



## "مقاله پژوهشی"

# مقایسه بین رنگیزه‌های فتوستنتزی، تنظیم‌کننده‌های اسمزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ارقام نیمروز و نومار جو بومی منطقه سیستان تحت تنش خشکی

لیلا فهمیده<sup>۱</sup>، ایوب مزارعی<sup>۲</sup>، شهین مددی<sup>۳</sup> و پریسا پهلوان<sup>۴</sup>

- ۱- دانشیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
(نویسنده مسؤول: l.fahmideh@gau.ac.ir)  
۲- دانشجوی دکتری بیوتکنولوژی، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه کشاورزی زابل، ایران  
۳- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران  
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۱  
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸

صفحه: ۵۱ تا ۶۲

## چکیده

خشکی یکی از مهمترین تنش‌هایی است که از رشد گیاهان ممانعت نموده و با ایجاد اختلال در تعادل بین تولید گونه‌های فعلی اکسیژن و فعالیت‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان گیاه، سب ایجاد تنش اکسیداتیو و واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک متفاوتی در گیاهان می‌گردد. بنابراین، ارزیابی تحمل به خشکی گیاهان بهمنظر کشت در مناطق خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسه دو رقم جو بومی منطقه سیستان براساس اندازه‌گیری برخی خصوصیات فیزیولوژیکی، میزان رنگیزه‌های آنتی‌اکسیدانی، رنگیزه‌های فتوستنتزی، میزان پروتئین، محتوی نسبی آب برگ (RWC) و همچنین برخی تنظیم‌کننده‌های اسمزی تحت تنش خشکی بود. این آزمایش بهصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تحقیقاتی مرکز زیست‌فناوری کشاورزی دانشگاه زابل و بهصورت گلدانی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و دو رقم جو بومی منطقه سیستان (نیمروز و نومار) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر رقم، تنش خشکی و پرهمنش رقم و تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر صفات مورد بررسی معنی دار شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش سطوح تنش خشکی نسبت به سطح نرمال، میزان رنگیزه‌های فتوستنتزی، محتوی نسبی آب برگ و پروتئین کاهش یافت ولی غلظت پرولین و کربوهیدرات، میزان کاروتونوئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اسکوربات پراکسیداز، بلیفول اکسیداز و کاتالاز افزایش یافت. بر اساس نتایج برهم‌کنش رقم و تنش خشکی، مشخص شد که رقم نیمروز عکس العمل بهتری از نظر میزان پروتئین، محتوی نسبی آب برگ، کاروتونوئید، تنظیم‌کننده‌های اسمزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و اسکوربات پراکسیداز نسبت به رقم نومار در طول تنش خشکی نشان داد. در حالی که رقم نومار دارای بالاترین میانگین از نظر میزان کلروفیل <sup>a</sup>، کلروفیل <sup>b</sup>، پرووفیل کل، پروتئین و آنزیم پلیفلن اکسیداز نسبت به رقم نیمروز در طول تنش خشکی بود.

واژه‌های کلیدی: ارقام جو، محتوی نسبی آب برگ، میزان پروتئین، واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک

## روزنده‌ها، کاهش فتوستنتز تخریب آنزیم‌ها و پروتئین‌ها (۶۸)،

تعریف (۴۳) و تغییر در سنتز پروتئین (۴۵) می‌شود.

گیاهان در مواجهه با کمبود آب از ساز و کارهای مختلفی سود می‌جویند. تنظیم اسمزی و افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از مهمترین ساز و کارها به‌شمار می‌رود. در شرایط تنش خشکی وقتی پتانسیل آب خاک کاهش می‌یابد، برای حفظ قدرت جذب آب داخل ریشه‌ها، مکانیسم تنظیم اسمزی فعال می‌شود که با هدف، حفظ تورژسانس سلولی، تداوم جذب از محیط ریشه و پایداری غشاها صورت می‌گیرد (۵۴). مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی بیشتر شامل یون‌های غیرآلی (مثل پتاسیم، کلسیم و کلر) و ترکیبات غیر باردار آلی (مثل اسیدهای آمینه، قندها و کربوهیدرات‌ها، هورمون‌ها و پروتئین‌ها) هستند (۵۷).

پرولین یکی از اسیدآمینه‌های فعال در پدیده تنظیم اسمزی است که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به‌سزایی دارد (۵۷). پرولین در همه اندام‌های گیاه در طی تنش خشکی تجمع می‌یابد ولی سریع ترین

## مقدمه

جو (Hordeum vulgare L.) از مهمترین گونه‌های زراعی غلات است و در بیش از صد کشور جهان به عنوان یک گیاه سودآور کشت می‌شود و پس از گندم، برنج و ذرت بیشترین میزان تولید را داشته و نزدیک به ۳۰ درصد تولیدات غله جهان را به‌خود اختصاص داده است (۳۸،۲۳). یکی از مهمترین عوامل محدودکننده کاهش رشد و عملکرد گیاهان در بین تنش‌های غیرزندۀ، تنش خشکی است که هر ساله خسارت‌های زیان‌باری بر رشد رویشی و زایشی محصولات زراعی و باگی در جهان (۸۳) و به‌ویژه ایرانکه به عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، وارد می‌کند (۴۶،۱۹). تنش‌خشکی موجب تغییرات مورفوژیکی، فیزیوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان می‌گردد و واکنش گیاهان به تنش خشکی وابسته به میزان کمبود آب است (۶۹). تنش ناشی از کمبود آب سبب کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه از جمله ریشه‌ها و اندام‌های هوایی که شامل کاهش سطح برگ، ارتفاع، وزن خشک (۵۹)، بسته‌شدن

حوزه تحقیقات وسیعی را برای بهبود عملکرد گیاهی می‌طلبد (۵۶). لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسه اثر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم جو بومی منطقه سیستان (نیمروز و نومار) انجام شد.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق اثر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام جو، در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به صورت گلدانی مورد بررسی قرار گرفت. گلدان‌های مورد استفاده‌های نوچ ۲۰ پلاستیکی با قطر دهانه ۲۳ سانتی‌متری و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر بودند. تیمارهای آزمایشی شامل دو رقم جو بومی منطقه سیستان (نیمروز و نومار) و سطوح مختلف تنش خشکی شامل: آبیاری کامل (ظرفیت زراعی)، آبیاری در زمان تخلیه ۵۰ و ۷۵ درصد آب قابل استفاده خاک بود. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از دستگاه TDR استفاده شد (۲۸).

بذرهای مورد نظر از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان زابل تهییه و در ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در آزمایشگاه تحقیقاتی مرکز زیست‌ناوری کشاورزی دانشگاه زابل و به صورت گلدانی کشت شد. در هر گلدان ۱۰ عدد بذر کاشته شد و بعد از رسیدن بوته‌ها به مرحله ۳ الی ۴ برگی عمل تنک کردن انجام و درون هر گلدان ۵ بوته یکسان نگهداری شد. پس از استقرار کامل بوته‌ها در مرحله گیاهچه‌ای (مرحله ۳ الی ۴ برگی بودن گیاهچه‌ها) تیمارهای تنش خشکی به مدت زمان سه هفته اعمال شد. نمونه‌برداری از همه برگ‌های گیاه (مخلوطی از همه برگ‌های گیاه) بعد از اعمال تنش و در یک‌زمان انجام شد. صفات مورد بررسی شامل میزان پرولین، رنگیزه‌های فتوستتری (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتونوئید)، میزان کربوهیدرات، محتوی نسبی آب برگ، میزان پروتئین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌های CAT، PPO و APX بود.

### اندازه‌گیری میزان پرولین:

ابتدا مقدار ۰/۱ گرم بافت برگی با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد محلول و محلول حاصل پس از صاف کردن با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد و سپس دو میلی‌لیتر از عصاره به دو میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید گلساپیل استیک خالص اضافه گردید. پس یک ساعت قرار گیری لوله‌ها در بن‌ماری، مقدار چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر کدام از لوله‌ها اضافه و به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتكس گردیدند. پس از تشکیل دو بخش جداگانه، بخش بالایی رنگی (به رنگ زرد متمایل به قرمز)، با دقت جدا و بواسیله دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان پرولین با استفاده از منحنی استاندارد و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (۱۰).

