نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره چهارم، ۱۳۹۳
http://ejsms.gau.ac.ir

پهنه‌بندی رقومی قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری با استفاده از رگرسیون کریجینگ و واریوگرام محلی در منطقه اردکان

*روح‌اله تقی‌زاده‌مهرجردی[۱]، فریدون سرمدیان[۲]، محمدجواد روستا[۳]، محمدحسن رحیمیان[۴]، محمود امید[۵] و نورایر تومانیان[۶]

[۱]استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه اردکان، [۲]استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران، [۳]استادیار مرکز ملی شوری یزد، [۴]مربی مرکز ملی شوری یزد، [۵]استاد گروه ماشین‌آلات کشاورزی، دانشگاه تهران، [۶]استادیار بخش آب و خاک، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۶

چکیده

اولین گام در استفاده از داده‌های نقطه‌ای در چارچوب کاری اسکورپن، تبدیل آن‌ها به داده‌های پیوسته می‌باشد. برای انجام این کار، روش‌های مختلف زمین‌آماری وجود دارد، که در این پژوهش روش‌های رگرسیون کریجینگ با واریوگرام محلی، کریجینگ و کوکریجینگ استفاده گردید. برای پهنه‌بندی رقومی قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری در منطقه‌ای به وسعت ۷۲۰۰۰ هکتار واقع در اردکان، تعداد ۷۰۰ قرائت در حالت افقی و عمودی توسط دستگاه القاگر الکترومغناطیس (EM) انجام گرفت. متغیرهای محیطی که در این مطالعه استفاده شدند عبارت از اجزای سرزمین (استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع)، داده‌های تصویر ETM^+ ماهواره لندست و نقشه سطوح ژئومورفولوژی بودند. در ابتدا، رابطه بین متغیرهای مستقل (داده‌های کمکی) و متغیر وابسته (هدایت الکتریکی ظاهری) به‌وسیله رگرسیون درختی محاسبه شد. سپس مقادیر باقی‌مانده به‌دست آمده از این معادله توسط مدل کریجینگ با واریوگرام محلی به نقشه تبدیل گردید. در نهایت با تجمیع نقشه‌های باقی‌مانده‌ها و هدایت الکتریکی ظاهری مستخرج از رگرسیون درختی، نقشه پیوسته پارامترهای مورد نظر به‌دست آمد. نتایج نشان داد که در تخمین قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری، پارامترهای کمکی از جمله شاخص خیسی، سطوح ژئومورفولوژی و مؤلفه اول تصویر ماهواره‌ای، دارای اهمیت بیش‌تری می‌باشند. همچنین نتایج قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری در حالت افقی دارای مقدار ضریب تبیین ۰/۴۸، جذر میانگین مربعات خطا ۲۹/۶۴ و میانگین خطا ۲/۲۳- می‌باشد.

* مسئول مکاتبه: rtaghizadeh@ardakan.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

این نتایج، کارایی بالای مدل رگرسیون کریجینگ با واریوگرام محلی را تأیید می‌نماید، به‌طوری‌که مدل رگرسیون کریجینگ درصد خطای پیش‌بینی را در حالت افقی نسبت به کوکریجینگ و کریجینگ به‌ترتیب ۲۱ و ۲۸ درصد کاهش داده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که برای تهیه نقشه رقومی خصوصیات خاک از مدل‌های رگرسیون کریجینگ با واریوگرام محلی در مطالعات آینده استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: دستگاه القاگر الکترومغناطیس (EM)، نقشه‌برداری رقومی خاک، رگرسیون درختی

مقدمه

برای به تصویر کشیدن تغییرات مکانی خاک‌ها با هزینه کم‌تر و در مدت زمان کوتاه‌تر، به‌گونه‌ای که نقشه‌ای قابل‌قبول از خاک ارایه شود، روش‌های کمی تخمین مکانی خاک با تأکید بر منابع داده‌های قابل دسترس ارایه شده‌اند (مک‌براتنی و همکاران، ۲۰۰۳). تاکنون مدل‌های مختلفی مانند سولیم[1] و اسکورپن[2] برای پهنه‌بندی رقومی خاک ارایه شده است. مدل اسکورپن برای اولین بار توسط مک‌براتنی و همکاران (۲۰۰۳) معرفی گردید. در این مدل (رابطه ۱) خصوصیات یا کلاس خاک با یک‌سری متغیرهای محیطی (متغیرهای کمکی) ارتباط داده می‌شود. به این صورت که در هر موقعیت مشاهده خاک، یک سری متغیرهای محیطی وجود دارد که همبستگی بالایی با خصوصیات یا کلاس‌های خاک دارند که یافتن این ارتباط و پیش‌بینی خصوصیات یا کلاس‌های خاک در نقاط دیگر، منجر به تهیه نقشه رقومی خاک در تمام منطقه مورد مطالعه می‌گردد.

$$S_{a,c} = f(s,c,r,p,a,n) + e \qquad (۱)$$

که در آن، S_a: خصوصیات، S_c: کلاس خاک، s: مربوط به اطلاعات خاک که از نقشه خاک یا پایگاه داده یا دانش کارشناس به‌دست می‌آید. c: اقلیم، o: موجودات زنده از جمله فعالیت انسانی، r: پستی و بلندی یا توپوگرافی، p: مواد مادری، a: زمان و n: موقعیت مکانی می‌باشد. تابع f، یک طبقه‌بندی نظارت شده یا برنامه یادگیری نظارت شده را نشان می‌دهد.

در سال‌های اخیر، در مطالعات نقشه‌برداری رقومی خاک، از داده‌های محیطی (نماینده‌های عوامل خاکسازی) با تأکید بیش‌تر بر روی خصوصیات خاک، بهره گرفته می‌شود (رینالد و همکاران، ۲۰۰۸؛

1- SoLIM: Soil Land Inference Model
2- SCORPAN

Archive of SID

www.SID.ir

وو و همکاران، ۲۰۰۸؛ وولینگ و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طوری‌که بیش‌تر فعالیت‌های نقشه‌برداری رقومی به این سمت، سو گرفته‌اند که بتوانند خصوصیات خاک را از روی دیگر خصوصیات خاک پیش‌بینی کنند. که در این راستا می‌توان از دستگاه‌های نوین در عملیات خاکشناسی بهره گرفته شود. به‌عنوان مثال در زمینه ارزیابی شوری خاک، در طی دو دهه اخیر بسیاری از تکنیک‌های جدید مانند آرایه ونر[1] (رودز و اینوالسون، ۱۹۷۱)، پروب‌های قابلیت هدایت الکتریکی رودز (رودز، ۱۹۷٦)، روش انعکاس‌سنجی حوزه زمانی و روش القای الکترومغناطیسی (مک‌نیل، ۱۹۸۰) برای اندازه‌گیری شوری خاک در شرایط مزرعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در این میان، تکنیک القای الکترومغناطیسی به‌دلیل این‌که برای انجام اندازه‌گیری نیازی به نمونه‌برداری خاک ندارد، از سهولت بیش‌تری برخوردار است. ابزارهای مبتنی بر القای الکترومغناطیس که قابلیت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری یک توده از خاک را دارند، در تعیین الگوی تغییرات مکانی درون‌مزرعه‌ای برخی خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مانند شوری، درصد رس، درصد رطوبت و عمق خاک لایه سطحی، آن هم به‌صورت هم‌زمان با لحظه پیمایش، مفید هستند (ترینتافالیس و همکاران، ۲۰۰۱؛ لش و همکاران، ۲۰۰۵؛ ترینتافالیس و لش، ۲۰۰۵؛ ترینتافالیس و سانتوز، ۲۰۰۹). علاوه‌بر این‌ها دلایل متعدد دیگری مانند قابلیت حمل آسان، سهولت کار با آن، کاهش صرف وقت و همچنین تقلیل هزینه‌های نمونه‌برداری صحرایی نیز وجود دارد که آن را نسبت به سایر روش‌های متداول در این زمینه متمایز می‌نماید. از حس‌گر القاگر الکترومغناطیس[2] (به‌ویژه EM-38) می‌توان برای اندازه‌گیری شوری لایه سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) و یا عمقی‌تر (۹۰-۰ سانتی‌متر) استفاده کرد. این حس‌گر سبک می‌باشد و اگر همراه با موقعیت‌یاب جهانی استفاده شود می‌تواند نقشه شوری خاک را تعیین نماید (ترینتافالیس و همکاران، ۲۰۰۰؛ یاو و همکاران، ۲۰۰۷؛ شنگ و همکاران، ۲۰۱۰). اما اولین قدم در استفاده از داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری تبدیل آن‌ها به نقشه‌های سلولی[3] با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری[4] می‌باشد تا بتوانند در چارچوب کاری اسکورپن قرار گیرند و در نهایت برای پیش‌بینی خصوصیات خاک استفاده شوند. مطالعات فراوانی نشان داده است که زمین‌آمار نقش مهمی در مطالعه توزیع مکانی ویژگی‌های خاک داشته و نتایج حاصله بیش‌تر بیانگر این است که

1- Wenner Array
2- Electromagnetic Induction
3- Raster Map
4- Geostatistics

Archive of SID

www.SID.ir

تغییرات ویژگی‌های خاک می‌تواند در فواصل بسیار کوچک (در حد چند میلی‌متر) تا فواصل طولانی (چندین کیلومتر) صورت گیرد. در زمین‌آمار می‌توان بین مقادیر یک کمیت، فاصله و جهت قرار گرفتن نمونه‌ها نسبت به یکدیگر ارتباط برقرار کرد. بنابراین در این روش ابتدا به بررسی وجود یا نبود ساختار مکانی بین داده‌ها پرداخته می‌شود و در صورت وجود ساختار مکانی تحلیل داده‌ها انجام می‌شود. بنابراین تخمین زمین‌آماری شامل دو مرحله است: مرحله اول شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیر است که به‌وسیله آنالیز واریوگرام قابل بررسی است و مرحله دوم تخمین متغیر مورد نظر توسط توابع زمین‌آماری از جمله کریجینگ، کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ می‌باشد (مک‌براتنی و همکاران، ٢٠٠٣). از میان روش‌های زمین آماری، پژوهش‌گران کارایی بالای تکنیک رگرسیون کریجینگ را نسبت به سایر روش‌های زمین‌آماری تأیید کرده‌اند. به‌عنوان مثال، یان و همکاران (٢٠٠٧) مطالعه‌ای را برای کاهش تراکم نمونه‌برداری برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ در کشور چین انجام دادند. نتایج نشان داد که استفاده از داده‌های کمکی در روش کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ در تراکم‌های نمونه‌برداری مختلف بهتر از روش کریجینگ معمولی بودند. در مقایسه با روش کوکریجینگ، روش رگرسیون کریجینگ مقدار ریشه مربعات خطا را از ٤١/٥ به ٢٣/٦ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر کاهش داد، به این علت که در روش رگرسیون کریجینگ می‌تواند از داده‌های کمکی بیش‌تری استفاده کند. به‌طور مشابه، الدیری و گارسیا (٢٠٠٩) نیز قابلیت دو روش کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ را در تهیه نقشه شوری خاک مورد مقایسه قرار دادند. آن‌ها در این مطالعه، ترکیب باندهای مطلوب تصاویر لندست (متغیر کمکی) را برای پیش‌بینی شوری به‌کار بردند. نتایج نشان داد که روش رگرسیون کریجینگ در مقایسه با روش کوکریجینگ کارایی بالاتری داشته است؛ به‌طوری‌که این روش توانسته تغییرات موضعی کوچک در شوری خاک را نیز به خوبی پیش‌بینی نماید.

