نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۳۰۸-۳۰۰

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 300-308

تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک به کمک شاخص‌های توپوگرافی و خصوصیات خاک

جهانگیر عابدی کوپایی[1*]- فروغ کامیاب طالش [2]

تاریخ دریافت:۸۹/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش:۹۰/۹/۲۷

چکیده

ارتباط قوی بین خصوصیات هیدرولیکی خاک با شاخص‌های توپوگرافی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک وجود دارد، بنابراین شناخت و آگاهی از این شاخص‌ها و خصوصیات از نظر تاثیر بر تغییرپذیری خصوصیات هیدرولیکی خاک جهت دستیابی به توسعه پایدار در زمینه کشاورزی امری ضروری به نظر می‌رسد. این تحقیق در بخشی از اراضی منطقه کوهرنگ در استان چهارمحال و بختیاری، به منظور ایجاد مدل‌های رگرسیونی بین خصوصیات هیدرولیکی خاک و شاخص‌های توپوگرافی به همراه خصوصیات خاک، انجام شده است. نمونه برداری از خاک به طریق تصادفی طبقه بندی شده و جمعاً در ۱۵۳ نقطه در منطقه‌ای به وسعت ۷۵۰ هکتار با استفاده از GPS به گونه‌ای انجام شد که توزیع توپوگرافی‌های مختلف را پوشش دهد. سپس مدل رقومی ارتفاع منطقه در پیکسل‌هایی به ابعاد ۳×۳ متر تهیه و از روی آن ویژگی‌های پستی و بلندی محاسبه شد. در نهایت مدل‌های رگرسیون چند متغیره بین شاخص‌های پستی و بلندی و خصوصیات خاک با خصوصیات هیدرولیکی خاک، برقرار و سپس به وسیله نقاط کمکی (۲۰ درصد از کل نقاط) مدل‌های به‌دست آمده اعتبار سنجی شدند. نتایج مطالعه نشان داد که خصوصیات توپوگرافی و خصوصیات خاک مهمی که با خصوصیات هیدرولیکی خاک ارتباط بیشتری داشته و در مدل رگرسیونی نیز وارد شده، شامل شاخص رطوبتی، شاخص انتقال رسوب، شیب، ماده آلی، درصد رس و شن بوده است که توانسته‌اند ۷۴ تا ۸۴ درصد از تغییرات خصوصیات هیدرولیکی خاک در این منطقه را توجیه نمایند. این نتایج بیانگر این موضوع است که خصوصیات هیدرولیکی خاک در منطقه تا اندازه زیادی تحت کنترل پارامترهای توپوگرافی به همراه خصوصیات خاک می‌باشند. نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها نیز نشان‌دهنده دقت مناسب و قابل قبول برآوردها و درجه تخمین مناسب برازش مدل‌ها می باشند.

واژه های کلیدی: خصوصیات هیدرولیکی خاک، شاخص های توپوگرافی،خصوصیات خاک، مدل‌های رگرسیونی

مقدمه

خاک مخزن نگهداری رطوبت برای گیاه است. خاک‌های مختلف بسته به بافت و توزیع اندازه خلل و فرج مقادیر متفاوتی آب در خود نگه می‌دارند. برای زمان‌بندی مناسب آبیاری، اطلاع از میزان ذخیره رطوبت خاک بسیار ضروری است. منحنی رطوبتی خاک مبین نبض رطوبتی خاک است به طوری که در یک مزرعه با تعیین منحنی رطوبتی خاک می‌توان به وضعیت رطوبتی خاک پی برده و میزان آب قابل استفاده گیاه زراعی را تعیین نمود. بنابراین منحنی رطوبتی خاک می تواند در آزمایشات تنش خشکی و کم آبیاری و همچنین جهت اعمال مدیریت صحیح آبیاری در مزرعه بسیار مفید باشد و مورد استفاده قرار گیرد.

منحنی رطوبتی خاک از مهمترین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک می‌باشد. این ویژگی‌ها نه تنها رطوبت و هدایت هیدرولیکی خاک در پتانسیل‌های ماتریک مختلف را که در مدیریت آب خاک مهم هستند نشان می‌دهند، بلکه در نشان دادن سایر ویژگی‌ها از قبیل تخلخل، تخلخل قابل زهکشی، تهویه، نفوذ از سطح و الگوی ریشه‌دهی گیاه نیز لازم می‌باشند. برای اندازه‌گیری خصوصیات هیدرولیکی خاک اغلب به وسایل و تجهیزات مشخص و گرانی نیاز است و از طرفی اندازه‌گیری این پارامترها بسیار وقت‌گیر می‌باشد. بنابراین برخی از محققین و پژوهشگران امر درصدد پیش‌بینی پارامترهای دیریافت خاک از خصوصیات زودیافت با استفاده از مدل‌های مختلف می‌باشند. مدل ابزاری است که ما را در درک و تفسیر دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم، یاری می‌کند. دانشمندان و مهندسین از انواع مدل ها به عنوان ابزاری برای درک پدیده‌های مورد مطالعه استفاده می‌کنند. هر مدل دارای تعدادی ورودی و چند خروجی می‌باشد. امروزه با پیشرفت روش‌های کامپیوتری امکان جمع آوری، ذخیره و پردازش تعداد

۱و۲- دانشیار و دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: koupai@cc.iut.ac.ir)

زیادی از پارامترها در بعد زمان و مکان، زمینه را برای بررسی پاسخ اراضی در مقابل استفاده‌های مختلف به وسیله مدل‌سازی و شبیه-سازی فراهم کرده است. یک مدل شکل ساده شده‌ای از واقعیت است که بعد از ایجاد آن، می‌توان بدون اندازه‌گیری و آزمایش، رفتار یک پدیده را پیش‌بینی کرد (۱۱).

