



تشخیص تنش گیاهی در عرصه‌های جنگل کاری با استفاده از سنجه‌نده نور مرئی پهپاد (پژوهش موردی: طرح جنگلداری نکاظالمرود)

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

۱- داشجوی دکتری، گروه علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، (نویسنده مسؤول: arhoseinpour88@gmail.com)

۲- دانشیار و استادیار، گروه علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۳- استاد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۲ تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۸

صفحه: ۲۸ تا ۲۰

چکیده

استفاده از پهپادهای بسیار سبک و ارزان قیمت در تشخیص سلامت جنگل کاری‌ها 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 دوربین سبک دارای دوربین ۱۲ مگاپیکسل محدوده نور مرئی استفاده شد و جهت تشخیص تنش برگ نهال‌های جنگل کاری خالص افرا پلت، خالص بلوط و مخلوط آنها در نه منطقه یک الی سه هکتاری استفاده شد و پرواز در ارتفاع ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ متر انجام شد تا کارایی پهپادهای سبک و ارزان قیمت جهت تشخیص تنش برگ درختان جنگل کاری بررسی گردد. طرح پرواز به صورت مسیرهایی با پوشش مترک عرضی ۷۵ درصد و پوشش مشترک طولی ۸۰ درصد طراحی شد. طبقه‌بندی تصاویر به روش‌های نظارت شده شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبانی، بیشینه شباهت و فاصله ماهال‌نویس صورت گرفت و ۲۵ درصد نمونه‌های واقعیت زمینی برای بررسی صحبت طبقه‌بندی استفاده شد. بازرسازی تصویر به روش اشباع رنگ انجام پذیرفت. در این مطالعه برخی شاخص‌های گیاهی محدوده نور مرئی نظری شاخص گیاهی (NGRDI) و (EXG) کارایی زیادی برای تشخیص تنش برگ درختان و نهال‌ها نشان داد. همچنین ضربی جفریز-ماتوسیتا ۱/۸۱ الی ۱/۹۷ و ضربی واگرایی تبدیل شده ۱/۸۷ الی ۱/۹۸ بدست آمد. صحبت کلی طبقه‌بندی تصاویر به روش ماشین بردار پشتیبان که بهترین روش در این تحقیق بود، ۸۳ الی ۹۶/۷ درصد برای کل نمونه‌ها و ضربی کاپا ۸/۹۰ الی ۹/۸۰ بدست آمد. این تحقیق قابلیت دوربین‌های محدوده نور مرئی نصب شده بر روی پهپاد را در تشخیص تنش برگ درختان نشان می‌دهد. بهترین ارتفاع پرواز بین ۷۰ الی ۱۰۰ متر می‌باشد و استفاده از روش‌های بازرسازی تصاویر بویژه روش اشباع رنگ و شاخص‌های گیاهی محدوده طیف نور مرئی نظری 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، نهال کاری، هوایپمای بدون سرنشین، شاخص گیاهی

فناوری سنجش از دور است. برای این منظور می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای و یا هوایپمایی سرنشین‌دار^۱ و یا برندۀ‌های هدایت‌شونده از راه دور (پهپاد)^۲ استفاده نمود. استفاده از پهپاد نسبت به ابزارهای دیگر مزیت‌هایی دارد برای مثال تحقیقات برندۀ و همکاران (۱) با استفاده از پهپاد نشان داد که محدودیت‌های بسیار مهمی نظری عدم قابلیت تصویربرداری سریع، زمان‌بندی دلخواه و متنابوب و همچنین عدم تفکیک مکانی و طیفی بسیار بالا در ماهواره‌ها وجود دارد و تشخیص تنش‌های گیاهی با این ابزار کاملاً کارآمد نیست و استفاده از هوایپمایی سرنشین‌دار نیز پر هزینه است. فناوری‌های جدید، تولید پهپادها را مقدور ساخته است بطوریکه می‌تواند بسیاری از محدودیت‌های مطرح شده را مرتفع سازد. رنگ و همکاران (۱۲) یکی از مزیت‌های پهپاد را توانایی پرواز و تصویربرداری در تمام ساعات شب‌نیروز و در شرایط جوی مختلف حتی بازندگی 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 بین موانع و زیرتاج درختان از دیگر مزایای آن می‌باشد. سنسورهای تجاری ارزان قیمت موجود، مانند دوربین‌های محدوده طیف نور مرئی، برای استفاده در پهپادها،

