نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۹، شماره ۳ ، سال ۱۳۹۰، ص ۵۳۴-۵۲۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 9, No. 3, 2011, p. 525-534

تغییرات شاخص کلروفیل(SPAD)، محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت و عملکرد دانه در سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره تحت تأثیر قطع آبیاری

بی بی الهه موسوی‌فر[1*]- محمد علی بهدانی [2] - مجید جامی الاحمدی[3] - محمد سعیدحسینی بجد[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۴/۲۲

چکیده

به منظور بررسی اثر قطع آبیاری و ژنوتیپ بر غلظت کلروفیل، محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت و عملکرد دانه در گلرنگ، آزمایشی در بهار و تابستان ۱۳۸۷، به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی بیرجند اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل چهار سطح قطع آبیاری (آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله دانه‌بندی، آبیاری تا مرحله گلدهی و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی) بوده و سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره (محلی اصفهان، اصفهان۲۸ و IL111) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج حاصل حاکی از تأثیرپذیری عدد کلروفیل‌متر، محتوای نسبی آب، ثبات غشاء سلولی و عملکرد دانه از قطع آبیاری بود، به طوری که با افزایش مدت زمان قطع آبیاری، افزایش در نشت الکترولیت و کاهش در محتوای نسبی آب و عملکرد دانه در گیاهان مشاهده شد. بین نشت الکترولیت از سلول‌های برگ گیاهان و عملکرد دانه رابطه منفی وجود داشت و گیاهانی که در طی فصل رشد زودتر با قطع آبیاری مواجه شدند، آسیب بیشتری به غشاءهای سلولی آنها وارد شد و همین امر بر توان تولیدی آنها تاثیر منفی داشت. تنش‌های ملایم و شدید خشکی، به ترتیب افزایش و کاهش در شاخص کلروفیل (SPAD) را موجب شدند. ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان۲۸ نیز به عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی شدند زیرا از نشت الکترولیت کمتر و محتوای نسبی آب بیشتری در شرایط تنش برخوردار بودند. اما به طور کلی ژنوتیپ محلی اصفهان به دلیل بومی بودن و خوپذیری بیشتر به شرایط آب و هوایی خراسان جنوبی دارای بیشترین عملکرد دانه بود و لذا این ژنوتیپ جهت کاشت در منطقه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ژنوتیپ گلرنگ، قطع آبیاری، غلظت کلروفیل، محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت، عملکرد دانه

مقدمه

گلرنگ یکی از گونه‌های سازگار به خشکی است که بررسی و مطالعه صفات ویژه آن می‌تواند به شناسایی مکانیسم‌های مؤثر در مقابله با خشکی کمک نماید. در ارتباط با تحمل تنش رطوبتی، صفات متفاوتی به عنوان شاخص انتخاب مطرح شده‌اند. اندازه‌گیری برخی روش‌ها که به طور مستقیم و غیرمستقیم به کمبود آب ارتباط دارند مانند شاخص کلروفیل (SPAD)، محتوای نسبی آب (RWC)، نشت الکترولیت (EL) و عملکرد دانه، همگی به عنوان معیارهایی قابل اطمینان جهت انتخاب ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل تحمل به خشکی در گیاهان محسوب می‌شوند (۳).

دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است (۳۷). غلظت کلروفیل به عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می‌شود، زیرا غلظت کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد (۲۴)، لذا کاهش آن در شرایط تنش خشکی می‌تواند به عنوان یک عامل محدود کننده غیرروزنه‌ایی در فتوسنتز به حساب آید (۲۵). رنگیزه‌های موجود در کلروپلاست نیز از خشکی تأثیر می‌پذیرند و تنش خشکی سبب هیدرولیز پروتئین‌های تیلاکوئیدی و کاهش مقدار کلروفیل a و b می‌گردد. آنتولین و همکاران (۱۵) گزارش کردند با افزایش تنش خشکی، میزان کلروفیل برگ کاهش ولی نسبت کلروفیل a به کلروفیل b افزایش می‌یابد زیرا تنش خشکی غلظت کلروفیل b را

۱- کارشناس ارشد زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، باشگاه پژوهشگران جوان، مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email:e.moosavifar@yahoo.com)
۲ و ۳- استادیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۴- دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

بیشتر از کلروفیل a کاهش می‌دهد و افزایش این نسبت موجب تیره شدن برگ‌ها و افزایش عدد کلروفیل‌متر خواهد شد. کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی به افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز نسبت داده شده است (۳۱) هر چند برخی از محققین علاوه بر تأثیر کلروفیلاز در تجزیه کلروفیل، پراکسیداز و ترکیبات فنلی را نیز در این رابطه دخیل دانسته‌اند (۱۶). در چنین شرایطی، کاهشی در میزان فتوسنتز مشاهده می‌شود که تا حدی به واسطه کاهش غلظت کلروفیل در اثر تجزیه آن می‌باشد. بنابراین حفظ غلظت کلروفیل تحت تنش به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند.

گزارش‌های مختلفی در رابطه با افزایش (۱۸) یا کاهش (۸) غلظت کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی وجود دارد. در گندم زمستانه نیز دیده شده است که با بروز تنش خشکی قرائت SPAD افزایش می‌یابد که احتمالاً به علت کاهش سطح برگ و تجمع کلروفیل در سطح برگ کمتر می‌باشد (۱۸). کافی و رستمی (۸) نیز گزارش کردند در شرایط تنش ملایم خشکی، افزایش در عدد کلروفیل‌متر مشاهده می‌شود در حالی که با افزایش شدت تنش، از شدت رنگ سبز برگ‌ها کاسته شده و عدد کلروفیل‌متر نیز کاهش می‌یابد. زمان نمونه‌برداری و نحوه اعمال تنش در پاسخ گیاه و نیز در میزان قرائت دستگاه کلروفیل‌متر بسیار مهم است. اگر نمونه‌برداری در زمانی که مقدار کلروفیل برگ در حداکثر است انجام شود، نتایج متفاوتی نسبت به زمانی حاصل خواهد شد که نمونه‌برداری قبل و یا بعد از این دوره انجام شود (۳۶). در برخی مطالعات، گزارش‌هایی در رابطه با واکنش متفاوت (۲۱ و ۲۷) و یا عدم تفاوت (۸ و ۱۰) کلروفیل به خشکی در ارقام حساس و مقاوم گیاهان زراعی مطرح شده است.

