نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۵۱ تا ۱۶۳

برآورد رطوبت بحرانی و ضرایب تخلیه مجاز رطوبتی خاک در سه بافت غالب خاک زیر کشت گندم در استان خوزستان

فاطمه مسکینی ویشکایی[1*]، علیرضا جعفرنژادی[1]، محی الدین گوشه[1]، بهاره دلسوز خاکی[2] و مریم جواد زاده[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۲۲)

چکیده

از روش‌های متداول مدیریت آبیاری در مزارع، استفاده از آب سهل‌الوصول و در ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک است. این پژوهش با هدف تعیین ضرایب حساسیت گندم، رطوبت بحرانی و ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک با روشی بر مبنای فیزیکی در سه بافت غالب خاک زیر کشت گندم در استان خوزستان انجام شد. تیمارها شامل آبیاری کامل و اعمال تنش آبی در سه سطح کم، متوسط و شدید بودند. بیشترین و کمترین ضریب حساسیت عملکرد گندم نسبت به شرایط رطوبتی خاک به‌ترتیب مربوط به خاک با بافت لوم رسی سیلتی (K_y=۱/۲۶) و لوم رسی (K_y=۰/۹۶) بود. مقدار رطوبت بحرانی خاک به‌ترتیب در خاک لومی (۰/۲۵ cm^3cm^{-3}) > لوم رسی سیلتی (۰/۲۳ cm^3cm^{-3}) > لوم رسی (۰/۲۲ cm^3cm^{-3}) دیده شد. با وجود بیشتر بودن رطوبت بحرانی در خاک لومی، بیشترین ضریب تخلیه مجاز رطوبتی نیز در خاک لوم (۰/۵۴) محاسبه شد. ضریب تخلیه مجاز رطوبتی در لوم رسی سیلتی و لوم رسی به‌ترتیب برابر ۰/۴۴ و ۰/۴۲ به‌دست آمد. نتایج نشان‌دهنده تأثیر هم‌زمان ویژگی‌های خاک و گیاه در سهولت دسترسی آب خاک برای گیاه است.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، رطوبت سهل‌الوصول خاک، ضریب حساسیت گیاه

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۲. محقق موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: fatemeh.meskini@yahoo.com

مقدمه

مطالعات اخیر سازمان بین‌المللی مدیریت آب نشان می‌دهد یک سوم جمعیت کشورهای در حال توسعه، در مناطقی با کمبود مطلق آب زندگی می‌کنند و فاقد منابع آب کافی برای مصارف کشاورزی، شرب، صنعتی و زیست‌محیطی در سال ۲۰۲۵ خواهند شد (۲۰). نتایج پژوهش‌های مختلف بیانگر افت عملکرد محصول پس از کاهش مقدار معینی از رطوبت خاک است (۵ و ۶). دورنبوس و کاسام (۷) روشی را برای کمی کردن رابطه بین مقدار عملکرد واقعی و مصرف آب فصلی گیاه به‌عنوان تابع تولید عملکرد بسط دادند. یکی از اجزای تابع تولید، ضریب حساسیت گیاه به آب است که در واقع شیب تغییرات افت نسبی عملکرد در برابر افت نسبی تبخیر و تعرق و نشان‌دهنده مقدار حساسیت عملکرد گیاه با تغییر شرایط رطوبتی خاک است. از عوامل مؤثر بر درجه حساسیت گیاهان به آب، فراهمی آب خاک است. برای بیان مقدار رطوبتی از خاک که گیاه قادر به جذب آن است، به‌طور معمول از تفاضل رطوبت خاک بین محدوده رطوبتی ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) استفاده می‌شود (۱۳). قابلیت دسترسی آب خاک در این محدوده رطوبتی یکسان نیست، بلکه رطوبت خاک از محدوده ظرفیت زراعی تا رطوبت بحرانی به‌طور یکسانی در دسترس گیاه بوده و پس از آن تا نقطه پژمردگی دائم، قابلیت دسترسی آب خاک برای گیاه کاهش می‌یابد (۱۰). مفهوم رطوبت بحرانی (θ_c) نیز به‌صورت گسترده‌ای برای شرح دادن اثرهای مقدار رطوبت خاک روی عملکرد گیاه و سایر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه به‌کار رفته است (۳ و ۵). مسکینی ویشکایی و همکاران (۱۴) از مفهوم رطوبت بحرانی و ضریب حساسیت دو گیاه گندم و کلزا برای تعیین ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک در دو بافت خاک لوم رسی و لوم شنی در استان زنجان استفاده کردند.

ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک برای تعیین بخشی از آب قابل‌استفاده خاک است که بدون ایجاد تنش آبی، برای گیاه قابل‌جذب است (۷). برای تعیین ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک از جدول‌های ارائه شده توسط فائو و یا مشاهده‌های تجربی (۲ و ۱۶) استفاده می‌شود. این ضریب در منابع مختلف به‌صورت یک عدد تجربی ارائه شده است و روش خاصی برای محاسبه این ضریب و درنهایت محاسبه میزان دقیق آب آبیاری خاک وجود ندارد. برای نمونه در نشریه فائو (۷) جدولی با اعداد محدود برای گیاهان مختلف ارائه و توصیه شده است که برای بسیاری از موارد مقدار این ضریب برابر با ۰/۵ درنظر گرفته شود. اما، پاندا و همکاران (۱۶) نشان دادند که برای حصول بیشینه عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت نباید از ضریب تخلیه مجاز بیش از ۰/۴۵ استفاده کرد. در پژوهش دیگری بیشترین کارایی مصرف آب در گندم بدون کاهش معنی‌دار عملکرد در ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک برابر با ۰/۴۰ به‌دست آمد (۲). نتایج مسکینی ویشکایی و همکاران (۱۴) نشان داد که ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک برای هر گیاه و خاک باتوجه به ویژگی‌های آنها قابل برآورد است. این پژوهشگران نشان دادند که ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک در هر دو بافت خاک مورد مطالعه برای گندم در استان زنجان برابر با ۰/۳۵ بود. اما، برای گیاه کلزا در خاک لوم شنی ضریب مجاز تخلیه رطوبتی بیشتری (۰/۴۴) نسبت به خاک لوم رسی (۰/۳۸) به‌دست آمد. نتایج آنها نشان داد که ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک تنها وابسته به نوع گیاه نبوده و بر اساس ویژگی‌های خاک نیز تغییر خواهد کرد.

