

اثر کشت بر رطوبت قابل دسترس خاک با استفاده از توابع انتقالی پارامتریک

حسام آریان‌پور^{۱*} و مهدی شرفا^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۹)

چکیده

کشت و کار با ایجاد تغییرات در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند رطوبت قابل دسترس خاک که تابعی از شرایط فوق‌الذکر است را تحت تأثیر قرار دهد. به منظور بررسی تأثیر دست‌خوردگی خاک (کشت) بر رطوبت حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم، توابع انتقالی پارامتریک در خاک‌های دست‌نخورده ایجاد شد تا به وسیله این توابع بتوان تغییرات رطوبت خاک‌های جفت تحت کشت آنها را پیش‌بینی کرد. بدین منظور ۵۴ نمونه خاک از اراضی کشت نشده و جفت تحت کشت مجاور آنها در منطقه آبیک قزوین انتخاب و خصوصیات زودیافت آن شامل توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل، جرم مخصوص ظاهری، ظرفیت تبادل کاتیونی و واکنش خاک اندازه‌گیری شد. رطوبت با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. توابع پارامتریک با روش رگرسیون چندگانه خطی برای پارامترهای معادله ون گنوختن - معلم به دست آمده از نرم افزار RETC، در نواحی کشت نشده ایجاد شدند. با استفاده از این توابع، میزان رطوبت در نواحی تحت کشت برآورد و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. نتایج نشان داد که این توابع در نقطه پژمردگی دائم نسبت به حد ظرفیت مزرعه از ضریب هم‌بستگی بالاتری برخوردارند. به طوری که ضریب هم‌بستگی از ۰/۶۷ به ۰/۸۳ افزایش و هم‌چنین ریشه میانگین مربعات خطاها (RMSE) از ۲/۵۹ به ۱/۰۶ کاهش می‌یابد. و رطوبت قابل دسترس خاک را بیشتر از میزان واقعی برآورد می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: رطوبت حد ظرفیت مزرعه، رطوبت نقطه پژمردگی دائم، مدل وان گنوختن - معلم

۱. گروه خاک‌شناسی (فیزیک خاک)، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. گروه خاک‌شناسی (فیزیک خاک)، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hesam_aryanpour@alumni.ut.ac.ir

مقدمه

را به صورت زیر بیان کردند: ۱- با استفاده از این پارامترها به سادگی می‌توان مقایسات کارآمدی بین خاک‌ها انجام داد و ۲- در این توابع لازم نیست که متغیر وابسته در سطوح از پیش تعیین شده پتانسیل آب خاک اندازه‌گیری گردد. از مهم‌ترین توابع انتقالی موجود داخلی به منظور برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی می‌توان به مدل اول و دوم قربانی و همایی (۹) و مدل سپاسخواه و بندار (۱۸) اشاره کرد. هر سه تابع انتقالی پارامتریک بیان شده، رابطه وان گنوختن (۱۹۸۰) را به عنوان مدل تبیین کننده رابطه $(\theta-h)$ می‌پذیرند. کریستن و همکاران (۸) توابع انتقالی نقطه‌ای و پارامتریک را به منظور پیش بینی منحنی رطوبتی در خاک‌های دانمارک ارائه دادند. آنها پارامترهای مدل وان گنوختن را برآورد کردند. آنالیزها در هفت کلاس بافتی صورت گرفت.

در این مطالعه از شبکه عصبی به منظور دستیابی به توابع انتقالی استفاده شد متغیرهای مستقل به کار رفته شامل چگالی و ماده آلی خاک می باشد. مانیام و همکاران (۱۴) خصوصیات هیدرولیکی خاک‌های شنی نیجر را با استفاده از توابع انتقالی مدل‌سازی کردند. آنها بدین منظور سه نوع تابع انتقالی کمپل، وان گنوختن و واکلین را به منظور تخمین منحنی نگهداشت آب خاک در خاک‌های شنی دو روستا در نیجر به کار بردند. نتایج نشان داد که توابع انتقالی کمپل $RMSE$ یا خطای ریشه میانگین مربعات خطا $(0.05 - 0.06 m^3 \cdot m^{-3})$ کمتری را برای خاک‌هایی که محتوی شن بیشتری بودند نسبت به وان گنوختن $(0.06 - 0.07 m^3 \cdot m^{-3})$ نشان می‌دهد. توابع انتقالی وان گنوختن برای رژیم‌های خشک منطقه تخمین بیشتری از واقعیت نشان می‌داد اما در رژیم‌های مرطوب منطقه عملکرد خوبی داشت یعنی مقادیر رطوبت برآورد شده از توابع ایجاد شده، از مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در رژیم‌های خشک اعداد بزرگتری را نشان می‌داد در حالی که در رژیم‌های مرطوب اعداد اندازه‌گیری شده و برآورد شده از توابع، تطابق بیشتری داشتند. کای هوا و همکاران (۱۳) خصوصیات منحنی رطوبتی خاک و تغییرات فاصله‌ای آن را با استفاده از توابع

