

برآورد غیرمخرب کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور با استفاده از داده‌های ابرطیفی زمینی و کاربرد روش ماشین بردار پشتیبان

محسن میرزائی^۱، صفر معروفی^{۲*}، عیسی سلگی^۴، مژگان عباسی^۵ و روح اله کریمی^۶

^۱ ایران، ملایر، دانشگاه ملایر، پژوهشکده انگور و کشمش، گروه پژوهشی علوم محیطی انگور

^۲ ایران، ملایر، دانشگاه ملایر، پژوهشکده انگور، گروه پژوهشی علوم محیطی انگور

^۳ ایران، همدان، دانشگاه بوعلی سینا

^۴ ایران، ملایر، دانشگاه ملایر، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست و عضوگروه پژوهشی علوم محیطی انگور، گروه محیط زیست

^۵ ایران، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده منابع طبیعی، گروه جنگلداری

^۶ ایران، ملایر، دانشگاه ملایر، پژوهشکده انگور، دانشکده کشاورزی و عضوگروه پژوهشی به‌زراعی و به‌نژادی انگور، گروه فضای سبز

تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۸/۳/۳۰

چکیده

پایش مقادیر کلروفیل و نیتروژن در گیاهان معرف وضعیت سلامت پوشش گیاهی، کمیت و کیفیت محصولات است. معمولاً اندازه‌گیری این پارامترها بوسیله آنالیز آزمایشگاهی صورت می‌پذیرد، که نیاز به هزینه، صرف وقت و مواد شیمیایی دارد. در مطالعه حاضر به ارزیابی توانایی طیف‌سنجی زمینی به عنوان روشی سریع، غیرمخرب و دوستدار محیط زیست، برآورد این پارامترها در برگ انگور پرداخته شد. لذا از ۱۸۰ نمونه برگ انگور برداشت شده از ۳۰ موستان در تابستان ۱۳۹۶، منحنی طیفی در دامنه ۳۵۰-۲۵۰ نانومتر تهیه شد و طول موج‌ها و شاخص‌های طیفی بهینه در تخمین این پارامترها بوسیله رگرسیون حداقل مربعات بخشی (PLS) تعیین شدند. سپس عملکرد متغیرهای بهینه انتخاب شده، بوسیله مدل‌های رگرسیون چندگانه خطی و ماشین بردار پشتیبان (SVM) ارزیابی شد. نتایج PLS نشان داد، طول موج های واقع در نزدیکی ۲۴۰۲، ۹۴۶، ۴۴۶ و ۷۲۵ نانومتر و طول موج‌های واقع در نزدیکی ۶۹۰، ۱۳۷۰، ۷۲۹، ۴۳۸ و ۳۶۶ نانومتر به ترتیب به عنوان متغیرهای بهینه در پیش‌بینی مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور بوده‌اند. همچنین محدوده‌های مرئی و لبه قرمز بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات این پارامترها داشتند. نتایج مدل‌سازی نشان داد، در بهترین ساختارهای مدل SVM، کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور به ترتیب با ضرایب تعیین برابر با ۰/۹۱ و ۰/۷۲ در مرحله آزمون برآورد شدند. لذا باتوجه به نتایج قابل قبول بدست آمده، توصیه می‌گردد از طیف‌سنجی زمینی، تشکیل کتابخانه طیفی و معرفی طول موج‌های بهینه جهت پایش سایر پارامترهای بیوشیمیایی در گونه‌های گیاهی به عنوان روشی نوین و کارا استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: طیف‌سنجی زمینی، کلروفیل، نیتروژن، انگور، ماشین بردار پشتیبان

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۳۱۴۳۶۸۶، پست الکترونیکی: Smarofi@yahoo.com

مقدمه

محصولات باغی نقش بسزایی در بهره‌وری از زمین، اشتغال‌زایی، افزایش صادرات، سلامت و تهیه غذا دارند، که در اختیار داشتن اطلاعات صحیح و به روز از باغات، نقش اساسی در مدیریت و افزایش بهره‌وری از این عرصه‌ها دارد. لذا، اندازه‌گیری و پایش پارامترهایی که نمایانگر وضعیت سلامت/تنش پوشش گیاهی هستند بسیار

غیرمخرب (nondestructive) است (۳۶). همچنین نتایج بدست آمده از طیف‌سنجی زمینی دارای صحت قابل قبول هستند (۳۰ و ۴۰) و می‌توان از نتایج آن در راستای هدفمند نمودن سنجش از دور هوایی و ماهواره‌ای در پهنه‌های بسیار گسترده استفاده نمود (۲۰).

مشخصه‌های طیفی گیاهان در طول موج‌های مختلف تحت تأثیر عوامل محیطی، ساختارهای درون سلولی و برون سلولی برگ، غلظت مواد بیوشیمیایی از جمله کلروفیل، کاروتنوئید، نیتروژن، مواد آلاینده و میزان آب است (۱۴). هریک از عوامل یاد شده دارای تأثیر ویژه‌ای بر بازتاب در طول موج‌های خاص می‌باشند. با این وجود، کمی‌سازی این گونه اختلافات و تفسیر آنها به راحتی امکان‌پذیر نیست. یکی از چالش‌های طیف‌سنجی، تعداد باریک باندها و همچنین خطاهای رادیومتریک و اتمسفری و نیز تأثیرپذیری الگوی طیفی یک پدیده از محیط اطراف و پدیده‌های مجاور به آن است (۱۵ و ۲۸). بنابراین در راستای استفاده از داده‌های طیفی، محاسبه شاخص‌های طیفی و نیز عملیات‌های آماری پر واضح و رایج است (۳۱). شاخص‌های طیفی به صورت یک عملیات ریاضی ساده مانند جمع، تفریق و نسبت‌گیری بین دو یا چند طول موج/باند طیفی هستند و به عنوان یکی از متداول‌ترین رویکردها در مطالعه عوامل تأثیرگذار بر روی بازتاب طیفی گیاهان به شمار می‌روند (۳۱ و ۳۹). این شاخص‌ها، علاوه بر کاهش یا حذف اثر عوامل مزاحم محیطی مانند رطوبت محیط، زاویه تابش خورشید، باد، نورپخشی و غیره، تغییرات پارامتر مورد نظر را بارزتر می‌سازند (۳۱). عملیات‌های آماری نیز نقش بسیار مهمی در کاهش حجم و تفسیر داده‌های حاصل از طیف‌سنجی دارند (۸ و ۹). از روش‌های رایج آماری در زمینه کاهش داده‌های ورودی و کلاس‌بندی و مدل‌سازی داده‌های حاصل از طیف‌سنجی می‌توان به روش‌های رگرسیون حداقل مربعات بخشی (PLS; Partial Least Squares Regression) (۱۶)، ۲۲ و ۳۸، رگرسیون چندگانه خطی (MLR; Multiple

حائز اهمیت است، که مقادیر کلروفیل و نیتروژن از مهم‌ترین پارامترهای شناخته شده در این زمینه هستند (۱۷ و ۲۰). به‌طوریکه مقدار کلروفیل و نیتروژن می‌تواند شاخصی از پتانسیل فتوسنتزی (۳۰)، سطح برگ و تاج پوشش (۱۹)، پیش‌بینی میزان و کیفیت محصولات (۳۷)، تعیین سطوح آلودگی‌ها و استرس‌ها (۳۳)، و همچنین تشخیص آفات و بیماری‌های گیاهی (۲۸) باشد. نیتروژن نیز یکی از مهم‌ترین مواد مغذی ماکرو در گیاهان است و نقش اساسی در رشد رویشی، گلدهی و نمو میوه ایفا می‌نماید (۲۰). این عنصر برای تولید کلروفیل، اسیدهای آمینه و پروتئین ضروری است و کمبود آن منجر به کاهش کلروفیل، کاهش پتانسیل فتوسنتزی و در نتیجه اختلال در رشد و نمو گیاهان می‌گردد (۱۷).

