

ارزیابی اثر تنش کم آبی بر عملکرد گندم در یک خاک با بافت متوسط در استان خوزستان

فاطمه مسکینی ویشکایی^{۱*}، علیرضا جعفرنژادی و ناصر دوات گر

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

fatemeh.meskini@yahoo.com

دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز،

ایران. arjafarnejadi@gmail.com

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

n_davatgar@yahoo.com

چکیده

کمبود آب آبیاری یکی از عمده ترین عوامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی است. این پژوهش با هدف بررسی اثر شدت های مختلف تنش کم آبی بر شاخص های عملکرد گندم رقم چمران ۲ در یک خاک با بافت متوسط در استان خوزستان انجام شد. در این پژوهش ۱۰ تیمار آبیاری شامل آبیاری کامل و آبیاری با اعمال تنش کم آبی در سه سطح تنش (کم، متوسط و شدید) در دو حالت در تمام فصل رشد و یا در مرحله ای از رشد گیاه اعمال شدند. این پژوهش به صورت کشت گلدانی در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. شوری خاک مورد مطالعه $2/95 \text{ dS m}^{-1}$ و بافت خاک لوم رسی سیلتی بود. میانگین مقدار کل آب مصرفی در تیمارهای مختلف تحت تنش کم آبی از ۱۷٪ (تنش کم آبی با شدت متوسط در مرحله سوم رشد گندم) تا ۴۳٪ (تنش کم آبی با شدت زیاد در تمام فصل رشد) کمتر از آبیاری کامل بود. عملکرد دانه گندم با اعمال شدت های مختلف تنش موجب ۱۳٪ (تنش کم آبی با شدت کم در تمام فصل رشد) تا ۷۶٪ (تنش کم آبی با شدت زیاد در تمام فصل رشد) کاهش شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم آبی در مراحل ساقه دهی و پر شدن دانه گندم بیش از تنش کم آبی در مرحله گل دهی و خمیری شدن موجب کاهش عملکرد دانه گردید. کمترین میانگین وزن هزار دانه (۲۸ g) در تیمار تنش کم آبی اعمال شده در مرحله پایانی رشد گندم مشاهده شد که مؤید اهمیت اثر آبیاری در مرحله پر شدن دانه بر کیفیت دانه گندم است. کارآیی مصرف آب در تیمار اعمال تنش کم آبی با شدت کم ($0/78 \text{ g L}^{-1}$) نسبت به تیمار آبیاری کامل ($0/62 \text{ g L}^{-1}$) بیشتر بود و علت آن احتمالا کاهش تلفات آب آبیاری در اثر زهکشی و تبخیر در آن تیمار بود.

واژه های کلیدی: آبیاری، کارآیی مصرف آب، مراحل رشد گندم

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

*- دریافت: شهریور ۱۳۹۸ و پذیرش: خرداد ۱۳۹۹

مقدمه

ساقه (قبل از گرده افشانی) باعث کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود، لیکن اثر عمده تنش پس از گرده افشانی باعث محدود شدن ظرفیت ذخیره دانه گندم خواهد شد (رابرتسون و گویتتا^۶، ۱۹۹۹). بعضی از مطالعات نیز نشان می‌دهد که تنش کم آبی در هر مرحله از رشد باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد، به عبارت دیگر بین تبخیر و تعرق و عملکرد رابطه خطی وجود دارد. تحقیقات لی^۷ و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که میزان ذخیره رطوبتی خاک عامل مهم در تعیین شدت تأثیر تنش کم آبی بر عملکرد محصول است. نتایج مطالعات قلو^۸ و مقدم^۸ (۲۰۱۲) نشان داد که اعمال تنش کم آبی بر عملکرد، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب و کارایی تبخیر و تعرق گندم مؤثر است.

نتایج ابراهیمی پاک (۱۳۹۱) مؤید حساس تا نیمه حساس بودن گندم به تنش کم آبی به ترتیب در مراحل گل دهی، ساقه دهی، شیرینی شدن، پنجه دهی، جوانه زنی و خمیری شدن بود. در این پژوهش مرحله گل دهی بیشترین حساسیت را نسبت به تنش کم آبی داشت و با کاهش مقدار آب قابل دسترس خاک در این مرحله، عملکرد به شدت کاهش یافت. شهبازپناهی و همکاران (۱۳۹۱) اثر چهار سطح آبیاری (آبیاری کامل، آبیاری کافی تا گرده افشانی و عدم آبیاری تا ۶۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی تا پایان دوره رشد و قطع آبیاری از گرده افشانی تا پایان دوره رشد) را بر روی پنج ژنوتیپ گندم مورد مطالعه قرار دادند نتایج آن‌ها نشان داد که تمام شاخص‌های عملکرد گندم متأثر از رژیم‌های مختلف آبیاری قرار گرفتند. اندرزیان (۱۳۹۱) عملکرد گندم نان (رقم چمران) را تحت شرایط مختلف رطوبتی خاک در جنوب خوزستان و تأثیر سناریوهای مختلف آبیاری (عمق آب مصرفی در مراحل مختلف رشد گیاه) بر عملکرد دانه گندم را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که در استان خوزستان در سال‌های مرطوب بیشترین عملکرد دانه با

کمبود آب آبیاری یکی از عمده‌ترین عوامل بازدارنده در تولید محصولات کشاورزی است. سازمان بین‌المللی مدیریت آب در گزارشی بیان نمود که یک سوم از جمعیت کشورهای در حال توسعه، در مناطقی با کمبود آب زندگی می‌کنند و تا سال ۲۰۲۵ منابع آب کافی برای تأمین نیازهای کشاورزی، شرب، صنعتی و محیط زیستی خود نخواهند داشت (سکلر^۱ و همکاران، ۱۹۹۸). با افزایش تقاضای آب آبیاری در کشاورزی و افزایش رقابت بین بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب هم‌چون بخش شرب و صنعت، امروزه جهان با چالش تولید غذای بیشتر با آب کمتر مواجه است. این هدف تنها با استفاده از استراتژی‌هایی در جهت ذخیره آب و مصرف کارآمدتر آب در کشاورزی ممکن خواهد بود (دهقانی‌سنیج^۲ و همکاران، ۲۰۰۹). توسعه راهکارهای آبیاری برای به حداکثر رساندن عملکرد با حداقل نیاز آب آبیاری اهمیت زیادی در رفع نیاز غذایی بشر دارد (هوآنگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه بر این، برای دستیابی به یک کشاورزی پایدار، آگاهی از عوامل مؤثر بر فراهمی آب خاک توسط گیاهان نیز امری ضروری است (وو^۴ و همکاران، ۲۰۱۱).

