(فیزیک خاک و رابطه آب خاک و گیاه)

تخمین LLWR با استفاده از توابع انتقالی

زهرا کاظمی[1]، محمدرضا نیشابوری[2]، شاهین اوستان[3]، محمد مقدم[4]

1، 2 و 3- دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

4- دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت

Zahra.kazemi58@yahoo.com

چکیده

دامنه‌ای از رطوبت حجمی خاک که در آن، محدودیت‌ها برای رشد گیاه در ارتباط با پتانسیل آب، تهویه و مقاومت مکانیکی خاک در کمترین مقدار خود باشد، دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (LLWR) نامیده می‌شود. این پژوهش به منظور ارزیابی اثر برخی ویژگی‌های خاک بر LLWR و ایجاد توابع انتقالی (PTF) برای تخمین آن صورت گرفت. بدین منظور نمونه‌های دست نخورده از 32 نوع خاک برای تعیین منحنی نگهداری آب خاک (WRC) و منحنی مقاومت خاک (SRC) و نمونه_های دست خورده برای اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی.به کار گرفته شد. در هر چگالی ظاهری LLWR از روی چهار ضریب رطوبتی θ_{wp}، θ_{fc}، θ_{sr} و θ_{afp} محاسبه شد. میزان تأثیر نسبی هر یک از خصوصیات خاک به عنوان متغیرهای مستقل بر چهار ضریب رطوبتی و در نهایت بر LLWR از طریق تجزیه رگرسیون چند گانه بررسی و توابع انتقالی برای تخمین LLWR ایجاد شدند. محاسبه LLWR از روی ضرایب رطوبتی در مقایسه با برآورد مستقیم LLWR از طریق PTFهای ایجاد شده، از دقت بالاتری برخوردار بود. امکان ایجاد یک PTF برای کلیه 32 خاک از R^2 پائین‌تر ولی معنی‌دار مواجه شد. گروه‌بندی خاک‌ها به D_b های مساوی یا بزرگتر از 1/4 مگاگرم بر متر مکعب و کوچکتر از آن و نیز بر اساس درصد رس ($C\geq 20\%$ و $C< 20\%$) باعث افزایش R^2 برای PTFهای ایجاد شده گردید و خطای برآورد (RMSE) را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت، منحنی نگهداری آب خاک، منحنی مقاومت خاک، تخلخل تهویه‌ای.

مقدمه

محدوده LLWR دامنه‌ای از رطوبت در یک خاک است که در آن اثرات توام تهویه، مقاومت مکانیکی و فراهمی آب برای رشد گیاه و عملکرد در قالب یک پارامتر کمی بیان می‌شود (داسیلوا و همکاران 1994 و لاپن و همکاران 2004). LLWR از چهار ثابت رطوبتی خاک یعنی θ_{wp}، θ_{fc}، θ_{sr} و θ_{afp} محاسبه می‌شود. θ_{afp} و θ_{sr} بالاترین و پایین ترین حد رطوبت در خاک است که در آن به ترتیب تهویه و مقاومت مکانیکی برای رشد ریشه وجذب آب محدود کننده است. برای محاسبه LLWR نیاز است که رابطه بین θ و هر یک ازمتغیرهای پتانسیل آب(Ψ)، مقاومت مکانیکی (SR) و تهویه به دست آید. رابطه بین θ و Ψ همان منحنی رطوبتی خاک (WRC) است که با تابع ون گنوختن (1980) یا دیگر توابع منحنی رطوبتی قابل توصیف می‌باشد.رابطه بین SR، θ و D_b با عنوان منحنی مقاومت خاک (SRC) در مطالعات بوسچر (1990)، داسیلوا و کی (1997) مورد استفاده قرار گرفته است. وضعیت تهویه‌ای خاک (θ_{afp}) نیز از تخلخل تهویه‌ای 10% به دست می‌آید. برآورد LLWR اساسا از طریق توابع انتقالی

