



## تهیه نقشه کربنات کلسیم معادل و مقدار رس خاک سطحی با استفاده از روش های زمین آماری (مطالعه موردی: پارک چیتگر، تهران)

ابراهیم محمودآبادی<sup>۱</sup>، علیرضا کریمی کارویه<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری خاکشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۳ آذر ۱۳۹۳

پذیرش: ۱ شهریور ۱۳۹۴

دسترسی اینترنتی: ۲۵ آذر ۱۳۹۴

### واژه‌های کلیدی:

زمین‌آمار

سنجش از دور

کربنات کلسیم

کریجینگ

پارک چیتگر

### چکیده

در دهه‌های اخیر، روش‌های سنجش از دور به دلیل کاهش هزینه‌های در مطالعات شناسایی خاک، به فراوانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطالعه حاضر با هدف مقایسه دو روش سنجش از دور و زمین‌آمار به منظور تخمین و تهیه نقشه مقادیر رس و کربنات کلسیم معادل رس سطحی در پارک جنگلی چیتگر به مساحت ۶۶۵ هکتار صورت گرفت. بدین منظور تعداد ۱۱۶ نمونه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) به صورت شبکه منظم و با فاصله ۲۵۰ متر از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک برداشته شد. برای مدل‌سازی از روش زمین‌آمار کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله و دو تکنیک سنجش از دور آنالیز مادون قرمز نزدیک و برداشت پیوسته استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی تقاطعی نشان داد که دقت روش کریجینگ در تخمین مقادیر رس و کربنات کلسیم مناسب بود. استفاده از روش مادون قرمز نزدیک برای تخمین و تهیه نقشه کربنات کلسیم معادل به دلیل همبستگی پایین با باندهای این سنجنده مناسب ارزیابی نشد، اما این روش برای تخمین و تهیه نقشه مقدار رس ( $R^2=0/52$ ) مناسب بود. برداشت پیوسته برای هیچ کدام از متغیرهای مقدار رس و کربنات کلسیم از دقت لازم برخوردار نبود. بر اساس ضریب کاپا و صحت کلی نقشه‌های تولیدی، روش کریجینگ دقت بیشتری نسبت به روش سنجش از دور نشان داد. اگرچه، دقت مناسب روش‌های زمین‌آمار به دلیل استفاده از داده‌های اصلی دور از انتظار نیست، ولی دقت قابل قبول روش مادون قرمز نزدیک برای مدل‌سازی مقدار رس، با توجه به هزینه کمتر روش‌های سنجش از دور می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

\*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [ebrahim.mahmoudabadi@gmail.com](mailto:ebrahim.mahmoudabadi@gmail.com)

## مقدمه

آگاهی از قابلیت‌ها و محدودیت‌های خاک، یکی از موارد ضروری در مدیریت، اصلاح و حفظ خاک است. نمایش تصویری داده‌های مکانی اگر به خوبی صورت گیرد، آنگاه داده‌ها می‌توانند از دریچه نمودارها و نقشه‌ها، پیام خود را با کارایی بیشتری به کاربران برسانند. برای این کار، می‌توان از جدول فراوانی، هیستوگرام‌ها و نمودارها و نقشه استفاده نمود. مهم‌ترین ابزار تصویری برای توصیف ویژگی‌های مکانی داده‌ها، نقشه است (۳). در دهه‌های اخیر روش‌های گوناگونی برای تهیه نقشه ویژگی‌های خاک استفاده شده است. زمین‌آمار و تکنیک‌های سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، دو گروه از پرکاربردترین این روش‌ها هستند. روش‌های زمین‌آمار معمول‌ترین روش‌ها برای تهیه نقشه‌های پیوسته ویژگی‌های خاک هستند که در بسیاری از مطالعات به منظور پهنه‌بندی و تهیه نقشه خصوصیات خاک از جمله مقادیر رس و کربنات کلسیم، مورد استفاده قرار گرفته است (۲، ۱، ۰ و ۲۱ و ۳۲). هر متغیری که در فضای سه بعدی توزیع شده باشد و دارای وابستگی مکانی باشد، متغیر ناحیه‌ای نامیده شده و می‌تواند در مطالعات زمین‌آمار مورد بحث و بررسی قرار گیرد. در زمین‌آمار می‌توان بین مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه‌ها و فاصله و جهت قرار گرفتن نمونه‌ها نسبت به هم ارتباط برقرار کرد و با استفاده از آن خصوصیات خاک را برآورد کرد (۳).

در چند دهه اخیر استفاده از داده‌های سنجش از دور به دلیل پوشش زیاد سطح و هزینه مناسب، برای تهیه نقشه ویژگی‌های خاک استفاده شده است. از آنجایی که داده‌های سنجش از دور دارای لایه‌های مختلف هستند که در هر یک از آن‌ها اطلاعات زیادی از پدیده‌های زمینی نهفته است لذا با استفاده از اطلاعات این لایه‌ها و ترکیب و تلفیق آن‌ها با یکدیگر می‌توان بسیاری از خصوصیات پدیده‌ها را از این داده‌ها استخراج نمود و با هزینه و وقت کمتر، و دقت و صحت قابل قبول و با قابلیت تکرار در دوره‌های زمانی مختلف به نتایج مورد نظر دست یافت (۵).

روش‌های تجزیه‌ای مختلفی برای تعیین بهترین مدل، برای برآورد داده‌های رس و کربنات کلسیم خاک از اطلاعات ماهواره‌ای بسط و گسترش یافته است. یکی از ابزارهای قدرتمند و شناخته شده روش آنالیز مادون قرمز نزدیک (Near-infrared analysis-NIRA) است. روش NIRA بر اساس آنالیزهای آماری، بهترین مدل را برای تعیین بهترین مدل طیفی برای برآورد یک ویژگی جستجو می‌کند. روش NIRA بر اساس رابطه ریاضی بین طیف‌ها و داده‌های مرجع بنا می‌شود. هنگامی که رابطه ریاضی برقرار شد طیف‌سنج NIRA طیف‌ها را جمع‌آوری نموده و سپس آنالیز پیش‌بینی صورت می‌گیرد (۱۴). روش NIRA بر اساس معادله رگرسیون چند متغیری بنا شده است که باید بر اساس منطقه مطالعاتی و طیف الکترومغناطیس در دسترس واسنجی شود. مشخصه طیفی اجزای خاک در محدوده مرئی و مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR) (محدوده ۴۵۰-۲۵۰۰) نتیجه انتقال الکترونیکی (عمدتاً در طیف مرئی) و ارتعاشات مولکولی (عمدتاً در ناحیه SWIR) گروه‌های عاملی ویژه خاک می‌باشند (۷). مشخصه ویژه کانی‌های خاک در ناحیه SWIR می‌باشد که نتیجه جذب ویژه گروه‌های عاملی نظیر  $\text{OH}^-$  و  $\text{CO}_3$  می‌باشد (۱۷). امروزه روش NIRA در بسیاری از مطالعات در زمینه‌های مختلف به کار می‌رود و نتایج قابل قبولی ارائه شده است (۲۶). سورنسن و دالسگارد (۲۸) و براون و همکاران (۱۱) از طیف مرئی و مادون قرمز برای تعیین اجزا خاک استفاده نمودند و نتایج خوبی را برای کمی‌سازی ماده آلی، رس و آهن خاک به دست آوردند. همچنین، در بسیاری از مطالعات به منظور تخمین مقادیر رس و کربنات از روش NIRA استفاده شده است (۶، ۷، ۸، ۱۵).

