

کاربرد طیف‌سنجی مرئی - مادون قرمز در کمی سازی میزان گچ خاک در کانون‌های مستعد تولید ریزگرد استان خوزستان

منصور چترنور^۱، احمد لندی^{۲*}، احمد فرخیان فیروزی^۳، علی اکبر نوروزی^۴، حسینعلی بهرامی^۵

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲)

(تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۲۸)

چکیده

با توجه به گسترده‌گی مناطق مستعد تولید گرد و غبار در استان خوزستان، می‌توان از روش‌های نوینی مانند تصاویر ابر طیفی و بازتاب خاک، برای تعیین ویژگی‌های خاک این مناطق استفاده کرد. از جمله چالش‌های استفاده از تصاویر ابر طیفی در ارزیابی ویژگی‌های خاک، رنگ روشن خاک در اثر وجود ترکیباتی مانند گچ است که ممکن است در برآورد سایر ویژگی‌های خاک، منجر به خطا شود. این پژوهش با هدف تعیین طول موج کلیدی گچ خاک در اراضی مستعد تولید گرد و غبار استان خوزستان انجام گرفته است. برای این منظور، ابتدا طیف اصلی خاک با استفاده از دستگاه FieldSpec3 تعیین شد. طیف اصلی با ۵ روش فیلتر ساویتری گولای (SG)، مشتق اول صاف شده با فیلتر ساویتری گولای (FD-SG)، مشتق دوم صاف شده با فیلتر ساویتری گولای (SD-SG)، واریانس استاندارد نرمال (SNV) و حذف پیوستار (CR)، پیش‌پردازش شد. سپس، عملکرد برآورد گچ خاک در دو مدل رگرسیونی چند متغیره رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) و ماشین بردار پشتیبان (SVR) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل SVR دقت کلی برآورد بالاتری نسبت به مدل PLSR در برآورد گچ خاک داشته است و همچنین در مدل SVR، روش حذف پیوستار در گروه واسنجی بهترین عملکرد (۳/۷۱) = RPD_{CAL} و $RMSE_{CAL} = ۲/۴۷$ ، $R^2_{CAL} = ۰/۹۳$ و طیف اصلی ضعیف‌ترین عملکرد (۶/۳۲) = RPD_{CAL} و $RMSE_{CAL} = ۰/۷۶$ را در برآورد گچ خاک نشان داده‌اند. قابل ذکر است که در گروه اعتبارسنجی نیز، روش حذف پیوستار ($RPD_{VAL} = ۲/۴۹$ و $RMSE_{VAL} = ۳/۵۸$ و $R^2_{VAL} = ۰/۸۸$) و طیف اصلی ($RPD_{VAL} = ۱/۱۲$ و $RMSE_{VAL} = ۷/۸۱$) به ترتیب بهترین و ضعیف‌ترین عملکرد را نشان دادند. در این پژوهش، محدوده طول موج‌های ۱۴۵۰، ۱۵۵۰، ۱۷۰۰، ۲۱۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ نانومتر که بیش‌ترین همبستگی را با گچ خاک داشتند، به عنوان طول موج کلیدی گچ خاک در مناطق مستعد تولید گرد و غبار اهواز به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: روش مشتق دوم، روش حذف پیوستار، طول موج کلیدی، فیلتر ساویتری گولای، مدل SVR

چترنور، م.، لندی، ا.، فرخیان فیروزی، ا.، نوروزی، ع.، بهرامی، ح. ۱۳۹۹. استفاده از روش طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز نزدیک در مدل‌سازی شوری خاک اراضی مستعد تولید ریزگرد استان خوزستان. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸، شماره ۳، صفحه: ۱-۱۳.

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۲- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران و عضو مرکز پژوهشی منطقه‌ای ریزگردها، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (مکاتبه کننده)
- ۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۴- دانشیار، هیئت علمی پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران
- ۵- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

*پست الکترونیک: landi@scu.ac.ir

مقدمه

خاکدانه‌سازی و همچنین ناپایداری در خاک می‌شود (Smith & Robertson, 1962). از جمله چالش‌های روش طیف‌سنجی این است که وجود غلظت زیاد ترکیباتی مانند گچ و آهک، سبب روشن شدن و افزایش بازتاب و در نتیجه به عنوان پوشش عمل کرده و سبب ایجاد خطا در برآورد ویژگی‌های خاک و به ویژه ماده آلی می‌شود (Udelhoven *et al.*, 2003). بنابراین، با تعیین مقدار گچ و طول موج کلیدی این ویژگی در بازتاب خاک، می‌توان محدوده مربوطه را جداسازی نموده و میزان اثرگذاری در برآورد سایر ویژگی‌های خاک را شناسایی و در نهایت از ایجاد خطا اجتناب کرد. به منظور برآورد ویژگی‌های خاک با استفاده از بازتاب خاک، از مدل‌هایی مانند رگرسیون مؤلفه اصلی (PCR)، رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) و روش ماشین بردار پشتیبان (SVR) استفاده شده است (Farifteh *et al.*, 2007; Vasques *et al.*, 2008). جمله مطالعات انجام گرفته، پژوهش کورسیو و همکاران (Curcio *et al.*, 2013) است که از بازتاب خاک برای برآورد بافت با مدل PLSR استفاده کرده‌اند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که مدل PLSR دقت قابل قبولی را در برآورد درصد ذرات رس، شن و سیلت با ضریب تعیین به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۸۰ و ۰/۶۰ نشان دادند. دوتو و همکاران (Dotto *et al.*, 2014) از روش طیف‌بینی مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی SWIR برای برآورد بافت خاک استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای شن و ماسه، ضرایب تعیین بین ۰/۷۲ و ۰/۷۷ متغیر بود و مشخص شد که روش طیف‌سنجی دقت قابل قبولی در شناسایی بافت خاک منطقه دارد. حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2014) در بررسی ویژگی خاک‌های تحت تأثیر گچ، نتایج قابل قبولی را برای کربنات کلسیم (RPD=۲/۸۶)، گچ (RPD=۲/۶۵) و ماده آلی (RPD=۱/۶۴) به دست آوردند. خیامیم و همکاران (Khayamim *et al.*, 2015) پژوهشی را به منظور ارزیابی میزان گچ و کربنات کلسیم در خاک‌های خشک و نیمه‌خشک استان اصفهان، با استفاده از مدل PLSR و ویژگی‌های جذبی در حذف پیوستار انجام دادند. در نتایج آن‌ها، مدل PLSR دقت بالاتری را نسبت

در سال‌های اخیر، در اثر عوامل اقلیمی و مدیریتی، در حدود ۹ درصد از مساحت استان خوزستان (معادل با ۳۵۰ هزار هکتار) به کانون‌های مستعد تولید گرد و غبار تبدیل شده است (Heidarian *et al.*, 2015). با توجه به وسعت زیاد و ناهمگونی ویژگی‌های خاک در این مناطق، به روش‌های نوینی در ارزیابی خصوصیات خاک این مناطق نیاز است. طیف‌سنجی و بررسی رفتار طیفی خاک‌ها، به عنوان یک روش جدید، قابلیت ارزیابی ویژگی‌های خاک این منطقه را داشته و در نتیجه می‌توان مسئله گرد و غبار را با دیدگاه خاک‌شناسی بررسی کرد. امواج ابر طیفی با بسامد مولکولی قوی در محدوده طول موج بین ۲۵۰۰ تا ۲۵۰۰۰ نانومتر (Janik *et al.*, 1998) قابلیت استفاده در روش طیف‌سنجی و برآورد ویژگی‌های خاک را دارند (Soriano-Disla *et al.*, 2014). از مزایای روش طیف‌سنجی می‌توان به عدم تغییر نمونه خاک، مصرف نشدن مواد شیمیایی، اندازه‌گیری در زمان کم، همچنین توانایی برآورد بسیاری از ویژگی‌های خاک و قابلیت انجام در آزمایشگاه (Rosset *et al.*, 2006) و مزرعه (Stenberg *et al.*, 2007) اشاره کرد.

