



## مطالعه آلودگی درختان در فضای سبز شهری براساس رفتار طیفی آنها

مزگان عباسی<sup>\*</sup>، لیلا موسایی<sup>۲</sup>، زهرا سیفی<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه جنگل دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد  
۲و۳- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری دانشگاه شهرکرد

### چکیده:

امروزه پیشرفت صنعت و ترافیک را می توان از عوامل اصلی آلودگی هوای شهرها نام برد. روش های معمول برای بررسی آلودگی هوا و پتانسیل بالقوه مضر آن بر اساس نمونه برداری شیمیایی و تجزیه و تحلیل های است که نیازمند زمان، نیروی کار و هزینه نسبتا بالا هستند. مطالعه رفتار طیفی گیاهان تحت تاثیر عوامل مختلف تنش های محیطی یکی از روش های غیر مخرب در علم دور سنجی است. طیف سنجی در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک گیاهان به صورت گسترده برای پیش بینی ترکیبات بیوشیمیایی گیاه و تغییرات آن با توجه به سریع و آسان بودن این فن و دقیق بودن آن استفاده می شود. هدف از این مطالعه بررسی رفتار بازتاب طیفی برگ درختان در معرض آلودگی ترافیکی در بخشی از بزرگراه امام خمینی اصفهان است. ویژگی طیفی سطح برگ آلوده گونه های زبان گنجشک، سرو و نارون بر اساس شاخص های طیفی حساس به استرس و کلروفیل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تفکیک گونه های شاهد و آلوده با استفاده از شاخص های طیفی (Gitelson, NDVI, PRI) به ترتیب دارای صحت ۶۲/۵٪ و ۸۷/۵٪ بود.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، طیف سنجی زمینی، شبکه عصبی مصنوعی، شاخص های طیفی، بزرگراه امام خمینی اصفهان.



