

## مقایسه تخمین‌گرهای ژئواستاتستیکی و رگرسیون خطی جهت برآورد برخی از خصوصیات خاک سطحی به کمک داده‌های رقومی TM

جهانگرد محمدی و وحید چیت‌ساز<sup>۱\*</sup>

### چکیده

در مقاله حاضر اقدام به تخمین برخی از خصوصیات خاک سطحی مانند هدایت الکتریکی، عصاره اشباع، نسبت جذب سدیم و درصد آهک با استفاده از تخمین‌گرهای ژئواستاتستیکی و با کمک گرفتن از اطلاعات رقومی سنجنده TM بعنوان متغیر ثانویه شده است. بمنظور مقایسه کارایی روشهای مختلف برآورد آماری، نتایج حاصل از تخمین کوکریجینگ با روش کریجینگ معمولی، بدون استفاده از اطلاعات کمکی، و تخمینگر کلاسیک رگرسیون خطی مقایسه شده است. بطور کلی یافته‌های حاصل از این تحقیق دلالت بر برتری نسبی تخمین‌گرهای ژئواستاتستیکی از نقطه نظر دقت تخمین در مقایسه با روش رگرسیون خطی دارد. با اینحال تفاوت قابل توجهی بین روشهای کریجینگ و کوکریجینگ مشاهده نگردید. این امر می‌توان ناشی از عدم تفاوت بین متغیر اولیه و متغیر کمکی از نظر تعداد نمونه‌ها و همچنین همبستگی نه چندان قوی بین متغیرهای اولیه و کمکی دانست. لذا در چنین شرایطی بکارگیری روش کریجینگ معمولی از ارجحیت برخوردار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، کریجینگ، کوکریجینگ، شوری

<sup>۱</sup> به ترتیب استادیار خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد و کارشناس ارشد بیابان‌زدایی شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان

\* وصول: ۸۰/۴/۱۵ و تصویب: ۸۱/۳/۲۳

## مقدمه

با رشد و توسعه فناوری‌های فضای و فرستادن سکوهایی مانند ماهواره‌های سری لندست، اسپات و ... به فضا، فصل جدیدی از علم سنجش از دور گشوده و استفاده از تصاویر و اطلاعات ماهواره‌ای متداول شد. امروزه داده‌های ماهواره‌ای کاربردهای وسیعی در اغلب مطالعات منابع طبیعی و زیست محیطی و از جمله مطالعه و تهیه نقشه خصوصیات مختلف خاک و پوشش گیاهی پیدا نموده است.

اغلب کاربردهای سنجش از دور بر تشخیص و تخمین خصوصیات سطحی خاک مانند پوشش گیاهی، مقدار رطوبت، مواد آلی، توزیع اندازه ذرات و میزان نمک موجود در لایه سطحی خاک، متمرکز شده است. بطور کلی خصوصیات بازتابی خاک با مقدار خاک بی حفاظ، رنگ خاک، مقدار رطوبت سطحی، مقدار مواد آلی، توزیع اندازه ذرات، کانی‌شناسی خاک، ساختمان خاک، ناهمواری سطح خاک، شرایط زهکشی، ترکیبات مختلف شیمیایی و رسوبات برجای مانده بر سطح خاک تغییر می‌کند (Zinck و Metternicht, ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷).

در دورکاوی سیمای سطحی زمین، ارزش اعداد رقومی ارسالی از ماهواره ناشی از ارتباط بسیار نزدیک بازتاب‌های سطحی با خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک است. این ارتباط عموماً بصورت روابط خطی و با استفاده از معادلات رگرسیون بیان می‌شود. بدین طریق که اطلاعات رقومی مربوط به نقاط مورد نظر بعنوان متغیر مستقل و هر یک از خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک بعنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده و برآزش مدل‌های تک و یا چند متغیره خطی انجام می‌شود. این مدل‌ها ارتباط عددی هر یک از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لایه سطحی خاک را با تعدادی از باندهای طیفی ماهواره (مانند TM) بیان می‌کند. سپس با اعمال ضرایب حاصل از برآزش مدل‌های رگرسیونی در تصاویر رقومی منطقه مطالعاتی اقدام به پهنه بندی خصوصیات مختلف خاک سطحی منطقه می‌گردد.