از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک، مقدار گچ است که می‌تواند در دماهای مختلف (Watson, 1988) و همچنین همراه با کلسیت و دیگر نمک‌های محلول، در خاک وجود داشته باشد (Resources & Service, 1990). گچ در خاک به شکل سولفات کلسیم با دو مولکول آب ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) است. با افزایش دما به ۲۰۰ درجه سلسیوس، این مقدار آب را از دست داده و به سولفات کلسیم بدون آب (CaSO_4) تبدیل می‌شود (Eswaran & Gong, 1991). در مقایسه با گروه کربنات‌ها، گچ حلالیت بیشتری داشته، بنابراین تحت تأثیر فرآیند آبرویی، فراوانی کمتری را در خاک دارد (Khayamim *et al.*, 2015). مطالعات نشان داده است که گچ در غلظت کمتر از ۱۰ درصد، اثر قابل توجهی را بر روی ساختمان، پایداری و ظرفیت نگهداشت آب در خاک دارد و مقدار ۱۰ تا ۲۵ درصد، سبب شکست پیوستگی ذرات خاک شده و همچنین مقدار بیشتر از ۲۵ درصد، سبب تأثیر منفی در رشد گیاه، کاهش خاصیت پلاستیکی خاک (انعطاف‌پذیری)، چسبندگی و

1. Principal component regression
2. Partial least-squares regression
3. Support Vector Regression

محدوده موثر گچ در خاک‌های مناطق مستعد تولید گرد غبار، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

این پژوهش در استان خوزستان و در اراضی که قبلاً توسط سازمان زمین‌شناسی غرب باختری و پژوهش حیدریان و همکاران (Heidarian *et al.*, 2015) به عنوان مناطق حساس به تولید ریزگرد تعیین شده بود، و در منطقه‌ای در حد فاصل عرض جغرافیایی (۳۰° ۳۰') و (۳۱° ۱۰') شمالی و طول جغرافیایی (۴۸° ۴۵') و (۴۹° ۴۹') شرقی انجام شد (شکل ۱). برای نمونه‌برداری خاک، منطقه مطالعاتی به صورت شبکه‌بندی منظم در ابعاد ۲ کیلومتر تقسیم‌بندی گردید. از تعدادی شبکه‌های مستعد تولید ریزگرد از عمق صفر تا ۵ سانتی‌متر نمونه‌برداری انجام شد و تعداد ۱۴۲ نمونه خاک جمع‌آوری گردید (جدول ۱). در ادامه، مراحل هوا خشک کردن نمونه‌ها، کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری انجام شد. غلظت گچ با روش عصاره‌گیری با آب تعیین شد (Bashour & Sayegh, 2007). در این روش ۲ گرم نمونه با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت یک ساعت عصاره‌گیری گردید. گچ محلول در عصاره در محلول استون رسوب و جداسازی شد. رسوب به دست آمده مجدداً در آب حل شده و مقدار گچ معادل محاسبه شد.

طیف‌سنجی

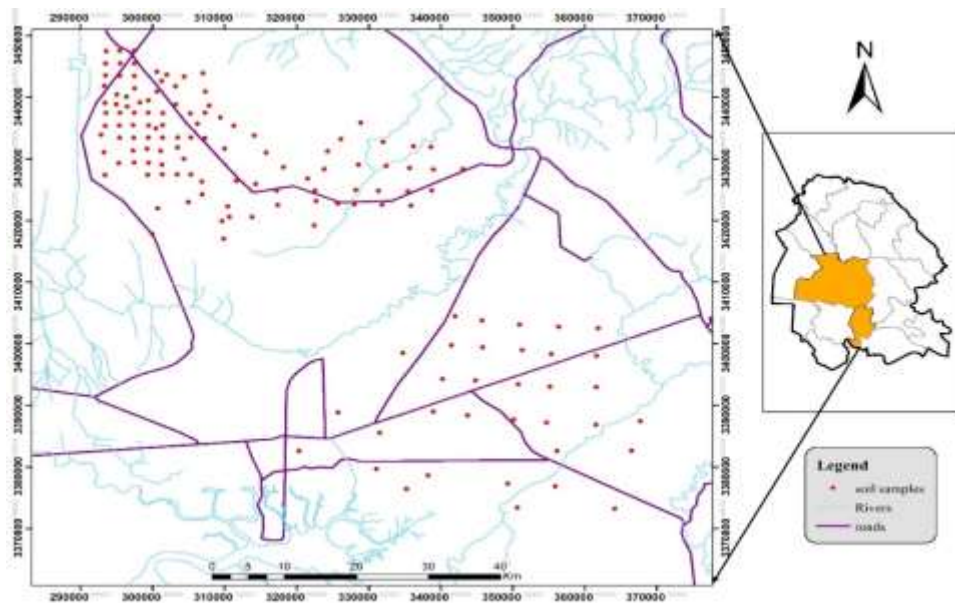
بازتاب طیفی نمونه‌های خاک در یک اتاقک تاریک در آزمایشگاه طیف‌سنجی گروه خاک‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. در ابتدا مقداری نمونه خاک الک شده به پتری دیش^۲ با قطر ۱۰ سانتی‌متر و ضخامت ۱ سانتی‌متر منتقل گردید. سپس با استفاده از طیف‌سنج آزمایشگاهی ASD FieldSpec3 (ساخت شرکت Analytical Spectral Devices, Inc)، بازتاب نمونه‌های خاک تعیین شد. نمونه خاک در فاصله ۲۰ سانتی‌متری لامپ دستگاه قرار گرفت. نور با زاویه ۲۰ درجه نسبت به عمود به نمونه تابانده شد و بازتاب از طریق گیرنده دستگاه ثبت گردید.

به حذف پیوستار برای برآورد محدوده جذبی ویژگی‌های خاک نشان داد. ناوار و همکاران (Nawar *et al.*, 2016)، از مدل‌های رگرسیونی PLSR، MARS و SVR جهت برآورد خصوصیات خاک صحرای سینا در شمال مصر همراه با هفت روش پیش‌پردازش طیفی استفاده کردند و مشاهده کردند که مدل MARS با روش پیش‌پردازش حذف پیوستار^۱ (CR)، دقت بالایی را در برآورد درصد رس و مواد آلی، با ضریب تعیین به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۹۰ دارا بود. وانگ و همکاران (Jingzhe Wang *et al.*, 2018) از تصاویر ابر طیفی برای تعیین شوری در خاک‌های چین استفاده کردند. این پژوهشگران با استفاده از دو مدل (PLSR) و جنگل تصادفی (RF) مشاهده کردند که مدل RF عملکرد بهتری (۰/۹۳ = R^2)، (RMSE = ۴/۵۷) و (RPD = ۲/۷۸ ≤ ۲/۵۰) را در برآورد شوری خاک نسبت به مدل PLSR نشان دادند. سیدل و همکاران (Seidel *et al.*, 2019) به منظور ارزیابی کربن آلی و نیتروژن کل خاک‌های مرتعی در آلمان، از روش طیف سنجی استفاده کردند، این پژوهشگران از مدل رگرسیونی ساده برای برآورد این ویژگی‌های خاک استفاده کرده و کربن آلی و نیتروژن کل را به ترتیب با دقت خوب ($R^2 = ۰/۶۵$ و $RPD = ۱/۷$) و دقت عالی ($R^2 = ۰/۸۷$ و $RPD = ۲/۷$) برآورد کردند.