برخی مطالعات حاکی از قابل اطمینان بودن RWC به عنوان شاخص تحمل به خشکی می‌باشد (۴۳)، زیرا بین میزان RWC با سرعت تعرق ارتباط وجود دارد و لذا این مؤلفه در موارد زیادی، جهت تعیین اختلاف ارقام از نظر تحمل به خشکی استفاده می‌شود (۴). شونفلد و همکاران (۴۰) بیان کردند که با افزایش تنش رطوبتی، RWC برگ‌های گندم کاهش پیدا می‌کند که علت کاهش محتوای نسبی آب، کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها در شرایط خشک می‌باشد (۴۲). مون و آلرگ (۳۳) با بررسی اثر شبنم و تنش خشکی بر روی بادرنجبویه نتیجه گرفتند که تنش خشکی موجب کاهش ۳ مگاپاسکالی پتانسیل آب گیاه، کاهش ۳۴ درصدی محتوای آب برگ، بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه سبب پایین آمدن جذب دی اکسیدکربن، کاهش میزان فتوسنتز و عملکرد گردید. بنابراین کاهش RWC در اثر تنش رطوبتی تأثیراتی منفی، در فتوسنتز به دنبال دارد (۴۲). RWC به ویژه در مرحله پر شدن دانه اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند، زیرا در زمان پر شدن دانه به دلیل افزایش تشعشع و درجه حرارت و کاهش رطوبت نسبی محیط، افزایش میزان RWC برگ شرایط را برای پر شدن دانه فراهم می‌کند و فتوسنتز جاری که نقش قابل توجهی در پر کردن دانه دارد، افزایش پیدا می‌کند (۱۹). بارای و همکاران (۱۷) بین RWC و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های تریتیکاله در شرایط تنش رطوبتی همبستگی مثبت ارزیابی کردند.

تحت شرایط تنش رطوبتی یکی از اولین بخش‌های گیاهی که آسیب می‌بیند غشای پلاسمایی است (۲۹). زیرا در شرایط تنش خشکی، تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن[1]، نظیر رادیکال‌های سوپراکسید[2]، هیدروژن پراکسید[3] و رادیکال‌های هیدروکسیل[4] افزایش می‌یابد (۲۳). این ترکیبات به بسیاری از ترکیبات سلولی نظیر چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می‌زنند و با تغییر ساختمان غشا، در اثر پراکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها (۲۹)، تراوایی غشای سلولی را افزایش می‌دهند که منجر به نشت الکترولیت‌های موجود در داخل سلول به سمت بیرون می‌شود (۱۹) و در نتیجه رشد گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین یکی از راهکارهای مهم در اصلاح برای افزایش مقاومت به خشکی این است که غشای سلولی پس از مواجه شدن با تنش آبی انسجام خود را حفظ کند و واپاشیده نشود و به همین علت محققین ثبات غشا سلولی تحت شرایط تنش رطوبتی را به عنوان یک جزء اصلی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مقاوم مطرح کرده‌اند که این میزان خسارت وارده به غشاهای سلولی توسط خشکی از طریق اندازه‌گیری نشت سلولی قابل ارزیابی است (۳۸ و ۴۷).

محققین انتخاب مناسب برای عملکرد را معمولاً ساده‌ترین راه بهبود عملکرد و بازده استفاده از آب در برنامه‌های اصلاحی می‌دانند (۲۰و ۴۲). اما باید توجه داشت مؤثر بودن انتخاب مستقیم برای عملکرد در محیط‌های تنش توسط بزرگی واریانس محیطی و اثر متقابل محیط با ژنوتیپ، محدود می‌شود. بنابراین درک بهتر چگونگی رشد و شکل‌گیری عملکرد گیاهان زراعی که تحت شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرند در بهبود کارآیی آبیاری و اصلاح گیاهان برای استفاده کارآمدتر از آب مؤثر خواهد بود (۲۰).

عملکرد دانه از آبیاری در طول فصل رشد تأثیر می‌پذیرد، به طوری که همه فرآیندهای زایشی که در تعیین عملکرد دانه در گلرنگ نقش دارند اعم از تشکیل گل‌ها، تشکیل طبق‌ها، تشکیل دانه در طبق و رشد (پرشدن) دانه، تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار می‌گیرند. میزان کاهش عملکرد ناشی از تنش رطوبتی به ژنوتیپ، مرحله نمو گیاه، شدت کمبود آب و طول مدت کمبود آب بستگی دارد (۴۵). وقتی در تولید گیاه زراعی عملکرد دانه مد نظر است، زمان بروز تنش

1- Relative oxygen species
2- O_3
3- H_2O_2
4- OH-

با شدت تنش اهمیت یکسانی می‌یابد (۹). دیده شده است که در محیط رشد ارقام مختلف گلرنگ کمبود آب و بروز تنش خشکی باعث کاهش اندازه گیاه، تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ‌ها و کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه می‌شود (۱، ۸، ۱۱و۱۲). این مطالعه، به بررسی روند تغییرات این سه خصوصیت مهم فیزیولوژیک (SPAD، RWC و EL) و عملکرد دانه در سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره در شرایط تنش رطوبتی پرداخته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در بهار و تابستان سال ۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند (طول جغرافیایی ´۱۳ °۵۹ شرقی، عرض جغرافیایی ´۵۶ °۳۲ شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۸۰ متر) اجرا شد. طبق تقسیم بندی کوپن، بیرجند دارای اقلیم نیمه خشک با میانگین بارندگی ۱۷۶ میلی‌متر و حداکثر درجه‌حرارت مطلق ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد و حداقل درجه‌حرارت مطلق ۱۴- درجه‌سانتیگراد است. خاک مزرعه دارای بافت لومی شنی بود. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در ۴ تکرار انجام گردید. کرت‌های اصلی شامل ۴ سطح آبیاری بر اساس مراحل نموی گیاه به ترتیب شامل تیمار آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (شاهد) و آبیاری تا مراحل دانه‌بندی، گلدهی یا تکمه‌دهی بود. ۳ رقم محلی اصفهان، اصفهان۲۸ و IL111 در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. عملیات تهیه بستر شامل شخم، دیسک، تسطیح و فارو بود. هر کرت آزمایشی شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۵ متر و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود. کاشت در ۲۷ فروردین ماه ۱۳۸۷ با دست در عمق ۴ تا ۵ سانتیمتری روی پشته و به صورت متراکم انجام شد. در مرحله ۴ تا ۶ برگی گیاهچه‌ها بر اساس فاصله حدود ۵ سانتیمتر (تراکم حدود ۴۰ بوته در متر مربع) تنک گردیدند. فواصل آبیاری در تیمار آبیاری کامل هر ۱۰ روز یک بار در طی دوره رشد در نظر گرفته شد. هر سه تیمار قطع آبیاری در زمان رشد زایشی بسته به مرحله نموی گیاه اعمال شدند. تعیین نشت الکترولیت و محتوای نسبی آب برگ (RWC) در سه نوبت و بر اساس مراحل نموی (۱۴ روز پس از تکمه‌دهی، گلدهی و دانه‌بندی) انجام شد و به این منظور از هر کرت، پنج برگ جوان، کامل و در موقعیت یکسان به طور تصادفی انتخاب و در ورقه آلومینیومی پیچیده شد و سپس در کیسه پلاستیکی قرار گرفت و بلافاصله جهت اندازه‌گیری رطوبت و نشت الکترولیت به آزمایشگاه انتقال یافت. نمونه‌ها در فاصله انتقال به آزمایشگاه در فلاسک یخ قرار گرفتند. در آزمایشگاه پس از تمیز کردن سطح برگ با دستمال، با کمک دستگاه پانچ، از هر برگ سه دیسک تهیه شد، وزن تازه دیسک‌ها به کمک ترازوی یک ده هزارم گرم تعیین شد و در نهایت قطعات پانچ شده هر تیمار، در ظروفی که با ۲۰ میلی لیتر آب مقطر پر شده بودند به مدت ۱۶ ساعت در درجه حرارت اتاق (تقریباً ۲۰ درجه سانتیگراد) و در تاریکی قرار گرفت. درب ظروف جهت ممانعت از تبخیر بسته شد. پس از گذشت زمان قید شده با کمک دستگاه EC متر، نشت الکترولیت مربوط به هر تیمار اندازه‌گیری شد و سپس به کمک کاغذ خشک‌کن رطوبت قطعات برگ خشک و وزن آماس تعیین گردید (۴۲). وزن خشک، نیز با قرار گرفتن نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد آون، تعیین شد سپس میزان RWC بر اساس معادله شونفلد و همکاران (۴۰) به روش زیر محاسبه شد:

$$RWC\ \% = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad (۱)$$

که در آن FW، وزن تر برگ، DW، وزن خشک برگ و TW، وزن آماس برگ می‌باشد. مقدار نسبی سبزینگی یا کلروفیل برگ توسعه یافته به صورت غیرمستقیم و بدون ایجاد تخریب در برگها، با استفاده از دستگاه SPAD یا کلروفیل‌متر[1] و در سه نوبت بر اساس مراحل نموی (۱۴ روز پس از تکمه‌دهی، گلدهی و دانه‌بندی) تعیین شد. به این منظور، از هر کرت ۳۰ برگ در موقعیت مشابه (برگ‌های بالای کانوپی) در روی بوته‌های مختلف انتخاب و میزان کلروفیل آنها با استفاده از دستگاه فوق تعیین گردید و نهایتاً میانگین این اعداد به عنوان عدد کلروفیل‌متر مربوط به آن کرت و آن مرحله اندازه‌گیری ثبت گردید (۸). برای محاسبه عملکرد دانه در واحد سطح از ردیف‌های دوم، سوم و چهارم با رعایت حاشیه، سه متر مربع از مساحت هر کرت برداشت و سپس دانه‌ها جدا و توزین شدند. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Genstat صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر تیمارهای آزمایشی از آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص SPAD

اثر قطع آبیاری بر شاخص SPAD برگ در هر سه مورد اندازه‌گیری انجام شده معنی‌دار بود (جداول۱و ۲) ، اما تفاوت بین ژنوتیپ‌ها و نیز اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ از لحاظ این صفت معنی‌دار نشد (جدول۱). زند (۷)؛ موحدی‌دهنوی و همکاران (۱۰) وکافی و رستمی (۸) نیز بین ژنوتیپ‌های گلرنگ تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص SPAD برگ مشاهده نکردند.

اولین اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ ($SPAD_1$) در ۱۴روز بعد از مرحله تکمه‌دهی انجام شد و افزایش در شاخص SPAD، تنها در تیمار آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی مشاهده گردید (جدول۲) که این

1- Minolta SPAD-502

افزایش در عدد کلروفیل‌متر به علت تنش ملایم خشکی تحمیل شده به گیاهان بود و از طریق کاهش در محتوای نسبی آب برگ ۱۴روز بعد از مرحله تکمه‌دهی (RWC_1) قابل توجیه است (جدول۲)، زیرا همبستگی منفی و معنی‌داری بین $SPAD_1$ و RWC_1 ($p<0/01$ و $r=-0/61$) مشاهده شد (جدول۳). با کاهش محتوای نسبی آب برگ، کاهش در شاخص سطح برگ نیز روی داد (نتایج نشان داده نشده است) که از نظر نونامی و همکاران (۳۵) این کاهش، ناشی از کاهش اندازه سلول به علت بروز تنش ملایم خشکی است که در نتیجه آن سلول‌های بیشتری در واحد وزن برگ تجمع یافته و غلظت کلروفیل برگ نیز افزایش می‌یابد.

دومین اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ ($SPAD_2$)، ۱۴روز بعد از مرحله گلدهی صورت گرفت و غلظت کلروفیل در تیمار آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی بر خلاف مرحله قبل کاهش یافت (جدول۲)، زیرا در این تیمار، به علت قطع آبیاری مداوم، گیاهان از مرحله تنش ملایم وارد مرحله تنش شدید خشکی شدند که به نظر می‌رسد تحت این شرایط کاهش در غلظت کلروفیل علاوه بر کاهش در میزان سنتز، ناشی از تجزیه کلروفیل در اثر افزایش میزان کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی باشد (۱۴و۱۵). غلظت کلروفیل در کرت‌هایی که آبیاری تا مرحله گلدهی در آنها انجام شده بود افزایش یافت (جدول۲)، زیرا گیاهان در این تیمار به محض ورود به مرحله گلدهی با قطع آبیاری مواجه شدند که در نتیجه آن تنش ملایم خشکی بر آنها تحمیل شد و محتوای نسبی آب برگ‌ها (RWC_2) نسبت به آبیاری کامل ۱۷ درصد کاهش یافت (جدول۲). در مطالعه اومن و دانیلی (۳۶) نیز مشخص شد که تنش در مرحله گلدهی باعث افزایش مقدار کلروفیل برگ پرچم در مقایسه با شرایط بدون تنش در گندم می‌شود. با توجه به عدم قطع آبیاری در دو تیمار آبیاری کامل و آبیاری تا دانه‌بندی، تفاوت معنی‌داری از لحاظ غلظت کلروفیل برگ آنها مشاهده نشد و حد واسط بین دو تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی و آبیاری تا گلدهی قرار گرفتند (جدول۲).

مرحله سوم اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ ($SPAD_3$) نیز ۱۴روز پس از اعمال آخرین تیمار قطع آبیاری و در مرحله دانه‌بندی گیاهان انجام شد. در تیمار آبیاری تا گلدهی و آبیاری تا تکمه‌دهی به علت تداوم قطع آبیاری و کاهش بیش از حد در محتوای نسبی آب برگ (همبستگی مثبت و معنی‌دار بین $SPAD_3$ و RWC_3 ($p<0/01$ ، $r=0/92$) (جدول۳) و نیز افزایش میزان آنزیم‌های کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل (۱۴)، غلظت کلروفیل برگ کاهش یافت، اما شدت کاهش در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی به علت قطع آبیاری زودهنگام از نظر مراحل فنولوژی گیاه، ۱۶/۵ درصد بیشتر از تیمار آبیاری تا گلدهی بود (جدول۲). در تنش‌های شدید با وجود افزایش وزن مخصوص برگ، شدت تخریب کلروفیل نیز افزایش می‌یابد و براساس نظر اسکاتز و فانگمیر (۴۱) کاهش میزان کلروفیل‌ها در شرایط تنش مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول است. این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردند.

