

ارزیابی کارایی مدل الخلافه در تخمین رطوبت بهینه خاکورزی و شاخص خمیرایی خاک

مسلم ثروتی^{۱*}، حسین بیرامی^۲ و امید احمدی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۳۰)

چکیده

ارزیابی مهندسی خاک برای کارشناسان در فعالیتهای عمرانی و بهره‌برداری از خاک مفید است. مدل الخلافه سامانه ارزیابی ویژگی‌های مهندسی خاک است که با رگرسیون چندگانه عمل می‌کند. در این تحقیق از مدل الخلافه برای تخمین شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی خاک‌های منطقه میاندوآب (۱۸۴ نمونه خاک) استفاده شد. نتایج نشان داد که بین مقدار رس و شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی همبستگی بالایی با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۷۲ وجود داشت. ظرفیت تبادل کاتیونی نیز همبستگی بالایی (۰/۷۰ و ۰/۸۴) با ویژگی‌های شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی نشان داد. با این حال، ضریب همبستگی مواد آلی با این ویژگی‌ها پایین بود. همچنین برای شاخص خمیرایی ۵۰/۳، ۵/۷، صفر و ۴۴ درصد از کل اراضی، بر اساس داده‌های آزمایشگاهی و ۱۳، ۴۶ و ۶ و ۳۵ درصد بر اساس مدل الخلافه به ترتیب در کلاس‌های کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. تطابق نقشه خمیرایی مدل الخلافه با نقشه داده‌های آزمایشگاهی نیز ۸۰/۴ درصد بود. ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب نش-ساتکلیف و میانگین هندسی مربعات خطا به ترتیب ۰/۷۶۷، ۹/۳، ۰/۶۷۱ و ۰/۸۶ برای شاخص خمیرایی و ۰/۷۳۹، ۱۴/۵، ۰/۵۴۳ و ۰/۷۳ برای رطوبت بهینه خاکورزی محاسبه شد که در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در نهایت مدل الخلافه تخمینی قابل اطمینان از ویژگی‌های مهندسی ارائه داد.

واژه‌های کلیدی: ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی، محتوای رس، ویژگی‌های مهندسی

۱- مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه

۲- مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۳- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.sarvati@urmia.ac.ir

مقدمه

در راستای اهداف سیستم تصمیم‌گیری میکرولیز (MicroLESE) به منظور به کارگیری روش‌های کمی ارزیابی کیفیت اراضی (تناسب و تخریب‌پذیری)، ارزیابی مهندسی خاک (ویژگی‌های مکانیکی و ژئوتکنیکی خاک) ضروری است. دسترسی به این داده‌ها در پایگاه‌های اطلاعاتی هر منطقه، می‌تواند کارشناسان را در راستای تعیین زمان مناسب خاکورزی، پیش‌بینی میزان انبساط و انقباض خاک و... یاری رساند. همچنین ارزیابی مهندسی خاک‌ها می‌تواند برای کارشناسان آمایش سرزمین در زمینه برنامه‌ریزی، ساخت‌وساز و تعمیر و نگهداری پروژه‌های مهندسی همراه با مدیریت کشاورزی خاک مفید باشد (۲۱). حدود مایع (Liquid limit)، خمیریایی (Plasticity limit)، شاخص خمیریایی (Plasticity index)، چگالی بیشینه، رطوبت بهینه خاکورزی، ظرفیت آب در دسترس، ویژگی‌هایی هستند که به طور گسترده‌ای در ارزیابی مهندسی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعیین آزمایشگاهی ویژگی‌های مهندسی اغلب بسیار وقت‌گیر، همراه با عدم قطعیت بوده و مشکلات آزمایشگاهی قابل توجهی دارد، لذا تخمین این ویژگی‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. با این حال، لازم است به محدودیت‌های کاربران در استفاده از تخمین‌های مهندسی از جمله نیاز به بررسی دقیق در محل و تأیید داده‌های محاسبه شده و جمع‌آوری داده‌های اضافی اشاره کرد (۱۹). از طریق مدل الخلافه (Aljarafe model) سیستم تصمیم‌گیری میکرولیز (MicroLEIS)، تخمین ویژگی‌های فنی و مهندسی خاک با مطالعه رابطه بین این ویژگی‌ها و سایر ویژگی‌های سهل‌الوصول خاک انجام می‌گیرد (۷). این مدل یک مدل آماری بوده که توسط دلاروزا (۸) توسعه یافته و برای خاک‌های مناطق مدیترانه‌ای و اسنچی و صحت‌سنجی شده است. محتوای رطوبتی که خاک را به حالت خمیر تبدیل می‌کند، حد خمیریایی و مقدار رطوبتی که خاک را از خمیر به حالت روانی تغییر می‌دهد، حد مایع گویند. اگر از حد مایع، حد خمیریایی کم

