



دانشگاه گیلان، روزی در سایه شبنم

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هفدهم، شماره دوم، ۱۳۸۹
www.gau.ac.ir/journals

پیش‌بینی مکانی برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پذیرفتاری مغناطیسی خاک به کمک داده‌های رقومی ارتفاع زمین و مدل رگرسیونی

فریده عباس‌زاده‌افشار^۱، احمد جلالیان^۲ و *شمس‌ا... ایوبی^۳

^۱ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، آستاد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، آستادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

این بررسی به منظور برآورد مکانی برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پذیرفتاری مغناطیسی خاک (متغیرهای هدف) به کمک داده‌ها و اطلاعات محیطی به‌دست آمده از مدل رقومی ارتفاع زمین (متغیرهای مستقل) و با استفاده از مدل‌سازی رگرسیونی در اراضی زراعی زیر کشت گندم دیم در منطقه اردل چهارم‌حال و بختیاری صورت گرفته است. متغیرهای هدف یا خصوصیات خاک مورد مطالعه شامل مقدار ماده آلی، درصد نیتروژن، هدایت الکتریکی، درصد رس، سیلت، شن و پذیرفتاری مغناطیسی بوده است. مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با استفاده از نقاط نقشه‌برداری شده توسط دوربین تئودولیت در محیط GIS و در پیکسل‌هایی به ابعاد ۳×۳ متر تهیه شد و ویژگی‌های اولیه توپوگرافی (شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، سطح ویژه حوزه آبخیز، انحنای سطح زمین، انحنای افقی و انحنای قائم) و ویژگی‌های ثانویه توپوگرافی (شامل شاخص رطوبتی، شاخص قدرت جریان و فاکتور فرسایش‌پذیری) محاسبه گردید. نتایج آمار توصیفی تمامی متغیرها نشان داد که از توزیع نرمال برخوردار هستند. از بین خصوصیات خاک، درصد شن (۰/۵۲) بیشترین و چگالی ظاهری (۰/۱) کمترین ضریب تغییرات را از خود نشان داد. در نهایت مدل‌های رگرسیون چند متغیره بین ویژگی‌های توپوگرافی (به‌عنوان متغیرهای تخمین‌زننده) و خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پذیرفتاری مغناطیسی

* مسئول مکاتبه: youbi@cc.iut.ac.ir

خاک (به‌عنوان متغیرهای هدف) برقرار شد و برای اعتبارسنجی مدل‌ها از تعدادی از نمونه‌ها (۱۸ نقطه از ۹۰ نقطه) که تصادفی انتخاب شده بودند استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد خصوصیات توپوگرافی که با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پذیرفتاری مغناطیسی خاک همبستگی بیشتری داشتند و در مدل رگرسیونی وارد شدند شامل ارتفاع، فاکتور فرسایش‌پذیری^۱ خاک، شیب و شاخص رطوبتی بوده است که توانسته‌اند ۲۰ تا ۶۷ درصد از تغییرات خصوصیات خاک را توجیه نمایند. نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها نیز از نااریب بودن و درجه تخمین مناسب برازش مدل‌ها حکایت می‌کند. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که پتانسیل استفاده از خصوصیات توپوگرافی به‌عنوان یک شاخص خصوصیات خاک مفید است اما نیاز به بررسی‌های بیشتری می‌باشد. همچنین مدل رگرسیونی کفایت کافی برای ایجاد ارتباط ندارد و باید از تکنیک‌های دیگری استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: مدل رقومی ارتفاع، خصوصیات خاک، ویژگی‌های توپوگرافی، پذیرفتاری مغناطیسی

مقدمه

وجود تغییرات در خصوصیات خاک امری طبیعی می‌باشد، ولی شناخت این تغییرات به‌ویژه در اراضی کشاورزی جهت برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت امری اجتناب‌ناپذیر است. آگاهی از این امر برای بهبود در سودآوری و نیل به بهره‌بری پایدار ضروری می‌باشد. اطلاع از ماهیت تغییرپذیری خاک قادر است راه‌گشای بسیاری از بررسی‌های مربوط به مدیریت مزرعه باشد.

شناخت خصوصیات سطحی خاک در حوزه آبخیز در ارتباط با مسائل مدیریتی، به‌خصوص در ارتباط با پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک، محاسبه فرسایش و رسوب و یا بررسی ارتباط خصوصیات خاک با تولید محصولات زراعی، باغی و مرتعی از اهمیت بالایی برخوردار است. هزینه‌های زیاد جمع‌آوری نمونه‌های خاک، غیرقابل دسترس بودن برخی نقاط حوزه‌های آبخیز و هزینه‌های سنگین تجزیه نمونه‌های خاک، ارائه روش‌هایی را به‌منظور برآورد غیر مستقیم خصوصیات خاک طلب می‌کند (جیانگ و تلو، ۲۰۰۴). نمونه‌ای از این روش‌های غیرمستقیم، استفاده از فاکتورهای توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع می‌باشد که با حداقل نمونه‌برداری و به کمک پارامترهای سطح زمین (که محاسبه آنها به مراتب ارزان‌تر است) بتواند خصوصیات خاک را به‌طور نسبتاً دقیقی برآورد نماید (ایوبی و علیزاده،

۲۰۰۶). بین این پارامترها و خصوصیات هیدرولوژی ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. ارتباط بین خصوصیات توپوگرافی نظیر ارتفاع^۱، شیب^۲، جهت شیب^۳، انحنای افقی، انحنای عمودی با خصوصیات هیدرولوژی و فرآیند فرسایش و رسوب روشن شده است (تربوتون، ۲۰۰۳). تأثیر پستی و بلندی در توزیع ذرات خاک، مواد آلی و مواد غذایی به‌وسیله فرسایش و رسوب می‌باشد که در نتیجه آن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بالای شیب و پایین شیب تغییر می‌کند (اوالس و کالینز، ۱۹۸۶؛ پنوک و دیجانگ، ۱۹۹۰). همچنین آگاهی از پارامترهای سطح زمین و خصوصیات توپوگرافی در مزارع کشاورزی جهت تفسیر نقشه‌های عملکرد محصول مفید است (سودوت و همکاران، ۱۹۹۷). از سوی دیگر برتری خصوصیات پستی و بلندی نسبت به خصوصیات دیگر خاک در آسان به‌دست آمدن آنها از طریق محاسبه و صرف هزینه و زمان کمتر می‌باشد. نوروزی و همکاران (۲۰۰۹) رابطه بین خصوصیات توپوگرافی و تولید محصول را بررسی کردند و نتایج آنها نشان داد که عملکرد گندم تا اندازه زیادی تحت کنترل پارامترهای پستی و بلندی می‌باشد.

