



تفکیک طیفی گونه‌های مهم باغی با استفاده از شاخص‌های ابرطیفی و رویکردهای هوش مصنوعی

محسن میرزائی^۱، مژگان عباسی^{۲*}، صفر معروفی^۳، عیسی سلگی^۴، روح‌اله کریمی^۵

۱. دانشجوی دکتری محیط‌زیست، پژوهشکده انگور و کشمش، دانشگاه ملایر

۲. استایار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۳. استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۴. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر

۵. استادیار گروه فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۸ مهر ۱۳۹۶

پذیرش: ۳ مرداد ۱۳۹۷

دسترسی اینترنتی: ۱ شهریور ۱۳۹۷

واژه‌های کلیدی:

طیف‌سنجی زمینی
تفکیک طیفی گونه‌های گیاهی
شاخص‌های طیفی
شبکه عصبی مصنوعی
ماشین بردار پشتیبان

چکیده

مطالعه انعکاس طیفی پدیده‌ها از طریق شاخص‌های طیفی امکان استفاده بهینه از دامنه وسیع طول‌موج‌های طیفی را در داده‌های ابرطیفی فراهم می‌کند. هدف از تحقیق، معرفی و ارزیابی عملکرد شاخص‌های طیفی در تفکیک گونه‌های غالب باغی در استان چهارمحال و بختیاری است. در این تحقیق ۱۵۰ نمونه طیفی در محدوده ۳۵۰ الی ۲۵۰۰ نانومتر، از گونه‌های انگور، گردو و بادام در انواعی از شرایط برداشت شد و پس از تصحیح اولیه، ۳۰ عدد از مهم‌ترین شاخص‌های طیفی موجود در این زمینه استخراج شدند. آزمون واریانس و مقایسه میانگین‌ها جهت شناسایی شاخص‌های بهینه در تفکیک گونه‌ها، در سطح ۹۹ درصد اطمینان اجرا شد. سپس از دو رویکرد شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان جهت ارزیابی عملکرد شاخص‌ها در تفکیک گونه‌ها استفاده شد. نتایج آزمون واریانس نشان داد که شاخص‌های تنش رطوبت، نسبت باند در ۱۲۰۰ نانومتر، شاخص نرمال شده فتوئوفیتین و شاخص جذب سلولز جهت تفکیک گونه‌های مورد مطالعه بهینه هستند. نتایج ارزیابی عملکرد شاخص‌های معرفی شده نتیجه ۱۰۰ درصد تفکیک گونه‌ها را در دو رویکرد شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان، در هر دو مرحله آموزش و آزمون نشان داده است. این نتایج لزوم انجام مطالعات طیف‌سنجی را برای تفکیک گونه‌های باغی پیش از تحلیل داده‌های تصویری ابرطیفی به دلیل حجم وسیع و هزینه بیشتر تهیه و تحلیل آن‌ها نشان می‌دهد.

* mozhgan.abasi@gmail.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

منحنی‌ها از پدیده‌های مختلفی کتابخانه طیفی ایجاد کند (۶). اما باید توجه داشت، منحنی انعکاس طیفی می‌تواند تحت تأثیر عوامل مزاحم محیطی از جمله نور پخش پدیده‌های مجاور، بخار آب، رطوبت برگ، دما، پارامترهای بیوشیمیایی و سایر متغیرها باشد. لذا ضروری است قبل از به‌کارگیری این داده‌ها، از شاخص‌های طیفی جهت رفع خطاهای اتمسفری و بارزسازی و تشدید اختلاف بازتاب پدیده‌ها استفاده کرد (۲) و (۴۳). هرچند که بسیاری از شاخص‌های طیفی تعریف‌شده، ارتباط بسیار خوبی با مشخصه‌های گیاهی دارند، اما تحقیقات نتایج متفاوتی را برای گونه‌های مختلف نشان داده است (۲۰). از مهم‌ترین روش‌هایی که در راستای کاهش داده‌ها و شناسایی بهترین شاخص‌ها به کار می‌روند می‌توان به آزمون واریانس، ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine, SVM) و شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network, ANN) اشاره نمود (۹). لازم به ذکر است شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان قابلیت بالایی در پیش‌بینی و کلاس‌بندی داده‌ها در حجم زیاد و به‌ویژه در مواقعی که ارتباطات غیرخطی و پیچیده بین متغیرهای مستقل و وابسته موجود باشد، دارا هستند. لذا با به‌کارگیری و بهینه‌سازی این‌گونه مدل‌ها علاوه بر اینکه درک روابط خطی و ساده بسیار خوب‌صورت می‌گیرد، در عین حال با پردازش توابع و حالات متعدد، از هدر رفت اطلاعات غیرخطی و پیچیده نیز جلوگیری می‌کند و در مطالعات متعددی عملکرد بهینه این‌گونه مدل‌ها نسبت به تکنیک‌های آماری چند متغیره به اثبات رسیده است (۲۰، ۳۶ و ۴۳). آنیس و اپستین (۱۱) از طیف‌سنجی میدانی و تحلیل حساسیت (Sensitivity Analyses) جهت شناسایی و تفکیک طیفی گونه‌های مهاجم در مزارع کشاورزی ویرجینیا (Virginia) بهره برده‌اند که در برخی موارد گونه‌ها را با صحتی بین ۷۵ تا ۸۷/۵ درصد تفکیک نموده است. مورفی و همکاران (۳۶) از طیف‌سنجی زمینی و مدل‌های SAM و ماشین بردار پشتیبان در راستای کلاس‌بندی و نقشه‌سازی گونه‌های گیاهی بهره برده‌اند که نتایج آن‌ها در اغلب موارد عملکرد بالا و قابل قبول مدل ماشین بردار پشتیبان را در راستای

تعیین سطح زیر کشت و آگاهی از ترکیب و مساحت هرکدام از محصولات باغی-زراعی نقش کلیدی در برنامه‌ریزی و مدیریت این عرصه‌ها دارد (۴ و ۳۳). توزیع نهاده‌ها، بازاریابی و تعیین قیمت، تنظیم توازن میان واردات و صادرات محصولات، بیمه و برآورد خسارات و سایر امور در حیطه مدیریت کشاورزی، به نحوی مرتبط با آگاهی از سطح زیر کشت محصولات است (۱). از هر دو نوع سنجش‌ازدور چند طیفی و ابر طیفی (Hyperspectral)، جهت طبقه‌بندی پوشش گیاهی استفاده می‌شود، اما از داده‌های چند طیفی مانند تصاویر لندست و اسپات می‌توان جهت شناسایی تیپ‌های کلی گیاهان استفاده نمود (۳، ۱۴ و ۲۹)، درحالی‌که از سنجش‌ازدور ابرطیفی می‌توان برای تفکیک گیاهان در سطح ارقام و گونه‌ها استفاده کرد (۱۰).

نتایج تحقیقات پروسپر و همکاران (۴۳) و همچنین سانگ و همکاران (۵۰) نشان‌دهنده قابلیت خوب داده‌های سنجش‌ازدور ابر طیفی برای تفکیک گیاهان در سطح ارقام و گونه‌ها بوده است. آترون و همکاران (۱۳) جهت ارزیابی وضعیت سلامت پوشش گیاهی، کلور و همکاران (۲۱) برای تعیین مقدار رطوبت گیاه، کوچ (۳۰) برآورد میزان زی‌توده، بری و همکاران (۱۵) بررسی کمیت و کیفیت محصولات، ژانگ و همکاران (۵۸) در بررسی آفات و امراض نتایج خوبی در استفاده از داده‌های طیفی میدانی ارائه کرده‌اند. علت برتری داده‌های ابر طیفی نسبت به داده‌های چند طیفی، دامنه وسیع اطلاعات طیفی و ثبت جزئیات بیشتر از پدیده‌ها در طول موج‌های طیفی است. این در حالی است که حجم وسیع این داده‌ها تحلیل آن‌ها را به دلیل همپوشانی اثر متغیرها و اثر متقابل آن‌ها در طول موج‌های طیفی مشکل می‌سازد (۶، ۱۰ و ۵۴). بنابراین لازم است قبل از اینکه از داده‌های ابر طیفی ماهواره‌ای استفاده شود، با تکیه بر طیف‌سنجی میدانی (Field Spectrometry)، باندهای بهینه برای شناسایی گونه‌های گیاهی تعیین شوند (۹). طیف‌سنجی میدانی قادر است از هر پدیده، منحنی طیفی منحصر به فرد تهیه نماید و با ثبت این

