افزایش بهره‌وری بارش برای گندم دیم در شرایط مدیریت برتر زراعی و آبیاری محدود در بالا دست حوضه کرخه

محمد مهدی نخجوانی مقدم، بیژن قهرمان[1]*، کامران داوری، امین علیزاده، حسین دهقانی سانیج و علیرضا توکلی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

mehdin55@yahoo.com

استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد،ایران.

bijangh@um.ac.ir

استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد،ایران.

k.davary@gmail.com

استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

alizadeh@gmail.com

دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

dehghanisanij@yahoo.com

استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

art.tavakoli@gmail.com

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تاثیر روش‌های برتر مدیریت آبی و زراعی بر عملکرد و بهره‌وری بارش برای گندم دیم در منطقه هنام شهرستان الشتر انجام گردید. ابتدا مدل واسنجی و صحت سنجی شده AquaCrop براساس شرایط اقلیمی و پایش زراعی ۱۰ مزرعه گندم دیم منتخب منطقه در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا گردید و سپس سناریوهای مدیریتی به منظور افزایش عملکرد و بهره‌وری بارش گندم دیم تعریف شد. در مرحله بعد، سناریوهای برتر مدیریتی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در سه مزرعه تحقیقاتی گندم دیم منطقه اجرا گردید. در آزمایش‌های مزرعه‌ای دو سطح مدیریت زراعی (برتر و سنتی) و دو سطح آبیاری (دیم و تک آبیاری بهاره) مورد مطالعه قرار گرفت. مطابق با بهترین سناریوهای پیشنهادی مدل AquaCrop، تیمار تک آبیاری بهاره با عمق ثابت ۶۰ میلیمتر و در سه زمان اول، میانه و انتهای دوره گل‌دهی گندم دیم در مزارع تحقیقاتی اعمال گردید. نتایج نشان داد که در شرایط دیم، مدیریت برتر زراعی بر مدیریت سنتی زراعی برتری داشت، زیرا بهره‌وری بارش در مدیریت برتر نسبت به مدیریت سنتی زارع به میزان ۳۶ درصد افزایش یافت. با کاربرد تک آبیاری بهاره، متوسط بهره‌وری کل آب (بارش + آبیاری) در تولید گندم در سه مزرعه تحقیقاتی به ۰/۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافت که نسبت به شرایط دیم به طور متوسط ۷۴ درصد افزایش نشان داد. نتایج نشان داد که بهترین برنامه مدیریتی در منطقه هنام ترکیبی از مدیریت برتر زراعی با تک آبیاری بهاره به مقدار ۶۰ میلی‌متر در میانه دوره گل‌دهی (زمان لقاح گل‌ها) گیاه است، زیرا عملکرد دانه و بهره‌وری بارش را در مدیریت سنتی زارع را به ترتیب به میزان ۱۷۶ و ۱۳۴ درصد افزایش داد. نتایج آزمایش‌های زراعی تطابق خوبی با سناریوهای پیشنهادی مدل AquaCrop داشت.

واژه‌های کلیدی: تک آبیاری، عملکرد، مدل **AquaCrop**، هنام.

۱- آدرس نویسنده مسئول : مشهد، گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

* - دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۵ و پذیرش: مهر ۱۳۹۵

مقدمه

منطقه بالادست کرخه اگرچه از تنوع اقلیمی برخوردار می‌باشد و از نظر بارندگی قطب تولید آب شیرین کشور است، ولی عواملی چون، مدیریت زراعی ضعیف، محدودیت دسترسی به ماشین آلات و تغییرات مقدار و پراکنش بارش، نظام بهره‌برداری نامطلوب، ضعف آگاهی‌ها و عدم سرمایه‌گذاری مناسب در بخش کشاورزی، سبب پایین بودن عملکرد و بهره‌وری بارش برای گندم دیم در این منطقه بویژه در اراضی خرده مالک شده‌است.

زراعت گندم دیم تحت تأثیر عوامل زیادی است. بسیاری از پدیده‌ها و عوامل، علیرغم تأثیرگذار بودن، غیرقابل کنترل یا تعدیل هستند. از جمله این عوامل می‌توان به تغییرات مقدار و پراکنش بارش از سالی به سال دیگر، تغییرات دما، بروز آفات و بیماری‌ها اشاره نمود (توکلی و اشرفی، ۱۳۹۰). علاوه براین مسائل نباید از مدیریت مصرف کود (مقدار، زمان و منبع کود) (توکلی و اویس، ۲۰۰۲)، مدیریت کاشت (آماده سازی زمین، نوع شخم و ادوات آن و آرایش کاشت) و مدیریت زراعی (رقم، میزان و کیفیت بذر، زمان کاشت، خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه وپتانسیل تولید) (توکلی و همکاران، ۲۰۱۲) غافل شد. از لحاظ دوره زمانی پراکنش بارش در فصل زراعی، دو مرحله ممکن است بیشترین تأثیرات را ایجاد کند، یکی در زمان کاشت است که ممکن است اولین بارندگی موثر پاییزه با تأخیر مواجه شود (توکلی و اویس، ۲۰۰٤). مرحله دیگر در انتهای دوره رشد و در مراحل حساس گل‌دهی تا دانه‌بستن گندم می‌باشد در این مراحل ممکن است رطوبت کافی برای تشکیل و پرشدن دانه وجود نداشته‌باشد (توکلی و همکاران، ۱۳۸۹). از این‌رو انجام آبیاری تکمیلی می‌تواند به عملکردی پایدار و رضایت بخش در مزارع گندم دیم منجر شود (توکلی و اویس، ۲۰۰۲). مدیریت آبیاری تکمیلی یا تک آبیاری بطور معمول در قسمت‌های مرطوب مناطق خشک و نیمه خشک (۳۰۰ تا ٦۰۰ میلیمتر بارندگی سالیانه) به کار می‌رود (اویس و همکاران، ۱۹۹۹). منظور از آبیاری تکمیلی یا تک‌آبیاری، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی است تا آب کافی برای تداوم رشد بوته‌ها و افزایش عملکرد دانه تامین گردد. بدیهی است که این مقدار آب داده‌شده، به تنهایی برای تولید گیاه کافی نیست (اویس و همکاران، ۱۹۹۹؛ توکلی و اویس، ۲۰۰۲).

عمق آبیاری تکمیلی یا تک‌آبیاری بر اساس شرایط اقلیمی سال زراعی تعیین می شود (اویس و هاچوم، ۲۰۰۹). در طول سالیان اخیر یافته‌های محققین نشان داده‌است که اعمال مدیریت آبیاری تکمیلی توانسته‌است عملکرد غلات دیم را به نحو چشمگیری افزایش‌دهد (اریکول و همکاران، ۲۰۱۲ ؛ اویس و هاچوم، ۲۰۱۲). محققین مرحله گل‌دهی گندم دیم را مناسب‌ترین زمان برای اعمال تک‌آبیاری بهاره توصیه نموده‌اند (مرادمند، ۱۳۷٦ ؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷).