## ۱- مقدمه

آلودگی محیطی به علت پیشرفت‌های اخیر عرصه‌های صنعت و ترافیک تبدیل به یک نگرانی جهانی شده است، چرا که تمام فعالیت‌های روزانه وابسته به محیط اطراف است. ارائه اطلاعات در مورد آلودگی هوا ناشی از ترافیک و پیدا کردن نحوه توزیع آن، یک نقطه بسیار مهم برای برنامه‌ریزی اقدامات موثر برای بهبود کیفیت هوا است [۱، ۲ و ۳]. مطالعات آلودگی اتمسفری به علت هزینه بالا مربوط به روش‌های نظارتی و مشکلات مربوط به نمونه‌برداری در سطح زمان و مکان، محدود شده‌اند، علاوه بر این تکنیک‌های ابزاری نظارت معمولاً در ارائه اطلاعات در مورد اثرات آلاینده‌های جوی بر سیستم‌های زنده کارآمد نیستند، از این رو روش‌های نظارتی به سمت نظارت غیر مستقیم و بر مبنای پاسخ جاندارانی که به عنوان زیست انباشتگر محسوب می‌شوند، سوق می‌یابد [۴]. گیاهان نسبت به انسان و جانوران حساسیت بیشتری به کیفیت هوا نشان می‌دهند [۵]. گیاهان به دلیل توزیع گسترده و نمونه برداری ساده و با هزینه اندک، می‌توانند به صورت خاص برای سنجیدن آلودگی بکار گرفته شوند [۶ و ۷]. خزه و گل‌سنگ به عنوان بهترین بیواندیکاتور آلودگی 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 مانیتور آلودگی بصورت رایج مورد استفاده قرار می‌گیرند [۸]. درخت بعلت ارگانسیم طولانی مدت خود می‌تواند عناصر خاک و آب و هوا را در خود به دام انداخته و برای مدت طولانی در برداشته باشد [۹ و ۱۰]. شاخ و برگ گونه‌های درختی در مناطق آلوده می‌توانند به عنوان مانیتور انباشتگی مقدار قابل ملاحظه‌ای از عناصر شیمیایی که روی سطح برگ انباشته شده‌اند مطرح شود [۱۱ و ۱۲]. در مطالعات زیادی از درختان و برگ آن‌ها به عنوان زیست ردیاب آلودگی و کیفیت هوا استفاده شده است [۱۳]. بازتاب طیفی گونه‌ها در طیف سنجی زمینی تحت تاثیر عوامل بسیار زیادی از جمله کلروفیل و سایر رنگدانه‌ها، خصوصیات فیزیکی و بیوشیمیایی آن است، از آن جایی که آلودگی می‌تواند موجب تغییراتی در ساختار بیوشیمیایی و فیزیولوژی گیاه شود لذا در این حالت بازتاب طیفی گونه‌ها نیز تغییر خواهد کرد [۱۴]. از اطلاعات بدست آمده از داده‌های طیفی می‌توان جهت محاسبه شاخص‌های گیاهی استفاده نمود، می‌توان با برداشت طیفی توسط دستگاه طیف سنج Field Spec و استفاده از شاخص‌های گیاهی در کمترین زمان ممکن و با صرف حداقل هزینه، پارامترهای بیوفیزیکی گیاه را تخمین زد [۱۵]. مطالعاتی که در رابطه با وجود آلودگی و تاثیر فلزات سنگین بر داده‌های حاصل از طیف سنجی انجام شده است، محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک و لبه قرمز را برای مطالعه آلودگی هوا مناسب معرفی می‌کنند، بنابراین فناوری سنجش از دور، با هدف مانیتور گیاهان، برای اندازه‌گیری رابطه بین بازتاب طیفی گیاهان و غلظت فلزات بکار می‌رود. بازتاب طیفی در محدوده مرئی برای تشخیص محتوای کلروفیل مناسب است در حالی که انعکاس ثبت شده در محدوده مادون قرمز نزدیک برای مطالعه بافت برگ و محدوده مادون قرمز برای شناخت آب، نیتروژن، لیگنین و پروتئین مناسب است [۱۶]. مطالعه بازتاب طیفی گونه‌های درختی رشد کرده در محیط معدن و همچنین همراه با ناهنجاری سولفید مس، انتقال لبه قرمز به طرف طول موج کوتاهتر را نشان می‌دهد [۱۷] که کاهش غلظت کلروفیل در این گونه‌ها را تایید می‌کند. مطالعه محتوای کلروفیل در دو سطح روی و پشت برگ نشان داد که اکثر شاخص‌های طیفی برای مطالعه کلروفیل در سطح رویی برگ مناسب هستند ولی هر دو سطح برگ شاخص Datt، ارتباط قوی با تغییر در بازتاب به علت محتوای کلروفیل و همچنین با ساختار متفاوت پشت و روی برگ است. عملکرد فوتوسنتز در گیاه تحت تاثیر غلظت رنگدانه، رطوبت گیاه و شرایط سلامت گیاه است [۱۸]، طول موج‌های بکار رفته در شاخص PRI مربوط به جذب طیفی رنگدانه‌ها از جمله گزانتوفیل هستند بنابراین با تغییرات فوتوسنتز گیاه ناشی از تنش و استرس در چرخه رنگدانه فوتوسنتز دارای ارتباط مستقیم است [۱۸].

شبکه عصبی مصنوعی یک ساختار انعطاف پذیر ریاضی است که قادر به شناسایی روابط غیر خطی بین داده‌های ورودی و خروجی است [۱۹]. از سال ۱۹۹۰ شبکه عصبی مصنوعی برای آنالیزهای سنجش از دور به کار گرفته شد، مطالعات تطبیقی نشان داده‌اند که شبکه عصب مصنوعی زمانی که برای طبقه بندی داده‌های سنجش از دوری مورد



