دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

تشخیص تنش گیاهی در عرصه‌های جنگل‌کاری با استفاده از سنجنده نور مرئی پهپاد (پژوهش موردی: طرح جنگلداری نکاظالمرود)

علیرضا حسین پور[۱]، جعفر اولادی[۲]، حسن اکبری[۳] و محمدرضا سراجیان[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، (نویسنده مسوول: arhoseinpour88@gmail.com)
۲ و ۳- دانشیار و استادیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۴- استاد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۲
صفحه: ۲۰ تا ۲۸

چکیده

استفاده از پهپادهای بسیار سبک و ارزان‌قیمت در تشخیص سلامت جنگل‌کاری‌ها و شناسایی تنش برگ نهال‌ها می‌تواند مانع گسترش آفات و بیماری‌ها شود. دوربین‌های چند طیفی بویژه محدوده مادون قرمز، کارایی خوبی در این زمینه دارند، اما گران هستند. در این تحقیق از پهپاد عمودپرواز چهار موتوره بسیار سبک دارای دوربین ۱۲ مگاپیکسل محدوده نور مرئی استفاده شد و جهت تشخیص تنش برگ نهال‌های جنگل‌کاری خالص افرا پلت، خالص بلوط و مخلوط آنها در نه منطقه یک الی سه هکتاری استفاده شد و پرواز در ارتفاع ٤٠، ۷۰ و ۱۰۰ متر انجام شد تا کارایی پهپادهای سبک و ارزان قیمت جهت تشخیص تنش برگ درختان جنگل‌کاری بررسی گردد. طرح پرواز به صورت مسیرهایی با پوشش مشترک عرضی ۷۵ درصد و پوشش مشترک طولی ۸۰ درصد طراحی شد. طبقه‌بندی تصاویر به روش‌های نظارت‌شده شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان، بیشینه شباهت و فاصله ماهالانوبیس صورت گرفت و ۲۵ درصد نمونه‌های واقعیت زمینی برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده شد. بارزسازی تصویر به روش اشباع رنگ انجام پذیرفت. در این مطالعه برخی شاخص‌های گیاهی محدوده نور مرئی نظیر شاخص گیاهی (NGRDI) و (EXG) کارایی زیادی برای تشخیص تنش برگ درختان و نهال‌ها نشان داد. همچنین ضریب جفریز-ماتوسیتا ۱/۸۱ الی ۱/۹۷ و ضریب واگرایی‌تبدیل‌شده ۱/۸۷ الی ۱/۹۸ بدست آمد. صحت کلی طبقه‌بندی تصاویر به روش ماشین بردار پشتیبان که بهترین روش در این تحقیق بود، ۸۳ الی ۹٦/۷ درصد برای کل نمونه‌ها و ضریب کاپا ۰/۸۹ الی ۰/۹۸ بدست آمد. این تحقیق قابلیت دوربین‌های محدوده نور مرئی نصب‌شده بر روی پهپاد را در تشخیص تنش برگ درختان نشان می‌دهد. بهترین ارتفاع پرواز بین ۷۰ الی ۱۰۰ متر می‌باشد و استفاده از روش‌های بارزسازی تصاویر بویژه روش اشباع رنگ و شاخص‌های گیاهی محدوده طیف نور مرئی نظیر شاخص گیاهی (NGRDI) و (EXG) برای تشخیص تنش برگ کارایی این تصاویر را افزایش می‌دهد. طراحی سیستم تصویربرداری اتوماتیک متناسب با تغییرات ارتفاعی سطح تاج درختان جهت ممانعت از کاهش سطح همپوشانی حداقل، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیماری، نهال‌کاری، هواپیمای‌بدون‌سرنشین، شاخص گیاهی

مقدمه

جنگل‌ها نقش مهمی در زندگی انسان‌ها ایفا می‌کنند و خدمات فراوانی را به ما ارائه می‌دهند از جمله این خدمات، تولید اکسیژن و آب است که در فرایند فتوسنتز در برگ گیاهان صورت می‌گیرد در نتیجه، سلامت برگ درختان توده‌های جنگلی و عرصه‌های جنگل‌کاری اهمیت زیادی دارد. عوامل مختلفی نظیر انواع قارچ‌ها، باکتری‌ها، حشرات، خشک‌سالی و شدت زیاد نور خورشید سلامت برگ درختان را به خطر می‌اندازد و تاثیراتی نظیر خشک شدن و تغییر رنگ برگ درختان را موجب می‌شود. بدیهی است آگاهی از تنش برگ نهال‌ها و میزان پیشرفت آن، نقش مهمی در کنترل آن ایفا می‌کند. سال‌هاست که آفات و بیماری‌های جنگل نظیر شب پره شمشاد و یا زوال جنگل‌های بلوط و غیره، آینده جنگل‌های کشور را دچار مخاطره کرده است و آمار و نقشه‌های بروز و دقیقی از میزان پیشرفت انواع آفات جنگل در دست نیست. آگاهی از زمان و مکان ظهور آفات و بیماری‌های جنگل نقش مهمی در کنترل آن دارد و نیاز به ابزاری که ضمن انعطاف زمانی و مکانی کافی، کیفیت و کارایی لازم در پایش سلامت توده‌های جنگلی و جنگل‌کاری‌ها را داشته باشد، ضروری است. یکی از فنون تشخیص بیماری و تنش برگ درختان، استفاده از فناوری سنجش از دور است. برای این منظور می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای و یا هواپیماهای سرنشین‌دار[۱] و یا پرنده‌های هدایت‌شونده از راه دور (پهپاد)[۲] استفاده نمود. استفاده از پهپاد نسبت به ابزارهای دیگر مزیت‌هایی دارد برای مثال تحقیقات برنی و همکاران (۱) با استفاده از پهپاد نشان داد که محدودیت‌های بسیار مهمی نظیر عدم قابلیت تصویربرداری سریع، زمان‌بندی دلخواه و متناوب و همچنین عدم تفکیک مکانی و طیفی بسیار بالا در ماهواره‌ها وجود دارد و تشخیص تنش‌های گیاهی با این ابزار کاملا کارآمد نیست و استفاده از هواپیماهای سرنشین‌دار نیز پر هزینه است. فناوری‌های جدید، تولید پهپادها را مقدور ساخته است بطوریکه می‌تواند بسیاری از محدودیت‌های مطرح شده را مرتفع سازد. رنگو و همکاران (۱۲) یکی از مزیت‌های پهپاد را توانایی پرواز و تصویربرداری در تمام ساعات شبانه‌روز و در شرایط جوی مختلف حتی بارندگی ملایم اعلام نمودند. هانت و همکاران (۸) دقت تصویربرداری زیاد را از خصوصیات مهم آن عنوان نمودند. تصویربرداری در جهات مختلف، توانایی تغییر سریع ارتفاع و پرواز هوشمند بین‌موانع و زیرتاج درختان از دیگر مزایای آن می‌باشد. سنسورهای تجاری ارزان قیمت موجود، مانند دوربین‌های محدوده طیف نور مرئی، برای استفاده در پهپادها،

1- Manned Vehicle
2- Unmanned Aerial Vehicle (*UAV*)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1398.7.13.8.0]
[DOI: 10.29252/ifej.7.13.20]

بسیار مناسب هستند، اما قابلیت اطمینان آنها هنوز هم نیاز به تایید دقت دارد (۲). از نظر قدرت تفکیک مکانی و کیفیت تصویر، تصاویر وب‌سایت گوگل دقت کمتری نسبت به تصاویر پهپاد دارد (۳).