با توجه به نقش گچ در نگهداشت آب در خاک و همچنین اثر بر پایداری خاکدانه با اتصال ذرات خاک، می‌تواند در مقاومت به عوامل فرساینده اثرگذار باشد. همچنین، با توجه به اهمیت مقدار گچ در رنگ و بازتاب خاک در محدوده تصاویر ابر طیفی، نیاز است که طول موج کلیدی این ویژگی خاک شناسایی شود. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، تعیین طول موج کلیدی گچ خاک در مناطق مستعد تولید گرد و غبار استان خوزستان است که به این منظور به مقایسه دقت برآورد دو مدل PLSR و SVR در برآورد گچ خاک و همچنین مقایسه ۶ روش طیفی شامل طیف اصلی و ۵ روش پیش‌پردازش فیلتر ساویتری گولای، مشتق اول به همراه فیلتر ساویتری گولای، مشتق دوم به همراه فیلتر ساویتری گولای، واریانس نرمال استاندارد و روش حذف پیوستار صورت گرفت و در نهایت با تعیین بهترین مدل و بهترین روش پیش‌پردازش، طول موج کلیدی یا

2. Petri dish

1. Continuum removal



شکل ۱- موقعیت کانون‌های ریزگرد در استان خوزستان و محل‌های نمونه‌برداری (نقاط قرمز رنگ)

Figure 1. Dust center situations located in Khuzestan province and soil sample location (red points)

جدول ۱- پارامترهای آماری گچ اندازه‌گیری شده در خاک مناطق مستعد تولید ریزگرد استان خوزستان

Table 1. Statistical parameters of measured soil gypsum in susceptible area of dust production in Khuzestan province

| Parameter | | | | | | | |
|-----------|------|-----|-------|------|--------|--------|--------|
| MAX | Med | Min | MEAN | CV | ST.DEV | SKEW | KURT |
| 41 | 25.2 | 7 | 24.77 | 0.29 | 7.3 | -0.199 | -0.299 |

آشفستگی طیفی در ابتدا و انتهای طیف که به ترتیب در محدوده بین ۳۵۰ تا ۴۵۰ و ۲۵۰۰-۲۴۵۰ نانومتر قرار دارند، حذف گردید. به علاوه، دو وقفه حاصل از تغییر آشکارساز^۲ در محدوده ۱۰۰۰ و ۱۸۳۰ نانومتر نیز حذف شد (Rossel *et al.*, 2009). در ادامه، پیش‌پردازش‌هایی بر روی طیف اصلی انجام گرفت که شامل: فیلتر Savitzky-Golay (به صورت تابع چندجمله‌ای درجه دوم و نیز تعداد ۲۳ نقطه هموارساز)، فیلتر Savitzky-Golay به همراه مشتق اول (FD-SG) و مشتق دوم (SD-SG)، روش واریانس استاندارد به همراه فیلتر Savitzky-Golay (Savitzky & Golay, 1964) و در ادامه روش حذف پیوستار اجرا شد.

مشتق‌گیری سبب وضوح بیشتر در نقاط عطف و بازتاب‌های حداکثر شده و حساسیت داده‌های طیفی نویزدار را کاهش می‌دهد. رابطه مشتق اول و دوم به صورت زیر است (He *et al.*, 2009):

برای هر نمونه خاک ۴ اسکن (تکرار) انجام شد. به این صورت که برای حذف اثر توزیع اندازه ذرات بر روی طیف و تعدیل طیف یک نمونه خاک، پتری دیش ۹۰ درجه چرخانده و اسکن نمونه‌های خاک در چهار موقعیت انجام شد. در مجموع برای هر نمونه ۴ طیف به دست آمده و میانگین‌گیری انجام شد. با استفاده از نرم‌افزار Viewspect، داده‌های بازتاب طیفی به داده‌های با قالب ACSII تبدیل و وارد نرم‌افزار The UnscramblerX 10.2 شد.

پیش‌پردازش

به دلیل وجود خطا و آشفستگی طیفی احتمالی در بازتاب خاک، طیف اصلی باید با روش‌های پیش‌پردازش اصلاح شود. هدف اصلی از پیش‌پردازش، حذف آشفستگی طیفی، ارتقاء کیفی داده‌ها و استفاده بهینه از داده‌های طیفی برای برآورد خصوصیات خاک است (Fearn *et al.*, 2009) برای انجام پیش‌پردازش، ابتدا دو بخش دارای

2. Detector

1. Noise

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (۶)$$

$$T = \omega^T X \quad (۷)$$

در رابطه ۴، X: داده‌های طیفی (متغیر مستقل)، y: ویژگی خاک (متغیر وابسته)، T: متغیر پنهانی که یک ترکیب خطی است و از طیف بازتابی محاسبه می‌شود، ω : مقیاس وزنی و از روش بردارهای ویژه $x'y'x'$ محاسبه می‌شود. P: بار طیف و q بار خصوصیت شیمیایی خاک و میزان وابستگی طیف و خصوصیات خاک را به متغیر پنهانی T نشان می‌دهند. E و f مقادیر باقیمانده هستند که نشان‌دهنده نویز در مدل می‌باشند. رابطه ۵ بیانگر رابطه نهایی مدل است (Ji et al., 2016; Sjöström et al., 1983):

$$\hat{y} = \hat{b}_i x_i + b_0 \quad (۸)$$

y: ویژگی برآورد شده با مدل، b_0 : مرز جداکننده و \hat{b}_i : بردارهای رگرسیونی هستند.

روش ماشین بردار پشتیبان (SVR) بر اساس تئوری مفاهیم آماری استوار است و جواب کلی را با کمینه کردن خطای ساختاری تعیین می‌کند (Vapnik & Vapnik, 1998). مجموعه توابع به منظور پیش‌بینی تعیین می‌شود و $F(x)$ به گونه‌ای تعیین می‌شود که بیش‌ترین حاشیه را از مقادیر آموزشی y داشته باشد. در این روش، منحنی با ضخامت ϵ ، با کمترین خطای برآورد به داده‌ها برازش داده می‌شود (Smola & Schölkopf, 2004). مقدار انحراف از رابطه ۱۰ تعیین شده و با وارد کردن متغیرهای کمبود و اصل کمینه سازی و بهینه‌سازی خطای ساختاری، رابطه ۱۱ برقرار می‌شود.

$$f(x) = w \cdot x + b \quad (۹)$$

$$\begin{cases} |\xi|_{\epsilon} = 0 \\ \text{if } |\xi| \leq \epsilon \\ \text{otherwise} \end{cases} \quad (۱۰)$$

$$\text{Minimize: } \frac{1}{2} (w \cdot w) + C \sum_{i=1}^N (\xi_i^+ + \xi_i^-)$$

$$R'(\lambda_i) = [R(\lambda_i) - R(\lambda_{i-1})] / 2 \times \Delta\lambda \quad (۱)$$

$$R''(\lambda_i) = [R'(\lambda_i) - R'(\lambda_{i-1})] / 2\Delta\lambda \\ = [R(\lambda_{i+1}) - 2R(\lambda_i) + R(\lambda_{i-1})] / \Delta\lambda^2 \quad (۲)$$

در رابطه ۲، λ_i طول موج برای هر باند، $R'(\lambda_i)$ و $R''(\lambda_i)$ به ترتیب مشتق اول و دوم طیف‌های مختلف برای طول موج λ_i ، $\Delta\lambda$: فاصله بین طول موج λ_i و λ_{i-1} . با افزایش میزان $\Delta\lambda$ ، منحنی دیفرانسیل طیف به سمت صاف شدن بیشتر تمایل دارد، که سبب حذف بسیاری از ویژگی‌های ظریف طیفی می‌شود. در این مطالعه، $\Delta\lambda = 10$ نانومتر انتخاب شده است.