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 جنگل کاری اهمیت زیادی دارد. عوامل مختلفی نظری انواع قارچ‌ها، باکتری‌ها، حشرات، خشکسالی و شدت زیاد نور خورشید سلامت برگ درختان را به خطر می‌اندازد و تاثیراتی نظری خشک شدن و تغییر رنگ برگ درختان را موجب می‌شود. بدینهی است آگاهی از تنش برگ نهال‌ها و میزان پیشرفت آن، نقش مهمی در کنترل آن ایفا می‌کند. سال‌هاست که آفات و بیماری‌های جنگل نظری 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 انحطاف زمانی و مکانی کافی، کیفیت و کارایی لازم در پایش سلامت توده‌های جنگل کاری‌ها را داشته باشد، ضروری است. یکی از فنون تشخیص بیماری و تنش برگ درختان، استفاده از

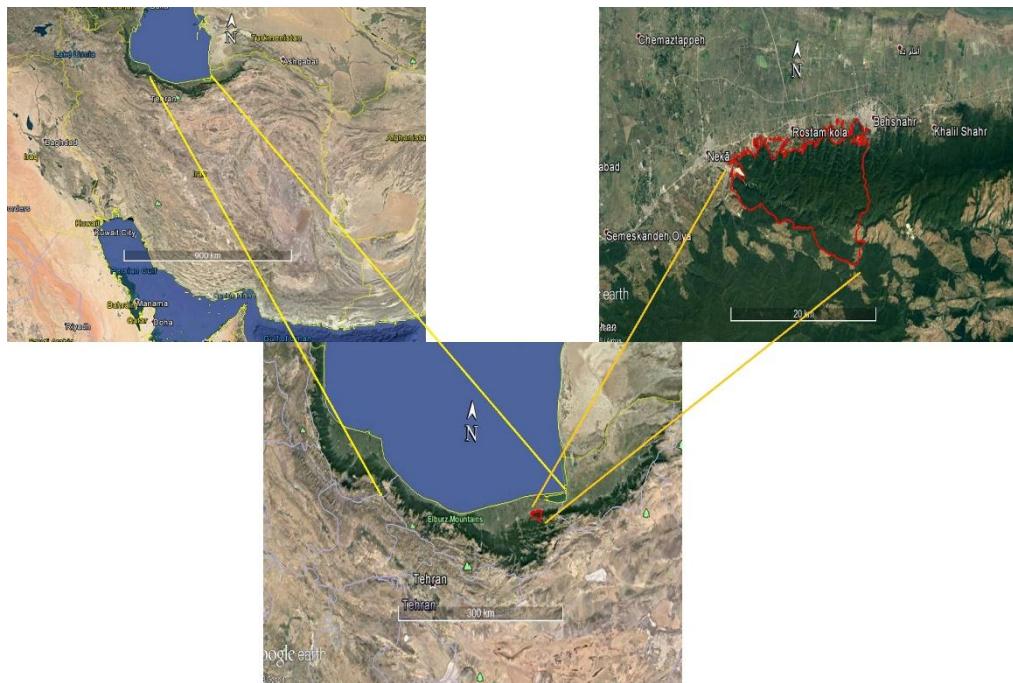
برخلاف شاخص‌های گیاهی مبتنی بر باند مادون قرمز نزدیک، در زمینه شاخص‌های گیاهی (VIs) حاصل از محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس تحقیقات کمی صورت گرفته است. امروزه پهپادهای تجاري ارزان قیمت با دوربین‌هایی با کیفیت وارد بازار می‌شود و در صورت تایید قابلیت آن در تشخیص تنش برگ، از این فناوری می‌توان به صورت فراگیر در پایش جنگل کاری 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 جنگل داری نکاظالمربود بررسی می‌نماید.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

