Archive of SID

تخمین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم از روی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

فرشید نوربخش و مجید افیونی[۱]

چکیده

اطلاع از وضعیت حدود رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم، در برنامه‌ریزی‌های آبیاری و مدیریت زراعی بسیار مهم است. تعیین دقیق این حدود با استفاده از دستگاه صفحه فشاری صورت می‌گیرد، لیکن این کار معمولاً وقت‌گیر بوده، و در عین حال امکانات موردنیاز آن در همه آزمایشگاه‌ها یافت نمی‌شود. بنابراین، با تخمین این حدود از روی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، می‌توان اطلاعات مفیدی از توانایی نگهداری رطوبت خاک به دست آورد. در این مطالعه ۲۳ نمونه خاک از نقاط مختلف استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری تهیه گردید. در انتخاب نمونه‌ها سعی شد دامنه وسیعی از انواع خاک‌های موجود برداشت گردد. پس از انتقال خاک‌ها به آزمایشگاه، درصد اندازه ذرات، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، FC و PWP خاک‌ها با روش‌های مناسب اندازه‌گیری شد، و به کمک روش‌های رگرسیون یک متغیره و چند متغیره (همراه با گزینش متغیر به صورت مرحله به مرحله)، رابطه FC و PWP با سایر خصوصیات خاک بررسی گردید.

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 چند متغیره وارد می‌شوند ($r=0/97^{**}$) 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 ($r=0/95^{**}$). آب قابل استفاده (AWC)، اگر چه با درصد شن، سیلت و رس رابطه معنی‌دار دارد، لیکن هنگام استفاده از مدل چند متغیره تنها شن وارد می شود ($r=0/82^{**}$). به طورکلی، نتایج حاصله گویای آن است که برای تخمین FC و PWP این خاک‌ها می‌توان از سایر ویژگی‌های خاک استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: *ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دایم، آب قابل استفاده، روش‌های رگرسیونی*

مقدمه

خاک مخزن نگهداری رطوبت برای گیاه است. خاک‌های مختلف مقادیر متفاوتی آب در خود نگه می‌دارند، که به بافت و توزیع اندازه خلل و فرج خاک بستگی دارد. (۲، ۳، ۱۲ و ۲۲). برای زمان‌بندی مناسب آبیاری، اطلاع از میزان ذخیره رطوبت خاک بسیار ضروری است. آب قابل استفاده مقدار رطوبتی است که بین دو حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم قرار می‌گیرد.

۱. به ترتیب مربی و استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

www.SID.ir

Archive of SID

ظرفیت زراعی [1] (FC) حد بالای آب قابل استفاده بوده، و مقدار آبی است که پس از خروج آب ثقلی در خاک نگهداری می‌شود. نقطه پژمردگی دایم [2] (PWP) حد پایینی آب قابل استفاده است، و اعتقاد بر این است که گیاه در آن به طور غیرقابل برگشت دچار تنش خشکی و پژمردگی می‌گردد. حد FC اغلب تنها به ویژگی‌های خاک بستگی دارد، ولی حد PWP نه تنها به ویژگی‌های خاک، بلکه به نوع گیاه، تراکم سیستم‌های ریشه‌ای و وضعیت اقلیمی نیز بستگی دارد (۱۱). اگر همه این عوامل درنظر گرفته شود، برآورد PWP بسیار مشکل و وقت‌گیر خواهد بود.

برای تعیین حد FC از روش‌هایی چون روش مزرعه‌ای، روش سانتریفوژ و روش صفحه فشاری (۱۱)، و برای تعیین حد PWP از روش‌هایی مانند استفاده از گیاه آفتاب‌گردان و روش صفحه فشاری (۱۱) می‌توان استفاده نمود. این روش‌ها اغلب به وسایل و تجهیزات مشخص و گرانی نیاز دارند، و یا اصولاً بسیار وقت‌گیر می‌باشند، بنابراین برخی از پژوهشگران سعی کرده‌اند مقادیر FC و PWP را با استفاده از مدل‌های مختلف تخمین بزنند (۲، ۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۹). بدین منظور، از سه نوع مدل می‌توان استفاده کرد. این مدل‌ها عبارتند از مدل‌های فیزیکی، رگرسیونی و فیزیکی تجربی. مدل‌های رگرسیونی برای تعیین قدرت نگهداری رطوبت کاربرد بیش‌تری دارند (۲۴).

