اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

برآورد برخی از ویژگی‌های خاک‌های جزیره هرمز به کمک طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز نزدیک

روح اله دستورانی[۱]، حسینعلی بهرامی[*۲]،

۱- **دانشجوی کارشناسی ارشد؛ گروه خاکشناسی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران؛ ایران**
۲- دانشیار گروه خاک‌شناسی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران؛ ایران

چکیده :

تعیین خصوصیات خاک نقش مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی منطقه دارد و از طرفی تعیین این خصوصیات با استفاده از روش‌های معمول آزمایشگاهی زمان‌بر و هزینه‌بر است. هدف از این تحقیق برآورد برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های جزیره هرمز با استفاده از بازتاب‌های طیفی مرئی و مادون‌قرمز نزدیک (۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر) به کمک روش‌های رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) بود. به این منظور تعداد ۵۷ نمونه خاکجمع‌آوری و پس از اندازه گیری طیف های هر نمونه خاک،خصوصیاتی همچون pH و هدایت الکتریکی (EC) و مقدار کربن آلی در آزمایشگاه به روش‌های معمول آزمایشگاهی اندازه گیری شد. سپس ارتباط بین داده‌های طیفو ویژگی‌های مذکور با استفاده از نرم افزار Unscramber بررسی شد. با استفاده از آماره های همچون ضریب تبیین (r^2) و ریشه میانگین مربعات خطا RMSE نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از راستی‌آزمایی مدل، مقدار ضریب r^2 برای کربن آلی، pH و EC د به ترتیب برابر با ۰/۴۴، ۰/۵۱ و ۰/۹۸ به دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که برآورد ویژگی‌های مذکور خاک به روش طیف سنجی می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های غیرمستقیم و کم‌هزینه مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی : جزیره هرمز، طیف سنجی مرئی-مادون قرمز، رگرسیون حداقل مربعات، کربن آلی

نویسنده مکاتبه کننده : حسینعلی بهرامی
آدرس پستی : : اتوبان تهران - کرج، کیلومتر ۱۷، بعد از پیکان شهر، بلوار پژوهش، دانشکده کشاورزی، صندوق پستی: ۳۳۶-۱۴۱۱۵
تلفن : ۰۹۱۵۹۷۱۹۶۰۸:
آدرس پست الکترونیک: bahramih@modares.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه کاربرد اطلاعات مکانی باهدف پایش محیط‌زیست، مدل‌سازی و مدیریت مکانی خاک بسیار گسترده است استفاده از روش‌هایی که سریع بوده و منجر به صرفه‌جویی در زمان و هزینه در آنالیزهای خاک می‌گردد در حال افزایش است [۱]. به همین دلیل طیف‌سنجی مرئی و مادون‌قرمز نزدیک به‌عنوان روش جایگزین و گاهی اوقات کامل‌تر به‌جای روش‌های آنالیز معمول به‌کاربرده می‌شود. از این روش برای نخستین بار در سال ۱۹۷۰میلادی برای تعیین مقدار رطوبت خاک استفاده شد[۲].

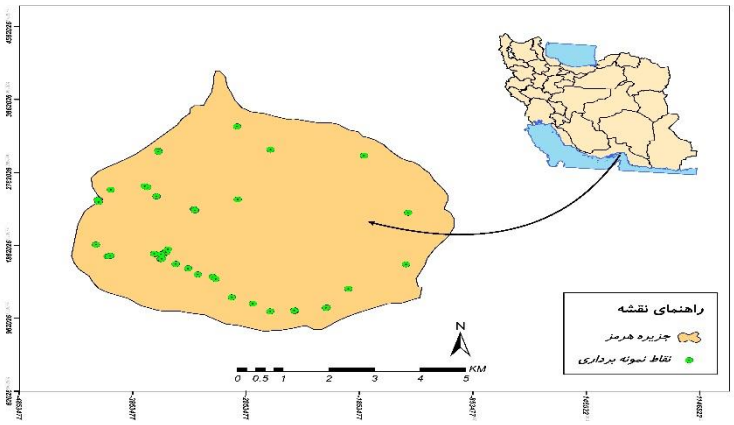
در دهه‌های اخیر استفاده از روش بازتاب‌های طیفی در علوم مختلف از قبیل کشاورزی و داروسازی به‌عنوان روش آنالیزی سریع و قوی توسعه‌یافته است [۳]. به‌ویژه در خاک‌شناسی از این روش در اندازه‌گیری خصوصیات مرتبط با کربن آلی و میزان رطوبت خاک، شامل کربن و نیتروژن آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک استفاده شده [۴]. از مهم‌ترین مزایای تکنیک طیف‌سنجی مرئی- مادون‌قرمز نزدیک این است که این روش غیر مخرب، سریع، ارزان، دارای حداقل آماده‌سازی نمونه‌ها و بدون ضرر و تخریب برای محیط‌زیست می‌باشد [۱]. در محدوده مادون‌قرمز نزدیک تابش توسط پیوندهای شیمیایی مختلف شامل C-H، N-H و O-H موجود در ترکیبات شیمیایی جذب می‌شوند درنتیجه طیف بازتابی مادون قرمز نزدیک دارای اطلاعاتی در مورد ترکیبات آلی موجود در خاک می‌باشد. نتایج طیف‌های مادون قرمز نزدیک از لایه‌های فراتون و ترکیبات مربوط به ارتعاشات پایه هر باند شیمیایی در محدوده مادون‌قرمز میانی بیشتر جذب شده‌اند [۵].

