



## تخمین میزان آهک خاک در کانون‌های گردوغبار با استفاده از طیف‌سنجی VNIR و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI

موسی قاضی<sup>۱</sup>، حسینعلی بهرامی<sup>۲\*</sup>، علی درویشی بلورانی<sup>۳</sup>، سهام میرزایی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳. استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۴. دانشجوی دکتری سنجنش از دور و GIS، دانشگاه تهران

### مشخصات مقاله

### چکیده

#### پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۱ مرداد ۱۳۹۶

پذیرش: ۲۵ آبان ۱۳۹۶

دسترسی اینترنتی: ۱ اسفند ۱۳۹۶

#### واژه‌های کلیدی:

آهک خاک

شاخص

طیف‌سنجی VNIR

لندست

رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR)

یکی از بزرگترین چالش‌های عصر حاضر تخریب خاک و به دنبال آن تخریب سرزمین می‌باشد. یکی از عوامل تخریب خاک در کانون‌های گردوغبار، کیفیت پایین تغذیه خاک به عنوان بستر رشد و توسعه پوشش گیاهی می‌باشد. آهک یکی از عوامل اصلی کاهش کیفیت تغذیه‌ای خاک می‌باشد. زمان‌بر و پرهزینه بودن روش آزمایشگاهی تخمین آهک خاک، بررسی روش‌های سریع و غیرمخرب مانند تصاویر ماهواره‌ای و طیف‌سنجی VNIR را ضروری می‌نماید. در این پژوهش ۲۹ نمونه خاک دست نخورده هم‌زمان با تصویربرداری ماهواره لندست ۸ از دو کانون برداشت گردید. این نمونه‌ها در سه حالت، IMS، IDS و SMD طیف‌سنجی شدند. میزان آهک نمونه‌های سطحی و مخلوط در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. از روش شاخص خاک و روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی PLSR برای پردازش داده‌ها استفاده شد. نتایج روش PLSR برای حالت SMD ( $R^2=0/30$  و  $RMSE=1/84$ ) و برای حالت‌های IDS و IMS به ترتیب  $R^2=(0/13, 0/08)$ ،  $RMSE=(0/85, 0/87)$  بدست آمد. نتایج روش شاخص RI برای حالت‌های SMD، IDS و IMS به ترتیب  $R^2=0/56, 0/29, 0/19$  و  $RMSE=0/75, 0/80, 0/75$  بدست آمد که نتایج برای حالت SMD قابل قبول بود. نتایج روش PLSR برای تصویر ماهواره‌ای  $R^2=0/84$  و  $RMSE=0/34$  به دست آمد. اما نتایج مربوط به استفاده از سه شاخص RI، DI، NDI به ترتیب  $R^2=0/28, 0/08, 0/31$  و  $RMSE=0/75, 0/86, 0/74$  به دست آمد که نتایج این بخش نسبت به روش PLSR ضعیف و غیرقابل قبول بود. بر این اساس نقشه مربوط به آهک منطقه با روش PLSR تهیه گردید.

## مقدمه

از عواملی که امروزه به شدت باعث بحران جدی و خسارات جبران ناپذیری برای خاک گردیده مسئله فرسایش و در پی آمد آن پدیده گردوغبار می باشد. طوفان های گردوغبار که روندی افزایشی دارند علاوه بر تاثیرات جبران ناپذیری که روی محیط زیست دارند روی سلامت انسان و سایر موجودات زنده اثرات مخرب داشته و آثار و تبعات اجتماعی گسترده ای برجای می گذارد. برای کنترل این پدیده، شناخت خصوصیات منبع تولیدی گردوغبار ضروری می باشد. آهک از ویژگی های مهم شیمیایی خاک بوده و از نظر تأثیری که بر رشد و تغذیه گیاهان و دیگر خصوصیات خاک دارد دارای اهمیت بالایی می باشد (۹). دسترسی به فناوری های سنجش از دور و امکان بهره برداری از آن در علم خاک، کمک بزرگی به مطالعه بسیاری از خصوصیات خاک با صرف هزینه، وقت و انرژی کمتری در مقایسه با روش های سنتی، شده است (۱۱ و ۲۶). از روش های سنجش از دوری برای شناسایی خصوصیات ذرات تشکیل دهنده خاک و گردوغبارها در بسیاری از پژوهش ها استفاده شده است (۳۵ و ۴۱). طیف سنجی بازتاب مرئی-مادون قرمز (VNIR) بر مبنای حساسیت ترکیبات آلی و معدنی خاک به بازتاب امواج مرئی و مادون قرمز استوار شده است و از این ویژگی برای مطالعات کشاورزی و زیست محیطی خاک ها استفاده می شود. طی دو دهه اخیر، تحقیقات در مورد طیف-سنجی VNIR در علوم خاک به سرعت در حال افزایش است (۳۳). بیشترین بخش از تحقیقات طیف سنجی خاک مربوط به تعیین میزان ترکیبات پایه ای خاک مانند ماده آلی، بافت خاک، کانی شناسی و همچنین عناصر غذایی خاک، حاصلخیزی خاک، ساختمان خاک و فعالیت های میکروبی آن است (۱۲، ۲۸، ۳۱، ۳۲ و ۳۳). محدوده ماوراء بنفش و VNIR طیف الکترومغناطیس حاوی اطلاعات مهمی از کربنات خاک می باشد (۲۲ و ۲۷). مطالعات زیادی قابلیت بالای طیف سنجی VNIR در برآورد کربنات کلسیم را اثبات نموده اند (۳ و ۲۰). داده های طیف سنجی علاوه بر حجم بالای داده، دارای اثر هم پوشانی عوامل مختلف در هر طول موج و اطلاعات تکراری

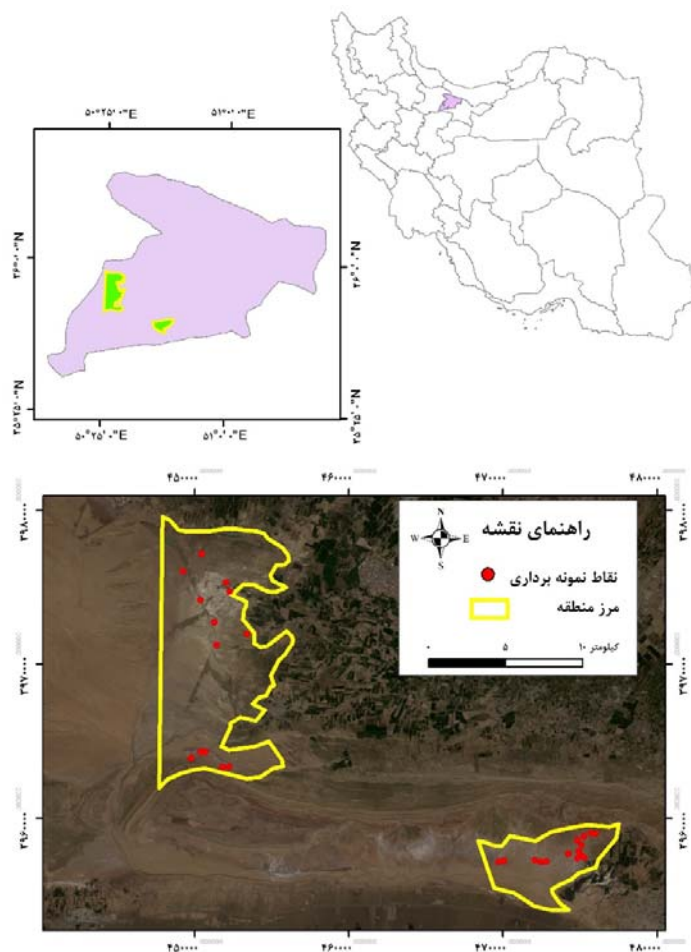
در طول موج های مجاور هستند و بنابراین همه داده ها حاوی اطلاعات جدید از متغیر مورد نظر نمی باشند (۴۰). بنابراین استفاده از روش های فشرده سازی اطلاعات جهت استخراج اطلاعات از این داده ها رایج است. رگرسیون حداقل مربعات جزئی (Partial Least Square Regression) PLSR یکی از معمول ترین روش های آماری چند متغیره موجود در این زمینه است که از داده های طیفی در تمامی طول موج ها استفاده نموده و با فشرده سازی آن ها در تعداد کم تری فاکتور و ایجاد یک مدل رگرسیون خطی، ویژگی مورد نظر خاک مانند کلسیم کربنات (۲۱)، درصد رس (۲۱ و ۲۴)، مواد آلی (۲۴ و ۳۸) و فلزات سنگین (۲۵) را تخمین می زند. PLSR از طریق یک رابطه خطی چند متغیره، ارتباطی بین دو ماتریس  $X$  و  $Y$  ایجاد می کند که اولین بار توسط وولد و همکاران (۳۶)، معرفی شد و به طور گسترده ای در آنالیز داده ها مورد استفاده قرار می گیرد که تعداد زیادی متغیر قابل برآورد وجود داشته باشد و بین آن ها رابطه قوی باشد. از مزایای PLSR تعیین مؤثرترین و یا حساسترین طول موج ها نسبت به تغییرات متغیر  $Y$  بر اساس تعیین مؤلفه های اصلی انتخاب شده از متغیر  $X$  می باشد (۱۹). استفاده از داده های طیف سنجی میدانی تنها به برآورد کمی پارامترهای مورد نظر محدود نبوده و از این داده ها می توان برای کالیبراسیون تصاویر ماهواره ای و تهیه نقشه های این پارامترها به کمک تصاویر سنجش از دور نیز استفاده نمود. تصاویر ماهواره ای سنجنده OLI در محدوده VNIR قابلیت برآورد ویژگی های خاک، مانند شوری خاک را دارند (۱، ۲ و ۴). دانش و همکاران (۶) به منظور بررسی میزان آهک خاک از داده های دورسنجی استفاده کردند. نتایج آن ها نشان داد که این روش قابلیت بالایی در بررسی میزان آهک سطحی خاک دارد. حسنی و همکاران (۳) از روش طیف سنجی VNIR برای برآورد میزان آهک در خاک های گچی-آهکی استفاده کردند. نتایج آن ها برای طیف خام  $R^2=0/62$ ، مشتق اول  $R^2=0/63$  و طیف ترکیبی  $R^2=0/62$  به دست آمد که اعلام کردند روش طیف سنجی VNIR قابلیت بالایی در برآورد میزان آهک خاک دارد. سامرس و همکاران (۳۴) با بررسی ۳۰۰ خاک در جنوب