مدل‌های آماری روش‌های تجربی نیرومندی هستند که با استفاده از خصوصیات مستقل، پیش‌بینی پارامترهای دیر یافت از طریق آنها میسر می‌گردد. ایده اصلی در این مدل ها بر این مبناست که بین خصوصیات مستقل و پارامتر هدف ارتباطی وجود دارد، که با ایجاد این ارتباط می‌توان مقدار پارامتر هدف را برآورد کرد. در این مدل‌ها پارامترهای دیر یافت (Y) به صورت تابعی شبیه زیر آنالیز می‌گردند:

$$Y= \Phi (X_1, X_2, \dots X_n) + \varepsilon \qquad (۱)$$

X_n نشان‌دهنده متغیرهای مستقل یا خصوصیات اراضی انتخاب شده اعم از خصوصیات خاک، پارامترهای توپوگرافیکی و ... و ε اثر باقی مانده است. اگر چه فرم ریاضی Φ نا شناخته است، این تابع اغلب به وسیله معادلات چند جمله‌ای تخمین زده می‌شود. مدل کلی این روابط به شکل زیر است. در این معادله $b_\circ$ ضریب ثابت و b_i ضریب متغیر X_i می‌باشد.

$$Y= b_\circ + \sum b_i X_i \qquad (۲)$$

فرآیندهای هیدرولوژیکی، پدولوژیکی و ژئومورفیکی قادر به ایجاد تغییرپذیری مکانی و زمانی در خصوصیات هیدرولیکی خاک، جابجایی سطحی و زیر سطحی آب، فرسایش و رسوب و ذخیره آب در ناحیه ریشه گیاهان می‌باشند (۲). اگر چه این فاکتورها به صورت مفصل و جزء به جزء در سطح مزارع اندازه‌گیری نمی‌شوند، اما اغلب می‌توان از شاخص‌های زودیافت توپوگرافیکی سطح زمین به عنوان جایگزین فاکتورهای خاک در مسائل مدیریتی و برآورد برخی خصوصیات دیریافت خاک استفاده نمود (۷). تاثیر توپوگرافی در توزیع ذرات خاک، مواد آلی و مواد غذایی به وسیله فرسایش و رسوب می‌باشد که در نتیجه آن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بالای شیب و پایین شیب تغییر می‌کند. همچنین آگاهی از پارامترهای سطح زمین در مزارع کشاورزی جهت تفسیر تغییرپذیری خصوصیات خاک مفید است (۸ و ۱۵). از طرف دیگر مزیت خصوصیات توپوگرافیکی نسبت به بیشتر خصوصیات دینامیک خاک، در دسترسی آسان (با صرف هزینه و زمان کمتر) به این خصوصیات می باشد.

بنابراین استفاده از روشهای غیرمستقیم در تخمین برخی خصوصیات دیریافت خاک، نظیر استفاده از شاخص‌های توپوگرافیکی، روشی آسان، سریع، ارزان و قابل اعتماد جهت نیل به مدیریت بهتر اراضی می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک مدل‌سازی به عنوان راهکاری که برخی ویژگی‌های خاک را با استفاده از پارامترهای زودیافت برآورد می‌کند، مورد توجه قرار گرفته است . نوربخش و افیونی (۱) با داشتن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ۲۳ نمونه خاک از نقاط مختلف استان اصفهان و چهارمحال وبختیاری مدلی را برای پیش بینی ظرفیت زراعی تعیین نمودند. نتایج نشان داد که FC با درصد شن، درصد ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک رابطه قوی دارد. به طوری که این سه ویژگی در مدل چندمتغیره وارد می‌شوند (r=۰/۹۷) و سایر متغیرها وارد نمی‌گردند. همچنین، PWP نیز با درصد سیلت، ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه معنی‌دار داشته، این سه متغیر وارد مدل می‌شوند (r=۰/۹۵). به طور کلی، نتایج حاصله گویای آن است که برای تخمین FC و PWP این خاک‌ها می‌توان از سایر ویژگی‌های خاک استفاده نمود (۱).