بااین‌حال با توجه به همپوشانی باندی اطلاعات مادون قرمز نزدیک نمی‌تواند مستقیماً از روی طیف‌های به‌دست‌آمده تفسیر شود بلکه باید روی بازتاب‌های طیفی، کالیبراسیون همراه با تکنیک کمومتریک صورت پذیرد تا بتوان از تعدادی از طول موج‌ها برای پیش‌بینی خصوصیات ویژه خاک استفاده کرد[۶]. معمولاً از طیف‌های مادون قرمز نزدیک برای ایجاد مدل رگرسیونی که حاوی اطلاعات مهم مربوط به چند متغیر، متمرکزشده و بعد از بهینه‌سازی بهترین رابطه با ویژگی مورد پیش‌بینی ایجاد می‌گردد. در دهه‌های اخیر تحقیقات بسیاری در رابطه با یافتن ارتباط مشخص بین اطلاعات طیفی خاک در دامنه مرئی و مادون‌قرمز نزدیک و خصوصیات خاک انجام‌شده است [۷]. ازجمله خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک که با استفاده از روش آنالیز چند متغیره و به‌وسیله بازتاب‌های مرئی و مادون‌قرمز نزدیک پیش‌بینی‌شده است، می‌توان به تخمین اکسیدهای آهن دو و سه‌ظرفیتی [۸]، کربن آلی و غیر آلی، نیتروژن، نسبت C/N، [۹]، ظرفیت تبادل کاتیونی [۱۰]، میزان رطوبت خاک [۱۱]، فسفر خاک [۱۲] و مقدار رس خاک[۱۳]اشاره کرد.

در تحقیقی که با عنوان کارایی طیف‌های مرئی، مادون‌قرمز نزدیک، مادون‌قرمز میانی در پیش‌بینی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک انجام شد به این نتیجه رسیدند که تمام خصوصیات خاک که به‌وسیله بازتاب‌های طیفی پیش‌بینی‌شده (۵۴٪ طیف مادون‌قرمز میانی، ۳۰٪ طیف مادون‌قرمز نزدیک، ۴۰٪ طیف مرئی- مادون‌قرمز نزدیک) دارای R^2 بزرگ‌تر از ۰/۸ می‌باشد، همچنین آن‌ها نشان دادند که بهترین محدوده طیفی برای پیش‌بینی خصوصیات فیزیکی خاک محدوده مادون قرمز میانی و نزدیک می‌باشد[۱۴]. همچنین با بررسی خصوصیات خاک با استفاده از طیف‌های مرئی و مادون‌قرمز نزدیک از ۱۱۲ نمونه خاک در منطقه اتیوپی، خصوصیاتی مثل جزء کربن آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، کلسیم، pH و درصد اندازه ذرات رس را با دقت قابل قبولی($R2 > 0.7$)،(RPD)[1] ≥ 2 پیش‌بینی کردند [۱۵].