جدول۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص SPAD، محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت و عملکرد دانه در سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره

منابع تغییر	درجه آزادی	$SPAD_1$	SPAD2	SPAD3	٪RWC1	٪RWC2	٪RWC3	EL1	EL2	EL3	عملکرد دانه
تکرار	۳	۰/۷۶ ns	۰/۰۸ ns	۰/۳۷ ns	۰/۱۶ ns	۰/۵۲ ns	۰/۴۰ ns	۱/۷۴ ns	۲/۳۸ ns	۲۲/۹۱ ns	۱۰۵۳۳/۵۸ ns
آبیاری	۳	۳۸/۰۳*	۷۹/۴۹**	۱۳۲۱/۹۷**	۳۸/۱۴ **	۶۱۰/۷۹**	۲۹۰۳/۴۳**	۱/۷۴ ns	۷۷/۳۸**	۵۶۹/۸۰**	۳۳۸۳۳۷/۲۸**
خطای آبیاری	۹	۰/۴۷	۰/۳۳	۰/۱۰	۰/۷۵	۱/۳۸	۰/۸۲	۰/۵۳	۳/۴۰	۱۳/۸۲	۲۳۴۵/۱۳
ژنوتیپ	۲	۰/۶۲ ns	۰/۲۶ ns	۰/۸۸ ns	۶۷/۱۲ **	۹۶/۱۵ **	۱۲۱/۲۶ **	۱۹۸/۸۱**	۱۶۶/۰۲**	۱۶۵/۰۶ **	۱۲۹۳۳۴۴/۸۶**
آبیاری× ژنوتیپ	۶	۰/۷۵ ns	۰/۱۲ ns	۰/۱۱ ns	۰/۱۱ ns	۱/۳۰ *	۱۲/۸۰ **	۰/۲۰ ns	۰/۱۵ ns	۵/۹۵ **	۸۹۲۱/۷۲**
خطای ژنوتیپ	۲۴	۰/۳۲	۰/۵۸	۰/۴۹	۰/۲۵	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۸۸	۰/۵۶	۰/۴۵	۱۰۱۶/۲۴

* ns، * و ** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد.** اندیس‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب بیانگر ۲، زمان اندازه‌گیری میزان کلروفیل (SPAD)، محتوای نسبی آب (RWC) و نشت الکترولیت (EL) در ۱۴ روز پس از تکمه‌دهی، ۱۴ روز پس از گلدهی و ۱۴ روز پس از دانه‌بندی می‌باشند.

در اثر کاهش غلظت کلروفیل از شدت و میزان رنگ سبز برگ‌ها نیز کاسته می‌شود و پیری زودرس در گیاه روی می‌دهد (۲۸). در این بررسی نیز در گیاهان تحت این دو تیمار، پدیده زودرسی ناشی از قطع آبیاری مشاهده شد (نتایج نشان داده نشده). کافی و رستمی (۸) نیز گزارش کردند که قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی منجر به کاهش غلظت کلروفیل برگ در ارقام گلرنگ شد. در تیمار آبیاری تا دانه‌بندی افزایش معنی‌داری در غلظت کلروفیل برگ به علت تحمیل خشکی ملایم انتهای فصل به بوته‌ها مشاهده شد، زیرا محتوای نسبی آب برگ‌ها (RWC_3) نسبت به آبیاری کامل ۱۰ درصد کاهش یافت (جدول۲). غلظت کلروفیل تیمار آبیاری کامل نیز حد واسط تیمارهای آبیاری تا گلدهی و آبیاری تا دانه‌بندی بود (جدول۲).

محتوای نسبی آب برگ

اثر قطع آبیاری بر محتوای نسبی آب ۱۴ روز بعد از تکمه‌دهی در برگ‌های گلرنگ بهاره معنی‌دار بود (جدول۱). در تیمار آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی کاهش در محتوای نسبی آب برگ‌ها مشاهده شد (جدول۲). شونفلد و همکاران (۴۰) نیز گزارش کردند که با افزایش تنش رطوبتی محتوای نسبی آب برگ‌های گندم کاهش پیدا می‌کند. به نظر می‌رسد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آنها شود که این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (۶). کاهش محتوای آب نسبی برگ در اثر تنش خشکی، دارای رابطه مستقیمی با محتوای رطوبتی خاک می‌باشد (۳۴). کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی از عوامل مؤثر در کاهش محتوای نسبی آب شناخته شده‌اند (۴۶). تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار دیگر آبیاری از نظر محتوای نسبی آب در برگ‌ها مشاهده نشد (جدول۲).

از لحاظ محتوای نسبی آب ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گلرنگ در ۱۴ روز بعد از تکمه‌دهی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد از لحاظ داشتند (جدول۱). محتوای نسبی آب در ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان ۲۸ تفاوت معنی‌داری نداشت و در هر دو ژنوتیپ از بالاترین سطح برخوردار بود (جدول۲). اما ژنوتیپ IL111 محتوای نسبی آب کمتری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر داشت (جدول۲). عبدالرحیم و همکاران (۱۳) نیز تفاوت معنی‌دار بین دو رقم ذرت از نظر RWC مشاهده کردند.

اثر قطع آبیاری بر محتوای نسبی آب ۱۴ روز بعد از مرحله گلدهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۱). در تیمار آبیاری کامل و آبیاری تا مرحله دانه‌بندی بالاترین محتوای نسبی آب در برگ‌ها مشاهده شد (جدول۲).

جدول۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی قطع آبیاری و رقم بر شاخص SPAD، محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت و عملکرد دانه در سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره

عوامل آزمایشی	SPAD1	SPAD2	SPAD3	٪RWC1	٪RWC2	٪RWC3	EL1	EL2	EL3	عملکرد دانه (kg/ha)
تیمار آبیاری										
آبیاری کامل	۷۰/۲۱ b	۷۲/۷۰ b	۶۸/۸۴ b	۹۲/۰۹ a	۹۱/۹۶ a	۸۷/۰۸ a	۳۴/۰۸ a	۳۷/۹۱ c	۴۲/۷۵ d	۲۴۰۱/۹۶ a
آبیاری تا دانه‌بندی	۷۰/۶۸ b	۷۲/۸۵ b	۷۳/۹۱ a	۹۲/۶۴ a	۹۱/۸۰ a	۸۲/۲۵ b	۳۴/۶۶ a	۳۸/۰۰ c	۴۵/۵۰ c	۲۱۵۹/۳۹ b
آبیاری تا گلدهی	۷۰/۵۵ b	۷۶/۳۳ a	۵۹/۸۰ c	۹۲/۴۰ a	۸۶/۷۵ b	۷۰/۲۰ c	۳۳/۷۵ a	۳۹/۴۱ b	۵۳/۸۳ b	۱۶۵۸/۸۹ c
آبیاری تا تکمه‌دهی	۷۴/۰۲ a	۷۰/۰۵ c	۵۰/۰۷ d	۸۹/۱۹ b	۷۶/۷۵ c	۵۲/۱۶ d	۳۴/۲۵ a	۴۳/۳۳ a	۵۷/۴۱ a	۱۲۰۹/۳۷ d
ژنوتیپ										
IL111	۷۱/۳۳ a	۷۲/۸۸ a	۶۲/۹۸ a	۸۹/۴۹ b	۸۳/۹۸ b	۶۹/۷۶ b	۳۸/۲۵ a	۴۳/۳۷ a	۵۳/۵۶ a	۱۵۴۸/۸۶ c
اصفهان۲۸	۷۱/۱۵ a	۷۲/۹۵ a	۶۳/۰۶ a	۹۲/۶۸ a	۸۸/۱۵ a	۷۴/۲۱ a	۳۲/۳۷ b	۳۸/۰۶ b	۴۸/۳۷ b	۱۹۱۴/۵۴ b
محلی اصفهان	۷۱/۵۳ a	۷۳/۱۳ a	۶۳/۴۳ a	۹۳/۳۱ a	۸۸/۳۱ a	۷۴/۸۰ a	۳۱/۹۳ b	۳۷/۵۶ b	۴۷/۶۸ b	۲۱۰۸/۸۱ a

