

شناسایی گونه‌های درختی با استفاده از سری زمانی تصاویر رنگی واقعی و تصاویر چندطیفی پهپاد

مژده میرکی^۱ و هرمز سهرابی^{۲*}

(۱) دانش‌آموخته دکتری رشته مدیریت جنگل، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

(۲) دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: hsohrabi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۶

چکیده

اطلاعات دقیق درباره ترکیب درختان یک جنگل برای بسیاری از اهداف نظارتی و حفاظت جنگل مورد نیاز است. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های مدرن سنجش از دور و تکنیک‌های مبتنی بر وسایل نقلیه بدون سرنشین، برای به روزرسانی منظم اطلاعات در جنگل استفاده می‌شود. در این تحقیق، از داده‌های متفاوت شامل تصاویر چند طیفی (پهپاد استورم) و تصاویر رنگی واقعی (پهپاد فانتوم) با توان تفکیک مکانی بسیار بالا در بخش جلگه‌ای جنگل‌های شهرستان نور در استان مازندران جهت شناسایی گونه‌های درختی استفاده شد. همچنین تصویربرداری در یک فصل رویشی با هدف تهیه سری زمانی تصاویر پهپاد و بررسی تاثیر تغییرات فنولوژیک تاج درختان بر مقدار صحت طبقه‌بندی انجام شد. جهت طبقه‌بندی و شناسایی گونه‌های جنگلی از محاسبه شاخص‌های مبتنی بر تصاویر رنگی واقعی مانند NRB و NGB، شاخص‌های چندطیفی مانند CIGreen و NDVI، باندهای خام و روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی استفاده شد. بر اساس تصاویر تک‌زمانه، تصاویر اواخر فروردین ماه با صحت کلی ۷۵ درصد بیشترین صحت کلی را ارائه داد. نتایج مربوط به تصاویر سری زمانی نیز با صحت ۸۶ درصد شناسایی درختان را انجام داد. همچنین شناسایی گونه‌ها بر اساس تصاویر چندطیفی اخذ شده از سنجنده سکویا، صحت ۸۵ درصد را ارائه داد. نتایج نشان داد تصویر تک‌زمانه با تصویربرداری در زمان مناسب با استفاده از پهپاد مجهز به سنجنده RGB، نسبت به تهیه سری زمانی و استفاده از پهپادهای مجهز به سنجنده‌های چندطیفی، نتایج قابل قبول و کم‌هزینه‌تری برای شناسایی درختان در جنگل مورد مطالعه ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم جنگل تصادفی، سنجنده RGB، سنجنده چند طیفی، طبقه‌بندی، فنولوژی.

مقدمه

(Boyd & Danson, 2005). در این بین، بیشتر ماهواره‌های پایش زمین قادر به ارائه اطلاعات در مقیاس مکانی کوچک در سطح توده نبوده‌اند، همچنین از نظر قدرت تفکیک زمانی محدود بوده و در معرض تداخل ناشی از پوشش ابر بوده و هستند (Asner, 2001). اما وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین^۱ (UAV) یا پهپادها با انواع متنوع بال ثابت و چند موتور، سکوهایی هستند که می‌توانند انواع سنجنده‌های رنگی واقعی، چندطیفی و لایدار^۲ را با تنظیم فاصله مکانی و زمانی با ارتفاع پایین از سطح زمین برای نظارت و نقشه‌برداری از محیط و منابع طبیعی حمل کنند (Nex & Remondino, 2014).

اطلاع از ترکیب گونه‌های درختی در یک جنگل می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در مورد وضعیت محیطی زیستی جنگل و ارزش اقتصادی آن در اختیار کارشناسان قرار دهد (Ferreira *et al.*, 2018). چرا که اطلاعات مربوط به شناخت و طبقه‌بندی گونه‌های درختی می‌تواند در ارزیابی تنوع زیستی، آماربرداری، ارزیابی خطر آتش‌سوزی، بوم‌شناسی حیوانات و تشخیص گونه‌های مهاجم در جنگل‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Kuzmin *et al.*, 2017; Nevalainen *et al.*, 2017).

سنجش از دور برای دهه‌ها یک روش مکمل در آماربرداری برای برآورد ویژگی‌های درختان در جنگلداری بوده است

با ادغام داده‌های سنجش از دور در آماربرداری جنگل، مدت‌ها است که شناسایی پایه‌های درختی به دلیل اهمیت تعیین ترکیب با استفاده از سنجش از دور، مورد توجه قرار گرفته است (Hernandez-Santin *et al.*, 2019). در همین راستا، Nevalainen و همکاران (۲۰۱۷) عملکرد تصاویر فراطیفی و فتوگرامتری پهپاد را در آشکارسازی پایه‌های درختی با استفاده از الگوریتم پیشینه محلی و طبقه‌بندی گونه‌های کاج، نونل، لاریکس و توس در جنگل‌های بورال فنلاند مورد مطالعه قرار دادند. نتایج دقت شناسایی درختان از ابر نقطه فوتوگرامتری از ۴۰ تا ۹۵ درصد، بسته به ویژگی‌های منطقه متغیر بود.

همچنین Hernandez-Santin و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند از آنجایی که فنولوژی گونه‌های مختلف متفاوت هستند، بهتر است برای تشخیص گونه‌ها در زمان اخذ تصاویر چرخه فنولوژی آنها نیز مورد بررسی قرار گیرد. در همین زمینه Lisein و همکاران (۲۰۱۵) نیز در جنگل‌های آمیخته ناهمسال بلژیک به منظور تمایز گونه‌های درختی خزان‌کننده و تعیین بهترین زمان برای دستیابی به تمایز گونه‌ای مطلوب، از یک سری زمانی تصاویر پهپاد با وضوح بالا برای پوشش دوره رشد از بهار تا پاییز استفاده کردند. Weil و همکاران (۲۰۱۷) نیز با استفاده از رویکرد فنولوژیک، شاخص‌های طیفی و تبدیل فضای رنگی، گونه‌های گیاهی را طبقه‌بندی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از این روش و سری‌های زمانی به‌دست آمده از پهپاد فتوگرامتری قابل مقایسه با تصاویر فراطیفی با اندازه تفکیک مکانی بالا و هزینه زیاد است.

