نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال ششم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۷

Vol.6, No.2, Summer 2018

۱۲۵-۱۴۱

مطالعه آلودگی درختان در فضای سبز شهری بر اساس رفتار طیفی آن‌ها با استفاده از طیف‌سنجی میدانی

لیلا موسایی کردشامی[۱]، مژگان عباسی*[۲]، علی جعفری[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۲- استادیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۲۹

چکیده

افزایش حمل‌ونقل و ترافیک در شهرها را می‌توان از عوامل اصلی آلودگی هوا نام برد که تأثیرات منفی گسترده‌ای بر کیفیت زندگی انسان‌ها و گیاهان گذاشته است. روش‌های معمول برای بررسی تأثیر آلودگی هوا بر اساس نمونه‌برداری از هوا و گیاه و تجزیه‌وتحلیل‌هایی است که نیازمند تجهیزات آزمایشگاهی، زمان و هزینه نسبتاً بالا هستند. ترکیبات بیوشیمیایی و تغییرات ساختار سلولی گیاه تحت تأثیر بازتابندگی طیفی گیاهان در محدوده طیف مرئی و مادون‌قرمز نزدیک قرار دارد. آلودگی هوا و استرس‌های ناشی از آن باعث تغییراتی در ترکیبات محتوای سلولی گیاه خواهد شد؛ بنابراین می‌توان با بررسی رفتار طیفی گیاه با صرف زمان و هزینه کمتر به احتمال وجود آلودگی درختان در فضای سبز شهری پی برد. هدف مطالعه حاضر مطالعه رفتار طیفی گونه‌های زبان‌گنجشک، نارون و سرو در دو حالت آلوده و شاهد و بررسی امکان تفکیک این دو تیمار بوده است. این مطالعه در بخشی از بزرگراه امام خمینی اصفهان که در معرض آلودگی هوای ناشی از ترافیک قرار دارد انجام شده است. به این‌منظور شاخص‌های طیفی حساس به استرس و کلروفیل انتخاب و محاسبه شده؛ سپس به‌عنوان ورودی در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی وارد شد. نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از شاخص‌های طیفی برای تفکیک گونه‌های شاهد و آلوده دارای صحت کلی ٪۷۳٫۴ بود. مدل رگرسیونی حداقل مربعات بخشی نیز برای تفکیک دو حالت آلوده و شاهد برای سه گونه به‌صورت توأم و برای هر گونه به‌صورت مجزا انجام شد و نتایج قابل قبولی در تفکیک گونه‌های شاهد و آلوده گونه‌ی زبان‌گنجشک با ضریب همبستگی ۰/۹۷ و ریشه میانگین مربعات خطا حاصل از اعتبار سنجی متقاطع (Root Mean Square Error of Cross Validation) مدل به‌دست‌آمده معادل ۰٫۷۶ به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، طیف‌سنجی میدانی، شبکه عصبی مصنوعی، شاخص‌های طیفی، بزرگراه امام خمینی اصفهان.

*نویسنده مکاتبه کننده: گروه علوم جنگل دانشگده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

تلفن: ۰۹۱۳۳۱۲۴۰۳۶

Email: mozhgan.abasi@gmail.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

۱- مقدمه

آلودگی محیط‌زیست به‌علت پیشرفت‌های اخیر در عرصه‌های صنعت و ترافیک، تبدیل به یک نگران جهانی شده است. لازمه برنامه‌ریزی و اقدام مؤثر برای بهبود کیفیت هوا، ارائه اطلاعات در مورد آلودگی هوا ناشی از ترافیک و پیدا کردن نحوه توزیع آن است[۴،۳،۲،۱ و ۵]. مطالعات آلودگی هوا به علت هزینه زیاد مربوط به روش‌های نظارتی و مشکلات نمونه‌برداری در سطح زمان و مکان، بسیار محدود هستند. علاوه بر این فن‌های ابزاری نظارت، معمولاً در ارائه اطلاعات در مورد اثرات آلاینده‌های هوابر موجودات زنده کارآمد نیستند، ازاین‌رو روش‌های نظارتی به سمت نظارت غیرمستقیم و بر مبنای پاسخ جاندارانی که به‌عنوان زیست انباشتگر محسوب می‌شوند، سوق می‌یابد[۶].

مطالعه رفتار طیفی گیاه برای به‌دست آوردن درک درستی از فتوسنتز و فرایندهای رویشی گیاهان در چند دهه اخیر گسترش یافته است. گیاهان نسبت به انسان و جانوران حساسیت بیشتری به کیفیت هوا نشان می‌دهند[۷] و به دلیل توزیع گسترده و نمونه‌برداری ساده با هزینه اندک، می‌توانند به‌صورت خاص برای سنجیدن آلودگی هوا به کار گرفته شوند[۸ و ۹]. خزه و گلسنگ به‌عنوان بهترین شاخص زیستی آلودگی هوا شناخته شده‌اند ولی در مناطق شهری و صنعتی به دلیل آلودگی از بین رفته‌اند. گیاهان بلند بعد از خزه و گلسنگ اهمیت ویژه‌ای برای هدف پایش آلودگی هستند و به‌صورت رایج مورد استفاده قرار می‌گیرند[۱۰]. درختان به علت حیات طولانی‌مدت خود می‌توانند عناصر خاک و آب‌وهوا را در اندام‌های خود به دام انداخته و برای مدت طولانی در برداشته باشند[۱۱ و ۱۲]. شاخ و برگ گونه‌های درختی در مناطق آلوده می‌توانند برای پایش مقدار زیادی از عناصر شیمیایی که روی سطح برگ انباشته‌شده‌اند، موردمطالعه قرار گیرند [۱۳ و ۱۴]. در مطالعات زیادی از درختان و برگ آن‌ها به‌عنوان زیست‌ردیاب[1] آلودگی هوا و خاک استفاده شده است [۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸]. علاوه بر موارد فوق از دیدگاه زیست‌محیطی امکان استفاده از داده‌های طیفی می‌تواند در تعیین میزان حساسیت و یا مقاومت گیاهان در برابر آلاینده‌ها کمک مؤثری در انتخاب گونه‌های درختی در فضای سبز شهری باشد.

بازتابندگی طیفی گونه‌ها تحت تأثیر عوامل بسیار زیادی از جمله کلروفیل و سایر رنگ‌دانه‌ها، خصوصیات فیزیکی و بیوشیمیایی آن است و ازآنجایی‌که آلودگی هوا می‌تواند موجب تغییراتی در ساختار بیوشیمیایی و فیزیولوژی گیاه شود لذا در این حالت رفتار طیفی گونه‌ها نیز تغییر خواهد کرد [۱۹]. با اندازه‌گیری بازتابندگی طیفی توسط دستگاه طیف‌سنج FieldSpec و محاسبه شاخص‌های طیفی می‌توان در کمترین زمان ممکن و با صرف حداقل هزینه، پارامترهای بیوفیزیکی گیاه را تخمین زد [۲۰]. مطالعاتی که در رابطه باوجود آلودگی و تأثیر فلزات سنگین بر داده‌های حاصل از طیف‌سنجی انجام شده است، محدوده مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و لبه قرمز را برای مطالعه آلودگی هوا مناسب معرفی می‌کنند. اطلاعات طیفی وسیع (در دامنه طول‌موج ۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر) و پیوسته در سنجش‌ازدور ابر طیفی، امکان مطالعه رابطه بین بازتاب طیفی گیاهان و غلظت فلزات سنگین را فراهم کرده است [۲۱]. بازتابندگی طیفی در محدوده مرئی برای تشخیص محتوای کلروفیل مناسب است درحالی‌که در محدوده مادون‌قرمز نزدیک برای مطالعه بافت برگ و محدوده مادون‌قرمز برای شناخت آب، نیتروژن، لیگنین و پروتئین مناسب است [۲۲]. نتیجه مطالعه [۲۳] بر بازتابندگی طیفی گونه‌های درختی در محیط معدن آلوده به سولفید مس نشان می‌دهد لبه قرمز به دلیل آلودگی به طرف