در دهۀ گذشته، مدل‌های متعددی برای شبیه‌سازی رشد محصول، پیش‌بینی عملکرد محصول، شبیه‌سازی جریان آب در خاک و بهبود مدیریت آب در مزرعه ارائه شده‌است که یکی از آنها مدل AquaCrop (استدیتو و همکاران، ۲۰۰۹) است. سادگی، نیاز به حداقل داده ورودی و دقت قابل قبول مدل از مزایای استفاده از مدل AquaCrop است (گریتس و همکاران، ۲۰۰۹). گارسیا و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که این مدل در شرایط متفاوت آب و هوایی قابلیت خوبی برای بهینه‌سازی مدیریت آبیاری دارد. محمدی و همکاران (۱۳۹٤) گزارش نمودند که مدل AquaCrop می‌تواند مدلی ارزشمند برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره و شبیه‌سازی رطوبت و شوری در منطقه مشهد باشد. نتایج تحقیقات مک‌هابلا و بولاک در غرب کانادا نشان داد که مدل AquaCrop قادر به شبیه‌سازی مطلوب عملکرد و رطوبت خاک بود. خلیلی و همکاران (۱۳۹۳) طی تحقیقی در ایستگاه تحقیقات دیم سیساب استان خراسان شمالی،

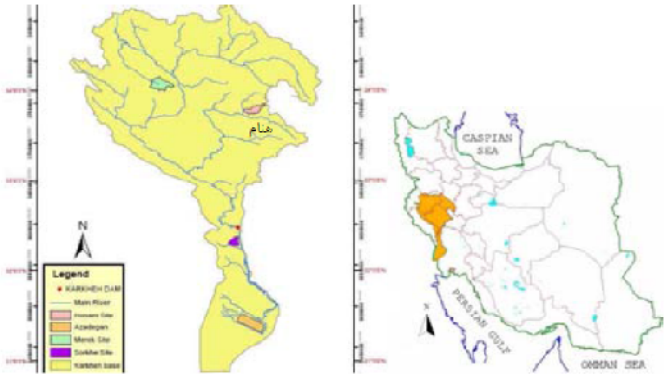
دریافتند که مدل مذکور با دقت بالایی قابلیت شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم را دارا است. یکی از قابلیت های مهم مدل شبیه‌سازی AquaCrop تعریف سناریوهای مختلف آبیاری تکمیلی (زمان و میزان) و بررسی تأثیر آنها بر میزان تولید محصولات گندم و جو دیم است (توکلی و همکاران، ۲۰۱۵).

در استان لرستان و به عنوان بخشی از بالادست حوضه کرخه، عملکرد گندم دیم و بهره‌وری بارش نه تنها کم است بلکه دارای تغییرات شدیدی است که این موضوع متأثر از مدیریت زراعی ضعیف، محدودیت دسترسی به ادوات زراعی و تغییرات مقدار و پراکنش بارندگی می‌باشد (توکلی و همکاران، ۲۰۱۰). برای افزایش عملکرد گندم دیم و بهبود بهره‌وری بارش در منطقه مذکور، بایستی ضمن در نظرگرفتن شرایط اقلیمی، از شیوه‌های نوین مدیریت زراعی و آبیاری تکمیلی استفاده نمود. اگرچه در تحقیقات مختلف در سطح دنیا، نقش آبیاری تکمیلی بر زراعت محصولات مختلف از جمله گندم دیم بررسی گردیده است (اویس و هاچوم، ۲۰۰۹؛ اریکول و همکاران، ۲۰۱۲ ؛ توکلی و همکاران، ۲۰۱۲)، ولی شناخت تاثیر پذیری محصول از آبیاری تکمیلی نسبت به عمق و زمان اعمال آن مهم‌ترین بحث است (اویس و هاچوم، ۲۰۱۲). از اینرو مطالعه حاضر با هدف: الف) ارائه سناریوهای برتر مدیریتی (شامل عمق و زمان آبیاری) توسط مدل شبیه‌سازی AquaCrop به منظور افزایش عملکرد و بهره‌وری بارش گندم دیم در بالادست حوضه آبریز کرخه (بطور ویژه دشت هنام در استان لرستان) و ب) آزمون عملی و ارزیابی بهترین سناریوهای مدیریتی در مزارع گندم دیم منطقه اجرا گردید.

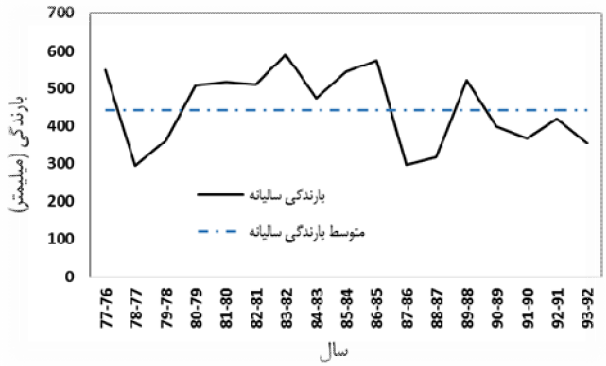
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه هنام در بالادست حوضه آبریز کرخه و در جنوب شهر الشتر (مرکز شهرستان سلسله) بین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). این حوضه از شمال به دشت الشتر، از جنوب به کوه‌های اسپش، داریکنان و نشانه، از شرق به دامنه رشته کوه گرین و از غرب به منطقه دوآب الشتر و روستاهای زیرطاق و سیاه‌پوش محدود است. مساحت حوضه حدود ۱۴۲۰۰ هکتار است که ۴۲۷۰ هکتار از آن را اراضی زراعی تشکیل می‌دهند (سپهوند، ۱۳۹۰). منطقه هنام الشتر جزء مناطق سرد استان لرستان محسوب‌شده و دارای زمستان‌های سرد و تابستان-های نسبتاً معتدل است. میانگین بارندگی ۱۷ ساله منطقه هنام (سال زراعی ۷۷-۱۳۷۶ لغایت سال ۹۳-۱۳۹۲) ۴۴۶ میلی‌متر است (شکل ۲).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه منتخب پژوهشی در بالادست حوضه کرخه



شکل ۲ - میزان بارندگی منطقه الشتر طی سال‌های مختلف (۱۳۹۳-۱۳۷۶)

بررسی بهره‌وری بارش در سطح مزارع منطقه

مدیریت زراعی سنتی گندم دیم منطقه هنام با استفاده از داده‌های پرسش نامه‌ای و پایش زراعی تعداد ۱۰ مزرعه منتخب منطقه مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۱ مشخصات مزارع منتخب ارائه گردیده‌است. برای شناسایی خاک مزارع منتخب، نمونه‌هایی در نقاط مختلف مزارع و از اعماق ۰ تا ۸۰ سانتی‌متری تهیه گردید. نمونه‌های خاک در آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان آنالیز شد (جدول ۲).

جدول ۱ - مشخصات مزارع منتخب کشاورزانی که در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ تحت پایش زراعی قرار گرفتند

شماره مزرعه	نام کشاورز	نام روستا	شماره مزرعه	نام کشاورز	نام روستا
۱	مراد عزیزاللهی	حسین آباد	۶	ملک محمد فاضلی	سیاهپوش
۲	نصرا.. ملکی صادقی	حسین آباد	۷	حمید کرم اللهی	سیاهپوش
۳	نصرا... میرزایی	زیرطاق	۸	حمید جوانمرد	عباس آباد
۴	یونس نورالهی	نوراللهی	۹	شیر محمد سیاهپوش	سیاهپوش
۵	منصور سیاهپوش	سیاهپوش	۱۰	نورمحمدی	به تکی

جدول ۲ - متوسط مشخصات فیزیکی خاک مزارع منتخب کشاورزان در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

عمق خاک (cm)	سهم ذرات خاک (٪)			بافت خاک	رطوبت حجمی خاک %		درصد اشباع θ_{sat}
	شن	رس	سیلت		PWP	FC	
۲۰-۰	۷	۴۰	۵۳	رسی سیلتی	۲۳/۹	۳۹/۶	۴۹/۲
۴۰-۲۰	۵	۴۷	۴۸	رسی سیلتی	۲۷/۷	۴۲/۱	۵۱/۴
۶۰-۴۰	۸	۴۵	۴۷	رسی سیلتی	۲۶/۶	۴۱/۲	۵۰
۸۰-۶۰	۱۰	۴۴	۴۶	رسی سیلتی	۲۶/۱	۴۰/۷	۴۹/۶

با داشتن متوسط داده‌های زراعی و خاکی مزارع منتخب و همچنین اطلاعات اقلیمی منطقه برای سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲، مقادیر عمکرد دانه با استفاده از مدل واسنجی و صحت‌سنجی‌شده AquaCrop (نخجوانی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۵) شبیه‌سازی گردید. در پایان فصل زراعی ۹۳-۹۲ مقادیر عملکرد دانه واقعی هر کدام از مزارع منتخب از طریق نمونه‌گیری تعیین و با مقادیر شبیه-سازی‌شده توسط مدل (با توجه به تاریخ کشت‌های متفاوت) مقایسه گردید. همچنین با توجه به میزان بارندگی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲، بهره‌وری بارش مزارع منتخب تعیین گردید. در ادامه با بررسی عوامل موثر بر اختلاف عملکرد دانه گندم واقعی و شبیه‌سازی شده در

