

تاثیر حذف آبیاری در مراحل انتهایی رشد بر کارایی مصرف آب و عملکرد پنبه ژنوتیپ گندم در مشهد

محمد حسین رحیمیان^{۱*} و مسعود قدسی

مری پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.

rahimian45@yahoo.com

استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.

masoudghodsi@yahoo.com

چکیده

به منظور استفاده بهینه از منابع آب در مزارع گندم با تعیین ژنوتیپ و برنامه آبیاری مناسب، در این پژوهش اثر حذف آبیاری در مراحل انتهایی رشد و نمو گندم با استفاده از کرت های خرد شده بر پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار و طی دو سال زراعی متوالی (۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲) در ایستگاه طرق مشهد مورد بررسی قرار گرفت. عامل آبیاری شامل: W_1 - آبیاری در مراحل طولی شدن ساقه، گل دهی، شیری شدن دانه و خمیری شدن دانه، W_2 - آبیاری در مراحل طولی شدن ساقه، گل دهی و شیری شدن دانه، و W_3 - آبیاری در مراحل طولی شدن ساقه و گل دهی در کرت های اصلی و تعداد پنج ژنوتیپ گندم (C_1 : Toos, C_2 : C-78-4, C_3 : C-78-8, C_4 : C-79-6, C_5 : C-) در کرت های فرعی قرار گرفت. نتایج نشان داد، اثر تیمار آبیاری بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب معنی دار بود. حذف آبیاری در مراحل شیری و خمیری شدن دانهها موجب کاهش عملکرد بیولوژیک (به ترتیب ۴/۱۷ و ۱۲/۱ درصد) و عملکرد دانه (به ترتیب ۵/۱۴ و ۱۱/۹ درصد) شد. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم در تیمارهای آبیاری W_1 ، W_2 و W_3 به ترتیب ۵۸۳۴، ۵۵۴۹ و ۵۲۱۵ کیلوگرم در هکتار و میانگین کارایی مصرف آب آنها در تیمارهای آبیاری مذکور به ترتیب ۱/۰۲۲، ۱/۴۲۶ و ۲/۳۴۶ کیلوگرم بر متر مکعب بود. ژنوتیپ های C_3 و C_4 به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۵۸۹۳ و ۵۳۵۳ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. نتیجه این تحقیق نشان داد، حذف آبیاری در مراحل انتهایی رشد گندم هر چند موجب افزایش کارایی مصرف آب شد، ولی کاهش معنی دار عملکرد دانه را به دنبال داشت و بنابر این حذف آبیاری در این مراحل قابل توصیه نمی باشد. ژنوتیپ های C_4 و C_5 علاوه بر عملکرد بالا، بیشترین کارایی مصرف آب (به ترتیب با میانگین ۱/۸۱۴ و ۱/۷۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب) را در کلیه تیمارهای آبیاری به خود اختصاص دادند و نسبت به تنش رطوبتی انتهای فصل رشد از تحمل خوبی برخوردار بودند.

واژه های کلیدی: تنش رطوبتی، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه.

۱- آدرس نویسنده مسئول: مشهد، روبرو پلیس راه طرق، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی. صندوق پستی ۴۸۸

* دریافت: تیر ۱۳۹۱ و پذیرش: آبان ۱۳۹۲

آب گیاه عبارت است از نسبت عملکرد دانه به آب مصرفی گیاه (تبخیر- تعرق)، در صورتی که کارایی مصرف آب مزرعه عبارت از نسبت عملکرد دانه به واحد حجم آب داده شده به مزرعه (آبیاری+ بارندگی) است. کارایی مصرف آب به عوامل متعددی از جمله نوع رقم، خصوصیات گیاه، مدیریت آبیاری و حاصلخیزی خاک بستگی دارد (اسدی، ۱۳۷۸؛ خیرابی، ۱۳۷۹؛ آبخضر و قهرمان، ۱۳۸۲). طبق یک تعریف ساده کم آبیاری عبارت از استفاده بیشتر و بهتر و یا حداکثر از واحد آب به جای واحد زمین است (نخجوانی، ۱۳۸۲). کم آبیاری به نام‌های دیگری چون آبیاری بخشی^۱، آبیاری ناقص^۲، کم آبیاری تنظیم شده یا کم آبیاری محدود^۳ نیز خوانده می‌شود (نخجوانی، ۱۳۸۲؛ دورنباس و کاسم، ۱۹۸۶).

کم آبیاری روشی از اعمال مدیریت است که براساس آن ضمن وارد نیامدن خسارت شدید به گیاه در اثر تنش رطوبتی و با قبول کاهش مقداری از عملکرد، در مقدار آب آبیاری صرفه جویی می‌شود. در روش کم آبیاری ممکن است مراحل از رشد و نمو گیاه تحت تاثیر تنش رطوبتی ملایم قرار گیرند. تنش ملایم ناشی از کم آبیاری ممکن است به دلیل تاخیر چند روز در آبیاری و یا کاهش مقدار آب مصرفی در هر نوبت آبیاری باشد.

اما به هر حال در هیچ یک از حالات مذکور گیاه نباید در معرض تنش رطوبتی سخت قرار گیرد. دیدگاه اصلی در روش کم آبیاری استفاده از آب صرفه جویی شده برای توسعه کشت، ذخیره آب برای استفاده در مراحل حساس گیاه و یا استفاده از آب برای کشت محصولات اقتصادی‌تر است (دورنباس و کاسم، ۱۹۸۶). در سال‌های اخیر یکی از راهکارها برای بهینه سازی مصرف آب در گیاهان زراعی و تولید محصولات با درآمد حداکثر تحت شرایط کمبود آب، استفاده از روش کم آبیاری بوده است. کم آبیاری یک روش یا سیستم آبیاری

با توجه به محدودیت منابع آب در مناطق مختلف کشور که عمدتاً دارای شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک می‌باشند، توجه به کارایی مصرف آب ضروری است. از آنجا که عوامل گیاهی و مدیریتی بر افزایش تولید محصول به ازای هر واحد آب مصرفی و به عبارتی افزایش کارایی مصرف آب مؤثر می‌باشند، لذا با انتخاب رقم مناسب، تنظیم عوامل کشت و انجام آبیاری در مراحل حساس به کمبود رطوبت می‌توان مقدار تولید محصول را به ازای آب مصرفی افزایش داد. به دلیل کمبود منابع آب در کشور، توجه به بالا بردن تولید به ازای مصرف هر واحد آب آبیاری (کارایی مصرف آب) از جمله اهداف مهم در کشاورزی می‌باشد. از کل منابع آب قابل استفاده کشور حدود ۸۳ میلیارد متر مکعب در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد (وزیری، ۱۳۷۹).