[1] Bioindicator

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

طول‌موج کوتاه‌تر انتقال یافته و کاهش غلظت کلروفیل را نیز در این گونه‌ها تائید می‌کند. در مطالعات طیف‌سنجی امکان مطالعه بازتابندگی در دو سطح روی و پشت برگ امکان‌پذیر است. نتایج مطالعات انجام‌شده نشان داده اکثر شاخص‌های طیفی حاصل از سطح رویی برگ با محتوای کلروفیل رابطه بهتری دارند؛ درحالی‌که شاخص Datt برای هر دو سطح برگ ارتباط قوی با تغییر میزان کلروفیل نشان می‌دهد. عملکرد فتوسنتز در گیاه تحت تأثیر غلظت رنگ‌دانه، رطوبت گیاه و شرایط سلامت گیاه است [۲۴]. طول‌موج‌های به‌کار رفته در شاخص PRI[1] مربوط به جذب طیفی رنگ‌دانه‌ها از جمله گزانتوفیل هستند؛ بنابراین با تغییرات فتوسنتز گیاه درنتیجه تنش و استرس، چرخه رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و در نتیجه رفتار طیفی گیاه تغییر می‌کند [۲۵]. [۲۶]نشان داد تغییرات رفتار طیفی مربوط به فیزیولوژی غیربصری و یا آسیب سلولی می‌تواند هشداردهنده زودهنگام کاهش رشد باشد. [۱۶] با مطالعه روند پاسخ طیفی منابع جنگلی در معرض انواع مختلف آلودگی هوا دریافتند که لبه‌قرمز به سمت طول‌موج‌های کوتاه‌تر انتقال یافته است. [۲۱،۲۷ و ۲۸] امکان استفاده از مشخصه طیفی فلزات سنگین در گیاهان را در کنار سنجش‌ازدور تصویری، فنی مناسب در کشف معادن جدید و آلاینده‌های محیطی معرفی کردند. کویسترا [۱۹] به‌منظور بررسی رابطه بین بازتابندگی پوشش‌گیاهی و افزایش غلظت فلزاتی مانند Ni، Cu، Zn، Cd و Pb موجود در دشت سیلابی در امتداد رودخانه راین و میوس در هلند پرداخت. این مطالعه از طیف‌سنجی در طیف مرئی و مادون‌قرمز بازتاب پوشش‌گیاهی استفاده شد. روابط با استفاده از رگرسیون خطی ساده در ترکیب با شاخص تفاوت پوشش‌گیاهی و محدوده لبه قرمز تعیین شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که پتانسیل داده‌های سنجش‌ازدور به‌منظور کمک به بررسی توزیع فضایی آلاینده‌های خاک در دشت سیلابی تحت عنوان مراتع طبیعی، با استفاده از پاسخ طیفی پوشش‌گیاهی می‌تواند به‌عنوان یک شاخص استفاده شود. مطالعه مشابه که توسط کلورس و همکاران [۲۹] در دشت‌های سیلابی هلند بر روی میزان فلزات سنگین هم‌زمان با طیف‌سنجی توسط اسپکترورادیومتر انجام شد؛ نشان داد که محدوده لبه‌قرمز و مشتق درجه اول منحنی طیفی بهترین برآورد را از میزان آلودگی ناشی از فلزات سنگین دارند.

با توجه به اینکه امکان تعیین ترکیبات بیوشیمیایی گیاه و تغییرات آن در بازتابندگی طیفی گیاهان در محدوده طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک به‌دلیل وجود استرس‌های مختلف وجود دارد، می‌توان از این امکان با صرف زمان و هزینه کمتر در تشخیص و اندازه‌گیری اثر آلودگی هوا بر درختان نیز استفاده نمود. در این رابطه شاخص‌های طیفی بسیار زیادی در مطالعات متفاوتی استفاده شده بر اساس نتایج حاصل از این تحقیقات، شاخص‌هایی که بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات متغیرهای مرتبط با استرس نشان داده‌اند انتخاب می‌شوند.

رگرسیون حداقل مربعات بخشی[2] (PLS) یک مدل خطی است که معمول برای ایجاد رابطه بین دو مجموعه داده استفاده می‌شود درحالی‌که برای مدل‌های غیرخطی، شبکه عصبی مصنوعی یکی از متداول‌ترین روش‌ها است. در مطالعات متعدد از رگرسیون PLS و شبکه عصبی مصنوعی جهت تخمین پارامترهای مختلف محیطی و تعیین ارتباط آن‌ها با تنش‌های گیاهی استفاده شده است [۳۴ و ۳۰،۳۱،۳۲،۳۳].

شبکه عصبی ابزاری است که عملکرد مغز در حل یک مسئله را شبیه‌سازی می‌کند و توانایی مدل‌سازی روابط خطی و غیرخطی بین مجموعه‌ای از متغیرهای

[1] Photochemical Reflectance Index

[2] Partial Least Square

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

ورودی و خروجی را دارا است ولی در برخورد با مشکل هم‌خطی داده‌های طیفی، دارای عملکرد ضعیف‌تری نسبت به رگرسیون PLS است. درحالی‌که رگرسیون PLS، یکی از رایج‌ترین فن‌های ساخت مدل در حالت‌هایی است که تعداد متغیرها بسیار زیاد و هم‌خطی فراوانی داشته باشند. بردارهای اصلی متغیرهای مستقل در مدل‌های PLS، نه‌تنها واریانس متغیرهای مستقل را در برمی‌گیرد بلکه دارای همبستگی بالایی با متغیرهای پاسخ هستند؛ بنابراین استفاده از رگرسیون PLS و شبکه‌های عصبی مصنوعی توانایی غلبه بر مشکل هم‌خطی و غیرخطی بودن داده‌های طیفی را برطرف می‌کند [۳۵].

روش‌های آماری چندمتغیره مانند رگرسیون حداقل مربعات جزئی و آنالیز خوشه‌ای، همراه با روش هوشمند شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند در توسعه یک سیستم پشتیبانی تعیین بهنگام کیفیت هوا و همچنین جلوگیری از زیان‌های اقتصادی و غیرضروری، عملکرد مؤثری داشته باشند. بیشتر مطالعات انجام‌شده در رابطه با مطالعه آلودگی گیاهان بر اساس منحنی طیفی به‌طور بنیادی انجام شده به‌نحوی‌که در شرایط آزمایشگاهی با ایجاد تنش و تأکید بر تشخیص نوع فلزات سنگین، بوده است. در این مطالعه که برای اولین بار در کشور انجام شده شرایط طبیعی منطقه با در نظر گرفتن احتمال آلودگی ناشی از ترافیک در دو تیمار مشخص در نظر گرفته‌شده و همچنین به امکان بررسی تفاوت این دو تیمار با مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون PLS پرداخته شده است. بنابراین هدف از این تحقیق مطالعه رفتار طیفی گونه‌های زبان‌گنجشک، نارون و سرو در دو حالت آلوده و شاهد، بررسی امکان تفکیک این دو تیمار با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی و درنهایت دستیابی به بهترین شاخص‌های طیفی برای تفکیک آن‌ها است.

۲- مواد و روش‌ها

در ادامه به معرفی منطقه مورد مطالعه و روشها و الگوریتم‌های به کار گرفته شده در این تحقیق پرداخته می‌شود.

۲-۱- منطقه موردمطالعه

ازآنجایی‌که انتشار آلودگی در محیط به‌صورت افقی و عمودی صورت می‌گیرد، در این مطالعه با در نظر گرفتن فاصله ۳ تا ۵ متری از منبع آلودگی (خیابان) و ارتفاع ۲٫۵-۲ متری از سطح زمین [۶] برای نمونه‌برداری از درختان، سعی در مطالعه آلودگی در سطوح افقی و عمودی گردید. مطالعه در شهر اصفهان در بخشی از بزرگراه امام خمینی اصفهان به‌عنوان منطقه آلوده و پارک قلمستان برای برداشت نمونه‌های شاهد صورت گرفت شکل (۱) بزرگراه امام خمینی در شمال غرب اصفهان و در ارتفاع ۱۵۷۹ متری از سطح دریا واقع شده است. این انتخاب بر اساس موقعیت مناسب بزرگراه و دارا بودن شرط هم‌جواری با یک فضای سبز شهری جهت یکسان بودن شرایط ارتفاعی، حجم ترافیک، شرایط آبیاری، خاک یکسان و سایر شرایط برای انتخاب گونه‌های شاهد انجام شد. برای در نظر گرفتن شرایط سنی یکسان، درختان از طبقه‌های قطری و ارتفاعی نزدیک به هم انتخاب شدند؛ بنابراین در آن منطقه، مجموع درختان سرو، زبان‌گنجشک و نارون با رعایت اندازه قطر و قطر تاج و فاصله از خیابان برای برداشت برگ نشانه‌گذاری شدند. با توجه به تعداد محدود درختان واجد شرایط تعیین‌شده برای نمونه‌برداری، تمام درختان منطقه برای اندازه‌گیری انتخاب شدند؛ در این صورت از طرح آماربرداری صددرصد در این تحقیق استفاده شد. نمونه‌برداری از برگ درختان زبان‌گنجشک، سرو و نارون که گونه‌های مشترک بلوار خیابان و پارک قلمستان هستند در جهت رو به خیابان، انجام شد. مجموع ۳۵ نمونه برگ از سه گونه موردنظر با حداقل تماس دست، با استفاده از قیچی فولادی ضدزنگ

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

برداشت شده و بلافاصله در کیسه‌های پلاستیکی و در یخچال به آزمایشگاه طیف‌سنجی منتقل شدند.