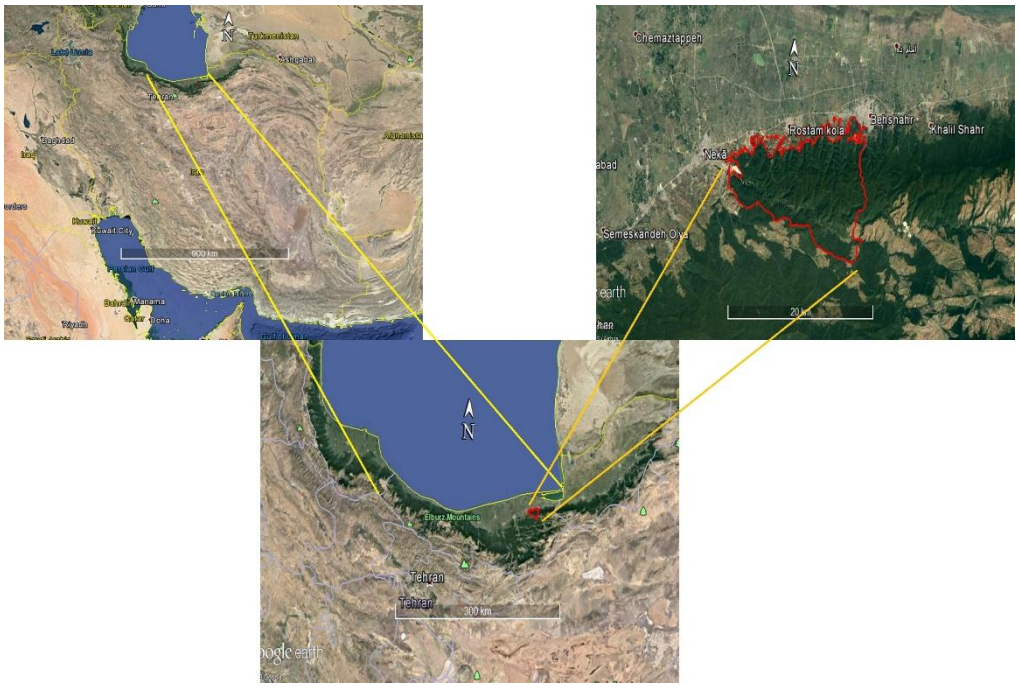
هانت و همکاران (۷) با استفاده از شاخص گیاهی NGRDI[1] بدست آمده از تصاویر هواپیماهای بدون سرنشین بال‌ثابت نتیجه گرفتند این شاخص گیاهی که مخصوص طیف نور مرئی است، در تشخیص میزان اختلاف نیتروژن گیاهان کاربردی ندارد، ولی از آن می‌توان در تفکیک زی‌توده[2] استفاده نمود. کورنفورث و همکاران (۳) با استفاده از پهپاد و فناوری لیدار، نشان دادند نقاط خالی ساختار ارتفاعی توده، ناشی از عدم موفقیت جنگل‌کاری است و قسمت‌های دارای ارتفاع کمتر، نشان‌دهنده رشد کمتر نسبت به قسمت‌های دیگر است و برای تشخیص بیماری‌ها در نهالکاری‌ها از طول موج مادون قرمز حرارتی می‌توان استفاده نمود. نتایج تحقیقات گونزالث و همکاران (۵) نشان داد که با استفاده از دوربین‌های حرارتی و تصویربرداری هوایی می‌توان تغییرات حرارت داخلی تاج را که ناشی از تنش آبی است، تشخیص داد. نتایج تحقیقات تجادا و همکاران (۱۳) نشان داد برای تشخیص میزان تنش در گیاهان می‌توان از پهپاد و دوربین‌های چندطیفی محدوده طول موج کوتاه و بلند به علت دقت بالای اطلاعات دریافتی استفاده نمود. همچنین نتایج تحقیقات جانوئرا و همکاران (۹) نشان داد که تصاویر و شاخص گیاهی طیف مرئی نور برای محاسبه زی‌توده سطح زمین مناسب و دارای صرفه اقتصادی می‌باشد و برخلاف شاخص‌های گیاهی مبتنی بر باند مادون قرمز نزدیک، در زمینه شاخص‌های گیاهی (VIs)[3] حاصل از محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس تحقیقات کمی صورت گرفته است.

امروزه پهپادهای تجاری ارزان قیمت با دوربین‌هایی با کیفیت وارد بازار می‌شود و در صورت تایید قابلیت آن در تشخیص تنش برگ، از این فناوری می‌توان به‌صورت فراگیر در پایش جنگل‌کاری و سلامت توده استفاده نمود و تجهیز طرح‌های حفاظت فنی جنگل‌ها می‌تواند نقش مهمی در پیشگیری از شیوع آفات و بیماری‌های جنگل ایفا نماید. این تحقیق، قابلیت تشخیص تنش برگ با استفاده از دوربین‌های محدوده طیف نور مرئی پهپاد را برای اولین بار در بخش سه طرح جنگل‌داری نکاظالمرود بررسی می‌نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنگل‌های بخش سه طرح جنگلداری نکاظالمرود واقع در جنگل‌های شمال کشور در استان مازندران و شرق رودخانه تجن منطقه مورد پژوهش می‌باشد. این منطقه در زون شماره ۳۹ و در محدوده ۶۹۲۷۶۳ الی ۷۳۲۳۶۷ شمالی و ۴۰۳۲۳۱۲ الی ۴۰۶۱۰۴۶ شرقی قرار دارد. وسعت منطقه مورد مطالعه ۱۵۳۰۰ هکتار و در محدوده ارتفاعی ۳۹ الی ۸۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد که از منطقه جلگه‌ای تا میان‌بند امتداد دارد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران
Figure 1. Location of the study area in Mazandaran Province