جنگل‌های بخش سه طرح جنگلداری نکاظالمربود واقع در جنگل‌های شمال کشور در استان مازندران و شرق رودخانه تجن منطقه مورد پژوهش می‌باشد. این منطقه در زون شماره ۴۰۳۲۳۱۲ و در محدوده ۶۹۲۷۶۳ الی ۷۳۲۳۶۷ شمالی و ۴۰۳۲۳۱۲ و در محدوده ۴۰۱۰۴۶ شرقی قرار دارد. وسعت منطقه مورد مطالعه ۱۵۳۰۰ هکتار و در محدوده ارتفاعی ۳۹۰ الی ۸۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد که از منطقه جلگه‌ای تا میان‌بند امتداد دارد (شکل ۱).

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^۱ بدست آمده از تصاویر هوایی‌های 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 زی توده استفاده نمود. کورنفورث و همکاران (۳) با استفاده از پهپاد و فناوری لیدار، نشان دادند نقاط خالی ساختار ارتفاعی توده، ناشی از عدم موقیت جنگل کاری 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 (۱۲) نشان داد برای تشخیص میزان تنش در گیاهان می‌توان از پهپاد و دوربین‌های چندطیفی محدود 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 زی توده سطح زمین مناسب و دارای صرفه اقتصادی می‌باشد و



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

از DGPG^۳ 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 صحبت طبقه‌بندی استفاده شد. در هر منطقه جنگل کاری، چهار نقطه کنترل زمینی به شکل مربع و به ابعاد ۴۰ سانتی‌متر جهت ژئوفرنس 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^۴ 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 تهیه شد. با انتخاب و اجرای پوشش طولی و عرضی مناسب، میزان همپوشانی محاسبه شده برای هر نقطه در عرصه جنگل کاری نه تصویر بدست آمد. در پروازهای اتوماتیک انجام شده، موقعیت دوربین در زمان برداشت تصاویر، بیشینه ۱/۴ متر جایجایی نسبت به طرح پرواز اولیه داشت. با استفاده از نرمافزار ENVI^۵ انواع روش‌های تصحیح رادیومتری و بازسازی 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 بازسازی تصویر و تهیه شاخص‌های گیاهی و تشخیص تنش به صورت یکسان بر روی شاهد و دیگر نمونه‌ها انجام شد.

Table 1. Vegetation Indicators examined range of visible light

نام شاخص	شامل	نام شاخص
شاخص مقاومت اتمسفری مرئی	شاخص مقاومت اتمسفری مرئی	سیز افزوده شده
$VARI = \frac{Green - Red}{Green + Red - Blue}$	$(EXG) = (2 * green) - red - blue$	سیز افزوده شده
$NGRDI = \frac{Green - Red}{Green + Red}$	$WI = \frac{Green - Blue}{Red - Green}$	شاخص ویک
$EXGR = ((2 * green) - red - blue) - (1.4 * red) - green$		سیز افزوده شده و کمینه افزایش قرمز
$VEG = (green) / ((red ^ 0.667) * (blue ^ 0.337))$	$0.667 = a \quad 0.337 = 1-a$	گیاهی
$CIVE = (0.441 * red) - (0.881 * green) + (0.385 * blue) + 18.78745$		شاخص رنگ پوشش گیاهی