گوپتا و لارسون (۹) ظرفیت نگهداری رطوبت سیزده خاک را در پتانسیل‌های ماتریک مختلف، از طریق رگرسیون چند متغیره، و با استفاده از مقادیر شن، سیلت، رس، مواد آلی و وزن مخصوص ظاهری خاک تخمین زدند ، که هم‌بستگی مقادیر واقعی رطوبت و مقادیر پیش‌بینی شده آن زیاد بود. مدل به دست آمده از این ۱۳ خاک، برای ۶۱ خاک دیگر ایالت میزوری مورد آزمون قرار گرفت، که پیش‌بینی خوبی از مقدار آب نمود.

اپینو و نوادیالو (۷)، با استفاده از ۲۰ نمونه خاک از سه منطقه نیجریه، از طریق رگرسیون چند متغیره رطوبت قابل استفاده خاک را تخمین زدند. درصد سیلت و رس، پارامترهای وارد شده به مدل بود. این مدل توانست آب قابل استفاده را با اطمینان ۹۵ درصد پیش‌بینی کند.

دی جونگ و شیلدز (۴)، براساس اطلاعات موجود از آب قابل استفاده در برخی از خاک‌های کانادا، نقشه مربوط به آب قابل استفاده این خاک‌ها را به دست آوردند. تعیین این نقشه براساس تعیین رطوبت قابل استفاده از روی کلاس بافت خاک صورت گرفت. این پژوهشگران معتقدند کاربرد این مدل‌ها محدود به خاک‌های غیرشور است، زیرا ممکن است پتانسیل اسمزی نقش قابل ملاحظه‌ای در تعیین آب قابل استفاده گیاه داشته باشد. کرن (۱۰)، با استفاده از اطلاعات موجود از ظرفیت نگهداری رطوبت و سایر پارامترها، نقشه ظرفیت نگهداری رطوبت خاک را برای کل ایالات متحده تعیین نمود. فیلیپسون و دراسداف (۱۸)، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های حاره‌ای پورتوریکو را مطالعه نمودند. آنها نشان دادند که در خاک‌های ورتی سول، مهم‌ترین عامل تعیین کننده مقدار رطوبت در نقطه PWP، مقدار رس خاک است، در حالی که در خاک‌های اکسی سول، مقدار رس هم‌بستگی ضعیفی با پارامترهای فوق دارد. افیونی و همکاران (۲) گزارش کردند که عامل اصلی برای تخمین رطوبت کل و آب قابل استفاده گیاه در خاک، مقدار رس خاک می‌باشد. مانریک و همکاران (۱۳) نشان دادند که هم‌بستگی مقدار آب در نقطه FC با درصد رس، بیش از درصد سیلت بوده، و یک ارتباط خطی بین مقدار FC و ریشه دوم درصد رس موجود است. هم‌چنین، درصد شن با درصد رطوبت FC رابطه معکوس داشت.

امرسون (۵) گزارش کرد که با افزایش ماده آلی در علفزارها، مقدار رطوبت در FC و PWP افزایش می‌یابد. امرسون و همکاران (۶) نشان دادند که صرف‌نظر از مقدار رس، با افزایش مقدار کربن آلی، ظرفیت نگهداری رطوبت در اثر تشکیل ژل‌های حاصل از تجزیه بقایای آلی و ترشحات میکروبی، افزایش می‌یابد. وو و همکاران (۲۴)، ویژگی‌های نگهداری رطوبت رابه

1. Field Capacity
2. Permanent Wilting Point

www.SID.ir

Archive of SID

توزیع اندازه ذرات، توزیع اندازه خلل و فرج، و توزیع اندازه خاک‌دانه‌ها مربوط دانستند. این پژوهشگران عقیده دارند نسبت توزیع اندازه ذرات به توزیع اندازه روزنه‌ها و خاک‌دانه‌ها در تعیین قدرت نگهداری رطوبت خاک بسیار مهم است. بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که امکان ارائه یک مدل واحد، برای بیان رابطه خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دایم و آب قابل استفاده وجود ندارد، و این ارتباط، همان‌گونه که در منابع فوق نشان داده شده است، به نقطه مورد مطالعه بستگی دارد. در ایران مطالعه زیادی برای تعیین مدل‌های تخمین حدود آب قابل استفاده گیاه صورت نگرفته است. سپاسخواه و بندار (۱) منحنی کامل مشخصه آب خاک از روی خصوصیات فیزیکی خاک را تعیین نموده‌اند.

