

# برآورد حدود پایداری (آتربرگ) با استفاده از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قابل دسترس خاک

رسول میرخانی، سعید سعادت و محمود شعبانپور

به ترتیب: کارشناس ارشد مؤسسه تحقیقات خاک و آب- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب و دانشجوی دکتری خاکشناسی دانشگاه تربیت

مدرس- استادیار دانشگاه گیلان

## مقدمه

محدود نشده و برای برآورد خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک نیز بکار رفته‌اند. از جمله ویژگی‌های مکانیکی مهم خاک می‌توان به حد روانی و حد خمیریایی خاک اشاره کرد. هدف از این پژوهش بررسی امکان استفاده از خصوصیات زودیافت خاک برای برآورد حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیریایی خاک و در آخر ارزیابی یک مدل مناسب برای آنها می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش از منطقه کرج تعداد ۳۰ نمونه خاک به روش نمونه‌برداری کاملاً تصادفی از عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری انتخاب شد. فراوانی نسبی ذرات به روش هیدرومتری، CEC به روش استات آمونیوم، چگالی ظاهری به روش کلوخه، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری حد روانی، با استفاده از دستگاه کاساگراند درصد رطوبت در ضریبات بین ۳۰-۲۰ ضربه اندازه

گیری و حد روانی از رابطه 
$$LL = W_n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$
 محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری حد خمیری خاک، روش تهیه فیله مورد استفاده قرار گرفت. شاخص خمیریایی نیز از اختلاف حد روانی و حد خمیری محاسبه شد (۴). سپس همبستگی بین متغیرهای مستقل بررسی و با

استحکام خاک بیان کننده درجه سختی خاک می‌باشد و می‌تواند نرم، سفت و خیلی سفت باشد. حدود پایداری (آتربرگ) خاک‌ها عموماً در طبقه بندی خاک‌های چسبنده برای اهداف مهندسی بکار می‌رود و همبستگی بالایی با سایر ویژگی‌های پایه‌ای خاک دارد. این حدود همچنین در برآورد سایر شاخص‌ها در امور مهندسی خاک مانند مقاومت برشی، توان بارپذیری، تراکم پذیری، آماس پذیری و سطح ویژه کاربرد دارند (۴). با توجه به اهمیت حدود پایداری آتربرگ و نظر به وقت‌گیر بودن و نیاز به داشتن تجربه کافی برای اندازه‌گیری آن، کوشش‌هایی صورت گرفته تا این خصوصیات را از طریق سایر خصوصیات شیمیایی و برخی خصوصیات فیزیکی با دقتی قابل قبول برآورد نمود. این روش غیرمستقیم بدست آوردن داده‌ها، توابع انتقالی خاک Pedotransfer Functions نامگذاری شده اند (۳). توابع انتقالی خاک، توابعی هستند که خصوصیات دیریافت خاک Costly Measured Properties (خصوصیات هیدرولیکی و برخی خصوصیات شیمیایی و مکانیکی) را به خصوصیات زودیافت خاک Readily Available Properties مانند فراوانی نسبی ذرات، در صد کربنات کلسیم، درصد کربن آلی ارتباط می‌دهند. اگرچه اغلب توابع انتقالی خاک برای برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک ایجاد شده‌اند (۵و۶) اما استفاده از این توابع فقط به ویژگی‌های هیدرولیکی

## نتایج و بحث

در نمونه‌های استفاده شده، محدوده ظرفیت تبادل کاتیونی  $\text{cmol/kg}$  ۳-۲۶/۴۰، درصد کربن آلی ۰/۰۸-۳/۵۲ رس ۳-۵۱ درصد، سیلت ۴-۵۳ درصد بود که نشان دهنده تنوع بافتی خاک منطقه بوده و مقدار CEC نمونه‌ها نیز متناسب با بافت آنها دارای محدوده گسترده‌ای بود. جدول (۱) همبستگی بین حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیرایی با پارامترهای اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

جدول (۱) همبستگی بین حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیرایی با پارامترهای اندازه‌گیری شده

پارامتر	SP %	Clay %	Silt %	Bd ( $\text{gr/cm}^3$ )	O.C %	CEC ( $\text{cmol/kg}$ )
حد روانی	۰/۵۰۱	۰/۵۵۱	۰/۵۸۸	-۰/۵۱۶	۰/۵۷۱	۰/۶۳۳
حد خمیری	۰/۳۹۷	۰/۲۸۴	۰/۵۷	-۰/۶۰۹	۰/۵۲۹	۰/۵۹۱
شاخص خمیرایی	۰/۵۹۲	۰/۷۱۲	۰/۳۶۲	-۰/۱۵۵	۰/۳۸۹	۰/۴۲۳

دلیل این کاهش، افزایش درصد شن و کاهش درصد رس و سیلت با افزایش جرم مخصوص، ظاهری می‌باشد که موجب کاهش حد روانی و حد خمیری با افزایش جرم مخصوص ظاهری شده است. همبستگی بین درصد رطوبت اشباع با حد روانی و حد خمیری نیز نشان دهنده افزایش درصد رطوبت اشباع به دلیل تأثیر درصد رس، سیلت و مواد آلی می‌باشد که خود موجب افزایش حد روانی و حد خمیرایی می‌شوند. مناسب‌ترین ترکیب از متغیرهای مستقل برای برآورد حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیرایی انتخاب و معادلات رگرسیونی چند متغیره زیر ارائه شد (جدول ۲).