در داخل کشور نیز بخشی از توده‌های بنه - بادام جنگل تحقیقاتی استان فارس با مساحت ۲۴ هکتار با استفاده از تصاویر رنگی واقعی و DSM^1 جهت شناسایی درختان توسط Esmkhani و همکاران (۲۰۲۲) مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق تصاویر رنگی به تنهایی و نیز تلفیق آنها با DSM در شناسایی درختان بنه و درختچه‌های بادام مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد علی‌رغم نزدیکی ارزش عددی معیارهای صحت‌سنجی (صحت ۷۷ درصد در صورت استفاده از تصاویر و صحت ۸۵ درصد با رویکرد تلفیق تصاویر رنگی و DSM)، شناسایی گونه‌ها با استفاده از تلفیق تصاویر رنگی و DSM پهپاد از صحت بیشتری برخوردار بودند. همچنین

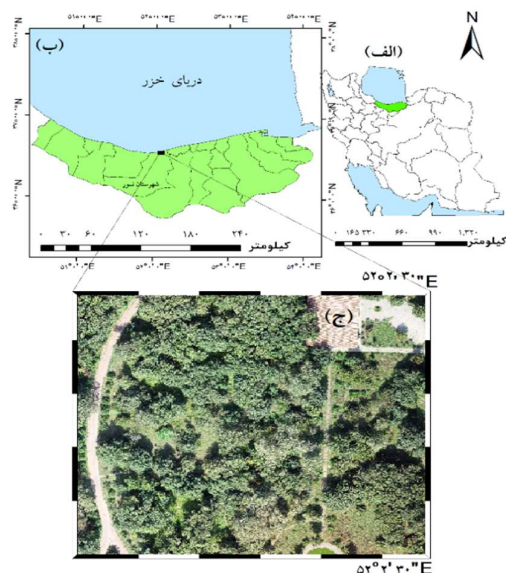
Miraki و همکاران (۲۰۲۲) تاثیر الگوریتم‌های متفاوت (عملکرد الگوریتم‌های ناپارامتری ماشین‌بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم پارامتری تحلیل تشخیص خطی) را بر صحت شناسایی درختان پهن‌برگ در جنگل‌های شهرستان نور با استفاده از تصویر تک‌زمانه رنگی واقعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد اگرچه الگوریتم پارامتری تحلیل تشخیص خطی با صحت کلی ۰/۸۷ بهترین نتیجه را برای طبقه‌بندی درختان ارایه داد، اما تفاوت معنی‌داری بین نتایج استفاده از الگوریتم‌های مختلف وجود نداشت.

با توجه به سابقه تحقیق، شناسایی درختان با استفاده از تصاویر پهپاد در جنگل‌های جلگه‌ای هیرکانی با استفاده از تصاویر چندطیفی و سری زمانی تصاویر به‌دست آمده از پهپاد تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. در واقع، پارک جنگلی نور بزرگ‌ترین لکه باقی‌مانده از جنگل‌های جلگه‌ای با مساحت ۳۶۸۲ هکتار در حوزه آبخیز شماره ۴۹ و در شهرستان نور واقع است که با توجه به لزوم حفاظت و جمع‌آوری اطلاعات دقیق از جمله تعیین ترکیب گونه‌ای درختان برای برنامه‌ریزی و مدیریت این جنگل‌ها، منطقه مورد مطالعه واقع در پارک جنگلی نور به‌عنوان نمونه انتخاب شد تا با جمع‌آوری یک سری زمانی از تصاویر پهپاد رنگی برای پوشش کامل فصل رشد، بهترین زمان برای شناسایی و تمایز درختان با استفاده از یک پنجره زمانی و با کمترین هزینه تعیین شود و علاوه بر این، دو سیستم تصویربرداری مجهز به سنجنده رنگی واقعی و چندطیفی با هم مقایسه شوند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پارک جنگلی نور با مساحت تقریبی ۵ هکتار به مرکز عرض جغرافیایی "۳۶° ۳۴' ۴۵" و طول جغرافیایی "۵۲° ۲۱' ۲۵" شرقی در ۵ کیلومتری جنوب‌شرق شهرستان نور در استان مازندران واقع شده است. منطقه تقریباً مسطح (حداکثر شیب ۵ درصد) و متوسط ارتفاع از سطح دریا ۲۰- متر است. با توجه به طبقه‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه، پارک جنگلی نور جز مناطق خیلی مرطوب با زمستان‌های ملایم می‌باشد. پوشش غالب منطقه درختان پهن‌برگ خزان‌کننده شامل بلوط بلندمازو، انجیلی، سفیدپلت، اوجا، توسکا و ممرز است. منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (الف)، استان مازندران (ب)، منطقه مورد مطالعه در جنگل نور (ج).

آماربرداری زمینی

جمع‌آوری داده‌های زمینی برای شناسایی درختان برای درختان اشکوب فوقانی که در موزاییک تصویر قابل مشاهده بودند، در خرداد ماه ۱۳۹۸ انجام شد. در طول برداشت زمینی نوع گونه و موقعیت درختان ثبت شد. به دلیل محدودیت دریافت سیگنال در زیر تاج درختان توسط گیرنده‌های سامانه موقعیت‌یاب جهانی، موقعیت هر درخت با روش آزیموت-فاصله ثبت شد. در مجموع ۲۰۹ درخت در منطقه مورد مطالعه به تفکیک ۳۷ درخت انجیلی، ۳۳ درخت سفیدپلت، ۴۸ درخت بلوط بلندمازو و ۹۱ درخت اوجا جهت تهیه واقعیت زمینی، مورد آماربرداری قرار گرفت (درختان ازگیل، زالزالک و پرتقال که در موزاییک تصویر قابل مشاهده بودند، در این بخش مورد مطالعه قرار نگرفتند).