واریانس نرمال استاندارد (SNV) نوعی پیش‌پردازش طیفی است که یک داده را در جهتی تغییر می‌دهد که درون یک ستون یا دسته از داده متمرکز شود (CAMO, 1998). روش حذف پیوستار سبب حذف نویز جانبی طیف شده و با تغییر شکل منحنی طیف از حالت بازتابی به جذبی، ویژگی‌های جذبی ضعیف را در منحنی نشان می‌دهد (Wenjun et al., 2014). در این روش، معمولاً ویژگی‌های جذبی انتخابی منفرد استفاده شده و بر اساس یک خط مشترک، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در روش حذف پیوستار، از محاسبه مقدار بازتاب از نسبت مقدار انحنای جذبی $R(\lambda_i)$ به سطح بازتاب، خط پیوستار در طول موج متناظر $R_c(\lambda_i)$ به دست می‌آید (Mutanga & Skidmore, 2003).

$$R'_{(\lambda_i)} = \frac{R_{(\lambda_i)}}{R_{c(\lambda_i)}} \quad (۳)$$

روش‌های مدل‌سازی

مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) دارای قابلیت مدل‌سازی چندین متغیر پاسخ مستقل و داری نویز است (Jun Wang et al., 2014). این روش می‌تواند رابطه خطی بالقوه بین ویژگی‌های خالص خاک و بازتاب طیف در محدوده مرئی - مادون قرمز را شبیه‌سازی کند (Farifteh et al., 2007; Nawar et al., 2014). مدل به صورت زیر است:

$$X = TP^T + E \quad (۴)$$

$$y = Tq + f \quad (۵)$$

نتایج و بحث

نتایج برآورد گچ خاک بر اساس دو مدل SVR و PLSR و ۶ نوع طیف بازتابی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج مقایسه عملکرد انواع روش‌های پیش‌پردازش در گروه واسنجی، برای مدل PLSR نشان داد که روش مشتق اول (FD-SG) بهترین برآورد $RPD_{CAL} = 2/44$ و $3/81$ اول R^2 کمترین دقت برآورد را داشته است. در واقع، سه روش مشتق اول، واریانس استاندارد نرمال و حذف پیوستار، سبب بهبود دقت مدل PLSR در برآورد گچ خاک شده‌اند. ولی دو روش فیلتر ساویتری گولای و مشتق دوم، دقت کمتری را نسبت به طیف اصلی داشته‌اند. نتایج حاصل از مدل SVR نیز نشان داد که روش حذف پیوستار در گروه واسنجی، بهترین عملکرد برآورد $RPD_{CAL} = 3/71$ و $2/47$ $RMSE_{CAL} = 0/93$ و $R^2_{CAL} = 6/32$ و طیف اصلی $RPD_{CAL} = 1/59$ و $R^2_{CAL} = 0/76$ $RMSE_{CAL}$ کمترین دقت برآورد را داشته است. در واقع، تمامی روش‌های پیش‌پردازش، دقت بالاتری نسبت به طیف اصلی در برآورد گچ خاک داشته‌اند. مقایسه دو مدل PLSR و SVR در برآورد گچ نشان داد که مدل PLSR در سه نوع طیف شامل: طیف اصلی (ROW)، فیلتر ساویتری گولای (SG) و واریانس نرمال استاندارد (SNV)، دقت بالاتری نسبت به مدل SVR داشته است. درحالی‌که در روش‌های پیش‌پردازش مشتق اول، مشتق دوم و حذف پیوستار مدل SVR، دقت بیشتری نسبت به مدل PLSR نشان داده است. در مقایسه عملکرد کلی ۶ نوع طیف در دو مدل PLSR و SVR، روش حذف پیوستار بهترین دقت برآورد را برای گچ خاک در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی داشته است. نتایج به دست آمده از مرحله اعتبارسنجی نشان داد که در مدل PLSR، روش پیش‌پردازش حذف پیوستار $RPD_{VAL} = 1/57$ و $5/12$ $RMSE_{VAL} = 0/66$ $VAL = 0/66$ ، بهترین عملکرد برآورد و روش مشتق دوم، کمترین $RPD_{VAL} = 1/17$ و $5/79$ $RMSE_{VAL} = 0/54$ $VAL = 0/54$ ، R^2 عملکرد را نشان داده است. همچنین، ۴ روش فیلتر ساویتری گولای، مشتق اول، واریانس استاندارد نرمال و حذف پیوستار، دقت بالاتری نسبت به طیف اصلی داشته‌اند، درحالی‌که روش مشتق دوم، دقت برآورد

$$\text{constraints: } \begin{cases} wx_i + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^+ \\ y_i - wx_i + b \leq \varepsilon + \xi_i^- \\ \xi_i^+ \geq 0, \xi_i^- \geq 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N$$

در این روابط w وزن بردار x ، b مقدار بایاس، ξ_i^+ و ξ_i^- متغیرهای کمبود و C ثابت گنجایش که خطای مربوط به فاصله از ε را کنترل می‌کند.

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی دقت مدل‌ها، از سه شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین R^2 و نسبت عملکرد به انحراف (RPD) استفاده شده است (Chang et al., 2001; Ji et al., 2016).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(y_{ij} - \bar{y}_{ij})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{ij})^2}} \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\hat{y}_{ij} - y_i)^2}{mn}} \quad (13)$$

$$RPD = \frac{SD}{RMSE} \quad (14)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (15)$$

در روابط ۱۲ و ۱۳: \hat{y}_{ij} مقدار برآورد شده در j تکرار در i نمونه y_i مقدار اندازه‌گیری شده در نمونه i ، n : تعداد نمونه‌ها در مراحل واسنجی ($n = 103$) و اعتبارسنجی ($n = 39$)، m : تعداد تکرار و \bar{y} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است. در رابطه ۱۴، SD انحراف معیار نمونه است و در رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود. آماره RPD عملکرد مدل را ارزیابی می‌کند. مقادیر کمتر از $1/4$ ، بین $2-1/4$ و بیشتر از 2 به ترتیب نشان‌دهنده عملکرد ضعیف، قابل قبول و عالی در مدل‌سازی می‌باشند (Chang et al., 2001).

1. Root Mean Square Error
2. The Coefficients of Determination
3. Ratio of Performance to Deviation

بر اساس نتایج برآورد گچ خاک در هر دو مدل SVR و PLSR، مشاهده شد که غالب روش‌های پیش‌پردازش سبب افزایش دقت برآورد گچ خاک شده‌اند. در مدل PLSR، مشتق دوم دقت کمتری نسبت به مشتق اول نشان داد، اما در مدل SVR، مشتق دوم سبب افزایش دقت مدل‌سازی گردید. همچنین مدل SVR نسبت به PLSR عملکرد بالاتری در برآورد گچ خاک نشان داده است.