1- Normalized green-red difference index 2- Biomass 3- Visible Index

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1398.7.13.8.0]
[DOI: 10.29252/ifej.7.13.20]

مواد

در این تحقیق برای جمع‌آوری داده‌ها جهت بررسی تنش برگ درختان جنگل‌کاری شده با گونه‌های جنگلی افرا و بلوط، از پهپاد عمودپرواز استفاده شد. غالب جنگل‌کاری‌های منطقه مورد مطالعه با گونه‌های افرا و بلوط بوده و در این تحقیق، تنش برگ این دو گونه جنگلی در عرصه‌های جنگل‌کاری بررسی شد. برای این منظور، سه منطقه جنگل‌کاری ۱۰ ساله خالص افرا، سه منطقه جنگل‌کاری ۱۰ ساله خالص بلوط و سه منطقه جنگل‌کاری ۱۰ ساله مخلوط افرا و بلوط با مساحتی حدود یک الی سه هکتار برای هر نمونه بررسی گردید. در این مطالعه منطقه جنگل‌کاری مخلوط افرا و بلوط که دارای درختانی سالم و بدون تنش بود به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. پهپادهای عمودپرواز توانایی نزدیک شدن به تاج درختان و بررسی آنها را بهتر از مدل‌های بال‌ثابت دارند به همین علت، از پهپاد عمودپرواز چهار موتوره مدل فانتوم سه پروفشنال[1] و دارای دوربین ۱۲/۷ مگاپیکسل Sony Exmor استفاده شد که توانایی تصویربرداری در طول موج ۰/۴ الی ۰/۷ میکرومتر (باندهای آبی، سبز و قرمز) را داشت و تصاویری با اندازه پیکسل ۴/۲ سانتی‌متر در ارتفاع پرواز ۱۰۰ متر تولید نمود. دوربین این پهپاد با کاهش ارتفاع به ۴۰ متر، تصاویری با قدرت تفکیک مکانی ۱/۴ سانتی‌متر تولید نمود. این دوربین‌ها، بسیار ارزان‌تر از دوربین‌های چندطیفی فراتر از محدوده نور مرئی (RGB)[2] بودند. نرم‌افزار Pix4dCapture جهت طراح پرواز اتوماتیک استفاده شد. در این مطالعه از نرم‌افزار Pix4dmapper برای تولید موزاییک تصاویر پهپاد و تصحیح هندسی استفاده شد. از نرم‌افزار ENVI برای مراحل سه گانه پردازش موزاییک تصاویر پهپاد و از نرم‌افزار ArcGIS نیز برای خروجی نقشه‌ها استفاده شد.

روش پژوهش

نمونه‌های تعلیمی اصلی شامل دو طبقه درختان سالم و درختان دارای تنش برگ بود و طی پیمایش زمینی و با استفاده از DGPG[3] جهت تهیه نقشه واقعیت زمینی به روش تصادفی برداشت شد. ۷۵ درصد نمونه‌های زمینی برداشت شده برای طبقه‌بندی تصاویر و ۲۵ درصد آنها برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده شد. در هر منطقه جنگل‌کاری، چهار نقطه کنترل زمینی به شکل مربع و به ابعاد ۴۰ سانتی‌متر جهت ژئورفرنس تصاویر پهپاد بر روی زمین قرار داده شد و مختصات آنها برداشت شد.

ارتفاع پرواز پهپاد ۴۰ و ۷۰ و ۱۰۰ متر از سطح زمین (با توجه به محدودیت ارتفاع پرواز ۱۲۰ متر برای پهپاد در ایران) انتخاب شد تا اثرات احتمالی ارتفاع پرواز نیز بررسی شود. عرض خط اسکن دوربین پهپاد حدود ۱۵۰ متر در ارتفاع پرواز ۱۰۰ متر از سطح زمین بود و پوشش مشترک عرضی مسیرهای اسکن هوایی ۷۵ درصد و پوشش مشترک طولی تصاویر ۸۰ درصد در نظر گرفته شد. برای هر منطقه، به طور میانگین ۷۰ تصویر برداشت شد و GPS[4] داخلی پهپاد نیز مختصات مراکز تصاویر برداشت شده را به آنها مرتبط نمود.

پس از طراحی و اجرای پرواز، موزاییک تصاویر پهپاد با استفاده از نرم‌افزار Pix4Dmapper تهیه‌شد. با انتخاب و اجرای پوشش طولی و عرضی مناسب، میزان هم‌پوشانی محاسبه شده برای هر نقطه در عرصه جنگل‌کاری نه تصویر بدست آمد. در پروازهای اتوماتیک انجام شده، موقعیت دوربین در زمان برداشت تصاویر، بیشینه ۱/۴ متر جابجایی نسبت به طرح پرواز اولیه داشت. با استفاده از نرم‌افزار ENVI، انواع روش‌های تصحیح رادیومتری و بارزسازی تصاویر، نسبت‌گیری طیفی، بررسی نمودارهای همبستگی باندها، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تهیه شاخص‌های گیاهی محدوده طیف نور مرئی صورت پذیرفت. جدول ۱ شاخص‌های گیاهی محدوده نور مرئی بررسی شده را نشان می‌دهد. کلیه عملیات‌های بارزسازی تصویر و تهیه شاخص‌های گیاهی و تشخیص تنش به‌صورت یکسان بر روی شاهد و دیگر نمونه‌ها انجام شد.

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی بررسی شده محدوده نور مرئی

Table 1. Vegetation Indicators examined range of visible light

نام شاخص	رابطه ریاضی	مرجع
شاخص مقاومت اتمسفری مرئی	$VARI = \frac{Green - Red}{Green + Red - Blue}$	Gitelson, et al ., 2002 (۴)
سبز افزوده شده	(EXG) = (2*green)-red-blue	Torres, et al ., 2014 (۱۴)
شاخص اختلاف رنگ سبز قرمز نرمال شده	$NGRDI = \frac{Green - Red}{Green + Red}$	Gitelson, et al ., 2002 (۴)
شاخص وبک	$WI = \frac{Green - Blue}{Red - Green}$	Woebbecke, et al., 1995 (۱۵)
سبز افزوده شده و کمینه افزایش قرمز	EXGR = ((2*green)-red-blue)-(1.4*red)- green	Neto, J. C., 2004 (۱۱)
گیاهی	VEG = (green)/((red^0.667)*(blue^0.337)) 0:667 = a 0.337= 1-a	Hague, et al., 2006 (۶)
شاخص رنگ پوشش گیاهی	CIVE = (0.441*red)-(0.881*green) + (0.385*blue)+18.78745	Kataoka, et al., 2003 (۱۰)

1- Phantom 3 professional
2- Red, Green, Blue
3- Differential Global Positioning Systems
4- Global Positioning System

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1398.7.13.8.0]
[DOI: 10.29252/ifej.7.13.20]

با محاسبه ضریب جفریز- ماتوسیتا[1] و واگرایی‌تبدیل‌شده[2]، میزان تفکیک‌پذیری نمونه‌های تعلیمی بررسی شد و نقشه عصبی[3]، ماشین بردار پشتیبان[4]، بیشینه شباهت[5] و فاصله ماهالانوبیس[6] با استفاده از باندهای اصلی و مصنوعی تهیه شد و جدول مقایسه صحت کلی و ضریب کاپا تهیه شد و میانگین صحت طبقه‌بندی برای هر نقشه بدست آمد.