تصویربرداری و پردازش تصاویر

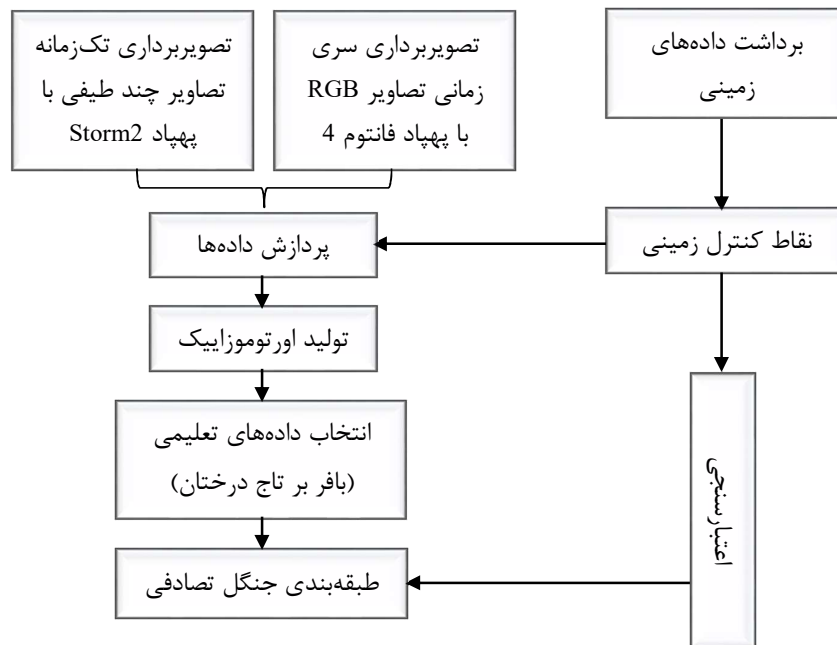
پرنده Phantom 4 pro با ویژگی‌هایی مانند سنجنده CMOS با وضوح ۲۰ مگاپیکسل (۵۴۷۲×۳۶۴۸) با قابلیت استفاده در کارهای مطالعاتی و برآورد ویژگی‌های تاج پوشش، نقشه‌برداری از منابع جنگلی و تنوع زیستی، برنامه‌ریزی مدیریت پایدار جنگل و نظارت و مدیریت بر آتش‌سوزی‌ها (Tiberiu *et al.*, 2016; Tinkham & Swayze, 2021) برای ثبت تصاویر رنگی واقعی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین پرنده Storm 2 با قابلیت پرواز در شرایط باد تا سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت با قابلیت نصب سنجنده سکویا پاروت به‌عنوان یک سنجنده توانمند چند طیفی (دریافت ۴ باند قرمز، سبز، آبی و مادون قرمز نزدیک) با وزن ۱۳۵ گرم، (GSD ۱۳ سانتی‌متر، خروجی عکس رنگی ۱۶ مگاپیکسل و سرعت یک شات در ثانیه برای ثبت تصاویر چندطیفی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲)).



شکل ۲. پهپاد Phantom 4 pro (راست) و پهپاد Storm 2 (چپ)

مساحت منطقه مورد مطالعه، تصویربرداری در هر تاریخ فقط با یک برداشت و به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد. تمامی تصاویر به دست آمده از فرآیند پرواز به صورت تک به تک مورد ارزیابی چشمی قرار گرفت و تصاویری که از کیفیت مناسب برخوردار نبودند از مراحل بعدی پردازش تصاویر حذف شدند (Brovkina et al., 2018). تصاویر باقی مانده در نرم افزارهای Agisoft metashape و Pix4Dmapper بازخوانی و پردازش شدند. هدف از پردازش تصاویر پهپاد تهیه موزاییک تصویر جهت شناسایی درختان بود. شناسایی گونه های مختلف درختان با استفاده از داده های رنگی واقعی (RGB) و چندطیفی در منطقه مورد مطالعه انجام شد. نمودار روند اجرای تحقیق در شکل (۳) نشان داده شده است.

در این مطالعه قبل از اجرای هر پروژه برداشت تصاویر، مسیر پرواز و نقاط کنترل زمینی^۱ مشخص گردید. به منظور ارتقا دقت هندسی نقشه های نهایی به دست آمده از تصاویر پهپاد از ۱۱ نقطه کنترل، قابل دید از بالای تاج پوشش، برای زمین مرجع کردن تصاویر در داخل منطقه مورد مطالعه استفاده شد. مختصات هر کدام از نقاط کنترل با استفاده از GPS-RTK مدل Gintec G10 برداشت شد. سپس برداشت تصاویر در شرایط یکسان تابش عمود نور آفتاب (ظهر) و نبود وزش باد در ارتفاع پرواز ۱۰۰ متر با همپوشانی طولی ۸۰ درصد و همپوشانی عرضی ۶۰ درصد صورت گرفت. تنظیمات مربوطه در هر تصویربرداری یکسان در نظر گرفته شد. با توجه به



شکل ۳. فلوجارت تحقیق

شناسایی گونه‌های درختی با استفاده از سری زمانی تصاویر رنگی واقعی و تصاویر چندطیفی پهپاد/۵

دی ماه ۱۳۹۹ در شرایط آفتابی و بدون وزش باد انجام شد (شکل ۴).

