یافته های نوین کشاورزی
سال یازدهم- شماره۲- زمستان ۱۳۹۵

تاثیر تنش خشکی بر جوانه‌زنی و برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه زنیان (*Trachyspermum ammi*)

امین باقی زاده*، دانشیار گروه بیوتکنولوژی،پژوهشگاه علوم وتکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی ، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
ملیحه افروشته، دانش آموخته کارشناسی ارشداصلاح نباتات دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
براتعلی فاخری،دانشیارگروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه زابل

چکیده

به منظور بررسی واکنش گیاه دارویی زنیان به تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلایکول در مراحل جوانه‌زنی و رشد رویشی دو آزمایش جداگانه هر یک در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. در آزمایش اول واکنش جوانه‌زنی بذرهای زنیان به سطوح مختلف تنش خشکی شامل پتانسیل‌های اسمزی ، صفر (شاهد (، ۱/۵- ،۲- ، ۲/۵- و ۳- بار که با استفاده از PEG6000 تهیه شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش دوم مشابه آزمایش اول بود، با این تفاوت که در این آزمایش صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه زنیان که در سطوح مختلف تنش خشکی قرار گرفته بودند، مورد مطالعه و تجزیه آماری قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد تنش خشکی تاثیر معنی‌داری ($p\leq0/01$) برخصوصیات جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه داشت. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که با افزایش تنش خشکی تمامی صفات فوق کاهش یافتند. صفات مورفولوژیکی مانند سطح برگ، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه و نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه تحت تاثیر خشکی کاهش یافتند.

واژه های کلیدی: پلی اتیلن گلیکول ، پرولین، قندهای محلول

* نویسنده مسئول: E-mai :Amin_4156@yahoo.com
تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۸/۱۵

مقدمه

زنیان گیاهی است علفی، یکساله و بی کرک به ارتفاع ۳۰ تا ۹۰ سانتی متر که به حالت خودرو در نواحی شرقی هند، ایران و مصر می روید. بعلاوه امروزه این گیاه در نواحی مذکور و نقاط مختلف پرورش می یابد. این گیاه دراستان های بلوچستان ، آذربایجان، اصفهان، خوزستان، فارس، کرمان و خراسان یافت می شود. برگ‌هائی با پهنک منقسم با بریدگی‌های نازک و ظریف و گل‌های به رنگ سفید و مجتمع به صورت چتر مرکب دارد. میوه اش کوچک بیضوی به رنگ قهوه ای مایل به زرد و دارای بوئی شبیه تیمول است. قسمت مورد استفاده این گیاه میوه آن است زنیان بیشتر در زمین‌های سبک رسی سیلیسی و آفتابگیر و چراگاه‌ها می روید. تکثیر این گیاه به وسیله دانه (میوه) صورت می گیرد. زمان محصول برداری میوه در ماه های مرداد و شهریور می باشد (۳ و ۱۹). خشکی از جمله تنش‌های فیزیکی است که به عنوان مهم ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران شناخته شده است (۵). بلوم (۱۹۹٦)گزارش نمود خشکی یک تنش چند بعدی است که گیاهان را در سطوح مختلف سازمانی تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۰). در سطح گیاه پاسخ به تنش خشکی پیچیده است ، زیرا بازتابی از تلفیق اثرات تنش و پاسخ‌های مربوطه در تمام سطوح پائین سازمانی، در فضا و زمان است (۱). سیدیک و همکاران (۱۹۹۹)گزارش کردند خشکی به عنوان مهم‌ترین عامل کنترل کننده عملکرد محصولات ، تقریبا روی کلیه فرایندهای رشد گیاه تاثیرگذار است (۳٦).

با وجود پیشرفت‌های زیاد تکنولوژی و مدیریت زراعی هنوز جوانه‌زنی و رشد اولیه بذر در کشاورزی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (٤). در زراعت، موفقیت یا عدم موفقیت تولید به جوان زدن کامل و سریع بذرها و تولید گیاهچه‌های قوی وابسته است. بنابراین درک مناسب از رفتار جوانه‌زنی در شرایط مختلف محیطی در راستای افزایش محصول اهمیت زیادی دارد (٤١). جوانه‌زنی شامل فرآیندهای مربوط به انتقال مواد ذخیره‌ای به محور جنین و شروع فعالیت‌های متابولیک و رشد آن است. این مرحله از چرخه زندگی گیاهان نقش تعیین کننده‌ای در استقرار مناسب گیاه و عملکرد نهایی آن دارد زیرا جوانه زنی بذر یکی از آسیب‌پذیرترین و بحرانی‌ترین مراحل در چرخه زندگی گیاهان می‌باشد (۲۲و۱۱). در سراسر دنیا یکی از مهم‌ترین عوامل غیرزیستی و محدودکننده جوانه‌زنی و همچنین رشد اولیه گیاهچه‌ها، تنش خشکی است (۲٤). قابلیت دسترسی به آب و جذب آن توسط بذر، برای انجام فرآیندهای جوانه-زنی و متعاقب آن رشد گیاهچه‌ها ضروری است. افزایش تنش خشکی قابلیت دسترسی به آب را کاهش داده و اثرات نامطلوبی بر درصد وسرعت جوانه‌زنی و همچنین رشد گیاهچه‌ها خواهد داشت (۲٤). رضازاده و کوچکی (۲۰۰۵) در آزمایش خود برروی جوانه‌زنی بذرهای زنیان، رازیانه و شوید مشاهده کردند که با اعمال تنش خشکی و شوری در دماهای مختلف، درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تمامی گونه‌ها کاهش یافت، بطوری‌که در میان بذرها، بذر شوید کمترین مقاومت را

نسبت به تغییرات دما و پتانسیل اسمزی نشان داد (۳٤). در طول دوران رشد رویشی ، تنش خشکی اثرات قابل توجه ای بر صفات مختلف مورفولوژیکی دارد. اکثر گیاهان تحت تنش خشکی باکاهش سطح برگ و ایجاد تغییر در برخی صفات دیگر سعی در کاهش آسیب های ناشی از تنش ایجاد شده دارند (۲۱). تنظیم اسمزی به عنوان جزئی مهم از مکانیزم‌های تحمل به خشکی در گیاهان مطرح است (۲٦ و ۳۲). گیاهان در شرایط متفاوت محیطی، مواد محلول با وزن مولکولی کم که بطور کلی مواد محلول سازگار نامیده می‌شوند را سنتز می‌نمایند.این مواد حل شونده سازگار شامل اسیدهای آمینه (پرولین، گلایسین) ، قندها (ساکارز، گلوکز) ، الکل‌های قندی (مانیتول، سوربیتول)، یون‌ها، اسیدهای آلی، آمیدها، آمین‌ها و گروه‌های بتائین می‌باشند که در پاسخ به تنش خشکی سنتز شده و با واکنش‌های عادی بیوشیمیایی سلول تداخل ندارند. تجمع این مواد سبب کاهش پتانسیل آب اندام‌های گیاهی و متعاقبا ایجاد شیب پتانسیل آب نسبت به محیط خارج شده که در چنین حالتی جذب آب توسط گیاه امکان پذیر می گردد (۲ و ۳۲).