1- Phantom 3 professional

3- Differential Global Positioning Systems

2- Red, Green, Blue

4- Global Positioning System

مواد

در این تحقیق برای جمع‌آوری داده‌ها جهت بررسی تنش برگ درختان جنگل کاری شده با گونه‌های جنگلی افرا و بلوط، از پهپاد عمودپرواز استفاده شد. غالب جنگل کاری‌های منطقه مورد مطالعه با گونه‌های افرا و بلوط بوده و در این تحقیق، تنش برگ این دو گونه جنگلی در عرصه‌های جنگل کاری بررسی شد. برای این منظور، سه منطقه جنگل کاری ۱۰ ساله خالص افرا، سه منطقه جنگل کاری ۱۰ ساله خالص افرا و بلوط با مساحتی حدود یک الی سه هکتار برای هر نمونه بررسی گردید. در این مطالعه منطقه جنگل کاری 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^۱ و دارای دوربین ۱۲/۷ مگاپیکسل Sony Exmor استفاده شد که توانایی تصویربرداری در طول موج ۰/۴ الی ۰/۷ میکرومتر (باندهای آبی، سیز و قرمز) را داشت و تصاویری با اندازه پیکسل ۴/۲ سانتی‌متر در ارتفاع پرواز ۱۰۰ متر تولید نمود. دوربین این پهپاد با کاکهش ارتفاع به ۴۰ متر، تصاویری با قدرت تکیک مکانی ۱/۴ سانتی‌متر تولید نمود. این دوربین‌ها، بسیار ارزان‌تر از دوربین‌های چندطیفی فراتر از محدوده نور مرئی (RGB)^۲ بودند. نرمافزار Pix4dCapture^۳ 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

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی بررسی شده محدوده نور مرئی

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^۷ 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 ووضوح 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 تنفس برگ درختان، اختلاف چندانی وجود نداشته است.

با محاسبه ضریب جفریز- ماتوسیتا^۱ و واگرایی تبدیل شده^۲، میزان تفکیک‌پذیری نمونه‌های تعلیمی بررسی شد و نقشه عصبی^۳، ماشین بردار پشتیبان^۴، بیشینه شbahat^۵ و فاصله ماهالانوبیس^۶ 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 به طور موفقیت‌آمیز منجر به تولید موزاییک کامل و بدون نقص شد.

جدول ۲- تأثیر 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)	ارتفاع پرواز (متر)	احتمال موفقیت (درصد)
۴۰	۶۰	۴۰	۴۰
۷۰	۹۵	۷۰	۷۰
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

هرچه تعداد برگ‌های بیشتری از یک نوع نهال دچار تنفس شده باشد و پیشرفت بیماری و تنفس 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 نشان داد (۴). برخی شاخص‌های گیاهی دیگر نیز آزمایش شد ولی نتایج بارزی از خود نشان ندادند ضریب جفریز- ماتوسیتا^۹ ۱/۸۱ الی ۱/۹۷ و ضریب واگرایی تبدیل شده^{۱۰} ۱/۸۷ الی ۱/۹۸ بدست آمد که در برخی عرصه‌های جنگل‌کاری، قدرت تفکیک نمونه‌های تعلیمی بهتر و در برخی کمتر بود. جدول ۳ مقایسه طبقه‌بندی تصاویر به روشهای شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان، بیشینه شbahat و فاصله ماهالانوبیس با استفاده از باندهای اصلی و مصنوعی را نشان می‌دهد. روشن ماشین بردار پشتیبان با اختلاف اندکی نسبت به روشن شبکه عصبی و بیشینه شbahat نتایج بهتری را نشان داد و به عنوان بهترین روشن طبقه‌بندی، نقشه‌های حاصله مورد استناد قرار گرفت (شکل ۴).