هدف از این تحقیق، تعیین مدل‌هایی برای پیش‌بینی ظرفیت مزرعه (FC)، نقطه پژمردگی دایم (PWP) و آب قابل استفاده گیاه (FC-PWP)، از روی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، در مناطقی از استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری است. شایان ذکر است که اندازه‌گیری حدود ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم، به دلیل عدم دسترسی به دستگاه‌های مورد نیاز از قبیل دستگاه صفحه فشاری، و هم‌چنین پیچیده بودن اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، به طور روزمره صورت نمی‌گیرد. از طرف دیگر، خواصی چون درصد اندازه ذرات، درصد مواد آلی، وزن مخصوص ظاهری و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، به طور روزمره در اغلب آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی اندازه گرفته می‌شود. بنابراین، وجود مدل‌هایی برای تخمین رطوبت زراعی، نقطه پژمردگی دایم و ظرفیت آب قابل استفاده ضروری است.

مواد و روش‌ها

۲۳ نمونه خاک از نقاط مختلف استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری تهیه شد. نمونه‌های خاک از اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری مناطق درچه، شرودان، نجف‌آباد، سمیرم، رودشت، چلگرد، سامان، زرین‌شهر، لردگان و فلارد تهیه گردید. هنگام نمونه‌برداری سعی شد خاک‌ها از نظر بافت و درصد مواد آلی با هم متفاوت باشند. خاک‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا هوا خشک گردیده و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند.

بافت خاک به روش هیدرومتر (۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی[1] (CEC) به روش استات سدیم با pH=۸/۲ (۲۰)، و درصد کربن آلی خاک به روش واکلی و بلاک (۱۵) تعیین گردید. برای تبدیل درصد کربن آلی به درصد مواد آلی، از ضریب ۱/۷۲۴ استفاده گردید. pH خاک با استفاده از دستگاه pH متر مدل ۶۲۰ متر اهم، و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج مدل متر اهم در دمای آزمایشگاه معین، و برای دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تصحیح شد. به منظور تعیین پتانسیل‌های ۳۳- و ۱۵۰۰- کیلو پاسکال (به ترتیب FC و PWP) از دستگاه صفحه فشاری استفاده گردید. برای هر یک از حدود، از صفحه اختصاصی آن استفاده شد. نمونه‌های خاک در داخل دستگاه اشباع شده و مکش موردنظر بر آنها اعمال گردید. پس از برقراری تعادل رطوبتی (با گذشت ۲۴ ساعت)، درصد رطوبت نمونه‌ها با استفاده از آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. بین هر یک از حدود رطوبتی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده خاک‌ها، ابتدا رگرسیون‌های ساده، و سپس چند متغیره صورت گرفت. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار استات گراف انجام گردید.

نتایج و بحث

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه گردیده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بافت خاک‌ها از رسی سیلتی تا لوم شنی است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها بین حدود ۱۰ تا ۴۳ سانتی مول بر کیلوگرم خاک متفاوت است. به طور کلی، انواع کاملاً متفاوتی از نمونه‌های خاک مورد مطالعه قرار گرفته، به گونه‌ای که رده‌های

