نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳٤ / شماره ۲/ ۱۳۹۹

10.22092/JWRA.2020.122260

# ارزیابی اثر تنش کم‌آبی بر عملکرد گندم در یک خاک با بافت متوسط در استان خوزستان

فاطمه مسکینی ویشکایی[۱]*، علیرضا جعفرنژادی و ناصر دوات‌گر

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.**arjafarnejady@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 عمده‌ترین عوامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی است. این پژوهش با هدف بررسی اثر شدت‌های مختلف تنش کم‌آبی بر شاخص‌های 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 کم‌آبی در سه سطح تنش (کم، متوسط و شدید) در دوحالت در تمام فصل رشد و یا در مرحله‌ای از رشد گیاه اعمال شدند. این پژوهش به‌صورت کشت گلدانی در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. شوری خاک مورد مطالعه $۲/۹۵\ dS\ m^{-1}$ و بافت خاک لوم رسی سیلتی بود. میانگین مقدار کل آب مصرفی در تیمارهای مختلف تحت تنش کم‌آبی از ۱۷% (تنش کم‌آبی با شدت متوسط در مرحله سوم رشد گندم) تا ۴۳٪ (تنش کم‌آبی با شدت زیاد در تمام فصل رشد) کمتر از آبیاری کامل بود. عملکرد دانه گندم با اعمال شدت‌های مختلف تنش موجب ۱۳ ٪ (تنش کم‌آبی با شدت کم در تمام فصل رشد) تا ۷۶ ٪ (تنش کم‌آبی با شدت زیاد در تمام فصل رشد) کاهش شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی در مراحل ساقه‌دهی و پر شدن دانه گندم بیش از تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی و خمیری شدن موجب کاهش عملکرد دانه گردید. کمترین میانگین وزن هزار دانه (۲۸ g) در تیمار تنش کم‌آبی اعمال شده در مرحله پایانی رشد گندم مشاهده شد که مؤید اهمیت اثر آبیاری در مرحله پرشدن دانه بر کیفیت دانه گندم است. کارآیی مصرف آب در تیمار اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم ( $۰/۷۸\ g\ L^{-1}$) نسبت به تیمار آبیاری کامل ($۰/۶۲\ g\ L^{-1}$) بیشتر بود و علت آن احتمالا کاهش تلفات آب آبیاری در اثر زهکشی و تبخیر در آن تیمار بود.**

**واژه‌های 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**

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[1] 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[2] 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[3] و همکاران، ۲۰۰٤). علاوه براین، برای دست‌یابی به یک کشاورزی پایدار، آگاهی از عوامل مؤثر بر فراهمی آب خاک توسط گیاهان نیز امری ضروری است (وو[4] 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 پا بلند بودن) و طول فصل رویش متغیر می‌باشد. مطالعات متعدی برای ارزیابی اثر تنش کم‌آبی بر روی گیاهان مختلف از جمله گندم و تعیین مراحل حساس رشد صورت گرفته است. نتایج برخی مطالعات روی گندم نشان داد که تنش کم‌آبی قبل از مرحله خوشه رفتن به طور نسبی عملکرد را کاهش نمی‌دهد (ژانگ و اویس[5]، ۱۹۹۹). هرچند تنش کم‌آبی در مراحل جوانه‌زنی و رشد ساقه (قبل از گرده افشانی) باعث کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود، لیکن اثر عمده تنش پس از گرده‌افشانی باعث محدودشدن ظرفیت ذخیره دانه گندم خواهد شد (رابرتسون و گوینتا[6]، ۱۹۹۹). بعضی از مطالعات نیز نشان می‌دهد که تنش کم‌آبی در هر مرحله از رشد باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد، به عبارت دیگر بین تبخیر و تعرق و عملکرد رابطه خطی وجود دارد. تحقیقات لی‌یو[7] و همکاران (۲۰۰٤) نشان داد که میزان ذخیره رطوبتی خاک عامل مهم در تعیین شدت تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد محصول است. نتایج مطالعات قلوی و مقدم[8] (۲۰۱۲) نشان داد که اعمال تنش کم‌آبی بر عملکرد، شاخص برداشت، کارآیی مصرف آب و کارآیی تبخیر و تعرق گندم مؤثر است.