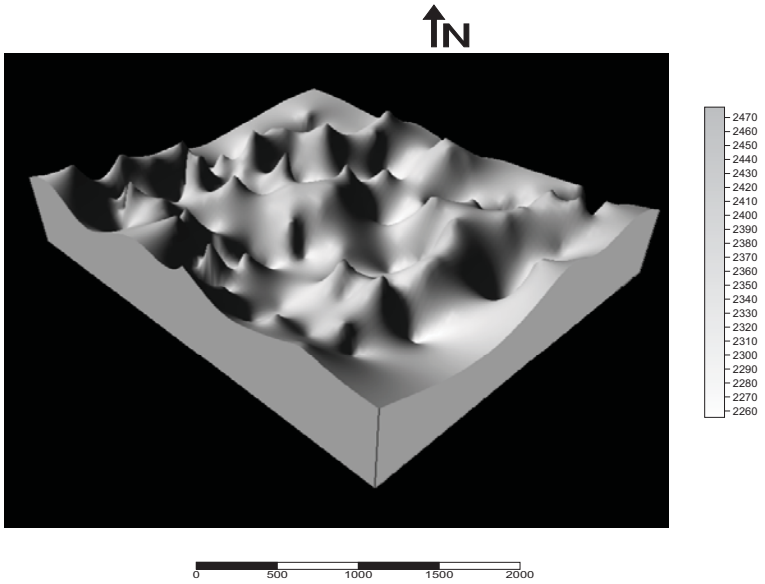
آریا و پاریس (۳) با معرفی یک مدل، امکان پیش بینی منحنی مشخص زه آب خاک را از منحنی دانه بندی و چگالی ظاهری آن فراهم ساختند. اساس مدل فوق، شباهت ظاهری بین منحنی دانه بندی و منحنی مشخص زه آب خاک بود. در این مدل منحنی مشخصه آب خاک با دقت خوب تخمین زده نمی شد ولی حداقل، شکل واقعی آن تقلید و تأیید می گردید. در مدل فوق منحنی دانه بندی خاک به قسمت های مختلف تقسیم شده و سپس با استفاده از چگالی ظاهری و روابط جرمی و حجمی خاک و صعود موئینگی، مقادیر رطوبت و مکش در قسمت های مختلف منحنی دانه بندی به دست می آمد و بنابراین منحنی مشخصه آب خاک قابل رسم بود. اپیبینو و نوادیالو (۴) با استفاده از ۲۰ نمونه خاک از سه منطقه نیجریه، از طریق رگرسیون چند متغیره رطوبت قابل استفاده خاک را تخمین زدند. درصد رس و سیلت پارامترهای وارد شده به مدل بودند. این مدل توانست آب قابل استفاده را با اطمینان ۹۵ درصد پیش بینی کند. نتایج نشان داد که رابطه خوبی بین بافت خاک، مقدار مواد آلی، پارامترهای رطوبت خاک و آب قابل دسترس وجود دارد. مانریک و همکاران (۹) نشان دادند که همبستگی مقدار آب در نقطه ظرفیت زراعی با درصد رس بیش از درصد سیلت بوده و یک ارتباط خطی بین رطوبت ظرفیت زراعی و ریشه دوم درصد رس وجود دارد همچنین، درصد شن با درصد رطوبت ظرفیت زراعی رابطه معکوس دارد.

بررسی منابع نشان می دهدکه جهت پیش‌بینی خصوصیات هیدرولیکی خاک به کمک شاخص‌های توپوگرافی به همراه خصوصیات خاک مطالعه‌ای انجام نشده است. بنابراین تحقیق حاضر به منظور ارزیابی کارایی مدل‌های رگرسیونی جهت پیش‌بینی خصوصیات هیدرولیکی خاک و تعیین مهمترین شاخص‌های توپوگرافی و خصوصیات خاک مؤثر بر تغییرپذیری خصوصیات هیدرولیکی خاک با استفاده از مدل‌سازی رگرسیونی انجام گرفته است.

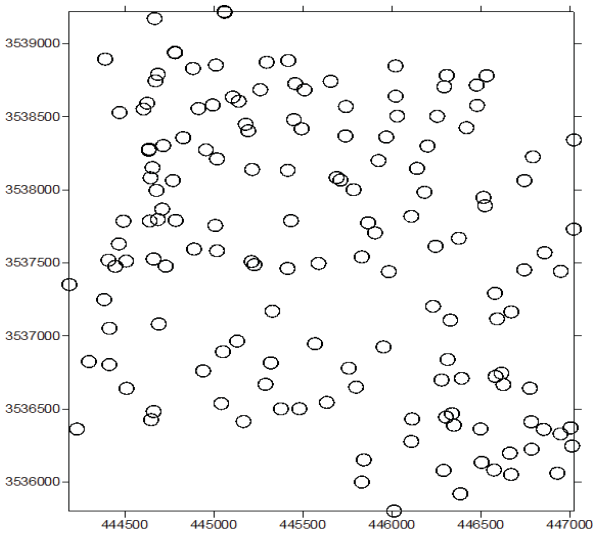
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شکل ۱ با مساحت ۷۰۰ هکتار بخشی از

اراضی تحت کشت گندم دیم منطقه کوهرنگ استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود ۲۴۰۰ متر، متوسط دمای سالانه منطقه $9^{\circ}C$ و متوسط بارندگی سالیانه حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر است. برای انجام این تحقیق نمونه برداری به طریق تصادفی طبقه بندی شده صورت گرفت. به نحوی که ابتدا سطوح مختلف ژئومورفیک مشتمل بر قله شیب، شانه شیب، شیب پشتی، پنجه شیب و انتهای شیب در منطقه شناسایی شده و این سطوح به عنوان طبقات انتخاب گردیدند. سپس در هر طبقه، تعداد مساوی نقطه به طور تصادفی و با استفاده از GPS به صورتی انتخاب گردید که توزیع توپوگرافی‌های مختلف را پوشش دهد (شکل۲). در هر نقطه مطالعاتی نمونه خاک از ۳ نقطه توسط اوگر برداشت شده و در نهایت یک نمونه ترکیبی جهت آنالیز آزمایشگاهی آماده گردید. ۱۵۳ نمونه خاک از از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه گردید. نمونه خاک‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا هوا خشک گردیده و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. و درصد رس، سیلت، شن و ماده آلی هر نونه تعیین شد. به منظور تعیین پتانسیل‌های ۳۳- و ۱۵۰۰- کیلو پاسکال (به ترتیب FC و PWP) از دستگاه صفحه فشاری استفاده گردید. آب قابل استفاده از تفاضل نقطه پژمردگی دائم از ظرفیت زراعی و با اعمال عمق توسعه ریشه محاسبه گردید و درصد اشباع خاک نیز با استفاده از گل اشباع محاسبه گردید.