منطقه مورد مطالعه، سناریوهای مدیریتی متفاوت (شامل، تاریخ کاشت و عمق و زمان تک‌آبیاری) توسط مدل شبیه-سازی تعریف گردید. با بررسی نتایج مدل، سناریوهای برتر مدیریتی به منظور افزایش عملکرد و بهره‌وری آب گندم برای اجرا در مزارع تحقیقاتی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انتخاب گردید. در سال دوم پژوهش (سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳) در منطقه هنام الشتر سه مزرعه گندم دیم به منظور آزمون عملی سناریوهای پیشنهادی مدل AquaCrop انتخاب گردیدند. قبل از آغاز عملیات کاشت، از نقاط مختلف مزارع تحقیقاتی نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده در مجتمع آزمایشگاهی پارس وابسته به بخش خصوصی و همچنین در آزمایشگاه تحقیقات مهندسی آب و خاک و فاضلاب موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی آنالیز گردید. در جدول ۳ مشخصات مزارع تحقیقاتی و همچنین میانگین نتایج آزمون خاک مزارع مذکور و در جدول ٤ متوسط مشخصات فیزیکی خاک مزارع تحقیقاتی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ ارائه شده است.

جدول ۳ - مشخصات و میانگین نتایج آنالیز شیمیایی خاک مزارع تحقیقاتی*

شماره مزرعه	نام کشاورز	روستا	سطح مزرعه (m^2)	بافت خاک	Ec dS/m	ماده آلی (%)	ازت کل N (%)	پتاسیم قابل استفاده (ppm)	فسفر قابل استفاده (ppm)
۱	ع. سیاهپوش	سیاهپوش	۵۰۰۰	رسی سیلتی	۰/۴۴	۱/۷۳	۰/۱۷	۴۷۲	۱۱/۴۸
۲	ی. نوراللهی	نوراللهی	۳۰۰۰	رسی سیلتی	۰/۵۳	۲/۱۱	۰/۲۰	۳۸۶	۱۲/۴۸
۳	ن. میرزایی	زیرطاق	۵۰۰۰	رسی سیلتی	۰/۶۱	۲/۵	۰/۲۵	۶۰۰	۱۵/۱۱
		دامنه مطلوب			<۱/۵	>۲	>۰/۳	۲۰۰-۲۲۰	۱۵-۲۰

* تعیین شده توسط مجتمع آزمایشگاهی پارس

جدول ۴ - متوسط مشخصات فیزیکی خاک مزارع تحقیقاتی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ *

عمق خاک (cm)	سهم ذرات خاک (٪)			بافت خاک	چگالی ظاهری $BD(gr/cm^3)$	رطوبت حجمی خاک %		درصد اشباع θ_{sat}
	شن	رس	سیلت			PWP	FC	
۲۰-۰	۱۲/۳	۴۰/۳	۴۷/۳	رسی سیلتی	۱/۳۵	۲۰/۳	۳۵/۳	۵۰/۴
۴۰-۲۰	۱۲/۳	۳۸/۳	۴۹/۳	رسی سیلتی	۱/۲۹	۲۳	۳۶/۹	۵۰/۵
۶۰-۴۰	۱۰	۴۰	۵۰	رسی سیلتی	۱/۳۲	۱۹/۷	۳۴/۲	۵۰/۸

* تعیین شده توسط آزمایشگاه تحقیقات مهندسی آب و خاک و فاضلاب موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سناریوهای مدیریتی اجراشده در مزارع تحقیقاتی شامل مدیریت برتر زراعی و آبیاری بودند. هر مزرعه تحقیقاتی به دو قسمت تقسیم شد. نیمی از مزرعه در اختیار زارع قرارگرفت و در قسمت دوم مزرعه مدیریت برتر زراعی اجرا گردید.

مدیریت‌های برتر زراعی به‌کار رفته شامل: رعایت تناوب زراعی (تناوب زراعی به نوعی بوده که هر سه زمین مورد مطالعه در تناوب آیش قرار داشت)، آماده‌سازی زمین (شامل عملیات شخم و دیسک‌زنی با ادوات مخصوص)، تاریخ کاشت مناسب، مدیریت مصرف کود (بر اساس نتایج آزمایشات آزمون خاک (جدول ۳) و همچنین توصیه کودی توسط کارشناسان تغذیه گیاه، کود سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (متوسط سه مزرعه) در زمان کاشت و کود اوره به میزان ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار (متوسط سه مزرعه) به صورت تقسیطی در سه زمان کاشت گیاه، پنجه‌زنی و ساقه‌دهی مصرف گردید)، استفاده از رقم اصلاح شده آذر دو (این رقم حاصل تلاقی رقم محلی (سرداری) با لاین Bb/Inia/Kvz/my 71/Maya S است که بعد از دورگ‌گیری در بخش غلات دیم کرج و گزینش در ایستگاه دیم مراغه و سایر ایستگاه‌ها به علت برخورداری از صفات خاص زراعی، در سال ۱۳۷۸ برای کشت در مناطق سردسیر و معتدل دیم کشور معرفی شد (روستایی و همکاران، ۱۳۷۹))، ضدعفونی بذر، کاشت با ماشین

ردیفکار و با تراکم کاشت ۱٤۰ کیلوگرم در هکتار، کنترل علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها بوده است.

در بخش مدیریت سنتی؛ کاشت گندم به صورت سنتی (بذر به صورت دستی بر روی زمین پخش و با گاوآهن یا شش خیش با خاک مخلوط شد)، با رقم محلی سرداری و با تراکم کاشت ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار (متوسط سه مزرعه) انجام گردید. عملیات کودپاشی به صورت دستی و تنها با کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (متوسط سه مزرعه) در دو زمان کاشت و پنجه‌زنی گیاه انجام گردید. در بخش مدیریت برتر زراعی مطابق با تاریخ کاشت ارایه‌شده توسط مدل AquaCrop (نخجوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵) و شرایط اقلیمی سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ و شرایط رطوبتی خاک، تاریخ ۸ آبان برای انجام عملیات کاشت انتخاب گردید. در بخش مدیریت سنتی تاریخ کاشت مطابق با شرایط اقلیمی و مدیریت زارع بین ۱۰ تا ۱۵ آبان بود.

تیمارهای آبیاری کـه بـرای مزارع زارعین تعریف شد عبارت بودند از:۱- تک آبیاری[1] بهاره (SI_{spring}) و ۲- بدون آبیاری (دیم). از آنجا که طبق مطالعه توکلی و همکاران (۲۰۱۲) انجام تک‌آبیاری برای رقم محلی سرداری مناسب نیست، از این‌رو، در پژوهش حاضر، تیمارهای تک آبیاری تنها در بخش مدیریت زراعی اعمال گردید. بدین نحو که در هر مزرعه قسمت مدیریت برتر زراعی به دو بخش تقسیم گردید. بخش اول بدون آبیاری (دیم) و بخش دوم تحت تک آبیاری. از این-رو کل قسمت تحت مدیریت سنتی زارعین، در شرایط بدون آبیاری (دیم) بود. براساس نتایج سناریوهای تعریف‌شده توسط مدل AquaCrop، تیمارتک‌آبیاری بهاره با عمق ثابت ٦۰ میلی‌متر برای هر کدام از مزارع تحقیقاتی در سه زمان در سه زمان جداگانه اعمال گردید. بطوری‌که تک‌آبیاری بهاره در مزرعه اول در ابتدای دوره گل‌دهی (سنبله‌دهی) (۱۹۰ روز پس از کاشت)، در مزرعه دوم در میانه دوره گل‌دهی (گرده افشانی و زمان لقاح) (۱۹۵ روز پس از کاشت) و در مزرعه سوم در انتهای دوره گل‌دهی (شروع مرحله دانه‌بندی) (۲۰۲ روز پس از کاشت) اعمال‌گردید. در انتهای فصل رشد (۱۱ تیرماه ۹٤) برای تعیین عملکرد، از ابعاد ۱ متر مربعی سه نمونه بـا دست برداشت گردید. شاخص‌های بهره‌وری بارش[2] (RWP)، بهره‌وری آب آبیاری[3] (IWP) و بهره‌وری آب[4] (مجموع بارش و آبیاری) (TWP) به صورت زیر محاسبه گردید (توکلی و همکاران، ۲۰۱۰ و اویس و هاچوم، ۲۰۰۳).