استان خوزستان یکی از مناطق صنعتی و کشاورزی بوده و نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه گندم دارد. بر اساس آمارنامه سال ۹۵-۹۴، حدود ۵۰ درصد از سطح اراضی زیر کشت استان خوزستان (۵۳۵۳۰۰ هکتار از مجموع ۱۰۱۰۵۵۹/۴ هکتار اراضی زیر کشت) متعلق به گندم است. عملکرد گندم به‌شدت به مقدار آب ذخیره شده در نیمرخ خاک در زمان کشت وابسته بوده و می‌تواند با عملیات آبیاری مناسب افزایش یابد (۱۱). به‌عبارتی، مدیریت بهره‌وری آب در ایجاد تولید پایدار و افزایش محصول گندم بسیار مهم است. علاوه‌بر این، باتوجه به خشکسالی‌های اخیر و چالش مصرف آب در

بخش کشاورزی، تعیین مناسب‌ترین مدیریت آبیاری در مزرعه دارای اهمیت بسیار است. بنابراین، هدف این مطالعه تعیین ضریب حساسیت عملکرد گندم به تنش خشکی، تعیین رطوبت بحرانی خاک در بافت‌های غالب خاک زیر کشت گندم در استان خوزستان، درنظر گرفتن تأثیر هم‌زمان ویژگی‌های گیاه و خاک و استفاده از مدلی با مبنای فیزیکی برای برآورد ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت کشت گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سه آزمایش به‌طور کاملاً مستقل روی سه بافت خاک متفاوت در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان انجام شد. پس از آماده‌سازی گلدان‌ها سعی شد که خاک گلدان به جرم مخصوص ظاهری خاک در مزرعه برسد. بذرهای گندم رقم چمران ۲ در گلدان‌های تقریبا ۱۵ کیلوگرمی (با عمق ۲۵ سانتی‌متر) در تاریخ ۱۰ آذر ۱۳۹۷ کشت شدند. توصیه‌های کودی برای هر بافت خاک مورد مطالعه بر اساس نیاز گندم و نتایج آزمون خاک انجام شد. پس از تنک‌کردن و حفظ هشت گیاهچه گندم در هر گلدان تیمارها اعمال شد. تیمارها شامل اعمال آبیاری کامل (حفظ رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، رطوبت در مکش معادل ۳۳۰ سانتی‌متر)، و اعمال تنش آبی در سه سطح کم (حفظ رطوبت خاک در مکش معادل ۲۰۰۰ سانتی‌متر)، متوسط (حفظ رطوبت خاک در مکش معادل ۵۰۰۰ سانتی‌متر) و زیاد (حفظ رطوبت خاک در مکش معادل ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) در تمام دوره رشد گیاه بود. در این پژوهش به‌منظور انجام سه آزمایش به‌طور کاملا مستقل و برای پر کردن گلدان‌ها، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری در سه مزرعه زیر کشت گندم، نمونه‌برداری خاک به‌صورت مرکب انجام و به آزمایشگاه منتقل شد. خاک‌ها پس از خشک شدن کوبیده شده و از الک‌های ۸ میلی‌متری (برای آزمایش‌های گلدانی) و دو میلی‌متری (برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی) عبور داده شدند. قبل از شروع پژوهش برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (۸)، جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه در نمونه‌های دست‌نخورده به روش سیلندر، EC در عصاره اشباع خاک با استفاده از EC متر، نیتروژن خاک به روش کجلدال، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن، پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم و کربن‌آلی به روش اکسیداسیون تر (۲۵) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

برای تعیین منحنی مشخصه آب خاک، ابتدا نمونه‌ها با محلول کلریدکلسیم ۰/۰۱ نرمال از پایین اشباع و رطوبت آنها در مکش‌های مختلف (۳۳۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و غشا فشاری تعیین شد (۴). با استفاده از نرم‌افزار RTCE، معادله ون‌گنوختن بر داده‌های منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده برازش داده شد (معادله ۱).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1+(ah)^n\right]^{\left[1-\frac{1}{n}\right]}} \qquad (1)$$

در این معادله، θ_r و θ_S به‌ترتیب رطوبت حجمی باقی‌مانده و اشباع (cm^3cm^{-3})، α و n پارامترهای تجربی معادله و h مکش ماتریک خاک (cm) هستند. باتوجه به محدودیت‌های موجود برای تعیین رطوبت ظرفیت زراعی خاک‌ها بر اساس یک مکش مشخص (۱ و ۱۴)، در این مطالعه رطوبت ظرفیت زراعی خاک به دو روش ۱) بر اساس روش متداول و با فرض یک مکش ماتریک مشخص (رطوبت معادل مکش ماتریک ۳۳۰ سانتی‌متر) و ۲) به روش گلدانی و بر اساس مفهوم رطوبت ظرفیت زراعی مبتنی بر زهکشی تعیین شد. در روش دوم در محیطی محصور و مسقف و تاریک، گلدانی با جرم مخصوص ظاهری هر بافت خاک مد نظر تا حد رطوبت اشباع خاک آبیاری شد. سطح خاک برای جلوگیری از تبخیر سطحی پوشانده شد و اجازه داده شد تا آب خاک در اثر نیروی جاذبه از خاک خارج شود (شکل ۱). در فواصل زمانی معین گلدان‌ها وزن شدند، زمانی که در چند وزن شدن متوالی، تغییرات وزنی گلدان ناچیز شد، بدین معنی است که خاک گلدان به رطوبت ظرفیت زراعی رسیده است (۱۹).

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد مطالعه

ویژگی‌های فیزیکی					ویژگی‌های شیمیایی						
بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	BD ($g\ cm^{-3}$)	Ph (-)	EC $dS\ m^{-1}$	کربن آلی (%)	نیتروژن (%)	فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$)	آهک (%)
لوم رسی سیلتی	۱۶	۵۰	۳۴	۱/۵	۷	۲/۹	۱/۲۴	۰/۱۲	۱۷/۵	۲۲۴	۴۰
لوم	۲۸	۵۰	۲۲	۱/۲۵	۷/۶	۵/۴	۰/۸	۰/۰۸	۱۶/۳	۲۱۱	۴۵
لوم رسی	۳۰	۴۲	۲۸	۱/۴۷	۷/۴	۳/۹	۰/۶۷	۰/۰۷	۱۱/۶	۳۵۷	۴۲

BD: جرم مخصوص ظاهری خاک؛ EC: هدایت الکتریکی خاک است.