این در صورتی است که میزان تولیدات کشاورزی اراضی فاریاب در افق ۲۵ سال آینده کشور بایستی به حداقل ۱۸۶ میلیون تن بالغ گردد که اگر با کارایی مصرف آب فعلی یعنی تولید ۰/۷ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب آب بخواهیم به اهداف فوق دست یابیم، باید بالغ بر ۲۶۶ میلیارد متر مکعب آب مصرف شود که با توجه به کل آب قابل استحصال کشور، امکان حصول آن به هیچ وجه میسر نیست. جهت نیل به این مهم در تولید محصولات کشاورزی چاره دیگری غیر از افزایش کارایی مصرف آب در اراضی فاریاب به میزان ۱/۸ تا ۲ کیلوگرم تولید به ازاء هر متر مکعب نیست (نخجوانی، ۱۳۸۲؛ زکرفوت و ماجور، ۱۹۹۴). اهمیت بهینه سازی کارایی مصرف آب به اندازه‌ای است که اگر این شاخص فقط پنج درصد افزایش یابد مقدار آب صرفه جویی شده معادل با کل نیاز فعلی بخش های صنایع و معادن و آب شرب شهرها و روستاها خواهد شد (نخجوانی، ۱۳۸۲؛ دورنباس و کاسم، ۱۹۸۶). پاندا و بهرا (۲۰۰۳) کارایی مصرف آب در گندم را در دو عبارت بیان می‌کنند: (۱) کارایی مصرف آب گیاه، (۲) کارایی مصرف آب مزرعه. کارایی مصرف

1-Partial irrigation
2-Deficit irrigation
3-Limited irrigation

باشد. اثرات تنش رطوبتی در مراحل انتهایی رسیدن دانه (سخت شدن) بر کاهش عملکرد گندم کمتر از سایر مراحل است. در ارومیه مطالعات نشان داد که اگر آبیاری گندم از مرحله ظهور سنبله انجام نشود، کاهش عملکرد حداکثر خواهد بود و میزان آب مصرفی در سه مرحله ظهور سنبله، گل‌دهی و رسیدن دانه برابر ۳۵۶۶ متر مکعب در هکتار گزارش شد (توکلی، ۱۳۷۹). نتایج مطالعه دیگری نشان داد که کارایی مصرف آب با انجام آبیاری در سه مرحله طولی شدن ساقه، گل‌دهی و شیری شدن دانه، حداکثر می‌باشد (راوی چاندران و مونگر، ۱۹۹۵).

انتخاب رقم مناسب که در شرایط تنش خشکی محصول قابل قبولی تولید نماید نیز سبب افزایش کارایی مصرف آب خواهد شد. بررسی ارقام مختلف گندم در کلرادو نشان داد که ارقام نیمه پا کوتاه که در شرایط کشت آبی به خوابیدگی (ورس) مقاوم‌تر بودند، عملکرد بیشتری تولید کردند (نادری، ۱۳۸۱). بررسی میزان آب مصرفی گندم در منطقه‌ای از کشور مراکش با آب و هوای مدیترانه‌ای نیمه خشک نشان داد که از ۲۷۵ میلی متر آب مورد نیاز گندم حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد آن تا مرحله ظهور سنبله مصرف می‌شود (کوربیلز و همکاران، ۱۹۹۸).

به نژادگران یکی از قدم‌های اولیه اصلاح برای تحمل به خشکی را تعیین محیط محل کشت مقصد^۱ عنوان می‌نمایند (قدسی، ۱۳۸۳؛ کوربیلز و همکاران، ۱۹۹۸). در شرایط آب و هوایی مشهد (همانند سایر مناطق مدیترانه‌ای) بخش عمده‌ای از نزولات جوی در طی پاییز و زمستان نازل می‌شود، و معمولاً در کشت پاییزه گندم بخش عمده‌ای از دوره زندگی گیاه (عمدتاً مرحله پنجه-زنی) منطبق بر این فصول بوده و گیاه می‌تواند با استفاده از نزولات جوی نیاز آبی خود را رفع نماید. به هر حال به دلیل نزول بارندگی‌های مؤثر تا ابتدای رشد سریع گندم (اوایل بهار) معمولاً کشاورزان مزارع گندم را آبیاری نمی‌نمایند. بحرانی بودن مرحله پر شدن دانه‌های گندم در شرایط آب و هوایی مشهد، از این نظر اهمیت دارد که

نیست بلکه یک نوع مدیریت کارا و پویای بهره برداری به شمار می‌رود که اثرات ویژه‌ای در مدیریت منابع آب، استحصال، انتقال و مصرف آب و نهایتاً در اقتصاد کشاورزی دارد (نخجوانی، ۱۳۸۲؛ دورنباس و کاسم، ۱۹۸۶؛ ال کیسی و شاناهان، ۲۰۰۱). از عوامل مهم در برنامه‌ریزی کم آبیاری می‌توان به آب موجود در خاک، پتانسیل آب خاک، پتانسیل آب گیاه و دمای پوشش گیاهی اشاره کرد.

دو پارامتر پتانسیل آب گیاه و دمای پوشش گیاهی جزء شاخص‌های مستقیم تنش رطوبتی بوده و جهت تعیین زمان آبیاری موثرتر هستند، در حالی که شاخص میزان آب موجود در خاک نسبت به سایر شاخص‌ها کاربردی‌تر است و در عمل بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (خیرابی، ۱۳۷۹؛ کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹؛ نادری، ۱۳۸۱). تا کنون تحقیقات متعددی در زمینه انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب گندم جهت کشت در شرایط محدودیت آب، تعیین مراحل حساس به کمبود رطوبت و برنامه‌ریزی آبیاری انجام شده است. بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که گندم خصوصاً در مراحل سنبله‌دهی و دو هفته قبل از گرده‌افشانی به خشکی حساس است، به طوری که کمبود رطوبت در مرحله گل‌دهی، انجام گرده‌افشانی و لقاح را به شدت تحت تاثیر قرار داده و کاهش عملکرد چشمگیر و به اندازه‌ای است که با انجام آبیاری در مراحل بعد قابل جبران نمی‌باشد (توکلی، ۱۳۷۹؛ صادق زاده و کشاورز، ۱۳۷۹؛ آبخضر و قهرمان، ۱۳۸۲؛ قدسی، ۱۳۸۳؛ ال کیسی و شاناهان، ۲۰۰۱).

در بررسی اثر تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو بر روی چهار ژنوتیپ گندم در منطقه مشهد (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹)، اعمال تنش رطوبتی از مرحله گرده‌افشانی تا مرحله رسیدگی موجب شد عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نسبت به شاهد (آبیاری کامل) حدود ۴۵٪ کاهش یابد که حاکی از شدت تاثیر تنش رطوبتی بر عملکرد و اجزای آن در طی این مرحله بحرانی نمو می-

آبیاری در چهار مرحله (W₁) شامل: طولی شدن ساقه، گل‌دهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه، ۲- آبیاری در سه مرحله (W₂) شامل: طولی شدن ساقه، گل‌دهی و شیری شدن دانه و ۳- آبیاری در دو مرحله (W₃) شامل: طولی شدن ساقه و گل‌دهی. ژنوتیپ‌های گندم نیز شامل: C₃: C-78-8, C₄: C-79-6, C₁: Toos, C₂: C-78-4, C₅: C-79-16 بودند. ابعاد کرت‌های اصلی ۹۶ متر مربع (با احتساب یک متر فاصله بین کرت‌های فرعی به منظور جلوگیری از اثر نفوذ آب در کرت‌های مجاور) و کرت‌های فرعی ۱۴/۴ = ۶ × ۲/۴ متر مربع بود، بدین صورت که هر ژنوتیپ بر روی ۶ خط به طول ۶ متر و فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی متر کشت شد.