1. Cation Exchange Capacity

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	محل‌نمونه برداری	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	موادآلی (%)	CEC (cmol/kg)	EC (dS/m)	pH	FC (درصد جرمی)	PWP (درصد جرمی)
۱	درچه	۲۴	۳۸	۳۸	CL	۲/۷	۱۶/۳	۱/۲	۷/۶	۲۶/۶	۱۳/۲
۲	درچه	۳۰	۴۱	۲۹	CL	۱/۳	۱۳/۰	۰/۸	۷/۶	۲۲/۱	۱۱/۷
۳	درچه	۲۷	۴۳	۳۰	CL	۴/۲	۱۶/۵	۱/۷	۷/۴	۲۵/۳	۱۴/۰
۴	درچه	۳۲	۳۷	۳۱	CL	۱/۶	۱۳/۵	۰/۸	۷/۶	۲۱/۱	۱۵/۰
۵	درچه	۲۸	۴۰	۳۲	CL	۲/۲	۱۹/۱	۰/۹	۷/۷	۲۷/۰	۱۸/۰
۶	درچه	۳۴	۳۳	۳۳	CL	۰/۹	۱۳/۰	۰/۹	۷/۶	۱۹/۲	۱۰/۳
۷	شرودان	۳	۴۴	۵۳	SiC	۲/۹	۲۴/۳	۱/۳	۷/۶	۳۲/۴	۱۸/۵
۸	شرودان	۲	۴۴	۵۴	SiC	۱/۵	۲۵/۲	۰/۹	۷/۸	۳۳/۰	۱۸/۹
۹	لورک	۲۹	۴۵	۲۶	L	۱/۷	۱۱/۳	۰/۹	۷/۹	۲۳/۳	۱۰/۵
۱۰	لورک	۳۴	۳۸	۲۸	CL	۰/۷	۱۰/۹	۰/۸	۷/۸	۲۱/۷	۹/۹
۱۱	سامان	۴۵	۴۴	۱۱	L	۰/۴	۲۳/۹	۳/۶	۷/۴	۲۳/۵	۱۴/۶
۱۲	چلگرد	۹	۴۵	۴۶	SiC	۱/۵	۳۳/۹	۰/۴	۷/۶	۲۹/۹	۱۸/۲
۱۳	چلگرد	۱۴	۴۴	۴۲	SiC	۰/۶	۲۸/۳	۰/۳	۷/۸	۲۷/۶	۱۷/۲
۱۴	چلگرد	۲۰	۴۴	۳۶	SiCL	۱/۴	۴۲/۶	۰/۵	۷/۵	۳۰/۷	۱۸/۹
۱۵	چلگرد	۱۷	۴۳	۴۰	SiCL	۰/۹	۴۰/۴	۰/۴	۷/۶	۳۱/۵	۲۰/۷
۱۶	چلگرد	۶	۴۶	۴۸	SiC	۳/۱	۴۲/۲	۰/۵	۷/۳	۳۵/۰	۲۲/۶
۱۷	زرین‌شهر	۶۳	۱۲	۲۵	SCL	۰/۵	۱۲/۶	۲/۳	۷/۵	۱۵/۵	۹/۰
۱۸	زرین‌شهر	۵۹	۲۸	۱۳	SL	۰/۳	۱۰/۹	۳/۲	۷/۶	۱۵/۲	۸/۳
۱۹	لردگان	۱۱	۶۳	۲۶	SiL	۲/۹	۲۰/۴	۰/۵	۷/۶	۲۸/۶	۱۸/۸
۲۰	فلارد	۱۴	۵۶	۳۰	SiCL	۱۲/۳	۴۳/۵	۰/۷	۷/۷	۳۶/۰	۲۵/۶
۲۱	فلارد	۱۰	۷۴	۱۶	SiL	۱۲/۳	۴۳/۹	۰/۶	۷/۶	۴۳/۰	۳۱/۷
۲۲	سمیرم	۲۹	۴۷	۲۴	L	۴/۴	۲۳/۹	۰/۷	۷/۵	۲۷/۲	۱۳/۴
۲۳	رودشت	۱۴	۵۸	۲۸	CL	۱/۰	۱۳/۵	۱۴/۷	۷/۹	۲۷/۸	۱۳/۱
میانگین		۲۴/۵	۴۳/۸	۳۲/۱		۲/۶	۲۳/۶	۱/۷	۷/۶	۲۷/۱	۱۶/۲
انحراف‌معیار		۱۵/۹	۱۱/۷	۱۱/۲		۳/۲	۱۱/۶	۳/۰	۰/۲	۶/۵	۵/۵
ضریب‌تغییرات		۰/۷	۰/۳	۰/۴		۱/۲	۰/۵	۱/۸	۰/۰۲	۰/۲	۰/۳

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. نتایج رگرسیون خطی ساده بین درصد رطوبت در ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دایم و آب قابل استفاده با برخی از ویژگی‌های خاک

پارامتر	ظرفیت مزرعه	نقطه پژمردگی دایم	آب قابل استفاده
درصد شن	-۰/۹۲**	-۰/۸۴**	-۰/۸۲**
درصد سیلت	۰/۸۹**	۰/۸۵**	۰/۶۹**
درصد رس	۰/۶۰ns	۰/۴۸ns	۰/۶۷*
درصد موادآلی	۰/۸۲**	۰/۸۵**	۰/۳۸ns
CEC	۰/۹۲**	۰/۹۳**	۰/۴۷ns

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد.

