دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال هشتم، شماره بیست و هفت، ۱۳۹۵

# مطالعه ویژگی‌های فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های گندم نان در پاسخ به تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و محلول‌پاشی روی

داود افیونی[۱]، غلامعباس اکبری[۲]، ایرج اله‌دادی[۳]، گودرز نجفیان[٤]، لیلی صفایی[٥]

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۲/۱٦ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/٥/۱٤

**چکیده**

در بسیاری مناطق، تنش خشکی در مراحل انتهایی رشد گندم رخ می‌دهد. شناخت واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه می‌تواند در دستیابی به ارقام متحمل مفید باشد. در مطالعه‌ای دو ساله در اصفهان با طرح اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، اثر سه تیمار بدون تنش خشکی، تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، و تنش خشکی پس از گرده‌افشانی به همراه محلول‌پاشی روی، بر ۱۱ ژنوتیپ گندم بررسی شد. تیمارهای تنش عامل اصلی و ژنوتیپ‌ها عامل فرعی بود. در برگ پرچم، محتوای نسبی آب (RWC)، سرعت اتلاف آب از برگ جدا شده (RWL)، آب حفظ شده برگ جدا شده (ELWR) و میزان آب اولیه (IWC)، هر یک در سه مرحله گرده‌افشانی و یک و دو هفته پس از آن اندازه‌گیری گردید. همچنین پرولین و پروتئین‌های محلول برگ پرچم و عملکرد دانه تعیین شد. در اثر خشکی، RWC، RWL و IWC در یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی کاهش و ELWR افزایش یافت. خشکی پرولین را افزایش و پروتئین‌های محلول و عملکرد دانه را کاهش داد. محلول‌پاشی روی اثرات خشکی را تعدیل کرد. در تیمار خشکی + روی، عملکرد دانه، RWC (یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی) و IWC (دو هفته پس از گرده‌افشانی)، بیش از مقادیر مربوطه در تیمار تنش بدون روی بود. ژنوتیپ‌ها در همه صفات تفاوت داشتند. در شرایط تنش، عملکرد دانه با پروتئین‌های محلول، RWC (یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی) و ELWR گرده‌افشانی همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار داشت که نشان‌دهنده قابلیت استفاده آنها بعنوان فاکتورهای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انتهای فصل است.

**واژه‌های کلیدی:** پرولین، همبستگی، عملکرد دانه، برگ پرچم

**افیونی، د. ، غ. ع. اکبری، ا. اله‌دادی، گ. نجفیان و ل. صفایی. ۱۳۹۵. مطالعه ویژگی‌های فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های گندم نان در پاسخ به تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و محلول‌پاشی روی**. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲۷: ۱۹-۱.

---

۱- دانش آموخته دکترای زراعت پردیس ابوریحان دانشگاه تهران و استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی - باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران- مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: dafiuni@yahoo.com

۲- دانشیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- استاد گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

٤- استاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

٥- عضو هیئت علمی بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

**مقدمه**

گندم نان، گیاهی است که بطور وسیعی در مناطق مختلف جهان و تقریبا در هر ناحیه کشاورزی، کشت می‌گردد (مارتی و اسلافر، ۲۰۱٤). تنش آبی مهم‌ترین علت کاهش عملکرد گندم در مناطق نیمه خشک است (فرشادفر و همکاران، ۲۰۱۱). در بیشتر نواحی تحت کشت گندم و خصوصا در نواحی دارای اقلیم مدیترانه‌ای، گیاه گندم در مرحله پر شدن دانه در معرض تنش-های مختلفی قرار دارد و پر شدن دانه اغلب زمانی رخ می‌دهد که دما افزایش و میزان آب در دسترس کاهش می‌یابد (بلوم، ۱۹۹۸). ایران با متوسط نزولات ۲٤۰ میلی متر در سال در زمره مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد (عبدلی و همکاران، ۱۳۹۲).

لوگوجان و سیولکا (۲۰۱۱) اصلاح ارقام متحمل به خشکی را از مهمترین راهکارهای مقابله با کمبود آب می‌دانند. در حال حاضر مهم‌ترین شاخص تحمل به خشکی مورد استفاده در برنامه‌های به‌نژادی ارزیابی عملکرد دانه در شرایط آبیاری و تنش است. درک مکانیسم‌های فیزیولوژیک که قادر به سازگار شدن گیاه در شرایط محدودیت رطوبتی بوده و باعث حفظ رشد و تولید در طول دوره خشکی می‌شوند می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و استفاده از این صفات در برنامه‌های اصلاحی موثر باشد (زاهاریوا و همکاران، ۲۰۰۱).

محمدی و فرشادفر (۱۳۸۲) اظهار نمودند که علاوه بر اصلاح برای عملکرد بیشتر که معمولاً به دلیل وراثت پذیری پایین آن مشکل می‌باشد، توجه به جنبه‌های دیگر تحمل به خشکی از قبیل شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند RWC[1] (محتوای نسبی آب برگ) و RWL[2] (سرعت اتلاف آب از برگ جدا شده از گیاه)، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. سیدیک و همکاران (۲۰۰۰) معتقدند که پتانسیل آب برگ می‌تواند به عنوان یک پارامتر قابل اتکا برای کمی کردن واکنش گیاه به تنش آب مورد توجه قرار گیرد. در شرایط تنش خشکی تفاوت‌های معنی‌داری از نظر پتانسیل آب برگ بین ژنوتیپ‌های گندم مشاهده شده است (سینگ و همکاران، ۱۹۹۰). سینکلیر و لودلاو (۱۹۸۵) پیشنهاد نموده‌اند که RWC در مقایسه با پتانسیل آب شاخص بهتری از وضعیت آب برگ است. در تحقیقی با ۳۰ ژنوتیپ مختلف گندم محتوای نسبی آب برگ به عنوان یک خصوصیت مهم در تحمل به خشکی معرفی شد، زیرا ژنوتیپ-هایی که تحمل بیشتری به تنش خشکی داشتند، از نظر این صفت نیز وضعیت بهتری داشتند (دهاندا و ستی، ۲۰۰۸). احمدی لاهیجانی و امام (۱۳۹۲) نیز معتقدند که با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین تغییرات ناشی از تنش خشکی، کاهش محتوای آب نسبی برگ می‌باشد، این صفت می‌تواند توانمندی گیاه در مواجهه با تنش خشکی را نشان دهد. از طرف دیگر، این صفت وراثت‌پذیری بالایی را در شرایط تنش خشکی نشان داده است (الحکیمی و همکاران، ۱۹۹۸). از جمله سایر صفاتی که به عنوان شاخصی برای غربال ژنوتیپ‌های گندم سازگار به تنش خشکی پیشنهاد شده، RWL است (کلارک و همکاران، ۱۹۸۹)، که می-تواند تخمینی از سرعت تعرق کوتیکولی باشد (لوگوجان و سیولکا، ۲۰۱۱). کلارک و مک‌کیج (۱۹۸۲) تفاوت‌هایی بین ارقام گندم از نظر توانایی حفظ آب در برگ‌های جدا شده از گیاه (ELWR[3]) گزارش نمودند، که این تفاوت‌ها در محیط‌های واجد تنش بارزتر از محیط‌های بدون تنش بوده است. در پژوهشی با ژنوتیپ‌های تریتیکاله، گندم نان و دوروم، نتیجه‌گیری گردید که ELWR اثر مهمی بر عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش داشت (لنبانی و ارزانی، ۲۰۱۱).

پرولین اسید آمینه‌ای است که در بسیاری از گونه‌های گیاهی تحت طیف وسیعی از شرایط تنش از جمله تنش خشکی تجمع می‌یابد (کلاوسن، ۲۰۰۵). تنظیم اسمزی از جمله مکانیسم‌های سازگاری گیاه با تنش خشکی است و پرولین ممکن است به عنوان یک تنظیم کننده اسمزی عمل کند (میرزایی و همکاران،۱۳۹۲). در مقابل، گزارش شده که اختصاص کربن بیشتر در ساختار مواد آلی مؤثر در تنظیم اسمزی، همچون پرولین می‌تواند باعث کاهش رشد نیز بشود (بابائیان جلودار و ضیاء تبار احمدی، ۱۳۸۱). بنابراین سنتز بیشتر پرولین در اثر افزایش خشکی ممکن است یکی از عوامل کاهنده رشد باشد (جوانمردی و همکاران، ۱۳۸۹). تغذیه مناسب گیاهی در بالا بردن سطح تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش‌ها نقش بسزایی دارد و می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل به تنش‌های مختلف کمک کند (طباطبائیان و همکاران، ۱۳۹۲ و عابدی باباعربی و همکاران، ۱۳۹۰). روی از عناصر کم مصرف است که برای رشد طبیعی و تولید مثل گیاهان زراعی ضروری است (آلووی، ۲۰۰٤). این عنصر نقش بسیار مهمی در فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه از جمله سنتز پروتئین وکربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیکی سلول، محافظت غشاء در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر

1 - Relative Water Content
2 - Rate of Water Loss
3 - Excised-Leaf Water Retention

فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها دارد (مارشنر، ۱۹۹۵).

با توجه به خسارات وارده به تولید گندم در مناطق مختلف کشور در اثر وقوع تنش خشکی در دوره پر شدن دانه‌ها، و نیاز به معرفی ارقام با تحمل بیشتر، ضروری است که مطالعات کافی روی صفات فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل به این تنش صورت گیرد و نقش تغذیه گیاه با عناصر مهمی مانند روی بر صفات فیزیولوژیک در شرایط تنش خشکی، مطالعه گردد. در این راستا، هدف از این پژوهش بررسی واکنش برخی صفات فیزیولوژیکی ۱۱ رقم و لاین گندم به تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، در شرایط مصرف و عدم مصرف روی بود.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه طی دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان اجرا شد. ایستگاه مذکور در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۵۵۰ متر از سطح دریا واقع شده و متوسط بارش دراز مدت آن ۱۱۵ میلی‌متر در سال است. مشخصات خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و میزان بارندگی ماهیانه و میانگین دمای ماهیانه به تفکیک دو سال آزمایش به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است. بر اساس آزمون خاک ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم (به صورت سولفات پتاسیم) و ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر (به صورت سوپر فسفات تریپل) مصرف شد. مقدار ۲۸۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (به صورت اوره) در سه مرحله‌ی قبل از کاشت، ساقه روی و قبل از ظهور سنبله‌ها با نسبت تقسیط مساوی استفاده شد. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول چهار متر و فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود و عملیات کاشت با استفاده از خطی‌کار مخصوص کاشت پلات‌های آزمایشی غلات از نوع وینتراشتایگر[1] در سال اول و دوم به ترتیب در تاریخ‌های ۲۰ و ۲۲ آبان ماه انجام شد. تراکم کاشت برای همه ژنوتیپ ها ٤۰۰ بوته در متر مربع بود. طرح آماری مورد استفاده کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و کرت‌های اصلی شامل سه تیمار به شرح زیر بود ۱- انجام آبیاری بطور معمول تا پایان فصل رشد بدون تنش آبی،۲- اعمال تنش خشکی انتهای فصل از طریق قطع آب از مرحله سنبله‌دهی به بعد ۳- آبیاری ها مشابه تیمار ۲ به همراه مصرف روی بصورت محلول‌پاشی طی دو مرحله ساقه‌دهی و غلافی شدن. محلول‌پاشی روی در هر مرحله با غلظت پنج در هزار با استفاده از سولفات روی به میزان پنج کیلوگرم در هکتار انجام و هم‌زمان سایر کرت‌ها آب‌پاشی شد. در کرت‌های فرعی ۱۱ رقم و لاین گندم شامل WS-82-9، سیروان، WS-86-14، پیشتاز، پارسی، بک‌کراس‌روشن، ارگ، روشن، پیشگام، الوند و مهدوی منظور شده بود.