بین کرت‌های اصلی دو متر و بین تکرارها پنج متر به عنوان فاصله در نظر گرفته شد. میزان بذر بر اساس وزن هزار دانه و با تراکم بوته ۴۵۰ بذر در متر مربع تعیین و مصرف شد. کشت با ردیف کار آزمایش‌های غلات انجام شد. میزان کودهای شیمیایی مصرفی (ماکرو و میکرو) قبل از کشت بر اساس آزمون خاک و توصیه بخش تحقیقات تغذیه گیاهی با فرمول (۱۲۰-۷۵-۵۰) کیلوگرم N-P-K خالص در هکتار تعیین و یک سوم کود نیتروژنه و تمام کودهای شیمیایی فسفره و پتاسه هنگام کشت و بقیه کود نیتروژنه به صورت سرک در دو مرحله طولی شدن ساقه‌ها و قبل از ظهور سنبله مصرف شد. در طول دوره رشد از صفات مورفولوژیک و زراعی از جمله ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی یادداشت برداری به عمل آمد.

معمولاً به دلیل عدم بارندگی مؤثر در این مرحله تامین آب کافی از طریق آبیاری را ضروری می‌سازد. در حالی که آبیاری‌های آخر گندم (مرحله پر شدن دانه‌ها) با آبیاری کاشت صیفی‌جات برخورد می‌نماید و کشاورزان به دلیل این که محصول تابستانه خود را به موقع کشت نمایند، آبیاری‌های آخر گندم را حذف می‌کنند، بنابراین گندم در این مرحله با تنش رطوبتی و گرمای انتهایی فصل رشد مواجه شده و عملکرد آن شدیداً کاهش می‌یابد.

در این پژوهش، عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان در شرایط آب و هوایی منطقه مشهد تحت سه برنامه مختلف آبیاری با هدف حذف آبیاری در بعضی مراحل بررسی شد. همچنین، میزان تحمل به خشکی این ژنوتیپ‌ها، کارایی مصرف آب و مقدار آب مورد نیاز آنها در این شرایط بررسی شد. از طرفی، در این آزمایش عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های گندم سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق سرد به عنوان مهم‌ترین زراعت آبی استان خراسان بررسی می‌شود تا ژنوتیپ‌های مناسب با بیشترین تولید در شرایط کم آبیاری انتخاب شوند.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده (اسپیلت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با سه تیمار آبیاری در کرت‌های اصلی و پنج ژنوتیپ گندم (چهار ژنوتیپ امید بخش و یک رقم معمول منطقه) در کرت‌های فرعی به شرح زیر در ایستگاه طرق مشهد اجرا شد. تیمارهای آبیاری عبارت بودند از: ۱-

جدول ۱- نتایج مربوط به تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق)

بافت خاک	میلی‌گرم در کیلوگرم (mg/kg)		کربن آلی %(O.C)	ازت کل %	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی dSm ⁻¹	عمق سانتیمتر
	فسفر قابل جذب	پتاس قابل جذب					
سیلتی لوم	۲۳۴	۱۴/۴	۰/۵۷	۰/۰۶۶	۰/۵۷	۱/۱۰	۰-۳۰
سیلتی لوم	۱۹۵	۱۴/۰	۰/۵۵	۰/۰۶۷	۰/۵۵	۱/۱۷	۳۰-۶۰

قبل از کشت از عمق ۳۰-۶۰ و ۰-۳۰ سانتی متری نمونه خاک تهیه و میزان pH, EC, فسفر و پتاسیم قابل جذب، درصد نیتروژن و کربن آلی و بافت خاک تعیین شد. آب آبیاری نیز تجزیه و میزان pH و EC، سدیم، کلر، بی-کربنات کلسیم و منیزیم و نسبت جذب سدیم آن اندازه گیری شد جداول (۱ و ۲).

جدول ۲- نتایج مربوط به تجزیه شیمیایی آب محل اجرای آزمایش (ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق)

نسبت جذب سدیم S.A.R	میلی اکی والان در لیتر							اسیدیته pH	هدایت الکتریکی ds.m ⁻¹	
	سدیم	منیزیم	کلسیم	کلسیم + منیزیم	سولفات	کلر	بیکربنات			
	۱/۶	۲/۶	۳/۵	۱/۸	۵/۳	۳/۵	۱/۶	۲/۱	۷/۴	۰/۷۷

$$F_n = V / A \quad (4)$$

در فرمول فوق F_n ارتفاع آب آبیاری بر حسب متر، V حجم آب آبیاری بر حسب متر مکعب و A مساحت زمین آبیاری شده بر حسب متر مربع می باشد. در جدول (۳) مقادیر دبی ورودی و خروجی و حجم و ارتفاع آب آبیاری در مراحل مختلف نمو و در طی دو سال اجرای آزمایش آورده شده است. با داشتن ارتفاع آب آبیاری در هر مرحله نمو، مقدار آب مصرفی در هر تیمار آبیاری محاسبه شد.

در نهایت صفات عملکرد دانه و بیولوژیک، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح، وزن هزار دانه و شاخص برداشت اندازه گیری و همچنین کارایی مصرف آب بر اساس حاصل نسبت عملکرد دانه به ازای میزان آب مصرفی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب با فرمول زیر محاسبه شد.

$$WUE = Y / W \quad (5)$$

در فرمول فوق WUE کارایی مصرف آب، Y عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و W میزان آب مصرفی بر حسب متر مکعب در هکتار می باشد.

پس از رسیدن محصول و حذف اثر حاشیه ای از کرت ها، برداشت از شش خط وسط به طول پنج متر انجام شد و مساحت برداشت $6 = (1/2 \times 5)$ مترمربع بود. در نهایت صفات عملکرد دانه و بیولوژیک، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح، وزن هزار دانه و شاخص برداشت اندازه گیری و همچنین کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه تعیین شد.

پس از کشت یک یا دو نوبت آبیاری یکنواخت انجام و میزان آب مصرفی اندازه گیری شد. قبل از هر آبیاری، درصد رطوبت خاک در عمق ریشه در کلیه تیمارها و همچنین درصد رطوبت خاک در هنگام کشت و زمان برداشت تا عمق یک متر به روش وزنی تعیین شد.

جهت اندازه گیری مقدار آب مصرفی از دو عدد پارشال فلوم (نوع واشنگتنی) تیپ چهار در ورودی و خروجی مزرعه استفاده شد. در زمان آبیاری، ارتفاع آب در پارشال فلوم ورودی (H_{in}) و همچنین ارتفاع آب در پارشال فلوم خروجی (H_{out}) قرائت گردید و زمان آبیاری نیز از ابتدا تا قطع آبیاری اندازه گیری و ثبت شد. مقدار دبی آب با استفاده از فرمول زیر بدست آمد:

$$Q = 0.0294H^{2.12} \quad (1)$$

در این فرمول H ارتفاع آب بر حسب سانتی متر و Q دبی آب بر حسب لیتر در ثانیه می باشد. برای محاسبه دبی آب مصرفی، دبی آب ورودی از دبی آب خروجی کسر شد:

$$Q = Q_{in} - Q_{out} \quad (2)$$

با داشتن زمان آبیاری، حجم آب آبیاری از طریق رابطه زیر بدست آمد:

$$V = Q \cdot T \quad (3)$$

در رابطه فوق V حجم آب آبیاری، Q دبی آب آبیاری و T زمان آبیاری می باشد. با بدست آوردن حجم آب آبیاری و با تقسیم نمودن آن بر مساحت زمین آبیاری شده ارتفاع آب آبیاری بدست آمد:

جدول ۳- مجموع آب مصرفی (متر مکعب در هکتار)

تیمارهای مختلف آبیاری در سال‌های اجرای آزمایش

تیمار آبیاری	۱۳۸۱-۸۲	۱۳۸۲-۸۳
W ₁	۵۴۰۰	۶۱۴۰
W ₂	۳۹۴۰	۳۸۵۰
W ₃	۱۹۰۰	۲۰۸۰

به طور معنی‌داری کاهش یابد شکل (۱). همچنین عملکرد دانه تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری قرار گرفت و با اعمال تیمار W₃ عملکرد دانه به طور معنی‌دار کاهش یافت شکل (۱). حذف آبیاری در مراحل شیری و خمیری شدن دانه‌ها موجب کاهش عملکرد بیولوژیک (به ترتیب به میزان ۴/۱۷ و ۱۲/۱ درصد) و عملکرد دانه (به ترتیب به میزان ۵/۱۴ و ۱۱/۹ درصد) شد. از طرف دیگر، نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین ژنوتیپ‌های مختلف در میانگین عملکرد تیمارهای آبیاری تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت جدول (۴).

تحقیقات انجام شده در زمینه اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و اعمال تنش خشکی به ویژه در مراحل انتهایی رشد و نمو گندم نشان داده است که عملکرد بیولوژیک و دانه ارقام مختلف گندم تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفته و کاهش می‌یابد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. اهدایی (۱۳۷۲) و آبخضر و قهرمان (۱۳۸۲) نیز گزارش دادند که وقوع تنش رطوبتی پس از مرحله گرده افشانی سبب کاهش چشمگیر عملکرد دانه ارقام گندم شد. همچنین در تحقیقات مشابهی که توسط سینگ (۱۹۸۱)، نخجوانی (۱۳۸۲) و آبخضر و قهرمان (۱۳۸۲) انجام شده است، گزارش نمودند که تنش رطوبتی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه‌ها بیشترین تاثیر را در کاهش عملکرد دانه گندم داشته است.

تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه و تحلیل‌های آماری بر اساس موازین طرح کرت‌های خرد شده انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه-ای دانکن استفاده شد. نتایج با استفاده از نرم افزار Mstac تجزیه و تحلیل و برای رسم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد. در نهایت پس از انجام آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب بر اساس امید ریاضی منابع تغییر بر روی صفات مورد نظر از جمله عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ژنوتیپ‌های گندم انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک (کل ماده خشک اندام‌های هوایی)،

عملکرد دانه و شاخص برداشت

تجزیه واریانس مرکب داده‌های این آزمایش نشان داد، اثر تیمار آبیاری بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه به ترتیب در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود جدول (۴). اثر تیمارهای W₁ (آبیاری در مراحل طولی شدن ساقه، گل‌دهی، شیری شدن دانه و مرحله خمیری دانه) و W₂ (آبیاری در مراحل طولی شدن ساقه، گل‌دهی و شیری شدن دانه) بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود. اعمال تیمار W₃ (آبیاری در مراحل طولی شدن ساقه و گل‌دهی) که با حذف دو مرحله آبیاری در مراحل انتهایی رشد و نمو گندم همراه بود، باعث شد عملکرد بیولوژیک

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و ارتفاع بوته (میانگین مربعات)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	ارتفاع بوته
سال	۱	۹۳۵۵۱/۶۴۸ ^{n.s}	۴۴۱۶۷۶/۹۲۸	۱۳۹۹/۴۱۷ ^{**}	۱۹۰/۶۷۸ [*]
تکرار (سال)	۴	۲۸۰۳۴/۵۸۲	۱۰۷۳۷/۳۹۷	۲۴/۱۸۸	۲۶/۲۱۱
آبیاری	۲	۱۹۴۱۱۶۲/۰۸۵ ⁻⁻⁻	۲۸۹۲۳/۷۹۸ ⁻	۱/۷۷ ^{n.s}	۰/۷۴۴ ^{n.s}
سال × آبیاری	۲	۱۰۹۵۱۷/۰۵ ⁻	۳۲۸۶/۲۱۲ ^{n.s}	۴۲/۹۲۳ ^{n.s}	۶۴/۷۴۳ ^{n.s}
خطای a	۸	۲۰۴۰۲/۹۱۱	۴۵۳۵/۹۴	۲۴/۷۸	۲۹/۴۶۱
رقم	۴	۳۸۰۷۵/۵۹۶ ^{n.s}	۱۰۰۷۳/۱۱۱ ^{n.s}	۸۰/۱۲۳ ^{n.s}	۱۹۸/۷۵ ⁻⁻⁻
سال × رقم	۴	۷۱۲۷۴/۹۴۵ ^{n.s}	۲۷۱۷۴/۲۹ ⁻⁻⁻	۵۶/۱۳۷ ^{n.s}	۴۲/۸۷۲ ^{n.s}
آبیاری × رقم	۸	۵۲۶۳۰/۲۵۸ ^{n.s}	۲۴۱۶/۰۹۶ ^{n.s}	۲۲/۶۲۷ ^{n.s}	۲۵/۸۸۳ ^{n.s}
سال × آبیاری × رقم	۸	۲۹۵۹۵/۲۳۴ ^{n.s}	۲۸۴۳/۵۶۲ ^{n.s}	۲۲/۱۳۸ ^{n.s}	۴۸/۶۰۶ ^{n.s}
خطای b	۴۸	۳۴۷۰۳/۶۱۶	۴۲۵۷/۷۴۸	۳۳/۴۰۸	۴۰/۳۹۲
ضریب تغییرات (C.V%)		۱۳/۳	۱۱/۹۲	۱۴/۵	۶/۶۵