در مطالعات سنجش از دور و استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای، بررسی‌های صحرائی بمنظور جمع‌آوری داده‌های زمینی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. در بسیاری از این مطالعات تعداد نسبتاً زیادی داده‌های کمی جمع‌آوری می‌شود. بدین

ترتیب میتوان بجای استفاده از مدل‌های رگرسیونی جهت تخمین خصوصیات مورد نظر، مستقیماً اقدام به پهنه بندی خصوصیات مورد مطالعه بطور مجزا و یا با استفاده از داده‌های رقومی بعنوان داده‌های کمکی کرد. اینکار را میتوان با استفاده از تخمینگرهای ژئواستاتیستیکی مانند کریجینگ و یا کوکریجینگ انجام داد. روش اخیر بر پایه وجود همبستگی مکانی بین چند متغیر استوار است. در بعضی از مواقع ممکن است که از یک متغیر، بدلالی مانند مشکل بودن نمونه‌گیری و یا گران بودن اندازه‌گیری آزمایشگاهی، به اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد و بر اساس آنها نتوان برآورد آماری را با دقت مورد نظر انجام داد. در چنین مواردی میتوان با در نظر گرفتن همبستگی مکانی بین این متغیر و متغیر دیگری، که از آن بخوبی نمونه‌برداری شده است و یا اطلاعات وسیعی در دسترس است، تخمین را اصلاح و دقت آن را بالا برد.

یکی از خصوصیات منحصر بفرد سکوهایی ماهواره ای پوشش اطلاعاتی و مکانی بسیار وسیع می‌باشد. یک پنجره کامل سنجنده TM سطحی معادل  $۱۸۵ \times ۱۸۵$  کیلومتر را پوشش می‌دهد. بدین ترتیب میتوان از اطلاعات رقومی ماهواره در باندهای مختلف طیفی بعنوان متغیرهای ثانویه و یا کمکی در فرایند تخمین آماری متغیر اصلی استفاده کرد (Ahmad و DeMarsily, ۱۹۹۷؛ Atkinson و همکاران, ۱۹۹۲؛ Voltz و Goulard, ۱۹۹۲؛ Meer و Van der, ۲۰۰۰؛ Webster و همکاران, ۱۹۸۹).

هدف اصلی از مقاله حاضر تخمین برخی از خصوصیات خاک با استفاده از تخمینگرهای ژئواستاتیستیکی و با کمک گرفتن از اطلاعات رقومی سنجنده TM بعنوان متغیر ثانویه است. بمنظور مقایسه کارایی روشهای مختلف برآورد آماری، نتایج حاصل از تخمین کوکریجینگ با روش کریجینگ معمولی، بدون استفاده از اطلاعات کمکی و ثانویه، و تخمینگر کلاسیک رگرسیون مقایسه شده است.

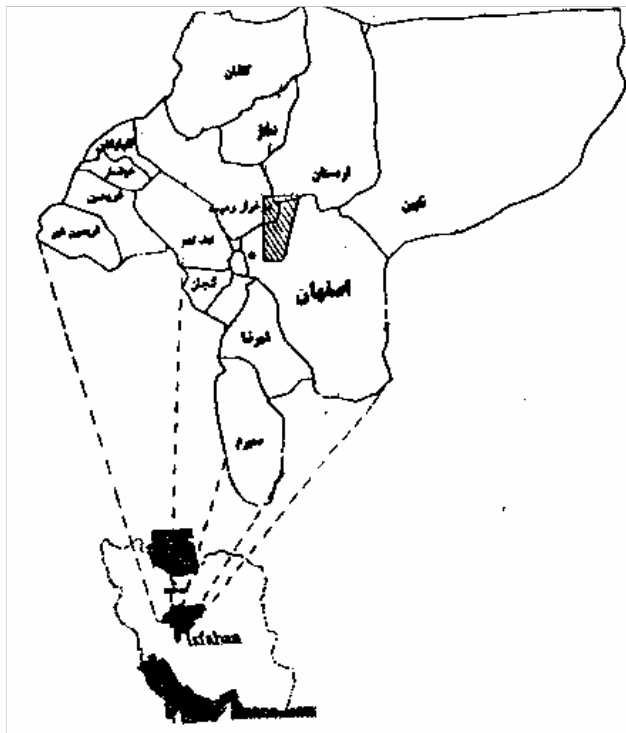
## مواد و روشها

## موقعیت و خصوصیات منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه با مساحتی حدود ۱۷۰۰۰۰ هکتار در شمال شرقی اصفهان واقع شده است. از نقطه نظر تقسیمات کشوری، بخش اعظم منطقه در شهرستان اصفهان قرار گرفته و تنها قسمتی از شمال

بادی و خسارات وارده به تاسیسات صنعتی، نظامی و اقتصادی و همچنین ایجاد گرد و غبار و آلودگی هوا و محیط زیست شهرستان اصفهان مورد توجه می‌باشد (چیت‌ساز، ۱۳۷۸).

