مقاله پژوهشی

# تأثیر محلول‌پاشی پوترسین و نیترات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در سطوح مختلف رطوبتی

**سمیرا قلی‌پور، غلامرضا زمانی، مجید جامی الاحمدی**

**گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند**

**(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰٤/۰٤)**

**چکیده**

**تنش رطوبتی، از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات زراعی از جمله گیاهان دانه روغنی در کشورمان است. از این‌رو این تحقیق با هدف مطالعه تأثیر سطوح مختلف رطوبتی بر محتوای اسیدآمینه متیونین، پرولین، قند محلول و پروتئین برگ کنجد در سال زراعی ۱۳۹۷ به‌صورت اسپلیت پلات -فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. در این آزمایش سطوح رطوبتی در سه سطح شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی کنجد به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی نیترات کلسیم در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار و پوترسین در دو سطح (۰/۵ میلی‌مولار و محلول‌پاشی با آب) به‌عنوان فاکتور فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین برای اسیدآمینه متیونین، لیزین، پرولین و عملکرد دانه معنی‌دار بودند بیشترین مقدار اسیدآمینه متیونین ۰/۰٦۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در صورت محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین در سطوح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی به‌دست آمد. برهمکنش‌های دوگانه نیترات کلسیم و پوترسین، سطوح رطوبتی و پوترسین و هم‌چنین سطوح رطوبتی و نیترات کلسیم بر قند محلول و پروتئین برگ معنی‌دار بود. به‌طورکلی کاربرد محلول‌پاشی نیترات کلسیم و پوترسین بهترین تیمار در جهت کاهش تأثیرات سطوح رطوبتی در گیاه کنجد بود که نشان‌دهنده وجود رابطه هم‌افزایی بین آن‌ها در کاهش اثرات ناشی از سطوح رطوبتی است.**

**کلمات کلیدی: پرولین، قند محلول، کنجد، متیونین، محلول‌پاشی**

**مقدمه**

کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) از تیره کنجد (Pedaliaceae) گیاهی یک‌ساله (Akpan-Iwo *et al*., 2007) خودگشن به‌صورت بوته‌ای رشد می‌کند و دارای سیستم ریشه‌ای مستقیم، قوی و گسترده که قادر است در خاک‌های نفوذپذیر، گرم و مرطوب تا عمق ۲ متری نفوذ نماید (خواجه پور، ۱۳۸۳). بیشترین بخش کاربردی کنجد دانه آن است که نزدیک به ۷۵ درصد آن از چربی و پروتئین تشکیل یافته است (شوت، ۱۳۷٤). روغن کنجد از روغن‌های نیمه‌خشک و بسیار مرغوب است و به موجب کیفیت عالی روغن دارای بوی مطبوع و مزه خوبی است، به همین دلیل دانه این گیاه را ملکه دانه‌های روغنی می‌نامند (Bar, 1982).

تنش خشکی یکی از شدیدترین تنش‌های غیرزیستی است که فیزیولوژی گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و از جمله عوامل

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: gzamani@birjand.ac.ir

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

محدودکننده تولید گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Liu *et al*., 2005). گیاهان به‌منظور مقابله با تنش خشکی، پاسخ‌ها و سازش‌های متنوع مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی را در سطوح مختلف نشان می‌دهند (Munns and Tester, 2008). تنش رطوبتی غلظت پروتئین برگ را کاهش می‌دهد که با کاهش آنزیم روبیسکو و نقصان فتوسنتز نیز همراه است (سی‌وسه مرده و همکاران، ۱۳۸۳). به نظر می‌رسد که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش رطوبتی به‌دلیل واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و درنتیجه تغییر اسیدهای آمینه، هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و نیز کاهش میزان آنزیم روبیسکو (Hanson and Hitz, 1982)، کاهش سنتز پروتئین و تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین است که به‌طور هم‌زمان با تنش کم‌آبی در بسیاری از گیاهان اتفاق می‌افتد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷٤؛ Ranjan *et al*., 2001).