برخلاف روش NIRA که روشی تجربی است روش برداشت پیوسته (CR; Continuum Removal) به کمی‌سازی جذب مواد در طول موج ویژه آن ماده که فرض می‌شود که هیچ ماده دیگری در اطراف این طول موج ویژه جذب نشان ندهد استوار است. تقریب پیوستگی توسط یک خط مستقیم که دو نقطه ماکزیمم انعکاس را که در شانه پیک طول موج جذبی

باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود (۳۷). داده‌های سنجش از دور، به دلیل پوشش زیاد سطح زمین و ارتباط با ویژگی‌های خاک، قابلیت برآورد ویژگی‌های خاک با هزینه مناسب را دارند. با توجه به کاربرد زیاد این روش‌ها، ارزیابی دقت و هزینه این روش‌ها در تعیین ویژگی‌های خاک و مقایسه آن‌ها با یکدیگر امری ضروری به نظر می‌رسد. مطالعه حاضر با هدف بررسی و مقایسه کارایی روش زمین‌آمار و سنجش از دور در تخمین مقادیر کربنات کلسیم معادل و بافت خاک انجام گرفت.

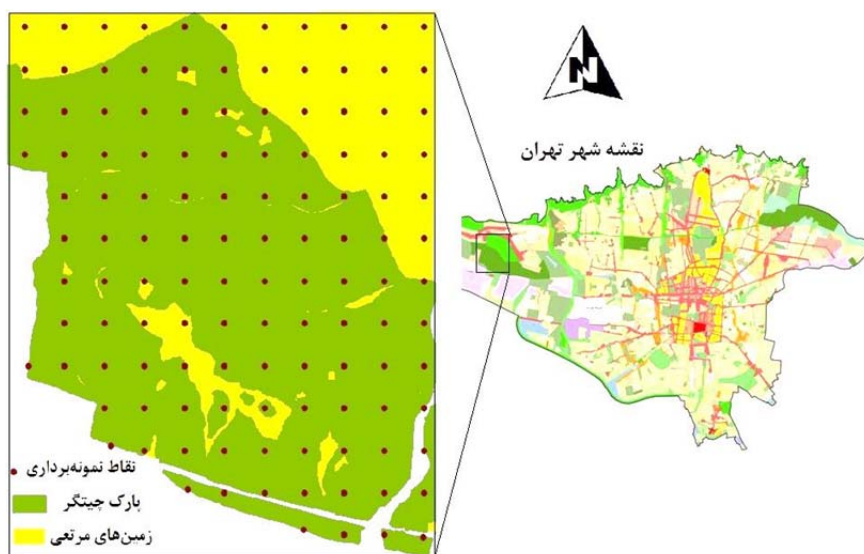
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

قسمتی از پارک جنگلی چیتگر و زمین‌های اطراف آن واقع در غرب شهر تهران می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی  $30^{\circ} 11' 51''$  تا  $9^{\circ} 13' 51''$  شمالی و عرض‌های جغرافیایی  $14^{\circ} 43' 35''$  تا  $52^{\circ} 44' 35''$  شمالی به مساحت ۶۶۵ هکتار واقع شده است. نوع کاربری منطقه مورد مطالعه شامل پارک جنگلی چیتگر با درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ که در سال ۱۳۴۵ توسط اداره منابع طبیعی استان تهران احداث شده است و هم‌اکنون توسط اداره فضای سبز شهرداری تهران نگهداری می‌شود. و همچنین قسمتی از زمین‌های اطراف پارک که فاقد کاربری خاصی بوده و دارای پوشش مرتعی بوده که دخالت انسانی در آن صورت نمی‌گیرد حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه به ترتیب ۱۳۱۳ و ۱۲۲۵ متر از سطح دریا می‌باشد و متوسط ارتفاع آن ۱۲۶۹ متر است. میانگین سالانه بارش بر اساس آمار چهارده ساله (۷۴-۸۹) ایستگاه هواشناسی چیتگر ۲۶۷ میلی‌متر می‌باشد. پارک جنگلی چیتگر بر روی نهشته‌های آبرفتی حاصل فعالیت رودخانه‌ها و مسیل‌های فصلی جریان یافته از کوه‌های البرز بنا شده است و متشکل از کنگلومرای همگن یا قله‌سنگ، شن و ریگ بوده و فضای میان دانه‌ها را ماسه، سیلت و رس پر کرده است. رژیم رطوبتی منطقه، اریدیک و رژیم حرارتی منطقه ترمیک می‌باشد و خاک‌های منطقه مورد مطالعه در دو راسته Entisols و Aridisols طبقه‌بندی می‌شوند.

قرار دارند اتصال می‌دهد، انجام می‌گیرد.  $CR_{\lambda}$  به عنوان تابعی از مقادیر بازتاب  $R_{(\lambda)}$  در طول موج  $\lambda$  می‌باشد. پیک جذب مورد انتظار برای رس در اطراف ۲۲۰۸ نانومتر است که در ارتباط با ترکیبات Al-OH و OH می‌باشد. همچنین پیک جذب مورد انتظار برای کربنات کلسیم در اطراف ۲۳۴۸ نانومتر می‌باشد که در ارتباط با ارتعاشات گروه عاملی  $CO_3$  است (۱۹). بعد از مرحله CR مقادیر عمق باند جذب از روی طیف VNIR/SWIR محاسبه می‌شود و برای تخمین خصوصیات خاک بکار می‌روند. مقادیر عمق باند جذب در ۲۲۰۸ و ۲۳۴۸ نانومتر پس از مرحله CR به ترتیب برای تخمین مقادیر رس و کربنات کلسیم استفاده می‌گردد (۱۶). این روش برای کمی‌سازی مقادیر رس و کربنات کلسیم خاک با استفاده از تصاویر سنجنده‌های AVIRIS و HYMAP استفاده شده است (۱۶، ۱۹، ۲۴، ۳۱، ۳۶).