شود، شاخص خمیریایی حاصل می‌شود (۲۱). سهولت عملیات خاکورزی نیز به عنوان محتوای آب بهینه‌ای تعریف می‌شود که در آن، شخم زراعی تولید خاکدانه‌هایی با ابعاد کوچک می‌کند. اگر رطوبت خاک بیش از حد بهینه باشد، ساختمان خاک تخریب خواهد شد و در حالت خشک، شخم خاک به انرژی بیشتری نیاز دارد (۱۰). دلاروزا (۸) با مطالعه خاک‌های منطقه کوردبای اسپانیا گزارش کرد که خاک‌هایی با بافت سنگین، رطوبت بهینه خاکورزی بالایی داشته و تعداد روزهایی که خاک می‌تواند پس از باران تحت عملیات خاکورزی قرار گیرد، بیشتر خواهد بود. شهبازی و جعفرزاده (۱۹) با بررسی ۴۱۰۰ هکتار از خاک‌های منطقه صوما (استان آذربایجان غربی) با استفاده از مدل الخلافه نشان دادند که تنها ۱۲۵۰ هکتار از این اراضی دارای رطوبت بهینه برای عملیات خاکورزی بوده و شاخص خمیریایی خاک نیز در کلاس متوسط قرار دارد. آنایا رومرو و همکاران (۳) در سویل اسپانیا تغییر کاربری اراضی را بر اساس قابلیت خاک‌ها در ارتباط با اختلالات ایجاد شده در ظرفیت کشاورزی با استفاده از سیستم میکرولیز بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییر کاربری از جنگل به زراعت باعث کاهش تنوع زیستی و کاهش رطوبت بهینه خاکورزی بر اساس مدل الخلافه شده است. سیلدا و همکاران (۱۸) شاخص خمیریایی و رطوبت بهینه خاکورزی را با استفاده از مدل‌های رگرسیونی از ویژگی‌های زودیافت خاک تخمین زدند. نتایج مؤید این مطلب بود که ظرفیت تبادل کاتیونی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و کربن آلی مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر در برآورد این ویژگی‌های مهندسی هستند. دولینار و اسکرابل (۱۱) نیز با مطالعات خود روی خاک‌هایی با بافت شنی ریز گزارش کردند که مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر در حدود آتربرگ این خاک‌ها، کربن آلی، رس و نوع رس است. باهمد و همکاران (۴) شاخص خمیریایی و رطوبت بهینه خاکورزی را از روی کربن آلی، محتوی رس و ظرفیت تبدالی، و میزان اولیه رطوبت خاک را با استفاده از معماری‌های مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی تخمین زدند. نتایج نشان داد که ضریب تبیین محاسبه شده بین شاخص

اراضی زراعی می‌توان به مزارع گندم، یونجه، چغندرقد، جو و ... و از باغات میوه به هلو، شلیل، زردآلو، سیب و... اشاره کرد. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه بر اساس نرم‌افزار نیوهال (۱۷) و آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک میاندوآب به ترتیب زیریک و ترمیک بود.

نحوه انجام مطالعات

برای نیل به اهداف، تعداد ۱۸۴ نمونه خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) به صورت تصادفی برداشته شد و سپس آزمایش‌های مورد نظر روی آنها صورت گرفت. متغیرهای ورودی در مدل الخلافه، مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و ماده آلی و متغیرهای خروجی شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی بود. مقدار رس با روش هیدرومتر (۱۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (۵) و کربن آلی به روش والکلی و بلک (۱۶) اندازه‌گیری شد. آتربرگ یک معیار برای میزان رطوبت خاک است. بر اساس این معیار سه حد: انقباض (SL)، خمیری (PL) و روانی (LL) قابل تعریف است. این سه حد مرز میان چهار حالت رفتار خاک که شامل: سفت (جامد)، نیمه سفت (نیمه جامد)، خمیر (پلاستیک) و مایع (روان)، هستند. بافت خاک با شاخص خمیرایی بالا به سمت رس گرایش دارد. خاک‌هایی که شاخص خمیرایی پایین دارند، تمایل به خرد شدن دارند. برای به دست آوردن حدروانی از دستگاه کاساگرانده استفاده شد. برای این منظور، داخل کاسه کاساگرانده را تا دو سوم با خاک پر و سپس یک شیار روی خاک مرطوب ایجاد می‌کنند. در هر بار کاسه دستگاه به مقدار یک سانتی‌متر بالا رفته و در برگشت ضربه‌ای (تنش برشی) به خاک وارد می‌کند. در نهایت با تعداد ضربات بین ۲۰ تا ۳۰ ضربه و ۵ نقطه رطوبتی، حد روانی از روی نمودار تعیین می‌شود (۶).