نتایج و بحث

نتایج پرواز در ارتفاع پرواز ۴۰ ، ۷۰ و ۱۰۰ متر نشان داد که ۶۰ درصد پروازهای انجام شده در ارتفاع ۴۰ متر از سطح زمین و ۹۵ درصد پروازهای انجام شده در ارتفاع ۷۰ متر و ۱۰۰ درصد پروازهای انجام شده در ارتفاع ۱۰۰ متر به‌طور موفقیت‌آمیز منجر به تولید موزاییک کامل و بدون نقص شد. هرچند تمامی تصاویر با موفقیت کامل برداشت شد ولی در مرحله کنار هم قرار دادن خودکار تصاویر و تهیه موزاییک نهایی هر منطقه، با افزایش ارتفاع پرواز، درصد موفقیت تهیه موزاییک تصاویر پهپاد افزایش یافت. دوربین پهپاد مورد استفاده پس از تهیه موزاییک سبب تولید تصاویری با اندازه پیکسل یا GSD[7] ۱/۴، ۳ و ۴/۲ سانتی‌متر در ارتفاع پرواز ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ متر شد (جدول ۲) به عبارتی با افزایش ارتفاع پرواز، GSD نیز افزایش یافته و وضوح تصاویر کاهش یافت البته حجم فایل تولید شده نیز کاهش و در نتیجه پردازش نیز با سرعت و سهولت بیشتری انجام گرفت. با وجود اختلاف اندک قدرت تفکیک مکانی (GSD) منتج از ارتفاع پرواز ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ متر، از نظر تغییرات کیفیت تصاویر پهپاد در تشخیص تنش برگ درختان، اختلاف چندانی وجود نداشته است.

جدول ۲- تاثیر تغییرات ارتفاع پرواز بر تولید موزاییک تصاویر پهپاد و تعیین بهترین ارتفاع پرواز

Table 2. Effect of flight altitude on UAV, s ortho mosaic and definition of best fly altitude

ارتفاع پرواز (متر)	احتمال موفقیت (درصد)	تفکیک مکانی (سانتی‌متر)	حجم فایل	زمان تجزیه
۴۰	۶۰	۱/۴	زیاد	زیاد
۷۰	۹۵	۳	متوسط	متوسط
۱۰۰	۱۰۰	۴/۲	کم	کم

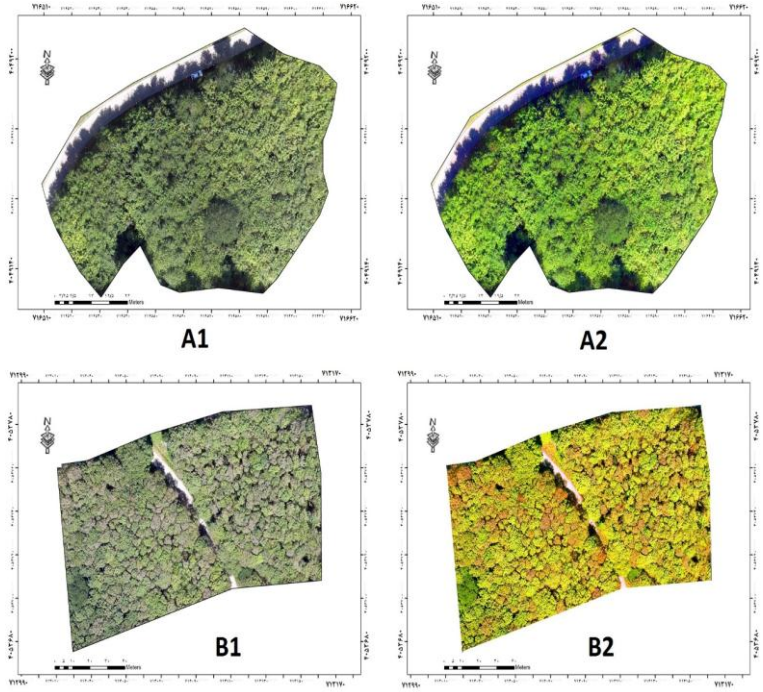
در مرحله بارزسازی تصاویر پهپاد، ازروش‌های مختلفی نظیر افزایش کنتراست، اشباع رنگ و غیره استفاده شد. پس از اشباع رنگ تصاویر، درختانی که دارای تنش برگ بودند به رنگ قرمز دیده شدند. شکل ۲ نشان می‌دهد که بارزسازی تصاویر پهپاد در محدوده نور مرئی به روش اشباع رنگ یکی از مؤثرترین فنون جهت تشخیص تنش برگ درختان، بوده است. نتایج بارزسازی تصاویر پهپاد به روش اشباع رنگ بر روی تصاویر ارتفاع پرواز ۴۰ و ۷۰ و ۱۰۰ متر نشان داد که تغییر ارتفاع پرواز تاثیر چندانی بر نتایج ندارد و تصاویر دارای کیفیت بالایی در تشخیص تنش برگ نهال‌ها هستند.

به منظور بررسی دقیق‌تر، شاخص‌های گیاهی مختلف محدوده طیف نور مرئی نیز تهیه شد و بررسی‌ها نشان داد شاخص گیاهی (EXG)[8] به خوبی تنش برگ درختان را نشان می‌دهد و با نتایج تحقیقات تورس و همکاران (۱۴) مطابقت دارد. در تصویر حاصل از این شاخص، برگ درختان سالم روشن‌تر و برگ درختان دارای تنش، تیره‌تر دیده می‌شود (شکل ۳).