غربی آن در شهرستان برخوار و میمه واقع گردیده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. قسمتی از این منطقه که به دشت سگزی معروف است، بلحاظ بروز مشکلات زیست محیطی مانند شوری و سدیمی بودن خاک، فرسایش



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جمع‌آوری داده‌های صحرائی از آنجایی که اطلاعات ماهواره‌ای در دسترس، مربوط به شهریور ماه است، مراجعه به صحرا نزدیک به زمان تصویر برداری بود. روش نمونه برداری طبقه‌بندی شده تصادفی جهت نمونه برداری انتخاب شد. بطوریکه ابتدا مناطق همگن با توجه به پوشش گیاهی، خصوصیات سطحی خاک، ارتفاع و شیب، نوع کاربری اراضی و ... تعیین و سپس بطور تصادفی یک نقطه در داخل هر کدام از مناطق همگن انتخاب شد. این نقطه بعنوان مرکز دایره ای فرضی به شعاع تقریبی ۴۰ متر منظور و در پیرامون این دایره کوادراتهای ۱۰ در ۱۰ متر جهت بررسی های پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. نمونه برداری خاک در مرکز دایره فرضی و از عمق ۵-۰ سانتیمتری صورت گرفت. در مجموع ۷۷ نقطه نمونه برداری خاک در نظر گرفته شد. آزمایشات فیزیکی و شیمیایی شامل تعیین درصد رس، سیلت و شن (به روش هیدرومتر)، پ هاش گل اشباع با استفاده از دستگاه پ هاش متر مدل ۶۲۰ مترام، هدایت الکتریکی

بارندگی سالیانه منطقه حدود ۱۰۰ تا ۱۳۰ میلیمتر بوده که عمدتاً در ماههای پاییز و زمستان بوقوع می‌پیوندد. متوسط درجه حرارت حدود ۱۶ درجه سانتیگراد و معدل حداکثر و حداقل درجه حرارت سالیانه بترتیب ۲۳ و ۹ درجه سانتیگراد می‌باشد. اقلیم منطقه در روش آمبرژه خشک سرد طبقه بندی می‌شود. حدود ۵۰ درصد منطقه مطالعاتی را پوشش گیاهی طبیعی شامل *Salsola sp.*، *Artemisia* *sp.*، *Alhagi camelorum* و مابقی شامل اراضی کشاورزی، زمینهای لخت، مناطق مسکونی و رخنمون سنگی است (چیت‌ساز، ۱۳۷۸).

#### اطلاعات ماهواره‌ای

تصاویر مورد استفاده در این مطالعه شامل اطلاعات رقومی هفت بانده سنجنده TM (TM1 تا TM7) از ماهواره لندست ۵ بوده که در تاریخ ۲۶ شهریور ۱۳۶۹ برداشت شده است. پس از تصحیح خطاهای تابش سنجی و انجام مراحل ثبت و جدا کردن محدوده مطالعاتی، در مجموع ۱۳۳۹ پیکسل در هر سطر و ۱۹۸۷ سطر در کل تصویر را شامل شده است.

روش آماری رگرسیون، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ خصوصیات مختلف خاک در محل‌هایی که دارای داده‌های معیار بود، تخمین زده شد. سپس با در اختیار داشتن مقادیر تخمینی،  $Z(x_i)$  از هر سه روش و مقادیر حقیقی،  $Z(x_i)$ ، و با استفاده از معیارهای آماری زیر اقدام به مقایسه نتایج حاصل از تخمینگرهای مختلف گردید:

(۱) میانگین خطا (ME):<sup>۱</sup>

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)\}$$

که در آن N تعداد نمونه‌های معیار را نشان می‌دهد. نزدیکتر بودن مقدار ME به عدد صفر دلالت بر ناریب بودن تخمینگر دارد (Vohz و Webster، ۱۹۹۰).

(۲) میانگین مجذور خطا (MSE):<sup>۲</sup>

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)]^2$$

این معیار آماری نشانگر دقت تخمینگر بوده و بایستی بطور نسبی حداقل مقدار عددی خود را دارا باشد (Vohz و Webster، ۱۹۹۰).

### نتایج و بحث

خلاصه آماری داده‌های خاک و باندهای طیفی لندست TM در جدول ۱ ارائه شده است. میانگین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و نسبت جذب سدیم نمونه‌های خاک سطحی حاکی از شدت شوری و سدیمی بودن خاک منطقه مورد مطالعه است. میانگین عددی نسبتاً بالای ارزشهای بازتابی بویژه در بخش مرئی (۰/۷۷-۰/۵۵ میکرون) و مادون قرمز نزدیک (۱/۳-۰/۹ میکرون) بر این واقعیت تاکید دارد. نتایج حاصل از آزمون توزیع طبیعی داده‌ها دلالت بر توزیع طبیعی ارزش رقمی داده‌های ماهواره ای و انحراف از توزیع طبیعی برای خصوصیات مورد نظر خاک دارد. بدین ترتیب قبل از محاسبه ضرایب همبستگی و مدلسازی رگرسیونی، بر روی متغیرهای خاک تبدیل لگاریتم طبیعی صورت گرفت.