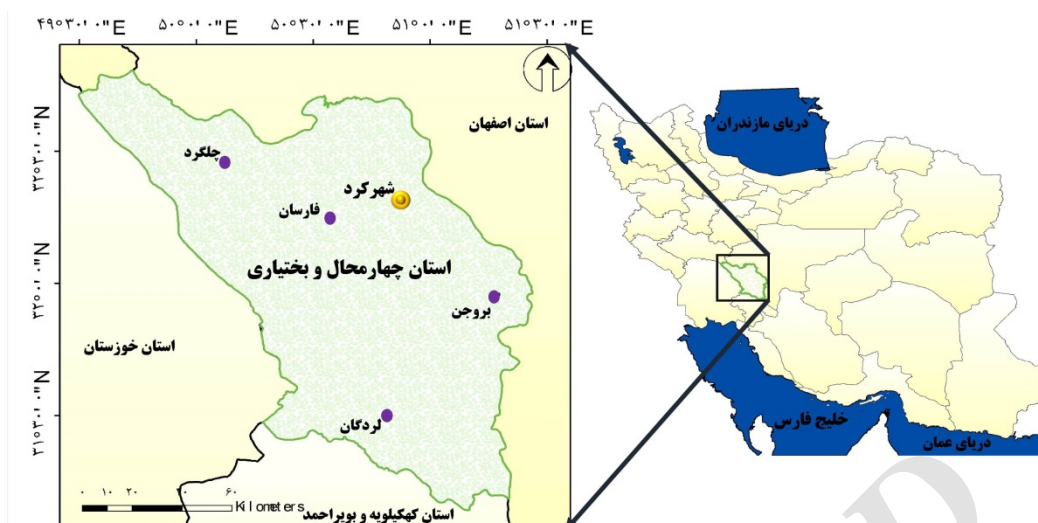
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومترمربع در جنوب غربی کشور بین $31^{\circ} 09'$ تا $28^{\circ} 48'$ عرض شمالی و $49^{\circ} 28'$ تا $51^{\circ} 25'$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). در استان چهارمحال و بختیاری از مجموع ۴۰۸۹۰ هکتار سطح باغات، گونه‌های بادام، گردو، انگور، سیب، هلو، زردآلو، باغات غیر مثمر، و سایر محصولات به ترتیب ۳۷، ۲۰، ۱۲، ۱۱، ۸، ۲، ۷ و ۳ درصد از مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین باغات بادام گردو و انگور گونه‌های غالب بوده، بطوریکه نزدیک به ۶۹ درصد پوشش باغی را تشکیل می‌دهند و در کل استان قابلیت رشد و محصول دهی دارند (۵).

در اغلب موارد پهنه‌های باغی در استان چهارمحال و بختیاری به صورت درهم‌آمیخته و کشت محصولات متنوع در نزدیکی هم می‌باشند. بنابراین در چنین شرایطی برآورد سطح زیر کشت محصولات با آماربرداری و کار گسترده میدانی و صرف هزینه زمانی و مالی بالا امکان‌پذیر خواهد بود و سنجش‌ازدور چند طیفی نیز عملکرد بالایی را در این گونه موارد نخواهد داشت (۵۲). لذا استفاده از سنجش‌ازدور ابر طیفی و تشکیل کتابخانه طیفی گونه‌های باغی استان می‌تواند راهکاری جهت پایش و مدیریت آنها، بخصوص در گونه‌های غالب باشد.

تفکیک گونه‌های مورد مطالعه نشان داده است. آدام و مونتنگا (۹) با استفاده از آزمون واریانس و درخت رگرسیون کلاس‌بندی باندهای بهینه برای تفکیک گونه پاپیروس (Papyrus) از سایر گونه‌ها در آفریقای جنوبی معرفی نمودند. در مطالعه آن‌ها ابتدا آزمون واریانس، توانست ۴۱۲ باند که پتانسیل تفکیک گونه‌ها را دارند شناسایی شدند و در نهایت درخت رگرسیونی کلاس‌بندی، هشت باند بهینه را معرفی نمود که بیشترین عملکرد را در تفکیک گونه‌های مطالعاتی داشته بودند. عباسی و همکاران (۶) در بررسی تفاوت‌های طیفی مهم‌ترین گونه‌های جنگلی شمال ایران با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات بخشی (Partial Least Square) اشاره نمود. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد گونه انجیلی در طول موج‌های حساس به غلظت نیتروژن رفتاری بسیار متفاوت از بلوط و توسکا داشته است و به‌طورکلی محدوده لبه قرمز توانایی بالایی در تفکیک این گونه‌های جنگلی داشته است. بنابر آنچه در بالا ذکر شد، پایش ماهواره‌ای گونه‌های مختلف باغی و برآورد سطح زیر کشت هرکدام از گونه‌ها، نیاز به درک مناسب از رفتار طیفی مختص هرگونه دارد، که از طریق طیف‌سنجی میدانی فراهم می‌گردد. بنابراین هدف از این مطالعه ابتدا تهیه کتابخانه طیفی گونه‌های باغی شامل بادام، گردو و انگور در سطح تاج پوشش در محدوده طیفی ۳۵۰ الی ۲۵۰۰ نانومتر و سپس ارزیابی عملکرد بهترین شاخص در تفکیک گونه‌های باغی بر اساس تحلیل آماری آزمون واریانس و روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان بود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی (استان چهارمحال و بختیاری) در کشور ایران

روش تحقیق

اندازه‌گیری طیفی

تشکیل کتابخانه طیفی یک گیاه، نیازمند جمع‌آوری نمونه‌ها از انواع ارقام، وضعیت‌ها و پراکنش آن گیاه در مناطق مختلف است (۶). لذا در مطالعه حاضر سعی شده که نمونه‌های برداشت‌شده تا حد امکان نمایانگر تغییرات کل جامعه باشند. از آنجاکه تاج پوشش گیاهان در معرض دید سنجنده‌های هوایی و ماهواره‌ای قرار می‌گیرند و امکان تطابق‌پذیری بیشتر داده‌های طیف‌سنجی میدانی با سنجش‌ازدور ماهواره‌ای را فراهم می‌کند؛ بنابراین سطح تاج پوشش نمونه‌های گلدانی مورداندازه‌گیری طیفی قرار گرفت. تعداد تیمارها برای هرکدام از گونه‌ها برابر ۱۰ بوده است و در هر تیمار پنج‌پایه مورد نمونه‌برداری قرار گرفتند، بنابراین در مجموع برای هرکدام از گونه‌ها ۱۵۰ نمونه طیف‌سنجی شد.

برای طیف‌سنجی از دستگاه طیف‌سنج زمینی مدل ASD (Analytical Spectral Devices) FieldSpec3، در محدوده طیفی ۳۵۰ الی ۲۵۰۰ نانومتر در تابستان ۱۳۹۵ استفاده شد. این دستگاه دارای سه سنسور در محدوده مرئی تا مادون‌قرمز میانی و در محدوده‌های طیفی ۳۵۰ تا ۱۰۰۰، ۱۰۰۱ تا ۱۸۵۰ و ۱۸۵۱ تا ۲۵۰۰ با قدرت تفکیک به ترتیب برابر با ۱/۴، ۲ و ۳-۱۰ نانومتر و سرعت برداشت ۰/۱ ثانیه است (۱۲). به‌منظور حذف

خطای ناشی از بخار آب، دما، باد و سایر تداخلات محیطی، نمونه‌های گلدانی در مزرعه به آزمایشگاه منتقل و اندازه‌گیری طیفی در فضای آزمایشگاه، در اتاق کاملاً تاریک و با نور لامپ مخصوص انجام شد و به‌منظور حذف خطای اتمسفری ناشی از بخار آب، باندهای نزدیک به ۱۴۲۰، ۱۹۴۰ و ۲۴۰۰ از روند مطالعه حذف شدند (۹). لازم به ذکر است در حین اسکن طیفی توسط دستگاه از هر نمونه در ۱۰۰ تکرار، منحنی طیفی برداشت شد و توسط نرم‌افزار RS³ میانگین آن‌ها محاسبه و در مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. منحنی‌های به‌دست‌آمده مورد بررسی اولیه قرار گرفتند و در مواردی که الگوی ناهم‌خوان از منحنی نرمال گیاهی داشتند، حذف و طیف‌سنجی مجدد صورت گرفت.

استخراج شاخص‌های طیفی

در این مطالعه در مجموع ۳۰ شاخص طیفی استخراج شد که جزئیات هرکدام در جدول ۱، آمده است. این شاخص‌ها دربرگیرنده شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی، متغیرهای مربوط به موقعیت طیف، شاخص‌های نرمال شده و شاخص‌های طیفی مربوط به جذب می‌باشند که در مطالعات متعددی از آن‌ها در راستای اندازه‌گیری پارامترهای گیاهی و تفکیک گونه‌های گیاهی استفاده شده است (۴۳).