شیب، موقعیت شیب و انحنای روی عمق خاک، تکامل پروفیل، خصوصیات شیمیایی خاک و بافت و ساختمان خاک سطحی مؤثر می‌باشند. بررسی‌های متعدد نشان داده است که برخی خصوصیات خاک، مانند ضخامت افق A و B، pH، بافت خاک، مقدار ماده آلی خاک و بعضی از پارامترهای دیگر با موقعیت خاک روی چشم‌انداز^۴ همبستگی دارد (کرزنور و همکاران، ۱۹۸۹). مور و همکاران (۱۹۹۳) مدل آماری خاک-چشم‌انداز را براساس تعیین ارتباط بین برخی خصوصیات سطحی خاک مانند ضخامت افق A، مواد آلی، درصد شن، سیلت، رس و pH افق سطحی با ویژگی‌های توپوگرافی به‌دست آوردند آنها دریافتند که شیب به‌عنوان یکی از پارامترهای توپوگرافی بیشترین همبستگی را با خصوصیات خاک داشت. وو و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که تکامل پروفیل و خصوصیات خاک با توپوگرافی شیب تپه^۵ ارتباط دارد. بیشتر پژوهش‌ها در ارتباط با شیب تپه نشان دادند که بعضی از خصوصیات خاک از جمله کربن آلی خاک، نیتروژن و فسفر خاک به‌تدریج در پایین شیب تپه افزایش می‌یابد. ایوبی و علیزاده (۲۰۰۶) برآورد خصوصیات افق سطحی خاک با استفاده از مدل رقومی ارتفاع بر روی سه واحد

-
1. Elevation
 2. Slope
 3. Slope Aspect
 4. Landscape
 5. Hill Slope

سنگ‌شناسی مختلف را مورد تحقیق قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد که خصوصیات پستی و بلندی مهم که با خصوصیات خاک ارتباط بیشتری داشته و در مدل رگرسیونی نیز وارد شده، به‌طور عمده شامل شیب و جهت آن، ارتفاع، شاخص رطوبتی^۱ و انحنا^۱ زمین بوده است. پذیرفتاری مغناطیسی^۲ به‌عنوان یکی از شاخص‌های سنجش تکامل پروفیلی خاک، متأثر از فاکتورهای خاک‌سازی است که در فهم بسیاری از فرایندهای خاک‌سازی مفید و موثر می‌باشد. به اعتقاد مولین (۱۹۷۷) فاکتورهای خاک‌سازی روی پذیرفتاری مغناطیسی موثر هستند، اما پذیرفتاری مغناطیسی یک شناساگر عمومی برای فرایندهای خاک‌سازی نیست. برخی محققان اشاره کرده‌اند که با استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی می‌توان منابع رسوب‌گذاری و فرسایش را تشخیص داد. پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند تفاوت‌های زیادی در غلظت کانی‌های مغناطیسی در توپوگرافی‌های مختلف وجود دارد. روتول و لینزی (۲۰۰۷) از بعضی پارامترهای توپوگرافی برای پیش‌بینی پذیرفتاری مغناطیسی خاک استفاده کردند. بین پذیرفتاری مغناطیسی و شاخص رطوبتی خاک، ارتفاع و فاصله از متوسط ارتفاع رابطه معنی‌داری پیدا کردند.

با توجه به این‌که خصوصیات اقلیمی در مقیاس کوچک تغییر می‌کند، بنابراین به‌صورت ناحیه‌ای و به شرط یکنواخت بودن مواد مادری و پوشش گیاهی بر اساس خصوصیات توپوگرافی می‌توان تغییرات خاک را بررسی کرد (مور و همکاران، ۱۹۹۳). توضیح منطقی این ارتباط آن است که فرایندهای هیدرولوژی، حرکت آب سطحی و زیرسطحی و حرکت ذرات خاک و عناصر شیمیایی در چنین شرایطی به‌وسیله خصوصیات توپوگرافی منطقه کنترل می‌شود. بنابراین هدف از این پژوهش پیش‌بینی مکانی برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پذیرفتاری مغناطیسی با استفاده از مدل رقومی زمین و پارامترهای استخراج شده از آن در منطقه اردل استان چهارمحال و بختیاری بوده است.

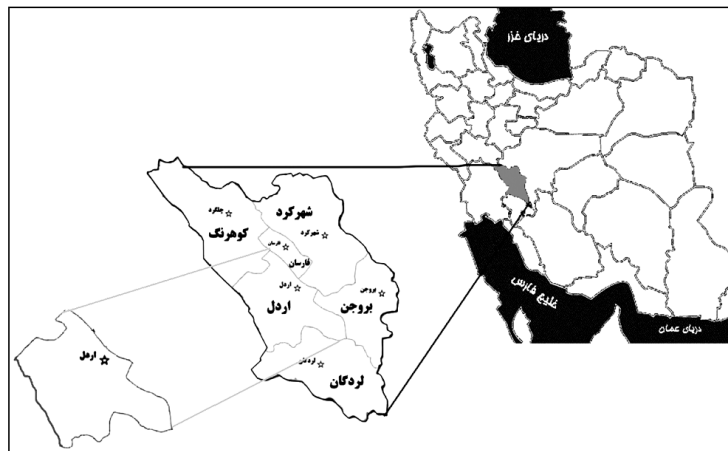
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه: منطقه مورد مطالعه واقع در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱ دقیقه در شهرستان اردل از توابع استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع این منطقه تقریباً ۱۸۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد. میزان بارندگی سالیانه

1. Wetness Index

2. Magnetic Susceptibility

حدود ۶۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای هوا در سال ۱۵ سانتی‌گراد است. رژیم رطوبتی خاک زیریک و رژیم حرارتی منطقه ترمیک می‌باشد. از نظر فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه به‌طور عمده شامل فلات‌های به نسبت مسطح، فلات‌های پست و بلند، فلات‌های موج‌دار و واریزه‌های بادبزی شکل سنگریزه‌دار می‌باشد (وزارت کشاورزی، ۱۹۸۸).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری.

