نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال دوازدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱ تا ۱۸

اثرآبیاری تکمیلی بر تجمع اسمولیت‌های سازگار و صفات فیزیولوژیکی، در ارقام گندم دیم

سونیا غلامی[۱]، عادل سی و سه مرده[۲*]، فرزاد حسین پناهی[۳] و مراحم آشنگرف[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۸)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر آبیاری تکمیلی بر برخی صفات فیزیولوژیک ارقام گندم دیم، در سال‌های زراعی ۱۳۹۶- ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷-۱۳۹۶ آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان دهگلان استان کردستان اجرا شد. فاکتورها شامل سطوح تنش خشکی (در دو سطح دیم و آبیاری تکمیلی) و ارقام گندم (هما، سرداری، ریژاو، اوحدی و آذر۲) بودند. اعمال آبیاری تکمیلی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد دانه شد. در هر دو سال زراعی شرایط دیم باعث افزایش میزان اسیدهای آمینه آزاد برگ و گلایسین بتائین و سبب کاهش محتوی نسبی آب برگ (RWC) و سرعت کاهش آب از برگ (RWL) شد. همبستگی منفی و معنی‌دار RWL با اسیدهای آمینه آزاد برگ و گلاسین بتائین و همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار RWC با میزان گلایسین بتائین نشان‌دهنده این است که هر چه غلظت ترکیبات اسمزی برگ بیشتر باشد سرعت کاهش آب از برگ کمتر و میزان آب برگ بیشتر خواهد بود. نتایج این پژوهش تایید کرد که تأمین آب کافی با استفاده از اجرای آبیاری تکمیلی در حساس‌ترین مراحل رشد گندم می‌تواند با بهبود صفات فیزیولوژیک گیاه به تولید عملکرد قابل قبول تحت شرایط دیم منتهی شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی،گلایسین بتائین، اسیدهای آمینه آزاد برگ

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲ و ۳. به‌ترتیب دانشیار و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۴. دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a33@uok.ac.ir

مقدمه

تنش خشکی تهدید جدی است که تولید جهانی گندم را محدود می کند (۹) و اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو محصولات کشاورزی و سایر فرایندهای متابولیکی دارد (۲۱). عملکرد محصولات کشاورزی به‌طور میانگین بیش از ۵۰ ٪ در اثر تنش خشکی کاهش پیدا می‌کند (۴۰). در چنین شرایطی باید با استفاده از راهکارهای صحیح مدیریت، از منابع آب بهره جست. در مناطق خشک آبیاری تکمیلی تدبیری است که به افزایش تولید محصولات زراعی و بهتر شدن شرایط کمک می‌کند (۲۷). در واقع آبیاری تکمیلی راهبردی است که می‌تواند حداکثر تولید گیاه را در دوره‌های کم باران، حفظ کند (۱۶). مراحل پایانی رشد گندم (گلدهی تا رسیدن) از حساس‌ترین مراحل رشد است که گاهی آخرین بارندگی مؤثره بهاره، زودتر از روال همیشگی پایان می‌پذیرد و رطوبت کافی برای تشکیل و پر شدن دانه وجود ندارد (۳۴). پس، آبیاری تکمیلی را می‌توان به‌عنوان راهکاری مطلوب برای افزایش عملکرد محصولات زراعی دیم در مراحل حساس رشد گیاه مورد استفاده قرار داد (۳۳ و ۳۴).

گیاهان معمولاً سازوکارهای متفاوتی در مواجهه با تنش خشکی دارند و از طریق انواعی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی به تنش خشکی پاسخ می‌دهند (۲۴). از مهم‌ترین مکانیسم‌ها برای سازگاری گیاه به شرایط تنش خشکی می‌توان به تغییر صفات فیزیولوژیکی اشاره کرد (۲۰). صفات فیزیولوژیکی منعکس کننده شرایط رطوبت خاک و شرایط رشدی گیاه هستند. بنابراین می‌تواند مرجعی برای نظارت بر رطوبت خاک، تنظیم تصمیمات آبیاری و پیش بینی عملکرد توسط مدل ها باشد (۲۵).

تنظیم اسمزی یک راه مهم در گیاهان برای کاهش پتانسیل اسمزی و مقاومت در برابر تنش خشکی است (۳۹). در این رابطه گیاه با تجمع مواد حل شونده در شیره سلولی باعث کاهش پتانسیل اسمزی داخل سلول می‌شود (۵). این مواد دسته‌ای از مولکول‌های آلی با وزن مولکولی پایین است که از جمله آنها می‌توان به اسیدهای آمینه، بتائین‌ها و قندها اشاره کرد. افزون بر این مواد، در تنظیم اسمزی بعضی از مواد معدنی هم دخالت دارند. یکی از با اهمیت‌ترین متابولیت‌های گیاهی اسیدهای آمینه است که در مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزنده و تنظیم فعالیت‌های درونی گیاه تأثیر بسزایی دارد (۲۹). بخشی از وظیفه اسیدهای آمینه در تحمل گیاهان به تنش خشکی است. برخی از اسیدهای آمینه در سنتز پروتئین‌ها، بعضی به‌عنوان منبع نیتروژن و گروه دیگر به صورت پیش ماده بیوسنتزی برای ترکیبات ثانویه نقش ایفا می‌کنند (۲۹). در شرایط تنش خشکی بالا رفتن میزان اسیدهای آمینه می‌تواند به خاطر کاهش سنتز پروتئین‌ها، تحریک بیوسنتز اسیدهای آمینه (۴) یا پروتئولیز پروتئین‌ها (۱۹) رخ دهد. بتائین‌ها گروه دیگری از مواد آلی سازگار و معمول هستند که گلایسین بتائین رایج‌ترین و فراوان‌ترین آنها در گیاهان است. در بسیاری از گیاهان در واکنش به تنش‌های محیطی گلایسین بتائین به مقدار زیادی تولید می‌شود. همچنین به عنوان یک تعدیل کننده اسمزی در بسیاری از هالوفیت‌ها هنگام مواجهه با تنش افزایش می‌یابد (۲۳). گلایسین بتائین در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله اسفناج، جو، گندم و سورگوم در واکنش به تنش‌ها افزایش می‌یابد (۳۸).

تنظیم اسمزی به‌عنوان یکی از مولفه‌های تحمل به خشکی، ارتباط زیادی با محتوای نسبی آب برگ (RWC) دارد. به خاطر وراثت‌پذیری کم عملکرد، اصلاح آن دشوار است بنابراین دقت در دیگر ویژگی‌های مقاومت به خشکی شامل شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند محتوای نسبی آب برگ، اهمیت بالایی دارد (۳۵). وضعیت آب برگ همیشه تحت تأثیر رشد گیاه و محیط قرار دارد و به مرور تغییر می‌کند (۳۶). اندازه‌گیری میزان نسبی آب برگ، برای تعیین شرایط آب گیاه، روشی مؤثر و ساده است که محتوای نسبی آب برگ را به محتوای آب برگ در حالت تورژسانس اندازه‌گیری می‌کند (۵). ارقامی که محتوای نسبی آب برگ بیشتری داشته باشند تحمل بالاتری نسبت به تنش خشکی دارند (۲۶). میزان بالاتر RWC و میزان پایین‌تر اتلاف

آب برگ (RWL) به‌عنوان شاخص‌های مهم برای وضعیت آب گیاه ارائه شده است (۱۰ و ۱۵). در آزمایشی تنش خشکی با کاهش RWC ، افزایش آبسیزیک اسید و در نتیجه ناکافی بودن فتوسنتز منجر به کاهش عملکرد دانه شد. در مقابل با افزایش میزان گلایسین بتائین و حفظ فتوسنتز، عملکرد دانه افزایش یافت (۲۲).

در نواحی نیمه خشک شامل سطح گسترده‌ای از ایران کمبود رطوبت خاک در اثر کاهش بارندگی و بالا رفتن ناگهانی دما در مراحل انتهایی رشد گیاه (دوره پر شدن دانه) که با اهمیت‌ترین دلایل کاهش رشد و نمو گندم محسوب می‌شود یک پدیده اقلیمی غالب است. باتوجه به سطح زیر کشت بالا و عملکرد پایین در ایران، لازم است که در جهت بهبود عملکرد آن بررسی‌های عملی مناسبی صورت گیرد. از ۵۸۷ هزار هکتار سطح زیر کشت گندم در استان کردستان، ۵۵۳ هزار هکتار به کشت گندم دیم اختصاص دارد که میانگین عملکرد گندم دیم در این استان ۱۵۸۶ کیلوگرم در هکتار است (۲). با توجه به اهمیت موضوع، آبیاری تکمیلی می‌تواند در بهبود و تثبیت عملکرد محصولات دیم مفید و مؤثر واقع شود. اطلاعات کمی دررابطه با تأثیر آبیاری تکمیلی بر محتوای اسیدهای آمینه، گلایسین بتائین برگ و سایر صفات فیزیولوژیک در ارقام گندم دیم، در مراحل رشدی مختلف و طی سال‌های متفاوت رطوبتی وجود دارد. بنابراین این پژوهش به‌منظور بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک ارقام گندم دیم به آبیاری تکمیلی طی مراحل رشدی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۳۹۶- ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷-۱۳۹۶ بر روی پنج رقم گندم دیم در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان واقع در دهگلان با **مختصات** □۱۸ °۴۸ شرقی و □۱۸ °۳۵ شمالی و ارتفاع ۱۸۶۶ متر از سطح دریا، در ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان سنندج انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح تنش (در دو سطح دیم و آبیاری تکمیلی) و ارقام گندم (هما، سرداری، ریژاو، اوحدی و آذر۲) بودند. خلاصه‌ای از خصوصیات و شجره ارقام در جدول ۱ آمده است (۳). بذور ارقام مورد آزمایش از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های کردستان (هما، سرداری، آذر۲ و اوحدی) و کرمانشاه (ریژاو) تهیه شد.