$$RWP = \frac{Y}{R} \quad (۱)$$

$$IWP = \frac{\Delta Y}{Irr} \quad (۲)$$

$$TWP = \frac{Y}{Irr + R} \quad (۳)$$

که در روابط فوق:

Y عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار، ΔY اختلاف عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، Irr و R به‌ترتیب میزان آبیاری و بارندگی برحسب متر مکعب است.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد دانه گندم دیم در مزارع منتخب در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

دامنه تغییرات عملکرد دانه گندم دیم در مزارع منتخب بین ۱۱۰۰ تا ۲۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و دامنه تغییرات بهره‌وری بارش در مزارع منتخب بین ۰/۳۱ تا ۰/٦۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود (جدول ۵). میانگین عملکرد دانه و بهره‌وری بارش مزارع منتخب به ترتیب برابر ۰/٤ کیلوگرم بر متر مکعب و ۱/٤ تن در هکتار بود. نتایج پایش زراعی مزارع منتخب نشان داد که نوع مدیریت زراعی نقش مهمی در میزان دانه تولیدی ایفا کرده‌است. در این بین کشاورز شماره ۱ علاوه بر این که از رقم اصلاح‌شده آذر ۲ استفاده نموده‌است (جدول ۱)، با

1- Single Irrigation

2-Rain water productivity
3- Irrigation water productivity
4- Total water productivity

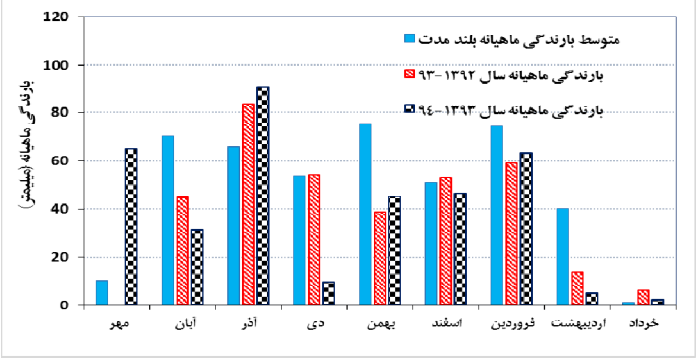
به‌کارگیری برخی از راهکارهای مدیریتی برتر زراعی نظیر: تاریخ کاشت مناسب (دهه اول آبان)، استفاده از ردیف‌کار، مبارزه با علف‌های هرز، استفاده مناسب از کود، میزان بهره‌وری بارش گندم دیم را به میزان قابل توجهی (حدود ٦٠ درصد) نسبت به سایر کشاورزان افزایش داده‌است. در مزارع شماره ۲ تا ۱۰ کاشت گندم با رقم محلی (سرداری) (جدول ۱) و به صورت دستی بود. در این بین علت افزایش عملکرد گندم و بهره‌وری بارش در برخی از مزارع (مزارع شماره ۲ الی ٤) به دلیل کاربرد محدود برخی از مدیریت‌های برتر زراعی نظیر تاریخ کاشت مناسب، استفاده مناسب از کود و مبارزه با علف‌های هرز بود.

جدول ۵ - عملکرد دانه و بهره‌وری بارش گندم دیم در مزارع منتخب در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

شماره مزرعه	عملکرد (kg/ha)	بهره‌وری بارش (kg/m^3)	شماره مزرعه	عملکرد (kg/ha)	بهره‌وری بارش (kg/m^3)
۱	۲۲۰۰	۰/۶۲	۶	۱۲۰۰	۰/۳۴
۲	۱۸۰۰	۰/۵۱	۷	۱۲۰۰	۰/۳۴
۳	۱۵۰۰	۰/۴۲	۸	۱۱۸۰	۰/۳۳
۴	۱۵۰۰	۰/۴۲	۹	۱۱۰۰	۰/۳۱
۵	۱۲۵۰	۰/۳۵	۱۰	۱۱۰۰	۰/۳۱

ارائه سناریوهای برتر مدیریتی به منظور ارتقاء عملکرد گندم با استفاده از مدل واسنجی شده AquaCrop

در زراعت گندم دیم تاریخ کاشت اهمیت زیادی دارد و کشاوزان سعی دارند تا قبل از وقوع اولین بارندگی موثر پاییزه اقدام به کشت گندم نمایند. بارندگی‌های پراکنده در اول فصل به میزان ۵ و ۱۰ میلی‌متر مفید نیست، مگر اینکه متعاقب آن بارندگی‌های زیادتری رخ‌دهد. زیرا این مقدار بارندگی به سرعت تبخیر شده و در خاک ذخیره نمی‌گردد. از آنجاکه برای سبز شدن بذر گندم دیم در اوایل فصل حداقل به ۲۵ میلی‌متر بارندگی موثر در یک دوره ۱۰ روزه نیاز می‌باشد (طلیعی و بهرامی، ۱۳۸۲). بررسی متوسط آمار بارندگی بلند مدت منطقه (طی سال‌های زراعی ۷۷-۱۳۷٦ لغایت ۹۳-۱۳۹۲) (شکل ۳)، پایش زراعی مزارع گندم منتخب کشاورزان در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و همچنین سناریوهای خروجی مدل شبیه‌سازی، بیانگر آن بود که دهه اول آبان محدوده مناسب برای کاشت گندم دیم در منطقه هنام الشتر است (نخجوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). بطوری‌که تاریخ کاشت دیرتر از ۱۰ آبان سبب از دست رفتن فرصت استفاده از بخشی از بارش موثر می‌شود. در این زمینه تحقیقات انجام شده در نقاط مختلف دنیا بیانگر آنست که تأخیر در کاشت گندم دیم بعد از زمان بهینه (به سبب بهره نگرفتن گیاه از بخشی از بارندگی موثر پاییزه) به طور چشمگیری عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (جین و همکاران، ۲۰۱٤ ؛ توکلی و اویس، ۲۰۰٤ ؛ باتن و خان، ۱۹۸۷).



شکل ۳- مقایسه متوسط بلند مدت بارندگی ماهیانه منطقه الشتر با مقادیر بارندگی ماهیانه منطقه مذکور در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳

مدل واسنجی و صحت‌سنجی شده AquaCrop (نخجوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵) بر اساس شرایط اقلیمی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌ازای عمق‌های متفاوت و در سه زمان: ابتدای دوره گل‌دهی، وسط دوره گل‌دهی و انتهای دوره گل‌دهی (به ترتیب ۱۹۲، ۱۹۸ و ۲۰٤ روز پس از کاشت) و همچنین تاریخ کاشت‌های متفاوت (اول تا دهم آبان) اجرا گردید. در جدول ٦ مقادیر عملکرد، بیوماس گندم دیم به‌ازای سناریوهای مختلف مدیریتی تک‌آبیاری بهاره با تاریخ کاشت دهم آبان ارائه شده‌است. بررسی سناریوهای خروجی مدل AquaCrop (جدول ٦) بیانگر آن است که اعمال تک‌آبیاری بهاره، متوسط عملکرد گندم دیم منطقه هنام (در شرایط تاریخ کاشت مناسب و مدیریت برتر زراعی) را به طور متوسط به میزان ۲/٤ برابر (۱٤۰ درصد) نسبت به متوسط عملکرد دانه مزارع منتخب گندم (۱٤۰۰ کیلوگرم در هکتار) افزایش داد (جدول ٦).