1 - Wintersteiger

### صفات مورد بررسی

#### الف- صفات مرتبط با محتوای آب برگ

به منظور بررسی خصوصیات مرتبط با میزان آب برگ پرچم، در سه مرحله گرده‌افشانی، و یک و دو هفته پس از گرده افشانی، اقدام به نمونه‌گیری از برگ پرچم گردید. در هر مرحله، از هر پلات آزمایش تعداد ۲۰ برگ پرچم به صورت تصادفی انتخاب و در دو گروه ۱۰ تایی در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده و بلافاصله به آزمایشگاه واقع در ۱۰۰ متری مزرعه، منتقل شد. در آزمایشگاه وزن اولیه هر گروه ۱۰ تایی برگ‌ها (FW1 و FW2)، جداگانه تعیین گردید. یکی از گروه‌های ۱۰ تایی برای تعیین وزن تورژسانس، به مدت حدود ۸ ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق (احمدی لاهیجانی و امام، ۱۳۹۲) در آب مقطر غوطه‌ور و پس از خارج کردن از آب مقطر، برگ‌ها به دقت با استفاده از حوله کاغذی خشک و مجددا توزین شد(TW1). این برگ‌ها سپس به منظور تعیین وزن خشک (DW1)، به مدت ٢٤ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در گروه ۱۰ تایی دوم نیز ابتدا وزن اولیه برگ‌ها (FW2) تعیین و پس از آن برگ‌ها به مدت چهار ساعت در دمای آزمایشگاه (حدود ۲۸-۲۵ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و مجددا جهت تعیین وزن پژمردگی (WW2) توزین شد. در نهایت، این برگ‌ها نیز برای تعیین وزن خشک (DW2) به مدت ٢٤ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بر اساس اندازه‌گیری‌های فوق، صفات زیر برای هریک از مراحل گرده‌افشانی، یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی، محاسبه شد:

۱- محتوای نسبی آب برگ (RWC): بر اساس فرمول زیر (ریچی و همکاران، ۱۹۹۰):

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

که در آن FW1، TW1 و DW1 به ترتیب وزن تر، وزن خشک و وزن تورژسانس گروه اول برگ‌های پرچم است.

۲- سرعت اتلاف آب از برگ جدا شده از گیاه (RWL): براساس رابطه زیر و بر حسب گرم آب از دست رفته به ازای گرم وزن خشک برگ در ساعت محاسبه گردید (کلارک و همکاران، ۱۹۸٦):

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

در رابطه مذکور، FW2 و WW2 به ترتیب وزن اولیه برگ‌ها و وزن پژمردگی، و t مدت زمان بین اندازه‌گیری وزن اولیه و وزن پژمردگی، بر حسب ساعت است.

۳- آب حفظ شده برگ‌های جدا شده (ELWR): بر اساس رابطه زیر محاسبه شد که در آن FW2 و WW2 به ترتیب وزن اولیه برگ‌ها و وزن پژمردگی بعد از ٤ ساعت می‌باشند (گراوندی و همکاران، ۲۰۱۱).

$$ELWR =(1 –((FW2–WW2)/FW2)) ×100$$

٤- میزان آب اولیه برگ (IWC): با استفاده از رابطه زیر اندازه-گیری شد (لنبانی و ارزانی، ۲۰۱۱):

$$IWC= (FW1-DW1)/DW1$$

در رابطه مذکور FW1 و DW1 به ترتیب وزن اولیه برگ‌ها و وزن خشک برگ پس از قرار گرفتن به مدت ٢٤ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد، است.

**ب- میزان پرولین برگ پرچم**

در مرحله دو هفته پس از گرده‌افشانی، از هر واحد آزمایشی ۵ برگ پرچم بطور تصادفی انتخاب و پس از قرار دادن در فویل آلومینیومی، در نیتروژن مایع غوطه‌ور و به فریزر ۲۰- درجه منتقل شد. میزان پرولین بر اساس روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد.

**ج- میزان پروتئین‌های محلول برگ پرچم**

در مرحله دو هفته پس از گرده‌افشانی، از هر پلات آزمایش، ۱۰ برگ پرچم بطور تصادفی انتخاب و پس از قرار دادن در فویل آلومینیومی، در نیتروژن مایع غوطه‌ور و به فریزر ۲۰- درجه منتقل شد. میزان پروتئین محلول کل طبق روش بردفورد ( ۱۹۷۹) اندازه‌گیری شد.

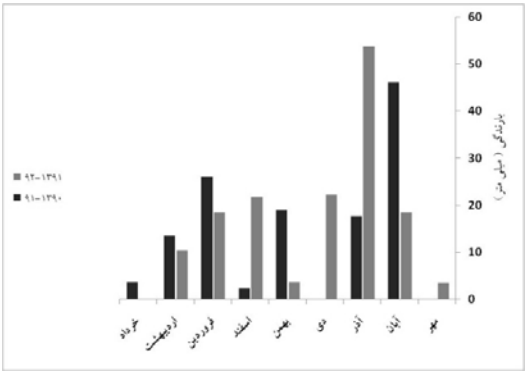
**د- عملکرد دانه**

در زمان رسیدگی، پس از حذف قسمت‌های حاشیه‌ای، ۳/٦ متر مربع از مساحت باقیمانده هر پلات با استفاده از کمباین مخصوص برداشت پلات‌های آزمایشی غلات از نوع وینتراشتایگر برداشت و عملکرد در واحد سطح تعیین گردید.

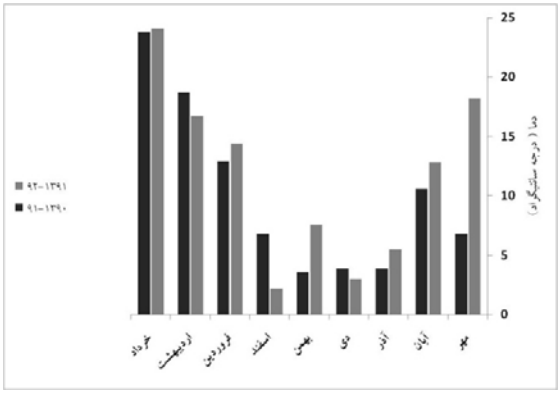
برای انجام محاسبات آماری از نرم افزارهای SAS و MSTAT-C استفاده شد. پس از تجزیه واریانس در نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام گرفت. همبستگی بین صفات به روش پیرسون برآورد گردید. پیش از انجام تجزیه مرکب، یکنواختی واریانس‌ها توسط آزمون بارتلت بررسی شد.

**جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۳۰ – ۰ سانتی متری**

| سال | بافت | شن (درصد) | سیلت (درصد) | رس (درصد) | الکتریکی (dS $m^{-1}$) هدایت | اسیدیته | مواد آلی (٪) | فسفر (mg $kg^{-1}$) | پتاسیم (mg $kg^{-1}$) | نیتروژن (درصد) | روی (mg $kg^{-1}$) | وزن مخصوص ظاهری (g $cm^{-3}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۹۱-۱۳۹۰ | لومی – رسی | ۱۲ | ٤۰ | ٤۸ | ۲/٤ | ۷/۸ | ۰/٦۳ | ۱۳/۰ | ۳۲۵ | ۰/۰٦ | ۰/۸۸ | ۱/۷۵ |
| ۹۲-۱۳۹۱ | لومی – رسی | ۱۳ | ۳۹ | ٤۸ | ۲/۹ | ۷/۷ | ۰/۵۲ | ۱٤/۵ | ۳۰۵ | ۰/۰٦ | ۰/۹۳ | ۱/۸۰ |




**شکل ۱- میزان بارندگی ماهیانه به تفکیک سال‌های زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱**




**شکل ۲- میانگین دمای ماهیانه به تفکیک سال‌های زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱**

## نتایج و بحث

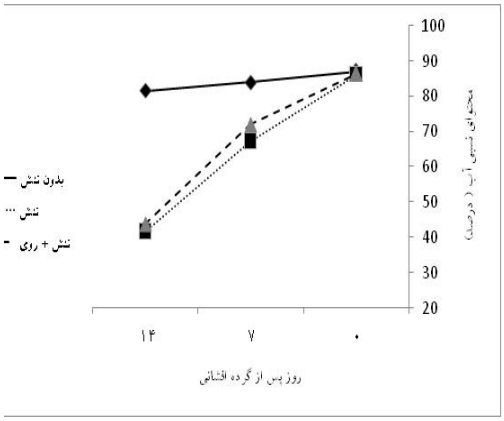
### عملکرد دانه

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال بر عملکرد دانه معنی‌دار (جدول ۲) و میانگین آن در سال دوم بیش از سال اول بود (جدول ۳). در مورد علت بالاتر بودن عملکرد دانه در سال دوم نسبت به سال اول می‌توان دو دلیل را مطرح نمود: ۱- مجموع بارندگی در نه ماهه مهر تا خرداد در دو سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ به ترتیب ۱۲۸/۳ و ۱۵۲/٦ میلی‌متر بود که نشان‌دهنده بالاتر بودن آن در سال زراعی دوم است. بدین ترتیب بالاتر بودن میزان بارندگی در فصل زراعی ممکن است شرایط را برای رشد بیشتر و عملکرد دانه بالاتر فراهم نموده باشد. لازم به ذکر است که در هیچیک از دو سال آزمایش، در دوره پس از گرده‌افشانی بارندگی موثری رخ نداد و بارندگی اردیبهشت ماه در طی هفته اول این ماه اتفاق افتاد که هنوز گیاهان به مرحله گرده‌افشانی نرسیده بودند، همچنین بارندگی رخ داده در خرداد ماه سال زراعی اول، در ۳۱ خرداد اتفاق افتاد که پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاهان بود. ۲- با توجه به شکل ۲ ملاحظه می‌شود که بین دو سال تفاوت‌هایی از نظر میانگین دمای ماهیانه در ماه‌های مختلف وجود داشت. به عنوان مثال میانگین دمای ماهیانه در اردیبهشت ماه، در سال زراعی اول بیش از سال زراعی دوم بود. پایین‌تر بودن میانگین دمای اردیبهشت ماه در سال زراعی دوم ممکن است علاوه بر فراهم نمودن دمای متعادل در طول دوره پر شدن دانه، تا حدی شدت تنش وارد شده بر گیاهان را در تیمارهای خشکی کاهش داده و در نتیجه باعث بیشتر بودن عملکرد دانه در سال دوم نسبت به سال اول شده باشد. تیمارهای تنش بر عملکرد دانه اثر معنی‌دار داشت و در اثر تنش خشکی انتهای فصل عملکرد دانه نسبت به شرایط بدون تنش حدود ٤۹/۹ درصد کاهش یافت. در تحقیقی گزارش شد که عملکرد دانه ۱۰ ژنوتیپ گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل، ٤۰/۷ درصد نسبت به آبیاری معمول کمتر بود (دستفال و همکاران، ۱۳۹۰). در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی روی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه به میزان حدود ۳۱۵ کیلوگرم در هکتار ( ۷/۳ درصد) نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی شد (جدول ۳). طباطبائیان و همکاران (۱۳۹۲) نیز افزایش عملکرد گندم در اثر محلول‌پاشی روی در شرایط تنش خشکی آخر فصل را حدود ۷ درصد گزارش دادند. بیشترین میانگین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به ارقام پیشگام و سیروان بود که تفاوت معنی-دار نداشتند (جدول ۳). بررسی اثر متقابل تیمارهای تنش در ژنوتیپ (جدول ٤) نشان داد که در شرایط بدون تنش بیشترین میزان عملکرد دانه به میزان ۱۰۰۰۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم پیشگام بود و پس از آن رقم سیروان با عملکرد دانه معادل ۹۵۳٤ کیلوگرم در هکتار در رتبه دوم قرار داشت. البته ارقام پارسی و الوند نیز فاقد تفاوت معنی‌دار با سیروان بودند. در شرایط تنش، رقم سیروان عملکرد دانه بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها

داشت، با این حال در گروه‌بندی آماری، رقم پیشگام، لاین‌های WS-86-14 و WS-82-9 و رقم پیشتاز در گروه مشترک با رقم سیروان قرار گرفتند. همان‌گونه که قبلا ذکر شد محلول‌پاشی روی در شرایط تنش خشکی آخر فصل به طور متوسط به میزان ۷/۳ درصد باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شد اما میزان این افزایش در بین ژنوتیپ‌ها تفاوت داشت بطوری که بیشترین درصد افزایش عملکرد در اثر محلول-پاشی روی به میزان ۹/۸ درصد مربوط به رقم بک‌کراس‌روشن بود و رقم پیشتاز با ۹/٤ درصد افزایش در مرتبه بعد قرار داشت. کمترین میزان این افزایش را رقم پیشگام به میزان ۵/۲ درصد نشان داد.