اما عدم کارایی روش‌های زمین‌آماری از جمله رگرسیون کریجینگ در بعضی از مناطق احتمالاً مربوط به تنوع زیاد خاک‌ها می‌باشد، به‌طوری‌که واریوگرام کلی نمی‌تواند پیوستگی مکانی بین داده‌های خاک را نشان دهد. ایسلا و همکاران (٢٠٠٣) تغییرات شوری خاک را در شش مزرعه مختلف با استفاده از دستگاه EM-38 اسپانیا مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که تفاوت در دامنه تأثیر در شش مزرعه بیانگر این موضوع می‌باشد که آنالیزهای محلی زمین‌آماری برای تهیه نقشه شوری خاک واقعی نیاز است. در سال‌های اخیر پژوهشگرانی از جمله سون و همکاران (٢٠١٢)؛ کومار و همکاران

Archive of SID

www.SID.ir

(۲۰۱۲)؛ سامپسون و همکاران (۲۰۱۳)؛ مرسدر و همکاران (۲۰۱۱) تمایل بیش‌تری را برای استفاده از واریوگرام‌های محلی به‌جای واریوگرام کلی نشان داده‌اند. به‌عنوان نمونه، سلیمان و همکاران (۲۰۱۳) از رگرسیون کریجینگ با واریوگرام محلی برای پیش‌بینی ماده آلی خاک در کشور اندونزی استفاده کردند.

با توجه به مطالعات انجام شده تاکنون، در این پژوهش، برای تهیه نقشه رقومی قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری (اندازه‌گیری شده با دستگاه القاگر الکترومغناطیس) در دو حالت افقی و عمودی، از تکنیک رگرسیون کریجینگ با واریوگرام محلی براساس چارچوب کاری اسکورپن استفاده می‌شود. در روش رگرسیون کریجینگ با واریوگرام محلی، واریوگرام جداگانه‌ای در هر موقعیت جغرافیایی با توجه به داده‌های قرار گرفته در آن مکان، محاسبه و از اطلاعات آن در برای پیش‌بینی پارامتر مورد نظر استفاده خواهد شد. همچنین نتایج مدل رگرسیون کریجینگ با مدل‌های کریجینگ و کوکریجینگ مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

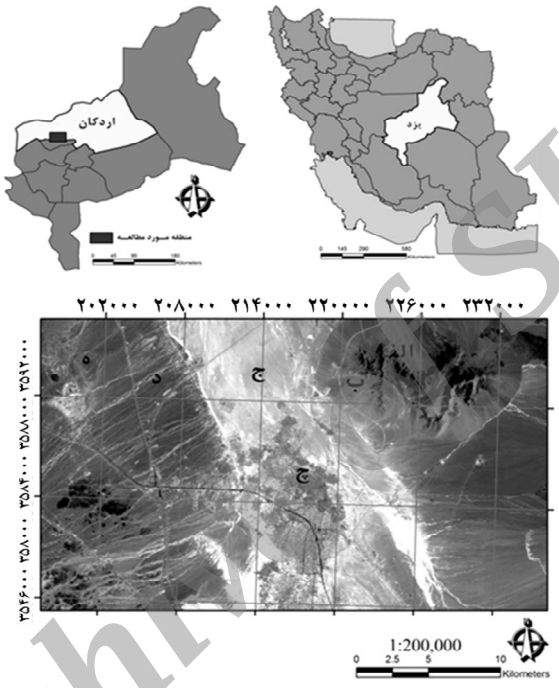
تشریح محدوده مطالعاتی: منطقه مورد مطالعه در ایران مرکزی واقع شده است و وسعتی برابر با ۷۲۰۰۰ هکتار از اراضی دشت یزد- اردکان را شامل می‌شود. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۰ دقیقه تا ٥٤ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه و ١٦ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی در زون ٤٠ قرار دارد و دارای مشکلات شوری منابع آب و خاک است. منطقه مورد بحث از جنوب به شهر اردکان و از شرق به رشته‌کوه هرشت و از شمال به چاله سیاه‌کوه و از غرب به رشته‌کوه‌های شیرکوه منتهی می‌شود. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را بر روی تصویر ماهواره‌ای ETM^{+} در استان یزد نشان می‌دهد. میانگین تبخیر و تعرق مرجع، دما و بارندگی سالیانه منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب برابر ۳٤۸۳ میلی‌متر، ۱۸/۵ درجه سلسیوس و ۷۵ میلی‌متر است که محدود به بارش‌های زمستانه می‌باشد (سازمان هواشناسی کشور، ۲۰۱۳). بنابراین رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به‌ترتیب اریدیک[1] و ترمیک[2] طبقه‌بندی می‌شود (بنایی، ۱۹۹۸). منطقه مورد مطالعه از نظر توپوگرافی بیش‌تر مسطح بوده و تنها رشته‌کوه‌هایی در شمال‌شرق منطقه دیده می‌شود، به‌طوری‌که

1- Aridic
2- Thermic

Archive of SID

www.SID.ir

بلندترین ارتفاعات منطقه را با ارتفاع ١٩٤٤ متر شامل می‌شود و کم‌ارتفاع‌ترین قسمت منطقه که در نواحی میانی قرار گرفته دارای ارتفاع متوسط ٩٤٤ متر است. اشکال اراضی اصلی این منطقه در شکل ١ نشان داده شده است.



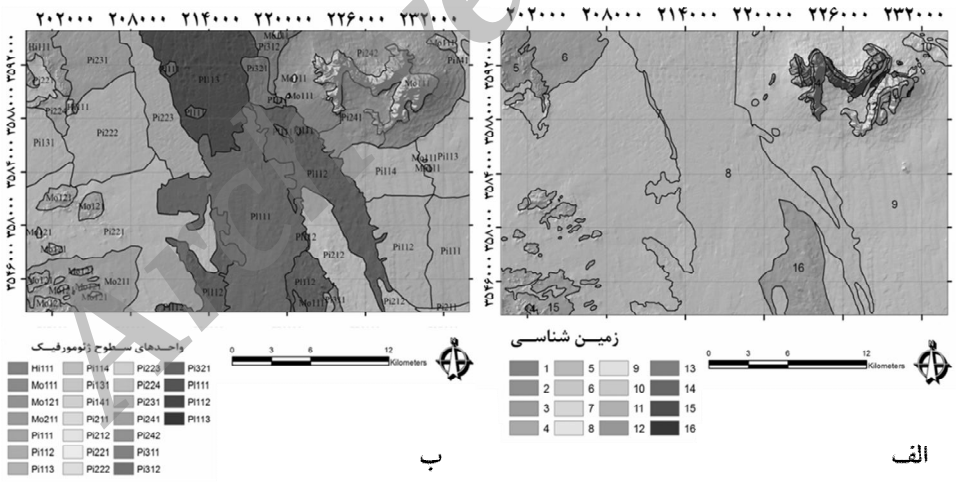
شکل ١- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور به همراه تصویر ماهواره‌ای ETM^+ آن منطقه در استان یزد (الف: کوه، ب: مخروط‌افکنه‌های جدید، ج: اراضی پف کرده شور، د: باهادا، ه: تپه‌های گچی، چ: اراضی باغی).

تهیه داده‌های محیطی یا کمکی: در این پژوهش برای تهیه داده‌های کمکی که نمایندگان عوامل خاکسازی در مدل‌سازی می‌باشند، از منابع مختلف از جمله نقشه‌های چندوجهی (مثل ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و...)، ویژگی‌های اراضی (مثل شاخص خیسی، ارتفاع و...) و تصاویر ماهواره‌ای (باندهای تصویر ETM^+) بهره گرفته شد. لازم به ذکر می‌باشد که بعضی از این لایه‌های اطلاعاتی موجود بوده (مثل نقشه زمین‌شناسی و پوشش گیاهی) و تنها در محیط جی‌آی‌اس (ArcGIS9.3) رقومی شده و از آن‌ها استفاده گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

نقشه ژئومورفولوژی: برای تهیه نقشه ژئومورفولوژی، بر روی عکس‌های هوایی ۱/۵۵۰۰۰ منطقه روکش طلق‌مانندی کشیده شد تا خطوط سطوح ژئومورفیک روی آن‌ها ترسیم گردد. برای تفکیک واحدهای اراضی از سیستم استریوسکوپی برای تشخیص تفاوت‌ها استفاده گردید. در تفکیک واحدها از مفهوم خاکسازی استفاده و براساس دانش ژئومورفولوژی و شناخت فرآیندهای تکامل واحدهای اراضی و در نظر گرفتن تکامل خاک‌ها و همچنین خصوصیاتی مانند تن، بافت و شکل عارضه‌ها در عکس هوایی، واحدها ترسیم و با ارتباط همراه با تأثیر دادن ویژگی‌های زمین‌شناسی (شکل ۲ و جدول ۱)، توپوگرافی و پوشش گیاهی یا کاربری اراضی، سطوح ژئومورفیک یکنواختی ترسیم گردید (زینک، ۱۹۹۰). سپس عکس‌های هوایی و روکش مربوطه اسکن شده و وارد محیط سامانه جغرافیایی (پی‌سی‌آی ژئوماتیکا) گردید. در مراحل بعد، عکس‌ها و روکش‌های وارد شده به سامانه جغرافیایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به روش ارتوفتوژئورفرنسینگ با دقت ۰/۵۰ (رزیتر و هنگل، ۲۰۰۱) زمین مرجع شدند. با رقومی کردن مرزهای ترسیم شده بر روکش عکس‌ها، نقشه ژئومرفولوژی تهیه گردید (شکل ۲ و جدول ۲).