کمتری نسبت به طیف اصلی در مدل PLSR نشان داده است. در مدل SVR، روش حذف پیوستار دارای بهترین دقت برآورد $RPD_{VAL} = 2/49$ و $RMSE_{VAL} = 3/58$ ، $R^2_{VAL} = 0/88$ ، و طیف اصلی، دارای کمترین دقت برآورد $RPD_{VAL} = 1/12$ و $RMSE_{VAL} = 7/81$ ، $R^2_{VAL} = 0/52$ بوده است و تمامی روش‌های پیش‌پردازش، دقت بالاتری نسبت به طیف اصلی داشته‌اند.

جدول ۲- نتایج ارزیابی آماری برآورد گچ خاک با استفاده از مدل‌های SVR و PLSR در مناطق مستعد تولید ریزگرد استان خوزستان

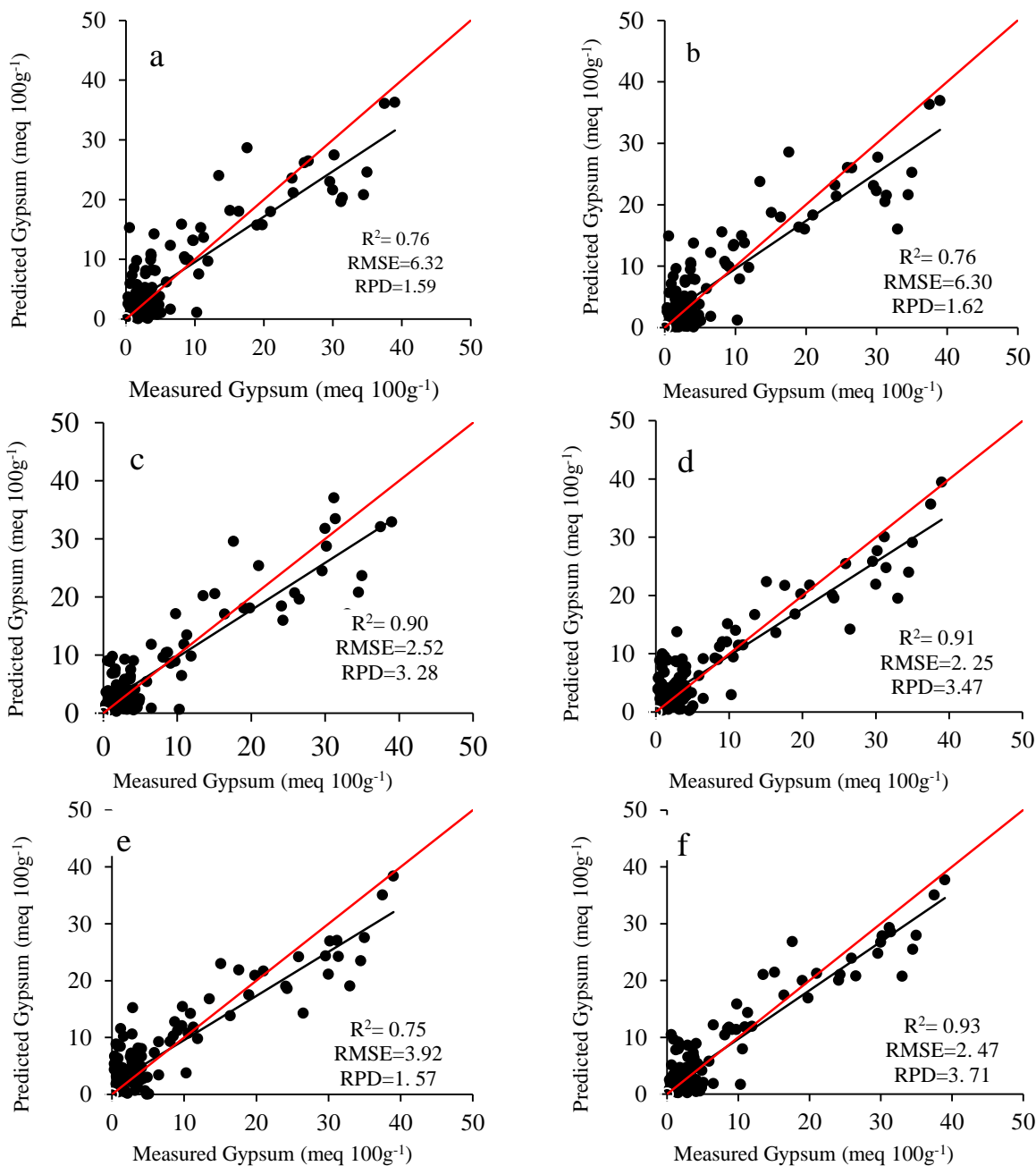
Table 2. The results of Statistical evaluation criteria of soil gypsum estimation in susceptible areas of dust production in Khuzestan province, using SVR and PLSR models

| Model | Preprocessing method | Evaluation Criteria | | | | | |
|-------|----------------------|---------------------|-------|------|----------------|-------|------|
| | | Calibration | | | Validation | | |
| | | R ² | RMS E | RPD | R ² | RMS E | RPD |
| PLSR | Row | 0.81 | 4.42 | 2.05 | 0.56 | 5.86 | 1.39 |
| | SG | 0.80 | 4.45 | 2.01 | 0.56 | 5.80 | 1.40 |
| | FD-SG | 0.86 | 3.81 | 2.44 | 0.61 | 5.46 | 1.50 |
| | SD-SG | 0.76 | 4.71 | 1.89 | 0.54 | 5.79 | 1.17 |
| | SNV | 0.81 | 4.34 | 2.1 | 0.65 | 4.98 | 1.52 |
| | CR | 0.84 | 3.99 | 2.32 | 0.66 | 5.12 | 1.57 |
| SVR | Row | 0.76 | 6.32 | 1.59 | 0.52 | 7.81 | 1.12 |
| | SG | 0.76 | 6.30 | 1.62 | 0.55 | 7.70 | 1.14 |
| | FD-SG | 0.90 | 2.52 | 3.28 | 0.82 | 3.78 | 2.33 |
| | SD-SG | 0.91 | 2.25 | 3.47 | 0.87 | 3.56 | 2.44 |
| | SNV | 0.75 | 3.92 | 1.57 | 0.81 | 3.77 | 2.33 |
| | CR | 0.93 | 2.47 | 3.71 | 0.88 | 3.58 | 2.49 |

مقدار گچ خاک به دست آوردند. که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

در مقایسه روش‌های پیش‌پردازش، برای برآورد ویژگی‌های خاک، نتایج مطالعات واسکوس و همکاران (Nawar *et al.*, 2008) و ناوار و همکاران (Vasques *et al.*, 2014) در استفاده از روش حذف پیوستار نشان داد که این روش دقت قابل قبولی در برآورد ویژگی‌های خاک داشته است که با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر بالاترین دقت برای روش حذف پیوستار در برآورد گچ خاک، مطابقت دارد. در شکل ۲ شیب خط رگرسیونی در نمودارهای مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده برای مقدار گچ خاک در مدل SVR ارائه شده است. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۲ که مقایسه مقادیر گچ اندازه‌گیری شده و برآورد شده را نشان می‌دهد،