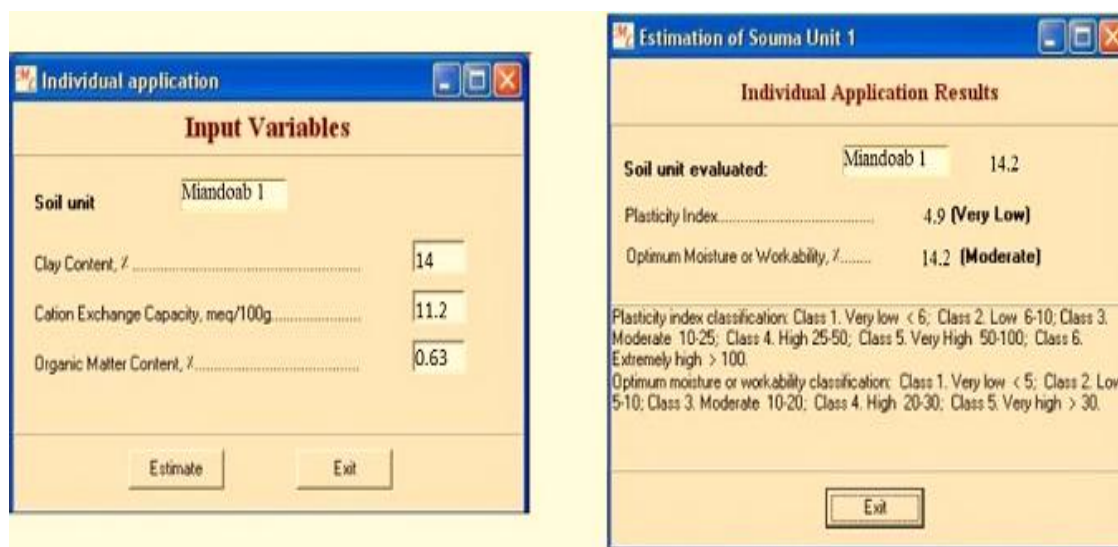
به منظور تعیین رطوبت مناسب شخم‌ورزی، از مقدار رطوبت در نقطه عطف منحنی رطوبتی (θ_i) استفاده شد. هنگام رسم منحنی رطوبتی خاک با استفاده از داده‌های مقدار رطوبت

خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی اندازه‌گیری شده با برآورد شده به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۸۱ است. مطالعات کومارجین و همکاران (۱۵) در هندوستان نشان دادند که ضریب تبیین محاسبه شده بین شاخص خمیرایی و شاخص تراکم ۰/۹ است. بنابراین شاخص خمیرایی می‌تواند در مواردی که نیاز به تراکم خاک برای پیش تصمیم‌گیری باشد، استفاده شود. عبدالغدير عزيز و محمود کریم (۱) با مطالعه تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سلیمانیه عراق بر میانگین وزنی خاکدانه‌ها، گزارش کردند که بیشترین تأثیر را محتوای رس و رطوبت به خود اختصاص دادند، لذا لزوم بررسی شاخص خمیرایی در مطالعات خاکدانه‌سازی و خاکورزی وجود دارد. دنک و همکاران (۹) با مطالعات خود در کشور چین گزارش کردند که حدود آتربرگ، در لایه‌های شنی کمتر از خاک‌های قرمز رسی است، بنابراین آسیب‌پذیری لایه‌های ماسه‌ای به فرسایش و احتمال تخریب اراضی در این خاک‌ها زیاد خواهد بود. به‌طور کلی با بررسی منابع می‌توان چنین عنوان کرد که مدل الخلافه می‌تواند به‌عنوان یک روش علمی و مبتنی بر اصول آماری، قابلیت بالایی در آشکارسازی رفتارهای متغیرهای خاکی برخوردار باشد. هدف از این تحقیق بررسی کارایی مدل الخلافه در تعیین شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی در راستای مدیریت پایدار اراضی در بخشی از اراضی منطقه میاندوآب در جنوب استان آذربایجان غربی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی با وسعت ۳۲۰۰ هکتار در شمال غرب شهرستان میاندوآب و در جنوب شرق دریاچه ارومیه واقع شده است. از نظر جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بین ۵۷۵۲۵۰ تا ۵۸۳۷۰۰ طول شرقی و ۱۴۱۱۵۲۰۰ تا ۱۴۱۱۸۸۰۰ عرض شمالی واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی خاک‌های این منطقه روی رسوبات کواترنری واقع شده و تحت تأثیر دریاچه ارومیه قرار دارد. پوشش گیاهی طبیعی این منطقه بیشتر مرتع بوده و از