شناسایی درختان با استفاده از تصاویر رنگی واقعی

تصویربرداری با هدف شناسایی درختان در ۱۰ برداشت متفاوت در ارتفاع پرواز ۱۰۰ متر در بازه زمانی اسفند ۱۳۹۸ تا



شکل ۴. تصاویر زمانی از منطقه مورد مطالعه

مجموعه داده‌های آموزشی به‌طور تصادفی به ۱۰ زیرنمونه با مقدار یکسان تفکیک شدند. در هر مرحله از فرآیند، تعداد $K-1$ از این مجموعه‌ها به‌عنوان داده آموزشی و یک مجموعه به‌عنوان داده اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. برای دستیابی به مدل با صحت مناسب، این فرآیند ۱۰ بار تکرار شد (Nevalainen *et al.*, 2017). سپس از معیارهای صحت تولیدکننده^۱، صحت کاربر^۲، صحت کلی^۳ و ضریب کاپا برای ارزیابی روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی استفاده شد.

شناسایی درختان با استفاده از تصاویر چندطیفی

تصویربرداری با استفاده از پرنده استورم ۲ مجهز به سنجنده سکویا پاروت در ۲۴ خرداد ماه انجام شد. پس از تصویربرداری و تهیه موزاییک تصاویر در نرم‌افزار Pix4D، شناسایی درختان مطابق مراحل فوق انجام گردید. شاخص‌های رنگی واقعی برای هر دو سنجنده یکسان در نظر گرفته شد. لیست شاخص‌های مورد استفاده برای طبقه‌بندی در جدول (۱) ارائه شد.

بعد از پردازش تصاویر پهپاد و ایجاد موزاییک تصویر، نسبت‌گیری‌های بانندی و شاخص‌های پوشش گیاهی (جدول ۱) در نرم‌افزار Arcmap10.8 تهیه شدند. محدوده میانی تاج هر تک‌پایه از درختان با استفاده از یک بافر یک متری ترسیم و آماره‌هایی مانند میانگین، میانه، مد، دامنه و انحراف معیار برای هر درخت بر روی باندهای اصلی، نسبت‌های بانندی و شاخص‌های گیاهی محاسبه شدند. سپس طبقه‌بندی گونه‌های درختی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در محیط نرم‌افزار R(3.6.0) انجام گردید. پیش فرض تعداد درخت تصمیم ۵۰۰ بود که با آزمون و خطا بالاترین عملکرد با ۱۰۰ درخت تصمیم به‌دست آمد. همچنین کلیه درختان برداشت شده به‌عنوان داده آموزشی در نظر گرفته شدند. الگوریتم جنگل تصادفی در پکیج randomForest انجام شد. برای ارزیابی صحت نتایج الگوریتم‌های مذکور از روش اعتبارسنجی K-fold استفاده شد. به این صورت که مقدار K برابر ۱۰ در نظر گرفته شد و

1 Producer's accuracy
2 User's accuracy
3 Overall accuracy

جدول ۱. شاخص‌ها و باندهای استفاده شده برای طبقه‌بندی درختان

فرمول	باندها و شاخص‌ها	
-	Red	RGB Spectral
-	Blue	
-	Green	
G/R	GR	
R/B	RB	
(G-B)/(G+B)	NGB	Multi Spectral
(R-B)/(R+B)	NRB	
(NIR-R)/(NIR+R)	NDVI	
NIR-Green-1	CIgreen	
-	NIR	
-	Red-Edge	

نتایج

نتیجه شناسایی درختان با استفاده از تصاویر رنگی

واقعی

استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج جدول (۲) نشان داد تصاویر اواخر فروردین ماه با صحت کلی ۷۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۵۸ بیشترین مقدار صحت را ارائه دادند.

شناسایی درختان در این مطالعه ابتدا با تصاویر تک زمانه با

جدول ۲. ماتریس خطای طبقه‌بندی تصاویر تک زمانه با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی*

تاریخ	گونه	انجیلی	سفیدپلت	بلوط	اوجا	مجموع	صحت کاربر
۱۳۹۸/۱۰/۱۰	انجیلی	۱۶	۳	۴	۱۰	۳۳	۰/۴۸
	سفیدپلت	۰	۱۰	۵	۱۰	۲۵	۰/۴۰
	بلوط	۱	۲	۱۵	۱۵	۵۸	۰/۲۶
	اوجا	۳۴	۲۵	۵۹	۱۹۳	۳۱۱	۰/۶۲
	مجموع	۵۱	۴۰	۸۳	۲۲۸		صحت کلی = ۰/۴۴
	صحت تولیدکننده	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۸۵		کاپا = ۰/۲۱
۱۳۹۸/۱۲/۱۰	انجیلی	۲۰	۲	۳	۱۸	۴۳	۰/۴۷
	سفیدپلت	۱	۱۱	۱	۷	۲۰	۰/۵۵
	بلوط	۴	۱	۲۱	۱۴	۶۳	۰/۳۳
	اوجا	۲۶	۲۶	۵۸	۱۸۹	۲۹۹	۰/۶۳
	مجموع	۵۱	۴۰	۸۳	۲۲۸		صحت کلی = ۰/۵۰
	صحت تولیدکننده	۰/۳۹	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۸۳		کاپا = ۰/۲۶
۱۳۹۸/۱۲/۲۰	انجیلی	۱۳	۱	۸	۱۱	۳۳	۰/۳۹
	سفیدپلت	۱	۹	۲	۵	۱۷	۰/۵۳
	بلوط	۱۰	۸	۳۴	۱۴	۵۰	۰/۶۸
	اوجا	۲۷	۲۲	۳۹	۱۹۸	۲۸۶	۰/۶۹
	مجموع	۵۱	۴۰	۸۳	۲۲۸		صحت کلی = ۰/۵۷
	صحت تولیدکننده	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۸۷		کاپا = ۰/۳۳
۱۳۹۹/۱۰/۱۰	انجیلی	۱۶	۴	۴	۱۰	۳۳	۰/۳۹
	سفیدپلت	۲	۷	۲	۴	۱۷	۰/۵۳
	بلوط	۹	۱	۴۵	۲۱	۵۰	۰/۶۸
	اوجا	۲۴	۲۸	۳۲	۱۹۳	۲۸۶	۰/۶۹
	مجموع	۵۱	۴۰	۸۳	۲۲۸		صحت کلی = ۰/۶۴
	صحت تولیدکننده	۰/۳۱	۰/۱۸	۰/۵۴	۰/۸۵		کاپا = ۰/۳۷
۱۳۹۹/۱۰/۲۵	انجیلی	۲۲	۰	۶	۵	۳۳	۰/۶۷
	سفیدپلت	۱	۲۹	۱	۴	۳۵	۰/۸۳
	بلوط	۳	۰	۵۱	۱۸	۶۸	۰/۷۵
	اوجا	۲۵	۱۱	۲۵	۲۰۱	۲۶۲	۰/۷۷
	مجموع	۵۱	۴۰	۸۳	۲۲۸		صحت کلی = ۰/۷۵
	صحت تولیدکننده	۰/۴۳	۰/۷۳	۰/۶۱	۰/۸۸		کاپا = ۰/۵۸

