



## تغییرات میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و جذب عناصر پتاسیم، روی و کلسیم در ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تنش خشکی

احمد آئین\*

استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت و کهنوج، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۱/۹/۱۲

### چکیده

این آزمایش به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر انباشت اسمولیت‌های سازگار کننده در ژنوتیپ‌های کنجد بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت و کهنوج اجرا شد. عامل اول سطوح مختلف تنش خشکی در چهار سطح شامل: ۱- قطع آبیاری از مرحله ۶-۴ برگی تا قبل از شروع گلدهی، ۲- قطع آبیاری از مرحله ۶-۴ برگی تا گلدهی کامل، ۳- قطع آبیاری از مرحله خاتمه گلدهی تا پایان فصل رشد، ۴- آبیاری کامل در تمام مراحل رشد گیاه براساس ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک کلاس A و عامل دوم شامل ارقام متحمل به خشکی در دو سطح: لاین JL13 و رقم محلی جیرفت بود. در طول دوره رشد و نمو گیاه، برخی صفات فیزیولوژیک از قبیل: میزان پرولین برگ، میزان کربوهیدرات‌های محلول در برگ، میزان جذب عناصر پتاسیم، روی و کلسیم اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصله نشان داد که اثر رقم بر میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول و اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ و هم‌چنین میزان جذب عناصر پتاسیم و روی در برگ معنی‌دار شد. اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر میزان کربوهیدرات‌های محلول در برگ معنی‌دار بود. میزان جذب کلسیم تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی و رقم قرار نگرفت. تنش خشکی در مراحل مختلف رشد باعث افزایش انباشت پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ و جذب یون‌های پتاسیم و روی در برگ شد. بیشترین میزان انباشت پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و جذب یون‌های پتاسیم و روی در تیمار حذف آبیاری از مرحله ۶-۴ برگی تا گلدهی کامل مشاهده شد. انباشت کربوهیدرات‌های محلول، در شرایط حذف آبیاری از مرحله ۶-۴ برگی تا گلدهی کامل در لاین JL-13 به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود.

**واژه‌های کلیدی:** کنجد، تنش خشکی، رقم، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، پتاسیم، روی و کلسیم

## مقدمه

واکنش‌های اکسیداسیون و احیا، ایفا می‌کند (Kavi Kishori *et al.*, 2005 ; Verbruggen & Hermons 2008). کربوهیدرات‌های محلول نظیر ساکارز از اسمولیت‌های سازگار کننده در گیاه به شماره می‌آیند و در تنظیم اسمزی نقش مؤثری دارند (Sairam & Tyagi 2004).

Ramak *et al.*, (2002) گزارش نمودند که با افزایش میزان تنش خشکی از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه (Fc)، محتوی پرولین ریشه و اندام هوایی در گونه‌های *Onobrychis radiate* و *O. Vicifolia* افزایش یافت. در این بررسی میزان پرولین اندام هوایی بیشتر از ریشه بود. Pirdashti *et al.*, (2009) گزارش نمودند که تنش خشکی در مراحل مختلف رشد ارقام برنج، سبب افزایش پرولین برگ شد. (Parida *et al.*, 2008) نشان دادند که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌داری در مقدار پرولین و فعالیت آنزیم پرولین -۵- کربوکسیلات ردوکتاز در برگ ارقام پنبه شد. (Martinez *et al.*, 1995) گزارش نمودند که در شرایط تنش خشکی انباشت پرولین در هیبریدهای متحمل به خشکی سیب زمینی بسیار بیشتر از ارقام حساس به خشکی بود. (2006)

Valentovic *et al.*, مشاهده نمودند که مقدار پرولین در برگ، ریشه و مزوکوتیل رقم حساس به خشکی ذرت (رقم آنکورا) در شرایط تنش خشکی به طور معنی‌دار افزایش یافت. آنها هم‌چنین گزارش نمودند که مقدار قندهای محلول در شرایط تنش خشکی در تمامی اندام‌های مذکور هم در رقم حساس و هم در رقم متحمل افزایش نشان داد. (Ghorbanli & Niakan 2005) گزارش نمودند که میزان قندهای محلول و پرولین در تنش ملایم و تنش شدید خشکی در ریشه گیاه سویا افزایش

تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا و ایران است. پاسخ گیاهان به تنش خشکی بستگی به نوع، شدت و مدت تنش و هم‌چنین گونه گیاهی و مرحله وقوع تنش دارد (Sarmadnia & Akhondi *et al.*, 2006; Kafi *et al.*, 2010; Nilsen ; Koocheki 2006 & Orcutt 1996). در شرایط تنش خشکی، همزمان با خشک شدن خاک، پتانسیل ماتریک آن منفی تر می‌شود. گیاهان تا زمانی قادر به ادامه جذب آب از خاک خواهند بود که پتانسیل آب آنها پایین تر از پتانسیل آب خاک باشد. لذا گیاهان آثار مضر تنش کم آبی را با افزایش متابولیسم و تنظیم اسمزی کاهش می‌دهند. بخش اعظم تنظیم اسمزی معمولاً بر اثر افزایش غلظت گروهی از ترکیبات از جمله قندها (ساکارز و فروکتان)، پلی‌اول‌ها (سوربیتول و مانیتول)، اسیدهای آمینه (پرولین)، آمین‌های چهارگانه (گلیسین بتائین) و یون‌های غیرآلی (خصوصاً  $K^+$ ) است. تجمع یون‌ها در طی تنظیم اسمزی عمدتاً محدود به واکوئل می‌شود و مواد تنظیم کننده دیگر در سیتوپلاسم تجمع می‌یابند تا تعادل پتانسیل آب بین دو بخش سلول برقرار شود (Kafi *et al.*, 2010; Shabala *et al.*, 2000; Sairam & Tyagi 2004; Ingram & Bartles 1996). از بین مواد مذکور، انباشت پرولین نقش بسیار مؤثری در تطابق و سازگاری گیاه با شرایط خشکی دارد. پرولین به عنوان یک اسمولیت سازگار کننده نقش مهمی در تنظیم اسمزی درون سلولی، پایدار کردن ساختار پروتئین‌ها و غشاء سلولی، جاروب کردن گونه‌های اکسیژن رادیکال (ROS)، تنظیم pH سلولی و

نداشت. هم‌چنین بین وارپته‌ها از نظر جذب کلسیم و غلظت کلسیم گیاه تفاوتی وجود نداشت. هم-چنین او نشان داد که خشکی ابتدا غلظت پتاسیم بافت را زیاد کرده ولی در تنش های شدید باعث کاهش پتاسیم بافت برگ شد. در این بررسی بین ارقام از نظر میزان منیزیم، فسفر و پتاسیم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. (Tarahomi et al., 2011) گزارش نمودند که افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار در پتاسیم ریشه و افزایش پتاسیم در بخش هوایی گیاه نوروبزک (*Salvia Lorigifolia Benth*) شد، به طوری که بیشترین مقدار پتاسیم در تنش ۸- بار مشاهده گردید.

مطالعه واکنش های فیزیولوژیک گیاه تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند به شناسایی مکانیسم های موثر در تحمل به خشکی کمک کند. بنابراین این پژوهش به منظور بررسی تنش خشکی در مراحل مختلف رشد کنگد بر میزان انباشت پرولین، کربوهیدرات های محلول و میزان جذب عناصر پتاسیم، روی و کلسیم در ژنوتیپ های کنگد اجرا گردید.

#### مواد و روش‌ها

این بررسی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۳۸۶ در مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت و کهنوج اجرا شد. عامل اول سطوح مختلف تنش خشکی در چهار سطح شامل: ۱- قطع آبیاری از مرحله ۶- ۴ برگی تا قبل از شروع گلدهی، ۲- قطع آبیاری از مرحله ۶- ۴ برگی تا گلدهی کامل، ۳- قطع آبیاری از مرحله خاتمه گلدهی تا پایان