گندم در مراحل مختلف رشد و نمو خود حساسیت یکسانی به کمبود آب ندارد. درجه حساسیت یا عکس‌العمل به کمبود آب در مراحل مختلف رشد بسته به وضعیت خاک، عوامل اقلیمی، رقم (مثل پاکوتاه یا پابلند بودن) و طول فصل رویش متغیر می‌باشد. مطالعات متعددی برای ارزیابی اثر تنش کم آبی بر روی گیاهان مختلف از جمله گندم و تعیین مراحل حساس رشد صورت گرفته است. نتایج برخی مطالعات روی گندم نشان داد که تنش کم آبی قبل از مرحله خوشه رفتن به طور نسبی عملکرد را کاهش نمی‌دهد (ژانگ و اوئیس^۵، ۱۹۹۹). هرچند تنش کم آبی در مراحل جوانه زنی و رشد

¹ Seckler² Dehghanisanji³ Huang⁴ Wu⁵ Zhang and Oweis⁶ Robertson and Guinta⁷ Liu⁸ Galavi and Moghaddam

باسینگر و هلمن^۲ (۲۰۰۶) بیان نمودند که اعمال تنش کم-آبی تنظیم شده، کارایی مصرف آب را ۷۲ درصد افزایش می‌دهد، ولی در کاهش مقدار محصول اثر کمی دارد؛ بنابراین تعیین کمترین مقدار آب آبیاری مورد نیاز در هر منطقه برای حصول عملکرد قابل قبول هر محصول، حائز اهمیت بسیار است. هم اکنون نوبت دهی آبیاری در اراضی تحت کشت گندم از سوی سازمان آب منطقه ای خوزستان تنها بر پایه حجم ذخیره آب مخازن سدها انجام می‌شود که در آن نقش خاک در ذخیره، انتقال و قابلیت استفاده آب برای گیاه در نظر گرفته نمی‌شود. لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر اعمال تنش کم‌آبی با شدت‌های مختلف بر شاخص‌های عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در یک خاک با بافت متوسط در استان خوزستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

براساس بانک اطلاعات خاک مزارع تحت کشت گندم در استان خوزستان در آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، محل نمونه‌برداری خاک تعیین گردید. سپس از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری خاک از مزرعه انتخاب شده در شهرستان شوشتر به صورت مرکب انجام و به آزمایشگاه منتقل شد (مختصات $x=296810$ و $y=3534607$). خاک پس از خشک شدن کوبیده شده و از الک‌های ۸ میلی‌متری (برای آزمایشات گلدانی) و دو میلی‌متری (برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی) عبور داده شد. قبل از شروع پژوهش برخی از ویژگی‌های فیزیکی (منحنی مشخصه آب خاک، توزیع اندازه ذرات و جرم مخصوص ظاهری خاک) و شیمیایی (هدایت الکتریکی خاک، pH، مقدار نیتروژن، فسفر قابل دسترس و پتاسیم) خاک مورد مطالعه اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد (جی و ار^۳، ۲۰۰۲). جرم

کاربرد چهار مرتبه آبیاری (۵۰ میلی‌متر نیاز خالص در هر مرتبه و ۲۰۰ میلی‌متر نیاز خالص در طی دوره رشد گیاه) در مراحل کاشت، پنجه‌زنی، طویل شدن ساقه و گل‌دهی یا پر شدن دانه به دست می‌آید. در صورتی که در سال‌های خشک بیشترین عملکرد دانه با شش مرتبه آبیاری (۳۰۰ میلی‌متر نیاز خالص در طی دوره رشد گیاه) در مراحل کاشت، سبز شدن (استقرار گیاهچه‌ها)، پنجه‌زنی، طویل-شدن ساقه، گل‌دهی و پر شدن دانه قابل استحصال است.

در پژوهشی دیگر دهقانی‌زاده (۱۳۹۵) به بررسی سه استراتژی مختلف آبیاری شامل آبیاری پس از ۷۵، ۹۵، ۱۱۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر بر روی برخی از ویژگی‌های سه رقم گندم پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تأخیر در آبیاری از ۹۵ به ۱۱۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزای آن و افزایش درصد پروتئین دانه شد. نتایج کیفی و گنجی خرم‌دل (۱۳۹۵) نشان داد که اعمال تنش کم‌آبی بر اکثر صفات مورد بررسی گندم هامون در منطقه سیستان تأثیر معنی‌داری داشت. به طوری که کمترین مقدار تمام صفات اندازه‌گیری شده در گندم مربوط به تیمار تنش کم-آبی شدید (۵۵ درصد آبیاری کامل) مشاهده شد.

استان خوزستان یکی از مناطق صنعتی و کشاورزی بوده و نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی به ویژه گندم دارا است براساس آمارنامه سال ۹۴-۹۵، ۵۰ درصد از سطح اراضی زیر کشت استان خوزستان متعلق به گندم می‌باشد (۵۳۵۳۰۰ هکتار از مجموع ۱۰۱۰۵۵۹/۴ هکتار اراضی زیر کشت)؛ که در بین غلات بیشترین سطح زیر کشت استان را به خود اختصاص می‌دهد. عملکرد گندم به شدت به مقدار آب ذخیره شده در پروفیل خاک در زمان کشت وابسته بوده و می‌تواند با عملیات آبیاری مناسب افزایش یابد (کانگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۲)؛ بنابراین، مدیریت کارایی آب در ایجاد تولید پایدار و افزایش محصول گندم بسیار مهم است.

² Basinger and Hellman

³ Gee and Or

¹ Kang

در هکتار در سه نوبت آب دوم (۳۰ درصد کود اوره)، اواسط پنجه‌زنی (۴۰ درصد کود اوره) و در مرحله ساقه-دهی (۳۰ درصد کود اوره) توصیه گردید که براساس سطح هر گلدان (530 cm^2) مقادیر محاسبه و مصرف شد. پس تنک‌کردن و حفظ هشت گیاهچه گندم در هر گلدان، تیمارهای تنش کم آبی اعمال گردید. پس از اتمام دوره رشد جهت تعیین مقدار عملکرد، قسمت هوایی گیاهان در آون در دمای 70°C به مدت حداقل ۷۲ ساعت خشک و سپس توزین شدند.

دوره رشد گیاه براساس نشریه FAO 56 به-صورت چهار مرحله متمایز اولیه، توسعه گیاه، میانی و پایانی در نظر گرفته شد. مرحله اولیه رشد گیاه از تاریخ کشت شروع و نزدیک به زمان برقراری پوشش گیاهی ۱۰ درصد پایان می‌یابد. از آنجایی که این پژوهش به صورت گلدانی بوده و سناریوهای مختلف پس از استقرار گیاهچه‌ها و تنک‌کردن آن‌ها اعمال شدند؛ بنابراین در این پژوهش در مرحله اولیه رشد گندم، اعمال تنش کم آبی ممکن نبود. مرحله دوم رشد (توسعه گیاه) از زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصد آغاز و تا زمان پوشش مؤثر کامل ادامه می‌یابد. زمان پوشش مؤثر کامل برای بسیاری از گیاهان مصادف با ظهور خوشه و شروع گل‌دهی است؛ بنابراین مرحله دوم رشد گندم همان رشد رویشی یا ساقه‌دهی خواهد بود. مرحله سوم رشد (مرحله میانی) از زمان ظهور خوشه و گل‌دهی شروع شده و تا رسیدن محصول ادامه می‌یابد. این مرحله شامل گل‌دهی و خمیری شدن دانه گندم است؛ و مرحله پایانی رشد از شروع رسیدن محصول تا زمان برداشت آن ادامه دارد که برابر با مرحله پرشدن دانه گندم خواهد بود (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷).