بادی در موقعیت  $35^{\circ}25'$  تا  $36^{\circ}25'$  عرض شمالی و  $50^{\circ}20'$  تا  $50^{\circ}15'$  طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). شواهد نشان می‌دهد سطح این دو کانون نسبت به ده سال قبل افزایش داشته است. این کانون‌ها در جنوب و غرب استان البرز واقع شده و از شمال به استان مازندران، از جنوب به شهرستان شهریار و استان مرکزی، از غرب به شهرستان ساوجبلاغ و استان قزوین و از شرق به استان تهران محدود است. طی پژوهش‌های گذشته مساحت دو کانون  $7502/5$  برآورد گردیده که کانون ماهدشت با وسعت منطقه بحرانی  $4065$  هکتار و کانون نظرآباد با وسعت منطقه بحرانی  $3437/5$  هکتار مولد گردوغبارهای قابل توجهی هستند (۷ و ۸).

استرالیا به روش طیف‌سنجی VNIR به برآورد کربنات‌های خاک پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد ضریب تبیین برای کربنات‌های خاک  $0/69$  می‌باشد. خیامیم و همکاران (۵) نیز از روش طیف‌سنجی VNIR برای پیش‌بینی میزان کربنات‌ها در خاک‌های اصفهان استفاده کردند که نتایج آن‌ها برای پیش‌بینی میزان کربنات‌ها در خاک ضعیف به دست آمد ( $R^2=0/45$ ). هدف از مطالعه، تخمین میزان آهک خاک در کانون‌های گردوغبار استان تهران با استفاده از طیف‌سنجی VNIR و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI است.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه دو کانون مولد گردوغبار در ماهدشت و نظرآباد با سطحی حدود  $13000$  هکتار تحت تاثیر فرسایش



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری

یکی از ویژگی‌های بارز این منطقه شوری نسبتاً بالای خاک می‌باشد دو منطقه در امتداد هم قرار دارند در نتیجه عواملی که در شوری آن‌ها دخیل هستند تقریباً یکسان می‌باشند. وجود گنبد‌های نمکی و رودخانه شور (شورکات) که در جنوب این مناطق از غرب به شرق جریان دارد از عوامل شوری خاک این مناطق می‌باشند. این منطقه بطور متوسط در ارتفاع ۱۲۹۷ متر از سطح دریا است. متوسط بارش سالانه ماهدشت ۱۶۸/۱ میلیمتر و متوسط بارش سالانه نظرآباد ۳۰۱ میلی‌متر است. با افزایش فاصله از دامنه‌های البرز به سوی جنوب، پوشش گیاهی فقیرتر می‌شود چرا که میزان نزولات جوی کاهش یافته و خاک نیز به تدریج به سمت بیابانی شدن

است.

در ناحیه جنوبی منطقه نظرآباد با خاک‌های شور و قلیایی جامعه‌های مختلف شورزار مثل گیاه سالسولا به طور یک‌دست یا همراه با فرسیون و اشنان زار (*Seidlitzia rosmarinus*)، همراه با درختچه‌های گز (*Tamarix aphylla*) مشاهده می‌گردند. منطقه ماهدشت بواسطه کمی نزولات آسمانی و طولانی بودن فصل خشک پوشش گیاهی مطلوب و قابل توجهی ندارد و کانون مورد مطالعه عاری از هرگونه پوشش گیاهی می‌باشد و به صورت یک شورزار لخت می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲. پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه؛ (الف) خاک دارای نمک سطحی ماهدشت، (ب) خاک بدون نمک سطحی ماهدشت و (پ) خاک بدون پوشش نظرآباد و (ت) خاک دارای پوشش نظرآباد

#### داده‌های مورد استفاده

نمونه برداری ۲۹ نمونه خاک از ۲ منطقه به صورت کاملاً تصادفی در تاریخ ۵ اردیبهشت ۱۳۹۵ برداشت گردید. نمونه برداری از عمق ۳۰ سانتی متری خاک به صورت دست نخورده با استفاده از سیلندر و لوله‌های ۳۰ سانتی متری به قطر ۱۱ سانتی متر برداشت شد. نمونه‌های سطحی و مخلوط پس از خشک کردن و کوبیده شدن و عبور از الک ۲ میلی متری برای

اندازه‌گیری میزان آهک به آزمایشگاه انتقال داده شدند. برای اندازه‌گیری آهک خاک بر روی نمونه‌های سطحی و مخلوط از روش تیتراسیون استفاده شد (۱۴).

اندازه‌گیری بازتاب طیفی طیف‌سنجی در سه سطح انجام شد که ابتدا نمونه‌های خاک دست نخورده سطحی در رطوبت محیط (Intact Moist Surface) (IMS) در همان روز نمونه برداری طیف‌سنجی شدند. نمونه‌های برداشت شده در

است. در روز نمونه‌برداری منطقه دارای پوشش ابری نبوده است. جهت محاسبه میزان بازتاب واقعی زمینی تصحیح اتمسفری تصاویر با استفاده از الگوریتم FLAASH در نرم افزار ENVI استفاده شد.