با توجه به این که در مناطق خشک و نیمه خشک کشورمان، در بخش وسیعی از اراضی تحت کشت مشکل کمبود آب وجود دارد این ضرورت به وجود می‌آید که بتوان با ایجاد توابع انتقالی، میزان فراهمی آب را با صرف وقت و هزینه کمتر در اراضی تحت کشت برآورد کرد. از طرفی، تشدید فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی موجب کاهش کیفیت خاک و آب شده است. جهت بررسی این کاهش کیفیت، مدل‌های تجربی و ریاضی بسیاری برای شبیه سازی حرکت آب در منطقه اشباع و غیر اشباع خاک ارائه شده است. رطوبت قابل دسترس خاک خصوصیت کلیدی در حوزه هیدرولیک خاک به شمار می‌رود. اندازه‌گیری این خصوصیت توسط روش‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای که به روش‌های مستقیم شناخته شده‌اند، بسیار پرهزینه و وقت گیر است، بنابراین استفاده از روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری خواص هیدرولیکی خاک‌های مناطق مختلف، که به شکل قابل قبولی ارزان، سریع و قابل دسترس هستند، منطقی به نظر می‌آید.

توابع انتقالی یکی از روش‌های غیرمستقیم تعیین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک است که با استفاده از معادلات رگرسیونی و یا شبکه عصبی مصنوعی بین پارامترهای دیرپافت خاک مانند منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی و پارامترهای زودپافت خاک مانند بافت، چگالی ظاهری و مقدار ماده آلی که اندازه‌گیری آنها آسان، سریع و کم هزینه است و در پژوهش‌های خاک‌شناسی متداول‌اند، ارتباط برقرار می‌کنند. توابع انتقالی اولین بار توسط بوما (۶) پیشنهاد و در مسائل مربوط به فیزیک خاک به کار گرفته شدند. پس از تعریف ظرفیت مزرعه توسط ویهمایر و هندریکسون (۱۰)، پژوهش‌های انجام شده در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ در این راستا بوده است تا بین فراوانی نسبی ذرات، جرم ویژه ظاهری و ماده آلی خاک و مقدار رطوبت در ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و مقدار آب قابل دسترس ارتباط برقرار کنند (۲۱). ویرکین و همکاران (۲۲) محاسن توابع انتقالی پارامتریک

انتقالی را با ارزیابی عملکرد ضعیف توابع توسعه یافته برای مناطق معتدل در نواحی گرمسیری خاطر نشان ساختند. از مهم‌ترین توابع انتقالی ارائه شده تا کنون در مورد تأثیر کشت می‌توان به توابع ارائه شده توسط جارویس (۱۲)، بل و وان کولن (۴) اشاره کرد. بل و وان کولن (۴) تأثیر به‌هم‌خوردگی خاک را بر توابع انتقالی در ظرفیت مزرعه مورد بررسی قرار دادند آنها به این نتیجه رسیدند که توابع انتقالی که برای ظرفیت مزرعه از نمونه‌های درجا توسعه یافته بود می‌تواند در مدل‌های مشابه برای نمونه‌های به‌هم‌خورده تا ۸۹ درصد کارا باشد هم‌چنین استفاده از معادلات رگرسیونی بدست آمده برای مکش‌های کم (ظرفیت مزرعه) از نمونه‌های دست‌نخورده فقط برای خاک‌های با بافت درشت نتیجه خوبی داشت و اگر از این توابع در پیش بینی میزان رطوبت سایر خاک‌ها استفاده می‌شد میزان آن را بیشتر نشان می‌داد.