شکل ۱. نمایی از اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به روش گلدانی

باتوجه به هدف این مطالعه، به دلیل عدم امکان کنترل دقیق تیمارهای رطوبتی و حفظ رطوبت خاک در چندین مکش مختلف در خاک مزرعه، این پژوهش به‌صورت گلدانی انجام شد. بر اساس منحنی مشخصه آب اندازه‌گیری شده برای هر بافت خاک، مقدار رطوبت خاک معادل هر تیمار مکش محاسبه و بر گلدان‌ها اعمال شد. باتوجه به هدف این مطالعه و تنظیم رطوبت خاک در مکش‌های مشخصی از خاک، آبیاری خاک گلدان‌ها تا حد رطوبت اشباع و آبشویی خاک ممکن نبود، از این‌رو، برای جلوگیری از تجمع املاح در خاک، آبیاری با آب مقطر انجام شد. مقدار آب مصرفی برای هر گلدان با استفاده از کاهش وزن گلدان به‌صورت روزانه ثبت شد. جمع‌آوری داده‌های مصرف آب (تبخیر و تعرق گیاه) تا پایان دوره رشد گندم ادامه یافت. به‌منظور شبیه‌سازی شرایط کشت در مزرعه و حذف اثر حاشیه، گلدان‌ها در کنار یکدیگر قرار گرفته و پس از چند بار اندازه‌گیری جای گلدان‌ها تغییر داده می‌شد. علاوه‌بر این، به‌منظور تأمین شرایط طبیعی آب و هوایی استان، گلدان‌ها در فضای آزاد قرار گرفتند و برای کنترل دقیق رطوبت خاک و جلوگیری از ورود نزولات به سطح گلدان‌ها از یک سایه‌انداز متحرک (Shelter) استفاده شد. با علم بر اینکه استقرار سایه‌انداز ممکن است با تغییر شدت تابش نور خورشید بر عملکرد گندم و نتایج پژوهش تأثیرگذار باشد، در روزهای آفتابی سایه‌انداز از روی گلدان‌ها جابه‌جا می‌شد تا تعداد روزهای استقرار سایه‌انداز روی گلدان‌ها به کمترین مقدار ممکن کاهش یابد. علاوه‌بر این، چون برای تعیین مقدار رطوبت خاک، گلدان‌ها به‌صورت روزانه وزن می‌شدند (به دلیل عدم دسترسی به

سایر ابزارهای کنترل رطوبت خاک در محل اجرای پژوهش)، برای جلوگیری از چسبیدن گل به کف گلدان پس از بارندگی و تأثیر بر وزن گلدان‌ها و عدم امکان کنترل و اعمال صحیح تیمارهای رطوبتی، امکان قرارگیری گلدان‌ها در سطح مزرعه وجود نداشت. به همین دلیل از یک سطح با کف سیمانی در مجاورت مزارع پژوهشی استفاده شد. تا در این شرایط، هم امکان وزن‌گیری روزانه گلدان‌ها و تنظیم تیمارهای رطوبتی و هم امکان جابه‌جا کردن سایه‌انداز متحرک فراهم شود (شکل ۲).

برای برآورد ضریب حساسیت گیاه از رابطه کاهش عملکرد محصول در اثر تنش (معادله ۲) استفاده شد (۷):

$$\left(1-\frac{Y}{Y_{max}}\right)=K_y\left(1-\frac{ET_c}{ET_{c\,max}}\right) \qquad (۲)$$

که در این معادله Y: عملکرد واقعی گیاه، Y_{max}: بیشینه عملکرد گیاه بدون اعمال تنش آبی، K_y: ضریب حساسیت عملکرد، ET_C: تبخیر و تعرق واقعی گیاه و ET_{Cmax}: تبخیر و تعرق گیاه به ازای تولید بیشترین عملکرد است. برای تعیین Y_{max} و ET_{cmax} از داده‌های تبخیر و تعرق تیماری استفاده شد که بیشترین مقادیر عملکرد و تبخیر و تعرق (مقدار کل آب مصرفی) در آن دیده شد. برای تعیین مقدار رطوبت بحرانی خاک برای گیاه گندم در هر بافت خاک از معادله ۳ استفاده شد (۱۴):

$$Y = Y_{max}\left[1+\left(\frac{\theta-\theta_c}{\theta_c-\theta_{PWP}}\right)\cdot K_y\right] \quad \text{for } \theta_{PWP}\le\theta\le\theta_c$$
$$\text{for } \theta>\theta_c\ ,\ Y=Y_{max} \qquad (۳)$$

که در آن θ: رطوبت خاک، θ_C: رطوبت بحرانی خاک و θ_{pwp}: رطوبت نقطه پژمردگی خاک است. معادله ۳ رابطه بین ضریب حساسیت عملکرد را با برخی ویژگی‌های خاک (رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم) و گیاه (رطوبت بحرانی) نشان می‌دهد. با فرض مشخص بودن مقدار عملکرد گندم در هر یک از تیمارها و مقدار K_y (محاسبه شده از رابطه ۲)، برای به‌دست آوردن مقدار رطوبت بحرانی از نوارابزار SOLVER در نرم‌افزار Excel استفاده شد (۲۷). بدین روش مناسب‌ترین مقدار θ_C در گندم برای بافت‌های خاک مورد مطالعه تعیین شد. در ادامه برای محاسبه ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک از معادله ۴ استفاده شد (۱۶):

$$F=\frac{\theta_{FC}-\theta_c}{\theta_{FC}-\theta_{PWP}} \qquad (۴)$$

در این معادله، θ_{FC} رطوبت ظرفیت زراعی خاک است.

پس از اتمام دوره رشد (اردیبهشت ۱۳۹۸) برای تعیین مقدار عملکرد، قسمت هوایی گیاهان در آون در دمای ۷۰°C به مدت حداقل ۷۲ ساعت خشک و سپس وزن شدند. تجزیه و تحلیل آماری اثرهای تیمارهای اعمال شده در هر یک از بافت‌های خاک مورد مطالعه به‌صورت جداگانه و با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، سه خاک مورد مطالعه دارای بافت لوم رسی سیلتی، لوم و لوم رسی بودند. شوری خاک در دو بافت خاک لوم رسی سیلتی و لوم رسی کمتر از حد آستانه شوری خاک بود ($EC \le 4dS\ m^{-1}$). با وجود اینکه شوری خاک لوم بیش از $4\ dS\ m^{-1}$ بود و خاک شور محسوب می‌شد (۳۰)، اما شوری خاک کمتر از حد آستانه تحمل گندم به شوری ($EC < 6dS\ m^{-1}$) بود (۲۳). بنابراین در هیچ‌یک از خاک‌های مورد مطالعه، رشد گندم در اثر شوری خاک محدود نشد و شاخص‌های عملکرد گندم تنها متأثر از تیمارهای آبیاری بود.

مقایسه مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در سه روش مختلف مورد مطالعه

پارامترهای معادله ون‌گنوختن (معادله ۱) حاصل از برازش بر داده‌های منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده همراه مقادیر رطوبت ظرفیت زراعی تعیین شده به دو روش زهکشی

شکل ۲. نمایی از محل اجرای پژوهش و استقرار سایه‌انداز متحرک روی گلدان‌ها

جدول ۲. پارامترهای معادله ون‌گنوختن (معادله ۱) حاصل برازش بر داده‌های منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده و مقادیر رطوبت ظرفیت زراعی خاک به روش زهکشی (FC drainage) و روش آزمایشگاهی (FC 330)

بافت خاک	پارامترهای معادله ون‌گنوختن				رطوبت ظرفیت زراعی	
	θ_s ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_r ($cm^3\ cm^{-3}$)	α (cm^{-1})	n (-)	$\theta_{FC\ drainage}$ ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_{FC330} ($cm^3\ cm^{-3}$)
لوم رسی سیلتی	۰/۴۵۵	۰/۰۹۲	۰/۰۰۷۷۷	۱/۵۱	۰/۳۱۳	۰/۲۹۳
لوم	۰/۴۳۸	۰/۰۷۷	۰/۰۱۰۵۱	۱/۴	۰/۴۱۳	۰/۲۶۹
لوم رسی	۰/۴۰۰	۰/۰۶۳	۰/۰۰۷۷۵	۱/۴۷	۰/۳۱۶	۰/۲۵۵

θ_S: رطوبت اشباع خاک، **θ_r**: رطوبت باقی‌مانده، α و **n**: پارامترهای تجربی مدل ون‌گنوختن (رابطه ۱)، **θ_{PWP}**: رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم، $\theta_{FC\ drainage}$: رطوبت ظرفیت زراعی تعیین شده به روش گلدانی و زهکشی. **θ_{FC330}**: رطوبت خاک در ظرفیت زراعی در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر.

و آزمایشگاهی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مقدار رطوبت ظرفیت زراعی به روش گلدانی در هر سه بافت خاک مورد مطالعه بیشتر از مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در آزمایشگاه بود. در روش آزمایشگاهی در ایران، به دلیل استفاده از نمونه دست‌خورده (خاک کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متر عبور کرده)، ساختمان خاک از بین رفته و درنتیجه دقت اندازه‌گیری‌ها به‌ویژه در رطوبت‌های بالا کاهش می‌یابد، در حالی که رطوبت ظرفیت زراعی به‌شدت تحت تأثیر ساختمان خاک قرار دارد. در این پژوهش، خاک با بافت لوم به‌دلیل شوری و محتوای کربن آلی و آهک نسبتا زیاد (جدول ۱)، احتمالا دارای ساختمان خاک پایدارتری نسبت به دو بافت خاک دیگر بود. اختلاف بیشتر بین مقادیر رطوبت ظرفیت زراعی تعیین شده به روش گلدانی و روش آزمایشگاهی در خاک گفته شده نیز مؤید این موضوع است.

مقدار مصرف آب و شاخص‌های عملکرد گندم

میانگین مقادیر زیست‌توده، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و مقدار آب مصرفی (تبخیر و تعرق گیاه) در تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی در هر سه بافت خاک مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج جدول ۳ نشان داد که بین میانگین مقادیر عملکرد دانه در بین تیمارهای مختلف در خاک لوم رسی سیلتی اختلاف

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های مختلف عملکرد گندم در هر گلدان در تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی

بافت خاک	تیمار تنش کم‌آبی	عملکرد دانه (g)	وزن زیست‌توده (g)	وزن هزار دانه (g)	مقدار آب مصرفی (l)
لوم رسی سیلتی	آبیاری کامل	۱۱/۹۳a	۳۸/۳۶a	۴۶/۸۰a	۱۹/۱a
	تنش با شدت کم	۱۰/۳۵a	۲۶/۸۳b	۳۹/۵۹abc	۱۳/۱b
	تنش با شدت متوسط	۵/۹۵b	۱۳/۶۲c	۳۲/۳۳bcd	۱۱/۵b
	تنش با شدت زیاد	۲/۸۶c	۷/۷۶d	۲۸/۹۰cd	۱۰/۹bc
لوم	آبیاری کامل	۱۰/۳۲a	۳۵/۶۵a	۴۵/۹۵a	۱۶/۳a
	تنش با شدت کم	۱۱/۰۴a	۲۶/۵۸a	۳۲/۲۵a	۱۲/۷b
	تنش با شدت متوسط	۵/۷ b	۱۲/۷۹b	۳۲/۵۰a	۹/۴c
	تنش با شدت زیاد	۲/۰۵c	۶/۰۴c	۲۷/۸۴a	۷/۶d
لوم رسی	آبیاری کامل	۱۳/۱۰a	۳۶/۵۹a	۳۶/۴۸a	۱۸/۹a
	تنش با شدت کم	۱۱/۴۴ab	۳۰/۵۰a	۳۴/۹۳a	۱۵/۴b
	تنش با شدت متوسط	۷/۴۷bc	۱۷/۱۴b	۳۶/۷۰a	۱۱/۷b
	تنش با شدت زیاد	۴/۲۹c	۱۱/۳۸b	۳۳/۷۲a	۹/۱c

* حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است ($p < 0.05$). هر گلدان شامل ۸ بوته گندم و دارای سطح مقطعی برابر با $530\ cm^2$ است.

معنی‌داری وجود داشت. بیشترین میانگین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل (۱۱/۹۳ گرم در گلدان) و تیمار تنش کم‌آبی با شدت کم (۱۰/۳۵ گرم در گلدان) دیده شد. اعمال سطوح مختلف تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۳، ۵۰ و ۷۶ درصد به‌ترتیب در تیمار تنش با شدت کم (مکش ۲۰۰۰ سانتی‌متر)، متوسط (مکش ۵۰۰۰ سانتی‌متر) و شدید (مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۳). زیست‌توده یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد دانه گندم است (۲۶). بین مقادیر زیست‌توده گندم در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار دیده شد ($p<0/05$). اعمال تنش کم‌آبی با شدت زیاد در تمام دوران رشد گیاه موجب کاهش ۸۰ درصد زیست‌توده تولیدی نسبت به شرایط آبیاری کامل شد. کاهش جذب رطوبت کافی در دوره رشد گیاه موجب کاهش دوره رشد رویشی و زایشی و درنتیجه کاهش میزان زیست‌توده خواهد شد (۲۹).

در خاک لوم، بیشترین میانگین عملکرد دانه در تیمار تنش کم‌آبی با شدت کم (۱۱/۰۴ g) و آبیاری کامل (۱۰/۳۲ g) دیده شد. تنش کم‌آبی با شدت کم در تمام دوره رشد گیاه، ۶/۵ درصد عملکرد دانه گندم را افزایش داد. اعمال سطوح مختلف تنش با شدت متوسط و زیاد موجب کاهش عملکرد دانه به‌ترتیب به میزان ۴۵ و ۸۰ درصد نسبت به آبیاری کامل شد. بیشترین مقدار وزن زیست‌توده در تیمار آبیاری کامل دیده شد (۳۵/۶۵ g). اعمال سطوح مختلف کم‌آبیاری موجب کاهش مقدار زیست‌توده گیاه به میزان ۲۵، ۶۴ و ۸۳ درصد نسبت به آبیاری کامل به‌ترتیب در تیمارهای تنش کم‌آبی با شدت کم، متوسط و زیاد شد. بین میانگین وزن هزار دانه در تیمارهای مختلف در خاک لوم اختلاف معنی‌داری دیده نشد.

در خاک لوم رسی بین میانگین مقادیر عملکرد دانه در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بیشترین میانگین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل (۱۳/۱۰ g) دیده شد. اعمال سطوح مختلف تنش موجب کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۳، ۴۳ و ۶۷ درصد به‌ترتیب در تیمارهای تنش کم‌آبی با شدت

کم، متوسط و زیاد نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۳).

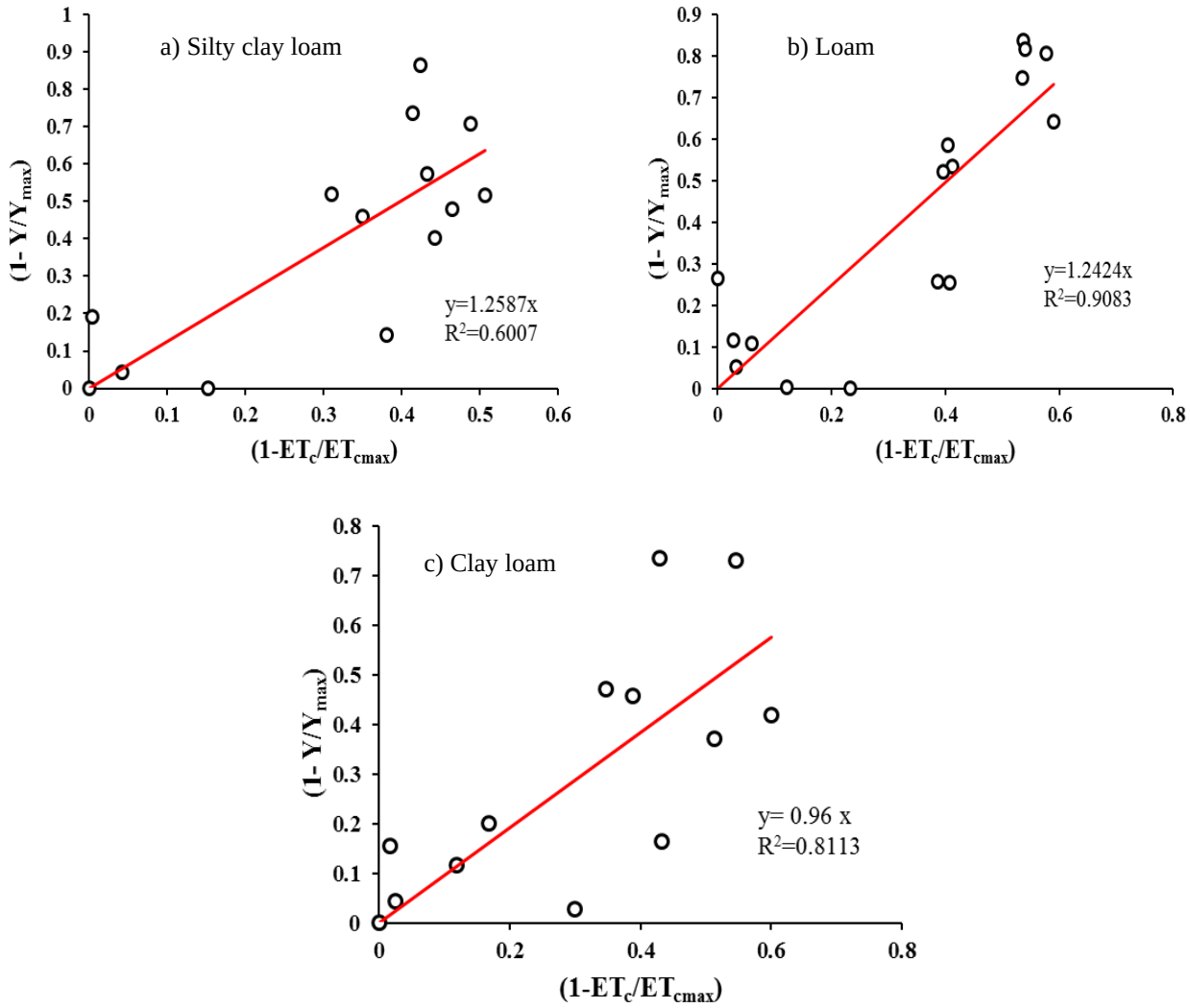
در هر سه بافت خاک، مقدار آب مصرفی در تیمار تنش کم‌آبی با شدت کم به‌طور معنی‌داری کمتر از آب مصرفی در تیمار آبیاری کامل بود. بیشترین و کمترین مصرف آب به‌ترتیب در تیمار آبیاری کامل در خاک لوم رسی سیلتی (۱۹/۱ لیتر) و تیمار تنش کم‌آبی با شدت زیاد در خاک لوم (۷/۶ لیتر) دیده شد.

ضریب حساسیت گندم

شکل ۳ تغییرات افت نسبی عملکرد دانه گندم ($1-Y/Y_{max}$) در برابر افت نسبی تبخیر و تعرق ($1-Et_c/Et_{c\ max}$) را در سه بافت خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد. براساس معادله (۲)، شیب خط برازش داده شده برابر با مقدار ضریب حساسیت گیاه (K_y) است (۷). به نظر می‌رسد که مقدار ضریب حساسیت گندم در کل دوره رشد گیاه تحت تأثیر بافت خاک قرار گرفته است. بر اساس نتایج شکل ۲، بیشترین حساسیت عملکرد گندم نسبت به شرایط رطوبتی خاک مربوط به خاک با بافت لوم رسی سیلتی بود (K_y = ۱/۲۶). اما، در خاک با بافت لوم رسی، کمترین مقدار حساسیت عملکرد گندم به تغییر شرایط رطوبتی خاک دیده شد (K_y = ۰/۹۶). ، مقدار K_y در دو بافت خاک لوم رسی سیلتی و لوم تقریبا مشابه به‌دست آمد. هر چه مقدار K_y بیشتر باشد، نشان‌دهنده حساسیت بیشتر گیاه به کمبود آب خاک است. علاوه‌بر این، نتایج نشان داد که با افزایش درصد رس خاک در بافت‌های خاک مورد مطالعه (جدول ۱) ضریب حساسیت گندم نیز افزایش می‌یابد که با نتایج دهقانی سنیج و همکاران (۶) مطابقت داشت. نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های خاک بر رشد، عملکرد و مصرف آب گیاه اثرگذار است (۲۲)، بنابراین باید در مطالعات راهکارهای کم‌آبیاری مدنظر قرار گیرند.