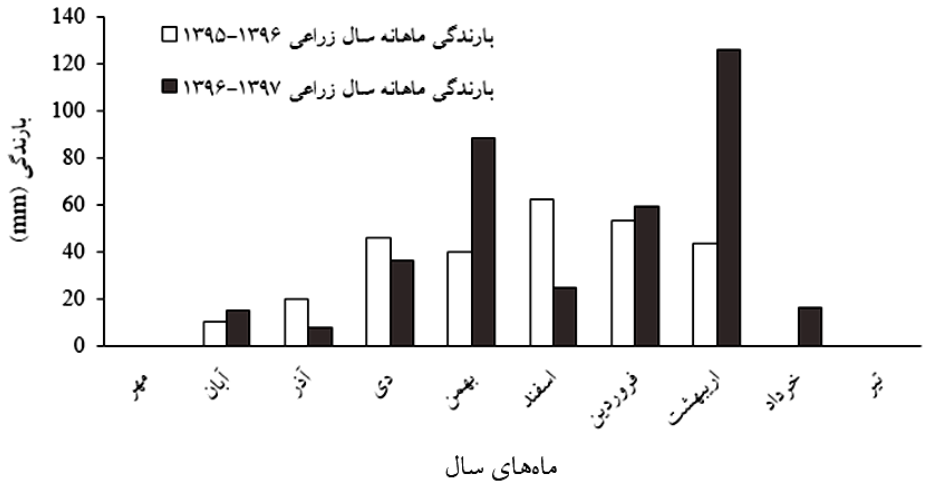
آبیاری براساس ظرفیت زراعی مزرعه انجام شد، به این ترتیب که در هر بار آبیاری، میزان آب آبیاری مورد نیاز با کسر کردن رطوبت خاک از حد رطوبت زراعی و بر اساس نمونه‌گیری از خاک در عمق ریشه قبل از آبیاری محاسبه شد. آبیاری به صورت قطره‌ای و با استفاده از نوار تیپ صورت گرفت و حجم آب مصرفی نیز از طریق کنتور اندازه‌گیری شد. تیمار آبیاری تکمیلی با قطع بارندگی‌های بهاره در هر دو سال زراعی در دو نوبت صورت گرفت. در سال اول در دو مرحله ساقه‌روی (کد ۳۳ زادوکس) و سنبله‌دهی (کد ۵۹ زادوکس) و در سال دوم به دلیل ادامه روند بارندگی بهاره، آبیاری تکمیلی در مراحل اواخر گلدهی (کد ۶۹ زادوکس) و ابتدای مرحله شیری(کد ۷۳ زادوکس) انجام شد. در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ با ۹۶ میلی‌متر بارندگی بهاره، گیاه با تنش شدید خشکی مواجه بود. این در حالی است که در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ با حدود ۲۰۰ میلی‌متر بارندگی بهاره، تا اوایل خرداد بارندگی‌ها ادامه داشت. مجموع بارندگی ماهانه در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ و ۱۳۹۷-۱۳۹۶ در شکل ۱ آمده است.

ابعاد هر کرت ۲/۹×۶ مترمربع بود و شامل ۱۹ خط کاشت با فواصل ۱۵ سانتی‌متر است. کشت با استفاده از خطی‌کار غلات با عرض کار ۲/۹ متر انجام شد و هر ده تیمار در هر تکرار تصادفی شدند. فاصله بین کرت‌ها یک متر و تراکم کاشت ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. کشت به صورت پاییزه و در آبان ماه انجام شد. به منظور تامین نیاز کودی گیاه و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از قسمت‌های مختلف مزرعه و از عمق‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک

جدول ۱. خصوصیات و شجره ارقام

نام رقم	خصوصیات و شجره ارقام[1]
هما	مقاوم به خشکی و سرما، حساس به زنگ زرد، حساس به سیاهک‌ها، حساس به ورس، زودرس، دانه سفید، میزان پروتئین ۱۰/۵٪، ارتفاع cm ۶۴-۸۱ رقم هما از توده گندم سرداری (sardari-39) در طی ۱۰سال بررسی در ایستگاه‌های مناطق سردسیردیم حاصل شده است.
سرداری	مقاوم به خشکی و سرما، حساس به زنگ زرد، حساس به سیاهک‌ها، حساس به ورس، زودرس، دانه سفید، میزان پروتئین دانه ۱۰-۹٪، ارتفاع cm ۷۸-۶۵ رقم سرداری از توده گندم‌های منطقه کردستان از طریق انتخاب توده‌ای به‌دست آمده است.
آذر۲	مقاوم به خشکی و سرما، متحمل به زنگ زرد، حساس به سیاهک‌ها، مقاوم به ورس، زودرس، دانه سفید، میزان پروتئین ۱۰/۵-۹/۵٪، ارتفاع cm ۷۰-۸۵ رقم آذر ۲ حاصل تلاقی لاین Kvz/YM71/3/Maya"S"//Bb/Iina با رقم سرداری است.
ریژاو	مقاوم به خشکی و گرما و نیمه متحمل به سرما، مقاوم به زنگ زرد، مقاوم به ورس، زودرس، دانه سفید، مقاوم به ریزش، میزان پروتئین ۱۲٪، ارتفاع cm ۷۵-۶۵ رقم ریژاو (PATO/CAL/3/7C//Bb/CNO/5/CAL//CNO/Sn64/4/CNO//Bad/DAR/3/KL) از برنامه بین‌المللی گندم‌های زمستانه و بینابین به‌دست آمده است.
اوحدی	مقاوم به خشکی و سرما، حساس به زنگ زرد، حساس به سیاهک‌ها، حساس به ورس، زودرس، دانه سفید، میزان پروتئین ۱۲/۵-۱۱٪، ارتفاع cm ۷۸-۶۳ رقم اوحدی حاصل انتخاب توده‌های گندم بومی (14 Gen bank) موجود در بانک ژن است.

۱-منبع: موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (۳)



شکل ۱. مجموع بارندگی ماهانه در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ و ۱۳۹۷-۱۳۹۶

نمونه‌برداری صورت گرفت که نتایج تجزیه خاک در جدول ۲ آمده است. با توجه به آزمون خاک مقدار ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۵۸ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل همزمان با کاشت استفاده شد. به‌منظور ارزیابی عملکرد، پس از حذف اثر حاشیه، برداشت از ۲ مترمربع صورت گرفت.

صفات مورد اندازه‌گیری در سال اول شامل: عملکرد، اسیدهای آمینه آزاد برگ، گلایسین بتائین، محتوای نسبی آب برگ (RWC) و سرعت کاهش آب از برگ (RWL) بود. در سال اول همه صفات در سه مرحله رشدی: بوتینگ (کد ۴۵ زادوکس)، ۵۰٪ گلدهی (کد ۶۵ زادوکس) و اواخر شیری شدن دانه (کد ۷۷ زادوکس) اندازه‌گیری شد که دو نمونه‌برداری اخیر بعد از آخرین آبیاری تکمیلی انجام شد.

صفات مورد اندازه‌گیری در سال دوم شامل: عملکرد، اسیدهای آمینه آزاد برگ، گلایسین بتائین و محتوای نسبی آب برگ (RWC) بود. در سال دوم این صفات در چهار مرحله: بوتینگ (کد ۴۵ زادوکس)، ۵۰٪ گلدهی (کد ۶۵ زادوکس)، اواخر شیری شدن دانه (کد ۷۷ زادوکس) و مرحله خمیری نرم (کد ۸۵ زادوکس) مورد ارزیابی قرار گرفت که فقط آخرین

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	رس	سیلت	شن	بافت
	EC(dS m^{-1})	(pH)	(ppm)			درصد			خاک
۳۰-۰	۰/۶۵۸	۷/۲۶	۸/۹	۳۵۱	۰/۰۸	۵۴/۷۵	۳۸/۴۲	۶/۸۳	رسی
۶۰-۳۰	۰/۵۱۹	۷/۳۵	۸/۲	۳۵۰	۰/۰۸	۵۸/۲۲	۳۷/۱۵	۴/۶۳	

نمونه‌برداری بعد از آخرین آبیاری تکمیلی صورت گرفت. در هر دو سال زراعی کلیه صفات فیزیولوژیکی در برگ پرچم اندازه‌گیری شد.

سنجش اسیدهای آمینه آزاد برگ

برای اندازه‌گیری میزان اسیدهای آمینه آزاد کل، نمونه تر برگ پرچم در بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH =۶/۸) همگن و استخراج شده بعد از سانتریفوژ بر روی عصاره سانتریفیوژ شده معرف نین‌هیدرین (محلول ۵:۱ رقیق شده از ۳۵۰ میلی‌گرم نین‌هیدرین در ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول) اضافه شد و ۷-۴ دقیقه در دمای ۱۰۰-۷۰ درجه سانتیگراد در بن‌ماری قرار گرفت. پس از سرد شدن در حمام آب سرد، جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۷۰ نانومتر قرائت شد. برای رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های متفاوت گلیسین استفاده شد (۱۸). با توجه به محتوی آب نمونه‌ها مقدار اسیدهای آمینه آزاد محلول در برگ بر حسب وزن خشک گزارش شد.