در مدل SVR، پنج روش پیش‌پردازش ساویتری گولای، مشتق اول، مشتق دوم، واریانس استاندارد نرمال و حذف پیوسته سبب افزایش دقت برآورد گچ نسبت به طیف اصلی شدند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که طیف خاک تحت تأثیر عوامل ایجادکننده خطا قرار گرفته و پیش‌پردازش، سبب تعدیل طیف و کاهش خطای برآورد نسبت به طیف اصلی شده است. با این وجود، در مدل PLSR، دو پیش‌پردازش فیلتر ساویتری گولای و مشتق دوم دقت برآورد کمتری نسبت به طیف اصلی داشتند که نشان‌دهنده عملکرد پایین‌تر این روش‌ها نسبت به طیف اصلی در این مدل است. در پژوهش‌های مشابه، حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2014) با استفاده از مدل PLSR و طیف اصلی و مشتق اول، و همچنین خیامیم و همکاران (Khayamim *et al.*, 2015) با مدل PLSR و طیف اصلی، عملکرد عالی ($RPD > 2$) را برای



شکل ۲- نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده مقدار گچ خاک در مرحله واسنجی (a) (calibration) : طیف اصلی (ROW)، b: فیلتر ساویتزی گولای (SG)، c: مشتق اول همراه با فیلتر ساویتزی گولای (FD-SG)، d: مشتق دوم همراه با فیلتر ساویتزی گولای (SD-SG)، e: روش واریانس نرمال استاندارد (SNV)، f: حذف پیوستار (CR)

Figure 2. The measured and estimated soil gypsum content diagrams in calibration stage: a: main spectra (ROW), b: the Savitzky-Golay filter (SG), c: the first derivative with the Savitzky-Golay filter (FD-SG), d: the second derivative with the Savitzky-Golay filter (SD-SG), e: the standard normal variant (SNV), and f: the continuum removal method (CR).

بر اساس پژوهش ناوار و همکاران (Nawar *et al.*, 2016) و کونک و موازن (Kuang & Mouazen, 2011)، دامنه تغییرات غلظت ویژگی‌های خاک نقش مهمی در دقت برآورد مدل رگرسیونی داشته و با افزایش دامنه تغییرات و گستردگی داده‌ها، دقت برآورد افزایش می‌یابد.

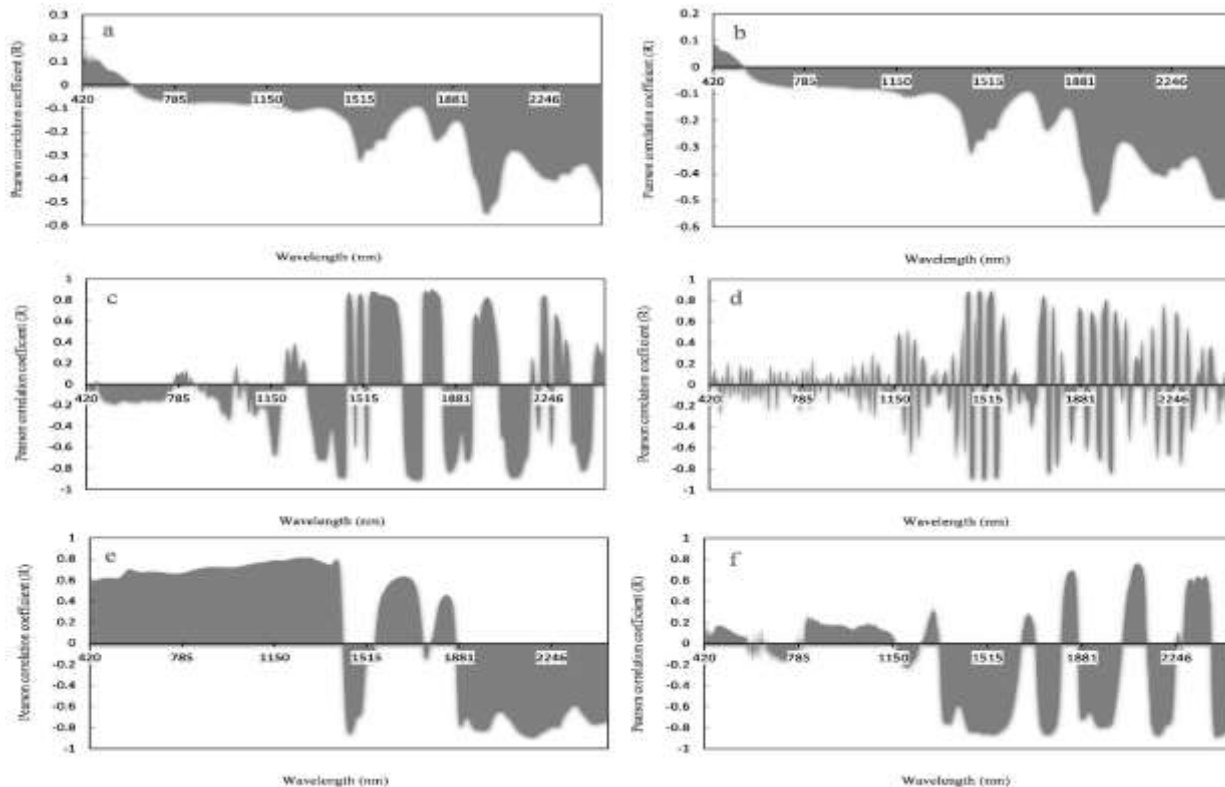
روش پیش‌پردازش حذف پیوستار، کمترین فاصله را از خط (۱:۱) و بهترین برازش را داشته است و طیف اصلی نسبت به سایر طیف‌ها، بیش‌ترین فاصله نسبی را از خط (۱:۱) و کمترین دقت برآورد را دارد.

منفی در بازتاب خاک مشاهده می‌شود. در طیف همبستگی قوی منفی در محدوده طول موج ۲۰۰ تا ۲۰۵۰ نانومتر، در روش ساویتزی گولای نتایج مشابه با طیف اصلی در محدوده طول موج ۲۰۰ تا ۲۰۵۰ نانومتر، در روش مشتق اول همبستگی قوی مثبت و منفی در محدوده طول موج ۱۷۰۰ تا ۱۸۱۰ نانومتر، در روش مشتق دوم در محدوده ۱۴۵۰، ۱۴۹۰، ۱۵۳۰ و ۱۵۷۰ نانومتر، در روش واریانس نرمال استاندارد در محدوده ۱۴۰۰ و ۱۴۸۰ نانومتر، و در روش حذف پیوستار همبستگی قوی در محدوده طول موج‌های ۱۴۵۰، ۱۵۵۰، ۱۷۰۰، ۲۱۰۰، ۲۲۰۰، ۲۴۰۰ نانومتر مشاهده شده است.

همچنین بر اساس پژوهش وایلینگ (Wilding, 1985)، گستردگی داده‌ها با آماره ضریب تغییرات (CV) در محدوده ۰/۳۵-۰/۱۵، به عنوان گستردگی متوسط در نظر گرفته شده است. در پژوهش حاضر، محدوده غلظت گچ خاک ۴۱-۷ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک و ضریب تغییرات نیز به مقدار ۰/۲۹ است که نشان‌دهنده گستردگی مناسب در داده‌های به دست آمده بوده و سبب بهبود دقت برآورد گچ در هر دو مدل شده است.