۲-۲- اندازه‌گیری طیفی

اندازه‌گیری طیفی با استفاده از دستگاه اسپکترورادیومتر مدل ASD FieldSpec3 با دامنه طول‌موج ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر شکل (۲) انجام شد که به‌طور خاص برای کسب اطلاعات طیفی میدانی در محدوده طیف مرئی و مادون‌قرمز طراحی شده است و منحنی بازتاب طیفی مربوط به هر پدیده به‌عنوان خروجی روی صفحه رایانه نمایش داده می‌شود توده‌ای از نمونه برگ‌های جمع‌آوری‌شده در سطحی با ابعاد ۲۵ سانتی‌متر روی صفحه‌ای تیره به‌منظور جذب نور و جلوگیری از بازتاب ناشی از پدیده‌های مجاور قرار گرفتند[۳۶].



شکل ۱: پراکنش مکانی گونه‌های برداشت‌شده بر روی عکس هوایی منطقه

انعکاس ثبت‌شده برگ توسط اسپکترورادیومتر ممکن است تحت تأثیر عوامل زیادی ازجمله ساختار درون و برون سلولی برگ، عوامل بیوشیمیایی و عوامل بیرونی مانند شرایط جوی و پس‌زمینه قرار بگیرد؛ بنابراین تعیین طول‌موج‌هایی که گونه‌های موردنظر در آن‌ها دارای بازتابندگی طیفی متفاوت و تفکیک‌پذیری مناسب هستند، الزامی است. بدین‌جهت از شاخص‌های طیفی مناسب و مرتبط با عوامل موردنظر استفاده شد. شاخص‌های پوشش‌گیاهی به‌وسیله ترکیب خطی و یا نسبت باندهای قرمز، سبز و مادون‌قرمز توسعه‌یافته‌اند. این شاخص‌ها نسبت به خود باندها، به تغییرات پارامترهای پوشش‌گیاهی حساس‌ترند. در این شاخص‌ها از طول‌موج‌هایی که متأثر از ویژگی‌های بیوفیزیکی و بیوشیمیایی متفاوتی می‌باشند، استفاده می‌شود. درنتیجه‌ی نسبت گیری و یا نرمال کردن، انعکاس در طول‌موج‌های خاص نسبت به عوامل دیگر بارزتر شده و بهبود پیدا می‌کند.

مطالعات فراوانی کاهش محتوای کلروفیل برگ گیاهان را براثر افزایش آلودگی هوا نشان می‌دهد؛ ازاین‌رو در این مطالعه بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات انجام‌شده از شاخص‌های حساس به کلروفیل و استرس در گیاهان، مانند NDVI[1]، PRI، SR13[2]، SR14، ND[3]، گیتلسو ن[4] استفاده گردید. داده‌های مربوط به شاخص‌های گیاهی محاسبه‌شده برای هر سه گونه،

[1] Normalized Difference Vegetation Index
[2] Simple Ratio13
[3] Normalized Difference
[4] Gitelson

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

به تفکیک آلوده و شاهد و بدون در نظر گرفتن نوع گونه، توسط آزمون کلموگروف– اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS نرمال‌سازی شده و آنالیز تجزیه واریانس‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ با فرض وجود اختلاف معنی‌دار بین شاخص‌ها در دو حالت آلوده و شاهد انجام شد. در جدول (۱) جزئیات مربوط به شاخص‌های به‌کار رفته در این مطالعه آورده شده است.



شکل ۲: دستگاه طیف‌سنج میدانی Fieldspec3

جدول ۱: شاخص‌های طیفی و متغیر موردبررسی در هر شاخص

شاخص‌های طیفی	علامت اختصاری	معادلات	متغیر	منبع
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	(R۸۰۰-R۶۷۰) / (R۸۰۰+R۶۷۰)	کلروفیل و رطوبت	[۳۷]
Photochemical reflectance index	PRI	(R۵۳۱-R۵۷۰) / (R۵۳۱+R۵۷۰)	کلروفیل و کاروتنوئید	[۳۸]
Simple Ratio1	۱SR	R۶۸۵ / R۶۵۵	کلروفیل و استرس	[۳۹]
Simple Ratio13	۱۳SR	R۶۷۰ / R۴۴۰	کلروفیل	[۴۰]
Simple Ratio14	۱۴SR	R۷۱۵ / R۷۰۵	کلروفیل	[۴۱]
Normalized Difference	ND	(R۹۳۵-R۷۰۵) / (R۹۳۵+R۷۰۵)	کلروفیل و زی‌توده	[۴۲]
Gitelson	۱GITELSON	R۷۵۰ / R۵۵۰	کلروفیل	[۴۳]
Gitelson2	۲GITELSON	R۷۵۰ / R۷۰۰	کلروفیل	[۴۳]
Gitelson 1996	۱۹۹۶GITELSON	۱/ R۷۰۰	کلروفیل	[۴۴]

برای هر درخت در دو حالت آلوده و شاهد، شاخص‌های نامبرده با استفاده از منحنی طیفی هرگونه محاسبه شدند. پس از آن برای بررسی امکان تفکیک هرگونه در حالت‌های شاهد و آلوده از یکدیگر با استفاده از شاخص‌های گیاهی محاسبه‌شده، از آنالیز تجزیه واریانس‌ها با فرض معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها، با سطح اطمینان ۹۵٪ در نرم‌افزار SPSS 22 استفاده شد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

۲-۳ شبکه عصبی مصنوعی

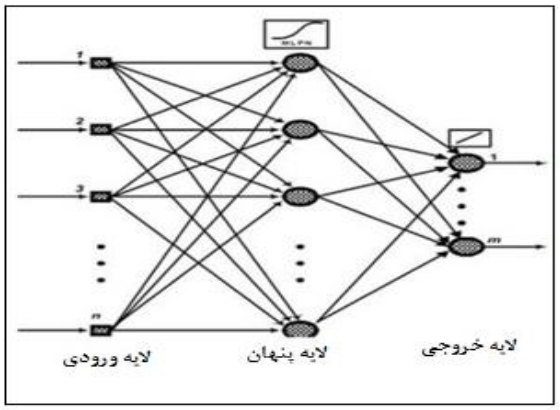
شبکه عصبی مصنوعی ارائه یک روش برای توصیف نرون‌های ترکیبی در جهت حل مسائل پیچیده به همان شیوه عملکرد مغز انسان است[۳۵]. شبکه عصبی مصنوعی برای استخراج اطلاعات کمی از پایگاه داده‌های طیف‌سنجی به دلیل حجم وسیع داده‌ها همچنین غیرخطی بودن آن‌ها به دلیل تغییرات بیولوژیکی، زیست‌محیطی و ابزارهای پیچیده اندازه‌گیری، عملکرد بسیار کارآمدی دارد. پایه و اساس عملکرد خوب یک مدل شبکه عصبی وجود یک بانک اطلاعاتی جامع و پویا که تمام متغیرهای مربوطه و مؤثر مدل شبکه عصبی را در بربگیرد، است. ترکیبی از شبکه عصبی مصنوعی و یک پایگاه داده مجهز و بهینه، نتیجه مستحکم و باثبات قطعی و صحت مناسب را در بر دارد [۴۶]. شبکه با استفاده از یک گروه از الگوهای آموزش (داده‌های ورودی زوج شده با خروجی موردنظر) و تنظیم وزن در ارتباط با اتصالات در شبکه تا دستیابی به سطحی مناسب از خطا، چندین مرتبه تکرار می‌شود. در این مطالعه شبکه عصبی پرسپترون با قانون آموزش پس انتشار خطا در نرم‌افزار مطلب نسخه ۲۰۱۴، انجام شد. پرسپترون بیشتر در مسائل نقشه‌برداری غیرخطی استفاده می‌شود [۴۷]. تعداد نرون‌ها در لایه‌های ورودی و خروجی به تعداد متغیرهای وابسته و مستقل بستگی دارد. شبکه با ۱۰ شاخص پوشش گیاهی به‌عنوان ورودی برای درختان شاهد و آلوده در سه گونه با یک لایه‌ی خروجی و یک لایه پنهان مورد آزمون قرار گرفت. تعداد لایه‌های پنهان، تعداد سلول‌های عصبی در هر لایه پنهان و تعداد تکرارها به صورت آزمون‌وخطا انجام شد شکل (**Error! Unknown switch argument.**۳). تابع تانژانت سیگموئید برای اجرا شبکه عصبی پرسپترون با توجه به مطالعات گذشته انتخاب شد [۴۸]. تجزیه‌وتحلیل حساسیت برای ایجاد درک بهتری از اهمیت هریک از ورودی‌ها بر خروجی صورت گرفت. آنالیز حساسیت برای بررسی رفتار متغیرهای ورودی برای تعیین اهمیت هر شاخص در تفکیک گونه‌های شاهد و آلوده با استفاده از روش Stat soft انجام شد. نسبت حساسیت از تقسیم خطای کل شبکه در غیاب یک متغیر بر خطای کل شبکه در حضور همه متغیرها محاسبه می‌شود. هرچه ضریب حساسیت از یک بزرگ‌تر باشد، متغیر سهم بیشتری در تفکیک داشته است. دو پارامتر آماری ضریب تبیین (R2) و مجذور مربعات خطا (RMSE)، برای تجزیه و تحلیل عملکرد مورداستفاده قرار می‌گیرد. مجذور مربعات خطا به‌صورت رایج‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیانگر تفاوت میانگین‌ها بین مقادیر برآورد شده و مقادیر واقعی است.