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

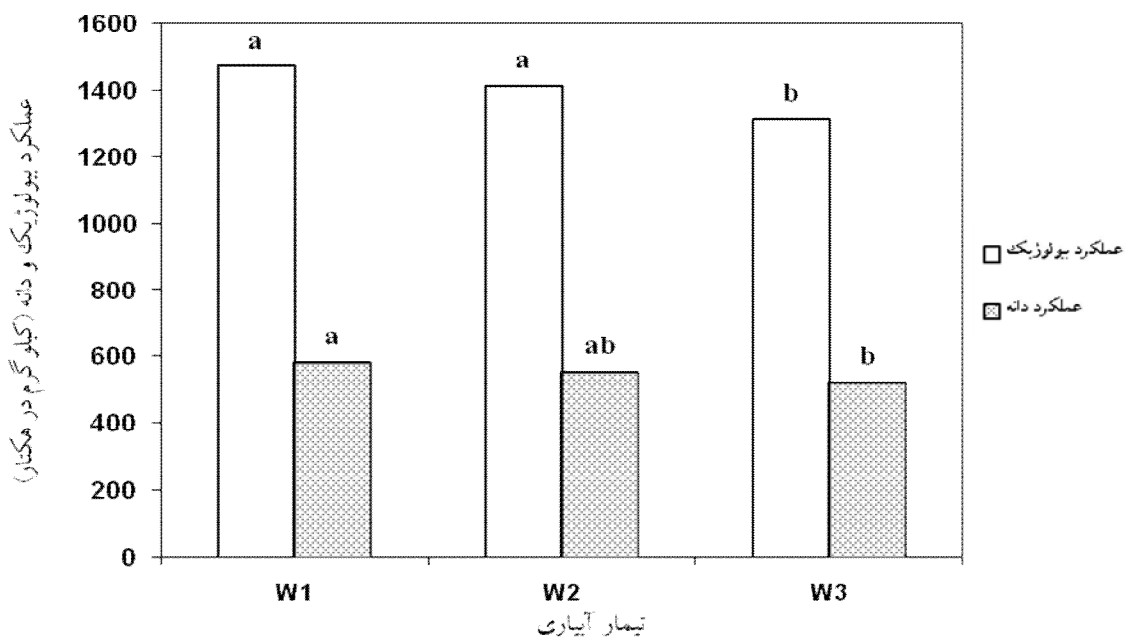
n.s غیر معنی دار

خشکی بین ارقام گندم واریانس ژنوتیپی وجود دارد و معمولاً ارقامی که در شرایط معمولی از عملکرد زیادی برخوردارند، شرایط تنش را نیز بهتر تحمل نموده و عملکرد قابل قبولی تولید می کنند.

تجزیه واریانس مرکب داده های این آزمایش نشان داد که فقط اثر سال بر شاخص برداشت و ارتفاع بوته معنی دار بود و بقیه اثرات غیر معنی دار بودند جدول (۴). برای دستیابی به عملکرد دانه بالا بایستی بین میزان رشد قبل و بعد از گرده افشانی توازن وجود داشته باشد. رشد کمتر قبل از گرده افشانی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک شده ولی باعث به حداکثر رساندن شاخص برداشت خواهد شد، در حالی که رشد بیشتر قبل از گرده افشانی بیوماس را به حداکثر رسانده ولی باعث کاهش شاخص برداشت می شود (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹؛ قدسی، ۱۳۸۳؛ ال کیسی و شاناهان، ۲۰۰۱).

بین میزان تجمع ماده خشک در مراحل قبل و بعد از گرده افشانی گندم ارتباط وجود دارد و برای حصول عملکردهای بالا، بایستی گیاه قبل از مرحله گرده افشانی به رشد مطلوبی برسد. گزارش شده اعمال تنش رطوبتی قبل از مرحله گرده افشانی گندم باعث کاهش رشد و نمو، ارتفاع بوته و بیوماس شد (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹؛ آنباگ و دی ویلیرز، ۱۹۹۵) که با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت دارد. بسیاری از دانشمندان معتقدند، افزایش عملکرد دانه مرهون توازن منبع و مخزن می باشد (حیدری شریف آباد، ۱۳۷۹؛ قدسی، ۱۳۸۳).

بطور کلی اگرچه هر دو عامل منبع و مخزن باعث محدودیت عملکرد دانه گندم می شوند، اما شواهد نشان می دهد حتی در مورد لاینهای جدید گندم نیز مخزن عامل محدود کننده می باشد (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹؛ آنباگ و دی ویلیرز، ۱۹۹۵). برخی از پژوهشگران (قدسی، ۱۳۸۳) معتقدند از نظر تحمل به



شکل ۱- اثر تیمار آبیاری بر عملکرد بیولوژیک و دانه

اجزای عملکرد دانه

نموی برای تعیین پتانسیل عملکرد دانه یک مرحله بحرانی است (قدسی، ۱۳۸۳؛ ال کیسی و شاناهان، ۲۰۰۱). در این آزمایش ژنوتیپ‌های مورد بررسی قبل از مرحله گرده‌افشانی تحت تنش رطوبتی قرار نگرفتند، بنابراین انتظار بر این بود که صفات تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله نیز تحت تاثیر تیمارهای آبیاری قرار نگیرند.

البته شرایط محیطی پس از مرحله گرده‌افشانی نیز بر روی تعداد دانه در واحد سطح مؤثر می‌باشد. با توجه به اینکه در مرحله رشد سریع و طویل شدن ساقه گندم، رقابت بین اندامهای مختلف گیاه نیز صورت می‌گیرد، تنش رطوبتی باعث تشدید رقابت اندامها برای دسترسی به مواد پرورده (فتوسنتزی) شده و بنابراین تعداد سنبله بارور در واحد سطح کاهش می‌یابد (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹؛ پاندا و بهرا، ۲۰۰۳).

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر آبیاری بر تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله معنی‌دار نبود جدول (۵). عدم معنی‌دار بودن تیمارهای مختلف آبیاری را می‌توان به این موضوع نسبت داد که تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله قبل از مرحله گرده‌افشانی و در طی آن شکل گرفته و تعیین می‌شوند.

از ابتدای مرحله رشد زایشی آغازین های سنبله شروع به طویل شدن نموده و سپس بر روی آنها سنبلچه‌ها و گلچه‌ها تشکیل می‌شوند. بنابراین ساختار سنبله در مرحله نمو سنبله تعیین می‌شود و پس از آن با انجام گرده‌افشانی تعداد دانه در هر سنبله شکل می‌گیرد (آبخضر و قهرمان، ۱۳۸۲؛ ال کیسی و شاناهان، ۲۰۰۱). یک جزء مهم عملکرد دانه، یعنی تعداد دانه در سنبله (توانایی مقصد) در طی مرحله رشد سنبله جوان (از گل‌انگیزی تا ظهور برگ پرچم) تعیین می‌شود، بنابراین این مرحله‌ی

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب صفات تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب (میانگین مربعات)