جارویس و همکاران (۱۲) با استفاده از ویژگی‌های زودیافت شامل میانگین هندسی قطر ذرات، فراوانی نسبی ذرات، مقدار کربن آلی، جرم ویژه ظاهری و تخلخل مؤثر توانستند توابع انتقالی به منظور برآورد رطوبت در نقطه پتانسیلی ۱۰- سانتی متر ایجاد کنند. نتایج آنها نشان داد توابعی که به طور همزمان در آنها از خاک‌های زراعی و غیر زراعی استفاده شد ۱۲ تا ۱۹ درصد از تغییرات خصوصیات هیدرولیکی خاک را توجیه می‌کند و با محدود کردن توابع بر روی خاک‌های غیر زراعی، ضریب تبیین رگرسیون به ۲۶ تا ۴۴ درصد افزایش می‌یابد که علت این افزایش را در اثر فعالیت‌های کشاورزی دانسته‌اند که به موجب آن نوسانات ساختمان خاک‌های زراعی را سبب شده است. مک براتنتی و همکاران (۱۵) داده‌های لازم برای ایجاد توابع انتقالی را در سال ۲۰۱۱ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان کردند که اگرچه توابع انتقالی از ۲۵ سال پیش منتشر شده‌اند اما بیشتر توابع ایجاد شده در محدوده اندکی قابل استفاده هستند. آنها سه نوع جدول ارائه کردند که به همراه هر تابع منتشر شده استفاده شود، به طوری که کاربران بتوانند تصمیم بگیرند آیا می‌توانند

انتقالی تعیین کردند. برای ایجاد توابع انتقالی نقطه‌ای و پارامترهای مدل وان‌گنوختن از رگرسیون خطی چندگانه استفاده شده بود. از روش اعتبارسنجی معکوس برای ارزیابی صحت توابع انتقالی ایجاد شده استفاده شد. همان طور که بیان شد رطوبت حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم تابعی از بافت و ساختمان خاک است. کشت یا شخم با تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منجمله بافت، ساختمان و توزیع خلل و فرج خاک می‌تواند رطوبت قابل دسترس خاک را دستخوش تغییرات کند. جهت بررسی این تغییرات می‌توان از توابع انتقالی ایجاد شده در خاک‌های کشت نشده مجاور آن‌ها استفاده کرد. در واقع مبحث بسط و تعمیم کاربرد توابع انتقالی مشتق شده از روی خاک‌های منطقه‌ای خاص برای مناطق دیگر هنوز به طور قطعی رد یا تأیید نشده است. توابع انتقالی ممکن است جهت تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک‌هایی که این خصوصیات در آنها در دسترس نمی‌باشند به‌کار برده شود مشروط بر این‌که خاک‌هایی که این توابع از آنها اشتقاق یافته‌اند مشابه خاک‌های مورد مطالعه باشند.

یعنی اگر خاکی که قرار است خصوصیات دیریافت آن مانند منحنی رطوبتی با استفاده از توابعی که در خاک‌های متفاوت با آن ایجاد شده است برآورد شود به نتیجه قابل قبولی در برآورد پارامتر مورد نظر رسیده نخواهد شد مگر این‌که خصوصیات آن مشابه خصوصیات خاکی باشد که این توابع از آنها اشتقاق یافته‌اند. با توجه به این که میزان رطوبت در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم در خاک‌های زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است در این مطالعه سعی شده تا تأثیر کشت با استفاده از این توابع، در تغییر رطوبت در این دو نقطه پتانسیلی بررسی شود و این‌که این تغییر چه تأثیری بر برآورد رطوبت در این دو نقطه پتانسیلی داشته است. بنابراین اگر توابع ایجاد شده در خاک‌های دست‌نخورده بتوانند تخمین قابل قبولی از رطوبت در نواحی تحت کشت داشته باشند می‌توان تأثیر کشت را در تغییر خصوصیات خاک ناچیز دانست. توماسلا و هودنت (۱۹) اثر منطقه‌ای بودن خصوصیات توابع

سیلندری، کربنات کلسیم به روش کلسیمتری (نلسون ۱۹۸۹)، درصد ماده آلی به روش والکللی و بلک (۱۹۳۴)، فراوانی نسبی ذرات به روش هیدرومتری (گی و بادر ۱۹۸۶)، واکنش خاک در عصاره ۱ به ۵ (تامز ۱۹۹۶) و ظرفیت تبادل کاتیونی با روش استات سدیم (سامنر و میلر ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد. میزان رطوبت در پتانسیل‌های ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و به ترتیب در مکش‌های ۰/۳۳ و ۱۵ بار قرائت گردید.

نتایج و بحث

خلاصه نتایج مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جهت ایجاد توابع انتقالی در این مطالعه، از مدل وان گنوختن - معلم استفاده گردید، بر این اساس ابتدا با استفاده از نرم افزار RETC پارامترهای معادله وان گنوختن شامل $(\theta_r, \theta_s, \alpha, n)$ با در نظر گرفتن $m=1-1/n$ محاسبه شد. برنامه Retc مخفف Retention Curve می‌باشد یک برنامه کامپیوتری است که برای آنالیز یا برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک‌های غیراشباع استفاده می‌شود. این برنامه از توابع انتقالی با ماهیت شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده می‌کند و پارامترهای موجود در توابع را به روش حداقل مربعات خطا برآورد می‌کند. در این برنامه یک سری عملیات تکراری صورت می‌گیرد تا جایی که پارامترهای برآورد شده به مقادیر ثابت با کمترین خطای ممکن تبدیل شوند (۱). در جدول ۳ دامنه تغییرات پارامترهای معادله وان گنوختن - معلم در خاک‌های دست نخورده (کشت نشده) ارائه شده است.

