

تحلیل روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز و روش‌های پیش‌پردازش در پیش‌بینی شوری خاک

ساغر فهندژ سعدی^۱ - مسعود نوشادی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸

چکیده

میزان شوری خاک یکی از عوامل تأثیرگذار بر مدیریت آبیاری و مزرعه می‌باشد اما اندازه‌گیری شوری با روش‌های معمول آزمایشگاهی امری وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد. لذا استفاده از روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز در اندازه‌گیری میزان شوری خاک به‌عنوان روشی سریع و غیرمخرب ارزشمند خواهد بود. در این تحقیق طیف‌های بازتابی، جذبی و مشتق اول طیف بازتابی خاک‌های با شوری طبیعی و مصنوعی در سطوح مختلف شوری ($1/2$ تا $30.7/5$ $dS.m^{-1}$) در بافت‌های خاک سبک تا سنگین توسط روش‌های مختلف هموارسازی پردازش شده و جهت پیش‌بینی شوری خاک از مدل رگرسیونی حداقل مربعات جزئی (PLSR) استفاده شد، با توجه به ضرایب تبیین (R^2) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده از طیف جذبی نسبت به طیف‌های بازتابی و مشتق اول طیف بازتابی نتایج دقیق‌تری را ارائه نمود. همچنین پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از طیف جذبی در هر دو دسته خاک سنگین و سبک روشی کارآمد و موفق بود، هرچند این روش در خاک‌های با بافت سنگین ($R^2 = 0.836$) نتایج دقیق‌تری را در پیش‌بینی شوری خاک نسبت به خاک سبک ($R^2 = 0.756$) ارائه کرد. همچنین مشخص گردید که روش‌های پردازش میانگین متحرک و فیلتر ساویتزکی - گلای بیشترین تأثیر را بر بهبود نتایج پیش‌بینی شوری خاک ارائه نمودند.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، پیش‌پردازش، شوری خاک، طیف‌سنجی، مادون‌قرمز، هموارسازی

مقدمه

نظیر نحوه نمونه‌برداری، میزان رطوبت خاک، وجود پوشش گیاهی، عمق و فاصله کارگزاری دستگاه از سطح خاک قرار گرفته و باعث می‌شود نتایج از دقت بالایی برخوردار نباشند. از همین رو در دهه‌های اخیر امکان استفاده از علوم پیشرفته مانند سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و طیف‌سنجی مادون‌قرمز به‌منظور پایش و اندازه‌گیری خصوصیات خاک در حال بررسی می‌باشند چراکه ضرورت استفاده از تکنیک‌های جدید که به‌صورت ساده، ارزان و در حداقل زمان ممکن بتواند خصوصیات خاک را تعیین کنند بیش‌ازپیش آشکار شده است (۲۰). طیف‌سنجی بازتابی مرئی - مادون‌قرمز نزدیک (VNIR) در دو دهه اخیر توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. با فراگیر شدن روش‌های آماری و تحلیل داده‌ها، کاربرد این روش در علوم خاک و کشاورزی تسهیل شده است (۶). بخش عمده‌ای از تحقیقاتی که در سال‌های اخیر با استفاده از روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز در برآورد خصوصیات خاک صورت گرفته بر مطالعه ویژگی‌های مبنایی خاک شامل توزیع اندازه ذرات، مقدار ماده آلی، مقدار آهک، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و تعیین غلظت برخی عناصر ماکرو و میکرو در خاک متمرکز بوده است. خیامیم و همکاران (۹) مقدار ماده آلی، درصد گچ و آهک خاک را با استفاده از دستگاه طیف‌سنج زمینی با دامنه طول موج ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر توسط

امروزه شوری خاک در اراضی کشاورزی که فاقد زهکشی مناسب هستند به مشکلی جهانی تبدیل شده است. تجمع زیاد نمک در خاک باعث تخریب و پراکندگی ذرات خاک، کاهش توانایی گیاه در جذب آب و مواد غذایی و در نتیجه کاهش محصول و تولیدات کشاورزی می‌شود (۳۳). لذا اطلاع از مقدار شوری خاک برای مدیریت آب و خاک به‌منظور دستیابی به کشاورزی پایدار و ایجاد محصول بیشتر امری ضروری می‌باشد (۳). در حال حاضر شوری خاک به‌طور معمول به‌وسیله اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (EC_e)، اندازه‌گیری در مزرعه به‌وسیله TDR، اندازه‌گیری به روش القای مغناطیسی و روش بازتاب سنجی زمانی امواج انجام می‌شود اما روش‌های مذکور وقت‌گیر و نسبتاً گران هستند. همچنین نتایج حاصله از اندازه‌گیری شوری توسط این روش‌ها تحت تأثیر عوامل متعددی

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و استاد علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

(Email: noshadi@shirazu.ac.ir)

(*- نویسنده مسئول)

DOI: 10.22067/jsw.v33i1.74144

نمود. رنجبر و همکاران (۱۵) به منظور پایش تغییرات شوری در منطقه زاهد شهر استان فارس علاوه بر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ در ۱۷ سال از داده‌های طیف‌سنجی نیز استفاده نمودند. در این پژوهش ۳۰ نمونه خاک از نقاط مختلف منطقه معالطاتی که عمدتاً دارای بافت لوم سیلتی بود جمع‌آوری شده و طیف مرئی مادون قرمز و XRD نمونه‌ها تهیه گردید. از نتایج بدست آمده از تحلیل داده‌های طیف‌سنجی نشان داد که با استفاده از این روش می‌توان وجود کانی‌هایی نظیر کلسیت و هالیت در خاک منطقه را مشخص نمود. در تحقیق دیگری که به منظور تخمین میزان شوری در شرق چین توسط وانگ و همکاران (۲۵) انجام شده است، از داده‌های طیف‌های جذبی و بازتابی مربوط به ۱۰۰ نمونه خاک جمع‌آوری شده از لایه خاک سطحی که عمدتاً دارای بافت لوم شنی بودند، جهت برآورد شوری با روش‌های PLSR و جنگل تصادفی (Random forest) استفاده گردید. نتایج نشان داد که استفاده از طیف جذبی جهت برآورد شوری نتایج دقیق تری را ایجاد می‌کنند. همچنین بیان شد که اگر چه استفاده از روش مدل جنگل تصادفی دقت بالاتری نسبت به روش PLSR دارد، اما روش PLSR نیز به خوبی میزان شوری خاک را پیش‌بینی کرده است (R^2 به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۱). به‌طور کلی در جمع‌بندی نتایج مطالعات انجام شده درباره تعیین میزان شوری خاک با استفاده از روش طیف‌سنجی مادون قرمز می‌توان بیان کرد که محققان بر اساس نتایج حاصله، روش طیف‌سنجی مادون قرمز را به‌عنوان روشی سریع، کم‌هزینه و با دقت قابل قبول برای دستیابی به شوری خاک معرفی کردند. اما نکته قابل توجه در این تحقیقات آن است که در عمده آن‌ها بافت خاک مورد آزمایش تنوعی نداشته و تأثیر بافت خاک بر صحت نتایج مورد بررسی قرار نگرفته است. این در حالی است که به‌طور کلی به علت اندازه متفاوت ذرات و همچنین تفاوت در قابلیت نگهداری آب در خاک‌های سبک و سنگین، طیف حاصل از خاک‌های با بافت متفاوت، مختلف خواهد بود. لذا در این تحقیق با جمع‌آوری نمونه‌های خاک از مناطق مختلفی که دارای بافت‌های مختلف و متنوع از سبک تا سنگین بودند به ارزیابی روش طیف‌سنجی مادون قرمز در پیش‌بینی مقدار شوری خاک در مقادیر متنوعی از شوری پرداخته شده است تا توانایی این روش در اندازه‌گیری شوری خاک در سطوح مختلف شوری و در بافت‌های مختلف خاک بررسی شود.