جدول ۱. جزئیات مربوط به ۳۰ شاخص طیفی مورد استفاده

| منبع | توضیحات/دسته‌بندی | نحوه محاسبه | نام شاخص | شاخص اختلافاً نرمال شده |
|--------------------------|--|--|---|-------------------------------------|
| مرتون (۳۴) | شاخصی است که با باریک باندهای مختلف اجرا شده است و در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارد/شاخص کلروفیل و رنگدانه‌ها | $(\rho_{831} - \rho_{667}) / (\rho_{831} + \rho_{667})$ | Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) | پوشش گیاهی |
| گامون و همکاران (۲۴) | این شاخص نسبت به نوع پوشش گیاهی، ظرفیت فتوسنتز و کارایی استفاده از تابش نور خورشید حساس است/ شاخص استرس آبی | $(\rho_{531} - \rho_{570}) / (\rho_{531} + \rho_{570})$ | Photochemical Reflectance Index (PRI) | شاخص حساس به فتوسنتز |
| گیتلسون و مرزلیاک (۲۶) | شاخصی است جهت برآورد مقادیر کلروفیل در برگ گیاهان/ شاخص کلروفیل | $GM1 = (\rho_{750}) / (\rho_{550})$ $GM2 = (\rho_{750}) / (\rho_{700})$ | Gitelson and Merzlyak chlorophyll (GM1, GM2) | شاخص کلروفیل گیتلسون و مرزلاک ۱ و ۲ |
| لیچنتنالر و همکاران (۳۲) | این شاخص به منظور تشخیص استرس در برگ گیاه سبز با استفاده از نوارهای فلورسانس ناشی از اشعه ماوراءبنفش به کار می‌رود/ شاخص کلروفیل | $Lic1 = (\rho_{810} - \rho_{780}) / (\rho_{810} + \rho_{680})$ $Lic2 = (\rho_{440}) / (\rho_{690})$ $Lic3 = (\rho_{440}) / (\rho_{740})$ | Lichtenthaler Indices 1 to 3 | شاخص‌های لیچنتنالر ۱ تا ۳ |
| پنولاس و همکاران (۴۰) | شاخصی مرتبط با مقادیر کاروتنوئید و کلروفیل a | $(\rho_{430}) / (\rho_{780})$ | Simple Ratio Pigment Index (SRPI) | شاخص رنگدانه نسبت ساده |
| بارنس و همکاران (۱۴) | | $(\rho_{415} - \rho_{435}) / (\rho_{415} + \rho_{435})$ | Normalized Phaephytiniz Index (NPQI) | شاخص نرمال شده فتوفیتین |
| پنولاس و همکاران (۴۱) | شاخصی که نسبت به تغییرات کل رنگدانه‌ها نسبت به کلروفیل حساس است. | $(\rho_{780} - \rho_{430}) / (\rho_{780} + \rho_{430})$ | Normalized Pigment Chlorophyll Ratio Index (NPCI) | شاخص نسبت نرمال شده رنگدانه کلروفیل |
| پنولاس و همکاران (۴۰) | شاخص تنش گیاهی طولانی مدت به علت تغییر در ساختار تاج پوشش، اما نه به دلیل اجزای بیوشیمیایی. برآورد نیمه تجربی از نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل a. | $(\rho_{554}) / (\rho_{777})$ | Greenness Index (GI) | شاخص سبزیگی |
| پنولاس و همکاران (۴۰) | | $(\rho_{445} - \rho_{810}) / (\rho_{780} - \rho_{810})$ | Structure Intensive Pigment Index (SIPI) | شاخص ساختار رنگدانه متمرکز |
| گونگ و همکاران (۲۷) | شاخص تنش گیاهی طولانی مدت به علت تغییر در ساختار تاج پوشش مرتبط با رنگدانه | $(\rho_{777}) / (\rho_{777})$ | Simple Ratio (SR) | شاخص نسبت ساده |
| توماس و گائوسمن (۵۳) | مرتبط با مقادیر کلروفیل | (ρ_{550}) | Reflectance at 550 nm, R550 | انعکاس در طول موج ۵۵۰ نانومتر |
| | مرتبط با مقادیر کلروفیل | (ρ_{780}) | Reflectance at 680 nm, R680 | انعکاس در طول موج ۶۸۰ نانومتر |
| پنولاس و همکاران (۴۲) | حساس به میزان رطوبت برگ | $(\rho_{900}) / (\rho_{970})$ | Water Index (WI) | شاخص رطوبت |
| ناگلر و همکاران (۳۷) | نشان‌دهنده مقادیر جذب سلولزی | $0.5 (\rho_{2000} + \rho_{2200}) - \rho_{2100}$ | Cellulose Absorption Index (CAI) | شاخص جذب سلولز |
| | نمایش دهنده وضعیت آب | $(\rho_{1600}) / (\rho_{1200})$ | Moisture Stress Index (MSI) | شاخص تنش رطوبت |
| گائو (۲۵) | نمایش دهنده وضعیت آب | $(\rho_{860} - \rho_{1240}) / (\rho_{860} + \rho_{1240})$ | Normalized Difference Water Index (NDWI) | شاخص اختلافاً نرمال شده رطوبت |
| گالوانو و همکاران (۲۳) | نمایش دهنده بیماری گیاهی و وضعیت آب | $(\rho_{802} + \rho_{547}) / (\rho_{1657} + \rho_{682})$ | Disease Water Stress Index (DWSI) | شاخص رطوبت در تنش بیماری |
| پوو و همکاران (۴۵) | نمایش دهنده وضعیت آب | $2 * \rho_{960} - \rho_{990} / (\rho_{920} - \rho_{940} + \rho_{1090} - \rho_{1110})$ | Band ratio at ۹۷۵ nm (RATIO۹۷۵) | نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر |

ادامه جدول ۱. جزئیات مربوط به ۳۰ شاخص طیفی مورد استفاده

| منبع | توضیحات/دسته‌بندی | نحوه محاسبه | نام شاخص |
|------------------------|---|---|---|
| پوو (۴۴) | نمایش‌دهنده وضعیت آب | $2 * \rho_{1180} - \rho_{1220} / (\rho_{1090} - \rho_{1110} + \rho_{1256} - \rho_{1285})$ | نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر Band ratio at 975 nm (RATIO 975-2) |
| دت (۲۲) | شاخصی جهت نمایش مقادیر کلروفیل است که تحت تأثیر طیف پخشی قرار نمی‌گیرد و به‌طور اساسی عملکرد جذب نور توسط رنگدانه‌ها را نمایش می‌دهد. | $(\rho_{850} - \rho_{710}) / (\rho_{850} + \rho_{680})$ | شاخص کلروفیل برگ Leaf Chlorophyll Index (LCI) |
| سیمز و گامون (۴۸) | این شاخص با مقادیر کلروفیل مرتبط است | $(\rho_{780} - \rho_{710}) / (\rho_{780} - \rho_{680})$ | شاخص دت آ Datt A |
| | این شاخص با مقادیر کلروفیل مرتبط است | $(\rho_{750} + \rho_{705}) / (\rho_{750} + \rho_{705} - 2 * \rho_{445})$ | شاخص کلروفیل سیمز و گامون Chlorophyll Index (SGA) |
| | این شاخص با مقادیر کلروفیل مرتبط است | $(\rho_{750} - \rho_{445}) / (\rho_{705} - \rho_{445})$ | شاخص کلروفیل سیمز و گامون بی Chlorophyll Index (SGB) |
| سیمز و گامون (۴۹) | نمایش‌دهنده وضعیت آب | $(\rho_{900}) / (\rho_{1180})$ | شاخص رطوبت در طول موج ۱۱۸۰ نانومتر Water Index at 1180 nm (WI1180) |
| کارتر (۱۸) | این شاخص با مقادیر کلروفیل مرتبط است | $(\rho_{760} / \rho_{695})$ | شاخص کارتر Carter Index (CI) |
| ولگمن و همکاران (۵۵) | این شاخص با مقادیر کلروفیل مرتبط است | $(\rho_{740} / \rho_{720})$ | شاخص ولگمن Vogelman Index (VOG) |
| گیتلسون و مرزلیاک (۲۶) | شاخص استرس گیاهی که با مقادیر کاروتنوئیدها (آلفا و بتا‌کاروتنوفیل) مرتبط است | $8.00 * (1 / \rho_{520} - 1 / \rho_{550})$ | شاخص انعکاس کاروتنوئید Carotenoid Reflectance Index (CRI) |

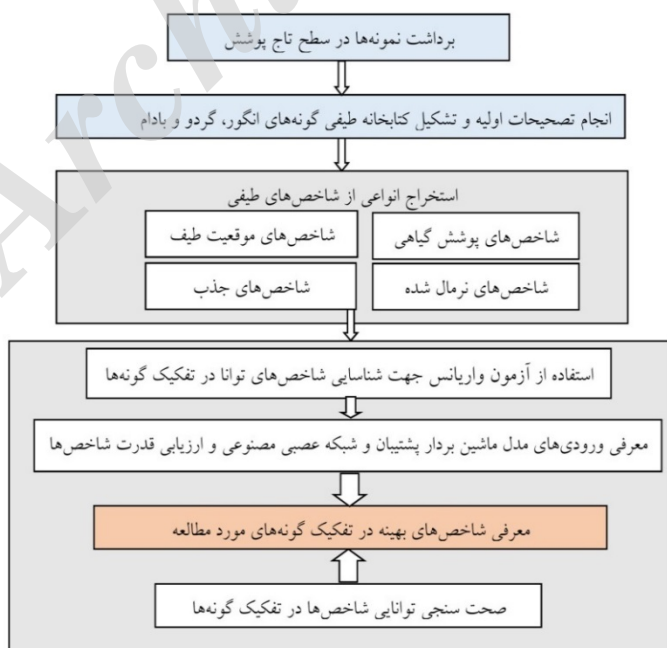
شناسایی شاخص‌های بهینه

مرحله دوم معرفی شد. در مرحله دوم از دو رویکرد شامل ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی جهت ارزیابی قدرت شاخص‌های بهینه در تفکیک گونه‌های مورد مطالعه استفاده شد و کارایی این دو رویکرد مورد مقایسه قرار گرفت. ماشین بردار پشتیبان، بر اساس نظریه یادگیری آماری بنانهاده شده که به سال ۱۹۶۰ برمی‌گردد و یک روش آماری غیر پارامتریک نظارت‌شده است. در این روش با استفاده از همه باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی، نمونه‌هایی که مرزهای کلاس‌ها را تشکیل می‌دهند به‌دقت می‌آید و با استفاده از آن‌ها یک مرز تصمیم‌گیری خطی بهینه برای جدا کردن کلاس‌ها محاسبه می‌شود. این نمونه‌ها را بردارهای پشتیبان (Support Vectors) می‌گویند. روش شبکه عصبی از ساختار مغز و اعصاب انسان پیروی می‌کند و در میان طبقه‌بندی کننده‌های شبکه‌های شاید بیشترین محبوبیت را در طی دو دهه گذشته داشته باشد که به چندین شکل وجود دارد که عمومی‌ترین آن پرسپترون چندلایه است. از شبکه عصبی مصنوعی و ماشین