جهت ایجاد توابع انتقالی، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده نرم افزار Minitab تست شد (۱۷). غیر نرمال بودن توزیع داده‌ها آزمون‌های فرض را غیرمعتبر می‌سازد چون این آزمون بر فرض نرمال بودن داده‌هاست. در ضمن باید توجه کرد که اگر بین متغیرهای مستقل وارد شده به توابع، وابستگی خطی قوی مشاهده شود، همراستایی چندگانه به وجود می‌آید. وجود

به طور بالقوه از توابع انتقالی ارائه شده در منطقه‌ای خاص استفاده کنند. جدول اول شامل داده‌های پایه‌ای از مشاهدات و اندازه‌گیری‌های آن ناحیه است مانند میزان شن و رس یا جرم مخصوص ظاهری و... . جدول دوم شامل متغیرهای وابسته‌ای است که توسط توابع پیش‌بینی می‌گردند مانند میزان رطوبت در مکش‌های مختلف و جدول سوم شامل داده‌های اندازه‌گیری شده متغیر وابسته است که به منظور ارزیابی توابع ایجاد شده استفاده می‌شود. در این مطالعه سعی شد تا هر سه نوع جدول نامبرده شده ارائه گردد تا بیان شود که تا چه اندازه می‌توان از توابع انتقالی پارامتریکی که برای خاک‌های دست نخورده با استفاده از مدل ون گنوختن (۲۰) ایجاد شده است در پیش‌بینی میزان رطوبت خاک‌های تحت کشت همان منطقه بهره برد یا این که کشت به چه اندازه توانسته در محتوای رطوبت نگهداری شده در خاک در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم تأثیرگذار باشد و علت این تغییرات نیز بیان شود. همان طور که گفته شد در بخش‌های وسیعی از اراضی خشک و نیمه خشک کشورمان مشکل کمبود آب وجود دارد و از طرفی رطوبت قابل دسترس خاک، سهم عمده‌ای در تولید محصول دارد. بنابراین این ضرورت بوجود آمد تا در این اراضی تغییرات رطوبت قابل دسترس بررسی شود. از طرفی کشت با ایجاد تغییر در خصوصیات خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف ما از این پژوهش بررسی اثر کشت در تغییر ظرفیت نگهداری رطوبت قابل دسترس خاک با استفاده از توابع انتقالی بوده و این که چه تغییراتی در اثر کشت در خاک به وجود آمده که سبب تغییر ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۲۲ نمونه خاک به روش نمونه برداری تصادفی از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی متر، از مزارع تحت کشت و ۳۲ نمونه از اراضی جفت مجاور آن که تحت کشت نبودند در منطقه آبیگ قزوین انتخاب شد. جرم مخصوص ظاهری با روش

جدول ۱. رطوبت اندازه‌گیری شده در حالت‌های تحت کشت و کشت نشده

خاک های تحت کشت			خاک دست نخورده			خصوصیات خاک
حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	
۳۲/۱	۴۰/۱	۳۶/۹	۳۳/۸	۴۴/۴	۳۸/۴	درصد رطوبت وزنی اشباع
۱۸/۲	۲۱/۲	۱۹/۵	۱۹/۳	۲۲/۴	۲۰/۹	درصد رطوبت وزنی حد ظرفیت مزرعه
۸/۵	۱۱/۳	۱۰/۳	۸/۵	۱۰/۶	۹/۵	درصد رطوبت وزنی نقطه پژمردگی دائم