نتایج ابراهیمی پاک (۱۳۹۱) مؤید حساس تا نیمه حساس بودن گندم به تنش کم‌آبی به‌ترتیب در مراحل گل‌دهی، ساقه‌دهی، شیری شدن، پنجه‌دهی، جوانه-زنی و خمیری‌شدن بود. در این پژوهش مرحله گل‌دهی بیشترین حساسیت را نسبت به تنش کم‌آبی داشت و با کاهش مقدار آب قابل دسترس خاک در این مرحله، عملکرد به‌شدت کاهش یافت. شهبازپناهی و همکاران (۱۳۹۱) اثر چهار سطح آبیاری (آبیاری کامل، آبیاری کافی تا گرده افشانی و عدم آبیاری تا ٦۰ 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 شاخص-های 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

[1] Seckler
[2] Dehghanisanji
[3] Huang
[4] Wu
[5] Zhang and Oweis
[6] Robertson and Guinta
[7] Liu
[8] Galavi and Moghaddam

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 به‌دست می‌آید. در صورتی‌که 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 ویژگی های 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 کیخایی و گنجی خرم‌دل (۱۳۹۵) نشان داد که اعمال تنش کم‌آبی بر اکثر صفات مورد بررسی گندم هامون در منطقه سیستان تأثیر معنی‌داری داشت. به‌طوری‌که 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 ۱۰۱۰۵۵۹/٤ 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[1] و همکاران، ۲۰۰۲)؛ بنابراین، مدیریت کارآیی آب در ایجاد تولید پایدار و افزایش محصول گندم بسیار مهم است.

باسینگر و هلمن[2] (۲۰۰٦) بیان نمودند که اعمال تنش کم-آبی تنظیم‌شده، کارآیی 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 نوبت‌دهی 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 شدت-های مختلف بر شاخص‌های عملکرد گندم و کارآیی 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 به‌صورت مرکب انجام و به آزمایشگاه منتقل شد (مختصات x= ۲۹٦۸۱۰ و y= ۳۵۳٤٦۰۷ ). خاک پس از خشک‌شدن 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[3]، ۲۰۰۲). جرم

[1] Kang

[2] Basinger and Hellman

[3] Gee and Or

مخصوص ظاهری خاک به روش سیلندر و در نمونه‌های دست‌نخورده اندازه‌گیری شد (گروسمن و رینش[1]، 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 کربن‌آلی 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[2]، ۲۰۰۲). با استفاده از نرم افزار RTCE، معادله ون‌گنوختن[3] (۱۹۸۰) بر داده‌های منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده برازش داده شد.

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

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

این پژوهش به صورت کشت گلدانی و در قالب طرح کاملا 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 تقریبا 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 در هکتار در سه نوبت آب دوم (۳۰ درصد کود اوره)، اواسط پنجه‌زنی (٤٠ 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 کم‌آبی اعمال گردید. پس از اتمام دوره رشد جهت تعیین مقدار عملکرد، قسمت هوایی گیاهان در آون در دمای ۷۰°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 آنجایی‌که این پژوهش به‌صورت 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 کم‌آبی 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 خمیری‌شدن 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).

[1] Grossman and Reinsch
[2] Done and Hopman
[3] van Genuchten

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

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

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

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، ٤) 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)، ٦) 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 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. به‌این صورت که وزن گلدان‌ها به صورت روزانه کنترل شد و جهت ثابت نگه داشتن مکش خاک مجددا 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.

به‌منظور 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 جابه-جا می‌شد تا تعداد روزهای استقرار سایه‌انداز بر روی گلدان‌ها به حداقل ممکن کاهش یابد. علاوه براین، 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.

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) کارآیی مصرف آب (WUE) برای هر تیمار تعیین گردید:

$$WUE = \frac{Y}{WR} \quad (۲)$$

در رابطه (۲)، کارآیی 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.