مقدار رس و کربنات کلسیم به عنوان داده‌های پایه به‌طور گسترده‌ای توسط متخصصین ارزیابی خاک برای توصیف خاک بکار می‌روند. به علاوه مقدار رس و کربنات کلسیم خاک سطحی جز خصوصیات مرتبط با مقدار فرسایش‌پذیری خاک نیز می‌باشند (۲۰). وجود و یا عدم وجود کربنات کلسیم اثر مهمی بر روی pH خاک دارد و بنابراین کنترل‌کننده بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در رابطه با قابل دسترس بودن عناصر برای گیاه و تحرک این عناصر در خاک می‌باشد (۲۲). از طرفی مقدار رس خاک نیز بر روی بسیاری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تأثیرگذار است برای مثال مقدار رس خاک بر مقادیر CEC خاک (۲۳)، حاصلخیزی و فراهمی عناصر (۲۳)، نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی (۳۳) و بسیاری از خصوصیات دیگر خاک تأثیر مستقیم دارد. بنابراین، استفاده از روش‌های با کارایی بالا و در عین حال اقتصادی و با هزینه کم در پیش‌بینی و تخمین این ویژگی‌ها مورد بررسی و تحقیق بوده و می‌باشد (۱۹). در حال حاضر روش زمین‌آمار در تهیه نقشه ویژگی‌های خاک از جمله کربنات کلسیم و مقدار رس به فراوانی استفاده می‌شود. ولی در روش‌های زمین‌آمار، برای به دست آوردن دقت مناسب، نیاز به تعداد زیاد نمونه است که



شکل ۱. موقعیت قرارگیری منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه برداری

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)| \quad [2]$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)] \quad [3]$$

در این رابطه ها؛  $n$  تعداد نقاط مشاهده ای،  $\hat{Z}(x_i)$  مقدار برآوردی بر نقطه  $i$  ام،  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده ای برای نقطه  $i$  ام.

### روش تحقیق

از داده های سنجنده TM ماهواره لندست ۵ به شماره گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۵ مربوط به تاریخ ۷ اکتبر ۲۰۰۹ و از باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده گردید. مقادیر (DN; Digital Number) به Radiance و سپس به داده های انعکاسی (Reflectance) تبدیل شدند (۲۹). به منظور تصحیح هندسی تصاویر از نقشه DEM منطقه و همچنین استفاده از نقاط کنترل زمینی با استفاده از GPS استفاده گردید. مدل NIRA دو مرحله دارد که مرحله اول مرحله واسنجی که معادله پیش بینی به دست می آید و در مرحله دوم مرحله اعتبارسنجی که اعتبار مرحله قبل سنجنده می شود. از آنجایی که NIRA یک روش تجربی است مرحله اعتبارسنجی ضروری می باشد (۷). مدل NIRA با استفاده از ۷۰ درصد داده ها انجام گرفت و اعتبارسنجی با استفاده از ۳۰

در مجموع تعداد ۱۱۶ نمونه سطحی به صورت شبکه منظم و با فاصله ۲۵۰ متر از ۲۰-۰ سانتی متری سطح خاک برداشت شد. پس از آماده سازی اولیه نمونه ها (هوا خشک نمودن، کوبیدن و عبور از الک ۲ میلی متری)، بافت خاک به روش هیدرومتری و درصد کربنات کلسیم به روش حجم سنجی (گازومتری) اندازه گیری شدند (۲۵). در مجموعه روش های زمین آماری، در مرحله اول شناخت و مدل سازی ساختار مکانی متغیر است که به وسیله آنالیز نیم تغییرنا قابل بررسی می باشد. مرحله دوم تخمین متغیر مورد نظر بوده که به مرحله اول وابسته است (۳). روش های کریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله IDW به منظور تخمین رس و کربنات کلسیم در نقاط نمونه برداری نشده به کار رفت و برای اعتبارسنجی این روش ها از روش اعتبارسنجی تقاطعی استفاده گردید. به منظور مقایسه روش های بکار رفته به منظور پیش بینی از معیارهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSe)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین اریبی خطا (MBE) می باشند که به ترتیب توسط روابط ۲، ۳ و ۴ محاسبه می شود. معیار MAE و MBE هر چقدر به صفر نزدیکتر باشد نشان دهنده دقت بیشتر و خطای کمتر روش می باشد (۳۵).

$$RMSe = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2} \quad [1]$$

$$OA = \frac{1}{N} \sum p_{ii} \quad [4]$$

که در این رابطه: OA صحت کلی، N: تعداد کل پیکسل‌های آزمایشی و  $\sum P_{ii}$ : مجموع پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده است. برای روش کاپا از روش پیشنهادی جانسن (۱۸) استفاده گردید.

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})} \quad [5]$$

در این رابطه: K ضریب کاپا، N تعداد کل نمونه‌ها در ماتریکس خطا، r تعداد ردیف در ماتریکس،  $X_{ij}$ : تعداد ردیف i و ستون j،  $i^+$  تعداد کل در ردیف i و  $i^+$  تعداد کل در ستون i می‌باشد. در ماتریکس خطا، ستون نماینده داده واقعی و اندازه‌گیری شده و ردیف‌ها طبقه‌های پیش‌بینی شده هستند. تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI<sup>®</sup>4.5 و ERDAS<sup>®</sup>9.1 صورت گرفت. تجزیه تحلیل ساختار مکانی داده‌ها از طریق نرم‌افزار GS<sup>+</sup>5.1 صورت گرفت. رسم و تهیه نقشه‌ها و ارزیابی صحت نقشه‌ها در ArcGIS<sup>®</sup>9.3 صورت گرفت.

### نتایج و بحث

خلاصه آماری مقادیر رس و کرنات کلسیم معادل در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به چولگی و نتایج تست نرمالیتی کولموگروف اسمیرنوف مشخص گردید که خصوصیات مورد بررسی از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. بنابراین، تغییر شکل داده‌ها به شکل لگاریتمی انجام گرفت.