جدول ۶- تاثیر سناریوهای پیشنهادی تک‌آبیاری بهاره (سناریوهای خروجی مدل AquaCrop) بر عملکرد و بیوماس گندم دیم (رقم آذر ۲) با توجه به شرایط اقلیمی سال ۹۳-۱۳۹۲ (تاریخ کاشت ۱۰ آبان)

عمق آبیاری پیشنهادی	روز پس از کاشت	عملکرد دانه (kg/ha)	بیوماس (kg/ha)
	۱۹۲	۳۳۷۶	۸۶۲۰
۵۰ میلی‌متر	۱۹۸	۳۴۱۴	۸۵۸۵
	۲۰۴	۳۴۳۳	۸۴۳۷
	۱۹۲	۳۴۹۷	۸۷۹۳
۶۰ میلی‌متر	۱۹۸	۳۵۳۰	۸۷۵۰
	۲۰۴	۳۴۵۱	۸۵۹۱
	۱۹۲	۳۴۹۷	۸۷۹۳
۷۰ میلی‌متر	۱۹۸	۳۵۳۰	۸۷۵۰
	۲۰۴	۳۴۵۱	۸۵۹۱

با تغییر عمق آبیاری از ۵۰ به ٦۰ میلی‌متر مقادیر مقادیر عملکرد دانه، بیوماس افزایش یافته‌است. ولی با افزایش عمق آبیاری از ٦۰ به ۷۰ میلی‌متر هیچگونه افزایشی در پارامترهای فوق مشاهده نگردید. بنابراین عمق مناسب تک آبیاری بهاره به میزان ٦۰ میلی‌متر انتخاب گردید. بر اساس جدول ٦ می توان گفت که میانه دوره گل‌دهی یا زمان لقاح گل‌ها (۱۹۸ روز پس از کاشت بر اساس شرایط اقلیمی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲)، مناسب‌ترین زمان اعمال تک‌آبیاری بهاره به‌ازای عمق‌های متفاوت آبیاری است.

اجرای گزینه‌های بهبود در سال دوم (سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳)

الف) مدیریت زراعی

در جدول ۷ متوسط مقادیر عملکرد دانه، بیوماس و بهره-وری بارش مزارع تحقیقاتی دیم تحت تاثیر اعمال مدیریت‌های سنتی و برتر زراعی ارائه شده‌است. نتایج بیانگر آنست که متوسط عملکرد دانه و بیوماس گندم از ۱۱۹۰ و ٥۷٦۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط مدیریت سنتی (کاشت با رقم محلی سرداری) به ترتیب به ۱٦۲۰ و ٦٦۷۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط مدیریت برتر زراعی دیم (کاشت با رقم آذر دو) رسید که به ترتیب افزایشی حدود ۳٦ و ۱٥ درصد را نشان می‌دهد (جدول ۷). توکلی و همکاران (۱۳۸۹) نیزگزارش‌نمودند که اعمال مدیریت برتر زراعی در سطح مزارع گندم دیم منطقه الشتر، عملکرد دانه گندم دیم را از ۱۷۲٦ کیلوگرم در هکتار با مدیریت سنتی کشاورزان به ۲۲۸۹ کیلوگرم در هکتار با مدیریت برتر زراعی (رقم آذر دو) رساند (افزایش ۳۲/٦ درصدی). تاثیر عملیات برتر زراعی بر افزایش عملکرد گندم دیم توسط محققین دیگر نیز گزارش شده‌است (پالا و استادر، ۱۹۹۹؛ اندرسون، ۲۰۱۰).

جدول ۷- نتایج بدست آمده از اعمال مدیریت‌های سنتی و برتر زراعی گندم دیم در منطقه هنام (سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳)

نوع مدیریت	عملکرد (kg/ha)		شاخص برداشت %	بهره‌وری بارش (kg/m^3)
	دانه	بیوماس		
مدیریت سنتی (رقم محلی سرداری)	۱۱۹۰	۵۷۶۰	۲۱	۰/۳۵
مدیریت برتر زراعی (رقم آذر ۲)	۱۶۲۰	۶۶۷۰	۲۴	۰/۴۸

در مطالعه حاضر با اعمال مدیریت برتر زراعی در سه مزرعه تحقیقاتی گندم دیم، بهره‌وری بارش به‌طور متوسط به میزان ۳۶ درصد نسبت به شرایط مدیریت زارعین افزایش پیدا کرد (جدول ۷). توکلی و اشرفی (۱۳۹۰) گزارش نمودند که بهره‌وری بارش در بالادست حوضه کرخه از ۰/۳۷-۰/۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب در شرایط مدیریت سنتی با اعمال مدیریت برتر زراعی به مقادیر ۰/۴۵-۰/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافت. در این‌زمینه هاتفیلد و همکاران (۲۰۰۱) با مرور مقالات متعدد در زمینه شیوه‌های مدیریتی خاک گزارش‌نمودند که اصلاح عملیات شخم و بهبود مدیریت مصرف کود می تواند بهره‌وری آب را به‌ترتیب به میزان ۴۰-۲۵ و ۲۵-۱۵ درصد افزایش دهد.

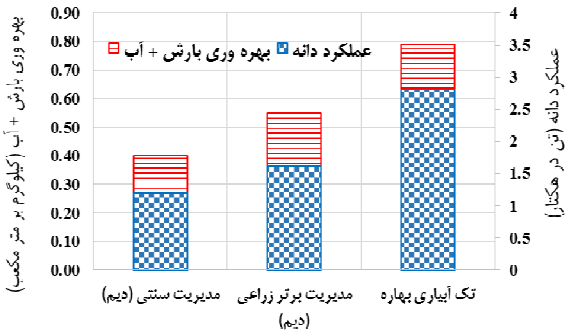
ب) مدیریت تک آبیاری

در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ بر خلاف سال زراعی گذشته و همچنین متوسط آمار بلندمدت منطقه الشتر، میزان بارندگی در مهرماه قابل توجه بود (شکل ۳)، بطوری‌که در اواخر مهرماه و قبل از آغاز عملیات کاشت، اولین باران موثر در ۲۶ مهر به میزان ۱۱ و دومین بارش موثر به میزان ۴۲ میلی‌متر در ۲۹ مهر اتفاق افتاد. همچنین پس از کاشت گندم (در تاریخ ۸ آبان) از تاریخ ۱۰ آبان به مدت چهار روز مجموعا بیش از ۲۳ میلی‌متر بارندگی اتفاق افتاد. در این شرایط به علت وجود رطوبت کافی در خاک مزارع تحقیقاتی قبل از عملیات کاشت (متوسط رطوبت حجمی مزارع در عمق ۰ -۲۰ سانتی‌متر برابر ۲۸/۵ درصد) و همچنین بارندگی مناسب پس از کاشت، میزان رطوبت خاک برای جوانه‌زنی و سبزشدن گیاه کافی بود، بطوریکه هر سه مزرعه بطور یکنواخت یک هفته پس از تاریخ کاشت، سبز شدند. نتایج نشان داد که با کاربرد تک‌آبیاری بهاره با عمق آب کاربردی ۶۰ میلی‌متر در سه زمان مختلف در مرحله گل‌دهی (اجرای سناریوهای پیشنهادی مدل شبیه‌سازی AquaCrop (جدول ۶))، متوسط عملکرد گندم دیم در مزارع تحقیقاتی به بیش از ۲۸۱۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت که نسبت به دیم با مدیریت برتر زراعی (۱۶۲۰ کیلوگرم در هکتار) و دیم با مدیریت سنتی (۱۱۹۰ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب ۷۳ و ۱۳۶ درصد افزایش نشان می‌دهد (شکل ۴). در این زمینه توکلی و همکاران (۱۳۸۹) نیز نتیجه گرفتند که با اعمال تک آبیاری بهاره با عمق ۵۰ میلی‌متر در طول دوره گل‌دهی در منطقه الشتر، عملکرد گندم دیم نسبت به شرایط مدیریت برتر زراعی و مدیریت سنتی کشاورزان به‌ترتیب به میزان ۶۰ و ۹۸ درصد افزایش پیدا کرد. شاخص برداشت یا سهم نسبی تولید دانه در تیمار تک‌آبیاری نسبت به شرایط دیم به میزان قابل توجه ۴۶ درصد افزایش یافت.