شکل ۲- نقشه واحدهای زمین‌شناسی (الف) و ژئومورفولوژی (ب).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ١- راهنمای کدهای زمین‌شناسی مربوط به شکل ٢ (الف).

کدهای زمین‌شناسی	توضیحات
١	کنگلومرای قهوه‌ای رنگ (K^{cr})
٢	سنگ آهک خاکستری شامل رودیست و اوربیتولین (Kl_1)
٣	سنگ آهک تیره نازک لایه (Kl_2)
٤	سنگ آهک ضخیم شامل رودیست و اوربیتولین (Kl_3)
٥	مارن‌های گچ‌دار به رنگ قرمز رنگ (M^m)
٦	تراس‌های قدیمی و مخروط‌افکنه‌های بلند (Q^1)
٧	نهشت‌های رودخانه‌ای عهد حاضر (Q^{a1})
٨	اراضی رسی (Q^c)
٩	پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های جوان (Q^{tr})
١٠	کنگلومرای قرمز رنگ (K^{cl})
١١	سنگ آهک ریفی کرم رنگ (K_2)
١٢	سنگ آهک نازک لایه خاکستری رنگ (K_1)
١٣	سنگ آهک خاکستری (K)
١٤	گرانیت و دایک‌های گرانیتی (g)
١٥	توف‌ها و گدازه‌های آندزیتی، داسیتی و ریوداسیتی به رنگ خاکستری تا سبز (E^v)
١٦	لایه‌های مارن قرمز ژیپس‌دار (E^{gm})

جدول ٢- راهنمای کدهای واحدهای ژئومورفولوژیکی مربوط به شکل ٢ (ب).

زمین‌نما	لندفرم	لیتولوژی	سطح ژئومرفیک	علامت
کوه	رخنمون بریده‌شده	سنگ آهک و دولومیت	سطح سنگی	Mo111
		آندزیت خاکستری تا سبز به همراه آهک	سطح سنگی	Mo121
	پدیمنت سنگی	آهک و شیل تیره	سطوح فرسوده	Mo211
تپه	رخنمون فرسایش‌یافته	گچ و ماسه سنگ	سیستم زهکشی شاخه درختی با ارتفاع به‌نسبت زیاد	Hi111
دامنه	فن بادبزنی شکل	آبرفت‌های سنگ‌های آهکی	فن فعال، قسمت بالایی	Pi111
			فن فعال، قسمت پایینی با شوری زیاد	Pi112
			فن فعال، قسمت بالایی، شبکه متراکم زهکش، سنگفرش بیابانی	Pi113

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۲-

زمین‌نما	لندفرم	لیتولوژی	سطح ژئومرفیک	علامت
			فن فعال، قسمت پایینی، شبکه متراکم زهکش، سنگفرش بیابانی	Pi114
			فن فعال، قسمت پایینی، شبکه متراکم زهکش، دارای شیب به‌نسبت زیاد	Pi131
			فن فعال، قسمت پایینی، دارای اراضی سنگلاخی	Pi141
	فن‌های متصل	آبرفت‌های سنگ‌های آهکی خاکستری با ماسه سنگ قرمز	قسمت بالایی، شیب زیاد، شبکه زهکشی متراکم	Pi211
			قسمت پایینی با شیب به‌نسبت زیاد	Pi212
			قسمت بالایی با ذرات درشت و شوری به‌نسبت زیاد	Pi221
			قسمت بالایی با شبکه زهکشی موازی	Pi222
			قسمت پایینی با آبرفت‌های جدید	Pi223
			باهادای کشت شده و شور	Pi224
		آبرفت‌های تپه‌های گچی	قسمت بالایی با ذرات درشت و شوری به‌نسبت زیاد	Pi231
		آبرفت‌های سنگ‌های آهکی و دولومیتی	ذرات درشت و شوری به‌نسبت زیاد	Pi241
			ذرات درشت با شبکه زهکشی متراکم	Pi242
	فن‌های متصل قدیمی	آبرفت‌های شیل و ماسه‌سنگ و گچ	پستی و بلندی کم‌تر و تقریباً مسطح با ارتفاع کم	Pi311
			پستی و بلندی بیش‌تر با آبراهه‌های عمیق	Pi312
		آبرفت‌های گچی	پستی و بلندی بیش‌تر با آبراهه‌های عمیق و ذرات درشت	Pi321
پلایا	گودی اردکان	آبرفت‌های دانه‌ریز و دانه‌درشت	سطوح رسی هموار، کشت شده	Pl111
			سطوح رسی با شبکه زهکشی متراکم و شور	Pl112
			سطوح رسی پف کرده با شوری بسیار زیاد و مرطوب	Pl113

Archive of SID

www.SID.ir

استخراج ویژگی‌های زمین‌نما: در این پژوهش از مدل رقومی ارتفاع موجود در سامانه نقشه‌برداری کشور (اندازه سلول ١٠ متر) استفاده گردید. بعد از آماده کردن مدل ارتفاع رقومی و رفع اطلاعات زائد با استفاده از تئوری موجک[1]، از آن برای استخراج اطلاعات کمکی استفاده گردید. ویژگی‌های زمین‌نما مانند شیب[2]، ارتفاع[3]، ارتفاع بالای شبکه زهکشی[4]، مساحت حوزه‌های اصلاح شده[5]، موقعیت میانی شیب[6]، عمق دره[7]، شاخص خیسی[8]، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا[9]، شاخص بالای پشته با درجه تفکیک بالا[10] و شیب حوزه[11] در محیط سامانه جغرافیایی ساگا[12] محاسبه و استخراج گردید. روش استخراج تمام ویژگی‌های مزبور در روش ارایه شده توسط هنگل و همکاران (٢٠٠٤) تشریح گردیده است.

تصاویر ماهواره‌ای: بیش‌تر منطقه مطالعاتی، بدون پوشش گیاهی بوده، بنابراین تغییرات خصوصیات و نوع خاک توسط اطلاعات ماهواره‌ای قابل تشخیص می‌باشد (مترنیخ و زینک، ٢٠٠٣). در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای سنجده ETM^+ استفاده گردید. تصاویر این سنجنده مربوط به تابستان ١٣٨٥ می‌باشند. این تصویر از ٦ باند (باند ١: ٠/٥٢-٠/٤٥ میکرومتر، باند٢: ٠/٦٠-٠/٥٢ میکرومتر، باند ٣: ٠/٦٩-٠/٦٣ میکرومتر، باند ٤: ٠/٩٠-٠/٧٦ میکرومتر، باند٥: ١/٧٥-١/٥٥ میکرومتر، باند ٧: ٢/٣٥-٢/٠٨ میکرومتر) تشکیل شده است. تفکیک مکانی باندهای مرئی و مادون قرمز انعکاسی ٢٨/٥ متر، باند حرارتی ٦٠ متر و باند پانکروماتیک ١٤/٢٥ متر می‌باشد. فایل نقشه توپوگرافی ١/٢٥٠٠٠ سازمان نقشه‌برداری کشور برای تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. تطابق هندسی تصاویر با استفاده از نرم‌افزار ERDAS با استفاده از نقاط کنترل زمینی به روش تصویر به نقشه انجام شد، که در این روش برداشت مختصات نقاط معلوم (تقاطع جاده‌ها، ...) از روی نقشه توپوگرافی با مقیاس

1- Wavelet
2- Slope
3- Elevation
4- Altitude Above Channel Network
5- Modified Catchments Area
6- Mid-Slope Position
7- Valley Depth
8- Wetness Index
9- Multi-Resolution Index of Valley Bottom Flatness (MrVBF)
10- Multi-Resolution Ridge-Top Flatness Index (MrRTF)
11- Catchment Slope
12- SAGA

Archive of SID

www.SID.ir

۱:۲۵۰۰۰ صورت پذیرفت. تعداد ۳۰ نقطه کنترلی برای تصویر ETM^+ انتخاب گردید و میزان RMSE نهایی معادل ۰/٤۲ به‌دست آمد. عمل نمونه‌گیری مجدد به طریق نزدیک‌ترین همسایه برای باندهای اصلی صورت گرفت. همچنین، برای کاهش دادن تعداد داده‌های خام (تعداد باندها) تصویر ماهواره‌ای از یک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس ماتریس همبستگی استفاده گردید. براساس عوامل خاکسازی در منطقه یک‌سری شاخص‌هایی مانند شاخص گیاهی نرمال‌شده[1] (نشان‌دهنده وضعیت پوشش گیاهی)، شاخص رس[2]، شاخص کربنات[3]، شاخص گچ[4]، شاخص شوری[5] و شاخص روشنایی[6] (نشان‌دهنده ترکیبات زمین‌شناسی مواد سطحی) محاسبه گردید.