درصد باقیمانده که در مرحله قبل به کار برده نشده بودند، صورت گرفت. داده‌های استفاده شده در هر دو مرحله به صورت تصادفی به طوری که کل منطقه را پوشش دهند انتخاب گردیدند. مرحله یک با استفاده از رگرسیون چندگانه بین مقادیر باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ سنجنده TM به عنوان متغیرهای مستقل و داده‌های مقادیر رس و کرنات کلسیم اندازه‌گیری شده به عنوان متغیر وابسته صورت گرفت. سپس مرحله اعتبارسنجی معادله رگرسیون چند متغیره به دست آمده از طریق داده‌هایی که در مرحله قبل مورد استفاده قرار نگرفته بود صورت گرفت بدین ترتیب که طیف مربوط به این نمونه‌ها استخراج و در معادله پیش‌بینی قرار گرفت. داده‌های آزمایشگاهی کرنات کلسیم و رس با داده‌های پیش‌بینی شده از طریق معادله رگرسیونی مقایسه شدند. دومین تکنیک بکار رفته برای تخمین مقادیر رس و کرنات کلسیم تکنیک CR بود. فرض تکنیک CR در کمی‌سازی جذب مواد در طول موج معین این است که هیچ ماده دیگری در اطراف آن طول موج قوی ندارد (۱۲). CR از طریق خط مستقیم که حداکثر انعکاس را در شانه دو طول موج پیک که در نزدیکی هم قرار دارند را وصل می‌کند. بنابراین CR به عنوان تابعی از مقادیر انعکاس در طول موج  $\lambda$  می‌باشد (۱۶). پیک حداکثر برای رس در ۲۲۰۸ و برای کرنات کلسیم در ۲۳۴۸ نانومتر در منابع ذکر شده است (۱۶ و ۱۹). برای اعتبارسنجی مدل CR از اعتبارسنجی تقاطعی (Cross-validation) استفاده گردید. به منظور کار با تکنیک CR از افزونه View\_Specpr در نرم‌افزار ENVI استفاده شد. صحت نقشه‌های تولیدی و ضریب کاپا هر نقشه با استفاده از ۳۰ نمونه تصادفی که معرف تمام سطح منطقه بودند محاسبه گردید. جهت ارزیابی کلی از روش پیشنهادی اسمیت و همکاران (۲۷) استفاده شد.

جدول ۱. خلاصه آماری مقادیر رس و کرنات کلسیم (درصد)

متغیر	تعداد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات
رس	۱۱۶	۱۰/۷۲	۴۵	۲۲/۰۹	۷/۴۷	۱/۱۶	۱/۵۷	۰/۳۵
کرنات کلسیم معادل	۱۱۶	۲/۸۷	۲۵/۵۳	۱۰/۲۴	۵/۳۲	۰/۸۴	-۰/۰۱	۰/۵۲

پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها از واریوگرام به بهترین مدل واریوگرام برای درصد رس مدل نمایی و برای کرنات کلسیم مدل کروی است (جدول ۲).

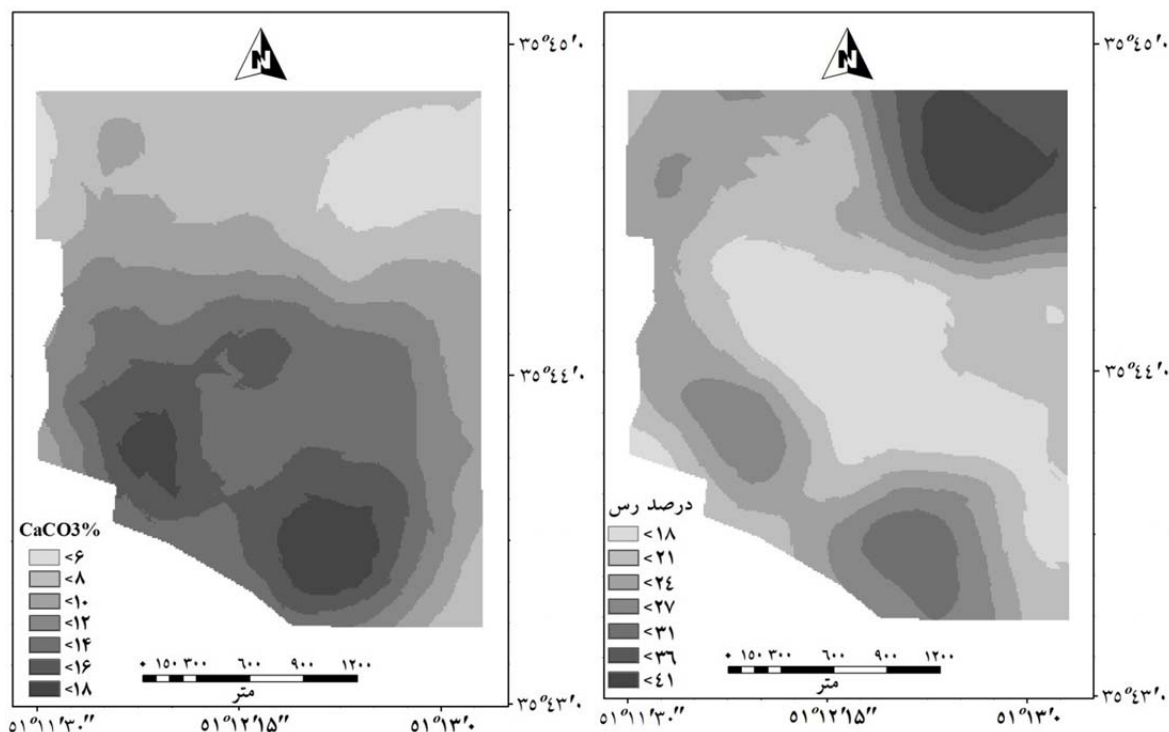
پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها از واریوگرام به منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها استفاده شد. نتایج آنالیز واریوگرام بر روی متغیرهای اندازه‌گیری شده نشان داد که

جدول ۲. مشخصات نیم تغییر نمای شاخص‌های مورد مطالعه

شاخص	مدل انتخابی	اثر قطعه‌ای (C <sub>0</sub> )	مقدار آستانه (Sill)	دامنه تأثیر (A)	(C <sub>0</sub> /C <sub>0</sub> +C)	R <sup>2</sup>
کرنات کلسیم	کروی	۰/۰۷	۰/۳۶	۲۹۴۸	۰/۱۹	۰/۹۶
درصد رس	نمایی	۰/۱۱	۰/۶۷۶	۱۵۷۵	۰/۱۶	۰/۹۳

برای بررسی ناهمسانگردی از واریوگرام‌های جهت‌دار استفاده شد. بررسی این واریوگرام‌ها نشان داد که ناهمسانگردی مشهودی برای این خصوصیات وجود ندارد. همچنین، در واریوگرام تجربی این خصوصیات تناوب وجود نداشت و نیازی به استفاده از روش‌های درونیابی برای شرایط روند نمی‌باشد. لذا از واریوگرام‌های همه‌جانبه در محاسبات درونیابی استفاده گردید. مدل تئوری برازش داده شده بر واریوگرام تجربی نشان داد که مقادیر رس و کرنات کلسیم معادل ساختاردار بودند. کلاس وابستگی مکانی قوی برای درصد رس و کرنات کلسیم به دست آمد. شکل ۲ پهنه‌بندی مقادیر کرنات کلسیم معادل و رس خاک با استفاده از روش کریجینگ را نشان می‌دهد.