سنجش گلایسین بتائین

مقدار گلایسین‌بتائین با روش گریو و گراتان (۱۴) با کمی تغییر اندازه‌گیری شد. یک گرم از نمونه‌های تر با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و به مدت ۴۸ ساعت روی شیکر قرار داده شد. یک میلی‌لیتر از محلول استخراج شده از بافت گیاهی با یک میلی‌لیتر اسیدسولفوریک دو نرمال ترکیب و ۰/۵ میلی‌لیتر از این ترکیب به مدت یک ساعت در حمام آب یخ قرار داده شد. بعد از اضافه کردن ۰/۲ میلی‌لیتر یدید پتاسیم ورتکس شد و به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس۱۵ دقیقه در دمای صفر درجه سانتی‌گراد و ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ صورت گرفت. محلول رویی دور ریخته و کریستال‌های سیاه که در جداره و ته لوله تشکیل شده بود، نگه داشته شد (به خاطر اینکه با افزایش دما، حلالیت کریستال در اسید زیاد می‌شود و امکان جدا کردن آنها کاهش می‌یابد، تمام مراحل باید در دمای پایین و محیط یخ صورت گیرد). کریستال‌ها در یک میلی‌لیتر از ۱،۲- دی‌کلرواتان ورتکس شد. سپس محلول با ۱،۲- دی‌کلرواتان به حجم ۹ میلی‌لیتر رسانده و ۲ تا ۲/۵ ساعت داخل یخ قرار گرفت. در نهایت یک میلی‌لیتر از این مایع برداشته شد و در اسپکتروفتومتر با طول موج ۳۶۵ نانومتر قرائت شد. با توجه به محتوای آب نمونه‌ها مقدار گلایسین‌بتائین بر حسب وزن خشک گزارش شد.

سنجش محتوای نسبی آب برگ و سرعت اتلاف آب از برگ

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)، برگ‌های پرچم به قطعات ۲ سانتی‌متری بریده و وزن شد (FW1). قطعات برگی به مدت ۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفت و مجدداً توزین شد (TW1). سپس برگ‌ها در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و در پایان وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد (DW1). محتوای نسبی آب برگ از رابطه زیر محاسبه شد (۳۰):

$$RWC\% = (FW1 - DW1) / (TW1 - DW1) \times 100$$

سرعت اتلاف آب از برگ جدا شده از گیاه بر اساس رابطه زیر و بر حسب گرم آب از دست رفته به ازای گرم وزن خشک برگ در ساعت محاسبه شد (۳۷):

$$RWL=(FW2-WW2)/DW2/t$$

FW2، WW2 و DW2 به‌ترتیب وزن اولیه، وزن پژمردگی و وزن خشک برگ است و t مدت زمان بین اندازه‌گیری وزن اولیه و وزن و پژمردگی، بر حسب ساعت است.

به‌منظور بررسی همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی در سال‌های مختلف آزمون بارتلت انجام شد و با توجه به همگن نبودن واریانس خطاهای آزمایشی تجزیه و تحلیل داده‌ها در هر سال به‌صورت مجزا انجام شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای MSTAT-C و SPSS و مقایسات میانگین با استفاده از روش چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. همبستگی بین صفات به روش پیرسون برآورد شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد

جدول تجزیه واریانس صفات مورد اندازه‌گیری در سال اول در جدول ۳ آمده است. همه اثرات ساده و متقابل بر میزان عملکرد دانه در سال اول معنی‌دار بود (جدول ۳).

در هر دو سال زراعی عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی افزایش یافت. میانگین عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در سال دوم به‌دلیل بارندگی بهاره بیشتر، بالاتر از سال اول بود (جدول ۴). اما در سال اول که بارندگی بهاره کمتر بود، آبیاری تکمیلی باعث افزایش عملکرد بیشتری نسبت به سال دوم شد.

در سال اول در شرایط دیم متوسط عملکرد ارقام ۱۹۷۳ کیلوگرم در هکتار بود و اختلاف معنی‌داری بین ارقام از این لحاظ وجود نداشت. همه ارقام به آبیاری تکمیلی واکنش مثبتی نشان دادند، اما بیشترین میزان افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم مربوط به ارقام ریژاو و سرداری (رقم ریژاو با ٪۴۴/۳ و رقم سرداری با ٪۴۳/۱) و کمترین میزان افزایش عملکرد مربوط به رقم آذر۲ با ٪۱۰/۷ افزایش عملکرد بود (جدول ۴).

شدت تنش عبارت است از متوسط درصد کاهش عملکرد کلیه ارقام در شرایط دیم نسبت به آبیاری (۱۲)، در سال دوم ۹۸ میلی‌متر بارندگی بیشتر از سال اول بود و ۵ درصد از شدت تنش کاسته شد (شدت تنش در سال اول ٪۲۴، و در سال دوم ٪۱۹ بود). در سال دوم بعد از رقم آذر۲، رقم سرداری کمترین افزایش عملکرد را در شرایط آبیاری تکمیلی نشان داد. در بین ارقام هم رقم ریژاو در شرایط دیم پتانسیل عملکرد کمتری داشت اما واکنش بیشتری به آبیاری تکمیلی برای افزایش عملکرد نشان داد. ارقام آذر۲ و سرداری نیز واکنش کمتری به آبیاری تکمیلی در سال پر باران داشتند (جدول ۴). رقم آذر ۲ از تلاقی سرداری با یک ژنوتیپ دیگر حاصل شده و به‌واسطه شباهت به رقم سرداری واکنش مشابه با این رقم به تنش داشته است و با توجه به پا بلند بودن در شرایط بارندگی زیاد و آبیاری تکمیلی نسبت به سایر ارقام پتانسیل عملکرد کمتری داشتند.

نتایج عملکرد دانه در دو سال و در دو تیمار متفاوت نشان داده که متوسط عملکرد همه ارقام در چهار شرایط فوق ۳۱۴۹ کیلوگرم در هکتار بود. در این میان رقم هما با متوسط عملکرد ۳۴۶۱ و رقم آذر ۲ با متوسط عملکرد ۲۹۷۲ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب بیشترین و کمترین متوسط عملکرد دانه را دارا بودند. رقم هما در دو سال و در دو تیمار تنش، از چهار شرایط مورد بررسی تقریباً عملکرد بیشتری از سایر ارقام داشت. روند تغییرات عملکرد در تیمارهای مختلف تنش و به عبارت دیگر شیب کاهش عملکرد هر رقم در هر تیمار تنش نسبت به متوسط عملکرد همه ارقام در آن تیمار، یکی از معیارهای حساسیت به تنش است، گرچه ممکن است با پتانسیل عملکرد مرتبط نباشد (۱۷). این شیب نشان می‌دهد که بیشترین شیب کاهش عملکرد مربوط به رقم هما و کمترین آن در رقم سرداری مشاهده شد (شکل ۲).

ارقام اوحدی، آذر۲ و ریژاو در حد واسط این دو رقم قرار داشتند. این وضعیت نشان می‌دهد که رقم هما گرچه پتانسیل عملکرد بالاتری دارد اما حساسیت بیشتری به تنش خشکی نشان می‌دهد. از طرف دیگر رقم سرداری با وجود عملکرد متوسط کمترین کاهش عملکرد را پس از اعمال شدت‌های

جدول ۳. تجزیه واریانس، میانگین مربعات صفات در سال اول

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	اسیدهای آمینه محلول در برگ			گلایسین بتائین			محتوای نسبی آب برگ (RWC)			کاهش آب از برگ (RWL)		
			بوتینگ (کد ۴۵)[1]	گلدهی (کد ۶۵)	شیری (کد ۷۷)	بوتینگ (کد ۴۵)	گلدهی (کد ۶۵)	شیری (کد ۷۷)	بوتینگ (کد ۴۵)	گلدهی (کد ۶۵)	شیری (کد ۷۷)	بوتینگ (کد ۴۵)	گلدهی (کد ۶۵)	شیری (کد ۷۷)
تکرار	۲	۲۲۲/۱	۱۵/۹	۲/۲	۴/۱	۰/۰۷۶	۰/۰۱۳	۰/۰۰۲	۲/۱	۱۳/۲	۱۲/۰	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
تنش	۱	۲۷۸۸۳/۷**	۵۴/۲*	۲۱۴۰/۰**	۳۷۶۴/۶**	۰/۰۲۹ns	۰/۱۲۲**	۰/۰۴*	۲۰۷/۲**	۴۷۲/۸**	۱۳۹/۲**	۰/۰۶۱**	۰/۰۴۷**	۰/۰۰۹**
رقم	۴	۱۱۸۷/۵*	۴۲۵/۸**	۱۰۸/۰**	۵۷۸/۴**	۰/۰۲۲ns	۰/۰۱۳ns	۰/۰۳۹**	۹/۵ns	۶۱/۹*	۳۹/۱*	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۳*
تنش×رقم	۴	۱۰۳۴*	۷۸/۸**	۸۹/۴ns	۳۰/۴ns	۰/۰۱۴ns	۰/۰۱ns	۰/۰۱۱ns	۱۵/۲ns	۱۷/۳ns	۷/۳ns	۰/۰۰۹*	۰/۰۰۸ns	۰/۰۰۳*
خطا	۱۸	۲۸۹/۸	۹/۳	۴/۲	۱۲/۲	۰/۰۱۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۹/۰	۱۷/۳	۶/۸	۰/۰۰۶	۰/۰۵۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات		۷/۴۷	۱۳/۳۸	۹/۴۸	۱۳/۲۷	۱۵/۴۵	۱۳/۷۲	۱۰/۸۳	۳/۵۱	۵/۴۲	۳/۹	۱۰/۲۵	۸/۹۱	۷/۴۵

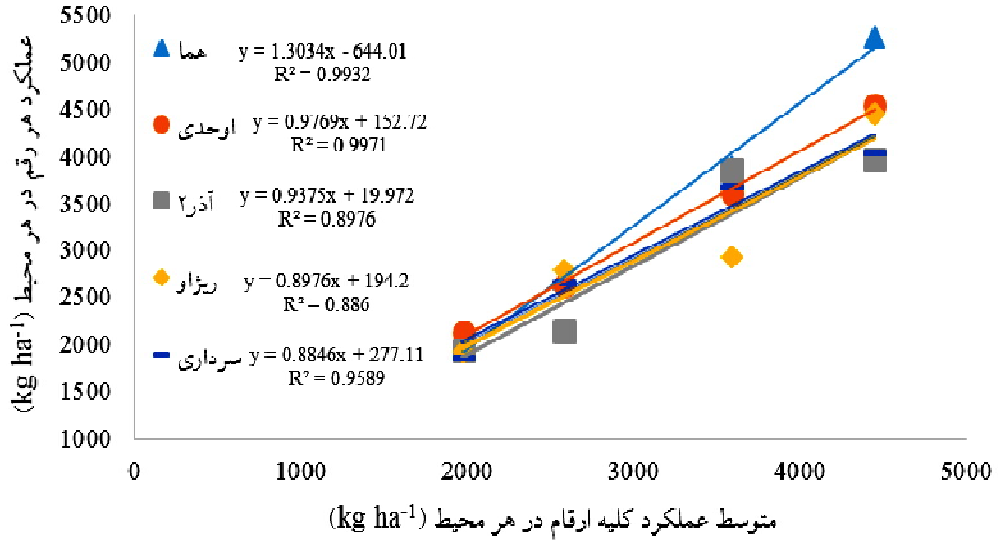
ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

۱-اعداد داخل پرانتز مربوط به کدهای زادوکس است.