علت اثر بخشی تک آبیاری بهاره را می‌توان چنین بیان کرد که در فصل بهار که رشد محصول سریع می‌گردد و شدت تبخیر- تعرق افزایش می‌یابد، رطوبت ذخیره‌شده در خاک نیز متناسب با رشد محصول و میزان تبخیر- تعرق تخلیه می‌گردد و به خاطر عدم کفایت باران، تنش رطوبتی به تدریج افزایش می یابد. در واقع در مناطق کاشت گندم دیم نظیر منطقه مورد مطالعه (منطقه هنام در بالادست حوضه کرخه) عدم تناسب زمان وقوع و میزان بارندگی در فصل بهار با وضعیت رشد محصول و تبخیر- تعرق آن مهم‌ترین عامل محدودکننده محسوب می‌شود، بنابراین انجام یک نوبت آبیاری در مرحله حساس گل دهی، می‌تواند با ذخیره رطوبتی مناسب از افت شدید

محصول در مرحله زایشی گندم جلوگیری کند (جین و همکاران، ۲۰۱٤). در واقع کنترل تنش آخر فصل از طریق آبیاری تکمیلی در مرحله زایشی گندم دیم، مهم‌ترین دلیل افزایش عملکرد است که ناشی از پر شدن دانه‌ها، افزایش وزن هزار دانه و شکل‌گیری تعداد دانه بیشتر در هر سنبله می‌باشد (توکلی، ۲۰۰۵). افزایش قابل ملاحظه عملکرد دانه گندم دیم در اثر یک نوبت آبیاری توسط محققین دیگر نیز گزارش شده‌است (اویس و هاچوم، ۲۰۰٤ ؛ توکلی و همکاران، ۲۰۱۲ ، تاتاری و همکاران، ۱۳۹۱ ؛ اریکول و همکاران، ۲۰۱۲ ؛ سیدان و طلایی، ۲۰۰۰). نتایج تحقیقات انجام شده در سوریه نشان داد که کاربرد آبیاری تکمیلی با سه عمق ۲۱۲، ۱۵۰ و ۷۵ میلی‌متر (به ترتیب برای سه منطقه با بارندگی کم، متوسط و زیاد) سبب افزایش عملکرد محصول گندم دیم به ترتیب به میزان ۳۵۰، ۱٤۰ و ۳۰ درصد گردید (اویس، ۱۹۹۷).

نتایج نشان داد که با کاربرد تک‌آبیاری بهاره متوسط بهره‌وری کل آب (بارش + آبیاری) در تولید گندم در سه مزرعه تحقیقاتی به ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافت که نسبت به دیم با مدیریت برتر زراعی (۰/٤۸) و دیم با مدیریت سنتی (۰/۳۵) به ترتیب ٤۷ و ۱۰۰ درصد افزایش نشان می‌دهد (شکل٤).



شکل ۴- اختلاف عملکرد دانه و شاخص بهره وری آب در تیمارهای مختلف در مزارع تحقیقاتی (متوسط سه مزرعه)

در جدول ۸ تاثیر اعمال تیمار تک آبیاری بهاره به عمق ثابت ٦۰ میلی‌متر در سه زمان متفاوت ابتدا، میانه و انتهای دوره گل‌دهی (به ترتیب ۱۹۰، ۱۹۵ و ۲۰۲ روز پس از کاشت براساس شرایط اقلیمی سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳) بر عملکرد، شاخص برداشت و بهره‌وری آب گندم ارائه شده‌است. مطابق جدول ۸ اعمال تک‌آبیاری در میانه دوره گل‌دهی (مرحله لقاح گل‌ها) بیشترین تاثیر را در افزایش عملکرد دانه، بیوماس، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری کل داشته‌است. نتایج بیانگر آنست که در مدیریت تک آبیاری بهاره، زمان اعمال تک آبیاری از اهمیت زیادی برخوردار است (اویس و هاچوم، ۲۰۱۲). بررسی سناریوهای پیشنهادی مدل شبیه‌سازی AquaCrop (جدول ٦) و نتایج جدول ۸ نیز حاکی از تطابق خوب سناریوهای پیشنهادی مدل AquaCrop با نتایج آزمایش‌های زراعی در این زمینه است (افزایش عملکرد با تک‌آبیاری بهاره در میانه دوره گل‌دهی).

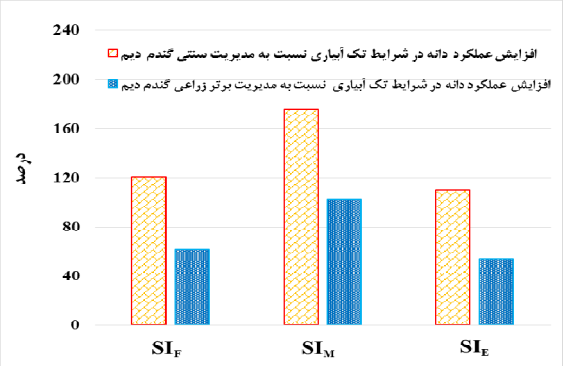
جدول ۸ - نتایج بدست‌آمده از اعمال مدیریت‌های متفاوت تک‌آبیاری بهاره گندم دیم با عمق ۶۰ میلی‌متر (سال زراعی ۹۴-۹۳)

زمان اعمال تک آبیاری بهاره	عملکرد (kg/ha)		شاخص برداشت %	بهره وری آب آبیاری (kg/m^3)	بهره‌وری کل (بارش+آبیاری) (kg/m^3)
	دانه	بیوماس			
ابتدای دوره گل دهی	۲۶۳۰	۸۲۴۰	۳۲	۲/۷۵	۰/۶۶
میانه دوره گل دهی	۳۲۹۰	۹۱۰۰	۳۶	۳/۴۳	۰/۸۲
انتهای دوره گل دهی	۲۵۰۰	۸۱۷۰	۳۱	۱/۹۰	۰/۶۳

مقایسه سناریوهای پیشنهادی مدل شبیه‌سازی AquaCrop (جدول ٦) با نتایج آزمون عملی سناریوهای مذکور در مزارع تحقیقاتی نشان می‌دهد با وجودی که گندم دیم در شرایط مدیریت برتر زراعی در مزارع تحقیقاتی کاشت شده‌بود، نتوانست به سطح عملکرد مورد انتظار مدل برسد و کاهش عملکرد قابل ملاحظه‌ای داشت. البته این اختلاف در مورد مزرعه دوم (اعمال تک-آبیاری در میانه دوره گل‌دهی) ناچیز و در حدود ۱۰ درصد است. اما در مورد دو مزرعه دیگر (مزارع اول و سوم به ترتیب اعمال تک‌آبیاری در ابتدا و انتهای دوره گل‌دهی) این اختلاف قابل توجه است (بطور متوسط حدود ٤٠ درصد). این امر نشان می‌دهد که بجز عوامل مدیریتی، عوامل و پدیده‌های دیگری هستند که مدل قادر به پیش‌بینی تاثیر آنها بر عملکرد گندم دیم نیست. از جمله این عوامل عامل سرمازدگی و همچنین بروز آفات و بیماری‌ها است. در سال اجرای آزمایش‌های تحقیقاتی (سال زراعی ٩٤-١٣٩٣) در تاریخ‌های پنج و شش اردیبهشت‌ماه در منطقه هنام سرمازدگی رخ داد (متوسط دمای حداقل ۳/۱- درجه سانتی‌گراد). در این شرایط بیشتر مزارع گندم دیم منطقه تحت تاثیر سرمازدگی قرار گرفتند. با توجه به اینکه تاثیر سرمازدگی در مزارع گندم منطقه یکسان نبود (با توجه به دوری و نزدیکی مزارع از رودخانه)، یکی از دلایل کاهش قابل توجه عملکرد گندم دیم در مزارع اول و سوم ممکن است به دلیل تحت تاثیر قرار گرفتن بیشتر این دو مزرعه از پدیده سرمازدگی نسبت به مزرعه دوم باشد.