تأثیر گچ بر الگوی طیفی خاک

همبستگی بین بازتاب خاک با مقدار گچ خاک برای طیف اصلی و انواع روش‌های پیش‌پردازش در شکل ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج، همبستگی مثبت و



شکل ۳- نمودار همبستگی الگوی تغییرات بازتاب طیفی ناشی از تغییرات مقدار گچ خاک در طول موج‌های مختلف: a: طیف اصلی (ROW)، b: فیلتر ساویتزی گولای، c: مشتق اول همراه با فیلتر ساویتزی گولای (FD-SG)، d: مشتق دوم همراه با فیلتر ساویتزی گولای (SD-SG)، e: روش واریانس نرمال استاندارد (SNV)، f: حذف پیوستار (CR)

Figure 3. The correlation diagrams of spectral reflectance changes due to soil gypsum contents changes in different wavelengths: a: main spectra (ROW), b: the Savitzky-Golay filter (SG), c: the first derivative with the Savitzky-Golay filter (FD-SG), d: the second derivative with the Savitzky-Golay filter (SD-SG), e: the standard normal variant (SNV), and f: the continuum removal method (CR).

میزان بازتاب در خاک‌های دارای مقادیر گچ بالا و دارای رنگ روشن، زیاد بوده و این خاک‌ها معمولاً گچی و ریزبافت هستند. وجود ماده آلی نیز اثر معکوس نسبت به گچ در بازتاب خاک دارد و سبب تیره شدن رنگ خاک و کاهش بازتاب طیفی می‌شود. اسلام و همکاران (Islam et al., 2003) بیان کردند که میزان بازتاب خاک در محدوده مرئی کمتر، و در محدوده مادون قرمز بیشتر است. همچنین طول موج‌های ۱۴۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۲۰۰ نانومتر را به عنوان طول موج کلیدی گچ شناسایی کردند که این عوارض جذبی در اثر OH آب آزاد در

میزان بازتاب در خاک‌های دارای مقادیر گچ بالا و دارای رنگ روشن، زیاد بوده و این خاک‌ها معمولاً گچی و ریزبافت هستند. وجود ماده آلی نیز اثر معکوس نسبت به گچ در بازتاب خاک دارد و سبب تیره شدن رنگ خاک و کاهش بازتاب طیفی می‌شود. اسلام و همکاران

خاک با تصاویر ماهواره‌ای و افزایش دقت نقشه‌های خاک، قابلیت استفاده دارد.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش باهدف تعیین محدوده جذبی گچ خاک در خاک‌های مناطق مستعد تولید گرد و غبار استان خوزستان انجام گرفت. بر این اساس طیف اصلی بازتابی خاک با روش‌های مشتق اول و مشتق دوم صاف شده با فیلتر ساویتزی گولای و حذف پیوستار پیش‌پردازش شد و عملکرد دو مدل PLSR و SVR در برآورد گچ نمونه‌های خاک در انواع روش‌های طیفی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل SVR دقت بیشتری نسبت به مدل PLSR در برآورد گچ خاک داشت. همچنین در مدل SVR، روش پیش‌پردازش حذف پیوستار دقت بالاتری را نسبت به سه طیف دیگر نشان داد. در این پژوهش محدوده طول موج‌های ۱۴۵۰، ۱۵۵۰، ۱۷۰۰، ۲۱۰۰، ۲۲۰۰، ۲۴۰۰ به عنوان طول موج کلیدی گچ در این مناطق به دست آمد. پیشنهاد می‌شود که از طول موج کلیدی تعیین‌شده در این پژوهش، به همراه روش دور سنجی برای تعیین نقشه دقیق‌تر مناطق مستعد تولید گرد و غبار اهواز استفاده شود.

طول موج‌های ۱۴۰۰ و ۱۹۰۰ نانومتر و همچنین OH موجود در شبکه رس در طول موج‌های ۱۴۰۰ و ۲۲۰۰ نانومتر است (Hunt, 2017). در پژوهشی مشابه حسنی و همکاران (Hassani et al., 2014)، طول موج‌های ۱۲۰۰-۱۱۰۰، ۱۴۵۰، ۱۵۰۰، ۱۵۵۰، ۱۶۵۰، ۱۹۵۰ و ۲۲۰۰ نانومتر و هاریسون و همکاران (Harrison, 2012) عوارض جذبی مشابهی در مورد گچ خالص در طول موج‌های ۱۲۰۰، ۱۴۰۰-۱۶۰۰، ۱۷۵۰، ۱۹۴۵، ۲۱۰۰-۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ به دست آوردند. همچنین هانت و همکاران (Hunt, 1970)، طول موج‌های ۱۱۰۰ و ۶۸۰ نانومتر را برای گچ گزارش نموده‌اند.

بر اساس نتایج، برآورد آماری در مدل SVR، در مرحله اعتبارسنجی نتایج با مرحله واسنجی یکسان بوده و روش حذف پیوستار بهترین دقت را در برآورد گچ خاک در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی داشته است. بنابراین، بر اساس روش حذف پیوستار، محدوده طول موج‌های ۱۴۵۰، ۱۵۵۰، ۱۷۰۰، ۲۱۰۰، ۲۲۰۰، ۲۴۰۰ نانومتر به عنوان محدوده موثر و یا طول موج کلیدی برای گچ خاک در مناطق مستعد تولید گرد و غبار استان خوزستان به دست آمد. طول موج کلیدی تعیین‌شده با روش طیف‌سنجی، در برآورد ویژگی‌های

References

- Bashour, I.I. and Sayegh, A.H., 2007. *Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-arid Regions*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. p. 119.
- Chang C.W., Laird D.A., Mausbach M.J., and Hurburgh C.R. 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2): 480-490.
- Curcio D., Ciraolo G., D'Asaro F., and Minacapilli, M. 2013. Prediction of soil texture distributions using VNIR-SWIR reflectance spectroscopy. *Procedia Environmental Sciences*, 19: 494-503.
- Dotto A.C., Dalmolin, R.S.D., Pedron, F.d.A., Caten A.t., and Ruiz L.F.C. 2014. Digital mapping of soil properties: particle size and soil organic matter by diffuse reflectance spectroscopy. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(6): 1663-1671.
- Eswaran H., and Gong Z.-T., 1991. Properties, genesis, classification, and distribution of soils with gypsum. *Occurrence, characteristics, and genesis of carbonate, gypsum, and silica accumulations in soils (occurrencechara)*: 89-119.
- Farifteh J., Van der Meer F., Atzberger C., and Carranza E., 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.
- Fearn T., Riccioli C., Garrido-Varo A., and Guerrero-Ginel J.E. 2009. On the geometry of SNV and MSC. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 96(1): 22-26.
- Heidarian P., Joudaki M., Darvishi Khatoni j., Shahbazi R., 2015. Identification of dust production sources in Khuzestan province, Department of Geology and Mineral Exploration of the Southwest Region (Ahwaz). (In Persian)