اریدی سول، اینسپتی سول، مولی سول، آلفی سول و ورتی سول را شامل می‌شود. pH این خاک‌ها بین ۷/۳ تا ۷/۹ می‌باشد و هدایت الکتریکی آنها نشان می‌دهد که خاک‌ها، به جز خاک رودشت، جزو خاک‌های غیرشور محسوب می‌شوند. بنابراین، استفاده از مدل‌های تخمین حدود رطوبتی برای این خاک‌ها، با توجه به اندک بودن سهم پتانسیل اسمزی در قابلیت استفاده آب خاک، امکان‌پذیر است (۴). براساس ضریب تغییرات ارائه شده در جدول ۱، بیش‌ترین تنوع مربوط به هدایت الکتریکی (۱/۸)، و کم‌ترین آن مربوط به pH (۰/۰۲) می‌باشد.

مدل تخمین FC

ابتدا هم‌بستگی ساده خطی بین درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید. نتایج نشان داد که بین درصد رطوبت جرمی در ظرفیت زراعی با تمام پارامترها، بجز درصد رس، هم‌بستگی معنی‌دار (در سطح ۰/۰۱) وجود دارد (جدول ۲). از بین پارامترهای مورد مطالعه، شن و ظرفیت تبادل کاتیونی بیش‌ترین هم‌بستگی را دارند. وجود این هم‌بستگی‌ها با نتایج ارائه شده به وسیله پژوهشگران دیگر مطابقت دارد (۷، ۹، ۲۱ و ۲۳). بین مقدار آب در نقطه ظرفیت زراعی و درصد رس، هم‌بستگی معنی‌داری مشاهده نگردید، که تنها با نتایج ارائه شده به وسیله فیلیپسون و دراسداف (۱۸) مطابقت دارد. چنین به نظر می‌رسد که عدم هم‌بستگی بین FC و درصد رس، ناشی از تنوع نوع رس در خاک‌های مورد مطالعه است.

از آن جا که بررسی هم‌بستگی‌های ساده نشان می‌دهد که درصد رطوبت در ظرفیت زراعی، با بیش از یک پارامتر هم‌بستگی معنی‌دار دارد، بنابراین استفاده از یک مدل چند متغیره ممکن است تخمین دقیق‌تری از درصد رطوبت ظرفیت زراعی ارائه کند. این عمل از طریق رگرسیون چند متغیره مرحله به مرحله صورت گرفته، و نشان داد که درصد شن، ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد ماده آلی به ترتیب وارد مدل شده و میزان هم‌بستگی مدل چند متغیره افزایش می‌یابد (جدول ۳). در جدول ۳ ضرایب متغیرها، ضریب هم‌بستگی و خطای استاندارد، برای مراحل مختلف ورود پارامترهای نام‌برده به مدل نشان داده شده است. معادله چند متغیره نهایی که برای تخمین FC، پس از ورود سه متغیر به مدل به دست می‌آید، به صورت زیر است.

$$FC = ۲۶/۰۸ - ۰/۲۲\,Sand\% + ۰/۶\,OM\% + ۰/۲\,CEC \qquad [۱]$$

که:

$r = ۰/۹۷^{**}$

Sand% = درصد شن

OM% = درصد مواد آلی خاک

r = ضریب هم‌بستگی

به طور کلی، نتایج رگرسیون مرحله به مرحله نشان می‌دهد که ورود پارامترهای بیش‌تر به معادله، تخمین دقیق‌تری از FC را به همراه دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج رگرسیون چند متغیره بین درصد رطوبت در ظرفیت زراعی (FC) و برخی ویژگی‌های خاک

پارامتر	ضریب اجزای معادله	خطای استاندارد	ضریب هم‌بستگی
درصد شن	-۰/۳۳Sand%	۱۲/۶۸	۰/۸۵
CEC	-۰/۲۲Sand%+۰/۲۸CEC	۵/۴۳	۰/۹۴
درصد موادآلی	-۰/۲۲Sand%+۰/۱۹CEC+۰/۶OM%	۲/۶۰	۰/۹۷

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس مدل نهایی رگرسیون چند متغیره FC

منبع	df	SS	MS	F
مدل	۳	۹۱۱/۶۷	۳۰۳/۸۲	۱۱۶/۸۳**
خطا	۱۹	۴۹/۴۱	۲/۶۰	

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

مدل تخمین PWP

در جدول ۲ نتایج هم‌بستگی‌های ساده خطی بین درصد رطوبت جرمی در نقطه پژمردگی دایم (PWP)، با هر یک از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی ارائه شده است. چنان که ملاحظه می‌شود، PWP با درصد شن، درصد سیلت، درصد مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی هم‌بستگی معنی‌دار (در سطح ۰/۰۱) دارد. درصد رس با درصد رطوبت در PWP نیز مانند FC ارتباط معنی‌داری ندارد، که با نتایج فیلیپسون و دراسداف (۱۸) مشابهت دارد. بیش‌ترین ضریب هم‌بستگی مربوط به ظرفیت تبادل کاتیونی است.