برای بررسی ناهمسانگردی از واریوگرام‌های جهت‌دار استفاده شد. بررسی این واریوگرام‌ها نشان داد که ناهمسانگردی مشهودی برای این خصوصیات وجود ندارد. همچنین، در واریوگرام تجربی این خصوصیات تناوب وجود نداشت و نیازی به استفاده از روش‌های درونیابی برای شرایط روند نمی‌باشد. لذا از واریوگرام‌های همه‌جانبه در محاسبات



شکل ۲. نقشه‌های تغییرات مکانی مقادیر کرنات کلسیم معادل و رس با استفاده از روش کریجینگ

میانمایی برای تخمین مقدار رس به کار رفت. در مورد کرنات کلسیم معادل نیز روش کریجینگ نسبت به IDW دقت بیشتری دارد (جدول ۳).

نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی کریجینگ و IDW، از طریق ارزیابی مقاطع و آزمون برازندگی روش‌های میان‌یابی نشان می‌دهد که روش کریجینگ با مقادیر  $RMSE=4/7$  و  $MAE=4/1$  و  $MBE=0/5$  به عنوان بهترین روش به منظور

جدول ۳. مقایسه دقت تخمین‌گرهای مورد بررسی در تخمین مقادیر خصوصیات

متغیر	روش تخمین	RMSE	MAE	MBE
رس	کریجینگ	4/7	4/1	-0/5
	IDW توان 1	5/84	4/65	-0/6
	IDW توان 2	5/67	4/48	-0/63
	IDW توان 3	5/73	4/56	-0/62
	NIRA	4/99	4/38	0/47
	CR	8/12	7/18	0/89
کرنات کلسیم معادل	کریجینگ	4/40	3/20	-0/71
	IDW توان 1	4/49	3/30	-0/62
	IDW توان 2	4/51	3/35	-0/65
	IDW توان 3	4/57	3/38	-0/67
	NIRA	-	-	-
	CR	6/54	5/59	0/49

با باند  $TM_7$  نشان داد. در این مطالعه نیز باند  $TM_7$  بیشترین همبستگی را با مقدار رس خاک نشان داد و به عنوان باند اصلی در پیش‌بینی مقدار رس به کار رفت. پس از تعیین شدن باندها که بیشترین همبستگی را با داده‌های به دست آمده برای مقدار رس خاک داشتند رابطه رگرسیونی چند متغیره با استفاده از روش رگرسیون گام به گام (Stepwise) بین مقدار رس خاک به عنوان متغیر وابسته و مقادیر انعکاسی باندها به عنوان متغیر مستقل به دست آمد.

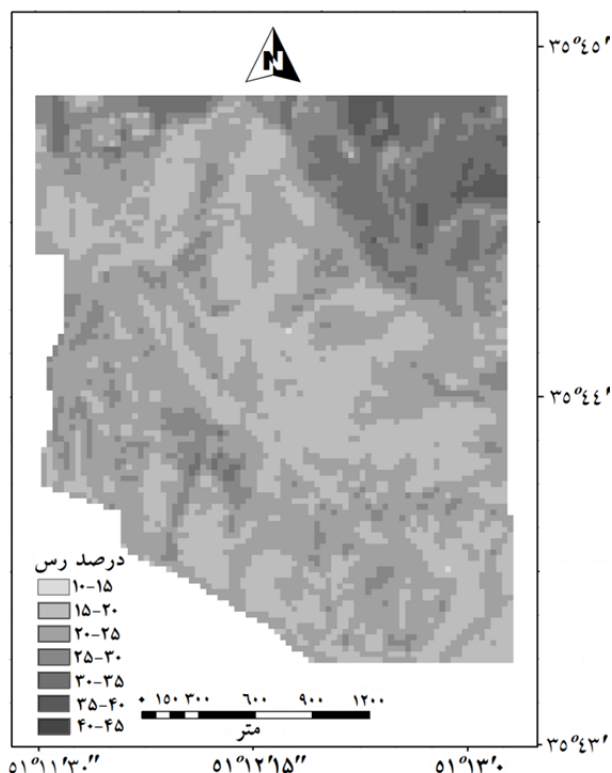
$$\%Clay = 72.925 \times TM_7 + 47.255 \times TM_4 + 5.081 \quad [6]$$

ضریب تبیین معادله رگرسیونی به دست آمده مقدار  $R^2 = 0/52$  را نشان داد. کولمن و همکاران (۱۳) در مطالعه خود مقدار ضریب تبیین 0/1 تا 0/4 را برای معادلات تخمین مقادیر

#### برآورد متغیرها با استفاده از روش سنجش از دور

پس از تصحیح هندسی تصاویر و تبدیل درجه روشنایی (DN) تصاویر به مقادیر انعکاسی، با استفاده از تکنیک NIRA و CR اقدام به تخمین مقادیر رس و کرنات کلسیم معادل در سطح منطقه مورد مطالعه شد. با استفاده از مدل NIRA ابتدا معادله رگرسیونی چند متغیره بین داده‌های رس و کرنات کلسیم و 6 باند سنجنده  $TM$  به عنوان متغیر مستقل برای 81 نقطه (70 درصد نمونه‌ها) از داده‌های اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی رس برقرار شد. بر اساس نتایج رگرسیون گام به گام، معادله رگرسیونی چند متغیره پیش‌بینی مقدار رس با استفاده از باندهای  $TM_7$  و  $TM_4$  صورت گرفت. دماته و همکاران (۱۴) در معادله رگرسیونی پیش‌بینی مقدار رس، باند  $TM_7$  و  $TM_5$  و  $TM_2$  را به کار گرفت و بیشترین همبستگی را

استفاده از آن به کار برده نشده است (۱۴). بنابراین بسته به منطقه مطالعاتی و عامل مورد بررسی می‌تواند عملکرد متفاوتی نشان دهد. که در این مطالعه برای مقدار رس این روش، پیش‌بینی قابل قبول ارائه نمود در حالی که برای کربنات کلسیم معادل نتوانست معادله مناسبی ارائه کند.