مخصوص ظاهری خاک به روش سیلندر و در نمونه‌های دست‌نخورده اندازه‌گیری شد (گروسمن و رینش^۱، ۲۰۰۲). فسفر قابل جذب به روش اولسن، پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم، کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و کربن آلی به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شدند (غازان‌شاهی، ۱۳۸۵). به منظور تعیین منحنی مشخصه آب خاک، ابتدا نمونه‌ها با محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ نرمال از قسمت تحتانی اشباع و رطوبت آن‌ها در مکش‌های مختلف با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و غشاء فشاری تعیین شد (دان و هپمن^۲، ۲۰۰۲). با استفاده از نرم افزار RTCE، معادله ون‌گونختن^۳ (۱۹۸۰) بر داده‌های منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده برازش داده شد.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^{1 - \frac{1}{n}}} \quad (1)$$

θ_s و θ_r به ترتیب رطوبت حجمی باقیمانده و اشباع ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) و h مکش ماتریک خاک (cm) می‌باشند.

این پژوهش به صورت کشت گلدانی و در قالب طرح کاملاً تصادفی درسه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ انجام شد. در پرکردن گلدان‌ها سعی شد که خاک گلدان به جرم مخصوص ظاهری خاک در مزرعه رسانیده شود. بدین منظور پس از محاسبه حجم گلدان و جرم خاک مورد نیاز برای رسانیدن به جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شده در مزرعه، مقدار خاک محاسبه شده در گلدان‌ها پر شد. بذور گندم رقم چمران ۲ در گلدان‌های تقریباً ۱۵ کیلوگرمی (با عمق ۲۵ سانتیمتر) در ۱ آذر ماه ۱۳۹۷ کشت شدند. کوددهی براساس نیاز گندم و نتایج آزمون خاک انجام شد. به این صورت که براساس جدول ۱، خاک مورد مطالعه کمبودی از نظر فسفر و پتاسیم نداشت. براساس مقدار نیتروژن خاک و عملکرد معمول گندم در منطقه، مقدار ۳۰۰ کیلوگرم اوره

¹ Grossman and Reinsch

² Done and Hopman

³ van Genuchten

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

ویژگی‌های شیمیایی				ویژگی‌های فیزیکی					
پتاسیم قابل دسترس (mg kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)	نیترژن (%)	کربن آلی (%)	EC (dS m ⁻¹)	BD (g cm ⁻³)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک
۲۲۴	۱۷/۵	۰/۱۲	۱/۲۴	۲/۹۵	۱/۵	۳۴	۵۰	۱۶	لوم رسی سیلتی

BD: جرم مخصوص ظاهری خاک و EC: هدایت الکتریکی خاک می‌باشد

مطالعه تعیین گردید و براساس آن میزان رطوبت خاک معادل هر مکش محاسبه و بر گلدان‌ها اعمال شد. جهت کنترل تیمارها از روش وزنی استفاده شد. به این صورت که وزن گلدان‌ها به صورت روزانه کنترل شد و جهت ثابت نگه داشتن مکش خاک مجدداً به مقدار کاهش وزن هر گلدان، آب به گلدان اضافه شد. مقدار آب مصرفی برای هر گلدان با استفاده از کاهش وزن گلدان به صورت روزانه ثبت گردید. جمع‌آوری داده‌ها تا پایان دوره رشد ادامه یافت.

به منظور شبیه‌سازی شرایط کشت در مزرعه، گلدان‌ها در کنار یکدیگر قرار گرفته و پس از هربار اندازه‌گیری جای گلدان‌ها تغییر داده شد. علاوه بر این، به منظور تأمین شرایط طبیعی آب و هوایی استان خوزستان، گلدان‌ها در فضای آزاد قرار گرفتند و جهت کنترل دقیق رطوبت خاک و جلوگیری از ورود نزولات به سطح گلدان‌ها از یک سایه‌انداز متحرک 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 بر روی گلدان‌ها به حداقل ممکن کاهش یابد. علاوه بر این، چون برای تعیین مقدار رطوبت خاک، گلدان‌ها به صورت روزانه توزین 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 تحقیقاتی استفاده شد.

این پژوهش شامل تیمار آبیاری کامل و تیمارهای اعمال تنش کم‌آبی در سه شدت (کم، متوسط و زیاد) در تمام فصل رشد یا تنها در یک مرحله رشد گندم بود که در مجموع ده تیمار در سه تکرار بر گلدان‌ها اعمال گردید. تیمارها شامل (۱) آبیاری کامل (حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر)، (۲) اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم (حفظ رطوبت خاک در مکش ۲۰۰۰ سانتی‌متر) در تمام دوران رشد گیاه، (۳) اعمال تنش کم‌آبی با شدت متوسط (حفظ رطوبت خاک در مکش ۵۰۰۰ سانتی‌متر) در تمام دوران رشد گیاه، (۴) اعمال تنش کم‌آبی با شدت زیاد (حفظ رطوبت خاک در مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) در تمام دوران رشد گیاه، (۵) اعمال تنش کم‌آبی با شدت متوسط (حفظ رطوبت خاک در مکش ۵۰۰۰ سانتی‌متر) در مرحله دوم رشد گندم (رشد رویشی)، (۶) اعمال تنش کم‌آبی با شدت متوسط (حفظ رطوبت خاک در مکش ۵۰۰۰ سانتی‌متر) در مرحله سوم رشد گندم (مرحله گل‌دهی و خمیری‌شدن دانه)، (۷) اعمال تنش کم‌آبی با شدت متوسط (حفظ رطوبت خاک در مکش ۵۰۰۰ سانتی‌متر) در مرحله پایانی رشد گندم (پر شدن دانه)، (۸) اعمال تنش کم‌آبی با شدت زیاد (حفظ رطوبت خاک در مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) در مرحله دوم رشد گندم (رشد رویشی)، (۹) اعمال تنش کم‌آبی با شدت زیاد (حفظ رطوبت خاک در مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) در مرحله سوم رشد گندم (گل‌دهی و خمیری‌شدن دانه) و (۱۰) اعمال تنش کم‌آبی با شدت زیاد (حفظ رطوبت خاک در مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) در مرحله پایانی رشد گندم (پر شدن دانه) بودند.