نتایج حاصل از محاسبه همبستگی بین متغیرهای خاک سطحی و ارزش رقمی باندهای مختلف طیفی در جدول ۲ آورده شده است. همانگونه که ملاحظه

عصاره اشباع توسط دستگاه هدایت سنج مدل مترام، آهک با روش تیتراسیون برگستی اسید کلریدریک نرمال با سود ۰/۵ نرمال، گچ با استفاده از روش رسوب با استن و کدورت سنجی، سدیم، کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر مدل کرنینگ ۴۱۰ بود (Page و همکاران، ۱۹۹۲).

با توجه به در اختیار داشتن مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری اقدام به استخراج ارزش رقمی باندهای هفتگانه در نقاط متناظر بر روی تصاویر ماهواره‌ای شد. در مطالعه حاضر داده‌های هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) (Richards، ۱۹۵۴) و درصد آهک مورد استفاده قرار گرفته است.

### روش ارزیابی

بمنظور برآزش مدل‌های رگرسیونی، پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل هدایت الکتریکی، میزان آهک و درصد جذب سدیم در عمق ۵-۰ سانتیمتری بعنوان متغیرهای وابسته و ارزش رقمی پیکسلی باندهای هفتگانه، که هر نقطه نمونه برداری شده داخل آن قرار می‌گرفت، بعنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد.

مبانی نظری روش‌های درون یابی کریجینگ معمولی و کوکریجینگ به‌مراه مثال‌های کاربردی توسط محمدی (۱۳۷۷، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۰) بتفصیل شرح داده شده است. همانند روش کریجینگ معمولی، اولین قدم در بکارگیری کوکریجینگ تعیین مدل نمودن ساختار تغییرات مکانی متغیرهای مورد نظر است. در این حالت علاوه بر تعیین واریوگرام‌های متغیرهای اولیه و ثانویه بطور جداگانه، واریوگرام دو جانبه که بیانگر ساختار همبستگی مکانی بین دو متغیر اولیه و ثانویه است نیز محاسبه و ترسیم گردید. به منظور ارزیابی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری، حدود بیست درصد از داده‌ها (N = ۱۵) بصورت تصادفی انتخاب و به عنوان مجموعه داده‌های معیار از کلیه تجزیه و تحلیل‌هایی که شرح داده شد کنار گذاشته شدند. در روش کریجینگ معمولی، تخمین پارامترهای مورد نظر به تنهایی صورت گرفت. لیکن در روش کوکریجینگ برآورد آماری هر کدام از خصوصیات مورد مطالعه با استفاده از باند طیفی که دارای حداکثر همبستگی با خصوصیت مورد نظر بود، بعنوان متغیر کمکی، انجام شد. بدین ترتیب با استفاده از سه

<sup>۱</sup> Mean Error

<sup>۲</sup> Mean Square Error

مربوط به هرکدام از این مدلها در جدول ۴ نشان داده شده است. محاسبه اثر قطعه ای نسبی (نسبت واریانس قطعه ای به واریانس آستانه) نشان می دهد که باند طیفی TM4 دارای حداقل مقدار (۲ درصد) و نسبت جذب سدیم دارای حداکثر اثر قطعه ای نسبی (۴۹ درصد) می باشد. اثر نسبی قطعه ای واریوگرام های هدایت الکتریکی عصاره اشباع و درصد آهک بترتیب ۳۵ و ۱۱ درصد می باشد. این امر را می توان ناشی از تغییرات تصادفی خصوصیات خاک در لایه سطحی دانست که در فواصل کمتر از فاصله نمونه برداری بروز مینماید (محمدی، ۱۳۸۰). دامنه تغییرات واریوگرام ها بین ۸/۲ تا ۱۲/۶ کیلومتر در نوسان بوده است. حداقل دامنه تغییرات متعلق به درصد آهک و حداکثر آن متعلق به هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک است. همانگونه که انتظار می رفت، باند طیفی ماهواره میزان دامنه تغییرات حدواسطی را از خود نشان داده است. در حقیقت دامنه واریوگرام باند طیفی TM4 منطبق بر متوسط فاصله ای است که متغیرهای خاک در سطح منطقه مطالعاتی تغییر می کنند.