### روش تحقیق

در اولین گام وضعیت نتایج اندازه‌گیری آزمایشگاهی آهک خاک از نظر نرمال بودن بررسی شد. در تمامی پردازش‌های پیش رو ارتباط داده‌های آزمایشگاهی نمونه‌های سطحی با داده‌های طیفی IMS و IDS و داده‌های آزمایشگاهی نمونه‌های عمقی با داده‌های طیفی SMD بررسی شدند. سپس میزان همبستگی پیرسون بین نتایج اندازه‌گیری آزمایشگاهی آهک با بازتاب طیفی در هر طول موج در سه حالت برداشت شده مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از روش آماری PLSR و توسعه شاخص‌های طیفی اقدام به مدل‌های تخمینگر و برآورد میزان آهک خاک شد. بهترین رویکرد تخمینگر از طریق ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج، انتخاب و معرفی شد. ارزیابی دقت توابع با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و نسبت انحراف دقت (RPD) انجام شد (۲۹). براساس مطالعات، یکی از متداول‌ترین شاخص‌های ارزیابی دقت در مطالعات طیف‌سنجی، شاخص RPD می‌باشد (۱۵). پس از انجام پیش‌پردازش، از مدل PLSR برای مدل‌سازی ارتباط بین داده‌های آزمایشگاهی و بازتاب طیفی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و استخراج شده از تصویر استفاده شد. در انتخاب تعداد بهینه مؤلفه‌های مورد استفاده در مدل رگرسیون نیز از روش اعتبار متقابل، استفاده گردیده است. در این روش فاکتورهایی انتخاب می‌شوند که میزان RMSE را به حداقل ممکن می‌رساند (۱۳). انتخاب بهترین مدل برآزش شده براساس آماره  $RMSE_{CV}$  که از آماره میانگین مربع خطای پیش‌بینی (MSEP) محاسبه می‌شود، صورت می‌گیرد (۳۹). در این روش برای حفظ بهینه بودن مدل شرط لازم برای افزایش میزان مؤلفه‌ها کاهش مقدار RMSE برای روش اعتبار متقاطع می‌باشد (۱۷). از ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین میزان اندازه‌گیری شده

آون به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شده و سپس نمونه‌های خاک دست نخورده سطحی خشک (Intact Dry Surface) (IDS) طیف‌سنجی شدند. در مرحله سوم کل نمونه برداشت شده به عمق ۳۰ سانتیمتر مخلوط و از الک ۲ میلیمتر عبور داده شد و در یک پتری‌دیش مشکی با قطر ۱۰ و ضخامت یک سانتی‌متر قرار داده شد. و سپس نمونه‌های الک شده مخلوط خشک (Sieved Mixed Dry: SMD) طیف‌سنجی شدند. اندازه‌گیری بازتاب طیفی نمونه‌های خاک در اتاق تاریک و با استفاده از دستگاه Fieldspec3 در محدوده طیفی کامل (۲۵۰۰-۳۵۰۰ نانومتر) شرایط استاندارد انجام شد. منبع نور لامپ تنگستن هالوژن کوارتز با فاصله ۲۰ سانتی‌متری با زاویه ۲۰ درجه نسبت به عمود به هر نمونه تابانده شد و بازتاب از طریق سنسور که با فاصله ۱۵ سانتی‌متری عمود بر پتری‌دیش قرار داشت، ثبت شد. تعداد تکرار برای ثبت هر طیف ۷۲ تنظیم و اندازه‌گیری برای هر نمونه ۶ بار تکرار شد. طیف‌های خام هر نمونه را با هم مقایسه و طیف‌هایی که بیشتر از  $\pm 2$  برابر انحراف معیار از میانگین فاصله داشتند حذف گردیدند (۳۹). سپس از ۶ تکرار موجود برای هر نمونه میانگین‌گیری شد و مشتق اول طیف بازتابندگی نیز محاسبه گردید و از آن‌ها برای پردازش مورد استفاده قرار گرفت (۳۰). به دلیل میزان بالای نویز، محدوده ۲۲۰-۳۵۰ و ۲۴۷۰-۲۵۰۰ نانومتر از تمامی طیف‌ها حذف و در مدل‌سازی مورد استفاده قرار نگرفت. در این مطالعه از فیلتر ساویتزکی-گولای با درجه ۲ اندازه پنجره ۱۱ استفاده گردید. داده‌های بازتاب طیفی با استفاده از نرم افزار Viewspect به داده‌های متنی با فرمت ASCII تبدیل و وارد نرم‌افزار MATLAB گردید.

### تصویر ماهواره‌ای تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست

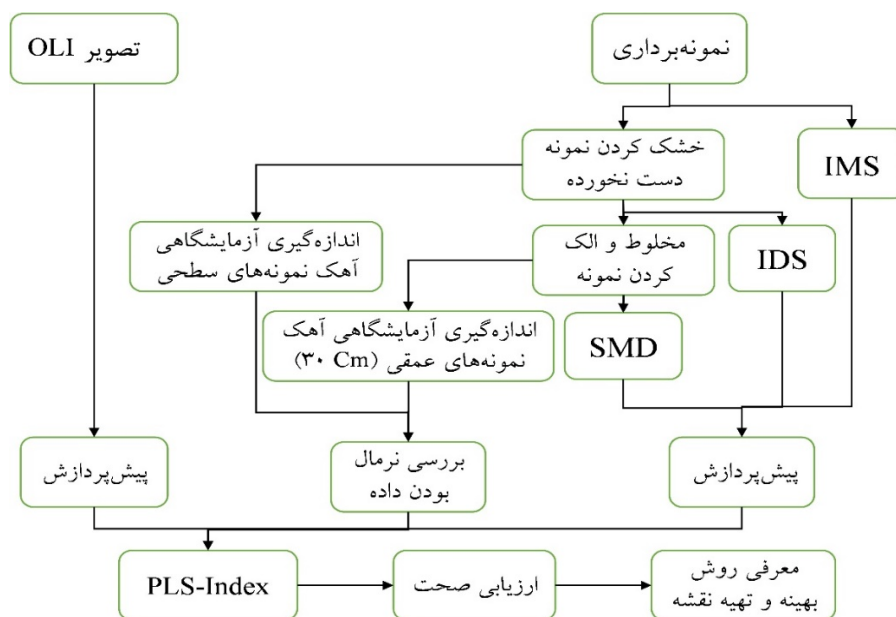
۸ مربوط به کانون‌های مورد مطالعه مربوط به تاریخ یکشنبه ۵ اردیبهشت ۱۳۹۵ با شماره ردیف ۱۶۵ و گذر ۳۵ که هم‌زمان با تاریخ نمونه‌برداری می‌باشد، که از پایگاه USGS دانلود گردید. باندهای شماره ۱ تا ۷ (چندطیفی) که در محدوده VNIR قرار دارد در این تحقیق استفاده شد. این تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و رادیومتریک ۱۲ بیت و زمانی ۱۶ روز

می‌شود.

### ارزیابی صحت

میزان صحت تخمین میزان آهک خاک با روش‌های شاخص‌های خاک و PLSR به وسیله روش اعتبارسنجی متقاطع تعیین گردید. دلیل استفاده از روش اعتبارسنجی متقاطع کم بودن تعداد نمونه‌ها می‌باشد (۳۹). برای ارزیابی صحت یکی از نمونه‌ها کنار گذاشته شد و با ۲۸ نمونه باقی مانده مدل‌سازی و مقدار نمونه کنار گذاشته شده برآورد گردید. این فرآیند به تعداد نمونه‌ها تکرار و در نهایت مقادیر برآورد شده در نبود نمونه با مقدار واقعی نمونه مقایسه شد. نمودار مراحل مختلف انجام تحقیق در شکل ۳ نشان داده شده است.

و ارزش پیش‌بینی شده در روش اعتبار متقاطع برای ارزیابی ارتباط‌های کشف شده استفاده گردید. برای برآورد میزان ارتباط بین خصوصیات خاک و بازتاب‌های طیفی سعی گردید شاخص‌های طیفی نیز توسعه داده شود که این شاخص‌ها شکل‌های همبستگی ضریب تبیین ( $R^2$ ) با استفاده از رگرسیون خطی را نشان می‌دهد. همچنین می‌توان با استفاده از این روش باندهای حساس به هر پارامتر خاک که در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده را بدست آورد. از شاخص‌های RI, DI, SI و NDI برای این منظور استفاده شد. برای بررسی قابلیت تصاویر سنجنده OLI در برآورد آهک خاک نیز از دو روش PLSR و شاخص‌های باریک باند (NDI, RI, DI) استفاده شد. داده‌های آزمایشگاهی سطحی برای پردازش تصویر استفاده شد. ابتدا بهترین روش شناسایی می‌شود و سپس با استفاده از روش انتخاب شده نقشه پراکندگی فضایی آهک خاک منطقه ساخته



شکل ۳. نمودار مراحل انجام تحقیق

موسسه خاک و آب برای اندازه‌گیری میزان آهک آن‌ها، مورد آنالیز قرار گرفت (۱۰). آنالیزهای آزمایشگاهی روی نمونه‌های سطحی و نمونه‌های عمقی صورت گرفت که نتایج این آنالیزها در (جدول ۱) ارائه شده است.

