

ارزیابی قابلیت روش طیف‌سنجی در تخمین برخی ویژگی خاک‌های مبتلا به نمک

کامران عزیزی^۱، کمال نبی‌اللهی^{۲*} و مسعود داوری^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، ایران
 ۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۷ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۰۵	تهیه منحنی‌های انعکاس طیفی پدیده‌های مورد نظر در محدوده طول موج‌های مشخص طیف‌سنجی گفته می‌شود. طیف‌سنجی مرئی- مادون قرمز نزدیک روشی غیرمستقیم، ارزان، سریع، دارای حداقل آماده‌سازی نمونه‌ها و تکرار پذیری مناسب است. هدف از این پژوهش ارزیابی طیف‌سنجی انعکاسی در برآورد برخی ویژگی‌های خاک‌های مبتلا به نمک در استان کردستان می‌باشد. بدین منظور تعداد ۱۰۰ نمونه خاک در ۲۰ کیلومتری شهرستان قروه در استان کردستان جمع‌آوری و ویژگی‌های آن‌ها از قبیل هدایت الکتریکی، اسیدیته، نسبت جذب سدیم، ماده آلی، کربنات کلسیم و پایداری خاکدانه اندازه‌گیری شد. آنالیز طیفی نمونه خاک‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی زمینی با طول موج ۲۵۰ تا ۳۵۰ نانومتر با استفاده از نرم‌افزار RS ³ اندازه‌گیری و ثبت شد. پس از ثبت طیف‌ها روش‌های مختلف پیش‌پردازش مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس از رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی ویژگی‌های خاک استفاده گردید. نتایج نشان داد که بهترین روش پیش‌پردازش داده‌های طیفی، مشتق اول + فیلتر سائیتزکی و گلای + فیلتر میان + متغیر نرمال استاندارد می‌باشد. بر اساس مقایسه آماره ضریب تبیین میان دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه (به ترتیب برای هدایت الکتریکی ۰/۸۸ - ۰/۴۵، اسیدیته خاک ۰/۲۵ - ۰/۱۳، نسبت جذب سدیم ۰/۵۹ - ۰/۲۳، ماده آلی ۰/۶۸ - ۰/۶۶، کربنات کلسیم ۰/۵۲ - ۰/۴۸ و پایداری خاکدانه ۰/۴۸ - ۰/۲۸)، شبکه عصبی مصنوعی نتایج بهتری در مقایسه با مدل رگرسیون خطی از خود نشان داد.
کلمات کلیدی: شوری و قلیائیت خاک، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون خطی، قروه	
* عهده دار مکاتبات Email: k.nabiollahi@uok.ac.ir	

خاک‌ها اطلاعات زیادی لازم بوده و برای بدست آوردن این اطلاعات نیاز به نمونه برداری‌های زیاد، صرف هزینه و وقت بسیاری است. از این رو نیاز به روش‌های دیگری برای برآورد آن‌ها احساس می‌شود. لذا در سال‌های اخیر جستجو برای یافتن روش‌هایی غیرمستقیم که ارزان، سریع و به آسانی قابل دسترس باشند، یکی از اولویت‌های

مقدمه

یکی از مشکلات عمده‌ی مناطق خشک و نیمه خشک، که بارندگی کمتر از تبخیر و تعرق است، شور و قلیایی شدن خاک‌ها می‌باشد. در چنین شرایط اقلیمی نمک‌ها در سطح خاک تجمع یافته و باعث کاهش حاصلخیزی و تولید می‌شوند (۲۷). برای مدیریت این

بسیاری از پژوهش‌ها از بازتاب طیفی خاک به عنوان گزینه‌های بهینه برای تجزیه و تحلیل رفتار کمی خاک و همچنین برآورد ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده کرده‌اند. تمرکز عمده این پژوهش‌ها بر مطالعه ویژگی‌های مبنایی خاک همچون توزیع اندازه ذرات خاک (۱۷)، مقدار ماده آلی (۳۲)، کربن و نیتروژن خاک (۲۱) و (۳۵)، مقدار آهک (۱۷ و ۲۲)، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی (۲ و ۳۳) و تعیین برخی از عناصر پر و کم مصرف خاک (۱۵، ۱۹ و ۲۴) بوده است. تاکنون برای برقراری ارتباط بین ویژگی‌های مبنایی خاک با ویژگی‌های طیفی آن روش‌هایی متعدد مورد استفاده قرار گرفته که از کاربردی‌ترین روش‌ها در این زمینه می‌توان به رگرسیون حداقل مربعات جزئی (۳۵)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (۱۳) و رگرسیون مؤلفه‌های اصلی (۱۰) و رگرسیون‌های خطی و غیرخطی (۱۲) اشاره کرد. شایان ذکر است که با بهره‌گیری از این روش‌ها می‌توان طول موج‌های مهم و مرتبط با متغیرهای مورد نظر را از بین طول موج‌های اندازه‌گیری شده هر منحنی طیفی تعیین کرد (۱). این پژوهش با هدف بررسی ارزیابی قابلیت طیف‌سنجی در پیش‌بینی برخی خصوصیات خاک‌های مبتلا به نمک با استفاده شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در منطقه قروه کردستان انجام شد.

مواد و روش

محدوده مطالعاتی، نمونه‌برداری و آنالیزهای آزمایشگاهی

منطقه مورد مطالعه دارای وسعت ۲۶۰۰۰ هکتار بوده که در ۲۰ کیلومتری شهرستان قروه در استان کردستان واقع شده است. ارتفاع بلندترین و پایین‌ترین نقطه ۲۲۹۰ و ۱۷۸۰ متر از سطح دریا است. متوسط بارندگی سالیانه ۳۶۹/۸ میلیمتر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه به ترتیب زیریک و مزیک می‌باشد. واحدهای فیزیوگرافی منطقه شامل اراضی پست، دشت‌های دامنه‌ای، فلات و تپه و کاربری‌های اصلی منطقه شامل زراعت و مرتع می‌باشد. به

پژوهشی محققین علوم خاک بوده است (۲۸). در سال‌های گذشته استفاده از داده‌های سنسجش از دور بسیار رواج یافته و مزیت استفاده از این داده‌ها، تکرار زمانی و مکانی مناسب آن‌ها می‌باشد (۱۴). تاکنون پژوهش‌های زیادی به منظور استفاده از داده‌های سنسجش از دور در بررسی شوری خاک و نقشه‌برداری خاک انجام شده است (۳۶). با اینکه این تصاویر تفاوت‌های طیفی بین خاک‌های شدیداً شور و غیر شور را به خوبی نشان می‌دهد، اما این تصاویر تفاوت میان خاک‌های کمی شور و خاک‌های غیر شور را نشان نمی‌دهد. به همین منظور می‌توان از تصاویر فراطیفی^۱ استفاده کرد.

تصاویر فراطیفی تکنیک پیشرفته‌ای است که اطلاعات طیفی گسترده‌ای از خصوصیات مواد را فراهم می‌کند. این اطلاعات طیفی ارزیابی کمی را درباره‌ی خاک‌های تحت تأثیر نمک فراهم می‌سازد (۶). یکی از این روش‌ها، استفاده از فن‌آوری طیف‌سنجی خاک می‌باشد. تهیه منحنی‌های انعکاس طیفی^۲ پدیده یا پدیده‌های مورد نظر در محدوده طول موج‌های مشخص طیف‌سنجی گفته می‌شود. استفاده از منحنی‌های انعکاس طیفی خاک می‌تواند بسیاری از محدودیت‌های آزمایشگاهی را برطرف کند، زیرا برخلاف روش‌های مرسوم اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک در آزمایشگاه، داده‌های خاک در رویکرد طیفی با یک روش استاندارد و تنها در یک مرحله بدون نیاز به مواد شیمیایی گران قیمت و سمی تعیین می‌شوند. لذا خطای ناشی از روش‌های مختلف اندازه‌گیری و شخص کاربر به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (۴). از بازتاب طیفی خاک در دامنه‌های طیفی مرئی^۳ (VIS) و مادون قرمز نزدیک^۴ (NIR) (طول موج‌های بین ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) به عنوان روشی سریع، مقرون به صرفه، غیر مخرب و نسبتاً دقیق برای تخمین برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک استفاده شده است (۲۴).