[1] Relative percent deviation

با توجه به این که تاکنون مطالعه‌ی زیادی مبنی بر استفاده از روش طیف سنجی مرئی -مادون قرمز نزدیک در برآورد ویژگی های خاک های کشورمان انجام نشده است، این پژوهش با هدف بررسی توانایی روش طیف سنجی مرئی -مادون قرمز نزدیک در برآورد مقدارکربن آلی، pH و هدایت الکتریکی خاک های سطحی جزیره هرمز انجام شد..



شکل ۱ – منطقه مورد مطالعه جزیره هرمز

۲- مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه جزیره هرمز در استان هرمزگان به وسعت ۴۲ کیلومتر مربع می باشد. نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی و از کاربری‌های مختلف با توپوگرافی‌های متنوع انجام شد با توجه به شرایط و خصوصیات منطقه درمجموع ۵۷ نمونه خاک جمع‌آوری شد، پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و هوا خشک‌کردن نمونه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری مقدار ماده آلی به روش والکی – اندازه‌گیری شد سپس میزان pH و EC خاک به ترتیب با استفاده از pH متر و EC سنج تعیین شد. سپس نمونه‌های خاک درون ظرف‌های پتردیش شیشه‌ای قرار گرفت و پس از انتقال به اتاق تاریک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر شرکت ASD آمریکا، آنالیز طیفی خاک‌های موردنظر در محدوده ۲۵۰۰-۳۵۰ مورد مطالعه قرار گرفت. در آزمایشگاه با استفاده از اسپکترومتر مرئی- مادون‌قرمز نزدیک بازتاب انعکاسی هر یک از خاک‌ها ثبت شد در این روش با استفاده از دستگاه پروب برای ثبت بازتاب استفاده شد و پس از برداشت هر ۵ نمونه دستگاه اسپکترومتر با استفاده از صفحه سفید مبنا واسنجی شد. پس‌ازاینکه برای هر نمونه ۱۰ تکرار ثبت شد سپس با استفاده از نرم‌افزار viewSpec از نمودارهای به‌دست‌آمده میانگین‌گیری شد و پس‌ازآن نمودارها به‌صورت عدد، جهت انجام پیش‌پردازش‌های طیفی در نرم‌افزار اکسل ذخیره شد. به دلیل اینکه اندازه‌گیری طیف‌ها تحت تأثیر عوامل ناخواسته شامل پخشیدگی نور، جابجایی حس‌گر در خاک و آلودگی پروب به گردوغبار قرار می‌گیرد لذا پیش‌پردازش داده‌های طیفی در بهبود کالیبراسیون خواهد داشت [۱]. پیش‌پردازش داده‌های طیفی جهت حذف و یا کم کردن نویز طیف‌ها می‌باشد. این تأثیرات شامل تغییر خط زمینه، تغییرات شیب و تغییرات در صاف کردن منحنی‌ها می‌باشد. پس از تبدیل مقادیر انعکاس به جذب، انواع روش‌های پیش‌پردازش شامل فیلتر میانه، فیلتر ساویتزکی (Savitzky) و گلای (Golay)، نرمال‌سازی بر اساس میانگین،متغیر نرمال استاندارد (SNV)، تصحیح پخشیده چندگانه (MSC)، مشتق اول به همراه فیلتر ساویتزکی و گلای و مشتق دوم به همراه فیلتر ساویتزکی و گلای انجام شدند. پس از پیش‌پردازش داده‌ها، از روش رگرسیون حداقل مربعات (PLSR)، برای پیش‌بینی پارامترهای موردنظر استفاده شد. بدین منظور ابتدا مجموعه داده‌ها به‌صورت تصادفی به دو گروه کالیبراسیون و اعتبار سنجی تقسیم شد. تعداد نمونه‌های کالیبراسیون و اعتبار سنجی به ترتیب ۳۴ و ۲۳ نمونه بود. درنهایت بهترین مدل برازش داده‌شده بر اساس حداقل ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSEP)[۲].معرفی شد [۱۶]. به‌علاوه پیش‌بینی مقادیر پارامتر موردنظر برای گروه اعتبار

[2] Root Mean Square Error of Prediction

سنجی انجام‌شده و دقت مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. مراحل توصیف‌های آماری متغیرها، پیش‌پردازش طیف‌ها و مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Unscramble x 10.3 انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- توصیف آماری ویژگی‌های خاک