هرچه تعداد برگ‌های بیشتری از یک نوع نهال دچار تنش شده باشد و پیشرفت بیماری و تنش بیشتر باشد، رنگ نهال‌ها یا درختان بیمار تیره‌تر به نظر می‌رسد. نکته مهم اینکه، درختان یک گونه مشخص باید با هم مقایسه شوند و نتایج گونه‌های درختی مختلف، متفاوت است. شاخص گیاهی (NGRDI) نیز نتایج مشابهی را نشان‌داد (۴). برخی شاخص‌های گیاهی دیگر نیز آزمایش شد ولی نتایج بارزی از خود نشان ندادند ضریب جفریز-ماتوسیتا[9] ۱/۸۱ الی ۱/۹۷ و ضریب واگرایی‌تبدیل‌شده[10] ۱/۸۷ الی ۱/۹۸ بدست آمد که در برخی عرصه‌های جنگل‌کاری، قدرت تفکیک نمونه‌های تعلیمی بهتر و در برخی کمتر بود. جدول۳ مقایسه طبقه‌بندی تصاویر به روش‌های شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان، بیشینه شباهت و فاصله ماهالانوبیس با استفاده از باندهای اصلی و مصنوعی را نشان می‌دهد. روش ماشین بردار پشتیبان با اختلاف اندکی نسبت به روش شبکه عصبی و بیشینه شباهت نتایج بهتری را نشان داد و به عنوان بهترین روش طبقه‌بندی، نقشه‌های حاصله مورد استناد قرار گرفت (شکل ۴).

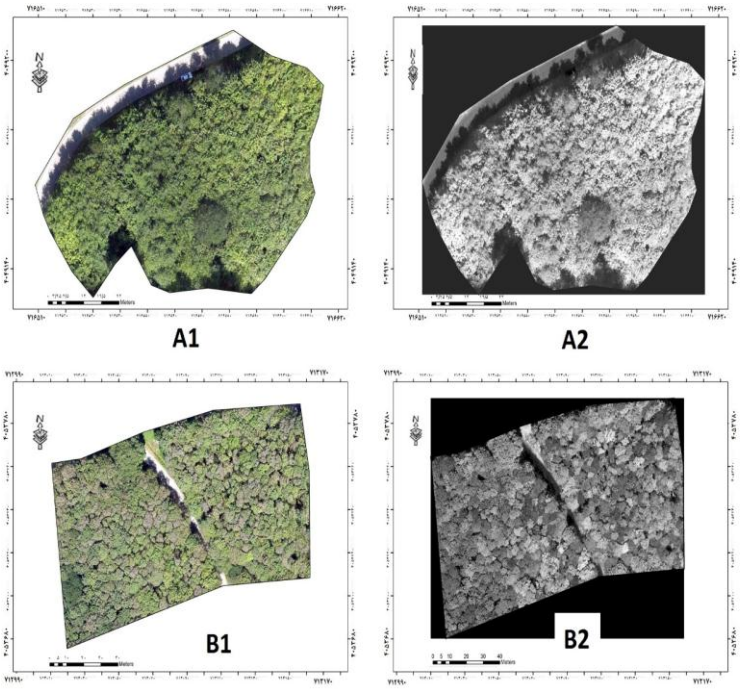
1- Jeffries-Matusita
2- Transformed Divergence
3- Neural Net
4- Support Vector Machine (SVM)
5- Maximum Likelihood
6- Mahalanobis Distance
7- Ground Sample Distance
8- Excess Green
9- Jeffries-Matusita
10- Transformed Divergence

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1398.7.13.8.0]
[DOI: 10.29252/ifej.7.13.20]



شکل ۲- تاثیر تکنیک اشباع رنگ بر روی تصاویر پهپاد. سمت چپ شکل (A1 ,B1) تصاویر پهپاد را بدون اشباع رنگ و سمت راست عکس (A2 , B2) تصاویر پهپاد را پس از اشباع رنگ نشان می‌دهد. تصویر A1 به عنوان شاهد می‌باشد.

Figure 2. The effect of color saturation technique on drone images. The left side of the figure (A1, B1) depicts the UAV images without color saturation and the right side of the image (A2, B2) of the drone images after saturation of the color. Image (A1) is a witness



شکل ۳- شاخص گیاهی (EXG) مبتنی بر محدوده طیف نور مرئی. سمت چپ شکل (A1,B1) تصاویر رنگی حقیقی و سمت راست عکس (A2, B2) تصاویر پهپاد را پس از اعمال این شاخص نشان می‌دهد. تصویر A1 به عنوان شاهد می‌باشد.

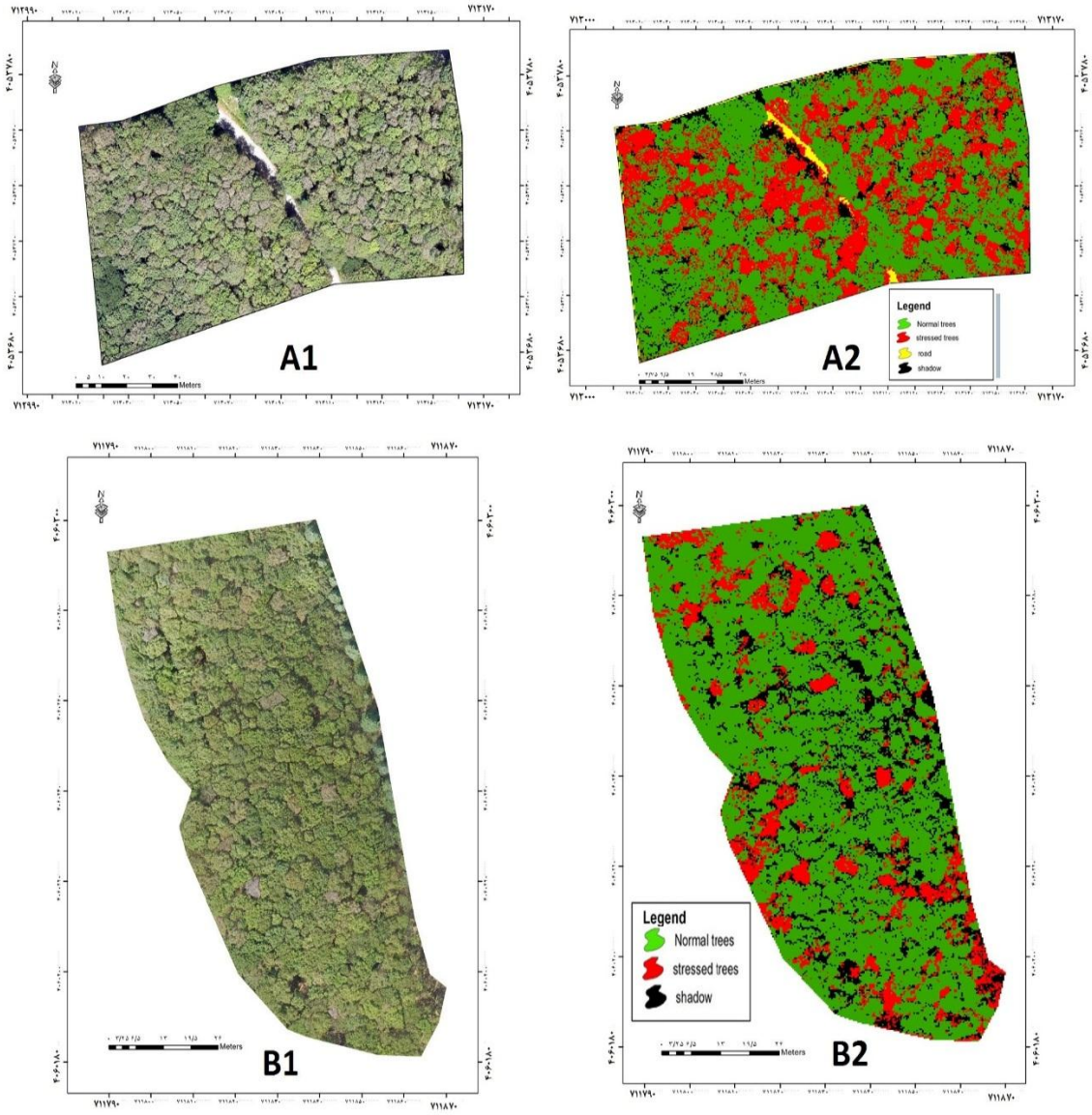
Figure 3. (EXG) vegetation index based on the spectral range of visible light. The left side of the figure (A1, B1) shows the true and right color images of the image (A2, B2) of the drone images after applying this index. Image (A1) is a witness.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1398.7.13.8.0]
[DOI: 10.29252/ifej.7.13.20]