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

اختلاف میانگین	خاک های تحت کشت			خاک دست نخورده			خصوصیات خاک
	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	
۰/۴ ^{ns}	۲۱/۸	۲۷/۴	۲۵/۲	۲۰/۱	۳۰/۰	۲۴/۸	شن (%)
-۰/۸ ^{ns}	۴۰/۴	۴۶/۳	۴۳/۳	۴۰/۴	۴۹/۳	۴۴/۱	سیلت (%)
۰/۹ ^{ns}	۲۶/۹	۳۴/۰	۳۱/۶	۲۳/۱	۳۹/۰	۳۰/۷	رس (%)
-۰/۰۷ ^{ns}	۰/۴۰	۰/۶۸	۰/۵۳	۰/۴۰	۰/۷۰	۰/۶۰	ماده آلی (%)
-۴ ^{**}	۱۲/۹	۱۶/۴	۱۴/۰	۱۷/۰۳	۱۸/۸۱	۱۸/۰	کربنات کلسیم (%)
۰/۰۸ [*]	۱/۴۰	۱/۶۰	۱/۵۲	۱/۴۰	۱/۵۰	۱/۴۴	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)
-۱/۶ ^{ns}	۱۲/۲۰	۱۳/۹۰	۱۲/۹۰	۱۳/۸۰	۱۵/۶۰	۱۴/۵۰	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی اکی والان در صد گرم)
-۰/۲ ^{ns}	۷/۸۰	۸/۲۰	۸/۰۰	۸/۲۰	۸/۳۰	۸/۲۰	واکنش خاک (۵:۱)

جدول ۳. دامنه تغییرات پارامترهای معادله وان گنوختن-معلم در خاک‌های دست نخورده

$\tau\theta$	$s\theta$	α	n
۰/۰۱۱-۰/۰۸۸	۰/۳۱۸-۰/۴۲۴	۰/۰۲۱۳-۰/۰۵۲۵	۱/۲۱۴-۱/۴۷۸

بدست آمده برای پارامترهای معادله وان گنوختن-معلم در جدول ۴ آورده شده است.

Bd (g.cm^{-3}) جرم مخصوص ظاهری و Silt, Sand و Clay به ترتیب شن و سیلت و رس (درصد) و CaCO_3 کربنات کلسیم (درصد) و CEC ظرفیت تبادل کاتیونی (meq.100g^{-1})، O.C کربن آلی خاک، pH و واکنش خاک، $\theta_r, \theta_s, \alpha$ و n پارامترهای معادله وان گنوختن می‌باشند.

جهت برآورد رطوبت در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم خاک‌های تحت کشت، ابتدا خصوصیات زود

همراستایی چندگانه نتایج رگرسیون را غیرمعتبر نمی‌سازد اما می‌تواند دشواری‌هایی را به دنبال داشته باشد مثلاً ضرایب رگرسیون برخلاف آن چه انتظار می‌رود برآورد می‌شوند (۲). در تجزیه رگرسیون داده‌های مربوط به فراوانی نسبی ذرات، هم‌بستگی خطی نشان دادند که برای رفع آن به جای درصد رس و سیلت از نسبت رس به سیلت استفاده گردید که باعث رفع هم‌بستگی به وجود آمده شد. پس از تصحیح همراستایی چندگانه بین متغیرهای مستقل با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه، متغیرها انتخاب و وارد مدل شدند. توابع پارامتریک

جدول ۴. توابع پارامتریک ایجاد شده در خاک‌های دست نخورده برای پارامترهای معادله وان گنوختن - معلم

شماره	تابع پارامتریک در خاک‌های دست نخورده	R ² _{adj}
1	$\theta_s = -0.786 + 0.108 \text{ clay/silt} - 1.005 \text{ Bd} + 0.551 \text{ OC} - 0.10 \text{ CEC} + 0.446 \text{ PH}$	0.69
2	$\theta_r = 1.351 + 0.049 \text{ clay/silt} - 0.344 \text{ Bd} + 0.060 \text{ OC} - 0.006 \text{ CaCo3} - 0.056 \text{ CEC}$	0.77
3	$\alpha = -1.211 - 0.035 \text{ clay/silt} + 0.213 \text{ Bd} - 0.007 \text{ CaCo3} + 0.134 \text{ pH}$	0.47
4	$n = 9.927 + 0.374 \text{ clay/silt} - 2.034 \text{ Bd} + 0.052 \text{ CaCo3} - 0.835 \text{ pH}$	0.62