در مورد نقطه پژمردگی دایم نیز مانند ظرفیت زراعی، بیش از یک متغیر دارای هم‌بستگی معنی‌دار بوده و بنابراین، استفاده از رگرسیون چند متغیره مرحله به مرحله اجتناب‌ناپذیر است، تا تخمین دقیق‌تری از PWP به دست آید. در جدول ۵ مراحل مختلف ورود متغیرها به مدل تخمین PWP نشان داده شده است. چنان که ملاحظه می‌شود، به ترتیب با ورود ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد سیلت و درصد مواد آلی به مدل، میزان هم‌بستگی مدل چند متغیره افزایش می‌یابد. مدل چند متغیره نهایی برای تخمین PWP، که پس از ورود سه متغیر به دست می‌آید، به صورت زیر است :

$$PWP = ۲/۶۸ + ۰/۱۳Silt\% + ۰/۴OM\% + ۰/۲۹\ CEC \quad r = ۰/۹۵^{**} \qquad [۲]$$

در جدول ۶ تجزیه واریانس رگرسیون برای مراحل فوق نشان داده شده است.

تخمین آب قابل استفاده [1] (AWC)

مطالعه هم‌بستگی ساده برای آب قابل استفاده خاک نیز انجام گردید (جدول ۲). چنان که ملاحظه می‌شود، ضرایب هم‌بستگی برای آب قابل استفاده به مراتب پایین‌تر از ضرایب هم‌بستگی مشابه برای FC و PWP است. بررسی مدل چند متغیره نیز نشان داد تنها شن وارد مدل می‌شود. این مدل به صورت زیر است :

$$AWC = ۰/۱\ Sand\% \qquad r = ۰/۸۲^{**} \qquad [۳]$$

به طور خلاصه می‌توان گفت، اگر چه پتانسیل ۱۵۰۰-کیلو پاسکال به صورت قراردادی حد پژمردگی دایم نام گرفته است، لیکن این حد، علاوه بر خاک، به نوع گیاه و اقلیم نیز بستگی داشته، و برای یک خاک مشخص نمی‌توان یک عدد واقعی ثابت ارائه نمود (۱۱). از طرف دیگر، حد ظرفیت زراعی (FC)، یک عدد واقعی‌تر است، که برای یک خاک مشخص تقریباً ثابت

1. Available Water Content

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. نتایج رگرسیون چند متغیره بین درصد رطوبت در نقطه پژمردگی دایم (PWP) و برخی از ویژگی‌های خاک

پارامتر	ضریب اجزای معادله	MSE	r
CEC	۰/۴۲ CEC	۸/۰۱	۰/۸۷
درصد سیلت	۰/۳۲CEC + ۰/۱۹ Silt	۴/۷۲	۰/۹۳
درصد مواد آلی	۰/۲۹ CEC + ۰/۱۳ Silt + ۰/۴۰ OM	۳/۹۳	۰/۹۵

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس مدل نهایی رگرسیون چند متغیره PWP

منبع	df	SS	MS	F
مدل	۳	۶۲۷/۷۱	۲۰۹/۲۴	۵۳/۳۰**
خطا	۱۹	۷۴/۵۹	۳/۹۳	

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

است (با این فرض که پس از مدت معینی، مثلاً ۲ تا ۳ روز پس از آبیاری، میزان زهکشی به صفر نزدیک می‌شود). به علاوه، در سیستم‌های کشاورزی فاریاب، آبیاری عملاً مانع از رسیدن رطوبت خاک به PWP می‌شود، و گیاهان به طور طبیعی با FC بیش‌تر روبه‌رو می‌شوند. هم‌چنین، محاسبه عمق آبیاری، بر مبنای رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی صورت می‌گیرد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود مدل ارائه شده برای تخمین FC (معادله ۱)، در مناطق مورد مطالعه استفاده گردد.