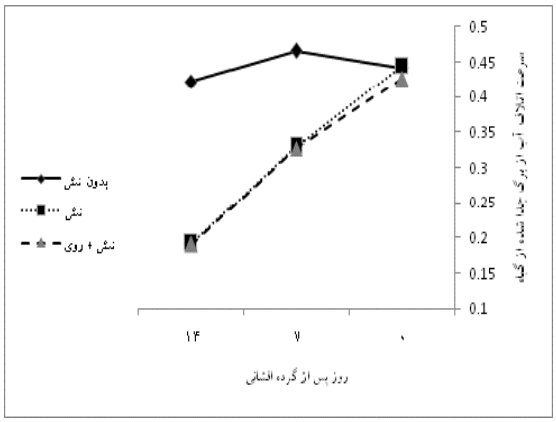
### محتوای نسبی آب برگ (RWC)

همان‌گونه که قبلا اشاره شد این صفت در سه مرحله گرده-افشانی و یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی اندازه‌گیری شد. در هر سه مرحله، میزان این صفت در سال دوم بطور معنی‌داری بیش از سال اول آزمایش بود (جدول ۳) که می‌توان آن را به تفاوت بین شرایط آب و هوایی دو سال نسبت داد. این تفاوت شرایط آب و هوایی بین دو سال آزمایش، در قسمت نتایج مربوط به عملکرد دانه توضیح داده شده است. در اولین اندازه-گیری (مرحله گرده‌افشانی)، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تنش وجود نداشت که با توجه به زمان اعمال تنش که قطع آبیاری پس از سنبله‌دهی بود منطقی به نظر می‌رسد. در دومین مرحله اندازه‌گیری در یک هفته پس از گرده‌افشانی، میانگین محتوای نسبی آب برگ در تیمار تنش بطور معنی‌دار کمتر از تیمار بدون تنش بود و با پیشرفت زمان و افزایش شدت تنش، تفاوت میزان RWC در تیمار تنش و بدون تنش بیشتر شد بطوری که در مرحله دو هفته پس از گرده‌افشانی، محتوای نسبی آب برگ پرچم در دو تیمار بدون تنش و تنش به ترتیب ۸۱/٦۲ و ٤۱/۵۵ درصد بود. در هر دو مرحله یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی، محتوای نسبی آب برگ در تیماری که محلول‌پاشی روی صورت گرفته بود بیش از تیمار بدون محلول‌پاشی بود (جدول ۳). در مطالعات دیگر نیز گزارش شد که تنش خشکی به طور نسبی پتانسیل آب برگ و محتوای نسبی آب برگ را کاهش می‌دهد (ملکی و همکاران، ۱۳۸۸و گل‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۳).




**شکل ۳– محتوای نسبی آب برگ پرچم در تیمارهای مختلف تنش، در مراحل گرده‌افشانی و یک و دو هفته پس از آن**

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌گردد که در سه مرحله اندازه‌گیری، با پیشرفت مراحل فنولوژیک مقدار RWC روند کاهشی دارد که این روند کاهشی در تیمار بدون تنش با شدت کمتر و در تیمارهای تنش با شدت بیشتری مشاهده می‌گردد. در پژوهش عزت احمدی و همکاران (۱۳۹۲) نیز در هر دو شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و بدون تنش خشکی، شاخص RWC با پیشرفت مراحل فنولوژیک گندم کاهش یافت، که شدت این کاهش در شرایط تنش بیشتر بود. در هر دو مرحله




**شکل ٤- سرعت اتلاف آب از برگ جدا شده از گیاه در تیمارهای مختلف تنش، در مراحل گرده‌افشانی و یک و دو هفته پس از آن**

یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی، مقدار RWC در تیمار تنش خشکی که محلول‌پاشی روی انجام شده بود بالاتر از تیمار تنش بدون محلول‌پاشی روی بود. اکبری و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش محتوای نسبی آب برگ در اثر کاربرد روی را در زیره سبز و توحیدی مقدم و همکاران (۲۰۱۳) در ذرت گزارش کرده-اند. همچنین کرملاچعب و قرینه (۱۳۹۲) در پژوهش خود نتیجه گرفتند که کاربرد روی در شرایط تنش شوری نیز باعث افزایش RWC برگ‌ها شد. به نظر می‌رسد که حضور روی از طریق

افزایش غلظت داخل سلول به واسطه افزایش یون پتاسیم و روی باعث افزایش RWC می‌شود (کرملاچعب و قرینه، ۱۳۹۲).

از نظر RWC در هر سه مرحله تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها وجود داشت. در مرحله گرده‌افشانی بیشترین میزان آن مربوط به رقم سیروان بود که در گروه‌بندی آماری، ارقام بک-کراس روشن، ارگ، روشن و الوند فاقد تفاوت معنی‌دار با آن بودند. در یک هفته پس از گرده‌افشانی، روند مذکور قدری تغییر نمود به‌طوری که بیشترین مقدار RWC متعلق به رقم پیشگام بود که رقم پیشتاز نیز با آن در گروه آماری مشترک قرار داشت. در دو هفته پس از گرده‌افشانی نیز بیشترین میزان این صفت به رقم پیشگام تعلق داشت. قبادی و همکاران (۲۰۱۱) نیز تفاوت-های معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های گندم نان از نظر برخی خصوصیات آب برگ از جمله RWC مشاهده نمودند.

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

در هر سه مرحله اندازه‌گیری، مقدار این صفت در سال دوم بطور معنی دار بیش از سال اول بود (جدول ۳). در مرحله گرده-افشانی تفاوت بین دو تیمار تنش و بدون تنش معنی‌دار نبود اما مقدار این صفت در تیمار تنش همراه با محلول‌پاشی روی کمتر از دو تیمار دیگر بود. این صفت نشان دهنده مقدار آب از دست رفته به ازای واحد وزن خشک برگ در واحد زمان است. کمتر بودن این صفت در تیمار محلول‌پاشی روی را شاید بتوان به افزایش غلظت داخل سلول نسبت داد که این غلظت باعث شده که اتلاف آب از برگ کاهش یابد. در مراحل بعدی یعنی یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی، مقدار این صفت در تیمار بدون تنش بطور معنی‌داری بیش از دو تیمار دیگر بود و دو تیمار دیگر فاقد تفاوت آماری با یکدیگر بودند (جدول ۳ و شکل ٤). به نظر می‌رسد مقدار اتلاف آب از برگ می‌تواند با محتوای آب برگ مربوط باشد. همانطور که در مورد صفت RWC بحث شد در مراحل یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای تنش بطور قابل توجهی کمتر از تیمار بدون تنش بود. بنابر این کمتر بودن مقدار RWL در تیمارهای تنش در مراحل یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی را می‌توان به کم بودن محتوای آب برگ در این تیمارها در مقایسه با تیمار بدون تنش نسبت داد. لنبانی و ارزانی (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای روی ژنوتیپ‌های گندم و تریتیکاله، کاهش RWL را در اثر تنش خشکی گزارش دادند. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت معنی-داری از نظر RWL در هر سه مرحله اندازه‌گیری داشتند (جدول ۲).

در هر سه مرحله، کمترین مقدار این صفت مربوط به لاین WS-86-14 بود (جدول ۳). سرعت اتلاف آب از برگ‌های جدا شده از گیاه (RWL) می‌تواند به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری تعرق کوتیکولی استفاده گردد (کلارک و همکاران، ۱۹۸۹). کلارک و همکاران (۱۹۸۹)، از مطالعات خود با ۱۰۰ ژنوتیپ گندم دوروم نتیجه گرفتند که در شرایط محدودیت آب، پایین بودن RWL ممکن است با عملکرد بالا در ارتباط باشد.

**آب حفظ شده برگ‌های پرچم جدا شده (ELWR)**

در هر سه مرحله اندازه‌گیری، اثر سال بر این صفت معنی‌دار و مقدار آن در سال دوم بیش از سال اول بود.(جدول ۲). در بین سه تیمار تنش، بیشترین مقدار ELWR مربوط به تیمار تنش خشکی بود که این روند در هر سه مرحله اندازه‌گیری این صفت مشاهده شد. در مرحله گرده‌افشانی، مقدار این صفت در تیمار بدون تنش و تنش + روی تفاوت معنی‌دار با هم نداشت اما در دو مرحله دیگر، کمترین مقدار ELWR در تیمار بدون تنش وجود داشت و تیمار تنش + روی از نظر این صفت بین دو تیمار تنش و بدون تنش قرار گرفت (جدول ۳ و شکل ۵). گل‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳) نیز در بررسی خود روی هفت زنوتیپ گندم، که شامل سه تیمار بدون تنش خشکی، تنش خشکی و تنش خشکی همراه با نیتروژن اضافی بود، بیشترین مقدار ELWR را در شرایط تنش رطوبتی گزارش دادند. به نظر می‌رسد بیشتر بودن مقادیر ELWR در شرایط تنش خشکی را می‌توان به ماهیت رابطه مورد استفاده در محاسبه آن نسبت داد. توجه به رابطه مربوطه نشان می‌دهد که هر قدر تفاوت بین وزن اولیه برگ و وزن پژمردگی آن پس از مدت زمان معین بیشتر باشد، مقدار بدست آمده از رابطه مذکور کوچکتر خواهد بود و بالعکس. با توجه به اینکه در شرایط تنش رطوبتی، میزان آب اولیه برگ در مقایسه با شرایط بدون تنش کمتر است، لذا وزن اولیه برگ نیز در شرایط تنش کمتر و به همین دلیل تفاضل وزن اولیه برگ با وزن پژمردگی نیز کمتر خواهد بود که در نتیجه منجر به بزرگ‌تر بودن عدد بدست آمده از رابطه مورد اشاره می-گردد. در هر سه مرحله، بیشترین مقدار آب حفظ شده برگ پرچم در لاین WS-86-14 مشاهده شد (جدول ۳). تفاوت بین ارقام گندم از نظر ELWR، در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (گل‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۳ و لنبانی و ارزانی، ۲۰۱۱).