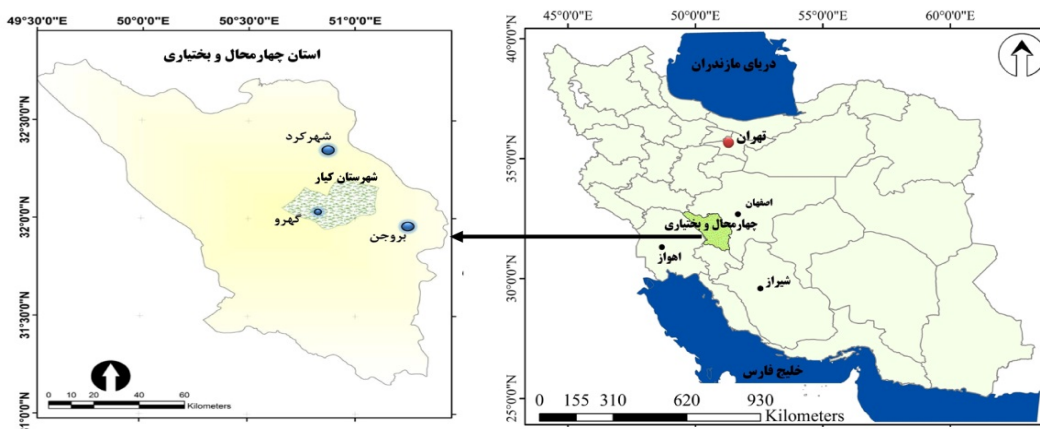
روش‌های آزمایشگاهی بسیاری برای تعیین مقادیر کلروفیل و نیتروژن در پوشش گیاهی وجود دارد، که مهم‌ترین مزیت این روش‌ها دقت زیاد آنها است. اما این روش‌ها دارای معایبی از جمله نیاز به مواد شیمیایی مخرب محیط زیست، صرف هزینه و زمان بسیار هستند. همچنین در این روش‌ها می‌بایست اندام‌های گیاهی قطع شود و نیاز به کارشناس، تجهیزات آزمایشگاهی و شرایط ویژه انجام آزمایش دارند (۷). علاوه بر این، داده‌های حاصل از این روش‌ها نقطه‌ای و محدود به نمونه مورد بررسی است و قابلیت تعمیم ندارند. اما امروزه نسل جدیدی از سنجنده‌ها تحت عنوان سنجنده‌های ابرطیفی طراحی شده‌اند، که امکانات ویژه‌ای برای پایش پارامترهای بیوشیمیایی در گیاهان بوجود آورده‌اند و به صورت زمینی، هوایی و ماهواره‌ای توسعه داده شدند (۸ و ۹). طیف‌سنجی زمینی قادر است از هر پدیده، منحنی طیفی منحصر به فرد (در حد اثر انگشت) تهیه نماید و بر همین اساس پژوهشگران زیادی این تکنیک را مناسب مطالعات گیاهی ارزیابی نموده‌اند (۱۶، ۲۲، ۲۵ و ۳۸). بنابراین می‌توان از طیف‌سنجی زمینی به عنوان روشی غیرمخرب و دوستدار محیط زیست یاد کرد که نیاز به هیچ‌گونه ماده شیمیایی ندارد و

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه: در استان چهارمحال و بختیاری، تاکستان‌ها وسعتی برابر با ۵۱۱۵ هکتار دارا هستند و رتبه نخست تولیدات باغی (سالانه ۶۲۰۰۰ تن) را در این استان به خود اختصاص داده‌اند (۶). در این میان شهرستان کیار که موقعیت مکانی آن در شکل ۱، نمایش داده شد، با سطح زیرکشت ۱۵۷۱ هکتار و تولید سالیانه ۲۲۶۴۰ تن به عنوان قطب تولید انگور استان محسوب می‌گردد (۱۱). لازم به ذکر است که ۹۰ درصد ارقام انگور موجود در این شهرستان از نوع عسکری می باشد (۶). باتوجه به نقش انگور در اقتصاد مردم و چالش‌های مدیریتی موجود در این زمینه و همچنین یکپارچگی تاکستان‌ها در این شهرستان، لزوم انجام مطالعات و استفاده از تکنیک‌ها و شیوه‌های مطالعاتی نوین در صنعت انگور این منطقه و ارائه راه حل-های مدیریتی نوین، پررنگ‌تر است و به عنوان منطقه مورد مطالعه در این تحقیق انتخاب شده است.

(Linear Regression) (۳۳ و ۳۴) و ماشین بردار پشتیبان (SVM; Support Vector Machine) (۳۱)، اشاره نمود.

در مطالعه حاضر، باتوجه به اهمیت انگور (*Vitis L. vinifera*) در میان تولیدات باغی کشور و جایگاه ایران در بین کشورهای برتر تولیدکننده این محصول، پیش‌بینی مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ این گیاه با استفاده از روش غیرمخرب طیف‌سنجی زمینی و بکارگیری طول موج‌های طیفی (در دامنه ۳۵۰-۲۵۰ نانومتر)، شاخص‌های گیاهی و عملیات‌های آماری پرداخته شده است. لازم به ذکر است مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور می تواند معرفی از وضعیت کمی و کیفی میوه انگور باشد (۲۶، ۲۹ و ۳۶). همچنین از روش PLS به منظور کاهش حجم داده‌های ورودی و انتخاب طول موج‌ها/شاخص‌های طیفی بهینه استفاده شد و عملکرد دو رویکرد مدل‌ساز MLR و SVM مورد مقایسه قرارگرفت.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی (شهرستان کیار) در کشور و استان چهارمحال و بختیاری و تصاویر برداشت شده از تاکستان‌های شهر گهرو

نمونه در انواعی از شرایط فیزیکی و موقعیت قرارگیری در تاج، برداشت شد. نمونه‌های برگ ابتدا مورد طیف‌سنجی قرارگرفتند و پس از آن مقادیر کلروفیل و نیتروژن بوسیله آنالیز آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که در تمامی ۱۸۰ نمونه برداشته شده مقادیر کلروفیل و در ۷۰ نمونه از آنها مقادیر نیتروژن آنالیز گردید. در گام بعد

روش انجام پژوهش: از آنجا که ارقام انگور دارای الگوی طیفی متفاوت هستند (۱۶)، در مطالعه حاضر به منظور حذف اینگونه تداخلات، نمونه‌برداری تنها از رقم عسکری (*V. vinifera cv. Askari*)، که رقم غالب در منطقه مطالعاتی است، صورت پذیرفت. لذا در این راستا ۳۰ موستان به طور تصادفی انتخاب شدند و از هرکدام شش

متعددی از این شاخص‌ها به منظور اندازه‌گیری پارامترهای گیاهی و نیز تفکیک گونه‌ها و ارقام گیاهی استفاده شده است (۳۱ و ۳۹).

آنالیز آزمایشگاهی کلروفیل و نیتروژن: جهت اندازه‌گیری مقادیر کلروفیل، ابتدا نمونه‌های مزرعه در کیسه‌های پلاستیکی درب‌دار ریخته شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس مقدار یک گرم از نمونه برگ تر در هاون چینی ریخته شد و با استفاده از نیتروژن مایع آن را خرد کرده و به خوبی فشرده و له شدند. پس از آن ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه اضافه شد و در دستگاه سانتیفریوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت و عصاره جدا شده پس از سانتیفریوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد. در مرحله بعد، مقداری از نمونه عصاره در نمونه‌گیر اسپکتروفتومتر (مدل-1601 SHIMADZU, PC UV) ریخته شد و میزان جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ قرائت گردید. در نهایت نیز اعداد بدست آمده در معادلات زیر قرار داده شد و مقادیر کل کلروفیل برای هر نمونه محاسبه گردید (۴ و ۱۳).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V/100W \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V/100W \quad (2)$$

$$\text{Chlorophyll a and b} = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b} \quad (3)$$

در این معادلات V، حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتیفریوژ)، A، جذب نور در طول موج-های ۶۶۳، ۶۴۵ و W، وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

به منظور برآورد مقادیر نیتروژن، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون (دمای ۷۰ درجه سانتیگراد) خشک شدند، پس از آسیاب کردن و گذراندن آنها از الک ۲ میلی‌متری، یک گرم از هر نمونه وزن شد، نمونه‌ها به روش هضم در لوله‌های مخصوص با سولفوریک اسید، سالیسیک اسید، آب اکسیژنه و سلنیم هضم گردید و به روش تیتراسیون

تجزیه و تحلیل‌های آماری و مدل‌سازی بین داده‌های آزمایشگاهی کلروفیل و نیتروژن و طول موج‌ها و شاخص-های طیفی در سطح برگ انجام شد. در این گام طول موج-ها و شاخص‌های بهینه در برآورد مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور بوسیله روش PLS مشخص شدند و ارزیابی صحت یافته‌ها به وسیله دو رویکرد MLR و SVM مورد بررسی قرار گرفت.