۲-۴ رگرسیون حداقل مربعات بخشی

رگرسیون حداقل مربعات یک روش سریع، کارآمد و مطلوب در مواردی که تعداد متغیرها زیاد است و همچنین در مواردی که متغیرهای توضیحی حضور دارند، به‌کار می‌رود. به هرکدام از حالت‌های آلوده و شاهد گونه‌ها، کدی داده شده و به‌عنوان متغیر پیش‌بینی کننده به مدل معرفی شدند. متغیر مستقل تنها شامل مقادیر طیفی در محدوده ۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر است. این روش از اطلاعات هر دو متغیر پیش‌بینی و متغیر پاسخ تا حد ممکن استفاده می‌کند و زمانی که تعداد متغیرهای پیش‌بینی بیشتر از نمونه‌های اندازه‌گیری شده باشد و یا کار با حجم زیادی از متغیرها (تعداد زیاد طول‌موج‌ها که اطلاعات مشترک را بیان می‌کنند) صورت بگیرد، به‌کار می‌رود و سبب فشرده‌سازی اطلاعات در چند مؤلفه اصلی غیر همبسته می‌شود. درواقع حداقل مربعات بخشی مجموعه‌ای از متغیرهای وابسته را از مجموعه بزرگی از متغیرهای مستقل، پیش‌بینی می‌کند که رگرسیون معمولی قادر به انجام آن نیست [۴۹].

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]



$$\begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ . \\ . \\ . \\ Xn \end{bmatrix}$$

بردار ویژگی

شکل ۳: ساختار شبکه عصبی

با پیش‌بینی متغیر مستقل، امکان معرفی بهترین طول‌موج‌های مؤثر و مرتبط با متغیر وابسته نیز فراهم می‌شود. روش اعتبار متقابل با خروج یک نمونه[1] از همه نمونه‌ها برای اعتبار سنجی مدل استفاده می‌کند. در این صورت برازش مدل برای n-1 مشاهده، انجام می‌شود. در تحلیل PLS [2] مؤلفه‌های مناسب بر اساس حداقل میزان مجموع مربعات خطای باقیمانده برآورد شده (PRESS[3])، تعیین می‌شود. انتخاب بهترین مدل برازش شده بر اساس آماره RMSECV [4] یا ریشه میانگین مربعات خطای اعتبار متقابل که بر اساس PRESS محاسبه می‌شود، صورت می‌گیرد. در این تحلیل از آماره R2 نیز به‌منظور بیان رابطه طبقه‌های شاهد و آلوده برآورد شده و طبقه نمونه‌ها استفاده می‌شود.

محاسبه R2 و RMSECV در رابطه‌های (۱و ۲) به‌شرح زیر است:

$$RMSECV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_1 - y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i(\hat{y}_1 - y_i)^2}{\sum_i(y_i - \bar{y})^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

Yi: مشاهده i ام

$\bar{y}$: میانگین مشاهدات

$\hat{y}_1$: مقدار برآورد شده مشاهده iام برای n-1 مشاهده توسط مدل

n: تعداد مشاهدات

۳- نتایج

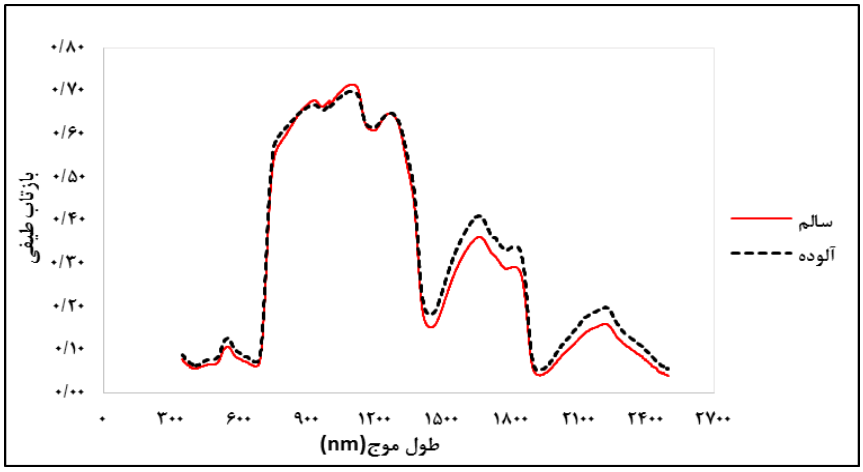
در ادامه نتایج به دست آمده ارائه می شود.

۳- ۱- منحنی طیفی گونه‌ها در شـرایط آلـوده و شاهد

با محاسبه میانگین حاصل از منحنی‌های طیفی نمونه‌های شاهد و آلوده تفاوت این دو تیمار برای گونه نارون در محدوده طول موج‌های مرئی (۳۵۰-۷۰۰ نانومتر) و مادون‌قرمز (۷۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) نمایان شده است شکل (۴ **Error! Unknown switch argument.**)، به‌صورتی که نمونه آلوده افزایش بازتاب در محدوده مرئی و همچنین افزایش نسبی در محدوده مادون‌قرمز را نشان می‌دهد.

[1] Leave one out
[2] Partial least square
[3] Predicted Residual Error Sum of Squares
[4] Root Mean Square Error of Cross-Validation

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]



شکل ۴: منحنی بازتابندگی طیفی گونه نارون در حالت شاهد و آلوده با استفاده از دستگاه طیف‌سنج اسپکترورادیومتر

۳- ۲- انتخاب بهترین شاخص

در راستای رسیدن به یکی از اهداف تحقیق که انتخاب مناسب‌ترین شاخص در تفکیک طیفی دو تیمار شاهد و آلوده بوده نتایج آنالیز واریانس‌ها برای تفکیک حالت‌های شاهد و آلوده برای سه گونه زبان‌گنجشک، سرو و نارون از یکدیگر در جدول (۲)، نشان داده‌شده‌اند. نتایج آنالیز واریانس‌ها اختلاف معنی‌دار را فقط برای شاخص PRI با سطح معنی داری ۰/۰۴۲ نشان می‌دهد جدول (۲). این شاخص حساسیت خوبی نسبت به تغییر چرخه رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی گیاه ناشی از تنش و استرس و در نتیجه تغییر رفتار طیفی گیاه در طول‌موج‌های استفاده‌شده، داشته است. نتایج تحلیل واریانس نیز تفاوت معنی‌داری را برای مجموعه رنگ‌دانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید سه گونه در دو تیمار شاهد و آلوده نشان داده است.

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس‌ها برای سه گونه موردمطالعه در حالت‌های آلوده و شاهد

شاخص پوشش گیاهی	میانگین مربعات	درجه آزادی (df)	F آماره	معنی‌داری
NDVI	۰/۰۱۲	۳۴	۱/۲۲۸	۰/۲۷۶
PRI	۰/۰۰۰	۳۴	۴/۴۸۵	*۰/۰۴۲
Datt	۰/۰۱۴	۳۴	۲/۸۹۳	۰/۰۹۸
ND	۰/۰۰۳	۳۴	۳/۰۵۶	۰/۰۹۰
SR1	۰/۰۰۲	۳۴	۲/۸۱۷	۰/۱۰۳
SR13	۰/۰۵۲	۳۴	۰/۰۵۴	۰/۸۱۸
SR14	۰/۰۳۶	۳۴	۲/۹۷	۰/۰۹۴
Gitelson1	۰/۰۰۰	۳۴	۰/۰۰۵	۰/۹۴۶
Gitelson 2	۳/۲۷۴	۳۴	۳/۸۳۳	۰/۰۵۹
Gitelson1996	۵۹/۳۵	۳۴	۱/۹۵۲	۰/۱۷۲

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

۳-۳- شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به نتایج شبکه‌های آموزش داده‌شده شبکه ۱۳ با یک لایه پنهان و ۱۵ نرون در آن لایه با توجه به کمترین میانگین مربع خطا (MSE[1])، بهترین عملکرد بهینه‌سازی توپولوژی را نشان می‌دهد؛ بنابراین، یک شبکه عصبی پس انتشار با ساختار ۱- ۱۵- ۱۰ ساخته شد که تعداد ورودی‌ها برابر ۱۰ شاخص طیفی و خروجی شامل یک نرون (گونه شاهد و آلوده) است. ۱۵ نمونه برای اعتبار سنجی نتایج شبکه عصبی طراحی‌شده استفاده شد. نتایج طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی صحت کلی ٪۷۳٫۴ را برای تفکیک گونه‌های آلوده و گونه‌های شاهد نشان می‌دهد. در آنالیز شبکه عصبی مصنوعی برای تفکیک گونه‌های آلوده و سالم، شاخص‌های NDVI و Datt دارای حساسیت بیشتری در مقایسه با سایر شاخص‌های به‌کار گرفته‌شده بودند.