قرائت‌های دستگاه القاگر الکترومغناطیس: دستگاه مورد نظر طوری طراحی شده که می‌تواند در سطوح وسیع با سرعت بالا و بدون نیاز به تماس الکترودها با زمین به‌کار برده شود (شکل ۳). انجام قرائت با این دستگاه بسیار سریع است و حتی در صورت امکان می‌توان آن را به همراه یک ارابه در پشت یک وسیله نقلیه نصب و پیمایش‌ها را به‌صورت پیوسته انجام داد. این دستگاه از اصول القای الکترومغناطیسی استفاده کرده و می‌تواند قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری یک حجم مشخص از خاک را اندازه‌گیری نماید. عمق و حجم مؤثر دستگاه وابسته به ارتفاع قرارگیری آن نسبت به سطح زمین و همچنین وضعیت قرار گرفتن آن (افقی یا عمودی) در هنگام انجام قرائت‌ها است. در این پژوهش، پس از مراجعه به محل‌هایی که توسط مدل مربع لاتین انتخاب شده بودند (۱۷۳ نقطه)، اقدام به قرائت دستگاه EM-38 در دو وضعیت قرارگیری افقی[7] (۷۵-۰ سانتی‌متر) و عمودی[8] (۱۵۰-۰ سانتی‌متر) شد. علاوه‌بر این نقاط، به‌منظور افزایش تراکم نمونه‌برداری EM-38 در منطقه مطالعاتی، در تعدادی نقاط دیگر (۳۱۱ نقطه) با فاصله تقریبی ۱۵۰۰ متر نیز قرائت‌های افقی و عمودی انجام شد. همچنین در این مطالعه برای بررسی تغییرات در فواصل کوتاه‌تر، قرائت‌هایی در ۲٤ محل، به فاصله ۳۰ متر در یک شبکه فرضی به ابعاد ۹۰ متر در ۹۰ متر صورت پذیرفت (۲۱٦ نقطه). این روش را می‌توان قرائت

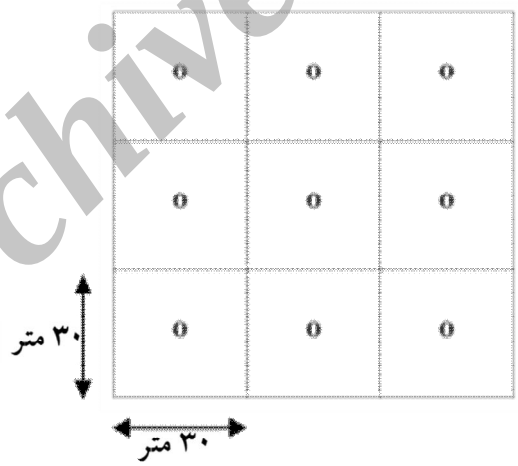
1- Normalized Difference Vegetation Index
2- Clay Index
3- Carbonate Index
4- Gypsum Index
5- Salinity Index
6- Brightness Index
7- EMh
8- EMv

Archive of SID

www.SID.ir

شبکه‌ای دستگاه القاگر الکترومغناطیس نامید که در شکل ٤ نشان داده شده است. روی‌هم‌رفته ٧٠٠ قرائت EM-38 در دو وضعیت افقی و عمودی در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت که پراکنش جغرافیایی آن‌ها را می‌توان در شکل ٥ دید.

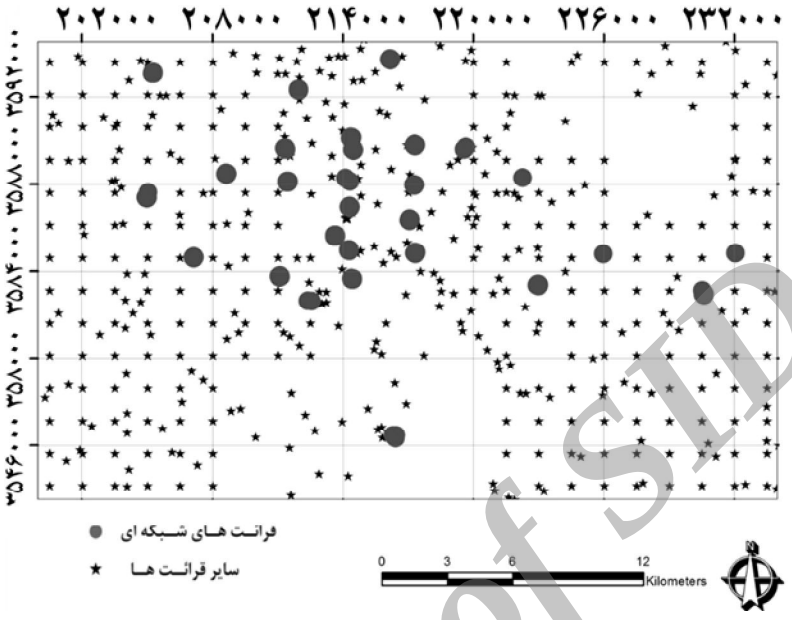
شکل ٣- نمایی از دستگاه القاگر الکترومغناطیس از نوع EM-38 و ساخت شرکت ژئونیکس کانادا.



شکل ٤- نحوه داده‌برداری توسط دستگاه EM-38 در درون محدوده مطالعاتی (قرائت‌های شبکه‌ای).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵- پراکنش مکانی نقاطی که قرائت آن‌ها توسط دستگاه القاگر الکترومغناطیس انجام گرفته است (در شکل محل قرائت‌هایی که به‌صورت شبکه‌ای با فواصل ۳۰ متر نیز برداشت شده مشخص است).

آماده‌سازی داده‌ها برای مدل‌سازی: برای پهنه‌بندی، داده‌های قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. همچنین، تمام لایه‌های اطلاعاتی یا کمکی (جدول ۳) به فرمت پیوسته با اندازه سلولی ۳۰ متری تهیه شدند. این اطلاعات به‌عنوان متغیرهای وابسته در مدل اسکورپن (مک‌براتنی و همکاران، ۲۰۰۳) شناخته می‌شوند. تمامی اطلاعات (داده‌های قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری و متغیرهای محیطی) به‌صورت نهایی txt تبدیل شده و برای انجام فرآیند مدل‌سازی در نرم‌افزارهای مربوطه (R و ArcGIS) آماده شدند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٣- پارامترهای کمکی مورد استفاده برای پهنه‌بندی شوری خاک.

فاکتورهای خاک‌سازی	منبع	تعریف	پارامترهای مستخرج‌شده	داده‌های کمکی
توپوگرافی	مدل رقومی ارتفاع	ارتفاع بالای سطح دریای آزاد (متر)	ارتفاع	پارامترهای سرزمین
توپوگرافی	اولایا (٢٠٠٤)	ارتفاع بالای آبراهه	ارتفاع بالای شبکه زهکشی	
توپوگرافی	اولایا (٢٠٠٤)	تجمعات جریان آب و پارامترهای مربوطه	مساحت حوزه‌های اصلاح‌شده	
توپوگرافی	بوهنر و آنتونیک (٢٠٠٩)	مقدار تشابه هر نقطه را نسبت به قسمت پایین و بالا با رنج ١٠٠-٠ محاسبه می‌کند	موقعیت شیب میانی	
توپوگرافی	اولایا (٢٠٠٤)	میزان همواری و پایین بودن را محاسبه می‌کند	شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا	
توپوگرافی	اولایا (٢٠٠٤)	میزان همواری و بالا بودن را محاسبه می‌کند	شاخص همواری قله با درجه تفکیک بالا	
توپوگرافی	اولایا (٢٠٠٤)	متر	عمق دره	
توپوگرافی و اقلیم	اولایا (٢٠٠٤)	وضعیت پیکسل‌ها را در مورد نگه‌داشت رطوبت بیان می‌کند.	شاخص خیسی	
توپوگرافی و اقلیم	اولایا (٢٠٠٤)	میزان گرادیان بالای مسیر حرکت	شیب حوزه	
مواد مادری، خاک و زمان	نیل و همکاران (٢٠٠٧)	سه مولفه اصلی	تجزیه به مولفه‌های اصلی ٦ باند	
پوشش گیاهی	بوتینگر و همکاران (٢٠٠٨)	$(B_4-B_3) / (B_4+B_3)$	شاخص گیاهی نرمال‌شده	داده‌های ماهواره‌ای
مواد مادری و خاک	بوتینگر و همکاران (٢٠٠٨)	B_5 / B_7	شاخص رس	
مواد مادری و خاک	نیل و همکاران (٢٠٠٧)	$(B_5-B_4) / (B_5+B_4)$	شاخص گچ	
مواد مادری و خاک	مترنیخ و زینک (٢٠٠٣)	$(B_3-B_4) / (B_3+B_4)$	شاخص شوری	
مواد مادری و خاک	مترنیخ و زینک (٢٠٠٣)	$((B_3)_2+(B_4)_2)^{0.5}$	شاخص روشنائی	
مواد مادری و خاک	بوتینگر و همکاران (٢٠٠٨)	B_3 / B_2	شاخص کربناته	
مواد مادری، توپوگرافی و خاک	زینک (١٩٩٠)	سطوح ژئومورفیک	واحدهای ژئومورفولوژی	نقشه ژئومورفولوژی

Archive of SID

www.SID.ir

مدل‌سازی

رگرسیون کریجینگ: رگرسیون کریجینگ یا کریجینگ بعد از حذف روند، یک روش هیبریدی است که شامل یک مدل رگرسیون و کریجینگ ساده می‌باشد. دراین پژوهش برای پهنه‌بندی قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری خاک از مدل رگرسیون کریجینگ با واریوگرام محلی[1] استفاده گردید. بدین منظور در ابتدا تمام لایه‌های اطلاعاتی به‌صورت سلولی تبدیل گردید. سپس یک رابطه رگرسیون درختی بین پارامترهای کمکی و داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری ایجاد و از مقادیر باقی‌مانده برای تهیه نقشه پیوسته خطا با استفاده از واریوگرم محلی[2] استفاده گردید (حذف روند). اجرای واریوگرام محلی شامل ٤ مرحله می‌باشد: ١) پیدا کردن نزدیک کردن نقاط همسایه نسبت به نقطه‌ای که پیش‌بینی در آن صورت می‌گیرد ٢) ایجاد واریوگرام تجربی با استفاده از نقاط همسایه ٣) برازش مدل مناسب به واریوگرام تجربی ٤) پیش‌بینی مقدار شوری در نقطه مورد نظر. باید دقت شود که در واریوگرام عام[3] تنها یک واریوگرام برای کل منطقه محاسبه می‌شود. در سال‌های اخیر، پژوهشگران به‌طور وسیعی از واریوگرام محلی در مطالعات نقشه‌برداری رقومی خاک استفاده می‌کنند (سون و همکاران (٢٠١٢)؛ کومار و همکاران (٢٠١٢)؛ سامپسون و همکاران (٢٠١٣)؛ مرسدر و همکاران (٢٠١١)؛ سلیمان و همکاران (٢٠١٣)). در نهایت نقشه خطایی که به‌دست آمده را با نقشه به‌دست آمده از مدل درختی (کیونلان، ٢٠٠١) با هم تلفیق کرده تا نقشه نهایی هدایت الکتریکی ظاهری در دو حالت افقی و عمودی به دست بیاید.