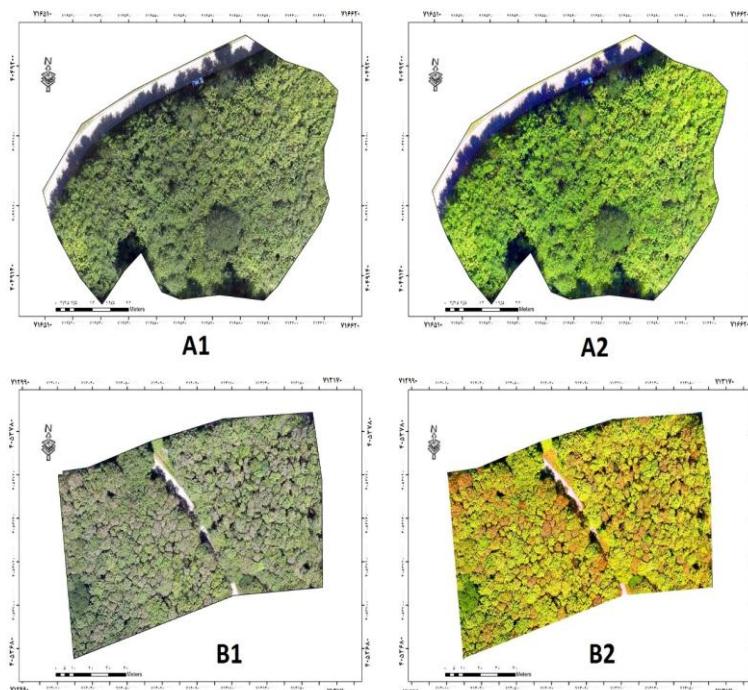
در مرحله بازسازی تصاویر پهپاد، از روشهای مختلفی نظیر افزایش کنتراست، اشباع رنگ و غیره استفاده شد. پس از اشباع رنگ تصاویر، درختانی که دارای تنفس برگ بودند به رنگ قرمز دیده شدند. شکل ۲ نشان می‌دهد که بازسازی تصاویر پهپاد در محدوده نور مرئی به روش اشباع رنگ یکی از مؤثرترین فنون چهت تشخیص تنفس برگ درختان، بوده است. نتایج بازسازی 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 تنفس برگ نهال‌ها هستند.

به منظور بررسی دقیق‌تر، شاخص‌های گیاهی مختلف محدوده طیف نور مرئی نیز تهیه شد و بررسی‌ها نشان داد شاخص گیاهی (EXG)^{۱۱} به خوبی تنفس 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 تنفس، تیره‌تر دیده می‌شود (شکل ۳).

1- Jeffries-Matusita
5- Maximum Likelihood
8- Excess Green

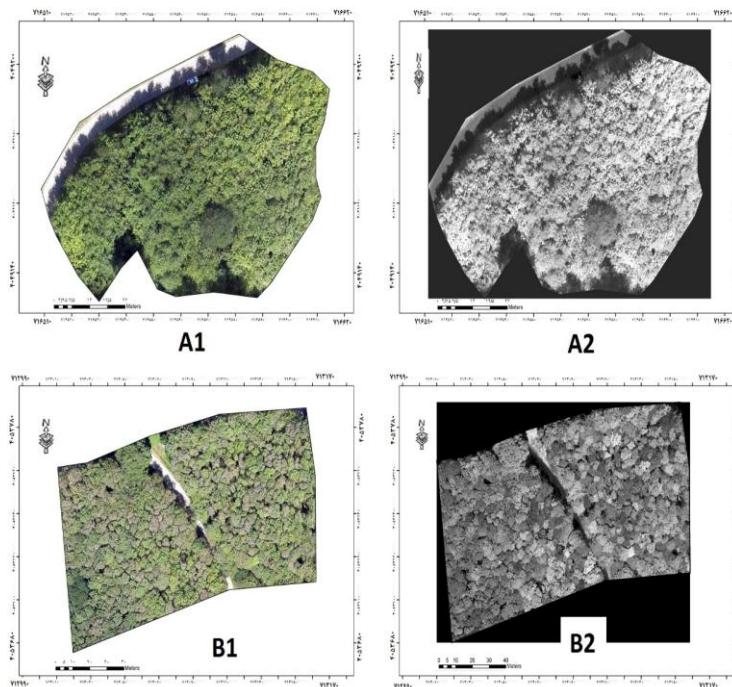
2- Transformed Divergence
6- Mahalanobis Distance
9- Jeffries-Matusita

3- Neural Net
7- Ground Sample Distance
10- Transformed Divergence
4- Support Vector Machine (SVM)



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 می دهد. تصویر A1 به عنوان شاهد می باشد.