انتخاب شاخص‌های بهینه در تفکیک گونه‌های گیاهی مورد مطالعه (انگور، گردو و بادام) در محدوده طیفی ۳۵۰ الی ۲۵۰۰، انجام گرفت. از آنجاکه یک تکنیک به‌تنهایی جوابگوی تعیین شاخص‌های مناسب در سنجش‌ازدور ابر طیفی نبوده و رویکرد فراگیر آماری در این زمینه موجود نیست (۵۷)، لذا در این مطالعه از رویکردی دو مرحله‌ای جهت انتخاب شاخص‌های بهینه استفاده شد. در گام اول از آزمون واریانس در سطح ۹۹ درصد اطمینان، جهت شناسایی شاخص‌هایی که مقادیر واریانس طیفی متفاوت را در تمامی گونه‌های مورد بررسی داشته‌اند، استفاده شد و از روش مقایسه میانگین توکی (Tukey HSD) به‌منظور کلاس‌بندی گونه‌ها استفاده گردید (۹). بنابراین در این مرحله تعیین خواهد شد که هر شاخص توانایی تفکیک کدام‌یک از گونه‌های انگور، گردو و بادام از همدیگر را دارد. در پایان این مرحله شاخص‌هایی که توانایی تفکیک تمامی گونه‌ها به‌صورت هم‌زمان را دارند، به

تانژانتی و نمایی در فعال‌سازی نرون مخفی و نرون خروجی و الگوریتم یادگیری استفاده شد. ورودی‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی، شامل شاخص‌های بهینه در مرحله پیشین (مرحله آنالیز واریانس)، به‌عنوان متغیرهای مستقل و گونه‌های گیاهی (گردو، بادام و انگور) به‌عنوان متغیر پاسخ بوده‌اند که به ترتیب با کدهای حرفی A، B و C وارد مدل شده‌اند. هدف از این مرحله آموزش مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان به‌منظور فراگیری دامنه‌های تغییر مقادیر شاخص‌ها به ازای هر کدام از گونه‌های مورد مطالعه بوده است به‌نحوی که پس از آموزش، مدل‌ها قادر باشند نمونه‌های تست را به‌خوبی از یکدیگر تفکیک نمایند. لازم به ذکر است در هر دو رویکرد (شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان) در محیط نرم‌افزار Statistica®10 اجرا شدند و در این فرآیند ۷۰ درصد داده‌ها به‌منظور آموزش مدل و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای آزمون مدل، به‌طور تصادفی مورد استفاده قرار گرفت و از ضریب تبیین (R^2) جهت ارزیابی عملکرد مدل‌ها بهره‌برده شد (۷). نمودار جریان‌ی انجام تحقیق در شکل ۲، ارائه شده است.

بردار پشتیبان جهت حل مسائل رگرسیونی و کلاس‌بندی استفاده می‌گردد که در این مطالعه از توانایی‌های آن‌ها در راستای کلاس‌بندی استفاده شد (۵۱ و ۵۶). ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در سناریوها و معماری‌های مختلف جهت دستیابی به بهترین حالت مدل در کلاس‌بندی گونه‌های گیاهی مورد مطالعه بر مبنای شاخص‌های بهینه اجرا شدند. در ماشین بردار پشتیبان توابع مرکزی (Kernel Function) ویژه‌ای بردارهای ورودی را با توابع خطی و غیرخطی به بردارهای خروجی مرتبط می‌سازند. بنابراین یکی از مهم‌ترین موارد در هنگام استفاده از ماشین بردار پشتیبان انتخاب نوع تابع مرکزی و پارامترهای مربوط به آن است. لذا در این مطالعه از ماشین بردار پشتیبان نوع ۱، با توابع مرکزی خطی، چندجمله‌ای، شعاعی و سیگموئیدی بهره‌برده شد. از آنجاکه هیچ روشی برای تعیین حالت بهینه در پارامترهای تابع مرکزی وجود ندارد (۳۸)، لذا از روش سعی و خطا جهت کالیبره نمودن بهترین ساختار توابع استفاده شد ($0 \leq$ همبستگی ≤ 0.25 ، $0 \leq$ گاما ≤ 5 ، $0 \leq$ درجه ≤ 0). از سویی دیگر، در این مطالعه از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با ۳ الی ۱۰ نود در لایه مخفی و توابع تطبیقی، لجستیکی،



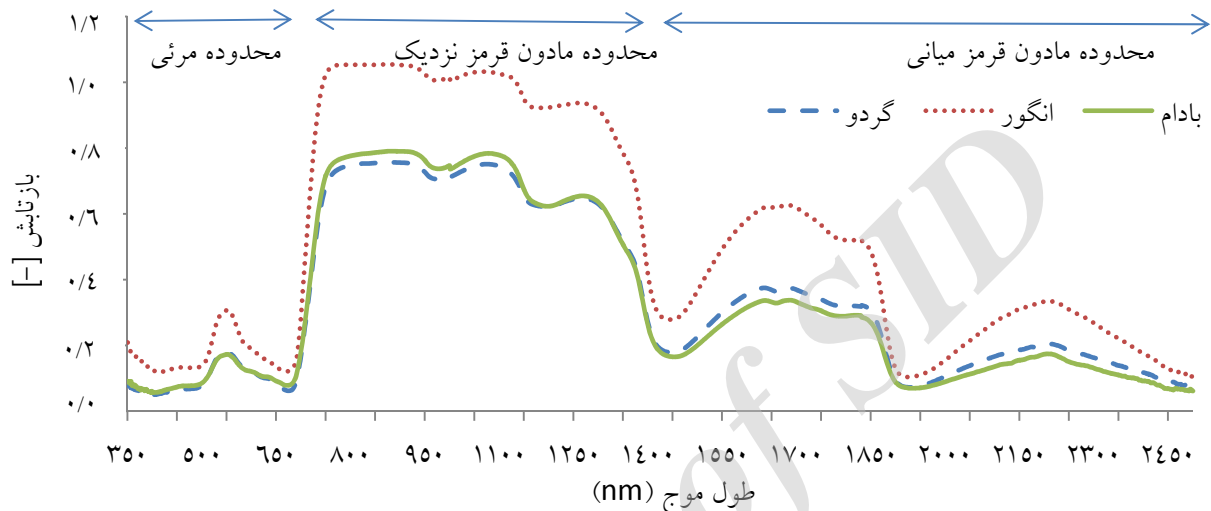
شکل ۲. نمودار جریان‌ی مراحل انجام تحقیق

نتایج

منحنی‌ها و شاخص‌های طیفی گونه‌ها

نزدیک و مادون قرمز میانی (از ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر)، فراهم کرده است (شکل ۳). در جدول ۲، نیز میانگین ۳۰ شاخص طیفی محاسبه شده در سطح تاج پوشش گونه‌های انگور، گردو و بادام نمایش داده شد.

میانگین تمامی منحنی‌های طیفی برداشت شده از گونه‌های انگور، بادام و گردو امکان مقایسه چشمی منحنی‌های طیفی گونه‌های مورد مطالعه را در نواحی مرئی، مادون قرمز



شکل ۳. میانگین منحنی‌های طیفی برداشت شده از گونه‌های انگور، بادام و گردو در سطح تاج پوشش (محور عمودی میزان بازتابش و محور افقی باندهای طیفی)

جدول ۲. میانگین ۳۰ شاخص طیفی محاسبه شده بر مبنای منحنی‌های طیفی گونه‌های انگور، بادام و گردو

| شاخص‌های طیفی | انگور | بادام | گردو | شاخص‌های طیفی | انگور | بادام | گردو |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|-------|
| شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی | ۰/۹۰ | ۰/۸۹ | ۰/۹۱ | شاخص رطوبت | ۲/۴۴ | ۲/۵۳ | ۲/۵۴ |
| شاخص حساس به فتوسنتز | -۰/۱۵ | -۰/۱۶ | -۰/۱۶ | شاخص جذب سلولز | -۱۱۲۷ | -۲۹۵ | -۵۴۳ |
| شاخص کلروفیل گیتلسون و مرزلاک ۱ | ۱۱/۸۶ | ۱۱/۲۶ | ۱۱/۱۳ | شاخص تنش رطوبت | ۰/۴۷ | ۰/۳۳ | ۰/۳۷ |
| شاخص کلروفیل گیتلسون و مرزلاک ۲ | ۶/۳۳ | ۶/۰۹ | ۶/۴۳ | شاخص اختلاف نرمال شده رطوبت | -۰/۰۶ | ۰ | -۰/۰۱ |
| شاخص‌های لیچنتالر ۱ | ۰/۹۱ | ۰/۸۹ | ۰/۹۲ | شاخص رطوبت در تنش بیماری | ۲/۸۴ | ۳/۷۱ | ۳/۶۶ |
| شاخص‌های لیچنتالر ۲ | ۰/۱۲ | ۰/۱۰ | ۰/۱۰ | نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر ۱ | ۱۲/۲۷ | ۸/۱۵ | ۷/۲۷ |
| شاخص‌های لیچنتالر ۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر ۲ | ۱۸/۶۱ | ۸/۱۱ | ۱۶/۱۳ |
| شاخص رنگدانه نسبت ساده | ۰/۱۲ | ۰/۱۱ | ۰/۱۲ | شاخص کلروفیل برگ | ۰/۵۹ | ۰/۶۲ | ۰/۶۳ |
| شاخص نرمال شده فتوئوفیتین | -۰/۳۲ | -۰/۳۷ | -۰/۳۴ | شاخص دت آ | ۰/۷۷ | ۰/۷۹ | ۰/۷۹ |
| شاخص نسبت نرمال شده رنگدانه کلروفیل | ۰/۷۸ | ۰/۸۱ | ۰/۷۹ | شاخص کلروفیل سیمز و گامون | ۱/۰۲ | ۱/۰۲ | ۱/۰۱ |
| شاخص سبزیگی | ۱/۷۵ | ۱/۶۲ | ۲/۱۰ | شاخص کلروفیل سیمز و گامون بی | ۴/۵۲ | ۴/۶۴ | ۴/۷۶ |
| شاخص ساختار رنگدانه متمرکز | ۱/۰۴ | ۱/۰۵ | ۱/۰۴ | شاخص رطوبت در طول موج ۱۱۸۰ نانومتر | ۰/۶۶ | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ |
| شاخص نسبت ساده | ۲۲/۶۲ | ۲۲/۰۱ | ۲۶/۴۷ | شاخص کارتر | ۱۰/۴۸ | ۹/۳۲ | ۱۰/۳۵ |
| انعکاس در طول موج ۵۵۰ نانومتر | ۲۶۱۹ | ۲۰۹۰ | ۲۲۷۵ | شاخص وگلمن | ۱/۷۶ | ۱/۸۵ | ۱/۸۵ |
| انعکاس در طول موج ۶۸۰ نانومتر | ۱۶۷۳ | ۱۴۷۶ | ۱۲۱۲ | شاخص انعکاس کارتوئید | ۱۶/۵۶ | ۱۳/۹۴ | ۱۵/۱۰ |