کریجینگ: کریجینگ عبارت از یک روش تخمین زمین‌آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد. به‌طوری‌که می‌توان گفت این روش بهترین تخمینگر خطی نااریب[4] می‌باشد. این تخمینگر به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Z^*(x)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i z(x_i) \qquad (٢)$$

که در آن، $Z^*(x_i)$: عیار تخمینی، λ_i: وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه i ام و $z(x_i)$: مقدار متغیر اندازه‌گیری شده می‌باشد (مک‌براتنی و همکاران، ٢٠٠٣).

1- Local Variogram
2- Local Variogram
3- Global Variogram
4- Best Linear Unbiased Estimator (B.L.U.E)

Archive of SID

www.SID.ir

روش کوکریجینگ: همان‌طورکه در آمار کلاسیک نیز روش‌های چندمتغیره وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان از روش کوکریجینگ و براساس همبستگی بین متغیرهای مختلف، برای تخمین استفاده کرد. معادله کوکریجینگ به‌شرح زیر می‌باشد (مک‌براتنی و همکاران، ٢٠٠٣).

$$Z^*(x_i) = \sum_{e'=1}^{n} \lambda_{e'i} . x_i \sum_{k=1}^{n} \lambda_k . y(x_k) \qquad (٣)$$

که در آن، $Z^*(x_i)$: مقدار تخمین زده شده برای نقطه x_i می‌باشد، λ_i: وزن مربوط به متغیر Z، λ_k: وزن مربوط به متغیر کمکی y، $z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر اصلی و $y(x_k)$: مقدار مشاهده شده متغیر کمکی است. برای تخمین با این روش و برای محاسبه اوزان مربوطه، نیاز به محاسبه واریوگرام متقابل به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\gamma(zy)h = \frac{1}{2} n[z(x_i + h) - z(x_i)] \times [y(x_k - y(x_k))] \qquad (٤)$$

که در آن، : $\gamma(z_y)h$: واریوگرام متقابل بین متغیر y و z، $z(x_i)$: متغیر مشاهده شده و $y(x_k)$: متغیر کمکی می‌باشد.

بررسی عملکرد مدل نقشه‌برداری رقومی: برای بررسی عملکرد مدل در برآورد متغیرهای وابسته (حالت افقی و عمودی) از یک‌سری معیارهایی استفاده گردید. معیارهایی که برای بررسی دقت مدل استفاده شدند شامل جذر میانگین مربعات خطا[1]، ضریب تبیین[2] و میانگین خطا[3] بودند (رابطه‌های ٥، ٦ و ٧). لازم به ذکر می‌باشد که برای بررسی دقت مدل‌ها برای تخمین قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری، داده‌ها به دو دسته آموزش (٨٠ درصد از داده‌های نمونه‌برداری شده) و آزمون (٢٠ درصد از داده‌های نمونه‌برداری شده) به‌طور تصادفی تقسیم شدند.

$$RMSE = \left[\frac{\sum (X_o - X_e)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (٥)$$

1- Root Mean Square Root Error (RMSE)
2- Coefficient of Determination (R2)
3- Mean Error (ME)

Archive of SID

www.SID.ir

$$R^2 = \left[\frac{\sum((X_e - \overline{X}_e)(X_o - \overline{X}_o))}{\sqrt{\sum((X_e - \overline{X}_e)^2 (X_o - \overline{X}_o)^2)}} \right]^2 \quad (6)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (X_o - X_e) \quad (7)$$

که در آن، X_o و X_e به‌ترتیب شوری مشاهداتی و تخمین زده شده، $\overline{X}_o$ و $\overline{X}_e$ به‌ترتیب میانگین شوری مشاهداتی و تخمین زده شده و n: تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

خلاصه آماری قابلیت هدایت الکتریکی و قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری: در جدول ٤ خلاصه آماری داده‌های قابلیت هدایت الکتریکی در چهار عمق و قرائت‌های قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری در دو حالت عمودی[1] و افقی[2] آمده است. در این جدول حداکثر، حداقل، میانگین، انحراف استاندارد، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی متغیرها مشخص شده است. همان‌طورکه نتایج آماری نشان می‌دهد به‌عنوان مثال هدایت الکتریکی در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری دارای حداقل یک و حداکثر ۲٤٥ با میانگین ۵۵/۹۰ دسی‌زیمنس بر متر است، که بیانگر وضعیت خیلی نامطلوب جامعه مورد بررسی از نظر شوری است. این مقادیر شوری بسیار زیاد در منطقه مورد مطالعه، توسط پژوهشگرانی دیگر مانند خرسندی و یزدی (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است. ولی باید به این نکته توجه نمود که در مورد متغیرهای پیوسته‌ای همانند شوری خاک، میانگین نمی‌تواند شاخص مناسبی از وضعیت متغیر مورد مطالعه باشد. انحراف استاندارد، از جمله ابزارهای آماری هستند که انحراف داده‌ها از میانگین را بیان می‌کنند. بنابراین، از این ابزارها می‌توان برای بررسی تناسب میانگین به‌عنوان شاخص متغیر مورد مطالعه استفاده نمود. انحراف استاندارد بالا بیانگر انحراف شدید داده‌ها از میانگین جامعه می‌باشد. به‌عنوان مثال در مورد هدایت الکتریکی عصاره اشباع در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری انحراف استاندارد ٦٦/۰۰ دسی‌زیمنس بر متر است می‌باشد و به‌دلیل این‌که انحراف معیار از میانگین جامعه زیاد است، نمی‌توان میانگین را به‌عنوان تخمینی از متغیر مورد بررسی در جامعه مورد مطالعه به‌کار برد. انحراف

1- Vertical Mode (ECav)
2- Horizontal Mode (ECah)

Archive of SID

www.SID.ir

استاندارد گرچه میزان تغییرات یک متغیر را بیان می‌کند ولی به تنهایی نمی‌توان از آن جهت مقایسه دو متغیر استفاده نمود. ضریب تغییرات معیار آماری است که برای مقایسه بزرگی تغییرات در دو توزیع می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این معیار به‌دلیل این‌که مستقل از میانگین بوده و واحد ندارد به سادگی می‌توان آن را در دو توزیع مقایسه نمود. به‌عبارت دیگر انحراف استاندارد تحت‌تأثیر بزرگی میانگین می‌باشد. در حقیقت ضریب تغییرات هدایت الکتریکی در عصاره اشباع بسیار بالا بوده و گستره‌ای در حدود ١١٨-٩٧ را دارند. به‌طور مشابه، ضریب تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه نیز در هر دو حالت بسیار زیاد بود (٩٢-٨٥). اما این مقادیر ضریب تغییرات در مقایسه با مورد مشابه در قابلیت هدایت الکتریکی خاک، کم‌تر می‌باشند. این مسأله را می‌توان به این شکل توجیه کرد که دستگاه القاگر الکترومغناطیس، قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری خاک را در حجم بزرگ‌تری (ابعاد ١/٥×٢×١) از خاک اندازه می‌گیرد در حالی‌که اعداد شوری مربوط به حجم کوچک‌تری از خاک (نمونه‌های تقریباً ٢ کیلوگرمی خاک) می‌باشند. چولگی، انحراف میانگین از میانه را نمایش می‌دهد. داده‌های مورد بررسی، مانند اکثر خصوصیات خاک، دارای چولگی مثبت می‌باشند. افراشتگی، حالت تخت یا مرتفع بودن منحنی توزیع را بیان می‌کند. با توجه به این‌که مدل درخت تصمیم هیچ پیش‌نیازی در مورد توزیع داده‌ها را لازم ندارد، در این مطالعه هیچ تبدیلی بر روی داده‌ها اعمال نگردید.

جدول ٤- پارامترهای آماری مربوط به مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی و هدایت الکتریکی ظاهری.

لایه (سانتی‌متر)	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	افراشتگی	میانه
ECe (١٥-٠)	١	٢٤٥/٤	٥٥/٩	٦٦/٠	١١٨/٠	١/٣٨	٠/٨٦	٣٠/٢
ECe (٣٠-١٥)	١/٣	٢٣٨/٦	٦٤/٢	٦٦/٨	١٠٤/٠	٠/٨٨	-٠/٥٤	٣٣/٨
ECe (٦٠-٣٠)	١	٢١٠/٠	٥٧/٣	٥٥/٩	٩٧/٤	٠/٨٩	-٠/٣١	٤٠
ECe (١٠٠-٦٠)	١	٢٣١/٩	٤٠/٧	٤١/١	١٠٠/٩	٢/٠٨	٥/٩٤	٣٠/٤
ECah (٧٥-٠)	١	٢٥٤	٥٦/٢	٥١/٧	٩٢/٠	١/٤٧	١/٦٩	٣٦/٥
ECav (١٥٠-٠)	٣	٣٤٠	٨٠/١	٦٨/٧	٨٥/٧	١/٢٩	١/١٨	٥٦/٥

Archive of SID

www.SID.ir

تصاویر ماهواره‌ای: دومین فاکتور محیطی مورد استفاده در این پژوهش تصویر ماهواره‌ای ETM^+ می‌باشد. در این مطالعه از مؤلفه‌های اصلی به جای باندهای ۱ تا ٦ تصویر استفاده گردید. نتایج مؤلفه‌های اصلی در جدول ۵ ارایه شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد سه مؤلفه اول ۹۹ درصد تغییرات را شامل می‌شود؛ بنابراین سه مؤلفه اول به‌عنوان ورودی مدل انتخاب شدند. اولین مؤلفه ۸۹/۸۱ درصد تغییرات باندهای تصویر را در بر می‌گیرد و بالاترین مقدار ویژه متعلق به باند ۲ و کم‌ترین آن مربوط به باند ٤ می‌باشد.