-
- 1- Hyperspectral
 - 2- Proximal Spectral Reflectance
 - 3- Visible
 - 4- Near Infrared

روش تصادفی طبقه‌بندی شده (کلاس‌های شوری ۰-۲، ۲-۴ و بیشتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر) محل ۱۰۰ نمونه در منطقه قروه استان کردستان انتخاب شده و سپس نمونه برداری ساده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری صورت گرفت (شکل ۱). نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک و به نرمی کوبیده شده و برای تجزیه‌های آزمایشگاهی از الک دو میلی‌متر عبور داده شدند.

هدایت الکتریکی و اسیدیته در عصاره گل اشباع به ترتیب با دستگاه‌های هدایت‌سنج و pH متر، کربنات کلسیم به روش حجم سنجی (۳۰)، درصد ماده آلی به روش والکلی-بلاک (۳۱)، میزان سدیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم-فوتومتر اندازه‌گیری شد. کلسیم و منیزیم با استفاده از عصاره گل اشباع و به روش تیتراسیون برگشتی اندازه‌گیری شد (۳). نسبت جذب سدیم با استفاده از نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم محلول خاک بدست آمد. برای بررسی پایداری خاکدانه از اختلاف توزیع اندازه‌ی ذرات از دو روش الک خشک و تر استفاده شد. برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات در حالت خشک از دستگاه شیکر الک با سری الک ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ استفاده شد. بدین ترتیب که مقدار ۵۰ گرم خاک روی بزرگ‌ترین الک ریخته و به مدت ۲ دقیقه شیک شد. در پایان وزن خاک روی هر الک یادداشت شد و بدین ترتیب توزیع اندازه ذرات در حالت خشک بدست آمد. سپس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک (۱۸) از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$MWD_{Dry} = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (1)$$

قطر خاکدانه‌ها روی هر الک، i (میانگین قطر سوراخ‌های الک بالایی و پایینی)، n تعداد الک‌ها و W_i نسبت وزن خاکدانه‌های پایدار روی هر الک i به وزن کل خاک به کار برده شده است. برای تعیین توزیع اندازه‌ی ذرات ثانویه در حالت تر نیز از روش تک الکی استفاده شد. در این روش خاکدانه‌های باقی مانده در روی هر الک از زیر اشباع و به مدت ۱۰ دقیقه در آب بالا و پایین برده شدند. پس از پایان الک کردن، الک‌ها به آرامی از آب خارج شده، خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک شسته شده سپس در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک و وزن شدند. خاکدانه‌های باقی مانده مویوط به هر الک خرد شده و ذرات شن و سنگ ریزه آن جدا شده و جرم واقعی خاکدانه‌ها بر روی هر الک محاسبه گردید. سپس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر از فرمول زیر محاسبه گردید:

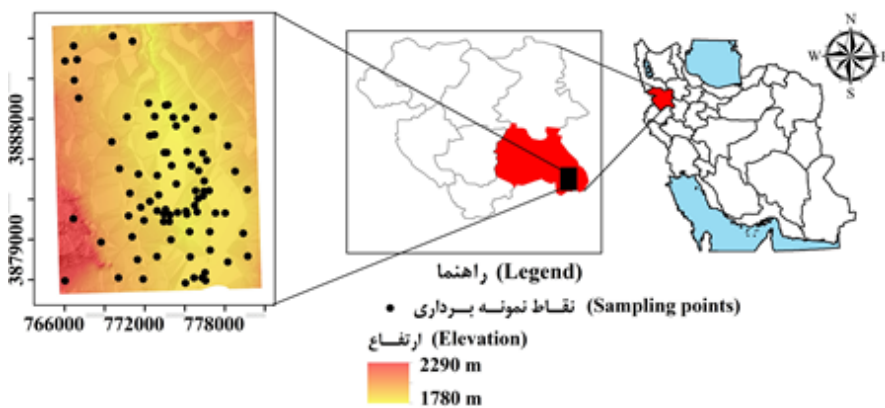
$$MWD_{Wet} = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (2)$$

در معادله ذکر شده X_i میانگین قطر خاکدانه‌ها روی هر الک i (میانگین قطر سوراخ‌های الک بالایی و پایینی)، n تعداد الک‌ها و W_i نسبت وزن خاکدانه‌های پایدار روی هر الک i به وزن کل خاک به کار برده شده پس از کسر ذرات شن و سنگریزه بوده که از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$W_i = \frac{W_i - W_{i(s)}}{W_i - \sum_{i=1}^n W_{i(s)}} \quad (3)$$

روش تصادفی طبقه‌بندی شده (کلاس‌های شوری ۰-۲، ۲-۴ و بیشتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر) محل ۱۰۰ نمونه در منطقه قروه استان کردستان انتخاب شده و سپس نمونه برداری ساده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری صورت گرفت (شکل ۱). نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک و به نرمی کوبیده شده و برای تجزیه‌های آزمایشگاهی از الک دو میلی‌متر عبور داده شدند.

هدایت الکتریکی و اسیدیته در عصاره گل اشباع به ترتیب با دستگاه‌های هدایت‌سنج و pH متر، کربنات کلسیم به روش حجم سنجی (۳۰)، درصد ماده آلی به روش والکلی-بلاک (۳۱)، میزان سدیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم-فوتومتر اندازه‌گیری شد. کلسیم و منیزیم با استفاده از عصاره گل اشباع و به روش تیتراسیون برگشتی اندازه‌گیری شد (۳). نسبت جذب سدیم با استفاده از نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم محلول خاک بدست آمد. برای بررسی پایداری خاکدانه از اختلاف توزیع اندازه‌ی ذرات از دو روش الک خشک و تر استفاده شد. برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات در حالت خشک از دستگاه شیکر الک با سری الک ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ استفاده شد. بدین ترتیب که مقدار ۵۰ گرم خاک روی بزرگ‌ترین الک ریخته و به مدت ۲ دقیقه شیک شد. در پایان وزن خاک روی هر الک یادداشت شد و بدین ترتیب توزیع اندازه ذرات در حالت خشک بدست آمد. سپس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک (۱۸) از فرمول زیر محاسبه گردید:



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure(1) Location of the study area

نسبت به محور قائم به خاک تابانده شده و انعکاس آن را توسط پیستولی مجهز به لتر ۸ درجه با میدان دیدی به قطر ۴/۲ سانتیمتر (Contact-Probe) و نرم‌افزار مربوطه (RS^3)، در تاریکخانه اندازه‌گیری و ثبت شد. به منظور افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها و واسنجی دستگاه در حین اندازه‌گیری‌ها، به ازای هر ۳ نمونه خاک یک قرائت نیز از صفحه سفید استاندارد که در شرایط مکانی مشابه با شرایط اندازه‌گیری نمونه‌های خاک مستقر گردیده بود، انجام شد. ۶ تکرار برای هر نمونه خاک در نظر گرفته شد که در مجموع ۶۰۰ منحنی طیفی از خاک‌های منطقه ایجاد شد. با استفاده از نرم‌افزار View Spect Pro از هر ۶ تکرار یک میانگین گرفته شد. در شکل (۳) میانگین منحنی‌های خام بازتاب طیفی خاک‌ها ارائه شده است. بدین ترتیب برای هر نمونه خاک یک طیف که بیانگر طیف بازتابی آن باشد در فایل اصلی داده‌ها ثبت شد. به منظور ارتقاء و بارزسازی تفاوت موجود در طیف‌های خاک‌ها از منحنی حذف پیوستار استفاده شد. منحنی حذف پیوستار، منحنی است که بر اساس خطی محدب و فرضی که دو انتهای یک مشخصه جذب طیفی را به یکدیگر وصل می‌کند، به دست می‌آید. منحنی بدون پیوستار دارای ارزش صفر تا یک می‌باشد. بر این اساس مقادیر جذب‌های ناخواسته عوامل مشخص در این منحنی، حذف و یا به کمترین مقدار رسیده است. در این منحنی‌ها واریانس مطلق حذف و بیشینه‌های جذب بارزتر می‌شوند (۹).