پرولین یکی از اسیدآمینه‌های فعال در پدیده تنظیم اسمزی است که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به سزایی دارد. اگرچه پرولین در همه اندام‌های گیاه در طی تنش تجمع می‌یابد ولی سریع‌ترین انباشت را در برگ‌ها دارد. تجمع پرولین در ریشه‌ها با تاخیر زمانی نسبت به تجمع در برگ‌ها صورت می گیرد. بررسی‌ها نشان می دهد افزایش پرولین در ریشه‌ها ناشی از انتقال آن از برگ‌ها می‌باشد (۷ و ۱۷). نقش‌های فیزیولوژیکی متعددی برای افزایش پرولین در اثر تنش خشکی مطرح شده است.از جمله پرولین در تنظیم فشار اسمزی، حفاظت از مولکول‌های پروتئینی و یکپارچگی غشای سلولی، ذخیره کربن و نیتروژن، جاروب کردن رادیکال های آزاد و عمل آنتی اکسیدانی نقش دارد (۸). تجمع پرولین در گیاهان بوسیله دو مسیر بیولوژیکی، مسیر وابسته به گلوتامات و مسیر وابسته به اورنیتین انجام می‌شود. ظاهرا مسیر وابسته به گلوتامات در شرایط تنش خشکی، مسیر غالب می‌باشد. اهمیت نسبی مسیر اورنیتین در گیاهان تیمارشده با تنش، بستگی به نوع گونه، نوع اندام و مرحله تکاملی گیاه دارد (۱۸و۸). یکی دیگر از اسمولیت‌های سازگار، قندهای محلول می‌باشد که در شرایط خشکی تجمع یافته و به عنوان عوامل حفاظتی در گیاهان عمل می‌کنند. در شرایط تنش، قندها از سلول‌ها از طریق تنظیم اسمزی و نگهداری تورژسانس و همچنین پایداری غشاها و پروتئین‌ها محافظت می‌کنند.قندها در طول آبزدایی سلول‌ها با شیشه ای شدن سیتوپلاسم سبب تحمل گیاهان به خشکی می‌شود (۳ و ۸).

در برخی از منابع گزارش شده است در اثر تنش خشکی میزان نشاسته کاهش ولی قندهای محلول افزایش می‌یابد (۳۱). افزایش قندهای محلول در سلول‌های گیاهی سبب کاهش پتانسیل اسمزی و متعاقبا پتانسیل آبی شده و جذب آب به درون سلول‌ها را آسان می‌نماید (۳۸). با توجه به اهمیت گیاه زنیان در مصارف دارویی و نظر به کمبود آب آبیاری و نزولات آسمانی در کشور، بررسی واکنش این گیاه به

سطوح مختلف تنش خشکی حائز اهمیت است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی واکنش گیاه زنیان به سطوح مختلف تنش خشکی در دو مرحله جوانه‌زنی و رشد رویشی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر تنش خشکی بر مراحل جوانه زنی و رشدرویشی زنیان، دو آزمایش جداگانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکراردر سال ۱۳۹۲ در زابل انجام شد. در آزمایش اول، سطوح مختلف خشکی شامل صفر، ۱/۵- ،۲- ، ۲/۵- و ۳- بار بوسیله پلی اتیلن گلایکول ٦۰۰۰ تهیه شد. جهت ایجاد پتانسیل صفر بار (شاهد) از آب مقطر استفاده شد و برای ایجاد سایر سطوح تنش خشکی مقادیر معینی از پلی‌اتیلن‌گلایکول مطابق روش میچل و کافمن با استفاده از نرم افزار اکسل تهیه و در آب حل شد (۱۵و۱). بذور ابتدا با هیپوکلریت سدیم ۰/۵٪ به مدت ٤٥ ثانیه ضدعفونی و سپس دو بار با آب مقطر استریل، شستشو داده شدند. برای کشت بذرها از ظروف پتری با ابعاد ۸۰×۸۰ میلی‌متر که کف آنها توسط کاغذ صافی پوشیده شده بود، استفاده شد.به هر ظرف ۷ سانتی‌متر مکعب از محلول مورد نظر (برای تیمار شاهد۷ سانتی‌متر مکعب آب مقطر) اضافه گردید.برای هر تیمار خشکی ۳ پتری در نظر گرفته شد که هر پتری به عنوان یک واحد آزمایشی منظور شد. در داخل هر پتری ۲۰عدد بذر بر روی کاغذ صافی کشت شد. برای جلوگیری از تبخیر از سطح ظروف، درب ظرف‌ها بطور کامل با پارافیلم پوشیده شد. در طول۷ روز مدت آزمایش، روزانه ظروف بازبینی و تعداد بذرهای جوانه‌زده شمارش شدند. بذرهایی که طول ریشه‌چه آن ۲ و یا بیشتراز ۲میلی‌متر بودند، به عنوان بذرهای شمارش شده ثبت شدند، درپایان آزمایش درصد جوانه‌زنی بذرها از طریق معادله ۱ تعیین شد. در ادامه این مرحله از هر ظرف ۱۰ گیاهچه بطور تصادفی انتخاب و صفات مورفولوژیکی شامل طول ساقه‌چه و ریشه‌چه آنها با استفاده از خط‌کش میلی‌متری تعیین شد. به منظور تعیین وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، اندام‌های فوق به مدت ٢٤ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد در آون خشک شدند. در پایان آزمایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه و نسبت وزن خشک ساقه‌چه به ریشه‌چه برای هر تیمار اندازه‌گیری و نتایج آن ثبت شد.

درصد جوانه‌زنی بذرها از فرمول زیر (رابطه یک) محاسبه شد:

$$PG=\frac{ni}{N}.\ 100 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله PG درصد جوانه‌زنی، ni تعداد بذرهای جوانه‌زده تا روزiام و N تعداد کل بذرها می‌باشد (۳٤).

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از رابطه زیر (رابطه ۲) استفاده شد.

$$R\,s=\sum_{i=1}^{n}\frac{Si}{Di}$$ رابطه (۲)

در این معادله Rs سرعت جوانه‌زنی، Si تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز وD تعداد روزهای سپری شده از شروع آزمایش می‌باشد (۳٤).

در آزمایش دوم، بذرها پس از ضد عفونی در سینی‌های پلاستیکی در محیط تاریک کشت شدند. وقتی گیاهچه‌ها به مرحله دو برگی رسیدند، سینی‌ها به شرایط نوری منتقل شدند. به منظور ایجاد تطابق، گیاهچه‌ها برای مدت ۲ الی ۳ روز در روشنایی نگاه داشته شدند. هر واحد آزمایشی در این مرحله از یک ظرف پلاستیکی به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر که حاوی محلول غذایی هوگلند بود، تشکیل شد. سطوح مختلف تنش خشکی (مشابه آزمایش جوانه‌زنی) با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلایکول 6000 در هر یک از ظرف‌ها ایجاد شد. برای هرواحد آزمایشی۷ عدد گیاهچه تقریباً هم اندازه و سالم انتخاب و به ظرف‌های حاوی محلول غذایی و پلی‌اتیلن‌گلایکول 6000 انتقال یافتند.