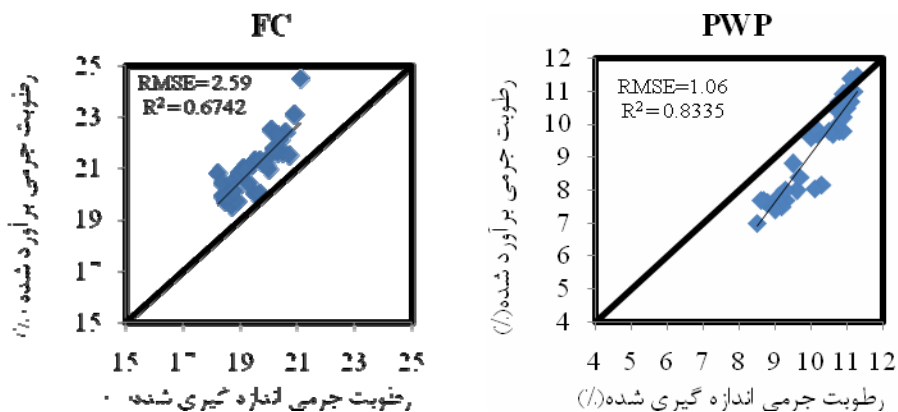
کمی را نشان می‌دهد به طوری که از این مقایسه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کشت یا به عبارت دیگر شخم و زراعت تأثیری بر روی ذرات تشکیل دهنده خاک یا همان بافت خاک در این منطقه نداشته است. درصد آهک در نواحی تحت کشت میانگین کمتری نسبت به نواحی دست نخورده نشان می‌دهد شاید بتوان دلیل این موضوع را به تأثیر آبیاری بر شستشوی آهک از خاک در نواحی کشت شده دانست. در نتیجه در مکش‌های بالا خصوصاً نقطه پژمردگی دائم که رطوبت نگهداری شده در خاک بیشتر وابسته به منافذ ریز خاک و رطوبت جذب شده در سطح ذرات خاک است با توجه به یکسان بودن فراوانی نسبی ذرات تشکیل دهنده خاک‌های تحت کشت و دست نخورده، در خاک‌های آهکی این منطقه متوجه میزان آهک بالای آنها می‌شود. خاصیت جذب سطحی آهک نسبت به ذرات هم قطر خود کمتر است و حتی وقتی در اندازه ذراتی مثل رس ظاهر می‌شود در نگهداری رطوبت رفتاری همانند شن و سیلت دارد که با نتایج بلانک و فوسبر (۵) مطابقت داشت. همان طور که در معادله ارائه شده جهت برآورد رطوبت باقی مانده در جدول ۳ دیده شد آهک با ضریب منفی وارد تابع ارائه شده برای رطوبت باقی مانده (θ_r)، گردیده و هر چه مقدار آن افزایش می‌یابد از میزان رطوبت خاک در مکش‌های بالا کاسته می‌شود. راجکائی و همکاران (۱۶) از مدل چهار پارامتری وان گنوختن (۱۹۸۰) برای پیش بینی منحنی نگهداشت رطوبتی در ۳۰۵ نمونه از خاک‌های کشور مجارستان استفاده کردند و میزان کربنات کلسیم را بعنوان دومین متغیر مستقل مهم ورودی در توابع خود برای پیش بینی میزان

یافت خاک‌های تحت کشت در معادلات ارائه شده در جدول ۴ قرار داده شدند تا پارامترهای معادله وان گنوختن برآورد شوند. سپس پارامترهای برآورد شده از معادلات رگرسیون ارائه شده در جدول ۴، در معادله وان گنوختن قرار داده شدند.

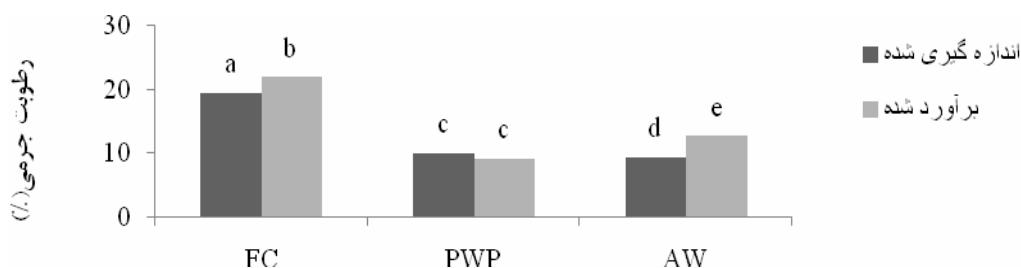
$$r + \theta_h = \theta \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m}, \quad m = 1 - 1/n, \quad n > 1 \quad [1]$$

در این مدل α , n و m پارامترهای شکل، h مکش مورد نظر، θ_s و θ_r به ترتیب میزان رطوبت اشباع، رطوبت باقی مانده و رطوبت در مکش مورد نظر هستند. رطوبت در مکش‌های ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از این معادلات برآورد شدند و با رطوبت اندازه‌گیری شده نواحی تحت کشت مقایسه گردیدند. نتایج نشان داد توابع پارامتریک ایجاد شده در خاک‌های دست نخورده در حد ظرفیت مزرعه برآورد بیشتر و در نقطه پژمردگی دائم برآوردی کمتری از میزان اندازه‌گیری شده در نواحی تحت کشت نشان می‌دهند (شکل ۱).