جدول ۵- مؤلفه‌های اصلی به همراه پارامترهای مربوطه.

عامل‌ها	مقادیر ویژه	درصد واریانس
۱	۵/۳۸	۸۹/۸۱
۲	۰/۳۱	۹۵/۰۵
۳	۰/۲۵	۹۹/۳۳
٤	۰/۰۳	۹۹/۸٦
۵	۰/۰۰	۹۹/۹۷
٦	۰/۰۰	۱۰۰

تهیه نقشه رقومی قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری

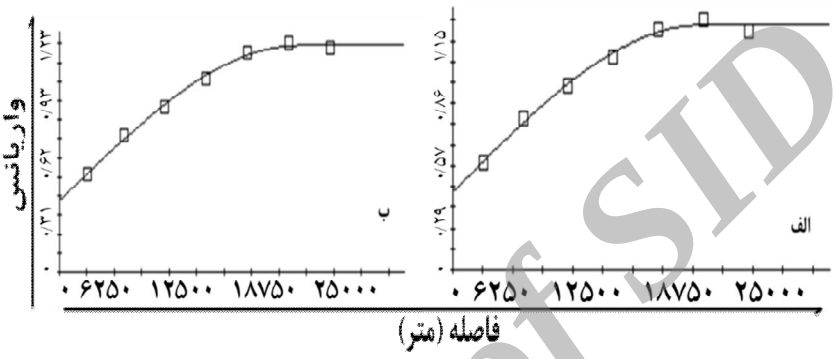
کریجینگ: اولین گام در استفاده از روش کریجینگ بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها توسط آنالیز واریوگرام می‌باشد، بدین منظور اقدام به ترسیم واریوگرام با استفاده از داده‌های نرمال گردید. شکل ٦ واریوگرام مربوط به روش کریجینگ را نشان می‌دهد. مدل کروی[1] به‌ازای فواصل کم بین زوج نقاط در نزدیکی مبدا رفتار خطی دارد. اما در فاصله‌های بزرگ‌تر، شیب آن کاهش می‌یابد. شیب کم نیم‌تغییرنما در نزدیکی مبدأ دلالت بر وجود پیوستگی متغیر مکانی دارد. بخش پرش نیم‌تغییرنما که قسمت میانی نیم‌تغییرنما می‌باشد، تا حدودی دلالت بر درجه همگنی محیط دارد. هرچه شیب این منحنی بیش‌تر باشد، محیط ناهمگن‌تر است و در فاصله کم‌تری به سقف می‌رسد. از طرف دیگر یکی از شرایط اساسی برای استفاده از روش‌های زمین‌آماری ایستا بودن داده‌ها است. نیم‌تغییرنما پارامتر شوری به سقف معینی می‌رسد که نشان‌دهنده پایایی است. پس از

1- Exponential

Archive of SID

www.SID.ir

مشخص شدن واریوگرام، مدل کریجینگ برای حالت‌های افقی و عمودی اجرا گردید که به‌ترتیب جذر میانگین مربعات خطا ۳۷/۹۳ و ٤٨/٣٠، میانگین خطا ١/٨٧ و ٢/١٣- و ضریب تبیین قابل‌قبول ٠/٣٧ و ٠/٤٠ به‌دست آمد.

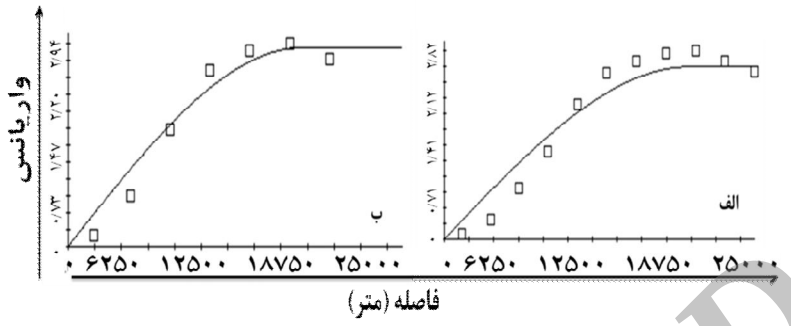


شکل ٦- واریوگرام‌های مربوط به هدایت الکتریکی ظاهری با توجه به روش کریجینگ (قرائت‌های افقی (الف) و عمودی(ب)).

کوکریجینگ: در روش کوکریجینگ، از پارامتری به‌عنوان متغیر کمکی استفاده شد که دارای بیش‌ترین ضریب همبستگی با متغیر مورد نظر را دارا می‌باشد. بنابراین مطابق با نتایج همبستگی برای برآورد هدایت الکتریکی ظاهری در دو حالت شاخص خیسی (ضریب همبستگی ٠/٦٢) به‌عنوان متغیر کمکی استفاده گردید. واریوگرام‌های متقابل مربوطه در شکل ٧ ارایه شده است. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه را می‌توان برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها مورد بررسی قرار داد. وقتی این نسبت کم‌تر از ٠/٢٥ باشد متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد، بین ٠/٢٥-٠/٧٥ ساختار مکانی متوسط بوده و هنگامی‌که بزرگ‌تر از ٠/٧٥ باشد ساختار مکانی ضعیف می‌باشد. واریوگرام‌های هدایت الکتریی ظاهری در دو حالت دارای نسبت کم‌تر ٠/٢٥ می‌باشد. پس از مشخص شدن واریوگرام، مدل کوکریجینگ برای حالت‌های افقی و عمودی اجرا گردید که به‌ترتیب جذر میانگین مربعات خطا ٣٥/٨٤ و ٤٥/٦٦، میانگین خطا ٢/٢١ و ١/٧٦- و ضریب تبیین قابل‌قبول ٠/٤٥ و ٠/٤٦ به‌دست آمد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷- واریوگرام‌های متقابل مربوط به هدایت الکتریکی ظاهری با توجه به روش کوکریجینگ (قرائت‌های افقی (الف) و عمودی(ب)).

رگرسیون کریجینگ: برای تهیه نقشه رقومی از قرائت‌های دستگاه EM-38 از رگرسیون کریجینگ با واریوگرام ناحیه‌ای استفاده گردید. بدین ترتیب که در ابتدا بین داده‌های محیطی و قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری یک رگرسیون درختی تشکیل گردید. نتایج مدل درختی نشان داد که ویژگی‌های اصلی برای تخمین مکانی قابلیت هدایت الکتریکی در حالت افقی، شاخص خیسی (۸۷ درصد)، سطوح ژئومورفولوژی (٦٢ درصد)، مؤلفه اول تصویر ماهواره‌ای (۵۹ درصد)، جهت حوضه (۱۸ درصد) و عمق دره[1] (١٦ درصد) و برای حالت عمودی شاخص خیسی (٦٣ درصد)، سطوح ژئومورفولوژی (٥٤ درصد)، مؤلفه اول تصویر ماهواره‌ای (٣٤ درصد)، جهت حوزه (۱۸ درصد) و عمق دره (۱۵ درصد) می‌باشند (شکل ۸). مور و همکاران (۱۹۹۱) ارتباط قوی بین شوری و شاخص خیسی را گزارش دادند. نتایج همچنین اهمیت نسبی سطوح ژئومورفولوژی را در پیش‌بینی شوری خاک نشان می‌دهد که احتمالاً مربوط به این می‌شود که سطوح ژئومورفولوژی اخیراً تشکیل شده و ارتباط خوبی با خصوصیات خاک‌های مناطق خشک دارند. به‌طور مشابه، جعفری و همکاران (۲۰۱۲) و اسکال و همکاران (۲۰۰۵) مهم‌ترین متغیر کمکی را در فرآیند نقشه‌برداری رقومی مناطق خشک، سطوح ژئومورفولوژی معرفی کردند. با این وجود، اکرم‌خاموف و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که اجزای سرزمین[2] کم‌ترین همبستگی را با داده‌های قابلیت هدایت الکتریکی و قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری دارند و علت را مربوط به هموار بودن منطقه مورد مطالعه دانستند. به‌علاوه نتایج این پژوهش

1- Valley Depth
2- Terrain Parameters

Archive of SID

www.SID.ir

نشان می‌دهد که تجزیه به مؤلفه اصلی تصاویر ماهواره یکی از مهم‌ترین پارامترهای کمکی می‌باشند. زیرا بیش‌تر منطقه مورد مطالعه بدون پوشش گیاهی می‌باشد، بنابراین حضور و تجمع نمک در سطح خاک به راحتی توسط مؤلفه‌های اصلی تصویر ماهواره‌ای ETM^+ شناسایی می‌شوند. مترنیخ و زینک (٢٠٠٣) و دیوادی و اسرینیواس (١٩٩٨) اثبات کردند که مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی خاک‌های شور بسیار کاربردی می‌باشند. همچنین دهنی و لوئیس (٢٠١٢) کارایی بالای تصاویر ETM^+ را در تهیه نقشه شوری تأیید کردند.

شکل ٨- نتایج اهمیت متغیرهای محیطی در تخمین قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری (قرائت‌های افقی (الف) و عمودی (ب)).