### نتایج

#### اندازه‌گیری آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک پس از جمع‌آوری، خشک و الک کردن در آزمایشگاه، طبق استانداردهای از قبل تعیین شده توسط

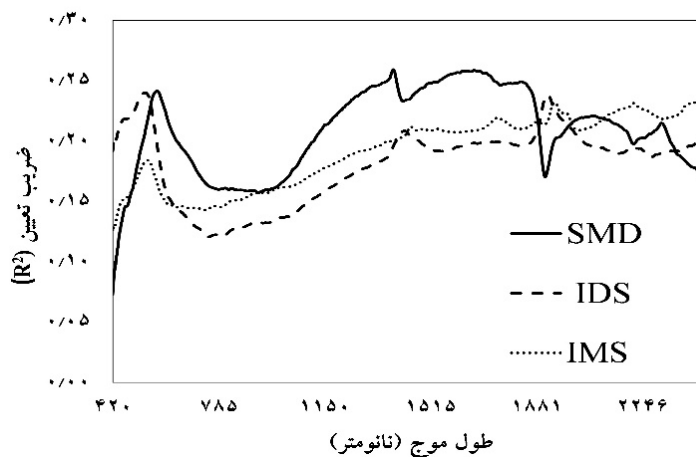
جدول ۱. نتایج آنالیز آزمایشگاهی میزان آهک نمونه‌های خاک

T.N.V (%)	تعداد نمونه	عمق نمونه برداری (CM)	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
نمونه‌های مخلوط شده	۲۹	۰-۳۰	۱۶/۵۳	۱۳/۵	۲۴/۲۵	۲/۱۸
نمونه‌های سطحی	۲۹	۰-۲	۱۶/۶	۱۳/۶	۱۸	۰/۹۰

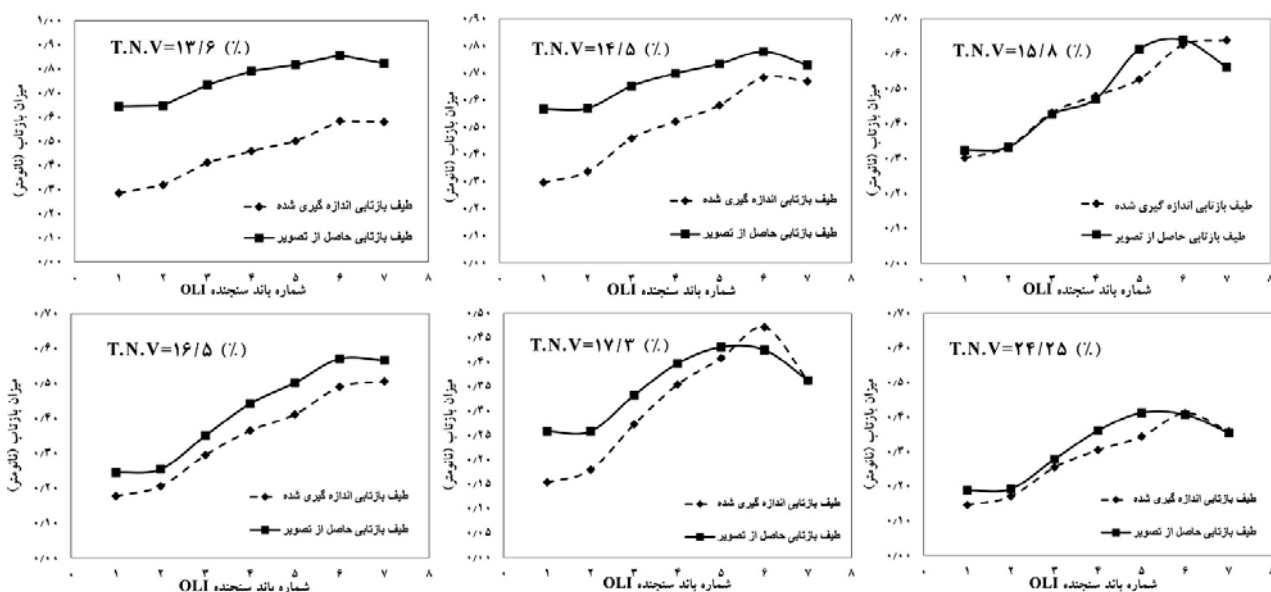
### ارتباط بازتاب طیفی و آهک

میزان همبستگی بین آهک خاک و بازتاب طیفی برداشت شده در سه حالت SMD، IDS و IMS نشان دهنده وجود همبستگی منفی در طول موج‌های مختلف موجود در طیف‌ها می‌باشد. همان‌گونه که دیده می‌شود حذف اثر رطوبت باعث شده محدوده‌های مرئی و محدوده ۱۴۰۰ و ۱۹۰۰ نانومتر که بوسیله رطوبت جذب می‌شوند، ارتباط قوی‌تری با بازتاب طیفی نشان می‌دهند. بیشترین همبستگی بین آهک و طیف مربوط به طیف مخلوط بین طول موج‌های ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ نانومتر ( $R^2=0/25$ ) و سبز می‌باشد (شکل ۴). داده‌های طیف‌سنجی به باندهای تصاویر سنجنده OLI ریسپل شده و

ارتباط آن‌ها با ارزش بازتابی استخراج شده از پیکسل‌های تصویر برای خصوصیت آهک در شرایط حضور آهک با سطوح مختلف نشان داده شده است (شکل ۵). همانطور که می‌بینیم مقادیر بازتاب طیفی حاصل از تصویر برای تمام نمونه‌های خاک بیشتر از بازتاب طیفی اندازه‌گیری شده نمونه‌های IMS در آزمایشگاه بود (از طیف نمونه‌های IMS استفاده گردید زیرا به شرایط واقعی طیف برداشت شده توسط سنجنده ماهواره نزدیک‌تر می‌باشد). همانطور که در نمودارهای طیف‌ها مشاهده می‌کنیم با افزایش مقدار آهک طول موج‌ها به هم نزدیک می‌شوند اما از میزان بازتاب کاسته می‌شود.



شکل ۴. همبستگی تک باندی ( $R^2$ ) بین ارزش بازتابندگی هر طول موج و آهک



شکل ۵. مقایسه بازتاب طیفی اندازه‌گیری شده با طیف استخراج شده از تصویر برای سطوح مختلف آهک اندازه‌گیری شده

#### برآورد آهک خاک با روش PLSR

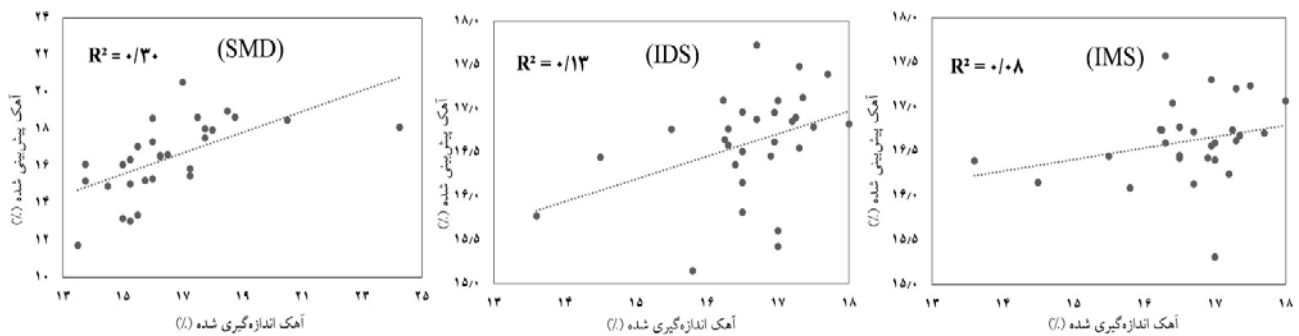
پس از پیش‌پردازش طیف‌های گرفته شده، برای مدل‌سازی و اندازه‌گیری میزان ارتباط بین طیف‌های برداشت شده بازتابی با نتایج آزمایشگاهی از مدل PLSR استفاده شد و نتایج حاصل از این مدل‌سازی در (جدول ۲) آورده شده است. مقادیر حاصل از مدل‌سازی بین آهک خاک با طیف‌های اندازه‌گیری شده از خاک دو منطقه مورد مطالعه که با استفاده از مدل PLSR صورت گرفت با شاخص‌های ضریب تبیین ( $R^2$ )، میانگین خطای ریشه مربعات (RMSE) و RPD در دو حالت کالیبراسیون و اعتبارسنجی نشان داده شده است. در این تحقیق، روش Savitzky Golay با درجه ۲ و تعداد نقطه‌های

همسایگی ۱۱ به عنوان پیش‌پردازش مورد استفاده قرار گرفت. تفسیر RPD بین محققین متفاوت است ولی آنچه که به طور کلی قابل قبول است این است که زمانی که مقدار RPD کمتر از ۱/۵ باشد پیش‌بینی مدل ضعیف است و زمانی که مقدار RPD بین ۱/۵ تا ۲ باشد، پیش‌بینی قابل قبول است و برای مقدار RPD بیشتر از ۲ پیش‌بینی کاملاً مناسب است (۳۴). نتایج این بخش نشان داد که پیش‌بینی میزان آهک خاک با استفاده از روش اعتبار متقاطع و مدل PLSR برای هر سه حالت طیف‌سنجی شده ضعیف می‌باشد (شکل ۶). نتایج نشان می‌دهد که رطوبت در برآورد آهک خاک اثرگذار است.