شناسایی گونه‌های درختی با استفاده از سری زمانی تصاویر رنگی واقعی و تصاویر چندطیفی پهپاد/۷

۰/۵۷	۳۷	۱۳	۲	۱	۲۱	انجیلی	۱۳۹۹/۰۳/۲۴
۰/۸۵	۲۶	۲	۱	۲۲	۱	سفیدپلت	
۰/۷۲	۶۳	۱۸	۶۵	۴	۳	بلوط	
۰/۷۸	۲۴۹	۱۹۵	۱۵	۱۳	۲۶	اوجا	
کلی = ۷۳٪ صحت		۲۲۸	۸۳	۴۰	۵۱	مجموع	
۰/۵۷=کاپا		۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۵۵	۰/۴۱	صحت تولیدکننده	
۰/۵۴	۲۴	۷	۴	۰	۱۳	انجیلی	۱۳۹۹/۰۶/۱۶
۰/۶۵	۲۳	۶	۱	۱۵	۱	سفیدپلت	
۰/۳۸	۴۷	۱۷	۱۸	۱	۶	بلوط	
۰/۶۳	۳۱۳	۱۹۸	۶۰	۲۴	۳۱	اوجا	
کلی = ۵۵٪ صحت		۲۲۸	۸۳	۴۰	۵۱	مجموع	
۰/۲۵=کاپا		۰/۸۷	۰/۲۲	۰/۳۸	۰/۲۵	صحت تولیدکننده	
۰/۴۴	۲۷	۸	۶	۱	۱۲	انجیلی	۱۳۹۹/۰۷/۱۲
۰/۴۲	۱۹	۷	۳	۸	۱	سفیدپلت	
۰/۲۶	۴۶	۲۱	۱۲	۲	۱۱	بلوط	
۰/۶۲	۳۱۰	۱۹۲	۶۲	۲۹	۲۷	اوجا	
کلی = ۴۴٪ صحت		۲۲۸	۸۳	۴۰	۵۱	مجموع	
۰/۲۹=کاپا		۰/۸۴	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۲۴	صحت تولیدکننده	
۰/۶۳	۳۵	۱۱	۲	۰	۲۲	انجیلی	۱۳۹۹/۰۸/۰۶
۰/۷۱	۲۴	۴	۳	۱۷	۰	سفیدپلت	
۰/۴۷	۵۹	۱۶	۲۸	۳	۳	بلوط	
۰/۶۷	۲۹۳	۱۹۷	۵۰	۲۰	۲۶	اوجا	
کلی = ۶۲٪ صحت		۲۲۸	۸۳	۴۰	۵۱	مجموع	
۰/۳۷=کاپا		۰/۸۶	۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۴۳	صحت تولیدکننده	
۰/۷۶	۳۴	۵	۲	۱	۲۶	انجیلی	۱۳۹۹/۰۹/۰۴
۰/۷۱	۳۴	۷	۳	۲۴	۰	سفیدپلت	
۰/۳۸	۶۸	۱۴	۲۶	۵	۴	بلوط	
۰/۷۱	۲۸۵	۲۰۲	۵۲	۱۰	۲۱	اوجا	
کلی = ۶۴٪ صحت		۲۲۸	۸۳	۴۰	۵۱	مجموع	
۰/۴۴=کاپا		۰/۸۹	۰/۳۱	۰/۶۰	۰/۵۱	صحت تولیدکننده	
۰/۴۲	۲۴	۱۰	۴	۰	۱۰	انجیلی	۱۳۹۹/۰۹/۰۹
۰/۷۱	۲۸	۱	۷	۲۰	۰	سفیدپلت	
۰/۸۳	۵۲	۱۷	۴۳	۹	۱۰	بلوط	
۰/۷۴	۲۷۱	۲۰۰	۲۹	۱۱	۳۱	اوجا	
کلی = ۶۷٪ صحت		۲۲۸	۸۳	۴۰	۵۱	مجموع	
۰/۴۴=کاپا		۰/۸۸	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۲۰	صحت تولیدکننده	

* محور عمودی واقعیت زمینی و محور افقی طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

به عنوان انجیلی یا بلوط شناسایی نشدند، درحالی‌که ۱۰ پایه به اشتباه درخت اوجا شناسایی شدند. بیشترین مقدار صحت کاربر مربوط به درخت سفیدپلت و بیشترین مقدار صحت تولیدکننده برای درختان اوجا به ترتیب با مقادیر صحت ۹۱ و ۹۲ درصد به‌دست آمد.

نتایج مربوط به سری زمانی اخذ شده از تصاویر رنگی واقعی پهپاد نشان داد که صحت کلی تا مقدار ۸۶ درصد ارتقاء پیدا کرده است.