داده‌های آماری مربوط به خصوصیات اندازه‌گیری شده در دو گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی در جدول ۱ آمده است. میانگین مقدار کربن آلی، pH و EC در گروه کالیبراسیون ۰/۵۵، ۳/۹۰(تبدیل داده) و ۷/۱۸ بوده و در حالت اعتبارسنجی این مقادیر تقریباً با داده‌های کالیبراسیون یکسان است.و از طرفی آماره انحراف معیار نیز برای گروه کالیبراسیون ۰/۲۴، ۲/۲۲ و ۰/۴۹ می‌باشد که مثل حالت قبل، حالت اعتبار سنجی مشابه حالت کالیبراسیون می‌باشد. که با توجه به داده‌های ذکرشده مشاهده می‌شود که اعتبارسنجی نماینده خوبی از مجموعه داده‌ها می‌باشد. مقدار متوسط کربن آلی ۰/۵۵ درصد به دست آمد که این مقدار تأثیر زیادی بر رفتار طیفی خاک نداشته است [۱].

سه خصوصیت موردراندازه‌گیری ازنظر وضعیت نرمال بودن به روش کلموگروف- اسمینروف در سطح ۵ درصد موردبررسی قرار گرفت.

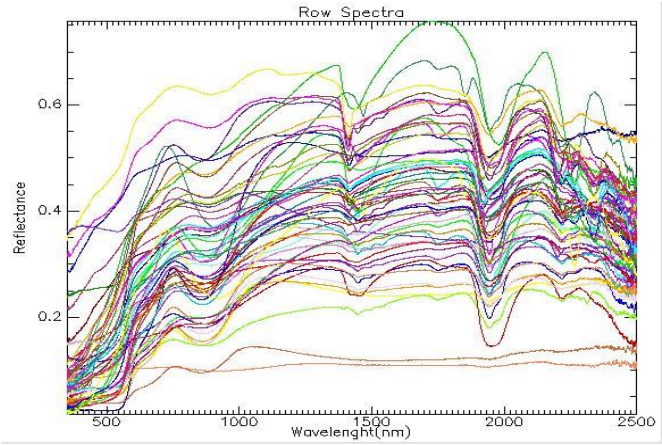
جدول ۱ .توصیف آماری ویژگی های خاک در دو گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی

	کالیبراسیون				اعتبار سنجی			
ویژگی خاک	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
کربن آلی	۰/۰۰	۱/۱۷	۰/۵۵	۰/۲۴	۰/۲۵	۱/۰۶	۰/۵۲	۰/۲۰
هدایت الکتریکی	۰/۳۸	۸/۲۲	۳/۹۰	۲/۲۲	-۰/۲۰	۸/۷۳	۳/۹۱	۲/۲۱
pH	۶/۱۸	۸/۶۰	۷/۱۸	۰/۴۹	۶/۱۲	۸/۳۹	۷/۲۰	۰/۴۶

۳-۲- خصوصیات بازتابی خاک‌ها

شکل ۲- طیف خام مربوط به نمونه‌های خاک را نشان می‌دهد. شکل کلی همه طیف‌ها در نمونه‌های خاک تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد. به صورتی که نقاط مربوط به جذب آب و رس در طیف‌ها مشاهده می‌شود. نقاط مربوط به جذب آب در ۱۴۰۰ و ۱۹۰۰ نانومتر دیده می‌شود که به علت فرکانس ارتعاشات پایه مولکول آب شامل کشش متقارن و نامتقارن پیوند O-H می‌باشد [۱۷] نقاط مربوط به جذب رس ۲۲۰۰ نانومتر است.

وجود کانی‌های مختلف در خاک در جذب نور در محدوده‌ی مرئی- مادون‌قرمز نزدیک تأثیرگذار است. و این اثر به دلیل وجود مولکول‌های آب ساختمانی، گروه‌های هیدروکسیل، چارچوب سیلیکات و کاتیون‌های اکتاهدرال، تتراهدرال و بین لایه‌ای است [۱۸].