شکل ۱- نمایی از منطقه مورد مطالعه (مقیاس بر حسب کیلومتر است)



شکل ۲- پراکنش نقاط مطالعاتی در منطقه مورد مطالعه (مقیاس ۱/۶۰۰۰)

محاسبه شاخص های پستی و بلندی

مدل رقومی ارتفاع[1] منطقه با میان‌یابی خطوط میزان نقشه توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در محیط GIS و در پیکسل-هایی به ابعاد ۳×۳ متر تهیه شد. شاخص‌های پستی و بلندی با استفاده از محاسبات روی مدل رقومی ارتفاع به شرح ذیل تعیین گردیدند.

شاخص‌های توپوگرافی شامل ارتفاع، درجه شیب، میانگین انحنای سطح زمین[2]، شاخص رطوبتی[3]، شاخص قدرت جریان[4] و شاخص انتقال رسوب[5] می‌باشند (۱۷).

ماکزیمم شیب (β) و میانگین انحنای سطح زمین (meanc) عبارت‌اند از (۱۷):

$$SLOPE = \sqrt{H^2 + G^2} \quad (۱)$$

$$MEANC = -\left(\frac{(1+H^2).D - 2.G.H.F. + (1+G^2)E}{2.(1+G^2+H^2)^{1.5}} \right) \quad (۲)$$

در این معادله مقدار G مشتق اول در بعد x، مقدار H مشتق اول در بعد y، مقدار D مشتق دوم در بعد x، مقدار E مشتق دوم در بعد y و F مشتق دوم در بعد اریب (قطری) می‌باشند. شاخص رطوبتی به عنوان شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول زمین‌نما می‌باشد که به وسیله معادله ذیل قابل محاسبه است (۱۰).

$$w = In\left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad (۳)$$

در این معادله مقدار A_s سطح ویژه حوزه و β درجه شیب می‌باشد.

شاخص انتقال رسوب نمایانگر فرآیندهای فرسایش و رسوب بوده و به طور عمده تأثیر شیب بر فرسایش را نشان می‌دهد. در این معادله A_s و β همان پارامترهای قبلی و m= 0.6 و n= 13 پارامترهای ثابت‌اند (۹).

$$\tau = \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^n \quad (۴)$$

شاخص قدرت جریان (Ω) نمایشی از قدرت حرکت جریان‌های سطحی است (مقدار As در این معادله سطح ویژه حوزه و β درجه شیب می‌باشد) (۹).

$$\Omega = A_s \tan \beta \quad (۵)$$

تجزیه و تحلیل آماری و مدل‌سازی

مدل‌سازی با روش رگرسیونی

بعد از اندازه‌گیری فاکتورها، ابتدا مقادیر آماره‌های کلاسیک نظیر مقدار حداکثر، مقدارحداقل، میانگین، درصد ضریب تغییرات و چولگی محاسبه شده و نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس از روش رگرسیون چند متغیره جهت انجام مدل‌سازی و برقراری ارتباط بین شاخص‌های توپوگرافی با خصوصیات هیدرولیکی خاک استفاده نموده و معادلات رگرسیونی معتبر معرفی گردید. جهت انجام آنالیزهای آمار کلاسیک و توسعه مدل‌های رگرسیونی، نرم افزار SPSS (۱۴) مورد استفاده قرار گرفت.

ایجاد مدل آماری و اعتبار سنجی

بعد از محاسبه شاخص‌های توپوگرافی در نقاط مورد مطالعه، بین این پارامترها به همراه خصوصیات خاک و خصوصیات هیدرولیکی خاک، ماتریس همبستگی پیرسون برقرار شد. سپس با استفاده از نرم افزار SPSS (۱۴) آنالیز رگرسیون چند متغیره خطی بین خصوصیات هیدرولیکی خاک و شاخص های توپوگرافی به روش رگرسیون گام به گام (Stepwise regression) صورت گرفت. از ۸۰ درصد نقاط مطالعاتی جهت مدل‌سازی و ۲۰ درصد باقی مانده به منظور اعتبار-سنجی مدل‌ها استفاده شدند. جهت انجام فرآیند اعتبارسنجی مدل‌ها، با استفاده مدل‌های رگرسیونی به‌دست آمده از معیارهای انحراف از میانگین (ME) (Mean error) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (Root mean square error) به شکل زیر استفاده شده است (۱۳).

$$ME = \Sigma_{i=}^{n} (Z^* - Z)/n \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}(\sum_{i=1}^{n}(Z^* - Z)^2} \quad (۷)$$

Z^* و Z بترتیب مقدار پیش بینی و اندازه‌گیری شده خصوصیات هیدرولیکی خاک.

n : تعداد نقاط مطالعاتی.

شاخص ME نشانگر درجه اریب بودن تخمین است که باید حتی المقدور نزدیک صفر باشد و RMSE نمایانگر درجه دقت تخمین است که باید تا حد امکان حداقل باشد.

مقدار RMSE نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌ها تا چه حد، اندازه-گیری را بیشتر یا کمتر تخمین زده‌اند. در شرایطی که مقادیر پیش-

1- Digital Elevation Model
2- Mean Curvature
3- Wetness Index
4- Stream Power Index
5- Sediment Transport Index

بینی شده و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشند (بهترین حالت) RMSE = 0 خواهد بود.