جهت اعمال شدت‌های مختلف تنش کم‌آبی، قبل از کاشت گیاه منحنی مشخصه رطوبتی خاک مورد

در رابطه (۲)، کارایی مصرف آب (Kg m^{-3}) در هر تیمار برحسب عملکرد دانه گندم (Y) به ازاء مقدار آب مصرفی در کل دوره (WR) محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری اثرات تیمارهای اعمال شده با استفاده از تجزیه واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 انجام شد.

تا در این شرایط، هم امکان توزین روزانه گلدان‌ها و تنظیم تیمارهای رطوبتی و هم امکان جابه‌جا نمودن سایه-انداز متحرک فراهم گردد (شکل ۱).

با استفاده از رابطه (۲) کارایی مصرف آب (WUE) برای هر تیمار تعیین گردید:

$$WUE = \frac{Y}{WR} \quad (2)$$



شکل ۱- نمایشی از محل اجرای پژوهش و استقرار سایه‌انداز متحرک بر روی گلدان‌ها

رشد گیاه) برابر با ۱۹/۱ لیتر به دست آمد. مقدار آب مصرفی در تیمارهای مختلف تنش کم آبی در محدوده ۹/۶ تا ۱۶/۴ لیتر متغیر بود و به شدت تنش در مراحل مختلف رشد گیاه وابسته بود. اعمال تیمارهای مختلف تنش کم-آبی موجب کاهش معنی‌دار میانگین مصرف آب گردید (شکل ۳). میانگین مقدار کل آب مصرفی در تیمارهای مختلف با اعمال شدت‌های مختلف تنش کم آبی در تمام مراحل رشد گیاه از ۳۱ تا ۴۳ درصد کمتر از تیمار آبیاری کامل بود. در حالی‌که اعمال تنش کم آبی فقط در یک مرحله از رشد گیاه گندم موجب کاهش ۱۷ تا ۳۶ درصد در میانگین مصرف آب آبیاری شد. بیشترین و کمترین میانگین آب مصرفی به ترتیب در تیمار آبیاری کامل (۱۹/۱ لیتر) و سناریو اعمال بیشترین شدت تنش کم آبی (تیمار مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) در تمام دوران رشد گیاه (۱۰/۹

نتایج و بحث

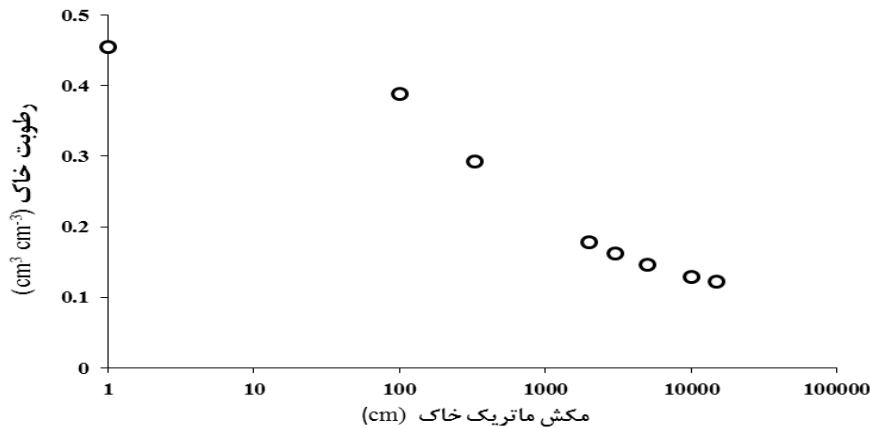
خاک مورد مطالعه دارای بافت لوم رسی سیلتی بود. از نظر حاصلخیزی خاک، مقدار فسفر قابل استفاده و پتاسیم قابل دسترس خاک در محدوده مطلوب برای رشد گندم قرار داشت (جدول ۱). شوری خاک نیز کمتر از حد بحرانی ($EC \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$) بود (ریچاردز^۱، ۱۹۵۴). شکل ۲ منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده می‌باشد. پارامترهای معادله ون‌گنوختن (رابطه ۱) و مقادیر رطوبت خاک در ظرفیت مزرعای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) در جدول ۲ ارائه شده است.

میانگین مقدار آب آبیاری مصرفی در تیمار آبیاری کامل (اعمال مکش ۳۳۰ سانتی‌متر در تمام مراحل

^۱ Richards

برابر با ۳۶۶۰ مترمکعب در هکتار) با مقادیر آب مصرفی براساس سهم نیاز آبی گیاه گندم در مطالعه گوشه (۲۰۱۳) مطابقت دارد. هرچند امداد و همکاران (۱۳۹۷) مقدار کل آب مصرفی در مزارع گندم را در استان خوزستان (شهرستان حمیدیه- رامسه) براساس مدیریت کشاورز بسیار زیاد و در حدود $10000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ گزارش نمودند.

لیتر) مشاهده شد. در مطالعه‌ای گوشه (۱۳۸۶) نشان داد که برای تولید ۴ تا ۴/۵ تن در هکتار گندم در خاک‌های شور خوزستان، حدود ۶۰۰۰ تا ۶۵۰۰۰ متر مکعب آب مورد نیاز است که حدود نیمی از آب مصرفی سهم نیاز آبی گیاه بود؛ بنابراین، مقدار آب مصرفی به دست آمده در این مطالعه برای تیمار آبیاری کامل (برحسب سطح مزرعه

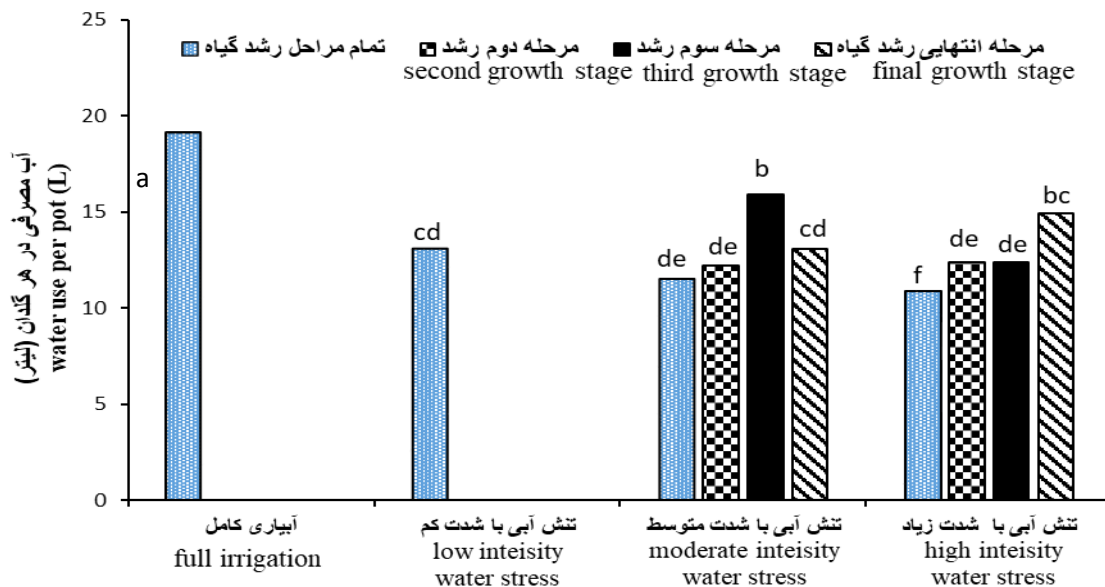


شکل ۲- منحنی مشخصه آب خاک

جدول ۲- پارامترهای معادله ون گنوختن و مقادیر رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم

پارامترهای معادله ون گنوختن					
θ_{PWP} ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	θ_{FC} ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	n (-)	α (cm^{-1})	θ_r ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	θ_s ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
۰/۱۲	۰/۲۹	۱/۲۷	۰/۰۱۲۹۷	۰	۰/۴۵۵

θ_s : رطوبت اشباع خاک، θ_r : رطوبت باقیمانده، α و n : پارامترهای تجربی مدل ون گنوختن (رابطه ۱)، θ_{FC} : رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر، θ_{PWP} : رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم



شکل ۳- مقدار آب مصرفی در هر گلدان در تیمارهای مختلف آبیاری (هر گلدان شامل هشت بوته گندم و دارای سطح مقطعی برابر با 530 cm^2 می‌باشد)

شاخص‌های عملکرد گندم

میانگین مقادیر زیست‌توده، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در هر سنبله در تیمارهای مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که بین میانگین عملکرد دانه در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیشترین میانگین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل (g ۱۱/۹۳) و تیمار تنش کم آبی با شدت کم در تمام مراحل رشد گندم (g ۱۰/۳۵) مشاهده شد. کاهش عملکرد دانه در تیمارهای تنش کم آبی به شدت تنش و زمان اعمال آن مرتبط بود.

اعمال تنش کم آبی در یک مرحله از رشد گیاه: مقدار کاهش عملکرد دانه در هر مرحله از رشد گیاه براساس شدت تنش متغیر بود. اعمال تنش کم آبی در مرحله دوم رشد موجب کاهش ۴۲ درصد (تیمار تنش با شدت متوسط) تا ۶۲ درصد (تیمار تنش با شدت زیاد) عملکرد دانه گندم شد. در حالی که اعمال تنش کم آبی در مرحله سوم رشد گیاه کاهش عملکرد دانه برابر با ۳۴ (تیمار تنش با شدت متوسط) و ۴۰ درصد (تیمار تنش با شدت زیاد) را در پی داشت. کاهش عملکرد دانه برابر با ۶۳ درصد (تنش با شدت متوسط) و ۴۰ درصد (تنش با شدت زیاد) ناشی از اعمال تنش کم آبی در مرحله پایانی رشد گندم بود (جدول ۳). نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تنش کم آبی در مراحل ساقه‌دهی (مرحله دوم رشد) و پر شدن دانه گندم (مرحله پایانی رشد) بیش از مرحله گلدهی و خمیری شدن (مرحله سوم رشد) موجب کاهش عملکرد دانه گندم می‌گردد. نتایج مطالعات نشان داده است که تنش آبی اعمال شده بر مراحل اولیه فاز تولیدی غلات از طریق عدم توسعه گل یا جلوگیری از لقاء گل موجب به تأخیر افتادن و یا ممانعت از گل‌دهی گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌گردد (ساینی و وستگیت^۱، ۱۹۹۹؛ تری^۲، ۲۰۱۶). نتایج مطالعات نمرووری و همکاران (۱۳۹۱) در استان خوزستان نشان داد که قطع آبیاری در

مرحله سنبله‌دهی کامل تا زمان برداشت موجب کمترین عملکرد دانه گندم می‌گردد. این پژوهشگران گزارش نمودند که استفاده از کودهای آلی به همراه کود زیستی در کاهش اثرات اعمال تنش کم آبی در مرحله انتهایی رشد گندم مؤثر است.

تنش کم آبی در تمام فصل رشد گیاه: اعمال سطوح مختلف تنش کم آبی در تمام مراحل رشد گیاه موجب کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۳، ۵۰ و ۷۶ درصد به ترتیب در تیمارهای تنش کم آبی با شدت کم (مکش ۲۰۰۰ سانتی‌متر)، متوسط (مکش ۵۰۰۰ سانتی‌متر) و شدید (مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش درصد کاهش عملکرد دانه گندم نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر این، اعمال تنش با شدت متوسط (مکش ۵۰۰۰ سانتی-متر) در تمام فصل رشد گیاه موجب کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۴ درصد نسبت به تیمار اعمال تنش کم آبی تنها در مرحله دوم رشد و کاهش ۲۴ درصد عملکرد دانه نسبت به تیمار تنش کم آبی در مرحله سوم رشد گیاه گردید؛ اما عملکرد دانه گندم در تیمار تنش کم آبی با شدت متوسط در تمام مراحل رشد گیاه نسبت به اعمال تنش تنها در مرحله پایانی رشد گیاه ۲۷ درصد بیشتر به دست آمد که این امر اهمیت آبیاری مرحله آخر در زراعت گندم در استان خوزستان را نشان می‌دهد.

¹ Saini and Westgate² Tari

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های مختلف عملکرد گندم در تیمارهای مختلف آبیاری

سناریو آبیاری	عملکرد دانه (g)	وزن زیست‌توده (g)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در هر سنبله (-)	کارایی مصرف آب (Kg m ⁻³)
آبیاری کامل	a ۱۱/۹۳	a ۳۸/۴۶	a ۴۶/۸۰	ab ۲۸	b ۰/۶۲
تنش کم‌آبی با شدت کم	a ۱۰/۳۵	b ۲۶/۸۳	ab ۳۹/۵۹	a ۳۱	a ۰/۷۸
تنش کم‌آبی با شدت متوسط	bc ۵/۹۵	d ۱۳/۶۲	bcd ۳۲/۳۳	bc ۲۳	bc ۰/۵۳
مرحله دوم رشد	b ۶/۹۲	c ۱۹/۴۲	abc ۳۸/۰۹	bc ۲۲	bc ۰/۵۶
مرحله سوم رشد	b ۷/۸۶	c ۱۸/۶۲	a ۴۶/۰۱	cd ۱۷	bcd ۰/۵۰
مرحله پایانی رشد	cd ۴/۳۶	de ۱۱/۷۵	d ۲۷/۸۱	cd ۲۰	e ۰/۳۳
تنش کم‌آبی با شدت زیاد	d ۲/۸۶	e ۷/۷۶	cd ۲۸/۹۰	cd ۱۷	e ۰/۲۶
مرحله دوم رشد	cd ۴/۵۲	de ۱۰/۰۸	bcd ۳۱/۳۶	cd ۱۸	de ۰/۳۶
مرحله سوم رشد	b ۷/۱۷	c ۲۰/۶۶	d ۲۸/۳۱	cd ۲۰	bc ۰/۵۸
مرحله پایانی رشد	b ۷/۱۰	c ۱۹/۳۴	d ۲۸/۰۸	cd ۱۹	cd ۰/۴۸