شکل ۳. نقشه طبقه‌بندی مقدار رس خاک بر اساس تصویر ماهواره‌ای

به منظور استفاده از تکنیک CR با استفاده از افزونه View\_Specpr در نرم‌افزار ENVI<sup>®</sup> 4.5، پیک حداکثر برای رس در ۲۲۰۸ و برای کربنات کلسیم در ۲۳۴۸ نانومتر استفاده گردید. برای اعتبارسنجی مدل CR از اعتبارسنجی تقاطعی و میانگین قدر مطلق خطا و مجذور میانگین مربع خطا استفاده گردید. مقادیر بسیار بالای RMSE، MAE، MBE در تخمین مقدار رس و کربنات کلسیم، اعتبار پایین این روش را در تخمین مقادیر رس و کربنات کلسیم نشان داد (جدول ۳). در نتیجه این روش برای تخمین هیچکدام از متغیرهای مورد

رس، شن و سیلت گزارش نمودند. همچنین، معادله رگرسیونی در مطالعه دمانته (۱۴) نیز مقدار  $R^2=0/61$  را برای پیش‌بینی مقدار رس از طریق تصاویر ماهواره‌ای TM نشان داد. ضریب تبیین معادله رگرسیونی پیش‌بینی رس در مطالعه بن-دور و بانین (۷) نیز  $R^2=0/76$  بود. پس از این مرحله اقدام به اعتبارسنجی مدل از طریق ۳۵ نمونه آزمایشگاهی رس که در مرحله قبل بکار برده نشده بودند، شد که نتایج اعتبارسنجی مدل مقدار  $RMSE=4/99$ ،  $MBE=0/47$  و  $MAE=4/38$  (جدول ۳) را نشان داد. که با توجه به مقادیر پایین این سه پارامتر، اعتبار مدل به دست آمده برای تخمین مقدار رس مناسب ارزیابی شد. ضریب تبیین متفاوت در مقالات مختلف در نتیجه روش و حجم خاک مورد بررسی به خصوص در سنجنده‌های از نوع چرخشی نظیر TM می‌باشد (۱۴). با توجه به ضریب تبیین قابل قبول معادله رگرسیونی و صحت این معادله اقدام به تهیه نقشه مقدار رس با استفاده از باندها و معادله رگرسیونی شد. در این معادله ارزش‌های رقوم بازتاب در باندها به عنوان متغیر مستقل و مقدار رس خاک به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی ارزش‌های رقوم باندهای اطلاعات ماهواره‌ای در مدل برازش داده شده قرار گرفتند و پهنه‌بندی مقدار رس خاک انجام شد (شکل ۳).

اما روش NIRA برای تخمین مقدار کربنات کلسیم مناسب نبود. با توجه به مقدار پایین همبستگی مقادیر انعکاسی باندها و مقدار کربنات کلسیم، بنابراین ضریب تبیین پایین معادله رگرسیونی به دست آمده منجر به بالا رفتن خطا و عدم دقت روش برای تخمین این ویژگی بود. بنابراین استفاده از روش NIRA برای تخمین مقدار کربنات کلسیم روش نامناسب در سطح منطقه مطالعاتی بود و از این روش برای تخمین مقدار کربنات کلسیم استفاده نشد. این در حالی بود که معادله رگرسیونی به دست آمده برای پیش‌بینی مقدار کربنات کلسیم با استفاده از باندهای TM در مطالعه بن-دور و بنین (۶)  $R^2=0.7$  نشان داد. باید توجه داشت که روش NIRA یک روش تجربی است و هیچگونه فرضیات شیمیایی و فیزیکی در



### صحت نقشه‌های تولیدی

بررسی صحت و کارایی نقشه‌های به دست آمده از طریق تصویر ماهواره‌ای و پهنه‌بندی کریجینگ از تعداد ۳۰ داده واقعی نشان داد که ضریب کاپای محاسبه شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای نقشه درصد رس،  $0/61$  و صحت کلی  $67$  درصد بود. اما برای نقشه تولید شده با روش کریجینگ برای مقدار رس کاپا  $0/73$  و صحت کلی  $78$  درصد به دست آمد. نقشه رس خاک حاصل روش کریجینگ به دلیل ضریب کاپا و صحت کلی بالاتر نسبت به نقشه ایجاد شده توسط تصاویر ماهواره‌ای از دقت بیشتری برخوردار است. برای مقدار کرنات کلسیم خاک نیز با توجه به معادله رگرسیونی استفاده از تکنیک NIRA و CR و همچنین همبستگی بسیار پایین مقادیر باندها و مقادیر کرنات کلسیم آزمایشگاهی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین و تهیه نقشه مناسب نبود. با توجه به صحت و دقت نقشه تولید شده کرنات کلسیم توسط روش کریجینگ، این روش، روشی مناسب برای تخمین مقدار کرنات کلسیم در سطح منطقه مطالعاتی بود. مدل کریجینگ بیشتر در مقیاس محلی کاربرد دارد که این امر در مطالعات والرم (۳۴) و برتیریش و همکاران (۹) در مقایسه سنجش از دور و زمین‌آمار در تهیه نقشه حجم و شاخص سطح برگ دیده می‌شود. برتیریش و همکاران (۹) عنوان داشتند که مدل کریجینگ در مقیاس محلی کاربرد دارد در حالی که سنجش از دور برای نشان دادن الگوی جهانی کاربرد دارد. در مقایسات روش سنجش از دور در مقیاس‌های کوچکتر، مانند مطالعه دائم‌پناه و همکاران (۱) در تهیه نقشه شوری در منطقه‌ای به وسعت حدود  $6828$  هکتار و محمدی و همکاران (۴) در مقایسه روش سنجش از دور در برآورد تعداد درختان در هکتار در منطقه‌ای به وسعت  $10683$  هکتار روش مناسبتری نسبت به روش زمین‌آمار بود. با توجه به کوچک بودن منطقه مورد مطالعه ( $665$  هکتار) در این بررسی و فاصله کوتاه نمونه‌برداری ( $250$  متر و شبکه منظم) باعث افزایش مؤلفه ساختاردار و کاهش اثر قطعه‌ای و در نتیجه عملکرد بهتر روش زمین‌آمار نسبت به روش سنجش از دور برای تخمین و تهیه

مطالعه مناسب ارزیابی نشد. شرط پایه استفاده از روش CR این است که هیچ عامل دیگری به جز عامل مورد نظر در اطراف مشخصه جذبی هدف مشخصه جذبی نشان ندهد (۱۹). به نظر می‌رسد ماهواره لندست به دلیل قدرت تفکیک طیفی پایین، نتایج روش CR موفقیت‌آمیز نداشته و سنجنده‌های با قدرت تفکیک طیفی بالا نظیر HYMAP و AVHRR نتایج بسیار قابل قبولی را برای پیش‌بینی و تخمین رس و کرنات کلسیم ارائه نمودند (۱۶، ۱۹، ۲۴، ۳۰ و ۳۷).