نتایج و بحث

نتایج آمار توصیفی خصوصیات هیدرولیکی خاک مشتمل بر میانگین، مقدار حداکثر، مقدار حداقل، ضریب تغییرات و چولگی در جدول ۱ ارائه شده است. همان طور که نتایج آمار توصیفی نشان می‌دهد، پارامتر نقطه پژمردگی دائم تغییر پذیری نسبتا زیادی را نشان می‌دهد. یکی از دلایل این تغییرپذیری ممکن است تاثیر زیاد توپوگرافی بر جابجایی و انتقال آب در موقعیت‌های مختلف زمین‌نما باشد و به‌دنبال این فرآیند، خصوصیات خاک و حساسیت خاک به فرسایش در موقعیت‌های مختلف زمین‌نما متفاوت می‌شود. از سویی دیگر در هر نقطه‌ای از زمین نما، مقدار آب قابل دسترس گیاه به وسیله شیب، شاخص رطوبتی و انحنای زمین تحت تاثیر قرار می‌گیرد (۹). آزمون نرمالیته کولموگروف- اسمیرونوف نشان داد که هر چهار متغیر دارای توزیع نرمال هستند. نتایج ضریب چولگی (بین ۱- و ۱+) نشاندهنده این مطلب است (جدول ۱).

ضرایب همبستگی بین خصوصیات خاک با شاخص های توپوگرافی در جدول ۲ ارائه شده است. ماده آلی و درصد رس خاک در این منطقه همبستگی منفی معنی‌داری با شاخص‌های شیب، شاخص انتقال رسوب و میانگین انحنای سطح زمین و همبستگی مثبت معنی‌داری با شاخص رطوبتی و شاخص قدرت جریان نشان دادند. درصد شن خاک همبستگی مثبت معنی‌داری با شاخص شیب و شاخص انتقال رسوب و همبستگی منفی معنی‌داری با شاخص رطوبتی و شاخص قدرت جریان نشان داد. درصد سیلت خاک نیز همبستگی منفی معنی‌داری با شاخص رطوبتی و همبستگی مثبت معنی‌داری با شاخص شیب نشان داد. در اراضی با پستی و بلندی زیاد (با توپوگرافی متنوع) توپوگرافی مهمترین فاکتور در کنترل و توزیع آب خاک، مواد آلی، توزیع اندازه ذرات و دیگر خصوصیات خاک است.

ضرایب همبستگی بین خصوصیات هیدرولیکی خاک با شاخص‌های توپوگرافی وخصوصیات خاک در جدول ۳ ارائه شده است. از مهمترین خصوصیات توپوگرافی که با خصوصیات هیدرولیکی خاک در درجات مختلف همبستگی معنی‌داری نشان می‌دهند، می‌توان به شیب، شاخص انتقال رسوب، شاخص رطوبتی، شاخص قدرت جریان و میانگین انحنای سطح زمین اشاره نمود. خصوصیات هیدرولیکی خاک در این منطقه همبستگی‌های منفی معنی‌داری با شاخص‌های شیب، شاخص انتقال رسوب، میانگین انحنای سطح زمین و درصد شن خاک و همبستگی مثبت معنی‌داری با پارامترهای شاخص رطوبتی، شاخص قدرت جریان، ماده آلی خاک و درصد رس خاک نشان دادند. از دلایل عدم همبستگی ارتفاع با خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌توان به تغییرات ارتفاعی کم در منطقه مورد مطالعه اشاره نمود.

جدول ۱- آمار توصیفی خصوصیات هیدرولیکی خاک در منطقه مورد مطالعه (n=۱۵۳)

مؤلفه	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات(٪)	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
ظرفیت زراعی	(cm^3/cm^3)	۰/۲۳	۰/۴۳	۰/۳۴	۱۰	۰/۴۳	۰/۳۱
نقطه پژمردگی دائم	(cm^3/cm^3)	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۱۸	۱۵	۰/۰۵	۰/۲۹
آب قابل استفاده	(cm^3/cm^3)	۰/۱	۰/۱۷	۰/۱۵	۳	۰/۲۴	۰/۲۱
درصد اشباع	٪	۰/۴۵	۰/۵۴	۰/۵۱	۱۰	۰/۲۱	۰/۲۳

جدول ۲- ضرایب همبستگی (r) بین خصوصیات خاک با شاخص‌های توپوگرافی

	Elev	MEANC	Slope	STI	WI	SPI
ماده آلی خاک	-۰/۱۷	-۰/۳۴**	-۰/۶۱**	-۰/۵۲**	۰/۷۸**	۰/۵۷**
درصد رس خاک	-۰/۱۵	-۰/۲۶**	-۰/۵۸**	-۰/۳۹**	۰/۷۴**	۰/۴۲**
درصد سیلت خاک	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۲۱*	۰/۱۸	-۰/۲*	-۰/۱۴
درصد شن خاک	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۵۴**	۰/۳۷**	-۰/۳۵**	-۰/۳۱**

**::معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و*: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

Elev: ارتفاع، MEANC: میانگین انحنای سطح زمین ، Slope: شیب، STI: شاخص انتقال رسوب، SPI: شاخص قدرت جریان، WI: شاخص‌رطوبتی.

به طور کلی وجود همبستگی آماری بین خصوصیات هیدرولیکی خاک با شاخص‌های توپوگرافی گویای این موضوع است که حرکت آب و فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه بخشی از تغییرپذیری خصوصیات هیدرولیکی خاک را کنترل نموده است. بنابراین می‌توان عنوان نمود که پارامترهایی نظیر شاخص رطوبتی، شاخص قدرت جریان، جهت جریان و طول جریان از فاکتورهای توپوگرافیکی و هیدرولوژیکی مهمی هستند که در تغییرپذیری خصوصیات هیدرولیکی خاک به طور قابل ملاحظه‌ای موثرند.

با توجه به این موضوع که جهت مدل‌سازی، وجود همبستگی بین خصوصیات هیدرولیکی خاک با شاخص‌های توپوگرافی و خصوصیات خاک اهمیت زیادی دارد، در این تحقیق نیز بر اساس نتایج ماتریس همبستگی (جدول ۳)، شاخص‌های توپوگرافی و خصوصیات خاک معنی‌دار برای هر پارامتر انتخاب و در مدل‌سازی از آنها استفاده شده است. مدل‌های ایجاد شده در سطح احتمال ۱ درصد برای خصوصیات هیدرولیکی خاک در جدول ۴ آمده است. در مجموع ضرایب تبیین به‌دست آمده نشان می‌دهد که این مدل‌ها ۸۴– ۷۴ درصد ازکل تغییرات خصوصیات هیدرولیکی خاک در این منطقه را توجیه می‌نمایند.

همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، از بین فاکتورهای توپوگرافی بررسی شده در این مطالعه، سه پارامتر شاخص رطوبتی، شیب و شاخص انتقال رسوب و از بین خصوصیات خاک ماده آلی، درصد رس و درصد شن وارد مدل‌ها گردیدند. به گونه‌ای که در مدل به‌دست آمده جهت پیش بینی ظرفیت زراعی پارامترهای شاخص رطوبتی، شاخص انتقال رسوب، درصد رس و درصد شن وارد شده، در مدل به‌دست آمده جهت پیش بینی نقطه پژمردگی دائم پارامترهای شاخص رطوبتی، شیب و درصد رس وارد مدل شده و در مدل به‌دست آمده جهت پیش بینی آب قابل استفاده شاخص انتقال رسوب و درصد ماده آلی وارد مدل شده است. در مدل به‌دست آمده جهت پیش بینی درصد اشباع خاک پارامترهای شاخص رطوبتی و درصد رس نیز وارد مدل شده است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، می‌توان گفت که پارامترهای شاخص رطوبتی، شیب و شاخص انتقال رسوب نسبت به سایر فاکتورهای توپوگرافی و خصوصیات ماده آلی خاک، درصد رس خاک و درصد شن خاک به خوبی توانسته‌اند تغییرپذیری خصوصیات هیدرولیکی خاک در منطقه مورد مطالعه را کنترل نمایند.

شاخص رطوبتی نمایانگر توزیع رطوبت خاک به صورت مکانی در طول زمین‌نما می‌باشد. به گونه‌ای که با افزایش شیب نسبت جریان آب سطحی افزایش و پتانسیل نفوذ کاهش می‌یابد.

جدول ۳ - ضرایب همبستگی (r) بین خصوصیات هیدرولیکی خاک با شاخص‌های توپوگرافی و خصوصیات خاک

	Elev	MEANC	Slope	STI	WI	SPI	OM	Clay	Silt	Sand
ظرفیت زراعی	-۰/۱۱	-۰/۲۸**	-۰/۴۹**	-۰/۴۳**	۰/۵۶**	۰/۳۳**	۰/۸۵ **	۰/۸۱ **	-۰/۱۹	-۰/۷۶ **
نقطه پژمردگی دائم	-۰/۱۶	-۰/۲۱ *	-۰/۴۲**	-۰/۳۳**	۰/۷۰**	۰/۲۷**	۰/۷۸ **	۰/۷۴ **	۰/۱۶	-۰/۶۲ **
آب قابل استفاده	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۳**	-۰/۳۶**	۰/۲۲ *	۰/۱۰	۰/۷۲ **	۰/۶۰ **	۰/۰۵	-۰/۵۱ **
درصد اشباع	-۰/۰۹	-۰/۱۸	-۰/۴۱**	-۰/۳۲**	۰/۴۹ **	۰/۲۶**	۰/۷۵ **	۰/۷۱ **	۰/۱	-۰/۵۷ **

**:معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و*: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد.

Elev: ارتفاع، MEANC: میانگین انحنای سطح زمین ، Slope: شیب، STI: شاخص انتقال رسوب، SPI: شاخص قدرت جریان، WI: شاخص‌رطوبتی ، OM: ماده آلی خاک، Clay: درصد رس خاک، Sand: درصد شن خاک و Silt: درصد سیلت خاک.

جدول٤- مدل‌های رگرسیون چندمتغیره خطی (معنی دار در سطح ۱ درصد) جهت برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک بر اساس شاخص‌های توپوگرافی و خصوصیات خاک

مدل رگرسیون پیش بینی خصوصیات هیدرولیکی خاک	R^2	ME	RMSE
FC= ۰/۲۵+ ۰/۰۰۶ (Clay) + ۰/۰۰۴(WI) – ۰/۰۰۳ (Sand) – ۰/۰۰۱ (STI)	۰/۸۴	۰/۰۱	۰/۲۱
PWP= ۰/۰۳۱+ ۰/۰۰۷ (Clay) + ۰/۰۰۵ (WI) – ۰/۳۲ (Slope)	۰/۸۱	۰/۰۱۴	۰/۲۶
AW= ۰/۲۱+ ۰/۰۰۶ (OM) – ۰/۰۰۳ (STI)	۰/۷۴	۰/۰۳۴	۰/۴۵
SP= ۰/۴۴+ ۰/۰۰۴ (Clay) + ۰/۰۰۰۱ (WI)	۰/۷۷	۰/۰۲۲	۰/۳۸

R^2: ضریب تبیین، ME: انحراف از میانگین و RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا.