شکل ۲- طیف خام مربوط به نمونه های خاک جزیره هرمز

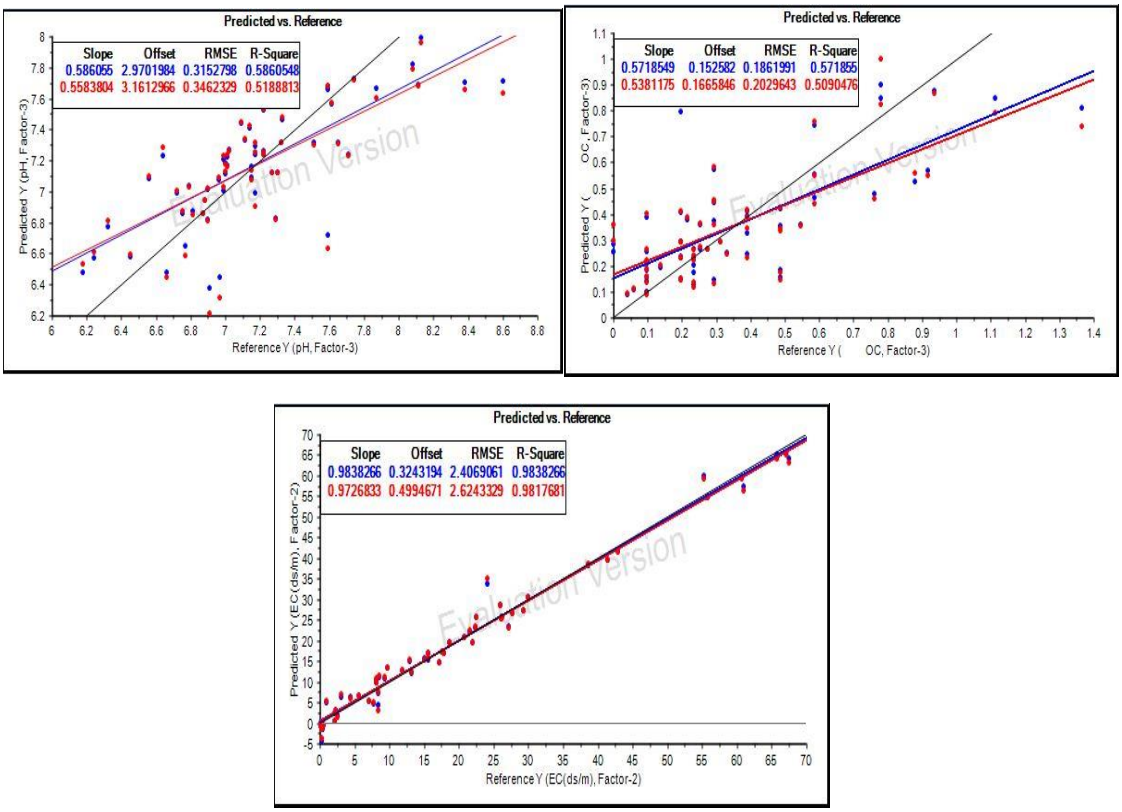
۳-۳- پیش‌بینی ویژگی‌های خاک

جدول ۲ مقادیر R^2، RMSE و RPD حاصل از مدل‌سازی توسط رگرسیون حداقل مربعات جزئی را برای سه پارامتر کربن آلی، pH و هدایت هیدرولیکی خاک‌های جزیره هرمز نشان داده‌شده است. شکل ۳ نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده را در برابر مقادیر پیش‌بینی شده کربن آلی، pH و هدایت الکتریکی را در دو گروه اعتبار سنجی و واسنجی نشان می‌دهد مقادیر ضریب تبیین در گروه واسنجی برای کربن آلی، pH و هدایت الکتریکی به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۵۸ و ۰/۹۸ و در گروه اعتبار سنجی به ترتیب ۰/۴۴، ۰/۵۱ و ۰/۹۸ می‌باشد. این مقادیر برای ریشه حداقل میانگین مربعات خطا در گروه واسنجی به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۳۱ و ۲/۴ درصد و در گروه اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۲، ۰/۳۴و ۲/۶۳ به دست آمد.