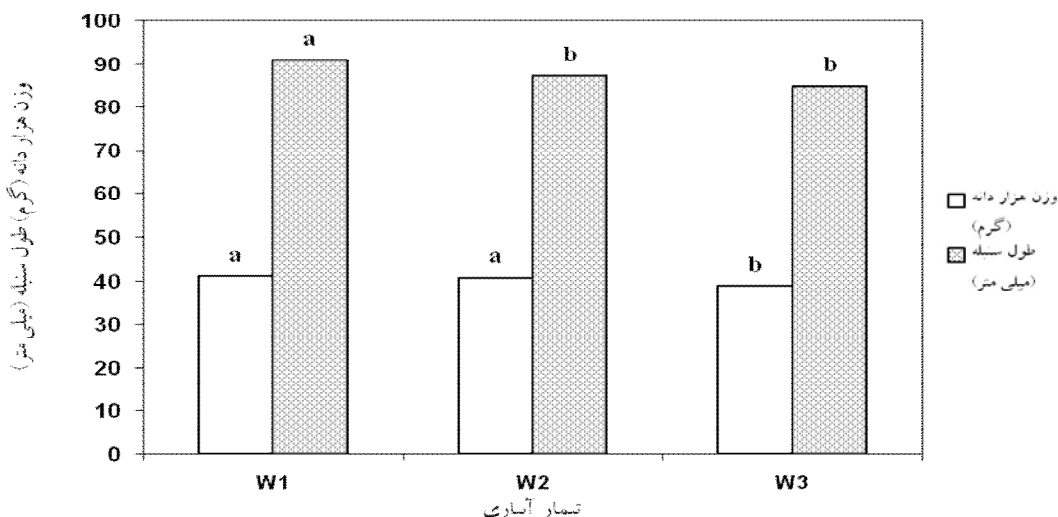
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد سنبله در متر مربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	کارایی مصرف آب
سال	۱	۳۷۰۶۴۷/۹۲۳**	۱۲۵/۴۱۵ ^{n.s}	۷۹۳/۲۸۷**	۶/۹۲۵**
تکرار (سال)	۴	۲۱۳۳/۴۹	۳۸/۱۹۵	۱۰/۱۳۷	۰/۱۵۴
آبیاری	۲	۱۲۰۷۶/۷۴۱ ^{n.s}	۳۹/۹۱۴ ^{n.s}	۴۵/۹**	۲۱/۱۱۹**
سال × آبیاری	۲	۱۶۲۸۸/۰ ^{n.s}	۷۱/۹ ^{n.s}	۶/۷۳ ^{n.s}	۰/۹۱۰**
خطای a	۸	۳۲۹۴/۴۵۹	۲۵/۰۷۱	۴/۵۱۲	۰/۱۰۰
رقم	۴	۹۴۹۷/۶۹۸ ^{n.s}	۳۴۵/۴۶۴**	۱۵۹/۳۴۵**	۰/۱۴۰ ^{n.s}
سال × رقم	۴	۳۳۱۷/۹۲۳ ^{n.s}	۲۶۶/۶۸۱ ^{n.s}	۵۲/۷۳۳**	۰/۳۷۸**
آبیاری × رقم	۸	۶۱۴۸/۹۷۳ ^{n.s}	۱۴/۳۹۷ ^{n.s}	۱۵/۷۴۷ ^{n.s}	۰/۰۴۹ ^{n.s}
سال × آبیاری × رقم	۸	۵۳۲۸/۷۵۱ ^{n.s}	۲۸/۶۹ ^{n.s}	۹/۰۷ ^{n.s}	۰/۰۶۶ ^{n.s}
خطای b	۴۸	۴۰۱۳/۴۲۳	۲۲/۰۰۳	۷/۶۰۹	۰/۰۵۰
ضریب تغییرات (C.V%)		۱۲/۸۷	۱۸/۴۷	۶/۸۶	۱۳/۱۴

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و n.s غیر معنی دار

کاهش سرعت پر شدن دانه ها و در نتیجه وزن هزار دانه شد. معمولا افزایش نسبی دوره پر شدن دانه ها در شرایط معمولی باعث انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه ها شده و در نتیجه وزن هزار دانه افزایش می یابد. البته به نظر می رسد در شرایط تنش رطوبتی سرعت انتقال از اهمیت بیشتری برخوردار است و در این شرایط زودرسی نسبی صفتی مطلوب تلقی می شود.

بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، از نظر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه تفاوت‌های آماری معنی داری وجود داشت شکل (۳). ژنوتیپ های C3 و C4 به ترتیب بیشترین تعداد دانه در سنبله و بیشترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند. همچنین این ژنوتیپ‌ها تحت تیمارهای مختلف آبیاری نیز بالاترین عملکرد دانه را در میانگین دو سال اجرای آزمایش به خود اختصاص دادند جدول (۵).

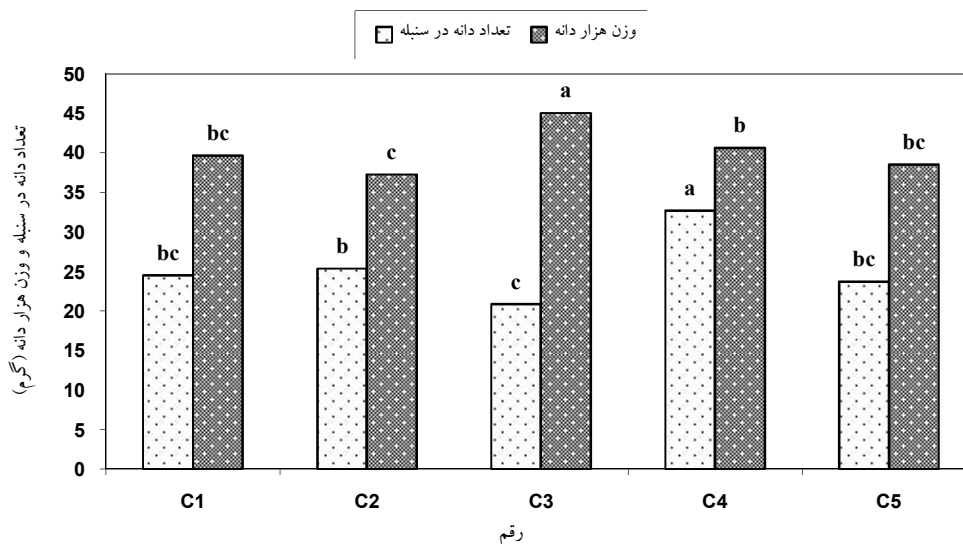
از طرف دیگر، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر تیمار آبیاری بر وزن هزار دانه و طول سنبله در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود جدول (۵). بیشترین وزن هزار دانه و طول سنبله از تیمار W₁ و کمترین آن از تیمار W₃ بدست آمد شکل (۲). تاکنون تحقیقات متعددی (توکلی، ۱۳۷۹؛ کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹؛ قدسی، ۱۳۸۳؛ ال کیسی و شاناهان، ۲۰۰۱) در زمینه اثر تنش رطوبتی انتهای فصل رشد بر خصوصیات زراعی ارقام گندم انجام و گزارش شده است که تنش رطوبتی انتهایی موجب کاهش معنی دار عملکرد دانه و وزن هزار دانه ارقام گندم حداقل به میزان ۲۵ تا ۳۰٪ می شود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. نتایج آزمایشات (قدسی، ۱۳۸۳؛ کوریلیز و همکاران، ۱۹۹۸) نشان داد، تنش رطوبتی پس از مرحله گرده افشانی باعث



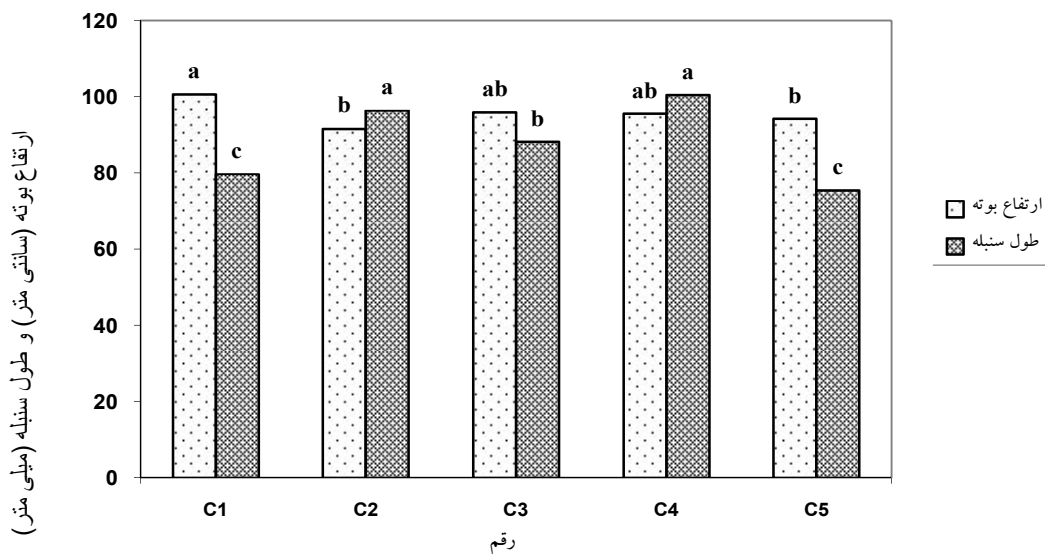
شکل ۲: اثر تیمار آبیاری بر وزن هزار دانه و طول سنبله