در نتیجه به‌دنبال این فرآیند می‌توان گفت که مقادیر کم شاخص رطوبتی در مناطق بالای شیب و مقادیر زیاد در نقاط پست و آبراهه ها مشاهده می‌شود (۶). شاخص رطوبتی بیان کننده تمایل زمین به تجمع آب در آن نقطه می‌باشد و برای مناطق با سطح ویژه حوزه مشابه، هر چه شیب منطقه کمتر باشد، این شاخص از مقدار بالایی برخوردار است (۱۶). گسلر و همکاران (۶) عنوان نمودند که شاخص رطوبتی با ترکیب سطح ویژه حوزه و درجه شیب، شاخصی از موقعیت مکانی یک نقطه در طول یک ردیف ارضی-آبی می‌باشد. بنابراین می‌توان عنوان نمود که این شاخص بیانگر فرایندهای تجمع آب در سطح زمین‌نما است و به عنوان شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول زمین نما می‌باشد که تأثیر زیادی بر روی خصوصیات هیدرولیکی خاک در اراضی با توپوگرافی متنوع و پیچیده دارد. فرآیندهای تجمع آب و رواناب عمدتاً به وسیله شکل و موقعیت زمین تعیین می‌گردند (۱۲). از سوی دیگر از دست رفتن خاک سطحی و مواد آلی و نمایان شدن بافت ریز در سطح خاک یا خاک زیر سطحی متراکم شده در وضعیت های بالای شیب به دلیل فرسایش خاک و بالا بودن فاکتور فرسایش پذیری در این وضعیت ها نسبت نفوذ آب و ظرفیت ذخیره رطوبت کاهش می‌یابد (۲ و۵).

شاخص انتقال رسوب که معادل فاکتور طول شیب در معادله جهانی فرسایش خاک می‌باشد، نشان‌دهنده فرآیندهای فرسایشی خاک است و به عنوان یکی از فاکتورهای مهم در پیش بینی مکانی پارامترهای ظرفیت زراعی و آب قابل استفاده در این منطقه می‌باشد. همچنین شاخص توپوگرافیکی شیب به عنوان یکی از فاکتورهای مهم در پیش بینی مکانی پارامترهای نقطه پژمردگی دائم و درصد اشباع در این منطقه می‌باشد. به طور کلی نتایج مدل‌های رگرسیونی نشان داد که فرآیندهای فرسایشی (فاکتور طول شیب و شیب) به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تغییر پذیری خصوصیات هیدرولیکی خاک در این منطقه می‌باشند. به گونه‌ای که این فرآیندها باعث توزیع رطوبت و جابجایی خاک در سطح زمین نما می‌گردند و به‌دنبال این فرآیند تغییرپذیری مکانی در خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک نظیر موادآلی و توزیع اندازه ذرات در سطح مزارع اتفاق می‌افتد. بنابر این توزیع و جابجایی خاک بر روی پراکنش مکانی خصوصیات خاک و نهایتاً بر خصوصیات هیدرولیکی خاک در اراضی مناطق خشک و نیمه خشک تأثیر گذار است. فاکتور شیب بر روی سرعت جریان سطحی و زیرسطحی آب و به‌دنبال آن مقدار آب خاک، پتانسیل فرسایش اراضی و دیگر فرآیندهای مهم درخاک تأثیر می‌گذارد. بنابراین می‌توان عنوان نمود که توزیع و جابجایی خاک در سطح زمین‌نما به وسیله فرسایش خاک، الگوی مکانی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و رطوبت خاک را که اثر معنی‌داری بر خصوصیات هیدرولیکی خاک دارند را کنترل می‌نماید.

با توجه به این موضوع که منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، از نظر توپوگرافی متنوع و پیچیده می‌باشد، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک تا اندازه زیادی می‌توانند تحت تأثیر پارامترهای پستی و بلندی زمین قرار گیرند به گونه‌ای که خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در نقاط مختلف زمین‌نما تغییر می‌یابند و به‌دنبال این تغییرپذیری در خصوصیات خاک، تغییرپذیری در خصوصیات هیدرولیکی خاک نیز مورد انتظار می‌باشد. بنابراین با توجه به موارد فوق‌الذکر می‌توان عنوان نمود که در مناطق خشک و نیمه خشک، توپوگرافی به طور قابل ملاحظه‌ای می‌تواند به صورت غیر مستقیم و از طریق تأثیر بر تغییرپذیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، بر تغییرپذیری خصوصیات هیدرولیکی خاک نیز مؤثر باشد.