درنتیجه واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و درنتیجه تغییر اسیدآمینه، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، کاهش میزان آنزیم روبیسکو (Hanson and Hitz, 1982)، هم‌چنین کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین که به‌طور هم‌زمان با تنش کم‌آبی در بسیاری از گیاهان روی می‌دهد، همراه باشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷٤؛ Ranjan *et al*., 2001). گیاهان در شرایط تنش کمبود آب، از طریق تخریب پروتئین‌ها و تجمع برخی اسیدهای آمینه آزاد (Yamada and Fukutoku, 1986) از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ‌های خود قادر به تنظیم اسمزی هستند (Moradshahi *et al*., 2004). قندهای محلول به‌واسطه حفظ آماس در برگ‌های تحت تنش، از دهیدراسیون پروتئین‌ها و غشاهای سلولی جلوگیری می‌کنند (Crow *et al*., 1990). متیونین پیش‌ماده سنتز پلی‌آمین‌ها بوده که به‌عنوان تقویت‌کننده سیستم دفاعی عمل کرده و در شرایط تنش تجزیه متیونین موجب افزایش تولید پلی‌آمین‌ها و افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش می‌شود (Pang *et al*., 2007). برای ساخته شدن پلی‌آمین‌ها، پیش‌ماده s- آدنوزیل متیونین نیاز است که برای ساخت اتیلن نیز همین پیش‌ماده لازم است، بنابراین با افزایش ساخت پلی‌آمین‌ها و افزایش غلظت آن‌ها در گیاه، سنتز اتیلن کاهش یافته و منجر به مقاومت گیاه تحت می‌شود (طلایی و همکاران، ۱۳۹۱). کاربرد پوترسین به‌عنوان یک روش مناسب برای کاهش خسارات ناشی از تنش در نظر گرفته شده است و کاربرد آن در شرایط تنش کم‌آبی در گیاه فلفل شیرین سبب بهبود ویژگی‌های این گیاه گردید (علیزاده و همکاران، ۱۳۹٦). صفاری و همکاران (۱۳۹٤) گزارش نمودند که محلول‌پاشی پوترسین بر روی گیاه دارویی آویشن در شرایط کمبود آب موجب تجمع پرولین آزاد در برگ‌ها و کاهش اثرات زیان‌بار تنش رطوبتی شد. کاربرد برخی عناصر به‌صورت محلول‌پاشی سبب کم‌کردن اثرات منفی تنش می‌گردد از جمله یون کلسیم که اثرات قابل توجهی در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان داشته و صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاهانی که تحت تنش قرار گرفته‌اند را بهبود می‌بخشد (Munns and Termaat, 1986). هم‌چنین به‌عنوان پیک ثانویه در گیاهان عمل می‌کند و در انتقال انواع وسیعی از علائم شرکت دارد، بنابراین ممکن است جز مهمی از پاسخ گیاهان به خشکی باشد (بیک‌خور میزی و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج پژوهش‌ها نشان داده که کاربرد کلسیم اثرهای سو تنش خشکی بر گیاهان مختلف مثل آفتابگردان (Ibrahim *et al*., 2016) و کلزا (منشی و همکاران، ۱۳۹٦) را کاهش می‌دهد.

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر محلول‌پاشی ترکیبات حاوی کلسیم و پلی‌آمین‌های آزاد در سطوح مختلف تنش رطوبتی کنجد به‌منظور کاهش مشکلات فیزیولوژیکی و هم‌چنین تغییرات حاصل بر محتوای اسیدآمینه متیونین، پرولین، قند محلول و پروتئین برگ در این گیاه و تشخیص جایگاه پوترسین و نیترات کلسیم در کاهش صدمات ناشی تنش رطوبتی است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی بر روی گیاه کنجد انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

**جدول ۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک**

| بافت | منیزیم | سدیم | پتاسیم | کلسیم | رطوبت اشباع | درصد ماده آلی | pH | هدایت الکتریکی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (Meq/lit) | | | | ٪ | | | ($dS/m^{-1}$) |
| شنی لومی | ٤/٤ | ٣٤/٣ | ٣/٢ | ١٢/٤ | ٢٤/٥ | ٠/٣٨ | ٨ | ٥/٢ |

فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش سطوح رطوبتی در سه سطح شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی با نیترات کلسیم در سه سطح صفر، ۵ و۱۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی با پوترسین در دو سطح (صفر و ۰/۵ میلی‌مولار) به‌عنوان فاکتور فرعی بود. علاوه بر این در هر کرت اصلی یک کرت فرعی به‌عنوان شاهد بدون تیمار لحاظ شد (شمس، ۱۳۸۸). پوترسین، پودر دانه‌ریز سفید رنگ، ساخت شرکت سیگما آمریکا و نیترات کلسیم جامد بلوره‌ای، ساخت شرکت مرک آمریکا خریداری گردید. نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

کاشت بذور کنجد با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر و تراکم کاشت ٤۰ بوته در مترمربع در اواسط خرداد انجام شد (بهروز و شیرزادی، ۱۳۸۳)، فاصله بین کرت‌های اصلی (تیمار رطوبتی) سه خط نکاشت (۱/۵ متر) تا از نشت رطوبت به کرت مجاور جلوگیری شود و فاصله بین کرت‌های فرعی یک خط نکاشت (۰/۵ متر) در نظر گرفته شد. پس از استقرار کامل بوته‌ها (۲۵ روز بعد از کاشت)، تیمارهای آبیاری براساس ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی کنجد انجام گرفت. مرحله اول محلول‌پاشی پوترسین و نیترات کلسیم دو روز بعد از اعمال تنش (مرحله نونهالی) و مرحله دوم محلول‌پاشی ۳۸ روز پس از کاشت در (مرحله گرده‌افشانی) در غلظت‌های مذکور انجام گرفت. هم‌چنین فواصل بین دو محلول‌پاشی حداقل یک هفته در نظر گرفته شد (Bakry *et al.*, 2012). محلول‌پاشی با استفاده از سم‌پاش پشتی دستی ۲۰ لیتری بعد از کالیبره‌کردن با فشار یک اتمسفر انجام گرفت. به‌منظور کاهش تبخیر و جذب بیشتر، محلول‌پاشی یک ساعت قبل از غروب آفتاب انجام شد. نیاز آبی گیاه براساس میزان آب مورد نیاز کنجد با نرم‌افزار (CROPWAT) در شرایط بیرجند تعیین شد. برای محاسبه حجم آبیاری هر کرت ابتدا نیاز ناخالص آبیاری به‌دست آمد و سپس برای توزیع حجم آب آبیاری بین کرت‌ها و تنظیم دقیق توزیع آب از پمپ و کنتور آب برای اندازه‌گیری حجم دقیق آبیاری استفاده شد.

صفات مورد ارزیابی شامل اسیدآمینه متیونین، لیزین، پرولین، قند محلول، پروتئین برگ و عملکرد دانه بودند. اندازه‌گیری اسیدآمینه لیزین و متیونین با استفاده از روش Feller و همکاران (۱۹٦۹) صورت گرفت، برای اندازه‌گیری میزان لیزین ۰/۵ گرم نمونه برگی را در ۵۰ میلی‌لیتر از هیدروکلریک اسید (۰/۱ نرمال) حل شده و با آب‌مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از صاف‌کردن محلول، ۰/۵ میلی‌لیتر از آن را با گلیسرول (۵۰ درصد)، و نیز ۲ میلی‌لیتر از بافر فسفات (pH =٦) و ۱ میلی‌لیتر نین‌هیدرین اضافه نموده و به‌مدت ۳۰ دقیقه در آب‌جوش ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و جذب در ۵۷۰ نانومتر خوانده شد.

برای اندازه‌گیری مقدار متیونین ۱۰ میلی‌لیتر از محلول تهیه شده در قسمت بالا را در فلاکس ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به آن ٤ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید (۵ نرمال)، ۲ میلی‌لیتر از محلول گلیسین آبدار و ۲ میلی‌لیتر از محلول سدیم نیتروفری سیانید آبدار (۰/۱) اضافه شد. البته بعد از افزودن هر کدام از مواد فوق، محلول خوب (ورتکس) گردید، محلول حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار گرفت و بعد به‌مدت ۵ دقیقه در حمام یخ نگهداری شد. سپس به محلول ۵ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید (۱:۱) اضافه کرده و خوب مخلوط شد و بعد از خنک‌شدن به‌مدت ۲-۳ دقیقه از صافی عبور داده شد و میزان جذب آن در ۵۱۰ نانومتر خوانده شد. میزان لیزین و متیونین برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