چنانچه در جدول (۳) قابل مشاهده است درختان انجیلی، سفیدپلت و بلوط به اشتباه به‌عنوان درخت اوجا شناسایی شده‌اند. برای ۴۰ پایه درخت سفیدپلت، هیچ درختی به اشتباه

جدول ۳. ماتریس خطای سری زمانی تصاویر رنگی واقعی با استفاده از طبقه‌بندی جنگل تصادفی*

گونه	انجیلی	سفیدپلت	بلوط	اوجا	مجموع	صحت کاربر
انجیلی	۲۵	۰	۲	۶	۳۳	۰/۷۶
سفیدپلت	۰	۳۰	۱	۲	۳۳	۰/۹۱
بلوط	۴	۰	۶۴	۱۰	۶۶	۰/۹۷
اوجا	۲۲	۱۰	۱۶	۲۱۰	۲۵۸	۰/۸۱
مجموع	۵۱	۴۰	۸۳	۲۲۸	۸۶٪ صحت کلی	
صحت تولیدکننده	۰/۴۹	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۹۲		۰/۰۷=کاپا

* محور عمودی واقعیت زمینی و محور افقی طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

نتیجه شناسایی درختان با استفاده از تصاویر چندطیفی

داده‌های چندطیفی تک زمانه با صحت بالای ۸۵ درصد قادر به شناسایی ۴ گونه درختی در منطقه مورد مطالعه بود. ماتریس خطا نشان‌دهنده تشخیص بالای درختان سفیدپلت و

بلوط نسبت به درختان انجیلی و اوجا می‌باشد (جدول ۴). گونه سفیدپلت دارای بالاترین صحت کاربر و گونه اوجا دارای بالاترین صحت تولیدکننده می‌باشد.

جدول ۴. ماتریس خطای تصاویر چندطیفی سنجنده سکویا با استفاده از طبقه‌بندی جنگل تصادفی*

گونه	انجیلی	سفیدپلت	بلوط	اوجا	مجموع	صحت کاربر
انجیلی	۱۴	۰	۰	۴	۱۸	۰/۷۸
سفیدپلت	۱	۳۱	۰	۱	۳۳	۰/۹۴
بلوط	۹	۰	۴۷	۷	۵۱	۰/۹۲
اوجا	۲۷	۹	۳۶	۲۱۶	۲۸۸	۰/۷۵
مجموع	۵۱	۴۰	۸۳	۲۲۸	۸۵٪ صحت کلی	
صحت تولیدکننده	۰/۲۷	۰/۷۸	۰/۵۷	۰/۹۵		۰/۶۵=کاپا

* محور عمودی واقعیت زمینی و محور افقی طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

پیشرفت فناوری با ارایه اطلاعات دقیق در سطح شناسایی تک‌درخت در جنگل، می‌تواند تحولی در جنگلداری دقیق ایجاد نماید. این پژوهش به این سوال پرداخت که چه زمان و چگونه باید از سیستم هوایی بدون سرنشین استفاده شود تا بتوان به شکلی موثر گونه‌های درختی خزان‌کننده را از هم تشخیص داد. بنابراین یک سری زمانی از تصاویر پهپاد رنگی واقعی با وضوح بالا برای پوشش دادن فصل رشد جمع‌آوری شد تا بهترین زمان برای شناسایی و تمایز درختان با استفاده از یک پنجره زمانی تعیین شود. علاوه بر این، دو سیستم تصویربرداری مجهز به سنجنده رنگی واقعی و چندطیفی با هم مقایسه شد. ارتفاع پرواز، درصد همپوشانی و شرایط آب و هوایی و زمان پرواز در همه تصویربرداری‌ها یکسان در نظر گرفته شد.

است. مزایای چنین سری‌های زمانی برای شناسایی گونه‌ها بر اساس قابلیت تمایز طبقه‌بندی درختان از طریق تفاوت طیفی و تفاوت فنولوژی بین درختان بلوط، سفیدپلت، انجیلی و اوجا است. تصاویر چند زمانه، با توجه به نشان دادن تغییر رنگ تاج درختان در فصول مختلف همراه با درصد بالای صحت تمایز درختان برای شناسایی آنها است، چرا که تمایز اختلافات طیفی در بین طبقات مشابه درختان با استفاده از یک تصویر تک‌زمانه، مشکل و با کاهش مقدار صحت همراه است (Zhang et al., 2019). در این تحقیق مشخصات اصلی فنولوژیکی ۴ گونه موجود با استفاده از سری زمانی به صورت کامل پوشش داده شد (درختان بلوط کهن‌سال با تاج گسترده و رنگ سبز مخملی که در فصل پاییز متمایل به رنگ قهوه‌ای می‌شود. درختان اوجا دارای تاج کوچک‌تر که در هنگام خزان سایر درختان به بذر می‌نشیند و در موزاییک تصاویر کاملاً سبز مشاهده می‌شوند. برگ درختان انجیلی که در فصل پاییز با رنگ متمایز نارنجی متمایل به قرمز خزان می‌کند و در نهایت سفیدپلت که رنگ روشن تاج آن کاملاً در موزاییک تصاویر قابل مشاهده است).

همان گونه که نتایج جدول (۳) نشان داد، استفاده از سری زمانی تصاویر منجر به شناسایی درختان با صحت بالای ۸۶ درصد بود که قابل مقایسه با نتایج Lisein و همکاران (۲۰۱۵)

شناسایی گونه‌های درختی با استفاده از سری زمانی تصاویر رنگی واقعی و تصاویر چندطیفی پهپاد/۹

تک‌زمانه چندطیفی (۸۵ درصد) قابل مقایسه با نتایج حاصل از سری زمانی تصاویر RGB (۸۶ درصد) است که با نتایج Ahmed و همکاران (۲۰۱۷) و Franklin و Ahmed (۲۰۱۷) نیز مطابقت دارد که در تحقیق خود با استفاده از سنجنده چندطیفی سکویا پاروت، طبقه‌بندی درختان را با صحت ۸۹ درصد انجام دادند. درحالی‌که با استفاده از سنجنده RGB میزان صحت ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش پیدا کرد. Franklin و Ahmed (۲۰۱۷) نیز طبقه‌بندی ۴ درخت خزان‌کننده را با استفاده از سنجنده چندطیفی، با صحت ۷۸ درصد برآورد کردند.