معنی‌داری پیدا کرد، در حالی که در برگ و ساقه میزان این ترکیبات تنها در تنش شدید روند صعودی معنی‌داری را طی کرد. (Arazmjo et al., 2010) گزارش نمودند که با بالا رفتن سطح تنش خشکی تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه در گیاه بابونه، بر میزان تجمع دو تنظیم کننده اسمزی (کربوهیدرات ها و پرولین) افزوده شد. (Ahmadi & Sio-Se Mardeh, 2004) نشان دادند که تنش خشکی در گندم غلظت پرولین برگ را افزایش داد. آنها هم‌چنین مشاهده نمودند که تنش خشکی غلظت کربوهیدرات‌های محلول را در ارقام تجن و چمران افزایش و در رقم الوند کاهش داد. (Kameli & Losel, 1995) گزارش نمودند که قندهای محلول در برگ گیاهان تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابند. (Akhondi et al., 2006) در بررسی اثر تنش خشکی بر تجمع پرولین و تغییرات عناصر در یونجه‌های یزدی، نیک‌شهری و رنجر نشان دادند که با افزایش تنش خشکی بر میزان تجمع پرولین در اندام‌های مختلف افزوده می‌شود ولی میزان آن در ژنوتیپ‌ها و اندام‌های مختلف یونجه، متفاوت بود. تنش اسمزی موجب افزایش میزان تجمع پرولین در برگ نسبت به سایر اندام-های گیاه و افزایش معنی‌دار غلظت عناصر پتاسیم، سدیم، کلسیم در اندام‌های گیاه شد. (Cakmak, 2005) گزارش نمود بهبود وضعیت تغذیه گیاه از نظر پتاسیم می‌تواند به میزان زیادی تولید ROS را در گیاه از طریق کاهش فعالیت NADPH اکسیداز و پایدار نگه داشتن مسیر انتقال الکترون، کاهش دهد. (Bagheri, 2010) در بررسی اثر تنش خشکی بر محتوی یون‌ها در چهار رقم گندم مشاهده نمود که خشکی بر روی جذب کلسیم توسط گیاه اثری

برگی اقدام به تنک نمودن بوته‌ها شد. کودهای مورد نیاز براساس آزمون خاک شامل ۲۰۰، ۱۵۰، ۷۵ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب اوره، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و سولفات روی بودند. تیمارهای آزمایش از مرحله ۶ - ۴ برگی به بعد اعمال گردیدند. آبیاری به صورت فاروئی و در زمان مناسب بر حسب تیمارها انجام شد.

برخی صفات فیزیولوژیک از قبیل میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ و غلظت عناصر روی، کلسیم و پتاسیم در هر تیمار اندازه‌گیری شدند. زمان نمونه برداری با توجه به ماهیت سطوح اول تا چهارم تنش خشکی به ترتیب در مرحله قبل از شروع گلدهی، گلدهی کامل، دانه بندی و گلدهی کامل بود. نمونه برداری از برگ‌های کاملاً توسعه یافته موجود در قسمت‌های انتهایی گیاه انجام شد. برای اندازه‌گیری عناصر روی، کلسیم و پتاسیم در برگ پس از اعمال تیمارهای تنش، از تمامی پلات‌ها نمونه‌برداری شده و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از شسته شدن، خشک و آسیاب شدند. سپس یک گرم از نمونه آسیاب شده را خاکستر نموده و پس از حل کردن خاکستر در HCl، عصاره حاصل برای تجزیه آماده شد. برای اندازه‌گیری روی و کلسیم از روش جذب اتمی استفاده و با دستگاه اتمیک ابزوربشن مقدار آنها اندازه‌گیری شد. برای سنجش پتاسیم از روش نشر اتمی استفاده و با دستگاه فیلم‌فوتومتر، مقدار آن اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پرولین برگ، ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ تر در ۱۰ میلی‌متر اسید سولفوسالسیلیک ۳٪ به وسیله هاون، هم‌وزن شده و عصاره حاصل صاف گردید. ۲ میلی‌لیتر اسید استیک و ۲ میلی‌لیتر ناین‌هیدرین به ۲ میلی‌متر

فصل رشد و ۴- آبیاری کامل در تمام مراحل رشد گیاه براساس ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک کلاس A و عامل دوم شامل ارقام متحمل به خشکی در ۲ سطح: لاین JL-13 و رقم محلی جیرفت بود.