استفاده قرار گیرند، دارای دقت بالاتری نسبت به تکنیک‌های حداکثر احتمال یا رگرسیون و روش‌های درختی است [۱۹]. پتانسیل بالقوه این روش شامل پیش بینی قابل قبول، شناسایی الگو، پردازش سریع اطلاعات و انطباق است [۲۰]. انواع شبکه عصبی، مانند شبکه عصبی پرسپترون وجود دارد. شبکه عصبی پرسپترون برای پدیده‌های غیر خطی به خوبی طراحی شده است. پرسپترون شامل لایه‌هایی در نرون‌های ورودی و خروجی است، که با یک یا چند لایه پنهان در بین نرون‌های ورودی و خروجی است [۲۱]. با توجه به پیچیده بودن روابط بین داده‌های سنجش از دوری، هدف این مقاله دستیابی به بهترین شاخص‌ها برای تفکیک گونه‌های زبان گنجشک، نارون و سرو در دو حالت آلوده و شاهد با استفاده از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی تعیین شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱ منطقه مورد مطالعه

هدف اصلی این مطالعه بررسی امکان استفاده از طیف سنجی زمینی برای تفکیک بازتاب طیفی گونه‌های شهری در شرایط متفاوت از لحاظ آلودگی می‌باشد. از آنجایی که انتشار آلودگی در محیط به صورت افقی و عمودی صورت می‌گیرد، در این مطالعه با در نظر گرفتن فاصله از منبع آلودگی (خیابان) و ارتفاع ۲/۵-۲ متری از سطح زمین برای نمونه برداری از درختان، سعی در مطالعه آلودگی در سطوح افقی و عمودی گردید. مطالعه در شهر اصفهان، که طبق آمار سازمان حفاظت محیط زیست این استان، به عنوان دومین شهر آلوده کشور و در رتبه نخست مصرف گاز به عنوان سوخت اتومبیل و سوخت خانگی معرفی شده است، در بخشی از بزرگراه امام خمینی اصفهان به عنوان منطقه آلوده و پارک قلمستان برای برداشت نمونه‌های شاهد صورت گرفت. بزرگراه امام خمینی در شمال غرب اصفهان با ارتفاع ۵۱۸۰ فوت واقع شده است. جریان کار با انتخاب خیابانی با ترافیک بالا و موقعیت مناسب با شرط همجواری با پارک جهت یکسان بودن شرایط ارتفاعی، حجم ترافیک، شرایط آبیاری، خاک یکسان و سایر شرایط برای انتخاب گونه‌های شاهد آغاز گردید. نمونه برداری از برگ درختان زبان گنجشک و نارون که گونه‌های مشترک بلوار خیابان و پارک قلمستان در چهار جهت تاج صورت گرفت. به منظور کم‌رنگ کردن متغیر سن در بین گونه‌ها، درختان تقریباً همسال انتخاب گردیدند. مجموع ۳۵ نمونه از سه گونه مورد نظر با حداقل تماس دست، با قیچی فولادی ضد زنگ برداشت شده و بلافاصله در کیسه‌های پلاستیکی گذاشته و در یخچال به آزمایشگاه طیف سنجی منتقل شدند.

### ۲-۲ اندازه گیری طیفی

اندازه گیری طیفی با استفاده از دستگاه ASD Field Spec با دامنه طول موج ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر انجام شد، که بطور خاص برای کسب اطلاعات زمینی سنجش از دور برای دست‌یابی به طیف مرئی و مادون قرمز طراحی شده است و منحنی بازتاب طیفی