مطالعات صحرائی و نمونه‌برداری: منطقه مورد مطالعه یک شیب تپه مرکب با مساحت تقریباً ۱۰ هکتار می‌باشد که تحت پوشش گندم دیم بوده است. در این بررسی برای انجام نمونه‌برداری از شبکه‌بندی به‌صورت سیستماتیک به ابعاد ۲۰ در ۲۰ متر به‌وسیله دوربین تئودولیت و متر استفاده شد. نمونه‌برداری از خاک به‌وسیله اوگر، با قطر ۷/۵ با سطح مقطع ۴۴/۱۵ سانتی‌متر مربع از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر از روی نقاط با مختصات معلوم (در مجموع ۹۰ نمونه) صورت گرفت. شکل ۲ نمایی از الگوی نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

تجزیه‌های آزمایشگاهی: ابتدا نمونه‌های خاک در هوا خشک گردید و بعد از کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲)، نیتروژن کل خاک با استفاده از روش کج‌لدال (برمر و مولواتی، ۱۹۸۲)، آهک به روش تیتراسیون برگشتی (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲)، توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (دی، ۱۹۶۵) و هدایت الکتریکی عصاره

اشباع خاک توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی و چگالی ظاهری با روش پارافین و کلوخه (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد.

پذیرفتاری مغناطیسی درجه‌ای است که یک ماده، میدان مغناطیسی شناخته شده و معینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و مقدار این تاثیر تابع غلظت و نوع کانی مغناطیسی می‌باشد که در نمونه وجود دارد. پذیرفتاری مغناطیسی جرمی به صورت χ نشان داده شده و به صورت فرمول زیر محاسبه می‌شود (فاین و همکاران، ۱۹۸۹):

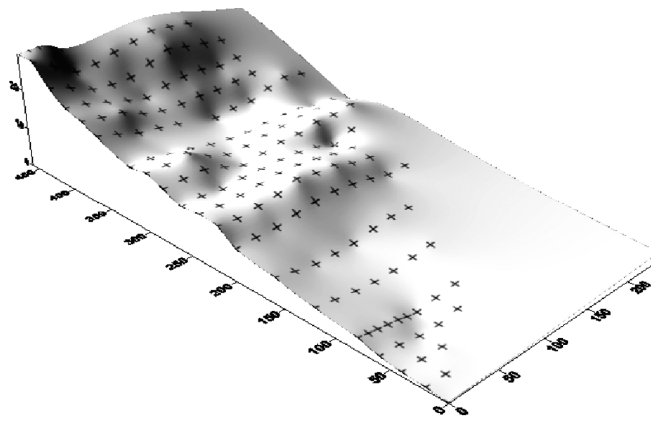
$$\chi = K/\rho \quad (1)$$

K پذیرفتاری حجمی و ρ چگالی ظاهری مواد مورد تجزیه است که پذیرفتاری مغناطیسی جرمی با استفاده از دستگاه Magnetic Susceptimeter مدل RS232 Bartington اندازه‌گیری شد (رویال، ۲۰۰۴).

محاسبه شاخص‌های توپوگرافی: مدل رقومی ارتفاع (DEM) با استفاده از نقاط نقشه‌برداری شده توسط دوربین تئودولیت در محیط GIS^۲ (نرم‌افزار ILWIS) و در پیکسل‌هایی به ابعاد ۳×۳ متر تهیه شد. ویژگی‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی با استفاده از محاسبه‌های روی مدل رقومی ارتفاع تعیین گردید.

خصوصیات توپوگرافی به شاخص‌های اولیه و ثانویه (مربک) تقسیم‌بندی می‌شوند. شاخص‌های اولیه که شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، سطح ویژه حوزه آبخیز^۳، انحنا^۴ سطح زمین، انحنا^۵ افقی و انحنا^۶ قائم می‌باشند، به‌طور مستقیم از مدل رقومی ارتفاعی محاسبه شده و شاخص‌های ثانویه که شامل شاخص رطوبتی، شاخص قدرت جریان^۷ و فاکتور فرسایش‌پذیری می‌باشند از ترکیب شاخص‌های اولیه حاصل می‌شوند. مبنای محاسبه شاخص‌های بالا رستری کردن یک شبکه سلولی ۳×۳ بر روی تصویر است (مور و همکاران ۱۹۹۱).

1. Digital Elevation Model
2. Geographic Information System
3. Specific Catchment Area
4. Curvature
5. Plan Curvature
6. Profile Curvature
7. Stream Power Index



شکل ۲- پراکنش نقاط مطالعاتی در منطقه مورد مطالعه.

ماکزیمم شیب برحسب درجه (β)، جهت شیب (Φ)، انحنای افقی (ω)، انحنای قائم (φ) عبارتند از:

$$\Phi = (f_{xy} + f_x^2 + 2f_{xy}f_xf_y + f_y^2 y) q^{(r/2)} \quad (2)$$

$$\varphi = 180 - \arctan(f_y/f_x) + 90 \cdot (d_x/|f_x|) \quad \beta = \arctan(p^{1/2}) \quad (3)$$

$$\omega = (f_{xy} + f_x^2 - 2f_{xy}f_xf_y + f_y^2 y) p^{(r/2)} \quad (4)$$

سطح ویژه حوزه از فرمول زیر محاسبه می‌شود. که در آن مقدار A مساحت و W شاخص عرض جریان می‌باشد (ویلسون و گالانت، ۲۰۰۰).

$$A_s = A/W \quad (5)$$

شاخص رطوبتی: عبارت است از شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول چشم‌انداز زمین که به وسیله معادله زیر، قابل محاسبه است (مقدار A_s در این معادله سطح ویژه حوزه آبخیز m^2/m و β درجه شیب می‌باشد) (مور و همکاران، ۱۹۹۳).

$$W = \ln(A_s / \tan \beta) \quad (6)$$

شاخص قدرت جریان (Ω) نمایشی از قدرت فرساینده‌گی جریان سطحی است (مور و همکاران، ۱۹۹۳).

$$\Omega = A_s \tan \beta \quad (7)$$

فاکتور فرسایش‌پذیری (Γ): نمایانگر فرایندهای فرسایش و رسوب بوده و به‌طور عمده تأثیر شیب بر فرسایش را نشان می‌دهد (اوالس و کالینز، ۱۹۸۶).

$$\Gamma = (A_s / 22.13)^m (\sin \beta / 0.098)^n \quad (8)$$

در این معادله A_S و β همان پارامترهای قبلی و $m=0/6$ و $n=1/3$ پارامترهای ثابت‌اند (مور و همکاران، ۱۹۹۳).