علاوه بر محاسبه واریوگرام های منفرد، اقدام به محاسبه و برازش واریوگرام های دو جانبه بین باند طیفی TM4 و خصوصیات خاک سطحی بطور جداگانه شد. با توجه به سازگاری واریوگرام های محاسبه شده با مدل کروی و در نظر گرفتن شرایط و محدودیت های برازش واریوگرام های دو جانبه (Vohz و Goulard، ۱۹۹۲)، از این مدل جهت برازش واریوگرام ها استفاده شد. ضرایب مربوط به هرکدام از این مدلها در جدول ۵ نشان داده شده است. برای محاسبه موفق یک واریوگرام دو جانبه به تعداد قابل توجهی نقاط نمونه برداری شده مشترک نیاز میباشد. از سوی دیگر چنانچه همبستگی بین دو متغیر ضعیف باشد واریوگرام دو جانبه محاسبه شده فاقد ساختار مناسب جهت جهت تجزیه و تحلیل های بعدی خواهد بود (Ahmad و De Marsily، ۱۹۸۷). با توجه به همبستگی منفی بین باند

می شود بیشترین همبستگی بین متغیرهای خاک و باندهای طیفی بخش مرئی و مادون قرمز نزدیک وجود دارد. بطور کلی بازتاب های طیفی دریافت شده توسط سنجنده های ماهواره تحت تاثیر شرایط سطحی خاک می باشد. در شرایط پوشش گیاهی کم و یا فقدان آن، بازتاب های طیفی، بویژه در طول موجهای مرئی و مادون قرمز نزدیک، عمدتاً متاثر از سطوح لخت تحت تاثیر نمک است (Metternicht و Zinck، ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷). بطور کلی طیف های بازتابی از گیاهان عمدتاً در محدوده ناحیه طول موجی مادون قرمز نزدیک واقع شده و در شرایطی که تراکم و وضعیت فیزیولوژیکی گیاه متاثر از شرایط خاص فیزیکی و شیمیایی خاک است، باند طیفی مورد نظر، علاوه بر طول موجهای ناحیه مرئی، میتواند بطور غیر مستقیم خصوصیات خاک سطحی را منعکس کند. بطور مثال با افزایش شوری خاک، نه تنها گیاهان ضعیفتر شده بلکه تراکم آنها نیز کاهش یافته و در نتیجه بازتاب های طیفی باند مادون قرمز نزدیک نیز ضعیفتر شده و بالعکس.

با توجه به بالا بودن ضریب همبستگی بین متغیرهای مختلف خاک و باند طیفی TM4، مدلسازی رگرسیونی بمنظور تخمین هر کدام از متغیرهای خاک سطحی با استفاده از ارزش های بازتابی باند طیفی TM4 انجام شد. ضرایب مدلها رگرسیونی در جدول ۳ ارائه شده است.

به منظور بررسی و مطالعه ساختار تغییرات مکانی داده های خاک و باند طیفی TM4، ابتدا واریوگرام های تجربی بطور مجزا برای هر متغیر و در جهات مختلف جغرافیایی محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. پس از اطمینان از عدم وجود ناهمسانگردی و یا روند قوی داده ها در مقیاس مطالعاتی، اقدام به محاسبه و ترسیم واریوگرام های تجربی همه جهته گردید. شکل ۲ واریوگرام های تجربی به همراه مدل های نظری برازش داده شده را نشان میدهد. نتایج نشان می داد که واریوگرام های مربوطه با مدل کروی سازگاری دارند. پارامترهای

جدول ۱- خلاصه آماری داده های خصوصیات خاک سطحی و باندهای طیفی ماهواره لندست TM (N=۷۷)

CaCO <sub>3</sub> (%)	SAR	EC (dS/m)	TM7	TM6	TM5	TM4	TM3	TM2	TM1	
۲۲	۸۴/۹	۵۱/۹	۹۱/۸	۱۶۹/۱	۱۶۳/۴	۹۹/۴	۱۰۳/۸	۷۴/۹۶	۱۲۴/۳	میانگین
۱۳۳	۱۷۷۲۰	۵۱۰۹	۲۸۷/۱	۵۹/۰	۷۸۴/۹	۲۳۵/۶	۴۸۸/۹	۲۳۰/۱	۴۸۷/۹	واریانس
۰	۱/۳	۳/۱	۳۹/۶	۱۴۹/۴	۸۶/۴	۷۲/۲	۵۰/۴	۴۲/۲	۸۰/۹	حداقل
۴۶	۶۰۹/۵	۳۳۹	۱۱۵/۶	۱۸۱/۴	۲۱۳/۲	۱۴۸/۱	۱۶۸/۲	۱۲۳/۳	۱۹۹/۷	حداکثر