عملیات طیف‌سنجی زمینی: نمونه‌های پس از جمع‌آوری سریعاً مورد طیف‌سنجی قرار گرفتند تا کمترین تغییرات را نسبت به شرایط طبیعی داشته باشند. به منظور طیف‌سنجی از دستگاه اسپکترومتر زمینی (مدل ASD FieldSpec3)، استفاده شد. این دستگاه در زمره دستگاه-های با دامنه طیفی کامل بوده و قادر است در هر برداشت محدوده طول موج‌های ۲۵۰-۳۵۰ نانومتر را ثبت نماید. لازم به ذکر است این دستگاه دارای سه سنسور است، که سنسورهای اول، دوم و سوم آن به ترتیب دارای قدرت تفکیک‌های ۳، ۶ و ۱۰ نانومتر هستند. داده‌های برداشت شده بوسیله نرم افزار RS³ درون‌یابی شده و به قدرت تفکیک ۱ نانومتر تبدیل می‌شوند. بدین معنی که در دامنه ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر ۲۱۵۱ طول موج ثبت می‌گردد. منحنی‌های به‌دست‌آمده مورد بررسی اولیه قرار گرفتند و در مواردی که الگوی ناهم‌خوان با منحنی نرمال گیاهی داشتند، حذف شده و طیف‌سنجی مجدد صورت گرفت (۹).

استخراج شاخص‌های طیفی: داده‌های طیف‌سنجی زمینی می‌تواند تحت تأثیر عوامل مزاحم محیطی از جمله نور پخش پدیده‌های مجاور، بخار آب، رطوبت برگ، دما، پارامترهای بیوشیمیایی و سایر متغیرها باشد. لذا یکی از راه حل‌های موجود، استفاده از شاخص‌های طیفی جهت رفع خطاها و بارزسازی و تشدید اختلاف بازتاب پدیده‌ها است (۱). در این مطالعه در مجموع ۳۰ شاخص طیفی استخراج شد، که جزئیات آنها در جدول ۱، آمده است. مطالعات

آموزش آن نسبتاً آسان‌تر است. قابل ذکر است SVM و تابع مرکزی آن دارای پارامترهای مختلفی است که نحوه تنظیم آن‌ها در حصول جواب هرچه بهتر مسئله بسیار مؤثر است. پس یافتن بهینه‌ترین پارامترها خود به نوعی مسئله بهینه‌سازی است که با روش سعی و خطا و آزمودن مقادیر مختلف این پارامترها می‌تواند زمان‌بر باشد. لذا این مسئله نیز به وسیله الگوریتم‌های بهینه‌سازی حل می‌شود. همچنین SVM قادر است مسئله را به ۲ فضای با ابعاد بیشتری برسد که این کار توسط ترفند توابع مرکزی (Kernel function) صورت می‌گیرد. در مسائل SVM انتخاب تابع مرکزی بسیار مهم است و انتخاب آن به نوع و ماهیت مسئله بستگی دارد. الگوریتم SVM را می‌توان در سناریوها و معماری‌های مختلف جهت دستیابی به بهترین حالت مدل اجرا نمود. در رویکرد SVM توابع مرکزی ویژه‌ای بردارهای ورودی را با توابع خطی و غیر خطی به بردارهای خروجی مرتبط می‌سازند. بنابراین یکی از مهمترین موارد در هنگام استفاده از SVM انتخاب نوع تابع مرکزی و پارامترهای مربوط به آن است (۹). لذا از توابع مرکزی خطی (Linear)، چند جمله‌ای (Polynomial)، شعاعی (Radial Basis Function: RBF) و سیگموئیدی (Sigmoid) بهره برده شد. تعیین حالت بهینه در پارامترهای تابع مرکزی $0 \leq \text{coefficient} \leq 3$, $0 \leq \text{gamma} \leq 1$, $1 \leq \text{degree} \leq 3$ نیز بر مبنای الگوریتم بهینه‌ساز انجام شد. با تفکیک تصادفی داده‌ها به مقادیر ۷۰ و ۳۰ درصد، به ترتیب مراحل آموزش و صحت‌سنجی مدل‌ها اجرا شد. جهت مقایسه عملکرد و کارایی مدل‌های مورد استفاده، از نمایه‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، (Root Mean Square Error) و ضریب تعیین (R^2) استفاده گردید (۱۰). نحوه محاسبه RMSE و R^2 به ترتیب در روابط ۱ و ۲ ارائه شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_o - q_p)^2}$$

رابطه ۱

بعد از تقطیر با استفاده از دستگاه ۱۰۳۰ Auto Kejeltec Techator Analyser غلظت نیتروژن کل در نمونه‌های برگ اندازه‌گیری شد (۲).

آنالیزهای آماری، مدل‌سازی و ارزیابی صحت نتایج: از آنجا که حجم داده‌های اولیه جهت ورود به فرایند مدل‌سازی بسیار زیاد بوده است (۳۰ شاخص طیفی و ۲۱۵۱ طول موج). می‌بایست حجم داده‌های ورودی به مدل را تا حد امکان کاهش داد و مهم‌ترین متغیرها جهت تشریح مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور را شناسایی نمود. برای این منظور از قابلیت‌های روش PLS، در کاهش تعداد متغیرها و معرفی متغیرهای بهینه استفاده شد. در این گام طول موج‌ها و شاخص‌ها به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند و مقادیر کلروفیل و نیتروژن اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، به عنوان متغیر وابسته وارد معادله PLS شدند. تعداد بهینه مؤلفه در PLS با استفاده از رویکرد V-fold Cross Validation تعیین شد و مهم‌ترین طول موج‌ها/شاخص‌های طیفی که بیشترین بار عاملی یا به عبارتی بیشترین همبستگی را در هر مؤلفه داشته، به عنوان نماینده آن مؤلفه انتخاب شدند. بنابراین با اجرای PLS از میان ۲۱۵۱ طول موج (از ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) و ۳۰ شاخص طیفی، تعداد انگشت شماری از آنها باقی می‌ماند که قادرند تا حد بسیاری واریانس کل جامعه را تشریح نمایند، کمترین میزان همبستگی داخلی بین آنها موجود باشد و در عین حال بیشترین ارتباط را با متغیر وابسته (مقادیر کلروفیل و نیتروژن) داشته باشند. در نهایت از دو رویکرد MLR و SVM جهت ارزیابی عملکرد طول موج‌ها و شاخص‌های بهینه معرفی شده بوسیله روش PLS بهره‌گرفته شد. در این مطالعه از روش SVM جهت استخراج الگو (رگرسیون) استفاده شد. مزیتی که SVM را نسبت به سایر الگوریتم‌ها همانند الگوریتم ژنتیک متمایز می‌سازد این است که الگوریتمی مبنی بر احتمالات نیست و همواره جواب یکه‌ای به همراه دارد و زمان کمتری را برای دستیابی به جواب بهینه به خود اختصاص می‌دهد و

که در آن q_0 مقادیر پارامتر گیاهی (در این مطالعه کلروفیل و نیترژن) مشاهده شده، q_p مقادیر پارامتر گیاهی برآورد شده و n تعداد مشاهدات است.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (q_o - \bar{q}_o)(q_p - \bar{q}_p)}{(\sum_{i=1}^n (q_o - \bar{q}_o)^2)^{0.5} (\sum_{i=1}^n (q_p - \bar{q}_p)^2)^{0.5}} \quad \text{رابطه ۲}$$

جدول ۱- جزئیات مربوط به ۳۰ شاخص طیفی مورد استفاده در مطالعه حاضر (۳۱).