**جدول ۲ – تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و ویژگی‌های فیزیولوژیکی برگ پرچم**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | عملکرد دانه | RWC گرده‌افشانی | RWC یک هفته پس از گرده‌افشانی | RWC دو هفته پس از گرده‌افشانی | RWL گرده‌افشانی | RWL یک هفته پس از گرده‌افشانی | RWL دو هفته پس از گرده‌افشانی | ELWR گرده‌افشانی | ELWR یک هفته پس از گرده‌افشانی | ELWR دو هفته پس از گرده‌افشانی | IWC گرده‌افشانی | IWC یک هفته پس از گرده‌افشانی | IWC دو هفته پس از گرده‌افشانی | پرولین | پروتئین محلول |
| سال | ۱ | ۲۳۳۱۰۹۶۸$^{**}$ | ۱۱۸۰/۷۱$^{**}$ | ٦٤٠٧/٥$^{**}$ | ۱۰۲٤/۰$^{**}$ | ۰/۰۰۹$^{**}$ | ۰/۰۱$^{**}$ | ۰/۰۱۱$^{**}$ | ۱٥۹۰/٤$^{**}$ | ۳۹۷/۱۷$^{**}$ | ۹۸۱/٤۳$^{**}$ | ۰/۱٦$^{*}$ | ۰/٥۷$^{**}$ | ۱/۱٥$^{**}$ | ۲۲۲۲/٤٥$^{**}$ | ٤۸/۹۷$^{**}$ |
| تکرار(سال) | ٤ | ۱۹۳٦۷۳ | ۱۹/٤۱$^{**}$ | ۱۱/۹۸ | ۲/٦۷ | ۰/۰۰۰٤ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۱ | ٥۹٥/۱٦$^{**}$ | ۲/۰٥ | ۱٦۱/۷۹$^{**}$ | ۰/۰۸٤ | ۰/۲۳$^{**}$ | ۰/۰۰۹ | ٦۰/۷۷$^{*}$ | ٦/۸٤$^{**}$ |
| تنش | ۲ | ۳۹۰۰٥۰۷٥۰$^{**}$ | ۱۳/۲۱ | ٤۸٤۸/۳$^{**}$ | ۳۳٤۳۹/۹$^{**}$ | ۰/۰۰٦$^{**}$ | ۰/٤۱$^{**}$ | ۱/۱٦$^{**}$ | ۱۹٥۲/٥$^{**}$ | ۱۳۸۷/۲$^{**}$ | ۲٤۷۲/۳۲$^{**}$ | ۰/۰۲ | ۱/۳۳$^{**}$ | ۱۰/۲۳$^{**}$ | ٥۰٦۷۸/۸$^{**}$ | ۱۳۲/۱۱$^{**}$ |
| سال*تنش | ۲ | ۱۳۸۳٥۰٥۰$^{**}$ | ٤/٦۲ | ۳/۰۸ | ٦٥/۲۹$^{**}$ | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۰۱ | ۲/٦۸ | ۱۱/٦۸ | ۳/۰۹ | ۰/۰٤ | ۰/۰۱ | ۰/۰٤$^{**}$ | ۲۰۷/۰٥$^{**}$ | ۲/۲٤ |
| خطا | ۸ | ۲٥۱۱٤۷ | ۷/۲۸ | ۲۸/۰٦ | ۹/٦۰ | ۰/۰۰۰٤۹ | ۰/۰۰۰٦ | ۰/۰۰۰۳ | ۲۱۳/۰٤ | ۳٥/۱۸ | ۹۰/۸۰ | ۰/۲۳۸ | ۰/۲۱٥ | ۰/۰۰٦ | ٤۱/۸٦ | ۰/٦٦۷ |
| واریته | ۱۰ | ٤۱۹٦۱۱۸$^{**}$ | ٥۸/٦۷$^{**}$ | ۳٥۱/۲$^{**}$ | ۱٤٦/۷۲$^{**}$ | ۰/۰٥۷$^{**}$ | ۰/۰٤۷$^{**}$ | ۰/۰۱۹$^{**}$ | ۱٤۰/۳۸$^{**}$ | ٤۲۳/٤۳$^{**}$ | ۲٥۳/۹۱$^{**}$ | ۰/٤٥$^{**}$ | ۰/٥۳$^{**}$ | ۰/۲٤$^{**}$ | ٥٦٦/۳۸$^{**}$ | ۸٦/۸٤$^{**}$ |
| تنش*واریته | ۲۰ | ۱٥۰۱۷۹٥$^{**}$ | ۱٦/۲۹$^{**}$ | ۷٦/٦$^{**}$ | ٥٤/۰٥$^{**}$ | ۰/۰۰۱$^{**}$ | ۰/۰۰٥$^{**}$ | ۰/۰۰٦$^{**}$ | ۸۷/۳۷$^{**}$ | ٦۷/۸٤$^{**}$ | ٦۹/٥۰$^{**}$ | ۰/۰۲ | ۰/۰۳ | ۰/۱٤$^{**}$ | ۸۱۸/٥۷$^{**}$ | ۳/۸٦$^{**}$ |
| سال*واریته | ۱۰ | ٤۹۰۰۷$^{**}$ | ٥/٥۹ | ۳/۸۷ | ۰/۸۹ | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۰۸ | ٦/٥٥ | ٤/۱۷ | ٤/۰۷ | ۰/۰۰۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲$^{*}$ | ۲/۲۹ | ۰/۳۳ |
| سال*تنش*واریته | ۲۰ | ۲۸٥۷۲۷$^{**}$ | ۱٤/۸۱$^{**}$ | ۲/۷۹ | ۱/۳٤ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰٦ | ٥/٦۲ | ٤/٥ | ۲/٦۰$^{**}$ | ۰/۰۰٥ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱$^{*}$ | ۳/۹۸ | ۰/۰۷ |
| خطا | ۱۲۰ | ۱۱۳٥۸۷ | ٥/۱۱ | ٦/۷٤ | ٤/۷٥ | ۰/۰۰۰٤۲ | ۰/۰۰۰۹ | ۰/۰۰۰٦ | ۲۰/٤۷ | ۱۹/۳۳ | ۱٤/٤۱ | ۰/۰۲٥ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۰۸ | ۲۰/۱٤ | ۱/۱۷ |

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

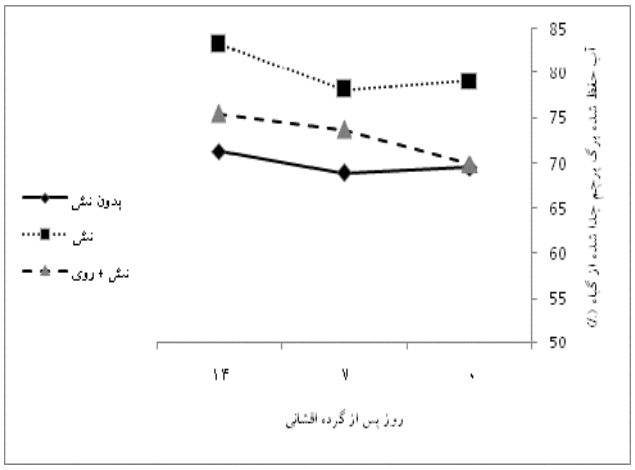
**جدول۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در سالهای آزمایش، تیمارهای تنش و ژنوتیپ‌های گندم**

| تیمار | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | RWC گرده‌افشانی (٪) | RWC یک هفته پس از گرده‌افشانی(٪) | RWC دو هفته پس از گرده‌افشانی(٪) | RWL گرده‌افشانی* | RWL یک هفته پس از گرده‌افشانی | RWL دو هفته پس از گرده‌افشانی | ELWR گرده‌افشانی (٪) | ELWR یک هفته پس از گرده‌افشانی (٪) | ELWR دو هفته پس از گرده‌افشانی (٪) | IWC گرده‌افشانی | IWC یک هفته پس از گرده‌افشانی | IWC دو هفته پس از گرده‌افشانی | پرولین** | پروتئین محلول** * |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سال زراعی | | | | | | | | | | | | | | | |
| ۹۱- ۱۳۹۰ | ۵۵۵۲ b | ۸٤/۰۵ b | ۷۲/۵۲ b | ۵۳/۳۹ b | ۰/٤۳۰ b | ۰/۳٦٤ b | ۰/۲٦۰ b | ۷۰/۰ b | ۷۲/۲ b | ۷٤/٤ b | ۲/۱۷ b | ۱/۹۵ b | ۱/٦٤ b | ٦۱/۸ a | ۱۰/۸۳ a |
| ۹۲- ۱۳۹۱ | ٦۲۳۸ a | ۸۸/۹٤ a | ۷٦/۱۳ a | ۵۷/۹٤ a | ۰/٤٤٤ a | ۰/۳۸٤ a | ۰/۲۷٦ a | ۷۵/٦ a | ۷۵/۰ a | ۷۸/۹ a | ۲/۲۳ a | ۲/۰۵ a | ۱/۸۰ a | ۵۵/۱ b | ۹/۸٤ b |
| تنش | | | | | | | | | | | | | | | |
| بدون تنش | ۸٦۹٦ a | ۸٦/۹۸ a | ۸۳/۸٦ a | ۸۱/٦۲ a | ۰/٤٤۱ a | ۰/٤٦٦ a | ۰/٤۲۲ a | ٦۹/٤۵ b | ٦۸/۹۳ c | ۷۱/۳ c | ۲/۲۱ a | ۲/۱٦ a | ۲/۱۷ a | ۲۸/٦۳ c | ۱۱/۹۲ a |
| تنش | ٤۳۳۷ c | ۸٦/۱۰ a | ٦۷/۲۵ c | ٤۱/۵۵ c | ۰/٤٤٤ a | ۰/۳۳۰ b | ۰/۱۹۲ b | ۷۹/۰۸ a | ۷۸/۱۰ a | ۸۳/۳ a | ۲/۲۰ a | ۱/۹۰ b | ۱/٤٦ c | ٦۳/۱۵ b | ۹/۲۰ c |
| تنش + روی | ٤٦۵۲ b | ۸٦/٤۱ a | ۷۱/۸۸ b | ٤۳/۸۲ b | ۰/٤۲٦ b | ۰/۳۲۷ b | ۰/۱۹۰ b | ٦۹/۸۸ b | ۷۳/٦۸ b | ۷۵/٤ b | ۲/۱۸ a | ۱/۹٤ b | ۱/۵۲ b | ۸۳/٤۳ a | ۹/۸۹ b |
| ژنوتیپ | | | | | | | | | | | | | | | |
| WS-82-9 | ۵۷۱۳ c | ۸٦/٤۷ bc | ۷۳/٤۲ d | ۵٦/۸٤ b | ۰/٤۰٦ g | ۰/۳٦۰ e | ۰/۲۵٦ de | ۷۰/۹۱ de | ۷۱/۳۱ de | ۷٤/۵ def | ۲/۰۵ e | ۱/۷۷ e | ۱/۵۵ f | ٦۳/۷ b | ۱٤/۰۷ a |
| سیروان | ٦۵٦۰ a | ۸۸/٦٦ a | ۷۷/۷۹ b | ۵٦/۸۹ b | ۰/٤۲۵ ef | ۰/۳٤۷ ef | ۰/۲٦۹cde | ۷۲/۹۷bcd | ۷۹/۳۱ b | ۷۹/۸ b | ۲/۱۵ cd | ۱/۹۱ cd | ۱/۷۲ d | ۵۳/۲ ef | ۱٤/۰۳ a |
| WS-86-14 | ٦۰۷۳ b | ۸۳/۱۷ f | ٦۹/۳٦ fg | ۵۱/۲۰ e | ۰/۳۲۳ h | ۰/۲۵۷ g | ۰/۲۰۷ g | ۷۸/۸۹ a | ۸٤/٤۱ a | ۸۵/۵ a | ۱/۸۹ f | ۱/۷۱ e | ۱/٤۹ f | ۵۷/۷ c | ۱۰/۳۷ c |
| پیشتاز | ٦۱۱۱ b | ۸٤/۳۸ ef | ۸۰/۵۹ a | ۵۷/٤٦ b | ۰/٤٤۱ d | ۰/۳۵۰ ef | ۰/۲۵٤ e | ۷۲/۹٦ cd | ۷٦/٤٦ bc | ۷۸/۲ bc | ۲/۳٤ab | ۲/۱۰ b | ۱/٦٤ e | ٦۷/۱ a | ۱۱/٦۹ b |
| پارسی | ۵٦٤۲ c | ۸٤/۹٤ de | ٦۷/۸۳ g | ۵۲/۸۷ cd | ۰/٤۱۷ fg | ۰/۳۳۷ f | ۰/۲۷۲ c | ۷۵/۹٦ ab | ۷۳/۹۳ cd | ۷۸/۵ bc | ۲/۳۲ab | ۲/۰٤ bc | ۱/۷۱ d | ۵۲/٤ f | ۷/۸۵ e |
| بک کراس روشن | ۵۵۹۲ c | ۸۸/۲۱ a | ۷۱/۷۵ de | ۵۷/۵۲ b | ۰/٤۲۹def | ۰/٤۰۵ bc | ۰/۳۱۷ a | ۷۲/۸٤ cd | ۷۱/۱۵ de | ۷۵/٤ de | ۲/۳۰ab | ۲/۱۱ab | ۱/۸۲ ab | ۵۵/۹ cde | ۸/۲۹ de |
| ارگ | ۵٦۹۰ c | ۸۷/٦۸ ab | ۷۳/۲۷ d | ۵۷/۵٦ b | ۰/٤۳۸ de | ۰/٤۲۵ ab | ۰/۲۷۱ cd | ۷۱/۳۱ de | ٦٦/۹۷ f | ۷۲/٤ f | ۲/۱۲de | ۱/۹۰ d | ۱/۷٤ cd | ۵٤/٤ def | ۸/۷۳ d |
| روشن | ٤۹۸۰ d | ۸۸/۰۲ a | ۷۰/۸۵ ef | ۵۷/۳۸ b | ۰/٤۸۱ c | ۰/٤۲۳ ab | ۰/۲۷٦ bc | ۷۰/۲۹ de | ۷۲/۰٦ de | ۷٤/۵ def | ۲/۳۵ a | ۲/۲۳ a | ۱/۸۱ ab | ۵۷/۲ cd | ۸/۸۰ d |
| پیشگام | ٦٦۸۷ a | ۸۵/۷۱cde | ۸۱/٦۱ a | ۵۹/٦۰ a | ۰/۵۳۹ a | ۰/٤۳۲ a | ۰/۲۸۸ b | ۷۰/۵۹ de | ۷۱/۹۳ de | ۷٤/٦ def | ۲/۰۳ e | ۱/۹٤ cd | ۱/۷۹ bc | ٦۸/٦ a | ۱۱/۱۵ b |
| الوند | ٦۱٤۰ b | ۸۸/۰۸ a | ۷۵/۷۰ c | ۵۱/٤٦ de | ۰/٤۰۹ g | ۰/۳۸۱ d | ۰/۲۲٦ f | ۷٤/۵۹ bc | ۷۱/۹٦ de | ۷٦/۷ cd | ۲/۲٤ bc | ۲/۰۳ bc | ۱/۸۰ ab | ۵۸/۱ c | ۸/٦۹ d |
| مهدوی | ۵٦۵۹ c | ۸۸/۱۲ cd | ۷۵/٤۷ c | ۵۳/۵٤ c | ۰/۵۰۲ b | ۰/٤۰۰ cd | ۰/۳۱۲ a | ٦۹/۵۳ e | ٦۹/۸۰ ef | ۷۳/۰ ef | ۲/۳٦ a | ۲/۲٤ a | ۱/۸۵ a | ۵٤/۲ ef | ۹/۹۹ c |