جدول ۲. نتایج مدل‌سازی داده‌های طیف‌سنجی و آنالیزهای آزمایشگاهی آهک (PLSR-Cross Validation)

اعتبار سنجی			کالیبراسیون			ویژگی خاک	
RPD	RMSE	$R^2$	RPD	RMSE	$R^2$	فاکتور	T.N.V (%)
۱/۱۸	۱/۸۴	۰/۳۰	۲/۴۴	۰/۸۹	۰/۸۲	۸	SMD
۱/۰۵	۰/۸۵	۰/۱۳	۱/۳۴	۰/۶۷	۰/۴۳	۳	IDS
۱/۰۳	۰/۸۷	۰/۰۸	۱/۱۳	۰/۷۹	۰/۲۰	۱	IMS





شکل ۶. رابطه بین داده‌های آزمایشگاهی و مقدار آهک پیش‌بینی شده توسط PLSR

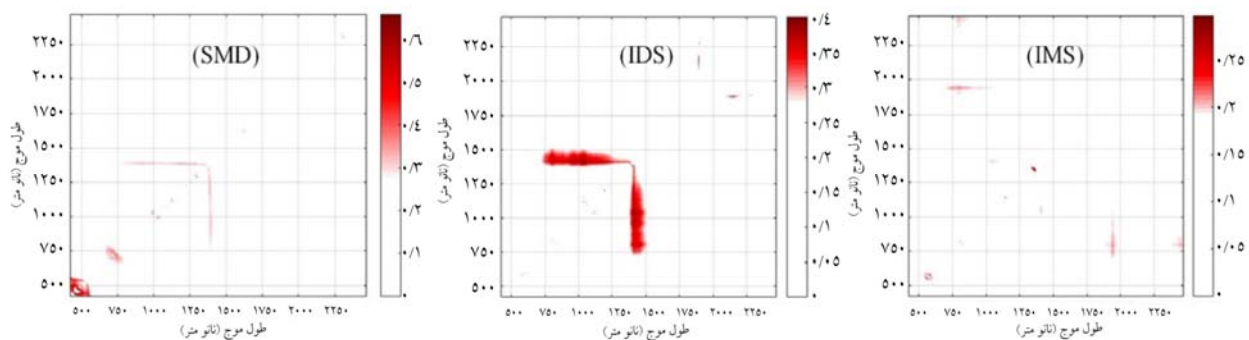
است (شکل ۷). نقاط تقاطع هر جفت طول‌موج‌ها در پلات دوبعدی میزان  $R^2$  بین شاخص RI و هر کدام از خصوصیات خاک محاسبه شده از بازتاب طیفی در آن دو طول موج می‌باشد. در پلات نواحی طیفی با همبستگی بالا بین شاخص RI با مقادیر آهک با رنگ قرمز تیره نشان داده شده است. برای بهتر مشخص شدن بالاترین همبستگی‌های بین بازتاب طیفی با خصوصیت مورد نظر، تنها باندهای حساس و دارای همبستگی بالا را با رنگ قرمز نشان داده شد. بخش‌هایی که رابطه ضعیف‌تری نشان دادند رنگ آن‌ها را از پلات حذف شد.

**برآورد آهک خاک با استفاده از شاخص طیفی RI**  
انتخاب باندهای حساس به میزان آهک خاک با استفاده از ضریب رگرسیون هر باند، برای ارزیابی سهم هر باند برای تخمین این پارامترها استفاده شد. نتایج پردازش با استفاده از شاخص طیفی RI در جدول ۳ آورده شده است. برای بررسی رابطه بین شاخص طیفی RI با میزان آهک خاک اندازه‌گیری شده، ابتدا این شاخص برای تمامی ترکیب‌های جفت باندهای ممکن بین طول‌موج ۲۴۷۰-۴۲۰ نانومتر محاسبه گردید. سپس  $R^2$  بین شاخص RI با پارامتر مورد نظر خاک محاسبه گردید. نتایج این محاسبات در پلات‌های دوبعدی نشان داده شده

جدول ۳. نتایج مربوط به شاخص طیفی RI برای میزان آهک اندازه‌گیری شده مناطق مورد مطالعه

TNV (%)	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$R^2_{Max}$	$R^2_{cv}$	RMSE <sub>cv</sub>	RPD <sub>cv</sub>
SMD	۴۷۶	۴۸۰	۰/۶۶	۰/۵۶	۱/۴۱	۱/۵۴
IDS	۱۱۹۷	۱۱۹۸	۰/۴۰	۰/۲۹	۰/۷۵	۱/۲۰
IMS	۱۱۴۵	۱۱۴۶	۰/۳۰	۰/۱۹	۰/۸۰	۱/۱۲

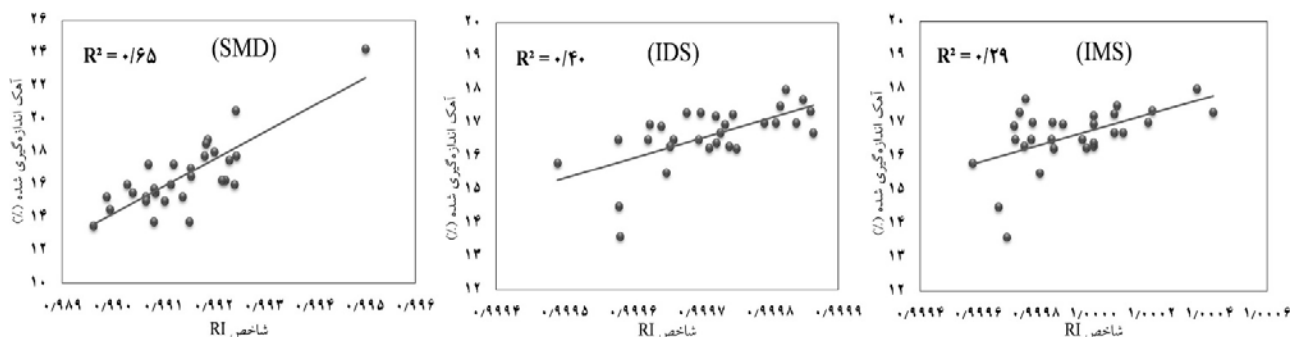
$\lambda_1$  و  $\lambda_2$  نشان دهنده جفت طول‌موج دارای بالاترین همبستگی می‌باشد.



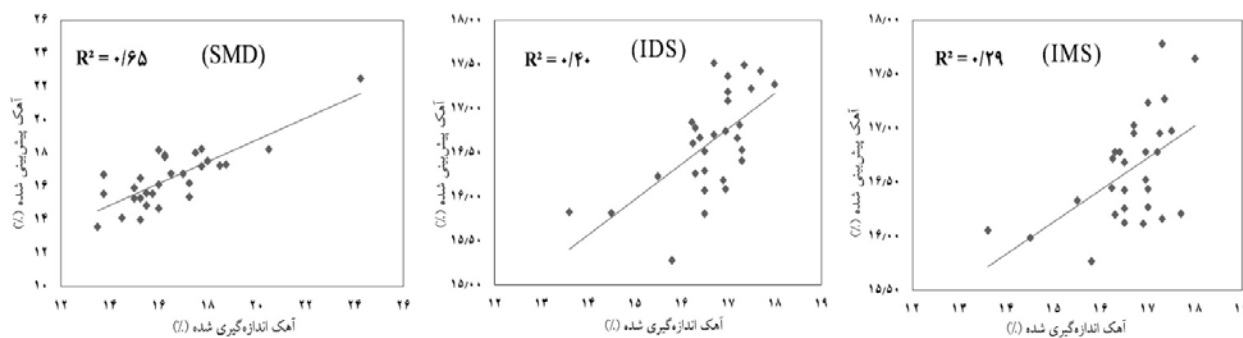
شکل ۷. نمایش دوبعدی میزان همبستگی ( $R^2$ ) بین شاخص RI با میزان آهک خاک

نمونه‌های SMD قابل قبول بدست آمد و نشان داد این مدل نسبت به مدل PLSR با اعتبار بالاتری توانست میزان آهک خاک را تخمین بزند اما این روش برای دو حالت IMS و IDS مانند مدل PLSR نتایج ضعیفی نشان داد. رابطه بین داده‌های اندازه‌گیری شده آهک نمونه‌ها با شاخص RI در (شکل ۸) نشان داده شده است. رابطه بین داده‌های اندازه‌گیری شده آهک نمونه‌ها با داده‌های پیش‌بینی شده شاخص RI در (شکل ۹) نشان داده شده است.