هر گلدان شامل هشت بوته گندم و دارای سطح مقطعی برابر با ۵۳۰ cm² می‌باشد

کم‌آبی در تمام سطوح و در هر یک از مراحل رشد موجب کاهش معنی‌دار زیست‌توده گیاه شد (جدول ۳). با افزایش شدت و مدت زمان اعمال تنش، مقدار زیست‌توده گیاه نیز به‌طور معنی‌دار کاهش یافت، به‌گونه‌ای که اعمال تنش کم‌آبی با شدت زیاد (مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) در تمام فصل رشد گیاه موجب کاهش ۸۰ درصد زیست‌توده تولیدی نسبت به شرایط آبیاری کامل گردید. کاهش جذب رطوبت کافی توسط گیاه در اثر اعمال تنش کم‌آبی، موجب کاهش دوره رشد رویشی و زایشی و در نتیجه کاهش میزان زیست‌توده خواهد شد (یازار^۲ و همکاران، ۲۰۰۹). براساس مطالعات ژو^۳ و همکاران (۲۰۰۶) و دانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۱) نیز بین مقدار آب آبیاری و زیست‌توده گیاه همبستگی بالایی وجود دارد. با افزایش تبخیر و تعرق، میزان زیست‌توده و عملکرد دانه افزایش می‌یابد.

بین مقادیر وزن هزار دانه گندم در تیمارهای مختلف مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). میانگین وزن هزار دانه از ۴۶ g در تیمارهای آبیاری کامل و تنش کم‌آبی با شدت متوسط در مرحله

براساس نتایج این مطالعه، چنانچه گندم در تمام مراحل رشد خود آب کافی دریافت نماید و تنها در مرحله پرشدن دانه‌ها تنش کم‌آبی با شدت متوسط رخ دهد، میزان خسارت وارده به عملکرد دانه گندم بیشتر از زمانی می‌باشد که در تمام مراحل رشد گندم به‌طور یکنواخت تنش کم‌آبی با شدت متوسط اعمال شده باشد. نتایج سینگ (۱۹۸۱) نیز نشان داد که اگر ذخیره آب محدود است، کمبودها باید تقریباً به‌طور یکنواخت در مراحل رشد اولیه و مرحله بحرانی پخش شوند تا تأثیر منفی کمتری بر شاخص‌های عملکرد گندم داشته باشند. اعمال تنش کم‌آبی با شدت زیاد (مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) در تمام مراحل رشد گیاه موجب کاهش عملکرد دانه به میزان ۳۷ درصد نسبت به تیمار تنش کم-آبی با شدت زیاد تنها در مرحله دوم رشد گیاه و کاهش ۶۰ درصد عملکرد دانه نسبت به تیمار تنش کم‌آبی در دو مرحله سوم و پایانی رشد گیاه گندم گردید.

زیست‌توده یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد دانه گندم است (وایت و ویلسون^۱، ۲۰۰۶). بین مقادیر زیست‌توده گندم در تیمارهای مختلف مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($p < 0.01$). اعمال تنش

² Yazar

³ Xue

⁴ Dong

¹ White and Wilson

دانه گندم با بیشترین مقدار زیست توده و شاخص برداشت همراه بود اما بالاترین کارایی مصرف آب را نداشت. این پژوهشگران اظهار نمودند که بالاترین کارایی مصرف آب به وسیله کنترل مناسب مقدار رطوبت خاک و مصرف آب حاصل می شود. بالاترین کارایی مصرف آب در تیمار تنش کم آبی با شدت کم (مکش ۲۰۰۰ سانتی متر) در تمام مراحل رشد گیاه مشاهده شد (۰/۷۸ Kg m⁻³). در تیمارهای تنش کم آبی با شدت متوسط (مکش ۵۰۰۰ سانتی متر)، بالاترین کارایی مصرف آب زمانی مشاهده شد که تنش کم آبی تنها در مرحله دوم رشد گیاه (مرحله رشد رویشی، طویل شدن ساقه) اعمال شده بود (Kg m⁻³ ۰/۵۶). در حالی که در تیمارهای تنش کم آبی با شدت زیاد (مکش ۱۰۰۰۰ سانتی متر)، اعمال تنش در مرحله سوم رشد گیاه (گل دهی و خمیری شدن) بالاترین میزان کارایی آب مصرفی را نشان داد (Kg m⁻³ ۰/۵۸). نتایج مطالعات تاری^۲ (۲۰۱۶) نیز نشان داد که تیمارهایی دارای بالاترین کارایی مصرف آب هستند که تنش در یکی از مراحل ساقه دهی یا خمیری شدن اعمال شده باشد.

در صورتی که مقدار کل آب مصرفی کمتر از میزان تبخیر و تعرق باشد و مقدار زیادی از آب مصرفی در منطقه ریشه گیاه حفظ شود، در این حالت کارایی مصرف آب افزایش می یابد (فررس و سوریانو^۳، ۲۰۰۷). از این رو، تیمار اعمال تنش کم آبی با شدت کم (مکش ۲۰۰۰ سانتی متر) به علت تأمین آب مورد نیاز گیاه و کاهش تلفات آب آبیاری در اثر زهکشی و تبخیر، موجب عملکرد مناسب زیست توده و دانه گندم شده و به علت کنترل آب مصرفی دارای بالاترین کارایی مصرف آب در بین تیمارهای مختلف مورد مطالعه بود. احمد و سلیمان^۴ (۲۰۱۰) کارایی بیشتر مصرف آب در تیمار تنش کم آبی را به هدر رفت آب از طریق تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی بیشتر در تیمار آبیاری کامل مرتبط دانستند. هرچند بایستی به این نکته اشاره نمود که تیمار آبیاری کامل در این

سوم رشد گندم تا ۲۸ g در تیمار تنش کم آبی با شدت متوسط و زیاد در مرحله پایانی رشد گندم متغیر بود. مشاهده کمترین مقدار وزن هزار دانه در تیمار تنش کم آبی اعمال شده در مرحله پایانی رشد گندم احتمالاً ناشی از افزایش پنجه زنی گیاه در اثر آبیاری کافی در مرحله ساقه-دهی (مرحله رشد رویشی) و اعمال تنش در مراحل بعدی رشد گیاه است که موجب کاهش پر شدن دانه و در نتیجه کاهش وزن هزار دانه گندم شده است (تاری، ۲۰۱۶). نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر بسیار زیاد آبیاری در مرحله پر شدن دانه بر کیفیت دانه گندم می باشد. در حالی-که نتایج ژو و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیماری است که در طول دوره گرده-افشانی و تشکیل سنبله آبیاری شود. در این مطالعه، بیشترین تعداد دانه در سنبله نیز در تیمار تنش کم آبی با شدت کم در تمام مراحل رشد گیاه مشاهده شد (جدول ۳) و با افزایش شدت تنش، تعداد دانه در سنبله گندم به-طور معنی داری کاهش یافت.