* بر حسب گرم آب از دست رفته به ازای گرم وزن خشک برگ در ساعت

** بر حسب میکرومول در گرم وزن تر برگ پرچم

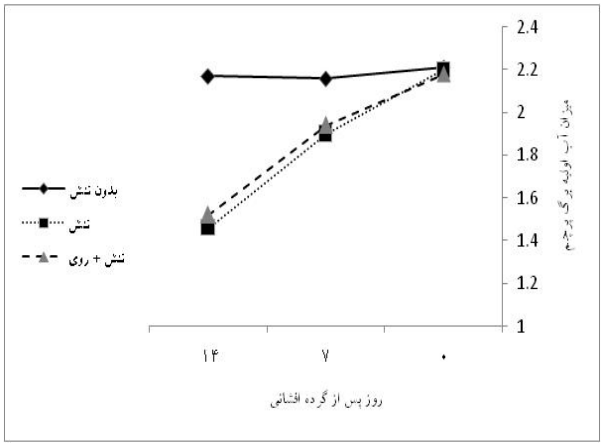
*** بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر برگ پرچم




**شکل ۵- آب حفظ شده برگهای پرچم جدا شده از گیاه در تیمارهای مختلف تنش، در مراحل گرده‌افشانی و یک و دو هفته پس از آن**

**میزان آب اولیه برگ پرچم (IWC)**

میزان آب اولیه برگ بین دو سال آزمایش تفاوت داشت و در هر سه مرحله اندازه‌گیری، در سال اول کمتر از سال دوم بود (جداول ۲ و ۳). در مرحله گرده‌افشانی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تنش از نظر این صفت وجود نداشت اما در مراحل یک و دو هفته پش از گرده‌افشانی، بیشترین مقدار این صفت در تیمار بدون تنش مشاهده شد. در یک هفته پس از گرده‌افشانی، دو تیمار تنش و تنش + روی فاقد تفاوت معنی‌دار بود اما در دو هفته پس از گرده‌افشانی، مقدار آب اولیه برگ در تیمار تنش + روی بیش از تیمار تنش بود (جدول ۳). در دو تیمار تنش و تنش + روی روند کاهش این صفت در یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی کاملا مشخص بود (شکل ٦). گل‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳) نیز گزارش دادند که محتوای آب برگ در شرایط بدون تنش بیش از شرایط تنش رطوبتی بود. با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که در هر سه مرحله گرده‌افشانی و یک و دو هفته پس از آن، در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، رقم مهدوی بیشترین میانگین میزان آب اولیه برگ را داشت و رقم روشن نیز از جمله ارقامی بود که در هر سه مرحله دارای IWC بالا بود. بررسی اثر متقابل تیمارهای تنش با ژنوتیپ (جدول ٤) نشان می‌دهد که در دو هفته پس از گرده‌افشانی، در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار IWC متعلق به رقم مهدوی بود اما در شرایط تنش، رقم پیشگام بیشترین مقدار این صفت را داشت. نتایج مطالعه مک‌کیج و راماگوزا (۱۹۸۹) نشان داد که دو صفت مقدار بالای IWC و یا میزان پایین RWL ممکن است با حفظ وضعیت آب برگ در طی دوره‌های خشکی شدید مرتبط باشد.




**شکل ٦- میزان آب اولیه برگ پرچم در تیمارهای مختلف تنش، در مراحل گرده‌افشانی و یک و دو هفته پس از آن**

**میزان پرولین برگ پرچم**

میزان پرولین برگ پرچم در سال دوم بطور معنی‌داری کمتر از سال اول بود. در تیمار تنش خشکی بدون مصرف روی، افزایش معنی‌دار مقدار پرولین در مقایسه با شرایط بدون تنش مشاهده شد (جداول ۲ و ۳). افزایش پرولین در برگ در اثر تنش خشکی در مطالعات متعددی گزارش شده است. انجم و همکاران (۲۰۱۱)، هدف از تجمع پرولین در پاسخ به تنش خشکی را حفظ فشار تورگور برگ و بهبود جذب آب از خاک در حال خشک شدن می‌دانند. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است در شرایط تنش، محلول‌پاشی روی میزان پرولین را در مقایسه با تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داد. برای عنصر روی نقش‌های فیزیولوژیک زیادی در گیاه ذکر شده است. به عنوان مثال، نقش‌های آنزیمی روی می‌تواند سنتز و تخریب پروتئین‌ها را تحت تاثیر قرار دهد (ابراهیمیان و بای‌بوردی، ۲۰۱۱). با توجه به این وظایف فیزیولوژیکی، اثر روی بر افزایش میزان اسید آمینه پرولین در شرایط تنش خشکی قابل توجیه است. در پژوهش‌های دیگری نیز افزایش میزان پرولین در اثر مصرف روی در زیره سبز در شرایط تنش خشکی (اکبری و همکاران، ۲۰۱۳) و در آفتابگردان در شرایط تنش شوری ( ابراهیمیان و بای‌بوردی، ۲۰۱۱) گزارش شده است. در مقابل کرملاچعب و قرینه (۱۳۹۲)، گزارش کردند که کاربرد روی در شرایط تنش شوری اگرچه باعث بهبود صفات رشد و اجزای عملکرد شد اما کاهش معنی دار پرولین در اندام هوایی گیاه را به دنبال داشت. از بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ارقام پیشگام و پیشتاز دارای بیشترین و رقم پارسی دارای کمترین میانگین میزان پرولین بودند (جدول ۳). توجه به جدول اثر متقابل تنش در ژنوتیپ (جدول ٤)، نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار پرولین مربوط به رقم الوند بود که ارقام روشن و پیشتاز و لاین WS-86-14 نیز تفاوت معنی‌دار با آن نداشتند. در شرایط تنش، بیشترین میزان پرولین را رقم پیشگام داشت و لاین WS-82-9 در رتبه بعد قرار گرفت. در تیمار تنش + روی نیز بیشترین مقدار پرولین در رقم پیشگام مشاهده شد که البته ارقام مهدوی، بک‌کراس روشن، پیشتاز و لاین WS-82-9 نیز فاقد تفاوت معنی‌دار با آن بودند.

**میزان پروتئین‌های محلول برگ پرچم**

مقدار این صفت در سال اول بیش از سال دوم بود (جدول ۳). تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار میزان پروتئین‌های محلول برگ پرچم از ۱۱/۹۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ پرچم در شرایط بدون تنش به ۹/۲۰ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ پرچم در شرایط تنش شد (جدول ۳). در بررسی ۹ رقم گندم، عبدلی و همکاران (۱۳۹۲) نیز کاهش میزان پروتئین محلول برگ در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی را گزارش دادند. کاهش غلظت پروتئین‌های محلول برگ، در تنش خشکی بوسیله یانگ و همکاران (۲۰۰۲) و ژای و همکاران (۲۰۰٤) نیز گزارش شده است. باجی و همکاران ( ۲۰۰۱)، علت کاهش غلظت پروتئین‌های محلول برگ در اثر تنش خشکی را افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین، کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسید آمینه آزاد از جمله پرولین می‌دانند. محلول‌پاشی روی در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش معنی‌داری در میزان این پروتئین‌ها در مقایسه با تیمار تنش خشکی بدون محلول‌پاشی شد. همانطور که قبلا ذکر شد برای عنصر روی نقش‌های فیزیولوژیک زیادی در گیاه ذکر شده است. به عنوان مثال، نقش‌های آنزیمی روی می‌تواند سنتز و تخریب پروتئین‌ها را تحت تاثیر قرار دهد (ابراهیمیان و بای‌بوردی، ۲۰۱۱). بدین ترتیب اثر روی بر افزایش میزان پروتئین‌های محلول برگ در شرایط تنش خشکی منطقی به نظر می‌رسد. بطور کلی رقم سیروان و لاین WS-82-9 بیشترین و ارقام پارسی و بک‌کراس روشن کمترین مقدار پروتئین‌های محلول برگ پرچم را داشت (جدول ۳). با این حال در بررسی اثر متقابل تیمارهای تنش و ژنوتیپ بر این صفت (جدول ٤)، مشاهده می‌گردد که رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، در تیمارهای مختلف تنش قدری متفاوت است. به عنوان مثال در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار این صفت مربوط به رقم سیروان و در شرایط تنش مربوط به لاین WS-82-9 بود. همچنین در تیمار تنش + روی، رقم سیروان و لاین WS-82-9 بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر، بالاترین میزان پروتئین محلول برگ پرچم را در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. تفاوت بین ارقام گندم از نظر مقدار پروتئین‌های محلول برگ پرچم، در مطالعات دیگر از جمله سعیدی و همکاران (۱۳۸۹) نیز گزارش شده است.

**همبستگی‌ها**

همبستگی‌های دو به دو بین صفات، به تفکیک شرایط بدون تنش و تنش خشکی ( در شرایط بدون محلول‌پاشی روی)، در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس جدول مذکور، در شرایط بدون تنش، عملکرد دانه تنها با ELWR در دو هفته پس از گرده‌افشانی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. لنبانی و ارزانی (۲۰۱۱) نیز همبستگی ELWR با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش را مثبت گزارش کردند. اما در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، همبستگی‌های معنی‌داری بین عملکرد دانه با برخی از صفات مورد مطالعه وجود داشت. در این شرایط، بزرگترین همبستگی بین عملکرد دانه با میزان پروتنین‌های محلول برگ پرچم مشاهده شد که مثبت و کاملا معنی‌دار بود. سعیدی و همکاران ( ۱۳۸۹) معتقدند رابیسکو

مهمترین و فراوان ترین پروتئین برگ پرچم است و هر گونه کاهشی در غلظت پروتئین های محلول نشانه کاهش غلظت رابیسکو بوده و این امر می‌تواند کاهش میزان فتوسنتز جاری را در پی داشته باشد. آندرسون (۲۰۰۸)، بیان نموده که تا نیمی از پروتئین‌های محلول را در برگهای گیاهان C3، رابیسکو تشکیل میدهد. براین اساس همبستگی مثبت بین میزان پروتنین‌های محلول برگ پرچم و عملکرد دانه در تحقیق حاضر قابل توجیه است. دومین صفتی که همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با عملکرد دانه تحت شرایط تنش نشان داد، RWC در یک هفته پس از گرده‌افشانی بود. همچنین RWC در گرده‌افشانی نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با عملکرد دانه داشت. در مطالعه انجام شده در شیراز با ۱۶ ژنوتیپ گندم نان، نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با محتوای آب نسبی برگ پرچم در شرایط تنش خشکی انتهای فصل گزارش شد (احمدی لاهیجانی و امام، ۱۳۹۲). عزت احمدی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش دادند که اگر چه در تمام مراحل نمو همبستگی RWC و عملکرد دانه مثبت بود، ولی این شاخص در مرحله آبکی دانه رابطه نزدیکتری را با عملکرد نشان داد که حاکی از بیشترین تاثیر مثبت میزان نسبی آب برگ بر عملکرد دانه در مرحله پر شدن دانه بود. عملکرد دانه در شرایط تنش همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار با ELWR در مرحله گرده‌افشانی نشان داد. در مطالعه کلارک و مک‌کیج (۱۹۸۲) همبستگی معنی‌دار و مثبتی بین عملکرد و آب حفظ شده برگ پرچم در ژنوتیپ‌های گندم مشاهده شد. اما لنبانی و ارزانی (۲۰۱۱) همبستگی ELWR با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی انتهای فصل را منفی گزارش کردند.

## نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تنش خشکی پس از گرده‌افشانی اثر معنی‌دار بر کلیه صفات مورد مطالعه داشت. از بین چهار صفت مرتبط با وضعیت آب برگ پرچم که در این تحقیق بررسی گردید، صفات RWC، RWL و IWC در اثر تنش خشکی پس از گرده‌افشانی کاهش و صفت ELWR افزایش یافت. تنش خشکی میزان پرولین برگ پرچم را افزایش و مقدار پروتئین‌های محلول را کاهش داد. با توجه به اینکه نقش‌های فیزیولوژیکی زیادی برای عنصر روی ذکر شده است، در این تحقیق نیز محلول‌پاشی روی باعث شد که اثرات منفی تنش خشکی تا حدی تعدیل گردد. از جمله اثرات مثبت روی، افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم و افزایش مقدار پروتئین‌های محلول بود. محلول‌پاشی روی همچنین افزایش مقدار پرولین برگ پرچم را به دنبال داشت که این افزایش، ممکن است از هر دو جنبه مثبت و منفی آن قابل بررسی باشد. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این تحقیق اختلاف کاملا معنی‌دار از نظر همه صفات مورد مطالعه نشان دادند که بیانگر وجود تنوع کافی در بین آنها است. وجود همبستگی مثبت بین عملکرد دانه با صفات میزان پروتئین‌های محلول، RWC (در مراحل یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی) و ELWR در مرحله گرده‌افشانی، نشان می‌دهد که از این صفات می‌توان به عنوان فاکتورهای انتخاب ژنوتیپ‌های گندم متحمل به تنش خشکی انتهای فصل استفاده نمود.

جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش تنش وژنوتیپ بر صفات مورد بررسی در گندم

| تنش | ژنوتیپ | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | RWC گرده-افشانی (٪) | RWC یک هفته پس از گرده‌افشانی(٪) | RWC دو هفته پس از گرده‌افشانی(٪) | RWL گرده-افشانی* | RWL یک هفته پس از گرده‌افشانی | RWL دو هفته پس از گرده‌افشانی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بدون تنش | WS-82-9 | ۷۳۷۱/۳۳ f | ۸٦/۹۳ abcd | ۸٤/۳۱ ab | ۸۱/۸۱ bc | ۰/٤۲ fg | ۰/٤۳ d | ۰/٤۱ c |
| | سیروان | ۹٥۳۳/٦٦ b | ۸۹/٤٥ ab | ۸٥/۰۱ ab | ۸٤/۱۳ ab | ۰/٤۰ g | ۰/٤۳ d | ۰/۳۸ d |
| | WS-86-14 | ۸٤٥۷/٥۰ de | ۸۲/٦۰ e | ۷٦/۹۱ d | ۷٥/٦۳ e | ۰/۳۱ h | ۰/۳۳ e | ۰/۳۰ e |
| | پیشتاز | ۸۸۳٤/۱٦ cd | ۸٤/۲۸ de | ۸٥/٦٤ ab | ۸٦/۱٤ a | ۰/٤۷ cd | ۰/٤٦ cd | ۰/۳۸ d |
| | پارسی | ۹۱۳۷/٦٦ bc | ۸۷/٥۳ abc | ۸٤/۳٦ ab | ۸۲/۲٤ bc | ۰/٤٤ ef | ۰/٥۰ ab | ۰/٤۷ b |
| | بک کراس روشن | ۸۳۹٤/۱٦ e | ۸۹/٦۸ a | ۸۲/۸ bc | ۸۰/۱٦ cd | ۰/٤٥ de | ۰/٤۸ bc | ۰/٤۷ b |
| | ارگ | ۸۸٦۸/۱٦ cd | ۸۷/٤۳ abc | ۸۰/۸۰ c | ۷۸/۹۳ d | ۰/٤٤ ef | ۰/٤۸ bc | ۰/٤۰ cd |
| | روشن | ٦۹٦۹/٦٦ g | ۸۸/۹٥ ab | ۸٥/۱٥ ab | ۸۲/۷٥ bc | ۰/٤۹ bc | ۰/٥۱ ab | ۰/٤۳ c |
| | پیشگام | ۱۰۰۰۷/٥۰ a | ۸٤/۹۷ cde | ۸٦/۸٦ a | ۸۲/٦٦ bc | ۰/٥۲ a | ۰/٥۱ ab | ۰/٤۸ ab |
| | الوند | ۹۳۸٦/٦٦ b | ۸۸/۳۷ ab | ۸٤/۷۲ ab | ۷۹/۰۰ d | ۰/٤۰ g | ۰/٤٦ cd | ۰/٤۲ c |
| | مهدوی | ۸٦۹۹/٦٦ de | ۸٦/٥۲ bcd | ۸٥/۸٤ ab | ۸٤/۳٦ ab | ۰/٥۰ ab | ۰/٥۳ a | ۰/٥۰ a |
| تنش | WS-82-9 | ٤۷۰٥/۳۳ ab | ۸۷/٦٦ ab | ٦٥/٤٦ e | ٤٤/٥٦ b | ۰/٤۰ d | ۰/۳۲ c | ۰/۱۸ cde |
| | سیروان | ٤۹۲٤/۸۳ a | ۸۸/۰۰ ab | ۷۲/۹۳ b | ٤۱/٥۳ c | ۰/٤٤ c | ۰/۳۳ c | ۰/۲۱ bc |
| | WS-86-14 | ٤۷٤۱/۰۰ ab | ۸۱/٤۳ f | ٦٤/۲٦ de | ۳۸/٦۰ d | ۰/۳٤ e | ۰/۲۳ e | ۰/۱٦ ef |
| | پیشتاز | ٤٥۳٥/۱٦ ab | ۸٤/۷٥ cde | ۷۷/٤۳ a | ۳۸/٦٦ d | ۰/٤۳ c | ۰/۲۷ d | ۰/۱۸ cde |
| | پارسی | ۳۷٤۷/۰۰ d | ۸٥/۳۰ bcde | ٥٥/۳۰ g | ۳٦/۹۰ d | ۰/٤۳ c | ۰/۲٤ de | ۰/۱۷ de |
| | بک کراس روشن | ۳۹۹٥/۰۰ cd | ۸۷/۷۳ ab | ٦۰/٦۲ f | ٤۳/٤۹ bc | ۰/٤٤ c | ۰/۳۸ ab | ۰/۲٥ a |
| | ارگ | ۳۹٥۸/٦٦ cd | ۸٦/۹٤ abcd | ٦٦/۲۰ de | ٤۷/٦۰ a | ۰/٤۳ c | ۰/٤۰ a | ۰/۲۳ ab |
| | روشن | ۳۸۸۲/۸۳ d | ۸۷/٥۰ abc | ٥۹/٥۷ f | ٤٤/۳۰ b | ۰/٥۰ b | ۰/٤۰ a | ۰/۲۰ bcd |
| | پیشگام | ٤۸۹۸/۱٦ a | ۸٤/۲۳ de | ۷۸/٥۷ a | ٤۸/۲۰ a | ۰/٥٥ a | ۰/٤۰ a | ۰/۲۱ bc |
| | الوند | ٤۳۲۹/٦٦ bc | ۸۹/٦٥ a | ۷۰/٥۲ bc | ۳٦/۲٦ d | ۰/٤۲ cd | ۰/۳٥ bc | ۰/۱٤ f |
| | مهدوی | ۳۹۹۲/۰۰ cd | ۸۳/۸۳ ef | ٦۸/۹۰ cd | ۳٦/۹۰ d | ۰/٥۱ b | ۰/۳۲ c | ۰/۲۰ bcd |
| تنش + روی | WS-82-9 | ٥۰٦۱/۰۰ ab | ۸٤/۸۰ cd | ۷۰/٤۷ cd | ٤٤/۱۳ d | ۰/٤۰ e | ۰/۳۳ cd | ۰/۱۷ cd |
| | سیروان | ٥۲۲۲/۳۳ a | ۸۸/٥۳ a | ۷٥/٤۱ b | ٤٥/۰۰ cd | ۰/٤٤ cd | ۰/۳۰ d | ۰/۲۲ ab |
| | WS-86-14 | ٥۰۱۹/۸۳ ab | ۸٥/٤۷ bcd | ٦٦/۸۸ e | ۳۹/۳٦ e | ۰/۳۱ f | ۰/۲۲ e | ۰/۱٦ d |
| | پیشتاز | ٤۹٦۳/٦٦ ab | ۸٤/۰۹ de | ۷۸/٦۹ a | ٤۷/٥٦ abc | ۰/٤۲ de | ۰/۳۲ cd | ۰/۲۰ bc |
| | پارسی | ٤۰٤۱/٥۰ d | ۸۱/۹۹ e | ٦۳/۸۲ f | ۳۹/٤٦ e | ۰/٤۰ e | ۰/۳۰ d | ۰/۱۷ cd |
| | بک کراس روشن | ٤۳۸۷/۳۳ cd | ۸۷/۲۲ abc | ۷۱/۸۰ c | ٤۸/۸۹ a | ۰/٤۰ e | ۰/۳٥ bc | ۰/۲۳ a |
| | ارگ | ٤۲٤۳/۸۳ d | ۸۸/٦٦ a | ۷۲/۸۰ bc | ٤٦/۱۳ bcd | ۰/٤٤ cd | ۰/٤۰ a | ۰/۱۸ cd |
| | روشن | ٤۰۸۷/٦٦ d | ۸۷/٦۰ abc | ٦۷/۸۱ de | ٤٥/۰۹ cd | ۰/٤٥ c | ۰/۳۷ ab | ۰/۲۰ bc |
| | پیشگام | ٥۱٥٤/۱٦ a | ۸۷/۹۰ ab | ۷۹/٤۰ a | ٤۷/۹۳ ab | ۰/٥٤ a | ۰/۳۸ ab | ۰/۱۸ cd |
| | الوند | ٤۷۰۳/٥۰ bc | ۸٦/۲۱ abcd | ۷۱/۸۳ c | ۳۹/۱۰ e | ۰/٤۰ e | ۰/۳۳ cd | ۰/۱۳ e |
| | مهدوی | ٤۲۸٥/٦٦ d | ۸۸/۰۱ ab | ۷۱/٦٦ c | ۳۹/۳٦ e | ۰/٥۰ b | ۰/۳٥ bc | ۰/۲٤ a |

در هر ستون، در هر سطح تنش وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

* بر حسب گرم آب از دست رفته به ازای گرم وزن خشک برگ در ساعت

ادامه جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش تنش وژنوتیپ بر صفات مورد بررسی در گندم