هر پلات شامل ۶ ردیف کاشت به طول ۶ متر بود. فواصل بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فواصل بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مشخصات اقلیمی و جغرافیایی محل اجرای آزمایش عبارتند از: ارتفاع از سطح دریا ۶۲۷ متر، طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی، متوسط بارندگی ۱۷۰ میلی‌متر، رطوبت نسبی ۵۵ تا ۶۵ درصد، ماکزیمم درجه حرارت ۴۸ درجه سلسیوس و می‌نیمم درجه حرارت یک درجه سلسیوس که در بعضی از سال‌ها به یک تا دو درجه زیر صفر نیز می‌رسد. قبل از اجرای طرح، نسبت به نمونه‌برداری از عمق ۳۰ - ۰ سانتی‌متر خاک مزرعه برای انجام آزمایش‌های خاک‌شناسی اقدام شد که مشخصات خاک محل اجرای آزمایش به شرح ذیل می‌باشد: بافت خاک لومی شنی، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (Ec) معادل ۱/۹۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان pH خاک ۷/۸، میزان فسفر، پتاسیم و روی قابل جذب به ترتیب ۳/۶، ۲۲۰ و ۰/۴۶ پی‌پی‌ام بود. خاک مذکور از نظر میزان کلسیم هیچ‌گونه محدودیتی نداشت. مقدار مواد آلی خاک بسیار ناچیز و در حدود ۰/۱ درصد بود. عملیات تهیه بستر کاشت شامل شخم، دیسک و لولر در نیمه اول تیرماه انجام و سپس ردیف‌های کاشت به فواصل ۵۰ سانتی‌متر توسط فاروئر ایجاد شدند. کاشت در تاریخ ۲۰ تیرماه به صورت متراکم انجام و در مرحله ۴- ۲

براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

### نتایج و بحث

خلاصه نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، پتاسیم، روی و کلسیم برگ در جدول ۱ نشان داده شده است. اثر رقم و حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد بر میزان پرولین برگ به ترتیب در سطح آماری ۱ و ۵ درصد معنی‌دار شده است، اما اثر متقابل آنها بر میزان پرولین برگ معنی‌دار نشد (جدول ۱).

انباشت پرولین در تیمارهای حذف آبیاری نسبت به شاهد افزایش نشان داد. تیمار  $D_2$  (حذف آبیاری از مرحله ۶ - ۴ برگی تا گلدهی کامل) که طول دوره حذف آبیاری و یا به عبارت دیگر تنش خشکی در آن بیشتر از سایر تیمارها بود با انباشت  $69/3$  میلی-گرم پرولین در گرم وزن تر برگ، برتر از سایر تیمارها بود و بعد از آن تیمارهای حذف آبیاری از مرحله خاتمه گلدهی تا پایان فصل رشد ( $D_3$ ) و حذف آبیاری از مرحله ۶-۴ برگی تا قبل از شروع گلدهی ( $D_1$ ) قرار گرفتند (جدول ۲). این مطلب مؤید این موضوع است که انباشت پرولین در شرایط تنش خشکی و افزایش آن با افزایش شدت تنش خشکی به عنوان یک سازوکار مهم جهت تحمل به تنش اسمزی از طریق تنظیم فشار اسمزی و جلوگیری از خسارت تنش اکسیداتیو قابل توجه می‌باشد. نتایج تحقیقات انجام شده توسط Valentovic *et al.*, (2006) در ذرت،

از عصاره صاف شده فوق، اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب و در دمای  $100$  درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از آن برای پایان یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش در داخل یک بستر یخی قرار گرفته و  $4$  میلی‌متر تولوئن به هر لوله اضافه گردید. غلظت پرولین نمونه‌ها در تولوئن با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج  $520$  نانومتر و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates *et al.*, 1973) به منظور اندازه‌گیری غلظت کربوهیدرات‌های محلول، نمونه‌های برگ ابتدا در دمای  $80$  درجه سلسیوس به مدت  $48$  ساعت خشک شده، پس از آن کربوهیدرات‌های محلول از طریق سه بار عصاره‌گیری یک گرم ماده خشک برگ در  $15$  میلی‌لیتر الکل اتیلک داغ  $80$  درصد استخراج شد. سپس عصاره حاصل با استفاده از  $4/7$  میلی‌لیتر هیدروکسید باریم  $0/3$  نرمال و  $5$  میلی‌لیتر سولفات روی  $0/5\%$  صاف گردید. پس از اضافه کردن یک میلی‌لیتر فنل  $0/5\%$  و  $5$  میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به  $2$  میلی‌لیتر از نمونه‌های صاف شده غلظت کربوهیدرات‌های محلول به وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج  $535$  نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف گلوکز تعیین شد (Ahmadi & Sio-Se Mardeh, 2004).