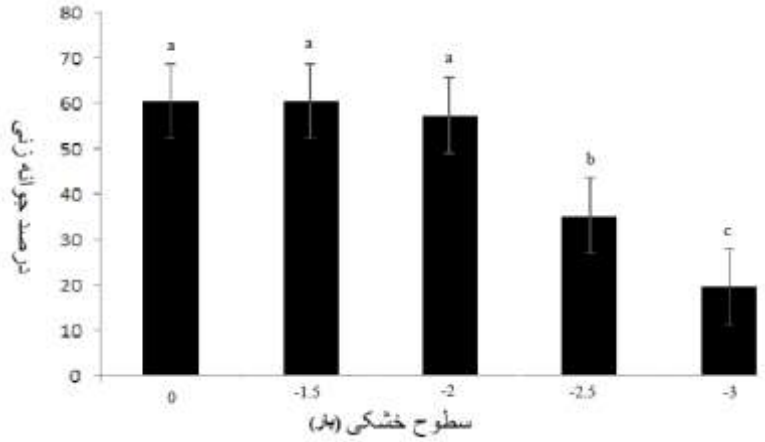
برای استقرار گیاهچه‌ها از حلقه‌های پلاستیکی و پنبه استفاده گردید. اکسیژن لازم برای تنفس ریشه‌ها از طریق پمپ‌های که بدین منظور طراحی شده بودند، فراهم گردید. گیاهچه‌ها در فیتوترون با دمای۲±۲۱ درجه سانتیگراد و دوره نوری ۱٦ و ۸ ساعت به ترتیب روشنایی و تاریکی رشد نمودند. گیاهچه‌ها پس از یک‌ماه از گلدان‌ها خارج و خصوصیات مورفولوژیکی مانند سطح برگ، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه اندازه‌گیری شد و نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه محاسبه گردید. برای این منظور قسمت‌های مختلف گیاه (ریشه، ساقه و برگ) از یکدیگر تفکیک شد. سطح سبز گیاه توسط دستگاه اندازه گیری سطح برگ و وزن تر ریشه و اندام هوایی، با ترازوی دیجیتال با دقت۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.به منظور تعیین وزن خشک ریشه و بخش هوایی اندام‌های فوق به مدت ۲٤ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و سپس وزن خشک آنها به صورت جداگانه تعیین شد. برای اندازه‌گیری پرولین از روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد.

ابتدا ۰/۵ گرم از هر بافت (اندام هوایی، ریشه) برداشت گردید. سپس بافت گیاهی در هاون چینی کاملا سائیده شد. بعد از این مرحله۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک آبدار ٪۳ به آن اضافه و محتوی هاون بهم‌زده شد و در نهایت با کاغذ صافی صاف گردید. به ۲ میلی‌لیتر از محلول حاصل، ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین (۱۲۵ میلی‌گرم ناین هیدرین به علاوه ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ٦ مولار بعلاوه ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال) اضافه شد و به مدت یک ساعت در حمام آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد.سپس لوله‌های محتوی محلول حاصل در یخ قرار گرفت تا سرد شدند. پس از ایجاد تعادل با دمای محیط به لوله‌ها ٤ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید و به مدت ۳۰ ثانیه به شدت هم زده

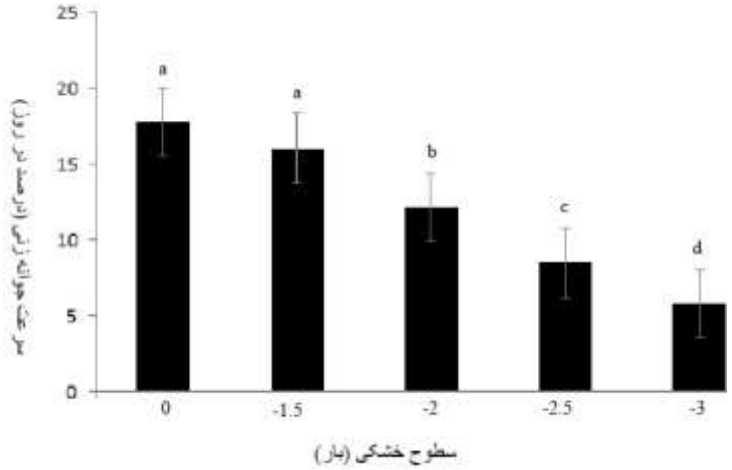
شد.استانداردهای پرولین در مقادیر ۱، ۲ ، ۳ ، ٤ و۵ میکروگرم در میلی‌لیتر تهیه گردید و نمونه‌های حاصل و استانداردها در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. با استفاده از رسم منحنی استاندارد مقدار پرولین برحسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه شد. برای اندازه‌گیری قندهای محلول از روش دوبویس استفاده شد (١٦). برای این منظور۰/۰۲گرم بافت خشک شده گیاه توسط ۳ میلی‌لیتر الکل ٪۸۰ در هاون چینی کاملاً سائیده شد. سپس محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد و از محلول روشناور برای سنجش قندهای محلول استفاده شد. بدین ترتیب که یک میلی‌لیتر از عصاره حاوی کربوهیدرات‌های محلول در لوله آزمایش ریخته شد و به آن یک میلی-لیتر محلول ٪۵ فنل (۵ گرم فنل در ۱۰۰میلی‌لیتر آب مقطر) افزوده و به خوبی هم‌زده شد (نمونه‌ها به نسبت ۱:۲ یا ۱:٤ رقیق شدند. (در مرحله نهایی، ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به هر لوله اضافه شد و عمل مخلوط‌سازی به شدت انجام گردید. لوله‌ها به مدت نیم ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند و مقادیر جذب نوری آنها در طول موج ٤٨٠ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. محلول‌های استاندارد گلوگز با غلظت‌های ۱۰،۲۰،۳۰, ٤۰ ، ۵۰ ، ٦۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰میلی‌گرم در لیتر تهیه شد. با استفاده از رسم منحنی استاندارد، مقدار قند برحسب گرم در ۱۰۰ گرم بافت خشک گیاه محاسبه شد. برای آنالیز واریانس مشاهدات حاصل از هر دو آزمایش و انجام مقایسه میانگین تیمارها به روش دانکن از نرم‌افزارهای آماری MSTAT-C و SPSS16 و برای ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی داشت. با کاهش پتانسیل آب و افزایش سطوح خشکی، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. در این رابطه پتانسیل صفر بار بیشترین درصد جوانه‌زنی و پتانسیل ۳- بار کمترین درصد جوانه‌زنی را دارا بودند (شکل۱). درصد جوانه‌زنی در پتانسیل۳- بار نسبت به شاهدحدود ۳۵٪ کاهش داشت. توبه و همکاران (۲۰۰۱) بیان نمودند دانه‌ها برای انجام فرآیند جوانه‌زنی، بایستی به اندازه کافی آب جذب نمایند، مواد محلول موجود در محیط کشت از جمله PEG سبب کاهش جذب آب توسط دانه و متعاقب آن تاخیر و یا توقف جوانه-زنی می‌شوند (۳۹). تنش خشکی و محدودیت جذب آب توسط دانه، از طریق تاثیر بر انتقال ذخایر دانه و سنتز پروتئین‌ها در جنین، احتمالا علت اصلی کاهش میزان جوانه‌زنی است (۱۵). نتایج مشاهدات مربوط به سرعت جوانه‌زنی موید این است که تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی دارد. مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش خشکی حاکی از کاهش سرعت جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل آب است (شکل۲). چنانچه جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب به آرامی صورت گیرد، فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهد شد (١٤).