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

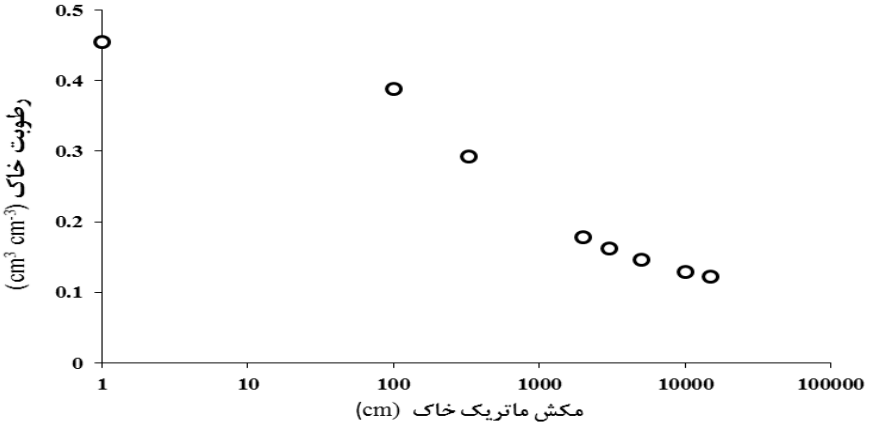
**نتایج و بحث**

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 ($EC \geq 4\ dS\ m^{-1}$) بود (ریچاردز[1]، ۱۹٥٤). شکل ۲ منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده می‌باشد. پارامترهای معادله ون‌گنوختن (رابطه ۱) و مقادیر رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه‌ای (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 رشد گیاه) برابر با ۱۹/۱ لیتر به دست آمد. مقدار آب مصرفی در تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی در محدوده ۹/٦ تا ۱٦/٤ 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 کم‌آبی در تمام مراحل رشد گیاه از ۳۱ تا ٤۳ درصد کمتر از تیمار آبیاری کامل بود. در حالی‌که اعمال تنش کم‌آبی فقط در یک مرحله از رشد گیاه گندم موجب کاهش ۱۷ تا ۳٦ درصد در میانگین مصرف آب آبیاری شد. بیشترین و کمترین میانگین آب مصرفی به‌ترتیب در تیمار آبیاری کامل (۱۹/۱ لیتر) و سناریو اعمال بیشترین شدت تنش کم‌آبی (تیمار مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر) در تمام دوران رشد گیاه (۱۰/۹

[1] Richards

لیتر) مشاهده شد. در مطالعه‌ای گوشه (۱۳۸۶) نشان داد که برای تولید ٤ تا ٤/٥ تن در هکتار گندم در خاک‌های شور خوزستان، حدود ٦۰۰۰ تا ٦٥۰۰۰ 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 برابر با ۳٦٦۰ 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 $10000\ m^3\ ha^{-1}$ گزارش نمودند.