### محتوای رنگیزه‌های فتوستتری برگ:

باروش Prochazka و همکاران (۷۰) و از فرمول‌های زیر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

انباشت را در برگ‌ها دارد (۳۹). میزان پرولین آزاد در گیاهانی که در حد مطلوب آبیاری می‌شوند بسیار کم و در حدود ۰/۶-۰/۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک است. مقدار این ماده پس از کاهش آب بافت‌ها تا ۴۰-۵۰ میلی‌گرم در هر گرم ماده خشک افزایش می‌یابد (۷۱). پرولین در شرایط تنش علاوه بر حفظ تعادل اسمزی گیاه به عنوان پایدارکننده پروتئین‌ها، کلاتکننده فلزی، مهارکننده پراکسیداسیون لیپیدی و حذف کننده رادیکال‌های آزاد شناخته می‌شود (۶۱).

تنش خشکی با برهم‌زن تعادل بین تولید محصولات نوری فتوستتر و مصرف آن‌ها توسط چرخه کالوین یا کاهش نسبت  $H^+$ /NADP<sup>+</sup>/NADPH، تولید انواع اکسیژن فعال (ROS) را در کلروپلاست افزایش می‌دهد (۸۸). رادیکال سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیلان مهمترین انواع اکسیژن فعال هستند که تولید آن‌ها به نگام تنش خشکی افزایش می‌یابد. گونه‌های فعال اکسیژن از طریق پراکسیداسیون لیپیدهای، تخریب پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک موجب جهش در توالی نوکلئوتیدها، پراکسیداسیون لیپیدی و دناتوره شدن ترکیبات یاد شده می‌گردد. برایند این آسیب سبب اختلال متabolیسمی و در نهایت بروز تنش اکسیداتیو خواهد شد (۹۱). همچنین، این ترکیبات ضمن آسیب به کلروفیل و تخریب آن سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های بی‌فسفاتاز در چرخه کالوین در پی تجمع پراکسید هیدروژن می‌گردد (۴). در پژوهشی حسن پور لسکوکلایه‌هو همکاران (۳۷) اثر تنش خشکی را بر پنج رقم گندم دوروم آریا، دنا، سمیره، کرخه و D-79-15 برسی و بیان کردند طی تنش خشکی میزان رنگیزه‌های گیاهی کاهش می‌یابد، به طوری که بیشترین میزان کلروفیل‌های a، b و کل طی شرایط نرمال مربوط به رقم آریا بود.

سلول گیاهی برای مقابله با اثرات منفی ناشی از انواع اکسیژن فعال به مکانسیم‌های دفاعی ویژه‌ای مشکل از آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی (اسکوربات، گلوتاتیون، آتوسیانین، ترکیبات فولی و فلاونوئیدی و....) و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی (کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و برخی دیگر) مجهز هستند. از همکاری آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، چرخه‌های گلوتاتیون-اسکوربات، ملهر و گرانتوفیل به وجود می‌آیند که مانع از تولید انواع اکسیژن فعال می‌شود و یا آن‌ها را به طور کامل احیا و به آب تبدیل می‌کند (۳۲). در پژوهشی که قلی‌پور و عبادی (۲۹) بر رویرقم‌های گندم انجام دادند بیان کردند با افزایش سطوح تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز افزایش می‌یابد.

طبق نظر Shao و همکاران (۷۷) تنش خشکی مهم‌ترین تنش غیرزنده است که بر رشد، توسعه و عملکرد گیاهان به شدت تأثیر دارد. هچنین کم‌آبی نه تنها در اثر کمبود آب، بلکه در اثر تنش‌هایی مثل دمای پایین یا شوری نیز حاصل می‌شود، بنابراین در این فرآیندها فعل و افعالات و ترکیبات مولکولی زیادی دخالت دارند. همه این تنش‌ها واحد یک اثر منفی بر روی تولید و عملکرد گیاه می‌باشند که این خود،

برگی با استفاده از هاون چینی کاملاً سرد و نیتروژن مایع هموژن شده و سپس به آن ۵ میلی لیتر بافر فسفات سرد (pH=۷/۵) محتوی ۰/۵ میلی مولار EDTA اضافه شد. نمونه‌ها پس از انتقال به لوله‌های آزمایش با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند.

**سنجدش آنزیم کاتالاز:** برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز با روش Sizer و (11) (Beers), ابتدا ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۶۰۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم آنزیمی، ۱۵/۰ میکرولیتر EDTA ۵۴۹/۸۵ pH=۷) مقدار را در تیوب ریخته و ۳۸۲/۵ میکرولیتر آب اکسیژنه به آن اضافه شد ۳۸۲/۵ میکرولیتر آب اکسیژنه را در ۲/۵ سی سی آب مقطر ریخته که آب اکسیژنه ۰/۷۵ مولار به دست آید، سپس ۳۰ میکرولیتر در محلوت واکنش ریخته شد تا آب اکسیژنه ۱۵ میلی مولار به دست می‌آمد) و بلافلسله در دستگاه طیفسنج نوری با طول موج ۲۴۰ نانومتر میزان جذب آن ثبت گردید و پس از سپری شدن زمان یک دقیقه دوباره میزان جذب یادداشت گردید و سپس میزان آن بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

**سنجدش آنزیم اسکوربات پراکسیداز:** برای سنجدش فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز بر اساس روش Nakano و همکاران (۶۶) مقدار ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۳۷/۵ میکرولیتر اسکوربات، ۱۸/۸۵ میکرولیتر آب در تیوب ریخته شد و ۱۵۳ میکرولیتر آب اکسیژنه به آن اضافه شد (آب اکسیژنه ۰/۵ میلی مولار = ۱۵۳ میکرولیتر آب اکسیژنه را در ۱ سی سی آب ریخته که آب اکسیژنه ۱/۵ مولار به دست آید سپس ۱۰۰ میکرولیتر از آن برداشته و به حجم ۱۰ سی سی رسانده شد) و بلافلسله در دستگاه طیفسنج نوری با طول موج ۲۹۰ نانومتر، میزان جذب آن یادداشت و پس از سپری شدن مدت زمان یک دقیقه، به ضریب خاموشی مولی این واکنش که برابر ۲۸۰ میلی مول بر سانتی متر است تقسیم شد و در نهایت میزان آنزیم اسکوربات پراکسیداز بر حسب میلی گرم بر وزن تر بیان شد.

**سنجدش آنزیم پلی فل اکسیداز:** فعالیت آنزیم پلی فل اکسیداز بر اساس روش Mishra و (47) (Kar) (Kard) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ابتدا ۲/۸ میلی لیتر بافر فسفات پتابسیم، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی و ۱۰۰ میکرولیتر پیرو گالول اضافه گردید. تغییرات جذب نور در طول موج ۴۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. تعیین فعالیت آنزیم پلی فل اکسیداز بر اساس تولید پورپور گالین محاسبه شد که ضریب خاموشی این تبدیل برابر با ۲/۷۴ لیتر بر میلی مول بر سانتی متر است. پس از اندازه‌گیری صفات مورد بررسی، داده‌های حاصله بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار تجزیه واریانس و مقایسه میانگین (روش دانکن) شدند. برای این منظور از نرم افزار EXCELL و SAS ver 9.1 استفاده شد.

$$[1] \text{Chlorophyll a} = (19.3A_{663} - 0.86A_{646})V/100W$$

$$[2] \text{Chlorophyll b} = (19.3A_{646} - 3.6A_{663})V/100W$$

$$[3] \text{Total Chlorophyll} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

$$[4] \text{Carotenoides} = ((1000 * A_{470}) - (3.27 * \text{mg chl. a}) - (104 * \text{mg chl. B})) / 227$$

**اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC):** ابتدا از گیاه، نمونه‌های برگی تهیه و از برگ‌ها ۵ قطعه به مساحت تقریبی ۱۰-۹ میلی متر مریع تهیه و سریعاً وزن تازه آنها (WF) تعیین گردید. سپس تکه‌های برگ در پتوی های درب دار داخل آب مقطر در شرایط آزمایشگاه و نور کم به مدت ۴ ساعت شناور شدند، پس از این مدت تکه‌های برگ از آب مقطر خارج و سطح آن‌ها به آرامی بوسیله دستمال کاغذی خشک و سریعاً وزن آماس آن‌ها (WT) تعیین شد. بعد از آن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد در آون قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها (WD) گرفته شد و سپس میزان محتوای آب نسبی برگ از رابطه زیر و بر حسب درصد محاسبه شد (۲۵).

$$(معادله ۱) RWC = [(WF - WD) / (WT - WD)] \times 100$$

**اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول:** جهت اندازه‌گیری کربوهیدرات، ۰/۲ گرم بافت سبز گیاه به همراه ۱۰ سی سی الکل اتانول ۹۵٪ به مدت ۱ ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد و پس از سرد شدن ۱ سی سی از نمونه‌ها برداشت شد و به آن ۱ سی سی فلن ۵ درصد و ۵ سی سی اسید سولفوریک ۹۸٪ اضافه گردید و در نهایت با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر UV - ۱۶۰ طول موج ۴۸۳ نانومتر خوانده و میزان آن بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (۴۲).