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین خصوصیات خاک سطحی (پس از تبدیل لگاریتمی) و ارزش رقومی باندهای طیفی ماهواره

TM7	TM6	TM5	TM4	TM3	TM2	TM1	
۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۲۷	۰/۴۱	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۱	Ln[EC(dS/m)]
۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۰	Ln(SAR)
-۰/۱	۰/۰۲	-۰/۴۳	-۰/۶۱	-۰/۵۱	-۰/۴۸	-۰/۴۵	Ln(CaCO <sub>3</sub> )

جدول ۳- ضرایب مدل های رگرسیون خطی ( $LnY=a+bX$ ) بین خصوصیات خاک ( $LnY$ ) و باند طیفی TM4 (X)

b	a	خصوصیات خاک سطحی
۰/۰۳۸	-۰/۷۴۸	Ln[EC(dS/m)]
۰/۰۳۹	-۰/۸۵۹	Ln(SAR)
-۰/۰۲۵	۵/۵	Ln[CaCO <sub>3</sub> ] (%)

جدول ۴- ضرایب مدل های کروی برازش داده شده بر واریوگرام های تجربی خصوصیات خاک و باند طیفی ماهواره

دانه تاثیر (km)	حد آستانه	اثر قطعه ای	
۱۲/۶	۲/۳۱۱	۰/۸۱۱	Ln[EC(dS/m)]
۹/۱	۳/۷۶	۱/۸۳	Ln(SAR)
۸/۲	۰/۲۸۶	۰/۰۳۲	Ln[CaCO <sub>3</sub> ] (%)
۹/۵	۲۴۴/۸	۴/۸	باند طیفی TM4

جدول ۵- ضرایب مدل های کروی برازش داده شده بر واریوگرام های دو جانبه

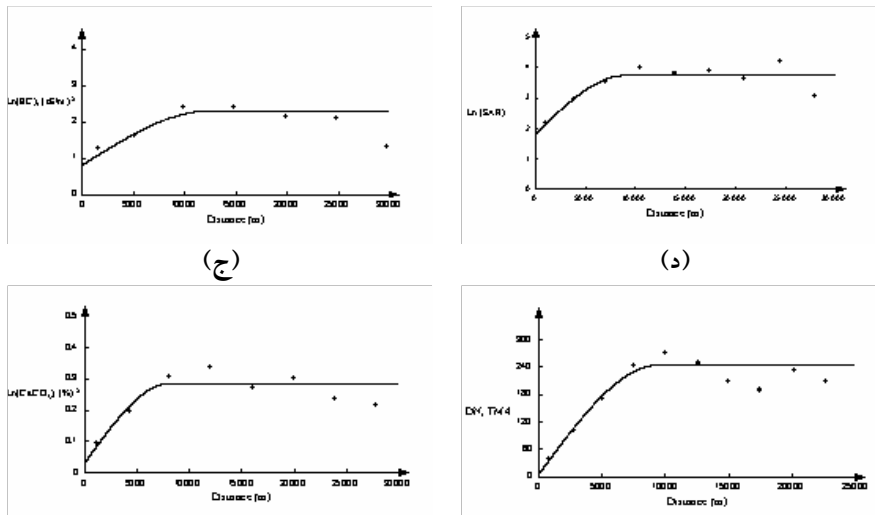
دانه تاثیر (km)	حد آستانه	اثر قطعه ای	
۷/۹	۸/۳	۰/۰۰	Ln[EC(dS/m)] - TM4
۶/۴	۸/۹	۰/۰۰	Ln(SAR) - TM4
۹/۵	-۵/۴	۰/۰۰	Ln[CaCO <sub>3</sub> ] (%) - TM4

جدول ۶- نتایج حاصل از مقایسه تخمینگرهای مختلف با استفاده از داده های معیار (N=۱۵)

MSE	ME	تخمینگر	خصوصیات خاک سطحی
۲/۴۳	-۰/۴۲	رگرسیون	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک
۲/۱۸	-۰/۲۵	کریجینگ معمولی	
۲/۲۱	-۰/۳۱	کو کریجینگ	
۳/۹۵	-۰/۵۴	رگرسیون	نسبت جذب سدیم
۴/۸۳	-۰/۳۸	کریجینگ معمولی	
۴/۹۴	-۰/۴۶	کو کریجینگ	
۱/۱۰	-۰/۲۰	رگرسیون	درصد آهک
۱/۰۱	-۰/۳۲	کریجینگ معمولی	
۱/۰۴	-۰/۳۱	کو کریجینگ	

(الف)

(ب)



شکل ۲- واریوگرام‌های تجربی خصوصیات خاک سطحی و باند طیفی ماهواره به‌مراه مدل‌های برازش داده شده: (الف) هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، (ب) نسبت جذب سدیم، (ج) درصد آهک و (د) باند طیفی (DN=Digital Number) TM4.