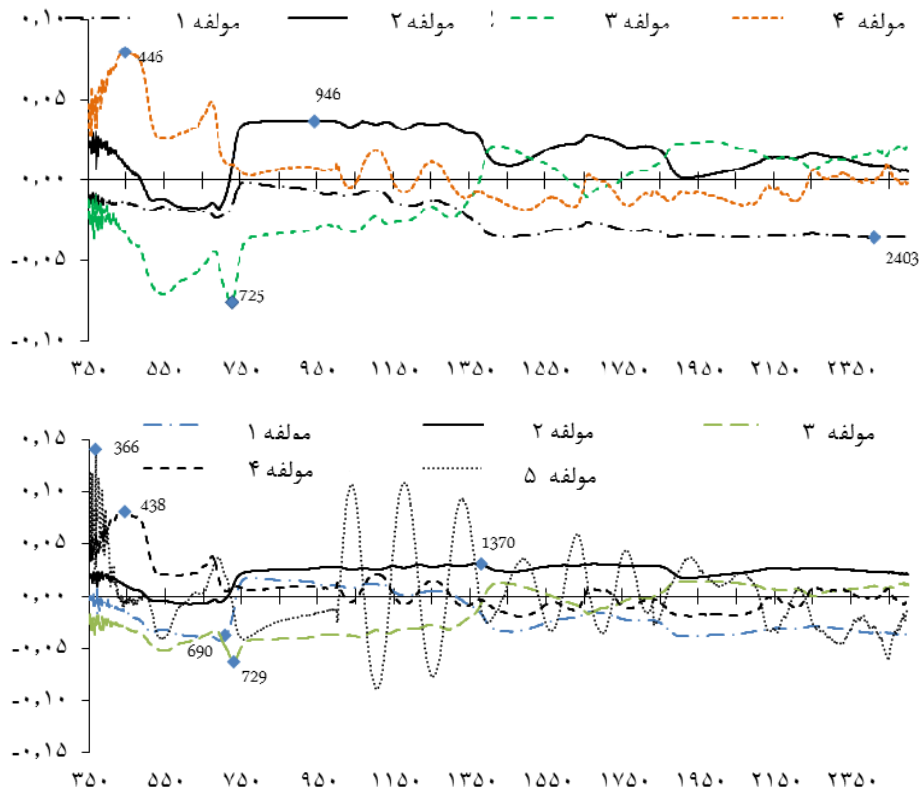
نام شاخص	نحوه محاسبه	توضیحات/دسته بندی
شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی	$NDVI = (R_{831} - R_{667}) / (R_{831} + R_{667})$	شاخصی است که با باریک باندهای مختلف اجرا شده است و در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارد/شاخص کلروفیل و رنگدانه‌ها.
شاخص حساس به فتوسنتز	$PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$ $PRI2 = 1.5 (R_{830} - R_{660}) / (R_{830} - R_{660} + 0.5)$ $PRI3 = (R_{539} - R_{570}) / (R_{539} + R_{570})$	این شاخص نسبت به نوع پوشش گیاهی، ظرفیت فتوسنتز و کارایی استفاده از تابش نور خورشید حساس است.
شاخص کلروفیل گیتلسون و مرزلاک ۱ و ۲	$GM1 = (R_{750}) / (R_{650})$ $GM2 = (R_{750}) / (R_{700})$	شاخصی است جهت برآورد مقادیر کلروفیل در برگ گیاهان/ شاخص کلروفیل.
شاخص های لیچنتالر ۱ تا ۳	$Lic1 = (R_{800} - R_{680}) / (R_{800} + R_{680})$ $Lic2 = (R_{740}) / (R_{690})$ $Lic3 = (R_{740}) / (R_{740})$	به منظور تشخیص استرس در برگ گیاه سبز با استفاده از نوارهای فلورسانس ناشی از اشعه ماوراء بنفش/شاخص کلروفیل.
شاخص رنگدانه نسبت ساده	$(R_{720}) / (R_{680})$	شاخصی مرتبط با مقادیر کاروتنوئید و کلروفیل a.
شاخص نرمال شده فنونوفیتین	$(R_{715} - R_{735}) / (R_{715} + R_{735})$	شاخصی که نسبت به تغییرات کل رنگدانه ها نسبت به کلروفیل حساس است.
شاخص نسبت نرمال شده رنگدانه کلروفیل	$(R_{680} - R_{730}) / (R_{680} + R_{730})$	شاخص تنش گیاهی طولانی مدت به علت تغییر در ساختار تاج پوشش، اما نه به دلیل اجزای بیوشیمیایی.
شاخص سبزیگی	$(R_{554}) / (R_{677})$	برآورد نیمه تجربی از نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل a.
شاخص ساختار رنگدانه متمرکز	$(R_{745} - R_{800}) / (R_{680} - R_{800})$	شاخص تنش گیاهی طولانی مدت به علت تغییر در ساختار تاج پوشش مرتبط با رنگدانه.
شاخص نسبت ساده	$(R_{774}) / (R_{677})$	مرتبط با مقادیر کلروفیل.
انعکاس در طول موج ۵۵۰ نانومتر	(R_{550})	مرتبط با مقادیر کلروفیل.
انعکاس در طول موج ۶۸۰ نانومتر	(R_{680})	مرتبط با مقادیر کلروفیل.
شاخص رطوبت	$(R_{900}) / (R_{970})$	حساس به میزان رطوبت برگ.
شاخص جذب سلولز	$0.5 (R_{2000} + R_{2200}) - R_{2100}$	نشانه‌دهنده مقادیر جذب سلولزی.
شاخص تنش رطوبت	$(R_{1600}) / (R_{1200})$	نمایش دهنده وضعیت آب.
شاخص اختلاف نرمال شده رطوبت	$(R_{860} - R_{1240}) / (R_{860} + R_{1240})$	نمایش دهنده وضعیت آب.
شاخص رطوبت در تنش بیماری	$(R_{802} + R_{527}) / (R_{1657} + R_{682})$	نمایش دهنده بیماری گیاهی و وضعیت آب.
نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر ۱	$2 \times R_{960} - R_{990} / (R_{920} - R_{940} + R_{1090} - R_{1110})$	نمایش دهنده وضعیت آب.
نسبت باند در ۹۷۵ نانومتر ۲	$2 \times R_{1180} - R_{1220} / (R_{1090} - R_{1110} + R_{1256} - R_{1285})$	نمایش دهنده وضعیت آب.
شاخص کلروفیل برگ	$(R_{850} - R_{710}) / (R_{850} + R_{680})$	شاخصی جهت کلروفیل است که تحت تأثیر طیف پخش قرار نمی‌گیرد عملکرد جذب نور توسط رنگدانه‌ها را نمایش می‌دهد.
شاخص دت آ	$(R_{780} - R_{710}) / (R_{780} - R_{680})$	این شاخص با مقادیر کلروفیل مرتبط است.
شاخص کلروفیل سیمز و گامون	$(R_{750} + R_{705}) / (R_{750} + R_{705} - 2 \times R_{445})$	این شاخص با مقادیر کلروفیل مرتبط است.
شاخص کلروفیل سیمز و گامون بی	$(R_{750} - R_{445}) / (R_{705} - R_{445})$	این شاخص با مقادیر کلروفیل مرتبط است.
شاخص رطوبت در طول موج ۱۱۸۰ نانومتر	$(R_{900}) / (R_{1180})$	نمایش دهنده وضعیت آب.
شاخص کارتر	(R_{760} / R_{695})	این شاخص با مقادیر کلروفیل مرتبط است.
شاخص وگلمن	(R_{740} / R_{720})	این شاخص با مقادیر کلروفیل مرتبط است.
شاخص انعکاس کاروتنوئید	$R_{800} (1 / R_{520} - 1 / R_{550})$	شاخص استرس گیاهی که با کاروتنوئیدها (آلفا و بتاکاروتنول) مرتبط است.

* R: بازتاب در یک طول موج خاص

نتایج

طول موج‌ها و شاخص‌های بهینه در برآورد کلروفیل و نیتروژن: مطابق با شکل ۲، چهار مؤلفه جهت برآورد مقادیر کلروفیل در برگ انگورهای مورد مطالعه بهینه تشخیص داده شد، که در مؤلفه‌های اول تا چهارم طول موج‌ها واقع در نزدیکی ۲۴۰۲، ۹۴۶، ۴۴۶ و ۷۲۵ بیشترین