جدای از تاثیر پدیده سرمازدگی، افزایش قابل توجه عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری، بهره‌وری کل و میزان شاخص برداشت در مزرعه تحقیقاتی شماره دو (اعمال تک آبیاری در میانه دوره گل‌دهی) نسبت به دو مزرعه دیگر (بطور متوسط به‌ترتیب به میزان ۲۹، ٤٨، ۲۹ و ١٦ درصد) ناشی از اهمیت تاثیر زمان اعمال تک‌آبیاری در طول دوره گل‌دهی است. به‌عبارت دیگر در طول دوره گل‌دهی که شامل دو مرحله سنبله‌دهی و گرده افشانی است، تنش در هر کدام از این بازه ها تاثیر متفاوتی را بر عملکرد گندم می‌گذارد. مطابق نظر محققین چنانچه تنش رطوبتی قبل از تلقیح گل‌ها یا در مرحله لقاح گل‌ها حادث شود به علت اثراتی که تنش بر تشکیل سنبلچه‌ها و تولید گامت‌ها دارد، تعداد و دانه در هر سنبله کاهش می‌یابد (فیشر، ۱۹۸۰). فرایند مهم تعیین‌کننده عملکرد که در این دوره تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرد، تولید سلول‌های جنسی بارور و تلقیح است (اهدایی و واینس، ١٩٩٦).

در موافقت با نتایج تحقیق حاضر، طبق گزارش-های گوپتا و همکاران (۲۰۰۱) وقوع خشکی در زمان گرده‌افشانی گندم، موجب کاهش وزن خشک ساقه، تعداد و وزن دانه‌ها، عملکرد دانه و بیولوژیک می‌شود. شکل ۵ میزان افزایش عملکرد دانه گندم دیم در شرایط اعمال تک آبیاری‌های بهاره در زمان‌های متفاوت نسبت به شرایط دیم (سنتی و دیم) ارائه گردیده‌است. مطابق شکل ۵، اعمال تک‌آبیاری بهاره در میانه دوره گل‌دهی یا به عبارتی در زمان لقاح گل‌ها و گرده‌افشانی گندم دیم (مزرعه دوم) سبب گردید تا عملکرد گندم دیم نسبت به در مدیریت دیم سنتی و برتر زراعی به‌ترتیب به میزان ١٧٦ و ١٠٣ درصد افزایش یابد. این افزایش در مورد دو مزرعه تحقیقاتی دیگر کمتر و بطور میانگین به ترتیب برابر ١١٦ و ۵۸ درصد بود.



شکل۵ - افزایش عملکرد دانه در شرایط تک آبیاری‌های متفاوت بهاره نسبت به شرایط دیم
(SI_F، SI_M و SI_E به ترتیب تک آبیاری بهاره در ابتدا، میانه و انتهای دوره گل‌دهی)

از شکل ۵ می‌توان چنین استنباط کرد که اعمال تک‌آبیاری بهاره گندم دیم در زمان‌های متفاوت دوره گل-دهی تاثیر یکسانی بر عملکرد گیاه ندارد. هر چه زمان اعمال تک‌آبیاری به سمت میانه دوره گل‌دهی یا زمان لقاح گل‌ها نزدیکتر باشد اثر کاربرد تک‌آبیاری بهاره موثرتر خواهد بود. همچنین، در انتهای دوره گل‌دهی و اوایل دانه‌بندی نیز به سبب عبور از حساس‌ترین زمان دوره گل-دهی یا زمان گرده‌افشانی (فیشر، ۱۹۸۰ و گوپتا و همکاران، ۲۰۰۱)، اثر کاربرد تک‌آبیاری بهاره بر عملکرد گندم دیم نسبت میانه دوره گل‌دهی کمتر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد، بهترین تاریخ کاشت گندم دیم در منطقه هنام دهه اول آبان‌ماه است. بررسی نتایج سناریوهای پیشنهادی مدل شبیه‌سازی AquaCrop با نتایج آزمایش‌های زراعی در مزارع تحقیقاتی بیانگر آنست که تطابق خوبی بین نتایج مدل شبیه‌سازی با نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای وجود داشت. مطابق سناریوهای پیشنهادی مدل، عملکرد گندم دیم در منطقه هنام با به-کارگیری مدیریت‌های برتر زراعی و آبی (شامل تاریخ کاشت مناسب و اعمال تک آبیاری بهاره)، به طور متوسط تا سطح ۱٤۰ درصد نسبت به متوسط عملکرد دانه مزارع گندم منطقه قابل افزایش بود. نتایج آزمون عملی سناریوهای پیشنهادی مذکور در مزارع تحقیقاتی نشان داد که عملکرد گندم دیم در منطقه هنام نسبت به شرایط دیم مدیریت سنتی ۱۳٦درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد که با کاربرد تک‌آبیاری بهاره متوسط بهره‌وری کل آب (بارش + آبیاری) در تولید گندم در سه مزرعه تحقیقاتی به ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافت که نسبت به شرایط دیم به طور متوسط ۷٤ درصد افزایش نشان داد. نتایج آزمایش‌های زراعی در سه مزرعه تحقیقاتی نشان داد که اعمال تک‌آبیاری بهاره گندم دیم در طول دوره گل‌دهی تاثیر یکسانی بر عملکرد گیاه ندارد و هر چه زمان اعمال تک‌آبیاری به سمت میانه دوره گل‌دهی (مرحله لقاح گل-ها) نزدیکتر باشد، اثر کاربرد تک‌آبیاری بهاره موثرتر خواهد بود. نتایج بیانگر آنست که اعمال تک‌آبیاری با عمق ٦۰ میلی‌متر در میانه دوره گل‌دهی (مرحله لقاح گل-ها) بیشترین تاثیر را در افزایش عملکرد دانه، بیوماس، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری کل داشته‌است. بررسی سناریوهای پیشنهادی مدل شبیه‌سازی AquaCrop با نتایج آزمون عملی سناریوهای پیشنهادی نیز حاکی از تطابق خوب سناریوهای پیشنهادی مدل AquaCrop با نتایج آزمایش‌های زراعی در این زمینه دارد.

پیشنهادات

با توجه به اینکه هدف از انجام پژوهش حاضر، مقایسه ارقام گندم دیم نبود بلکه هدف مقایسه مدیریت زارعین در شرایط مدیریت برتر زراعی و مدیریت سنتی

بود، بنابراین پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های بعدی برای انتخاب بهترین رقم گندم دیم، ارقام سرداری و آذر ۲ در شرایط مدیریت برتر زراعی با یکدیگر مقایسه شوند. همچنین استمرار پژوهش برای ارقام جدید گندم دیم (به عنوان مثال رقم تک‌آب) پیشنهاد می‌گردد.

فهرست منابع

۱. تاتاری، م.، م. ملک احمدی و ر. عباسی علی کمر. ۱۳۹۱. اثر آبیاری تکمیلی بر رشد و عملکرد گندم دیم. نشریه پژوهشهای زراعی ایران. ۱۰(۲):٤٤٨-٤٥٥.

۲. تدین، م. ر. و ی. امام، ۱۳۸٦. اثر آبیاری تکمیلی و مقدار فراهمی آب بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک دو رقم گندم دیم. مجله پژوهشی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال ۱۱، ٤۲: ۱٤٥-۱٥٦.

۳. توکلی ع. ر.، ش. اشرفی، ۱۳۹۰. نقش کم آبیاری و مدیریت برتر زراعی در افزایش بهره وری آب در کشت نرمال گندم دیم در مزارع زارعین در اراضی بالادست حوضه کرخه. گزارش پژوهشی نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. به شماره ثبت ۳۹٤٦٥.

٤. توکلی، ع. ر.، ع. لیاقت، ا. علیزاده، ش. اشرفی، ذ. اویس و م. پارسی نژاد. ۱۳۸۹. بهبود بهره وری بارش در تولید گندم دیم با اعمال گزاره های بهبود در سطح مزارع زارعین در منطقه سردسیر بالادست حوضه کرخه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲(٤):۲۹۷-۳۰۷.

٥. خلیلی، ن.، ک. داوری، ا. عیزاده، م. کافی و ح. انصاری. ۱۳۹۳. شبیه سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل گیاهی آکواکراپ، مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سیساب، خراسان شمالی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸(٥):۹۳۰-۹۳۹.