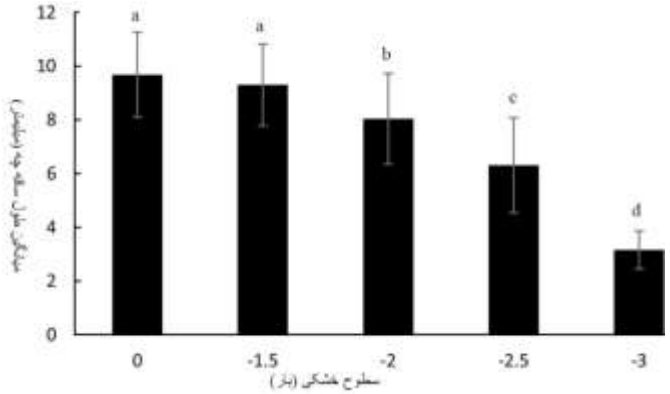
شکل ۱: میانگین درصد جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش خشکی



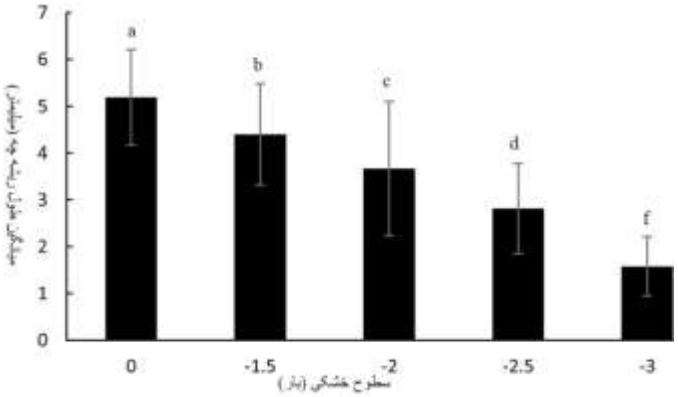
شکل۲: میانگین سرعت جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش خشکی

نتایج مربوط به میانگین طول ساقه‌چه نشان داد این صفت تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. در این آزمایش با کاهش پتانسیل آب، طول ساقه‌چه کاهش یافت (شکل۳). بیشترین طول ساقه‌چه به پتانسیل آب صفر (۱۰ میلی متر) و کمترین طول ساقه‌چه به پتانسیل ۳- بار (۳ میلی‌متر) تعلق داشت. به نظر می-رسد یکی از دلایل کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش، کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین باشد (۳۸). ماکار و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی اثر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلایکول بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) دریافتند با تغییر پتانسیل آب، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه بصورت معنی‌داری تغییر می‌یابد (۲۵). نتایج تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه داشت، بطوریکه با کاهش پتانسیل آب طول ریشه‌چه کاهش داشت (شکل٤). با افزایش تنش از صفر به ۳- بار میانگین طول ریشه چه از۵/۱۹۳ به ۱/۷۵۸میلی‌متر رسید. در شرایط، تنش خشکی کاهش جذب آب توسط بذر، باعث کاهش سرعت فعالیت‌های متابولیکی بذر،

کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه(ریشه‌چه و ساقه‌چه) شده است (۲۸). نتایج مشابهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (٤١ و٣٤،٣٧ ، ٢٣). به عنوان نمونه خالص‌رو و آقاعلیخانی (۲۰۰۷) در بررسی اثر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلایکول بـر جوانـه‌زنـی و رشد گیاهچه‌های بذرهای سورگوم علوفه‌ای و ارزن مرواریدی مشاهده نمودند با افزایش تـنش از ٠/٤- مگاپاسگال به بالا طول ریشه چه بطورمعنی‌داری کاهش می‌یابد (۲۳).

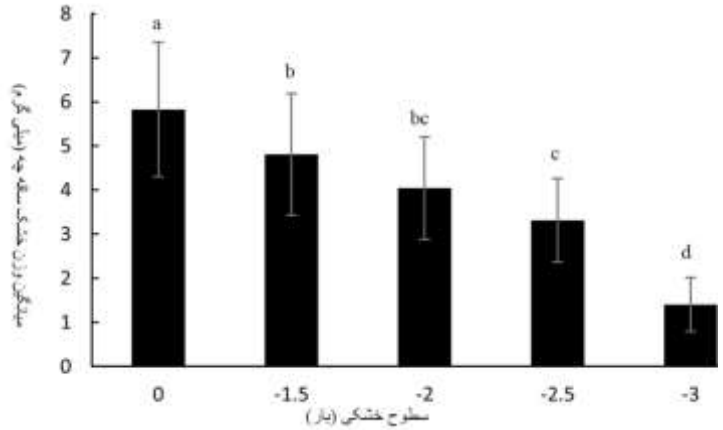


شکل۳: میانگین طول ساقه‌چه در سطوح مختلف تنش خشکی

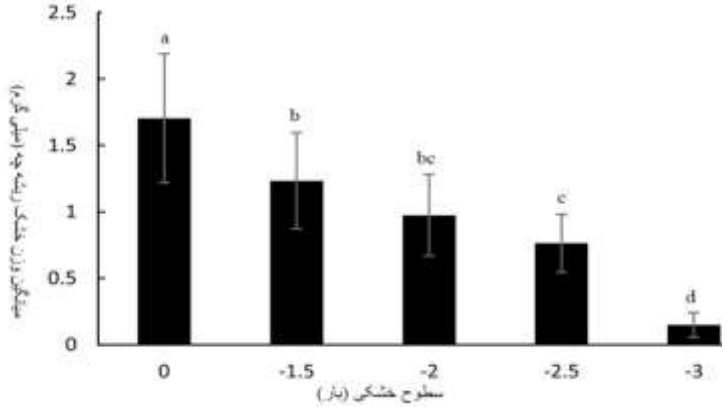


شکل٤: میانگین طول ریشه‌چه در سطوح مختلف تنش خشکی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه، تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت، بطوریکه با کاهش پتانسیل آب، هر دوی ایـن صـفات کـاهش یافتنـد (شـکل هـای ٥ و ٦). کاهش وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه در شرایط تنش خشکی در سایر بررسی‌ها نیز گزارش شده اسـت (١٤ و ٣٠). سلطانی و گالشی (۲۰۰۲) بیان نمودند دلیل کاهش وزن گیاهچه گندم، کاهش قدرت تحرک مواد ذخیره‌ای در دانه و انتقال آنها از لپه به محور رویانی است (۳۷).