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT C انجام و مقایسه میانگین داده‌ها

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس برخی از صفات فیزیولوژیک مورد بررسی

مقادیر میانگین مربعات (MS)					درجه آزادی	منبع تغییرات
مقدار کلسیم برگ	مقدار روی برگ	مقدار پتاسیم برگ	کربوهیدرات‌های محلول در برگ	میزان پرولین برگ		
۰/۱۵	۱۶/۹	۰/۲۶۲	۲۲	۸/۵	۲	تکرار
۰/۰۱۸ <sup>ns</sup>	۱۱/۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۵۱۶/۱ <sup>**</sup>	۶۲/۱ <sup>*</sup>	۱	رقم
۰/۰۴۹ <sup>ns</sup>	۸۵/۷ <sup>**</sup>	۰/۲۴۷ <sup>*</sup>	۲۰۶۸/۸ <sup>**</sup>	۲۸۴۴/۵ <sup>**</sup>	۳	حذف آبیاری
۰/۰۱۴ <sup>ns</sup>	۳/۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۸ <sup>ns</sup>	۵۳/۶ <sup>*</sup>	۸/۱ <sup>ns</sup>	۳	رقم × حذف آبیاری
۰/۰۵۵	۷/۵	۰/۰۶۶	۱۰/۶	۷/۳	۱۴	خطای آزمایش
۱۰/۳۷	۸/۹۹	۱۰/۸۲	۵/۸۱	۶/۸۶		C.V (%)

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد، ns معنی‌دار نیست.

D<sub>2</sub>V<sub>2</sub> در جایگاه بعدی قرار گرفت (جدول ۳). بنظر می‌رسد تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ در شرایط تنش خشکی به دلیل نیاز به آنها جهت تنظیم فشار اسمزی برگ و پایداری غشای سلولی باشد. Martin *et al.*, (1993) و Kameli & Losel (1995) گزارش کرده‌اند که ترکیباتی همانند کربوهیدرات‌های محلول در تنظیم اسمزی و مکانیسم‌های حفاظتی نقش دارند. نتایج این تحقیق با یافته‌های (Ahmadi & Sio-Se Mardeh (2004), Valentovic *et al.*, (2004) و Arazmjo *et al.*, (2010) مبنی بر افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در برگ در شرایط تنش خشکی، مطابقت و هم‌خوانی دارد. تأثیر حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد بر غلظت پتاسیم در برگ در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد. اثر رقم و هم‌چنین اثر متقابل رقم و حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد بر غلظت پتاسیم معنی‌دار نشد (جدول ۱). غلظت یون پتاسیم در تیمارهای حذف آبیاری در مقایسه با شاهد افزایش یافت. بطوریکه با افزایش شدت تنش خشکی (از طریق حذف آبیاری در دوره‌های زمانی

Ahmadi & Sio-Se Mardeh (2004) در گندم، Ghorbanli *et al.*, (2009) در برنج، Akhondi *et al.*, & Niakan (2005) در سویا، Parida *et al.*, (2006) در یونجه، Parida *et al.*, (2002) در اسپرس، Parida *et al.*, (2008) و De Ronde *et al.*, (2000) در پنبه و Martinez *et al.*, (1995) در سیب‌زمینی، همگی بیانگر این است که انباشت پرولین در گیاهان مختلف در هنگام تنش خشکی جهت مقابله با تنش اسمزی صورت می‌گیرد که با نتایج این تحقیق، مطابقت و هم‌خوانی دارند.

تأثیر رقم و حذف آبیاری در سطح آماری ۱ درصد و اثر متقابل آنها در سطح ۵ درصد بر روی میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ معنی‌دار شد (جدول ۱). اثر متقابل حذف آبیاری و رقم به طور معنی‌داری، انباشت کربوهیدرات‌های محلول در برگ را متأثر ساخت، به طوری که تیمار D<sub>2</sub>V<sub>1</sub> (حذف آبیاری از مرحله ۶ - ۴ برگی تا پایان گلدهی کامل در رقم JL-13) با تجمع ۸۳/۴ میلی‌گرم کربوهیدرات محلول در گرم ماده خشک برگ، برتر از سایر ترکیب‌های تیماری بود و بعد از آن تیمار

گزارش شده است. از جمله می توان به یافته‌های Shabala *et al.*, Kidambi *et al.*, (1990) (2000)، Akhondi *et* .Cakmak (2005)، (2006) *al.*، Bagheri (2010) و Tarahomi *et al.*, (2011) اشاره نمود که با یافته‌های این تحقیق مطابقت و همسوئی دارند.