جدول ۳- جدول مقایسه صحت کلی و ضریب کاپا حاصل روش‌های طبقه‌بندی آزمایش شده و باندهای اصلی و مصنوعی

Table 3. Comparison between Overall accuracy and Kappa coefficient related by classification methods and bands

معیارسنجش، باندها	شبکه عصبی	ماشین بردار پشتیبان	بیشینه شباهت	فاصله ماهالانوبیس
صحت کلی، باندهای اصلی(۳باند)	۹۷/۲۸۹	۹۷/۵۲۲	۹۷/۷۸۹	۹۳/۳۲۶
ضریب کاپا، باندهای اصلی(۳باند)	۰/۹۶۴	۰/۹۶۷	۰/۹۷۰	۰/۹۱۰
صحت کلی، باندهای مصنوعی	۹۷/۰۸۲	۹۷/۳۳۷	۹۷/۸۲۸	۹۳/۴۱۲
ضریب کاپا، باندهای مصنوعی	۰/۹۶۱	۰/۹۶۴	۰/۹۵۶	۰/۹۱۱
صحت کلی، باندهای اصلی و مصنوعی	۹۷/۹۴۱	۹۷/۲۸۸	۹۷/۹۴۱	۹۵/۲۶۲
ضریب کاپا، باندهای اصلی و مصنوعی	۰/۹۷۲	۰/۹۷۷	۰/۹۷۲	۰/۹۳۶



شکل ۴- طبقه‌بندی تصاویر پهپاد با استفاده از روش نظارت‌شده بیشینه شباهت. سمت چپ شکل (A1 ,B1) تصاویر رنگی حقیقی و سمت راست عکس (A2 , B2) طبقه‌بندی تصاویر که درختان سالم و همچنین درختان دارای تنش برگ را نشان می‌دهند.

Figure 4. Supervised classification of UAV images using the maximum Likelihood method. Left-handed images (A1, B1) the true color images of the photo (A2, B2) represent the classification of images of healthy trees as well as trees with leaf tension.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1398.7.13.8.0]
[DOI: 10.29252/ifej.7.13.20]

نقشه‌های تهیه شده نشان داد که در عرصه‌های جنگل‌کاری برخی نهال‌ها و درختان جوان افرا بویژه در جنگل‌کاری‌های خالص دچار تنش برگ هستند و برگ‌های درختان خشک و مچاله و برنگ قهوه‌ای تیره شده‌اند. برخی کارشناسان معتقد بودند که این پدیده به علت شدت نور خورشید و گرمای شدید در تابستان سال مطالعه بوده است. نتایج جداول بررسی صحت طبقه‌بندی برای هر منطقه نشان داد که میانگین صحت طبقه‌بندی کلی برای کلیه نمونه‌ها بین ۸۳ الی ۹۷ درصد است. جدول ۴ و جدول ۵ صحت طبقه‌بندی و میزان خطای طبقات یکی از نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴- جدول خطای نقشه حاصل از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

Table 4. Error matrix of Support Vector Machine (SVM)

	زمینی واقعیت			
نام کلاسه	درختان دارای تنش	درختان سالم	سایه	جاده
درختان دارای تنش	۹۶/۶۹	۱/۵۷	۰/۰۴	۰/۱۱
درختان سالم	۲/۸۷	۹۸/۴۳	۱/۶۲	۰/۰۰
سایه	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۸/۳۴	۰/۰۰
جاده	۰/۵۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۹/۸۹

جدول ۵- صحت کاربر و تولیدکننده و خطای طبقات در روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

Table 5. User and Producer Accuracy and Commission and Omission Error of Support Vector Machine (SVM)

شاخص	درختان دارای تنش	درختان سالم	سایه	جاده
صحت تولیدکننده (درصد)	۹۶/۶۹	۹۸/۳۴	۹۸/۳۴	۹۹/۸۹
صحت کاربر (درصد)	۹۸/۵۴	۹۵/۷۱	۱۰۰/۰۰	۹۹/۴۲
خطای کمیشن	۱/۴۶	۴/۲۹	۰/۰۰	۰/۵۸
خطای اومیشن	۳/۳۱	۱/۵۷	۱/۶۶	۰/۱۱