پس از مشخص شدن پارامترهای اصلی، مدل رگرسیون درختی و سپس مقادیر باقی‌مانده داده‌های آموزش محاسبه و با استفاده از کریجینگ با واریوگرام ناحیه‌ای تبدیل به نقشه پیوسته واریانس خطا گردید (شکل ٩). نتایج مدل‌های رگرسیون کریجینگ براساس داده‌های آموزش (٨٠ درصد) و داده‌های آزمون (٢٠ درصد) در جدول ٦ ارایه شده است. هر دو مدل، فرآیند تخمین را برای حالت افق و عمودی به‌ترتیب با جذر میانگین مربعات خطا ٢٩/٦٤ و ٣٧/٧٤، میانگین خطا ٢/٢٣- و ١/٠٧- و ضریب تبیین قابل‌قبول ٠/٤٨ و ٠/٤٩ براساس داده‌های آزمون انجام داده‌اند. رایان و همکاران (٢٠٠٠)، فلورنسکی و همکاران (٢٠٠٢) و ملانو و همکاران (٢٠٠٩) نتایج مشابه‌ای از ضریب تبیین را گزارش

Archive of SID

www.SID.ir

داده‌اند. برای بحث نقشه‌برداری رقومی این نتایج قابل‌قبول می‌باشد، به‌طوری‌که ضریب تبیین بالاتر ۰/۷۰، کم‌تر و ضریب تبیین پایین‌تر از ۰/۵۰، بیش‌تر معمول می‌باشد (ملانو و همکاران، ۲۰۰۹). چون هنوز تکنیک‌های ارایه شده در نقشه‌برداری رقومی خاک نتوانسته کاملاً با سطح اطمینان بالایی خصوصیات خاک را پیش‌بینی کند و همیشه یک‌سری پارامترهای ناشناخته‌ای وجود دارند که پایین آوردن دقت مدل نهایی تأثیرگذار هستند. به هر حال در مبحث نقشه‌برداری رقومی خاک این نتایج قابل اتکا می‌باشند. ملانو و همکاران (۲۰۰۹) و ادگرز و همکاران (۲۰۱۲) نیز از تکنیک مشابه برای بررسی تغییرات مکانی و عمقی کربن آلی خاک در استرالیا استفاده کردند و نتایج مشابه‌ای را به‌دست آوردند. همچنین مدل رگرسیون کریجینگ برای حالت افقی توانسته در مقایسه با مدل‌های کریجینگ و کوکریجینگ خطای پیش‌بینی را ۲۸ و ۲۱ درصد کاهش دهد، که این مسأله نیز کارایی مدل رگرسیون کریجینگ را تأیید می‌کند. سایر پژوهشگران نیز کارایی بالای روش هیبرید را تأیید کرده‌اند. به‌عنوان مثال اوده و انس (۲۰۰۸) تغییرات مکانی شوری و قلیائیت خاک و پایداری ساختمان خاک را با استفاده از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین‌آمار در یک منطقه نیمه‌خشک در کشور استرالیا مطالعه نمودند. آن‌ها روش‌های رگرسیون کریجینگ و کریجینگ شاخص را بررسی نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد که روش رگرسیون کریجینگ، بهترین تخمین را از تغییرات مکانی شوری و سدیمی خاک تهیه نمود. الدیری و گارسیا (۲۰۰۹) نیز قابلیت دو روش کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ را در تهیه نقشه شوری خاک مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که روش رگرسیون کریجینگ در مقایسه با روش کوکریجینگ کارایی بالاتری داشته است؛ به‌طوری‌که این روش توانسته تغییرات موضعی کوچک در شوری خاک را نیز به خوبی پیش‌بینی کند. یان و همکاران (۲۰۰۷) ضمن تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ در کشور چین، نشان دادند که استفاده از داده‌های کمکی در روش کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ در تراکم‌های نمونه‌برداری مختلف، بهتر از روش کریجینگ معمولی بودند. در مقایسه با روش کوکریجینگ، روش رگرسیون کریجینگ، مقدار ریشه مربعات خطا را بیش‌تر کاهش داد. به این علت که در روش رگرسیون کریجینگ می‌توان از داده‌های کمکی بیش‌تری استفاده کرد. در انتها نقشه واریانس خطا با نقشه‌ای که با مدل رگرسیون درختی تهیه شده بود تلفیق گردید و نقشه‌های نهایی قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری در دو حالت افقی و عمودی تهیه شدند (شکل ۱۰).

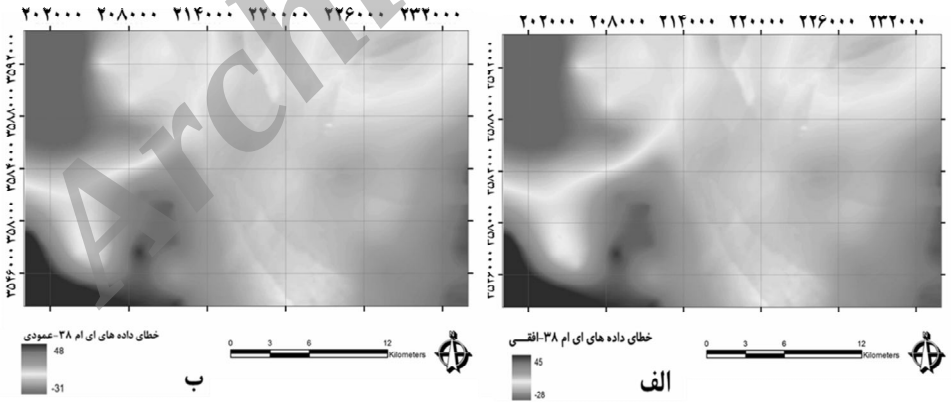
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦- نتایج معیارهای ارزیابی برای پیش‌بینی قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری (افقی و عمودی).

	میانگین خطا	جذر میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین
آموزش (٥٦٠ داده)			
قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری (افقی)	-٠/١٢	٢٤/٩٥	٠/٦٩
قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری (عمودی)	-١/٠٣	٣٠/٧٨	٠/٧٥
آزمون (١٤٠ داده)			
قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری (افقی)	-٢/٢٣	٢٩/٦٤	٠/٤٨
قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری (عمودی)	-١/٠٧	٣٧/٧٤	٠/٤٩

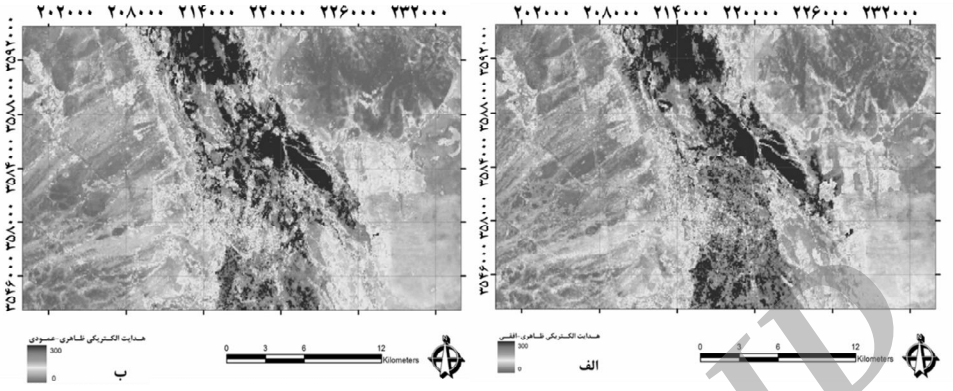
همان‌طورکه در شکل ١٠ مشخص است بیش‌ترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری در مناطق شمالی و میانی منطقه قرار گرفته است و در مقابل، کم‌ترین میزان آن در مناطق مرتفع‌تر (شمال شرقی) قرار دارد. از نظر ژئومورفولوژی بیش‌ترین شوری خاک در واحد پلایا دیده می‌شود. این مسأله احتمالاً به‌خاطر دریافت رسوبات بیش‌تر و در نتیجه تجمع املاح شور در این نواحی می‌باشد. علاوه‌بر این، شکل مقعر منطقه می‌تواند به حرکت آب زیرزمینی در جهت شمال کمک کند، درست در جایی که بیش‌ترین شوری‌ها مشاهده می‌شود. در شمال منطقه بافت خاک سنگین‌تری وجود دارد که حضور رس باعث حرکت کاپیلاری آب و تجمع نمک در سطح خاک می‌شود.



شکل ٩- پهنه‌بندی مقادیر باقی‌مانده با استفاده از روش کریجینگ و واریوگرام محلی (قرائت‌های افقی (الف) و عمودی (ب)).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۰- نقشه رقومی قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری با استفاده از رگرسیون کریجینگ (قرائت‌های افقی (الف) و عمودی (ب)).

نتیجه‌گیری

ارزیابی تناسب اراضی برای بیش‌تر گیاهان زراعی که در مناطق خشک کشت می‌شوند، نیاز به اطلاعات دقیق از خاک به‌ویژه شوری خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری دارد. بنابراین به‌نظر می‌رسد راه عملی و کاربردی برای مدل‌سازی سه‌بعدی (تغییرات سطحی و عمق) خاک استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکترومغناطیس باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که رگرسیون کریجینگ با واریوگرام محلی به‌عنوان مدل پیش‌بینی‌کننده، ابزاری قدرتمند در جهت برآورد شوری خاک به‌صورت سطحی و عمقی می‌باشد. به‌طوری‌که مدل رگرسیون کریجینگ درصد خطای پیش‌بینی را در حالت افقی نسبت به کوکریجینگ و کریجینگ به‌ترتیب ۲۱ و ۲۸ درصد کاهش داده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که برای تهیه نقشه رقومی خصوصیات خاک از مدل‌های رگرسیون کریجینگ با واریوگرام محلی در مطالعات آینده استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد که با توجه به رابطه داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری با دیگر خصوصیات خاک، مطالعات مشابه‌ای جهت ارزیابی آن پارامترها نیز انجام گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1.Akramkhanov, A., and Vlek, P.L.G. 2012. The assessment of spatial distribution of soil salinity risk using neural network. Environ. Mon. Assess. 184: 2475-2485.

2.Banaei, M.H. 1998. Soil moisture and temperature regime map of Iran. Soil and Water Research Institute. Ministry of Agriculture, Tehran, Iran.

3.Boettinger, J.L., Ramsey, R.D., Bodily, J.M., Cole, N.J., Kienast-Brown, S., Nield, S.J., Saunders, A.M., and Stum, A.K. 2008. Landsat Spectral Data for Digital Soil Mapping, P 193-203. In: Hartemink, A.E., A.B. McBratney and M.L. Mendonca-Santos (eds.), Digital Soil Mapping with Limited Data. Springer Science, Australia.

4.Bohner, J., and Antonic, O. 2009. Land-surface parameters specific to topo-climatology, P 192-226. In: Hengl, T., and H.I. Reuter (eds.), Geomorphometry: Concepts, Software, Applications, Elsevier, Amsterdam, Netherland.

5.Dehni, A., and Lounis, M. 2012. Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: application to the Oran region of Algeria. Pro. Engi. 33: 188-198.