بیشتر)، تجمع یون پتاسیم در برگ افزایش نشان داد. بیشترین غلظت پتاسیم به میزان ۲/۵۹ درصد و در تیمار حذف آبیاری از مرحله ۶-۴ برگی تا گلدهی کامل (D<sub>2</sub>) مشاهده شد که با شاهد و سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار ندارد (جدول ۲). نتایج متعددی در خصوص نقش پتاسیم در تنظیم اسمزی و تحمل گیاهان به خشکی

جدول ۲- اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر برخی صفات فیزیولوژیک دو رقم کنجد

تیمار	میزان پرولین برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	پتاسیم (درصد)	روی (ppm)
D <sub>۱</sub>	۳۰/۴ <sup>c</sup>	۲/۴۱ <sup>ab</sup>	۲۸/۶ <sup>bc</sup>
D <sub>۲</sub>	۶۹/۳ <sup>a</sup>	۲/۵۹ <sup>a</sup>	۳۵/۶ <sup>a</sup>
D <sub>۳</sub>	۳۹/۱ <sup>b</sup>	۲/۳۷ <sup>ab</sup>	۳۰/۹ <sup>b</sup>
D <sub>۴</sub>	۱۸/۳ <sup>d</sup>	۲/۱ <sup>b</sup>	۲۶/۹ <sup>c</sup>

D<sub>1</sub> = حذف آبیاری از مرحله ۴ تا ۶ برگی تا قبل از شروع گلدهی، D<sub>2</sub> = حذف آبیاری از مرحله ۴ تا ۶ برگی تا گلدهی کامل، D<sub>3</sub> = حذف آبیاری از مرحله خاتمه گلدهی تا پایان فصل رشد، D<sub>4</sub> = آبیاری کامل (شاهد). میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون بر حسب آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند

محدودی تاکنون منتشر شده است. Alizadeh (2010) در ذرت و Nasri *et al.*, (2008) در کلزا مشاهده نمودند که تنش کم آبی سبب افزایش غلظت روی در اندام‌های گیاه می‌شود که با نتایج این تحقیق همسوئی دارد.

تأثیر حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد، رقم و اثر متقابل آنها بر تجمع یون کلسیم در برگ معنی‌دار نشد (جدول ۱). حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد کنجد نتوانست بر جذب کلسیم توسط گیاه اثری بگذارد و بین سطوح مختلف حذف آبیاری و هم‌چنین شاهد (آبیاری کامل) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. هم‌چنین ارقام کنجد از نظر میزان جذب کلسیم تفاوت معنی‌داری

اثر حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد بر تجمع یون روی در برگ در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد در صورتی که تأثیر رقم و اثر متقابل رقم و حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد بر میزان تجمع روی در برگ معنی‌دار نشد (جدول ۱). انباشت یون روی در تیمار D<sub>2</sub> (حذف آبیاری از مرحله ۶ - ۴ برگی تا مرحله گلدهی کامل) بیشتر از شاهد و هم‌چنین سایر تیمارها بود. با توجه به اینکه در تیمار D<sub>2</sub>، بوته‌های کنجد در مدت زمان بیشتری در معرض تنش کم آبی قرار گرفته بودند لذا تجمع روی احتمالاً بعنوان یکی از املاح معدنی مورد نیاز جهت تنظیم اسمزی در واکوئل سلول‌ها افزایش یافت. در خصوص انباشت یون روی در شرایط تنش در اندام‌های هوایی گیاه گزارشات

نداشتند (جدول ۲). یافته‌های (Bagheri (2010) مؤید نتایج این تحقیق در این خصوص می‌باشد.