نتایج این تحقیق نشان داد تصاویر تک‌زمانه رنگی واقعی پهپاد ابزاری امیدوارکننده برای تعیین گونه‌های جنگلی با صحت طبقه‌بندی ۷۵ درصد در پنجره زمانی اواخر فروردین است. اگرچه نتایج مربوط به طبقه‌بندی سری زمانی با صحت ۸۶ درصد و تصاویر چندطیفی تک‌زمانه در خرداد ماه با صحت ۸۵ درصد، دقت بالاتری را در شناسایی گونه‌های جنگلی ارائه دادند، اما با توجه به هزینه سنجنده چندطیفی و عدم دسترسی آسان به آن و زمان‌بر بودن و مقرون به صرفه نبودن جمع‌آوری سری زمانی تصاویر رنگی واقعی، ارزش تصاویر تک‌زمانه بهینه پیش از پیش نمایان می‌شود. در نهایت استفاده از تصاویر پهپاد کم هزینه در کنار محدودیت‌های قانونی و نظارتی، محیط‌زیستی و سیستمی می‌تواند ابزاری امیدوارکننده در نقشه‌برداری خودکار درختان جهت نظارت بر تنوع زیستی و ارزیابی منابع جنگلی باشد.

منابع

- Ahmed, O.S., Shemrock, A., Chabot, D., Dillon, C., Williams, G., Wasson, R. and Franklin, S.E. (2017) Hierarchical land cover and vegetation classification using multispectral data acquired from an unmanned aerial vehicle. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8–10): 2037–2052. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1294781/>
- Asner, G.P. (2001) Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18): 3855–3862. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/01431160010006926/>
- Ballanti, L., Blesius, L., Hines, E. and Kruse, B. (2016) Tree species classification using hyperspectral imagery: A comparison of two

بر اساس نتایج جدول (۲)، تصویربرداری در زمان سبز شدن برگ‌های درختان یعنی اواخر فروردین ماه با صحت کلی ۷۵ درصد مناسب‌ترین پنجره زمانی برای تمایز درختان بود که با نتایج Lisein و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. اگرچه نتایج سری زمانی تصاویر پهپاد برای شناسایی درختان به دلیل نشان دادن تغییرات فنولوژیکی در فصول مختلف مانند تغییر رنگ تاج درختان دارای صحت کلی بالاتری می‌باشد، اما با توجه به مشکلات تصویربرداری با پهپاد (اخذ مجوز پرواز، خطر سقوط پهپاد، هزینه‌های پرواز، از دست دادن زمان مناسب پرواز به دلیل ابری بودن، بارندگی و غیره)، اکثر مواقع امکان تصویربرداری در یک دوره رویشی کامل وجود ندارد. تفاوت فنولوژی درختان جنگلی در اوایل بهار و اواخر پاییز حداکثر است. در واقع تفاوت‌های فنولوژیک بین گونه‌ها و تغییرات طیفی در کلاس‌های درختان نتیجه طبقه‌بندی را افزایش می‌دهد (Lisein *et al.*, 2015).

در منطقه مورد مطالعه، در اوایل فصل رویش، تاج درختان سفیدپلت معمولاً دارای رنگ‌های روشن و منحصر به فرد است. درخت بلوط دارای رنگ تیره‌تر و دو گونه اوجا و انجیلی دارای رنگ سبز روشن هستند. بنابراین با توجه به تفاوت‌های ذکر شده، عملکرد بسیار مطلوبی از نظر دقت طبقه‌بندی به خصوص در مورد شناسایی سفیدپلت مشاهده شد که می‌تواند با رنگ تاج متفاوت آن از گونه‌های دیگر توجیه می‌شود (Kuzmin *et al.*, 2017; Rominger & Meyer, 2019; Sadeghi & Sohrabi, 2018). بیشترین خطا در طبقه‌بندی تک‌درختان مربوط به درختان انجیلی و اوجا بود. دو گونه درختی اوجا و انجیلی دارای شباهت ظاهری از نظر رنگ و بافت هستند که می‌تواند باعث همپوشانی الگوی طیفی آنها شود. موارد دیگر مانند زاویه تابش خورشید، تاریخ و روز تصویربرداری نیز می‌تواند بر خطای طبقه‌بندی تاثیر گذارد (Ballanti *et al.*, 2016). اما مهمترین دلیل شناسایی سایر درختان به‌عنوان گونه اوجا مربوط به عدم توازن در داده‌های ورودی و متعادل نبودن تعداد درختان در کلاس‌های مختلف است (Nevalainen *et al.*, 2017). زیرا بیشتر داده‌های ورودی را درختان اوجا تشکیل می‌داد که این نیز می‌تواند بر روی داده‌های تعلیمی و ارزیابی عملکرد تاثیر گذارد.

نتایج حاصل از شناسایی درختان با استفاده از تصویر

- <https://doi.org/10.5721/EuJRS20164914/>
- Lisein, J., Michez, A., Claessens, H. and Lejeune, P. (2015) Discrimination of deciduous tree species from time series of unmanned aerial system imagery. *PLoS ONE*, 10(11): 1–20. Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141006/>
- Miraki, M., Sohrabi, H., Fatehi, P. and Kneubuehler, M. (2020) Comparison of machine learning algorithms for broad leaf species classification using UAV-RGB images. *Journal of Geomatics Science And Technology*, 10(2): 1–10. Retrieved from <http://jgst.issge.ir/article-1-926-fa.html/>
- Nevalainen, O., Honkavaara, E., Tuominen, S., Viljanen, N., Hakala, T., Yu, X., Hyyppä, J., Saari, H., Pölonen, I., Imai, N. and Tommaselli, A. (2017) Individual Tree Detection and Classification with UAV-Based Photogrammetric Point Clouds and Hyperspectral Imaging. *Remote Sensing*, 9(3): 185–185. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs9030185/>
- Nex, F. and Remondino, F. (2014) UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics journal*, 6(1): 1–15. Springer Verlag. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x/>
- Rominger, K. and Meyer, S. (2019) Application of UAV-based methodology for census of an endangered plant species in a fragile habitat. *Remote Sensing*, 11(6): 719–719. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs11060719/>
- Sadeghi, S. and Sohrabi, H. (2018) Tree species discrimination using RGB vegetation indices derived from UAV images. *UAV Small Unmanned Aerial System for Environmental Research-6th Edition*, 1: 5–5.
- Tiberiu, P.B., Gheorghe, F.B. and Constantin, B. (2016) The use of drones in forestry. *Journal of Environmental Science and Engineering B*, 5(11): 557–562. Retrieved from <https://doi.org/10.17265/2162-5263/2016.11.007/>
- Tinkham, W.T. and Swayze, N.C. (2021) Influence of agisoft metashape parameters on UAS structure from motion individual tree detection from canopy height models. *Forests*, 12(2): 250–250. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/F12020250/>
- Weil, G., Lensky, I., Resheff, Y., Levin, N., Weil, G., Lensky, I.M., Resheff, Y.S. and Levin, N. (2017) Optimizing the timing of unmanned aerial vehicle image acquisition for applied mapping of woody vegetation species using feature selection. *Remote Sensing*, 9(11): 1130. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs9111130/>
- classifiers. *Remote Sensing*, 8(6): 445–445. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs8060445/>
- Boyd, D.S. and Danson, F.M. (2005) Satellite remote sensing of forest resources: Three decades of research development. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 29(1): 1–26. Retrieved from <https://doi.org/10.1191/0309133305pp432ra/>
- Brovkina, O., Cienciala, E., Surový, P. and 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. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1416994/>
- Esmkhani, A., Erfanifard, S.Y., Bolorani, A.D. and Samany, N.N. (2022) Species identification of Pistacia and Amygdalus individuals using combination of UAV-based RGB imagery analysis and digital surface model. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 29(3): 93–111. Retrieved from <https://doi.org/10.22069/JWFST.2022.20676.1986/>
- Ferreira, M.P., Féret, J.-B., Grau, E., Gastellu-Etchegorry, J.-P., do Amaral, C.H., Shimabukuro, Y.E. and de Souza Filho, C.R. (2018) Retrieving structural and chemical properties of individual tree crowns in a highly diverse tropical forest with 3D radiative transfer modeling and imaging spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, 211, 276–291. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2018.04.023/>
- Franklin, S.E. and Ahmed, O.S. (2017) Deciduous tree species classification using object-based analysis and machine learning with unmanned aerial vehicle multispectral data, 39(15–16): 5236–5245. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1363442/>
- Hernandez-Santin, L., Rudge, M., Bartolo, R., Erskine, P., Hernandez-Santin, L., Rudge, M.L., Bartolo, R.E. and Erskine, P.D. (2019) Identifying species and monitoring understorey from UAS-Derived data: A literature review and future directions. *Drones*, 3(1): 9–9. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/drones3010009/>
- Kuzmin, A., Korhonen, L., Manninen, T. and Maltamo, M. (2017) Automatic Segment-Level Tree Species Recognition Using High Resolution Aerial Winter Imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 7254, 238–259. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/17447627.2017.1363442/>

International Journal of Remote Sensing,
40(24): 9541–9555. Retrived from
<https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1633702/>

Retrived from
<https://doi.org/10.3390/rs9111130/>
Zhang, M., Gong, P., Qi, S., Liu, C. and Xiong, T.
(2019) Mapping bamboo with regional
phenological characteristics derived from dense
Landsat time series using Google Earth Engine.

Identification of tree species using true color time series and drone multispectral images

Mojdeh Miraki¹, Hormoz Sohrabi^{2*}

- 1) Ph.D. Graduated of Forest Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2) Associate Professor of Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Corresponding Author Email Address: hsohrabi@modares.ac.ir

Date of Submission: 2023/09/28

Date of Acceptance: 2023/12/06

Abstract

Accurate information about the tree composition of a forest is required for many forest monitoring and conservation purposes. In recent years, the use of modern remote sensing methods and techniques based on unmanned vehicles have been used to regularly update information in the forest. In this research, different data sources including multi-spectral images (Storm drone) and real color images (Phantom drone) with very high spatial resolution in the forest plains of Noor City located in Mazandaran province were used to identify tree species. Also, imaging was performed in a growing season to prepare a time series of UAV-RGB images and investigating the effect of tree crown phenological changes on the classification accuracy level. To classify and identify forest species, calculating indices based on true color images such as NRB and NGB, multispectral indices such as C_Igreen and NDVI, raw bands, and random forest classification method were used. Based on single-time images, the images of the end of April with an overall accuracy of 75% provided the highest overall accuracy. The results related to time series images also identified trees with 86% accuracy. Also, species identification based on multispectral images obtained from the Sequoia sensor also provided 85% accuracy. The results showed that the single-time image with imaging at the right time using a drone equipped with an RGB sensor, compared to taking a time series and using drones equipped with multispectral sensors, has acceptable and less expensive results for tree recognition in the study area.

Keywords: Classification, Multispectral Images, Phenology Random forest algorithm, RGB Images.