**اندازه‌گیری میزان پروتئین:** ابتدا ۰/۵ گرم نمونه تر برگی را در هاون چینی کوییده و سپس ۳ میلی لیتر بافر استخراج که شامل ۵ میلی لیتر تریپس-اسید کلریدریک یک مولار، ۲۰۰ میکرولیتر Na<sub>2</sub>EDTA یک مولار و ۰/۰۴ درصد (۲-۷/۷) مرکاپتو اتانول) می‌باشد محلوت شده و مخلوط حاصل به مدت ۲۱ دقیقه با سرعت ۱۱۵۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شد. سپس برای خارج کردن تمام ناخالصی‌های موجود در نمونه، قسمت بالایی داخل لوله مجدداً به مدت ۲۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و ۵۰۰۰ میکرولیتر از محلول برادرفورد و ۲۹۰ میکرولیتر بافر استخراج و ۱۰ میکرولیتر عصاره استخراج را محلوت کرده و بعد از ورتسکس میزان جذب در طول موج ۵۹۵ نانو متر قرائت شد. میزان پروتئین بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (۱۵).

**اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی عصاره آنزیمی:** تهیه عصاره آنزیمی به روش Sairam و همکاران (۷۴) انجام شد، در این روش ۰/۵ گرم از نمونه

به طور قابل توجهی افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان این رنگیزه طی تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که با یافته‌های مطالعه محققان در گندم (۲۱) و ترتیکاله (۴۰) مبنی بر اینکه با افزایش شدت تنش میزان کاروتونوئید افزایش می‌یابد هم خوانی دارد. افزایش کاروتونوئیدها طی تنش خشکی ممکن است به دلیل نقش آنتی‌اکسیدانی بالای آن باشد که سبب خشی کردن اثر سمی گونه‌های اکسیژن فعال شده و محافظت از سیستم جمع‌کننده نوری دستگاه فتوستتری می‌شود و از طریق مکانیسمی که چرخه گرانتوفیل نامیده می‌شود، باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون می‌گردد (۴۱).

#### محتوی نسبی آب برگ

یافته‌های حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که محتوای نسبی آب برگ تحت تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی، رقم و برهم‌کنش آنها قرار گرفت و اختلاف از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین برهم‌کشن اثرات متقابل رقم در هر سطح تنش نشان داد که بیشترین میزان محتوی نسبی برگ مربوط به رقم نیمروز بود که طی آبیاری کامل حاصل شد (جدول ۲).

محتوی نسبی آب برگ در حقیقت برآورده از وضعیت آب گیاه است و توانایی یک رقم را در جذب آب از خاک نشان می‌دهد (۶) و به دلیل وجود رابطه نزدیک با سرعت تعرق به عنوان یک شاخص قابل اطمینان برای شناسایی ژنوتیپ‌های متتحمل به خشکی شناخته شده است (۴۸) و کاهش آن از بازترین علایم فیزیولوژیک کمبود رطوبت خاک می‌باشد (۶۷). کاهش محتوای رطوبت نسبی آب برگ طی تنش خشکی بر اساس نظر Khan و همکاران (۵۱) ممکن است ناشی از اسید آبسیزیک تولیدی در ریشه طی تنش خشکی باشد که با تجمع در سلول‌های روزنه‌ای، سبب بسته شدن سلول‌های روزنه‌ای شده و این امر متعاقباً سبب کاهش RWC می‌شود. در حالی که Venkateswarlu (۸۶) (Ramesh) بیان کردند در شرایط تنش خشکی، احتمالاً گیاهان در شرایط تنش با تولید و افزایش محافظت‌کننده‌های اسمزی درون بافت‌ها و فضای بین سلولی سبب منفی تر شدن پتانسیل اسمزی سلول‌ها و افزایش فشار اسمزی سیتوپلاسم می‌شوند که این امر باعث بالا رفتن جریان آب در بافت‌ها و اندام‌های گیاهی و به طبع آن آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش میزان نسبی آب در شرایط تنش خشکی می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش سطوح تنش خشکی به ترتیب سبب کاهش  $58/0.8$  و  $71/4$  درصدی محتوای نسبی آب برگ به ترتیب در رقم‌های نومار و نیمروز مورد مطالعه شد که با نتایج ارائه شده در ژنوتیپ‌های مختلف گندم (۳۳) مبنی بر این که در شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب در گیاهان مورد بررسی کاهش می‌یابد، مطابقت دارد.

#### نتایج و بحث

##### رنگیزه‌های فتوستتری

نتایج تجزیه واریانس دادها نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش خشکی، رقم و برهم‌کنش آن‌ها بر میزان رنگیزه‌های فتوستتری در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر رقم و تنش خشکی‌شان داد که با افزایش سطوح تنش از میزان رنگیزه‌های فتوستتری ارقام مورد بررسی کاسته شد به‌طوری که بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل مربوط به رقم نومار بود که طی آبیاری کامل حاصل شد. از طرفی با افزایش سطوح خشکی بر میزان کاروتونوئید هر دو رقم نیمروز و نومار افزوده شد به‌طوری که بیشترین مقدار کارتوتوئید با میانگین  $727/0$  میلی‌گرم بر وزن تر مربوط به رقم نیمروز بود که طی تنش شدید (۵۰ درصد) حاصل شد (جدول ۲).

محتوی کلروفیل‌ها در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوستتری (۴۶) و تعیین‌کننده سرعت فتوستتر است (۳۱). عوامل محدودکننده فتوستتر در تنش خشکی در دو گروه عوامل محدودکننده روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای قرار می‌گیرند. از عوامل محدودکننده رنگیزه‌های فتوستتری از جمله کلروفیل‌ها و کاروتونوئیدها اشاره کرد (۶۸).

کاهش محتوی کلروفیل‌های a، b و کل با یافته‌های محققان در جو (۳) و جو بهاره (۶۴) مبنی بر اینکه تنش خشکی سبب کاهش رنگیزه‌های فوق می‌شود هم خوانی دارد. کاهش میزان کلروفیل طی تنش خشکی در این تحقیق ممکن است، به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد، که این رادیکال‌های آزاد باعث تخریب غشاء‌های تیلاکوئید کلروپلاست (۸۷)، اکسیداسیون نوری کلروفیل (۷۳) و درنتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردد (۷۷). این مسئله ممکن است به دلیل افزایش فعالیت کلروفیلز به هنگام تنش خشکی باشد (۷۷). در حالی که با توجه به مشترک بودن پیش ماده کلروفیل و پرولین، شاید یکی از دلایل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی، افزایش سنتز پرولین باشد (۴۸).

از بین رنگدانه‌های فتوستتری نشان داده شده است که کاروتونوئیدها در مقاومت بر علیه تنش خشکی در گیاهان مؤثرتر هستند که از جمله نقش‌های آن‌ها جذب و انتقال فوتون‌های نوری و حفاظت بر علیه آسیب‌های اکسیداتیو ایجاد شده توسط خشکی می‌باشد و همچنین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان مؤثر عمل نموده و موجب حذف رادیکال‌های آزاد می‌شوند (۲). این رنگیزه نقش مهمی در فتوستتر از طریق رفع کمبود کلروفیل‌های سه گانه و اکسیژن مشتق شده از انرژی نورانی بازی می‌کند و از طرفی مهار کننده یون‌های اکسیژن هستند (۴۹). نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت کاروتونوئید با افزایش سطوح تنش خشکی

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه دو رقم جو تحت تأثیر تنش خشکی  
Table 1. Analysis of variance of the traits of barley varieties underdrought stress condition

منابع تغییرات	آزادی	درجه
تنش خشکی	۲	.۰۰۰۲۱*
رقم	۱	.۰۰۰۱۸*
تنش خشکی×رقم	۳	.۰۰۰۲۳*
خطا	۱۲	.۰۰۰۱۵
ضریب تغییرات		
و ***: به ترتیب عدم اختلاف معنی دار، اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰ و ۱ درصد		
ادامه جدول ۱		

Continued Table 1.

پلی فنول اکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	پروولین	کربوهیدرات محلول	منابع تغییرات
.۰/۲۶**	.۰/۱۸**	.۰/۰۱۵*	.۰/۳۵**	.۰/۰۳۲**	تنش خشکی
.۰/۰۶**	.۰/۰۱۸**	.۰/۰۲۴*	.۰/۱۶**	.۰/۰۴۵**	رقم
.۰/۰۱۹**	.۰/۰۴۲**	.۰/۰۳**	.۰/۷۳**	.۰/۰۰۱۵*	تنش خشکی×رقم
.۰/۰۱۴	.۰/۰۰۴	.۰/۰۰۱۳	.۰/۰۰۰۴۱	.۰/۰۰۰۱۷	خطا
۹/۹۹	۷/۵۳	۵/۵۵	۳/۷۲	۵/۴۵	ضریب تغییرات
و ***: به ترتیب عدم اختلاف معنی دار، اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰ و ۱ درصد					
ادامه جدول ۱					

جدول ۲- مقایسه برهمنکش رقم و تنش خشکی بر صفات مورد مطالعه  
Table 2. Means comparitions of cultivars and drought stress interaction for the traits in barley varieties

تیمارها	رقم	تنش خشکی	درجه آزادی	منابع تغییرات
طرفیت زراعی	.۱۱۵*	.۳/۴۲	۲	تنش خشکی
درصد طرفیت زراعی (تش ملایم)	.۰/۰۹۷*	.۰/۰۴۵**	۱	رقم
نومار	.۰/۰۳۰*	.۰/۰۴۵**	۳	تنش خشکی×رقم
درصد (تش شدید)	.۰/۰۳۰*	.۰/۰۳۰*	۱۲	خطا
طرفیت زراعی	.۰/۱۰۳*	.۰/۱۷۵*		ضریب تغییرات
درصد (تش ملایم)	.۰/۰۸۰*	.۰/۱۳۳*		
نیمروز	.۰/۰۸۵*	.۰/۱۲۵*		
درصد (تش شدید)	.۰/۰۲۵*	.۰/۰۲۵*		
میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی داری با هم ندارند.				
ادامه جدول ۲				

Continued Table 2.

تیمارها	رقم تنش خشکی	(درصد طرفیت زراعی)	منابع تغییرات
طرفیت زراعی	.۰/۱۳۲*	.۰/۱۳۲*	تنش خشکی
درصد (تش ملایم)	.۰/۱۶۵*	.۰/۱۶۵*	رقم
درصد (تش شدید)	.۰/۰۲۷۵*	.۰/۰۲۷۵*	تنش خشکی×رقم
طرفیت زراعی	.۰/۰۲۳*	.۰/۰۲۳*	خطا
درصد (تش ملایم)	.۰/۰۲۵*	.۰/۰۲۵*	ضریب تغییرات
نیمروز	.۰/۰۲۵*	.۰/۰۲۵*	
درصد (تش شدید)	.۰/۰۳۷۵*	.۰/۰۳۷۵*	
میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی داری با هم ندارند.			
ادامه جدول ۲			

سازوکارهای تنظیم اسمزی ناشی از تجمع مواد محلول سازگار در سیتوپلاسم اشاره کرد (۸۰). این تجمع مواد درون سلول نه تنها به عنوان اسماولیت در تسهیل نقل و انتقال آب و نگهداری آن در سلول ها نقش دارند بلکه در حفاظت و پایدار کردن ماکرو مولکول ها، اندامک ها، ساختارها نظیر غشاء ها، کلروپلاست و غیره در مقابل تنش نقص مهمی دارند (۳۵). اسماولیت های سازگار مانند اسید آمینه های پروولین، گلیسین بتائین قند های محلول، اعمالی مانند تنظیم اسمزی، حفاظت از ساختار درون سلولی و کاهش خسارت اکسیداتیو به واسطه رادیکال های آزاد تولید شده را در پاسخ به تنش خشکی و شوری را میانجی گری می کنند (۲۰). که در این بین به احتمال زیاد فراوان ترین و عمومی ترین ماده حل شده سازگار پروولین است که در طول زمان تنش تجمع می یابد (۵۸، ۵۵).

### تنظیم کننده های اسمزی

نتایج تجزیه واریانس داده های (جدول ۱) نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی، رقم و برهمنکش رقم و تنش بر میزان کربوهیدرات محلول و پروولین در سطح یک درصد معنی دار گردید (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین برهمنکش اثرات رقم و تنش نشان داد که با افزایش سطوح تنش، میزان پروولین و کربوهیدرات در ارقام مورد بررسی نسبت به سطوح شاهد افزایش یافت به طوری که در مدت زمان اعمال تنش شدید (۵۰ درصد)، بیشترین مقدار پروولین (۰/۰۳۷۵ میلی گرم بر وزن تر) مربوط به رقم نیمروز بود (جدول ۲).

هنگامی که گیاه تحت تأثیر شرایط نامساعد رشدی قرار می گیرند جهت مقابله با تنش ها، راهبردهای حفاظتی متفاوتی را در پیش می گیرند که از آن جمله می توان به

افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز باعث افزایش غلظت قندهای محلول می‌شود.

#### پروتئین

نتایج تجزیه واریانس داده‌های جدول ۱ نشان داد که میزان پروتئین تحت تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی، رقم و اثر متقابل تنش و رقم قرار گرفت و از نظر آماری در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود. مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم در هر سطح تنش نشان داد که با افزایش سطوح تنش از میزان پروتئین ارقام مورد بررسی کاسته شد به طوری که بیشترین میزان پروتئین با میانگین  $1/78$  میلی‌گرم بر وزن تر مربوط به رقم نومار بود که طی آبیاری کامل حاصل شد هرچند که بین نومار و نیمروز در حالت ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲).

بررسی‌ها نشان داده است پاسخ محتوی پروتئین برگ به تنش خشکی متغیر بوده و می‌تواند افزایشی، کاهشی یا بدون تغییر باشد (۲۷، ۳). کاهش چشمگیر پروتئین طی شرایط تنش خشکی در مطالعات قلی‌پور و عبادی (۲۹) در برخی رقم‌های گندم، گنجی و همکاران (۲۷) رقم‌های وحشی جو، مولودی و همکاران (۴۴) در جو بهاره و امینی و حداد (۳) در گیاه جو گزارش شده است که با یافته‌های این مطالعه مبنی بر این که تنش خشکی سبب کاهش  $51/12$  و  $24/21$  درصدی میزان پروتئین بهترین بهترین در هر دو رقم نومار و نیمروز می‌شود همخوانی دارند. کاهش چشمگیر پروتئین طی شرایط تنش خشکی شدید کاملاً محسوس است که این امر ممکن است با کاهش زیرواحد رویسکو و افزایش در اکسیداسیون پروتئین (۸۳) یا افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئاز (۳۰) مرتبط باشد از طرفی بر اساس نظر Ranjan و همکاران (۷۲) و Bajji و همکاران (۹) به نظر می‌رسد که کاهش محتوی پروتئین تحت تنش کم‌آمی در نتیجه واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، کاهش سنتز پروتئین و تجمع اسیدهای امینه آزاد از جمله پروتئین مرتبط است.

#### آنژیم‌های آنتی‌اکسیدانت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش خشکی، رقم و برهم‌کنش آن‌ها بر میزان فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر رقم و تنش خشکی نشان داد که با افزایش سطوح تنش به میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز و آسکوربیات پراکسیداز ارقام مورد بررسی افزوده شد به طوری که بیشترین میزان آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربیات پراکسیداز با میانگین  $0/329$  و  $0/548$  میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به رقم نیمروز بود که طی تنش شدید ( $50$  درصد) حاصل شد و از طرفی بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز با میانگین  $0/848$  میلی‌گرم بر گرم وزن تر طی تنش شدید ( $50$  درصد) مربوط به رقم نومار بود.

تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی علاوه بر تغییرات فیزیولوژیکی که در گیاه ایجاد می‌کنند با افزایش تولید انواع اکسیژن فعل موجب آسیب اکسیداتیو به

تجمع بالای پروتئین گیاه را قادر می‌سازد تا تورژسانس و در نتیجه پتانسیل آب را حفظ کند. در بررسی‌ها مشخص شده است که پروتئین مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان غیرآنژیمی تحت شرایط تنش آبی است که منجر به مقاومت به استرس از طریق توانایی پالایندگی گونه‌های اکسیژن فعل می‌شود (۳۵). نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان پروتئین در هر دو رقم نومار و نیمروز نسبت به شاهد به ترتیب افزایش  $9/73$  و  $9/83$  درصدی نشان دادند که با یافته‌های مطالعه نعمی و همکاران (۴۵) در هفت رقم جو مبنی دوروم و یوسفی راد و همکاران (۸۹) در هفت رقم جو مبنی بر افزایش پروتئین طی تنش خشکی هم راستا می‌باشد.

تجمع پروتئین طی تنش خشکی ممکن است ناشی از تحریک سنتز آن یا جلوگیری از تجزیه آن و یا تجزیه پروتئین‌ها باشد (۳۴). افزایش میزان پروتئین در شرایط تنش خشکی بر اساس نظر Kariola و همکاران (۵۰) ممکن است به علت افزایش فعالیت آنزیم پیروتولین  $5-5$ -کربوکسیلات سنتتاز (P5CS) در مسیر گلوتامات باشد این آنزیم گلوتامات را به گلوتامات سمی آلثید (GSA) احیا و سپس به پیروتولین  $5-5$ -کربوکسیلات (P5C) تبدیل می‌کند. بر اساس گزارش Fujita و همکاران (۲۶) و Girija و همکاران (۳۲) افزایش پروتئین طی تنش خشکی ممکن است ناشی از تجمیع پروتئین به موازات افزایش فعالیت آنزیم‌های شرکت‌کننده در سنتز پروتئین از طریق مسیر گلوتامیت شامل  $7\text{-}5$ -گلوتامین کیناز، گلوتامیل فسفات ردوکتاز  $1\text{-}5$ -پیروتولین  $5-5$ -کربوکسیلات رودکتاز باشد.

کربوهیدرات‌های محلول نیز مانند پروتئین نقش مهمی در فرآیند تنظیم اسمزی دارند (۷۵). افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول از جمله واکنش‌هایی است که گیاهان در مواجهه با تنش خشکی از خود نشان می‌دهند (۱۴). کربوهیدرات‌های محلول و قندهای طریق تشکیل باندهای هیدروژنی با دنباله‌های قطبی پلی‌پیتیدها (۱۷) و گروههای فسفات فسفولیپیدهای غشا (۵۳) سبب پایداری غشاء‌ها و پروتئین‌ها در شرایط تنش می‌شوند. گزارش‌های زیادی از تجمیع کربوهیدرات‌ها در طی وقوع انواع تنش‌های غیرزننده بخصوص تنش خشکی در غلات و گراس‌های معتدل وجود دارد (۶۵، ۲۷، ۱).

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که افزایش سطوح تنش خشکی سبب افزایش  $52/35$  و  $52/35$  درصدی کربوهیدرات‌های محلول به ترتیب در هر دو رقم نومار و نیمروز شد که با نتایج ارائه شده در رقم‌های گندم (۲۹) و رقم‌های جو وحشی (۲۷) مبنی بر افزایش قندهای محلول و تفاوت در میزان آن در رقم‌های مختلف در شرایط تنش خشکی مطابقت دارد. افزایش محتوای قندهای محلول تحت تنش خشکی بر اساس نظر محققین احتمالاً به علت افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز (۹۰)، هیدرولیز نشاسته و کربوهیدرات‌های مرکب به قندهای ساده (۴۵، ۱۶) و کاهش انتقال ساکارز از برگ‌ها به سایر قسمت‌های گیاه می‌باشد (۷۸، ۱۴). از طرفی در پژوهشی Anderson و Kohorn (۵) بیان کردند که تنش خشکی با تجزیه و کاهش نشاسته در اثر

و اکسیژن بدون نیاز به سوبستراتی کمکی انجام و مانع فعالیت پراکسید هیدروژن در سلول می‌شود (۳۶) و کاهش فعالیت آن می‌تواند سبب تجمع پراکسید هیدروژن شده و سبب کاهش فعالیت برخی از آنزیم‌های چرخه کالوین نظیر ریبولوزمونوفسفات، کیتاز و بی‌فسفاتازها گردد (۸). در این مطالعه فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو رقم نیمروز و نومار تحت تنش خشکی در مقایسه با شاهد بیشتر بود، به طوری که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان آبیاری شده تحت تنش خشکی ۵۰ درصد مربوط به رقم نیمروز بود. تحقیقات نشان داده است که میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در پنج رقم گندم زراعی (۱۸) و دوروم (۲۵) در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شاهد افزایش یافت که با نتایج این تحقیق مبنی بر افزایش آنزیم کاتالاز طی تنش خشکی هم خوانی دارد.

آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در شرایط تنش خشکی، از تولید بیش از حد اجزای خطی انتقال الکترون در واکنش مهمل جلوگیری می‌کند (۸۴). این آنزیم با اکسید کردن ترکیبات فنلی مضر تولید شده طی تنش خشکی، باعث تحمل گیاه به تنش خشکی می‌شود (۱۲). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش سطوح خشکی میزان آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در هر دو رقم نومار و نیمروز افزایش یافت، به طوری که بیشترین میزان این آنزیم طی تنش ۵۰ درصد مربوط به رقم نومار بود. افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز تحت تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی با یافته‌های مطالعه دلارامپور و همکاران (۱۸) در پنج رقم گندم هم خوانی دارد که بیان کردند با افزایش شدت تنش خشکی میزان آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در هر پنج رقم (شبرنگ، بهرنگ، گرخه، آریا و دنا) نسبت به سطوح شاهد روند افزایشی داشتند که تاییدی بر یافته‌های مطالعه فوق می‌باشد. افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط خشکی به دلیل افزایش سوبستراتی آن از جمله ترکیبات اکسیژن فعال هست که نشان‌دهنده نقش مهم این آنزیم جهت مقابله با رادیکال‌های آزاد اکسیژن است.

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که تنش خشکی در هر دو رقم جو بومی منطقه سیستان، سبب کاهش صفات فیزیولوژیک شامل رنگیزه‌های فتوستتری، محتوی نسبی آب برگ و پروتئین شد در حالی که با افزایش سطوح تنش خشکی محتوی کربوهیدرات، پرولین، کاروتونوئید و میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز افزایش یافت. بر این اساس رقم نومار بالاترین میانگین را از نظر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پروتئین و آنزیم پلی‌فلل اکسیداز نسبت به رقم نیمروز طی تنش خشکی برخوردار بود، در حالی که رقم نیمروز از نظر پروتئین، محتوی نسبی آب برگ، کاروتونوئید، تنظیم‌کننده‌های اسنمزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز دارای بالاترین میانگین بود.

بیومولکول‌های مختلف از جمله چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک درون سلول می‌شوند (۵۲). این خدمات اکسیداتیو از جمله عوامل مهم محدودکننده رشد و تولیدات گیاهی هستند که طی شرایط نامناسب رشدی ایجاد می‌شود (۷۴). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده دارای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی با کارابی بالا می‌باشند که می‌توانند رادیکال‌های آزاد تولید شده را از بین برده و یا خنثی کنند (۶۲). آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز از جمله مهمترین آنزیم‌های دخیل در فرآیند جمع‌آوری و خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن هستند (۸۲).

در این مطالعه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در هر دو رقم نیمروز و نومار تحت تنش خشکی در مقایسه با شاهد بیشتر بود، به طوری که بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاهان آبیاری شده تحت تنش خشکی ۵۰ درصد بود. این نتایج با یافته‌های گنجی و همکاران (۳۷) در رقم‌های وحشی جو، ارزانی و اکبریان (۷) در رقم‌های تربیکاله و حسن‌پور سکوکالایه و همکاران (۳۷) در برخی ارقام گندم دروم، مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانت طی تنش خشکی مطابقت دارد.

آسکوربات پراکسیداز دارای چندین نقش اساسی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند رشد و نمو و متابولیسم است و همچنین به عنوان یک احیاکننده برای خیلی از رادیکال‌های آزاد و به خصوص پراکسید هیدروژن عمل می‌کند. بنابراین خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو را به کمترین مقدار می‌رساند (۸۸). این آنزیم با استفاده از مولکول آسکوربات به عنوان دهنده الکترون موجب احیاء پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن می‌شوند. کاهش فعالیت این آنزیم در چرخه کالوین می‌تواند با کاهش نسبت آسیب به بیومولکول‌ها (از جمله لیپیدها) و تولید فرم‌های فعال اکسیژن شود (۶۳). نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در هر دو رقم نومار و نیمروز نسبت به شاهد افزایش چشمگیری داشتند. افزایش فعالیت این آنزیم تحت تنش خشکی در گیاهانی چون گندم (۷۹) و رقم‌های وحشی جو (۲۷) گزارش شده است که این خود تاییدی بر نتایج مطالعه فوق می‌باشد. افزایش فعالیت آنزیم APX در شرایط تنش بر اثر افزایش گونه‌های فعال اکسیژن است که با فعل کردن مسیرهای انتقال پیام باعث افزایش بیان ژن‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود (۱۲).

آنزیم کاتالاز از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و هنگامی در سلول‌های گیاهی و جانوری وارد عمل می‌شود که مقدار ماده پراکسید هیدروژن در محیط زیاد باشد. این آنزیم، فرآیند تبدیل پراکسیدهیدروژن را به آب

## منابع

- Ajithkumarand, P. and R. Panneerselvam. 2013. Osmolyte accumulation, photosynthetic pigment and growth of *vetiveria italica* under drought stress. *Asian Pacific Journal*, 2: 220-224.
- Akbari, V. and R. Jalili Marandi. 2014. Effect of Cycocel on Growth and Photosynthetic Pigments of Two Olive Cultivars under Different Irrigation Intervals. *Journal of Horticultural Science*, 27(4): 460-469 (In Persian).
- Amini, Z. and R. Haddad. 2013. Role of photosynthetic Pigments and antioxidant enzymes against oxidative stress. *Journal of Molecular and Cellular Research (Iranian Journal of Biology)*, 26(3): 251-265 (In Persian).
- Amudha, J. and G. Balasubramani. 2010. Recent molecular advances to combat abiotic stress tolerance in cropplants. *Biotechnology and Molecular Biology Review*, 6(2): 31-58.
- Anderson, C.M. and B.D. Kohorn. 2001. Inactivation of *Arabidopsis SIP1* leads to reduced levels of sugars and drought tolerance. *Plant Physiology*, 158: 1215-1219.
- Arvin, P., J. Vafa bakhsh and D. Mazaheri. 2018. Study of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Drought on Physiological Traits and Ultimate Yield of Cultivars of *Oilseed Rape (Brassica spp. L.)*. *Journal of Agroecology*, 9(4): 1208-1226 (In Persian).
- Arzani, A. and A.Gh. Akbarian. 2015. Effects of Drought Stress on Antioxidant Enzymes Activity in Triticale Lines. *Journal of Crop Breeding*, 16(7): 158-167 (In Persian).
- Asada, K. 2000. The water-water cycle as alternative photon and electron sinks. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 355:1419-1431.
- 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 Science*, 160: 669-681.
- Bates, L.S., R.P. Waldern and I.D. Teave. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-107.
- Beers, G.R. and I.V. Sizer. 1952. A spectrophotometric method for measuring the break down of hydrogen peroxide by catalase. *Journal of Biological Chemistry*, 195: 133-140.
- Bian, S. and Y. Jiang. 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of *Kentuckybluegrass* in response to drought stress and recovery. *Scientia Horticulturae*, 120(2): 264-270.
- Blum, A., G. Gozman and J. Mayer. 1981. The Manifestation of Dehydration Avoidance in Wheat Breeding Germplasm 1. *Crop Science*, 21(4): 495-499.
- Bohner, H.J. and B. Shen. 1999. Transformation and compatible solutes. *Scientia Horticulturae*, 78: 237-260.
- Bradford, M.M. 1976. Analytical Biochemistry, 72: 248-254.
- Chaves, M.M., O. Zarrouk, R. Francisco, J.M. Costa and C.M. Lopes. 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5): 661-676.
- Crowe, J.H., F.A. Hoekstra and L.M. Crowe. 1992. Anhydribiosis. *Annual Review of Physiology*, 54: 579-599.
- Delarampoor, M.A., L. Fahmideh and Z. Fooladvand. 2019. Effect of drought stress on NAC gene expression in some bread wheat cultivars of Sistan region. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(3): 649-662 (In Persian).
- Dshtaki, M., M.R. Bihamta, E. Majidi and R. Azizinezhad. 2020. Study of seed germination indices in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under drought stress simulated with polyethylene glycol. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(1): 197-210 (In Persian).
- De Lacerda, C.F., J. Cambraia, M.A. Oliva and H.A. Ruiz. 2005. Changes in growth and in solute concentrations in Sorghum leaves and roots during salt stress recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 54: 69-76.
- Emam, Y., H.A. Karimzadeh, S. Mori and K. Maghsudi. 2013. Biochemical responses of two wheat cultivars to late season drought stress and auxin and cytokinin application. *Journal of Plant Process and Function*, 2(3): 65-74 (In Persian).
- Esfandiari, E.A., M.R. Shakiba, S.A. Mahboob, H. Alyari and S. Shahabivand. 2009. The effect of water stress on the antioxidant content, protective enzyme activities, proline content and lipid peroxidation in wheat seedling. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11: 1916-1922.
- FAO. 2010. Land and plant nutrition management service. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>.
- Fazeli, F., M. Ghorbanli and V. Niknam. 2007. Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in two sesame cultivars. *Biologia Plantarum*, 51(1): 98-103.
- Filella, I., J. Llusia, J.O. Pin and J.U. Pen. 1998. Leaf gas exchange and fluorescence of *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus* and *Quercus ilex* saplings in severe drought and high temperature conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 39: 213-220.
- Fujita, T., A. Maggio, M.G. Rios, C. Stauffacher, R.A. Bressan and L.N. Csonka. 2003. Identification of regions of the tomato – glutamyl kinase that are involved in allosteric regulation by proline. *Journal of Biological Chemistry*, 278: 14203-14210.

27. Ganji, M., E. Farahmandfar, M. Shahbazi and M. Zahravi. 2016. Biochemical characterization and grain yield of selected genotypes of wild barley(*Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*) Different levels of drought stress. Journal of Plant Process and Function, 5(15):75-90.
28. Ghaderi, A.A., B. Fakheri and N. Mahdi Nezhad. 2017. Evaluation of the morphological and physiological traits of thyme (*Thymus vulgaris* L.) under water deficit stress and foliar application of ascorbic acid. Journal of Agricultural Crops Production, 19(4): 817-835.
29. Gholipour, S. and A. Ebadie. 2017-2018. Study change compatibility metabolites and antioxidant enzyme activities of wheat cultivars under water stress. Journal of Plant Process and Function, 6(19): 219-232 (In Persian).
30. Ghorbanli, M., M. Gafarabad, T. Amirkian and M.B. Allahverdi. 2013. Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. Iranian Journal of Plant Physiology, 3(2): 651-658 (In Persian).
31. Ghosh, P.K., K.K. Ajay, M.C. Bandyopadhyay, K.G. Manna, A.K. Mandal and K.M. Hati. 2004. Comparative affective of cattle manure, poultry manure, phospocompost and fertilizer- NPK on three cropping system in vertisols of semi- arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll. Content and Enzyme Activity. Bioreours Technology, 95: 85-93.
32. Girija, C., B.N. Smith and P.M. Swamy. 2002. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachishypogaea* L.). Environmental and Experimental Botany, 43: 1-10
33. Golabadi, M., Z. Abbasi and A.R. Golparvar. 2014. Variations in physiological indices of bread wheat flag leaf in response to drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 7(1): 1-11 (In Persian).
34. Gomes, F.P., M.A. Oliva, M.S. Mielke, A.A.F. Almeida and L.A. Aquino. 2010. Osmotic adjustment, proline accumulation and membrane stability in leaves of *Cocosnucifera* submitted to drought stress. Scientia Horticulturae, 126: 379-384.
35. Guha, A., D. Sengupta, G.K. Rasineni and A.R. Reddy. 2012. Non-enzymatic antioxidant defence in drought-stressed mulberry (*Morusindica* L.) genotypes. Trees, 26: 903-918.
36. Habibi, D., M. Mashdi Akbar Bojdar, A. Mahmoudi, M.R. Ardakani and D. Taleghani. 2004. Antioxidative enzyme in sunflower subjected to drought stress. In: 4<sup>th</sup> International Crop Science Congress, Brisbane, Australia.
37. Hassanpour Lescokelaye, K., J. Ahmadi, J. Daneshyan and S. Hatami. 2015. Changes in Chlorophyll, Protein and Antioxidant Enzymes on Durum Wheat under Drought Stress. Journal of Crop Breeding, 7(15): 76-87 (In Persian).
38. Hashemi, S.E., Y. Emam and H. Pirasteh Anosheh. 2015. The Effect of Time and Type of Salicylic Acid Application on Growth Trend, Yield and Yield Components of Barley (*hordeum Vulgare* L.) Under Salinity Tension Conditions. Crop Physiology Journal, 6(24): 5-18 (In Persian).
39. Heidari Sharifabadi, H. 2001. Methods to deal with dryness and drought drought. Volume1, Publishing Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 171 pp (In Persian).
40. Hoseini, S.S., M. Cheniany, M. Lahouti and A. Ganjeali. 2016. Evaluation of resistance to drought stress in seedlings of two lines of Triticale (Triticosecale × Wittmack) with emphasis on some enzymatic and non-enzymatic antioxidants. Iranian Journal of Plant Biology, 8(30): 27-42 (In Persian).
41. Ilektra, S. and M. Michael. 2012. Interaction of proline, sugars and anthocyanins during photosynthetic acclimation of *Arabidopsis thaliana* to drought stress. Plant Physiology, 169: 577-585.
42. Irigoyen, J.J., D.W. Emerich and M. Sanchez-Diaz. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa plant. Physiol Plant, 84: 55-60.
43. Jiang, Y. and B. Huang. 2000. Effects of drought or heat stress alone and in combination on Kentucky bluegrass. Crop Science, 40: 1358-1362.
44. Jiang, Y. and B. Huang. 2001. Drought and heat stressinjury to two cool-season turfgrasses in relation toantiaxdant metabolism and lipid peroxidation. CropScience, 41: 436-442.
45. Jiang, Y. and B. Huang. 2002. Protein alterations in tall fescue in response to water stress and abscisic acid. Crop Science, 42: 202-208.
46. Kaphi, M. and A. Mahdavi damghani. 2000. Mechanisms of plant resistance to drought stress. University of Ferdosi Mashhad Publications, 472 pp (In Persian).
47. Kar, M. and D. Mishra 1976. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant physiology, 57(2): 315-319.
48. Karimi Afshar, A., A. Baghizadeh and Gh. Mohammadi-Nejad. 2015. Physiological assessment of drought tolerance of two ecotypes of cumin (*Cuminumcymimum* L.) under greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 6(3): 175-185 (In Persian).
49. Karimi, N. and Z. Souri. 2015. Investigating the interaction between arsenic and phosphorus on chlorophyll content and accumulation of malondialdehyde in *Isatis cappadocica*. Journal of Plant Process and Function, 4(11): 1-12 (In Persian).
50. Kariola, T., G. Brader, J. Li and E.T. Palva. 2005. A damage control enzyme, affects the balance between defense pathways in plant. The Plant Cell, 282-294.

51. Khan, H.U., W. Link, T. Hocking and F. Stoddard. 2007. Evaluation of physiological biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148: 350-382.
52. Kruk, J., H.H. Czytko, W. Oettmeier and A. Trebest. 2005. Tocopherol as singlet oxygen scavenger in photosystem II. *Journal Plant Physiology*, 162: 749-757.
53. Lang-Mladek, C., O. Popova, K. Kiok, M. Berlinger, B. Rakic and W. Aufastez. 2010. Transgenerational inheritance and resetting of stress-induced loss of epigenetic inArabidopsis. *Molecular Plant*, 3: 594-602.
54. Ma, Q.SH., R. Niknam and D.W. Turner. 2006. Response of osmotic adjustment and seed yieldof *Brassicanapus* and *Brassicajounce* to soilwater deficit at different growth stages. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57: 221-226.
55. Mandhanis, S., S. Madan and V. Whney. 2006. Antioxidant defence mechanism under salt stress in wheat seedling. *Biologia Plantarum*, 52(6): 22-27.
56. Mardeh, A.S.S., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98(2): 222-229.
57. Martin, M., F. Micell, J.A. Morgan, M. Scalet and G. Zerbi. 1993. Synthesis of osmotically active substances in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 171: 176-184.
58. Masinde, P.W., H. Stützel, S.G. Agong and A. Frickle. 2005. Plant growth, water relations and transpiration of spider plant (*Gynandropsisgynandra*) under water limited conditions. *Journal of the American Society for for Horticultural Science*, 130: 469-477.
59. Mazarie, A., A.R. Siroosmehr and Z. Babaei. 2017. Effect of mycorrhizal fungi on some morphological & physiological charactristics of Milk thistle (*Silybummarianum* (L.) Gaertn.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(4): 620-635 (In Persian).
60. Mazarie, A., A.R. Siroosmehr, M. Broshaki, Z. Babaei and A.A. Mahmmody. 2019. Effect of irrigation interval and chitosan spraying on some physiological characteristics and Antioxidant enzymes activity of common Mallow (*Malvasylvestris*). *Iranian Journal of Plant Biology*, 11(2): 77-102 (In Persian).
61. Mishra, S. and R.S. Dubey. 2006. Heavy metal uptakeand detoxification mechanisms in plants. *InternationalJournal of Agricultural Research*, 1(2): 122-141.
62. Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Tren Plant Science*, 7: 405-410.
63. Mittler, R., S. Vanderauwera, M. Gollery and F. Vanbreusegem. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Science*, 9: 490-498.
64. Molodi, A., A. Ebadi and S. Gahanbakhsh. 2015. Effect of nitrogen application on some characteristics of drought tolerance in spring barley. *Journal of Corp Production*, 8(3): 95-114 (In Persian).
65. Naeemi, T., F. Fahmideh and B.A. Fakheri. 2018. The impact of drought stress on antioxidant enzymes activities, containing of proline and carbohydrate in some genotypes of durum wheat (*Triticumturgidul*.) at seedling stage. *Journal of Crop Breeding*, 10(26): 22-31 (In Persian).
66. Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascarbate specific peroxidases in spinach Chloroplasts. *Plant cell physiology*, 22: 867-880.
67. Nautical, P.C., N.R. Rachaputi and Y.C. Joshi. 2002. Moisture-deficit-induced changes in leafwater content, leaf carbon exchange rate andbiomass production in groundnut cultivarsdiffering in specific leaf area. *Field CropResearch*, 74: 67-79.
68. Oliviera-Neto, C.F., A.K. Silva-Lobato, M.C. Goncalves-Vidigal, R.C.L. Costa, B.G. Santosfilho, G. A.R. Alves, W.J.M. Silva-Maia, F.J.R. Cruz, H.K.B. Neres and M.J. Santos Lopes. 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Science and Technology*, 7: 588-593.
69. Pessarkli, M. 1999. Hand book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc.697 PagesAjithkumarand, P., and Panneerselvam, R. 2013. Osmolyte accumulation, photosynthetic pigment and growth of *setariaitalica* under droght stress. *Asian Pacific Journal*, 2: 220-224.
70. Prochazka, S., I. Machaackova, J. Kreekule and J. Sebanek. 1998. *Plant physiology Academia Praha*, 484 pp.
71. Rajinder, S.D. 1987. Glutathione status and protein synthesis during drought and subsequent dehydration in *Torula rulis*. *Plant Physiology*, 83: 816-819.
72. Ranjan, R., S.P. Bohra and A.M. Jeet. 2001. Book of plant senescence. Jodhpur, Agrobios New York, 18-42.
73. Reddy, A.R., K.V. Chaitanya and M. Vivekanandan. 2004. Drought-inducedresponses of photosynthesis and antioxidantmetabolism in higher plants. *Journal of PlantPhysiology*, 161(11): 1189-1202.
74. Sairam, R.K., K.V. Rao and G.C. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163: 1037-1046.

- ۶۱
75. Sanchez-Blanco, J., T. Fernandez, A. Morales, A. Morte and J. Alarcon. 2006. Variation in water stress, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glamusdeserticola* under drought conditions. *Journal of Plant Physiology*, 161: 675-682.
  76. Schutz, H. and E. Fangmier. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to elevated CO<sub>2</sub> and water limitation. *Environmental Pollution*, 114: 187-194.
  77. Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel, P. Manivannan, R. Panneerselvam and M.A. Shao. 2009. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the Eco environment in arid regions of the globe. *Crit. Biotechnol.*, 29: 131-151.
  78. Shao, H.B., Z.S. Liang, M.A. Shao and Q. Sun. 2005. Dynamic changes of anti-oxidative enzymes of 10 wheat genotypes at soil water deficits. *Colloids and Surfaces Biointerfaces*, 42: 187-195.
  79. Sharifi, P. and N. Mohammadkhani. 2018. Effects of Drought Stress on Enzymatic and Non-Enzymatic Antioxidants in Flag Leaf and Spikes of Tolerant and Sensitive Wheat Genotypes. *Journal of Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 41(3): 37-51 (In Persian).
  80. Sofo, A., B. Dichio, C. Xiloyannis and A. Masia. 2004. Lipoygenase activity and praline accumulation in leaves and roots of olive tree in response to drought stress. *Plant Physiology*, 121: 56-58.
  81. Soleimani, Z., H. Ramshini, S.M.M. Mortazaviyan and B. Foghi. 2015. Screening of Bread Wheat Genotypes for Stem ReservesRemobilization, Relative Water Content and Osmotic Adjustmentunder Drought Stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(1): 79-92 (In Persian).
  82. Sunkar, R. 2010. Plant stress tolerance methods and protocols, Humana Press.
  83. Taheri, Gh. 2015. The effect of chitosan foliar application on physiological characteristics of Binaloud under drought stress. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 1, 3(4): 728-737 (In Persian).
  84. Tahkokorpi, M. 2010. Anthocyanins under drought and drought-related stresses in blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.). Faculty of Science, Department of Biology, University of Oulu, Finland, 46 pp.
  85. Thipyapong, P., J. Melkonian, D.W. Wolfe and J.C. Steffens. 2004. Suppression of polyphenol oxidases increases stress tolerance in tomato. *Plant Science*, 167(4): 693-703.
  86. Venkateswarlu, B. and K. Ramesh. 1993. Cell membrane stability and biochemical response of cultured cells of groundnut under polyethylene glycol-induced water stress. *Plant Science*, 90: 179-185.
  87. Wise, R.R. and W. Naylor. 1998. Chillingenhanced photo-oxidation, the peoxidative destruction of lipids during chilling injury topotosynthesis and ultrasracture. *Plant physiology*, 83: 278-282.
  88. Yong, T., L. Zongsuo, S. Hongbo and D. Feng. 2006. Effect of water deficits on the activity ofanti-oxidative enzymes and osmoregulationamong three different genotypes of *Radix astragali* at seeding stage. *Colloids and Surfaces Biointerfaces*, 49: 60-65.
  89. Yousefi Rad, M., M. Asghari, M. Mohammadi and A. Masoumi Zavarian. 2016. Effect of drought stress on yield, yield components and some physiological characteristics of seven barley varieties. *Journal of Crop Production Breeding*, 7(4): 297-309 (In Persian).
  90. Zhang, J., Y. Yao, G.S. John and C.F. David. 2010. Influence of soil drought stress on photosynthesis, carbohydrates and the nitrogen and phosphorus absorb in different section of leaves and stem of Fuji/M.9 EML, a young apple seedling. *African Journal of Biotechnology*, 9: 5320-532.
  91. Zhang, Z., X. Pang, X. Duan, Z.L. Ji and Y. Jiang. 2005. Role of peroxidase in anthocyanin degradation in litchi fruit pericarp. *Food Chemistry*, 90: 47-52.

## **Comparison between of Photosynthetic Pigments, Osmotic Regulators and Antioxidant Enzymes of Nimroz and Nomar Barley Cultivars of Sistan Region under Drought Stress**

**Leila Fahmideh<sup>1</sup>, Ayoub Mazarie<sup>2</sup>, Shahin Madadi<sup>3</sup> and Paris Pahlevan<sup>4</sup>**

1- Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran (Corresponding author: l.fahmideh@gau.ac.ir)

2- Ph.D. Student of Biotechnology, Department of plant Breeding and Biotechnology, University of Zabol, Zabol, Iran

3- Ph.D. Student of Plant Breeding, Department of plant Breeding and Biotechnology, University of Zabol, Zabol, Iran

4- M.Sc. Student of Biotechnology, Department of Plant Breeding and Biotechnology, University of Zabol, Zabol, Iran

Received: August 22, 2020

Accepted: December 8, 2020

### **Abstract**

Drought is one of the most important stresses that inhibit growth of plants and due to mainly disturbance of the balance between the production of reactive oxygen species and antioxidant defense, causes oxidative stress and different biochemical and physiological responses in plants. So, the evaluation of plants for drought tolerance to cultivate in dry regions is very important. In this way, the present study aimed to investigate and compare two native barley cultivars of Sistan region (Nimroz and Nomar) based on measurement of some defense mechanisms and physiological properties including Antioxidant enzymes activity (Catalase (CAT), Ascorbate Peroxidase (APX), Polyphenol oxidase (PPO)) photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids), protein content, relative leaf water content (RWC) and some Osmotic regulators (proline and carbohydrate) were under drought stress. This experiment was performed as a factorial in a completely randomized design with three replications, conducted at the Institute for Biotechnological Research in the University of Zabol. Experimental treatments included drought stress (50%, 75% and 100% of the field capacity (control)) and two cultivars native to Sistan region (Nimroz and Nomar). Analysis of variance showed that the effect of cultivar, drought stress and interaction of cultivar and drought stress were significant at 1% probability levels, on all studied traits. Results indicated that with increasing drought stress levels compared to normal levels, the amount of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids), protein content and relative leaf water content (RWC) decreased. However, proline and carbohydrate concentration, carotenoid content, the activity of antioxidant enzymes CAT, PPO and APX were increased. Based on the results of the interaction, it was identified that Nimroz cultivar had a better reaction than Nomar cultivar in terms of protein, relative leaf water content, carotenoids, osmotic regulators and antioxidant enzymes (catalase and ascorbate peroxidase) during drought stress. While the Nomar cultivar was the highest average in terms of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, protein and enzyme polyphenol oxidase compared to the Nimroz cultivar during drought stress.

**Keywords:** Barley cultivars, Biochemical and Physiological responses, Protein content, Relative leaf water content