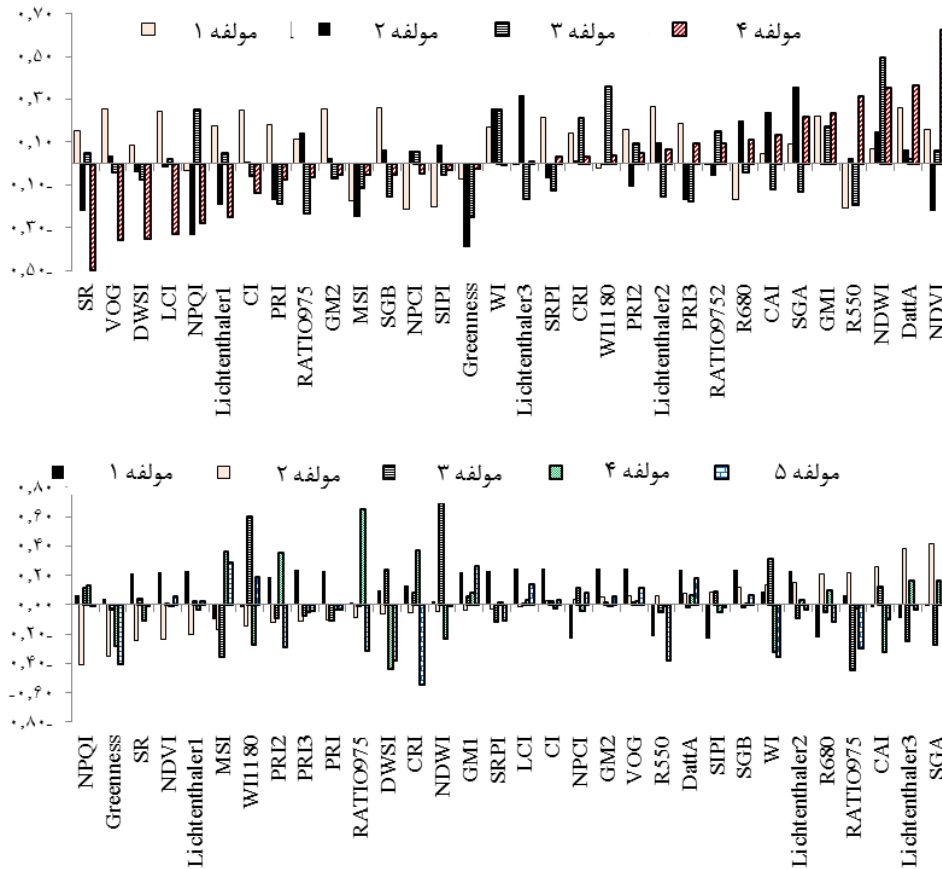
بار عاملی را داشتند و به عنوان متغیرهای بهینه جهت پیش‌بینی مقادیر این پارامتر معرفی شدند. در ارتباط با نیتروژن نیز پنج مؤلفه به عنوان بهینه معرفی شدند و در مؤلفه‌های اول تا پنجم بیشترین بار عاملی را به ترتیب طول موج‌های واقع در نزدیکی ۶۹۰، ۱۳۷۰، ۷۲۹، ۴۳۸ و ۳۶۶ نانومتر داشتند (شکل ۲).



شکل ۲- بار عاملی طول موج‌های طیفی (۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر) در مؤلفه‌های بهینه توسعه داده شده بوسیله روش PLS در برآورد مقادیر کلروفیل (بالا) و نیتروژن (پایین) در برگ انگور. محورهای افقی و عمودی به ترتیب مربوط به طول موج‌ها (نانومتر) و بارعاملی هستند.

(شکل ۳). به طریق مشابه، شاخص‌های بهینه در برآورد مقادیر پارامتر نیتروژن در برگ انگور شناسایی شدند و نتایج آن در شکل ۳، نمایش داده شد. مطابق با این شکل در مؤلفه‌های اول تا پنجم به ترتیب شاخص‌های LCI، SGAN، NDWI، و RATIO975، CRI بیشترین بار عاملی را داشته‌اند (شکل ۳). لذا می‌توان این شاخص‌ها را به عنوان متغیرهای مستقل ورودی به مرحله بعد (مدلسازی مقادیر پارامتر نیتروژن) مد نظر قرار داد.

شکل ۳، بار عاملی شاخص‌های طیفی مورد مطالعه را در مؤلفه‌های توسعه داده شده بوسیله روش PLS را نمایش می‌دهد. مطابق با این شکل، پنج مؤلفه جهت برآورد مقادیر نیتروژن و چهار مؤلفه جهت برآورد کلروفیل، بهینه بوده‌اند. در تشریح تغییرات کلروفیل به ترتیب در مؤلفه‌های اول تا چهارم شاخص‌های NDWI، Greenness، Lichtenthaler2، و NDVI و بیشترین بارعاملی را داشته‌اند، لذا می‌توان این شاخص‌ها را به عنوان نماینده چهار مؤلفه معرفی نمود



شکل ۳- بار عاملی شاخص‌های طیفی در مؤلفه‌های بهینه توسعه داده شده بوسیله روش PLS در برآورد مقادیر کلروفیل (بالا) و نیتروژن (پایین) در برگ انگور. محورهای افقی و عمودی به ترتیب مربوط به شاخص‌ها و بارعاملی هستند.

مدل‌سازی و ارزیابی صحت مدل‌ها: به منظور معرفی شده، در این مطالعه از دو الگوی SVM و MLR مدل‌سازی/پیش‌بینی مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ استفاده شد.

انگور و ارزیابی قابلیت طول موج‌ها و شاخص‌های طیفی

جدول ۲- نتایج مدل‌سازی و صحت‌سنجی بهترین مدل‌های ساخته شده بر مبنای طول موج‌ها و شاخص‌های بهینه در برآورد مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور با استفاده از MLR، در مراحل آموزش و آزمون

آزمون	آموزش		ساختار/معامله‌ی مدل	دوربین واتسن	تعداد	پارامتر	داده
	RMSE	R ²					
۱۴/۹۳	۰/۷۷	۱۵/۹۹	۰/۸۴	$C_{\text{Chlorophyll}} = -0.27 - (3.1 \times R^{**725}) + (2.37 \times R946) - (2.14 \times R2402) + (5.13 \times R446)$	۱/۷۸	۱۸۰	کلروفیل
۲۲/۱۰	۰/۶۱	۲۵/۱۶	۰/۶۸	$C_{\text{Nitrogen}} = 0.07 - (3.6 \times R725) + (3.09 \times R924) - (2.73 \times R2492) + (4.4 \times R437)$	۱/۵۸	۷۰	نیتروژن
۱۶/۰۴	۰/۵۵	۱۶/۶۸	۰/۶۶	$C_{\text{Chlorophyll}} = -0.024 + (0.85 \times \text{Lichtenthaler2})$	۱/۹۹	۱۸۰	کلروفیل
۲۴/۴۳	۰/۵۵	۲۴/۵۵	۰/۷۸	$C_{\text{Nitrogen}} = -6592.1 + (2.73 \times \text{LCI}) + (6824.4 \times \text{RATIO975})$	۲/۰۷	۷۰	نیتروژن

C: غلظت پارامتر مورد نظر؛ R **: بازتاب در یک طول موج خاص

از طرفی، الگوهای SVM و MLR در مرحله آموزش قادر بودند به ترتیب با ضریب تعیین برابر ۷۸ و ۶۸ درصد مقادیر نیتروژن در برگ انگور را بر مبنای طول موج‌های طیفی پیش‌بینی نمایند. این صحت در هنگام استفاده از شاخص‌های طیفی به ترتیب برابر با ۶۹ و ۷۸ درصد بوده است (جدول ۲ و ۳). طول موج‌ها در رویکردهای SVM و MLR به ترتیب با صحتی برابر با ۷۲ و ۶۱ درصد نمونه‌های تست را پیش‌بینی نموده‌اند و شاخص‌ها به ترتیب صحتی برابر با ۶۳ و ۶۲ درصد داشته‌اند (جدول ۲ و ۳).

الگوی MLR بر مبنای طول موج‌ها و شاخص‌های طیفی مقادیر کلروفیل در برگ انگورهای مورد مطالعه را به ترتیب با مقادیر تعیین برابر ۸۴ و ۶۶ درصد در مرحله آموزش و همچنین ۷۷ و ۵۵ درصد در مرحله آزمون پیش‌بینی نموده است (جدول ۲). از طرفی الگوی SVM در سناریوهای ذکر شده، دارای ضرایب تعیین برابر با ۹۳ و ۸۴ درصد در مرحله آموزش و همچنین مقادیر مذکور معادل ۹۱ و ۶۳ درصد در مرحله آزمون بوده است (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج مدل‌سازی و صحت‌سنجی بهترین مدل‌های ساخته شده بر مبنای طول موج‌ها و شاخص‌های بهینه در برآورد مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور با استفاده از SVM، در مراحل آموزش و آزمون

داده	پارامتر	تعداد	ساختار/معماری مدل								
			تابع مرکزی	تعداد بردار	ضریب	درجه	گاما	آموزش	آزمون		
طول موج	کلروفیل	۱۸۰	RBF	۹۹	-	-	۰/۹	۰/۹۳	۱۳/۷۲	۰/۹۱	۱۳/۸۳
	نیتروژن	۷۰	Linear	۴۸	-	-	-	۰/۷۸	۲۲/۱۰	۰/۷۲	۲۱/۱۴
شاخص طیفی	کلروفیل	۱۸۰	RBF	۷۹	-	-	۰/۱۷	۰/۸۴	۱۴/۵۴	۰/۸۴	۱۴/۳۸
	نیتروژن	۷۰	Polynomial	۳۹	۱	۱	۰/۶	۰/۶۹	۲۲/۸۳	۰/۶۳	۲۴/۰۱

نیز به عنوان یک محدوده اثر گذار و کاربردی در این راستا توصیه شده است (۱۸، ۲۷ و ۴۰).