جدول ۳- اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر میزان کربوهیدراتهای محلول برگ

میزان کربوهیدراتهای محلول برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)	تیمار
۶۸/۱ <sup>b</sup>	V <sub>1</sub> D <sub>1</sub>
۸۳/۴ <sup>a</sup>	V <sub>1</sub> D <sub>۲</sub>
۵۷/۸ <sup>c</sup>	V <sub>1</sub> D <sub>۳</sub>
۳۳/۹ <sup>e</sup>	V <sub>1</sub> D <sub>۴</sub>
۵۱/۹ <sup>d</sup>	V <sub>۲</sub> D <sub>1</sub>
۷۲/۶ <sup>b</sup>	V <sub>۲</sub> D <sub>۲</sub>
۴۹/۵ <sup>d</sup>	V <sub>۲</sub> D <sub>۳</sub>
۳۲/۱ <sup>e</sup>	V <sub>۲</sub> D <sub>۴</sub>

V<sub>1</sub> = لاین JL-13، V<sub>2</sub> = رقم محلی جیرفت، D<sub>1</sub> = حذف آبیاری از مرحله ۴ تا ۶ برگی تا قبل از شروع گلدهی، D<sub>2</sub> = حذف آبیاری از مرحله ۴ تا ۶ برگی تا گلدهی کامل، D<sub>3</sub> = حذف آبیاری از مرحله خاتمه گلدهی تا پایان فصل رشد، D<sub>4</sub> = آبیاری کامل (شاهد). میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون بر حسب آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰.۵ فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

### نتیجه گیری

بیشترین میزان این ترکیبات در تیمار حذف آبیاری از مرحله ۶-۴ برگی تا گلدهی کامل مشاهده گردید. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی لاین JL-13 برتری معنی‌داری نسبت به رقم محلی جیرفت از نظر انباشت پرولین و کربوهیدرات‌های محلول نشان داد. این مطالب مؤید این موضوع هستند که یکی از مکانیسم‌های تحمل به تنش خشکی در گیاه کنجد، انباشت اسمولیت‌های سازگار کننده مذکور می‌باشد که از طریق تنظیم اسمزی و دخالت در مکانیسم‌های حفاظتی با تنش خشکی مقابله می‌نمایند. بنابراین به نظر می‌رسد که در کنجد انباشت پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و پتاسیم و روی به عنوان یک شاخص فیزیولوژیک تحمل به خشکی می‌تواند توسط به نژادگران برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد.

یکی از راهکارهای تحمل به تنش کم آبی در گیاهان تنظیم اسمزی می‌باشد. تنظیم اسمزی معمولاً از طریق افزایش میزان انباشت کربوهیدرات‌های محلول (قند‌ها)، اسیدهای آمینه از جمله پرولین و گلیسین بتائین و یون‌های غیر آلی مخصوصاً پتاسیم در شرایط تنش کم آبی در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (Kafi *et al*, 2010; Shabala *et al*, 2000; Ingram & Bartles 1996; Cakmak 2005; Sairam & Tyagi 2004; Valentovic *et al*, 2006; Kameli & Losel 1995; Kavi Kishori *et al*, 2005). نتایج این تحقیق ضمن انطباق و همسوئی با یافته‌های مذکور نشان می‌دهد که با افزایش شدت تنش خشکی در مراحل اولیه رشد تا گلدهی گیاه، انباشت اسمولیت‌های سازگار کننده نظیر پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و یون‌های پتاسیم و روی در برگ کنجد افزایش یافت به طوری که