مقایسه زمین‌آمار و سنجش از دور در مدل‌سازی تغییرات رس و کرنات کلسیم معادل نتایج مقایسه برآورد مقادیر رس از طریق تخمین‌گرهای مختلف در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس مقادیر RMSE، MAE و MBE به دست آمده روش کریجینگ از بین تخمین‌گرهای مختلف به عنوان دقیق‌ترین روش در تخمین مقدار رس ( $RMSE=4/7$  و  $MAE=4/1$  و  $MBE=0/5$ ) نسبت به سایر روش‌ها ارزیابی شد. بر این اساس روش NIRA نسبت به روش IDW دارای دقت بالاتری بود. همچنین، دقت روش کریجینگ در تخمین مقادیر کرنات کلسیم در سطح منطقه بالا بود (جدول ۳). این در حالی بود که همبستگی میان تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های کرنات کلسیم پایین بود و امکان تخمین مقادیر کرنات کلسیم با روش سنجش از دور ضعیف ارزیابی شد.

زمین‌آمار روشی وابسته به مدل است. در نتیجه کلیه خروجی‌های زمین‌آمار در مرحله کریجینگ وابسته به ساختار واریوگرام و اجزا آن است که در این میان اثر قطعه‌ای نقش مهمی دارد. معمولاً عواملی نظیر وجود مؤلفه‌های تصادفی در توزیع متغیر و وجود خطای نمونه‌برداری و آنالیز منجر به ایجاد و پیدایش اثر قطعه‌ای در واریوگرام می‌شود (۴). مطابق یک اصل کلی، وقتی سطح برآورد افزایش یابد، دقت برآورد روش سنجش از دور نسبت به زمین‌آمار بیشتر می‌شود (۳۰). که این امر می‌تواند ناشی از کاهش مؤلفه ساختاردار و در نتیجه افزایش اثر قطعه‌ای در اثر افزایش مساحت منطقه باشد. به طور کلی، با افزایش سطح مورد مطالعه امکان افزایش مؤلفه تصادفی افزایش می‌یابد.

## منابع مورد استفاده

۱. دائم پناه، ر.، غ. حق‌نیا، ا. علیزاده و ع. ر. کریمی کارویه. ۱۳۹۰. تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی با روش‌های دورسنجی و زمین‌آماری در جنوب شهرستان مه ولات. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی): ۲۵(۳): ۴۹۸-۵۰۸.
۲. فاضلی سنگانی، م.، م. شرفا و ف. سرمیدان. ۱۳۸۹. درون‌یابی و پهنه‌بندی میزان رطوبت حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۲): ۲۵۱-۲۶۲.
۳. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری. جلد دوم (آمار مکانی). انتشارات پلک. تهران، ۴۵۳ صفحه.
۴. محمدی، ج.، ش. شتایی جویباری، ه. حبشی و ف. یغمایی. ۱۳۸۷. مقایسه سنجش از دور و زمین‌آمار در برآورد تعداد درختان در هکتار (مطالعه موردی جنگل‌های بلوط لوه گرگان). علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۱): ۱۰-۲۱.
۵. ناصری، ف. ۱۳۸۲. طبقه‌بندی تپ‌های جنگلی و برآورد مشخصه‌های کمی آن‌ها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنگل‌های مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: پارک ملی خیر- استان کرمان). رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۰۲ صفحه.
6. Ben-Dor E, Banin A. 1990. Near-infrared reflectance analysis of carbonate concentration in soils. *Applied Spectroscopy*, 44(6): 1064-1069.
7. Ben-Dor E, Banin A. 1995. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 59(2): 364-372.
8. Ben-Dor E, Banin A. 1996. Evaluation of several soil properties using convolved TM spectra. *Monitoring Soils in the Environment with Remote Sensing and GIS*, ORSTOM Éditions, Paris: 135-149.
9. Berterretche M, Hudak AT, Cohen WB, Maiersperger TK, Gower ST, Dungan J. 2005. Comparison of regression and geostatistical methods for mapping Leaf Area Index (LAI) with Landsat ETM+ data over a boreal forest. *Remote Sensing of Environment*, 96(1): 49-61.
10. Bhatti A, Khan F, Akmal M. 2010. Spatial variability and geo-statistics application for mapping of soil properties and nutrients in semi arid district Kohat of Khyber Pakhtunkhwa (Pakistan). *Soil and Environment (Pakistan)*,

نقشه مقادیر کربنات کلسیم و رس خاک شد.

علی‌رغم نتایج تخمین بهتر روش کریجینگ نسبت به روش سنجش از دور در این مطالعه باید به این نکته توجه داشت که روش‌های زمین‌آماری برای داشتن نتایج مناسب به تعداد نمونه‌گیری بیشتر و در نتیجه صرف هزینه و وقت بیشتری نسبت به روش سنجش از دور دارد. در نتیجه برای استفاده از هرکدام از روش‌ها باید به بعد اقتصادی روش نیز توجه شود. از این منظر اگر دقت تخمین در هدف مطالعه حیاتی نباشد، بر اساس نتایج این مطالعه روش سنجش از دور با توجه به اختلاف کم با روش کریجینگ در دقت تخمین مقدار رس خاک روش مناسبتری به نظر می‌رسد.

## نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که تخمین و تهیه نقشه مقادیر رس با استفاده از روش زمین‌آماری و سنجش از دور دارای دقت مناسب بودند اما مقادیر کوچک‌تر معیارهای RMSE، MAE و MBE تخمین رس به روش کریجینگ نسبت به روش سنجش از دور نشان دهنده دقت بالاتر روش کریجینگ بود. همچنین مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی نقشه در نقشه رس تهیه شده از طریق کریجینگ دقت بیشتری نسبت به روش سنجش از دور داشت.

باندهای تصاویر ماهواره‌ای اگرچه با مقادیر رس در نقاط نمونه‌برداری همبستگی معنی‌دار نشان دادند اما با مقادیر کربنات کلسیم معادل در نقاط نمونه‌برداری شده همبستگی معنی‌دار نبود و بنابراین تخمین و تهیه نقشه کربنات کلسیم با روش سنجش از دور برای مقادیر کربنات کلسیم مقدر نبود. این درحالی بود که به کمک روش کریجینگ تخمین مناسب و نقشه با دقت قابل قبول از کربنات کلسیم در سطح منطقه صورت گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که تهیه نقشه با استفاده از روش‌های زمین‌آماری در مقیاس محلی دقت بالاتری را نسبت به روش سنجش از دور دارد.