جدول (۲) توابع ارائه شده برای برآورد حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیرایی

توابع	$R^2_{adj}$	MSE
$L.L = 23/2 + 0/203 SP - 10/9 Bd + 0/578 CEC$	۰/۷۷۴	۲/۴۵۱
$P.L = 26/0 + 0/139 SP - 0/107 Clay - 10/9 Bd + 0/418 CEC$	۰/۷۲۱	۱/۵۸۶
$P.I = -4/35 + 0/181 Clay + 2/67 Bd + 1/82 O.C$	۰/۶۲۵	۰/۹۵۴

با توجه به نتایج و ضرایب آماری مربوط به آنها، این معادلات برای مواردی که نیاز به دانستن مقدار دقیق نیست و تنها به برآوردی از آن می‌توان اکتفا کرد، توصیه‌پذیر است. ولی در اهداف تحقیقاتی، روش اندازه‌گیری مستقیم کماکان بهترین روش است. همچنین معادلات بدست آمده تنها برای منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه معتبر بوده و پیش از کاربرد نیز می‌بایست اعتبار مدل آزموده شود.

استفاده از نرم‌افزارهای Minitab با روش رگرسیون با بهترین زیرمجموعه، مناسب‌ترین ترکیب از متغیرهای مستقل برای ایجاد توابع انتخاب و معادلات رگرسیونی چند متغیره خطی ارائه شد.

مقایسه ضرایب همبستگی نشان می‌دهد که با افزایش مقدار رس (کاهش اندازه ذرات خاک) حد روانی و حد خمیری افزایش می‌یابد. ولی این افزایش در حد روانی بیشتر بوده، در نتیجه، روند افزایش شاخص خمیرایی بیش از حد خمیری می‌باشد. با توجه به تأثیر رس در درصد رطوبت اشباع این روند در همبستگی بین رطوبت اشباع با حدود روانی و خمیری نیز مشاهده می‌شود. همبستگی CEC با حدود روانی و خمیری نیز نشان دهنده تأثیر مقدار و نوع رس و مواد آلی از طریق CEC می‌باشد. با توجه به تأثیر رس در CEC، این روند افزایشی در حد روانی بیشتر از حد خمیری می‌باشد. حدود روانی و خمیری با Bd خاک همبستگی منفی نشان داده است.

توابع ارائه شده نشان می‌دهد که از بین متغیرهای مستقل، استفاده از درصد رطوبت اشباع، ظرفیت تبادل کاتیونی و جرم مخصوص ظاهری، برآورد خوبی از حد روانی، استفاده از ظرفیت تبادل کاتیونی، جرم مخصوص ظاهری، درصد رطوبت اشباع و درصد رس برآورد خوبی از حد خمیری و نیز استفاده از جرم مخصوص ظاهری، درصد کربن آلی و درصد رس برآورد خوبی از شاخص خمیرایی را نشان می‌دهد. به طوری که ۷۷/۴٪ از تغییرات حد روانی، ۷۲/۱٪ از تغییرات حد خمیری و ۶۲/۵٪ از تغییرات شاخص خمیرایی به وسیله این متغیرها بیان شده و توابع ارائه شده در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار شده است. در بین این پارامترها مؤثرترین پارامتر، جرم مخصوص ظاهری می‌باشد که این امر به دلیل تأثیر ساختمان و بافت خاک از طریق جرم مخصوص ظاهری بر حد روانی و حد خمیرایی می‌باشد.

evaluation procedures, ITC publication No. 6, Enschede, The Netherlands 106-111.

4-Carter, M. R. 1993. Soil sampling and methods of analysis. 519-527.

5-Van den Berg, M., E. Klamt, L. P. Van Reeuwijk and W. G. Sombroek. 1997. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of ferralsols and related soils. *Geoderma*, 78: 161-180.

6- Wosten, J. H. M., P. A. Finke and M. J. W. Janes. 1995. Comparison of class and continues pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma*, 66: 227-237.

### منابع مورد استفاده

۱- بای بوردی، م. ۱۳۷۵. فیزیک خاک-ک. چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- برزگر، ع. ۱۳۸۰. مبانی فیزیک خاک. چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

3- Bouma, J. and H. A. J. Van Lanen. 1987. Transfer functions and threshold values from soil characteristics to land qualities. In: Beek, K., P. A. Barrough and D. D Mc Cormack (Editors), Proc. Workshop by ISSS/SSSA on Quantified land