جدول ۴. مقایسه میانگین عملکرد دانه($kg\ ha^{-1}$) در دو سال زراعی

		سال اول		سال دوم	
	ارقام	عملکرد دانه		عملکرد دانه	
دیم	هما	۲۰۰۷^{b}		۳۸۸۵^{bc}	
	سرداری	۱۸۶۴^{b}		۳۶۸۴^{bcd}	
	آذر۲	۱۹۳۵^{b}		۳۸۴۹^{bc}	
	ریژاو	۱۹۲۹^{b}		۲۹۳۳^{d}	
	اوحدی	۲۱۳۲^{b}		۳۶۰۴^{cd}	
	میانگین	۱۹۷۳	درصد افزایش نسبت به دیم	۳۵۹۱	درصد افزایش نسبت به دیم
آبیاری تکمیلی	هما	۲۶۸۸^{a}	۳۳/۹	۵۲۶۲^{a}	۳۵/۵
	سرداری	۲۶۶۷^{a}	۴۳/۱	۴۰۳۶^{bc}	۹/۶
	آذر۲	۲۱۴۳^{b}	۱۰/۷	۳۹۶۲^{bc}	۲/۹
	ریژاو	۲۷۸۴^{a}	۴۴/۳	۴۴۳۷^{abc}	۵۱/۳
	اوحدی	۲۶۳۴^{a}	۲۳/۶	۴۵۴۶^{ab}	۲۶/۱
	میانگین	۲۵۸۳	۳۱/۱	۴۴۴۹	۲۵/۱

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن با همدیگر ندارند.



شکل ۲. روند تغییرات عملکرد در محیط‌های مختلف دیم و آبیاری تکمیلی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

تنش نشان داد. پتانسیل عملکرد بالاتر رقم هما ممکن است به تعادل روابط منبع و مخزن در این رقم مرتبط باشد که در این پژوهش مورد بحث قرار نگرفته است، اما مقاومت نسبی رقم سرداری ممکن است با ثبات صفات فیزیولوژیکی این رقم تحت تنش مرتبط باشد.

اسیدهای آمینه آزاد برگ

جدول تجزیه واریانس صفات در سال دوم، در دو مرحله بوتینگ و گلدهی (بدون اعمال آبیاری) در جدول ۵ و در مراحل شیری و خمیری (با اعمال آبیاری تکمیلی) در جدول ۶ آمده است.

جدول ۵. تجزیه واریانس، میانگین مربعات صفات طی مراحل بوتینگ و گلدهی در سال دوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	اسیدهای آمینه محلول		گلایسین بتائین		محتوای نسبی آب	
		بوتینگ (کد ۴۵)[1]	گلدهی (کد ۶۵)	بوتینگ (کد ۴۵)	گلدهی (کد ۶۵)	بوتینگ (کد ۴۵)	گلدهی (کد ۶۵)
تکرار	۲	۱/۵۸	۱۳/۶۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۱/۰۱۱	۰/۷۸۷
رقم	۴	۱۱۴/۸**	۱۲۲/۱۰**	۰/۰۰۸ns	۰/۰۱ns	۰/۷۱۶ns	۲۲/۵۹**
خطا	۸	۰/۵۹	۵/۷۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۴/۵۹۶	۲/۸۴
ضریب تغییرات		۶/۰۱	۱۴/۴۵	۱۱/۱۶	۱۱/۱۱	۲/۴۶	۲/۰۷

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

۱-اعداد داخل پرانتز مربوط به کدهای زادوکس است.

جدول ۶. تجزیه واریانس، میانگین مربعات عملکرد و صفات طی مراحل شیری و خمیری در سال دوم

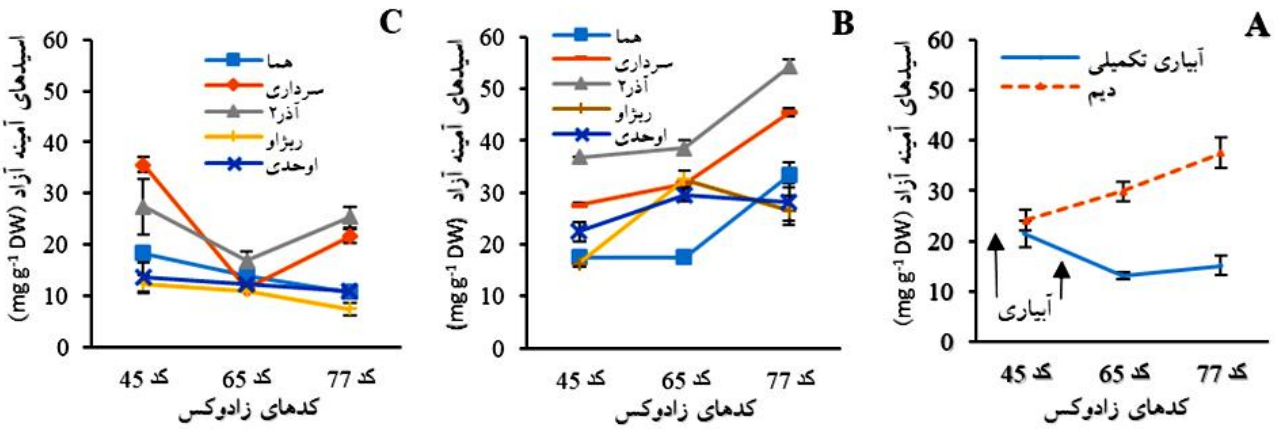
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	اسیدهای آمینه محلول		گلایسین بتائین		محتوای نسبی آب برگ	
			شیری (کد ۷۷)[1]	خمیری (کد ۸۵)	شیری (کد ۷۷)	خمیری (کد ۸۵)	شیری (کد ۷۷)	خمیری (کد ۸۵)
تکرار	۲	۲۳۶۳/۰	۸/۳	۵/۷	۰/۰۰۳	۰/۰۲۹	۴/۸۶	۶/۰۲۶
تنش	۱	۵۵۱۷۶/۳**	۷۴/۳**	۳۷۹/۸**	۰/۰۰۱ns	۱/۰۸۴**	۷۷۶/۹۴**	۲۰۴۰/۷۲**
رقم	۴	۶۹۰۱/۹*	۱۵۹/۷**	۳۴/۷**	۰/۰۰۷ns	۰/۳۰۴**	۶۰/۸۵**	۲۲۴/۱۲**
تنش×رقم	۴	۵۶۴۶/۷ns	۳۰۶/۴**	۸۵/۵**	۰/۰۰۰۱ns	۰/۲۵۱**	۱۷/۰ns	۱۲۷/۶۸**
خطا	۱۸	۲۳۱۹/۳	۸/۲	۷/۴	۰/۰۰۶	۰/۰۲۷	۶/۹۸	۶/۲۳
ضریب تغییرات		۱۱/۹۸	۱۱/۸۹	۲۰/۲۵	۱۲/۵۳	۱۸/۰۳	۳/۲۱	۳/۴۳

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

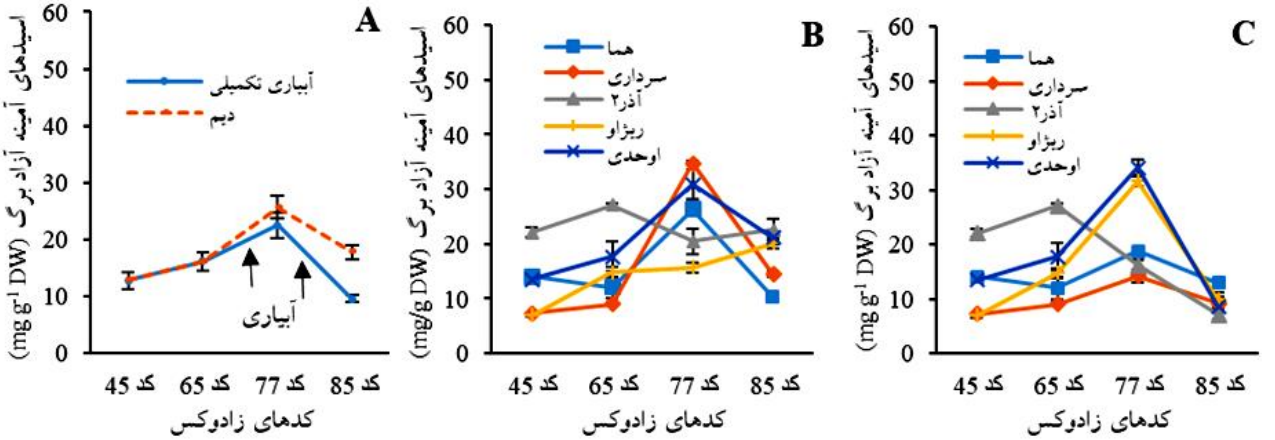
۱-اعداد داخل پرانتز مربوط به کدهای زادوکس است.