در مطالعه حاضر شاخص‌های Lichtenthaler2، Greenness، NDVI و NDWI به عنوان شاخص‌های طیفی بهینه در برآورد مقادیر کلروفیل بوده‌اند (شکل ۳)، که جزئیات مربوط به آنها در جدول ۱ آمده است. در این میان شاخص Lichtenthaler2 به منظور تشخیص استرس در برگ گیاه سبز با استفاده از نوارهای فلورسانس ناشی از اشعه ماوراء بنفش به کار می‌رود و شاخص حساس به تغییرات کلروفیل است (۲۳). همچنین شاخص NDVI یکی از پرکاربردترین و معروفترین شاخص‌های گیاهی در ارتباط با پایش مقادیر رنگدانه‌های گیاهی (بوئزه کلروفیل) است. بنابراین انتخاب این دو شاخص (Lichtenthaler2 و NDVI) به عنوان بخشی از متغیرهای توصیف کننده تغییرات کلروفیل در برگ انگور قابل توجیه است. از سویی دیگر شاخص‌های Greenness و NDWI نشان‌دهنده

بحث و نتیجه گیری

بنابر اهمیت پایش سلامت پوشش گیاهی با تکیه بر پارامترهایی که بازتاب‌دهنده این وضعیت هستند، در مطالعات متعددی از تحلیل آماری داده‌های ابرطیفی در راستای پارامترهایی از قبیل کلروفیل و نیتروژن استفاده شده است (۲۰، ۲۶، ۲۹، ۳۴ و ۳۹). در مطالعه حاضر نیز به منظور شناسایی طول موج‌ها و شاخص‌های بهینه در برآورد مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور از تحلیل نتایج PLS استفاده شد. مطابق با نتایج بدست آمده، بیشترین فراوانی طول موج‌های بهینه در برآورد مقادیر کلروفیل و نیتروژن واقع در محدوده لبه قرمز (۶۸۰-۷۵۰ نانومتر) بوده‌اند. این محدوده به عنوان بارزترین محدوده در تمایز مشخصه‌های طیفی پوشش گیاهی و همچنین حساسترین منطقه به میزان غلظت کلروفیل، نیتروژن و دیگر پارامترهای بیوشیمیایی است، که در مطالعات مشابه

کم آبی برگ، رنگ پریدگی برگ‌ها و تغییر رنگ به سبز مایل به زرد و زرد روشن به علت عدم تشکیل کلروفیل می‌گردد (۲۴ و ۳۵). لذا با توجه به موارد فوق‌الذکر می‌توان علت انتخاب شاخص‌های کلروفیل و نیز شاخص‌های مربوط به استرس آب، در بیان تغییرات نیتروژن در برگ انگورهای مورد مطالعه را درک نمود.

مدلسازی و ارزیابی صحت مدل‌ها: در مطالعه حاضر پس از شناسایی متغیرهای بهینه (طول موج‌ها و شاخص‌های طیفی) در برآورد مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور، نیاز به بستری مناسب جهت ارزیابی عملکرد متغیرهای بهینه، بوده است. لذا از دو رویکرد رایج که شامل MLR و SVM هستند، در این راستا استفاده شد. صحت‌های بدست آمده برای پارامتر کلروفیل در مرحله آزمون الگوی MLR بین ۵۵ تا ۷۷ درصد و در الگوی SVM بین ۸۴ تا ۹۱ درصد بوده است. از سویی دیگر، این عملکرد برای نیتروژن به ترتیب بین ۵۵ تا ۶۱ درصد و ۶۳ تا ۷۲ درصد، در مرحله آزمون بوده است. در مطالعه پارتان (۲۰۱۶) نیز صحت پیش‌بینی مقادیر کلروفیل در برگ انگور برابر با ۹۳ درصد بود، که بسیار نزدیک به یافته‌های حاضر است (۲۹). در مطالعه کالچسکا و همکاران (۲۰۱۵) نیز صحت طیف‌سنجی زمینی در پیش‌بینی مقادیر کلروفیل در مرحله آزمون برابر با ۸۹ درصد گزارش شد، که مشابه با یافته‌های حاضر است (۲۰). باید به این نکته اشاره نمود که در مطالعه حاضر مقادیر کلروفیل با صحت بیشتری نسبت به نیتروژن پیش‌بینی شدند (به ترتیب ۹۱ و ۷۲ درصد). این یافته در مطالعه کالچسکا و همکاران (۲۰۱۵) نیز مشهود بوده است (به ترتیب ۸۹ و ۸۱ درصد) (۲۰). از مهم‌ترین دلایل این یافته می‌توان به حساسیت زیاد طول موج‌ها به کلروفیل موجود در برگ اشاره نمود. همچنین وقوع فاصله زمانی هر چند کوتاه بین آنالیز آزمایشگاهی نیتروژن و آنالیز طیف‌سنجی نمونه‌ها و نیز تعداد کمتر نمونه‌های نیتروژن نسبت به کلروفیل در این مطالعه، می‌تواند از دیگر دلایل‌های این یافته باشد.

استرس در پوشش گیاهی هستند و به ترتیب حساس به تغییرات ساختاری و آب موجود در پیکره‌های گیاهی می‌باشند. باید توجه شود که وقوع استرس آبی در گیاه منجر به تغییر در مقادیر سایر اجزای بیوشیمیایی از جمله کلروفیل، کاروتنوئید، نیتروژن و پروتئین خواهد شد، که در مطالعات متعددی وجود این ارتباط به اثبات رسیده است (۳، ۵، ۱۲ و ۳۲)، لذا با توجه به انتخاب شاخص‌هایی که مستقیماً مربوط به رنگدانه (کلروفیل) هستند، اما در این مطالعه به عنوان متغیر بهینه در تشریح تغییرات و مدلسازی کلروفیل انتخاب شدند را درک نمود. در مطالعه مگجیو و همکاران (۲۰۱۰) نیز طیف‌سنجی و مدلسازی ارتباط آنها با رنگدانه‌های انگور صورت پذیرفت (۲۶). آنها شاخص‌های TCARI/OSAVI، OSAVI، TCARI، Gitelson-Chl1 و Gitelson-Chl2 را به عنوان شاخص‌های بهینه در پیش‌مقادیر کلروفیل در برگ انگور معرفی نمودند، که مغایر با شاخص‌های معرفی شده در مطالعه حاضر هستند. اختلاف بین ارقام مورد بررسی و نیز جامعه آماری متغیرهای مستقل (شاخص‌های طیفی) را می‌توان از مهم‌ترین دلایل توجیه‌کننده این تفاوت‌ها دانست.

نتایج تحلیل داده‌های PLS در ارتباط با معرفی شاخص‌های طیفی بهینه در برآورد مقادیر پارامتر نیتروژن، شاخص‌های LCI، SGA، NDWI، RATIO975 و CRI را به عنوان متغیرهای بهینه معرفی نمود (شکل ۳). شاخص‌های LCI، SGA و CRI به‌طور مستقیم متأثر از کلروفیل و عملکرد جذب نور توسط رنگدانه‌های گیاهی هستند و شاخص‌های NDWI و RATIO975 نشان‌دهنده وضعیت آب و استرس ناشی از آن در پیکره‌های گیاهی می‌باشند. شایان ذکر است که نیتروژن در پیکره‌های گیاهی برای تولید اسیدهای آمینه و پروتئین لازم است و مهم‌ترین عامل رشد محسوب می‌شود، همچنین نیتروژن جزء مهمی از مولکول کلروفیل را تشکیل می‌دهد. افزایش نیتروژن باعث تولید گیاه پر آب و ضخیم و در نتیجه تغییر رنگ شاخ و برگ به رنگ سبز تیره می‌شود و از سویی دیگر کمبود این عنصر، منجر به

پذیرد. لذا مدل‌ها با صحتی که کلروفیل را برآورد نمودند قادر به برآورد مقادیر نیتروژن نبوده‌اند.