* حروف مربوط به مقایسه میانگین‌ها تنها در داخل ستون و تیمار خود قابل مقایسه هستند. ** اندیس‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب بیانگر زمان اندازه‌گیری غلظت کلروفیل (SPAD)، محتوای نسبی آب (RWC) و نشت الکترولیت (EL) ۱۴ روز پس از تکمه‌دهی، ۱۴ روز پس از گلدهی و ۱۴ روز پس از دانه‌بندی است.

جدول۳- مقایسه میانگین اثر قطع آبیاری بر نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب و عملکرد دانه در سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره

تیمار آبیاری	ژنوتیپ	EL3	٪RWC2	٪RWC3	عملکرد دانه
آبیاری کامل	IL111	۴۹/۸ e	۲۷/۶۶ e	۱۷/۷۲ e	۲۱۱۹/۷۷ d
	اصفهان ۲۸	۶۸/۱ b	۴۴/۵۹ b	۲۴/۰۳ b	۲۴۳۵/۲۶ b
	محلی اصفهان	۷۰/۴ a	۴۶/ ۵۰ a	۲۵/۹۴ a	۲۶۵۰/۸۴ a
آبیاری تا دانه‌بندی	IL111	۴۹ e	۲۷/۷۲ e	۱۷/۹۷ e	۱۷۷۷/۰۵ f
	اصفهان ۲۸	۶۷/۲ b	۴۴/۰۵ b	۲۳/۶۷ b	۲۲۶۰/۸۲ c
	محلی اصفهان	۷۰/۲ a	۴۶/۲۷ a	۲۵/۶۵ a	۲۴۴۰/۳۲ b
آبیاری تا گلدهی	IL111	۴۹/۱ e	۲۷/۷۵ e	۱۷/۸۹ e	۱۳۴۹/۵۵ h
	اصفهان ۲۸	۶۷/۷ b	۴۴/۲۵ b	۲۳/۷۲ b	۱۷۰۸/۹۶ f
	محلی اصفهان	۶۹/۷ a	۴۶/۳ a	۲۵/۴۰ a	۱۹۱۸/۱۷ e
آبیاری تا تکمه‌دهی	IL111	۴۵/۳ f	۲۳/۹۲ f	۱۵ f	۹۴۹/۰۸ j
	اصفهان ۲۸	۶۰/۹ d	۳۸/۱۰ d	۱۹/۹۲ d	۱۲۵۳/۱۱ i
	محلی اصفهان	۶۴/۱ c	۴۱/۴۷ c	۲۰/۹۰ c	۱۴۲۵/۹۳ g

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

**RWC2 وRWC3 به ترتیب محتوای نسبی آب ۱۴ روز پس از گلدهی و ۱۴ روز پس از دانه‌بندی و EL3، نشت الکترولیت ۱۴ روز پس از دانه‌بندی است.

جدول٤- ضرایب همبستگی بین نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب ، غلظت کلروفیل (SPAD)و عملکرد دانه گلرنگ بهاره

متغیر	EL1	EL2	EL3	RWC1	RWC2	RWC3	SPAD1	SPAD2	SPAD3	عملکرد دانه
EL1	۱									
EL2	۰/۷۳**	۱								
EL3	۰/۳۸**	۰/۷۶**	۱							
RWC1	-۰/۷۲**	-۰/۹۲**	-۰/۷۲**	۱						
RWC2	-۰/۳۶*	-۰/۸۰**	-۰/۸۶**	۰/۸۱**	۱					
RWC3	-۰/۲۱	-۰/۷۱**	-۰/۸۸**	۰/۷۲**	۰/۹۶**	۱				
SPAD1	۰/۱۲	۰/۵۳**	۰/۶۳**	-۰/۶۱**	-۰/۸۳**	-۰/۸۱**	۱			
SPAD2	-۰/۱۱	-۰/۳۴**	-۰/۰۹	-۰/۴۶ **	۰/۴۵**	-۰/۳۶**	-۰/۶۳**	۱		
SPAD3	-۰/۰۵	-۰/۵۸**	-۰/۷۹**	-۰/۵۸ **	۰/۹۰**	۰/۹۲**	-۰/۷۴**	۰/۲۸	۱	
عملکرد دانه	-۰/۳۵*	-۰/۷۶**	-۰/۹۲**	۰/۷۷ **	۰/۹۳**	۰/۹۵**	۰/۷۳**	۰/۸۲**	۰/۸۷**	۱

۱. ns، * و ** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد.

۲ . اندیس‌های ۱، ۲و ۳ به ترتیب بیانگر زمان اندازه‌گیری میزان کلروفیل (SPAD)، محتوای نسبی آب (RWC) و نشت الکترولیت (EL) ۱۴ روز پس از تکمه‌دهی، ۱۴ روز پس از گلدهی و ۱۴ روز پس از دانه‌بندی است.

زیرا گیاهان تحت این دو تیمار، از روند طبیعی آبیاری برخوردار بودند. اما اندکی افت در محتوای نسبی آب برگ‌ها در این دو تیمار نسبت به اندازه‌گیری مرحله قبل مشاهده شد. به نظر می‌رسد گذشت زمان و افزایش درجه حرارت و پیشرفت مراحل فنولوژی گیاه علت اصلی کاهش محتوای نسبی آب در این تیمارها باشد به طوری که خزاعی و کافی (۵) نیز کاهش محتوای نسبی آب را با پیشرفت مراحل فنولوژیکی در گندم گزارش کرده‌اند. کمترین محتوای نسبی آب نیز در تیمار آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی حاصل شد (جدول۲). سینگ و سینگ (۴۴) در بررسی تأثیر تنش خشکی بر سورگوم و ذرت در شرایط مزرعه‌ای گزارش کردند که افزایش شدت تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود.

در این مرحله نیز، تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر محتوای نسبی آب در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول۱). ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان ۲۸ بیشترین و ژنوتیپ IL111 از کمترین محتوای نسبی آب برخوردار بودند (جدول۲). متین و همکاران (۳۰) نیز در شرایط تنش خشکی، افت در محتوای نسبی آب ارقام متحمل و حساس جو را گزارش و بیان کردند کاهش در محتوای نسبی آب ارقام حساس به خشکی در شرایط تنش رطوبتی بیش از ارقام متحمل به خشکی است. رامیرز-والیجو و کلی (۳۹) نیز بالا بودن محتوای نسبی آب در ارقام مقاوم به خشکی لوبیا را گزارش

کردند.