ایجاد مدل آماری و اعتبارسنجی آن: به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری هر خصوصیت، توزیع فراوانی با کمک ویژگی‌های آن شامل میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی توسط نرم‌افزار SPSS (۲۰۰۲) مورد بررسی قرار گرفت. بعد از محاسبه شاخص‌های اولیه و ثانویه پستی و بلندی در نقاط مورد مطالعه، بین این پارامترها و خصوصیات خاک سطحی، ماتریس همبستگی پیرسون برقرار شد. سپس تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی بین خصوصیات خاک و شاخص‌های پستی و بلندی به روش رگرسیون گام‌به‌گام^۱ صورت گرفت. از کل نمونه‌ها، ۱۸ نمونه (۲۰ درصد کل نمونه‌ها) به طور تصادفی وارد مدل نشده و به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور با استفاده از مشخصات پستی و بلندی که از مدل رقومی ارتفاع استخراج شده و با کمک مدل‌های رگرسیونی ایجاد شده، خصوصیات خاک در نقاط مورد نظر برازش گردید و سپس معیارهای انحراف از میانگین^۲ و خطای محاسبات^۳ توسط رابطه‌های زیر محاسبه شدند. در معادله‌های زیر Z^* مقدار برآورد شده و Z مقدار واقعی می‌باشد.

$$ME = \sum [Z^* - Z] / n \quad (9)$$

$$RMSE = \{ \sum [Z^* - Z]^2 / n \}^{1/2} \quad (10)$$

شاخص ME نشانگر درجه اریب بودن تخمین است که باید در حد امکان نزدیک به صفر باشد و RMSE نمایانگر درجه دقت تخمین می‌باشد که برای یک تخمین نااریب باید تا حد امکان حداقل باشد.

نتایج و بحث

آمار توصیفی خصوصیات فیزیکوشیمیایی در جدول ۱ ارائه شده است. با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها آزمایش شد و مشخص گردید که پراکنش داده‌ها نرمال می‌باشد. مقادیر چولگی ارائه شده در جدول ۱ برای خصوصیات مختلف که بین +۱ و -۱ قرار گرفته است، بیانگر این مطلب است. از شاخص ضریب تغییرات (CV) جهت بیان تغییرپذیری خصوصیات استفاده گردید. همان‌طور که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد، بیشتر خصوصیات خاک تغییرپذیری کم تا

1. Stepwise Regression
2. Mean Error
3. Root Mean Square Error

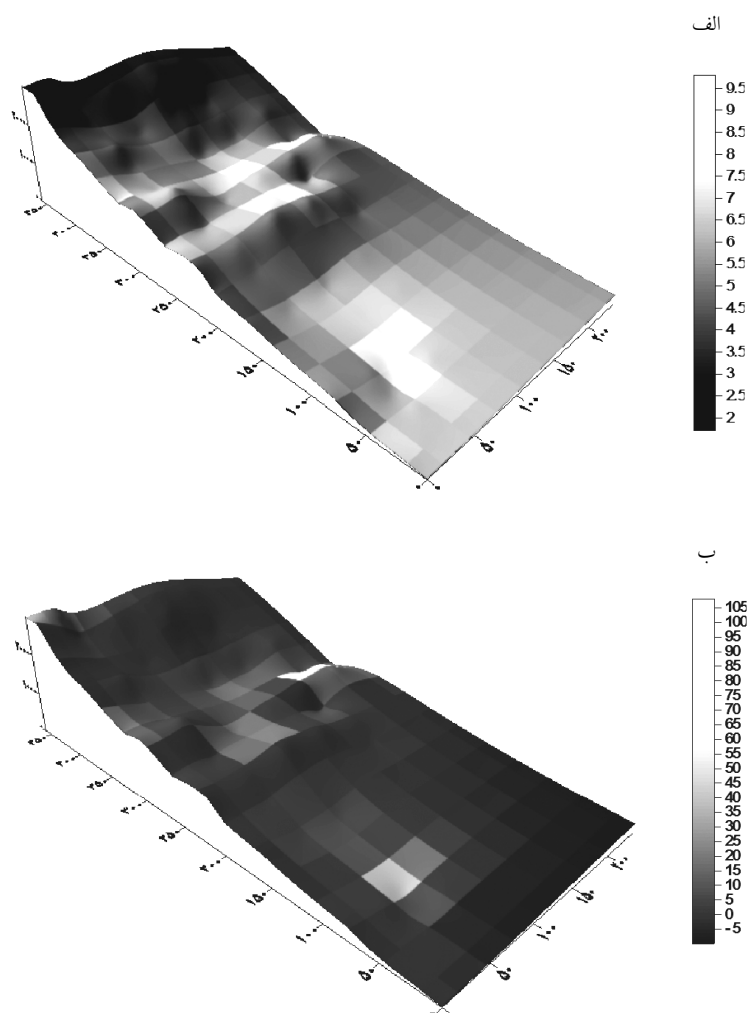
متوسط را نشان می‌دهند. بیشترین تغییرپذیری مربوط به درصد شن خاک (۰/۵۲) است که این تغییرپذیری زیاد به دلیل تاثیر فرآیند فرسایش در شیب تپه مرکب می‌تواند باشد. همچنین کمترین تغییرپذیری مربوط به چگالی ظاهری خاک (۰/۱۰) بود.