۳-۴- تفکیک‌پذیری گونه‌ها با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات بخشی (PLS)

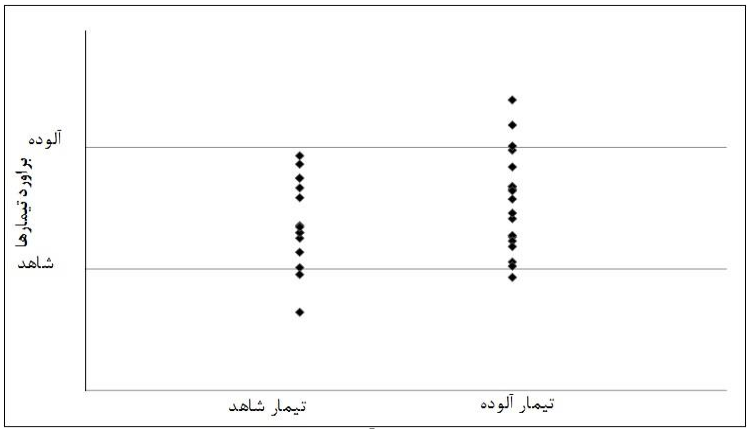
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از برازش بهترین مدل کمترین میزان PRESS، مربوط به مؤلفه پنجم بوده است. RMSECV حاصل از اعتبار سنجی مدل به‌دست‌آمده، معادل ۰/۷۶ در برآورد تعلق هر نمونه به تیمارهای شاهد و آلوده است. ضریب همبستگی به‌دست‌آمده بین تیمارهای شاهد و آلوده و برآورد شده آن‌ها توسط مدل رگرسیون PLS معادل ۰/۲۵ است. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده تفکیک تیمارهای شاهد و آلوده در حالتی که برای همه نمونه‌های سه گونه موردمطالعه به‌طور یکجا در مدل وارد شدند تفکیک طیفی مناسبی را نشان نمی‌دهند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تفاوت‌های طیفی در محدوده‌های طیفی مرئی و مادون‌قرمز نزدیک به‌خصوص محدوده لبه قرمز بارزتر است. نتایج تجزیه هم‌زمان انجام‌شده بر متغیر مستقل طول‌موج (از ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) نیز طول‌موج‌هایی که قابلیت تفکیک دو حالت آلوده و شاهد را دارد، نشان می‌دهد شکل (۶).

مدل PLS برای تعیین احتمال تعلق هر نمونه به تیمارهای شاهد و آلوده‌ی هر گونه به‌طور مجزا انجام شد نتایج حاصل از آن نشان داد برازش بهترین مدل با کمترین میزان PRESS، برای گونه‌های زبان‌گنجشک، سرو و نارون به ترتیب مربوط به مؤلفه ششم، سوم و دوم، بوده است. RMSECV حاصل از اعتبار سنجی مدل به‌دست‌آمده، معادل ۰/۷۶، ۱/۰۷ و ۱/۵ در برآورد تعلق هر نمونه به تیمارهای شاهد و آلوده بوده است. در شکل (۷) نتایج به‌دست‌آمده از تعلق هر گونه به دو حالت آلوده و شاهد به‌صورت مجزا برای سه گونه موردنظر انجام شد. در مقایسه باحالتی که سه گونه به‌صورت تلفیقی به مدل رگرسیون وارد شدند، تفکیک بهتری برای حالت‌های آلوده و شاهد را نشان داد. از بین گونه‌ها، زبان‌گنجشک با ضریب همبستگی ۰/۹۷ بهترین تفکیک حالت را داشته است. با توجه به ضریب همبستگی به‌دست‌آمده از تجزیه‌وتحلیل متغیر طول موج برای سه گونه زبان‌گنجشک، سرو و نارون برای تفکیک طیفی حالت‌های آلوده و شاهد در جدول (۴) نشان داده شده است.

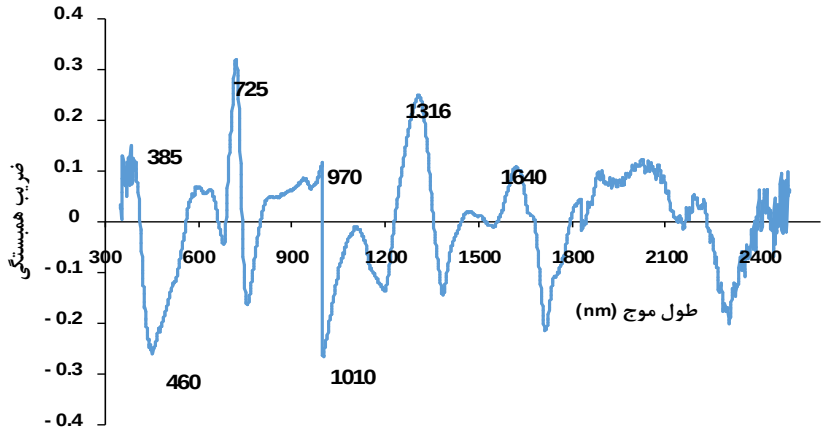
[1] Mean square error

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]



شکل ۵: نتایج مدل PLS در تفکیک نمونه‌های شاهد و آلوده بر اساس تفاوت انعکاس طیفی برگ و طبقه‌بندی گونه‌ها



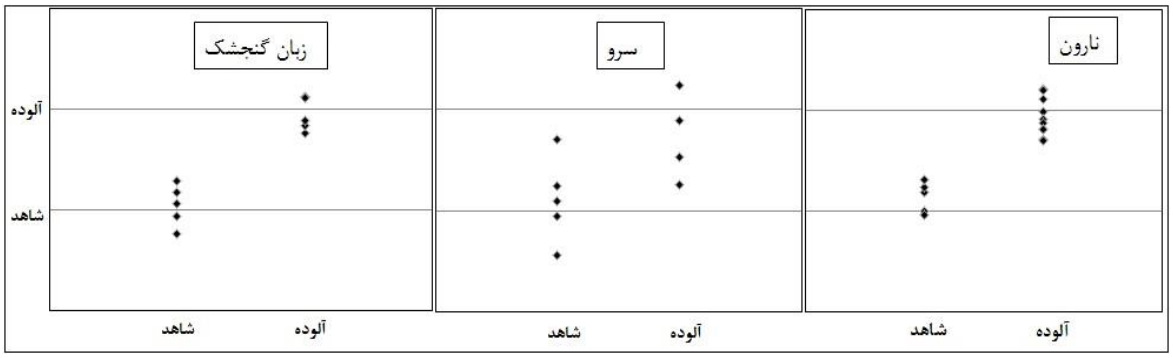
شکل ۶: نتایج تجزیه هم‌زمان انجام‌شده بر متغیر مستقل طول‌موج در مقابل ضریب همبستگی

جدول ۲: نتایج مدل PLS برای تفکیک گونه‌های زبان‌گنجشک، سرو و نارون در دو حالت آلوده و شاهد

گونه	RMSECV	ضریب همبستگی	طول‌موج‌های حساس (nm)
زبان‌گنجشک	۱/۰۷۸	۰/۹۷	۴۱۰-۴۶۰-۶۰۰ تـــا ۶۴۰-۶۷۷-۷۰۴-۷۶۰-۹۷۰-۹۹۹-۱۰۱۹-۱۱۳۵-۱۳۰۳-۱۳۹۰
نارون	۷/۰۷	۰/۹۱	۳۵۵-۴۲۸-۷۲۲-۷۵۵-۱۱۱۰-۱۱۸۰-۱۲۷۵-۱۳۸۰-۱۶۶۰
سرو	۰/۹۶	۰/۶۳	۴۵۸-۵۶۷-۶۷۰-۷۳۳-۱۰۰۳-۱۳۵۰-۱۶۲۷

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]



شکل ۷: نتایج مدل PLS در تفکیک نمونه‌های شاهد و آلوده به تفکیک گونه بر اساس تفاوت انعکاس طیفی برگ و طبقه‌بندی گونه‌ها

۴- بحث و نتیجه‌گیری

نیاز به‌موقع به اطلاعات در مورد تغییرات آلودگی هوا برای اتخاذ اقدامات پیشگیرانه، موجب تلاش برای استفاده از فنونی مانند سنجش‌ازدور در جهت کسب اطلاعاتی به‌طور مستقیم و به‌سرعت درزمینه کیفیت هوا شده است. استفاده از سنجش‌ازدور در مطالعات آلودگی هوا از سال ۱۹۷۰ با برآوردی از وضعیت آلودگی هوا با توجه به تغییر بازتاب اشیاء زمینی در عکس‌های هوایی آغاز شد [۵۰]. پوشش گیاهی به‌عنوان عاملی که اثر کاهشی بر آلودگی هوا دارد، شناخته شده است، بنابراین شاخص‌های پوشش گیاهی به‌عنوان معیار ارزیابی و شاخصی برای مطالعه آلودگی هوای شهری معرفی می‌شود [۵۱].