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

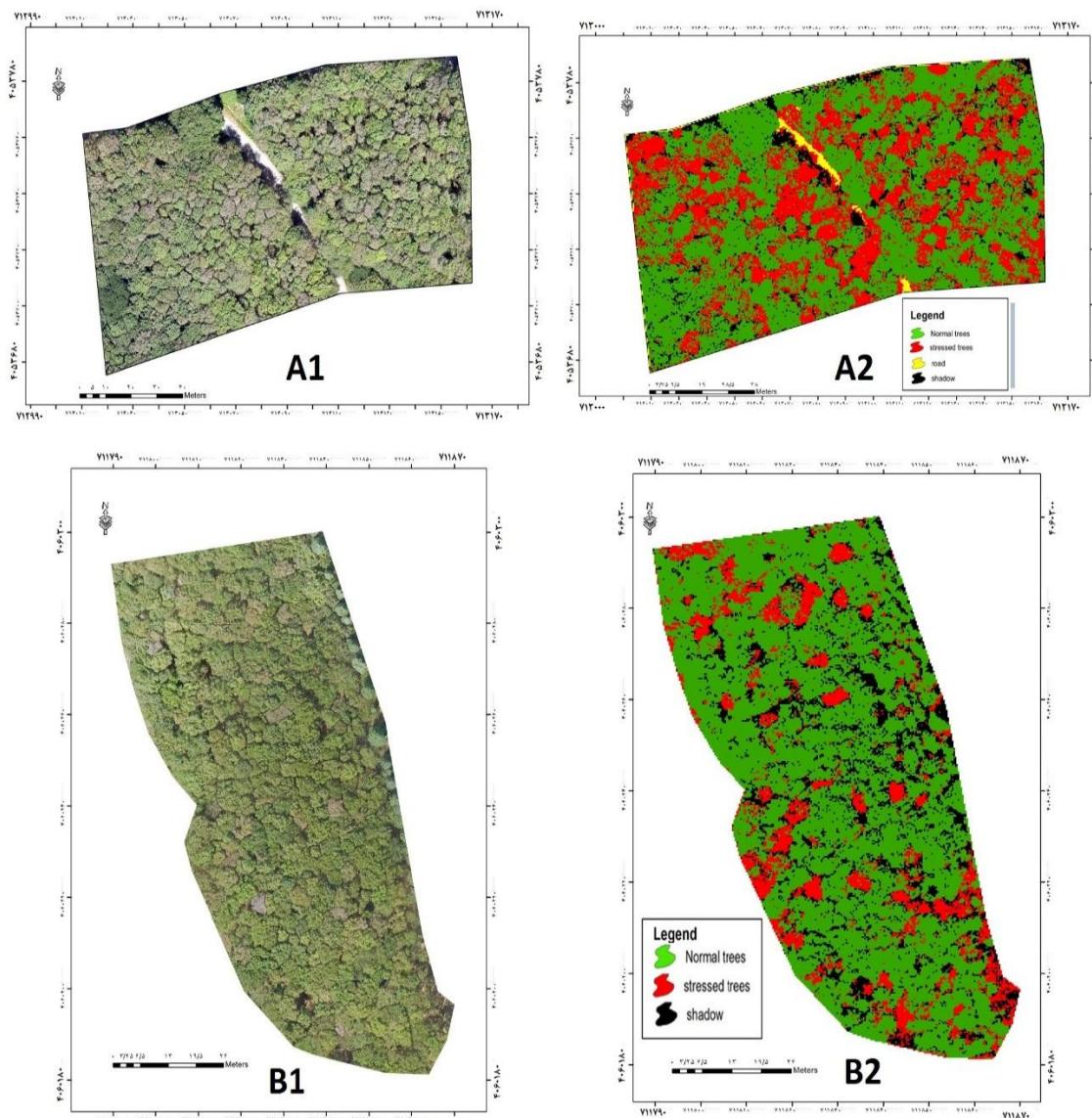


شکل ۳- شاخص گیاهی (EXG) مبتنی بر محدوده طیف نور مرئی. سمت چپ شکل (A1,B1) تصاویر رنگی حقیقی و سمت راست عکس (A2, B2) تصاویر پهپاد را پس از اعمال این شاخص نشان می دهد. تصویر A1 به عنوان شاهد می باشد.

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.

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

فاصله ماهالاتوبیس	بیشینه شباهت	ماشین بردار پشتیبان	شبکه عصبی	میارستنچش، باندها
۹۳/۳۲۶	۰/۹۷۸۹	۰/۹۷۵۲۲	۰/۹۷۲۸۹	صحت کلی، باندهای اصلی (۳باند)
۰/۹۱۰	۰/۹۷۰	۰/۹۶۷	۰/۹۶۴	ضریب کاپا، باندهای اصلی (۳باند)
۹۳/۴۱۲	۰/۹۷۸۲۸	۰/۹۷۳۲۷	۰/۹۷۰۸۲	صحت کلی، باندهای مصنوعی
۰/۹۱۱	۰/۹۵۶	۰/۹۶۴	۰/۹۶۱	ضریب کاپا، باندهای مصنوعی
۹۵/۲۶۲	۰/۹۷۹۴۱	۰/۹۷۲۸۸	۰/۹۷۹۴۱	صحت کلی، باندهای اصلی و مصنوعی
۰/۹۳۶	۰/۹۷۲	۰/۹۷۷	۰/۹۷۲	ضریب کاپا، باندهای اصلی و مصنوعی



شکل ۴- طبقه‌بندی تصاویر پهپاد با استفاده از روش نظارت شده 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.

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.

نقشه‌های تهیه شده نشان داد که در عرصه‌های جنگل کاری برخی نهال‌ها و درختان جوان افرا بیشتر در جنگل کاری‌های 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

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

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

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

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)

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