مربوط به هر پدیده به عنوان خروجی آن معرفی می‌گردد. نمونه‌های جمع آوری شده در قطری معادل ۲۵ سانتی متر به منظور جذب نور بر روی صفحه‌ای سیاه رنگ برای جلوگیری از بازتاب ناشی از پدیده‌های مجاور قرار گرفتند. انعکاس ثبت شده برای هر پدیده توسط اسپکتورادیومتر، ممکن است تحت تاثیر عوامل درونی مانند ساختار برگ و عوامل بیرونی مانند شرایط جوی و پس زمینه قرار بگیرد و سبب بروز خطا گردد، بنابراین تعیین طول موج‌هایی که گونه‌های مورد نظر در آن‌ها دارای بازتاب طیفی متفاوت و تفکیک پذیری مناسب هستند، مشهود است، بدین جهت از شاخص‌های طیفی استفاده می‌شود. شاخص‌های پوشش گیاهی ترکیبات ریاضی هستند که از بازتاب ثبت شده در طول موج‌های مختلف توسط دانشمندان در برنامه‌های کاربردی علوم زمین، با هدف نظارت و توصیف پوشش گیاهی از فضا مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۲]. در این شاخص‌ها از طول موج‌هایی که متاثر از ویژگی‌های بیوفیزیکی و بیوشیمیایی متفاوتی می‌باشند، استفاده می‌شود. در نتیجه‌ی نسبت‌گیری و یا نرمال کردن، انعکاس در طول موج‌های خاص نسبت به عوامل دیگر بارزتر شده و بهبود پیدا می‌کند. در این صورت با فرض اینکه ویژگی‌های مختلف گیاه در اثر



نرمال سازی بارزتر می شود در صورت وجود تفاوت می توان از شاخص های طیفی برای تشخیص گونه ها نیز استفاده کرد [۲۳]. مطالعات فراوانی کاهش محتوای کلروفیل برگ گیاهان را بر اثر افزایش آلودگی هوا نشان می دهد، از این رو در این مطالعه از شاخص های حساس به کلروفیل و استرس در گیاهان مانند NDVI، PRI، SR13، SR14، ND، Gitelson، استفاده گردید. در جدول ۱ جزئیات مربوط به شاخص های بکار رفته در این مطالعه آورده شده است.

جدول ۱: شاخص های طیفی و متغیر مورد بررسی در هر شاخص

شاخص های طیفی	معادلات	متغیر مورد مطالعه
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = (R_{\lambda_{..}} - R_{\rho_{\gamma.}}) / (R_{\lambda_{..}} + R_{\rho_{\gamma.}})$	کلروفیل و رطوبت
Photochemical reflectance index	$PRI = (R_{\delta_{31}} - R_{\delta_{70}}) / (R_{\delta_{31}} + R_{\delta_{70}})$	کلروفیل و کاروتنوئید
Simple Ratio	$SR1 = R_{\rho_{85}} / R_{\rho_{55}}$	کلروفیل و استرس
Simple Ratio	$SR13 = R_{\rho_{70}} / R_{\rho_{44}}$	کلروفیل
Simple Ratio	$SR14 = R_{\rho_{75}} / R_{\rho_{55}}$	کلروفیل
Normalized Difference	$ND = (R_{\rho_{35}} - R_{\rho_{55}}) / (R_{\rho_{35}} + R_{\rho_{55}})$	کلروفیل و بیوماس
Gitelson	$GITELSON 1 = R_{\rho_{50}} / R_{\rho_{55}}$	کلروفیل
Gitelson2	$GITELSON 2 = R_{\rho_{50}} / R_{\rho_{..}}$	کلروفیل
Gitelson 1996	$GITELSON = 1 / R_{\rho_{..}}$	کلروفیل

برای هر درخت در دو حالت آلوده و شاهد، شاخص های نامبرده با استفاده از بازتاب طیفی هرگونه محاسبه شدند، پس از آن برای بررسی امکان تفکیک هرگونه در حالت های شاهد و آلوده از یکدیگر با استفاده از شاخص های گیاهی محاسبه شده، از آنالیز تجزیه واریانس ها با فرض معنی دار بودن اختلاف میانگین ها، با سطح اطمینان ۹۵٪ در نرم افزار SPSS 22 صورت گرفت.