در این مطالعه پتانسیل داده‌های ابرطیفی برای مطالعه آلودگی هوای ناشی از ترافیک به‌عنوان ابزاری مقرون‌به‌صرفه و با سرعت بالا برای مطالعه تغییرات طیفی گونه‌های در معرض آلودگی هوا در بزرگراه امام خمینی اصفهان مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. در ابتدا بازتابندگی طیفی گونه‌های گیاهی ثبت گردید. گیاهان در شرایط دشوار زیست‌محیطی مانند کمبود رطوبت و آلودگی دچار تغییراتی در میزان فتوسنتز آن‌ها که برگرفته از کاهش رنگ‌دانه‌هایی مانند کلروفیل است، می‌شوند. این تنش‌های گیاهی تغییر در بازتابندگی طیفی آن‌ها را در پی دارد، دستگاه طیف‌سنج اسپکترورادیومتر بازتابندگی طیفی پدیده‌ها را در دامنه طول‌موجی ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر ثبت می‌کند. با توجه به منحنی بازتابندگی طیفی گونه‌های درختی یکسان در دو حالت آلوده و شاهد شکل (۱) می‌توان به تفاوت رفتار طیفی در دو حالت پی برد و با استفاده از روش‌های متفاوت مانند شاخص‌های طیفی این تفاوت‌ها را بارزتر نمود و طول‌موج‌های خاصی را برای تحقق اهداف مشخص مانند تعیین آلودگی با استفاده از رفتار طیفی گونه‌ها استفاده نمود. ازاین‌رو جهت بارزسازی تفاوت احتمالی بازتاب‌ها در شرایط متفاوت محیطی شاخص‌های طیفی حساس به غلظت کلروفیل و استرس گیاهی به‌کار گرفته شد. وجود سه گونه درختی متفاوت (زبان-گنجشک، نارون و سرو) و تعداد درختان مربوط به هرگونه، سبب افزایش واریانس شاخص‌های مربوط به تفکیک‌شده است و این افزایش واریانس منجر به کاهش سطح معنی‌داری و صحت مربوط به هر شاخص می‌شود. اگرچه تجزیه‌وتحلیل واریانس‌ها یک زیرمجموعه از کل ویژگی‌های شاخص‌ها را در نظر می‌گیرد ولی اطلاعات زیادی در کنار این شاخص‌ها وجود دارد که منجر به عدم بهبود نسبی نتایج طبقه‌بندی با تعداد متغیرهای مورد نظر (شاخص‌ها) بر اساس آنالیز واریانس‌ها می‌شود [۵۲]. علاوه بر این پیشرفت فنّاوری و اندازه‌گیری متغیرهای متفاوت مربوط به هر نمونه باعث تشدید خطر ورود متغیرهای

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

نامربوط به مدل‌ای آماری می‌شود، این دلایل ضرورت استفاده از روش‌های آنالیز چندمتغیره (رگرسیون حداقل مربعات جزئی، شبکه عصبی مصنوعی و غیره) را یادآور می‌شود.

روش آماری تجزیه واریانس‌ها و شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای کشف پتانسیل سنجش‌ازدور در ارتباط با شناخت گونه‌های آلوده از گونه‌های شاهد مورداستفاده قرار گرفت. نتایج آنالیز واریانس شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص PRI را جهت تفکیک گونه‌های آلوده و شاهد مناسب نشان داد. رنگ‌دانه‌هایی مانند کلروفیل برگ در طیف مرئی در محدوده ۴۵۰-۶۷۰ نانومتر باعث ایجاد دره‌ای موسوم به باند جذب کلروفیل شده است. کلروفیل به‌شدت در طول‌موج آبی (۴۰۰-۵۰۰ نانومتر) و در طول‌موج قرمز (۶۰۰-۷۰۰ نانومتر) انرژی را جذب و در طول‌موج سبز انعکاس می‌دهد. در گیاهانی که دارای تنش شده‌د به‌دلیل کاهش سطح کلروفیل، جذب در محدوده قرمز و آبی کم شده و در طول‌موج قرمز انعکاس افزایش می‌یابد. شواهد نشان می‌دهد، ازآنجایی‌که شاخص PRI، اندازه‌گیری بازتاب نسبی در دو طرف طول‌موج ۵۵۰ نانومتر (پیک سبز) است و همچنین ممکن است مقایسه بازتاب در محدوده‌ی آبی بازتاب طیفی (جذب کلروفیل و کاروتنوئید) و بازتاب طیفی در محدوده قرمز (جذب کلروفیل) صورت بگیرد، این شاخص می‌تواند برآورد قابل قبولی از متغیرهای فیزیولوژیکی مربوط به بهره‌وری فتوسنتز در سطح برگ و تاج در گستره وسیعی از گونه‌ها فراهم کند [۵۲].

وجود سه گونه درختی متفاوت (زبان‌گنجشک، نارون و سرو) و تعداد درختان مربوط به هرگونه، سبب افزایش واریانس شاخص‌های مربوط به تفکیک شده است و این افزایش واریانس منجر به کاهش سطح معنی‌داری، صحت مربوط به هر شاخص می‌شود. اگرچه تجزیه‌وتحلیل واریانس‌ها یک زیرمجموعه از کل ویژگی‌های شاخص‌ها را در نظر می‌گیرد ولی اطلاعات زیادی در کنار این شاخص‌ها وجود دارد که منجر به عدم بهبود نسبی نتایج طبقه‌بندی با تعداد متغیرهای موردنظر (شاخص‌ها) بر اساس آنالیز واریانس‌ها می‌شود [۵۳]. علاوه بر این پیشرفت فنّاوری و اندازه‌گیری متغیرهای متفاوت مربوط به هر نمونه باعث تشدید خطر ورود متغیرهای نامربوط به مدل‌های آماری می‌شود، این دلایل ضرورت استفاده از روش‌های آنالیز چندمتغیره (رگرسیون حداقل مربعات جزئی، شبکه عصبی مصنوعی) را یادآور می‌شود.

مسئله مهم در مورد داده‌های حاصل از طیف‌سنجی نیز، حجم بالای داده‌های تولیدشده توسط سامانه‌های اندازه‌گیری منحنی طیفی است. همراه با سهولت در اندازه‌گیری متغیرهای متفاوت هر موضوع با استفاده از این حجم وسیع از داده‌ها، اهمیت انتخاب متغیرها برای کاهش داده‌ها و بهبود توانایی تفسیر، بسیار مهم جلوه می‌دهد. رگرسیون حداقل مربعات جزئی به‌عنوان یک روش نظارت‌شده به‌طور خاص به‌منظور رسیدگی به مشکل پیش‌بینی مناسب در مسائل چندمتغیره و همچنین حجم بالای اطلاعات گسترش یافته است [۵۴]. برخلاف روش‌های تفکیک طیفی نظیر آنالیز واریانس و یا شبکه عصبی مصنوعی در بررسی رفتار طیفی گونه‌های شاهد و آلوده در طول‌موج‌های خاص، رگرسیون PLS توانایی بررسی رفتار طیفی را در تمامی طول‌موج‌های طیفی دارا است. ازاین‌رو در آنالیز رگرسیون PLS از طیف وسیع طول‌موج (۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر) برای تفکیک حالت‌های موردنظر استفاده شد. از طرفی در مدل رگرسیون PLS واریانس تفاوت طیفی زیادی برای سه گونه در کنار فراوانی بالای متغیر (طول‌موج) انتظار دقت بالا در تفکیک طیفی برای نمونه‌های شاهد و آلوده نمی‌توان داشت، ازاین‌رو مدل برای تک‌تک گونه‌ها به‌طور مجزا برازش شده و نشان داد که گونه‌ی زبان‌گنجشک از تفکیک خوبی در دو حالت ذکرشده برخوردار است. قدرت تفکیک حالت‌های آلوده و شاهد برای گونه‌ی سرو بسیار پایین‌تر از دو گونه‌ی دیگر به دست آمد که دلیل آن را می‌توان

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

همیشه‌سبز بودن آن دانست، چراکه در این مطالعه آلودگی ترافیکی ناشی از یک فصل رویش مورد بررسی قرار گرفته بود.

نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی قادر به ایجاد رابطه بین شناخت آلودگی و شاخص‌های پوشش گیاهی مرتبط با محتوای کلروفیل بود. با توجه به آنالیز حساسیت، شاخص‌های Datt و NDVI دارای بیشترین سهم در تفکیک گونه‌های شاهد و آلوده از یکدیگر هستند. شاخص Datt دارای ارتباط قوی با تغییر در منحنی طیفی پوشش گیاهی به علت تغییر در محتوای کلروفیل است، از بین شاخص‌های پوشش گیاهی، این شاخص محتوای کلروفیل برگ را با کم کردن اثر سطح برگ معین می‌کند و با توجه به اینکه در این مطالعه سه گونه متفاوت با سطح برگ متنوع در نظر گرفته شده، این شاخص کاربرد وسیع‌تری برای تفکیک حالت‌های شاهد و آلوده خواهد داشت. NDVI شاخص رایجی است که در سنجش‌ازدور برای برآورد مواد بیوشیمیایی گیاه مانند غلظت کلروفیل مورداستفاده قرار می‌گیرد [۲۳] و بر اساس تفاوت بین جذب در محدوده طول‌موج قرمز و حداکثر بازتاب ناگهانی در محدوده مادون‌قرمز نزدیک ناشی از حضور کلروفیل استوار است. زمانی که بین پارامترها رابطه غیرخطی وجود دارد، مطالعه همبستگی ممکن است نتایج نادرست و حتی گمراه‌کننده در مورد روابط ایجاد کند، در این موارد شبکه عصبی مصنوعی عملکرد بهتری می‌تواند داشته باشد. نتایج شبکه عصبی مصنوعی برای تفکیک گونه‌های آلوده از سالم دارای ۷۳٫۴٪ بوده و نشان می‌دهد که با استفاده از داده‌های حاصل از فن طیف‌سنجی میدانی مانند شاخص‌های پوشش گیاهی قابلیت نشان دادن آلودگی هوا را دارند.

مراجع

[1] R.Cromar, Kevin, A. Laura Gladson, D.Lars Perlmutt, Marya Ghazipura, and Gary W. Ewart. “American Thoracic Society and Marron Institute Report. Estimated Excess Morbidity and Mortality Caused by Air Pollution above American Thoracic Society–Recommended Standards”, 2011–2013." Annals of the American Thoracic Society . Vol. 13, pp. 1195-1201. 2016

[2] Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Mehdi, L. and Nowak, D. “Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France”. Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 17, pp.192-201. 2016

[3] O. Duclaux, E. Frejafon, H. Schmidt, A. Thomasson, D. Mondelain, J. Yu, C. Guillaumond, C. Puel, F. Savoie, P. Ritter, J.P. Boch. “3D-air quality model evaluation using the Lidar technique”. Atmospheric environment, Vol.36, pp.5081-5095. 2002

[4] R.M. Harrison, R. Tilling, M.S.C. Romero, S. Harrad, and K. Jarvis, “A study of trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the roadside environment”. Atmospheric Environment, Vol. 37, pp. 2391–2402, 2003

[5] D. Rebolj, and P.J.Sturm, “A GIS based component-oriented integrated system for estimation, visualization and analysis of road traffic air pollution”, Environmental Modelling and Software, Vol.14, pp. 531-539, 1999.

[6] S. Norouzi, H. Khademi, A. F. Cano, and J. A. Acosta, “Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals A case study from Isfahan, Central Iran”, Ecological Indicators, Vol. 57, pp. 64-73., 2015.

[7] C. Nali, and G. Lorenzini, “Air quality survey carried out by schoolchildren: an innovative tool for urban planning”, Environmental Monitoring Assessment, Vol. 131, pp. 201-210, 2007.

[8] F. Kardel, K. Wuyts, M. Babanezhad, U.W.A. Vitharana, T. Wuytack, G. Potters, and R. Samson, “ Assessing urban habitat quality based on specific leaf area and stomatal characteristics of Plantago

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

lanceolata L", Environmental Pollution, Vol.158, pp. 788–794. 2010.

[9] E. Lehndorff, E., and L. Schwark, "Biomonitoring of air quality in the Cologne Conurbation using pine needles as a passive sampler–Part III: Major and trace elements", Atmospheric Environment, Vol. 44, pp. 2822-2829, 2010.

[10] D. J. Nowak, D.E. Crane, and J.C. Stevens, "Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Urban forestry & urban greening", Urban forestry & urban greening, Vol.4, pp.115-123, 2006.

[11] K.P. Beckett, P.H. Freer-Smith, and G. Taylor, "Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution", Environmental pollution, Vol.99, pp. 347-360, 1998.

[12] S.T. Petrova, "Biomonitoring study of air pollution with BetulapendulaRoth", Ecologia Balkanica, Vol.3, pp.1-10, 2011.

[13] P. Madejon, T. Maranon, J.M. Murillo, " Biomonitoring of trace elements in the leaves and fruits of wild olive and Holm oak trees", Science of the Total Environment, Vol.355, pp.187-203, 2006.

[14] I. Suciu, C. Cosma, M. Todica,S.D. Bolboaca, and L. Jantschi, " Analysis of soil heavy metal pollution and pattern in Central Transylvania", International journal of molecular sciences, Vol. 9, pp. 434-453, 2008.

[15] S.Hojati, H. Khademi, A.F. Cano, and A. Landi, A. "Characteristics of dust deposited along a transect between central Iran and the Zagros Mountains", Catena, Vol. 88, pp. 27-36, 2012.

[16] Rock, B. N., T. Hoshizaki, and J. R. Miller. "Comparison of in situ and airborne spectral measurements of the blue shift associated with forest decline", Remote Sensing of Environment 24, no. pp.109-127.1988.

[17] Wang, X., Guo, N., Zhang, K. and Zhao, H. "Hyperspectral reflectance and their relationships with spring wheat growth status characteristics in rained agriculture areas of loess plateau", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37: pp.403-408.2008.

[18] Slonecker, T., Fisher, G.B., Aiello, D.P. and Haack, B.,. "Visible and infrared remote imaging of hazardous waste: a review. Remote Sensing, 2(11), pp.2474-2508, 2010

[19] L. Kooistra, E.A.L.Salas, J.G.P.W. Clevers, R. Wehrens, R.S.E.W. Leuven, P.H. Nienhuis, and L.M.C. " Buydens, Exploring field vegetation reflectance as an indicator of soil contamination in river floodplains". Environmental Pollution, Vol. 127, pp.281-290, 2004.

[20] M. Abbasi, A.A. Darvishsefat, and M. Schaepman. "Coparison of adaxial and abaxial spectral reflectance of fagus orientalis lipsky and carpinus betulu using field spectroradiometer and spectral indices", Iranian Journal of Forest , Vol.2, pp.253-261, 2010.

[21] Horler, D.N.H., Barber, J. and Barringer, A.R. "Effects of heavy metals on the absorbance and reflectance spectra of plants", pp.121-136. 1980.

[22] G.T. Chi, Y. Shi, X. Chen, J. Ma and T.H. Zheng, " Effects of metal stress on visible/near-infrared reflectance spectra of vegetation", Advanced Materials Research, Vol. 347, pp. 2735-2738, 2012.

[23] B. Datt, " Remote sensing of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a+b, and total carotenoid content in eucalyptus leaves", Remote Sensing of Environment, Vol. 66, pp.111-121.۱۹۹۸.

[24] Darvishsefat, A. A., M. Abbasi, and M. Schaepman. "Evaluation of spectral reflectance of seven Iranian rice varieties canopies", Journal of Agricultural Science and Technology, 13, pp. 1091-1104.۲۰۱۱.

[25] D.A. Sims, and J.A. Gamon, "Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

leaf structures and developmental stages", Remote sensing of environment, Vol.81, pp. 337-354, 2002.

[26] REICH, P.B. and LASSOIE, J.P. "Effects of low level O3 exposure on leaf diffusive conductance and water‐use efficiency in hybrid poplar", Plant, Cell & Environment, 7(9): pp.661-668.1984.