- Harrison T.N. 2012. Experimental VNIR reflectance spectroscopy of gypsum dehydration: Investigating the gypsum to bassanite transition. *American Mineralogist*, 97(4): 598-609.
- Hassani A., Bahrami H., Noroozi A., and Oustan S. 2014. Visible-near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in gypseous and calcareous soils. *Journal of Watershed Engineering and Management*. (In Persian)
- He T., Wang J., Lin Z., and Cheng Y., 2009. Spectral features of soil organic matter. *Geo-spatial Information Science*, 12(1): 33-40.
- Hunt G.R., 1970. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I silicate minerals. *Modern geology*, 1: 283-300.
- Hunt G.R. 2017. Spectroscopic Properties of Rocks and Minerals. *Handbook of Physical Properties of Rocks (1982)* (pp. 295-386): CRC Press.
- Islam K., Singh B., and McBratney A., 2003. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. *Soil Research*, 41(6): 1101-1114.
- Janik L. J., Merry R.H., and Skjemstad J., 1998. Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38(7): 681-696.
- Ji W., Adamchuk V.I., Biswas A., Dhawale N.M., Sudarsan, B., Zhang Y., Rossel R.A.V., and Shi, Z. 2016. Assessment of soil properties in situ using a prototype portable MIR spectrometer in two agricultural fields. *biosystems engineering*, 152: 14-27.
- Khayamim F., Wetterlind J., Khademi H., Robertson A.J., Cano A.F., and Stenberg B. 2015. Using visible and near infrared spectroscopy to estimate carbonates and gypsum in soils in arid and subhumid regions of Isfahan, Iran. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 23(3): 155-165.
- Kuang B., and Mouazen A., 2011. Calibration of visible and near infrared spectroscopy for soil analysis at the field scale on three European farms. *European Journal of Soil Science*, 62(4): 629-636.
- Mutanga, O. and Skidmore, A.K., 2003, May. Continuum-removed absorption features estimate tropical savanna grass quality in situ. *In Earsel workshop on imaging spectroscopy* 3: 13-16.
- Nawar S., Buddenbaum H., Hill J., and Kozak J., 2014. Modeling and mapping of soil salinity with reflectance spectroscopy and landsat data using two quantitative methods (PLSR and MARS). *Remote Sensing*, 6(11): 10813-10834.
- Nawar S., Buddenbaum H., Hill J., Kozak J., and Mouazen A.M., 2016. Estimating the soil clay content and organic matter by means of different calibration methods of vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Soil and Tillage Research*, 155: 510-522.
- Resources A.O.o.t.U.N.S., and Service C. 1990. Management of gypsiferous soils: Food and Agriculture Org.
- Rossel R.V., Cattle S.R., Ortega A., and Fouad Y. 2009. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy. *Geoderma*, 150(3-4): 253-266.
- Rossel R.V., Walvoort D., McBratney A., Janik L.J., and Skjemstad J. 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131(1): 59-75.
- Savitzky A., and Golay M.J. 1964. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8): 1627-1639.
- Seidel M., Hutengs C., Ludwig B., Thiele-Bruhn S., and Vohland M. 2019. Strategies for the efficient estimation of soil organic carbon at the field scale with vis-NIR spectroscopy: Spectral libraries and spiking vs. local calibrations. *Geoderma*, 354: 113856.
- Sjöström M., Wold S., Lindberg W., Persson J.-Å., and Martens H. 1983. A multivariate calibration problem in analytical chemistry solved by partial least-squares models in latent variables. *Analytica Chimica Acta*, 150: 61-70.
- Smith R., and Robertson V. 1962. Soil and irrigation classification of shallow soils overlying gypsum beds, northern Iraq. *Journal of soil science*, 13(1): 106-115.
- Smola A.J., and Schölkopf B. 2004. A tutorial on support vector regression. *Statistics and computing*, 14(3): 199-222.
- Soriano-Disla J.M., Janik L.J., Viscarra Rossel R.A., Macdonald L.M., and McLaughlin M.J., 2014. 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.
- Stenberg B., Rogstrand G., Bölenius E., Arvidsson J., and Stafford J. 2007. On-line soil NIR spectroscopy: identification and treatment of spectra influenced by variable probe distance and residue contamination. *Precision agriculture*, 7: 125-131.
- Udelhoven T., Emmerling C., and Jarmer T. 2003. Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectrometry and partial least-square regression: A feasibility study. *Plant and soil*, 251(2): 319-329.
- Vapnik V., and Vapnik V., 1998. Statistical learning theory Wiley. *New York*: 156-160.
- Vasques G., Grunwald S., and Sickman J. 2008. Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near-infrared spectra. *Geoderma*, 146(1-2): 14-25.
- 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.
- Wang J., Li Z., Qin X., Yang X., Gao Z., and Qin Q. 2014. Hyperspectral predicting model of soil salinity in Tianjin costal area using partial least square regression. *Paper presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2014 IEEE International.
- Watson A., 1988. Desert gypsum crusts as palaeoenvironmental indicators: A micropetrographic study of crusts from southern Tunisia and the central Namib Desert. *Journal of Arid Environments*, 15(1): 19-42.
- Wenjun J., Zhou S., Jingyi H., and Shuo L. 2014. In situ measurement of some soil properties in paddy soil using visible and near-infrared spectroscopy. *PloS one*, 9(8): e105708.
- Wilding L. 1985. Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys. *Paper presented at the Soil spatial variability*. Workshop.

Application of Hyperspectral Images in Quantification of Soil Gypsum in Center Areas of Khuzestan Province Prone to Dust Generation

Mansour Chaternour¹ Ahmad Landi^{2*} Ahmad Farrokhian firouzi³, Aliakbar Noroozi⁴, Hosseinali Bahrami⁵

(Received: June 2019)

Accepted: October 2019)

Abstract

Considering that Khuzestan province has a large area of land susceptible to dust generation, novel approaches such as Hyperspectral images could be used in the determination of soil characteristics. One of the main challenges in using hyperspectral images for evaluation of soil properties in these areas is the presence of some compounds such as gypsum which may lead to some errors in estimating other soil properties. This research has mainly been conducted to determine the soil-gypsum key wavelength in the dust center of Khuzestan province. To achieve this goal, at first the original soil spectrum was preprocessed using FieldSpec3 setup via five methods including the Savitzky-Golay filter, the first derivative with the Savitzky-Golay filter (FD-SG), the second derivative with the Savitzky-Golay filter (SD-SG), the Standard Normal Variant (SNV) and the Continuum Removal method (CR). Two Multivariate regression models including Partial Least Squares Regression (PLSR) and Support Vector Machine (SVR) were used and compared in the estimation performance of soil gypsum. The results showed that the SVR model had better performance rather than the PLSR model in estimating soil gypsum. Also, in the SVR model, the continuum removal method ($R^2_{cal}=0.93$, $RMSE_{cal}=2.47$, $RPD_{cal}=3.71$) and the main spectra ($R^2_{cal}=0.76$, $RMSE_{cal}=6.32$, $RPD_{cal}=1.59$) had the best and weakest performance in estimating soil gypsum, respectively. It is noteworthy that the continuum removal method ($R^2_{val}=0.88$, $RMSE_{val}=3.57$, $RPD_{val}=2.49$) and the original spectrum ($R^2_{val}=0.52$, $RMSE_{val}=7.81$, $RPD_{val}=1.12$) in the validation group showed the best and the weakest performance, respectively. In the present study, wavelength ranges around 1450, 1550, 1700, 2100, 2200, 2400 nm which had the highest level of correlation with soil-gypsum content, was obtained as the key wavelengths of the soil in sensitive areas to dust production.

Keywords: Continuum removal method, Key wavelength, Savitzky-Golay filter, Second derivative method, SVR model

Chaternour M., Landi A., Farrokhian firouzi A., Noroozi A., and Bahrami H. 2020. Application of hyperspectral images in quantification of soil gypsum in center areas of Khuzestan province prone to dust generation. *Applied Soil Research*, 8(3):1-13.

1. PhD Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran and Dust research center, Shahid Chamran university of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

4. Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran.

5. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

* Corresponding Author Email: landi@scu.ac.ir