اندازه‌گیری میزان پرولین برگ با استفاده از روش Bates و

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

همکاران (۱۹۷۳) صورت گرفت. یک گرم بافت برگی در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد سائیده و همگنای حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و با سرعت ٤۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤ سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید سپس به ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین اضافه شد. جهت تهیه معرف نین‌هیدرین، ۱/۲۵ گرم پودر نین‌هیدرین به۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه گردید، و سپس ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ٦ مولار به آن افزوده و بعد ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص به محلول اضافه گردید. لوله‌ها به‌مدت یک ساعت در حمام آب گرم قرار داده شد و بعد ٤ میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌ها اضافه و به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردید. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز بالایی رنگی، با دقت جدا و جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد.

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین ۰/۵ گرم نمونه تر برگ در هاون چینی کوبیده و سپس به آن ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج پروتئین که شامل ۵ میلی‌لیتر تریس- اسید کلریدریک ۱ مولار، ۲۰۰ میکرولیتر $Na_2EDTA$ ۱ مولار و ۰/۰٤ درصد (v/v – ۲– مرکاپتو اتانول) بود، اضافه شد. و محلول حاصل با استفاده از سانتریفیوژ (۱۱۵۰۰ دور در دقیقه در دمای $4^{\circ}C$ به‌مدت ۲۱ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس برای خارج‌کردن تمام ناخالصی‌های موجود در نمونه، محلول رویی داخل لوله مجدداً به‌مدت ۲۰ دقیقه در ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۵۰۰۰ میکرولیتر از محلول برادفورد و ۲۹۰ میکرولیتر بافر استخراج و ۱۰ میکرولیتر عصاره استخراج را مخلوط کرده و بعد از ورتکس، میزان جذب در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. میزان پروتئین برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bradford, 1976).

برای اندازه‌گیری قندهای محلول برگ به روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) انجام شد. به مقدار ۰/۵ گرم از برگ‌های جوان پودرشده را با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ ساییده و به لوله آزمایش دربدار منتقل شده و به‌مدت ۳۰ ثانیه ورتکس شد. مایع رویی جدا و به لوله دیگر منتقل شد و سپس دو بار و در هر بار ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ به بخش جامد باقی‌مانده اضافه و کاملاً شستشو داده شد. بعد محلول رویی به لوله آزمایش منتقل گردید و درنهایت ۱۵ میلی‌لیتر عصاره به‌دست آمد. عصاره‌ی حاصل، به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. بعد از جداسازی رو شناور، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره‌ی الکلی جدا و داخل لوله‌های آزمایش ریخته شد. سپس ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه‌شده به آن اضافه و به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. پس از خنک‌شدن نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، میزان جذب نمونه‌ها در طول‌موج ٦۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای تهیه استوک استانداردها ابتدا ۰/۰۱ گرم گلوکز در آب‌مقطر حل گردید و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و سپس برای استانداردهای ۵، ٦۰، ٤۰، ۲۰، ۱۰ و ۸۰ پی‌پی‌ام به‌ترتیب مقدار صفر، ۱/۵، ۲، ٤، ٦، ۸ میلی‌لیتر از محلول ۱۰۰ پی‌پی‌ام گلوکز برداشته و با آب‌مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، مقدار جذب را مشخص کرده و منحنی استاندارد رسم گردید.

به‌منظور تعیین عملکرد دانه پس از رسیدگی کامل، در هر کرت با صرف‌نظر از دو ردیف کناری به‌عنوان اثر حاشیه‌ای از میان بوته‌های سه ردیف میانی، تعداد ۱۵ بوته به‌طور تصادفی از سطح زمین جدا نموده و برای اندازه‌گیری عملکرد در معرض نور آفتاب خشک شدند و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد. در این آزمایش برای مقایسه شاهد با تیمارهای محلول‌پاشی در سطوح مختلف نیترات کلسیم و مصرف پوترسین و هم‌چنین محلول‌پاشی با آب، داده‌های آزمایشی یک‌بار هم نیز در قالب طرح اسپلیت پلات با طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی آنالیز شد. تجزیه داده‌ها، محاسبات آماری و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و Excel صورت گرفت.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل کلیه صفات مورد بررسی