جدول ۲ .نتایج دقت برآورد برخی ویژگی‌های خاک‌های جزیره هرمز به روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR)

ویژگی خاک	کالیبراسیون			اعتبار سنجی		
	R^2	RMSE	RPD	R^2	RMSE	RPD
کربن آلی	۰/۵۵	۰/۱۸	۱/۰۹	۰/۴۴	۰/۲۰	۱/۵۸
هدایت هیدرولیکی	۰/۹۸	۲/۴	۱/۳۵	۰/۹۸	۲/۶۳	۲/۲۴
pH	۰/۵۸	۰/۳۱	۱/۴۹	۰/۵۱	۰/۳۴	۱/۸۵

علاوه بر RMSEP دقت مدل پیش‌بینی شده به‌وسیله RPD که نسبت انحراف معیار به حداقل مربعات خطای مدل می‌باشد نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱۹] تفسیر RPD بین محققین متفاوت است ولی آنچه به‌طورکلی قابل‌قبول است این است که زمانی که مقدار RPD کمتر از ۱/۵ باشد، پیش‌بینی مدل ضعیف است و اگر بین ۱/۵ تا ۲ پیش‌بینی قابل‌قبول است و اگر بیش از ۲ باشد پیش‌بینی کاملاً مناسب بوده است [۱۹] همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود کمترین میزان R^2 مربوط به کربن آلی می‌باشد که اولاً به دلیل کم بودن ماده آلی در خاک‌های جزیره هرمز بوده و ثانیاً به دلیل غلبه اکسیدهای آهن و آلومینیوم و به‌موازات تأثیر رنگ خاک در اندازه‌گیری کربن آلی بود که اندازه‌گیری با خطا مواجه می‌سازد.



شکل۳. نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده کربن آلی، pH و هدایت الکتریکی

نتایج آیچی و همکاران(۲۰۰۹) برای تخمین مقدار کربن آلی خاک نشان داد که تطابق بالایی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده وجود دارد به‌طوری‌که ضریب تبیین، ریشه حداقل مربعات خطای تخمین و انحراف نسبی پیش‌بینی به ترتیب۰/۹۱، ۰/۳۶ و ۳/۴ بود[۲۰] .استنبرگ و همکاران(۲۰۱۰) معتقدند که تنوع نتایج برای تخمین ماده آلی دلایل متفاوتی دارد که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود :اگرچه مواد آلی ویژگی‌های جذبی خاصی در محدوده مادون‌قرمز نزدیک دارند ولی در اغلب موارد این ویژگی‌های جذبی ضعیف‌اند .بنابراین در خاک‌هایی که تنوع کانی‌شناسی بالایی وجود دارد و یا مقادیر شن در آن‌ها زیاد است، ویژگی‌های جذبی ماده آلی به علت پخش نور با حضور کوارتز پوشیده می‌شود بنابراین، تخمین ماده آلی در این نوع خاک‌ها ضعیف خواهد بود [۲۱].

۳-۴- نتیجه‌گیری

طیف‌های به‌دست‌آمده از دستگاه با استفاده از نرم‌افزار view spec میانگیری و تبدیل بازتاب به جذب روی آن انجام شد در این تحقیق تمام احتمالات مربوط به پیش پردازش روی هر یک از خصوصیات مربوطه انجام گرفت به این صورت که غالباً در پیش پردازش مربوط به pH، هدایت الکتریکی و کربن آلی (استاندارد نرمال متغیر+ فیلتر طول موج+ طول موج بدون مشتق) در نظر گرفته شد. در این تحقیق از پیش‌پردازش مشتق دوم استفاده نشد زیرا استفاده از روش مشتق دوم سبب افزایش نویزها شده و ضعیف‌ترین نتایج را به همراه داشته است 4) به‌عنوان نتیجه کلی از مدل‌سازی به روش حداقل مربعات، مقادیر ضریب تبیین در گروه اعتبار سنجی برای کربن آلی ، pH و هدایت الکتریکی به ترتیب ۰/۴۴، ۰/۵۱ و ۰/۹۸ به دست آمد و مقادیر ریشه حداقل مربعات خطا نیز به ترتیب ۰/۲۰، ۰/۳۴ و ۲/۶۳ تعیین شد علاوه بر ریشه مربعات خطا، دقت مدل پیش‌بینی به‌وسیله RPD که نسبت انحراف معیار به حداقل مربعات خطا می‌باشد نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و با توجه به مقادیر RPD که در جدول آمده است، پیش‌بینی مدل برای هدایت الکتریکی کاملاً مناسب بوده و برای کربن آلی نیز قابل‌قبول است بنابراین با توجه به نتایج فوق می‌توان دریافت

که روش طیف‌سنجی مرئی -مادون‌قرمز نزدیک یک روش سریع، غیر مخرب و با حداقل آماده‌سازی نمونه می‌باشد و با انجام یک آزمایش می‌توان چندین ویژگی خاک را پیش‌بینی نمود .