در مرحله بعد، محاسبه خصوصیات توپوگرافی اولیه و ثانویه بر مبنای معادله‌های یاد شده در بخش مواد و روش‌ها، مقادیر آنها در پیکسل‌هایی به ابعاد ۳×۳ متر محاسبه شده است. به‌عنوان نمونه پراکنش مکانی پارامترهای شاخص رطوبتی و قدرت جریان برای منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل برمی‌آید، مقدار شاخص رطوبتی در منطقه بین ۲-۹/۵، و قدرت جریان بین ۵-۱۰۵ متغیر هستند. شاخص رطوبتی نمایانگر توزیع مکانی رطوبت خاک در طول زمین‌نما بوده و با افزایش شیب نسبت جریان آب سطحی افزایش و پتانسیل نفوذ کاهش می‌یابد. در نتیجه به دنبال این فرآیند می‌توان گفت که مقادیر شاخص رطوبتی در مناطق بالای شیب کمتر از نقاط پست می‌باشد (گسلر و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین نتایج بررسی نوری و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که شاخص‌های پستی و بلندی به خوبی قادر به توجیه تغییرپذیری مکانی عملکرد شده‌اند که این امر نشان‌دهنده اهمیت این فاکتورها به صورت غیرمستقیم، به‌طور عمده از طریق تأثیر بر توزیع رطوبت در فرآیند تولید محصول بوده است.

جدول ۱- توصیف آماری خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه (n=۹۰).

متغیر	واحد	حداکثر	حداقل	میانگین	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
OM	%	۲/۱۶	۰/۵۳	۱/۳۴	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۴۱
CCE	%	۵۸	۱۸	۳۵/۶۸	۰/۳۵	۰/۳۸	-۰/۵۰
TN	%	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۲۳	-۰/۱۰	۰/۴۸
EC	dS/m	۱/۱۴	۰/۲۵	۰/۶۰	۰/۴۸	۰/۹۲	۱/۱۴
Clay	%	۴۳/۳۰	۱۶/۷۰	۳۱/۵۲	۰/۱۵	-۰/۴۵	۱/۰
Silt	%	۷۳/۳۰	۱۱/۷۰	۴۸/۲۸	۰/۱۸	-۰/۶۲	۵/۰۶
Sand	%	۵۷/۵۰	۳/۳۰	۲۰/۲۰	۰/۵۲	۰/۹۵	۳/۹۲
Bd	gr/cm ^۳	۱/۵۹	۰/۹۱	۱/۲۹	۰/۱۰	-۰/۶۴	۰/۴۵
MS	۱۰ ^{-۸} m ^۳ /kg	۶۱/۷۰	۱۳/۶۰	۳۲/۶۹	۰/۳۵	۰/۵۷	-۰/۱۶

(OM) ماده آلی، (CCE) کرنات کلسیم معادل، (TN) نیتروژن کل، (EC) هدایت الکتریکی، (Clay) رس، (Silt) سیلت، (Sand) شن، (Bd) وزن مخصوص ظاهری و (MS) پذیرفتاری مغناطیسی.



شکل ۳- پراکنش جغرافیایی مقادیر محاسبه شده (الف) شاخص رطوبتی و (ب) قدرت جریان (مقادیر شاخص رطوبتی و قدرت جریان بدون واحد می‌باشند).

ضرایب همبستگی پیرسون بین خصوصیات انتخاب شده خاک با خصوصیات پستی و بلندی اولیه و ثانویه در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود از مهم‌ترین خصوصیات سطح زمین که با خصوصیات خاک ارتباط معنی‌داری نشان می‌دهد، می‌توان به ارتفاع، فاکتور فرسایش‌پذیری، شیب و شاخص رطوبتی اشاره کرد که در منطقه مورد مطالعه، در درجات مختلفی با

خصوصیات خاک، همبستگی معنی‌داری دارند. ارتفاع همبستگی معنی‌داری با خصوصیات خاک (ماده آلی، ازت، درصد رس، شن و چگالی ظاهری) و پذیرفتاری مغناطیسی داشت. فاکتور فرسایش‌پذیری و شیب با درصد رس، سیلت و پذیرفتاری مغناطیسی همبستگی منفی و همچنین این دو پارامتر با درصد کربنات کلسیم و شن همبستگی مثبت داشتند. شاخص رطوبتی با کربنات کلسیم، سیلت و پذیرفتاری مغناطیسی همبستگی مثبت و با رس و شن همبستگی منفی داشت. همچنین از دست رفتن خاک سطحی و مواد آلی و نمایان شدن خاک زیرسطحی در وضعیت بالای شیب به دلیل فرسایش خاک و بالا بودن فاکتور فرسایش‌پذیری در این موقعیت‌ها بوده است (مور و ویلسون، ۱۹۹۲). وجود همبستگی آماری بین ویژگی‌های یاد شده و خصوصیات خاک، نشان‌دهنده این مطلب می‌باشد که حرکت آب و فرآیندهای فرسایش و رسوب و هیدرولوژی در سطح منطقه مورد مطالعه، خصوصیات خاک را کنترل کرده است. نتایج پژوهش وو و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که ماده آلی و عناصر غذایی خاک همبستگی معنی‌داری با ارتفاع داشتند. جانگ و تلن (۲۰۰۴) گزارش کردند که بین ارتفاع و ماده آلی خاک همبستگی منفی وجود دارد. این مشاهده‌ها تأثیر خصوصیات توپوگرافی روی تکامل خاک و سپس خصوصیات خاک را نشان می‌دهد.

در این پژوهش طبق نتایج ماتریس همبستگی (جدول ۲)، خصوصیات توپوگرافی معنی‌دار برای هر پارامتر خاک انتخاب و در مدل‌سازی از آنها استفاده شده است. نکته قابل توجه این‌که در پارامترهای مختلف بسته به درجه همبستگی پارامتر، تعداد متفاوتی از پارامترها برای برآورد خصوصیت، وارد مدل شده‌اند بهترین ترکیب آماری خصوصیات توپوگرافی مدل رگرسیونی با هر یک از خصوصیات خاک در سطح احتمال ۵ درصد در جدول ۳ ارائه شده است. ضرائب تشخیص نشان می‌دهد که این مدل‌ها ۶۷-۲۰ درصد از کل تغییرات پارامترهای مختلف را توجیه کرده‌اند. هر چند می‌توان برای ایجاد مدلی معتبرتر که تغییرات بیشتری از خصوصیات خاک در سطح حوزه را پیش‌بینی کند، از فواصل کمتر نمونه‌برداری و ابعاد مختلف پیکسل‌های DEM استفاده کرد این امر مستلزم تحقیق‌های گسترده‌تر آتی است. در این ارتباط وو و همکاران (۲۰۰۸) نتیجه گرفتند بررسی ابعاد مختلف پیکسل‌های DEM در روابط بین خصوصیات خاک و پارامترهای توپوگرافی تأثیر دارند. همچنین مور و همکاران (۱۹۹۳) تأیید کرده‌اند که در سطح مزرعه، پیکسل‌های ۵ متری جهت نمونه‌برداری خاک، مدل‌های رگرسیونی قابل اعتمادی ایجاد می‌نماید.