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

**جدول ۲- میانگین مربعات مربوط به مقایسه اثر محلول‌پاشی نیترات کلسیم، پوترسین و آب با شاهد**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | لیزین | متیونین | پرولین | قند محلول | پروتئین برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (میکروگرم بر گرم وزن تر) | | | | | |
| بلوک | ۲ | ۰/۰۱٤$^{ns}$ | ۷/۱۳۷$^{ns}$ | ۰/۷۵۵$^{ns}$ | ۰/۱۵٦$^{ns}$ | ۱۷/۰٤$^{ns}$ | ٤۱۳/۳$^{ns}$ |
| سطوح رطوبتی | ۲ | ۲/۹۱۲$^{**}$ | ۰/۰۰۰۸۸$^{*}$ | ۸۸/۳۳۳$^{**}$ | ٦٦/٤۷٦$^{**}$ | ۱۱۰۳/۸۸$^{**}$ | ۱٦۳٤٤$^{**}$ |
| خطای الف | ٤ | ۰/۱۳۹ | ۰/۰۰۰۱۲ | ۰/۳٦ | ۱/۰۷ | ۹/۱۷ | ۹٦۸۷/۵ |
| تیمارها | ٦ | ۲/۷۷$^{**}$ | ۰/۰۰۲۱٤$^{**}$ | ۷۵/۹۰۳$^{**}$ | ۱۲۱/٤۷۳$^{**}$ | ۱۵۱۸/۰۳$^{**}$ | ٤۸٤٤۷$^{**}$ |
| تیمار × سطوح رطوبتی | ۱۲ | ۰/۳۰۵$^{**}$ | ۸/۳۸۷$^{**}$ | ۲/۷٦$^{**}$ | ٦/۲۸٦$^{**}$ | ٦۲/۷۳۸$^{**}$ | ۲۵۹۲۱/٦$^{**}$ |
| خطای ب | ۳٦ | ۰/۰۵۱ | ۱/۳۰۳ | ۰/۲۲ | ۰/۸۱۹ | ۱٤/۱۲ | ۲۲۷۹/۱ |
| ضریب تغییرات | - | ۱۰/۱ | ۱۱/۸ | ٤/۳ | ٦/۲ | ۸/٦۱ | ٤/٤ |

*** و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد ۱ درصد و ns معنی‌دار نیست.**

نشان داد که اثر اصلی تنش و اثر متقابل سایر فاکتورها در تنش در کلیه صفات مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

**اسیدآمینه لیزین:** تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اسیدآمینه لیزین نشان داد که سطوح رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین مقدار اسیدآمینه لیزین را در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر قرار دادند. هم‌چنین در بین اثرات دوگانه اثر متقابل نیترات کلسیم در پوترسین و اثر متقابل سه‌گانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارها نسبت به شاهد میزان اسیدآمینه لیزین بیشتری بودند. حداکثر مقدار لیزین ۲/۹٤ میکروگرم بر گرم وزن تر محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و مصرف پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و کمترین مقدار آن ۱/۳۵ میکروگرم بر گرم وزن تر بدون محلول‌پاشی (شاهد) اختصاص یافت. به‌طوری‌که کمترین و بیشترین مقدار ۵٤٪ با یکدیگر اختلاف داشتند (شکل 1a).

مقایسه اثرات سه‌گانه نشان داد که در سطوح رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی، مصرف پوترسین و کاربرد نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار نسبت به بقیه تیمارها در همین سطح رطوبتی منجر به افزایش اسیدآمینه لیزین شد. هم‌چنین در سطوح رطوبتی ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی مصرف پوترسین و عدم‌کاربرد نیترات کلسیم، مصرف پوترسین و محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و مصرف و عدم‌مصرف پوترسین و نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار بیشترین مقدار این پارامتر را نشان داد (جدول ٤).