بیشترین میزان  $R^2$  بدست آمده بین شاخص RI و درصد T.N.V معادل ۰/۶۶ برای طیف SMD می‌باشد که مربوط به جفت طول موج ۴۷۶ و ۴۸۰ نانومتر است. اما رابطه شاخص برای IDS، IMS ضعیف به دست آمد. همانطوری که در (شکل ۷) دیده می‌شود برای طیف نمونه‌های SMD میزان همبستگی در محدوده طیف مرئی بالاترین همبستگی را دارد که نشان دهنده این است که بهترین محدوده برای تخمین درصد کربنات کلسیم خاک محدوده مرئی می‌باشد. نتایج مدل‌سازی برای آهک با استفاده از شاخص طیفی RI برای طیف



شکل ۸. رابطه بین داده‌های آزمایشگاهی آهک با شاخص RI



شکل ۹. رابطه بین داده‌های آزمایشگاهی آهک با داده‌های پیش‌بینی شده توسط شاخص RI

سطح نمونه‌ها با داده‌های پیش‌بینی شده از تصویر پیش‌پردازش شده، مدل‌سازی صورت گرفت و بهترین مدل انتخاب گردید که نتایج این مدل‌سازی در (جدول ۴) آورده شده است. پس از اینکه بهترین مدل انتخاب شد نقشه تهیه گردید.

تهیه نقشه آهک خاک با استفاده از تصویر ماهواره‌ای به منظور تهیه نقشه آهک خاک مناطق مورد مطالعه، نمونه‌برداری سطحی مورد نیاز است تا بتوان نتایج قابل قبولی به دست آورد و نتایج به واقعیت تصویر نزدیک‌تر باشند. با استفاده از روش PLSR، بین داده‌های آهک بدست آمده از

جدول ۴. نتایج مدل‌سازی داده‌های حاصل از آنالیز سطحی آهک با داده‌های استخراج شده از تصویر با استفاده از روش PLSR

اعتبار سنجی			کالیبراسیون			ویژگی خاک	
RPD	RMSE	R <sup>2</sup>	RPD	RMSE	R <sup>2</sup>	فاکتور	T.N.V (%)
۲/۶۴	۰/۳۴	۰/۸۴	۲/۸۱	۰/۳۲	۰/۸۶	۱	

برآورد آهک خاک با استفاده از شاخص‌های طیفی NDI،

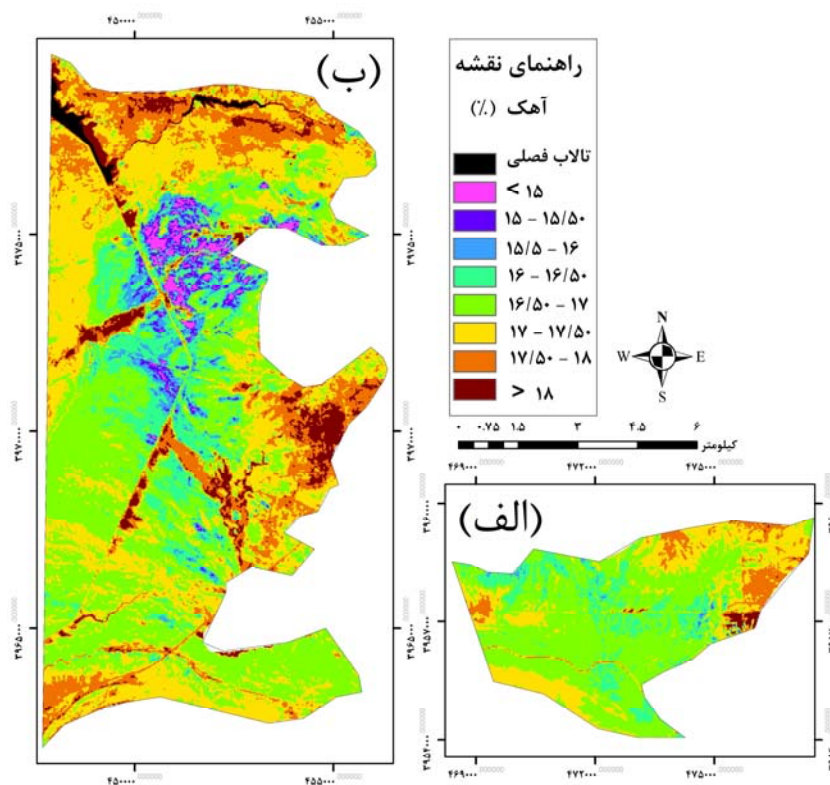
RI، DI

جهت برآورد آهک خاک با شاخص‌های طیفی NDI، DI و RI طیف مربوط به ۲۹ نمونه خاک از تصویر استخراج گردید و با نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی هر خصوصیت با شاخص‌های مختلف مدل‌سازی صورت گرفت که نتایج آن در (جدول ۵) آورده شده است

نتایج مدل‌سازی با شاخص‌های طیفی نشان داد که شاخص NDI نسبت به دو شاخص دیگر برای برآورد میزان آهک خاک قابل قبول‌تر بوده اما نسبت به مدل‌سازی به روش PLSR ضعیف‌تر می‌باشد. لذا برای تهیه نقشه از روش PLSR استفاده گردید (شکل ۱۰).

نتایج مدل‌سازی بین داده‌های استخراج شده از تصویر با داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه به روش PLSR نشان داد که مدل‌سازی برای آهک خاک منطقه خوب و قابل قبول به دست آمده است ( $R^2=0/84$  و  $RPD=2/64$ ). پس از مدل‌سازی، نقشه مورد نظر برای نمایش میزان آهک در منطقه به صورت طبقه‌بندی شده ساخته شد.

انتخاب باندهای حساس به خصوصیات خاک می‌تواند اطلاعات مفیدی برای طرح پوشش طیفی سنسورها را فراهم کند. برای این هدف ما باندهای حساس تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ به آهک را با استفاده از روش PLSR انتخاب کردیم. حساس‌ترین باندها برای آهک باند ۳ (۰/۶۰۰-۰/۵۲۵ میکرومتر، سبز) و باند ۴ (۰/۶۸۰-۰/۶۳۰ میکرومتر، قرمز) به دست آمد.



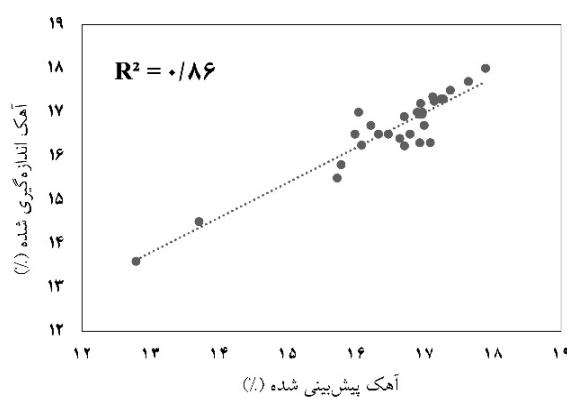
شکل ۱۰. نقشه طبقه‌بندی شده آهک خاک با استفاده از تصویر لندست ۸ به روش PLSR برای کانون‌های الف) ماهدشت و ب) نظرآباد

جدول ۵. نتایج مدل سازی میزان آهک خاک با داده های استخراج شده از تصویر با استفاده از شاخص های طیفی

RPD <sub>cv</sub>	RMSE <sub>cv</sub>	R <sup>2</sup> <sub>cv</sub>	R <sup>2</sup> Index	Index
۱/۲۱	۰/۷۴	۰/۳۱	۰/۴۳	NDI
۱/۰۴	۰/۸۶	۰/۰۸	۰/۱۹	DI
۱/۲	۰/۷۵	۰/۲۸	۰/۴۱	RI

دارند. رابطه بین داده های آزمایشگاهی نمونه های سطحی با داده های استخراج شده از تصویر برای میزان آهک منطقه در (شکل ۱۱) نشان داده شده است.

