیر قرار گرفتن آفتاب و سایه به رنگ سبز تاج پوشش حساس است (Wan et al., 2018).

هر چند ارزیابی درختان مرکبات با سنجنده‌های چندطیفی مادون قرمز و فراطیفی و شاخص‌هایی مانند شاخص تفاضل نرمال شده با دقت بیشتری همراه است. اما در کل ارزیابی عکس‌های دیجیتال به‌دست آمده از پهپادها، تجزیه و تحلیل درختان را به‌صورت به موقع و با هزینه کم‌تر انجام می‌دهد و سبب صرفه‌جویی در هزینه‌های میدانی و نیروی کار می‌شود. همچنین، عکس‌های دیجیتالی می‌توانند به راحتی ذخیره شوند و منبع ارزشمندی از داده‌ها را برای سایر برنامه‌های نظارت فراهم کنند.

۵- نتیجه‌گیری کلی

شناسایی درختان مرکبات با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر رنگی واقعی به دست آمده از پهپاد با صحت ۶۹ درصد انجام شد. البته در این مطالعه، منطقه مورد مطالعه دربرگیرنده ترکیبی از گونه‌های باغی و جنگلی در کنار یکدیگر بودند. بنابراین بهتر است در تحقیقات آینده مطالعه بر روی منطقه‌ای متشکل از گونه‌های باغی صورت گیرد. در نظر گرفتن سایر شاخص‌ها و فضاها رنگی چون HSV و YUV و ترکیب شاخص‌های رنگی فضای RGB و فضاها رنگی نیز می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین محاسبه کلروفیل نمونه‌های گرفته شده از درختان سالم و دارای تنش و بررسی ارتباط بین میزان کلروفیل و شاخص‌های رنگی از پیشنهادها اصلی این تحقیق است.

مشخص، برای الگوریتم رشد ناحیه‌ای افزایش داد. شکل و ترکیب متنوع گونه‌های درختی می‌تواند یک چالش بزرگ در تشخیص درخت بوده و میزان آشکارسازی را تحت تأثیر قرار دهد. چنین تغییراتی می‌تواند منجر به خطای بیش برآورد شود که در آن چندین نقطه بیشینه محلی به اشتباه در یک تاج شناسایی می‌شود (Surovy et al., 2018). در صورتی که توده‌هایی با گونه‌ها و اندازه‌های مشابه احتمالاً دارای ارتفاع، اندازه و شکل تاج یکنواخت هستند که این یک ویژگی مطلوب برای انواع روش‌های تجزیه و تحلیل تصاویر است (Ke and Quackenbush, 2011). در یک توده همگن و یک اشکوبه، تقریباً همه درختان قابل شناسایی هستند، در حالی که در یک توده مختلط با چندین گونه متفاوت و چندین لایه ارتفاعی، میزان آشکارسازی به میزان قابل توجهی پایین خواهد آمد (Cochrane, 2000). چنان‌که در تحقیق حاضر آشکارسازی درختان پرتقال که دارای ارتفاع کم‌تر و تراکم تاج کم‌تر نسبت به درختان جنگلی بودند عملکرد متوسطی را نشان دادند.

در تحقیق حاضر، تغییر فضای رنگی و شاخص‌های گیاهی با استفاده از دوربین رقومی رنگی واقعی قابل حمل به عنوان روشی کم‌هزینه و غیرمخرب به کار رفت که استفاده از آن برای ارزیابی وضعیت سلامتی گیاهان آسان است. در مرحله طبقه‌بندی درختان دارای تنش رابطه بین سلامت و شاخص‌های گیاهی در فضای RGB و LAB بررسی شد و مشاهده شد که باند b^* مهم‌ترین متغیر در شناسایی درختان دارای تنش است. می‌توان علت را این دانست که مدل LAB یک کانال روشنایی را از رنگدانه در دو کانال a^* و b^* جدا می‌کند که برای اندازه‌گیری سبز بودن برگ‌ها در مطالعات آزمایشگاهی نیز استفاده می‌شود (Sukmana and Rahmanti, 2017). برای تشخیص تنش زراعی نیز از رنگ برگ به عنوان یک شاخص

(تضاد و تعارض منافع - نویسندگان هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم با اثر منتشر شده است رد می نمایند).

منابع

عابدی، ل و ع. اسماعیلی. (۱۳۹۸). امکان سنجی نظارت بر سلامت درختان پسته با استفاده از پهپاد مجهز به سنجنده چند طیفی. دومین کنگره بین المللی توسعه کشاورزی و محیط زیست با تاکید بر برنامه توسعه ملل، تهران، ص ۴.

Abdulridha, J., Batuman, O., & Ampatzidis, Y. (2019). UAV-based remote sensing technique to detect citrus canker disease utilizing hyperspectral imaging and machine learning. *Remote Sensing*, 11(11), 1373

Ampatzidis, Y., & Partel, V. (2019). UAV-based high throughput phenotyping in citrus utilizing multispectral imaging and artificial intelligence. *Remote Sensing*, 11(4), 410

Ballanti, L., Blesius, L., Hines, E., & Kruse, B. (2016). Tree species classification using hyperspectral imagery: A comparison of two classifiers. *Remote Sensing*, 8(6), 445.

Brovkina, O., Cienciala, E., Surovy, P., & Janata, P. (2018). Unmanned aerial vehicles (UAV) for assessment of qualitative classification of Norway spruce in temperate forest stands. *Geo-spatial information science*, 21(1), 12-20.