رطوبت بحرانی خاک

مقدار رطوبت آستانه خاک (θ_c) حاصل از برازش معادله (۳) بر داده‌های اندازه‌گیری شده به همراه مقدار رطوبت خاک در حدهای بیشتر (θ_{FC}) و کمتر (θ_{PWP}) آب قابل دسترس در هر سه بافت خاک مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. مقدار رطوبت بحرانی خاک لوم رسی سیلتی که در رطوبت‌های کمتر از آن، عملکرد گیاه کاهش می‌یابد، برابر با ۰/۲۳$cm^3.cm^{-3}$ به‌دست آمد. اما، رطوبت بحرانی در خاک لوم برابر با ۰/۲۵ $cm^3.cm^{-3}$ و در خاک لوم رسی برابر با ۰/۲۲$cm^3.cm^{-3}$ دیده شد. برخلاف اینکه نتایج برخی مطالعات حاکی از عدم تأثیر نوع بافت خاک بر رطوبت بحرانی خاک در گیاهانی مانند ذرت و سوگوم بود (۹ و ۱۵). اما، نتایج مطالعه وهبی و سینکلر (۲۴) مؤید تأثیر بستر کشت بر رطوبت بحرانی خاک در ذرت کشت شده در پیت (۰/۳۴ $cm^3.cm^{-3}$) و خاک لوم شنی (۰/۱۶ $cm^3.cm^{-3}$) بود. مسکینی ویشکایی و همکاران (۱۴) نیز مقادیر رطوبت بحرانی خاک برای گندم را در دو بافت خاک متفاوت در استان زنجان تعیین کردند، نتایج آنها نیز تایید کننده تأثیر نوع بافت خاک بر مقدار رطوبت بحرانی خاک بود. نتایج این پژوهشگران نشان داد که رطوبت بحرانی خاک برای گیاه گندم در شرایط آب و هوایی استان زنجان در خاک با بافت لوم شنی و لوم رسی به‌ترتیب برابر با ۰/۲۰ $cm^3.cm^{-3}$ و ۰/۲۸۶ $cm^3.cm^{-3}$ بود. نتایج وو و همکاران (۲۸) نیز نشان داد که مقدار رطوبت بحرانی برای گیاه گندم در خاک لوم رسی (۰/۲۲۸ $m^3.m^{-3}$) بیشتر از خاک لوم شنی (۰/۱۹ $m^3.m^{-3}$) بود و مقادیر گزارش شده توسط این پژوهشگران در خاک لوم رسی تقریبا مشابه مقادیر رطوبت بحرانی به‌دست آمده برای خاک لوم رسی و لوم رسی سیلتی در این پژوهش بود (جدول ۴). مقادیر مکش ماتریک خاک معادل رطوبت‌های بحرانی خاک‌های مورد مطالعه نیز در جدول ۴ ارائه شده‌اند. با وجود اینکه مقدار رطوبت بحرانی در خاک لوم بیش از دو بافت خاک دیگر به‌دست آمد، اما مقدار رطوبت سهل‌الوصول (θ_{FC} -θ_C) در خاک لوم (۰/۱۶۳ $m^3.m^{-3}$) تقریبا دو برابر بیشتر از خاک لوم رسی سیلتی (۰/۰۸۶ $m^3.m^{-3}$) و خاک لوم رسی (۰/۰۹۳$m^3.m^{-3}$) بود. خاک لوم از پایداری ساختمان خاک مناسبی برخوردار بود (بر اساس نتایج جدول ۲)، بنابراین



شکل ۳. تغییرات افت نسبی عملکرد دانه گندم (1-Y/Ymax) در برابر افت نسبی تبخیر و تعرق گیاه (1-Etc/Etcmax) در خاک با بافت لوم رسی سیلتی (a)، لوم (b) و لوم رسی (c).

جدول ۴. مقدار رطوبت خاک در حد زیاد (رطوبت ظرفیت زراعی، θ_{FC}) و کم (نقطه پژمردگی دائم، θ_{PWP}) آب قابل‌دسترس خاک و مقدار رطوبت بحرانی آستانه کاهش عملکرد (θ_c) و مکش ماتریک معادل آن (h_c) برای گندم در سه بافت خاک لوم رسی سیلتی، لوم و لوم رسی

بافت خاک	θ_{FC} ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_{PWP} ($cm^3\ cm^{-3}$)	عملکرد دانه		
			θ_c ($cm^3\ cm^{-3}$)	h_c (cm)	θ_c/θ_{FC}
لوم رسی سیلتی	۰/۳۱۶	۰/۱۲	۰/۲۳	۷۶۵	۰/۷۳
لوم	۰/۴۱۳	۰/۱۱	۰/۲۵	۴۲۴	۰/۶۰
لوم رسی	۰/۳۱۳	۰/۰۹	۰/۲۲	۴۸۶	۰/۷۰

مقدار رطوبت سهل‌الوصول بیشتر در این بافت خاک را می‌توان به هدایت هیدرولیکی بیشتر خاک لوم در مکش‌های ماتریک کم خاک نسبت داد (۱۲). علاوه‌بر این، مقادیر بیشتر جرم مخصوص ظاهری خاک در دو بافت خاک لوم رسی سیلتی و لوم رسی حاکی از محدودتر بودن توزیع اندازه منافذ در این خاک‌ها است (جدول ۱). پارامتر n در معادله ون‌گنوختن (معادله ۱) شاخص توزیع اندازه منافذ خاک است و هرچه توزیع منافذ خاک یکنواخت‌تر باشد n بزرگ‌تر خواهد بود (۲۱). بیشترین مقدار پارامتر n مربوط به خاک با بافت لوم رسی سیلتی بود (جدول ۲) که با وجود دارا بودن بیشترین مقدار کربن آلی، اما تراکم بالای خاک ($1/5\ g.cm^{-3}$) موجب تخریب منافذ درشت‌تر، یکنواخت‌تر شدن توزیع اندازه منافذ و شیب شدیدتر منحنی مشخصه آب در خاک و درنتیجه کاهش محدوده آب سهل‌الوصول خاک برای گندم شده است. کمترین مقدار پارامتر n درخاک لومی دیده شد (جدول ۲) که نشان‌دهنده توزیع اندازه منافذ گسترده‌تر و ساختمان خاک مطلوب‌تر در این بافت خاک است. علاوه بر این، شوری خاک و مقدار آهک خاک لومی نیز کمی بیشتر از سایر بافت‌های خاک مورد مطالعه بود (جدول ۱). نتایج پژوهش رجب و همکاران (۱۷) نیز نشان داد که با افزایش شوری، نگهداشت رطوبت در خاک افزایش می‌یابد. نگهداری بیشتر رطوبت در شوری زیاد احتمالا به‌دلیل اثر آن بر ایجاد و بهبود ساختمان خاک و درنتیجه افزایش منافذ ریز و درشت در خاک است (۱۸).

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که برای جلوگیری از کاهش عملکرد گیاه گندم و جلوگیری از وقوع تنش آبی، می‌بایست رطوبت خاک در بافت لوم رسی سیلتی در ۰/۷۳ رطوبت FC در طول دوره رشد گیاه حفظ شود. حفظ رطوبت خاک در ۰/۷۰ و ۰/۶۰ رطوبت FC به‌ترتیب در خاک با بافت لوم رسی و لوم موجب تولید بیشترین عملکرد گندم می‌شود. وو و همکاران (۲۸) نیز حفظ مقدار ۰/۶۰ و ۰/۷۰ رطوبت FC را به‌ترتیب در خاک لوم رسی و لوم شنی برای تولید بیشینه عملکرد گندم در دشت‌های کشور چین پیشنهاد دادند. اما، مسکینی ویشکایی (۱۴) در پژوهش خود ۰/۸۰ رطوبت FC را در دو بافت خاک لوم رسی و لوم شنی برای حصول بیشینه عملکرد گندم در استان زنجان پیشنهاد کردند.

ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک

ضریب مجاز تخلیه رطوبتی خاک با استفاده از معادله (۴) و اطلاعات جدول ۴، برای گندم در هر سه بافت خاک مورد مطالعه به‌دست آمد. بیشترین ضریب تخلیه مجاز رطوبتی در خاک لومی (۰/۵۴) محاسبه شد. ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک در دو بافت لوم رسی سیلتی و لوم رسی به‌ترتیب برابر ۰/۴۴ و ۰/۴۲ به‌دست آمد. خاک لومی با کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک ($1/25\ g.cm^{-3}$) و بیشترین مقدار شوری ($5/4\ dS.m^{-1}$) و درصد آهک (۴۵ %) دارای کمترین مقدار پارامتر n معادله ون‌گنوختن در بین سه بافت خاک مورد مطالعه بود (جدول ۲). همان‌طور که در بخش رطوبت بحرانی خاک نیز بحث شد، خاک لومی به دلیل توزیع غیریکنواخت‌تر و گسترده‌تر اندازه منافذ خاک، توانایی بیشتری در قابلیت دسترسی آب خاک برای گندم داشت و محدوده آب سهل‌الوصول و درنتیجه ضریب تخلیه مجاز رطوبتی در این بافت خاک برای گندم بیشتر بود. پاندا و همکاران (۱۶) در پژوهشی برای مراحل غیرحساس رشد گندم به کمبود آب، مقدار ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک را در یک خاک با بافت لوم شنی در کشور هند برابر با ۰/۴۵ پیشنهاد کردند. اما، مسکینی ویشکایی (۱۴) در شرایط آب و هوایی استان زنجان، مقدار ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک برای گندم رقم هرات در بافت خاک لوم رسی را ۰/۳۵ گزارش کردند. مقادیر ضریب تخلیه مجاز رطوبتی به‌دست آمده در این پژوهش برای گندم در دو بافت خاک لوم رسی سیلتی و لوم رسی کمتر از مقادیر پیشنهادی توسط فائو (۷) (گندم= ۰/۵۵) بود. اما، ضریب تخلیه مجاز رطوبتی در خاک لوم که دارای ساختمان خاک مناسبی بود، به مقدار پیشنهادی FAO نزدیک بود.

نتیجه‌گیری

حساسیت بیشتر عملکرد دانه گندم به شرایط رطوبتی خاک به‌ترتیب در خاک لوم رسی سیلتی > خاک لوم > خاک لوم رسی دیده شد. در واقع، بیشترین ضریب حساسیت گندم به تنش آبی در خاک با بافت لوم رسی سیلتی (K_y = ۱/۲۶) و کمترین ضریب حساسیت در خاک با بافت لوم رسی (K_y = ۰/۹۶) به‌دست آمد. با وجود اینکه مقدار رطوبت بحرانی در خاک لوم بیش از دو بافت خاک دیگر به‌دست آمد، اما مقدار رطوبت سهل‌الوصول در خاک لوم تقریبا دو برابر بیشتر از خاک لوم رسی سیلتی و خاک لوم رسی بود. خاک لوم نسبت به دو بافت خاک دیگر از پایداری ساختمان خاک مناسب‌تری برخوردار بود، علاوه بر این، مقادیر بیشتر جرم مخصوص ظاهری خاک در دو بافت خاک لوم رسی سیلتی و لوم رسی نشان‌دهنده محدودتر بودن توزیع اندازه منافذ در این خاک‌ها بود. مقادیر ضریب تخلیه مجاز رطوبتی به‌دست آمده در این پژوهش برای گندم در هر دو بافت خاک لوم رسی سیلتی و لوم رسی کمتر از مقادیر پیشنهادی توسط FAO بود. بیشترین ضریب تخلیه مجاز رطوبتی در خاک لوم محاسبه شد که تقریبا برابر با مقدار پیشنهادی FAO مشابه بود. نتایج مؤید تأثیر هم‌زمان ویژگی‌های خاک و گیاه در سهولت دسترسی آب خاک برای گیاه است.