شد. از نقطه نظر تئوری، با افزایش تعداد داده‌های متغیر کمکی، دقت و صحت نتایج کوکریجینگ نیز افزایش می‌یابد.

نتایج حاصل از مقایسه تخمین‌گرهای مختلف نسبت جذب سدیم نشان می‌دهد که روش‌های مبتنی بر نظریه ژئواستاتستیک در مقایسه با روش رگرسیون منجر به برآوردهای نارایب تری شده است. معه‌ذا تخمینگر کلاسیک رگرسیون اقدام به برآورد دقیق تری از نسبت جذب سدیم نموده است. با توجه به اینکه دقت تخمین‌گرهای کریجینگ تا حدود زیادی تابع نتایج حاصل از واریوگرافی است و از سویی با در نظر گرفتن مقدار نسبتاً بالای اثر قطعه‌ای نسبی واریوگرام SAR، نتایج بدست آمده قابل انتظار بوده است.

درصد آهک موجود در لایه سطحی خاک با دقت بیشتری توسط تخمین‌گرهای کریجینگ برآورد شده است. در عین حال، تخمینگر کلاسیک رگرسیون منجر به برآورد درصد آهک با ارایب کمتری شده است. در شرایطی که همبستگی بین متغیرها قوی باشد انتظار می‌رود که روش‌های کلاسیک با ارایب کمتری اقدام به برآورد متغیر وابسته نمایند. بطور خلاصه یافته‌های حاصل از این تحقیق نشانگر امکان و پتانسیل مناسب بکارگیری روش‌های مبتنی بر نظریه ژئواستاتستیک در مطالعات سنجش از دور است. با استفاده از تخمین‌گرهای کریجینگ می‌توان اقدام به پهنه بندی متغیرهای مختلف و از جمله خصوصیات سطحی خاک کرد. در شرایطی که امکان دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای وجود داشته باشد،

طیفی ماهواره و درصد آهک موجود در لایه سطحی خاک، واریوگرام دو جانبه روندی نزولی از خود نشان داد.

به منظور مقایسه نتایج حاصل از تخمین‌گرهای مختلف، از داده‌های معیار (N = ۱۵) جهت محاسبه آماره‌های میانگین خطا و میانگین مجذور خطا استفاده گردید. نتایج حاصل در جدول ۶ آورده شده است.

مقایسه نتایج حاصل از روش رگرسیون با روش‌های مبتنی بر نظریه ژئواستاتستیک در تخمین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک دلالت بر برتری نسبی تخمین‌گرهای ژئواستاتستیک دارد. از سوی دیگر تفاوت قابل توجهی بین روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ مشاهده نگردید. از نقطه نظر تئوری در شرایط مشخصی کوکریجینگ در مقایسه یا کریجینگ هیچگونه بهبودی در امر تخمین بدست نمیدهد. چنانچه تعداد نمونه‌ها برای هر دو متغیر اولیه و ثانویه تقریباً یکسان و همچنین در شرایطی که واریوگرام‌ها از نظر شکل و نوع مدل برازش داده شده با یکدیگر متناسب و شبیه بهم باشند در اینصورت نتایج حاصل از روش کوکریجینگ و کریجینگ معمولی یکسان خواهد بود. در مطالعه حاضر علیرغم در اختیار داشتن حجم بسیار زیادی از ارزش‌های رقومی باند طیفی TM4 بعنوان متغیر ثانویه یا کمکی، (مجموعاً ۲۶۶۰۵۹۳ پیکسل در کل تصویر ماهواره‌ای منطقه)، بدلایلی مانند محدودیت‌های محاسباتی از نقطه نظر زمان، هزینه و امکانات سخت افزاری و نرم افزاری، تنها از مجموعه داده‌های کاری، پس از حذف داده‌های معیار، استفاده

بخوبی نمونه برداری شده است، تخمین را اصلاح و دقت آن را بالا برد.

در مطالعه حاضر تفاوت قابل توجهی بین روشهای کریجینگ و کوکریجینگ مشاهده نگردید. این امر می‌توان ناشی از عدم تفاوت بین متغیر اولیه و متغیر کمکی از نظر تعداد نمونه‌ها و همچنین همبستگی نه چندان قوی بین متغیرهای اولیه و کمکی دانست. لذا در چنین شرایطی بکارگیری روش کریجینگ معمولی، که از نقطه نظرهای محاسباتی بمراتب ساده تر از روش کوکریجینگ است، از ارجحیت برخوردار می‌باشد.