از سوی دیگر عواملی نظیر اندازه ذرات، مقدار و غلظت نمونه، دما و رطوبت خاک می‌توانند طیف را دستخوش تغییر کند، این عوامل می‌توانند به طیف نویز اضافه کنند، اندازه و عرض یک پیک را تغییر دهند و یا حتی سیگنال‌های ترکیبات شیمیایی که امواج مادون قرمز را جذب کرده‌اند مخفی سازند (۲۷). لذا انجام روش‌های پیش‌پردازش قبل از استفاده از داده‌ها به‌منظور بهبود واسنجی پیشنهاد می‌شود (۱۹). باید توجه کرد که اگرچه به‌طور کلی هدف از پیش‌پردازش

روش رگرسیون (PLSR) پیش‌بینی کردند. آن‌ها همچنین انواع روش‌های پیش‌پردازش را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد پیش‌بینی مدل برای درصد گچ کاملاً مناسب، برای ماده آلی قابل قبول و برای درصد کربنات‌های خاک ضعیف بود. موسوی و همکاران (۱۳) از روش طیف سنجی مادون قرمز جهت برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک استفاده نمودند. آنها در تحقیق خود رابطه بین مقدار CEC خاک با طیف بازتابی و مشتق طیف بازتابی مربوط به ۴۵ نمونه خاک را با استفاده از روش PLSR مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داده که طیف بازتابی ارتباط قوی تری با مقدار CEC خاک دارد. برآورد میزان ماده آلی در خاک مرطوب با استفاده از طیف مادون قرمز توسط روش‌های رگرسیون چند متغیره توسط هانگ و همکاران (۷) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق ۱۱۲ نمونه خاک در ۸ کلاس رطوبتی تهیه گردید. سپس با استفاده از مقادیر رطوبت خاک شاخص نرمال شده رطوبت خاک تعیین شده و رابطه مقدار ماده آلی خاک با این شاخص توسط روش PLS مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از شاخص طیفی معرفی شده توانایی تخمین ماده آلی را بدون در نظر گرفتن مقدار رطوبت خاک دارا می‌باشد. بابائیان و همکاران (۱) توابع جدیدی را مطرح کردند که بر اساس آن‌ها می‌توان با استفاده از داده‌های ابر طیفی خاک در گستره طیفی VNIR و روش PLSR، وضعیت نگهداشت آب در خاک را پیش‌بینی کرد. بر پایه نتایج آن‌ها، دقت تخمین‌ها در بخش میانی و انتهای خشک منحنی رطوبتی بیشتر از بخش مرطوب آن به دست آمد. جانیک و همکاران (۸) با استفاده از طیف بازتابی در گستره مادون قرمز دور (۲۰۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) و روش رگرسیون PLSR مقدار رطوبت خاک را در پتانسیل‌های ماتریک ۱ تا ۱۵۰۰ کیلو پاسکال با ضریب تبیین بین ۰/۶۷ تا ۰/۸۷ برآورد کردند. دبائنه و همکاران (۲) از روش طیف‌سنجی (VNIR) برای تخمین مقدار کربن آلی خاک، اسیدیته خاک و مقادیر منیزیم، پتاسیم، فسفر و درصد رس خاک سطحی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بهترین ضریب تبیین برای درصد کربن آلی خاک و منیزیم خاک به ترتیب ۰/۶۰ و ۰/۶۹ به دست آمد، درحالی‌که ضرایب تبیین برای سایر پارامترها ضعیف بود. سامرز و همکاران (۲۰) با بررسی ۳۰۰ خاک در منطقه جنوب استرالیا به ارزیابی روش طیف‌سنجی VNIR در برآورد کربن آلی، مقدار رس، اکسیدهای آهن و کربنات‌های خاک پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ضریب تبیین برای درصد رس، مقدار کربن آلی، اکسیدهای آهن و کربنات‌های خاک به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۶۱ و ۰/۶۹ بود و مقادیر RMSE نیز به ترتیب ۳/۱۳، ۰/۳۵ و ۰/۲۳ و ۲/۹ درصد گزارش شد. در خصوص تعیین مقدار شوری خاک با استفاده از روش طیف‌سنجی مادون قرمز می‌توان به تحقیقات لیو و همکاران (۱۰)، ونگ و همکاران (۲۶)، ناوار و همکاران (۱۴)، وانگ و همکاران (۲۴)، لیو و همکاران (۱۱) اشاره

داده‌های طیفی را می‌توان ارتقای کیفیت طیف‌ها و استفاده کارآمد از داده‌ها بیان کرد (۱)، اما با انجام روش‌های مختلف پیش‌پردازش ممکن است بخشی از اطلاعات موجود در طیف از دست برود. خیامیم و همکاران (۹) به منظور برآورد میزان ماده آلی، کربنات‌ها و گچ در خاک با استفاده از روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز، طیف بدون اعمال پیش‌پردازش و همچنین طیف‌های پردازش‌شده با چندین روش از جمله روش فیلتر میانه و فیلتر ساویتزکی-گلای را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج آن‌ها پیش‌پردازش داده‌ها تأثیری بر نتایج پیش‌بینی مقادیر کربنات‌ها و گچ در خاک نداشت و حتی ضریب تبیین نتایج پیش‌بینی‌شده مقدار ماده آلی خاک با استفاده از داده‌های پردازش‌شده کمتر از داده‌های طیفی بدون پیش‌پردازش بود. گرس و همکاران (۵) نیز در تحقیقی که به منظور برآورد مقادیر کربنات کلسیم، ماده آلی، مقدار نیتروژن کل، پتاسیم تبادل و مقدار فسفر خاک انجام دادند چندین روش پیش‌پردازش را مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که اگرچه انجام پیش‌پردازش باعث افزایش دقت نتایج پیش‌بینی مقادیر کربنات کلسیم، نیتروژن کل و مقدار ماده آلی می‌شود اما تأثیری بر پیش‌بینی سایر پارامترها نداشته و بهترین نتایج پیش‌بینی مقادیر پتاسیم تبادل و فسفر بدون انجام پیش‌پردازش به دست آمد. به‌طور کلی شیوه‌های پیش‌پردازش را می‌توان در چهار دسته شامل هموارسازی، حذف خط زمینه، مقیاس‌بندی و نرمال‌سازی تقسیم‌بندی کرد (۲۸). روش میانگین متحرک (Moving Mean)، فیلتر گوسی (Gaussian Filter)، فیلتر میانه (Median Filter) و فیلتر ساویتزکی-گلای (Svitzky- Golay Filter) چهار روش معمول هموارسازی (Smoothing) هستند. روش میانگین متحرک با متوسط‌گیری از داده‌های متوالی، داده‌ها را هموار می‌کند. در این روش تعداد مشخصی از نقاط در همسایگی یک نقطه مرکزی در نظر گرفته می‌شود و مجموع این نقاط بر تعداد آن‌ها تقسیم می‌شود تا میانگین مقادیر در نقطه مرکزی به دست آید. سپس یک نقطه از یک سمت این همسایگی حذف و نقطه دیگری در سوی دیگر همسایگی اضافه می‌شود و فرآیند ذکرشده دوباره انجام می‌شود. میزان تأثیر این روش بستگی به دامنه آن دارد. دامنه بزرگ باعث می‌شود که میانگین متحرک در برابر تغییرات در پارامتر مورد نظر به‌کندی واکنش نشان دهد و دامنه کوچک نتیجه معکوس می‌دهد. فیلتر گوسی یک نوع فیلتر میانگین وزن‌دار می‌باشد. در این فیلتر بیشترین وزن (ارزش) به داده اصلی (مرکزی) داده می‌شود و داده‌های همسایه وزنی متناسب با فاصله‌شان به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین هر چه فاصله دورتر می‌شود مقدار وزن نیز کوچک‌تر می‌شود. فیلتر میانه یک فیلتر غیرخطی است که یک همسایگی در اطراف داده را در نظر گرفته و میانه اعداد موجود در آن همسایگی را به‌عنوان تبدیل آن واحد در نظر می‌گیرد. فیلتر ساویتزکی-گلای یک الگوریتم میانه‌یابی است که منحنی حداقل مربعات را بر نقاط داده، برازش می‌دهد و سپس مقدار

میانه را بر اساس این منحنی پیش‌بینی می‌کند (۱۷). انتخاب روش رگرسیون یکی از اصلی‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر دقت اندازه‌گیری‌ها در طیف‌سنجی مادون‌قرمز است. مروری جامع بر روش‌های رگرسیونی در طیف‌سنجی بازتابی و مقایسه پیش‌بینی خصوصیات خاک با استفاده از متداول‌ترین روش‌های واسنجی به‌وسیله ویسکارا و همکاران (۲۲) انجام شده است. این روش‌ها شامل رگرسیون خطی چندگانه، رگرسیون خطی چندگانه مرحله‌ای، رگرسیون مؤلفه‌های اصلی (PCR)، رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) و روش رگرسیون ارتقا یافته می‌شود. واسکوس و همکاران (۲۱) تعدادی از روش‌های رگرسیونی چند متغیره مانند روش‌های PCR، PLSR و رگرسیون خطی چندگانه مرحله‌ای را با هدف تعیین بهترین ترکیب آمارهای چند متغیره و پیش‌پردازش طیف‌ها در پیش‌بینی مقدار کربن خاک مقایسه کرده و مدل PLSR را به‌عنوان بهترین روش معرفی کردند. فریفته و همکاران (۴) امکان پیش‌بینی غلظت نمک در سه بافت خاک لوم رسی سیلتی، لوم شنی و شنی را بر اساس اندازه‌گیری طیف‌های بازتابی با استفاده از رگرسیون PLSR و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل PLSR توانایی بالایی در تخمین و تهیه نقشه شوری خاک دارد. با توجه به موارد ذکر شده هدف از این تحقیق برآورد شوری خاک در بافت‌های مختلف با استفاده از روش رگرسیون PLSR و تعیین میزان تأثیر روش‌های پیش‌پردازش بر دقت پیش‌بینی‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