نتایج اعتبار سنجی مدل های بدست آمده در جدول ۴ آمده است. مقادیرME مدل‌های ایجاد شده نزدیک به صفر می‌باشد و پایین بودن مقادیر RMSE مدل‌ها نیز بیانگر دقت مناسب و قابل قبول برآوردها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به نظر می رسد که در این پژوهش شاخص‌های توپوگرافی به همراه خصوصیات خاک به خوبی قادر به توجیه تغییر پذیری مکانی خصوصیات هیدرولیکی خاک شده‌اند که این امر نشان‌دهنده اهمیت شاخص‌های توپوگرافی عمدتاً از طریق تاثیر بر توزیع رطوبت، عمق خاک، توزیع اندازه ذرات و دیگر خصوصیات خاک در این منطقه است. مدل‌های به‌دست آمده در چنین تحقیقاتی را در شرایط مشابه منطقه از نظر توپوگرافی، اقلیم و خاک با دقت مناسب می‌توان به کار گرفت. البته می‌توان جهت ایجاد مدلی معتبرتر که تغییرپذیری بیشتری از خصوصیات هیدرولیکی خاک در این منطقه را توجیه نماید، از خصوصیات دیگر موثر بر خصوصیات هیدرولیکی خاک نظیر جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه و ... استفاده نمود. همچنین پیشنهاد می‌گردد که علاوه بر در نظر گرفتن خصوصیات دیگر خاک به عنوان پارامترهای مستقل از نمونه‌برداری‌های متراکم‌تر و سطوح توپوگرافیکی متنوع‌تر استفاده نمود که این موضوع نیازمند انجام پژوهش‌های آتی در منطقه می‌باشد.

منابع

۱- نوربخش ف. و افیونی م. ۱۳۷۹. تخمین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از روی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. مجله علـوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد چهارم. شماره اول.

2- Afyuni M.M., Cassel D.K., and Robarge W.P. 1993. Effect of landscape position on soil water and corn silage yield. Soil Science Society of American Journal, 57: 1573– 1580.

3- Arya L.M., and Paris J.F. 1981. A physico-empirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 1023-1030.

4- Epebinu O., and Nwadialo B. 1994. Predicting soil water availability from texture and organic matter content for Nigerian soils. Commun. Soil Science and Plant Analysis, 24: 633-640.

5- Frye W.W., Ebelhar S.A., Murdock L.W., and Blevins R.L. 1982. Soil erosion effects on properties and productivity of two Kentucky soils. Soil Science Society of American Journal, 46:1051–1055.

6- Gessler P.E., Chadwick O.A., Chamran F., Althouse L., and Holmes K. 2000. Modeling soil landscape and ecosystem properties using terrain attributes. Soil Science Society of American Journal, 64: 2046– 2056.

7- Green T.R., Salas J.D., Martinez A., and Erskine R.H. 2006. Relating crop yield to topographic attributes using spatial analysis, neural networks and regression. Geoderma, 139: 23– 37.

8- Hanna A.Y., Harlan P.W., and Lewis D.T. 1982. Soil available water as influenced by landscape position and aspect. Agronomy Journal, 74: 999– 1004.

9- Manrique L.A., Jons C.A., and Dyke P.T. 1991. Predicting soil water retention characteristics from soil physical and chemical properties . Communication Soil Science and Plant Analysis, 22: 1847- 1860.

10- Moore I.D., Grayson R.B., and Landson A.R. 1991. Digital terrain modeling. A review of hydrological, geomorphological, and applications. Hydrological Processes, 5: 3– 30.

11- Rossiter D.G. 2003. Biophysical models in land evaluation. Encyclopedia of life support system (EOLSS), EOLSS Pub, UK., 16pp.

12- Si C., and Farrell R.E. 2004. Scale-dependent relationship between wheat yield and topographic indices: A wavelet approach. Soil Science Society of American Journal, 68: 577-587.

13- Sinowski W., and Auerswald K. 1999. Using relief parameters in a discriminate analysis to stratify geological areas with different spatial variability of soil properties. Geoderma, 89: 113– 128.

14- SPSS for windows (Microsoft). Release. 11.5. copyright, Inc. 2002.

15- Sudduth K.A., Drummond S.T., Birrell S.J., and Kitchen N.R. 1997. Spatial modeling of crop yield using soil and topographic data. In: Precision Agriculture 97: Proceedings of the 1st European Conference on precision agriculture, edited by J. V. Stafford (BIOS Scientific Publishers, Oxford, uk), p. 439– 447.

16- Wilson J.P., and Gallant J.C. 2000. Terrain Analysis. Wiley & Sons, New York, 479 p.

17- Zevebergen L.W., and Thorne C.R. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. Earth Surface Processes Landforms, 12: 47-56.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 300-308

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۳۰۸-۳۰۰

Estimation of Soil Hydraulic Properties Using Topographic Indices and Soil Properties

J. Abedi Koupai[1*]-F. Kamyab Talesh[2]

Received:13-3-2011
Accepted:18-12-2011

Abstract

Soil properties are strongly related to topographic indices and soil properties. Therefore the knowledge and awareness of these parameters is necessary to regard to the effects of these parameters on soil hydraulic properties for to sustainable agriculture. This research was conducted to establish regression models between soil hydraulic properties and topographic indices and soil properties, in Kuhrang are located in Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. Soil sampling was carried out as randomized classification at 153 sites in studied area consisted of 700 ha using GPS that covered different topographics landscapes. The digital elevation model (DEM) of region prepared in 3×3m pixels and topographic indices conducted according to DEM. Finally multiple regression models established between soil properties and topographic indices and soil hydraulic properties and then models were validated by additional sample points (20 % of total). The results showed that there were significant relationships between soil hydraulic properties, topographic indices and soil properties such as wetness index, sediment transport index, slope, stream power index, sand, clay and organic matter that these parameters could explain 74 to 84% of the variability of soil hydraulic properties in studied area. The results demonstrated that soil hydraulic properties in this region controlled slightly by topographic parameters and soil properties. The results of validation test represent the acceptable and high precision of models in predicting hydraulic properties.

Keywords: Soil hydraulic properties, Topographic indices, Soil properties, Regression models

1,2- Associate Professor and PhD Student, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
(*-Corresponding Author Email: koupai@cc.iut.ac.ir)