شکل ۱. نمایش داده‌های ورودی و نتایج مدل الخلافه

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)(I_i - \bar{I}_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i) \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I}_i)^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{O}_i - \bar{I}_i) \quad (2)$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{I}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (3)$$

$$GMER = \exp\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{I_i}{O_i}\right)\right] \quad (4)$$

در این روابط، O_i مقدار عملکرد مشاهده شده، I_i مقدار عملکرد برآورد شده توسط مدل، \bar{O}_i میانگین مقادیر عملکرد مشاهداتی، \bar{I}_i میانگین مقادیر عملکرد محاسباتی و n تعداد داده‌ها است.

نتایج و بحث

مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، درصد ماده آلی، شاخص خمیرایی و داده‌های رطوبت بهینه برای ۱۸۴ نمونه خاک در جدول (۱) ارائه شده است. خاک‌ها مقدار قابل توجهی رس داشته و با این حال دارای CEC کم تا متوسط هستند. به نظر می‌رسد که این خاک‌ها با توجه به نیمه‌خشک بودن منطقه حاوی مقادیر قابل توجهی رس کلریت و ایلیت باشد. مقدار

در مقابل لگاریتم مکش، نقطه مشخصی به نام نقطه عطف وجود دارد که در این نقطه انحنای منحنی برابر صفر بوده و در این محل مقدار رطوبت و مقدار مکش به راحتی قابل تعیین است (۹). یوتومو و دگتر (۲۰) این دامنه را برای اغلب خاک‌ها حدود ۹۰ درصد رطوبت خمیرایی گزارش کرده‌اند.

مدل الخلافه

مدل الخلافه رابط کاربری بر اساس دو گزینه: (۱) کاربرد انفرادی هر نمونه و (۲) حالت پردازش دسته‌ای با اتصال به پایگاه MicroLEIS-SDBmPlus است. شکل (۱) داده‌های ورودی و نتایج مدل الخلافه را نشان می‌دهد. برای ارزیابی کارایی مدل الخلافه، از آماره‌های ضریب تبیین (Coefficient of Determination) (رابطه ۱)، جذر مربعات کمترین خطای میانگین (Root Mean Square Error (RMSE)) (رابطه ۲)، ضریب کارایی مدل نش-ساتکلیف (Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient (E)) (رابطه ۳) استفاده شد. گفتنی است که برای محاسبه کم برآوردی و بیش برآوردی مدل از میانگین هندسی نسبت خطا (Geometric Mean Error Ratio (GMER)) (رابطه ۴) استفاده شد.

جدول ۱. متغیرهای آماری برای برخی از ویژگی‌های انتخاب شده در خاک‌های بررسی شده

متغیرهای خاک	دامنه	میانگین	واریانس	انحراف استاندارد
مقدار رس (درصد)	۱۰-۶۲	۲۳/۷	۴/۲	۵/۲
ظرفیت تبادل کاتیونی (cmolc Kg ⁻¹)	۷/۸-۳۸/۷	۱۷/۱	۲/۷	۴/۵
مقادیر مواد آلی (درصد)	۰/۱-۱/۶	۰/۸	۱/۸	۱/۲
شاخص خمیرایی	۷-۵۸	۱۸/۴	۳/۸	۴/۶
رطوبت بهینه خاکورزی (درصد)	۱۳/۲-۵۱/۴	۲۶/۴	۲/۳	۲/۸

جدول ۲. ماتریس همبستگی بین متغیرهای آنالیز شده

متغیرها Variable	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂
محتوای رس (X ₁)	۱	۰/۷۱*	۰/۴۰*	۰/۸۸**	۰/۷۱**
ظرفیت تبادل کاتیونی (X ₂)		۱	۰/۵۴*	۰/۸۴**	۰/۷۰**
ماده آلی (X ₃)			۱	-۰/۱۷	-۰/۰۹
شاخص خمیرایی (X ₃)				۱	۰/۸۲**
رطوبت بهینه خاکورزی (Y ₂)					۱

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۳. نتایج واسنجی روابط چندجمله‌ای پس از تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه

کیفیت‌های مهندسی	معادلات چندجمله‌ای	ضریب تبیین	ضریب تغییرات (%)
شاخص خمیرایی	$Y_1 = 0.52 X_1 - 0.27 X_2 + 0.06 X_1 X_2 - 0.07 X_1 X_2 X_3$	۰/۹۱۲	۱۱/۳
رطوبت بهینه خاکورزی	$Y_2 = 0.41 X_1 + 0.96 X_2 - 0.04 X_1 X_2 - 0.03 X_1 X_2 X_3$	۰/۷۹۹	۲۲/۹

شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی در مقدار مطلق بسیار کم بود. زیرا با افزایش مقادیر مواد آلی در خاک، رطوبت حد بالا و پایین حد خمیرایی تقریباً به یک میزان افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که محدوده رطوبتی بین دو حد بالا و پایین خمیرایی نسبتاً ثابت بماند. در این رابطه همت و همکاران (۱۳) و علوی و همکاران (۲) نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. رابطه نهایی برای برآورد شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی از ویژگی‌های زودیافت خاک در جدول ۳ ارائه شده است. در این رابطه‌ها Y: شاخص خمیرایی یا رطوبت بهینه خاکورزی، X₁: مقدار رس، X₂: ظرفیت تبادل کاتیونی و X₃:

مواد آلی خاک نیز در اغلب نمونه‌ها کم بوده و میانگین آن ۰/۵۸ است. روابط با محاسبه ضرایب همبستگی (r) بین جفت متغیرها (جدول ۲) به صورت ماتریس ارائه شده است. ماتریس همبستگی در درجه اول سهم متغیرهای X در میزان ویژگی‌های Y و در درجه دوم برهمکنش بین متغیرهای X را مشخص می‌کند. همبستگی بین مقدار رس و شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ظرفیت تبادل کاتیونی نیز به‌طور قابل توجهی با متغیرهای مهندسی همبستگی داشت. با این حال، ضریب همبستگی مواد آلی با

جدول ۴. نتایج آماری ارزیابی مدل الخلافه

GEMR	E	RMSE (%)	R ²	ویژگی های مهندسی
۰/۸۶	۰/۶۷۱	۹/۳	۰/۷۶۷	شاخص خمیرایی
۰/۷۳	۰/۵۴۳	۱۴/۵	۰/۷۳۹	رطوبت بهینه خاکورزی

شده در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج مؤید این مطلب است که مدل الخلافه به دلیل ضریب تبیین (۰/۷۶۷)، ضریب کارایی مدل نش - ساتکلیف (۰/۶۷۱) و نسبت میانگین هندسی خطای نزدیک به یک (۰/۸۶) و جذر میانگین مربعات خطای نزدیک به صفر (۹/۳ درصد)، کارایی لازم در تخمین شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی را دارد. گفتنی است که مدل الخلافه دقت و صحت بیشتری در برآورد شاخص خمیرایی نسبت به رطوبت بهینه خاکورزی دارد. نتایج آماری ارزیابی مدل الخلافه در جدول (۴) نمایش داده شده است.

در سیستم‌هایی که برای اهداف مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند سیستم طبقه‌بندی یکپارچه خاک ارائه شده توسط وزارت دفاع ایالات متحده آمریکا و سیستم طبقه‌بندی اداره بزرگراه‌های ایالتی آمریکا خاک‌ها بر اساس ویژگی‌های خمیرایی، تراکم و وضعیت آب طبقه‌بندی می‌شوند. طبقه‌بندی شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی از "بسیار کم" تا "بسیار زیاد" در جدول (۵) نمایش داده شده است.

شکل (۲) نقشه پراکنش شاخص خمیرایی اندازه‌گیری شده و شکل (۳) نقشه پراکنش شاخص خمیرایی تخمینی با مدل الخلافه را که در محیط GIS ترسیم شده، نشان می‌دهد. تطابق کلاس‌های مختلف بر اساس جدول (۴) به نسبت قابل قبول (۸۰/۴) درصد است. تطابق مناسب این دو نقشه مؤید کارایی بالای مدل الخلافه در تخمین شاخص خمیرایی است.