سپاسگزاری

هزینه انجام این تحقیق به وسیله دانشگاه صنعتی اصفهان تأمین شده است، که بدین وسیله سپاسگزاری می‌گردد. هم‌چنین، از جناب آقای دکتر سیدفرهاد موسوی برای پیشنهادهای ارزنده ایشان تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. سپاسخواه، ع. و ح. بندار. ۱۳۷۸. تعیین منحنی کامل مشخصه آب خاک توسط خصوصیات فیزیکی خاک. خلاصه مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران ، دانشگاه فردوسی. مشهد ص ۳۱۱.

2. Afyuni, M., D. K. Cassel and W. P. Robarge. 1993. Effects of landscape position on soil water and corn silage yield. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 1573-1580.

3. Cassel, D. K., L. F. Ratliff and J. T. Rit. 1983. Models for estimating in-situ potential extractable water using soil physical and chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 764-769.

4. Degong, R. and J. A. Shields. 1988. Available water holdig capacity maps of Alberta, Saskatchewan and Manitoba. Can. J. Soil Sci. 68: 157-163.

5. Emerson, W. W. 1995. Water retention, organic C and soil texture. Aus. J. Soil. Res. 17: 45-56.

6. Emerson, W. W., R. C. Foster, J. M. Tisdal and D. Weissmann. 1994. Carbon content and bulk density of irrigated natrixeralf in relation to three root growth and orchard management. Aus. J. Soil Res. 13: 31-39.

7. Epebinue, O. and B. Nwadialo. 1994. Predicting soil water availability from texture and organic matter content for Nigerian soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24 (7&8): 633-640.

www.SID.ir

Archive of SID

8. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. *In*: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1., Am. Soc. Agrom. 9: 383-411.
9. Gupta, S. C. and W. E. Larson. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density. Soil Sci. 15: 1633-1637.
10. Kern, J. S. 1995. Geografic pattern of soil water-holding capacity in the contiguous United States. Soil Sci. Soc. Am J. 59: 1126-1133.
11. Klute, A. 1986. water retention: Laboratory methods. *In*: A. Klute(Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1, Am. Soc. Agron. 9: 635-662.
12. Lund, Z. F. 1959. Available water holding capacity of alluvial soils in Luisiana. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 1-3.
13. Manrique, L. A., C. A. Jons and P. T. Dyke. 1991. Predicting soil water retention characteristics from soil physical and chemical properties. Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 22 (17&18): 1847-1860.
14. Mclean. A. H. and T. U. Yager. 1972. Available water capacity of Zambian soils in relation to perssure plate measurement and particle size analysis. Soil Sci. 113: 23-29.
15. Nelson, D. W. and L. P. Sommers. 1986. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In*: A. C. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Am. Soc. Agron. 9: 539-579.
16. Peterson, G. W., R. L. Cunningham and R. L. Matelski. 1968. Moisture characteristics of Pennsylvanian soil. I. Moisture retention as related to texture. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32: 271-275.
17. Peterson, G. W., R. L. Cunningham, and R. L. Matelski. 1968. Moisture characteristics of Pennsylvanian Soil. II. Soils factors affecting moisture retention characteritics within a textural class silt loam. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32: 866-870.
18. Philipson, W. R. and M. Drosdoff. 1972. Relationships among physical and chemical properties of representative soils of the tropic from Peurto Rico. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32: 866-870.
19. Rawls, W. J., D. L. Brakensiek and K. E. Saxton. 1982. Estimation of soil water properties. Trans. ASAE 25: 1316-1320.
20. Rhoads, J. W. 1986. Cation exchange capacity. *In*: A. C. Page (Ed.), Methods of Soil Anal. Part 2, Am. Soc. Agron. 9: 149-158.
21. Rivers, E. D. and R. F. Shipp. 1972. Available water capacity of sandy and gravely North Dakota soils. Soil Sci. 113: 74-80.
22. Russel, E. W. 1985. Soil Condition and Plant Growth. Longman, New York. pp. 429-441.
23. Saxton, L. E., W. J. Rawls, J. S. Romberger and R. I. Papendick. 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. Soil Sci. Am. J. 50: 1031-1036.
24. Wu, L., J. A. Vomocil and S. W. Childs. 1990. Pore size, particle size and aggregate size and water retention. Soil. Sci. Soc. Am. J. 54: 952-956.

www.SID.ir