Chianucci, F., Disperati, L., Guzzi, D., Bianchini, D., Nardino, V., Lastrì, C., ... & Corona, P. (2016). Estimation of canopy attributes in beech forests using true colour digital images from a small fixed-wing UAV. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 47, 60-68.

Cochrane, M. A. (2000). Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data. *International journal of remote sensing*, 21(10), 2075-2087.

Colaco, A. F., Trevisan, R. G., Molin, J. P., Rosell-Polo, J. R., & Escola, A. (2017). A method to obtain orange crop geometry information using a mobile terrestrial laser scanner and 3D modeling. *Remote Sensing*, 9(8), 763.

Csillik, O., Cherbini, J., Johnson, R., Lyons, A., & Kelly, M. (2018). Identification of citrus trees from unmanned aerial vehicle imagery using convolutional neural networks. *Drones*, 2(4), 39.

DadrasJavan, F., Samadzadegan, F., Seyed Pourazar, S. H., & Fazeli, H. (2019). UAV-based multispectral imagery for fast Citrus Greening detection. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 126(4), 307-318.

Dalponte, M., Frizzera, L., & Gianelle, D. (2019). Individual tree crown delineation and tree species classification with hyperspectral and LiDAR data. *PeerJ*, 6, e6227.

Duncanson, L. I., Cook, B. D., Hurtt, G. C., & Dubayah, R. O. (2014). An efficient, multi-layered crown delineation algorithm for mapping individual tree structure across multiple ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 154, 378-386.

Effiom, A. E. (2018). UAV-RGB and Multispectral *Pleiades* images, for tree species identification

- and forest carbon estimation in Amtsvenn, Germany (Master's thesis, University of Twente).
- Garza, B. N., Ancona, V., Enciso, J., Perotto-Baldivieso, H. L., Kunta, M., & Simpson, C. (2020). Quantifying citrus tree health using true color UAV images. *Remote Sensing*, 12(1), 170.
- Gavhale, K. R., Gawande, U., & Hajari, K. O. (2014, April). Unhealthy region of citrus leaf detection using image processing techniques. *In International Conference for Convergence for Technology-2014* (pp. 1-6). IEEE.
- Goldbergs, G., Maier, S. W., Levick, S. R., & Edwards, A. (2018). Efficiency of individual tree detection approaches based on light-weight and low-cost UAS imagery in Australian Savannas. *Remote Sensing*, 10(2), 161.
- Harikumar, A., Bovolo, F., & Bruzzone, L. (2018). A local projection-based approach to individual tree detection and 3-D crown delineation in multistoried coniferous forests using high-density airborne LiDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(2), 1168-1182.
- Hernandez-Santin, L., Rudge, M. L., Bartolo, R. E., & Erskine, P. D. (2019). Identifying species and monitoring understorey from uas-derived data: a literature review and future directions. *Drones*, 3(1), 9.
- Huang, H., Li, X., & Chen, C. (2018). Individual tree crown detection and delineation from very-high-resolution UAV images based on bias field and marker-controlled watershed segmentation algorithms. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 11(7), 2253-2262.
- Ke, Y., & Quackenbush, L. J. (2011). A review of methods for automatic individual tree-crown detection and delineation from passive remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 32(17), 4725-4747.
- Kerkech, M., Hafiane, A., & Canals, R. (2018). Deep leaning approach with colorimetric spaces and vegetation indices for vine diseases detection in UAV images. *Computers and electronics in agriculture*, 155, 237-243.
- Maes, W. H., & Steppe, K. (2019). Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in plant science*, 24(2), 152-164.
- Nevalainen, O., Honkavaara, E., Tuominen, S., Viljanen, N., Hakala, T., Yu, X., ... & Tommaselli, A. M. (2017). Individual tree detection and classification with UAV-based photogrammetric point clouds and hyperspectral imaging. *Remote Sensing*, 9(3), 185.
- Ok, A. O., & Ozdarici-Ok, A. (2018). Combining orientation symmetry and LM cues for the detection of citrus trees in orchards from a digital surface model. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(12), 1817-1821.
- Qin, J., Burks, T. F., Ritenour, M. A., & Bonn, W. G. (2009). Detection of citrus canker using hyperspectral reflectance imaging with spectral information divergence. *Journal of food engineering*,

93(2), 183-191.

- Safonova, A., Tabik, S., Alcaraz-Segura, D., Rubtsov, A., Maglinets, Y., & Herrera, F. (2019). Detection of fir trees (*Abies sibirica*) damaged by the bark beetle in unmanned aerial vehicle images with deep learning. *Remote sensing*, 11(6), 643.
- Sukmana, S. E., & Rahmanti, F. Z. (2017, October). Blight segmentation on corn crop leaf using connected component extraction and CIELAB color space transformation. *In 2017 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)* (pp. 205-208). IEEE.
- Surov, P., Almeida Ribeiro, N., & Panagiotidis, D. (2018). Estimation of positions and heights from UAV-sensed imagery in tree plantations in agrosilvopastoral systems. *International Journal of Remote Sensing*, 39(14), 4786-4800.
- Wan, L., Li, Y., Cen, H., Zhu, J., Yin, W., Wu, W., ... & He, Y. (2018). Combining UAV-based vegetation indices and image classification to estimate flower number in oilseed rape. *Remote Sensing*, 10(9), 1484.
- Yin, D., & Wang, L. (2016). How to assess the accuracy of the individual tree-based forest inventory derived from remotely sensed data: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 37(19), 4521-4553.