وجود دارد که نتایج این تحقیق را تایید می نماید. این گزارشات حاکی است که صفاتی از جمله ارتفاع بوته معمولاً تا مرحله گرده افشانی شکل گرفته و کامل می شوند و اثر عوامل محیطی و مدیریتی پس از این مرحله بر این گونه صفات معمولاً معنی دار نیست (اهدایی، ۱۳۸۲؛ کوریلیز و همکاران، ۱۹۹۸؛ زانگ و اوویز، ۱۹۹۹).

بیشترین ارتفاع بوته به ژنوتیپ C1 و بیشترین طول سنبله به ژنوتیپ های C2 و C4 متعلق بود شکل (۴). با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر آبیاری بر ارتفاع بوته و طول سنبله ارقام مورد بررسی معنی دار نبود. یعنی عدم آبیاری از مرحله گرده افشانی به بعد اثر معنی دار بر ارتفاع بوته و طول سنبله ارقام گندم نداشت. گزارش هایی در زمینه اثر تنش رطوبتی بعد از مرحله گرده افشانی



شکل ۳- اثر رقم بر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه

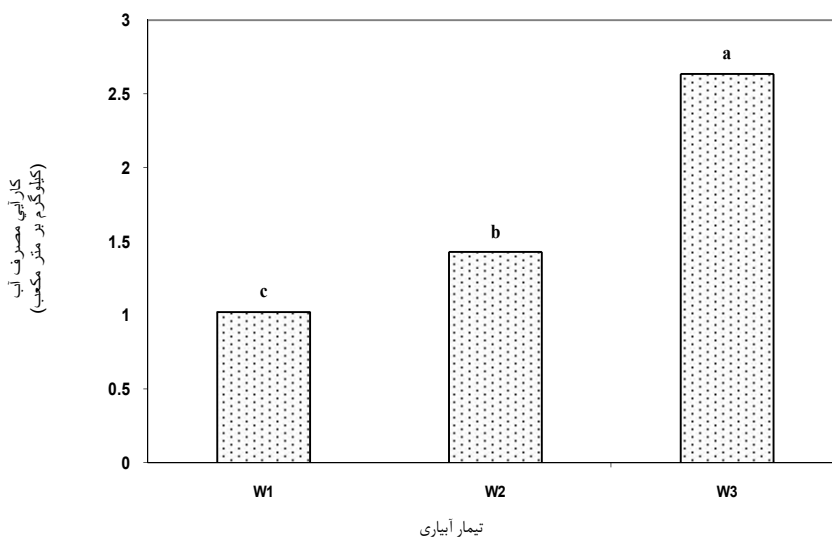


شکل ۴- ارتفاع بوته و طول سنبله ارقام گندم

کارایی مصرف آب

بطور نسبی کاهش یافت ولی مقدار آب مصرفی از ۵۷۷۰ متر مکعب در هکتار به ۱۹۹۵ متر مکعب در هکتار کاهش یافت. بدین مفهوم که میزان آب مصرفی (مخرج کسر) بیش از عملکرد دانه (صورت کسر) ارقام گندم کاهش یافت و به این دلیل کارایی مصرف آب تحت تیمارهای تنش خفیف W_2 و تنش شدید رطوبتی W_3 افزایش نشان داد شکل (۵).

تجزیه واریانس مرکب کارایی مصرف آب نشان داد اثر تیمار آبیاری بر این صفت در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود جدول (۵). بالاترین کارایی مصرف آب (۲/۴۳۴ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب مصرفی) از تیمار W_3 و کمترین آن (۱/۰۲۲ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب مصرفی) از تیمار W_1 بدست آمد (شکل ۵). با حذف آبیاری از مرحله گرده افشانی به بعد، هر چند عملکرد دانه



شکل ۵- اثر آبیاری بر کارایی مصرف آب گندم

دهد تغییرات این دو صفت (تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله) در تیمارهای مختلف آبیاری روند مشخصی نداشت، هر چند یکی از دلایل برتری عملکرد دانه ژنوتیپ های C3، C4 و C5 تحت تیمارهای مختلف آبیاری می تواند بالاتر بودن تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله آنها باشد. مقایسه میانگین وزن هزار دانه نشان داد، ژنوتیپ C3 بیشترین وزن هزار دانه را در تیمارهای مختلف آبیاری به خود اختصاص داد و همانطور که گفته شد از عملکرد دانه بالایی نیز برخوردار بود.

در جدول (۶) میانگین عملکرد دانه، میزان آب مصرفی و کارایی مصرفی و کارایی مصرف آب ژنوتیپ های مختلف گندم آورده شده است. همان طور که بیان شد، با افزایش شدت تنش رطوبتی (حذف آبیاری در مراحل گرده افشانی و پر شدن دانه ها) میزان کارایی مصرف آب نیز افزایش یافت. ژنوتیپ (C-79-6) در کلیه تیمارهای آبیاری بیشترین کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داد جدول (۷). در تیمارهای مختلف آبیاری، بین کارایی مصرف آب ژنوتیپ های مورد بررسی تفاوت های آماری معنی دار وجود نداشت جدول (۶). اطلاعات جدول (۶) نشان می

جدول ۶- میانگین عملکرد دانه، میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب ژنوتیپ های گندم در تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار *	عملکرد دانه (kg/ha)	میزان آب مصرفی (m ³ /ha)	کارایی مصرف آب (kg/m ³)
W ₁ C ₁ ۵۹۰۰ ^{abc}	۵۷۷۰	۱/۰۳۸ ^c	
W ₁ C ₂ ۵۸۵۰ ^{abc}	۵۷۷۰	۱/۰۲۱ ^c	
W ₁ C ₃ ۵۷۴۰ ^{abc}	۵۷۷۰	۰/۹۹۹ ^c	
W ₁ C ₄ ۶۰۰۰ ^{ab}	۵۷۷۰	۱/۰۵۱ ^c	
W ₁ C ₅ ۵۶۸۰ ^{abc}	۵۷۷۰	۰/۹۹۹ ^c	
W ₂ C ₁ ۵۶۰۰ ^{abcd}	۳۹۰۰	۱/۴۳۳ ^{bc}	
W ₂ C ₂ ۵۲۸۰ ^{abcd}	۳۹۰۰	۱/۳۵۲ ^{bc}	
W ₂ C ₃ ۵۲۲۰ ^{abcd}	۳۹۰۰	۱/۳۳۹ ^{bc}	
W ₂ C ₄ ۶۰۳۰ ^a	۳۹۰۰	۱/۵۴۴ ^b	
W ₂ C ₅ ۵۷۲۰ ^{abc}	۳۹۰۰	۱/۴۶۳ ^{bc}	
W ₃ C ₁ ۵۰۷۰ ^{cd}	۱۹۹۵	۱/۵۶۳ ^a	
W ₃ C ₂ ۴۷۸۰ ^d	۱۹۹۵	۲/۴۰۸ ^a	
W ₃ C ₃ ۵۱۰۰ ^{bcd}	۱۹۹۵	۲/۵۷۰ ^a	
W ₃ C ₄ ۵۶۵۰ ^{abcd}	۱۹۹۵	۲/۸۴۷ ^a	
W ₃ C ₅ ۵۴۸۰ ^{abcd}	۱۹۹۵	۲/۷۸۳ ^a	