متابولیسم اسیدهای آمینه، نقش مهمی در تحمل گیاهان به تنش خشکی بازی می‌کند (۳۲). در سال اول که بارش‌ها کمتر و رطوبت در اختیار گیاه کمتر بود مقدار اسیدهای آمینه آزاد در شرایط دیم بیشتر از سال دوم بود (شکل ۳-A و ۴-A). نتایج نشان داد در سال اول میزان اسیدهای آمینه آزاد برگ در طول رشد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی با هم تفاوت معنی‌داری دارد (جدول ۳). به‌طوری که با افزایش طول رشد و مواجه شدن با خشکی آخر فصل در شرایط دیم میزان اسیدهای آمینه آزاد برگ روندی صعودی داشت و نسبت به شرایط آبیاری تکمیلی افزایش پیدا کرد (شکل۳-A).

در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله اول و دوم نمونه‌گیری به دلیل آبیاری مقدار اسیدهای آمینه آزاد برگ کاهش یافت، اما در مرحله سوم نمونه‌گیری به‌دلیل قطع آبیاری، مقداری اسیدهای آمینه آزاد برگ افزایش یافت. کاهش در محتوای اسیدهای آمینه در شرایط آبیاری مجدد، احتمالاً به سبب سنتز پروتئین‌ها از اسیدهای آمینه و یا عدم نیاز به این ترکیبات جهت تنظیم اسمزی در چنین شرایطی است. گزارشات مختلف در مورد اثر تنش خشکی بر روی محتوای اسیدهای آمینه در گیاهان زراعی مختلف نشان دادند که تحت تأثیر تنش رطوبتی محتوای کل اسیدهای آمینه به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابند (۷ و ۲۹).



شکل ۳. اسیدهای آمینه آزاد برگ طی مراحل رشدی در سال اول؛ A: میانگین ارقام B: شرایط دیم C: شرایط آبیاری تکمیلی میله‌های عمودی ± اشتباه معیار میانگین (شکلA: n=۱۵) و (شکل B و C: n=۳) است. (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۴. اسیدهای آمینه آزاد برگ طی مراحل رشدی در سال دوم؛ A: میانگین ارقام B: شرایط دیم C: شرایط آبیاری تکمیلی میله‌های عمودی ± اشتباه معیار میانگین (شکلA: n=۱۵) و (شکل B و C: n=۳) است. (رنگی در نسخه الکترونیکی)

نتایج نشان داد ارقام آذر ۲، سرداری و هما در شرایط دیم روند افزایشی در میزان اسیدهای آمینه آزاد برگ را دارند. درحالی‌که ارقام ریزاو و اوحدی در مراحل انتهایی رشد کاهش نشان دادند (شکل۳-B). متوسط عملکرد دو سال رقم ریزاو در شرایط دیم کمترین میزان بود. در شرایط آبیاری تکمیلی هم در مرحله سوم نمونه‌گیری با قطع آبیاری ارقام آذر ۲ و سرداری با اختلاف معنی‌داری میزان اسیدهای آمینه آنها افزایش یافت درحالی‌که سایر ارقام روند ثابتی نسبت به مرحله قبلی نمونه‌گیری (گلدهی) داشتند و افزایش پیدا نکردند (شکل۳-C). این موضوع می‌تواند نشان دهد که احتمالاً ارقام آذر۲ و سرداری در مراحل انتهایی رشد توانایی بالاتری برای تنظیم اسمزی به واسطه افزایش اسیدهای آمینه آزاد برگ را داشتند. بنابراین یکی از دلایل مقاومت نسبی این ارقام به تنش خشکی می‌تواند افزایش اسیدهای آمینه آزاد کل محلول در برگ باشد. این دو رقم در حال حاضر بیشترین سطح زیر کشت گندم دیم استان کردستان را تشکیل می‌دهند.

در سال دوم میزان اسیدهای آمینه آزاد برگ در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، طی مراحل رشدی افزایش یافت. اما در مرحله خمیری (کد ۸۵ زادوکس) کاهش یافت (شکل ۴-A). با توجه به شرایط بارندگی مطلوب‌تر سال دوم و عملکرد

بیشتر در این سال، میزان نیاز به اسیدهای آمینه جهت تأمین پروتئین دانه افزایش یافته و احتمالاً اتکاء دانه به اسیدهای آمینه آزاد برگ بیشتر شده است، لذا این کاهش می‌تواند به‌واسطه انتقال اسیدهای آمینه به دانه و تبدیل آن به پروتئین دانه باشد، به‌طوری که در شرایط آبیاری تکمیلی این کاهش شدیدتر بود. در این سال زراعی به‌دلیل متفاوت بودن شرایط آبی واکنش ارقام در شرایط دیم و آبی مقداری با سال زراعی قبل متفاوت بود (شکل۴-B). به‌طورکلی رقم آذر ۲ در هر دو سال زراعی تقریبا در همه مراحل رشدی میزان اسیدهای آمینه آزاد برگ بیشتری نسبت به سایر ارقام داشت.

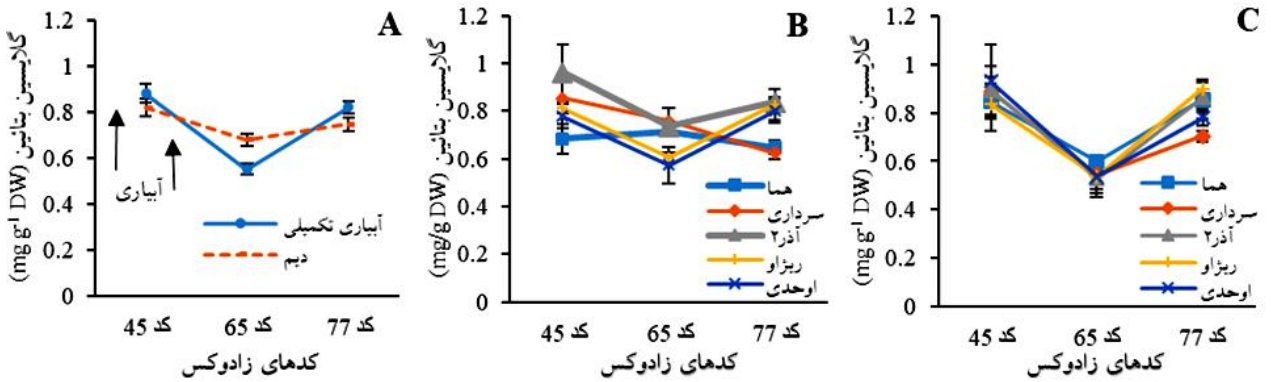
در سال اول در شرایط دیم بین میزان اسیدهای آمینه محلول:در برگ با عملکرد در مرحله پر شدن دانه همبستگی منفی و معنی‌داری (*۰/۵۴-) وجود داشت. همین روند در سال دوم هم دیده شد. بنابراین می‌توان گفت افزایش میزان اسیدهای آمینه محلول در برگ در مرحله پر شدن دانه تأثیر مثبتی روی عملکرد ندارد و بیشتر در افزایش پتانسیل اسمزی برای مواجه با تنش خشکی آخر فصل و بقاء گندم مؤثر است. به‌طوری‌که در سال اول این تحقیق که تنش شدید بوده، در شرایط دیم میزان اسیدهای آمینه محلول در برگ در مراحل انتهایی رشد بیش از دو برابر میزان آن در سال دوم که تنش ملایم بوده است، افزایش پیدا کرده است.

گلایسین بتائین

اثر تنش و رقم بر میزان گلایسین بتائین در سال اول در مرحله بوتینگ (کد ۴۵ زادوکس) معنی‌دار نبود (جدول ۳). اما در مرحله گلدهی (کد ۶۵ زادوکس) میزان گلایسین بتائین در شرایط دیم به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط آبیاری تکمیلی بود. این درحالی است که در مرحله شیری (کد ۷۷ زادوکس) میزان گلایسین بتائین افزایش یافت و حتی در شرایط آبیاری تکمیلی (در این مرحله از نمونه‌گیری آبیاری مجدد صورت نگرفت) به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط دیم بود (شکل ۵-A). رحیمی و همکاران (۲۸) گزارش کردند با افزایش سطوح تنش خشکی، میزان گلایسین بتائین در ارقام گندم افزایش یافت و افزایش آن تحت تأثیر تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه بیشتر از مرحله گلدهی بود. افزایش میزان گلایسین‌بتائین در سال اول نشان می‌دهد که به‌دلیل خشکسالی حتی در شرایط آبیاری تکمیلی نیز گیاه دچار تنش شدید شده و برای رفع تنش گلایسین‌بتائین را تجمع داده است.