آزمون واریانس

بوده‌اند هرکدام از گونه‌های انگور، بادام و گردو را در یک گروه مجزا (بنا بر آزمون مقایسه میانگین‌ها) قرار دهد. بنابراین شاخص‌های فوق‌الذکر به مرحله دوم (ورودی مدل‌های کلاس بند شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان) معرفی شده‌اند و توانایی آن‌ها در کلاس‌بندی گونه‌های هدف مورد آموزش و آزمون قرار گرفت.

در این مطالعه آزمون واریانس به منظور شناسایی شاخص‌های طیفی که در آن‌ها گونه‌های مورد مطالعه رفتار طیفی متفاوتی دارند و دارای قابلیت جهت تفکیک گونه‌ها هستند، در سطح ۹۹ درصد اطمینان اجرا شد. مطابق با جدول ۳، شاخص‌های تنش رطوبت، نسبت باند در ۱۲۰۰ نانومتر، شاخص نرمال شده فتوئوفیتین و شاخص جذب سلولز قادر

جدول ۳. نتایج آزمون واریانس با مقایسه میانگین‌های توکی در سطح ۹۵ درصد

| وضعیت شاخص‌ها در تفکیک گونه‌ها | شاخص‌های وضعیت آب | شاخص‌های وضعیت کلروفیل و رنگدانه‌ها | شاخص سلولز، لیگنین و پروتئین |
|--|---|--|---|
| شاخص‌هایی که هرگونه را در گروه مجزا قرارداد | شاخص تنش رطوبت، شاخص نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر ۲ | موجود نیست | شاخص نرمال شده فتوئوفیتین، شاخص جذب سلولز |
| شاخص‌هایی که تمامی گونه‌ها را در یک گروه قرارداد | موجود نیست | شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص کلروفیل گیتلسون و مرزلاک ۱، شاخص کلروفیل گیتلسون و مرزلاک ۲، شاخص لیچنتالر ۳، شاخص کلروفیل سیمز و گامون، شاخص کلروفیل سیمز و گامون بی، شاخص کارتر | موجود نیست |
| شاخص‌هایی که انگور از بادام و گردو تفکیک شد | شاخص حساس به فتوستتوز، شاخص رطوبت، شاخص اختلاف نرمال شده رطوبت، شاخص رطوبت در تنش بیماری، شاخص نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر ۱، شاخص رطوبت در طول موج ۱۱۸۰ نانومتر | شاخص لیچنتالر ۲، شاخص دت آ، شاخص وگلمن | موجود نیست |
| شاخص‌هایی که بادام از انگور و گردو تفکیک شد | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست |
| شاخص‌هایی که گردو از بادام و انگور تفکیک شد | موجود نیست | شاخص سبزی‌نگی | موجود نیست |
| شاخص‌هایی که تنها انگور از بادام تفکیک شد | موجود نیست | شاخص رنگدانه نسبت ساده، شاخص نسبت نرمال شده رنگدانه کلروفیل، شاخص انعکاس در طول موج ۵۵۰ نانومتر، شاخص انعکاس کارتنوئید | موجود نیست |
| شاخص‌هایی که تنها انگور از گردو تفکیک شد | موجود نیست | شاخص انعکاس در طول موج ۶۸۰ نانومتر، شاخص کلروفیل برگ | موجود نیست |
| شاخص‌هایی که تنها گردو از بادام تفکیک شد | موجود نیست | شاخص لیچنتالر ۱، شاخص ساختار رنگدانه متمرکز، شاخص نسبت ساده | موجود نیست |

کلروفیل گیتلسون و مرزلاک ۲، شاخص لیچنتالر ۳، شاخص کلروفیل سیمز و گامون، شاخص کلروفیل سیمز و گامون بی،

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده برای شاخص‌های کلروفیل گیتلسون و مرزلاک ۱، شاخص

قرار دارند.

رویکردهای کلاس‌بندی

در این مطالعه از دو رویکرد هوش مصنوعی شامل شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان در سناریوها و معماری‌های مختلف به‌وسیله تغییر در ساختار و پارامترهای مدل در تفکیک گونه‌های غالب باغی توسط شاخص‌های ابر طیفی استفاده شد. در جدول ۴ و ۵، خلاصه‌ای از مدل‌های برآزش شده ارائه شده است. مطابق جدول ۴، ساختارهای مدل شبکه عصبی مصنوعی، کارایی بسیار بالایی در تفکیک گونه‌های انگور، بادام و گردو بر اساس شاخص‌های بهینه شامل شاخص‌های تنش رطوبت، نسبت باند در ۱۲۰۰ نانومتر، شاخص نرمال شده فتوئوفیتین و شاخص جذب سلولز داشته‌اند. بطوریکه در برخی موارد (مدل‌های شماره ۳، ۴ و ۵) عملکرد مدل در آموزش و آزمون ۱۰۰ درصد بوده است. این در حالی است که مطابق با جدول ۵، مدل ماشین بردار پشتیبان، تنها با تابع مرکزی چندجمله‌ای (مدل شماره ۲) قادر بوده داده‌های آموزش و آزمون را با عملکرد ۱۰۰ درصدی برآورد نماید. هرچند در سایر موارد نیز عملکرد قابل قبولی (عملکرد آزمون برابر با ۸۸/۸۸ درصد صحت) داشته است (مدل‌های شماره ۱، ۳ و ۴).

شاخص کارتر و شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی فاقد هرگونه اختلاف معنی‌دار در بین سه گونه مورد مطالعه بوده و تمامی این شاخص‌ها در گروه شاخص‌های کلروفیل و رنگدانه‌ها قرار گرفته‌اند. تقریباً یک‌سوم از شاخص‌های مورد مطالعه (۹ شاخص) قادر به تفکیک انگور از بادام و گردو بوده است. بطوریکه سه شاخص در دسته کلروفیل و رنگدانه‌ها قرار گرفته (شاخص لیچنتالر ۲، شاخص دت آ و شاخص وگلمن) و شش شاخص در دسته شاخص‌های حساس به رطوبت برگ قرار دارند (شاخص حساس به فتوستنز، شاخص رطوبت، شاخص اختلاف نرمال شده رطوبت، شاخص رطوبت در تنش بیماری، شاخص رطوبت در طول موج ۱۱۸۰ نانومتر و شاخص نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر ۱). از سویی دیگر هیچ‌کدام از شاخص‌ها قادر به تفکیک بادام از انگور و گردو به‌صورت توأم نبوده است و شاخص‌هایی که تنها یک‌گونه را از سایرین تفکیک کردند شامل؛ شاخص سبزینگی، شاخص رنگدانه نسبت ساده، شاخص نسبت نرمال شده رنگدانه کلروفیل، شاخص انعکاس در طول موج ۵۵۰ نانومتر، شاخص انعکاس کارتنوئید، شاخص انعکاس در طول موج ۶۸۰ نانومتر، شاخص کلروفیل برگ، شاخص لیچنتالر ۱، شاخص ساختار رنگدانه متمرکز و شاخص نسبت ساده بوده‌اند که تمامی این شاخص‌ها در دسته شاخص‌های وضعیت کلروفیل و رنگدانه‌ها

جدول ۴. نتایج حاصل کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در کلاس‌بندی گونه‌های بادام، گردو و انگور

| بر مبنای شاخص‌های طیفی بهینه | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|------------------|----------------------|------------|--------------|--------------|
| شماره مدل | ساختار مدل | الگوریتم یادگیری | تابع فعال‌سازی پنهان | تابع خروجی | عملکرد آموزش | عملکرد آزمون |
| ۱ | پرسپترون چندلایه ۳-۳-۴ | بی اف جی اس ۷ | تطبیقی | تانژانتی | ۹۵/۲۳ | ۱۰۰ |
| ۲ | پرسپترون چندلایه ۳-۹-۴ | بی اف جی اس ۱۸ | لجستیکی | نمایی | ۹۵/۲۳ | ۱۰۰ |
| ۳ | پرسپترون چندلایه ۳-۳-۴ | بی اف جی اس ۴۱ | نمایی | نمایی | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۴ | پرسپترون چندلایه ۳-۶-۴ | بی اف جی اس ۱۲ | تانژانتی | تانژانتی | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۵ | پرسپترون چندلایه ۳-۹-۴ | بی اف جی اس ۹ | نمایی | نمایی | ۱۰۰ | ۱۰۰ |