از مهم‌ترین پارامترهای بیوشیمیایی در مدیریت عرصه‌های کشاورزی/باغی کلروفیل و نیتروژن هستند، که قادرند بازتاب‌دهنده وضعیت سلامت پوشش گیاهی و نیز راهنمایی جهت اعمال اقدامات مدیریتی مانند کوددهی و سم‌پاشی باشند (۴۰). نتایج حاصل از پیش‌بینی مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ انگوره‌های مورد مطالعه نیز حاکی از توانایی زیاد طیف‌سنجی زمینی و تکنیک‌های آماری جهت برآورد این پارامترها بوده است. در بهترین مدل‌های ارائه شده در مطالعه حاضر، طول موج‌های واقع در نزدیکی ۲۴۰۲، ۹۴۶، ۴۴۶ و ۷۲۵ نانومتر به عنوان متغیرهای بهینه در پیش‌بینی مقادیر کلروفیل و طول موج-های واقع در نزدیکی ۶۹۰، ۱۳۷۰، ۷۲۹، ۴۳۸ و ۳۶۶ نانومتر به عنوان متغیرهای بهینه در پیش‌بینی مقادیر نیتروژن در برگ انگور بوده‌اند، به طوریکه در بهترین ساختارهای مدل، این پارامترها به ترتیب با ضرایب تعیین ۹۱ و ۷۲ درصد برآورد شدند. الگوی SVM عملکرد قابل قبول‌تری در برآورد هر دو پارامتر مورد مطالعه نسبت به روش MLR داشته است. لذا بنابر نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات مشابه از داده‌های طیفی در غالب طول موج‌ها و با استفاده از روش SVM جهت پیش‌بینی پارامترهای بیوشیمیایی گیاهان استفاده گردد. همچنین توصیه می‌گردد از طیف‌سنجی زمینی، تشکیل کتابخانه طیفی و معرفی طول موج‌های بهینه جهت پایش سایر پارامترهای بیوشیمیایی در دیگر گونه‌های گیاهی به عنوان روشی غیر مخرب، سریع و دوستدار محیط زیست استفاده گردد.

همچنین مطابق نتایج بدست آمده باید به این نکته اشاره نمود که استفاده از طول موج‌ها به عنوان متغیر مستقل عملکرد بیشتری نسبت به شاخص‌های طیفی داشته است. از سویی دیگر الگوی SVM نیز عملکرد بیشتری نسبت به MLR در پیش‌بینی مقادیر پارامترهای مورد مطالعه داشته است. بنابراین می‌توان اذعان نمود، استفاده از طول موج-های طیفی و مدل‌ساز SVM رویکردی بهینه در برآورد مقادیر کلروفیل و نیتروژن در برگ انگوره‌های مورد مطالعه بوده است. هر چند MLR به علت سادگی ساختار و وضوح در ساختار مدل توسعه داده شده از مدل‌های پرتعداد و رایج در بسیاری از مطالعات بوده است (۲۱، ۳۳ و ۳۴)، اما نتایج تحقیق حاضر الگوریتم SVM را به عنوان رویکرد برتر معرفی می‌نماید. مهم‌ترین دلیل برتری SVM نسبت به MLR را می‌توان ناشی از ماهیت روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته در این مطالعه دانست، به طوریکه مدل‌سازی ارتباطات تنها با تکیه بر ساختار خطی جواب-گوی تمامی فعل و انفعالات بین متغیرها نبوده است. لذا SVM با بهره‌گیری از توابع خطی و غیرخطی در تابع مرکزی و همچنین الگوریتم آموزش پیشرفته و انعطاف‌پذیری زیاد (۱۸)، قادر بوده است عملکرد بیشتری در پیش‌بینی مقادیر متغیرهای این مطالعه (کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور) داشته باشد. با توجه به فعل و انفعالات شدید نیتروژن در ساختار برگ‌ها، ممکن است مقادیر اندازه‌گیری شده در لحظه انجام آنالیز آزمایشگاهی با لحظه برداشت طیف دچار تغییر و نوسانات شده باشد، که این امر می‌تواند از طریق انتقال نیتروژن از برگ به سایر اندام‌ها و یا خروج آن از طریق گازها از برگ صورت

منابع

- ۱- احمدی، پ. م.، رضائی مقدم، م. ح.، و فیضی زاده، ب. ۱۳۹۶. بررسی شاخص‌ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: دلتای آچی‌چای)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۸(۱)، صفحات ۸۵-۹۶

- ۸- عباسی، م.، درویش‌صفت، ع.، شپمن، م.، سبحانی، ه.، شیروانی، ا.، و شیبستانی، ش.، ۱۳۹۰. تفاوت انعکاس طیفی برگ گونه‌های درختی توسکا، بلوط و انجیلی بر اساس غلظت نیتروژن و استفاده از رگرسیون چند متغیره، جنگل و فرآورده های چوب، ۶۴ (۴)، صفحات ۳۹۹-۴۱۷.
- ۹- میرزائی، م.، و عباسی، م.، ۱۳۹۷. تکنیک طیفی برخی از گونه‌های مهم باغی با استفاده از شاخص‌های ابرطیفی و رویکردهای هوش مصنوعی. مجله کاربرد سنجش از دور منابع طبیعی، ۹ (۲)، صفحات ۷۶-۹۲.
- ۱۰- میرزائی، م.، ریاحی بختیاری، ع.، سلمان ماهینی، ع.، و غلامعلی فرد، م.، ۱۳۹۵. مدل‌سازی ارتباط کیفیت آبهای سطحی و سنج-های سیمای سرزمین با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی (مطالعه موردی: استان مازندران)، مجله آب و فاضلاب، ۲۷ (۱)، صفحات ۸۲-۹۱.
- ۱۱- میرزائی، م.، معروفی، ص.، سلگی، ع.، عباسی، م.، و کریمی، ر.، ۱۳۹۶. اندازه‌گیری و ارزیابی ریسک اکولوژیکی مربوط به آلودگی فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، کروم، مس و روی) در یک اکوسیستم تولیدکننده مواد غذایی، مجله تحقیقات سلامت در جامعه، ۳ (۲)، صفحات ۱-۱۶.
- ۱۲- Alberte, R. S., Thornber, J. P., and Fiscus, E. L., 1977. Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize. *Plant Physiology*, 59(3), PP: 351-353.
- ۱۳- Arnon, A. N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, PP: 112-121.
- ۱۴- Clark M. L., and Roberts, D. A., 2012. Species-level differences in hyperspectral metrics among tropical rainforest trees as determined by a tree-based classifier, *Remote Sensing*, 4(6), PP: 1820-1855.
- ۱۵- da Silva Junior, C. A., Nanni, M. R., Shakir, M., Teodoro, P. E., de Oliveira-Júnior, J. F., Cezar, E., and Shiratsuchi, L. S., 2018. Soybean varieties discrimination using non-imaging hyperspectral sensor. *Infrared Physics and Technology*, 89, PP: 338-350.
- ۱۶- Diago, M. P., Fernandes, A. M., Millan, B., Tardaguila, J., and MeloPinto, P., 2013. Identification of grapevine varieties using leaf spectroscopy and partial least squares. *Computers and electronics in agriculture*, 99, PP: 7-13.
- ۲- امامی، ع.، ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. نشریه فنی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، ۲ (۹۸۲)، ۱۲۸ صفحه.
- ۳- حسامی، ر.، و شریعتی، م.، ۱۳۹۱. پاسخ شاخص کارایی فتوسنتزی (PIABS) نسبت به کمبود نیترات در گیاهان تنباکو (*Nicotiana plumbaginifolia*) تراخته شده با ژن ناقل نیترات 1 AtNRT2 با استفاده از فلئورسنس کلروفیل a. مجله پژوهش‌های گیاهی، ۲۷ (۴)، صفحات ۵۶۹-۵۷۹.
- ۴- حسینی، پ.، ۱۳۸۶. بررسی فیزیولوژیکی اثر تنش سرما در مرحله گیاهچه ای ژنوتیپ های مختلف برنج، رساله دکتری تخصصی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۵- حیدری، ن.، پوریوسف، م.، و توکلی، ا.، ۱۳۹۳. تاثیر تنش خشکی بر فتوسنتز، پارامترهای وابسته به آن و محتوای نسبی آب گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.)، مجله پژوهش‌های گیاهی، ۲۷ (۵)، صفحات ۸۲۹-۸۳۹.
- ۶- سالنامه آماری استان چهارمحال و بختیاری، ۱۳۹۵. فصل ۴، کشاورزی، جنگلداری و شیلات.
- ۷- شکی، ف.، برنارد، ف.، درویش‌زاده، ر.، و دشتی آهنگر، ع.، ۱۳۹۲. تخمین میزان نیتروژن در گیاه سویا با استفاده از سنجش از دور، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۵ (۲)، صفحات ۱۰۹-۱۲۴.
- 17- Du, L., Shi, S., Yang, J., Sun, J., and Gong, W., 2016. Using different regression methods to estimate leaf nitrogen content in rice by fusing hyperspectral LiDAR data and laser-induced chlorophyll fluorescence data. *Remote Sensing*, 8(6), 526 p.
- 18- Gutiérrez, S., Tardaguila, J., Fernández-Novales, J., and Diago, M. P., 2016. Data mining and NIR spectroscopy in Viticulture: Applications for plant phenotyping under field conditions. *Sensors*, 16(2), 236 p.
- 19- Johnson, L., Lobitz, B., Armstrong, R., Baldy, R., Weber, E., De Benedictis, J., and Bosch, D., 1996. Airborne imaging aids vineyard canopy evaluation. *Calif. Agriculture.*, 50(1), PP: 14-18.
- 20- Kalacska, M., Lalonde, M., and Moore, T. R., 2015. Estimation of foliar chlorophyll and nitrogen content in an ombrotrophic bog from hyperspectral data: Scaling from leaf to image. *Remote Sensing of Environment*, 169, PP: 270-279.
- 21- Kooistra, L., Leuven, R. S. E. W., Wehrens, R., Nienhuis, P. H., and Buydens, L. M. C., 2003. A comparison of methods to relate grass