| تنش | ژنوتیپ | ELWR گرده‌افشانی (٪) | ELWR یک هفته پس از گرده‌افشانی (٪) | ELWR دو هفته پس از گرده-افشانی (٪) | IWC گرده-افشانی | IWC یک هفته پس از گرده‌افشانی | IWC دو هفته پس از گرده‌افشانی | پرولین** | پروتئین محلول*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بدون تنش | WS-82-9 | ٦٧/٥٥ bcd | ٦٤/٢٠ ef | ٦٧/٨٥ d | ٢/٠٤ de | ١/٩٦ cd | ١/٨٥ f | ١٩/٥٥ e | ١٥/٣٣ b |
| | سیروان | ٦٩/٥٢ bcd | ٧٣/١٥ abc | ٧٣/٤٨ bc | ٢/١٥ cd | ٢/٠٩ bcd | ٢/٠٦ e | ٢٣/٦١ de | ١٦/٦٢ a |
| | WS-86-14 | ٧٦/٤٦a | ٧٧/١٦ a | ٧٩/١٢ a | ١/٨٩ e | ١/٩١ d | ١/٨٢ f | ٣٥/٦٤ ab | ١٢/٧٥ c |
| | پیشتاز | ٧٠/٤٩ bcd | ٧٥/٥٩ ab | ٧٥/٢٤ ab | ٢/٣٥ ab | ٢/٢٤ ab | ٢/٢١ d | ٣٥/٣٣ ab | ١٤/٣٠ b |
| | پارسی | ٦٥/٨٧ d | ٦٥/٥٢ def | ٦٧/٦٧ d | ٢/٢٨ abc | ٢/٣٣ ab | ٢/٤٣ ab | ١٩/٧٦ e | ٩/٣٦ e |
| | بک کراس روشن | ٦٦/٩٧ bcd | ٦٦/٩٤ def | ٦٨/٩٧ cd | ٢/٣٧ ab | ٢/١٩ abc | ٢/٣٥ bc | ٢٦/٩٣ cd | ٩/٢٣ e |
| | ارگ | ٧٠/٣٢ bcd | ٦٥/٩٧ def | ٧٠/٢٠ cd | ٢/١٤ cd | ٢/١٢ bcd | ٢/٢٧ cd | ٣١/٠١ bc | ٩/٦٢ e |
| | روشن | ٧٢/١٦ abc | ٧٠/٦٨ bcd | ٧٣/٥٧ bc | ٢/٤١ a | ٢/٣٩ a | ٢/٢٠ d | ٣٧/١٠ a | ٨/٩١ e |
| | پیشگام | ٦٥/٣١ d | ٦٦/٣٧ def | ٦٧/٨٢ d | ٢/٠٥ de | ١/٩٥ cd | ١/٩٩ e | ٢٢/٩١ de | ١٢/٩٦ c |
| | الوند | ٧٢/٨٩ ab | ٦٩/٢٥ cde | ٧٣/٢١ bc | ٢/٢٠ bcd | ٢/١٨ abc | ٢/١٩ d | ٣٨/٧٣ a | ١٠/٩٢ d |
| | مهدوی | ٦٦/٣٢ cd | ٦٣/٤٠ f | ٦٦/٨١ d | ٢/٤٤ a | ٢/٤٠ a | ٢/٥١ a | ٢٤/٢٥ de | ١١/٠٧ d |
| تنش | WS-82-9 | ٧٧/٦٨ cd | ٧٤/٥٥ d | ٨٠/٦٩ d | ٢/٠٥ c | ١/٦٩ cd | ١/٤٢ de | ٨٠/٥٥ b | ١٣/٤٠ a |
| | سیروان | ٨٢/٥٤ abc | ٨٥/٨٦ b | ٨٩/٢٦ b | ٢/٢١ abc | ١/٨٦ abc | ١/٥١ cd | ٦٨/٧٤ c | ١٢/١٢ b |
| | WS-86-14 | ٨٧/٠٤a | ٩١/٥٧ a | ٩٤/٦٧ a | ١/٨٥ d | ١/٥٣ d | ١/٢٧ f | ٦٩/٤٢ c | ٨/٨٢ d |
| | پیشتاز | ٨١/٩٦ abc | ٨١/١٣ bc | ٨٦/٤٥ bc | ٢/٢٩ ab | ٢/٠١ ab | ١/٢٦ f | ٧٣/٦١ c | ١٠/٥١ c |
| | پارسی | ٨٤/٦٧ab | ٨٣/٢٤ bc | ٨٨/٩٩ b | ٢/٣٤ a | ١/٨٥ abc | ١/٣٦ ef | ٥٢/١٦ e | ٧/٠٥ ef |
| | بک کراس روشن | ٧٩/٤٣ bcd | ٧٤/٠٧ d | ٨١/٣٦ d | ٢/٢٢ abc | ٢/٠٢ ab | ١/٤٢ de | ٤٦/٧٣ f | ٧/٢٧ ef |
| | ارگ | ٧٥/٥٧ d | ٦٦/٩٦ e | ٧٥/٥٥ e | ٢/٠٥ c | ١/٧٨ bc | ١/٤٤ de | ٥٨/٣٣ d | ٧/٩٠ de |
| | روشن | ٦٨/٧١ e | ٧٤/٠٣ d | ٧٥/٦٦ e | ٢/٢٩ ab | ٢/١٠ a | ١/٦٤ ab | ٦٠/١٩ d | ٨/٠٥ de |
| | پیشگام | ٧٥/٣٩ d | ٧٣/٥٢ d | ٧٨/٩٣ de | ٢/١٠ bc | ٢/٠٠ ab | ١/٧١ a | ٨٦/٢٦ a | ١٠/٣٦ c |
| | الوند | ٧٧/٩٨ cd | ٧٥/٣٧ d | ٨١/٢٨ d | ٢/٢٨ ab | ١/٩١ abc | ١/٥٨ bc | ٥٥/٥٥ de | ٦/٤٣ f |
| | مهدوی | ٧٨/٨٤ cd | ٧٨/٧٥ cd | ٨٣/٥٣ cd | ٢/٢٤ abc | ٢/١٠ a | ١/٤٦ de | ٤٣/٠٥ f | ٩/٢١ cd |
| تنش + روی | WS-82-9 | ٦٧/٤٩ bcd | ٧٥/١٦ bc | ٧٤/٩٠ bcd | ٢/٠٤ cd | ١/٦٦ e | ١/٣٧ de | ٩١/٠١ a | ١٣/٤٨ a |
| | سیروان | ٦٦/٨٥ cd | ٧٨/٩٠ b | ٧٦/٥٣ bc | ٢/٠٩ cd | ١/٧٩ de | ١/٥٨ ab | ٦٧/١٨ e | ١٣/٣٥ a |
| | WS-86-14 | ٧٣/١٥ ab | ٨٤/٥٠ a | ٨٢/٧٧ a | ١/٩٣ d | ١/٦٧ e | ١/٣٩ cde | ٦٨/١٢ e | ٩/٥٤ bc |
| | پیشتاز | ٦٦/٤١ cd | ٧٢/٦٣ cde | ٧٣/٠٠ cde | ٢/٣٩ a | ٢/٠٦ abc | ١/٤٤ cd | ٩٢/٤١ a | ١٠/٢٤ b |
| | پارسی | ٧٧/٣٣ a | ٧٣/٠٣ cd | ٧٨/٩٥ ab | ٢/٣٥ ab | ١/٩٣ bcd | ١/٣٢ e | ٨٥/٢١ b | ٧/١٣ d |
| | بک کراس روشن | ٧٢/١١ abc | ٧٢/٤٣ cde | ٧٥/٨٨ bcd | ٢/٢٩ ab | ٢/١٢ ab | ١/٦٨ a | ٩٤/٠٥ a | ٨/٣٧ c |
| | ارگ | ٦٨/٠٢ bcd | ٦٧/٩٦ de | ٧١/٣٩ de | ٢/١٨ bc | ١/٧٩ de | ١/٤٩ bc | ٧٣/٧٤ d | ٨/٦٦ c |
| | روشن | ٦٩/٩٧ bc | ٧١/٤٦ cde | ٧٤/٢٥ bcd | ٢/٣٥ ab | ٢/٢١ a | ١/٥٨ ab | ٧٤/١٧ d | ٩/٤٣ bc |
| | پیشگام | ٧١/٠٧ bc | ٧٥/٨٩ bc | ٧٧/١٦ bc | ١/٩٣ d | ١/٨٥ cde | ١/٦٨ a | ٩٦/٦٧ a | ١٠/١٣ b |
| | الوند | ٧٢/٨٨ ab | ٧١/٢٥ cde | ٧٥/٦٧ bcd | ٢/٢٣ abc | ٢/٠١ abcd | ١/٦٣ a | ٨٠/٠٠ c | ٨/٧٠ c |
| | مهدوی | ٦٣/٤١ d | ٦٧/٢٤ e | ٦٨/٦٠ e | ٢/٣٩ a | ٢/٢٠ a | ١/٥٩ ab | ٩٥/١٧ a | ٩/٦٨ bc |

در هر ستون، در هر سطح تنش وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

** بر حسب میکرومول در گرم وزن تر برگ پرچم

*** بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر برگ پرچم

جدول ۵ – ضرایب همبستگی بین صفات در شرایط تنش خشکی آخر فصل بدون محلول‌پاشی روی (بالای قطر ماتریس) و شرایط معمول (پایین قطر ماتریس)

| صفت | ۱- RWC (گرده افشانی) | ۲- RWC یک هفته پس ازگرده افشانی) | ۳- RWC (دو هفته پس از گرده افشانی) | ۴- RWL (گرده افشانی) | ۵- RWL (یک هفته پس ازگرده افشانی) | ۶- RWL (دو هفته پس از گرده افشانی) | ۷- ELWR (گرده افشانی) | ۸- ELWR (یک هفته پس ازگرده افشانی) | ۹- ELWR (دو هفته پس ازگرده افشانی) | ۱۰- IWC (گرده افشانی) | ۱۱- IWC (یک هفته پس ازگرده افشانی) | ۱۲- IWC (دو هفته پس از گرده افشانی) | ۱۳- پرولین | ۱۴- پروتئین محلول | ۱۵- عملکرد دانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | ۰/۰۸ ns | ۰/۳۲ ns | ۰/۰۹ ns | ۰/۴۷* | ۰/۲۰ ns | ۰/۰۵ ns | −۰/۱۶ ns | −۰/۰۷ ns | ۰/۴۳* | ۰/۳۵ ns | ۰/۵۲* | −۰/۳۳ ns | ۰/۱۱ ns | ۰/۴۴* |
| ۲ | ۰/۵۹** | | ۰/۱۹ ns | ۰/۳۳ ns | ۰/۱۸ ns | ۰/۰۲ ns | ۰/۱۰ ns | ۰/۰۴ ns | ۰/۰۷ ns | −۰/۰۱ ns | ۰/۲۱ ns | ۰/۲۶ ns | ۰/۴۲* | ۰/۵۰* | ۰/۵۸** |
| ۳ | ۰/۶۱** | ۰/۸۷** | | ۰/۳۶ ns | ۰/۷۱** | ۰/۶۸** | −۰/۲۸ ns | −۰/۴۶* | −۰/۴۰ ns | −۰/۱۹ ns | ۰/۱۱ ns | ۰/۵۰* | ۰/۲۶ ns | ۰/۳۵ ns | ۰/۳۵ ns |
| ٤ | ۰/۲۳ns | ۰/۶۹** | ۰/۵۳* | | ۰/۶۱** | ۰/۴۰ ns | −۰/۴۷* | −۰/۳۸ ns | −۰/۴۵* | ۰/۴۵* | ۰/۷۶** | ۰/۶۸** | −۰/۰۶ ns | ۰/۰۵ ns | ۰/۰۲ ns |
| ۵ | ۰/۴۲ns | ۰/۶۹** | ۰/۵۳* | ۰/۹۳** | | ۰/۶۲** | −۰/۶۳** | −۰/۷۵** | −۰/۷۴** | ۰/۱۸ ns | ۰/۴۷* | ۰/۷۱** | −۰/۱۰ ns | −۰/۰۷ ns | ۰/۰۳ ns |
| ۶ | ۰/۴۰ns | ۰/۶۴** | ۰/۴۳* | ۰/۷۹** | ۰/۸۸** | | −۰/۱۷ ns | −۰/۳۶ ns | −۰/۲۹ ns | ۰/۰۲ ns | ۰/۳۱ ns | ۰/۲۲ ns | −۰/۲۰ ns | ۰/۱۳ ns | ۰/۰۴ ns |
| ۷ | ۰/۲۸ns | −۰/۰۱ ns | ۰/۲۱ ns | −۰/۴۲ ns | −۰/۳۸ ns | −۰/۴۸* | | ۰/۷۹** | ۰/۹۳** | −۰/۰۵ ns | −۰/۳۰ ns | −۰/۳۷ ns | −۰/۲۰ ns | ۰/۱۹ ns | ۰/۴۷* |
| ۸ | −۰/۰۱ns | −۰/۱۰ ns | ۰/۱۴ ns | −۰/۴۵* | −۰/۵۵** | −۰/۶۸** | ۰/۷۲** | | ۰/۹۶** | −۰/۰۸ ns | −۰/۲۹ ns | −۰/۳۵ ns | −۰/۰۳ ns | ۰/۲۲ ns | ۰/۴۱ ns |
| ۹ | ۰/۱۴ ns | −۰/۰۶ ns | ۰/۱۹ ns | −۰/۴۷* | −۰/۵۰* | −۰/۶۳** | ۰/۹۲** | ۰/۹۳** | | −۰/۲۶ ns | −۰/۰۸ ns | −۰/۱۵ ns | ۰/۵۲* | ۰/۲۵ ns | −۰/۱۷ ns |
| ۱۰ | ۰/۳۳ns | ۰/۳۸ ns | ۰/۳۶ ns | ۰/۵۹** | ۰/۷۰** | ۰/۵۶** | −۰/۲۴ ns | −۰/۲۴ ns | −۰/۰۷ ns | | ۰/۷۴** | ۰/۲۹ ns | −۰/۴۸** | −۰/۱۹ ns | −۰/۰۹ ns |
| ۱۱ | ۰/۴۵* | ۰/۴۳* | ۰/۴۵* | ۰/۵۰* | ۰/۶۷** | ۰/۵۰* | −۰/۰۳ ns | −۰/۱۲ ns | −۰/۳۱ ns | ۰/۸۴** | | ۰/۵۸** | −۰/۳۶ ns | −۰/۱۴ ns | ۰/۰۱ ns |
| ۱۲ | ۰/۵۶** | ۰/۴۸* | ۰/۴۹* | ۰/۵۱* | ۰/۷۰** | ۰/۶۴** | −۰/۰۴ ns | −۰/۲۳ ns | −۰/۳۸ ns | ۰/۷۳** | ۰/۸۳** | | −۰/۰۳ ns | ۰/۰۴ ns | ۰/۳۳ ns |
| ۱۳ | −۰/۲۵ns | −۰/۳۷* | −۰/۳۸ ns | −۰/۲۶ ns | −۰/۲۹ ns | −۰/۵۲* | ۰/۴۶* | ۰/۵۱* | −۰/۱۱ ns | ۰/۰۷ ns | ۰/۰۷ ns | −۰/۱۵ ns | | ۰/۵۳* | ۰/۰۱ ns |
| ۱۴ | −۰/۰۹ns | ۰/۱۸ ns | ۰/۲۸ ns | −۰/۲۵ ns | −۰/۴۱ ns | −۰/۴۲ ns | ۰/۰۹ ns | ۰/۳۷ ns | ۰/۲۲ ns | −۰/۴۵* | −۰/۴۹* | −۰/۵۰* | −۰/۲۷ ns | | ۰/۶۱** |
| ۱۵ | −۰/۱۷ns | ۰/۰۲ ns | −۰/۱۱ ns | ۰/۰۵ ns | ۰/۰۴ ns | ۰/۰۶ ns | −۰/۳۱ ns | −۰/۰۲ ns | ۰/۴۶* | −۰/۱۵ ns | −۰/۲۰ ns | ۰/۰۵ ns | −۰/۱۱ ns | ۰/۱۶ ns | |

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

**منابع**


احمدی لاهیجانی، م. ج. و ی. امام. ۱۳۹۲. بررسی واکنش ژنوتیپ‌های گندم به تنش خشکی انتهای فصل با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیک. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، جلد ۳، شماره ۹: ۱۷۵- ۱۶۳.