## ۲-۳ شبکه عصبی مصنوعی

قدم اول در انجام مدل شبکه عصبی، انتخاب ۶۰٪ از داده ها برای فرایند آموزش شبکه، ۲۰٪ از داده ها به عنوان داده های تست شبکه و ۲۰٪ باقی مانده برای اعتبار سنجی است. شبکه عصبی مصنوعی در نرم افزار MATLAB 2014 انجام شد. در این مطالعه شبکه عصبی پرسپترون با قانون آموزش پس انتشار خطا انجام شد. پرسپترون بیشتر در مسائل نقشه برداری غیر خطی استفاده می شود [۲۴]. الگوریتم پس انتشار خطا توسط در سال ۱۹۸۶ توسط رین هرت توسعه داده شده و به طور گسترده در همه ی الگوهای شبکه عصبی قابل اجرا است. تعداد نرون ها در لایه های ورودی و خروجی به تعداد متغیرهای وابسته و مستقل بستگی دارد. شبکه با ۱۰ شاخص پوشش گیاهی به عنوان ورودی برای درختان شاهد و آلوده در سه گونه با یک لایه ی خروجی و یک لایه پنهان مورد آزمون قرار گرفت. تعداد لایه های پنهان، تعداد سلول های عصبی در هر لایه پنهان و تعداد تکرارها بر اساس تست آزمون و خطا (Marquart levenberg learning rule) صورت گرفت. تابع تانژانت سیگموئید (Tan sigmoid) برای اجرا شبکه عصبی پرسپترون با توجه به مطالعات گذشته انتخاب شد [۲۵].

تجزیه و تحلیل حساسیت برای ایجاد درک بهتری از اهمیت هریک از ورودی ها بر خروجی صورت گرفت. آنالیز حساسیت برای بررسی رفتار متغیرهای ورودی برای تعیین اهمیت هر شاخص در تفکیک گونه های 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 متغیر ها محاسبه می شود. هرچه ضریب حساسیت از یک بزرگتر باشد، متغیر سهم بیشتری در تفکیک داشته است.

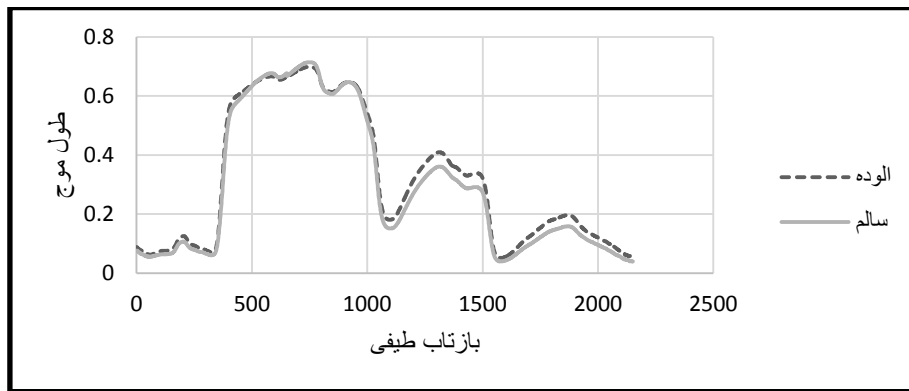


دو پارامتر آماری برای تجزیه و تحلیل عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب تبیین ( $R^2$ ) و مجذور مربعات خطا (RMSE). مجذور مربعات خطا بصورت رایجتری مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیانگر تفاوت میانگین‌ها بین مقادیر برآورد شده و مقادیر واقعی است.

### ۳- نتایج و پیشنهادها

#### ۳-۱ منحنی طیفی گونه‌ها در شرایط آلوده و شاهد

دستگاه طیف سنج اسپکترورادیومتر بازتاب طیفی پدیده‌ها را در دامنه طول موجی ۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر ثبت می‌کند. با توجه به منحنی بازتاب طیفی گونه‌های درختی یکسان در دو حالت آلوده و سالم (شکل ۱) می‌توان به تفاوت بازتاب طیفی در دو حالت پی برد و با استفاده از روش‌های متفاوت مانند شاخص‌های طیفی این تفاوت‌ها را بارزتر نمود و طول موج‌های خاصی را برای تحقق اهداف مشخص مانند تعیین آلودگی با استفاده از بازتاب طیفی گونه‌ها استفاده نمود.