جدول ۲- ضرایب همبستگی (r) بین خصوصیات خاک و ویژگی‌های توپوگرافی.

Wetn	Strm	Slop	Proc	Plac	LS	Curv	Catch	Asp	Elev	ویژگی خاک
۰/۰۷	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۳۴**	(%) OM
۰/۳۳**	۰/۰۳	۰/۴۲**	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۳۷**	۰/۰۵	-۰/۰۳	-۰/۰۰۲	۰/۰۳	(%) CCE
۰/۰۳	۰/۱۵	-۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۰۳	-۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۲۶*	(%) TN
۰/۱۷	۰/۳**	۰/۰۲	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۵	۰/۰۵	-۰/۰۰۴	۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۰۹	(dS/m) EC
-۰/۳۳**	-۰/۰۱	-۰/۳۳**	-۰/۰۳	-۰/۱۴	-۰/۳**	-۰/۰۹	۰/۰۷	-۰/۱۱	-۰/۴۱**	(%) Clay
۰/۵۱**	-۰/۱۳	-۰/۷۲**	-۰/۱۳	-۰/۰۱	-۰/۷۰**	-۰/۱۰	۰/۰۹	-۰/۱۰	-۰/۱۷	(%) Silt
-۰/۵۹**	۰/۱۱	۰/۷۷**	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۷۳**	۰/۱۱	-۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۳۴**	(%) Sand
۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱۴	-۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۴۵**	(gr/cm ³) Bd
۰/۲۳*	-۰/۰۶	-۰/۳۳**	-۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۳۲**	-۰/۰۳	۰/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۲۵*	(۱۰ ^{-۳} m ³ /kg) MS

*معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، **معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ (Elev) ارتفاع، (Asp) جهت شیب، (Catch) سطح ویژه حوزه، (Curv) انحنای زمین، (LS) فاکتور فرسایش‌پذیری، (Plac) انحنای افقی، (Proc) انحنای قائم، (Slop) شیب، (Strm) قدرت جریان، (Wetn) شاخص رطوبتی، (OM) ماده آلی، (CCE) کربنات کلسیم معادل، (TN) نیتروژن کل، (EC) هدایت الکتریکی، (Clay) رس، (Silt) سیلت، (Sand) شن، (Bd) وزن مخصوص ظاهری و (MS) پذیرفتاری مغناطیسی.

مدل‌های رگرسیونی استخراج شده برای هر پارامتر و نتایج اعتبارسنجی آنها نیز در جدول ۳ آمده که نشان می‌دهد مقادیر ME مدل‌ها معمولاً نزدیک به صفر بوده که نشان‌دهنده این است که برازش، توسط مدل‌های ایجاد شده ناریب بوده است. مقادیر پائین RMSE مدل‌ها نشان‌دهنده دقت مناسب و قابل قبول برآوردها است.

پس از ارزیابی صحت و دقت قابل قبول مدل در پیش‌بینی خصوصیات مورد مطالعه، مدل‌های توسعه یافته ارائه شده در جدول ۳ به نقشه‌های مکانی در محیط GIS اعمال شد که نتیجه آن به صورت نقشه به عنوان مثال برای پذیرفتاری مغناطیسی و ماده آلی در شکل ۴ ارائه شده است.

نتایج مدل رگرسیونی نشان داد بین درصد سیلت و رس با شیب رابطه منفی وجود دارد و در مورد پارامترهای شیمیایی مثل نیتروژن خاک در شیب‌های زیاد مقدار آن کمتر بود علت آن را می‌توان به فرسایش خاک و جابه‌جایی رس و سیلت از بالای شیب تپه به پائین آن نسبت داد. برای درصد شن عکس این روند دیده شده و در ارتفاعات بالا و شیب بیشتر مقدار شن بیشتر بوده است. همچنین وزن مخصوص ظاهری با ارتفاع رابطه منفی داشت. و در ارتفاعات بالاتر به دلیل بیشتر بودن مقدار شن وزن مخصوص ظاهری نیز بیشتر بوده است. بین پذیرفتاری مغناطیسی خاک، ارتفاع و فاکتور فرسایش‌پذیری رابطه منفی وجود داشت که در ارتفاعات بالا و طول شیب بیشتر پذیرفتاری مغناطیسی

خاک کم بود و علت این رابطه می‌تواند در اثر فرآیند فرسایش خاک باشد. این ارتباط ممکن است ناشی از این مسأله باشد که احتمالاً بخش ذرات فرومغناطیس موجود در خاک‌های منطقه در اندازه رس بوده و به واسطه انتقال و عمل فرسایش به نقاط پست‌تر جابه‌جا شده‌اند. در پژوهش روتول و لینزی (۲۰۰۷) همبستگی منفی بین پذیرفتاری مغناطیسی و شاخص رطوبتی خاک برقرار بود و در جایی که شاخص رطوبتی بیشتر بود کانی‌های مغناطیسی خاک کم بود. نتایج پژوهش ایوبی و علیزاده (۲۰۰۶) نیز بیانگر این مطلب بود که همبستگی بین خصوصیات خاک و پارامترهای توپوگرافی نشان‌دهنده این است که حرکت آب و فرآیندهای فرسایش و رسوب و هیدرولوژی در سطح حوزه آبخیز، خصوصیات خاک را کنترل می‌کند.

جدول ۳- مدل‌های رگرسیونی چند متغیره خطی (معنی‌دار در سطح ۵ درصد)، برای برآورد خصوصیات سطحی خاک بر اساس ویژگی‌های توپوگرافی.