کارایی مصرف آب (WUE)

نتایج نشان داد که شدت های مختلف تنش کم-آبی و اعمال آن در مراحل مختلف رشد گندم بر کارایی مصرف آب تأثیر معنی داری داشت (جدول ۳). میانگین مقدار WUE برحسب عملکرد دانه گندم در تیمارهای تنش مورد مطالعه در محدوده ۰/۲۶ تا ۰/۷۸ Kg m⁻³ متغیر بود؛ اما نتایج گوشه (۱۳۸۶) نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب در روش آبیاری بارانی برای کشت گندم در استان خوزستان در تیمار آبیاری کامل و برابر با ۱/۰۵ kg m⁻³ بود. در حالی که امداد و همکاران (۱۳۹۷)، کارایی مصرف آب در کشت گندم در سه پایلوت مختلف در سطح استان خوزستان را در محدوده ۰/۴۳ kg m⁻³ - ۰/۲۲ گزارش نمودند. بالاترین مقدار WUE در این مطالعه مربوط به تیمار آبیاری کامل نبود. ژانگ^۱ و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش نمودند که بالاترین عملکرد

² Tari

³ Fereres and Soriano

⁴ Ahmad and Suliman

¹ Zhang

فصل رشد گیاه موجب کاهش ۱۳ درصد عملکرد دانه گندم گردید. درحالی که اعمال تنش با شدت متوسط یا زیاد تنها در یک مرحله از رشد گیاه، حداقل ۳۴ درصد کاهش عملکرد دانه را در پی داشت. براساس نتایج این مطالعه، چنانچه گندم در تمام مراحل رشد خود آب کافی دریافت نماید و تنها در مرحله پرشدن دانه‌ها تنش کم‌آبی با شدت متوسط رخ دهد، میزان خسارت وارده به عملکرد دانه گندم بیشتر از زمانی می‌باشد که در تمام مراحل رشد گندم به طور یکنواخت تنش کم‌آبی با شدت متوسط اعمال شده باشد. بایستی به نکته نیز توجه نمود که با توجه به شرایط اقلیمی استان خوزستان و افزایش دمای هوا در فروردین ماه، اعمال تنش کم‌آبی در مرحله پر شدن دانه تأثیر زیادی بر کاهش کیفیت و عملکرد دانه گندم داشت. علاوه بر این، بیشترین وزن هزار دانه گندم در تیمارهای آبیاری کامل و اعمال تنش کم‌آبی با شدت متوسط در مرحله سوم رشد گندم (گل‌دهی و خمیری شدن دانه) مشاهده شد که مؤید تأثیر مثبت اعمال تنش کم‌آبی با شدت متوسط در مرحله سوم رشد گیاه بر کیفیت دانه گندم می‌باشد. بالاترین کارایی مصرف آب و تعداد دانه در سنبله در تیمار اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم در تمام فصل رشد گندم به دلیل تأمین آب مورد نیاز گیاه و کاهش تلفات آب مشاهده شد. ذکر این نکته ضروری است که برای کنترل دقیق تیمارهای رطوبتی، این پژوهش در مقیاس گلدانی در شرایط طبیعی آب و هوایی استان خوزستان انجام شده است، با این حال، صحت-سنجی نتایج این پژوهش در آزمایش مزرعه‌ای توصیه می‌گردد.

پژوهش شامل تأمین رطوبت خاک تا مکش ۳۳۰ سانتی-متر بود که مکش معادل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در خاک مورد مطالعه است؛ و از آنجایی که در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، زهکشی در اثر نیروی ثقل ناچیز می-گردد بنابراین در این تیمار هم اتلاف آب در اثر زهکشی ناچیز بوده و مصرف آب بیشتر و کارایی کمتر آب آبیاری در این تیمار، احتمالاً ناشی تبخیر بیشتر آب به‌ویژه در انتهای فصل رشد گندم مصادف با گرم شدن شرایط اقلیمی استان خوزستان و دریافت آب بیشتر توسط گیاه در مراحل اولیه رشد (رشد رویشی) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در شرایط اقلیمی استان خوزستان انجام شد. نتایج نشان داد که تأثیر شدت‌های مختلف تنش کم‌آبی بر تمامی شاخص‌های عملکرد گندم در این مطالعه شامل زیست-توده، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله به شدت و زمان اعمال تنش کم‌آبی مرتبط بود. با افزایش شدت و مدت زمان اعمال تنش کم‌آبی، مقدار زیست‌توده گیاه به‌طور معنی‌دار کاهش یافت، به‌گونه‌ای که اعمال تنش با شدت زیاد در تمام فصل رشد گیاه موجب کاهش ۸۰ درصد زیست‌توده تولیدی نسبت به شرایط آبیاری کامل گردید. نتایج نشان داد که اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم در تمام فصل رشد گیاه نسبت به اعمال تنش با شدت متوسط و شدید تنها در یک مرحله از رشد، اثرات منفی کمتری بر عملکرد دانه گندم خواهد داشت. به‌گونه‌ای که تیمار اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم در تمام

فهرست منابع

۱. ابراهیمی‌پاک، ن.ع. ۱۳۹۱. تعیین ضریب واکنش عملکرد گندم به کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۲(۵): ۱۲۲-۱۲۹.
۲. امداد، م.ر.، تافته، ا. و غالبی، س. ۱۳۹۷. اعتبارسنجی مدل آکوکراپ در شبیه‌سازی عملکرد گندم متأثر از تعداد نوبت‌های آبیاری. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد (۳۲): ۴۷۳-۴۶۳.