همان‌طور که نتایج جدول ۲ نشان داد، ارتفاع پرواز پهپاد در میزان موفقیت تهیه موزاییک تصاویر پهپاد و به تبع آن در تشخیص تنش برگ جنگل‌کاری اهمیت دارد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که با کاهش ارتفاع پرواز احتمال تهیه اتوماتیک موزاییک تصاویر پهپاد کاهش می‌یابد. عوامل مختلفی در این امر تاثیر دارد برای مثال، در جنگل‌کاری‌های جنگل‌های شمال، توپوگرافی بر روی ارتفاع پرواز تاثیر می‌گذارد. همچنین ارتفاع متفاوت درختان مادری باقی‌مانده در عرصه جنگل‌کاری، کاهش هم‌پوشانی تصاویر را تشدید می‌کند. فزون بر آن سرعت باد نیز سبب تکان‌خوردن شاخه‌های نهالها و درختان می‌شود و یک شاخه در عکس‌های مجاور تغییر مکان می‌دهد و ایجاد خطا در تشخیص نقاط متناظر در عکس‌های کنار هم می‌کند. هرچه ارتفاع پرواز بیشتر باشد، تاثیر عوامل مذکور کمتر می‌شود ولی کاهش قدرت تفکیک مکانی و افزایش اندازه پیکسل (GSD) را (از ۱/۴ سانتی‌متر به ۴/۲ سانتی‌متر) موجب می‌شود. لازم به ذکر است، کاهش قدرت تشخیص تنش برگ درختان در دامنه تغییر ارتفاع پرواز ۴۰ متر به ۱۰۰ متر، محسوس نمی‌باشد در نتیجه با در نظر گرفتن مجموعه عوامل، بهترین ارتفاع پرواز بین ۷۰ الی ۱۰۰ متر و همچنین استفاده از دوربین‌های قویتر (نظیر دوربین‌های۲۰ مگاپیکسل که تولید تصاویر با اندازه پیکسل ۲ سانتی‌متر در ارتفاع پرواز ۱۰۰ متر می‌کنند) توصیه می‌گردد. از نتایج بررسی صحت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا حاصل از باندهای مصنوعی (جدول ۳) استنباط می‌شود که استفاده از روش‌های بارزسازی تصاویر بویژه روش اشباع رنگ برای تشخیص تنش برگ درختان با استفاده از تصاویر پهپاد بسیار مفید است. تنش برگ درختان در اثر خشکسالی یا آفاتی که سبب از بین بردن آب برگ می‌شود، سبب کاهش جذب نور قرمز و افزایش انعکاس آن می‌شود در نتیجه ترکیب رنگی سه باند دوربین‌های محدوده نور مرئی به روش اشباع رنگ، سبب تولید تصاویری می‌شود که مناطق دچار تنش را به رنگ قرمز نشان می‌دهد (شکل ۲) بطوریکه می‌توان بدون کمک باندهای دیگر به طبقه‌بندی تصاویر پرداخت (جدول ۳) البته صحت طبقه‌بندی اندکی کاهش می‌یابد. همچنین این جدول نشان می‌دهد مشارکت برخی شاخص‌های گیاهی محدوده طیف نور مرئی نظیر شاخص گیاهی (NGRDI) و (EXG) برای تشخیص تنش برگ درختان مفید است (شکل ۳) و نتایج تورس و همکاران (۱۴) و گیتلسون و همکاران (۴) را تایید می‌نماید. استفاده از این شاخص‌ها در کنار بارزسازی تصویر به روش اشباع رنگ و سایر تکنیک‌های سنجش از دور سبب افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر پهپاد جهت تشخیص تنش برگ درختان می‌گردد و صحت طبقه‌بندی کلی خوبی را ارائه می‌دهد و سبب افزایش کارایی تصاویر پهپاد در تشخیص تنش برگ درختان می‌گردد (جدول ۳). جانوئرا و همکاران (۹) تحقیقات بیشتر را در زمینه بررسی کارایی دوربین‌های محدوده نور مرئی را توصیه کردند و این تحقیق نیز ضمن تایید قابلیت دوربین‌های محدوده نور مرئی نصب‌شده بر روی پهپاد در تشخیص تنش برگ، تحقیقات بیشتری را در این زمینه توصیه می‌کند.

نتایج بدست آمده در جدول ۳ نشان می‌دهد اگرچه استفاده از باندهای اصلی و یا باندهای مصنوعی به تنهایی می‌تواند نقشه‌های کارآمدی را تولید کند ولی مشارکت هر دو گروه مذکور نقشه‌های دقیق‌تری را تولید می‌نماید. همچنین این جدول نشان می‌دهد که روش ماشین بردار پشتیبان (با اندکی دقت بیشتر نسبت به روش شبکه عصبی و بیشینه شباهت) بهترین روش طبقه‌بندی تصاویر پهپاد جهت تشخیص تنش برگ درختان است اما زمان لازم برای آنالیز تصاویر و تولید نقشه طبقه‌بندی به روش بیشینه شباهت، بسیار کمتر از روش ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی است و نیاز به رایانه‌های قدرتمند برای تجزیه را کمتر می‌کند. با توجه مطالب ذکر

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1398.7.13.8.0]
[DOI: 10.29252/ifej.7.13.20]

شده، کاربرد روش بیشینه شباهت در کارهای صحرایی واحدهای جنگل جهت تجزیه و تشخیص تنش عرصه‌های جنگل‌کاری، می‌تواند یکی از گزینه‌های کارآمد باشد. همچنین این جدول نشان می‌دهد روش طبقه‌بندی فاصله ماهالونوبیس با وجود اینکه جزو روش‌های پرکاربرد امروزی نیست (به علت پیدایش روش‌های طبقه‌بندی دقیق‌تر) اما در صورت استفاده از تصاویر با کیفیت پهپاد می‌تواند نتایج خوبی را تولید نماید. از اطلاعات جدول ۴ می‌توان استنباط نمود که تفکیک نهال‌های سالم و دارای تنش با استفاده از تصاویر پهپاد به خوبی مقدور است و با نتایج ضریب ضریب جفریز–ماتوسیتا و ضریب واگرایی‌تبدیل شده مطابقت دارد. قدرت تفکیک مکانی زیاد تصاویر (به‌طور میانگین ۲/۵ سانتی‌متر) قادر می‌سازد سایه به‌عنوان یک کلاسه جدا سازی شود (شکل ۴) و قدرت تفکیک‌پذیری نمونه‌های تعلیمی افزایش یابد و در نتیجه تفکیک نهال‌های سالم و دارای تنش بهتر مقدور شود. البته مقداری تداخل کلاسه نهال‌های سالم و دارای تنش نیز وجود دارد (جدول ۵) و یکی از دلایل آن، عدم وجود مرز دقیق در تعیین نهال‌های سالم از نهال‌های دارای تنش است زیرا در برخی از این گیاهان فقط تعدادی از شاخه‌ها و برگ‌ها دچار خشکی و تغییر رنگ برگ شده و بقیه شاخه‌ها دارای برگ‌های سالم بوده است. این تحقیق قابلیت بالای دوربین‌های محدوده نور مرئی نصب‌شده بر روی پهپاد را در تشخیص تنش برگ درختان نشان می‌دهد. بهترین ارتفاع پرواز بین ۷۰ الی ۱۰۰ متر است و همچنین استفاده از دوربین‌های قویتر توصیه می‌گردد. استفاده از روش‌های بارزسازی تصاویر بویژه روش اشباع رنگ و شاخص‌های گیاهی محدوده طیف نور مرئی نظیر شاخص گیاهی (NGRDI) و (EXG) برای تشخیص تنش برگ، کارایی تصاویر پهپاد را افزایش می‌دهد. روش ماشین بردار پشتیبان (با اندکی دقت بیشتر نسبت به روش شبکه عصبی و بیشینه شباهت) بهترین روش طبقه‌بندی تصاویر پهپاد جهت تشخیص تنش برگ درختان جنگل‌کاری است است اما زمان لازم برای تجزیه تصاویر و تولید نقشه طبقه‌بندی به روش بیشینه شباهت، بسیار کمتر از روش ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی است. طراحی و بکارگیری سیستم تصویربرداری اتوماتیک متناسب با تغییرات ارتفاعی سطح تاج درختان جهت ممانعت از کاهش سطح هم‌پوشانی کمینه، توصیه می‌شود.