جدول ۵. نتایج حاصل کاربرد ماشین بردار پشتیبان در کلاس‌بندی گونه‌های بادام، گردو و انگور بر مبنای شاخص‌های طیفی بهینه

| شماره مدل | تابع مرکزی | تعداد بردارها | پارامترهای تابع مرکزی | | | عملکرد آموزش | عملکرد آزمون |
|-----------|------------|---------------|-----------------------|------|------|--------------|--------------|
| | | | همبستگی | درجه | گاما | | |
| ۱ | خطی | ۴۴ | - | - | - | ۹۵/۲۳ | ۸۸/۸۸ |
| ۲ | چندجمله‌ای | ۱۸ | ۲ | ۳ | ۰/۲۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۳ | شعاعی | ۷۲ | - | - | ۰/۲۵ | ۹۵/۲۳ | ۸۸/۸۸ |
| ۴ | سیگموئیدی | ۷۱ | ۱ | - | ۰/۲۵ | ۹۰/۴۷ | ۸۸/۸۸ |

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر باهدف شناسایی شاخص‌های طیفی بهینه در تفکیک گونه‌های باغی غالب در استان چهارمحال و بختیاری (گردو، بادام و انگور) انجام شد. در این مطالعه تمامی منحنی‌های طیفی برداشت‌شده دارای شکل نرمال نمونه‌های گیاهی و بدون خطای چشمگیر بوده‌اند، که این امر نشان‌دهنده کیفیت خوب دستگاه طیف‌سنج استفاده‌شده و شرایط پایدار در محیط آزمایشگاه بوده است (۶). از طیف‌سنجی میدانی جهت تعیین باندها و شاخص‌های بهینه در تفکیک گونه‌های گیاهی در مطالعات متعددی در سطح آزمایشگاه و در شرایط طبیعی استفاده شده است (۹، ۱۱، ۱۶، ۱۷، ۳۱، ۴۶ و ۵۴). یکی از مهم‌ترین مشکلات در این زمینه کاهش داده‌های اضافی و معرفی شاخص‌های بهینه است؛ بطوریکه تعداد کمی شاخص در راستای هدف مطالعه انتخاب شوند و درعین حال اطلاعات فراگیری ارائه دهند و داده‌های از دست‌رفته حداقل باشد (۱۰، ۳۵ و ۳۹). بنابراین تکنیک‌های متعددی در این زمینه ارائه شده است؛ در این مطالعه نیز از رویکرد دومرحله‌ای برای دست‌یابی به شاخص‌های بهینه در تفکیک گونه‌های گردو، بادام و انگور موجود در استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. از این‌رو ابتدا از آزمون واریانس در سطح ۹۹ درصد اطمینان استفاده شد، تا تمامی شاخص‌هایی که در آنها رفتار طیفی گونه‌ها به‌طور معناداری متفاوت است و پتانسیل انتخاب به‌عنوان شاخص بهینه را دارند، تعیین شوند. نتایج آزمون واریانس نشان داد که در سطح ۹۹ درصد اطمینان ۴ شاخص تنش رطوبت، شاخص نسبت باند در ۱۲۰۰ نانومتر، شاخص نرمال شده فتوئوفیتین و شاخص جذب فتوئوفیتین و شاخص جذب سلولز پتانسیل اولیه برای تفکیک

گونه‌های گردو، بادام و انگور را در سطح تاج پوشش دارند، بنابراین در ادامه روند مطالعه از داده‌های سطح ۹۹ درصد استفاده شد که نشان‌دهنده اختلاف بارز و چشمگیر رفتار طیفی گونه‌ها در منطقه مورد مطالعه با خطای کمتر است، این در حالی است که در مطالعه آدام و مونتنگا (۹)، اجرای آزمون واریانس در سطح ۹۹ درصد قادر به تفکیک تمامی گونه‌های گیاهی مورد مطالعه نبوده است و به‌ناچار از داده‌های سطح ۹۵ درصد اطمینان استفاده نموده‌اند. در بررسی منحنی‌های فراوانی اختلاف معنی‌دار و منحنی‌های میانگین طیفی گونه‌های مورد مطالعه، این نکته قابل‌ذکر است که گونه‌های بادام و گردو مشابهت بیشتری داشته‌اند و رفتار طیفی گونه انگور همواره متفاوت بوده است. این امر ناشی از ساختار درون‌سلولی و برون سلول برگ، غلظت مواد بیوشیمیایی از جمله کلروفیل، کارتنوئید، نیتروژن و آب موجود در پیکره گونه‌های گیاهی باشد که در مطالعات متعددی به آن اشاره شده است (۹، ۱۱ و ۴۳). شایان‌ذکر است هرچند در این مطالعه پارامترهای بیوشیمیایی و ساختاری گونه‌های گیاهی اندازه‌گیری نشده‌اند، اما بر مبنای نتایج به‌دست‌آمده از معرفی شاخص‌های بهینه می‌توان اذعان نمود که وجه تمایز نمونه‌های برداشت‌شده از گونه‌های انگور، بادام و گردو مربوط به تفاوت در مقادیر آب، ساختار فیزیکی، سلولز و پروتئین بوده است. زیرا مطابق با جدول ۶، شاخص‌های تنش رطوبت، شاخص نسبت باند در ۱۲۰۰ نانومتر، شاخص نرمال شده فتوئوفیتین و شاخص جذب سلولز که در این مطالعه انتخاب شدند مربوط به پارامترهای فوق‌الذکر می‌باشند و هیچ‌کدام از شاخص‌های مربوط به فتوستنز و رنگدانه‌ها به‌عنوان شاخص تمایزدهنده در گونه‌های مورد مطالعه در سطح ۹۹ درصد اطمینان نبوده است.

جدول ۶. مقایسه شاخص‌های بهینه جهت تفکیک گونه‌های گیاهی در مطالعه حاضر و سایر مطالعات

| منبع | روش انتخاب شاخص | محدوده مرئی و مادون نزدیک (مربوط به رنگدانه‌های فتوسنتزی، سطح و ساختار برگ و استرس‌های فیزیولوژیکی) | محدوده مادون قرمز نزدیک (مربوط به آب و ساختار فیزیکی گیاه) | محدوده مادون قرمز میانی (مربوط به لیگنین، سلولز و پروتئین) |
|-----------------------|------------------------------------|---|---|--|
| مطالعه حاضر | آزمون واریانس | - | تنش رطوبت، شاخص نسبت باند در ۱۲۰۰ نانومتر | شاخص نرمال شده فتوئوفیتین و شاخص جذب سلولز، |
| کلارک و روبرت (۲۰) | جنگل تصادفی | شاخص آر وی اس، جی پی، آر ای وی، آر آر ۱۲ | شاخص بی آی، شاخص آی آر آی | شاخص اختلاف نرمال شده نیتروژن، شاخص مادون قرمز کوتاه ای |
| پروسپر و همکاران (۴۳) | آزمون واریانس | شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص لیچنتالر ۱، شاخص انعکاس در طول موج ۵۵۰ نانومتر، شاخص نسبت ساده | شاخص رطوبت در تنش بیماری، شاخص اختلاف نرمال شده رطوبت، شاخص نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر ۱، شاخص رطوبت در طول موج ۱۱۸۰ نانومتر | شاخص جذب سلولز، شاخص وی پی، شاخص اف دی |
| ماشین بردار پشتیبان | شاخص انعکاس در طول موج ۵۵۰ نانومتر | شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص حساس به فتوسنتز، شاخص ساختار رنگدانه متمرکز، شاخص نسبت ساده، شاخص رنگدانه کلروفیل، شاخص نرمال شده فتوئوفیتین، شاخص انعکاس در طول موج ۶۸۰ نانومتر، شاخص انعکاس در طول موج ۵۵۰ نانومتر | شاخص اختلاف نرمال شده رطوبت، شاخص نسبت باند در ۱۲۰۰ نانومتر، شاخص نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر ۱، شاخص تنش رطوبت، شاخص رطوبت در تنش بیماری، شاخص اختلاف نرمال شده رطوبت، شاخص کلروفیل برگ، شاخص عمق جذب در ۹۷۵ نانومتر، شاخص عمق جذب در ۱۲۰۰ نانومتر، شاخص نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر ۱ | شاخص جذب سلولز |
| پوو (۴۴) | آزمون واریانس | شاخص کارتر، شاخص دت آ، شاخص دت بی، شاخص کلروفیل سیمز و گامون، شاخص کلروفیل سیمز و گامون بی، شاخص نسبت ساده، شاخص حساس به فتوسنتز، شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی | شاخص رطوبت در ۹۷۰ نانومتر، شاخص رطوبت در طول موج ۱۱۸۰ نانومتر، شاخص اختلاف نرمال شده رطوبت، شاخص تنش رطوبت | شاخص جذب سلولز |
| ریوارد و همکاران (۴۷) | آنالیز تفکیک خطی | شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص کارتر، شاخص حساس به فتوسنتز، شاخص انعکاس کارتنوئید، شاخص وگلمن، شاخص کلروفیل گیتلسون و مرزلاک ۱ | - | - |
| چوو و همکاران (۱۹) | آزمون واریانس | انعکاس در طول موج ۵۰۰ نانومتر، شاخص نسبت ساده انعکاس در ۷۰۵ نانومتر، شاخص نرمال شده انعکاس در ۷۰۵ نانومتر | شاخص انعکاس در ۸۰۰ نانومتر، شاخص آب در ۹۷۰ نانومتر | - |

بهتر بود. آن‌ها دقت بالای ماشین بردار پشتیبان را ناشی از مرز تصمیم‌گیری بهینه آن دانستند درحالی‌که شبکه عصبی نمی‌تواند این مرز را ایجاد کند. در مطالعه استیتسون و همکاران (۵۱) نیز عملکرد شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان را بسیار شبیه هم دانسته و با مقدار اندکی اختلاف ماشین بردار پشتیبان بهتر بوده است.