(PTF) که منحنی‌های WRC و SRC را توصیف می‌کنند می‌تواند تسریع شود (داسیلوا و کی 1997). هدف این تحقیق به دست آوردن توابع انتقالی برای برآورد θ_{wp}، θ_{fc}، θ_{sr}، θ_{afp} و LLWR از طریق خصوصیات خاک و مطالعه اثر سیمانی کننده‌های مختلف نظیر اکسیدهای آهن و آلومینیوم و منگنز، آهک و کربن آلی بر LLWR است. LLWR به عنوان شاخص کیفیت خاک و شاخص تنش در گیاه (داسیلوا و همکاران، 1994) بر خلاف AWC چون اثر مقاومت مکانیکی و تهویه خاک را نیز لحاظ می‌کند بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش 32 خاک. (از هر خاک تعداد 5 تا 6 تکرار) و در مجموع 188 نمونه دست نخورده از لایه سطحی (10cm-0)0خاک برداشته شد. از هر محل، نمونه دست خورده نیز به منظور اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های شیمیائی و فیزیکی خاک‌ها تهیه گردید. ویژگی‌های مذکور (جدول1) با استفاده از روشهای متداول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. منحنی رطوبتی خاک (WRC) با اندازه‌گیری رطوبت خاک در نمونه‌های دست نخورده پس از اشباع آنها در محلول 0/01 مولار $CaCl_2$ و رساندن به تعادل در 7 مکش ماتریک 0، 4، 10، 30، 100، 500 و 1500 کیلوپاسکال با برازش داده‌ها بر مدل نمایی داسیلوا و همکاران (1994) تعیین گردید.

جدول1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های بررسی شده

ویژگی	Clay (%)	CCE (%)	OC (%)	CEC ($cmol_c kg^{-1}$)	SAR $(mmol_c/l)^{-1/2}$	D_b (Mgm^{-3})	Fe_{dit} ($mgkg^{-1}$)	Fe_{ox} ($mgkg^{-1}$)	Al_{dit} ($mgkg^{-1}$)	Mn_{ox} ($mgkg^{-1}$)
max	34/3	30/4	4/1	74/4	8/9	1/6	11166/8	3357/4	867/0	1065/5
min	7/1	2/5	0/0	8/9	0/1	1/1	2557/6	289/8	167/0	36/0
mean	20/5	14/5	1/7	26/6	1/2	1/3	5146/1	1184/5	510/1	307/1
CV	۳۵/۸	۵۳/۴	۶۳/۲	۵۱/۸	۱۹۰/۲	۹/۶	۴۴/۰	۷۶/۰۵	۴۰/۵۴	۹۴/۲۷

Clay نشان دهنده درصد رس، CCE کربنات کلسیم معادل ،OC درصد کربن آلی، CEC ظرفیت تبادل کاتیونی، SAR نسبت جذب سدیم ، D_b چگالی ظاهری خاک، AL_{dit} و Fe_{dit} آلومینیوم و آهن قابل استخراج با سیترات بی‌کربنات دیتیونیت و Fe_{ox} و Mn_o آهن و منگنز قابل استخراج با اسید آمونیوم اگزالات و ارقام میانگین 32 نوع خاک می‌باشد.

دو ثابت رطوبتی θ_{fc} و θ_{wp} از منحنی رطوبتی و رطوبت نظیر تخلخل تهویه‌ای 10 درصد (θ_{afp}) به روش داسیلوا و همکاران (1994) به دست آمد. مقاومت مکانیکی نیز با استفاده از دستگاه فروسنج اندازه‌گیری شد. داده‌های رطوبت و مقاومت مکانیکی خاک با مدل نمایی بوسچر و همکاران (1990) برازش داده شد و θ_{sr} به دست آمد. برازش داده‌ها در هردو مدل منحنی رطوبتی و منحنی مقاومت خاک توسط نرم افزار Solver در EXCEl انجام گرفت.با در دست

داشتن چهار ثابت رطوبتی (θ_{fc} ، θ_{afp} ، θ_{sr} و θ_{wp}) برای هر نمونه خاک، مقدار LLWR برای تمامی 188 نمونه دست نخورده محاسبه شد. برای بررسی اثر ویژگی‌های خاک و از جمله سیمانی‌کننده‌ها (جدول 1) بر ثابت‌های رطوبتی θ_{fc} ، θ_{afp} ، θ_{sr} و θ_{wp} و LLWR از روش رگرسیون چندمتغیره خطی (معادله 1) با به کارگیری نرم افزار SPSS استفاده شد. به علاوه از همین توابع انتقالی به منظور تخمین چهار ضریب رطوبتی و نیز تخمین مستقیم LLWR از ویژگی-های زود یافت خاک استفاده و دقت آنها مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

دامنه تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول 1 آورده شده است. 32 نوع خاک در 5 کلاس بافتی LS، SCL ، CL، L ، SL قرار گرفتند. بالا بودن CV برای اکثر ویژگی‌های نشان می‌دهد دامنه وسیعی از خصوصیات در خاک‌های مورد بررسی موجود می‌باشد (جدول 1) و بنابراین PTF های ایجاد شده یرای تخمین LLWR چه از طریق ضرایب رطوبتی و چه مستقیما از طریق خصوصیات خاک می‌تواند به انواع خاک‌ها تعمیم یابد.

پس از محاسبه θ_{fc} ، θ_{afp} ، θ_{sr} و θ_{wp} و LLWR برای 188 نمونه دست نخورده از 32 نوع خاک، خاکهای مورد بررسی یکبار بر اساس درصد رس و یکبار نیز بر اساس چگالی ظاهری گروه‌بندی شدند. مرتبه اول خاک‌های کمتر از 20 درصد رس در یک گروه (گروه 1) و خاک‌های حاوی بیش از 20 درصد رس در گروه دیگر (گروه 2) قرار داده شدند. در گروه‌بندی دوم خاک‌های با D_bهای کمتر از 1/4 Mg/m^3 در یک گروه (گروه 3)و خاک‌های با D_b مساوی یا بزرگتر در گروه دیگر (گروه 4) قرار گرفتند. از مدل رگرسیونی به صورت زیر استفاده گردید.

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \qquad [1]$$

در معادله مذکور y متغیر وابسته (θ_{fc} ، θ_{afp} ، θ_{sr} ، θ_{wp} یا LLWR) و x_1 تا x_n، یک یا چند متغیر مستقل از 10 متغیر مستقل اندازه‌گیری شده (جدول 1) هستند. ضرایب رگرسیونی (a_1 تا a_n) مربوط به متغیرهای مستقل‌اند که در مدل‌های رگرسیونی برای هر یک از 5 متغیر وابسته معنی‌دار شده‌اند. مقادیر R^2 برای θ_{sr} ، θ_{WP}، θ_{fc} و LLWR (جدول 2) در سطح احتمال 1% معنی‌دار است. بزرگترین R^2 برای θ_{sr}، θ_{WP} و LLWR متعلق به گروه چهارم (1/4≤D_b) و پس از آن متعلق به گروه دوم (Clay≥%20) است. مقادیر R^2 برای PTFهای حاصل برای LLWR در گروه-های 1 و 3 در مقایسه با دو گروه قبل کمتر است و در عمل کاربرد آنها را محدود می‌سازد و نشان می‌دهد احتمالا عواملی غیر از عوامل بررسی شده در این پژوهش در این گروه از خاک‌ها بر LLWR تاثیرگذار است. از عوامل بررسی شده در این پژوهش تنها θ_{afp} با چگالی ظاهری خاک رابطه معنی دار و بسیار قوی نشان می‌دهد (جدول 2). داسیلوا و کی (1997) نیز گزارش کردند تغییراتθ_{afp} با D_b منفی بوده و θ_{afp} حساسیت زیادی به تغییرات D_b دارد. در PTF-های به دست آمده برای θ_{wp} و θ_{fc} در گروه 2، بالاترین ضریب رگرسیونی استاندارد متعلق به Clay بود و در مورد θ_{sr} بالاترین ضریب به D_b تعلق داشت. ترتیب تاثیر متغیرهای مستقل بر LLWR در گروه 2 به صورت D_b> CEC>

Al_{dit}> Clay> Fe_{dit}> Mn_{ox} است. در گروه 4، Clay و Al_{dit} به ترتیب بیشترین و Mn_{ox} کمترین تاثیر را بر LLWR داشتند. داسیلوا و کی (1997) نیز تاثیر مثبت Clay و D_b را بر LLWR اثبات کردند.