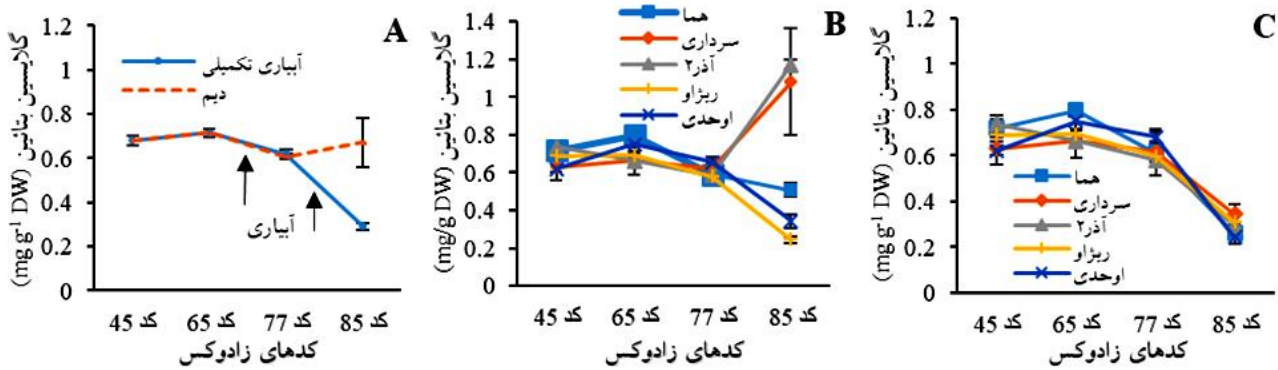
در مراحل بوتینگ (کد ۴۵ زادوکس) و گلدهی (کد ۶۵ زادوکس) تفاوت معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد ولی در مرحله گلدهی ارقام سرداری و آذر۲ میزان گلایسین بتائین بالاتری از سایر ارقام داشتند (شکل ۵-B). با توجه به نتایج موجود به‌نظر می‌رسد گلایسین بتائین در شرایط خشکی برای کاهش اثرات نامطلوب کمبود آب، تولید و تجمع پیدا می‌کند. به‌طورکلی، گلایسین بتائین در شرایط تنش در گیاهان تولید می‌شود و به‌عنوان یک متابولیت ثانویه در تنظیم اسمزی نقش ایفا می‌کند و همبستگی بالایی با رشد گیاهان در محیط‌های خشک و شور دارد (۶ و ۱۱).

در سال دوم در مراحل اولیه نمونه‌برداری به‌دلیل شرایط آبی مناسب تفاوت معنی‌داری بین میزان گلایسین بتائین در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و نیز بین ارقام وجود نداشت. در مرحله خمیری (کد ۸۵ زادوکس) به‌طور معنی‌داری میزان گلایسین بتائین در شرایط دیم نسبت به شرایط آبیاری تکمیلی افزایش یافت (شکل ۶-A). این افزایش به‌دلیل بالا رفتن میزان گلایسین بتائین در ارقام آذر ۲ و سرداری در شرایط دیم نسبت به سایر ارقام بود (شکل ۶-B). که می‌تواند ناشی از توانایی این ارقام در تنظیم اسمزی با بالا نگه داشتن این اسمولیت سازگار باشد. در کل افزایش گلایسین‌بتائین در همه ارقام در شرایط خشکی شدید سال اول و افزایش آن فقط در دو رقم آذر ۲ و سرداری در شرایط تنش محدودتر سال دوم نشان می‌دهد که واکنش ارقام به تنش از لحاظ تجمع گلایسین‌بتائین به شدت تنش وابسته است و ارقام آذر ۲ و سرداری در شدت تنش محدود نیز گلایسین‌بتائین را تجمع می‌دهند. در شرایط آبیاری تکمیلی اختلاف معنی‌داری بین ارقام دیده نشد (شکل ۶-C).



شکل ۵. میزان گلایسین بتائین طی مراحل رشدی در سال اول؛ A: میانگین ارقام B: شرایط دیم C: شرایط آبیاری تکمیلی

میله‌های عمودی ± اشتباه معیار میانگین (شکلA: n=۱۵) و (شکل B و C: n=۳) است. (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. میزان گلایسین بتائین طی مراحل رشدی در سال دوم؛ A: میانگین ارقام B: شرایط دیم C: شرایط آبیاری تکمیلی

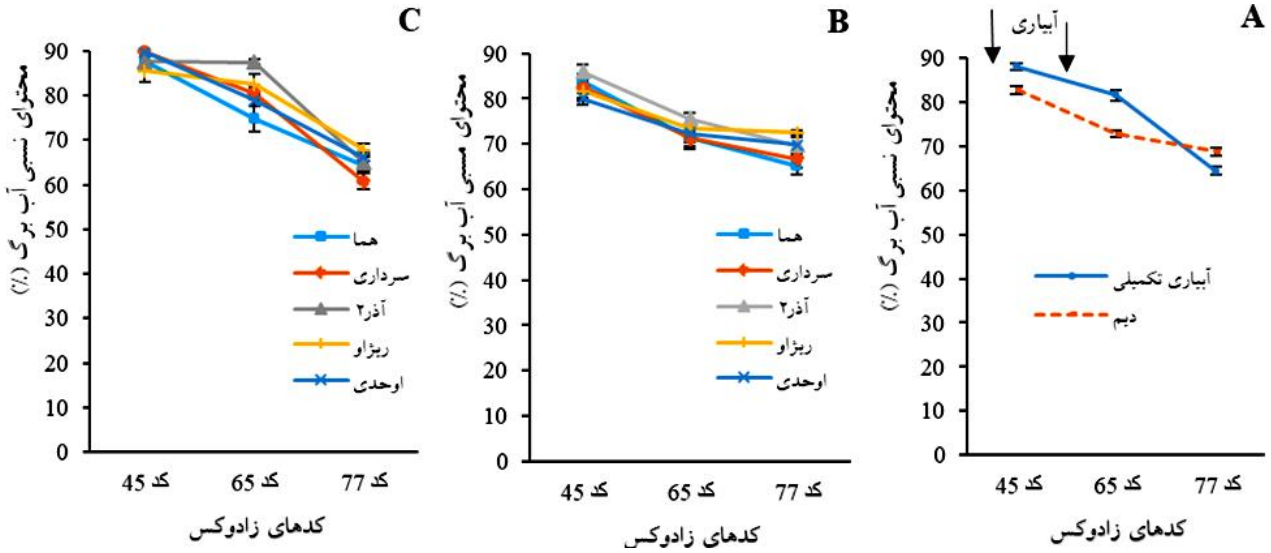
میله‌های عمودی ± اشتباه معیار میانگین (شکلA: n=۱۵) و (شکل B و C: n=۳) است. (رنگی در نسخه الکترونیکی)

گلایسین بتائین از ترکیباتی است که در درون سیتوپلاسم از دهیدراته شدن و پلاسمولیز سلول‌ها در وضعیت تنش شدید اسمزی جلوگیری می‌کند (۸). سایرام و همکاران (۳۱) گزارش کردند در اثر تنش شوری میزان گلایسین بتائین در ژنوتیپ‌های گندم افزایش می‌یابد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

کاهش محتوای نسبی آب برگ، یکی از مهم‌ترین تغییرات ناشی از تنش خشکی است که می‌تواند قدرت گیاه در مقابله با تنش خشکی را نشان دهد (۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد در سال اول، اثر تنش در هر سه مرحله مورد بررسی بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود و بین ارقام به جز در مرحله بوتینگ (کد ۴۵ زادوکس)، در مراحل گلدهی (کد ۶۵ زداوکس) و شیری (کد ۷۷ زادوکس) تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳). محتوای نسبی آب برگ در انتهای فصل رشد، در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی روند کاهشی داشت (شکل ۷-A).

افزایش دما، پیشرفت مراحل فنولوژیکی گیاه و پیری برگ عامل اصلی کاهش محتوای نسبی آب است. میزان RWC در شرایط آبیاری تکمیلی در مراحل بوتینگ (کد ۴۵ زداوکس) و گلدهی (کد ۶۵ زادوکس) بیشتر از شرایط دیم بود. اما در مرحله شیری (کد ۷۷ زداوکس) میزان آن در شرایط دیم حتی



شکل ۷. محتوای نسبی آب برگ طی مراحل رشدی در سال اول؛ A: میانگین ارقام B: شرایط دیم C: شرایط آبیاری تکمیلی
میله‌های عمودی ± اشتباه معیار میانگین (شکل A: n=۱۵) و (شکل B و C: n=۳) است. (رنگی در نسخه الکترونیکی)

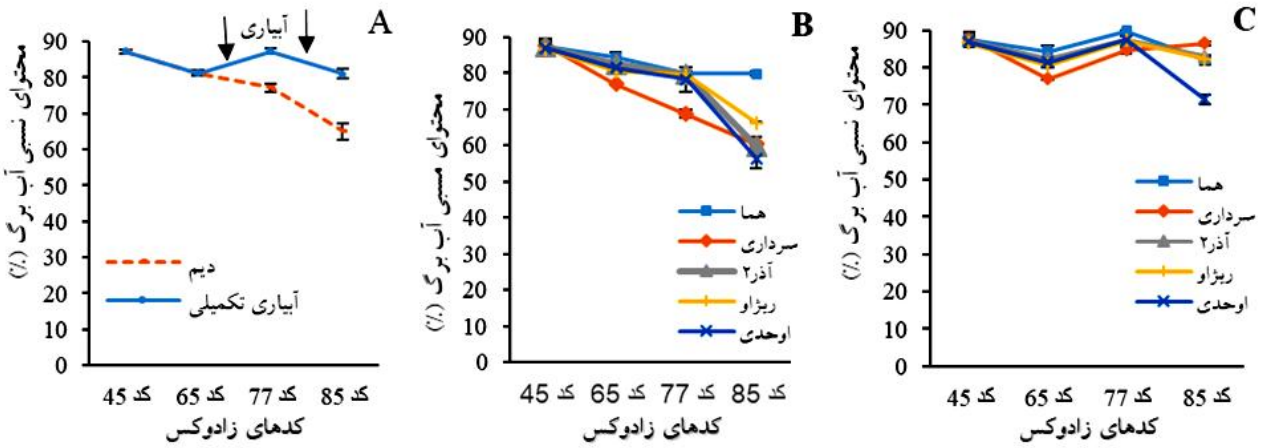
مقداری بیشتر از شرایط آبیاری تکمیلی بود (شکل۷–A). کاهش شدیدتر RWC بعد از گلدهی، در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم به این دلیل است که آبیاری تکمیلی باعث افزایش سطح سبز و مصرف آب خاک شده و در مواجهه با شرایط خشکی آخر فصل، برگ‌ها با شدت بیشتری آب از دست داده و محتوای نسبی آب برگ در تیمار آبیاری تکمیلی با شدت بیشتری کاهش یافته است. در مرحله گلدهی (کد ۶۵ زادوکس) رقم آذر ۲ میزان RWC بالاتری از سایر ارقام داشت (شکل۷–B و ۷–C) و در مرحله شیری (کد ۷۷ زادوکس) رقم سرداری کمترین میزان RWC را در بین ارقام دارا بود (شکل۷–B و ۷–C). در مرحله شیری (کد زادوکس۷۷) ارقام ریزاو و سرداری به‌ترتیب بیشترین(۷۰٪) و کمترین (۶۴٪) میزان RWC و نیز به‌ترتیب بیشترین (۰/۸۶ mg g^{-1} DW) و کمترین (۰/۶۶ mg g^{-1} DW) مقدار گلایسین‌بتائین را داشتند که نشان دهنده ارتباط بین این دو صفت و نقش احتمالی گلایسین‌بتائین در حفظ آب برگ در شرایط تنش شدید سال اول در این تحقیق است.