شکل ۱ منحنی بازتاب طیفی گونه سرو در حالت شاهد و آلوده با استفاده از دستگاه طیف سنج اسپکترورادیومتر

#### ۳-۲ تجزیه واریانس‌ها

نتایج آنالیز واریانس‌ها برای تفکیک حالت‌های شاهد و آلوده برای سه گونه زبان گنجشک، سرو و نارون از یکدیگر در جدول ۲، نشان داده شده‌اند. داده‌های مربوط به شاخص‌های گیاهی محاسبه شده برای هر سه گونه، به تفکیک آلوده و شاهد و بدون در نظر گرفتن نوع گونه، توسط آزمون کلموگروف - اسمیرنوف در 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. نتایج آنالیز واریانس‌ها اختلاف معنی‌دار را فقط برای شاخص PRI با سطح معنی‌داری ۰/۰۴۲ نشان می‌دهد.

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

شاخص پوشش گیاهی	میانگین مربعات	درجه آزادی (df)	F آماره	معنی داری
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



در طیف مرئی رنگدانه‌هایی مانند کلروفیل برگ در محدوده ۴۵۰-۶۷۰ نانومتر باعث ایجاد دره‌ای موسوم به باند جذب کلروفیل شده است. کلروفیل به شدت در طول موج آبی (۴۰۰-۵۰۰ نانومتر) و در طول موج قرمز (۶۰۰-۷۰۰ نانومتر) انرژی را جذب و در طول موج سبز انعکاس می‌دهد. در گیاهانی که دارای تنش شده‌اند به دلیل کاهش سطح کلروفیل، جذب در محدوده قرمز و آبی کم شده و در طول موج قرمز انعکاس افزایش می‌یابد. شواهد نشان می‌دهد، از آن جایی که شاخص PRI، اندازه‌گیری بازتاب نسبی در دو طرف طول موج 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، شاخص می‌تواند برآورد قابل قبولی از متغیرهای فیزیولوژیکی مربوط به بهره‌وری فتوسنتز در سطح برگ و تاج در گستره وسیعی از گونه‌ها فراهم کند [۲۶].

### ۳-۳ شبکه عصبی مصنوعی

نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تفکیک گونه‌های درختی شاهد و آلوده در فضای سبز شهری، بزرگراه امام خمینی اصفهان در جدول ۳ بیان شده است. در مجموع ۳۵ نمونه از ۳ گونه درختی نارون، زبان گنجشک و سرو جمع آوری گردید که ۲۰ نمونه آنها برای آموزش مدل و ۱۵ نمونه باقی مانده برای آزمودن مدل مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب مختلفی از نرون‌ها همراه با تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید برای بهینه‌سازی شبکه مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بهینه‌سازی شبکه عصبی از یک لایه پنهان با تعداد ۳ تا ۲۵ نرون که به طور تصادفی انتخاب گردیدند، عمل بهینه‌شدن شبکه انجام گردید. نتایج حاصل از بهینه‌سازی شبکه عصبی به همراه بهترین توپولوژی به دست آمده در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: آرایش مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی برای تفکیک گونه‌های سالم و ناسالم درختی

مدل	تعداد لایه مخفی	تعداد نرون‌ها	MSE
۱	۱	۳	۰/۳۲
۲	۱	۴	۰/۴۲
۳	۱	۵	۰/۴۳
۴	۱	۶	۰/۴۲
۵	۱	۷	۰/۲۹
۶	۱	۸	۰/۲۹
۷	۱	۹	۰/۳۷
۸	۱	۱۰	۰/۴۱
۹	۱	۱۱	۰/۳۳
۱۰	۱	۱۲	۰/۴۱
۱۱	۱	۱۳	۰/۳۶
۱۲	۱	۱۴	۰/۲۶
۱۳	۱	۱۵	۰/۲۶
۱۴	۱	۱۶	۰/۳۸
۱۵	۱	۱۷	۰/۲۸
۱۶	۱	۱۸	۰/۳۵
۱۷	۱	۱۹	۰/۳۱
۱۸	۱	۲۰	۰/۴۵
۱۹	۱	۲۱	۰/۴۲
۲۰	۱	۲۲	۰/۵۷
۲۱	۱	۲۳	۰/۲۹
۲۲	۱	۲۴	۰/۳۲
۲۳	۱	۲۵	۰/۴۷