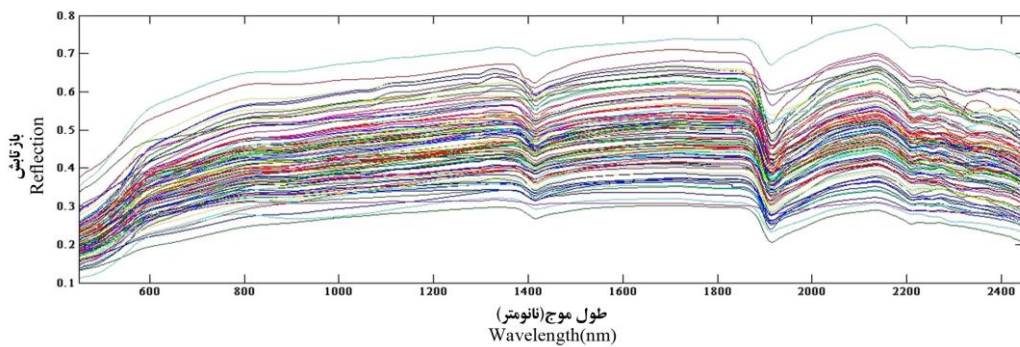
که در آن W_i ، وزن ذرات باقی مانده در دامنه ی $W_i(s)$ ، وزن ذرات شن و سنگریزه در دامنه ی i و W_t ، وزن آون-خشک خاک باشد. از اختلاف الک خشک با الک تر، به عنوان شاخصی از پایداری خاکدانه، برای مدل سازی پارامترهای مورد نظر استفاده شد.

بازتاب‌های طیفی

بازتاب‌های طیفی خاک به وسیله دستگاه طیف‌سنج زمینی با دامنه طول موج‌های مرئی-مادون قرمز نزدیک در گستره ۲۵۰۰ - ۳۵۰ نانومتر برداشته شد. این طیف‌سنج دارای سه ثبت مجزا در طول موج‌های ۱۰۰۰ - ۳۵۰، ۱۸۰۰ - ۱۰۰۱ و ۲۵۰۰ - ۱۸۰۱ نانومتر بوده که دارای درجه حساسیت متفاوتی نسبت به دما و رطوبت می‌باشد. اندازه تفکیک طیفی دستگاه در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک ۱۰۰۰ - ۳۵۰ نانومتر معادل ۳ نانومتر، در محدوده ۱۸۳۰ - ۱۰۰۰ نانومتر ۶ نانومتر و در محدوده ۲۵۰۰ - ۱۸۳۰ نانومتر ۱۰ نانومتر است. سرعت برداشت هر منحنی طیفی نیز ۰/۱ ثانیه است (شکل ۲). ۵۰ گرم از هر نمونه خاک هوا خشک با اندازه کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر درون یک پتری-دیش (۱۰×۱۰ سانتی‌متر) قرار داده شد. سپس به منظور به حداقل رساندن اثرات زبری سطح خاک بر انعکاس طیفی، سطح نمونه‌ها خاک با تیغه فلزی صاف و هموار گردید. برای اندازه‌گیری توزیع تابش در ناحیه طول موج خاصی از آشکار سازها استفاده می‌شود. برای این منظور پس از بهینه‌سازی دستگاه و واسنجی آن به وسیله مرجع سفید میزان نوری توسط یک لامپ هالوژن ۱۵۰ وات با زاویه ۴۵ درجه



شکل (۲) دستگاه طیف‌سنج زمینی ©3, ASD,FR,USA
Figure(2) Field Spectroradiometr ©3, ASD,FR,USA



شکل (۳) منحنی‌های خام بازتاب طیفی خاک‌های مورد مطالعه
Figure(3) Raw curves of spectral reflectance of the study soils

مصنوعی) که در داخل شبکه به هم وصل شده‌اند. هر واحد دارای یک مشخصه ورودی و خروجی بوده که محاسبه یا عمل جزئی را اجرا می‌کند. مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی بیشینه اطلاعات را از داده‌ها استخراج کرده و توابع انتقالی بسیار دقیقی را فراهم می‌آورند (۳۴). مزیت مهم شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی، عدم نیاز آن‌ها به یک رابطه فیزیکی برای تبدیل سیستماتیک ورودی‌ها به خروجی است. یکی از متداول‌ترین شبکه‌های عصبی مورد استفاده برای حل مسائل پیچیده و غیرخطی، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) با آموزش نظارت شده و الگوریتم پس انتشار خطا می‌باشد. در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه با یک لایه مخفی که دارای تابع فعال‌سازی سیگموئید در لایه مخفی و تابع فعال‌سازی خطی در لایه خروجی بوده و همچنین به علت کارایی، سادگی و سرعت بالا در این تحقیق الگوریتم آموزشی لوبنبرگ مارکوارت استفاده شد. در تحقیق حاضر برای ساختن شبکه عصبی مصنوعی و انجام پیش‌بینی‌ها از نرم‌افزار Matlab استفاده شد.

رگرسیون خطی چندگانه گام به گام (SMLR)

رگرسیون چندگانه، ارتباط بین یک سری از متغیرهای مستقل را با متغیر وابسته مورد نظر بیان می‌کنند.

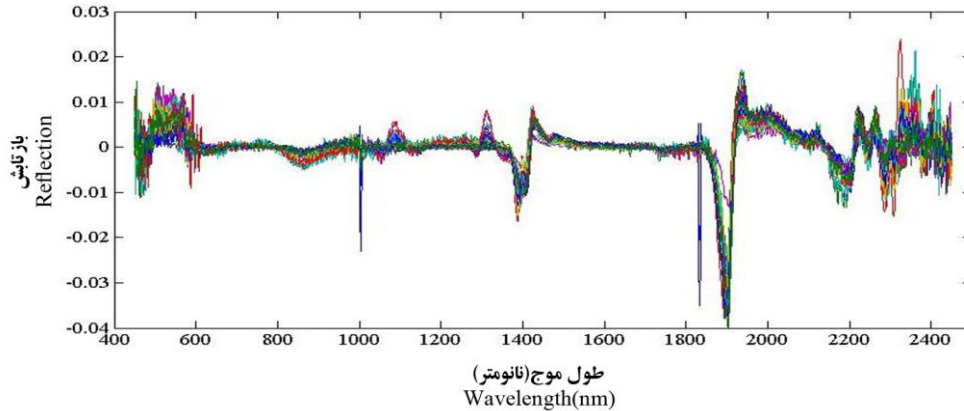
تجزیه و تحلیل حذف پیوستار نوعی نرمال‌سازی منحنی طیفی در دامنه طول موج‌های مورد نظر است. منحنی‌های CR دارای مقادیری بین صفر تا یک بوده که باعث ارتقاء و بارسازی تفاوت موجود در طیف‌های خاک‌ها می‌شود. همچنین به دلیل داشتن نویزها ۵۰ نانومتر از ابتدا و انتهای طیف‌ها حذف گردید.

انواع روش‌های پیش پردازش همچون فیلتر میانه، فیلتر ساویتزکی و گلای، نرمال‌سازی بر اساس میانگین، متغیر نرمال استاندارد (SNV)، تصحیح پخشیده چندگانه (MSC)، مشتق اول همراه فیلتر ساویتزکی و گلای و مشتق دوم به همراه فیلتر ساویتزکی و گلای بر روی طیف‌های بازتابی به منظور حذف آشفتگی‌ها، حذف عوامل محیطی، بالا بردن کیفیت داده‌ها و به دست آوردن نتایج بهتر با استفاده از نرم افزار ParLes انجام شد. شکل (۴) نمودار طیفی ۱۰۰ نمونه خاک را بعد از اعمال پیش پردازش (مشتق اول + فیلتر ساویتزکی و گلای + فیلتر میانه + متغیر نرمال استاندارد) نشان می‌دهد. به منظور تسهیل در روند آنالیز داده‌ها از طیف‌های بازتابی برای هر ۵ نانومتر یک میانگین گرفته شد و در آنالیزهای بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

مدل سازی و ارزیابی روش‌ها

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، ساختاری (شبکه‌ای) است متشکل از تعدادی واحد (نرون‌های



شکل (۴) منحنی‌های مشتق اول + فیلتر ساویتزکی و گلاي + فیلتر میانه + متغیر نرمال استاندارد از طیف‌های خام خاک
Figure(4) Curves of First derivative + Savitzaki filter and Clay + Mid filter + Standard variables of soil raw spectra

داده‌ها به سه قسمت شامل ۶۵ درصد برای آموزش، ۱۰ درصد برای اعتبارسنجی و ۲۵ درصد برای صحت‌سنجی تقسیم شدند. پس از تعیین مدل مناسب، با استفاده از محاسبه پارامترهای ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطا (ME) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) اعتبارسنجی شد.

$$R^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (5)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_0 - Z_p)^2 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_0 - Z_p)^2} \quad (7)$$

که در آنها Z_0 و y مقادیر پیش‌بینی شده، x و Z_p مقادیر مشاهداتی، \bar{x} و \bar{y} به ترتیب مقادیر مطلق مشاهداتی و پیش‌بینی شده است.

نتایج و بحث

در جدول ۱ خلاصه خصوصیات آماری ویژگی‌های خاک‌های منطقه مورد مطالعه در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری آمده است. میانگین شوری خاک در منطقه نشان دهنده شوری کم تا زیاد در منطقه مورد بررسی است. بیشترین مقدار آن نیز در مرکز، جنوب و جنوب غربی منطقه مطالعاتی (عمدتاً شوره‌زارهای بدون پوشش) و کمترین مقدار در شمال غربی، جنوب شرقی، شمال شرقی و شمال منطقه مطالعاتی (عمدتاً بلندی‌های با پوشش مرتعی) مشاهده شد. باتوجه به حداقل و حداکثر اسیدیته خاک،

برای ایجاد رابطه‌ای خطی بین متغیرهای مستقل x_1, x_2, \dots, x_n و متغیر Y که وابسته به آن‌ها بوده، بایستی رابطه‌ای بین آن‌ها برقرار باشد:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + e \quad (4)$$

در این رابطه، مقادیر a_1, a_2, \dots, a_n ضرایب رگرسیون است. ضرایب رگرسیون، ضرایب نامشخصی بوده که مسئول برآورد پارامتر وابسته می‌باشد. در این پژوهش برای آنالیز رگرسیونی خطی چندگانه گام‌به‌گام (SMLR) و تعیین ضریب همبستگی پیرسون از نرم افزار SPSS ۲۳ استفاده شد. خصوصیات خاک به عنوان متغیرهای وابسته و داده‌های طیفی خاک به عنوان متغیرهای مستقل مدل خطی چندگانه در نظر گرفته شدند. برای ارزیابی آزمون همراستایی بین متغیرهای مستقل از فاکتور عامل تورم واریانس^۱ (VIF) استفاده شد. در صورتی که شاخص VIF متغیری مستقل کمتر از مقدار بحرانی (بین ۵ - ۱۰) باشد، بدین معنی است که این متغیر مستقل با دیگر متغیرها دارای همبستگی نمی‌باشد. برای آزمون استقلال خطاها از یکدیگر نیز از آزمون دوربین-واتسون^۲ استفاده شد. چنانچه مقدار این آماره بین ۱/۵ تا ۲/۵ قرار گیرد، فرض وجود همبستگی بین خطاها رد شده و می‌توان از معادلات رگرسیونی بهره گرفت. به منظور ارزیابی عملکرد روش‌ها در تخمین،

1- Variance Inflation Factor
2. Dorbin-Watson

جدول (۱) پارامترهای آماری داده‌ها
Table(1) statistical parameters of data

ضرب تغییرات CV	واریانس Variance	انحراف معیار StDev	کشیدگی Kurtosis	چولگی Skewness	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	پارامترها Characteristic
1.60	5.27	2.29	19.73	4.24	1.43	14.83	0.23	EC
0.07	0.31	0.55	2.67	1.07	7.63	9.77	6.44	pH
1.59	54.66	7.39	23.66	4.51	4.62	52.72	0.17	SAR
0.51	0.24	0.49	1.60	1.34	0.95	2.57	0.21	OC
0.66	263.24	16.22	0.82	1.18	24.37	69.75	3	% CaCO3
0.51	0.02	0.15	3.10	1.35	0.29	0.88	0.05	Δ MWD

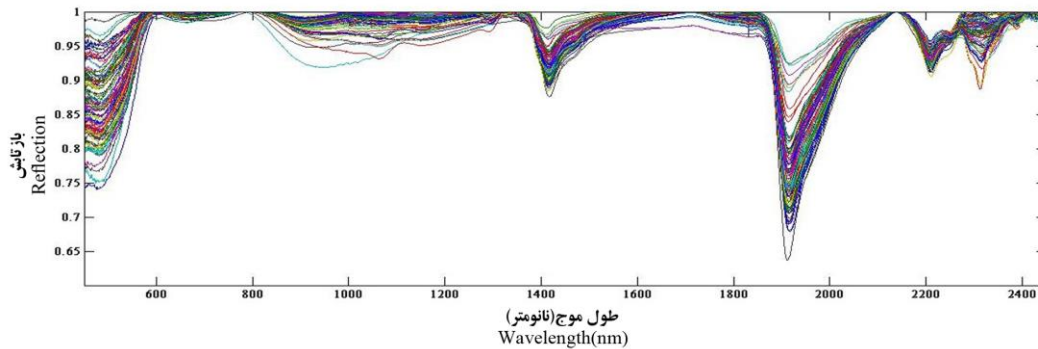
پیوستار بصورت بارزتری دیده می‌شود. این مشخصه‌های جذبی نشان دهنده وجود آب آزاد و هیگروسکوپیک در ۱۴۱۴ نانومتر، گروه‌های هیدرواکسیل در ۱۹۱۹ نانومتر، پیوند گروه‌های عاملی هیدرواکسید با فلزات آهن، منیزیم و آلومینیوم در ۲۲۱۲ نانومتر می‌باشد (۱۱). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مشخصه جذبی ۲۳۴۱ نانومتر نیز نشان‌دهنده وجود گروه‌های کربناتی در کانی‌های کربناته است (۱۷).

در شکل ۶ ضریب همبستگی پیرسون (r) بین پارامترها و مقادیر بازتاب طیف‌ها مربوط به هر طول موج در بازه‌ی ۴۰۰-۲۴۵۰ نانومتر نشان داده شده است. با توجه به نتایج، بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با مقادیر بازتاب طیفی خاک همبستگی نسبتاً بالایی وجود دارد. نتایج نشان داد ضریب همبستگی اندازه‌گیری شده می‌تواند مثبت یا منفی باشد. بیشینه ضریب همبستگی مثبت برای هدایت الکتریکی، اسیدیته خاک، نسبت جذب سدیم، کربن آلی، کربنات کلسیم و پایداری خاکدانه به ترتیب در طول موج‌های ۱۲۲۹، ۲۳۹۷ تا ۲۳۹۹، ۱۲۹۸، ۲۰۹۰، ۲۰۱۴ و دو طیف ۲۲۵۷ و ۶۶۰ معادل 0.45^{**} ، 0.43^{**} ، 0.46^{**} ، 0.61^{**} ، 0.53^{**} و 0.40^{**} به دست آمد و بیشینه ضریب همبستگی منفی برای هدایت الکتریکی، اسیدیته خاک، نسبت جذب سدیم، کربن آلی، کربنات کلسیم و پایداری خاکدانه به ترتیب در طول موج‌های ۶۳۰، ۲۲۸۹، ۶۳۰، ۱۹۰۴، ۱۳۷۹ و ۲۱۰۷ معادل 0.47^{**} ، 0.42^{**} ، 0.44^{**} ، 0.46^{**} ، 0.55^{**} و 0.44^{**} به دست آمد.

عمده خاک‌های مورد مطالعه قلیایی بودند. حداکثر اسیدیته و نسبت جذب سدیم نشان می‌دهد که نقاط مرکزی منطقه مورد مطالعه دارای خاک‌های شور و سدیمی می‌باشند. حداقل شاخص پایداری خاکدانه (ΔMWD) و میانگین پایداری خاکدانه با توجه به اینکه افزایش شوری خاک موجب کاهش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (۲۹) نیز این امر را تأیید می‌کند. در نتیجه می‌توان گفت اکثر منطقه دارای پایداری خاکدانه ضعیفی می‌باشد. از آنجا که منطقه عمدتاً شوره‌زارهای بدون پوشش گیاهی است. از این رو میانگین درصد کربن آلی کم مشاهده شد. مقدار کربنات کلسیم در بازه‌ی گسترده‌ای قرار داشت که از ۳ درصد تا ۶۹ درصد متغیر بود و بیشترین مقدار کربنات کلسیم در قسمت‌های مرکزی، و جنوب غربی منطقه قرار داشت. منحنی‌های حذف پیوستار نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.8 طبق رابطه ۸ محاسبه شدند

$$R_{CR(\lambda_i)} = \frac{R_{\lambda_i}}{R_{CL(\lambda_i)}} \quad (8)$$

که در آن، $R_{CR(\lambda_i)}$ مقدار بازتاب در منحنی حذف پیوستار به ازای طول موج λ_i مقدار بازتاب طول موج متناظر در منحنی خام طیفی و $R_{CL(\lambda_i)}$ مقدار بازتاب منحنی فرضی در طول موج‌های متناظر می‌باشند. (شکل ۵) منحنی-های خام طیفی دارای یک برآمدگی در طول موج‌های ۵۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر و همچنین سه مشخصه جذبی مهم در طول موج‌های ۱۴۱۴، ۱۹۱۵ و ۲۲۱۲ نانومتر می‌باشند. شایان ذکر است که این مشخصه‌های جذبی در منحنی‌های حذف

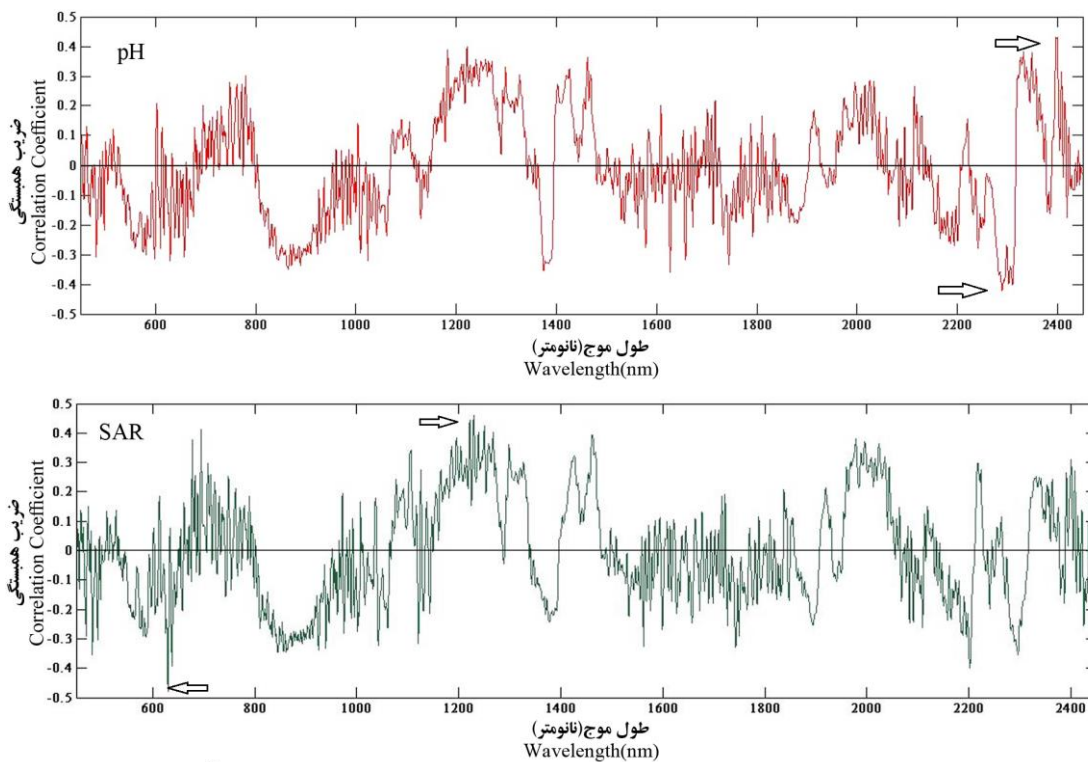


شکل (۵) منحنی‌های حذف پیوستار بازتاب طیفی خاک‌های مورد مطالعه
Figure(5) Continuous Removal Curves of Spectral reflectance of the study soils

نتایج مدل‌سازی

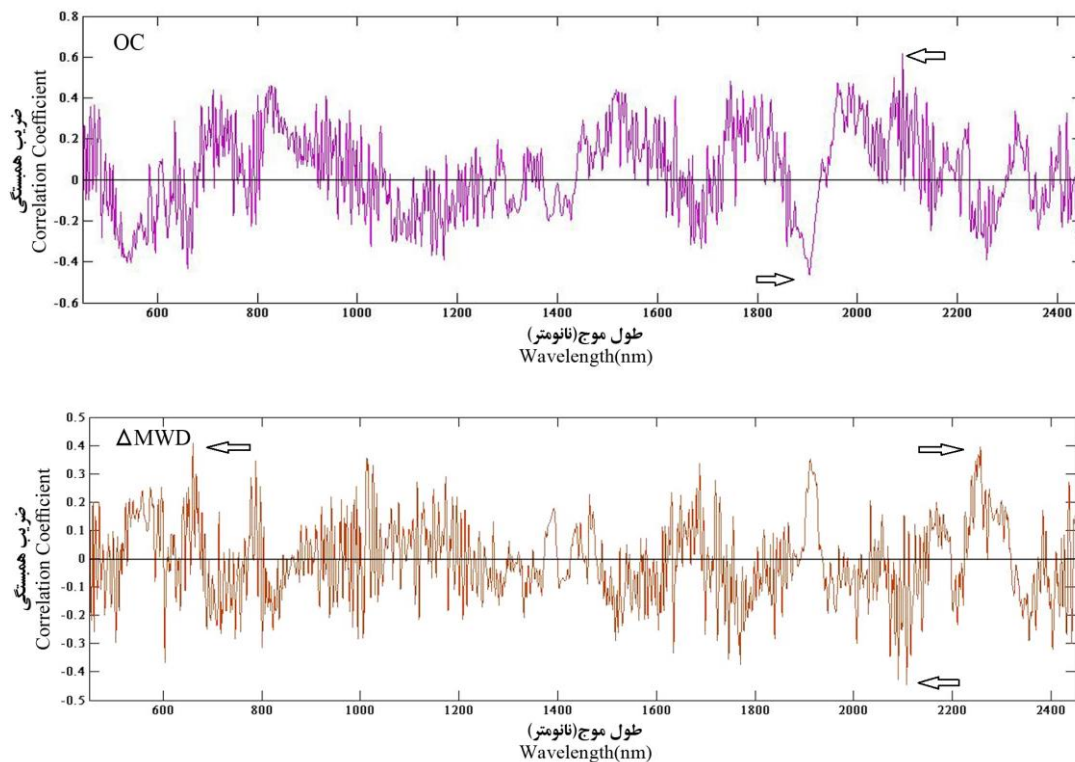
ساختار شبکه یک فاکتور اساسی در طراحی شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. زیرا این ساختار بر روی سرعت یادگیری و صحت طبقه‌بندی نهایی تاثیرگذار است. تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌ها جزء اجزای اصلی شبکه پرسپترون می‌باشد. بجز ساختار شبکه عصبی مصنوعی که ذکر شد تعداد اپوک در مرحله یادگیری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تعداد نرون‌ها در لایه‌های ورودی و خروجی ثابت بوده و بسته به تعداد ورودی و خروجی مدل به کار گرفته شده دارد. لایه ورودی شبکه شامل یک ورودی می‌باشد. لایه خروجی شامل یک نرون می‌باشد. تعداد نرون‌ها و لایه‌های مخفی بستگی به پیچیدگی مسئله مورد نظر دارد. در اینجا یک لایه مخفی برای ایجاد شبکه پرسپترون مورد استفاده قرار گرفت. تعداد نرون‌های لایه مخفی و همچنین تعداد اپوک در فرآیند آموزش و به صورت سعی و خطا به دست آمدند. در این پژوهش، تعداد نرون ۲ تا ۱۰ و تعداد تکرار ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطا و ضریب تبیین برای پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از اطلاعات طیفی خاک در جدول ۳ نشان داده شده است.

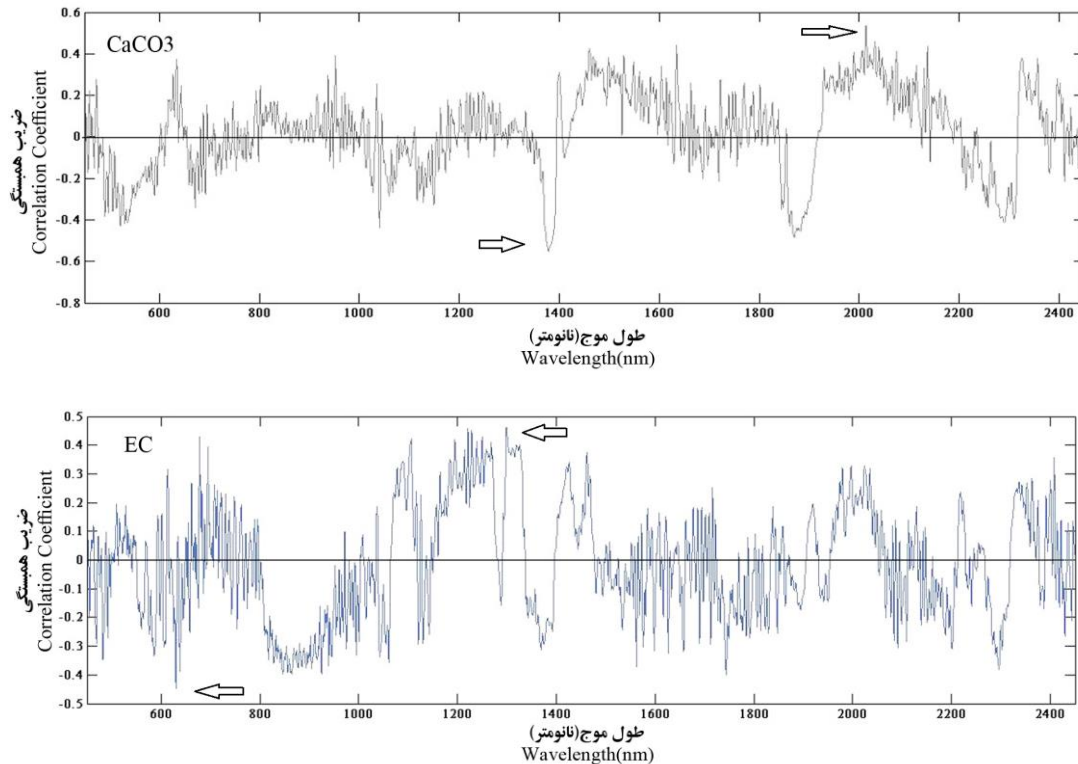
شایان ذکر است که طول موج‌های ۱۹۰۴، ۱۲۹۸ و ۱۲۲۹ که به ترتیب دارای بیشینه همبستگی کربن آلی، نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی خاک با داده‌های طیفی است، از طول موج‌های نزدیک به مشخصه جذبی آب در خاک (۱۴۱۴ نانومتر) و گروه‌های هیدرواکسیل موجود در شبکه کانی‌های رسی (۱۹۱۹ نانومتر) است. برای کربنات کلسیم ضریب همبستگی مثبت در طول موج ۲۰۱۴ مشاهده شد که این همبستگی‌ها بسیار نزدیک به مشخصه‌های جذبی مجاور طول موج ۲۳۴۱ نانومتر بوده که می‌تواند به دلیل وجود گروه‌های CO_3 موجود در کانی‌های کربناته باشد. همچنین بیشترین ضریب همبستگی برای پایداری خاکدانه در طول موج-های ۲۱۰۷ و ۲۲۵۷ نانومتر و برای اسیدیته خاک در ۲۳۹۷ و ۲۲۸۹ نانومتر مشاهده شد، که نزدیک به طول موج‌های جذبی ۲۲۱۰ نانومتر می‌باشند. مشخصه جذبی ۲۲۱۰ نانومتر مربوط به پیوند گروه‌های هیدروکسیل موجود در شبکه کانی‌های رسی می‌باشد. شاید بتوان علت این موضوع را به نقش رس‌های معدنی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها نسبت داد. وجود چنین همبستگی‌های بالایی بین ویژگی‌های خاک و مقادیر بازتاب طیفی توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۵، ۷ و ۲۰).



شکل (۶) ضریب همبستگی پیرسون (r) بین پارامترهای خاک و مقادیر بازتاب طیف‌ها مربوط به هر طول موج در ۴۰۰-۲۴۵۰ نانومتر

Figure(6) Pearson Correlation Coefficient (r) between the soil parameters and reflection values of the spectra related to each wavelength in the range of 2450-400 nm





ادامه شکل (۶) ضریب همبستگی پیرسون (r) بین پارامترهای خاک و مقادیر بازتاب طیف‌ها مربوط به هر طول موج در ۴۰۰-۲۴۵۰ نانومتر

Figure(6) Pearson Correlation Coefficient (r) between the soil parameters and reflection values of the spectra related to each wavelength in the range of 2450-400 nm

شناسایی "finger-print" و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای تشخیص ترکیبات شیمیایی را بررسی کردند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها به وضوح نشان داد که استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و تشخیص مبتنی بر روش به اصطلاح «اثر انگشت»، امکان توسعه مدل شبکه عصبی را فراهم می‌کند. لذا به شناسایی بهتر ترکیبات شیمیایی با استفاده از طیف جذبی مادون قرمز کمک می‌کند. کونگ و همکاران^۲ (۲۳) که با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به برآورد اسیدیته خاک، رس و کربن خاک پرداختند و به ضرایب تبیین معادل ۰/۹۰ برای کربن آلی، ۰/۸۶ برای اسیدیته خاک و ۰/۸۵ برای رس دست یافتند.

هرچه آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین خطا کمتر و ضریب تبیین بیشتر باشد کارایی مدل بیشتر است (۲۶). و بیشترین ضریب تبیین برای آموزش (۰/۹۹) که مربوط به پارامتر هدایت الکتریکی می‌باشد و برای صحت سنجی (۰/۸۸) که مربوط به پارامتر هدایت الکتریکی و کمترین ضریب تبیین برای آموزش (۰/۵۹) برای پارامتر اسیدیته خاک و در صحت سنجی (۰/۲۵) برای پارامتر اسیدیته خاک از اطلاعات طیفی خاک و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به دست آمد. از پژوهش‌های دیگری که با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام شده، می‌توان به تشخیص ترکیبات شیمیایی بر اساس اسپکتروسکوپی مادون قرمز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط کریستینا و سالوامیر^۱ (۲۵) اشاره کردند که امکان استفاده از روش

2- Kuang et al.

1- Krystyna and Sławomir

جدول (۳) نتایج مدل‌ها برای پیش‌بینی پارامترهای مطالعه مورد مطالعه
Table(3) Models results to predict the study parameters

میانگین خطا		ضریب تبیین		میانگین مربعات خطا		پارامترها	
ME		R ²		RMSE		Characteristic	
رگرسیون شبکه	رگرسیون عصبی	رگرسیون شبکه	رگرسیون عصبی	رگرسیون شبکه	رگرسیون عصبی		
SMLR	ANN	SMLR	ANN	SMLR	ANN		
1.78	0.05	0.67	0.99	1.33	0.23	EC	
0.25	0.14	0.32	0.59	0.50	0.39	pH	
15.3	28.94	0.30	0.75	3.91	5.38	SAR	آموزش
0.06	0.07	0.70	0.86	0.25	0.28	%OC	Train
87.08	118.25	0.62	0.56	9.33	10.87	%CaCO ₃	
0.01	0.009	0.48	0.72	0.1	0.09	Δ MWD	
3.94	0.23	0.45	0.88	1.98	0.81	EC	
0.16	0.12	0.13	0.25	0.4	0.59	pH	
11.78	6.59	0.23	0.59	3.43	2.56	SAR	صحت‌سنجی
0.07	0.09	0.66	0.68	0.27	0.3	%OC	Test
174.6	170.23	0.48	0.52	13.21	13.04	%CaCO ₃	
0.01	0.017	0.28	0.48	0.10	0.13	Δ MWD	

باشد. کمترین ضریب تبیین برای آموزش (۰/۳۰) برای پارامتر نسبت جذب سدیم و در صحت‌سنجی (۰/۱۳) برای پارامتر اسیدیته خاک از اطلاعات طیفی خاک و با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه به دست آمد. مطالعات دیگری نیز با استفاده از رگرسیون خطی تاکنون انجام شده که میتوان به اندازه‌گیری کربن آلی خاک و نیتروژن کل با استفاده از طیف‌سنجی آزمایشگاهی توسط سورنسون و همکاران^۳ (۳۵) اشاره کرد. کریمی و همکاران^۴ (۲۰) با استفاده از طیف‌سنجی خاک به برآورد برخی ویژگی‌های مبنایی خاک پرداختند و به ضریب تبیین معادل ۰/۶۶ برای رس، سیلت ۰/۷۰، شن ۰/۷۲، کربن آلی ۰/۷۲، ظرفیت تبادل کاتیونی ۰/۷۵ دست یافتند. کسوکو و همکاران^۵ (۲۱) از طیف‌های بازتابی خاک برای برآورد نیتروژن و کربن خاک با استفاده از رگرسیون خطی در اراضی ماداگاسکار

در این پژوهش برای ایجاد توابع رگرسیونی خطی چندگانه برای خصوصیات ذکر شده با استفاده از متغیرهای مستقل طیفی، از روش گام به گام^۱ ورود متغیرها استفاده شد. فرض استقلال خطاها بررسی گردید و فرض عدم وجود همبستگی بین خطاها رد نشده و لذا از رگرسیون استفاده شد. افزون بر این، فرض همراستایی چندگانه^۲ بین متغیرهای مورد مطالعه نیز بررسی شد. شایان ذکر است که در این پژوهش برای اطمینان از حذف اثر همراستایی چندگانه، از مقدار VIF کمتر از ۵ استفاده شد. نتایج ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطا و ضریب تبیین برای پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از اطلاعات طیفی خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد بیشترین ضریب تبیین برای آموزش (۰/۷۰) و برای صحت‌سنجی (۰/۶۶) مربوط به پارامتر کربن آلی می-

3- Sorenson et al.
4- Karimi et al.
5- Kensuke et al.

1- Stepwise Method
2- Multicollinearity

رس و کربن با استفاده از دو روش شبکه عصبی و رگرسیون خطی کردند. نتایج بدست آمده از پژوهش آن‌ها نشان داد که شباهت‌های مکانی بهتر بین نقشه‌های پیش‌بینی شده توسط ANN (مقادیر کاپا بالاتر) نسبت به پیش‌بینی‌های حاصل از روش PLSR وجود دارد. با توجه به نتایج، مقادیر ضریب تبیین (R^2) دو روش شبکه عصبی و رگرسیون خطی به ترتیب برای کربن آلی $0/90$ و $0/81$ و برای اسیدیت خاک به ترتیب $0/86$ و $0/76$ و برای رس به ترتیب $0/85$ و $0/81$ بدست آمد که با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی دارد. همچنین آلدابا و همکاران^۳ (۲) با استفاده از داده‌های طیفی خاک و دو مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی و رگرسیون بردار پشتیبان در غرب تگزاس اقدام به تخمین هدایت الکتریکی خاک کردند. با توجه به این پژوهش، مقادیر ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا برای دو مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی و رگرسیون برداری پشتیبان به ترتیب برابر با $0/91$ و $0/258$ در مقابل $0/89$ و 286 به دست آمد. خلیلی مقدم و همکاران^۴ (۲۲) در پژوهشی برای تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی استفاده کردند. این محققین بیان کردند که به‌طور کلی شبکه‌های عصبی مصنوعی ($I=0/87$) در تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک دارای کارایی بهتری از رگرسیون چند متغیره خطی ($I=0/69$) هستند. از مزایای شبکه عصبی مصنوعی می‌توان به عدم محدودیت در تعداد ورودی و خروجی، قابلیت مدل سازی رفتارهای غیر خطی و آشوبناک، عدم حساسیت به تغییرات ناگهانی و نویز، آموزش سریع، دارای فرایند جلوگیری از آموزش بیش از اندازه، دارای توپولوژی‌های مختلف با کارایی متفاوت در داده‌های متفاوت، قابلیت لحاظ کردن پارامترهای گسسته و قابلیت اتصال به سیستم‌های بهینه سازی برای بهبود کارایی اشاره کرد.

استفاده کردند و به مقدار ضریب تبیین ($0/97$) برای کربن و ($0/94$) برای نیتروژن دست یافتند. باباییان و همکاران^۱ (۵) در پژوهشی، علاوه بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک برخی از ویژگی‌های مبنایی خاک را نیز با استفاده از داده‌های طیفی پیش‌بینی کردند. این محققین نشان دادند که ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) توابع پیشنهادی برای رس به ترتیب معادل $0/65$ و $0/39$ درصد، برای سیلت به ترتیب معادل $0/41$ و $0/04$ درصد، برای شن به ترتیب معادل $0/70$ و $0/05$ درصد، برای جرم ویژه ظاهری به ترتیب معادل $0/57$ و $0/04$ گرم بر سانتیمتر مکعب، برای ماده آلی به ترتیب معادل $0/69$ و $0/14$ درصد و برای میانگین هندسی قطر ذرات خاک نیز به ترتیب $0/65$ و $0/04$ میلیمتر می‌باشد. در مجموع این محققین استفاده از ویژگی‌های طیفی خاک را برای دسترسی به برآوردهای غیرمستقیم و نسبتاً دقیق از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد مطالعه پیشنهاد کردند.

مقایسه مدل‌ها

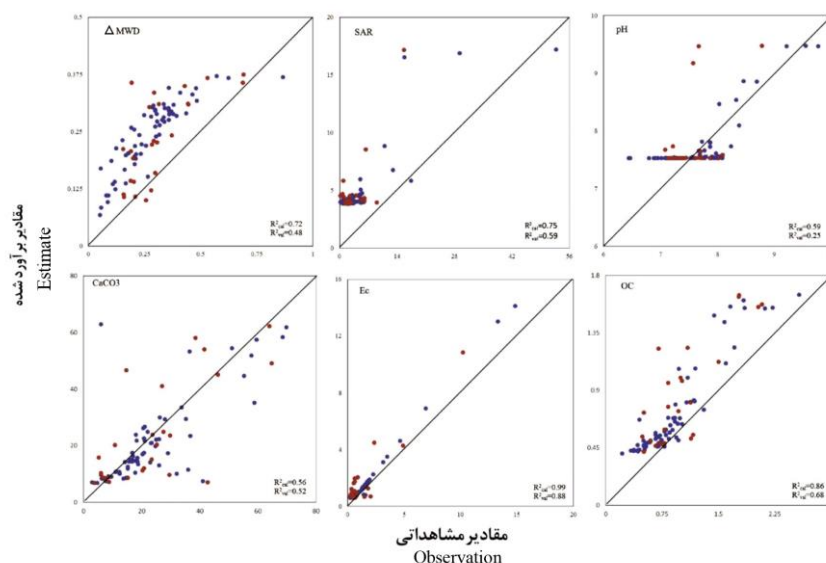
با توجه به جدول ۳ بر اساس آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطا و ضریب تبیین برای تخمین خصوصیات ذکر شده با استفاده از اطلاعات طیف‌سنجی شبکه عصبی نتایجی بهتری در مقایسه با مدل رگرسیون خطی از خود نشان داد. با توجه به نتایج، شبکه عصبی مصنوعی با بهره‌گیری از داده‌های طیفی دارای عملکرد بهتری می‌باشد. در شکل ۷ نمودار پراکنش داده‌های پیش‌بینی شده خصوصیات مختلف با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و بهره‌گیری از داده‌های طیفی خاک در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده آن‌ها ارائه شده است. همان‌گونه که در این شکل، مشاهده می‌شود بهترین خط برازش شده دارای زاویه‌ای نزدیک به 45 درجه بوده که نشان‌دهنده دقت بالای برآوردها مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از اطلاعات طیفی خاک می‌باشد. کونگ و همکاران^۲ (۲۳) با استفاده از طیف سنجی اقدام به برآورد اسیدیت خاک،

3- Aldabaa et al.

4- Khalilimoqadam et al.

1- Babaeian et al.

2- Kuang et al.



شکل (۷) دیاگرام دقت نتایج آموزش (دایره‌های آبی) و صحت‌سنجی (دایره‌های قرمز) مقادیر مشاهده‌ای و برآورده شده
Figure (7) Diagram of the results accuracy of the training (blue circles) and test (red circles) of observed and estimate values

برآورد این ویژگی‌ها به منظور ارزیابی دقت توابع پیشنهادی استفاده شد. نتایج ارزیابی بر اساس آماره‌های میانگین خطا، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده و ضریب تبیین نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی نتایجی بهتری جهت تخمین ویژگی‌های خاک‌های مبتلا به نمک داشته و استفاده از داده‌های طیفی خاک می‌تواند به‌عنوان روشی غیرمستقیم برای برآورد ویژگی‌های خاک مورد استفاده قرار گیرد

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، امکان استفاده از داده‌های طیفی خاک گستره مرئی - مادون قرمز نزدیک برای برآورد برخی ویژگی‌های خاک‌های مبتلا به نمک ارزیابی شد. پس از ثبت داده‌های طیفی و میانگین‌گیری از آن‌ها، منحنی حذف پیوستار و پیش پردازش داده‌های طیفی انجام شد. نتایج نشان داد بهترین روش پیش پردازش داده‌های طیفی، مشتق اول + فیلتر ساویتزکی و گلای + فیلتر میانه + متغیر نرمال استاندارد می‌باشد. از دو مدل رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی برای

منابع

1. Abasi, M., Darvish, A. and Shapman, M. 2010. Spectral reflection curve of Northern rice cultivars in red edge region. Geomatics Conferences and Exhibitions. (In Persian)
2. Aldabaa, A. A. A., Weindorf, D. C., Chakraborty, S., Sharma, A. and Li, B. 2015. Combination of proximal and remote sensing methods for rapid soil salinity quantification. Geoderma, 34(46): 229–240
3. Allison LE and Moodie CE 1965. Carbonate. In: Black CA et al. (ed). Methods of Soil Analysis, Part 2. (Agronomy 9). (pp. 1379-1400). Madison, WI, USA: Am. Soc. of Agron.

4. Babaeian, E., Homae, M. and Norouzi, .A.A.2014. Evaluation of spectral transfer functions and soil transfer functions in predicting soil water retention. *Protection of Water Resources*, 3(2): 25-42. (In Persian)
5. Babaeian, E., Homae, M., Montzka, C., Vereecken, H. and Norouzi, A.A. 2015. Towards retrieving soil hydraulic properties by hyperspectral remote sensing. *Vadoze Zone Journal*, 14(3), doi: 10.2136/vzj2014.07.0080.
6. Ben-Dor, E. and Banin, A. 1995. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 59: 364-372
7. Bilgili, A. V., Van Es, H. M., Akbas, F., Durak, A. and Hively, W. D. 2010. Visible-near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in a semi-arid area of Turkey. *Journal of Arid Environments*, 74(2): 229-238.
8. Canasveras, J.C., Barron, V., Del Campillo, M. C., Torrent, J. and Gomez, J.A. 2010. Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 158: 78-84.
9. Curran, P. J., Dungan, J. L. and Peterson, D. L. 2001. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: testing the Kokaly and Clark methodologies. *Remote Sensing of Environment*, 76(3): 349-359.
10. Chang, C. W., Laird, D. A., Mausbach, M. J. and Hurburgh, C. R. 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy–principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2): 480-490.
11. Clark, R. N., King, T. V. V., Klejwa, M., Swayze, G. A. and Vergo, N. 1990. High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. *Journal of Geophysical Research*, 95: 12653–12680.
12. Dalal, R. C. and Henry, R. J. 1986. Simultaneous determination of moisture, organic carbon and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. *Soil Science Society of America Journal*, 50: 120–123.
13. Daniel, K. W., Tripathi, N. K. and Honda, K. 2003. Artificial neural network analysis of laboratory and in situ spectra for the estimation of macronutrients in soils of Lop Buri (Thailand). *Soil and Tillage Research*, 41: 47–59
14. Farifteh, J., Farshad, A. and George, R. J. 2006. Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling, and geophysics. *Geoderma*, 130(3), 191-206.
15. Genot, V., Colinet, G., Bock, L., Vanvyve, D., Reusen, Y. and Dardenne, P. 2011. Near infrared reflectance spectroscopy for estimating soil characteristics valuable in the diagnosis of soil fertility. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 19: 117-138.
16. Gomez, C., Lagacherie, P. and Coulouma, G. 2012. Regional predictions of eight common soil properties and their spatial structures from hyperspectral Vis–NIR data. *Geoderma*, 189: 176-185.

17. Gomez, C., Lagacherie, P., Coulouma, G. 2008. Continuum removal versus PLSR method for clay and calcium carbonate content estimation from laboratory and airborne hyperspectral measurements. *Geoderma*, 148: 141-148.
18. Hillel, D. 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier, Amsterdam. 494- 512.
19. Janik, L.J., Forrester, S.T. and Rawson, A. 2009. The prediction of soil chemical and physical properties from mid infrared spectroscopy and combined partial least-squares regression and neural networks (PLS-NN) analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 97:179-188.
20. Karimi, S., Davari, M., Bahrami, H., Babaeian, E. and Hosini, M. 2016. Estimation of some soil baseline characteristics by near-infrared visible spectroscopy in Kurdistan province. *Iran Water and Soil Research*. 48(3): 573-585 (In Persian).
21. Kensuke, K., Tsujimoto, Y., Rabenarivo, M., Asai, H., Andriamananjara, A. and Rakotoson, T. 2017. Vis-NIR Spectroscopy and PLS Regression with Waveband Selection for Estimating the Total C and N of Paddy Soils in Madagascar. *MDPI-Remote Sensing*, 10: 142-155.
22. Khalilimoqadam, B., Afuni, M., Jalaleian, A., Abaspor, K. and Dehqani, M. 2014. Application of Regression and Neural Networks Methods for Estimating Hydraulic Conductivity of Saturated Soil in Central Zagros Region. *Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Soil Science*, 71: 217-227 (In Persian).
23. Kuang, B., Tekin, Y. and Mouazen, M. A. 2015. Comparison between artificial neural network and partial least squares for on-line visible and near infrared spectroscopy measurement of soil organic carbon, pH and clay content. *Soil and Tillage Research*, 146: 243-252.
24. Kodaira, M. and Shibusawa, S. 2013. Using a mobile real-time soil visible-near infrared sensor for high resolution soil property mapping. *Geoderma*, 199: 64-79.
25. Krystyna, M. K. and Sławomir, S. 2017. Application of neural networks in diagnostic's of chemical compound's based on their infrared spectra. *DE GRUTER*. 24: 107-118.
26. Liu, X., Xu, J., Zhang, M., Si, B., and Zhao, K. 2008. Spatial variability of soil available Zn and Cu in paddy rice fields of China. *Environmental Geology*, 55: 1569-1576.
27. Metternicht, G. I. and Zinck, J. A. 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote sensing of Environment*, 85(1): 1-20.
28. Nanni, M. R. and Demattê, J. A. M. 2006. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2): 393-407.
29. Nemati, F., Raeisi, F. and Hasanpoor, A. 2013 Aggregate stability in different treatments of salinity and soil organic matter in the presence of earthworms under

- greenhouse conditions. *Journal of Water and Soil Studies*, 19(1): 41-60 (In Persian).
30. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. In: A.L. Page R.H. Miller and R. Keeny. (ed). *Methods of soil analysis. Part 2-chemical and microbiological properties.* (pp181-196). Madison, WI.
 31. Nelson, P. N., Baldock, J. A., Clarke, P., Oades, J. M. and Charchman, G. J. 1999. Dispered clay and organic matter in soil: their nature and association. *Australian Journal of Soil Research*, 37: 289-315.
 32. Nocita, M., Stevens, A., Noon, C., van Wesemael, B. 2013. Prediction of soil organic carbon for different levels of soil moisture using Vis-NIR spectroscopy. *Geoderma*, 199: 37-42.
 33. Savvides, A., Corstanje, R., Baxter, S. J., Rawlins, B. G. and Lark, R. M. 2010. The relationship between diffuse spectral reflectance of the soil and its cation exchange capacity is scale-dependent. *Geoderma*, 154: 353-358.
 34. Schaap, M. G., Leij, F. J. and Van Genuchten, M. T. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 847-855.
 35. Sorenson, P. T., Quideau S. A. and Rivard, B. 2018. High resolution measurement of soil organic carbon and total nitrogen with laboratory imaging spectroscopy. *Geoderma*, 315(1): 170-177.
 36. Sokouti, R., Mahdiad, M. and Mahmoodi, S. 2008. Comparing of the application of some geostatistic method to predict the variability of soil salinity, a case study of Urmieh Plain. *Pajauhesh and Sazandegi*, 74: 90-98.