اثر متقابل قطع آبیاری و ژنوتیپ نیز بر محتوای نسبی آب ۱۴ روز بعد از مرحله گلدهی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول۱). به طوری که بیشترین میزان نسبی آب در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری تا دانه‌بندی و در ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان۲۸ حاصل شد و کمترین میزان آن در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی و در ژنوتیپ IL111 مشاهده شد (جدول۳). تیمار آبیاری تا گلدهی نیز حد واسط این تیمارها از نظر محتوای نسبی آب قرار گرفت.

اثر قطع آبیاری بر محتوای نسبی آب ۱۴ روز بعد از مرحله دانه‌بندی معنی‌دار بود (جدول۱). بیشترین و کمترین محتوای نسبی آب برگ به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی مشاهده شد (جدول۲). در تیمار آبیاری تا مرحله گلدهی نیز به علت افزایش شدت تنش در اثر تداوم قطع آبیاری، کاهش در محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد.

همچنین در تیمار آبیاری تا مرحله دانه‌بندی، با گذشت ۱۴روز از قطع آبیاری، محتوای نسبی آب کاهش یافت (جدول۲). محتوای نسبی آب به ویژه در مرحله پر شدن دانه اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند، زیرا در زمان پر شدن دانه به دلیل افزایش تشعشع و درجه حرارت و نیز کاهش رطوبت نسبی محیط، کاهش درجه حرارت کانوپی و یا افزایش محتوای نسبی آب برگ شرایط را برای پر شدن دانه فراهم می‌کند و فتوسنتز جاری که نقش قابل توجهی در پر کردن دانه دارد، افزایش می‌یابد (۱۹).

اثر متقابل قطع آبیاری و ژنوتیپ نیز بر محتوای نسبی آب ۱۴ روز پس از دانه‌بندی، در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۱). به طوری که بیشترین محتوای نسبی آب در تیمار آبیاری کامل و در ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان۲۸ و کمترین نیز در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی و در ژنوتیپ IL111 مشاهده شد (جدول۳). کاهش محتوای نسبی آب در ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان۲۸ در شرایط آبیاری تا دانه‌بندی، آبیاری تا گلدهی و آبیاری تا تکمه‌دهی نسبت به تیمار آبیاری کامل به ترتیب۹/۲، ۱۹/۳ و۳۷/۷ درصد بود در حالی که این کاهش در ژنوتیپ IL111 در تیمار آبیاری تا دانه‌بندی، آبیاری تا گلدهی و آبیاری تا تکمه‌دهی به ترتیب ۱۰/۳، ۱۹/۸و ۴۵/۸ نسبت به شرایط آبیاری کامل بود. به طور کلی با افزایش مدت زمان قطع آبیاری، محتوای نسبی آب در هر سه ژنوتیپ کاهش یافت که درصد کاهش در ژنوتیپ IL111 تحت شرایط آبیاری تا تکمه‌دهی بیشترین بود (جدول۳).

نشت الکترولیت

در اولین مرحله اندازه‌گیری نشت الکترولیت، بین تیمارهای قطع آبیاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و تنها تفاوت بین ژنوتیپ‌ها معنی‌دار گردید (جدول۱). ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان۲۸ نسبت به ژنوتیپ IL111 انسجام غشای سلولی خود را پس از مواجه با تنش آبی بیشتر حفظ کردند و نشت مواد کمتری به بیرون داشتند (جدول۲).

اثر قطع آبیاری بر میزان نشت الکترولیت ۱۴ روز بعد از مرحله گلدهی، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۱). نشت الکترولیت در تیمار آبیاری کامل، کمترین میزان بود و تفاوت معنی‌داری بین تیمار آبیاری تا مرحله دانه‌بندی با تیمار آبیاری کامل مشاهده نشد (جدول۲)، زیرا آبیاری در این دو تیمار، از روند طبیعی و یکسان برخوردار بود (هر ۱۰ روز یکبار). تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی نیز بیشترین نشت الکترولیت را دارا بود (جدول۲) زیرا آخرین آبیاری در این تیمار، حدود ۲۲ روز قبل انجام شد (نتایج نشان داده نشده) و عدم آبیاری مجدد، تنش خشکی را به گیاه وارد کرد. تیمار آبیاری تا گلدهی نیز حد واسط این تیمارها از نظر این صفت قرار گرفت (جدول۲).

بین ژنوتیپ‌ها نیز از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول۱). ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان۲۸ کمترین و ژنوتیپ IL111 بیشترین نشت الکترولیت را در این مرحله اندازه‌گیری دارا بودند (جدول۲).

بین تیمارهای قطع آبیاری تفاوت معنی‌داری از نظر نشت الکترولیت در سطح یک درصد وجود داشت (جدول۱). تیمار آبیاری کامل کمترین میزان نشت الکترولیت را دارا بود اما نسبت به دو اندازه‌گیری قبلی، نشت الکترولیت در این تیمار روند افزایشی داشت. به نظر می‌رسد پیشرفت مراحل فنولوژی گیاه و افزایش درجه حرارت محیط، عامل مؤثری در افزایش میزان نشت در این تیمار بوده است. اما در تیمار آبیاری تا مرحله دانه‌بندی، قطع آبیاری منجر به ایجاد تنش ملایم خشکی و در نتیجه افزایش میزان نشت الکترولیت شد. در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی و آبیاری تا گلدهی نیز افزایش در میزان نشت الکترولیت مشاهده شد که این افزایش در تیمار آبیاری تا تکمه‌دهی بیشتر بود (جدول۲). پورموسوی و همکاران (۳) در بررسی روی گیاه سویا اعلام نمودند که در شرایط تنش شدید میزان نشت الکترولیت در مقایسه با تنش ملایم و عدم تنش خشکی بیشتر بود.

از نظر نشت الکترولیت، بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول۱). بیشترین و کمترین میزان نشت الکترولیت به ترتیب در ژنوتیپ‌های IL111 و محلی اصفهان حاصل شد. بعلاوه بین ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان ۲۸ نیز تفاوت معنی‌داری از نظر این صفت مشاهده نشد (جدول۲). بنابراین این دو ژنوتیپ تحت عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی می‌شوند زیرا ثبات غشا سلولی و نشت الکترولیت کمتر تحت شرایط تنش رطوبتی یک جز اصلی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مقاوم محسوب می‌شود (۲۶). کوچوا و جورجیوف (۲۶) نیز در ارزیابی مقاومت به خشکی ارقام جو، تخریب کمتری در

غشاهای سلولی ارقام مقاوم‌تر به خشکی مشاهده و بیان کردند که ثبات غشا سلولی در طول دوره تنش خشکی، ممکن است به میزان پرولین آزاد موجود در سلول مرتبط باشد.