با توجه به نتایج شبکه های آموزش داده شده (جدول ۳) شبکه ۱۳ با یک لایه پنهان و ۱۵ نرون در آن لایه با توجه به کمترین میانگین مربع خطا (MSE)، بهترین عملکرد بهینه سازی توپولوژی را نشان می دهد. بنابراین، یک شبکه عصبی پس انتشار با ساختار ۱-۱۵-۱۰ ساخته شد که تعداد ورودی ها برابر ۱۰ شاخص طیفی و خروجی شامل یک نرون (گونه سالم و ناسالم) است. ۱۵ نمونه برای اعتبار سنجی نتایج شبکه عصبی طراحی شده استفاده شد. جدول ( ) نتایج صحت طبقه بندی شبکه عصبی مصنوعی را نشان می دهد. که این صحت نشان می دهد شبکه عصبی از سطح مطلوبی برای طبقه بندی گونه های سالم و ناسالم برخوردار است.

جدول ۴ صحت پیش بینی شده بوسیله شبکه عصبی مصنوعی برای تفکیک گونه های درختی شاهد و آلوده بوسیله شاخص های

## گیاهی

صحت کلی	
گونه های سالم	گونه های آلوده
٪۶۲/۵	٪۸۷/۵

در آنالیز شبکه عصبی مصنوعی برای تفکیک گونه های آلوده و سالم، شاخص های NDVI و Datt دارای حساسیت بیشتری در مقایسه با سایر شاخص های بکار گرفته شده بودند. شاخص Datt دارای ارتباط قوی با تغییر در بازتاب طیفی پوشش گیاهی به علت تغییر در محتوای کلروفیل است، از بین شاخص های پوشش گیاهی، این شاخص محتوای کلروفیل برگ را با کم کردن اثر سطح برگ معین می کند و با توجه به اینکه در این پژوهش سه گونه متفاوت با سطح برگ متنوع در نظر گرفته شده، این شاخص کاربرد وسیع تری برای تفکیک حالت های شاهد و آلوده خواهد داشت. NDVI شاخص رایجی است که در سنجش از دور برای برآورد مواد بیوشیمیایی گیاه مانند غلظت کلروفیل مورد استفاده قرار می گیرد [۱۷]. و بر اساس تفاوت بین جذب در محدوده طول موج قرمز و حداکثر بازتاب ناگهانی در محدوده مادون قرمز نزدیک ناشی از حضور کلروفیل استوار است. زمانی که بین پارامترها رابطه غیر خطی وجود دارد، مطالعه همبستگی ممکن است نتایج نادرست و حتی گمراه کننده در مورد روابط ایجاد کند، در این موارد شبکه عصبی مصنوعی عملکرد بهتری می تواند داشته باشد.