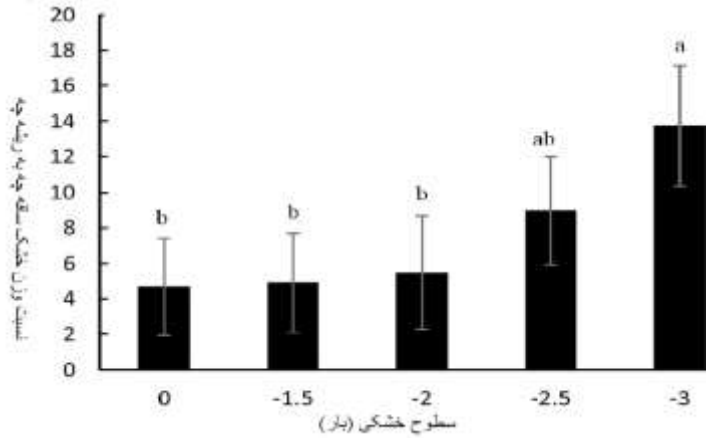


شکل۵: میانگین وزن خشک ساقه‌چه در سطوح مختلف تنش خشکی



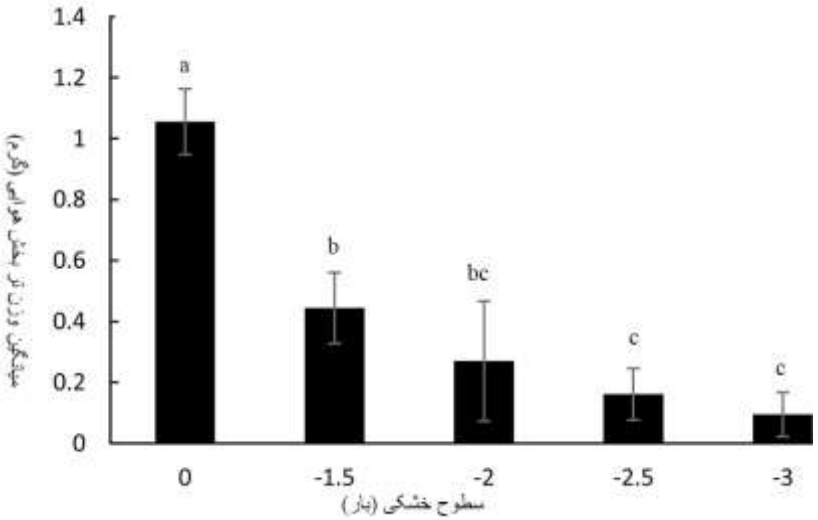
شکل٦: میانگین وزن خشک‌ریشه چه در سطوح مختلف تنش خشکی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر نسبت وزن خشک ساقه‌چه به ریشه‌چه داشت، بطوریکه با افزایش تنش خشکی، نسبت وزن خشک ساقه‌چه به ریشه‌چه هم افزایش یافت (شکل ۷). زنگ و همکاران (۲۰۱۰)گزارش کردند کاهش رشد ساقه‌چه و از طرفی افزایش رشد ریشه‌چه گیاهچه‌های مناطق بیابانی، به دلیل کاهش تعرق و نفوذ ریشه‌چه به اعماق خاک برای دستیابی به منابع عمیق آبی و متعاقبا افزایش بقای گیاهچه است (٤٢).

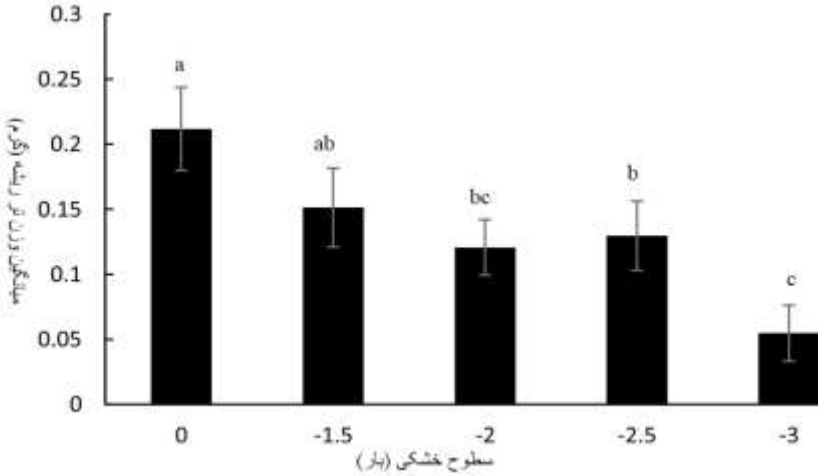


شکل ۷: میانگین نسبت وزن خشک ساقه‌چه به ریشه‌چه در سطوح مختلف تنش خشکی

نتایج مشاهدات مربوط به وزن تر و خشک بخش هوایی موید این است که تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر این دو صفت دارد. مقایسه میانگین وزن تر و خشک بخش هوایی نشان داد با کاهش پتانسیل آب و افزایش سطوح خشکی میزان این دو صفت کاهش یافت (شکل۸ و۱۰). نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تیمارها نشان داد تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک ریشه داشته است (شکل ۹ و۱۱). به نظر می‌رسد کاهش وزن تر در گیاهان تیمار شده با خشکی، به دلیل جلوگیری از توسعه و رشد سلولی ناشی از کاهش فشار تورگر باشد (۳۳).

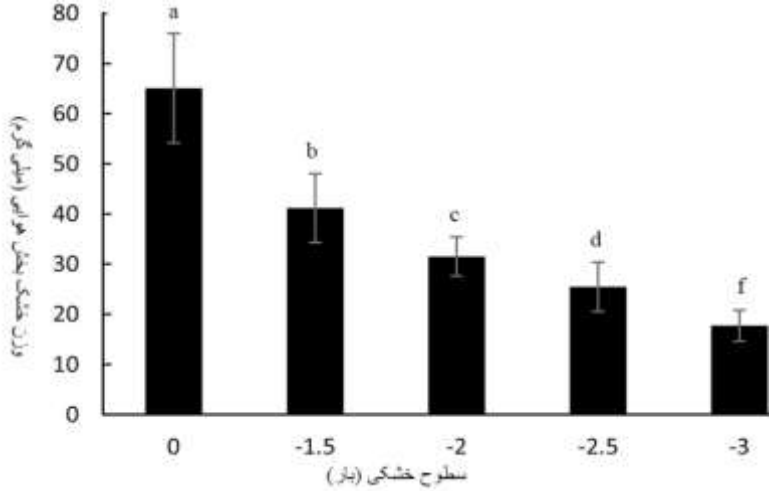


شکل ۸: میانگین وزن تر بخش هوایی در سطوح مختلف تنش خشکی

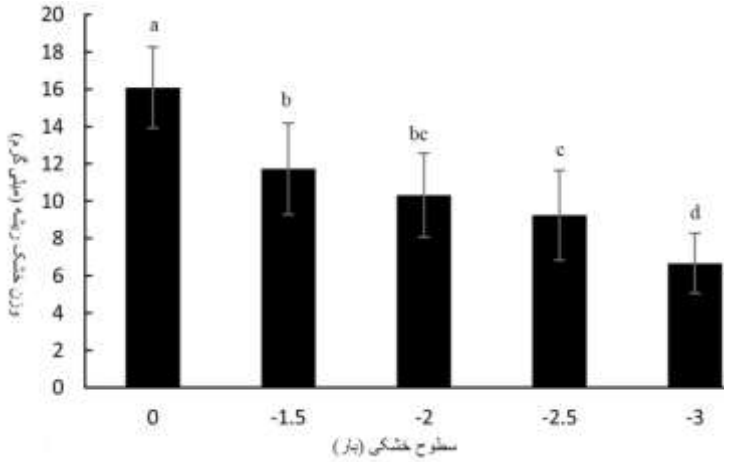


شکل ۹: میانگین وزن تر ریشه در سطوح مختلف تنش خشکی

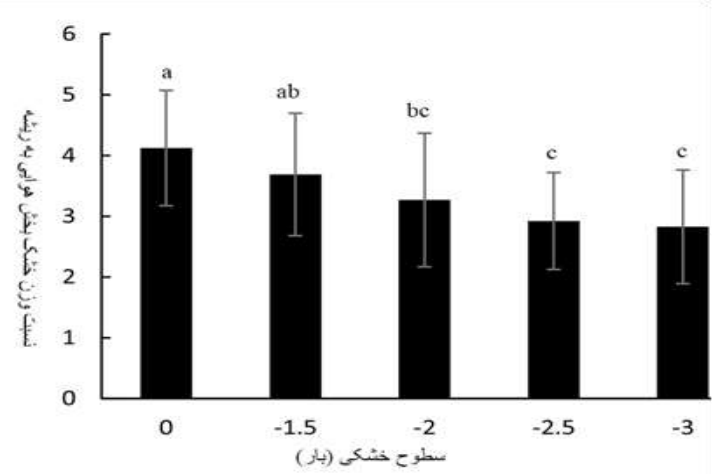
کاهش وزن ماده خشک به دلیل کاهش رشد گیاهی، بسته شدن روزنه‌ها و متعاقب آن کاهش فتوسنتز و پیری و ریزش برگ‌هاست (۹). نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه تحت تاثیر تنش خشکی کاهش پیدا کرده است (شکل۱۲). نتایج حاصل از بررسی انتقال مواد فتوسنتزی در یونجه حاکی از آن است که اختصاص کربوهیدرات‌ها به ریشه و برگ‌ها نسبت به ساقه اولویت دارد و به همین دلیل وزن ماده خشک ساقه به نسبت بیشتری کاهش می‌یابد.



شکل ۱۰: میانگین وزن خشک بخش هوایی در سطوح مختلف تنش خشکی



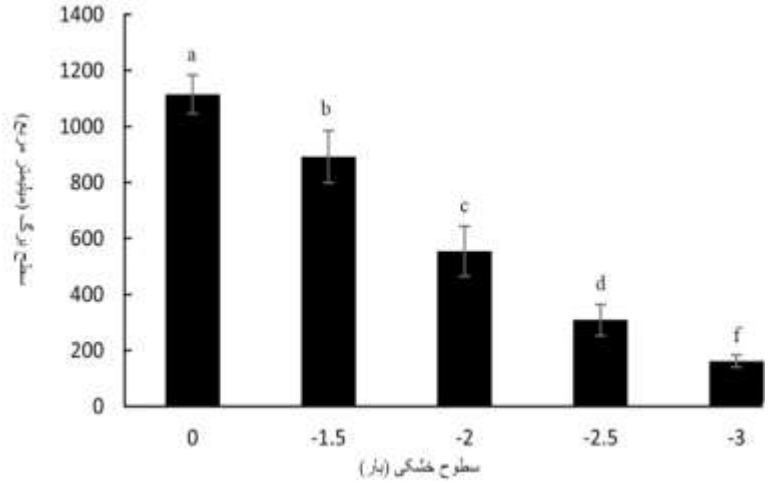
شکل ۱۱: میانگین وزن خشک ریشه در سطوح مختلف تنش خشکی



شکل ۱۲: میانگین نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه در سطوح مختلف تنش خشکی

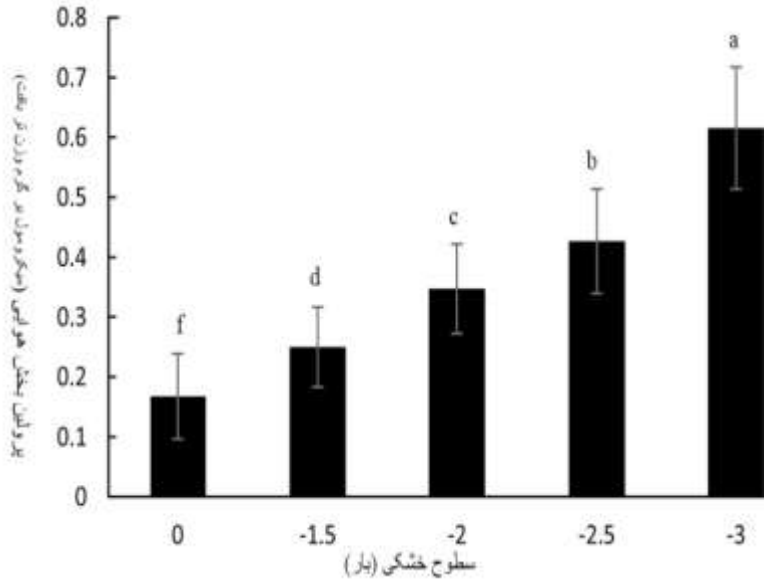
برگ‌ها و ریشه‌ها به ترتیب از نظر فتوسنتز و جذب آب اهمیت بیشتری برای گیاه دارند و نسبت به ساقه بیشتر محافظت می‌شوند (۹ و ۲۷). بورسلام و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند که افزایش بیوماس ریشه‌های جانبی در محیط خشک باعث افزایش سطح ریشه به منظور جذب بیشتر آب می‌شود و بدین طریق گیاهان را در برابر خشکی مقاوم می‌سازد، به خصوص زمانی که این افزایش در حجم ریشه با کاهش سطح برگ همراه باشد (۱۲). نتایج مشاهدات مربوط به سطح برگ نشان داد که با افزایش تنش خشکی، سطح برگ به صورت معنی‌داری کاهش می یابد (شکل۱۳). کابوسلی و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نمودند کاهش سطح برگ در گیاه برنج، راهبردی برای بهبود تحمل به خشکی است (۱۳). خورانا و سینگ (۲۰۰۰) نشان دادند که ارتباط مثبتی میان سطح برگ و سرعت رشد نسبی وجود دارد، بطوریکه با کاهش سطح برگ، سرعت رشد نسبی نیز کاهش می‌یابد. این محققان گزارش کردند کاهش

سطح برگ در اثر افزایش تنش خشکی، نشان‌دهنده توانایی یک گونه برای مقاومت و سازش در برابر خشکی است (۲٤). کاهش سطح برگ، به معنای کاهش اتلاف آب و تعرق است. احتمالاً کاهش سطح برگ به دلیل کاهش محتوای آب نسبی برگ و متعاقب آن کوچک شدن اندازه سلول ها، کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی و در نتیجه کند شدن رشد برگ، توقف تولید برگ ، تسریع پیری و متعاقب آن ریزش برگ‌ها می‌باشد (۲۰).

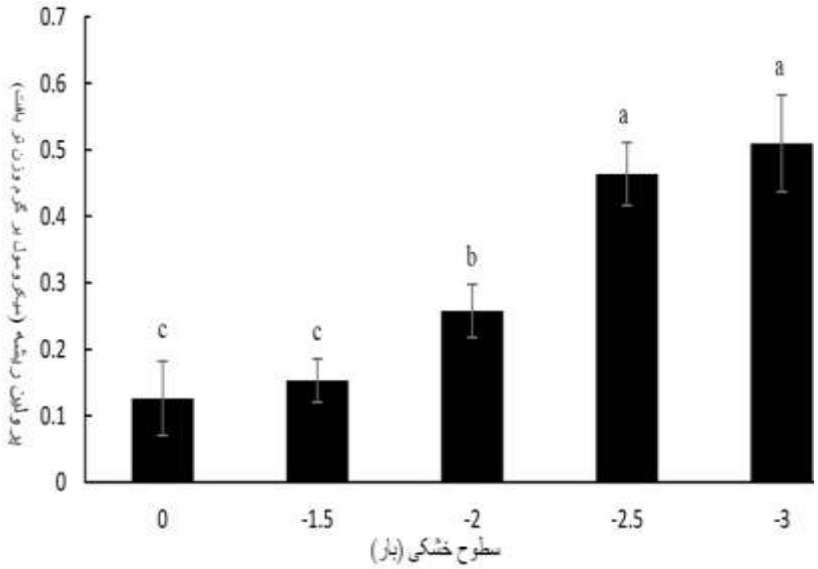


شکل ۱۳: میانگین سطح برگ در سطوح مختلف تنش خشکی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی نشان داد که تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر میزان پرولین بخش هوایی و ریشه دارد. مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد با کاهش پتانسیل آب، پرولین بخش هوایی و ریشه افزایش می یابد (شکل۱٤ و۱۵). افزایش میزان پرولین در سایر بررسی‌ها نیز گزارش شده است (۲۳). سلاما و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند که میزان پرولین گیاه علف فرشیان (*Sesuvium portulacastrum*) تحت تاثیر تنش خشکی نسبت به شاهد سه برابر افزایش یافت. علت این موضوع تحریک فعالیت آنزیم بیوسنتزی پرولین (اورنیتین امگا آمینوترانسفراز) و مهار آنزیم کاتابولیکی (پرولین دهیدروژناز) پیشنهاد شده است (۳۵). ورسلوس و همکاران (۱۹۹۸) دریافتند که تنش خشکی سبب افزایش نسخه‌برداری mRNA و ژن کدکننده آنزیم‌های مسیر بیوسنتز پرولین (P5C5) و (P5CR) و در نهایت افزایش میزان پرولین می‌شود (٤۰). بررسی‌ها موید این است که سه عامل مهم شامل ۱- تحریک سنتز۲- مهار تجزیه و ۳- جلوگیری از ورود پرولین به درون پروتئین‌ها درتجمع پرولین در شرایط تنش خشکی مطرح می باشد (٦).

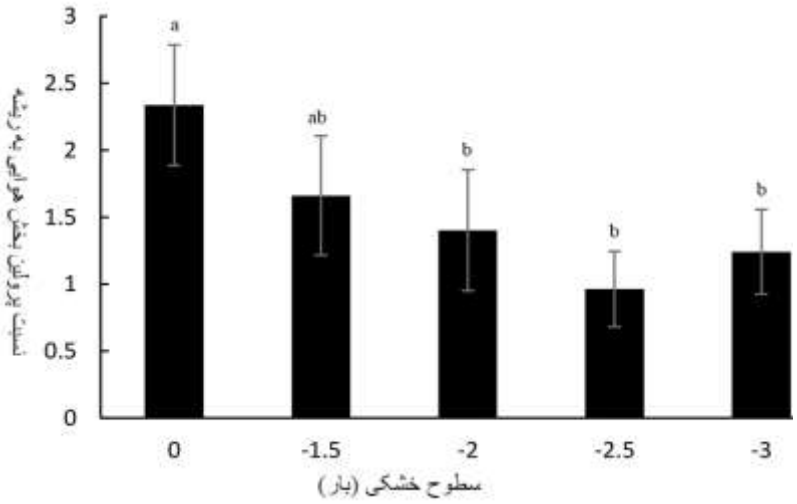


شکل ١٤: میانگین پرولین بخش هوایی در سطوح مختلف تنش خشکی



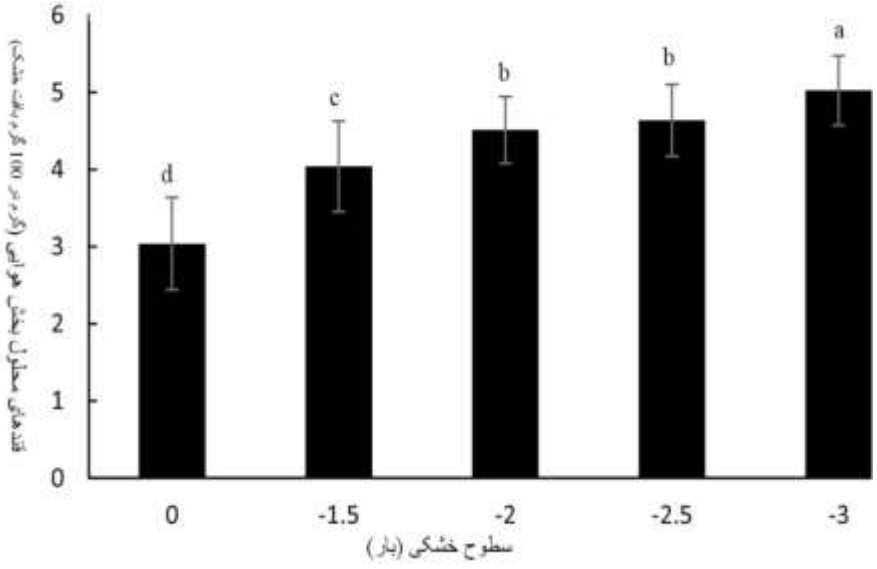
شکل ۱۵: میانگین پرولین ریشه در سطوح مختلف تنش خشکی

تفاوت‌های معنی‌داری میان سطوح مختلف تنش خشکی از نظر نسبت پرولین بخش هوایی به ریشه، وجود داشت (شکل١٦).

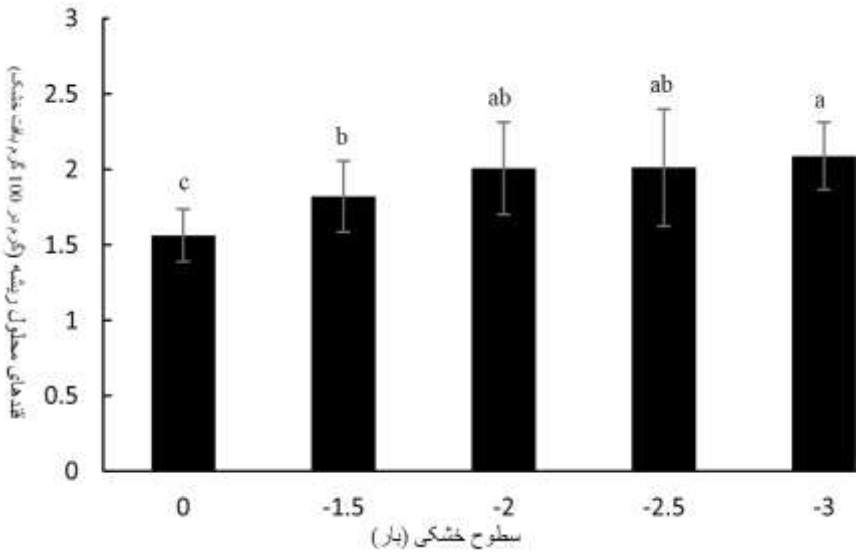


شکل ١٦: میانگین نسبت پرولین بخش هوایی به ریشه در سطوح مختلف تنش خشکی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد مقدار قندهای محلول موجود در بخش هوایی و ریشه تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفتند. بطورکلی با افزایش تنش خشکی، قندهای محلول بخش هوایی و ریشه افزایش یافت (شکل های ۱۷ و ۱۸). محققان علت افزایش قندهای محلول را در گیاهان مواجه با تنش خشکی به این صورت عنوان کرده اند،۱- افزایش تجزیه کربوهیدرات‌های نامحلول و در نتیجه بالا رفتن سطوح قندهای محلول ۲- سنتز مواد اسمتیک از مسیرهای غیر فتوسنتزی۳- توقف رشد ٤- کاهش سرعت انتقال مواد و ٥- افزایش سنتز ساکارز به دلیل فعالسازی آنزیم ساکارز فسفات سنتاز (٦، ۲۹ و ۳۱).



شکل ۱۷: میانگین قندهای محلول بخش هوایی در سطوح مختلف تنش خشکی



شکل ۱۸: میانگین قندهای محلول در ریشه در سطوح مختلف تنش خشکی

منابع

۱- **محمدی، ش. ۱۳۹٤.** بررسی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تنش خشکی در گیاه زنیان در دوره زایشی.دومین همایش ملی تازه های سلولی و مولکولی، شهر جدید پرند، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند.