در سال دوم به‌دلیل شرایط آب و هوایی متفاوت و تغییر زمان آبیاری روند تغییرات محتوای نسبی آب برگ متفاوت بود. در تیمار آبیاری تکمیلی میزان RWC بالاتر از شرایط دیم بود (شکل۸– A). در مرحله گلدهی (کد ۶۵ زادوکس) رقم سرداری با ۷۷٪ کمترین مقدار RWC را داشت. در کل رقم هما محتوای نسبی آب برگ بالاتری در طی روند رشدی در بین ارقام را داشت و سرداری روند کاهشی بیشتری نسبت به سایر ارقام داشت (شکل ۸–B)، اما رقم اوحدی در مرحله خمیری (کد ۸۵ زادوکس) کاهش شدیدتری را نشان داد (شکل ۸–B و ۸–C).

در سال دوم کشت در شرایط دیم در مرحله گلدهی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ با میزان گلایسین‌بتائین وجود داشت (شکل ۹).

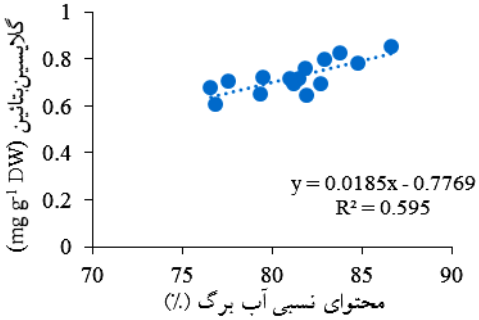
سرعت اتلاف آب از برگ جدا شده از گیاه (RWL)

این صفت فقط در سال اول آزمایش اندازه‌گیری شد. این ویژگی بیان کننده مقدار آب از دست رفته به ازای واحد وزن خشک برگ در واحد زمان است. با پیشرفت مراحل فنولوژیکی در هر دو تیمار آبیاری تکمیلی و دیم، سرعت از دست دادن آب از برگ روندی کاهشی داشت و مقدار آن به‌طور معنی‌داری در تیمار دیم کمتر از تیمار آبیاری تکمیلی بود (شکل ۱۰– A). در مرحله سوم نمونه‌گیری (کد ۷۷ زادوکس)) شدت کاهش

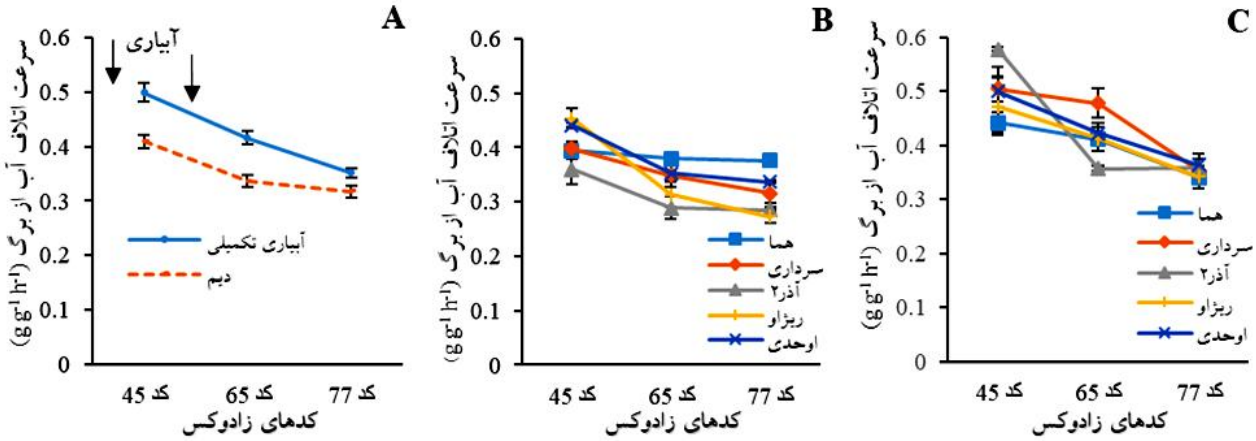


شکل ۸. محتوای نسبی آب برگ طی مراحل رشدی در سال دوم؛ A: میانگین ارقام B: شرایط دیم C: شرایط آبیاری تکمیلی

میله‌های عمودی ± اشتباه معیار میانگین (شکلA: n=۱۵) و (شکل B و C: n=۳) است. (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۹. همبستگی محتوای نسبی آب برگ با میزان گلایسین‌بتائین در شرایط دیم مرحله گلدهی(سال دوم) (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۰. سرعت اتلاف آب از برگ جدا شده از گیاه (RWL) طی مراحل رشدی در سال اول؛ A: میانگین ارقام B: شرایط دیم C: شرایط آبیاری تکمیلی

میله‌های عمودی ± اشتباه معیار میانگین (شکلA: n=۱۵) و (شکل B و C: n=۳) است. (رنگی در نسخه الکترونیکی)

RWL در تیمار آبیاری تکمیلی بیشتر از تیمار دیم بود. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که، در تیمار آبیاری تکمیلی سطح سبز و محتوای آب برگ بیشتر بوده و با قطع آبیاری آب بیشتری نسبت به تیمار دیم از دست رفته است، همچنین در تیمار دیم غلظت شیره سلولی از جمله گلایسین‌بتائین و اسیدهای آمینه آزاد بیشتر از شرایط آبیاری تکمیلی بوده و به‌دلیل پتانسیل اسمزی کمتر، کاهش آب از برگ کمتر بوده است.

در بین ارقام در مرحله بوتینگ (کد ۴۵ زادوکس) و گلدهی (کد ۶۵ زادوکس) در شرایط دیم رقم آذر ۲ کمترین مقدار RWL را در بین ارقام داشت (شکل B–۷). در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی هم این رقم دارای کمترین مقدار RWL بود (شکل C–۱۰). رقم آذر ۲ همچنین بالاترین مقدار RWC را دارا بود (شکل B–۱۰). ارقامی که دارای RWC بالا و RWL پایین هستند به‌عنوان ارقام مقاوم خشکی شناخته می‌شوند (۱۳). می‌توان گفت که RWL پایین‌تر ارقام قبل از گلدهی باعث حفظ آب برگ برای بعد از گلدهی شده و امکان مصرف آب خاک بعد از گلدهی فراهم شده که باعث ثبات عملکرد می‌شود.

همبستگی منفی و معنی‌داری RWL در زمان گلدهی با اسیدهای آمینه آزاد برگ و در زمان پرشدن دانه با گلاسین بتائین نشان‌دهنده این است که هر غلظت ترکیبات اسمزی برگ بیشتر باشد سرعت کاهش آب از برگ کمتر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

اجرای آبیاری تکمیلی در گندم دیم، تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه گندم دارد به‌طوری که هم در سال کم باران (سال اول کشت در این آزمایش) و هم در سال پر باران (سال دوم کشت در این آزمایش) باعث افزایش عملکرد می‌شود. رقم ریژاو هم در سال کم باران و هم در سال پرباران، واکنش بهتری در مقایسه با سایر ارقام به آبیاری تکمیلی نشان داد. در حقیقت به‌دلیل ارتفاع کمتر و مقاومت به ورس، می‌توان آن را به‌عنوان رقم مناسبی برای آبیاری تکمیلی معرفی کرد. این رقم در سال کم باران در شرایط آبیاری تکمیلی از طریق تجمع گلایسین‌بتائین، میزان RWC بالاتری از سایر ارقام داشت. در سال کم باران علاوه‌بر رقم ریژاو، رقم سرداری هم واکنش مطلوبی به آبیاری تکمیلی نشان داد. به‌طورکلی ارقام آذر ۲ و سرداری در تجمع اسیدهای آمینه آزاد برگ و گلایسین‌بتائین به‌عنوان اسمولیت‌های سازگار در شرایط دیم بهتر از سایر ارقام بودند. همبستگی مثبت RWC و همبستگی منفی RWL با اسیدهای آمینه آزاد برگ و گلایسین‌بتائین نشان داد که افزایش غلظت این اسمولیت‌ها باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ و کمتر شدن سرعت کاهش آب از برگ خواهد شد. نتایج این تحقیق تأکید کرد اجرای آبیاری تکمیلی با قطع بارندگی بهاره در مراحل حساس رشد گندم با بالا نگه داشتن محتوای نسبی آب برگ و بهبود صفات فیزیولوژیک منجر به تولید عملکرد قابل قبول در شرایط دیم می‌شود. همچنین در شرایط دیم ارقام مقاوم از طریق افزایش غلظت شیره سلولی توسط اسمولیت‌های سازگار از کاهش شدید عملکرد جلوگیری می‌کنند.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadi Lahijani, M. J. and Y. Emam. 2013. Response of wheat genotypes to terminal drought stress using physiological indices. *Journal of Crop Production and Processing* 3: 163-176. (In farsi).
2. Anonymous. 2021. Agricultural Statistics. Crops of the crop year 2019-2020. Ministry of Agriculture, Deputy of Planning and Economy. Information and Communication Technology Center. (In Farsi).
3. Anonymous. 2013. Technical Instructions for Dryland Wheat Cultivation in Different Climates of the Iran, Organization of Agricultural Research, Education and Extension, Dryland Agricultural Research Institute(DARI), Cereal Research and Resource Management Department. (In Farsi).
4. Barnett, N. M. and A. W. Naylor. 1966. Amino acid and protein metabolism in Bermuda grass during water stress. *Plant Physiology* 41: 1222-1230.
5. Blum, A. 2011. Plant breeding for water-limited environments. Springer, Verlag.
6. Dawood, M. G. and M. Sh. Sadak. 2014. Physiological role of glycinebetaine in alleviating the deleterious effects of