تولید تصاویری می‌شود که مناطق دچار تنش را به رنگ قرمز نشان می‌دهد (شکل ۲) بطوریکه می‌توان بدون کمک باندھای 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) (EXG) برای تشخیص تنش برگ درختان مفید است (شکل ۳) و نتایج توروس و همکاران (۱۴) و گیلتسون و همکاران (۱۵) را تایید می‌نماید. استفاده از این شاخص‌ها در کنار بازسازی تصویر به روش اشباع رنگ و سایر تکنیک‌های سنجنده 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 نصب شده 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 باندھای اصلی و یا باندھای 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

همان‌طور که نتایج جدول ۲ نشان داد، ارتفاع پرواز پهپاد در میزان موقعيت تهیه موزاییک تصاویر پهپاد و به تبع آن در تشخیص تنش برگ جنگل کاری 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 جنگل کاری‌های جنگل‌های شمال، توپوگرافی بر روی ارتفاع پرواز تاثیر می‌گذارد. همچنین ارتفاع متفاوت درختان مادری باقی‌مانده در عرصه جنگل کاری، کاهش همپوشانی تصاویر را تشدید می‌کند. فرون بر آن سرعت باد نیز سبب تکان خوردن شاخه‌های نهال‌ها و درختان می‌شود و یک شاخه در عکس‌های مجاور تغییر مکان می‌دهد و ایجاد خطای 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 دوربین‌های ۲۰ مگاپیکسل که تولید تصاویر با اندازه پیکسل ۲ سانتی‌متر در ارتفاع پرواز ۱۰۰ متر می‌کنند) توصیه می‌گردد. از نتایج بررسی صحت کلی طبقه‌بندی و ضربیت کاپا حاصل از باندھای مصنوعی (جدول ۳) استنباط می‌شود که استفاده از روش‌های بازسازی 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 ازین 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