برآورد بیشتر توابع از رطوبت حد ظرفیت مزرعه و برآورد کمتر از رطوبت نقطه پژمردگی دائم خاک‌های تحت کشت، نشان‌دهنده این موضوع است که در اثر کشت توانایی خاک در نگهداری رطوبت در حد ظرفیت مزرعه کاهش و در رطوبت نقطه پژمردگی دائم افزایش یافته است. همان طور که در جدول ۱ دیده شد مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی نشان داد که در این منطقه فقط اختلاف میانگین جرم مخصوص ظاهری و میزان کربنات کلسیم در اثر کشت تغییر معنی‌داری کرده است. و سایر پارامترها تغییر معنی‌داری در اثر کشت نکرده‌اند. میانگین و دامنه تغییرات فراوانی نسبی ذرات خاک در دو حالت تحت کشت و عدم کشت اختلاف بسیار



شکل ۱. مقایسه رطوبت اندازه‌گیری شده با رطوبت برآورد شده با استفاده از توابع انتقالی پارامتریک در نواحی تحت کشت



شکل ۲. مقایسه رطوبت اندازه‌گیری شده و برآورد شده

توجه به این‌که جرم مخصوص ظاهری در خاک‌های تحت کشت بیشتر است سبب کاهش توانایی این خاک‌ها در نگهداری رطوبت در مکش‌های پایین شده است. بدیهی است رطوبت در مکش‌های پایین بیشتر تحت تأثیر ساختمان خاک است و متغیری که بیشتر از همه توانسته تأثیر ساختمان خاک را به صورت کمی نشان دهد جرم مخصوص ظاهری است که با نتایج قربانی (۳) نیز مطابقت دارد.

همان‌طور که در شکل ۱ دیده شد ضریب هم‌بستگی بین رطوبت اندازه‌گیری شده و برآورد شده در نقطه پژمردگی دائم بیشتر و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر از حد ظرفیت مزرعه است. در واقع توابع تخمین بهتری از رطوبت در نقطه پژمردگی دائم در خاک‌های تحت کشت داشته‌اند که این نشان‌دهنده تأثیر کمتر کشت روی نگهداری رطوبت در نقطه پژمردگی دائم است. همان‌طور که می‌دانیم در اثر عمل کشت یا همان عملیات کشاورزی پارامتری که بیشتر از بقیه دچار دست

رطوبت در پتانسیل ماتریک ۱۴۰۰- کیلو پاسکال معرفی نمودند. در نتیجه بیشتر بودن آهک در خاک‌های کشت نشده سبب کاهش توانایی این خاک‌ها در نگهداری رطوبت در نقطه پژمردگی دائم شده است. از دیگر تفاوت‌های موجود در این منطقه اختلاف جرم مخصوص ظاهری خاک در نواحی تحت کشت و عدم کشت است که همان‌طور که جدول ۱ دیده شد این خصوصیت در نواحی تحت کشت میزان بیشتری را نشان می‌دهد طبق نتایج کلیک (۷) عملیات کشت و کار سبب تخریب خاکدانه‌ها می‌گردد که این مسئله نیز افزایش جرم مخصوص ظاهری را در پی دارد. بیشتر بودن جرم مخصوص ظاهری در خاک‌های تحت کشت نشان‌دهنده تخلخل کمتر در این خاک‌ها و در نتیجه نگهداری رطوبت کمتر در مکش حد ظرفیت مزرعه شده است. همان‌طور که در معادله ایجاد شده جهت برآورد رطوبت اشباع دیده می‌شود جرم مخصوص ظاهری با ضریب منفی وارد معادله شده که این موضوع با

رطوبت نشان دادند در نتیجه رطوبت قابل دسترس خاک که تفاضل رطوبت در این دو نقطه پتانسیلی است بیشتر از میزان واقعی برآورد شد. در واقع برآورد بیشتر توابع دست نخورده از رطوبت نواحی تحت کشت نشان‌دهنده این موضوع است که کشت سبب کاهش رطوبت قابل دسترس خاک شده است.