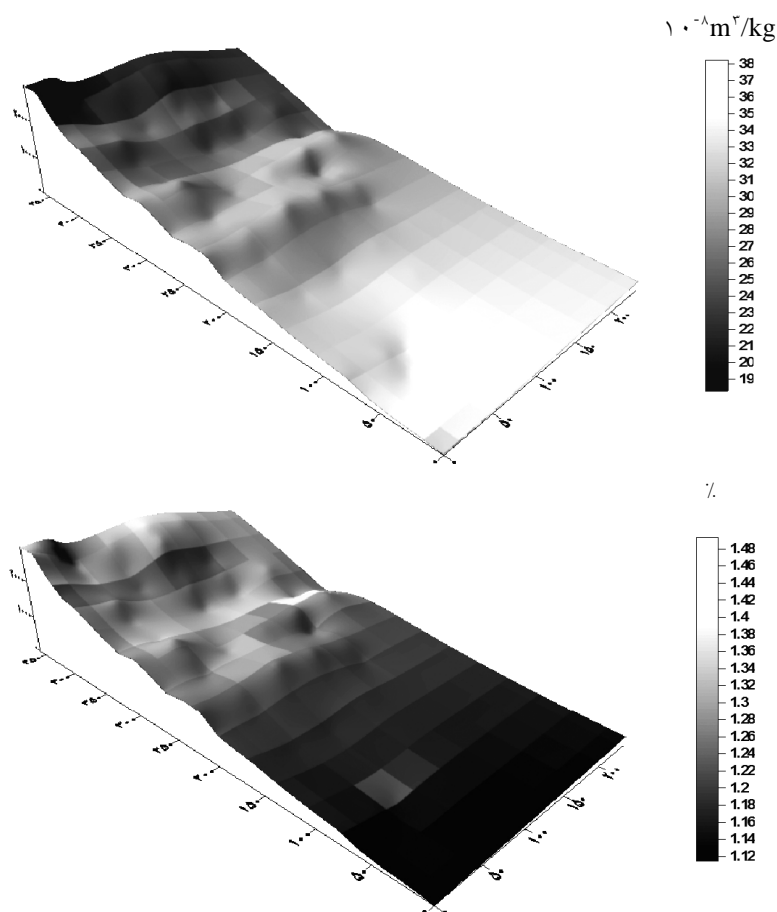
شاخص اعتبار سنجی (n=18)		R ²	مدل رگرسیونی خاک - چشم‌انداز
RMSE	ME		
۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۲۰	OM(%) = ۱/۱۱۶ + ۰/۰۱۳ × Elev + ۰/۰۰۲ × Strm
۰/۰۳	۰/۰۰۳	۰/۳۰	TN(%) = ۰/۰۹ + ۰/۰۰۱ × Strm + ۰/۰۰۱ Elev - ۰/۰۲۲ × Slop
۰/۱۳	۰/۰۰۵	۰/۴۱	Ec(ds/m) = ۰/۵۷ + ۰/۰۲۸ × Strm + ۲/۵۷۴ × Slop
۹/۲۳	۰/۱۳	۰/۲۲	CCE(%) = ۳۳/۶۹۷ + ۵۷/۲۴۵ × Slop - ۲/۰۷۲ × LS
۳/۹۵	-۰/۱۸	۰/۲۶	Clay(%) = ۳۵/۱۳ - ۶/۶۱ × Slop - ۰/۲۳ × Elev
۴/۲۹	۰/۷	۰/۵۴	Silt(%) = ۵۲/۵۷ - ۲۴/۹۶ × Slop
۵/۶۵	-۰/۴۹	۰/۶۷	Sand(%) = ۱۲/۳۹ + ۸۰/۸۶ × Slop - ۲/۴۱ × LS + ۰/۲۶ × Elev
۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۲۱	Bd(gr/cm ³) = ۱/۴۲۳ - ۰/۰۱ × Elev
۱۰/۶۶	۲/۸۵	۰/۲۸	MS(۱۰ ^{-۸} m ² /kg) = ۳۸/۷۱ - ۰/۴۹ × LS - ۰/۵۳ × Elev

(Elev) ارتفاع، (Asp) جهت شیب، (Catch) سطح ویژه حوزه، (Curv) انحنای زمین، (LS) فاکتور فرسایش‌پذیری، (Plac) انحنای افقی، (Proc) انحنای قائم، (Slop) شیب، (Strm) قدرت جریان، (Wetn) شاخص رطوبتی، (OM) ماده آلی، (CCE) کربنات کلسیم معادل، (TN) نیتروژن کل، (EC) هدایت الکتریکی، (Clay) رس، (Silt) سیلت، (Sand) شن، (Bd) وزن مخصوص ظاهری و (MS) پذیرفتاری مغناطیسی.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد منطقه مورد بررسی از نظر خصوصیات مختلف سطح زمین، همچون انحنای زمین، جهت شیب و برخی پارامترهای مرکب پستی و بلندی از تنوع زیادی برخوردار نیست و شاید یکی از دلایل کم بودن مقادیر ضرایب تشخیص معادلات رگرسیونی همین مسأله باشد. بنابراین توصیه می‌شود تا در مطالعات بعدی از توپوگرافی‌های پیچیده و متنوع‌تری از منطقه انتخاب و فرضیات این پژوهش دوباره مورد ارزیابی قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش که به‌منظور استفاده از خصوصیات توپوگرافی در پیش‌بینی خصوصیات خاک در اراضی تپه ماهوری صورت گرفت، نشان داد که پتانسیل استفاده از خصوصیات توپوگرافی به‌عنوان یک شاخص از خصوصیات خاک مفید است و در بیشتر موارد تنها توانسته است ۲۰ درصد تا ۳۰ درصد از تغییرات خصوصیات خاک را در سطح لنداسکیپ مورد مطالعه توضیح دهد. اثر متقابل خاک-چشم‌انداز و خصوصیات توپوگرافی می‌توانند به‌عنوان پارامترهای کلیدی برای مدیریت و برنامه‌ریزی مزرعه مورد استفاده قرار گیرند. همچنین برای انجام پروژه‌های دقیق اجرایی و عملیاتی که نیازمند اطلاعات دقیق خاک است، می‌توان از روش معرفی شده در این پژوهش استفاده کرد.