خشکی و تغییر رنگ برگ شده و بقیه شاخه‌ها دارای برگ‌های سالم بوده است. این تحقیق قابلیت بالای دوربین‌های محدوده نور مرئی نصب شده بر روی پهپاد را در تشخیص تشخیص برگ درختان نشان می‌دهد. بهترین ارتفاع پرواز بین ۷۰ الی ۱۰۰ متر است و همچنین استفاده از دوربین‌های قویتر توصیه می‌گردد. استفاده از روش‌های پارزسازی تصاویر بویژه روش اشباع رنگ و شاخص‌های گیاهی محدوده طیف نور مرئی نظیر شاخص گیاهی (NGRDI) و (EXG) برای تشخیص تشخیص برگ، کارایی تصاویر پهپاد را افزایش می‌دهد. روش ماشین بردار پشتیبان (با اندازه دقت بیشتر نسبت به روش شبکه عصبی و بیشینه تشخیص) بهترین روش طبقه‌بندی تصاویر پهپاد جهت تشخیص تشخیص برگ درختان جنگل کاری است اما زمان لازم برای تجزیه تصاویر و تولید نقشه طبقه‌بندی به روش بیشینه تشخیص، 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.

شده، کاربرد روش بیشینه تشخیص در کارهای صحرایی واحدهای جنگل جهت تجزیه و تشخیص تشخیص عرصه‌های جنگل کاری، می‌تواند یکی از گزینه‌های کارآمد باشد. همچنین این جدول نشان می‌دهد روش طبقه‌بندی فاصله ماهالونویس با وجود اینکه جزو روش‌های پرکاربرد امروزی نیست (به علت پیدا شدن 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 تشخیص با استفاده از تصاویر پهپاد به خوبی مقدور است و با نتایج ضریب ضربی جفریز-ماتوسیتا و ضریب واگرایی تبدیل شده مطابقت دارد. قدرت تفکیک مکانی زیاد تصاویر (به طور میانگین ۲/۵ سانتی‌متر) قادر می‌سازد سایه به عنوان یک کلاسه جدا سازی شود (شکل ۴) و قدرت تفکیک پذیری نمونه‌های تعلیمی افزایش یابد و در نتیجه تفکیک نهال‌های سالم و دارای تشخیص بهتر مقدور شود. البته مقادیر تداخل کلاسه نهال‌های سالم و دارای تشخیص نیز وجود دارد (جدول ۵) و یکی از دلایل آن، عدم وجود مرز دقیق در تعیین نهال‌های سالم از نهال‌های دارای تشخیص است زیرا در برخی از این گیاهان فقط تعدادی از شاخه‌ها و برگ‌ها دچار

منابع

- 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.
- Clemens, S.R. 2012. Procedures for correcting digital camera imagery acquired by the AggieAir remote sensing platform. Utah State University, 47.
- Cornforth, W., C. Nichol and J. Suarez. 2010. Remote sensing for practical forestry: Arboriculture to UAVs, University of Edinburgh, 24.
- 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.
- González, V., P.J.Z. Tejada, J.A. Berni, L. Suárez, D. Goldhamer and E. Fereres. 2012. Almond tree canopy temperature reveals intra-crown variability that is water stress-dependent. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154-155, 156-165.
- Hague, T., N. Tillett and H. Wheeler. 2006. Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals. *Precision Agriculture*, 1(1): 95-113.
- 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.
- 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 17 Symposium, Denver, CO.
- 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.
- 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.
- Neto, J.C. 2004. A combined statistical-soft computing approach for classification and mapping weed species in minimum tillage systems. Lincoln, NE: University of Nebraska.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

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

Alireza Hosseinpour¹, Jafar Oladi², Hasan Akbari³ and Mohammad Reza Serajian⁴

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 employed 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 recommended in order to prevent a minimum level of overlapping.

Keywords: Disease, Plantation, UAV, Vegetation Index