۲- **میرزایی، س.، رحیمی، ا.، دشتی، ح. و سیادت، س .ع. ۱۳۸۹.** اثراصلاحی کلسیم و پتاسیم برخصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی زنیان تحت تنش شوری.یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات، تهران، دانشگاه شهید بهشتی.

۳- **میرزایی، س.، رحیمی ، ا.، دشتی، ح. و مداح‌حسینی، ش. ۱۳۹۲.**اثر اصلاحی کلسیم و پتاسیم بر محتوای پرولین، کلروفیل، پروتئین و رشد گیاه دارویی زنیان (*Carum copticum* L) تحت تنش شوری. دوره ۲۹، شماره ۲ – شماره پیاپی ٦۰، صفحه ۲٦۰-۲٤۷.

٤- **نجفی، ش.، شفقت، م. و رضوی‌زاده ، ر.۱۳۹۳.** اثر تنش کمبود آب بر شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه زنیان (Carum copticum). زیست شناسی گیاهی ایران. دوره ٦، شماره ۲۲، صفحه ۳۸-۲۵.

5- Alizade, A. 1381. Soil and plant water relations. Publication of Imam Reza (AS).

6-Arndt, S. K. K., Clifford, S. C., Wanek, W., Jones, H. G. and Popp, M. 2001. Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to Progressive drought stress. Tree Physiology. 21: 705-715.

7- Bates, L.S., Waldren, R. P. and Teare, L. D. 1973. Rapid determination of free raline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-208.

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

9- Bhatt, R. M. and Srinivasa Rao, N. K. 2005. In fluence of pod load on response of okra to water stress. Indian. J. Plant Physiol. 10: 54–59.

10- Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regul. 20: 135- 148.

11- Boydak, M., Dirik, H., Tilki, F. and Calikoglu, M. 2003. Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey. Turk, J. Agric. 27: 91-97.

12- Burslem, D. F. R. P., Grubb, P. J. and Turner, I. M. 1996. Responses to simulated drought and elevated nutrient supply among shade-tolerant tree seedlings of low land tropical forest in Singapore. Biotropica. 28: 636-648.

13- Cabuslay. G. S., Ito. O. and Alejar, A. A. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to coater deficit. Plant Science. 163: 815-827.
14- De, F. and Kar, R. K. 1994. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiate*) under water stress induced by PEG-6000. Seed Science and Technology. 23: 301-304.
15- Dodd, G. L. and Donovan, L. A. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. Am. J. Bot. 86: 1146-1153.
16- Dubious, M. K., Gilles, A., Hamilton, J. K., Roberts, P. A. and Smith, F. 1956. Colorimetrik method for determination if sugars and related. Annual Chemistry. 28: 350-356.
17- Haedari sharifabad, H. 1379. Plant, dryness and drought. First Edition. Publications and Rangelands Research Institute.
18- Heuer, B. 1999. Osmoregulatory role of raline in plants exposed to environmental stresses. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker. New York. P. 675–695.
19- http://en.wikipedia.org/wiki/Ajwain.
20- Ibrahim, L. 1995. Effects of nitrogen supply, water stress and interaction between water and nitrogen on assimilate partitioning in poplar. Ph.D Thesis. University of Aberdeen. UK.
21- Kashefi, B., Minuyiemoghadam, J. and Davazdah-Emami, S.2016. Investigation effect of salicylic acid on morpho- physiologic traits improve in three masses of C. copticum plant in Damghan Area. Jppf. 5 (17):235-243.
22- Kaya, M. D., Okcu, G., Atak, M., Cıkılı, Y. and Kolsarıcı, O. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Eur. J. Agron. 24: 291-295.
23- Khalesrou, S. H. and Aghalikhani, M. 2007. Effect of salinity and water stress on seed germination of sorghum and pearl millet. Research and reconstruction 153-163: 77.
24- Khurana, E. and Singh, J. S. 2000. Influence of seed size on seedling growth of *Albizia procera* under different soil water levels. Annals of Botany. 86: 1185-1192.
25- Macar, T. K., Turan, O. and Ekmekci, Y. 2009. Effects of water deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars and lines at early seedling stages. G.U. Journal of Science. 22: 5-14.
26- Michel, B. F. and Kaufmann, M. R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology. 57: 914-916.
27- Mir-hosseni-Dehabadi, S. R. 1994. The effect of water relation carbon isotope discrimination and shoot and root growth of sainfoin (*Onobrychis visifolia* Scope) and Lucerne (*Medicago sativa* L.). Ph.D. Thesis. Massey Universitiy. Newzealand. pp. 364.
28- Mrjani, A., Farsi, M. and Rahimizade, M. 1385. Evaluation of drought tolerance of chickpea genotypes during germination using PEG 6000. Agricultural Science. 12: 17-29
29- Nilsen, E. T. and Orcutt, D. M. 1996. Physiology of plants under stress: abiotic factors. John Wiley and Sons. New York. 689 p.
30- Nouri, A. 1379. To study the response of chickpea genotypes (Cicer arietinum) to drought stress induced by polyethylene glycol 6000 in germination and seedling stage. Master's dissertation. Faculty of Ferdowsi University of Mashhad.
31- Oliviera-Neto, C. F., Silva-Lobato, A. K., Goncalves-Vidigal, M. C., Costa, R. C. L., Santos Filho, B. G., Alves, G. A. R., Silva-Maia, W. J. M., Cruz, F. J. R., Neres, H. K. B. and Santos Lopes, M. J. 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. Science and Technology. 7: 588-593.
32- Pagter, M., Bragato, C. and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of Phragmites australis to water deficit. Aquatic Botany. 81: 285-299.
33- Rane, J., Maheshwari, M. and Nagarajan, S. 2001. Effect of pre-anthesis water stress on growth, photosynthesis and yield of six wheat cultivars differing in drought tolerance. Indian J. Plant Physiol. 6: 53–60.
34- Rzazade, Z. and Kouchaki, A.2005. A study of seed germination weed, fennel and dill to osmotic and matric potentials of NaCl and PEG 6000 at different temperatures. Journal of agricultural researches.3: 207 – 217
35- Slama, I., Messe36-di, D., Ghanaya, T., Savoure, A. and Abdelly, C. 2005. Effects of water deficit on growth and proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*. Environmental and Experimental Botany. 56: 231-238.
36- Siddique, M. R. B., Hamid, A. and Islam, M. S. 1999. Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. Bot. Bull. Acad. Sin. 40:141-145.
37- Soltani, A. and Galeshi, S. 2002. Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate subhumid environment: experimentation and simulation. Field Crops Res. 77: 17–30.
38- Takel, A. 2000. Seedling emergence and growth of sorghum genotypes under variable soil moisture deficit. Agronomy Journal. 48: 95-102.

39- Tobe, K., Zhang, L., Qiu, G.Y. and Shimizu, H. 2001. Characteristics of seed germination in five non-halophytic Chinese desert shrub species. Journal of Arid Environments. 47: 191-201.
40- Verslues, P. E., Ober, E. S. and Sharp, R. E. 1998. Root growth and oxygen relations at low water potentials, Impact of oxygen availability in polyethylene glycol solutions. Plant Physiol. 116: 1403-1412.
41- Zaenali. A. and Soltani, A.1379. Effects of water stress on wheat seedling growth of heterotrophic. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 7: 113-123.
42- Zeng, Y. J., Wang, Y. R. and Zhang, J. M. 2010. Is reduced seed germination due to water limitation a special survival strategy used by xerophytes in arid dunes. Journal of Arid Environments.74: 508-511.