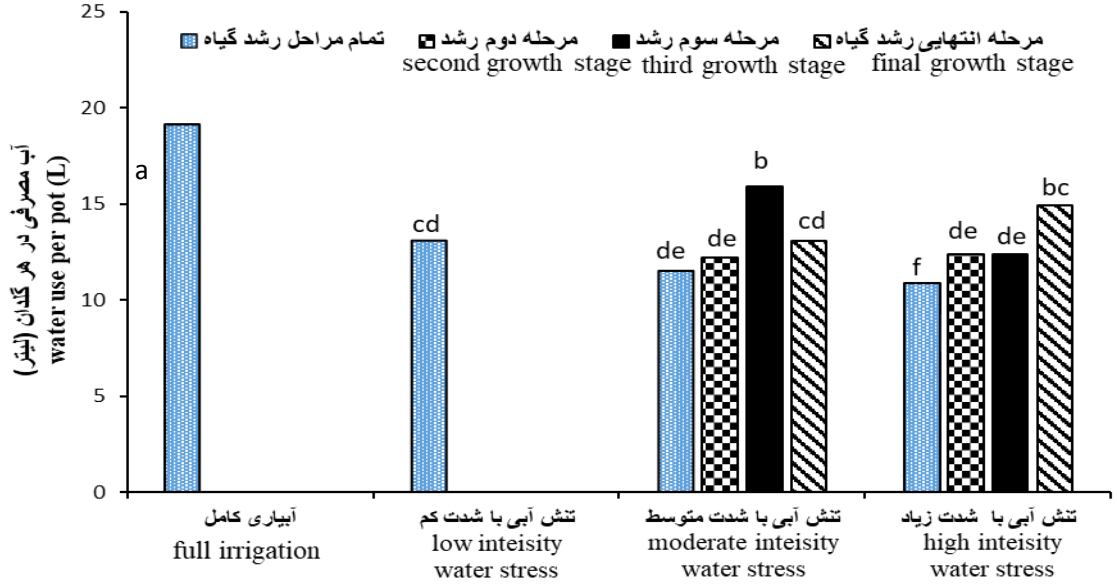



**شکل ۲- منحنی مشخصه آب خاک**

**جدول ۲- پارامترهای معادله ون‌گنوختن و مقادیر رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم**

| پارامترهای معادله ون گنوختن | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\theta_s$ ($cm^3\ cm^{-3}$) | $\theta_r$ ($cm^3\ cm^{-3}$) | $\alpha$ ($cm^{-1}$) | n (-) | $\theta_{FC}$ ($cm^3\ cm^{-3}$) | $\theta_{PWP}$ ($cm^3\ cm^{-3}$) |
| ۰/۴۵۵ | ۰ | ۰/۰۱۲۹۷ | ۱/۲۷ | ۰/۲۹ | ۰/۱۲ |

$\theta_S$: رطوبت اشباع خاک، $\theta r$: رطوبت باقیمانده، $\alpha$ و n: پارامترهای تجربی مدل ون گنوختن (رابطه ۱) ، $\theta_{FC}$: رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر، $\theta_{PWP}$: 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 معنی-داری وجود داشت. بیشترین میانگین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل (۱۱/۹۳ g) و تیمار تنش کم‌آبی با شدت کم در تمام مراحل رشد گندم (۱۰/۳۵ g) مشاهده شد. کاهش عملکرد دانه در تیمارهای تنش کم‌آبی به شدت تنش و زمان اعمال آن مرتبط بود.

اعمال تنش کم‌آبی در یک مرحله از رشد گیاه: مقدار کاهش عملکرد دانه در هر مرحله از رشد گیاه براساس شدت تنش متغیر بود. اعمال تنش کم‌آبی در مرحله دوم رشد موجب کاهش ٤٢ درصد (تیمار تنش با شدت متوسط) تا ٦٢ درصد (تیمار تنش با شدت زیاد) عملکرد دانه گندم شد. در حالی‌که اعمال تنش کم‌آبی در مرحله سوم رشد گیاه کاهش عملکرد دانه برابر با ٣٤ (تیمار تنش با شدت متوسط) و ٤٠ درصد (تیمار تنش با شدت زیاد) را در پی داشت. کاهش عملکرد دانه برابر با ٦٣ درصد (تنش با شدت متوسط) و ٤٠ درصد (تنش با شدت زیاد) ناشی از اعمال تنش کم‌آبی در مرحله پایانی رشد گندم بود (جدول ۳). نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تنش کم‌آبی 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[1]، ۱۹۹۹؛ تاری[2]، ۲۰۱٦). نتایج مطالعات نمروری 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 کم‌آبی در مرحله انتهایی رشد گندم مؤثر است.