## ۳-۴ بحث نتایج

در این پژوهش پتانسیل سنجش از دور برای مطالعه آلودگی ترافیکی با استفاده از درختان فضای سبز شهری در منطقه بزرگراه امام خمینی اصفهان مورد سنجش قرار گرفت. در ابتدا بازتاب طیفی گونه ها ثبت گردید و جهت بارز سازی تفاوت بازتاب ها در شرایط متفاوت محیطی شاخص های طیفی بکار گرفته شد. روش آماری تجزیه واریانس ها و شبکه عصبی مصنوعی برای کشف پتانسیل سنجش از دور در ارتباط با شناخت گونه های آلوده از گونه های سالم مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی قادر به ایجاد رابطه بین شناخت آلودگی و شاخص های پوشش گیاهی مرتبط با محتوای کلروفیل بود. با توجه به آنالیز حساسیت، شاخص های Datt و NDVI دارای بیشترین سهم در تفکیک گونه های شاهد و آلوده از یکدیگر هستند. نتایج شبکه عصبی مصنوعی برای گونه های آلوده دارای صحت ٪۸۷/۵ و برای گونه های شاهد ٪۶۲/۵ بوده و نشان می دهد که با استفاده از داده های حاصل از تکنیک طیف سنجی زمینی مانند شاخص های پوشش گیاهی قابلیت نشان دادن آلودگی هوا را دارند.

## مراجع

- [1] 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.
- [2] O. Duclaux, E. Frejafon, H. Schmidt, A. Thomasson, D. Mondelain, J. Yu, , ... and J. P. Boch, "3D-air quality model evaluation using the Lidar technique", Atmospheric environment, Vol.36, pp. 5081-5095.



- [3] 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. Atmos", Environ, Vol. 37, pp. 2391–2402, 2003.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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 lanceolata* L", Environmental Pollution, Vol.158, pp. 788–794. 2010.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] S.T. Petrova, "Biomonitoring study of air pollution with *Betulapendula* Roth", *Ecologia Balkanica*, Vol.3, pp.1-10, 2011.
- [11] 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.
- [12] I. Suci, 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] M. Abbasi, S.A. Darvish, and M. Schaepman, (2010). Comparison of adaxial and abaxial spectral reflectance of *fagus orientalis* lipsky and *carpinus betulu* using field spectroradiometer and spectral indices, Vol.2, pp.253-261, 2010.
- [16] G.Y.Chi, Y.Shi, X.Chen, J.Ma, and T.H Zheng, "Effects of Metal Stress on Visible/Near-Infrared Reflectance Spectra of Vegetation", In *Advanced Materials Research*, Vol. 347, pp. 2735-2738, 2012.
- [17] 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.111-121.1998.
- [18] D.A. Sims, and J.A. Gamon, "Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages", *Remote sensing of environment*, Vol.81, pp. 337-354, 2002.
- [19] J.F.Mas, and J.J. Flores, "The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.29, pp.617-663, 2008.





- [20] Y.Huang, “Advances in Artificial Neural Networks – Methodological Development and Application”, Algorithms, Vol.2, pp. 973-1007.2009.
- [21] A.M. Melesse, and R.S. Hanley,” Artificial neural network application for multiecosystem carbon flux simulation”, Ecological Modelling, Vol. 189, pp. 305-314, 2005.
- [22] B. Adamu, K. Tansey and B. Ogotu, “Using vegetation spectral indices to detect oil pollution in the Niger Delta”, *Remote Sensing Letters*, Vol. 6, pp.145-154, 2015.
- [23] C. Liu, J. Guo, Y. Cui, T. Lü, X. Zhang, and G. Shi, “Effects of cadmium and salicylic acid on growth, spectral reflectance and photosynthesis of castor bean seedlings”, *Plant and soil*, Vol. 344, pp.131-141,2011.
- [24] M.A. Mohandes, S. Rehman, and T.O. Halawani,”A neural networks approach for wind speed prediction”, *Renewable Energy*, Vol.13, pp.345-354, 1998.
- [25] M. Kaul, R. Hill, and C. Walthall, “Artificial neural networks for corn and soybean yield Prediction”, *Agricultural Systems*, Vol. 85, pp.1-18, 2005.
- [26] 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, 2011.



## The spectral behavior of trees affected by traffic pollution

Today, Industry and traffic can be a major contributor to 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 and 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, according to its quick and easy and precise of this technique, is widely used to predict the biochemical components of plants and their changes. The aim of this study is to investigate the spectral reflectance behavior of leaves exposed to traffic pollution of a part of Imam Khomeini highway. 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) shows the accuracy 62.5% and 87.5%, respectively.