نتیجه‌گیری

طیف‌سنجی زمینی و داده‌های حاصل از آن پیش‌نیاز سنجش‌ازدور هوایی و ماهواره‌ای هستند، زیرا که محدوده‌های طیفی بهینه و شاخص‌های هدفمند را در راستای اهداف مطالعات معرفی می‌نمایند و پایه و اساس عملیاتی مانند انتخاب ماهواره و سنجنده بهینه، تصحیحات اتمسفری و رادیو متریک و نیز ارزیابی صحت داده‌های سنجش‌ازدور ماهواره‌ای فراهم می‌نماید. یکی از مهم‌ترین نتایج این‌گونه مطالعات تشکیل کتابخانه طیفی عوارض به‌صورت بومی است که به دلیل عدم تعمیم‌پذیری کتابخانه‌های طیفی موجود در جهان، نیاز به توسعه کتابخانه‌های طیفی منطقه‌ای و ملی برای ارتقاء کیفیت و تفسیرپذیری داده‌های سنجش‌ازدور هوایی و ماهواره‌ای است. همچنین پیشنهاد می‌گردد جهت مدیریت یکپارچه و کارآمد عرصه‌های کشاورزی و باغی کشور، مطالعات مشابهی جهت تعیین باندهای بهینه در پایش انواع باغات به‌صورت هم‌زمان صورت پذیرد تا با صرف اندک زمانی اطلاعات بسیار مفیدی از سطح زیر کشت باغات به دست آید. بنابراین مطابق با یافته‌های حاضر می‌توان اذعان نمود؛ (۱) طیف‌سنجی میدانی در سطح تاج پوشش و استخراج شاخص‌های طیفی قادر است گونه‌های گردو، بادام و انگور را که در یک اکوسیستم درهم‌آمیخته قرار دارند به‌خوبی تفکیک نماید. (۲) داده‌های ابر طیفی که تحت تأثیر پارامترهای محیطی هستند را می‌توان با شاخص‌های ابر طیفی خلاصه نمود و تأثیر عوامل زمینه‌ای را از روی آن‌ها حذف کرد؛ (۳) آزمون واریانس قادر است حجم انبوه داده‌های طیفی را خلاصه نماید و شاخص‌های بهینه در راستای اهداف مطالعه را معرفی کند.

هرچند تفاوت در مقادیر رنگدانه و عوامل فتوسنتزی گونه‌های مورد مطالعه غیرقابل‌انکار است، اما این تفاوت‌ها در رده بعدی اهمیت دارند و نتایج مطالعه حاضر نمایانگر این امر می‌تواند باشد. در جدول ۶، مقایسه اجمالی بین شاخص‌های بهینه معرفی شده در مطالعه حاضر و سایر مطالعات در راستای تفکیک گونه‌های گیاهی، انجام شد. هرچند در مطالعه حاضر شاخصی درزمینه کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌عنوان شاخص بهینه معرفی نشد، اما در سایر مطالعات عنوان شده، همواره شاخص‌های این دسته به‌عنوان شاخص اثرگذار در تفکیک گونه‌های گیاهی معرفی شده است. علت این تفاوت را می‌توان در نوع آزمون آماری مورداستفاده جهت کاهش داده‌ها، سطح معنی‌داری آزمون‌ها و همچنین تفاوت در ساختار فیزیکیوشیمیایی گونه‌های مورد مطالعه دانست. چنانکه در مطالعات چوو و همکاران (۱۹) و کالاکسکا و همکاران (۲۸) نیز شاخصی در دسته نمایه‌های لیگنین، سلولز و پروتئین انتخاب نشد. در مطالعه حاضر پس از انتخاب شاخص‌های بهینه توسط آزمون واریانس، از دو رویکرد شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان جهت ارزیابی قدرت شاخص‌ها در طبقه‌بندی گونه‌های انگور، بادام و گردو استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که هر دو مدل توانایی قابل قبولی در تخصیص مقادیر شاخص‌ها به گونه مربوطه داشته‌اند. بطوریکه با بهینه نمودن ساختار و پارامترهای مدل، کارایی آموزش و آزمون آن‌ها به ۱۰۰ درصد صحت نزدیک شده است و این یافته به‌ویژه در شبکه عصبی مصنوعی نسبت به ماشین بردار پشتیبان بیشتر مشاهده شده است. با این وجود نمی‌توان استدلال نمود که در این مطالعه ماشین بردار پشتیبان عملکرد ضعیف‌تری نسبت به شبکه عصبی مصنوعی داشته است، زیرا با تغییر تابع مرکزی ماشین بردار پشتیبان، عملکرد آن با شبکه عصبی مصنوعی برابر شده است. مشابه با یافته‌های حاضر در نتایج مطالعه نجفی و مختاری (۸) عملکرد هر دو روش شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی خوب بوده، اما روش ماشین بردار پشتیبان با اختلاف ۱ درصد در دقت کلی و ۲ درصد در ضریب کاپا

منابع مورد استفاده

- and Remote Sensing, 64(6): 612-620.
10. Adam E, Mutanga O, Rugege D. 2010. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetlands Ecology and Management*, 18(3): 281-296.
 11. Aneece I, Epstein H. 2017. Identifying invasive plant species using field spectroscopy in the VNIR region in successional systems of north-central Virginia. *International Journal of Remote Sensing*, 38(1): 100-122.
 12. ASD, Analytical Spectral Devices, Inc. 2005. *Handheld Spectroradiometer: User's Guide, Version 4.05*. Boulder, USA.
 13. Atherton D, Choudhary R, Watson D. 2017. Hyperspectral Remote Sensing for Advanced Detection of Early Blight (*Alternaria solani*) Disease in Potato (*Solanum tuberosum*) Plants Prior to Visual Disease Symptoms. In: 2017 ASABE Annual International Meeting, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 10 pp.
 14. Barnes JD, Balaguer L, Manrique E, Elvira S, Davison AW. 1992. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 32(2): 85-100.
 15. Beeri O, Phillips R, Hendrickson J, Frank AB, Kronberg S. 2007. Estimating forage quantity and quality using aerial hyperspectral imagery for northern mixed-grass prairie. *Remote Sensing of Environment*, 110(2): 216-225.
 16. Belluco E, Camuffo M, Ferrari S, Modenese L, Silvestri S, Marani A, Marani M. 2006. Mapping salt-marsh vegetation by multispectral and hyperspectral remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 105(1): 54-67.
 17. Bratsch SN, Epstein HE, Buchhorn M, Walker DA. 2016. Differentiating among four Arctic tundra plant communities at Ivotuk, Alaska using field spectroscopy. *Remote Sensing*, 8(1): 45-51.
 18. Carter GA. 1994. Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *Remote sensing*, 15(3): 697-703.
 19. Cho MA, Sobhan I, Skidmore AK, De Leeuw J. 2008. Discriminating species using hyperspectral indices at leaf and canopy scales. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7. 369-376.
 20. Clark ML, Roberts DA. 2012. Species-level differences in hyperspectral metrics among tropical rainforest trees as determined by a tree-based classifier. *Remote Sensing*, 4(6): 1820-1855.
 21. Clevers JG, Kooistra L, Schaepman ME. 2010. Estimating canopy water content using
۱. بخشوده، م. و ح. شفيعی. ۱۳۸۵. بررسی اثرات حمایتی سیاست خرید تضمینی روی سطح زیر کشت و عملکرد پنبه، سیبزمینی و پیاز در استان فارس. نشریه علوم آب و خاک، ۱۰(۳): ۱۶۴-۲۵۷.
 ۲. پیشنماز احمدی، م.، ح. رضائی مقدم و ب. فیضی زاده. ۱۳۹۶. بررسی شاخص‌ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: دلتای آجی‌چای). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۱): ۸۵-۹۶.
 ۳. درویش‌صفت، ع. ا.، م. عباسی و م. مروی مهاجر. ۱۳۸۸. امکان تهیه نقشه تیپ راش به کمک داده‌های سنجنده ETM⁺. مجله جنگل ایران، ۱(۲): ۱۰۵-۱۱۳.
 ۴. رحیم‌زادگان، م. و م. پورغلام. ۱۳۹۵. تعیین سطح زیر کشت گیاه زعفران با استفاده از تصاویر لندست (مطالعه موردی: شهرستان تربت حیدریه). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۴): ۹۷-۱۱۵.
 ۵. سالنامه آماری استان چهارمحال و بختیاری. ۱۳۹۲. فصل ۴: کشاورزی، جنگلداری و شیلات. ۴۲ صفحه.
 ۶. عباسی، م.، ع. درویش‌صفت، م. شپمن، ه. سبجانی، ا. شیروانی و ش. شبستانی. ۱۳۹۰. تفاوت انعکاس طیفی برگ گونه‌های درختی توسکا، بلوط و انجیلی بر اساس غلظت نیتروژن و استفاده از رگرسیون چند متغیره. جنگل و فرآورده‌های چوب، ۶۴(۴): ۳۹۹-۴۱۷.
 ۷. میرزائی، م.، ع. ریاحی بختیاری، ع. سلمان ماهینی و م. غلامعلی فرد. ۱۳۹۵. مدل‌سازی ارتباط کیفیت آب‌های سطحی و سنجه‌های سیمای سرزمین با استفاده از سیستم استنتاج عصبی - فازی (مطالعه موردی: استان مازندران). مجله آب و فاضلاب، ۲۷(۱): ۸۲-۹۱.
 ۸. نجفی، ا. و م. ح. مختاری. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج کاربری‌های اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۹(۷): ۳۵-۴۴.
 9. Adam E, Mutanga O. 2009. Spectral discrimination of papyrus vegetation (*Cyperus papyrus* L.) in swamp wetlands using field spectrometry. *ISPRS Journal of Photogrammetry*