- reflectance to soil metal contamination. *Int. J. Remote Sens.* 24 (24), PP: 4995–5010.
- 22- Lehmann, J. R. K., Große-Stoltenberg, A., Römer, M., and 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), PP: 1225-1241.
- 23- Lichtenhaler, H. K., Lang, M., Sowinska, M., Heisel, F., and Miehe, J. A., 1996. Detection of vegetation stress via a new high-resolution fluorescence imaging system, *Journal of plant physiology*, 148(5), PP: 599-612.
- 24- Livingston, N. J., Guy, R. D., Sun, Z. J., and Ethier, G. J., 1999. The effects of nitrogen stress on the stable carbon isotope composition, productivity and water use efficiency of white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) seedlings. *Plant, Cell & Environment*, 22(3), PP: 281-289.
- 25- Manevski, K., Manakos, I., Petropoulos, G. P., and Kalaitzidis, C., 2011. Discrimination of common Mediterranean plant species using field spectroradiometry, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(6), PP: 922-933.
- 26- Meggio, F., Zarco-Tejada, P. J., Núñez, L. C., Sepulcre-Cantó, G., González, M. R., and Martín, P., 2010. Grape quality assessment in vineyards affected by iron deficiency chlorosis using narrow-band physiological remote sensing indices. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), PP: 1968-1986.
- 27- Mutanga, O., and Skidmore, A. K., 2007. Red edge shift and biochemical content in grass canopies. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62 (1), PP: 34–42.
- 28- Naidu, R. A., Perry, E. M., Pierce, F. J., and Mekuria, T., 2009. The potential of spectral reflectance technique for the detection of Grapevine leafroll-associated virus-3 in two red-berried wine grape cultivars. *Computers and Electronics in Agriculture*, 66(1), PP: 38-45.
- 29- Parton, D., 2016. Assessing field spectroscopic methods for grapevine chlorophyll content estimation (Doctoral dissertation).
- 30- Porcar-Castell, A., Tyystjärvi, E., Atherton, J., van der Tol, C., Flexas, J., Pfündel, E. E., and Berry, J. A., 2014. Linking Chlorophyll a fluorescence to photosynthesis for remote sensing applications: mechanisms and challenges. *Journal of experimental botany*, 24(3), PP: 191-208.
- 31- Prospere, K., McLaren, K., and Wilson, B., 2014. Plant species discrimination in a tropical wetland using in situ hyperspectral data, *Remote sensing*, 6(9), PP: 8494-8523.
- 32- Quick, W. P., Chaves, M. M., Wendler, R., David, M., Rodrigues, M. L., Passaharinho, J. A., and Stitt, M., 1992. The effect of water stress on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions. *Plant, Cell and Environment*, 15(1), PP: 25-35.
- 33- Ren, H. Y., Zhuang, D. F., Pan, J. J., Shi, X. Z., Shi, R. H., and Wang, H. J., 2010. Study on canopy spectral characteristics of paddy polluted by heavy metals. *Spectrosc. Spect. Anal*, 30 (2), PP: 430–434.
- 34- Rodríguez-Pérez, J. R., Ordóñez, C., González-Fernández, A. B., Sanz-Ablanedo, E., Valenciano, J. B., and Marcelo, V., 2018. Leaf water content estimation by functional linear regression of field spectroscopy data. *Biosystems Engineering*, 165, PP: 36-46.
- 35- Shangquan, Z. P., Shao, M. A., and Dyckmans, J., 2000. Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat, *Environmental and Experimental Botany*, 44(2), PP: 141-149.
- 36- Steele, M., Gitelson, A. A., and Rundquist, D., 2008. Nondestructive estimation of leaf chlorophyll content in grapes, *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(3), PP: 299-305.
- 37- Taskos, D. G., Koundouras, S., Stamatiadis, S., Zioziou, E., Nikolaou, N., Karakioulakis, K., and Theodorou, N., 2015. Using active canopy sensors and chlorophyll meters to estimate grapevine nitrogen status and productivity. *Precision agriculture*, 16(1), PP: 77-98.
- 38- Xu, H. R., Yu, P., Fu, X. P., and Ying, Y. B., 2009. On-site variety discrimination of tomato plant using visible-near infrared reflectance spectroscopy, *Journal of Zhejiang University Science B*, 10(2), PP: 126-132.
- 39- Zarco Tejada, P. J., Guillén Climent, M. L., Hernández-Clemente, R., Catalina, A., González, M. R., and Martín, P., 2013. Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Agricultural and Forest Meteorology*, 171(1), PP: 281-294.
- 40- Zhao, D., Reddy, K. R., Kakani, V. G., Read, J. J., and Koti, S., 2005. Selection of Optimum Reflectance Ratios for Estimating Leaf Nitrogen

and Chlorophyll Concentrations of Field-Grown Cotton Contribution from Dep. of Plant and Soil Sci., Mississippi State Univ., Journal

Mississippi Agric. and Forestry Exp, Stn, Agron, 97, PP:89-98.

Nondestructive estimation of grapevine leaf nitrogen and chlorophyll contents using field hyper spectral data and support vector machines approach

Mirzaei M.,¹ Marofi S.,² Solgi E.,³ Abbasi M.⁴ and Karimi R.⁵

¹ Grape Environmental Science Dept., Research Institute for Grapes and Raisin, Malayer University, I.R. of Iran.

² Grape Environmental Science Dept., Research Institute for Grapes and Raisin, Malayer University and faculty member at Bu-Ali Sina University, I.R. of Iran.

³ Environment group, Faculty of Natural Resource and Environment, Malayer University, I.R. of Iran.

⁴ Faculty of Natural Resource and Earth Science, University of Shahre-kord, I.R. of Iran.

⁵ Landscape Designing group, Faculty of Agriculture and member of Grape Production and Genetic Improvement Dept., Research Institute for Grapes and Raisin, Malayer University, I.R. of Iran.

Abstract

Monitoring the content of chlorophyll and nitrogen in plants is an indicator of vegetation healthy and the quantity and quality of the products. Usually, these parameters are measured by laboratory analysis, which requires cost, time and chemicals. In this study, the capability of in-field spectroscopy was evaluated as a rapid, non-destructive and eco-friendly method for estimating these parameters in grapevine leaf. Therefore, the spectral curve was prepared in the range of 350-2500 nm from 180 grape leaf samples, which collected from 30 vineyards in the summer of 2017. Then the optimal spectral wavelengths and indices, in estimating these parameters, were determined by the Partial Least Squares (PLS) regression. Finally, the performance of the selected optimal variables was evaluated by multiple linear regression and support vector machines (SVM), The results of PLS showed that the wavelengths in vicinity of 2402, 946, 446 and 725 nm and the wavelengths in vicinity of 690, 1370, 729, 438, and 366 nm, were considered as optimal variables in predicting the chlorophyll and nitrogen contents in grape leaves, respectively. Also, visible and red edge regions had the highest sensitivity to the explanation of the changes in these parameters. The results of modelling showed that in the best structures of SVM, chlorophyll and nitrogen were estimated at test stage with R^2 about 0.91 and 0.72, respectively. Therefore, according to the acceptable obtained results, it is recommended to use field-based spectroscopy, spectral library formation and the introduction of optimal wavelengths to monitor other biochemical parameters in plant species as a new and efficient method.

Key words: Field spectroscopy, Chlorophyll, Nitrogen, Grapes, Support Vector Machines