پهنه بندی متغیرهای محیطی را میتوان به کمک روش کوکریجینگ و با ملحوظ کردن ارزش رقومی باندهای طیفی بعنوان متغیر کمکی، با دقت بیشتری انجام داد. این امر بویژه در هنگامی که تعداد نمونه های یک متغیر بدلالی مانند مشکل بودن نمونه گیری و یا گران بودن اندازه گیری آزمایشگاهی به اندازه کافی نباشد و بر اساس آنها نتوان برآورد آماری را با دقت مورد نظر انجام داد، از اهمیت کاربردی و اقتصادی بسیار بالایی برخوردار است. در چنین شرایطی میتوان با در نظر گرفتن همبستگی مکانی بین این متغیر و متغیر دیگری، که از آن

### فهرست منابع

۱. چیت ساز، وحید. ۱۳۷۸. بررسی امکان تهیه نقشه شوری و قلیائیت خاک در منطقه شرق اصفهان با استفاده از داده های رقومی TM4. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۳۸ صفحه.
۲. محمدی، جهانگرد. ۱۳۷۷. مطالعه تغییرات مکانی شوری در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتستیک. ۱- کریجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ج. ۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۷۷. ص ۶۴-۴۹.
۳. محمدی، جهانگرد. ۱۳۷۸. مطالعه تغییرات مکانی شوری در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتستیک. ۱- کوکریجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ج. ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۷۸. ص ۸-۱.
۴. محمدی، جهانگرد. ۱۳۸۰. مروری بر مبانی ژئواستاتستیک و کاربرد آن در خاکشناسی. مجله علوم خاک و آب. جلد ۱۵، شماره ۱، صفحه ۹۹-۱۲۰.
5. Ahmad, S., and G. De Marsily. 1987. Comparison of geostatistical methods for estimating transmissivity using data on transmissivity and specific capacity. *Water Resour. Res* 23: 1717-1737.
6. Atkinson, P.M., R. Webster, and P.J. Curran. 1992. Cokriging with ground-based radiometry. *Remote Sensing of Environment* 41: 45-60.
7. Atkinson, P.M., R. Webster, and P.J. Curran. 1994. Cokriging with airborne MSS imagery. *Remote Sensing of Environment* 50: 335-345.
8. Goulard, M., and M. Voltz. 1992. Linear coregionalization model: tools for estimation and choice of cross variogram matrix. *Mathematical Geology* 24: 269-286.
9. Metternicht, G.I., and J.A. Zinck. 1996. Modeling salinity-alkalinity classes for mapping salt-affected topsoils in the semi-arid valleys of Cochabama (Bolivia). *ITC Journal* 2: 125-135.
10. Metternicht, G.I., and J.A. Zinck. 1997. Spatial discrimination of salt- and sodium-affected soil surfaces. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 18, 12: 2571-2586.
11. Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney. 1992. *Methods of soil analysis, Part II: Chemical and mineralogical properties*. SSSA Pub., Madison, USA.
12. Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Handbook No. 60, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C. 158 p.
13. Van der Meer, F. 2000. Geostatistical approaches for image classification and assessment of uncertainty in geologic processing. In: *Advances in remote sensing and GIS analysis*. P.M. Atkinson and N.J. Tate (Eds.), pp. 147-166.
14. Voltz, M., and R. Webster. 1990. A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. *Journal of Soil Science* 41: 473-490.
15. Webster, R., P.J. Curran, and J.W. Munden. 1989. Spatial correlation in reflected radiation from the ground and its implications for sampling and mapping by ground-based radiometry. *Remote Sensing of Environment* 29: 67-78.



## **Comparison of Geostatistical Predictors and Linear Regression for Estimating Some Surface Soil Properties Using Thematic Mapper Data**

**J. Mohammadi and V. Chitsaz<sup>1</sup>**

### **Abstract**

In this study, geostatistical estimators along with digital values of Thematic Mapper, as secondary variables, were used to predict some surface soil properties. To compare different statistical prediction methods, the results of kriging, cokriging and linear regression were compared using test data. The results indicate the possibility and a promising potential for geostatistical estimators in remote sensing studies. In general, geostatistical estimators predicted surface soil properties better than the classical linear regression. However, no significant differences were observed between ordinary kriging and cokriging. This can be attributed to the fact that both primary and auxiliary

---

<sup>1</sup> Assist. Prof. of Soil Sci. Dept., Shahre Kord Univ. and M.Sc. of Eromology, Isfahan Sci. and Research Town, respectively

variables were equally sampled and no strong correlation was observed between those variables. Under these conditions, use of ordinary kriging is preferred.

**Keywords:** Remote sensing, Kriging, Cokriging, Salinity