اسیدآمینه لیزین طی تنش با تبدیل‌شدن به آرژنین موجب تولید پلی‌آمین‌ها شده و به‌عنوان تقویت‌کننده سیستم دفاعی عمل می‌کند و با افزایش تولید پلی‌آمین‌ها در شرایط تنش، مقاومت گیاه افزایش می‌یابد (Pang *et al.*, 2007). هم‌چنین این اسیدآمینه رابطه نزدیکی با سنتز قندهای محلول و پرولین و پیش‌ماده اصلی متابولیت‌های مهم مرتبط با تنش از جمله پرولین است (Hare and Cress, 1997) پرولین نیز در سنتز کربوهیدرات‌های محلول به‌عنوان منبع کربن و نیتروژن عمل می‌کند (اعتنی‌عشری و زکایی خسروشاهی، ۱۳۸۷) به این ترتیب با تجمع این اسمولیت‌ها تحمل به تنش در گیاهان افزایش پیدا می‌کند. لیزین در شرایط تنش خشکی شکسته شده و در برخی از برنامه‌های تکاملی ابتدا به گلوتامات و سپس به سایر متابولیت‌های مرتبط با تنش تبدیل می‌شود (Galili *et al.*, 2001). قلی‌پور و عبادی (۱۳۹٦) در گیاه گندم و ظفری و همکاران (۱۳۹٤) در گیاه یونجه مشاهده کردند که افزایش تنش رطوبتی منجر به کاهش میزان اسیدهای آمینه از جمله لیزین شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

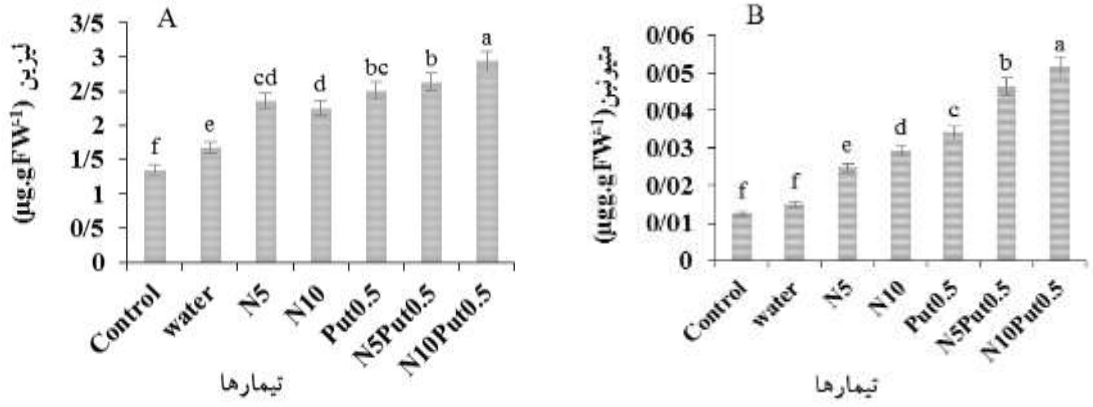
[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