6.Dwivedi, R.S., and Sreenivas, K. 1998. Delineation of salt-affected soils and waterlogged areas in the Indo-Gangetic plains using IRS-1C LISS-III data. I. J. Rem. Sens. 14: 2739-2751.

7.Eldeiry, A., and Garcia, L. 2009. Spatial modeling of soil salinity using remote sensing, GIS and field data. VDM, Lightning Source UK Ltd., Milton Keynes UK, London. 98p.

8.Florinsky, I.V., Eilers, R.G., Manning, G.R., and Fuller, L.G. 2002. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. Environ. Modell. Soft. 17: 295-311.

9.Hengl, T., Huvelink, G.B.M., and Stein, A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. Geoderma. 120: 75-93.

10.I.R. of Iran Meteorological Organization. 2013. www.weather.ir.

11.Isla, R., Aragues, R., and Royo, A. 2003. Spatial variability of salt-affected soils in the middle Ebro Valley (Spain) and implications in plant breeding for increased productivity. Euphytica. 134: 325-334.

12.Jafari, A., Finke, P.A., de Wauw, J.V., Ayoubi, S., and Khademi, H. 2012. Spatial prediction of USDA-great soil groups in the arid Zarand region, Iran: Comparing logistic regression approaches to predict diagnostic horizons and soil types. E. J. Soil Sci. 63: 284-298.

13.Khorsandi, F., and Yazdi, F.A. 2011. Estimation of Saturated Paste Extracts' Electrical Conductivity from 1:5 Soil/Water Suspension and Gypsum. Comm. Soil Sci. Plant Ana. 42: 315-321.

14.Kumar, S., Lal, R., and Liu, D. 2012. A geographically weighted regression kriging approach for mapping soil organic carbon stock. Geoderma. 189: 627-634.

Archive of SID

www.SID.ir

15. Lesch, S.M., Corwin, D.L., and Robinson, D.A. 2005. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. Com. Elec. Agr. 46: 351-378.
16. Malone, B.P., McBratney, A.B., Minasny, B., and Laslett, G.M. 2009. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. Geoderma. 154: 138-152.
17. McBratney, A.B., Mendonça-Santos, M.L., and Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma. 117: 3-52.
18. Mcneill, J.D. 1980. Electrical conductivity of soil and rocks. Technical note TN-5 Geonics Ltd. Mississauga, Ontario, Canada, Pp: 10-15.
19. Mercer, L.D., Szpiro, A.A., Sheppard, L., Lindström, J., Adar, S.D., Allen, R.W., Avol, E.L., Oron, A.P., Larson, T., Sally, L.J., and Kaufman, J. 2011. Comparing universal kriging and land-use regression for predicting concentrations of gaseous oxides of nitrogen for the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution (MESA Air). Atm. Environ. 45: 4412-4420.
20. Metternicht, G., and Zinck, J.A. 2003. Remote Sensing of Soil Salinity: Potentials and Constraints. Rem. Sens. Environ. 85: 1-20.
21. Nield, S.J., Boettnger, J.L., and Ramsey, R.D. 2007. Digitally mapping Gypsic and nitric soil areas using Landsat ETM data. SSSJA. 71: 245-252.
22. Odeh, I.O.A., and Onus, A. 2008, Spatial Analysis of Soil Salinity and Soil Structural Stability in a Semiarid Region of New South Wales, Australia. Environ. Man. 42: 265-278.
23. Odgers, N.P., Libohova, Z., and Thompson, J.A. 2012. Equal-area spline functions applied to a legacy soil database to create weighted-means maps of soil organic carbon at a continental scale. Geoderma. 189: 153-163.
24. Olaya, V.F. 2004. A gentle introduction to Saga GIS. The SAGA User Group, Göttingen, Germany. 148p.
25. Quinlan, J.R. 2001. Cubist: An Informal Tutorial. http://www.rulequest.com.
26. Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M., and Tan, C.S. 2008. Optimal soil physical quality inferred through structured regression and parameter interactions. Geoderma. 146: 466-474.
27. Rhoades, J.D. 1976. Measuring, mapping and monitoring field salinity and water depths with soil resistance measurements. FAO Soils Bulletin. 31: 69-109.
28. Rhoades, J.D., and Ingvalson, R.D. 1971. Determining salinity in field soils with soil resistance measurements. SSSJA. 35: 54-60.
29. Rossiter, D.G., and Hengl, T. 2001. Technical note: Creating geometrically-correct photo-interpretation, photo-mosaics, and base maps for a projects GIS. http://www.itc.nl/rossiter.
30. Ryan, P.J., McKenzie, N.J., O'Connell, D., Loughhead, A.N., Leppert, P.M., Jacquier, D., and Ashton, L. 2000. Integrating forest soils information across scales: spatial prediction of soil properties under Australian forests. For. Eco. Manag. 138: 139-157.

Archive of SID

www.SID.ir

31. Sampson, D., Richards, M., Szpiro, A.A., Bergen, S., Sheppard, L., Larson, T.V., and Kaufman, J.D. 2013. A regionalized national universal kriging model using Partial Least Squares regression for estimating annual PM2.5 concentrations in epidemiology. Atm. Environ. 75: 383-392.
32. Scull, P., Franklin, J., and Chadwick, O.A. 2005. The application of classification of tree analysis to soil type prediction in a desert landscape. Eco. Model. 181: 1-15.
33. Sheng, J., Ma, L., Jiang, P., Li, B., Huang, F., and Wu, H. 2010. Digital soil mapping to enable classification of salt-affected soils in desert agro-ecological zones. Agr. Water Manag. 97: 1944-1951.
34. Sulaeman, Y., Sarwani, M., Minasny, B., McBratney, A.B., Sutandi, A., and Barus, B. 2013. Soil-landscape models to predict soil pH variation in the Subang region of West Java, Indonesia, P 317-325. In: Minasny, B., B.P. Malone and A. McBratney (eds.), Digital Soil Assessment and Beyond, Taylor and Francis Group, London, England.
35. Sun, W., Minasny, B., and McBratney, A. 2012. Analysis and prediction of soil properties using local regression-kriging. Geoderma. 171: 16-23.
36. Triantafilis, J., and Lesch, S.M. 2005. Mapping clay content variation using electromagnetic induction techniques. Com. Elec. Agr. 46: 203-237.
37. Triantafilis, J., and Santos, F.A. 2009. 2-dimensional soil and vadose-zone representation using an EM38 and EM34 and a laterally constrained inversion model. Aus. J. Soil Res. 47: 809-920.
38. Triantafilis, J., Laslett, G.M., and Mcbratney, A.B. 2000. Calibrating an electromagnetic induction instrument to measure salinity in soil under irrigated cotton. SSSJA. 64: 1009-1017.
39. Triantafilis, J., Odeh, I.O.A., and McBratney, A.B. 2001. Five geostatistical models to predict soil salinity from electromagnetic induction data across irrigated cotton. SSSJA. 65: 869-878.
40. Wöhling, T., Vrugt, J.A., and Barkle, G.F. 2008. Comparison of three multiobjective optimization algorithms for inverse modeling of vadose zone hydraulic properties. SSSJA. 72: 305-319.
41. Wu, C., Wu, J., Luo, Y., Zhang, H., and Teng, Y. 2008. Statistical and geostatistical characterization of heavy metal concentrations in a contaminated area taking into account soil map units. Geoderma. 144: 171-179.
42. Yan, L., Shi, Z., Wu, C., Li, H., and Li, F. 2007. Improved Prediction and Reduction of Sampling Density for Soil Salinity by Different Geostatistical Methods. Agr. Sci. China. 6: 832-841.
43. Yao, R.J., Yang, J.S., and Jiang, L. 2007. Study on spatial variability and profile distribution characteristics of soil salinity by Kriging with an electromagnetic induction. J. Zhejiang Univ. 33: 207-216.
44. Zinck, J.A. 1990. Physiography and Soils. Lecture-notes for soil students. Soil Science Division. Soil survey courses subject matter: K6 ITC, Enscheda, The Netherlands. 185p.

Archive of SID

www.SID.ir

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(4), 2015
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Digital mapping of apparent electrical conductivity using regression kriging and local variogram in Ardakan region

***R. Taghizadeh-Mehrjardi[1], F. Sarmadian[2], M.J. Rousta[3], M.H. Rahimian[4], M. Omid[5] and N. Toomanian[6]**

[1]Assistant Prof., Dept of Arid Land and Desert Management, University of Ardakan, [2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Tehran, [3]Assistant Prof., National Soil Salinity Center, Yazd, [4]Lecturer, National Soil Salinity Center, Yazd, [5]Professor, Dept. of Agricultural Machinery, University of Tehran, [6]Assistant Prof., Dept. of Soil and Water, Agricultural and Natural Resource Research Station, Isfahan

Received: 09/18/2013; Accepted: 02/15/2014

Abstract

Converting point data to continuous one is the first step in order to use them in scorpan flowchart. For this purpose, different geostatistic methods are available which at present research regression kriging with local variogram, kriging and co-kriging was applied. For mapping apparent electrical conductivity at the area covering 72000ha located in Ardakan region, 700 readings in horizontal and vertical modes were carried out by electromagnetic induction. Auxiliary data used in this study to represent predictive soil forming factors were terrain attributes, Landsat 7 ETM^+ data and a geomorphologic surfaces map. At first, the relationship between independent variables (i.e. auxiliary data) and dependent variable (i.e. apparent electrical conductivity) was calculated by regression tree. Then, the residuals, derived from regression tree, were mapped by using kriging with local variogram. Finally, the residual and ECa maps were aggregated in order to produce the final maps. Results showed some auxiliary variables had more influence on predictive apparent electrical conductivity model which included: wetness index, geomorphology map and the first principal component analysis. Also, results showed that model predicted ECah with determination of coefficient, root mean square error and mean error were 0.48, 29.64 and -2/23, respectively. This founding confirmed that regression kriging with local variogram had high performance; however, RK decreases the error of prediction in comparison with OK and CK up to 21% and 28%. Thus, using of regression kriging with local variogram for digital mapping of soil properties in future studies is suggested.

Keywords: Electromagnetic induction, Digital soil mapping, Regression tree

* Corresponding Authors; Email: rtaghizadeh@ardakan.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir