تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۸
۶۷۳-۶۸۳
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1489.1331

*مقاله پژوهشی*

# ارزیابی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی غلات سردسیری تحت شرایط کم‌آبیاری

**سامیه آقچه‌لی[۱]، علی راحمی‌کاریزکی[۲*]، ابراهیم غلامعلی‌پور علمداری[۲]، عبداللطیف قلی‌زاده[۲]، سیده حکیمه داودی[۳]**

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس
۲. استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس
۳. دانشجوی دکتری زراعت، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس

**تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۷**

## چکیده

**مطالعه واکنش‌های فیزیولوژیک گونه‌های مختلف غلات به تنش کم‌آبی می‌تواند به شناسایی مکانیسم‌های مؤثر در مقاومت به خشکی کمک کند. آزمایشی با هدف ارزیابی شرایط کم‌آبیاری بر کلروفیل a، b و کل، پرولین، قندهای محلول، آنزیم کاتالاز و عملکرد دانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس در سال زراعی ۱۳۹۳ انجام شد. عامل اول گونه‌های غلات شامل گندم نان رقم کوهدشت، گندم دوروم رقم سیمره، جو شش ردیفه رقم صحرا، جو دو ردیفه رقم خرم، جو لخت لاین ۱۷، تریتیکاله رقم جوانیلو و عامل دوم تیمارهای مختلف آبیاری در سه سطح شرایط کم‌آبیاری شامل (شاهد)، تنش خشکی متوسط (۵ روز قطع آبیاری)، تنش خشکی شدید (۱۰ روز قطع آبیاری) بودند. در این آزمایش تنش خشکی در مرحله گلدهی گیاهان اعمال شد. نتایج نشان داد که بین سطوح مختلف آبیاری ازلحاظ کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل، پرولین، قندهای محلول و آنزیم کاتالاز اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P <۰/۰۱). بیش‌ترین میزان کلروفیل a در تنش متوسط و تنش شدید مربوط به گندم دوروم و گندم کوهدشت به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۲۱ میلی‌گرم بر گرم بود. هم‌چنین بیش‌ترین میزان کلروفیل b و کل در تنش متوسط و شدید از گندم کوهدشت به دست آمد. بر اساس نتایج، بیش‌ترین و کم‌ترین میزان تجمع پرولین در تنش متوسط و تنش شدید به ترتیب مربوط به گندم کوهدشت (۹۸/۳۴، ۱۵/۸۳) و جو لخت (۱۰۳/۹۰ و ۱۶/۵۰ میلی‌گرم بر گرم) بود. در این مطالعه، بیش‌ترین مقدار قند محلول در تنش شدید مربوط به گندم دوروم با ۱۹۰/۸۷ میلی‌گرم برگرم به ثبت رسید.**

***واژه‌های کلیدی:*** **آنزیم کاتالاز، پرولین، کلروفیل، کم‌آبیاری، قندهای محلول**

## مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای غیر زیستی رشد و تولید گیاهان زراعی را در بسیاری از نقاط جهان با مشکل و محدودیت روبرو کرده است. طبق آمار، حدود چهارپنجم مساحت زمین‌های جهان در محدوده‌ی مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و تقریباً ۴۴/۷ میلیون هکتار را شامل می‌شود که حدود ۳۹ درصد آن مناطق نیمه‌خشک به‌حساب می‌آید (Kochaki, 2003). در حال حاضر با افزایش جمعیت و کاهش منابع آبی قابل‌دسترس و نیاز بیش‌تر برای تغذیه جمعیت در حال افزایش، یافتن راهکارهایی که باعث بهبود عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط کم‌آبی می‌گردند، ضروری به نظر می‌رسد (Sadeghipour and Aghaei, 2014). با توجه به این‌که ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌رود ضرورت استفاده بهینه از آب بیش‌ازپیش احساس می‌شود (Khadem et al., 2011). غلات متعلق به خانواده Poaceae هستند که به‌منظور تولید دانه برای مصارف غذایی کشت می‌شوند. غلات منابع مهم تأمین‌کننده پروتئین، کربوهیدرات، ویتامین‌های گروه B و E و آهن، عناصر معدنی

* نگارنده پاسخگو: علی راحمی کاریزکی. پست الکترونیک: alirahemi@yahoo.com

و فیبر هستند. غلات هم‌چنین تأمین‌کننده بیش از ۸۰ درصد از پروتئین موردنیاز مردم در کشورهای آفریقایی و آسیایی هستند. این گیاهان در محدوده‌ی وسیعی از شرایط آب و هوایی جهان رشد می‌کنند و در حقیقت جزء سازگارترین گونه‌های غلات هستند (FAO, 2015). بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی، سطح زیر کشت کل غلات در ایران ۸۶۹۰۰۰۰ هکتار، تولید کل غلات ۱۷/۰۶۲/۱۴۰ تن در هکتار، عملکرد کل غلات در ایران حدود دو تن در هکتار است (FAO, 2014). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدودکننده تولید در گیاهان زراعی در سرتاسر جهان است (Omidi et al., 2012). تنش خشکی سطوح مختلف تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی، وزن تر و درصد اسانس در ارقام مختلف دارد (Moghadam et al, 2014). طی مطالعات صورت گرفته تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد گردیده است (Farahvash et al., 2011). در بررسی تأثیر تنش خشکی بر رشد و تغییرات بیوشیمیایی پنج رقم آفتابگردان مشاهده گردید که مقدار کلروفیل در واحد سطح برگ گیاهان در معرض تنش افزایش و کل محتوای کلروفیل این گیاهان در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش یافت (Manivannan et al, 2015). حسن‌پور و همکاران (Hassanpour et al, 2015) بیان کردند تنش خشکی در گیاهان موجب تغییرات در خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان می‌گردد. گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی مختلف ازجمله خشکی، عکس‌العمل نشان می‌دهند تا قادر به بقا و ادامه حیات شوند. مولودی و همکاران (Mouloody et al., 2014) گزارش نمودند افزایش تنش کم‌آبی باعث افزایش میزان پرولین و قندهای محلول می‌شود. تنش کمبود آب می‌تواند باعث افزایش قندهای محلول، افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز، هیدرولیز نشاسته به قندهای ساده و کند شدن انتقال قندها از برگ به سایر مراکز رشد گردد (Zhang, 2010). بررسی مکانیسم‌های دفاعی، از طریق اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان داد که تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و کاتالاز را افزایش داده است (Kabiri et al., 2013). آنزیم کاتالاز از سلول‌ها در برابر پراکسید هیدروژن محافظت می‌کند. تحقیقات نشان داده هنگام مواجهه با تنش‌های مختلف در گندم، جو، سویا و نخود، افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز نقش مهمی در مقاومت گیاه به تنش ایفا می‌کند (Kafi and Damghani, 2000). نقش کاتالاز در سیستم دفاعی و پدیده پیری در گیاهان نیز به اثبات رسیده است (Mura, 2007). تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل تنش غیر زیستی، رشد بسیاری از گیاهان را در محیط با مشکل مواجه کرده است با توجه به برقراری تنش خشکی و حرارتی در مزارع شرق گلستان (به‌ویژه شهرستان گنبدکاووس) پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات تنش کم‌آبی بر خصوصیات فیزیولوژیکی برخی از گونه‌های غلات سردسیری و همچنین مطالعه‌ی پاسخ‌های آن‌ها به این شرایط و در آخر معرفی گونه متحمل از بین گونه‌های موردبررسی برای منطقه مورد آزمایش اجرا گردیده است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس انجام شد. عامل اول گونه‌های غلات شامل گندم نان رقم کوهدشت (*Triticum aestivum* L.)، گندم دوروم رقم سیمره (*Triticum turgidum* L.)، جو شش ردیفه رقم صحرا، جو دو ردیفه رقم خرم، جو لخت لاین ۱۷ (*Hordeum vulgare* L.)، تریتیکاله رقم جوانیلو (*Triticosecale wittmack* L.) و عامل دوم سطوح مختلف آبیاری در سه سطح شرایط کم‌آبیاری شامل (شاهد)، متوسط (۵ روز بدون آبیاری)، شدید (۱۰ روز بدون آبیاری) بود. عملیات کاشت در اواخر آبان ماه ۱۳۹۳ انجام شد. ابتدا تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبدکاووس انجام شد. بر اساس این، خاک مزرعه دارای بافت خاک لومی سیلتی بود (جدول ۱).

بذرها در گلدان‌های پلاستیکی ۲۲ × ۱۸ سانتی‌متر حاوی خاک با ترکیبی از دوسوم خاک الک شده و یک‌سوم کود حیوانی کاشته شدند. در هر گلدان ۷ بذر در عمق سه سانتی‌متر قرار داده شد و پس از سبز نمودن، با تنک کردن تعداد سه بوته در هر گلدان باقی گذاشته شد. با توجه به آزمایش خاک و توصیه کودی و میزان کودپذیری ارقام تنها کود ازته استفاده گردید و با توجه به مساحت گلدان کود ازت در اوایل کاشت قبل از جوانه‌زنی و بعد از مرحله ساقه‌دهی به‌صورت محلول استفاده شد.

**جدول ۱. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده در آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)**

**Table 1. Some physical and chemical properties of the soil used in the experiment (0-30 cm depth)**

| هدایت الکتریکی Electrical conductivity | اسیدیته pH | کربن آلی Organic carbon | نیتروژن کل Total nitrogen | فسفر قابل دسترس Available phosphorus | پتاسیم قابل دسترس Available potassium | رس Clay | سیلت Silt | شن Sand |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (ds/m) | | ----------(%)---------- | | ----------(ppm)---------- | | ----------(%)---------- | | |
| 1.19 | 7.9 | 0.68 | 0.07 | 13.4 | 356 | 15 | 64 | 21 |

بذرها در گلدان‌های پلاستیکی ۲۲ × ۱۸ سانتی‌متر حاوی خاک با ترکیبی از دوسوم خاک الک شده و یک‌سوم کود حیوانی کاشته شدند. در هر گلدان ۷ بذر در عمق سه سانتی‌متر قرار داده شد و پس از سبز نمودن، با تنک کردن تعداد سه بوته در هر گلدان باقی گذاشته شد. با توجه به آزمایش خاک و توصیه کودی و میزان کودپذیری ارقام تنها کود ازته استفاده گردید و با توجه به مساحت گلدان کود ازت در اوایل کاشت قبل از جوانه‌زنی و بعد از مرحله ساقه‌دهی به‌صورت محلول استفاده شد. لازم به ذکر است که توصیه کودی برای غلات مورد آزمایش، متفاوت بوده و با توجه به متوسط آمار عملکرد ده‌ساله غلات و معرفی‌شده ایستگاه تحقیقات گنبدکاووس در نظر گرفته شد. کود استفاده‌شده برای گندم نان و جو لخت ۱۵ گرم در مترمربع، گندم دوروم و جو دو ردیفه ۱۲ گرم در مترمربع، جو شش ردیفه ۲۱ گرم در مترمربع و تریتیکاله ۲۴ گرم در مترمربع است. تمام گلدان‌ها روزانه تا رسیدن به ظرفیت زراعی آبیاری شدند. عملیات داشت شامل وجین به‌صورت دستی در هر گلدان، مبارزه با بیماری زنگ زرد در مرحله سنبله‌دهی با استفاده از سم تیلت (پروپیکونازول) ۵ سی‌سی در یک لیتر آب و برای مبارزه با آفات از قبیل (شته، کنه، کک و مگس) سم مالاتیون به میزان ۴ سی‌سی در نیم لیتر آب، محلول‌پاشی شد و آبیاری به‌طور دقیق در طول فصل رشد انجام گرفت. اعمال تنش خشکی در تمامی گونه‌ها در مرحله گلدهی صورت گرفت. نحوه‌ی اعمال تنش به این صورت بود که گلدان‌های شاهد همیشه در ظرفیت زراعی حفظ گردید و در مواقع ضروری آبیاری انجام می‌شد، هم‌چنین تیمارهای مختلف آبیاری به‌صورت عدم آبیاری گلدان‌ها در یک دوره ثابت در مرحله گلدهی برای کم‌آبیاری متوسط (۵ روز قطع آبیاری) و کم‌آبیاری شدید (۱۰ روز قطع آبیاری) در نظر گرفته شد. به‌طوری‌که آبیاری گلدان‌ها در طی این زمان قطع‌شده و پس‌ازآن به‌طور عادی آبیاری شدند. برای تعیین مقادیر آب در هر گلدان ابتدا مقدار ۳۰/۱۴ گرم خاک در داخل آون در درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از ۲۴ ساعت وزن خاک خشک، تعیین شد. سپس خاک خشک‌شده در گلدانی ریخته شد و به‌آرامی و تا حد اشباع آب به آن اضافه گردید. پس از خارج شدن کامل آب ثقلی، گلدان توزین شد و پس از کسر وزن گلدان و خاک خشک، مقدار آب نگهداری شده در ظرفیت زراعی تعیین و تیمارهای مختلف بر این اساس محاسبه شدند. گلدان‌ها به‌طور مرتب توزین و در هنگام نیاز به‌اندازه کاهش وزن، آب به آن‌ها اضافه شد. در پایان پس از رسیدگی کامل، بوته‌های گلدان‌ها، کف‌بر و به آزمایشگاه منتقل شد. عملکرد دانه به‌صورت تک بوته در هر گلدان محاسبه شد.

### *اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی*

در شرایط کم‌آبیاری متوسط (۵ روز قطع آبیاری) و کم‌آبیاری شدید (۱۰ روز قطع آبیاری) صفات فیزیولوژیکی شامل میزان کلروفیل، آنزیم کاتالاز از اندام سبز گیاه بر اساس روش استاندارد فیتوشیمیایی ذیل انجام شد.

**سنجش کلروفیل a و b به‌روش آرنون (Arnon, 1949)**

بدین ترتیب که مقدار ۰/۱ گرم از بافت برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون سرد ۸۰ درصد کامل له گردید. محلول حاصل با دور پایین ۱۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه (برای جلوگیری از شکست آللوکیمکال‌ها) سانتریفیوژ شد. سپس فاز محلول از فاز جامد جدا گردید و با استون سرد ۸۰ درصد به حجم معین ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. جذب نوری نمونه‌ها در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری با مدل Biochrom libera- S22 خوانده شد. سپس با استفاده از فرمول‌های زیر مقدار کلروفیلa ، b و کل برحسب میلی‌گرم در یک گرم محاسبه شد.

$$\text{Chl a} = [12.7(D663)–2.69(D645)]\times V/(1000\times W) \quad [۱]$$

Chl b = [۲]
[22.9(D645)–4.68(D663)]×V/(1000×W)

Chl T = [۳]
[20.2(D64)+80.2(D663)]×V/(1000×W)

که در آن D: میزان جذب نوری خوانده‌شده در طول‌موج مربوطه، V: حجم عصاره و W: وزن نمونه تر.

**اندازه‌گیری محتوی پرولین (Bates et al., 1973)**

۵۰۰ میلی‌گرم نمونه یکنواخت گیاهی با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد مخلوط و سپس مخلوط حاصل با کاغذ صافی، صاف گردید. ۲ میلی‌لیتر از مخلوط حاصل را در داخل لوله‌آزمایش ریخته و سپس ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال و ۲ میلی‌لیتر اسید ناین هیدرین اضافه گردید. در مرحله بعدی برای مدت یک ساعت در حمام آب جوش قرار داده شد. جهت خاتمه واکنش در بشر حاوی یخ ریخته و لوله‌آزمایش در آن قرار داده شد. ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول حاصل اضافه شد و برای مدت ۲۰ تا ۳۰ ثانیه به‌خوبی تکان داده، به‌طوری‌که لایه رویی زردرنگ تولوئن نمایان گردد. سپس این لایه جدا و به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر با مدل Biochrom libera- S22 در نقطه ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. میزان پرولین در نمونه موردبررسی با استفاده از نمودار استاندارد، برآورد شد.

**فعالیت آنزیم کاتالاز (Chans and Mahely, 1995)**

۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی با ۹۸۰ میکرولیتر از بافر فسفات سرد حاوی آب‌اکسیژنه ۲ میلی‌مولار مخلوط شدند و تغییرات جذب آن‌ها در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. میزان فعالیت کاتالاز هم برحسب واحد در میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

**اندازه‌گیری میزان قندهای محلول (Kochert, 1978)**

یک گرم از ماده خشک گیاهی برداشته و سپس ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به آن اضافه خواهد شد و به مدت یک هفته در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری خواهد گردید. تا قندهای محلول آن جدا شود. پس از یک هفته، از محلول رویی نمونه‌ها یک میلی‌لیتر برداشته خواهد شد و حجم آن با آب مقطر به ۲ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از اضافه کردن یک میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ، میزان جذب به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد. میزان قند هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گلوکز محاسبه شد.

ابتدا نرمال‌سنجی داده‌ها با نرم‌افزار Minitab Ver. 14 انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها به رویه Proc Anova و مقایسه میانگین‌ها با کمک آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD در سطح احتمال پنج درصد و ضریب همبستگی با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ (Soltani, 2004) انجام و نمودارها با نرم‌افزار Excel 2007 رسم شد.

## نتایج و بحث

### *میزان کلروفیل a*

نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد که اثر اصلی گونه‌های مختلف غلات، سطوح مختلف آبیاری و هم‌چنین اثر متقابل بین گونه‌های مختلف غلات در سطوح مختلف آبیاری بر میزان کلروفیل a معنی‌دار بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کلروفیل a در کم‌آبیاری متوسط ۵ روز به ترتیب مربوط به گندم دوروم رقم سیمره با ۰/۳۳ و جو لخت لاین ۱۷ با ۰/۱۲ میلی‌گرم بر گرم به ثبت رسید (جدول ۳).

درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کلروفیل a در کم‌آبیاری شدید (۱۰ روز) به ترتیب در گندم نان رقم کوهدشت (۰/۲۱ میلی‌گرم بر گرم) و هر دو تیمار جو لخت لاین ۱۷ (۰/۱۱ میلی‌گرم بر گرم) و گندم دورم رقم سیمره (۰/۱۲ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد (جدول ۳). بنابر نتایج به‌دست‌آمده جو لخت لاین ۱۷ در هر دو شرایط کم‌آبیاری متوسط و کم‌آبیاری شدید کم‌ترین میزان کلروفیل a را نشان داد. کاهش میزان کلروفیل aدر طی تنش کم‌آبی در اثر تخریب کلروفیل a توسط رادیکال‌های آزاد است که باعث کاهش کلروفیل a می‌شوند. در طی تنش کم‌آبی رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن فعال به دلیل فتواکسیداسیون افزایش پیدا می‌کند که باعث تخریب غشاها و پروتئین‌ها می‌شود. تفاوت در واکنش بین گونه‌های مختلف نسبت به تنش کم‌آبی را می‌توان به تفاوت‌های ژنتیکی و سطوح تحمل‌پذیری آن‌ها نسبت داد. راستی‌ثانی و همکاران (Rasti et al., 2014) و ممنوعی و سیدشریفی (Mamnoei and Sharifi, 2010) کاهش کلروفیل a طی تنش خشکی را بیان نمودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، کلروفیل a بیش‌ترین همبستگی مثبت و

**جدول ۲. میانگین مربعات صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه در غلات سردسیری تحت تأثیر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری**

**Table 2. Mean Squares of physiological traits and grain yield in cold crops under different irrigation treatments**

| منابع تغییر Source of Variation | درجه آزادی df | کلروفیل a Chlorophyll a | کلروفیل b Chlorophyll b | کلروفیل کل Total Chlorophyll | پرولین Prolin | قندهای محلول Sugar | کاتالاز Catalaz | عملکرد دانه Grain |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گونه Species (S) | 5 | 0.04** | 1.69** | 2.22** | 4468.67** | 20144.0** | 93.27** | 3.17 ** |
| کم‌آبیاری Drought (D) | 2 | 0.42** | 63.84** | 76** | 7975.13** | 3878.91** | 79.75** | 13.08** |
| گونه×کم‌آبیاری S × D | 10 | 0.01** | 0.43** | 0.63** | 463.90** | 594.12** | 6.45** | 0.022ns |
| خطا Error | 36 | 0.0003 | 0.02 | 0.006 | 9.001 | 23.61 | 0.59 | 0.30 |
| C.V (%) | ضریب تغییرات (٪) | *6.10* | *7.57* | *3.73* | *6.12* | *4.03* | *5.88* | *27.62* |

** و ns به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و علامت معنی‌دار نبودن است.

ns and**: Non-significant and significant at 1% probability levels, respectively

**جدول ۳. مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی در غلات سردسیری تحت تأثیر کم‌آبیاری**

**Table 3. Comparison of Physiological Traits in Cold Grains under Impact of Irrigation**

| تنش Stress | Species | گونه | کلروفیل a Chlorophyll a | کلروفیل b Chlorophyll b | کلروفیل کل Total chl | پرولین Prolin | قندهای محلول Soluble sugar | کاتالاز CAT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ----------(mg/g Fw)---------- | | | | | (unit/mg pro) |
| شاهد (عدم تنش) Control | Hulless barley | جو لخت | 0.24 d | 3.79 bc | 4.16 c | 12.58 d | 62.23 e | 10.04 c |
| | Khoram barley | جو خرم | 0.55 a | 4.71 a | 5.41 a | 19.53 c | 83.88 d | 12.64 b |
| | Sahra barley | جو صحرا | 0.43 b | 3.67 c | 4.10 c | 34.68 a | 58.35 e | 6.66 d |
| | Triticale | تریتیکاله | 0.56 a | 4.17 b | 4.60 b | 24.62 b | 128.43 c | 9.38 c |
| | Durum | دوروم | 0.34 c | 3.54 c | 3.78 d | 20.04 c | 145.60 b | 10.04 c |
| | Kohdasht barley | کوهدشت | 0.58 a | 4.70 a | 5.39 a | 37.39 a | 162.33 a | 15.85 a |
| | LSD 5% | | *0.04* | *0.41* | *0.21* | *4.25* | *8.23* | *1.55* |
| کم‌آبیاری متوسط (۵ روز) Moderate Stress | Hulless barley | جو لخت | 0.12 e | 0.34 e | 0.47 e | 15.83 f | 59.97 e | 11.94 c |
| | Khoram barley | جو خرم | 0.22 c | 0.57 d | 0.81 d | 60.10 d | 87.51 d | 15.45 b |
| | Sahra barley | جو صحرا | 0.17 d | 0.54 d | 0.74 d | 67.11 c | 94.20 d | 10.32 d |
| | Triticale | تریتیکاله | 0.22 c | 0.89 c | 1.11 c | 73.24 b | 135.35 c | 9.92 d |
| | Durum | دوروم | 0.33 a | 1.44 b | 1.77 b | 38.33 e | 182.70 a | 11.29 c |
| | Kohdasht barley | کوهدشت | 0.27 b | 2.15 a | 2.43 a | 98.34 a | 150.39 b | 19.48 a |
| | LSD 5% | | *0.02* | *0.10* | *0.10* | *4.04* | *8.74* | *0.89* |
| کم‌آبیاری شدید (۱۰ روز) Severe Stress | Hulless barley | جو لخت | 0.11 c | 0.33 d | 0.42 d | 16.50 e | 60.81 e | 12.91 c |
| | Khoram barley | جو خرم | 0.12 c | 0.55 c | 0.68 c | 65.83 c | 96.27 d | 16.35 b |
| | Sahra barley | جو صحرا | 0.16 b | 0.54 c | 0.70 c | 72.63 bc | 105.58 c | 10.61 d |
| | Triticale | تریتیکاله | 0.21 a | 0.62 c | 0.77 c | 76.33 b | 180.65 b | 14.37 c |
| | Durum | دوروم | 0.12 c | 0.86 b | 0.90 b | 45.02 d | 190.87 a | 17.38 b |
| | Kohdasht barley | کوهدشت | 0.21 a | 1.31 a | 1.52 a | a 103.90 | 181.57 b | 20.27 a |
| | LSD 5% | LSD 5% | *0.01* | *0.14* | *0.10* | *7.14* | *8.94* | *1.56* |

**جدول ۴. ضرایب همبستگی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه در گونه‌های غلات سردسیری تحت کم‌آبیاری**

**Table 4. Correlation coefficients of physiological traits and grain yield in cold cereal species under irrigation**

| | Traits<br>صفات | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Chlorophyll a<br>کلروفیل a | 1 | | | | | | |
| 2 | Chlorophyll b<br>کلروفیل b | 0.89 ** | 1 | | | | | |
| 3 | Chlorophyll total<br>کلروفیل کل | 0.90** | 0.99** | 1 | | | | |
| 4 | Proline<br>پرولین | -0.33* | 0.45** | 0.44** | 1 | | | |
| 5 | Sugar<br>قندهای محلول | 0.09 ns | -0.03 ns | -0.03 ns | 0.46** | 1 | | |
| 6 | Catalaz<br>کاتالاز | -0.25 ns | -0.22 ns | -0.21 ns | 0.52** | 0.44** | 1 | |
| 7 | Grain yield<br>عملکرد دانه | 0.81** | 0.79** | 0.80** | -0.22 ns | -0.06 ns | -0.23 ns | 1 |

معنی‌داری را با کلروفیل کل را داراست (r=+۰/۹۰**) درحالی‌که این صفت همبستگی منفی و معنی‌داری با میزان پرولین (r=-۰/۳۳*) داشت زیرا زمانی که گیاه با تنش مواجه می‌شود ماده پیش ساخت کلروفیل یعنی گلوتامات صرف تولید اسیدآمینه پرولین می‌شود و با افزایش میزان پرولین طی تنش خشکی مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد. (جدول ۴).

### *میزان کلروفیل b*

در این مطالعه اثر اصلی گونه‌های مختلف غلات، سطوح مختلف آبیاری و هم‌چنین اثر متقابل بین گونه‌های مختلف غلات در سطوح مختلف آبیاری بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج، بیش‌ترین میزان کلروفیل b در کم‌آبیاری متوسط و هم‌چنین در کم‌آبیاری شدید مربوط به گندم نان رقم کوهدشت به ترتیب ۲/۱۵، ۰/۳۴ بود. کم‌ترین این میزان در هر دو سطح کم‌آبیاری متوسط و شدید مربوط به جو لخت لاین ۱۷ به ترتیب ۱/۳۱، ۰/۳۳ میلی‌گرم بر گرم بود. به‌طورکلی اثر کاهشی بیش‌تری بر میزان این متغیر در اثر اعمال تیمارهای مختلف کم‌آبیاری شدید مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد کاهش میزان کلروفیل b در طی تنش کم‌آبی در اثر اکسیداسیون نوری باشد که شبیه تخریب کلروفیل a، باعث کاهش کلروفیل b در طی تنش کم‌آبی می‌شود. نتایج فعالیت‌های پژوهشی پژوهش‌گران در این رابطه نشان داده است که ارقام دارای محتوای کلروفیل بالاتر، مقاومت بیش‌تری در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند. دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی ازجمله شاخص‌های فیزیولوژیک مناسب جهت مقاومت به تنش خشکی هستند (Rasti Sani et al., 2014; Mamnoei and Sharifi, 2010). هم‌چنین بین کلروفیل b و کلروفیل a ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=+۰/۸۹**) وجود داشت (جدول ۴). بر اساس نتایج، میزان کلروفیل b بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با کلروفیل کل (r=+۰/۹۹**) داشت. درحالی‌که این صفت همبستگی منفی معنی‌داری با میزان پرولین (r=-۰/۴۵**) داشت (جدول ۴). راستی‌ثانی و همکاران (Rasti Sani et al., 2014) نیز کاهش کلروفیل b را طی خشکی در لوبیا قرمز گزارش کردند.

### *میزان کلروفیل کل*

نتایج نشان داد که میزان کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف گونه‌های غلات و تنش آبی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت، در این مطالعه اثر متقابل کم‌آبیاری و گونه‌های غلات نیز در معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین کلروفیل کل در کم‌آبیاری متوسط در دامنه‌ای بین ۲/۴۳ و ۰/۴۷ میلی‌گرم بر گرم بود. بیش‌ترین و کم‌ترین این میزان به ترتیب مربوط به گندم نان

رقم کوهدشت و جو لخت لاین ۱۷ بود. نتایج در کم‌آبیاری شدید بر میزان کلروفیل کل ارقام مشابه اثر آن‌ها در تنش متوسط بود (جدول ۳). کلروفیل کل با کلروفیل a (r=+۰/۹۰**) و کلروفیل b (r=+۰/۹۹**) بیش‌ترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار را نشان داد. در این مطالعه، همبستگی منفی و معنی‌داری بین کلروفیل کل و میزان پرولین (r=+۰/۴۴**) وجود داشت. درحالی‌که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این صفت و عملکرد (r=+۰/۸۰**) مشاهده شد (جدول ۴). ازآنجایی‌که پرولین و کلروفیل هر دو از پیش ماده مشترکی به نام گلوتامات سنتز می‌شوند، افزایش غلظت پرولین در شرایط تنش کمبود آب می‌تواند ازجمله عوامل مؤثر بر کاهش غلظت رنگ‌دانه‌ها باشد (Kafi and Damghani, 2000). احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2005) بیان نمودند تنش کم‌آبی در گیاه کلزا باعث کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل در مقایسه با تیمار شاهد شد. ممنوعی و سیدشریفی (Mamnoei and Seyed Sharifi, 2010) نیز در مطالعات خود کاهش کلروفیل کل طی تنش خشکی را گزارش نمودند.

### *میزان اسیدآمینه پرولین*

نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد که اثر اصلی گونه‌های مختلف غلات، سطوح مختلف آبیاری و هم‌چنین اثر متقابل بین گونه‌های مختلف غلات در سطوح مختلف آبیاری بر میزان پرولین معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان پرولین در کم‌آبیاری متوسط مربوط به گندم نان رقم کوهدشت و جو لخت لاین ۱۷ به ترتیب ۹۸/۳۴ و ۱۵/۸۳ میلی‌گرم بر گرم بود. نتایج اثر کم‌آبیاری شدید بر میزان این صفت مشابه اثر کم‌آبیاری متوسط بود (جدول ۳). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان پرولین بیش‌ترین ضریب همبستگی را با آنزیم کاتالاز (r=+۰/۵۲**) داشت (جدول ۴). افزایش در میزان پرولین ازجمله واکنش‌هایی است که گیاهان مختلف برای کاهش پتانسیل اسمزی خود و مقابله با تنش خشکی از خود بروز می‌دهند. پرولین یک عامل محافظت‌کننده از آنزیم‌ها و ساختمان‌های درون‌سلولی، از بین برنده رادیکال‌های آزاد و یا یک ترکیب ذخیره‌ای کربن و نیتروژن برای بازیافت سریع در شرایط تنش کم‌آبی است. همبستگی بین پرولین و آنزیم کاتالاز به این دلیل است که آنزیم کاتالاز همانند پرولین یکی از مهم‌ترین آنزیم‌ها در محافظت از سلول در مقابل آلودگی اکسیدی به‌وسیله آب‌اکسیژنه است. افزایش در میزان پرولین، احتمالاً به دلیل افزایش در فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوکتاز و گلوتامین سنتتاز و فعال شدن آنزیم‌های درگیر در سنتز پروتئین‌های شوک حرارتی باشد (Ahmadi et al., 2005). چنین تنش‌هایی سبب افزایش سنتز برخی از پروتئین‌ها و کاهش سنتز عده‌ای دیگر از آن‌ها می‌شود. نتایج باقری و همکاران (Bagheri et al, 2002) نشان داد که محتوای پرولین در گیاهانی که در معرض تنش خشکی قرار گرفتند به‌شدت افزایش یافت.

### میزان قندهای محلول

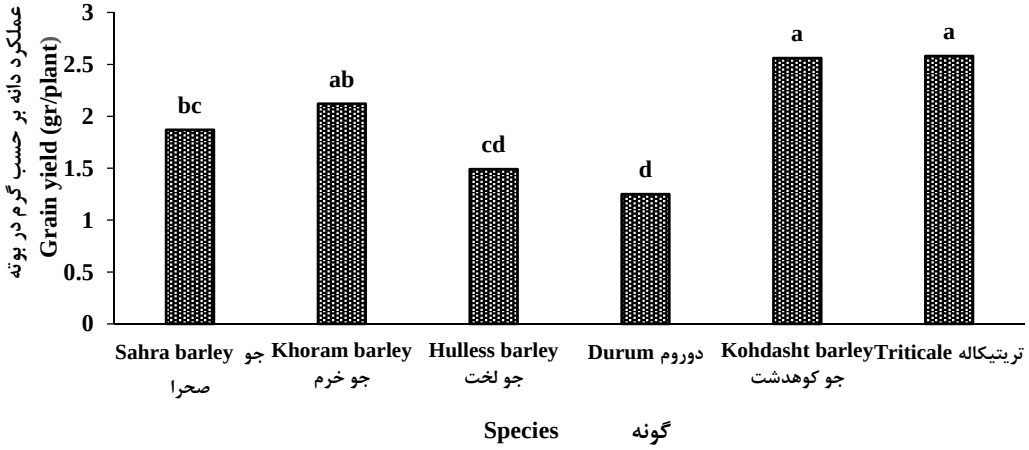
بر اساس نتایج، اثر اصلی گونه‌های مختلف غلات، سطوح مختلف آبیاری و هم‌چنین اثر متقابل بین گونه‌های مختلف غلات در سطوح مختلف آبیاری بر صفت میزان قندهای محلول معنی‌دار بود. بر اساس نتایج، دامنه تغییرات قندهای محلول در کم‌آبیاری متوسط بین ۵۹/۹۷ تا ۱۸۲/۷۰ میلی‌گرم برگرم و در کم‌آبیاری شدید بین ۶۰/۸۱ تا ۱۹۰/۸۷ میلی‌گرم برگرم وزن خشک بود که بیش‌ترین و کم‌ترین آن به ترتیب در تنش متوسط و شدید مربوط به گندم دوروم رقم سیمره و جو لخت لاین ۱۷ بود (جدول ۳). قندهای محلول همبستگی مثبت و معنی‌داری را با میزان کاتالاز (r=+۰/۴۴**) داشتند (جدول ۴). زهنگ و همکاران (Zhang et al., 2010) گزارش کردند که تنش کمبود آب می‌تواند باعث افزایش قندهای محلول، افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز و هیدرولیز نشاسته به قندهای ساده و کند شدن انتقال قندها از برگ به سایر مراکز رشد شود، هم‌چنین با افزایش کمبود آب بر مقدار کربوهیدرات‌های محلول افزوده می‌شود بنابراین در اثر تنش خشکی میزان نشاسته کاهش ولی قندهای محلول افزایش می‌یابد. طی تنش کم‌آبی به دلیل تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول، سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی و متوقف شدن رشد این ترکیبات در گیاه افزایش می‌یابد. بارتلز و همکاران (Bartels and Sunkar, 2005) نیز گزارش نمودند که در شرایط تنش، قندها از سلول‌ها از طریق تنظیم اسمزی و نگه‌داری تورژسانس و هم‌چنین پایداری غشاها و پروتئین‌ها محافظت می‌کنند که نتیجه‌ی آن کاهش میزان نشاسته و افزایش قندهای محلول است.

### فعالیت آنزیم کاتالاز

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر گونه‌های مختلف غلات و شرایط کم‌آبیاری قرار گرفت، در این مطالعه اثر متقابل کم‌آبیاری و گونه‌های غلات نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که دامنه تغییرات آنزیم کاتالاز در کم‌آبیاری متوسط (۵ روز) بین ۹/۹۲ تا ۱۹/۴۸ بود که کم‌ترین و بیش‌ترین آن به ترتیب مربوط به تریتیکاله رقم جوانیلو و گندم نان رقم کوهدشت بود (جدول ۳). هم‌چنین دامنه تغییرات آنزیم کاتالاز در کم‌آبیاری شدید (۱۰ روز) بین ۱۰/۶۱ تا ۲۰/۲۷ بود که به ترتیب مربوط به جو شش ردیفه رقم صحرا و گندم نان رقم کوهدشت بود (جدول ۳). بر اساس نتایج، آنزیم کاتالاز بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۴)؛ بنابراین می‌توان گفت که با افزایش شرایط کم‌آبیاری میزان پرولین و آنزیم کاتالاز افزایش می‌یابند.

### عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی گونه‌های غلات، تیمارهای مختلف کم‌آبیاری بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر متقابل گونه و کم‌آبیاری معنی‌دار نبود. در بین گونه‌های غلات بیش‌ترین عملکرد دانه در تریتیکاله و کوهدشت و کم‌ترین عملکرد دانه در گندم دوروم بود که مرتبط با تفاوت ژنتیکی در بین گونه‌ها است (شکل ۱).



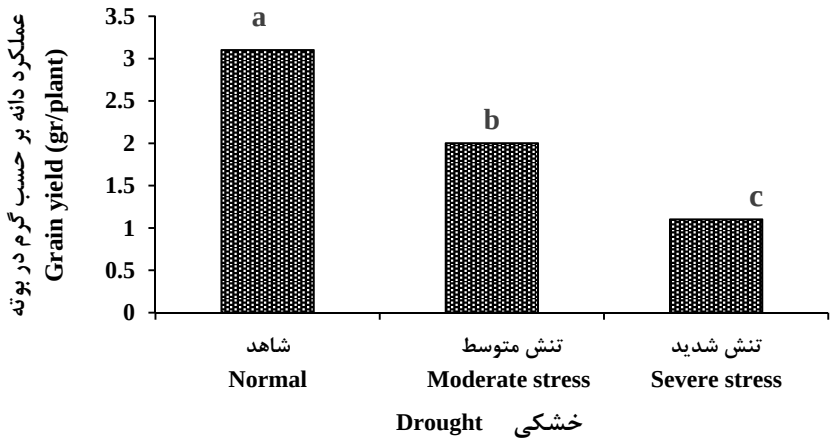

**شکل ۱. مقایسه میانگین گونه‌های غلات ازنظر عملکرد دانه در بوته**

**Fig. 1. Comparison of the average of grain species per grain yield per plant**

هم‌چنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از ضرایب همبستگی، عملکرد دانه، بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با کلروفیل a (r=+۰/۸۱**)، کلروفیل b (r=+۰/۷۹**) و کل (r=+۰/۸۰**) را داشت (جدول ۴)، اما با صفات پرولین، قندهای محلول و آنزیم کاتالاز همبستگی منفی ولی غیر معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). بر اساس تحقیقات انجام‌شده توسط پژوهش‌گران، حساس‌ترین مرحله گندم به خشکی، مرحله گلدهی و دانه‌بندی است (Behnia, 1998). عبدلی و همکاران (Abdoli et al., 2003) گزارش کردند که اعمال تنش خشکی پس از گرده‌افشانی باعث کاهش عملکرد دانه و وزن ۱۰۰۰ دانه شد.

مقایسه میانگین سطوح مختلف کم‌آبیاری نیز نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه در بوته مربوط به تیمار عدم تنش خشکی بود درحالی‌که بین دو سطح خشکی متوسط و شدید تفاوت چندانی مشاهده نشد (شکل ۲).

ازآنجایی‌که اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی صورت گرفت بیش‌تر بودن عملکرد دانه در شاهد یا شرایط نرمال به این دلیل است که شرایط رطوبتی برای تشکیل دانه مناسب بوده و دانه‌بندی به‌طور طبیعی صورت گرفته است و هیچ‌گونه محدودیتی برای گونه‌ها ازنظر تشکیل دانه وجود نداشته است.




**شکل ۲. مقایسه میانگین سطوح مختلف کم‌آبیاری ازنظر عملکرد دانه در بوته**

**Fig. 2. Comparison of mean different levels of irrigation in terms of grain yield per plant**

## نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج تحقیق در این آزمایش، سطوح مختلف تنش خشکی باعث واکنش متفاوتی بین گونه‌های غلات گردید. به‌طوری‌که با افزایش مدت‌زمان اعمال کم‌آبیاری میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در بین گونه‌های غلات نسبت به شاهد کاهش نشان دادند، نتایج فعالیت‌های پژوهشی پژوهش‌گران در این رابطه نشان داده است که تنش خشکی باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود که طی آن محتوی کلروفیل کاهش می‌یابد و ارقام دارای محتوای کلروفیل بالاتر، مقاومت بیش‌تری در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند. دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی ازجمله شاخص‌های فیزیولوژیک مناسب جهت مقاومت به تنش خشکی هستند شاید یکی از دلایل تفاوت در نتایج مشاهده‌شده، اختلاف درشدت و مدت تنش باشد، اما با افزایش مدت‌زمان کم‌آبیاری میزان پرولین، آنزیم کاتالاز، قندهای محلول در بین گونه‌های غلات افزایش یافتند. قندهای محلول گروهی از اسمولیت‌های سازگارند که در شرایط خشکی تجمع یافته و به‌عنوان عامل یا محافظت اسمزی عمل می‌نامند و افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به علت توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی هم‌چنین تخریب قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول نیز می‌شود. هم‌چنین در شکل (الف و ب) به‌وضوح تأثیر کم‌آبیاری را بر عملکرد دانه در بین گونه‌های غلات نشان داد؛ بنابراین واکنش صفات فیزیولوژیکی موردبررسی در سطوح مختلف کم‌آبیاری یکسان نبوده است و تفاوت در واکنش گونه‌های غلات را می‌توان به تفاوت‌های ژنتیکی و سطوح تحمل‌پذیری آن‌ها نسبت داد. درمجموع نتایج نشان داد که سطوح مختلف کم‌آبیاری اثر کاهشی کم‌تری بر صفات کلروفیلی گندم رقم کوهدشت نسبت به سایر غلات و شاهد داشت. از طرفی از میزان پرولین و کاتالاز بیش‌تری برخوردار بوده است؛ بنابراین با توجه به برقراری تنش خشکی و حرارتی در مزارع شرق گلستان (به‌ویژه شهرستان گنبدکاووس) در هنگام گلدهی، شاید بتوان گندم نان رقم کوهدشت را به‌عنوان رقم مقاوم جهت کشت معرفی نمود. البته در نظر گرفتن و برآورد سایر صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی مرتبط، جهت معرفی رقم ضرورت دارد.

## منابع

Abdoli, M., Saeedi, M., Jalalienrand, S., Mansourifar, C., Ghobadi, M., 2003. Study of some physiological and biochemical traits and their relationship with yield and its components in bread wheat cultivars under post-pollination conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 1 (6), 63-47. [In Persian with English summary].

Ahmadi, M.A., Manuchehri, K.Kh., Torkzadeh, M., 2005. Effects of 24-epibrassinolide on lipid peroxidation, prolin, sugar and photosynthesis

pigments content of colza (*Brassica napus* L.) under water stress. Iranian Journal of Biology. 18 (4), 295-306. [In Persian with English summary].

Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24, 1-15.

Bagheri, A., Mahmoudi, A., Ghezli, F. D., 2003. Cultivation and Breeding of Beans. Mashhad University Press. 556p. [In Persian].

Bartels, D, Sunkar, R., 2005. Drought and salt tolerance in plants. Critical Reviews in Plant Sciences. 24, 23-58.

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

Behnia, M., 1998. Cold Cereals. Tehran University Press. Second edition. 610p. [In Persian].

Chance, B., Maehly, A.C., 1955. Assay of Catalase and Peroxidase. Methods in Enzymology. 2, 764-775.

FAO, 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nation, http://apps.fao.or

FAO, 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nation, http://apps.fao.or

Farahvash, F., Mirshekari, B., Abbasi Seyahjani, E., 2011. Effects of water deficit on some traits of three sunflower cultivars. Middle East Journal of Scientific Research. 5, 584-587.

Hassanpour, K., Ahmadi. J., daneshiyan, J., 2015. Changes in Chlorophyll, Protein and Antioxidant Enzymes on Durum Wheat under Drought Stress. Journal of Crop Breeding. 7(15), 76-87. [In Persian with English summary].

Kabiri, R., Nasibi, F., Farahbakhsh, H., 2013. Study of some oxidative parameters due to drought stress in black currant. Process and Plant Function. 2(1), 11 -20.

Kafi, M., Damghani, A., 2000. Mechanism of Environmental Stress Resistance in Plants. Ferdowsi University of Mashhad. 279, 467 pages.

Khadem, S.A., Ramroudi, M., Galavi, M., Rousta, M.J., 2011. The effect of drought stress and different rates of animal manure with super absorbent polymer on grain yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Field Crop Science. 42 (1), 115-123. [In Persian with English summary].

Koocheki, A., 2003. Some aspects of drought resistance in sorghum. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 2, 81-77. [In Persian with English summary].

Kochert, G., 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. Pp. 96-97. In: Helebust, J.A., Craig, J.S. (eds.), Handbook of Physiological Methods, Cambridge University. Press, Cambridge, 96-97.

Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishorekumer, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M., Panneerselvam, R., 2015. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Journal of Plant Nutrition. 59, 141-149.

Mamnoei, E., Seyed Sharifi, R., 2010. Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. Journal of Plant Biology. 5, 51-62. [In Persian with English summary].

Mouloody, A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., 2014. The effect of different amounts of nitrogen and water deficits tension on yield, yield components and some physiological indicators in spring barley. Crop Physiology Journal. 6, 29-40. [In Persian with English summary].

Moghadam, M., Alirezaee, M., Salahvarzi, Y., goldani, M., 2014. The effect of drought stress on some morphological and physicochemical characteristics of three cultivars of basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Journal of Horticultural Science. 46(3), 509-521.

Mura, A., Pintus, F., Medda, R., Floris, G., Rinaldi, A C., Padiglia, A., 2007. Catalase and antiquitin from *Euphorbia characias*, two proteins involved in plant defense. Biochemistry. 72, 501-508.

Omidi, H., Movahadi, F., Movahadi, S. H., 2012. The effect of salicylic acid and scarification on germination characteristics and proline, protein and soluble carbohydrate content of Prosopis (*Prosopis farcta* L.) seedling under salt stress. Iranian Journal of Range and Desert Research. 18 (4), 608-623

Sadat Rasti Sani, M., Lahouti, M., Ganjeali, A., 2014. Effect of drought stress on some morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Pulses

Research. 5, 103-116. [In Persian with English summary].

Sadeghipour, O., Aghaei, P., 2014. Investigation the effect of drought stress and magnetized water on yield and yield components of mung bean. Journal of Crop Production Research. 6 (1), 79-86. [In Persian with English summary].

Soltani, A. 2004. Application of SAS Software in Statistical Analysis. Mashhad University Press. 1384. [In Persian].

Zhang, KM., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., Xia, X. J., 2010. Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. Plant Science. 179(3), 202-208.