**جدول ۳- مقادیر میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس داده‌های اسیدآمینه متیونین، لیزین، پرولین، قند محلول و پروتئین برگ**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | لیزین | متیونین | پرولین | قند محلول | پروتئین برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (میکروگرم بر گرم وزن تر) | | | | | |
| بلوک | ۲ | ۰/۲۳۲$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۰۰۰۵$^{ns}$ | ۰/۶۹۸$^{ns}$ | ۰/۰۴۱۹$^{ns}$ | ۲۵/۱۵$^{ns}$ | ۶۰۵/۳۹$^{ns}$ |
| سطوح رطوبتی (A) | ۲ | ۲/۹۱۵$^{**}$ | ۰/۰۰۰۸۵$^{*}$ | ۹۰/۱۹۱$^{**}$ | ۶۹/۸۲۰$^{***}$ | ۸۴۵/۲۶$^{**}$ | ۱۵۴۵۵۳۲/۲$^{***}$ |
| خطای اصلی | ۴ | ۰/۱۵۸ | ۰/۰۰۰۱۳۸ | ۰/۴۰۳ | ۱/۰۶۹ | ۱۷/۵۵۳ | ۹۵۸۳/۵۵ |
| محلول‌پاشی نیترات کلسیم (B) | ۲ | ۱/۲۸۷$^{**}$ | ۰/۰۰۱۲۳$^{**}$ | ۱۹/۶۶۵$^{**}$ | ۳۵/۰۳۳$^{***}$ | ۱۴۱۹/۰۲$^{***}$ | ۴۸۹۵۵۵/۵$^{***}$ |
| محلول‌پاشی پوترسین (C) | ۱ | ۴/۸۹$^{**}$ | ۰/۰۰۶۸۱$^{**}$ | ۲۳۶/۶۶$^{***}$ | ۳۸۵/۹۱۱$^{***}$ | ۲۱۱۳/۲۶$^{***}$ | ۸۸۳۹۲۹/۷$^{***}$ |
| (B) × (A) | ۴ | ۰/۴۴۱$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۰۵۳$^{**}$ | ۰/۵۶۶$^{ns}$ | ۱۱/۵۹۴$^{**}$ | ۱۰۰/۸۴۱$^{***}$ | ۳۷۵۱۰/۶$^{***}$ |
| (C) × (A) | ۲ | ۰/۱۵۹$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۱۹$^{**}$ | ۰/۸۴۶$^{ns}$ | ۴/۹۲۹$^{*}$ | ۹۴/۹۸$^{**}$ | ۳۴۷۸۱/۲$^{***}$ |
| (C) ×(B) | ۲ | ۰/۳۶۳$^{**}$ | ۰/۰۰۰۰۱۴$^{ns}$ | ۶/۷۵۹$^{**}$ | ۴۴/۲۸۷$^{**}$ | ۶۲/۷۹$^{*}$ | ۸۲۹۱/۵$^{*}$ |
| (C) × (B) × (A) | ۴ | ۰/۵۸۳$^{**}$ | ۰/۰۰۰۰۸۲$^{**}$ | ۴/۶۲۲$^{**}$ | ۲/۱۶۴$^{ns}$ | ۱۷/۳۸۲$^{ns}$ | ۱۰۳۴۹/۸$^{**}$ |
| خطای فرعی | ۳۰ | ۰/۰۵۶ | ۰/۰۰۰۰۱۱ | ۰/۲۶۳ | ۰/۹۴۲ | ۱۲/۲۱۵ | ۲۴۹۳/۹ |
| ضریب تغییرات | - | ۹ | ۱۲/۱ | ۴/۴ | ۶/۳۵ | ۷/۷ | ۴/۴ |

*، ** و *** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد، ۱ درصد، ۰/۰۱ درصد و ns معنی‌دار نیست.




**شکل ۱- اثر تیمارهای اعمال‌شده بر میزان اسیدآمینه لیزین (A) اسیدآمینه متیونین (B). ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیست.**

**P= Putrescine ,N= Ca $(NO_3)_2$ ,Control= بدون محلول‌پاشی، Water= محلول‌پاشی با آب، $N_5$= نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار، $N_{10}$= نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار، $Put_{0.5}$= پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار، $N_5$ $Put_{0.5}$= نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار، $N_{10}$ $Put_{0.5}$= نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار**

**اسیدآمینه متیونین:** تجزیه واریانس داده‌های مربوط به متیونین نشان داد که سطوح رطوبتی در سطح احتمال ۵٪، نیترات کلسیم و نیز پوترسین در سطح احتمال ۱٪ میزان متیونین را تحت تأثیر قرار دادند. در بین اثرات دوگانه اثر متقابل سطوح رطوبتی در نیترات کلسیم، سطوح رطوبتی در پوترسین و هم‌چنین اثر متقابل سه‌گانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که در تمامی تیمارها بجز محلول‌پاشی با آب نسبت به شاهد میزان

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

**جدول ٤- مقادیر میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس داده‌های اسیدآمینه متیونین، لیزین، پرولین و عملکرد دانه**