- hyperspectral remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(2): 119-125.
22. Datt B. 1999. Visible/near infrared reflectance and chlorophyll content in Eucalyptus leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 20(14): 2741-2759.
 23. Galvão LS, Formaggio AR, Tisot DA. 2005. Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. *Remote sensing of Environment*, 94(4): 523-534.
 24. Gamon JA, Field CB, Goulden ML, Griffin KL, Hartley AE, Joel G, Valentini R. 1995. Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. *Ecological Applications*, 5(1): 28-41.
 25. Gao BC. 1996. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3): 257-266.
 26. Gitelson AA, Merzlyak MN. 1997. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 18(12): 2691-2697.
 27. Gong P, Pu R, Heald RC. 2002. Analysis of in situ hyperspectral data for nutrient estimation of giant sequoia. *International Journal of Remote Sensing*, 23(9): 1827-1850.
 28. Kalacska M, Bohlman S, Sanchez-Azofeifa GA, Castro-Esau K, Caelli T. 2007. Hyperspectral discrimination of tropical dry forest lianas and trees: Comparative data reduction approaches at the leaf and canopy levels. *Remote Sensing of Environment*, 109(4): 406-415.
 29. Kent M. 2011. *Vegetation description and data analysis: a practical approach*. John Wiley & Sons. 432 pp.
 30. Koch B. 2010. Status and future of laser scanning, synthetic aperture radar and hyperspectral remote sensing data for forest biomass assessment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(6): 581-590.
 31. Lehmann JRK, Große-Stoltenberg A, Römer M, Oldeland, J. 2015. Field spectroscopy in the VNIR-SWIR region to discriminate between Mediterranean native plants and exotic-invasive shrubs based on leaf tannin content. *Remote Sensing*, 7(2): 1225-1241.
 32. Lichtenthaler HK, Lang M, Sowinska M, Heisel F, Miehe JA. 1996. Detection of vegetation stress via a new high resolution fluorescence imaging system. *Journal of plant physiology*, 148(5): 599-612.
 33. Löw F, Fliemann E, Abdullaev I, Conrad C, Lamers JP. 2015. Mapping abandoned agricultural land in Kyzyl-Orda, Kazakhstan using satellite remote sensing. *Applied Geography*, 62(1): 377-390.
 34. Merton R. 1998. Monitoring community hysteresis using spectral shift analysis and the red-edge vegetation stress index. In *Proceedings of the Seventh Annual JPL Airborne Earth Science Workshop*, Pasadena, CA, USA, 12-16 January, 12-16.
 35. Mureriwa N, Adam E, Sahu A, Tesfamichael S. 2016. Examining the Spectral Separability of *Prosopis glandulosa* from co-existent species using Field spectral measurement and guided regularized random forest. *Remote Sensing*, 8(2):130-144.
 36. Murphy RJ, Monteiro ST, Schneider S. 2012. Evaluating classification techniques for mapping vertical geology using field-based hyperspectral sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(8): 3066-3080.
 37. Nagler PL, Inoue Y, Glenn EP, Russ AL, Daughtry CST. 2003. Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil-plant litter scenes. *Remote Sensing of Environment*, 87(2): 310-325.
 38. Najah AA, El-Shafie OA, Karim O, Jaafar A, El-Shafie A. 2011. An application of different artificial intelligences techniques for water quality prediction. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(22): 5298-5308.
 39. Peñuelas J, Filella I. 1998. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science*, 3(4): 151-156.
 40. Peñuelas J, Baret F, Filella I. 1995. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, 31(2): 221-230.
 41. Peñuelas J, Gamon JA, Fredeen AL, Merino J, Field CB. 1994. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen and water limited sunflower leaves. *Remote sensing of Environment*, 48(2): 135-146.
 42. Peñuelas J, Pinol J, Ogaya R, Filella I. 1997. Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing*, 18(13): 2869-2875.
 43. Prospere K, McLaren K, Wilson B. 2014. Plant species discrimination in a tropical wetland using in situ hyperspectral data. *Remote sensing*, 6(9): 8494-8523.
 44. Pu R. 2009. Broadleaf species recognition with in situ hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 30(11): 2759-2779.
 45. Pu R, Ge S, Kelly NM, Gong P. 2003. Spectral absorption features as indicators of water status in coast live oak (*Quercus agrifolia*) leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 24(9): 1799-1810.
 46. Raynolds MK, Walker DA, Epstein HE, Pinzon JE, Tucker CJ. 2012. A new estimate of tundra-

- biome phytomass from trans arctic field data and AVHRR NDVI. *Remote Sensing Letters*, 3(5): 403-411.
47. Rivard B, Sanchez-Azofeifa GA, Foley S, Calvo-Alvarado JC. 2008. Species classification of tropical tree leaf reflectance and dependence on selection of spectral bands. *Hyperspectral Remote Sensing of Tropical and Sub Tropical Forests*, 141-159.
 48. Sims DA, Gamon JA. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote sensing of environment*, 81(2): 337-354.
 49. Sims DA, Gamon JA. 2003. Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. *Remote Sensing of Environment*, 84(4): 526-537.
 50. Song XP, Potapov P, Adusei B, King L, Khan A, Krylov A, Hansen M. 2016. National-scale crop type mapping and area estimation using multi-resolution remote sensing and field survey. In AGU Fall Meeting Abstracts. 1-5.
 51. Stitson M, Weston J, Gammerman A, Vovk V, Vapnik VJUL. 1996. Theory of support vector machines. 117 (827):188-191.
 52. Thenkabail PS, Lyon JG. 2016. *Hyperspectral remote sensing of vegetation*. CRC Press, 782 pp.
 53. Thomas J, Gausman HW. 1977. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops. *Agronomy Journal*, 69 (5): 799-802.
 54. Vaiphasa C, Ongsomwang S, Vaiphasa T, Skidmore AK. 2005. Tropical mangrove species discrimination using hyperspectral data: A laboratory study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65(1): 371-379.
 55. Vogelmann JE, Rock BN, Moss DM. 1993. Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 14(8): 1563-1575.
 56. Wu W, Walczak B, Massart DL, Heuerding S, Erni F, Last IR, Prebble KA. 1996. Artificial neural networks in classification of NIR spectral data: Design of the training set. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 33(1): 35-46.
 57. Yang YH, Yiao Y, Segal MR. 2005. Identifying differentially expressed genes from microarray experiments via statistic synthesis. *Bioinformatics* 21(7): 1084-1093.
 58. Zhang M, Qin Z, Liu X, Ustin SL. 2003. Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(4): 295-310.



Spectral discrimination of important orchard species using hyperspectral indices and artificial intelligence approaches

M. Mirzaei¹, M. Abbasi^{2*}, S. Marofi³, E. Solgi⁴, R. Karimi⁵

1. Ph.D Student of Environment, Research Institute for Grapes and Raisin (RIGR), Malayer University
2. Assis. Prof. College of Forest Science and Engineering, Department of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University
3. Prof. College of Water Engineering, Department of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan
4. Assis. Prof. College of Environment, Department of Natural Resources and Environments, Malayer University
5. Assis. Prof. College of Green Space Design, Department of Agriculture, Malayer University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 September 2017

Accepted 25 July 2018

Available online 23 August 2018

Keywords:

Field spectroscopy

Plant species discrimination

Spectral indices

Artificial neural network (ANN)

Support vector machine (SVM)

ABSTRACT

Study spectral reflectance through spectral indices allows the optimal use of the wide range of spectral wavelengths in hyperspectral data. The purpose of this study was to introduce and evaluate the performance of spectral indices to discriminate dominant orchard species in Chaharmahal Bakhtiari province. In this study, 150 spectral curves were measured in the range of 350 to 2500 nm, from grapes, walnuts and almond trees. After the initial correction, 30 of the most important spectral indices were extracted. Analysis of variance and comparisons of meanings was applied to identify the optimal indices for species discrimination at a 99% confidence level. Then, an artificial neural network (ANN) and support vector machine (SVM) approaches were used to evaluate the performance of indices in species discrimination. ANOVA results indicated that the Moisture Stress Index (MSI), Band ratio at 1,200 nm, normalized phaeophytin index (NPQI) and cellulose absorption index (CAI) indices are optimal for discrimination of the studied species. The performance evaluation of the introduced indicators in some of the ANN and SVM enhancement structures has been associated with 100% accuracy in both education and testing, which shows the effectiveness of these studies in distinguishing orchard species. The performance evaluation of the introduced indicators has been validated at 100% in both training and testing stages. This result emphasizes the necessity of performing spectroscopic studies to separate the orchard species before analyzing the hyperspectral images due to their large data volume, high cost and huge data analysis.

* Corresponding author e-mail address: mozhgan.abasi@gmail.com