- calcite surfaces. *Soil Science Society of America Journal*, 44(1): 26-28.
23. McBride MB. 1994. *Environmental chemistry of soils*. Oxford university press. 406 pp.
  24. Netto JSM, Robbez-Masson JM, Martins E. 2006. Chapter 17 Visible–NIR Hyperspectral Imagery for Discriminating Soil Types in the La Peyne Watershed (France). In: P. Lagacherie ABM, Voltz M, editors. *Digital Soil Mapping An Introductory Perspective*, vol. 31, Elsevier, p. 219–611.
  25. Pansu M, Gautheyrou J. 2006. *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*. Springer Berlin Heidelberg, New York. 993 pp.
  26. Shepherd KD, Walsh MG. 2007. Infrared spectroscopy—enabling an evidence-based diagnostic surveillance approach to agricultural and environmental management in developing countries. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 15(1): 1-19.
  27. Smits P, Dellepiane S, Schowengerdt R. 1999. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approach. *International journal of remote sensing*, 20(8): 1461-1486.
  28. Sørensen L, Dalsgaard S. 2005. Determination of clay and other soil properties by near infrared spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 69(1): 159-167.
  29. Tanré D, Holben BN, Kaufman YJ. 1992. Atmospheric correction against algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 30(2): 231-248.
  30. Tuominen S, Fish S, Poso S. 2003. Combining remote sensing, data from earlier inventories, and geostatistical interpolation in multisource forest inventory. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(4): 624-634.
  31. Tuominen S, Haakana M. 2005. Landsat TM imagery and high altitude aerial photographs in estimation of forest characteristics. *Silva Fennica*, 39(4): 573-584.
  32. Usowicz ŁB, Usowicz B, Bernard UL, Boguslaw U. 2002. Spatial variability of soil particle size distribution in Poland. 17th World Congress Of Soil Science, 14-21 August, Bangkok, Thailand. p. 14–20.
  33. Wakindiki IC, Mainuri ZG, Gichaba M. 2006. Soil use and management effects on aggregate stability and hydraulic conductivity within 29(2): 159-166.
  11. Brown DJ, Shepherd KD, Walsh MG, Mays MD, Reinsch TG. 2006. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 132(3): 273-290.
  12. Clark RN, Roush TL. 1984. Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, 89(B7): 6329-6340.
  13. Coleman T, Agbu P, Montgomery O. 1993. Spectral differentiation of surface soils and soil properties: Is it possible from space platforms? *Soil Science*, 155(4): 283-293.
  14. Demattê J, Fioriob P, Ben-Dorc E. 2009. Estimation of soil properties by orbital and laboratory reflectance means and its relation with soil classification. *Open Remote Sensing Journal*, 2: 12-23.
  15. Galvão LS, Formaggio AR, Couto EG, Roberts DA. 2008. Relationships between the mineralogical and chemical composition of tropical soils and topography from hyperspectral remote sensing data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63(2): 259-271.
  16. Gomez C, Lagacherie P, Coulouma G. 2008. Continuum removal versus PLSR method for clay and calcium carbonate content estimation from laboratory and airborne hyperspectral measurements. *Geoderma*, 148(2): 141-148.
  17. Hunt GR, Salisbury JW. 1971. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks. II. Carbonates. *Modern Geology*, 2: 23-30.
  18. Jensen JR. 1996. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc.
  19. Lagacherie P, Baret F, Feret J-B, Netto JM, Robbez-Masson JM. 2008. Estimation of soil clay and calcium carbonate using laboratory, field and airborne hyperspectral measurements. *Remote Sensing of Environment*, 112(3): 825-835.
  20. Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and method. *Journal of Soil Science*, 47: 425-437.
  21. Liu T-L, Juang K-W, Lee D-Y. 2006. Interpolating soil properties using kriging combined with categorical information of soil maps. *Soil Science Society of America Journal*, 70(4): 1200-1209.
  22. McBride M. 1980. Chemisorption of Cd<sup>2+</sup> on

- River Njoro Watershed in Kenya. In 18th World Congress of Soil Science: July 9-15, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
34. Wallerman J. 2003. Remote sensing aided spatial prediction of forest stem volume. Umeå, 42 pp.
35. Webster R, Oliver MA. 2007. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons. 330 pp.
36. Whiting ML, Ustin SL, Orueta AP, Li L. Light absorption model for water content to improve soil mineral estimates in hyperspectral imagery. In: Pecora, 2005. pp 23-27.
37. Zhu A-X, Band LE, Dutton B, Nimlos TJ. 1996. Automated soil inference under fuzzy logic. *Ecological Modelling*, 90(2): 123-145.



## Mapping of calcium carbonate equivalent and clay content of surface soil using geostatistical methods (Case study: Chitgar park, Tehran)

E. Mahmoudabadi<sup>1\*</sup>, A. Karimi Karouyeh<sup>2</sup>

1. PhD. student of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

2. Assoc. Prof. College of Agricultural Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 24 November 2014

Accepted 23 August 2015

Available online 16 December 2015

#### Keywords:

Geostatistics

Remote sensing

Calcium Carbonate

Kriging

Chitgar park

### ABSTRACT

In recent decades, remote sensing methods because of their economical aspects are frequently used in soil survey studies. The objective of this study was to compare the remote sensing and geostatistical methods for estimating and mapping the calcium carbonate equivalent and clay content of surface soil in the Chitgar Park with the area of 665 hectares. Therefore, 116 samples (0-20 cm) were taken by the intervals of 250 meters based on regular grid patterns. Two geostatistic methods of kriging and inverse distance weighting (IDW), and two remote sensing techniques of near-infrared analysis (NIRA) and Continuum removal (CR) were used for modeling the desired variations. The results of the cross validation showed that the accuracy of kriging was appropriate for modeling clay and calcium carbonate equivalent contents. The NIRA method due to the low correlation between TM bands and calcium carbonate equivalent was not validated for modeling the calcium carbonate equivalent; but this method was appropriate for estimating clay content ( $R^2=0.52$ ). CR method was not accurate for both variables of clay and calcium carbonate equivalent. Based on the overall accuracy and Kappa coefficient of producing maps, it is concluded that the kriging method has higher accuracy than remote sensing methods. Although high accuracy of geostatistic methods is expected due to the use of real data, the acceptable accuracy of the NIRA technique for modeling the clay variable should be considered with respect to lower costs of remote sensing methods.

\* Corresponding author e-mail address: [ebrahim.mahmoudabadi@gmail.com](mailto:ebrahim.mahmoudabadi@gmail.com)