با توجه به نقشه مربوط به آهک (شکل ۱۰)، می توان گفت که خاک منطقه به لحاظ میزان آهک، بیشتر در کلاس های ۱۷ - ۱۶/۵، ۱۷/۵ - ۱۷ و تا حدودی کلاس ۱۸ - ۱۷/۵ قرار



شکل ۱۱. رابطه بین داده های سطحی آهک با داده های پیش بینی شده توسط تصویر با استفاده از روش PLSR

بازتاب VNIR نشان داد که این تکنیک می تواند میزان آهک خاک را در حد قابل قبولی ( $RPD > 1/5$  و  $R^2 > 0/5$ ) تخمین بزند. با استفاده از روش شاخص طیفی RI که برای برآورد میزان آهک خاک در سه حالت مختلف طیف برداشت شده استفاده شد. نتیجه برای نمونه های SMD قابل قبول بود ( $RPD=1/54$ ؛  $R^2=0/56$ )، اما نتایج مربوط به طیف نمونه های IDS و IMS به ترتیب ( $0/19$ ،  $R^2=0/29$  و  $1/12$ ،  $RPD=1/20$ ) ضعیف به دست آمد. با استفاده از شاخص محدوده های حساس طیف برای آهک خاک نشان داده شد و دو طول موجی که بیشترین حساسیت را داشتن تعیین گردید. برآورد آهک با استفاده از روش PLSR برای هر سه حالت طیف اندازه گیری شده نمونه های SMD، IDS و IMS به ترتیب ضعیف به دست آمد ( $0/03$ ،  $1/05$ ،  $1/18$  و  $RPD=1/13$ ،  $0/08$ ،  $0/13$  و  $R^2=0/30$ ). حسنی و همکاران (۳) از طیف سنجی VNIR با

### نتیجه گیری و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که دو روش طیف سنجی VNIR و تصاویر سنجنده OLI به خوبی می توانند برای تهیه نقشه و تخمین میزان آهک خاک مکمل روش های آزمایشگاهی معمول گردند. مدل های آماری PLSR و شاخص های طیفی استفاده شده در این پژوهش، با ۳ معیار (الف) ضریب تبیین ( $R^2$ ) (هرچه مقدار  $R^2$  به ۱ نزدیک تر باشد مدل از اعتبار بالاتری برخوردار می باشد)، (ب) ریشه حداقل مربعات خطا (RMSE) (هرچه مقدار RMSE کمتر باشد مدل از اعتبار بالاتری برخوردار می باشد) و (ج) نسبت انحراف معیار مقادیر اندازه گیری شده به ریشه حداقل مربعات جزئی (RPD) ( $RPD < 1/5$ ) پیش بینی مدل ضعیف، ۲ -  $RPD=1/5$  پیش بینی مدل قابل قبول و  $RPD > 2$  پیش بینی مدل کاملاً مناسب می باشد (۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۳ و ۳۷). نتایج بخش طیف سنجی

دیگر بازتاب طیفی، از حساسیت بالاتری برخوردار می‌باشد. به طور کلی نتایج دو بخش طیف‌سنجی و استفاده از تصویر ماهواره‌ای به منظور برآورد میزان آهک خاک نشان داد این روش‌ها می‌توانند میزان آهک خاک را با دقت قابل قبولی برآورد کنند.

#### منابع مورد استفاده

۱. اخضری، د. و ا. اسدی می‌آبادی. ۱۳۹۵. تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تحلیل طیفی داده‌های سنجنده OLI و داده‌های میدانی (مطالعه موردی: جنوب دشت ملایر). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۲): ۸۷-۱۰۰.
۲. پیشنماز احمدی، م.، م. ح. رضایی مقدم و ب. فیضی‌زاده. ۱۳۹۶. بررسی شاخص‌ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: دلتای آجی‌چای). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۱): ۸۵-۹۶.
۳. حسنی، ا. ح. ع. بهرامی، ع. ا. نوروزی و ش. اوستان. ۱۳۹۳. استفاده از روش طیف‌سنجی بازتابی مرئی فروسرخ در برآورد برخی ویژگی‌های خاک در خاک‌های گچی-آهکی، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۶(۲): ۱۲۵-۱۳۸.
۴. حبشی، خ. ح. ر. کریم‌زاده و س. پورمنافی. ۱۳۹۶. ارزیابی شوری خاک در شرق اصفهان بر پایه داده‌های سنجنده OLI و تجزیه و تحلیل عوارض توپوگرافی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۱): ۳۶-۵۱.
۵. خیامیم، ف. ح. خادمی، ب. استنبرگ و ی. ویتزلیند. ۱۳۹۴. قابلیت روش طیف‌سنجی مرئی-مادون‌قرمز نزدیک در پیش‌بینی چند ویژگی شیمیایی خاک‌های استان اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و خاک، ۱۹(۷۲): ۸۱-۹۱.
۶. دانش، م. ح. ع. بهرامی، س. ک. علوی پناه و ع. ا. نوروزی. ۱۳۸۸. بررسی هم‌زمان میانگین هندسی قطر ذرات و آهک خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی شده (مطالعه موردی: جنوب غربی استان لرستان، منطقه پل دختر)، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۳(۱۰): ۳۶-۲۵.
۷. علیمحمدی، ع. ۱۳۸۸. طرح تهیه و تدوین برنامه آمایش استان.

استفاده از روش PLSR برای برآورد میزان آهک در خاک‌های گچی-آهکی استفاده کردند. نتایج آن‌ها برای طیف خام  $R^2=0/62$ ، مشتق اول  $R^2=0/63$  و طیف ترکیبی  $R^2=0/62$  به دست آمد. خیامیم و همکاران (۵) نیز از طیف‌سنجی VNIR و روش PLSR برای پیش‌بینی میزان کربنات‌ها در خاک‌های اصفهان استفاده کردند که نتایج آن‌ها برای پیش‌بینی میزان کربنات‌ها در خاک ضعیف به دست آمد ( $R^2=0/45$ ). از دلایل پایین بودن نتیجه همبستگی میزان آهک با طیف آزمایشگاهی با استفاده از روش PLSR و اختلاف این نتایج با پژوهش‌های صورت گرفته در گذشته از جمله حسنی و همکاران (۳)، استفاده از روش‌های مختلف پیش‌پردازش بر روی طیف آزمایشگاهی می‌باشد که استفاده از انواع پیش‌پردازش بر روی طیف حاصل از آزمایشگاه برای هر خصوصیت نتایج متفاوتی می‌دهد و احتمالاً یکی از دلایل دیگر این اختلاف نتایج، بیشتر بودن تعداد نمونه است.

به منظور تهیه نقشه آهک خاک، روش PLSR نتیجه قابل قبولی نشان داد و آهک خاک را با دقت بالایی ( $RP=2/64$ )؛  $R^2=0/84$ ) تخمین زد. استفاده از شاخص‌های طیفی DI، NDI و RI به منظور برآورد آهک و تهیه نقشه آن نتایج ضعیفی نشان داد، لذا برای تهیه نقشه آهک مناطق مورد مطالعه از روش PLSR استفاده گردید.