شکل ۴- توزیع مکانی مقادیر تخمین زده شده خصوصیات خاک، (الف) پذیرفتاری مغناطیسی، (ب) ماده آلی.

منابع

1. Ayoubi, S., and Alizadeh, M.H. 2006. Soil surface attributes prediction using digital topographic model in Mehr catchment, Sabzevar, Khorasan province. *J. Sci. and Technol. Agric. and Natur. Resour.* 10: 85-97. (In Persian)
2. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Total Nitrogen. P 726-732, In: A.L. Page (ed.), *Methods of soil analysis, Agron. No. 9, Part 2: Chemical and microbiological properties*, 2nd edition, Am. Soc. Argon., Madison, WI, USA.
3. Day, R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. P 545-566, In: C. A. Black *et al* (ed.), A.L. Page (ed) *Methods of Soil Analysis*.
4. Fine, P., Ven, M.J., Verosub, R.L., and Southard, R.J. 1989. Role of pedogenesis in distribution of magnetic susceptibility in two California chronosequences. *Geoderma.* 44: 287-306.
5. Gessler, P.E., Chadwick, O.A., Chamran, F., Althouse, L., and Holmes, K. 2000. Modeling soil landscape and ecosystem properties using terrain attributes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2046-2056.
6. Jiang, P., and Thelen, K.D. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn-soybean cropping system. *Agron. J.* 96: 252-258.
7. Kreznor, W.R., Olson, K.R., Banwait, W.L., and Johnson, D.L. 1989. Soil landscape and erosion relationships in a northwest Illinois watershed. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1763-1771.
8. Ministry of Agriculture, Planning and Program Assistance. 1988. Reconnaissance investigations of revival survey in north Karun watershed, Land Capability and Land Resources. 6: 25-34. (In Persian)
9. Moore, I.D., Gessler, P.E., and Nielson, G.A. 1993. Soil attributes prediction using terrain analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:443-452.
10. Moore, I.D., Grayson, R.B., and Landson, A.R. 1991. Digital terrain modeling. A review of hydrological, geomorphological, and applications. *Hydrol. Proc.* 5: 3-30.
11. Moore, I.D., and Wilson, J.P. 1992. Length-slope factors in the revised universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.* 47: 423-429.
12. Mullin, G.E. 1977. Magnetic susceptibility of soil and its significance in soil science- a review. *J. Soil Sci.* 28: 223-246.
13. Norozi, M., Jalalian, A., Ayoubi, S., and Khademi, H. 2009. Relationship between wheat yield and terrain attributes in Ardal region, Chaharmahal and Bakhtiari province. *J. of Sci. and Techn. of Agric. Natu. Resou.* Isfahan University of Technology, 12: 357-368. (In Persian)
14. Ovalles, F.A., and Collins, M.E. 1986. Soil-landscape relationships and soil variability in North Central Florida. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 401-408.

15. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis*. Second Edition. Part 2: Chemical and Biological Properties. Soil Sci. Soc. Am. Inc. Publisher.
16. Pennock, D.J., and De Jong, E. 1990. Spatial pattern of soil redistribution in Boroll landscapes, southern Saskatchewan, Canada. *Soil Sci.* 150: 867-873.
17. Rothwell, J.J., and Lindsay, J.B. 2007. Mapping contemporary magnetic mineral concentrations in peat soils using fine-resolution digital terrain data. *Catena*.70: 465-474.
18. Royall, D. 2004. Particle-size and analytical considerations in the mineral-magnetic interpretation of soil loss from cultivated landscapes. *Catena*. 57: 189-207.
19. SPSS for windows (Microsoft). 2002. Release. 11.5. copyright, Inc.
20. Sudduth, K.A., Drummond, S.T., Birrell, S.J., and Kitchen, N.R. 1997. Spatial modeling of crop yield using soil and topographic data. P 439-447. In: *Proceedings of the First European Conference on precision agriculture*, edited by J.V. Stafford (BIOS Scientific Publishers, Oxford, uk).
21. Tarboton, D. 2003. Terrain analysis using digital elevation models in hydrology. 23rd ESRI International Users Conference, California.
22. Wilson, J.P., and Gallant, J.C. 2000. *Terrain Analysis*. Wiley and Sons, Press New York.
23. Wu, W., Fan, Y., Wang, Z., and Liu, H. 2008. Assessing effects of digital elevation model resolutions on soil-landscape correlations in a hilly area. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 126: 209-216.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 17(2), 2010
www.gau.ac.ir/journals

Spatial prediction of some physicochemical soil properties and magnetic susceptibility using digital topographic model

F. Abbaszadeh Afshar¹, A. Jalalian² and *Sh. Ayoubi³

¹Former M.Sc. Student Dept. of Soil Sciences, Isfahan University of Technology,

²Professor Dept. of Soil Sciences, Isfahan University of Technology,

³Assistant Prof. Dept. of Soil Sciences, Isfahan University of Technology

Abstract

This research was performed to study the spatial prediction of physicochemical soil properties and magnetic susceptibility (MS) using digital topographic model in Ardal district, located in Chaharmahal and Bakhtiari province. The selected soil variables for this research included organic matter content, nitrogen content, electrical conductivity, particle size distribution and magnetic susceptibility measured at 90 points on a regular 20m grid. The digital elevation model (DEM) of the study area was prepared in 3×3m pixels and the primary and secondary topographic attributes were calculated using DEM. The results showed that soil properties were normally distributed as confirmed by the Kolmogorov-Smirnov test and the values on skewness. The CVs were high for sand (0.52) and for Bd (0.1). Finally, multiple regression analyses relating physicochemical soil properties and magnetic susceptibility and topographic attributes were performed and then model were validated by additional sample points (18 of 90). The developed regression models showed significant relationships between soil properties and topographic attributes such as wetness index, slope, elevation and soil erodibility factor. The mean errors and root mean square errors in the validation of the models were low and somewhat acceptable. The regression equation could explain 20 to 67% of the total variability measured in the selected soil properties in the study area. This research indicated that using of topographic attributes is a powerful tool in soil properties prediction.

Keywords: Digital elevation model, Soil properties, Topographic attributes, Magnetic susceptibility

* Corresponding Author; Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir