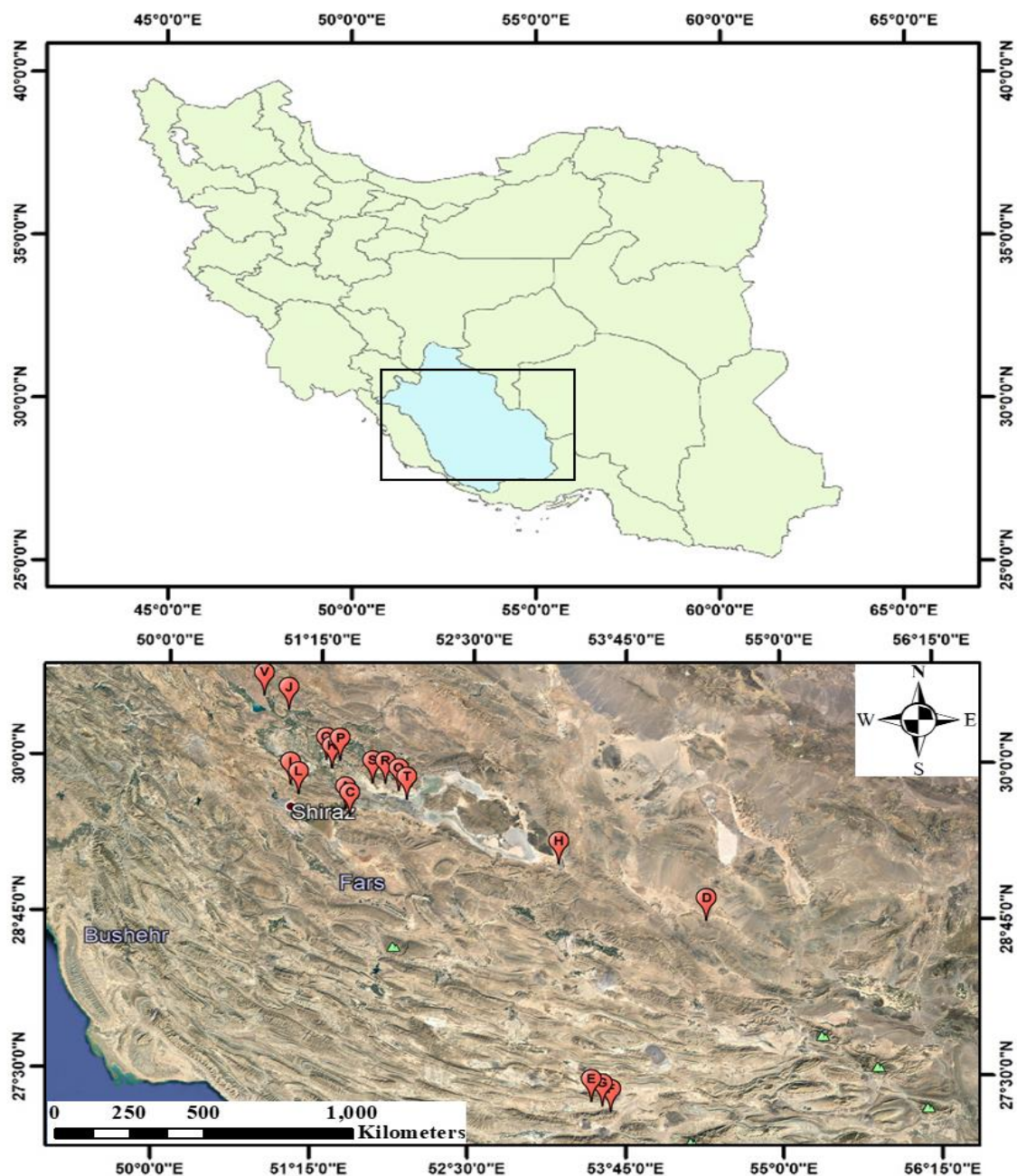
جمع‌آوری و تهیه نمونه‌ها

استان فارس بین $27^{\circ}03'$ تا $30^{\circ}40'$ عرض شمالی و $50^{\circ}36'$ تا $55^{\circ}35'$ طول شرقی در جنوب غرب ایران واقع شده است. این پژوهش با نمونه‌برداری از لایه خاک سطحی (۰-۲۰ cm) در ۲۳ نقطه مختلف استان فارس انجام شد (شکل ۱).

نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل شدند و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند درصد شن، رس و سیلت، شوری عصاره اشباع خاک، ظرفیت کاتیون تبادل و مقدار ماده آلی در این نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه‌های خاک هوا خشک شده و پس از کوبیدن با چکش لاستیکی مخصوص از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. در مرحله بعد نمونه‌های خاک به چهار بخش تقسیم شد، یک بخش از نمونه‌ها با شوری طبیعی خاک ماند و سه بخش دیگر با استفاده از آب‌های شوری که از انحلال نمک‌های کلرید کلسیم و کلرید سدیم در سه سطح شوری متفاوت ایجاد شده بودند به‌طور مصنوعی شور شدند. نمونه‌های با شوری طبیعی توسط آب دو بار تقطیر و سایر نمونه‌ها با استفاده از آب‌های شور مصنوعی

اندازه‌گیری می‌گردید تا نهایتاً خاک‌ها کاملاً خشک شدند. اما از آنجایی که خاک‌های کشاورزی معمولاً رطوبتی در حد ظرفیت مزرعه دارند در این پژوهش فقط از داده‌های طیفی نمونه‌هایی استفاده شد که میانگین رطوبت آنها نزدیک به رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) بود.

اشباع شدند. وزن ظریف، میزان آب اضافه شده و وزن خاک خشک نیز اندازه‌گیری گردید. سپس به منظور دستیابی به نمونه‌های خاک در سطوح مختلف رطوبت، نمونه‌های خاک در آن قرار گرفتند و بعد از مدتی از آن خارج شده و ضمن تعیین درصد رطوبت، طیف آنها نیز



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری
Figure 1- Study area and soil sample locations

به‌منظور به حداکثر رساندن نسبت سیگنال به نویز برای هر نمونه ۱۵ قرائت انجام شد، سپس از منحنی‌های به‌دست‌آمده میانگین حسابی گرفته شد و خروجی به‌صورت یک منحنی طیفی ذخیره گردید. پس از تهیه تمام طیف‌های مادون‌قرمز در سطوح رطوبت نزدیک به FC، عصاره اشباع نمونه‌ها تهیه شد و میزان شوری، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در این نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. مشخصات نمونه‌های خاک در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که اشاره شد در این تحقیق طیف بازتابی نمونه‌های خاک اندازه‌گیری گردید اما مطالعات طیف‌سنجی را می‌توان با تحلیل الف) طیف بازتابی، ب) طیف جذبی و ج) مشتق طیف بازتابی انجام داد که بنا به اهداف طرح، استفاده از هر کدام از این سه دسته می‌تواند مفیدتر از سایر دسته‌ها باشد. بنابراین در گام نخست از طیف‌های بازتابی مربوط به نمونه‌های خاک، طیف جذبی و مشتق اول طیف بازتابی با توجه به روابط ۲ و ۳ تهیه شد (۱۶).

$$A_{\lambda} = -\log_{10}(R_{\lambda}) \quad (2)$$

$$m = \frac{R(\lambda + h) - R(\lambda)}{h} \quad (3)$$

در این روابط: A مقدار جذب در طول موج λ ، R مقدار بازتاب در همان طول موج، m مشتق طیف بازتاب و h دامنه تغییرات طول موج است. در رابطه ۳ دامنه تغییرات برابر ۱ در نظر گرفته شد. بنابراین تغییرات بازتاب هر طول موج نسبت به طول موج همسایه بعدی محاسبه گردید.

پیش‌پردازش داده‌ها

در این تحقیق پس از تهیه طیف‌های جذب و مشتق اول طیف بازتابی، چهار روش پیش‌پردازش شامل روش‌های میانگین متغیر، فیلتر گوسی، فیلتر میانه و فیلتر ساویتزکی گلازی در ۱۲ بازه همسایگی متفاوت بر روی هر طیف اعمال شد. بنابراین علاوه بر سه سری طیف اولیه جذبی، بازتابی و مشتق اول طیف بازتابی، ۱۴۴ سری طیف تبدیل شده نیز ایجاد شد که روی هم رفته ۱۴۷ دسته طیف جهت ورود به مدل رگرسیونی به دست آمد.

روش رگرسیون

نتایج بررسی‌های انجام شده در مطالعات طیف‌سنجی نشان می‌دهد که استفاده از روش رگرسیون PLSR در برآورد خصوصیات خاک روشی مطلوب می‌باشد، لذا در این تحقیق رابطه میان طیف‌های اندازه‌گیری شده با شوری خاک توسط روش PLSR مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور در ابتدا طیف‌های تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار ViweSpecPro به داده‌های متنی با فرمت ASCII تبدیل شده و پس از میانگین‌گیری توسط نرم‌افزار فوق، جهت بررسی روابط

تهیه طیف خاک‌ها در یک اتاق تاریک و با شرایط استاندارد انجام شد. طیف‌سنجی نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه ASD Fieldspec® 3 شرکت آمریکا انجام گردید. بازتاب مطلق نمونه‌ها در دامنه ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر ثبت شدند. انتخاب فاصله منبع نور و سنجنده از نمونه‌های خاک به این صورت محاسبه و انتخاب گردید که در ابتدا بر اساس قطر پتری‌دیش‌ها، فاصله سنجنده تا نمونه به گونه‌ای تنظیم شود که علاوه بر اینکه سطح بیشتری از پتری‌دیش قرائت گردد، لبه‌های پتری‌دیش در تصویر تأثیر نگذارد. به این منظور با توجه به قطر پتری‌دیش‌ها که ۱۰ سانتی‌متر بود مقدار سطح مورد قرائت محدوده‌ای با قطر ۹٫۵ سانتی‌متر از پتری‌دیش انتخاب گردید. همچنین باید توجه می‌شد که نزدیکی پروژکتور به سنسور به علت دمای پروژکتور بر دقت سنسور اثر می‌گذارد و باعث می‌شود سایه سنسور بر روی نمونه بیفتد. بر این اساس زاویه تابش نور ۲۰ درجه انتخاب گردید. در نهایت رابطه میان قطر پتری‌دیش و زاویه تابش نور فاصله منبع نور تا نمونه به صورت زیر محاسبه گردید.

$$y = 2 \times x \times \tan(A/2) \quad (1)$$

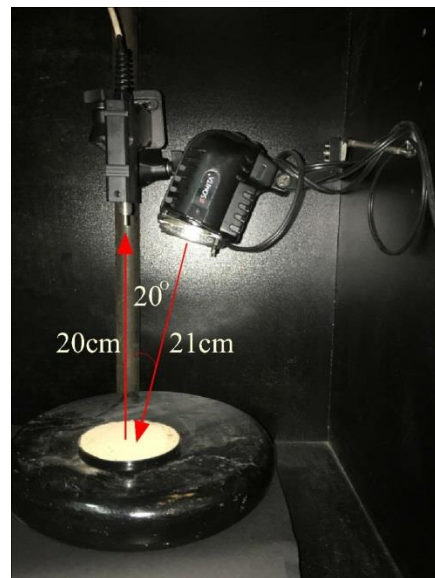
در این رابطه:

y: قطر نمونه مورد قرائت (در این تحقیق ۹٫۵ سانتی‌متر)

x: فاصله منبع نور تا نمونه

A: زاویه تابش نور (در این تحقیق برابر ۲۰ درجه)

در نتیجه حل رابطه بالا مقدار x یا همان فاصله منبع نور تا نمونه برابر با ۲۱٫۴ سانتی‌متر بدست می‌آید که جهت سهولت ۲۱ سانتی‌متر اعمال گردید. در شکل ۲ نحوه و هندسه اندازه‌گیری طیف نشان داده شده است.



شکل ۲- نحوه و هندسه اندازه‌گیری طیفی
Figure 2- Setup and geometry of spectral measurement

رگرسیون ی وارد نرم افزار The Unscrambler X 10.4 شدند. نرم افزار تهیه گردید. همچنین لازم به ذکر است که مشتق طیف بازتابی نیز توسط همین

جدول ۱- مشخصات نمونه های خاک

Table 1- Properties of soil samples

نمونه Sample	درصد ذرات خاک Percentage of soil particles (%)			بافت خاک Soil texture	شوری اولیه Initial soil salinity (dS.m ⁻¹)	شوری ایجاد شده به صورت مصنوعی Artificial soil salinity (dS.m ⁻¹)		
	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand			سطح ۱ Level 1	سطح ۲ Level 2	سطح ۳ Level 3
A	32.0	42.0	26.0	لوم رسی Clay loam	1.97	2.9	12.8	15.6
B	35.8	43.3	20.9	لوم رسی Clay loam	1.47	4.0	18.2	28.2
C	36.0	44.0	20.0	لوم رسی Clay loam	0.69	5.1	8.5	21.3
D	12.0	22.0	66.0	لوم شنی Sandy loam	97.0	39.8	70.7	79.4
E	19.8	42.7	37.5	لوم Loam	4.36	6.3	13.9	22.1
F	25.1	42.8	32.1	لوم Loam	4.44	6.4	17.0	25.9
G	25.1	42.8	38.0	لوم Loam	6.2	9.0	10.4	24.9
H	18.0	44.0	38.0	لوم Loam	69.8	**	**	**
I	18.0	45.1	36.9	لوم Loam	1.18	5.8	10.5	21.4
J	42.0	39.0	19.0	رسی سیلتی Silty clay	0.51	4.1	7.2	25.4
K	26.0	53.0	21.0	لوم سیلتی Silt loam	2.32	4.9	14.1	27.8
L	26.0	53.0	21.0	لوم سیلتی Silt loam	0.79	5.1	10.5	25.0
M	28.0	48.0	24.0	لوم رسی Clay loam	0.86	2.5	15.0	32.0
N	28.0	48.0	24.0	لوم رسی Clay loam	21.3	21.4	34.2	34.9
O	36.0	49.0	15.0	لوم رسی سیلتی Silty clay loam	3.1	4.8	13.7	22.9
P	36.0	49.0	15.0	لوم رسی سیلتی Silty clay loam	3.68	5.2	10.6	27.2
Q	40.0	46.0	14.0	رسی سیلتی Silty clay	0.69	3.5	12.7	25.6
R	40.0	38.0	22.0	رسی Clay	0.75	3.2	11.0	25.0
S	40.0	38.0	22.0	رسی Clay	0.87	4.2	14.0	22.1
T	40.0	46.0	14.0	رسی سیلتی Silty clay	0.88	4.4	12.3	24.0
U	42.0	3.0	55.0	رسی شنی Sandy clay	0.85	3.4	11.6	20.3
V	18.0	57.0	25.0	لوم سیلتی Silt loam	1.28	4.3	15.2	20.3
W	30.0	44.0	26.0	لوم رسی Clay loam	0.65	5.1	13.3	23.5

** به علت زیاد بودن مقدار شوری طبیعی در عصاره اشباع، این نمونه به طور مصنوعی شور نشد.

Due to the high value of initial soil salinity, this sample was not salted artificially

نتایج و بحث

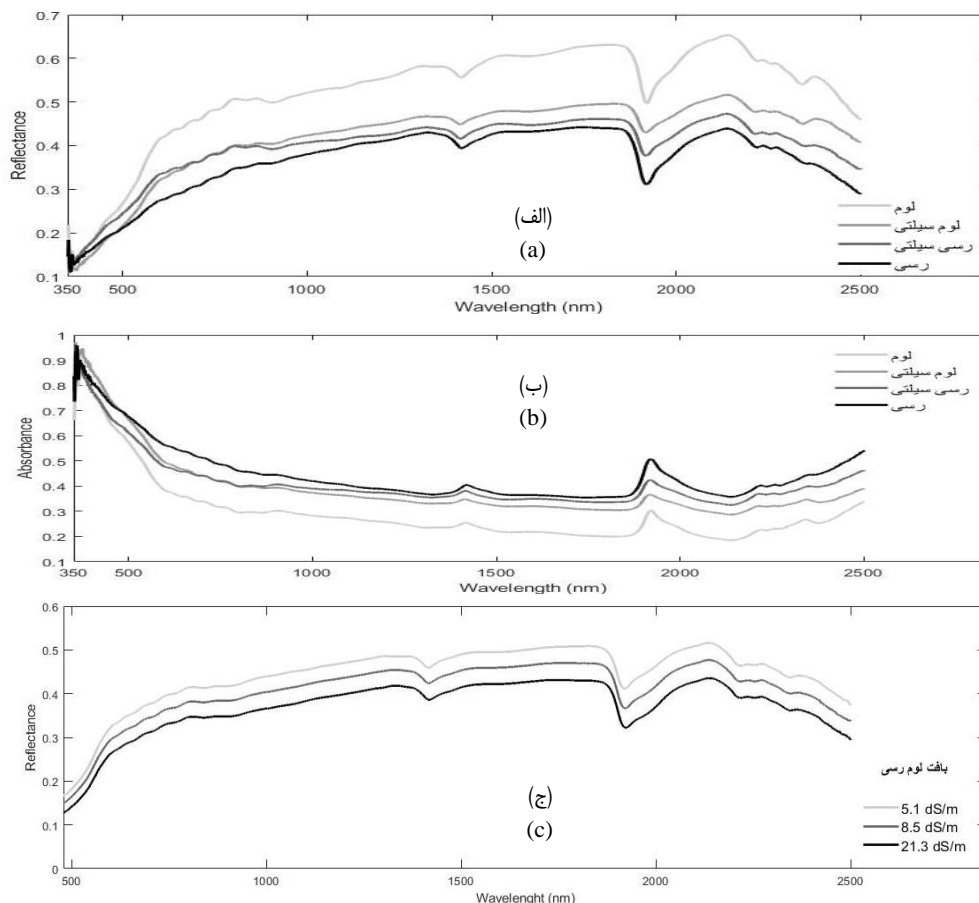
پیش‌بینی مقدار شوری خاک

به منظور پیش‌بینی شوری خاک توسط روش طیف‌سنجی مادون قرمز طیف بازتابی از خاک تهیه شد و سپس طیف جذبی و مشتق طیف بازتابی ایجاد گردید. نمونه‌ای از طیف‌های تهیه شده در نمونه های خاک مورد آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است.

در تحقیق حاضر مدل PLSR در تخمین میزان شوری خاک استفاده شد. ۶۲ درصد داده‌ها جهت واسنجی به مدل معرفی شد و دقت برآورد شوری خاک توسط آماره‌های R^2 و RMSE بررسی شد. پس از اطمینان از کارایی مدل در مرحله واسنجی، مابقی داده‌ها جهت اعتبارسنجی استفاده شدند. مشخصات آماری مجموعه‌های واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۲ آورده شده است. در جدول ۳ مقادیر R^2 و RMSE حاصل از برآورد شوری خاک با استفاده از طیف جذبی، بازتابی و مشتق اول طیف بازتابی توسط مدل PLSR در هر دو

مرحله واسنجی و اعتبارسنجی آورده شده است. شکل ۴ نیز نمودارهای مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده شوری خاک را به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد.

مقادیر ضرایب تبیین در مرحله اعتبارسنجی برای طیف جذبی، بازتابی و مشتق اول طیف بازتابی به ترتیب ۰/۷۴۲، ۰/۷۰۶ و ۰/۶۷۰ و مقادیر RMSE نیز به ترتیب $(۳۳/۹۰$ و $۳۱/۹۶$ و $۲۹/۹۲$ $dS.m^{-1})$ بدست آمد. همان‌طور که از این نتایج و جدول ۳ نیز قابل درک است استفاده از طیف جذبی در پیش‌بینی مقدار شوری خاک نتایج دقیق‌تری را در مقایسه با استفاده از طیف بازتابی نشان داده است، همچنین استفاده از طیف بازتابی نیز گرچه دقت کمتری نسبت به استفاده از طیف جذبی دارد اما نسبت به مشتق اول طیف بازتابی پیش‌بینی بهتری را ارائه کرده است.



شکل ۳- نمونه‌ای از طیف (الف) بازتابی، (ب) جذبی نمونه‌های خاک در بافت‌های مختلف و (ج) طیف بازتابی خاک در سطوح مختلف شوری
Figure 3- a) Reflectance, b) Absorbance spectra in soil samples in different soil textures and c) Reflectance spectra in different soil salinity

جدول ۲- مشخصات آماری داده‌های واسنجی و اعتبارسنجی به وسیله مدل PLSR

Table 2- Statistical properties of calibration and validation data in PLSR model

ویژگی Property	مجموعه واسنجی (۶۲٪ داده‌ها) Calibration set (62% of data)					مجموعه اعتبارسنجی (۳۸٪ داده‌ها) Validation set (38% of data)				
	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانه Median	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانه Median	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean
شوری عصاره اشباع EC _e (dS.m ⁻¹)	1.2	307.5	29.6	59.4	41.5	1.7	297.8	30.7	58.8	45.6
مقدار شن Sand (%)	14.0	66.0	25.0	13.2	28.1	14.0	36.9	21.0	7.5	21.8
مقدار سیلت Silt (%)	22.0	53.0	43.0	7.1	42.6	38.0	50.3	46.0	4.7	46.8
مقدار رس Clay (%)	12.0	42.0	29.0	8.9	29.3	18.0	40.0	36.0	8.2	32.0

جدول ۳- نتایج پیش‌بینی مقدار شوری خاک با استفاده از طیف‌های جذبی، بازتابی و مشتق اول طیف بازتابی به وسیله مدل PLSR

Table 3- Results of soil salinity prediction using absorbance, reflectance and derivative of reflectance spectra by PLSR model

نوع طیف Spectrum type	واسنجی Calibration		اعتبارسنجی Validation	
	R ²	RMSE (dS.m ⁻¹)	R ²	RMSE (dS.m ⁻¹)
جذبی Absorbance	0.83	21.41	0.74	29.92
بازتابی Reflectance	0.81	21.17	0.71	31.96
مشتق اول طیف بازتابی First derivative of reflectance	0.98	5.83	0.67	33.90

مقدار RMSE نیز به ترتیب ۸/۰۹ و ۴۵/۶۳ بود. همچنین نتایج جداول ۳ و ۴ نشان داد که بالاترین R² مربوط به پیش‌بینی شوری خاک در بافت سنگین بود و هر چه بافت خاک سبک‌تر می‌گردید از دقت نتایج پیش‌بینی شده کاسته می‌شد.

تأثیر روش‌های پیش‌پردازش بر دقت پیش‌بینی مدل

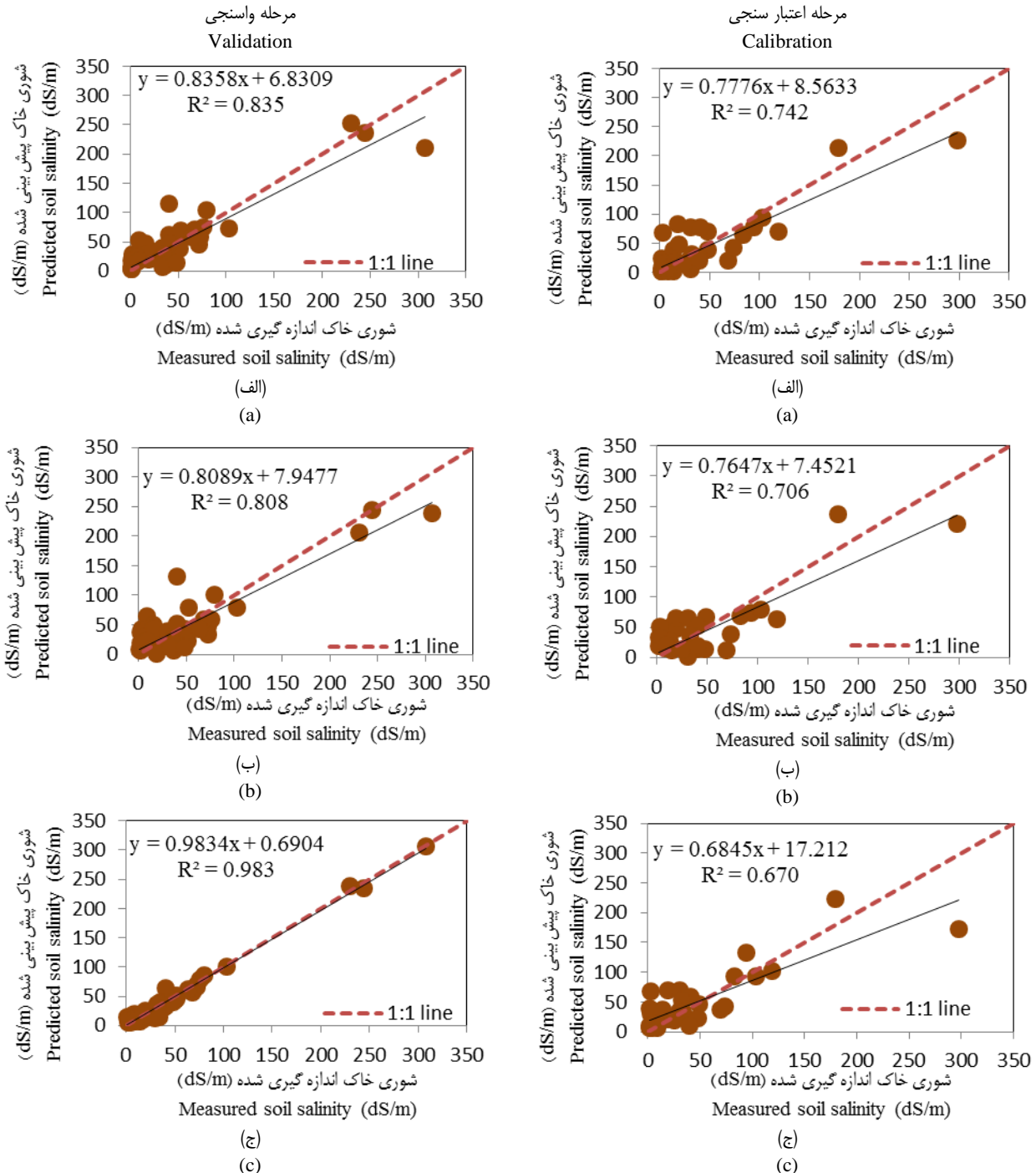
در اعمال روش‌های پیش‌پردازش، همه ۸۹ طیف نمونه‌های خاک به‌عنوان یک مجموعه داده در نظر گرفته شد. در گام اول برای هر کدام از روش‌های پیش‌پردازش ۱۲ بازه همسایگی شامل استفاده از ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۱، ۲۳ و ۲۵ نقطه جهت میانگین‌گیری در نظر گرفته شد و دسته طیف‌های جدید ایجاد گردید. سپس دسته طیف‌های جدید حاصل از این بازه‌های همسایگی در دو دسته واسنجی و اعتبارسنجی به‌عنوان ورودی مدل رگرسیونی PLSR برای پیش‌بینی مقدار شوری خاک معرفی شد و برای هر کدام از این دسته‌ها شاخص‌های R² و RMSE تعیین گردید. بازه‌ای از همسایگی که بیشترین R² و کمترین مقدار RMSE را در برآورد شوری خاک توسط مدل PLSR ایجاد کرده بود در جدول ۵ معرفی

در ادامه به‌منظور بررسی تأثیر بافت خاک بر پیش‌بینی مقدار شوری خاک توسط طیف‌سنجی مادون قرمز نمونه‌های خاک با توجه به درصد ذرات تشکیل دهنده به دو دسته تقسیم شدند، خاک‌های گروه اول عمدتاً دارای بافت سنگین با مقادیر بالای سیلت و رس بودند و گروه دوم شامل خاک‌هایی با بافت سبک‌تر بودند. میانگین درصد ذرات در جدول ۱ ارائه شده است. از بین این نمونه‌های خاک، نمونه‌های A، B، C، J، O، P، Q، R، S، T و W در دسته اول (خاک‌هایی با بافت سنگین) و سایر نمونه‌ها در دسته دوم (خاک‌هایی با بافت سبک) قرار گرفتند. با توجه به آنکه در گام نخست، برآورد شوری خاک با استفاده از طیف جذبی بهترین نتایج شبیه‌سازی را ارائه داده بود، در این مرحله تنها از داده‌های طیف جذبی استفاده گردید.

نتایج برآورد شوری خاک در دو دسته خاک با بافت سبک و سنگین با استفاده از طیف جذبی در جدول ۴ و شکل ۵ آورده شده است. بر اساس نتایج پیش‌بینی مقداری شوری توسط مدل رگرسیونی PLSR مشخص گردید که دقت پیش‌بینی مقدار شوری در خاک‌های با بافت سنگین بیشتر از خاک‌های سبک بوده است بطوری‌که مقدار R² برای بافت خاک سنگین و سبک به ترتیب ۰/۸۳۶ و ۰/۷۵۶ و

پیش‌پردازش در جدول زیر آورده شده و مقدار RMSE متناظر آن نیز ذکر شده است.

شده و R^2 مربوطه به‌عنوان ضریب همبستگی آن روش پیش‌پردازش در نظر گرفته شد. بیشترین مقدار R^2 حاصل از برآورد توسط مدل رگرسیونی PLSR برای شوری خاک برای هر کدام از روش‌های



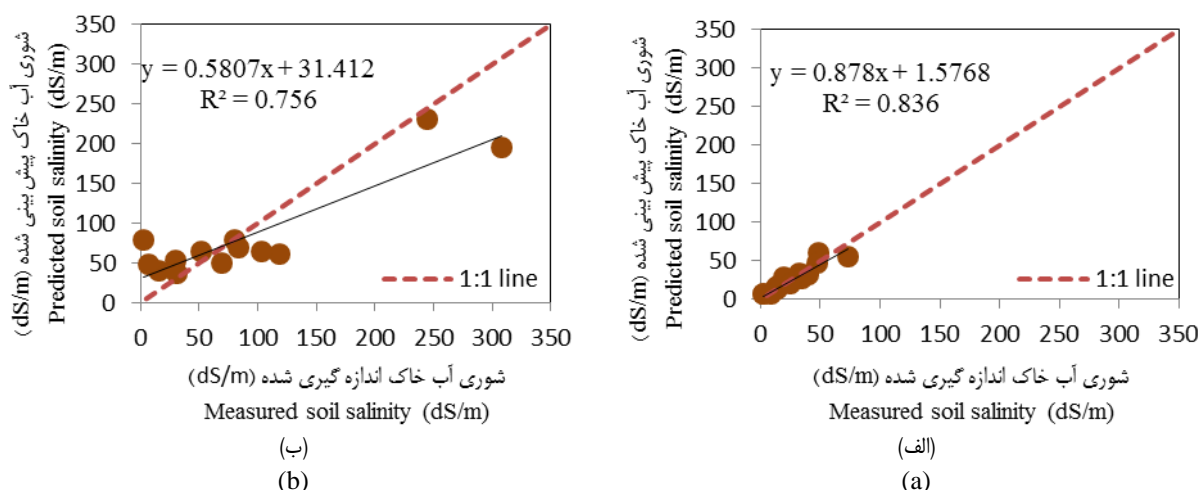
شکل ۴- مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده شوری خاک در مراحل واسنجی و اعتبار سنجی به وسیله مدل PLSR با استفاده از الف) طیف‌های جذبی، ب) طیف‌های بازتابی و ج) مشتق اول طیف بازتابی

Figure 4- Predicted and measured soil salinity in calibration and validation steps by PLSR model using a) absorbance spectra and c) first derivative of reflectance spectra, b) reflectance

جدول ۴- نتایج پیش‌بینی مقدار شوری خاک‌های با بافت سبک و سنگین با استفاده از طیف جذبی به وسیله مدل PLSR

Table 4- Results of soil salinity prediction in fine and coarse textures using PLSR model

بافت خاک Soil texture	واسنجی Calibration		اعتبار سنجی Validation	
	R ²	RMSE (dS.m ⁻¹)	R ²	RMSE (dS.m ⁻¹)
سنگین Coarse	0.96	4.56	0.84	8.09
سبک Fine	0.80	32.90	0.76	45.63

شکل ۵- مقادیر پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از طیف‌های جذبی به وسیله مدل PLSR در بافت خاک (الف) سنگین و (ب) سبک
Figure 5- Predicted soil salinity using of absorbance spectra using PLSR model in soil textures of a) coarse and b) fine

داده‌اند اما میزان تأثیرشان کمتر از روش میانگین متحرک بوده است. به‌طور کلی با بررسی مقادیر R^2 و RMSE حاصل از روش‌های مختلف پیش‌پردازش بر روی هر سه دسته طیف جذبی، بازتابی و مشتق اول طیف بازتابی مشخص گردید که بهترین شیوه پیش‌پردازش طیف‌ها در پیش‌بینی شوری خاک روش میانگین متحرک می‌باشد. استفاده از فیلتر میانه نیز اگرچه نتایج پیش‌بینی شوری خاک را بهبود می‌بخشد اما ضعیف‌ترین نتایج را در بین چهار روش پیش‌پردازش اعمالی ارائه کرده است.

در ادامه به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های پیش‌پردازش در پیش‌بینی شوری خاک در بافت‌های سبک و سنگین خاک توسط طیف جذبی، طیف‌های حاصل از نمونه‌های خاک در همان ۱۲ بازه همسایگی به روش‌های یاد شده مورد پردازش قرار گرفته و سپس داده‌های پردازش شده در دو دسته واسنجی و اعتبارسنجی به مدل PLSR معرفی شده و ضریب تبیین و مقدار RMSE در پیش‌بینی مقدار شوری خاک به دست آمد (جدول ۶).

نتایج حاصله در این جدول را می‌توان از جهات مختلف بررسی نمود، در گام نخست با توجه به ضریب تبیین و مقدار RMSE حاصل از برآورد طیف‌های بدون اعمال پیش‌پردازش مشخص گردید که چنانچه داده‌ها بدون پیش‌پردازش در مدل‌سازی وارد شوند، استفاده از طیف جذبی بهترین نتیجه و استفاده از طیف بازتاب ضعیف‌ترین نتیجه را در پیش‌بینی مقدار شوری خاک به دست می‌دهد. از طرف دیگر در بررسی میزان اثربخشی روش‌های پیش‌پردازش اعمالی می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که میزان تأثیر روش‌های مختلف به این بستگی دارد که بر روی چه طیفی اعمال می‌شوند، بطوری‌که اعمال یا عدم اعمال روش‌های پیش‌پردازش تأثیری بر بهبود ضریب همبستگی مدل‌سازی طیف بازتابی نداشته است (جدول ۵) اما کیفیت نتایج برآورد با مشتق اول طیف بازتابی را اندکی بهبود داده‌اند. بطوری‌که در پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از مشتق اول طیف بازتابی بیشترین R^2 در استفاده از طیف‌های پردازش شده با روش‌های میانگین متحرک، فیلتر گوسی و فیلتر ساویتزکی-گالای بدست آمد. سایر روش‌های پیش‌پردازش نیز اگرچه نتایج پیش‌بینی را بهبود

جدول ۵- تأثیر روش‌های مختلف پیش‌پردازش طیفی بر دقت پیش‌بینی شوری خاک توسط مدل PLSR
 Table 5- Effect of various pre-processing methods on accuracy of soil salinity prediction using PLSR model

روش پیش‌پردازش Pre-processing method	نوع طیف Type of spectrum	نتایج پیش‌بینی شوری Results of soil salinity prediction		
		R ²	RMSE (dS.m ⁻¹)	اندازه پنجره فیلتر Segment size
بدون پیش‌پردازش Without pre-processing	جذبی Absorbance	0.78	27.32	-
	بازتابی Reflectance	0.71	31.95	-
	مشتق اول طیف بازتابی First derivative of reflectance spectra	0.67	0.74	-
میانگین متحرک Moving mean	جذبی Absorbance	0.73	30.81	25
	بازتابی Reflectance	0.71	31.96	3
	مشتق اول طیف بازتابی First derivative of reflectance spectra	0.78	27.85	25
فیلتر گاوسی Gaussian filter	جذبی Absorbance	0.74	29.97	13
	بازتابی Reflectance	0.71	31.95	3
	مشتق اول طیف بازتابی First derivative of reflectance spectra	0.76	28.56	25
فیلتر میانه Median filter	جذبی Absorbance	0.74	29.94	25
	بازتابی Reflectance	0.71	31.93	15
	مشتق اول طیف بازتابی First derivative of reflectance spectra	0.73	30.72	21
فیلتر ساویتزکی-گلای Savitzky-Golay filter	جذبی Absorbance	0.74	30.19	15
	بازتابی Reflectance	0.71	31.96	3
	مشتق اول طیف بازتابی First derivative of reflectance spectra	0.76	28.73	11

انجام آزمایشات و اطمینان از صحت نتایج می‌توان بیان داشت حضور رس در نمونه‌های خاک تأثیر زیادی بر دقت پیش‌بینی‌ها می‌گذارد. رس با دارا بودن سطح ویژه بالا و ظرفیت تبادل کاتیونی سبب جذب کردن بخشی از شوری خاک می‌گردد و بر خاصیت بافری خاک تأثیر می‌گذارد. افزایش غلظت نمک در نمونه خاک سبب ایجاد دانه‌بندی و تشکیل بلورهای نمک می‌گردد. زمانی که بلورهای نمک وارد فاز محلول می‌شوند، بسته به نوع کانی‌های خاک، غلظت نمونه و نوع املاح جذبی واکنش ایجاد شده تغییر خواهد کرد، برای مثال کلسیم جذب و سدیم آزاد می‌شود. میزان جذب کلسیم نیز بستگی به میزان رطوبت، نوع املاح، غلظت املاح و نوع کانی دارد.

بر طبق نتایج ارائه شده در جدول ۶ پیش‌بینی شوری خاک در خاک‌های با بافت سنگین بسیار دقیق‌تر از پیش‌بینی‌های مربوط به خاک‌های با بافت سبک است. نکته دیگری که از این جدول به دست می‌آید این است که اعمال روش‌های پیش‌پردازش بر کیفیت نتایج شبیه‌سازی شوری در بافت خاک سنگین مؤثر بوده و نتایج شبیه‌سازی شوری را بهبود داده‌اند، بطوری که بهترین روش‌های پیش‌پردازش طیف جذبی در پیش‌بینی شوری خاک به ترتیب روش‌های میانگین متحرک و فیلتر ساویتزکی- گلای بوده است درحالی‌که روش‌های مختلف پیش‌پردازش تأثیری بر بهبود کیفیت نتایج شبیه‌سازی شوری در خاک‌هایی با بافت سبک نداشت. بدیهی است که بافت خاک عاملی مؤثر بر دقت پیش‌بینی شوری خاک می‌باشد که در توضیح علت اختلاف نتایج پیش‌بینی در دو بافت خاک با توجه به دقت بالا در

جدول ۶- تأثیر روش‌های مختلف پیش‌پردازش بر دقت پیش‌بینی شوری خاک‌های با بافت سبک و سنگین توسط مدل PLSR
 Table 6- Effect of various pre-processing methods on accuracy of soil salinity prediction in coarse and fine soil textures using PLSR model

بافت خاک Soil texture	سبک Fine	نتایج پیش‌بینی شوری Results of soil salinity prediction				
روش پیش‌پردازش Pre-processing method	اندازه پنجره فیلتر Segment size	RMSE (dS.m ⁻¹)	R ²	اندازه پنجره فیلتر Segment size	RMSE (dS.m ⁻¹)	R ²
بدون پیش‌پردازش Without pre-processing	-	45.68	0.756	-	8.09	0.836
میانگین متحرک Moving mean	3	45.68	0.756	25	7.69	0.852
فیلتر گوسی Gaussian filter	3	45.68	0.756	25	7.66	0.853
فیلتر میانه Median filter	21	45.63	0.756	15	7.99	0.84
فیلتر ساویتزکی-گلای Savitzky-Golay filter	3	45.69	0.756	15	7.61	0.855

جهت کاهش نویز اعمال شده بودند در دو دسته واسنجی و اعتبار سنجی به مدل PLSR وارد شده و برای مقادیر پیش‌بینی شده شوری خاک مقادیر R^2 و RMSE محاسبه گردید. با توجه به این ضرایب مشخص گردید استفاده از طیف جذبی برای پیش‌بینی شده شوری نتایج دقیق‌تری را نسبت به طیف بازتابی و مشتق اول طیف بازتابی ارائه می‌دهد بطوری که ضریب تبیین برای طیف جذبی، طیف بازتابی و مشتق اول طیف بازتابی به ترتیب 0.742 ، 0.706 و 0.670 بود. همچنین مشخص گردید که نتایج پیش‌بینی شوری در خاک‌های با بافت سنگین بسیار دقیق‌تر از نتایج پیش‌بینی در خاک با بافت سبک می‌باشد (R^2 به ترتیب برابر 0.836 و 0.756). بررسی تأثیر روش‌های مختلف هموارسازی به‌عنوان روش‌های پیش‌پردازش نیز مشخص نمود که استفاده از روش‌های مختلف پیش‌پردازش دقت پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از طیف‌های جذبی و مشتق اول طیف بازتاب را بهبود می‌دهد بطوری که پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از داده‌های طیفی پردازش شده توسط روش‌های میانگین متحرک و فیلتر ساویتزکی-گلای بهترین نتایج را ارائه نمود اما استفاده از این روش‌ها تأثیری بر پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از طیف بازتابی نداشت.

در شرایطی که نمونه نیز دارای رطوبت باشد، در اثر وجود رطوبت امکان قرارگیری یون‌ها در کنار یکدیگر پیش آمده و احتمال تشکیل بلور رخ می‌دهد که به بلور ایجاد شده کانی ثانویه گفته می‌شود. تشکیل کانی، میزان شوری و ظرفیت تبادل کاتیونی بصورت پیوسته در حال تبدیل و انتقال به یکدیگر می‌باشند. اما در بافت‌های سبک که ظرفیت تبادل کاتیونی کمتری دارند، خاک توانایی کمتری برای واکنش با نمک داشته و نمک‌ها بیشتر در فاز رسوب در خاک قرار می‌گیرند. اما تشخیص این نکته که نتایج پیش‌بینی‌های طیف‌سنجی در کدام دسته از بافت خاک مؤثرتر است، به علت تفاوت رفتار نمک در حالت‌های رسوب و بلور، امری پیچیده می‌باشد که می‌تواند به عنوان موضوعی جهت تحقیقات آتی در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی کارایی روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز در پیش‌بینی مقدار شوری خاک طیف بازتابی نمونه‌های خاک در گروه‌های متنوعی از بافت‌های سبک و سنگین خاک مزرعه جمع‌آوری شد و سپس طیف‌های جذبی و مشتق اول طیف بازتابی بر اساس روابط موجود به دست آمد. طیف‌های جذبی، بازتابی و مشتق اول طیف بازتابی پس از اعمال روش‌های مختلف هموارسازی که به

منابع

- Babaeian E., Homae M., and Norouzi A.A. 2014. Deriving and validating parametric spectrotransfer functions for estimating soil hydraulic properties in VIS-NIR-SWIR range. Journal of Water and Soil Resources Conservation 3(3): 21-36. (In Persian)
- Debaene G., Niedzwiecki J., and Pecio A. 2010. Visible and near-infrared spectrophotometer for soil analysis:

- preliminary results. *Polish Journal of Agronomy* 3: 3-9.
- 3- Eijsackers H. 2004. Leading concepts towards vital soil. In: *Vital Soil: Function, Value, and Properties* (eds P. Doelman & H. Eijsackers), pp. 1–20. *Developments in Soil Science*, 29. Elsevier, Amsterdam.
 - 4- Farifteh J., Van der Meer F., Atzberger C., and Carranza E.J.M. 2007. Quantitative analysis of salt-affected soil reflectance spectra: A comparison of two adaptive methods (PLSR and ANN). *Remote Sensing of Environment* 110(1): 59-78.
 - 5- Gras J.P., Barthès B.G., Mahaut B., and Trupin S. 2014. Best practices for obtaining and processing field visible and near infrared (VNIR) spectra of topsoil. *Geoderma* 215: 126–134.
 - 6- Guerrero C., Rossel R.A.V., and Mouazen A.M. 2010. Special issue 'Diffuse reflectance spectroscopy in soil science and land resource assessment'. *Geoderma* 158(1): 1-2.
 - 7- Hong Y., Yu L., Chen Y., Liu Y., Liu Y., Liu Y., and Cheng H. 2017. Prediction of soil organic matter by VIS–NIR spectroscopy using normalized soil moisture index as a proxy of soil moisture. *Remote Sensing* 10(1): 28.
 - 8- 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(2): 179-188.
 - 9- Khayamim F., Khademi H., Stenberg B., and Wetterlind J. 2015. Capability of vis-NIR Spectroscopy to Predict Selected Chemical Soil Properties in Isfahan Province. *Journal of Water and Soil Science, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 19(72): 81-92. (In Persian)
 - 10- Liu W., Baret F., Gu X., Tong Q., Zheng L., and Zhang B. 2002. Relating soil surface moisture to reflectance. *Remote Sensing of Environment* 81: 238–246.
 - 11- Liu Y., Pan X., Wang C., Li Y., and Shi R. 2015. Predicting soil salinity with Vis–NIR spectra after removing the effects of soil moisture using external parameter orthogonalization. *PloS one*, 10(10), e0140688.
 - 12- McCarty G.W., Reeves J.B., Reeves V.B., Follett R.F., and Kimble J. M. 2002. Mid-infrared and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for soil carbon measurement. *Soil Science Society of America Journal* 66(2): 640-646.
 - 13- Mousavi F., Abdi E., Ghalandarzadeh A., Bahrami H., Majnounian B., and Mirzaei S. 2018. Estimate of soil cation exchange capacity using reflectance spectrometry. *Journal of Forest Research and Development* 4(3): 347-361. (In Persian)
 - 14- Nawar S., Buddenbaum H., and Hill J. 2014. Estimation of soil salinity using three quantitative methods based on visible and near-infrared reflectance spectroscopy: a case study from Egypt. *Arabian Journal of Geosciences* 1-14.
 - 15- Ranjbar R., Owliaie H., Ranjbar H., and Adhami E. 2018. Change detection of soil salinity using remote sensing in Zahed Shahr, Fars province. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* 9(3): 115-128.
 - 16- Rinnan Å., van den Berg F., and Engelsen S.B. 2009. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 28(10): 1201-1222.
 - 17- Savitzky A., and Golay M.J. 1964. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical Chemistry* 36(8): 1627-1639.
 - 18- Schneider W. E., and Young R. 1997. Spectroradiometry methods. Application note (A14), 49.
 - 19- Stenberg B., Rossel R.A.V., Mouazen A.M., and Wetterlind J. 2010. Chapter five-visible and near infrared spectroscopy in soil science. *Advances in Agronomy* 107: 163-215.
 - 20- Summers D., Lewis M., Ostendorf B., and Chittleborough D. 2011. Visible near-infrared reflectance spectroscopy as a predictive indicator of soil properties. *Ecological Indicators* 11(1): 123-131.
 - 21- Vasques G.M., Grunwald S., and Sickman J.O. 2008. Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near-infrared spectra. *Geoderma* 146 (1–2): 14–25.
 - 22- Viscarra Rossel R.V., Walvoort D.J.J., McBratney A.B., Janik L.J., and Skjemstad J.O. 2006a. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* 131(1–2): 59–75.
 - 23- Wander M.M., and Drinkwater L.E. 2000. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. *Applied Soil Ecology* 15: 61–73.
 - 24- Wang Q., Li P., and Chen X. 2012. Modeling salinity effects on soil reflectance under various moisture conditions and its inverse application: A laboratory experiment. *Geoderma* 170: 103-111.
 - 25- Wang J., Ding J., Abulimiti A., and Cai L. 2018. Quantitative estimation of soil salinity by means of different modeling methods and visible-near infrared (VIS–NIR) spectroscopy, Ebinur Lake Wetland, Northwest China. *PeerJ*, 6, e4703.
 - 26- Weng Y., Gong P., and Zhu Z. 2008. Reflectance spectroscopy for the assessment of soil salt content in soils of the Yellow River Delta of China. *International Journal of Remote Sensing* 29(19): 5511-5531.
 - 27- Workman J. 2004. Near-infrared spectrophotometers. *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture, (nearinfraredspe)*, 11-31.
 - 28- Xian-Li X.I.E., Xian-Zhang P.A.N., and Bo S.U.N. 2012. Visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for prediction of soil properties near a copper smelter. *Pedosphere* 22(3): 351-366.

Analysis of Infrared Spectroscopy and Pre-processing Methods in Soil Salinity Prediction

S. Fahandej Saadi¹- M. Noshadi^{2*}

Received: 27-08-2018

Accepted: 28-01-2019

Introduction: Although the soil salinity as an effective factor on soil and water management is typically assessed by measuring the soil electrical conductivity (EC_e), this conventional laboratory method is time-consuming and costly. Therefore, near-infrared spectroscopy (NIR) as a fast, cheap and non-destructive method to assess soil salinity level can be considered as a valuable alternative method. Reviews of literature on the application of NIR spectroscopy for soil salinity prediction have shown that there is no sufficient information about the effect of soil texture on results accuracy; therefore, in this study the soil salinity was predicted under different soil salinity levels and various soil textures. The effect of different pre-processing methods was also investigated to improve the predicted soil salinity.

Materials and Methods: Twenty three surface soil samples were collected from different places in Fars province, then; some soil properties such as percentage of particles size and EC_e were measured. These samples were artificially salted by adding the water in different salinity levels to the soil samples. The EC_e of these soils were between 2.1 to 307.5 dS/m and then all samples dried to reach the field capacity level. Soil reflectance spectra were obtained in 350-2500 nm wavelength range. The absorbance and derivative of reflectance spectra were calculated based on the reflectance spectra. In order to determine the effect of smoothing technique, as a pre-processing method, 4 various methods (moving average, Gaussian, median and Savitzky-Golay filters) in 12 different segment sizes (3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23 and 25) were applied and the processed spectra introduced to Partial Least Square Regression (PLSR) model to predict soil salinity in two calibration and validation steps. At the first step, the soil salinity was predicted for all samples using of reflectance, absorbance and derivative of reflectance spectra under 4 pre-processing methods and 12 segment sizes. According to the R^2 and RMSE indices, the best type of spectra, the effect of various pre-processing methods and the best segment size in prediction of soil salinity were determined as absorbance spectra, moving average and Savitzky-Golay filters for segment size of 25 and 15, respectively. In the second step, the effect of soil texture on prediction accuracy was investigated. For this purpose, soil samples were divided into the coarse and fine textures and soil salinity was predicted for each of these groups using different pre-processing methods and different segment sizes.

Results and Discussion: In prediction of soil salinity by absorbance, reflectance and derivative of reflectance spectra, the R^2 values in validation step were 0.742, 0.706 and 0.670; and RMSE values were 29.92, 31.96 and 33.9 ($dS \cdot m^{-1}$), respectively. The absorbance spectra were the best spectra type in prediction of soil salinity. Therefore, in next step, absorbance spectra were used only for predicting the salinity in fine and coarse soil textures. Results showed that the prediction in coarse texture was better than that of the fine texture ($R^2=0.836$ and $R^2=0.756$, respectively). It was also revealed that the highest R^2 occurred in coarse texture and the accuracy of prediction was reduced in fine textures. The results showed that the performance of different pre-processing methods is related to the spectrum type. Although the pre-processing methods had no positive effect in using of reflectance spectra, but it improved the predicted values which were obtained using of absorbance and derivative of reflectance spectra. The best results were occurred when the absorbance spectra were used. Moving average method increased the accuracy of prediction more than the other pre-processing methods, and according to the results this method, for the segment size of 25, was the best technique in soil salinity prediction.

Conclusion: According to the R^2 and RMSE indices, the prediction of soil salinity by absorbance spectra was more accurate than the prediction using reflectance and derivative of reflectance spectra ($R^2=0.742$, 0.706 and 0.670, respectively). Although the predicted soil salinity in coarse soils were more accurate than that in fine soils. Using of absorbance spectra to predict the soil salinity in all soil textures was efficient. The results showed that using of pre-processing methods improved the soil salinity prediction by absorbance and derivative of reflectance spectra, and the moving average and Savitzky-Golay filter were the best pre-processing methods.

Keywords: Near-infrared spectroscopy, Pre-processing, Soil salinity, Soil texture

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

(*- Corresponding Author Email: noshadi@shirazu.ac.ir)