**References:**

- Ahmadi, A. and A. Sio-Se Mardeh. 2004. The effect of water stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline contents of four Iranian wheat cultivars under different moisture regims. *Iranian Journal of Agricultural Science*. 35(3): 753-763 (in Persian).
- Akhondi, M., A. Safarnejad and M. Lahoti. 2006. Effect of drought stress on proline accumulation and changes in elements in Yazdi, Nikshahri and Ranjer alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 10(1): 165-174 (in Persian).
- Alizadeh, O. 2010. Evaluation effect of water stress and nitrogen rates on amount of absorbtion some macro and micro element in corn plant mycorrhiza and non mycorrhiza. *Advances in Natural and Applied Science*. 4(2): 153 - 158.
- Arazmjo, A., M. Heidari and A. Ghorbani. 2010. The effect of water stress and three sources of fertilizers on flower yield, physiological parameters and nutrient uptake in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 25(4):482-494 (in Persian).
- Bagheri, A. R. 2010. The effect of drought stress on yield, yield components and ion contents of four wheat cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology*. 1(3): 15-30 (in Persian).
- Bates, L., R. P. Waldren., and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205-207.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168: 521 - 530.
- De Kankova, K., M. Luxova, O. Gasparikova, L. Kolarovic. 2004. Response of maize plants to water stress. *Biologia*. 13: 151 - 155.
- De Ronde J. A., P. Van Der Meschet, H. S. F., Steyn. 2000. Proline accumulation in response to drought and heat stress in cotton. *African Journal of Crop Science*. 8: 85 - 92.
- Ghorbanli, M. and M. Niakan. 2005. Effect of drought stress on soluble sugars, protein, proline, phenolic compound contents and reductase enzyme activity in Gorgan 3 soybean cultivar. *Journal of Science (Teacher Training University)*. 5(1&2): 538-550 (in Persian).
- Ingram, J. and D. Bartles. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 47: 377 - 403.
- Kafi, M., E. Zand, B. Kamkar, A. Mahdavi-Damghani and F. Abbasi. 2010. *Plant physiology 2 (translate)*. Jihad-e- Daneshgahi of mashhad press.
- Kameli, A. and Losel, D. M. 1995. Contribution of sugars and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *Journal of Plant Physiology*, 145: 366 - 367.
- Kavi Kishori, P. B., S. Sangam, R. N. Amrutha, P. Sri Laxmi, K. R. Naidu, K. R. S. S. Rao, S. Rao, K. J. Reddy, P. Theriappan, and N. Sreenivasulu. 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plant: its implication in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*. 88 (3): 424 – 438.
- Kidambi, S., P. A. G. Matches and T. P. Bolger. 1990. Mineral concentration in alfalfa and sanifoin as influenced by soil moisture level. *Agronomy Journal*. 82: 229 - 236.
- Martin, M., F. Micell, J. A. Morgan, M. Scalet and G. Zerbi. 1993. Synthesis of osmotically active substance in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 171: 176 - 184.
- Martinez, C. A., C. Guerrero and U. Moreno. 1995. Diurnal fluctuations of carbon exchange rate, proline content and osmotic potential in two water - stressed potato hybrids. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. 7: 27- 33.
- Nasri, M., M. Khalatbari, W. Zahedi, F. Paknejad, H. R. Tohidi moghadam. 2008. Evaluation of macro and micro elements in drought stress condition in cultivars of rapeseed (*Brassia napus* L.). *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 3(3): 579 - 583.
- Nilsen, E. T. and D. M. Orcutt. 1996. *Physiology of plants under stress (Abiotic factors)*. John Wiley & Sons Pub., New York.
- Parida, A. K., V. S. Dagaonkar, M. S. Phalak and L. P. Aurangabadkar. 2008. Differential response of the enzymes involved in proline

- biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30: 619 – 627.
- Pirdashti, H., Z. Tahmasebi – Sarvestani and M. A. Bahmanyar. 2009. Comparison of physiological response among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 49: 52 – 53.
- Ramak, P., R. Khavarinejad, H. Heidari and M. Rafiee. 2002. Effect of deficit water stress on root and shoot proline content in *Onobrychis raduata* and *Onobrychis viciifolia* species. Abstracts Proceeding of 7<sup>th</sup> Iranian Congress of Crop Production and Plant Breeding. P.239 (in Persian).
- Sairam, R. K. and A. Tyagi. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*. 86: 407 - 421.
- Sarmadnia, Gh. and A. Koocheki. 2006. *Physiology of crop plants* (translate). Jihad-e- Daneshgahi of mashhad press.
- Shabala, S., O. Babourina and L. Newman. 2000. Ion - specific mechanisms of osmo - regulation in bean mesophyll cells. *Journal of Experimental Botany*. 51: 1243 - 1253.
- Tarahomi, G., M. Lahoti and F. Abbasi .2011. Study the effects of drought stress on changes of soluble sugars, chlorophyll content and potassium in *Salvia Leriifolia* Benth. *The Quarterly Journal of Biological Science (Islamic Azad University, Zanjan branch)*. 9(3):1-7 (in Persian).
- Valentovic, P., M. Luxova, L. Kolarovic and O. Gasparikova. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize cultivars. *Plant Soil Environment journal*. 52 (4): 186 – 191.
- Verbruggen, N., C. Hermons. 2008. Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*. 35(4): 753 – 759.