در ادامه نقشه پراکنش شاخص خمیرایی اندازه‌گیری شده، نشان داد که ۴۶ درصد اراضی در کلاس کم، ۱۳ درصد در کلاس متوسط، ۶ درصد در کلاس زیاد و ۳۵ درصد اراضی در کلاس خیلی زیاد طبقه‌بندی می‌شوند. کاربرد مدل الخلافه نیز مؤید این مطلب است که ۵۰/۳ درصد اراضی در کلاس کم،

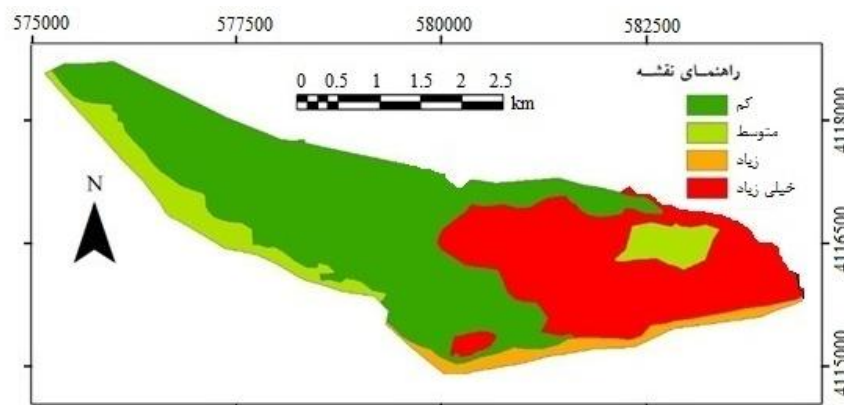
ماده آلی است. در تحلیل رگرسیون چندگانه گام به گام، روابط با توجه به اثرات اصلی متغیرهای X، هر کدام که دارای بیشترین ضریب تبیین بودند، انتخاب شدند.

برای شاخص خمیرایی (Y₁)، ضریب تعیین چندگانه (R²) نشان می‌دهد که این معادله ۹۱/۲ درصد از تغییرات مشاهده شده را دربر می‌گیرد. ضریب تغییر متغیر پیش‌بینی شده پایین (۱۱/۳) است، که نشان می‌دهد احتمال خطا در کاربرد این رابطه برای تخمین شاخص خمیرایی کم است (جدول ۳). برای رطوبت بهینه (Y₂)، مقدار R² نشان می‌دهد که رابطه گزارش شده در جدول ۷۹/۹ درصد از تغییرات مشاهده شده مربوط به ویژگی‌های ورودی است. ضریب تغییرات رابطه نیز نسبتاً کم (۲۲/۹) است. با وجود اینکه تجزیه و تحلیل ماتریس همبستگی نشان داد که ماده آلی به طور معنی‌داری با شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی ارتباطی ندارد (جدول ۲)، با این حال تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه نشان می‌دهد که مواد آلی دارای اثرات مهمی در تعامل با CEC و محتوای رس-CEC بوده و دارای اثرات غیرمستقیم است. نتایج مؤید این مطلب است که مدل الخلافه می‌تواند برای ارزیابی کیفیت‌های مهندسی خاک از جمله شاخص پلاستیسته و رطوبت بهینه خاکورزی استفاده شود. تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه نشان داد که مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی و رابطه بین آنها بیشترین تغییرات را در شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی دارند که در منبع کالیابین (۱۴) نیز به این مطلب اشاره شده است. نتایج واسنجی روابط چندجمله‌ای پس از تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه در جدول (۳) نمایش داده شده است.

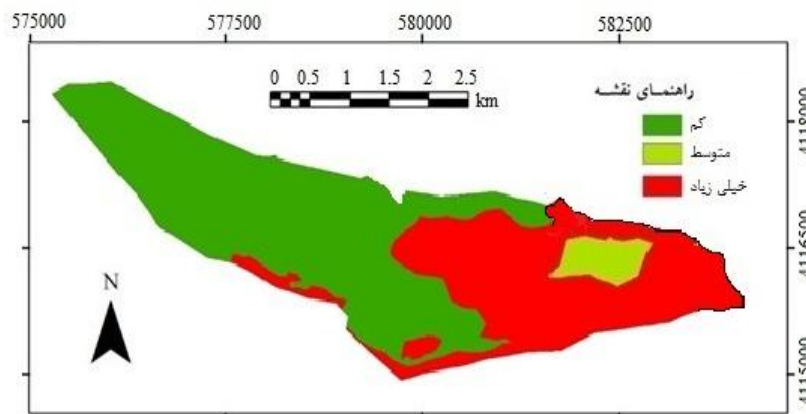
نتایج آنالیزهای آماری بین ویژگی‌های تخمینی و اندازه‌گیری

جدول ۵. طبقه‌بندی شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی

رطوبت بهینه خاکورزی (%)	شاخص خمیرایی	طبقه‌بندی
<۵	<۶	خیلی کم
۵-۱۰	۶-۱۰	کم
۱۰-۲۰	۱۰-۲۵	متوسط
۲۰-۳۰	۲۵-۵۰	زیاد
>۳۰	۵۰-۱۰۰	خیلی زیاد
-	>۱۰۰	شدیداً زیاد



شکل ۲. نقشه پراکنش شاخص خمیرایی اندازه‌گیری شده در منطقه میان‌دوآب (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۳. نقشه پراکنش خمیرایی برآورد شده در منطقه میان‌دوآب (رنگی در نسخه الکترونیکی)

شرقی و بعد زمین‌های غربی و در بهار، برعکس ابتدا زمین‌های غربی و بعد زمین‌های شرقی بایستی شخم زده شوند، زیرا در خاک‌های سنگین بافت‌تر رطوبت زیاد و سردی هوا در آخر پاییز و اول بهار باعث تأخیر در گاورو شدن و عدم امکان رفتن

۵/۷ درصد در کلاس متوسط و ۴۴ درصد در کلاس خیلی زیاد قرار دارند. در زمین‌های غربی منطقه که بافت درشت دارند، اگر رطوبت کمی بیشتر از حد معمول هم باشد ایجاد کلوخه‌های سخت نخواهد کرد به‌همین دلیل معمولاً در پاییز، اول زمین‌های

بود. ظرفیت تبادل کاتیونی نیز به طور قابل توجهی با متغیرهای مهندسی همبستگی داشت. با این حال، ضریب همبستگی مواد آلی با شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی در مقدار مطلق بسیار کم بود. نتایج مؤید این مطلب بود که مدل الخلافه به دلیل R^2 (۰/۷۶۷)، نش-ساتکلیف (۰/۶۷۱) و GMER (۰/۸۶)، نزدیک به یک و RMSE نزدیک به صفر (۹/۳ درصد)، کارایی لازم در تخمین شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی را داشت. گفتنی است که مدل الخلافه دارای دقت و صحت بیشتری در برآورد شاخص خمیرایی با ضریب تبیین ۰/۷۶۷ نسبت به رطوبت بهینه خاکورزی با ضریب تبیین ۰/۷۳۹ است. همچنین نقشه پراکنش شاخص خمیرایی نیز حاکی از این مطلب بود که ۴۶ درصد اراضی در کلاس کم، ۱۳ درصد در کلاس متوسط، ۶ درصد در کلاس زیاد و ۳۵ درصد اراضی در کلاس خیلی زیاد، طبقه بندی می شوند. بنابراین در قسمت های مختلف مدیریت های مختلفی مورد نیاز خواهد بود.

به زمین می شود. در این منطقه همچنین بایستی از گاو آهن سوکی سطحی برای شخم زدن استفاده شود. این وسیله خاک را به طور کامل زیر و رو کرده و خاک سطح را به زیر و خاک عمقی را به سطح می آورد که باعث اتلاف رطوبت می شود و برای دیمکاری و مناطق کم آب (با توجه به بحران دریاچه ارومیه) مناسب نیست، لذا توصیه می شود از شخم نیمه عمیق در منطقه استفاده شود.

نتیجه گیری

مدل الخلافه تخمین رطوبت بهینه خاکورزی و شاخص خمیرایی را با برقراری رابطه بین این ویژگی ها و سایر ویژگی های سهل الوصول انجام می دهد. بنابراین تعداد ۱۸۴ سری داده مقادیر رس، ظرفیت تبادل کاتیون و ماده آلی از شمال غرب میاندوآب (آذربایجان غربی) گرفته و با مدل الخلافه مدل سازی شد. ماتریس همبستگی بین مقدار رس و شاخص خمیرایی و رطوبت بهینه خاکورزی در سطح احتمال یک درصد معنی دار

منابع مورد استفاده

1. Abdulqadir, S. and M. Karim. 2016. The effect of some soil physical and chemical properties on soil aggregate stability in different locations in Sulaimani and Halabja governorate. *Open Journal of Soil Science* 6: 81-88.
2. Alavi, F., A. Sameni and A. A. Moosavi. 2016. Impact of sewage sludge application on temporal variation of plasticity limits and aggregate stability in a calcareous soil. *Iranian Journal of soil Research* 30(3): 343-356.
3. Anaya-Romero, M., R. Pino, J. M. Moreira, M. Muñoz-Rojas and D. De la Rosa. 2011. Analysis of soil capability versus land use change by using CORINE land cover and MicroLEIS. *International Agrophysics* 25: 395-398.
4. Bahmed, I. S., K. Harichane, M. Ghrici, B. Boukhatem, R. Redouane Rebouh and H. Gadouri. 2019. Prediction of geotechnical properties of clayey soils stabilised with lime using artificial neural networks (ANNs). *International Journal of Geotechnical Engineering* 13: 191-203.
5. Bower, C. A. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Journal of Soil Science* 73: 251-261.
6. Casagrande, A. 1932. Research on Atterberg's Limits of Soils. *Publication of Roads* 13: 121-130.
7. De la Rosa, D., J. Ruiz and J. L. Perez. 1983. Soil properties and geotechnical characteristics of urban area soils in Sevilla. *Agrochimica* 27: 173-184.
8. De la Rosa, D. 2004. Site-specific soil protection strategies by using a Mediterranean land evaluation decision support system. *Soil Conservation and Protection for Europe* 28: 111-120.
9. Deng, Y., C. Cai, D. Xia, S. Ding, J. Chen and T. Wang. 2017. Soil Atterberg limits of different weathering profiles of the collapsing gullies in the hilly granitic region of southern China. *Solid Earth* 8: 499-513.
10. Dexter, A. R. and N. R. A. Bird. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil and Tillage Research* 57: 203-212.
11. Dolinar, B. and Škrabl, S. 2013. Atterberg limits in relation to other properties of fine-grained soils. *Acta Geotechnica* 2: 1-13.
12. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. PP. 383-411. In: A. L. Page *et al.*, (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
13. Hemmat, A., N. Aghilinategh, Y. Rezaiejad and M. Sadeghi. 2010. Long-term impacts of municipal solid waste

- compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil Tillage Research* 108: 43-50.
14. Kaliakin, V. N. 2017. Example Problems Related to Soil Identification and Classification. PP. 51-92. D. E. Newark *et al.*, (Eds.), In Soil Mechanics. University of Delaware Press, Elsevier.
 15. Kumar Jain, V., M. Dixit and R. Chitra. 2015. Correlation of plasticity index and compression index of soil. *International Journal of Innovation in Engineering and Technology* 5(3): 263-270.
 16. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. PP. 539-579. In: A. L. Page *et al.*, (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
 17. Newhall, F. and C. R. Berdanier. 1996. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. Natural Resources Conversations Service, Soil Survey Investigation Report. No. 46, 13 p.
 18. Seybeld, C. A. M. A. Elrashid and R. J. Engel. 2008. Linear regression models to estimate soil liquid limit and plasticity index from basic soil properties. *Journal of Soil Science* 173(1): 275-290.
 19. Shahbazi, F. and A. A. Jafarzadeh. 2010. Land management planning concerning to workability timing of soil in Souma area, using Aljarafe model. PP: 129-132. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August, Brisbane, Australia.
 20. Utomo, W. H. and A. R. Dexter. 1981. Soil friability. *Journal of Soil Science* 32: 203-213.
 21. Yong, R. N. and B. P. Warkentin. 1966. Introduction to soil behavior. New York, Macmillan NY, 450 p.

Assessment of the Aljarafe Model Performance in the Estimation of Soil Optimum Moisture for Tillage and Plasticity Index

M. Servati^{1*}, H. Beyrami² and O. Ahmadi³

(Received: May 15-2018; Accepted: July 21-2019)

Abstract

The soil engineering evaluation can be useful for construction and soil use. Aljarafe model has been used to evaluate the soil engineering properties by multiple regression techniques. In this research, Aljarafe model was used to predict the optimum moisture and plasticity index based on 184 series soils data of the Miandoab region. Based on all correlations between clay percentage and plasticity index, the optimum moisture proved to be highly significant (0.88 & 0.72). Also, Cation Exchange Capacity was significantly correlated (0.84 & 0.70) with the engineering properties. However, the correlation coefficients for the organic matter with optimum moisture and plasticity index were very low in the absolute amount. Application of the aljarafe model revealed that 50.3, 5.7, 0 and 44 % of the total extension could be classified as low, moderate and very high, respectively; on the other hand, based on the experiment data, 46, 13, 6 and 35 % could be classified as low, moderate, high and very high plasticity index classes, respectively. So, there was an overall agreement between the aljarafe model and Analytical Plasticity index maps, which was 80.4. Also, the coefficient of Determination, Root Mean Square Error (RMSE), Nash-Sutcliffe index (NES) and Geometric Mean Error Ratio (GMER) between calculated and experiment engendering properties was calculated to be 0.767, 9.3, 0.671 and 0.86 for the plasticity index and 0.739, 14.5, 0.543 and 0.73 for optimum moisture, respectively, were significant ($P > 5\%$). Finally, the aljarafe model provided a reliable estimate of engineering properties.

Keywords: Cation Exchange Capacity, Clay, Engineering properties, Organic matter

1. Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia Univ., Iran.

2. National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

3. Dept. of Soil Science, College of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*: Corresponding author, Email: m.servati@urmia.ac.ir