تنش کم‌آبی در تمام فصل رشد گیاه: اعمال سطوح مختلف تنش کم‌آبی در تمام مراحل رشد گیاه موجب کاهش عملکرد دانه به‌میزان ۱۳، ۵۰ و ٧٦ درصد به‌ترتیب در تیمارهای تنش کم‌آبی 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 به‌میزان ١٤ درصد نسبت به تیمار اعمال تنش کم‌آبی تنها در مرحله دوم رشد و کاهش ٢٤ درصد عملکرد دانه نسبت به تیمار تنش کم‌آبی در مرحله سوم رشد گیاه گردید؛ اما عملکرد دانه گندم در تیمار تنش کم‌آبی 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 Westgate
[2] 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 (-) | کارآیی مصرف آب ($Kg\ m^{-3}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| آبیاری کامل | تمام مراحل رشد | a۱۱/۹۳ | a ۳۸/۳۶ | a ۴۶/۸۰ | ab ۲۸ | b ۰/۶۲ |
| تنش کم‌آبی با شدت کم | تمام مراحل رشد | a ۱۰/۳۵ | b ۲۶/۸۳ | ab ۳۹/۵۹ | a ۳۱ | a ۰/۷۸ |
| تنش کم‌آبی با شدت متوسط | تمام مراحل رشد | bc ۵/۹۵ | d ۱۳/۶۲ | bcd ۳۲/۳۳ | bc۲۳ | 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 | de۱۱/۷۵ | d ۲۷/۸۱ | cd۲۰ | e ۰/۳۳ |
| تنش کم‌آبی با شدت زیاد | تمام مراحل رشد | d ۲/۸۶ | e ۷/۷۶ | cd ۲۸/۹۰ | cd۱۷ | 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 $530\ cm^2$ می‌باشد

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. نتایج سینگ (۱۹۸۱) نیز نشان داد که اگر ذخیره آب محدود است، کمبودها باید تقریبا 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 به‌میزان 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[1]، ۲۰۰۶). بین مقادیر زیست‌توده گندم در تیمارهای مختلف مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($p < 0.01$). اعمال تنش 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[2] و همکاران، ۲۰۰۹). براساس مطالعات ژو[3] و همکاران (۲۰۰۶) و دانگ[4] 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

[1] White and Wilson

[2] Yazar
[3] Xue
[4] Dong

سوم رشد گندم تا g ۲۸ در تیمار تنش کم‌آبی با شدت متوسط و زیاد در مرحله پایانی رشد گندم متغیر بود. مشاهده کمترین مقدار وزن هزار دانه در تیمار تنش کم‌آبی اعمال شده در مرحله پایانی رشد گندم احتمالا ناشی از افزایش پنجه‌زنی 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 پرشدن دانه بر کیفیت دانه گندم می‌باشد. درحالی-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 کم‌آبی با شدت کم در تمام مراحل رشد گیاه مشاهده شد (جدول ۳) و با افزایش شدت تنش، تعداد دانه در سنبله گندم به-طور معنی‌داری کاهش یافت.

## کارآیی مصرف آب (WUE)

نتایج نشان داد که شدت‌های مختلف تنش کم-آبی و اعمال آن در مراحل مختلف رشد گندم بر کارآیی مصرف آب تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). میانگین مقدار WUE برحسب عملکرد دانه گندم در تیمارهای تنش مورد مطالعه در محدوده‌ی ۰/۲۶ تا $Kg\ m^{-3}$ ۰/۷۸ متغیر بود؛ اما نتایج گوشه (۱۳۸۶) نشان داد که بیشترین کارآیی مصرف آب در روش آبیاری بارانی برای کشت گندم در استان خوزستان در تیمار آبیاری کامل و برابر با $kg\ m^{-3}$ ۱/۰۵ بود. در حالی‌که امداد و همکاران (۱۳۹۷)، کارآیی مصرف آب در کشت گندم در سه پایلوت مختلف در سطح استان خوزستان را در محدوده $kg\ m^{-3}$ ۰/۴۳ – ۰/۲۲ گزارش نمودند. بالاترین مقدار WUE در این مطالعه مربوط به تیمار آبیاری کامل نبود. ژانگ[1] و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش نمودند که بالاترین عملکرد دانه گندم با بیشترین مقدار زیست‌توده و شاخص برداشت همراه بود اما بالاترین کارآیی مصرف آب را نداشت. این پژوهشگران اظهار نمودند که بالاترین کارآیی مصرف آب به‌وسیله کنترل مناسب مقدار رطوبت خاک و مصرف آب حاصل می‌شود. بالاترین کارآیی مصرف آب در تیمار تنش کم‌آبی با شدت کم (مکش ۲۰۰۰ سانتی‌متر) در تمام مراحل رشد گیاه مشاهده شد ( $Kg\ m^{-3}$ ۰/۷۸). در تیمارهای تنش کم‌آبی با شدت متوسط (مکش ۵۰۰۰ سانتی‌متر)، بالاترین کارآیی مصرف آب زمانی مشاهده شد که تنش کم‌آبی تنها در مرحله دوم رشد گیاه (مرحله رشد رویشی، طویل شدن ساقه) اعمال شده بود ($Kg\ m^{-3}$ ۰/۵۶). در حالی‌که در تیمارهای تنش کم‌آبی با شدت زیاد (مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر)، اعمال تنش در مرحله سوم رشد گیاه (گل‌دهی و خمیری شدن) بالاترین میزان کارآیی آب مصرفی را نشان داد ($Kg\ m^{-3}$ ۰/۵۸). نتایج مطالعات تاری[2] (۲۰۱۶) نیز نشان داد که تیمارهایی دارای بالاترین کارآیی مصرف آب هستند که تنش در یکی از مراحل ساقه‌دهی یا خمیری‌شدن اعمال شده باشد.