منابع

1. Berni, J.A.J., P.J.Z. Tejada, L. Suárez and E. Fereres. 2009. Thermal and narrow-band multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47(3): 722-738.
2. Clemens, S.R. 2012. Procedures for correcting digital camera imagery acquired by the AggieAir remote sensing platform. Utah State University, 47.
3. Cornforth, W., C. Nichol and J. Suarez. 2010. Remote sensing for practical forestry: Arboriculture to UAVs, University of Edinburgh, 24.
4. Gitelson, A. 2002. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. International Journal of Remote Sensing, 33(2002): 2562-2537.
5. González, V., P.J.Z. Tejada, J.A. Berni, L. Suárez, D. Goldhamer and E. Fer-eres. 2012. Almond tree canopy temperature reveals intra-crown variability that is water stress-dependent. Agricultural and Forest Meteorology, 154-155, 156-165.
6. Hague, T., N. Tillet and H. Wheeler. 2006. Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals. Precision Agriculture, 1(1): 95-113.
7. Hunt, E.R., M. Cavigelli, C.S.T. Daughtry, J.E. McMurtrey and C.L. Walthall. 2005. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status, Precis. Agric, 6: 359-378.
8. Hunt, E.R., W.D. Hively, C.S. Daughtry, G.W. McCarty, S.J. Fujikawa, T. Ng, M. Tranchitella, D.S. Linden and D.W. Yoel. 2008. Remote sensing of crop leaf area index using unmanned airborne vehicles, In: In Proceedings of the Pecora 17Symposium, Denver, CO.
9. Jannoura, R., K. Brinkmann, D. Uteau, C. Bruns and R.G. Joergensen. 2015. Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. Biosyst. Eng, 129: 341-351.
10. Kataoka, T., T. Kaneko, H. Okamoto and S. Hata. 2003. Crop growth estimation system using machine vision. In The 2003 IEEE/ASME international conference on advanced intelligent mechatronics.
11. Neto, J.C. 2004. A combined statistical-soft computing approach for classification and mapping weed pecies in minimum tillage systems. Lincoln, NE: University of Nebraska.
12. Rango, A., A. Laliberte, J.E. Herrick, C. Winters, K. Havstad, C. Steele and D. Browning. 2009. Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring and management, J. Appl. Remote Sens, 3, Article No: 033542.
13. Tejada, P.J.Z., M.L. Guillén-Climent, R. Hernández-Clemente, A. Catalina, M.R. González and P. Martín. 2013. Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle, Agricultural and Forest Meteorology, 171-172, 281-294.
14. Torres-Sánchez, J., J.M. Pena, A.I. De Castro and F. López-Granados. 2014. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV, Comp. Electron. Agric, 103: 104-113.
15. Woebbecke, D.M., G.E. Meyer, K. Von Bargen and D.A. Mortensen. 1995. Shape features for identifying young weeds using image analysis. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 38(1): 271-281.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1398.7.13.8.0]
[DOI: 10.29252/ifej.7.13.20]

Recognizing Plant Tension in Plantations by use of UAVs Visible Light Detector. (Case Study: Nekazalemrood Forestry Plan)

Alireza Hosseinpour[1], Jafar Oladi[2], Hasan Akbari[3] and Mohammad Reza Serajian[4]

1- PhD Student, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran (Corresponding author: archoosinpour88@gmail.com)
2 and 3- Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
4- Professor, Faculty of Geology and Spatial Engineering, University of Tehran, Iran
Received: September 9, 2017 Accepted: June 11, 2018

Abstract

The use of lightweight and cheap UAVs to detect the health of forests and identify the tension of planted can be useful to prevent the spread of pests and diseases. In the present research, a lightweight quadcopter drone with a 12-megapixel camera, visible light range was used. This UAV was emploied to detect leaf tension of pure Quercus Castanifolia plantation, pure Acer Velutinum and their mixture in nine sample with 1-3 hectares. Flight at altitudes of 40, 70 and 100 meters was used to determine UAV ability for detecting areas plantations tension. The flight plan was designed in the form of 75% latitude coverage and 80% longitudinal coverage. Supervised classification such as Neural Net, Support Vector Machine (SVM), Maximum Likelihood and Mahalanobis Distance algorithms are used and 25% of samples were used to check the classification accuracy. Visible color saturation image and some vegetation indices such as vegetation index (NGRDI) and (EXG), has great potential for detecting leaf tension in trees and seedlings. The Jeffries-Matusita coefficient ranged from 1.81 to 1.97, and the Transformed Divergence was 1/87 to 1.98, indicating the degree of separation of educational samples. The overall accuracy of Support Vector Machine (SVM) algorithm as best method was 83 to 96.7 percent for all samples and the kappa coefficient was 0.89 to 0.98. The results revealed the high capability of visibility light sensor cameras mounted on a UAV in detecting tree leaf tension. The best flight height is between 70-100 M. Using image enhancement techniques, especially color saturation and vegetation indices, the range of visible light spectrum such as vegetation index (NGRDI) and (EXG) to detect leaf tension increase the effectiveness of these images. Design of an automatic imaging system adapted to the altitude variation of the tree crown is recommender in order to prevent a minimum level of overlapping.

Keywords: Disease, Plantation, UAV, Vegetation Index

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1398.7.13.8.0]
[DOI: 10.29252/ifej.7.13.20]