نتایج بخش طیف‌سنجی نشان داد که استفاده از شاخص طیفی به منظور برآورد میزان آهک نسبت به روش PLSR از اعتبار بالاتری برخوردار است و همچنین از بین سه حالت طیف برداشت شده، طیف‌سنجی در حالت SMD نسبت به دو روش IDS و IMS نتایج قابل قبول‌تری نشان داد. با استفاده از نتایج به دست آمده محدوده مرئی نسبت به محدوده مادون قرمز توانایی بالاتری در تخمین میزان آهک خاک دارد. نتایج بخش تصویر ماهواره‌ای برای برآورد میزان آهک نیز نشان داد که روش PLSR نسبت به شاخص‌های طیفی از دقت بالاتری برخوردار است. انتخاب باندهای حساس تصویر به آهک خاک نیز با روش PLSR انجام گرفت که نتایج این بخش نشان داد که برای برآورد آهک خاک محدوده مرئی نسبت به محدوده‌های

- reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42: 607–614.
19. Geladi P, Kowalski BR. 1986. Partial least-squares regression: a tutorial. *Analytica Chimica Acta*, 185: 1–17.
  20. Gaffey SJ. 1987. Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35-2.55  $\mu\text{m}$ ): Anhydrous carbonate minerals. *Journal of Geophysical Research*, 92: 1429-1440.
  21. 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*, 141-148.
  22. Islam K, Singh B, McBratney A. 2003. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. *Soil Research*, 41(6): 1101-1114.
  23. Janik LJ, Merry RH, Forrester ST, Lanyon DM, Rawson A. 2007. Rapid prediction of soil water retention using mid infrared spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 71: 507–514.
  24. Knadel M, Stenberg B, Deng F, Thomsen A, Greve MH. 2013. Comparing predictive abilities of three visible-near infrared spectrophotometers for soil organic carbon and clay determination. *Journal of near infrared spectroscopy*, 21(2): 67-80.
  25. Luce MS, Ziadi N, Gagnon B, Karam A. 2017. Visible near infrared reflectance spectroscopy prediction of soil heavy metal concentrations in paper mill biosolid-and liming by-product – amended agricultural soils. *Geoderma*, 288: 23-36.
  26. Nanni MR, Dematte JAM. 2006. Spectral reflectance methodology in comparison with traditional soil analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 393-407.
  27. Rossel RAV, Walvoort DJJ, McBratney AB, Janik LJ, Skjemstad JO. 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131(1): 59-75.
  28. Rossel RAV, McGlynn RN, McBratney AB. 2006. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV–vis–NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 137(1-2): ۱۰۹–۱۰۹.
  ۸. گل بابایی، ح.، ا. خلیل پور و ع. م. طهماسبی بیرگانی. ۱۳۸۳. شناسایی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در استان تهران فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۱(۳): ۲۷۴–۲۵۵.
  ۹. ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۴. نگرشی بر حاصلخیزی خاک‌های ایران، انتشارات سنا، ۱۸۳ صفحه.
  ۱۰. مهندسین مشاور رویان. ۱۳۸۸. دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و آب. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، مرکز داده‌ورزی و اطلاع رسانی. چاپ اول، نشریه شماره ۴۶۷، ۲۵۵ صفحه.
  11. Alavipanah SK, Zehtabian GR. 2001. Remote sensing and GIS tools for land use planning and management. *Proceedings of the FIG working week 2001*, Seoul, Korea.
  12. Ben-Dor E, Banin A. 1995. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 59: 364-372.
  13. Blanco M, Coello J, Iturriaga H, MasPOCH S, De La Pezuela C. 1996. Quantitation of the active compound and major excipients in a pharmaceutical formulation by near infrared diffuse reflectance spectroscopy with fibre optical probe. *Analytica Chimica Acta*, 333: 147-156.
  14. Bashour II, Sayegh AH. 2007. *Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions*. 1st ed. FAO, USA.
  15. Chang CW, Laird D, Mausbach MJ, Hurburgh CR. 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy–principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2): 480-490.
  16. Cozzolino D, Moron A. 2003. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy to analyse soil chemical and physical characteristics. *Journal of Agricultural Science*, 140: 65–71.
  17. Cho MA, Skidmore A, Corsi F, van Wieren SE, Sobhan I. 2007. Estimation of green grass/herb biomass from airborne hyperspectral imagery using spectral indices and partial least squares regression. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9(4): 375–391.
  18. Dunn BW, Beecher HG, Batten GD, Ciavarella S. 2002. The potential of nearinfrared

- 70-82.
29. Rossel RAV, McBratney AB. 2008. Diffuse reflectance spectroscopy as a tool for digital soil mapping. In *Digital Soil Mapping with Limited Data* (pp. 165-172). Springer Netherlands.
30. Savitzky A, Golay MJE. 1964. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical chemistry*, 36(8): 1627-1639.
31. Sudduth KA, Hummel JW, Funk RC. 1989. NIR soil organic matter sensor. Paper - can Society of Agricultural Engineers, 23 pp.
32. Stenberg BO, Nordkvist E, Salomonsson L. 1995. Use of near infrared reflectance spectra of soils for objective selection of samples. *Soil Sci*, 159: 109-114.
33. Stenberg BO, Rossel RAV, Mouazen AM, Wetterlind J. 2010. Visible and nearinfrared spectroscopy in soil science. *Advances in Agronomy*, 107: 163-215.
34. Summers D, Lewis M, Ostendorf B, Chittleborough D. 2011. Visible near-infrared reflectance spectroscopy as a predictive indicator of soil properties. *Ecological Indicators*, 11(1): 123-131.
35. Usery EL, Pocknee S, Boydell B. 1995. Precision farming data management using Geographic Information System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(11): 1383-1391.
36. Wold S, Sjostrom M, Eriksson L. 2001. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 58: 109-130.
37. Williams P. 2004. Implementation of near-infrared technology. In: Williams, P., Norris, K. (Eds.), *Near-infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*, Vol. American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, MN.
38. Xie HT, Yang XM, Drury CF, Yang GY, Zhang XD. 2011. Predicting soil organic carbon and total nitrogen using mid- and near-infrared spectra for Brookston clay loam soil in Southwestern Ontario, Canada *Can. J. Soil Sci*, 91(1): 53-63.
39. Yitagesu FA, van der Meer F, van der Werff H, Zigterman W. 2009. Quantifying engineering parameters of expansive soils from their reflectance spectra. *Engineering Geology*, 105: 151-160.
40. Yao X, Huang Y, Shang G, Zhou C, Cheng T, Tian Y. 2015. Evaluation of six algorithms to monitor wheat leaf nitrogen concentration. *Remote Sens*, 7(1): 14939-14966.
41. Zhai Y, Thomason JA. 2000. Intelligent algorithms distinguish soil patterns from remote sensing data. (No. 003052), ASAE Paper.



## Estimating the measure of the soil's lime in dust's centers by using of VNIR spectroscopy and satellite images of OLI

M. Ghazi<sup>1</sup>, H. A. Bahrami<sup>2\*</sup>, A. Darvishi Boloorani<sup>3</sup>, S. Mirzaei<sup>4</sup>

1. MSc. Student of Soil Science, Tarbiat Modares University
2. Assoc. Prof. College of Agriculture, Tarbiat Modares University
3. Assis. Prof. College of Geography, University of Tehran
4. Ph.D. Student of Remote Sensing and GIS, University of Tehran

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 12 August 2017  
Accepted 16 November 2017  
Available online 20 February 2018

#### Keywords:

Soil's lime  
Indicator  
VNIR spectroscopy  
Landsat  
PLSR (Partial least square regression)

### ABSTRACT

In the present age, one of the most important challenges is soil erosion and consequently land degradation. One of the reasons of soil erosion in the source areas of dust is the low quality of nourishing the soil at the base of growth and development of vegetation. Lime is one of the main factors of decreasing the quality of nourishing the soil. Soil's lime measuring by laboratory method is time consuming and expensive, thus developing the non-destructive and fast methods like the satellite and VNIR spectrometry data is necessary. In this study 29 intact soil samples have been collected on the same day of Landsat 8 satellite's overpass from two sources. The spectroscopy has been done on these samples in three modes: IMS, IDS, and SMD. The surface and mixed samples lime have been measured in the laboratory. The soil index and PLSR methods have been used for processing data. The results obtained from PLSR method for SMD mode were  $R^2=0.30$  and  $RMSe=1.84$  and for IDS and IMS modes were  $R^2=0.13, 0.08$  and  $RMSe=0.85, 0.87$  respectively. The results of the RI index for SMD, IDS, and IMS were  $R^2=0.56, 0.29, 0.19$  and  $RMSe=1.41, 0.75, 0.80$  respectively, that the results for SMD mode were acceptable. The results of image in PLSR method were  $R^2=0.84$  and  $RMSe=0.34$ . But the results related to using RI, DI, and NDI indices ( $R^2=0.28, 0.08, 0.31$  and  $RMSe=0.75, 0.86, 0.74$ , respectively), were unacceptable and weaker than PLSR method. Based on these results the lime map has been produced by using PLSR method.

\* Corresponding author e-mail address: bahramih@modares.ac.ir