در صورتی‌که 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 کارآیی مصرف آب افزایش می‌یابد (فررس و سوریانو[3]، ۲۰۰۷). از این رو، تیمار اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم (مکش ۲۰۰۰ سانتی‌متر) به‌علت تأمین آب مورد نیاز گیاه و کاهش تلفات آب آبیاری در اثر زهکشی و تبخیر، موجب عملکرد مناسب زیست‌توده و دانه گندم شده و به علت کنترل آب مصرفی دارای بالاترین کارآیی مصرف آب در بین تیمارهای مختلف مورد مطالعه بود. احمد و سلیمان[4] (۲۰۱۰) کارآیی بیشتر مصرف آب در تیمار تنش کم‌آبی 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

[1] Zhang

[2] Tari
[3] Fereres and Soriano
[4] Ahmad and Suliman

پژوهش شامل تأمین رطوبت خاک تا مکش ۳۳۰ سانتی-متر بود که مکش معادل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در خاک مورد مطالعه است؛ و از آنجایی‌که 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 کارآیی کمتر آب آبیاری در این تیمار، احتمالا 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 عمکلرد گندم و کارآیی 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 فصل رشد گیاه موجب کاهش ۱۳ درصد عملکرد دانه گندم گردید. درحالی‌که اعمال تنش با شدت متوسط یا زیاد تنها در یک مرحله از رشد گیاه، حداقل ۳٤ 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 کارآیی مصرف آب و تعداد دانه در سنبله در تیمار اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم در تمام فصل رشد گندم به‌دلیل 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 این‌حال، صحت-سنجی نتایج این پژوهش در آزمایش مزرعه‌ای توصیه می‌گردد.

**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): ٤٧٣–٤٦٣.

۳. اندرزیان، ب. ۱۳۹۱. واسنجی و ارزیابی نرم افزار جدید (AquaCrop model) FAO، برای مدیریت کم-آبیاری در گندم تحت شرایط خشکی و خشکسالی در خوزستان. گزراش نهایی طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۳۸ صفحه.

٤. دهقان‌زاده، ح. ۱۳۹۵. تأثیر رژیم‌های آبیاری بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی سه رقم گندم در اصفهان. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۸(۲٤): ۲۵- ۳٤.

۵. شهبازپناهی، ب.، پاک‌نژاد، ف. حبیبی، د.، صادقی‌شعاع، م.، نصری، م. و پازکی، ع. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر رژیم-های آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام مختلف گندم (*Triticum aestivum L.*). مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۸ (۲): ۱۸۵ -۱۹۷.

٦. غازان شاهی، ج. ۱۳۸۵. آنالیز خاک و گیاه. انتشارات آییژ، ۲۹٦ 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. ۱۳۸٦. 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: ۱٦۳-۱۷۳.

۱۰. وزیری، 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 cultivers 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 evapotrnspiration 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-Vishkaee [1*], 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