۳. اندرزیان، ب. ۱۳۹۱. واسنجی و ارزیابی نرم افزار جدید (FAO (AquaCrop model). برای مدیریت کم-آبیاری در گندم تحت شرایط خشکی و خشکسالی در خوزستان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۳۸ صفحه.
۴. دهقانزاده، ح. ۱۳۹۵. تأثیر رژیم‌های آبیاری بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی سه رقم گندم در اصفهان. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۸(۲۴): ۲۵-۳۴.
۵. شهبازپناهی، ب.، پاک‌نژاد، ف. حبیبی، د.، صادقی‌شعاع، م.، نصری، م. و پازکی، ع. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام مختلف گندم (*Triticum aestivum L.*). مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۸(۲): ۱۸۵-۱۹۷.
۶. غازان شاهی، ج. ۱۳۸۵. آنالیز خاک و گیاه. انتشارات آبیژ، ۲۹۶ صفحه.
۷. کیخایی، ف. و گنجی خرم دل، ن. ۱۳۹۵. تأثیر کم‌آبیاری با دو روش نواری و شیاری بر عملکرد. کارایی مصرف آب گندم هامون. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰(۱): ۱-۱۱.
۸. گوشه، م. ۱۳۸۶. تقویم آبیاری جهت تعیین آب مصرفی گندم و کنترل شوری در یک خاک شور ایستگاه تحقیقات کشاورزی اهواز. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات خاک و آب.
۹. نمروری، م. فتحی، ق. بخشنده، ع. قرینه، م. ح.، جعفری، س. ۱۳۹۱. برهمکنش تنش خشکی انتهای فصل و مصرف کودهای آلی بر عملکرد گندم نان (*Triticum aestivum*). مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۵: ۱۶۳-۱۷۳.
۱۰. وزیر، ژ.، سلامت، ع.، انتصاری، م. ر.، مسچی، م.، حیدری، ن. و دهقانی‌سنیچ، ح. ۱۳۸۷. تبخیر- تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۳۵۵ صفحه.
11. Ahmad, F.E., and Suliman, A.S.H. 2010. Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water-use efficiency of Cowpea. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4): 534-540.
12. Basinger, A.R., and Hellman, E.W. 2006. Evaluation of regulated deficit irrigation on grape in Texas and implications for acclimation and cold hardiness. *International Journal of Fruit Science*, 6(2): 3-22.
13. Dane, J.H. and Hopmans, J.W. 2002. Pressure cell. In Dane, J.H. and Topp, G.C. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods*. SSSA Book Series, Soil Science Society of America, Inc, Madison, WI. pp. 684-688.
14. Dehghanisanji, H., Nakhjavani, M.M., Zeggaf Tahiri, A. and Anyoji, H. 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.
15. Dong, B., Shi, L., Shi, C., Qiao, Y., Liu, M. and Zhang, Z. 2011. Grain yield and water use efficiency of two types of winter wheat cultivars under different water regimes. *Agricultural Water Management*, 99: 103-110.
16. Fereres, E. and Soriano, M.A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Special issue on integrated approaches to sustain and improve plant production under drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 58: 147-159.
17. Galavi, M. and Moghaddam, H.A. 2012. Influence of deficit irrigation during growth stages on water use efficiency (wue) and production of wheat cultivars under field conditions. *International Research Journal of Basic Applied Science*, 3(10): 2071-2078.
18. Gee, G.W. and Or, D. 2002. Particle-size analysis. In Dane, J.H. and Topp, G.C. (eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods*. SSSA Book Series, Soil Science Society of America, Inc, Madison, WI. pp. 255- 293.

19. Grossman, R.B. and Reinsch, T.G. 2002. Bulk density and linear extensibility. In Dane, J.H., and Clake, G.C. (eds.). *Methods of soil analysis. Part 4: Physical Methods*. SSSA Book Series, Soil Science Society of America, Inc, Madison, WI. pp: 201- 228.
20. Huang, M., Gallichand, J. and Zhong, L. 2004. Water–yield relationships and optimal water management for winter wheat in the Loess Plateau of China. *Irrigation Science*, 23: 47–54.
21. Kang, S., Zhang, F. and Zhang, J. 2002. A simulation model of water dynamics in winter wheat field and its application in a semiarid region. *Agricultural Water Management*, 49: 115-129.
22. Liu, H., Li, F. and Xu, H. 2004. Deficiency of water can enhance root respiration rate of drought sensitive but not drought-tolerant spring wheat. *Agricultural Water Management*, 64, 41-48.
23. Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Sodic Soils*. USDA Agriculture Handbook 60. USDA, Washington, DC.
24. Robertson, M.J. and Guinta, F. 1999. Responses of spring wheat exposed to preanthesis water stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 45: 19-35.
25. Saini, H.S., Westgate, M.E. 1999. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy*, 68: 59–96.
26. Seckler, D., Upali, A., Molden, D., de Silva, R., Barker, R. 1998. *World Water Demand and Supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues*. Research Report 19. International Water Management Institute: Colombo, Sri Lanka, 40 pp.
27. Singh, S.D. 1981. Moisture–sensitive growth stages of dwarf wheat and optimal sequencing of evapotranspiration deficits. *Agronomy Journal*, 73: 387-391.
28. Tari, A.F. 2016. The effects of different deficit irrigation strategies on yield, quality, and water-use efficiencies of wheat under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 167: 1-10.
29. Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 892-898.
30. White, E.M., Wilson, F.E.A. 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.
31. Wu, Y., Huang, M. and Gallichand, J. 2011. Transpirational response to water availability for winter wheat as affected by soil textures. *Agricultural Water Management*, 98: 569–576.
32. Xue, Q.W., Zhu, Z.X., Musick, J.T., Stewart, B.A. and Dusek, D.A. 2006. Physiological mechanisms contributing to the increased water-use efficiency in winter wheat under deficit irrigation. *Journal of Plant Physiology*, 163: 154–164.
33. Yazar, A., Gokcel, F., and Sezen, M.S. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant and Soil Environment*, 55(11): 494–503.
34. Zhang, B., Li, F., Huang, G., Cheng, Z., Zhang, Y. 2006. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. *Agricultural Water Management*, 79: 28–42.
35. Zhang, H. and Oweis, T. 1999. Water yield relations and optimal scheduling of wheat in Mediterranean's region, *Agricultural Water Management*, 38 (3), 195-211.

Evaluation of the Effect of Water Deficit Stress on Wheat Yield in a Moderate-Textured Soil in Khuzestan Province

F. Meskini-Vishkaee¹*, A.R. Jafarnejadi, and N. Davatgar

Assistance Professor, Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

Fatemeh.meskini@yahoo.com

Associate Professor, Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran.

arjafarnejady@gmail.com

Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

n_davatgar@yahoo.com

Abstract

Irrigation water scarcity is one of the major limiting factors in agricultural production. This study was conducted to investigate the effect of different intensities of water deficit stress on yield and water use efficiency of Chamran 2 wheat cultivar in a moderate-textured soil in Khuzestan province. In this research, 10 treatments including full irrigation and water deficit stress at three intensity levels (low, moderate, and severe) were applied under two conditions: during whole growing season or at a given stage of plant growth. This research was done as a completely randomized design with three replications. The salinity of studied soil was 2.95 dS m⁻¹, and soil texture was silty clay loam. The mean water use in different stress treatments was less than full irrigation by 17% (moderate-intensity stress in the third growth stage of wheat) to 43% (high-intensity stress throughout the plant growth period). Applying different intensities of water stress caused reduction in wheat grain yield by 13% (low-intensity stress throughout the growth period) to 76% (high-intensity stress throughout the growth period). The results showed that water stress at stem elongation and grain filling stages of wheat reduced the grain yield more than stress at flowering and milk stages. The lowest value of mean thousand kernel weight (28 g) was observed in the treatments applied in the final growth stage of wheat, confirming the importance of irrigation effects during grain filling stage on the quality of grain. The overall water use efficiency in low-intensity water stress (0.78 g L⁻¹) was higher than the full irrigation treatment (0.62 g L⁻¹), probably due to the reduction of irrigation water losses by drainage and evaporation.

Keywords: Irrigation, Water use efficiency, Wheat growth stages.

¹- Corresponding author: Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

*- Received: September 2019, and Accepted: June 2020