منابع مورد استفاده

1. Assouline, S. and D. Or. 2014. The concept of field capacity revisited: defining intrinsic static and dynamic criteria for soil internal drainage dynamics. *Water Resources Research* 50: 4787-4802.
2. Behera, S. K. and R. K. Panda. 2009. Integrated management of irrigation water and fertilizers for wheat crop using field experiments and simulation modeling. *Agricultural Water Management* 96: 1532-1540.
3. Casadebaig, P., P. Debaeke and J. Lecoeur. 2008. Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. *European Journal of Agronomy* 28: 646–654.
4. Dane, J. H. and J. Hopmans. 2002. Water retention and storage. PP. 671-720. *In*: J. H. Dane and G. C. Clake (Eds.), Methods of Soil Analysis: Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison.
5. Davatgar, N., M. R. Neishabouri, A. R. Sepaskhah and A. Soltani. 2009. Physiological and morphological responses of rice (Oryzasativa L.) to varying water stress management strategies. *International Journal of Plant Production* 3: 19–32.
6. Dehghanisanij, H., M. M. Nakhjavani, A. Zeggaf Tahiri and H., Anyoji. 2009. Assessment of wheat and maize water productivities and production function for cropping system decisions in arid and semiarid regions. *Irrigation and Drainage* 58: 105-115.
7. Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper No.33, FAO, Rome.
8. Gee, G. W. and D. Or. 2002. Particle-size analysis. PP. 255- 293. *In:* J. H. Dane and G. C. Topp (Eds.), Methods of Soil Analysis- Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison.
9. Hammer, G. L. and R. C. Muchow. 1990. Quantifying climatic risk to sorghum in Australia's semiarid tropics and subtropics: model development and simulation. PP. 205-232. *In*: R. C. Muchow and J. A. Bellamy (Eds.), Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for the Semi-arid Tropics and Subtropics. C.A.B. International, Wallingford.
10. Hillel, D. 1998. Redistribution of water in soil. PP. 449– 470. *In*: D. Hillel (Ed.), Environmental Soil Physics. Academic. San Diego, Calif.
11. Kang, S. Z., L. Zhang, Y. L. Liang, X. T. Hu, H. J. Cai and B. J. Gu. 2002. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management* 55: 203–216.
12. Kirkham, M. B. 2005. Principles of soil and plant water relations. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
13. Lawes, R. A., Y. M. Oliver and M. J. Robertson. 2009. Integrating the effects of climate and plant available soil water holding capacity on wheat yield. *Field Crops Research* 113: 297-305.
14. Meskini-Vishkaee, F. M., M. H. Mohammadi, M. R. Neishabouri and F. Shekari. 2017. A model to estimate soil water depletion coefficient using plant and soil properties. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 48(4): 749-758. (In Farsi)

15. Muchow, R. C. and T. R. Sinclair. 1991. Water deficit effects on maize yields modeled under current and "greenhouse" climates. *Agronomy Journal* 83: 1052–1059.
16. Panda, R. K., S. K. Behera, and P. S. Kashyap. 2003. Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions. *Agricultural Water Management* 63: 37-56.
17. Rajab, R. R. R., F. A. Hellal and M. Abdu El-Hady. Irrigation water salinity effects on some soil water constants and plant. *In*: Proceeding of 2008 Twelfth International Water Technology Conference, Alexandria, Egypt.
18. Safadous, A., B. Dashtpeyma, M. R. Mosaddeghi and H. Asgarzadeh. 2018. Effects of Irrigation water quality on some soil physical indicators. *Applied Soil Research* 6 (2): 58-69 (In Farsi).
19. Salter, P. J. and J. B. Williams. 1956. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. II. Available-water capacity and moisture release characteristics. *Journal of Soil Sc*ience 16: 310-317.
20. Seckler, D., A. Upali, D. Molden, R. de Silva and R. Barker. 1998. World Water Demand and Supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues. Research Report 19. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
21. Sillers, W. S., D. G. Fredlund and N. Zakerzadeh. 2001. Mathematical attributes of some soil-water characteristic curve models. *Geotechnical and Geological Engineering* 19: 243-283.
22. Tolk, J. A. and T. A. Howell. 2003. Water use efficiencies of grain sorghum grown in three USA southern Great Plains soils. *Agricultural Water Manag*ement 59: 97–111.
23. Vaziri, J., A. R. Salamat, M. R. Entesari, M. Meschi, N. Hidari and H. D. Sanich. 2009. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID), Iran. 389 p (in Farsi).
24. Wahbi, A. and T. R. Sinclair. 2007. Transpiration response of Arabidopsis, maize and soybean to drying of artificial and mineral soil. *Environmental Expert Botany* 59: 188–192.
25. Walkley, A. and T. A. Black. 1934. An examination of Deglijareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the choromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
26. White, E. M. and F. E. A. Wilson. 2006. Responses of grain yield, biomass and harvest index and their rates of genetic progress to nitrogen availability in ten winter wheat varieties. *Irish Journal of Agricultural Research* 45: 85–101.
27. Wraith, J. M. and D. Or. 1998. Nonlinear parameter estimation using spreadsheet software. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education* 27: 13–19.
28. Wu, Y., M. Huang and J. Gallichand. 2011. Transpirational response to water availability for winter wheat as affected by soil textures. *Agricultural Water Manag*ement 98: 569-576.
29. Yazar, A., F. Gokcel and M. S. Sezen. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant and Soil Environment* 55: 494–503.
30. Zaman, M., S. A. Shahid and L. Heng. 2018. Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques. Springer, 183 p.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 3, Fall 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Estimation of Soil Critical Moisture and Allowable Depletion Coefficient at Three Dominant Soil Textures under wheat cultivation in Khuzestan Province

F. Meskini-Vishkaee[1*], A. R. Jafarnejadi[1], M. Goosheh[1], B. Delsooz Khaki[2] and M. Javadzadeh[1]

(Received: September 19-2020 ; Accepted: December 12-2020)

Abstract

One of the most common approaches for farm irrigation management is using soil readily available water and allowable depletion coefficient. The objective of this study was to determine wheat crop response coefficients, critical moisture content, and soil allowable depletion coefficient using a physically based method in three dominant soils under wheat cultivation in Khuzestan province. Treatments included full irrigation and water stress at three levels low, moderate, and high. The highest and lowest values of wheat crop response coefficient were related to silty clay loam (K_y=1.26) and clay loam (K_y=0.96), respectively. Critical soil moisture content was observed in loam soil (0.25 cm^3cm^{-3})> silty clay loam (0.23 cm^3cm^{-3})> clay loam (0.22 cm^3cm^{-3}), respectively. Despite the higher critical moisture content in loam, the most soil allowable depletion coefficient was also calculated in loam (0.54). Soil allowable depletion coefficient in silty clay loam and clay loam were 0.44 and 0.42, respectively. The results confirmed the simultaneous effects of soil and plant properties on the availability of soil water for the plants.

Keywords: Water stress, Soil readily available water, Crop response coefficient

1. Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
2. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
*: Corresponding author, Email: fatemeh.meskini@yahoo.com