مراجع:

[1] Viscarra Rossel, R.A., Walvoort, D.J.J., McBratney, A.B., Janik, L.J., Skjemstad, J.O., Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectancespectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. Geoderma 131, 59–75, 2006.

[2] Chang, C.W., Laird, D.A., Mausbach, M.J., Maurice, J., Hurburgh, J.R., Near- Infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analyses of soil properties. Soil Science Society of America Journal 65, 480–490, 2001.

[3] Blanco, M., & Villarroya, I. N. I. R. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 21(4), 240-250, 2002.

[4] Shepherd, K.D., Walsh, M.G., Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. Soil Science Society of America Journal 66, 988–998, 2002.

[5] Workman, J. J., Burns, D. A., & Ciurczak, E. W. NIR spectroscopy calibration basics. PRACTICAL SPECTROSCOPY SERIES, 27, 91-128, 2001.

[6] Batten, G. D. Plant analysis using near infrared reflectance spectroscopy: the potential and the limitations. Animal Production Science, 38(7), 697-706, 1998.

[7] Fuentes, M., Hidalgo, C., Gonzalez-Martin, I., Hernandez-Hierro, J. M., Govaerts, B., Sayre, K. D. & Etchevers, J. NIR Spectroscopy: An Alternative for Soil Analysis. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 43, 346-356, 2012.

[8] Frost, R. L., Wills, R. A., Martens, W., Weier, M. & Reddy, B. J. NIR spectroscopy of selected iron(II) and iron(III) sulphates. Spectrochimica Acta Part a-Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 62, 42-50, 2005.

[9] Chang, C.-W., Laird, D.A., Near-infrared reflectance spectroscopic analysis of soilC and N. Soil Science 167 (2), 110–116, 2002.

[10] Dunn, B.W., Beecher, H.G., Batten, G.D., Ciavarella, S., The potential of nearinfrared reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture 42, 607–614, 2002.

[11] Zornoza, R., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Scow, K. M., Arcenegui, V. & Mataix-Beneyto, J. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soils. Soil Biology & Biochemistry, 40, 1923-1930, 2008.

[12] Abdi, D., Tremblay, G. F., Ziadi, N., Belanger, G. & Parent, L.-E. predicting soil phosphorus-related properties using near-infrared reflectance spectroscopy. soil Science Society of America Journal, 76, 2318-2326, 2012

[13] Waiser, T. H., Morgan, C. L. S., Brown, D. J., and Hallmark, C. T. In situ characterization of soil clay content with visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. Soil Sci. Soc. Am. J. 71, 389–396, 2007.

[14] Soriano-Disla, Jos M., Les J. Janik, Raphael A. Viscarra Rossel, Lynne M. MacDonald & Michael J. McLaughlin The Performance of Visible, Near-, and Mid-Infrared Reflectance Spectroscopy for Prediction of Soil Physical, Chemical, and Biological Properties, Applied Spectroscopy Reviews, 49:2, 139-186, 2014.

[15]Gemtesa Tiruneh, G.. Rapid soil quality assessment using portable visible near infrared (VNIR) spectroscopy, 2014

[16] Esbensen, K. H. Multivariate Data Analysis. CAMO Software AS. 5th Edition. 589 Pages, 2006.

[17] Hunt, G. R. Spectral signatures of particulate minerals in visible and near-infrared. Trans. Am. Geophys. Union. 58: 553, 1977.

[18] Farmer, V. C. and J. D. Russell. The infrared spectra of layer silicates. Spectrochim. Acta. 20: 1149-1173, 1964.

[19] Summers, D., M. Lewis, B. Ostendorf and D. Chittleborough. Visible near-infrared reflectance spectroscopy as a predictive indicator of soil properties. Ecol. Indic. 11: 123-131. 2, 2011.

[20] Stenberg, B., Rossel, R. A. V., Mouazen, A. M., & Wetterlind, J. Chapter five-visible and near infrared spectroscopy in soil science. Advances in agronomy, 107, 163-215, 2010.

[21] Aïchi, H., Y. Fouad, C. Walter, R. A. Viscarra Rossel, Z. L. Chabaane and M. Sanaa. Regional predictions of soil organic carbon content from spectral reflectance measurements. Biosys. Eng. 104: 442-446, 2009.