٦. روستایی، م.، د. صادق زاده اهری، ح. م. حسن‌پور حسنی، ع. امیری، ع. حق پرست، ع. حسامی، ک. سلیمانی، ن. بنی صدر ، ه. پاشاپور، م. عظیم زاده، م. ترابی، ع. غفاری، غ. ر. عابدی اصل و ک. نادرمحمودی. ۱۳۷۹. معرفی رقم جدید گندم نان، آذر۲. مجله علمی پژوهشی به نژادی نهال و بذر، ۱٦(۲) :۲٦۳-۲٦٦

۷. سپه‌وند، م. ۱۳۹۰. مطالعات نیمه‌تفصیلی خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی حوضه هنام الشتر (استان لرستان). گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات خاک و آب. ٥۳ صفحه.

۸. طلیعی، ع. ا. و ن. بهرامی. ۱۳۸۲. بررسی تأثیر بارندگی و درجه حرارت بر عملکرد گندم دیم در استان کرمانشاه. مجله علوم آب و خاک، ۱۷(۱):۱۰٦-۱۱۲.

۹. محمدی، م.، ک. داوری، ب. قهرمان، ح. انصاری و ا. حق وردی. ۱۳۹٤. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش همزمان شوری و خشکی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۳): ۲۷۷-۲۹٥.

۱۰. مرادمند، ر. ۱۳۷٦. بررسی آبیاری تکمیلی و میزان بذر روی عملکرد گندم در شرایط دیم در شهر کرد. گزارش نهایی مرکز تحقیقات کشاورزی چهار محال و بختیاری.

۱۱. نخجوانی مقدم، م. م.، ب، قهرمان، ک. داوری، ا. علیزاده، ح. دهقانی سانیج، ع. ر. توکلی. ۱۳۹٥. شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و ارائه سناریوهای برتر مدیریتی در بالادست حوضه کرخه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، در دست چاپ.

12. Anderson, W. K. 2010. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. Field Crops Research.116(1-2):14-22.
13. Batten, G.H., and M.A. Khan. 1987. Effect of time of sowing on grain yield, nutrient uptake of wheat with contrasting phenology.Aust.J.Agric.27: 881-887.
14. Ehdaie B. and J.G. Waines. 1996. Genetic variation for contribution of parenthesis assimilates to grain yield in spring wheat. Journal of Genetic Breeding, 50: 47-55.
15. Erekul, O., K.P. Gotz, and T. Gurbuz. 2012. Effect of supplemental irrigation on yield and breadmaking quality of wheat (Triticum aestivum L.) varieties under the Mediterranean climatical conditions. Turkish Journal of Field Crops, 17(1):78-86.
16. Farahani, H. and T. Oweis. 2008. Chapter I- Agricultural Water Productivity in Karkheh River Basin. In: Oweis, T., Farahani, H., Qadir, M., Anthofer, J., Siadat, H., Abbasi F., and Bruggeman A., (Eds). Improving On-farm Agricultural Water Productivity in the Karkheh River Basin. Research Report no. 1: A Compendium of Review Papers. ICARDA, Aleppo, Syria. IV+103 pp.
17. Fischer. R. A. 1973. The effect of water stress at various stage of development on yield response in wheat. In. E, Q, Stayter (ed). Plant response to climatic factors. Pro e-Uppsala sump UN ESCO. Paris. Pp. 223-241.
18. Garcia-Vila, M., E. Fereres, L. Mateos, F. Orgaz, and P. Steduto. 2009. Deficit irrigation optimization of Cotton with AquaCrop. Agronomy Journal, 101: 477-487.
19. Geerts S., D. Raes, M. Garcia, R. Miranda, J.A. Cusicanqui, C. Taboada, J. Mendoza, R. Huanaca, A. Mamani, O. Condori, J. Mamani, B. Morales, V. Osco, and P. Steduto. 2009. Simulating Yield Response to Water of Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd.) With FAO-AquaCrop. J. Agron. 101, 499–508.
20. Gupta, N.K., S. Gupta, and A. Kumar. 2001. Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. Wheat, Barley and Triticale Abstracts. 18: 497.
21. Hatfield, J.L., T.J. Sauer, and J.H. Prueger. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency. Agron J, 93:271–280.
22. Jin X-l, Feng H-k, Zhu X-k, Li Z-h, Song S-n, et al. 2014. Assessment of the AquaCrop Model for Use in Simulation of Irrigated Winter Wheat Canopy Cover, Biomass, and Grain Yield in the North China Plain. PLoS ONE 9(1): e86938. doi:10.1371/journal.pone.0086938
23. Mkhabela, M.S. and P.R. Bullock. 2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. J. of Agric. Water Manag., 110: 16–24.
24. Momeni, R., M.R. Behbahani, M.H. Nazarifar, and B. Azadegan. 2008. Zoning of water productivity of wheat by CropSyst crop model in different water periods (case study: Karkheh watershed). Iranian J. of Irrigation and Drainage, 2(1): 63-70.
25. Oweis T. 1997. Supplemental irrigation: a highly efficient water-use practice. ICARDA, Aleppo, Syria. 16 p.
26. Oweis, T. and A. Hachum. 2004. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity fordry farming systems in West Asia and North Africa. ICARDA. Aleppo. Syria for Presentation at the 4thInternational Crop Science Congress 26 Sept. to 1 Oct

27. Oweis, T. and A. Hachum. 2003. Improving water productivity in the dry areas of west Asia and north Africa CAB International, water productivity in agriculture: Limits and Opportunities for improvement (eds Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D.), Pp: 179-198.
28. Oweis, T. and A. Hachum. 2012. Supplemental irrigation, a highly e□cient water-use practice. ICARDA, Aleppo, Syria. iv + 28 pp.
29. Oweis, T., A. Hachum and J. Kijne. 1999. Water harvesting and supplementary irrigation for improved water use Efficiency in dry areas. System-Wide Initiative on Water Management Paper 7. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
30. Oweis, T., and A. Hachum. 2009. Optimizing supplemental irrigation: Tradeoffs between profitability and sustainability. Agric. Water Manage. 96 (3): 511-516.
31. Pala, M., and C. Studer. 1999. Cropping systems management for improved water use efficiency in dryland agriculture. Paper presented at the International Conference on Water Resource Conversation and Management in Dry Areas, 3-6 Dec. 1999, Amman, Jordan.
32. Sayadyan, K., and A.A. Tallie. 2000. The effect of supplemental irrigation on rainfed wheat. Iranian J. Soil & Water Sci., 14(1): 57–68.
33. Steduto, P., T.C. Hsiao, D. Raes, and E. Fereres. 2009. AquaCropThe FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. Agron. J. 101:426–437.
34. Tavakkoli, A. R. and T. Y. Owise. 2002. The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. Agric. Water Manag. 65:225-236.
35. Tavakkoli, A.R., and T. Oweis. 2004. The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. Agricultural Water Management. 65:225-236.
36. Tavakoli, A. R., M. Mahdavi Moghaddam and A. R. Sepaskhah. 2015. Evaluation of the AquaCrop model for barley production under deficit irrigation and rainfed condition in Iran. Agric. Water Manage., 161:136–146.
37. Tavakoli, A. R., T. Oweis, Sh. Ashrafi, H. Asadi, H. Siadat, and A. Liaghat. 2010. Improving rainwater productivity with supplemental irrigation in upper Karkheh river basin of Iran. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo. Syria. 123pp
38. Tavakoli, A., A. Liaghat, T. Oweis, and A. Alizadeh. 2012. The role of limited irrigation and advanced magement on improving water productivity of rainfed wheat at semi-cold region of upper Karkheh River Basin, Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. Available online at www.ijagcs.com. IJACS/2012/4-14/939-948.
39. Tavakoli, A.R., 2005. Determining optimal single irrigation amount and planting date of five wheat varieties at rainfed condition. Final research Report, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Maragheh, Iran.
40. Zhang, B. C., G. B. Huang and F. M. Li. 2007. Effect of limited single irrigation on yield of winter wheat and spring maize relay intercropping. Pedosphere. 17(4):529-537.