[27] Collins, W., Chang, S.H., Raines, G.L., Canney, F. and Ashley, R., 1983. "Airborne biogeophysical mapping of hidden mineral deposits", Economic Geology, 78(4): pp.737-749.

[28] Milton, N.M., Collins, W., Chang, S.H. and Schmidt, R.G., 1983."Remote detection of metal anomalies on Pilot Mountain, Randolph County, North Carolina", Economic Geology, 78(4): pp.605-617.

[29] J. G. P. W. Clevers,., L. Kooistra, and E. A. L. Salas. "Study of heavy metal contamination in river floodplains using the red-edge position in spectroscopic data", International Journal of Remote Sensing 25, no. 19 (2004): 3883-3895.

[30] Guthe, Sushma. "Estimation of Phosphorus Content in Leaves of Plants using PLSR and SVMR: A Review", International Journal of Advanced Research in Computer Science 8, no. 5 (2017).

[31] Cozzolino, Daniel, and Jessica Roberts. "Applications and developments on the use of vibrational spectroscopy imaging for the analysis, monitoring and characterisation of crops and plants", Molecules 21, no. 6 (2016): 755.

[32] Jin, Xiaoli, Chunhai Shi, Chang Yeon Yu, Toshihiko Yamada, and Erik J. Sacks. "Determination of leaf water content by visible and near-infrared spectrometry and multivariate calibration in Miscanthus", Frontiers in plant science 8 (2017).

[33] Cozzolino, D., & Roberts, J. (2016). "Applications and developments on the use of vibrational spectroscopy imaging for the analysis, monitoring and characterisation of crops and plants", Molecules, 21(6), 755.

[34] Appalasamy, M., Varghese, B., Sershen, & Ismail, R. (2016). "Examining the utility of hyperspectral remote sensing and partial least squares to predict plant stress responses to sulphur dioxide pollution: a case study of Trichilia dregeana Sond", South African Geographical Journal, 1-19.

[35] K. S. Song, L. Li, L. P. Tedesco, N. Clercin, S. Li, Z. C. Li, and K. Shi, "Hyperspectral determination of eutrophication for a water supply sourcevia genetic algorithm-partial least square (GA-PLS) modeling," Sci.Total Environ., vol. 426, pp. 220–232, Jun. 2012.

[36] Poorghasemi, N. and Abbasi, M, "Relationship between LAI of Quercus persica and Pistacia atlantica with Field Spectroscopy", Iranian Journal of Applied Ecology, 5(16), pp.55-67. 2016.

[37] J.W. Rouse, R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, and J.C. Harlan, "Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation, NASA/GSFC, Type III Final Report, M.D. Greenbelt", pp. 371, 1974.

[38] J.A.Gamon, C.B. Field, W. Bilger, O. Björkman, A.L. Fredeen and J. Peñuelas, "Remote sensing of the xanthophyll-cycle and chlorophyll fluorescence in sunflower leaves and canopies", Oecologia, Vol, 85, pp. 1–7, 1990.

[39] P.J. Zarco-Tejada, J.R. Miller, G.H. Mohammed and T.L. Noland, "Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance: I. leaf-level measurements and model simulation", Remote Sensing of Environment, Vol.74, pp.582–595, 2000.

[40] W. Xiaoping, G. Ni, Z. Kai, Z. Hong, "Hyperspectral reflecance and their relationships with spring wheat growth status characteristics in rained agriculture areas of loess plateau", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, pp. 403-408, 2008.

[41] J.E. Vogelmann, B.N. Rock and D.M. Moss, "Red edge spectral measurements from sugar maple leaves", International Journal of

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

Remote Sensing, Vol. 14, pp.1563-1575, 1993.

[42] G.L. Maire, C. Francois, K. Soudani, D. Berveiller, J.Y. Pontailler, N. Breda, H. Genet and E. Davi Dufrene, "Calibration and validation of hyperspectral indices for the estimation of broadleaved forest leaf chlorophyll content, leaf mass per area, leaf area index and leaf canopy biomass", Remote Sensing of Environment, Vol. 112, pp. 3846–3864, 2008.

[43] A.A. Gitelson, Y.J. Kaufman and M.N. Merzlyak, "Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS", Remote Sensing of Environment, Vol. 58(3),pp. 289-298, 1996.

[44] A.A. Gitelson, C. Buschmann and H.K. Lichtenthaler, "The chlorophyll fluorescence ratio F735/F700 as an accurate measure of the chlorophyll content in plants", Remote Sensing of Environment, Vol. 69(3), pp. 296- 302, 1990.

[45] S. Ayoubi, A.P. Shahri, P.M. Karchegani and K.L. Sahrawat, "Application of artificial neural network (ANN) to predict soil organic matter using remote sensing data in two ecosystems", InTech Open Access,pp.181-196, ۲۰۱۱.

[46] L. Norgaard, M. Lagerholm and M. Westerhaus, "Artificial Neural Networks and Near Infrared Spectroscopy-A case study on protein content in whole wheat grain". Foss White Paper http://www. foss. dk/campaign/-/media/242657904D734CE9B0652C3D885776AE. Ashx, 2013.

[47] B. Adamu, K. Tansey and B. Ogutu, "Using vegetation spectral indices to detect oil pollution in the Niger Delta", Remote Sensing Letters, Vol. 6, pp.145-154,۲۰۱۵ .

[48] M. Kaul, R. Hill, and C. Walthall, "Artificial neural networks for corn and soybean yield Prediction", Agricultural Systems, Vol. 85, pp.1-18, 2005.

[49] C.Gomez, P. Lagacherie, G.Couloum, " Continuum removal versus PLSR method for clay and calcium carbonate content estimation from laboratory and airborne hyperspectral measurements", Geoderma, Vol. 148, pp. 141–148, 2008.

[50] D. Ruru, and X. Shouping, "The Coupled Model of Atmosphere and Ground for Air Pollution Remote Sensing and Its Application on Guangdong Province, China. Proc", Vol. 7, pp. 5133–5136,2005.

[51] T. Mehmood, K.H. Liland, L. Snipen, and S. Sæbø, S, "A review of variable selection methods in partial least squares regression", Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol.118, pp. 62-69, 2012.

[52] M.F.Garbulsky, J. Penuelas, J. Gamon, Y. Inoue, and I. Filella, "The photochemical reflectance index (PRI) and the remote sensing of leaf, canopy and ecosystem radiation use efficiencies: a review and meta-analysis". Remote Sensing of Environment, Vol.115, pp. 281-297,۲۰۱۱ .

[53] R. Pu, S. Landry, and Q. Yu, "Object-Based Urban Environment Mapping with High Spatial Resolution IKONOS Imagery", In ASPRS 2009 Annual Conference,۲۰۰۹ .

[54] Mozumder, Chitrini, K. Venkata Reddy, and Deva Pratap. "Air pollution modeling from remotely sensed data using regression techniques", Journal of the Indian Society of Remote Sensing 41, no. 2 (2013): 269-277.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.6, No.2, Summer 2018

The spectral behavior of trees affected by traffic pollution using filed spectroscopy

Leila Mousaei Kordshami [1], Mozhgan Abbasi [2*], Ali Jafari [2]

1- Ms.c student in Department of Forest Science, College of natural resource and earth science, Shahrekord University
2- Assisstant professor in Department of Forest Science, College of natural resource and earth science, Shahrekord University

Abstract

Today, Industry and traffic can be a major contributor to the air pollution in the cities. The traditional methods for the study of air pollution are based on chemical measurements and analysis which requires time, labor along with relatively high costs. Study of spectral behavior of Plants affected by environmental stresses is one of the non-destructive methods in remote sensing science. The visible and near-infrared spectroscopy of plants technique, since it's quick, easy to use and precise, is widely used to predict the biochemical components of plants and their changes. The aim of this study is to study the spectral reflectance behavior of leaves exposed to traffic pollution of a part of Imam Khomeini highway, Isfahan-Iran. Spectral characteristics of the leaf surface of infected species including ash, cypress and elm using spectral indices sensitive to stress and chlorophyll were studied. The results of artificial neural network to distinguish the control and polluted species using spectral indices (PRI, NDVI, Gitelson and …) shows the accuracy of 73.4%. The PLS regression model was conducted simultaneously for three species in polluted and control modes and it does not have any acceptable results. In addition, the model was conducted separately for each species; it showed acceptable results for ash trees in polluted and control modes.

Key words: Air pollution, Filed Spectroscopy, Artificial Neural Network, Spectral Indices, Imam Khomeini Highway.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.125]

Correspondence Address: Department of Forest Science, College of Natural resource and earth science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
Tel:. +98 9133124036.
Email: mozhgan.abasi@gmail.com