بر همکنش قطع آبیاری و ژنوتیپ نیز بر این صفت معنی‌دار بود (جدول۱). بیشترین میزان نشت الکترولیت در تیمار آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی و در ژنوتیپ IL111 و کمترین میزان نیز در شرایط تیمار آبیاری کامل و در ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان۲۸ مشاهده شد (جدول۳). افزایش نشت الکترولیت در ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان۲۸ در شرایط آبیاری تا دانه‌بندی، آبیاری تا گلدهی و آبیاری تا تکمه‌دهی نسبت به تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۴/۸، ۲۴/۴ و۳۱/۵ درصد بود در حالی که این افزایش در ژنوتیپ IL111 در تیمار آبیاری تا دانه‌بندی، آبیاری تا گلدهی و آبیاری تا تکمه‌دهی به ترتیب ۸/۹ ، ۲۷/۲و۴۰ درصد نسبت به شرایط آبیاری کامل بود (جدول۳).

عملکرد دانه

بین ارقام تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه در هکتار وجود داشت (جدول۱) بیشترین و کمترین عملکرد دانه در واحد سطح به ترتیب در ارقام محلی اصفهان و IL111 مشاهده شد (جدول۲). در مطالعه بهدانی و جامی‌الاحمدی (۲) و موسوی‌فر و همکاران (۱۱و۱۲) نیز به تفاوت‌های معنی‌دار از لحاظ عملکرد دانه در واحد سطح تأکید شده است.

بین سطوح قطع آبیاری از نظر عملکرد دانه، اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد وجود داشت (جدول۱). بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد (جدول۲). موگنسن و تالوکدر (۳۲) که بر روی عملکرد دانه گندم در شرایط کم آبی تحقیق نمودند، گزارش کردند که در تیمار شاهد (آبیاری شده)، طول دوره پر شدن دانه یک هفته بیشتر از تیمارهای تنش بود که در نتیجه موجب افزایش عملکرد شد. میزان عملکرد دانه در آبیاری تا مرحله دانه‌بندی، آبیاری تا مرحله گلدهی و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی نسبت به تیمار آبیاری کامل به ترتیب، ۱۰، ۳۰/۹ و ۵۰/۳ درصد کاهش یافت (جدول۲).

کاهش عملکرد دانه در شرایط آبیاری محدود را می‌توان به اثر کمبود آب ناشی از قطع آبیاری، که با تسریع پیری و کاهش طول دوره رشد و پر شدن دانه گیاه همراه است، نسبت داد (۲۲). اثر متقابل قطع آبیاری و ژنوتیپ نیز بر روی عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول۱). در هر سه ژنوتیپ تنش تأثیر منفی و معنی‌داری بر عملکرد دانه در واحد سطح داشت و بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و در ژنوتیپ محلی اصفهان و کمترین نیز در شرایط آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی و در ژنوتیپ IL111 مشاهده شد (جدول۳). در هر سه اندازه‌گیری نشت الکترولیت همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد دانه داشت به طوری که با افزایش مدت زمان قطع آبیاری میزان نشت الکترولیت افزایش و میزان عملکرد دانه کاهش یافت. اما محتوای نسبی آب و شاخص SPAD دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه بودند و با پیشروی مراحل رشد و افزایش مدت زمان قطع آبیاری ارتباط و همبستگی این صفات با عملکرد دانه بیشتر شد (جدول۴). به طور کلی قطع زودتر آبیاری، موجب کاهش محتوای نسبی آب و افزایش نشت الکترولیت در گیاهان شد. تنش‌های ملایم و شدید خشکی، به ترتیب افزایش و کاهش در میزان کلروفیل برگ را موجب شدند. ژنوتیپ‌های محلی اصفهان و اصفهان۲۸ نیز به عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی شدند زیرا از نشت الکترولیت کمتر و محتوای نسبی آب بیشتری در شرایط تنش برخوردار بودند. ژنوتیپ محلی اصفهان به دلیل بومی بودن و خوپذیری بیشتر به شرایط آب و هوایی خراسان جنوبی دارای بیشترین عملکرد دانه بود و لذا این ژنوتیپ جهت کاشت در منطقه پیشنهاد می‌شود.

قدردانی

بدین وسیله از جناب آقای دکتر محمد کافی که در طراحی این پژوهش رهنمودهای سازنده و ارزنده‌ای ارائه نمودند قدردانی می‌گردد.

منابع

۱- ابوالحسنی، خ. و ق. ا. سعیدی. ۱۳۸۵. ارزیابی تحمل به خشکی لاین‌های گلرنگ بهاره بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش رطوبتی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴: ۴۰۷-۴۱۸.

۲- بهدانی، م.ع. و م. جامی الاحمدی. ۱۳۸۷. ارزیابی رشد و عملکرد ارقام گلرنگ در تاریخ‌های مختلف کاشت. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۶ (۲): ۲۴۵-۲۵۴.

۳- پورموسوی، س.م.، م. گلوی، و ج. دانشیان. ۱۳۸۵. ارزیابی کود دامی بر میزان پایداری غشا و محتوای کلروفیل برگ سویا در شرایط تنش خشکی. خلاصه مقالات نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۴- حسینی، م.ح. و م. نصیری محلاتی. ۱۳۷۲. رابطه آب وخاک در گیاهان زراعی(ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۵- خزاعی، ح. و کافی، م. ۱۳۸۱. بررسی نقش مقدار نسبی آب و مقاومت روزنه ای در مقاومت به خشکی در گندم و ارتباط آنها با عملکرد دانه در