سپاسگزاری

از همکاری مسئولین محترم دانشگاه تهران جهت در اختیار قراردادن امکانات و تسهیلات در جهت انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

خوردگی می‌شود ساختمان خاک است و بافت یا همان فراوانی نسبی ذرات تغییرات چندانی نمی‌کند به همین دلیل معادلات رگرسیونی ایجاد شده توانستند تخمین قابل قبولی از میزان رطوبت در مکش نقطه پژمردگی دائم بزنند چون در مکش‌های بالا رطوبت بیشتر وابسته به منافذ ریز است که در نتیجه بافت ایجاد می‌شود (۱۱). بنابراین تأثیر کشت بر افزایش رطوبت نقطه پژمردگی دائم کمتر از تأثیر آن بر کاهش رطوبت حد ظرفیت مزرعه بود به طوری که از نظر آماری تأثیر کشت بر افزایش رطوبت نقطه پژمردگی دائم معنی‌دار نبود که در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۲ رطوبت قابل دسترس اندازه‌گیری شده در نواحی تحت کشت را با مقادیر برآورد شده توسط توابع دست نخورده مقایسه می‌کند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، با توجه به این که توابع در حد ظرفیت مزرعه برآورد بیشتر و در نقطه پژمردگی دائم برآورد کمتری از

منابع مورد استفاده

۱. خالق پناه، ن. ۱۳۸۴. تعیین توابع انتقالی جهت برآورد منحنی رطوبتی تعدادی از خاک‌های شور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه خاک‌شناسی، دانشگاه تهران، کرج.
۲. رضایی، ع. و ا. سلطانی. ۱۳۸۲. مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. قربانی دشتکی، ش. ۱۳۸۱. تعیین توابع انتقالی خاک بر مبنای توزیع هندسی تخلخل خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
4. Bell, M.A. and H. Van Keulen. 1995. Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 59: 865-871.
5. Blank, R.R. and M. A. Fosber. 1990. Micromorphology and classification of secondary calcium carbonate accumulations that surround or occur on the outside of coarse fragment in Idaho (U.S.A.). PP. 340-359. *In: L.A. Douglas, Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science. Elsevier Science Pub. Co. Inc., New York, USA.*
6. Bouma, J., P. J.M. de Laat, R.H.C.M. Awater, H.C. van Heesen, A.F. van Holst and TH. J. van de Nesa. 1980. Use of soil survey data in a model for simulating regional soil moisture regimes. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44(4):808-814.
7. Celik, I. 2005. Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Till. Res.* 83: 270-277.
8. Christen, D. B. and G. S. Marcel. 2005. Point and parameter pedotransfer functions for water retention predictions Danish soils. *Geoderma* 127:154-167.
9. Ghorbani Dashtaki, S. H., M. Homaei and H. Khodaberdiloo. 2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. *Soil Use Manage.* 26:68-74.
10. Veihmeyer, F. J. and A. H. Hendrickson. 1927. The relation of soil moisture to cultivation and plant growth. *Soil Sci.* 3:498-513.

11. Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, London. 771p.
12. Jarvis, N.J., L. Zavattaro, K. Rajkai, W.D. Reynolds, P.A. Olsen, M. McGechan, M. Mecke, B. Mohanty, P.B. Leeds-Harison and D. Jacques. 2002. Indirect estimation of near-saturated hydraulic conductivity from readily available soil information. *Geoderma* 108:1-17.
13. Kai-Hua, L., X. U. Shao-Hui, W.U. Ji-Chun, J. I. Shu-Hua and L.I. Qing. 2011. Assessing soil water retention characteristics and their spatial variability using pedotransfer functions. *Soil Sci. Soc. China*, 21(4):413-422.
14. Manyame, C., C. L. Morgan, J. L. Heilman, D. Fatondji, B. Gerard and W. A. Payne. 2007. Modeling hydraulic properties of sandy soils of Niger using pedotransfer functions. *Geoderma* 141: 407-415.
15. McBratney, A. B., B. Minasny and G. Tranter. 2011. Necessary meta data for pedotransfer functions. *Geoderma* 160: 627-629.
16. Rajkai, K., S. Kabos, M. T. van Genuchten and P.E. Jansson. 1996. Estimating of water retention characteristics from the bulk density and particle size distribution of Swedish soils. *Soil Sci.* 161: 832-845.
17. Ryan, B. F. and B. L. Joiner. 1994. *Minitab Handbook*. Durbuy Press, 483 p.
18. Sepaskhah, A. R. and H. Bondar. 2002. Estimating van Genuchten soil water retention curve from some soil physical properties. *Iran Agric. Res.* 21: 105-118.
19. Tomasella, J. and M.G. Hodnett. 1998. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. *Soil Sci.* 163: 190-202.
20. Van Genuchten, M.T. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44: 892-898.
21. Vereecken, H., J. Maes, J. Feyen and P. Darius. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 148(6): 389-403.
22. Vereecken, H., J. Diels, J. van Orshoven, J. Feyen and J. Bouma. 1992. Functional evaluation of pedotransfer functions for the estimation of soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 56: 1371-1379