drought stress on canola plants (*Brassica napus* L.). *Middle East Journal of Agriculture Research* 3: 943-954.
7. De ronde, J. A., M. H. Spreeth and W. A. Cress. 2000. Effect of antisense L-Δ1-pyrroline -5-carboxylate reductase transgenic soyabean plants subjected to osmotic and drought stress. *Plant Growth Regulation* 32: 13-26.
8. Demiral, T. and I. Turkan. 2004. Does exogenous glycinebetaine affect antioxidative system of rice seedlings under NaCl treatment?. *Journal of plant physiology* 161: 1089-1100.
9. Din, A., M. Ahmad, F. M. Watto, S. Ahmed, I. Ali and M. K. N. Shah. 2020. Drought tolerance screening in thirty common whea (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Sarhad Journal of Agriculture* 36: 168-177.
10. El Tayeb, M. A. 2006. Differential response of two viciafaba cultivars to drought: growth, pigments, lipid, peroxidation, organic solutes, catalase, and peroxi_dase activity. *Acta Agronomica Hungarica* 54: 25-37.
11. Farooq, M., M. Hussain, A. Wahid and K. H. M. Siddique. 2012. Plant Responses to Drought Stress. pp. 1-30, R. Aroca (ed.), Drought Stress in Plants: An Overview. Springer, Berlin, Heidelberg.
12. Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897-912.
13. Geravandia, M., E. Farshadfara and D. Kahrizi. 2011. Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. *Russian Journal of Plant Physiology* 58: 69-75.
14. Grieve, C. M. and S. R. Grattan .1983. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant Soil* 70: 303-307.
15. Gunes, A., A. Inal, M. S. Adak, E. G. Bagci, N. Cicek and F. Eraslan. 2008. Effect of drought stress implemented at pre- or postanthesis stage on some physiological parameters as screening criteria in chickpea cultivars. *Russian Journal of Plant Physiology* 55: 59-67.
16. Haghverdi, A., B. Leib, R. Washington-Allen, W. C. Wright, S. Ghodsi, T. Grant, M. Zheng and P, Vanchiasong. 2019. Studying crop yield response to supplemental irrigation and the spatial heterogeneity of soil physical atributes in a humid region. *Agriculture* 9: 1-21.
17. Hohls, T. 2001. Conditions under which selection for mean productivity, tolerance to environmental stress, or stability should be used to improve yield across a range of contrasting environments. *Euphytica* 120: 235-245.
18. Hwang, M. N. and G. M Ederer. 1975. Rapid hippurate hydrolysis method for presumptive identification of group B streptococci. *Journal of Clinical Microbiology* 1:114-115.
19. Karamanos, A. J. 1995. The involvement of proline and some metabolites in water stress and their importance as drought resistance indicators. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 21: 98-110.
20. Liu, C., Y. Liu, K. Guo, D. Fan, G. Li, Y. Zheng, L. Yu and R. Yang. 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany* 71: 174-183.
21. Lum, M. S., M. M. Hanafi, Y. M. Rafii and A. S. N. Akmar. 2014. Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. *Journal of Animal and Plant Sciences* 24: 1487-1493.
22. Ma, X. L., Y. J. Wang, S. L. Xie, C. Wang and W. Wang. 2007. Glycinebetaine application ameliorates negative effects of drought stress in tobacco. *Russian Journal of Plant Physiology* 54: 472-479.
23. Makela, P., P. Peltonen-Sainio, K. Jokinen, E. Pehu, H. Setala, R. Hinkkanen and S. Somersalo. 1996. Uptake and translocation of foliar applied glycinebetaine in crop plants. *Plant Science* 121: 221- 230.
24. Mirzaee, M., A. Moieni and F. Ghanati. 2013. Effects of drought stress on the lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in two canola (*Brassica napus* L.) cultivar. *Journal of Agricultural Science and Technology* 15: 593-602.
25. Mu, Q. H. Cai, Sh. Sun, Sh. Wen, J. Xu, M. Dong and Q. Saddique. 2021. The physiological response of winter wheat under short-term drought conditions and the sensitivity of different indices to soil water changes. *Agricultural Water Management* 243: 106475.
26. Nouri, A., A. Etminan, J. A. T. D. Silva and R. Mohammadi. 2011. Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat varieties (*Triticum turjidum* var. durum Desf.). *Australian Journal of Crop Science* 5: 8-16.
27. Oweis, T. and A. Hachum. 2006. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in west Asia and North Africa. *Agricultural Water Management* 80: 57-73.
28. Rahimi, Z., F. Hosseinpanahi and A. Siosemardeh. 2019. Effects of drought stress on antioxidant enzymes activity and some physiological traits of drought resistant and susceptible cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Wheat Research* 2: 69-86. (In farsi).
29. Rampino. P., S. Pataleo, C. Gerardi, J. Mita and C. Perrotta. 2006. Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant Cell and Environment* 29: 2143-2152.
30. Ritchie, S. W., H. T. Nguyen and A. S. Holaday. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30: 105-111.
31. Sairam, R. K., K. V. Rao and G. C. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity

stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* 163: 1037-1046.
32. Showler, A. T. and B. A. Castro. 2010. Influence of drought stress on Mexican rice borer (Lepidoptera: Crambidae) oviposition preference in sugarcane. *Crop Protection* 28: 722-727.
33. Tavakkoli, A. R. and T. Y. Oweise. 2002. The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highland soft Iran. *Agricultural Water Management* 65(3): 225-236.
34. Tavakoli, A. R., T. Oweis, F. Ferri, A. Haghighati, V. Belson, M. Pala, H. Siadat and H. Ketata. 2005. Supplemental Irrigation in Iran: Increasing Stabilizing Wheat Yield in Rainfed Highlands. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. On-Farm Water Husbandry Research Report Series.
35. Teulat, B., C. Borries and D. This. 2001. New QTLs identified for plant water status, water-soluble carbohydrate and osmotic adjustment in a barley population grown in a growth chamber under two water regimes. *Theoretical and Applied Genetics* 103: 161-170.
36. Xing, D., L. Chen, Y. Wu and J. J. Zwiazek. 2021. Leaf physiological impedance and elasticity modulus in *Orychophragmus violaceus* seedlings subjected to repeated osmotic stress. *Scientia Horticulturae* 276: 109763.
37. Yang, R. C., S. J. Jana and M. Clark. 1991. Phenotypic diversity and associations of some potentially drought-responsive characters in durum wheat. *Crop Science* 31: 1484-1491.
38. Yang, W. J., P. J. Rich, J. D. Axtell, K. V. Wood, C. C. Bonham, G. Ejeta, M. V. Mickelbart and D. Rhodes. 2003. Genotypic variation for glycine betaine in sorghum. *Crop Science* 43:162-169.
39. Yang, X., M. Lu, Y. Wang, Y. Wang, Z. Liu and S. Chen. 2021. Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae* 7: 50.
40. Zlatev, Z. and F. C. Lidon. 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 24: 57-72.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 2, Summer 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Supplementary Irrigation on the Accumulation of Compatible Osmolytes and Physiological Parameters in Dryland Wheat Cultivars

S. Gholami[1], A. Siosemardeh[2*], F. Hosseinpanahi[3] and M. Ashengroph[4]

(Received: November 22-2021; Accepted: December 29-2021)

Abstract

In order to investigate the effect of supplementary irrigation on dryland wheat cultivars, an experiment was conducted as a factorial in randomized complete block design with three replications during cropping seasons 2016-2017 and 2017-2018. The factors were drought stress levels (dryland and supplemental irrigation) and wheat cultivars (Homa, Sardari, Rijaw, Ouhadi and Azar2). Supplemental irrigation significantly increased grain yield. In both cropping seasons, drought stress increased free amino acids and glycine betaine and decreased relative water content (RWC) and rate of water loss (RWL). Negative and significant correlation of RWL with free amino acids of leaf and glycine betaine and also positive and significant correlation of RWC with glycine betaine level indicated that the higher the concentration of osmotic compounds in leaves, the lower the rate of leaf water loss and the higher the leaf water content. The results of this study confirmed that adequate water supply by using supplementary irrigation in the most sensitive stages of wheat growth is a viable strategy to improve the physiological traits of the plant and hence obtain an acceptable grain yield under dryland conditions.

Keywords: Supplemental irrigation, Glycine betaine, Free amino acids of leaf

1, 2, 3 PhD student, Associate Professor, and Assistant Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanangaj, Iran.
4. Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Science, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
*: Corresponding Author, Email: a33@uok.ac.ir