شرایط مزرعه و گلخانه. مجله علوم و صنایع کشاورزی۱۶: ۱۱۵– ۱۲۳.
۶– خورشیدی، م.، ب. رحیم‌زاده، م. میرهادی، و ق. نورمحمدی. ۱۳۸۱. بررسی اثرات تنش خشکی در مراحل رشد سیب زمینی. مجله علوم زراعی ایران، ۴ (۱): ۴۸–۵۹.
۷– زند، ا. ۱۳۷۴. مبانی مورفولوژیک و فیزیولوژیک اختلاف عملکرد در گلرنگ. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
۸– کافی، م. و م. رستمی. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی در مرحله رشد زایشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن سه ژنوتیپ گلرنگ در شرایط آبیاری با آب شور. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۵ (۱): ۱۲۱–۱۳۱.
۹– سرمدنیا، غ. و ع. کوچکی. ۱۳۶۸. جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ دوم. ۱۵۴ صفحه.
۱۰– موحدی دهنوی، م.، س.ع.م. مدرس ثانوی، ع. سروش‌زاده و م. جلالی. ۱۳۸۳. تغییرات میزان پرولین، قندهای محلول کل، کلروفیل و فلورسانس کلروفیل در ارقام گلرنگ پاییزه تحت تنش خشکی و محلول پاشی روی و منگنز. مجله بیابان. ۹ (۱): ۹۴–۱۰۸.
۱۱– موسوی‌فر، ب. ا.، م.ع. بهدانی و م. جامی الاحمدی. ۱۳۸۸. پاسخ ارقام گلرنگ بهاره به فواصل مختلف آبیاری در شرایط بیرجند. همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی. ۳۰ و ۳۱ اردیبهشت، ۱۳۸۸، رشت. ص. ۶۷۰–۶۷۵.
۱۲– موسوی‌فر، ب. ا.، م.ع. بهدانی، م. جامی الاحمدی و م.س. حسینی‌بجد. ۱۳۸۸. اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد زایشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و روغن سه رقم گلرنگ بهاره. مجله بوم شناسی کشاورزی. ۱ (۱):۴۱–۵۱.
13- Abd El-Rahim, M.F., G. Fahmy, and Z.M. Mand Fahmy. 1998. Alterations in transpiration and stem vascular tissues of two maize cultivares under conditions of water stress and late wilt disease. Plant Pathology. 47: 216-223.
14- Ahmadi, A., and A. Ceiocemardeh. 2005. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and Proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Iranian J. Agriculture Science. 35: 753- 763.
15- Antolin, M. C., J. Yoller, and M. Sanchez-Diaz. 1995. Effect of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen fixing alfalfa plants. Plant Science. 107:159-165.
16- Ashraf, M.Y., A.R. Azmi, A.H. Khan and S.A. Ala. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxide activity and chlorophyll content in wheat. Acta Physiologiae Plantarum. 16(3): 185-197.
17- Barary, M., N.W.M. Warwich, R.S. Jessop and A.M. Taji. 2002. Osmotic adjustment and drought tolerance in Australian triticale. Proceeding of the 5 th International Triticale Symposium, Volum I. June 30- Guly 5, 2002. Radzikow, Poland. 135-141.
18- Barraclough, P.B. and J. Kate, 2001. Effect of water stress on chlorophyll meter reading in wheat. Plant Nutrition. 722- 723.
19- Blum, A., J. Mayer, and G. Gozland. 1982. Infrared thermal sensing of plant canopies as a sereening technique for dehydration avoidance in wheat. Field Crops Research. 5: 137- 146.
20- Boyer, J.S. 1996. Advances in drought tolerance in plants. Adv. Agronomy. 56: 187-217.
21- Castrillo, M. and A.M. Calcargo. 1989. Effects of water stress and re-watering on rebulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity, Chlorophyll and protein contents in two cultivars of tomato. J. Horticultural Science. 64 (6): 717-724.
22- Clavel, D., N.K. Drame, H. Roy-Macauley, S. Braconnier and D. Laffray. 2005. Analysis of early responses to drought associated with field drought adaptation in four Sahelian groundnut (*Arachis hypogaea L.*) Cultivars. Environ. and Experim. Botany. 54: 219-230.
23- Foyer, C.H., M. Leadis, and K.J. Kunert. 1994. Photo oxidative stress in plants. Plant Physiology. 92: 696-717.
24- Ghosh, P.K., K.K. Ajay, M.C. Bandyopadhyay, K.G. Manna, A.K. Mandal, and K.M. Hati. 2004.Comprative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. Bioresource Technology. 95: 85-93.
25- Hashem, A., M.N. Amin Mujadar, A. Hamid, and M.M. Hossain. 1998. Drought stress effects on seed yield, yield attributes, growth, cell membrane stability of synthesized Brassica napus L. Journal of Agronomy and Crop Science. 180: 129-136.
26- Kocheva, K. and G. Georgive. 2003. Evaluation of the reaction of two contrasting Barley (*Hordeum vulgare L.*) Cultivars in response to osmotic stress with PEG6000. Journal Plant Physiology. 290-294.
27- Kulshreshtha, S., D.P. Mishra, and R.K. Gupta. 1987. Changes in content of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplast and chloroplast membrane fractions at different leaf water potentials in drought resistant and sensitive genotypes of wheat. Photosyntetica. 21 (1): 65-70.
28- Larsson, E.H., J.F. Bornman and H. Asp. 1998. Influence of UV-B radiation and CO2+ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. Journal of Experimental Botany. 149: 1031-1039.
29- Liang, Y. Chen, Q. Liu, W. Zhang, and R. Ding. 2003. Exogenous silicone (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid per oxidation in roots or salt- stressed barley (*Hordeum Vulgare L.*). Journal of Plant

Physiology. 99:872-878.
30- Martin, B.A., O.S. Smith and M. Oneil. 1988. Relationships between laboratory germination tests and field emergence of maize inbreds. Crop Science. 28: 801-805.
31- Mihalovic, N. and M. Lazarevic.1977. Chlorophyllaz activity in wheat (*Triticum aestivum L.*) leaves during drought and its dependence on the nitrogen on applied. Field Crops Research. 9: 46-58.
32- Mogensen, V.O., and M.S.V. Talukder. 1987. Grain yield of spring wheat in relation to water stress 2.Growth rate of grains during drought. Cereal Research Communications. 15: 247-253.
33- Munne, S. and L. Alegre. 1999. Role of dew on the recovery of water stressed *Melissa officinallis L*. Journal of Plant Physiology, 154(5-6): 759-766.
34- Nautiyal, P.C., N.R. Rachaputi and Y.C. Joshi. 2002. Moisture-deficit-induced changes in leaf-water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. Field Crops Research. 74: 67-79.
35- Nonami, H., Y. Wu, and F. Matthewse. 1997. Decreased growth-induced water potential a primary cause of growth inhabitation at low water potentials. Plant Physiology, 114: 501-509.
36- Ommen, O.E., A. Donnelly. 1999. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO_2 concentrations and other environmental stresses within the ESPACE- wheat project. European Journal of Agronomy. 10: 197-203.
37- Pessarakli, M. 1999. Hand book of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc. 697 pages.
38- Raison, J.K., G.A. Berry, R.A. Armond, and C.K. Pike. 1980. Membrane properties in relation to the adaptation of plants to temperature stress. In: Turner, N.C. and P.J. and Kramer. Adaptation of Plants to water and high temperature stress. John Wirly and Sons, pp: 261-273.
39- Ramirez-Vallejo, P. and J.D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica.99: 127-136.
40- Schonfeld, M.A., R.C. Johnson, B. Carver and D.W. Morhinweg. 1988. Water relation in winter wheat as drought resistance indicator. Crop Science. 28: 526-531.
41- Schutz, H., and E. Fangmier. 2001. Growth and yield responses of spring Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated Co_2 and water limitation. Environmental Pollution. 114: 187-194.
42- Siddique, M.R.B., A. Hamid, and M.S. Islam. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Bat. Bull. Acad. Sin. 41: 35-39.
43- Sinclair, T. R., and M.M. Ludlow. 1985. Who thought plant thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. Australia.Journal Plant Physiology.33:312-317.
44- Singh, B. R. and B.P. Singh. 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. Field Crops Research. 42:57-67.
45- Tarumingkeng, R.C., and Z. Coto. 2003. Effects of drought stress on growth and yield of soybean. @2003 Kisman, Science Philospy PPs 702, Term paper, Graduate School, Borgor Agricultural University (Institut Ppertanian Bogor), December 2003.
46- Venkateswarlu, B. and K. Ramesh. 1993. Cell membrane stability and biochemical response of cultured cells of groundenut under polyethylene glycol-induced water stress. Plant Science. 90: 179-185.
47- Spaeth, S.C., H.C. Randau, T.R. Sinclair and J.S. Vendeland. 1984. Stability of soybean harvest index. Agronomy Journal 76: 482-486.