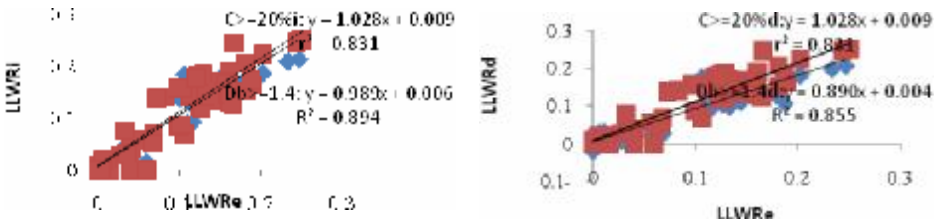
جدول 2- ضرایب همبستگی (R^2) در برآورد ثابت‌های رطوبتی (θ_{fc}، θ_{afp}، θ_{sr} و θ_{wp}) و LLWR برای چهار گروه از 32 نوع خاک

R^2	R^2	R^2	R^2	
گروه 4	گروه3	گروه 2	گروه 1	
$D_b \geq 1.4$	$D_b < 1.4$	Clay ≥20%	Clay < 20%	متغیرهای وابسته
0/85**	0/38**	0/81**	0/49**	θ_{sr}
0/83**	0/47**	0/81**	0/74**	θ_{wp}
1**	0/97**	1**	0/94**	θ_{afp}
0/89**	0/53**	/99**	0/55**	θ_{fc}
0/86**	0/15*	0/76**	0/35**	LLWR
62	126	95	93	n

**معنی‌دار در سطح 1% و * معنی‌دار در سطح 5 درصد

مقایسه LLWR برآورد شده و تجربی

مقادیر LLWR به صورت دامنه‌ای از رطوبت حجمی برای هر کدام از 32 خاک مورد آزمایش به سه صورت محاسبه شد. اول از طریق چهار ثابت رطوبتی θ_{fc}، θ_{afp}، θ_{sr} و θ_{wp} ($LLWR_e$)، دوم از روی چهار ثابت رطوبتی مذکور که هر کدام از طریق معادلات رگرسیونی تخمین‌گر محاسبه شدند ($LLWR_i$)، سوم LLWR به طور مستقیم از معادلات رگرسیونی تخمین‌گر محاسبه شد ($LLWR_d$). در هر دو گروه 2 و 4 ضریب R^2 بین $LLWR_e$ و $LLWR_i$ در مقایسه با R^2 بین $LLWR_e$ و $LLWR_d$ بیشتر بود (شکل‌های 1 و 2) و بیانگر آن است که برآورد LLWR به طور غیر مستقیم از روی چهار ثابت رطوبتی (θ_{fc}، θ_{afp}، θ_{sr} و θ_{wp}) در مقایسه با تخمین مستقیم LLWR از خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک (جدول 1) از دقت بالاتری برخوردار است. در گروه‌های 1 (Clay < 20%) و 3 (D_b < 1.4) به دلیل پایین بودن R^2ها مقایسه مذکور صورت نگرفت.



شکل‌های 1 و 2- رابطه بین LLWR تجربی و LLWR حاصل از توابع انتقالی به روش مستقیم و غیر مستقیم برای گروه‌های 2 و 4 (Clay≥ 20 % و D_b≥1/4) (به ترتیب از راست به چپ).

منابع

Buscher, W. J. 1990. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to common water content. Trans. ASAE. 33: 519- 524.

Da Silva, A. P. Kay, B. D., and Perfect. E., 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1775- 1781.

Da Silva, A. P., and Kay, B. D., 1997. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 877- 883.

Lapen, D. R., Topp, G. C., Gregorich, E. G., and Curnoe, W. E., 2004. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production in eastern Ontario, Canada. Soil and Tillage. Res. 78: 151- 170.

Van Genuchten, M. Th., 1980. A closed- form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892- 898.