W₁: آبیاری در چهار مرحله طولی شدن ساقه، گل دهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه

W₂: آبیاری در سه مرحله طولی شدن ساقه، گل دهی و شیری شدن دانه

W₃: آبیاری در دو مرحله طولی شدن ساقه و گل دهی

ژنوتیپ های گندم شامل: C₁: Toos, C₂: C-78-4, C₃: C-78-8, C₄: C-79-6, C₅: C-79-16

تحت تنش رطوبتی در مراحل پنجه زنی، گلدهی و پر شدن دانه ها بترتیب ۹/۱، ۱۷/۷ و ۱۱ درصد کاهش یافت.

راوی چاندران و مونگز (۱۹۹۵) در شرایط مزرعه ای، اثر تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که عملکرد دانه

آنان بیشترین اثر سوء تنش را به مرحله گلدهی منسوب می نمایند.

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد، حذف آبیاری در مراحل انتهایی رشد و نمو (مراحل شیری و خمیری شدن دانه ها) موجب کاهش عملکرد دانه کلیه ژنوتیپ های گندم مورد بررسی شد. بنابراین، در صورتی که کشاورزان با کمبود آب در مراحل انتهایی رشد و نمو (پر شدن دانه ها) مواجه نباشند، اعمال آبیاری کامل برای دسترسی به عملکرد مورد انتظار ضروری است. در این زمینه شرایط آب و هوایی نیز بسیار مؤثر است و چنانچه بارندگی در طی دوره پر شدن دانه ها نازل نشود اثر سوء ناشی از حذف آبیاری در طی این مرحله بر عملکرد بسیار

چشمگیر خواهد بود. حذف آبیاری در مراحل شیری و خمیری شدن دانه ها اگرچه باعث افزایش کارایی مصرف آب آبیاری ارقام گندم شد، اما معادل با افزایش عملکرد دانه ارقام نبود. به طور کلی، در شرایطی که توام با افزایش نسبی کارایی مصرف آب، عملکرد دانه نیز بهبود یافته یا حداقل تحت تاثیر قرار نگیرد می توان آن شرایط را توصیه نمود، لذا حذف آبیاری در مراحل انتهایی (پر شدن دانه ها) گندم هر چند موجب افزایش کارایی مصرف آب می شود ولی کاهش معنی دار عملکرد دانه را به دنبال خواهد داشت و قابل توصیه نمی باشد. همچنین دو ژنوتیپ C4 (C-79-6) و C5 (C-79-16) به عنوان بهترین ژنوتیپ انتخاب شدند که این نتایج می تواند اطلاعات مفیدی در اختیار به نژادگران قرار دهد.

فهرست منابع

۱. آبخضر، ح. ر.، و قهرمان، ب. ۱۳۸۲. تعیین ضرایب همبستگی گندم زمستانه نسبت به تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد. مجله پژوهش های زراعی ایران. ۱: ۱۲-۳.
۲. اسدی، ح. ۱۳۷۸. تعیین ضریب حساسیت گندم به تنش آب (Ky) در مراحل مختلف رویشی در منطقه کرج. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
۳. اهدایی، ب. ۱۳۸۲. انتخاب برای مقاومت به خشکی در گندم. مجموعه چکیده مقالات اولین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. ص. ۶۲-۴۳.
۴. توکلی، ع. ر. ۱۳۷۹. بررسی نقش کم آبیاری در مدیریت مصرف آب. خلاصه مقالات کارگاه فنی آموزشی کم آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکش ایران. ص. ۳۲-۳۱.
۵. حیدری شریف آباد، ح. ۱۳۷۹. گیاه، خشکی و خشکسالی. مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع. شماره ۷۹۰، ص. ۲۵۰-۲۰۰.
۶. خیرابی، ج. ۱۳۷۹. مداخلی به مبحث کم آبیاری تعریف و تبیین انواع آن. خلاصه مقالات کارگاه فنی آموزشی کم آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکش ایران. ص. ۴-۱.
۷. صادق زاده، ک. و کشاورز، ع. ۱۳۷۹. توصیه هایی بر بهینه سازی کارایی مصرف آب در اراضی زراعی کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، ۳۲ صفحه.
۸. قدسی، م. ۱۳۸۳. جنبه های اکوفیزیولوژیک کمبود آب بر رشد و نمو ارقام گندم. رساله دکتری زراعت. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران. ۲۲۸ صفحه.
۹. کشاورز، ع. و صادق زاده، ک. ۱۳۷۹. کم آبیاری بهینه و تحلیل ریاضی و اقتصادی آن. مجله تحقیقاتی فنی مهندسی کشاورزی. ص. ۴۶-۳۹.

۱۰. نادری، الف. ۱۳۸۱. کم آبیاری، روشی برای افزایش بهره وری آب. مجله خشکی و خشکسالی کشاورزی. ص. ۷۶-۸۴.
۱۱. نخجوانی، م. م. ۱۳۸۲. بررسی اثرات تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد گندم زمستانه و تعیین ضرایب حساسیت گندم به تنش رطوبتی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. ص. ۱۲۹.
۱۲. وزیری، ژ. ۱۳۷۹. گزارش نهایی طرح تعیین حساسیت مراحل مختلف رشد گندم نوید به آبیاری. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه ۱۱۰۵، ۱۶ صفحه.
13. Agnabag, G. A., and De-Villers, O. T. 1995. Quality response of spring wheat cultivars to post-anthesis water stress intensity. Academic Press. 370 P.
14. Al-Kaisi, M. M., and Shanahan, J. F. 2001. Irrigation of winter wheat. Colorado State University Cooperative Extension.
15. Carefoot, M., and Major, D. J. 1994. Effect of irrigation application on grain yield of wheat. *Irrigation Science*, 15: 9-16.
16. Corbeels, M., Hofman, G., and Van Cleemput, D. 1998. Analysis of water use by wheat grown in cracking clay soil in semi-arid Mediterranean environment weather and nitrogen effects. *Agricultural Water Management*, 38 (2): 147-163.
17. Doorenbos, J., and Kassem, A. H. 1986. Yield response to water, irrigation and drainage. Paper No.33.FAO. Rome. Italy, PP: 146-170.
18. Panda, R. K., and Behera, S. K. 2003. Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions. *Agricultural Water Management*, 63: 37-56.
19. Ravichandran, V., and Mungse, H. B. 1995. Effect of moisture stress on leaf area development, dry matter production and grain yield in wheat. *Annals of Plant Physiology*, 9: 117-120.
20. Zhang, H., and Oweis, T. 1999. Water yield relation and optimal scheduling of wheat in Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 38(3):195-211.