بابائیان جلودار، ن. و م. ضیاءتبار احمدی. ۱۳۸۱. رشد گیاهان در اراضی شور و بایر ( ترجمه). انتشارات دانشگاه مازندران.

جوانمردی، ش.، ر. فتوت و ج. صبا. ۱۳۸۹. رابطه بین کربوهیدرات‌های محلول و پرولین با تنظیم اسمزی و نقش تنظیم اسمزی در عملکرد گندم تحت شرایط تنش خشکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. جلد ۱٤، شماره ۵۳: ۷۲-٦۵.

دستفال، م.، و. براتی، ی. امام، ح. حقیقت نیا و م. رمضان پور. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد دانه و اجزای آن در ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط تنش خشکی انتهای فصل در منطقه داراب. مجله به زراعی نهال و بذر. جلد ۲۷، شماره ۱: ۲۱۷-۱۹۵.

سعیدی، م.، ف. مرادی، ع. احمدی، ر. سپهری، گ. نجفیان و ا. شعبانی. ۱۳۸۹ . اثر تنش خشکی انتهای فصل بر خصوصیات فیزیولوژیک و روابط منبع و مخزن در دو رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.). علوم زراعی ایران. جلد ۱۲، شماره ٤: ٤۰۸-۳۹۲.

طباطبائیان، ج.، ع. م. بخشنده، م. ح. قرینه، خ. عالمی سعید و ا. ح. خوشگفتارمنش. ۱۳۹۲. برهمکنش تنش رطوبتی و محلول پاشی سولفات روی در مراحل پایانی رشد بر عملکرد دانه و کارآئی مصرف آب در گندم. نشریه زراعت (پژو.هش و سازندگی). شماره ۱۰۰: ۱۸- ۸.

عابدی باباعربی، س.، م. موحدی دهنوی، ع. ر. یدوی و ا. ادهمی. ۱۳۹۰. تأثیر محلول‌پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. جلد ٤، شماره ۱: ۹۵- ۷۵.

عبدلی، م.، م. سعیدی، س. جلالی هنرمند، س. منصوریفر و م. اقبال قبادی. ۱۳۹۲. بررسی برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و ارتباط آنها با عملکرد و اجزای آن در ارقام پیشرفته گندم نان در شرایط تنش کم‌آبی پس از گرده‌افشانی. مجله تنش های محیطی در علوم زراعی. جلد ٦، شماره ۱: ٦۳-٤۷.

عزت احمدی، م.، ق. نورمحمدی، م. قدسی و م. کافی. ۱۳۹۰. اثر تنش رطوبتی و محدودیت منبع بر تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های گندم. نشریه پژوهشهای زراعی ایران. جلد ۹، شماره ۲: ۲٤۱-۲۲۹.

کرملاچعب، ع. و م. ح. قرینه. ۱۳۹۲. تأثیر عنصر روی بر رشد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم. نشریه پژوهشهای زراعی ایران. جلد ۱۱، شماره ۳: ٤۵۳-٤٤٦.

گل‌آبادی، م.، ز. عباسی و ا. گل‌پرور. ۱۳۹۳. تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی برگ پرچم گندم نان در واکنش به تنش خشکی. مجله تنش-های محیطی در علوم زراعی. جلد ۷، شماره ۱: ۱۱-۱.

محمدی، ر. و ع. ا. فرشادفر. ۱۳۸۲. تعیین کروموزوم‌های کنترل کننده صفات فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی در چاودار. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۵، شماره ۲: ۱۳۳-۱۱۷.

ملکی، ا.، ج. صبا، و ف. شکاری. ۱۳۸۸. توارث محتوای نسبی آب برگ در گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط دیم. مجله دانش کشاورزی. جلد ۱۹، شماره ۲: ۱۸۳-۱۷۷.

میرزایی، م.، ا. معینی و ف. قناتی. ۱۳۹۲. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین و قندهای محلول گیاهچه‌های کلزا ( *Brassica napus*). مجله زیست شناسی ایران. جلد ۲٦، شماره ۱: ۹۸-۹۰.

Akbari, G. A., M., Amirinejad, A., Baghizadeh, I., Allahdadi and M., Shahbazi. 2013. Effect of Zn and Fe Foliar Application on Yield, Yield Components and some Physiological Traits of Cumin (*Cuminum cyminum*) in Dry Farming. Int. J. Agron. Plant Prod. 4 (12): 3231-3237.

Al-hakimi, A., P., Monneveaux and M. M., Nachit. 1998. Direct and indirect selection for drought tolerance in alien tetraploid wheat × durum wheat crosses. Euphytica 100: 287-294.

Alloway, B.J. 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Int. Zinc Assoc. (IZA),Belgium, 128p.

Andersson, I. 2008. Catalysis and regulation in Rubisco. J. Exp. Bot. 59(7): 1555-1568.

Anjum, S.A., X., Xie, L., Wang, M. F., Saleem, C., Man and W., Lei. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African J. Agric. Res. 6: 2026-2032.

Bajji, M., S., Lutts and J. M., Kinet. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Sci. 160: 669-681.

Bates, L. S., R. P., Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.

Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. Euphytica. 100: 77–83.

Clarke, J. M., I., Romagosa, S., Jana, J. P., Srivastava and T. N., McCaig. 1989. Relationship of excised leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environments. Can J. Plant Sci. 69: 1075-1081.

Claussen, W. 2005. Proline as a measure of stress in tomato plants. Plant Sci. 168: 241-248.

Dhanda, S.S. and G. S. Sethi. 1998. Inheritance of excised-leaf water loss and relative water content in bread wheat (*Triticum aestivum*). Euphytica. 104: 39–47.

Dhanda, S.S. and G. S. Sethi. 2008. Drought tolerance among 30 cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) for water relation parameters. Agric. Sci. Digest. 28 (3): 182 – 185.

Ebrahimi, M., M. R. Khajehpour, A. Naderi and B. Majde Nassiri. 2014. Physiological responses of sunflower to water stress under different levels of zinc fertilizer. Int. J. Plant Prod. 8 (4): 483-504.

Ebrahimian, E. and A. Bybordi. 2011. Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. J. Food, Agri. and Environ. 9 (1): 422 - 427.

Farshadfar, E., V. Rasoli, J. A. T. Silva and M. Farshadfar. 2011. Inheritance of drought tolerance indicators in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using a diallel technique. Aust. J. Crop Sci. 5(7):870-878.

Geravandi, M., E. Farshadfar and D. Kahrizi. 2011. Evaluation of Some Physiological Traits as Indicators of Drought Tolerance in Bread Wheat Genotypes. Russ. J. Plant Physl. 58(1): 69–75.

Ghobadi, M., S. Khosravi, D. Kahrizi and F. Shirvani. 2011. Study of Water Relations, Chlorophyll and their Correlations with Grain Yield in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. World Acad. Sci. Eng. and Technol. 78: 582-585.

Golestani Araghi, S. and M. T. Assad. 1998. Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. Euphytica. 103: 293-299.

Lugojan, C. and S. Ciulca. 2011. Analysis of excised leaves water loss in winter wheat. J. Hortic. For. Biotechnol. 15(2): 178- 182.

Lonbani, M., and A. Arzani. 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought stress tolerance in triticale and wheat. Agron. Res. 9 (1–2): 315–329.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Academic Press. Ltd. London.

Marti, J. and G. A. Slafer. 2014. Bread and durum wheat yields under a wide range of environmental conditions. Field Crop. Res. 156: 258–271.

McCaig, T. N. and I. Ramagosa. 1989. Measurement and Use of Excised-Leaf Water Status in Wheat. Crop Sci. 29(5): 1140-1145.

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 Sci. 30: 105–111.

Siddique, M. R. B., A. Hamid and M. S. Islam. 2000. Drought stress effects on water relationships of wheat. Bot. Bull. Acad. Sinica. 41: 35-39.

Singh, M., J. P. Srivastava and A. Kumar. 1990. Effect of water on water potential components in wheat genotypes. Indian J. Plant Physi. 33: 312-317.

Sinclair, T. R. and M. M. Ludlow. 1985. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. Aust. J. Plant Physiol. 33: 213- 217.

Tohidi Moghadam, H. R., H. Zahedi and A. Ashkiani. 2013. Effect of zinc foliar application on auxin and gibberellin hormones and catalase and superoxide dismutase enzyme activity of corn (*Zea mays* L) under water stress. Maydica. 58: 218-223.

Vicente, R., R. Morcuende and J. Babiano. 2011. Differences in rubisco and chlorophyll content among tissues and growth stages in two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) varieties. Agron. Res. 9 (Special Issue II): 501–507.

Wang, H. and J. M. Clarke. 1993. Relationship of excised-leaf water loss and stomatal frequency in wheat. Can. J. Plant Sci. 73: 93-99.

Xie, Z., D. Jiang, T. Dai and W. Cao. 2004. Effect of exogenous ABA and cytokinin on leaf photosynthesis and grain protein accumulation in wheat ears cultured in vitro. Plant Growth Regul. 44: 25-32.

Yang, J., J. Zhang, Z. Huang, Z. Wang, Q. Zhu and L. Liu. 2002. Correlation of cytokinin levels in the endosperms and roots with cell number and cell division activity during endosperm development in rice. Ann. Bot. 90: 369-377.

Zaharieva, M., E. Gaulin, M. Havaux, E. Acevedo and P. Monneveeux. 2001. Drought and heat responces in the wild wheat relative Aegilops geniculata Roth. Crop Sci. 41: 1321-1329.

# Study on physiological characteristics of bread wheat genotypes response to water stress after anthesis and zinc foliar application

D. Afiuni[1], Gh. A. Akbari[2], I. Allahdadi[3], G. Najafian[4], L. Safaei[5]

Received: 2015-5-5 Accepted: 2015-8-5

**Abstract**

In many regions, drought stress occurs at terminal stages of wheat growth. Identifying the physiological responses of plant can help in produce tolerant varieties. In a two years study in Isfahan, effect of three treatments included normal irrigation, drought stress after anthesis, and drought stress after anthesis with two times of zinc foliar application at vegetative growth on 11 wheat genotypes were studied as RCBD with split- plot arrangement and three replications. RWC, RWL, ELWR and IWC were measured on flag leaf at 3 stages including anthesis and one and two weeks after anthesis. Proline, soluble proteins and grain yield also were measured. In drought treatment, RWC, RWL and IWC decreased and ELWR increased at both one and two weeks after anthesis, comparing normal condition. Drought stress also decreased soluble protein and grain yield and increased proline. zinc foliar application mitigated negative impacts of drought stress, so that grain yield, RWC (at one and two weeks after anthesis), and IWC (at two week after anthesis) were higher in drought + zinc than drought condition without zinc. There were significant differences among genotypes for all traits. Under drought stress, there were positive significant correlations between grain yield with soluble proteins, RWC (at one and two weeks after anthesis) and ELWR (at anthesis), indicating the capability of these traits as selection criteria for improvement of terminal drought tolerant wheat varieties.

**Key words:** Correlation, flag leaf, grain yield, proline

1 - PhD Graduated in Agronomy from Tehran University and Assistant Professor of Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
2 - Associate Professor of college of Abouraihan, University of Tehran, Department of Agronomy and Plant Breeding
3 - Professor of College of Abouraihan, university of Tehran, Department of Agronomy and Plant Breeding
4 -Professor of Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Karadj, Iran.
5 - Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.