| سطوح رطوبتی (درصد) | نیترات کلسیم (میلی‌مولار) | پوترسین (میلی‌مولار) | لیزین | میتونین | پرولین | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (میکروگرم بر گرم وزن‌تر) | | | |
| ۵۰ | ۰ | عدم مصرف | ۱/۲٦ j(c) | ۰/۰۱ j(d) | ۸/۸ i(d) | ٦۳۳/٦ i(e) |
| | | مصرف | ۲/۱۸ e-g (ab) | ۰/۰۳۷ cd(b) | ۱۵/۵ b(a) | ۷٦۸/۷ gh(cd) |
| | ۵ | عدم مصرف | ۲/۳۸ d-f(b) | ۰/۰۲۳ gh(c) | ۱۱/۲ fg(c) | ٦۸۷/۱ hi(de) |
| | | مصرف | ۲/۳۲ def(b) | ۰/۰٦۱ a(a) | ۱۵/۵ b(a) | ۸۹۰/۳ f(ab) |
| | ۱۰ | عدم مصرف | ۱/۳۱ ij(c) | ۰/۰۳۳ cde(b) | ۱۳/۲ e(b) | ۷۹۸/۰ g(bc) |
| | | مصرف | ۲/۹۱ bc(a) | ۰/۰٦۰ a(a) | ۱۵/۰٤ bc(a) | ۹۵۸/٦ f(a) |
| ۷۵ | ۰ | عدم مصرف | ۱/٦۸ hi(eb) | ۰/۰۱۲۸ ij(e) | ۸/۰۵ ij(d) | ۹۳۳/۸ f(e) |
| | | مصرف | ۲/۳۸ def(a) | ۰/۰۳۸ c(bc) | ۱٤/۳ cd(b) | ۱۲۸۱/۱ d(c) |
| | ۵ | عدم مصرف | ۱/۸۵ gh(b) | ۰/۰۲٦ fg(d) | ۱۱/٤ fg(c) | ۱۱٤۹/۷ e(d) |
| | | مصرف | ۲/٦۳ cd(a) | ۰/۰٤۷ b(b) | ۱۳/۷ de(b) | ۱۳۹۱/۹ c(b) |
| | ۱۰ | عدم مصرف | ۲/۵٦ cde(a) | ۰/۰۳۱ de(cd) | ۱۱/۳ fg(c) | ۱۳۵۳/٦ cd(bc) |
| | | مصرف | ۲/۵٦ cde(a) | ۰/۰۵٦ a(a) | ۱٦/۵ a(a) | ۱۵٤۱/۸ b(a) |
| ۱۰۰ | ۰ | عدم مصرف | ۲/۰۸ fg(b) | ۰/۰۱۷ i(e) | ٦/۳ k(d) | ۹۲٤/٦ f(d) |
| | | مصرف | ۲/۹٦ ab(a) | ۰/۰۳۰ ef(bc) | ۱۰/۰۹ h(b) | ۱۱۸۱ e(c) |
| | ۵ | عدم مصرف | ۲/۸۱ bc(b) | ۰/۰۱۸ hi(d) | ۷/٦ j(c) | ۱۱٤۳/٦ e(c) |
| | | مصرف | ۲/۹٦ ab(a) | ۰/۰۳۲ de(ab) | ۱۰/۷ gh(b) | ۱٦۰٦/۵ ab(a) |
| | ۱۰ | عدم مصرف | ۲/۸۹ bc(a) | ۰/۰۲۵ fg(c) | ۷/٦ j(c) | ۱۳٦۷ c(b) |
| | | مصرف | ۳/۳٤ a(a) | ۰/۰۳۷ cd(a) | ۱۱/۹ f(a) | ۱٦۷۳/۹ a(a) |

**ستون‌هایی با اختلاف حروف مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیستند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف داخل پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.**

متیونین بیشتر بود (شکل 1b). حداکثر متیونین ۰/۰٦۰ میکروگرم بر گرم وزن تر در محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و حداقل میزان متیونین ۰/۰۰۸۳ میکروگرم بر گرم وزن تر در بدون محلول‌پاشی مشاهده شد. کاهش میزان اسیدآمینه متیونین در شرایط بدون محلول‌پاشی احتمالاً می‌تواند به‌دلیل نقش متیونین در متابولیت اساسی سلول‌های گیاهی به‌عنوان جز اصلی پروتئین نسبت داد از طرفی سوپراکسیدها قادر هستند، اسیدآمینه‌های متیونین، هیستدین و تریپتوفان را اکسید نموده و از این طریق موجب کاهش مقدار آن‌ها در اثر تنش رطوبتی شوند. مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی، محلول‌پاشی نیترات کلسیم و پوترسین (جدول ٤) نشان داد که بیشترین میزان اسیدآمینه متیونین ۰/۰٦ میکروگرم بر گرم وزن تر در سطوح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی و با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین به‌دست آمد. کمترین میزان متیونین ۰/۰۱۰ میکروگرم بر گرم وزن تر در سطوح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی در شرایط محلول‌پاشی با آب به‌دست آمد. به‌طوری‌که کمترین و بیشترین مقدار ۸۲/۷٪ با یکدیگر اختلاف داشتند. طبق نتایج جدول ٤ در سطوح رطوبتی ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی و با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

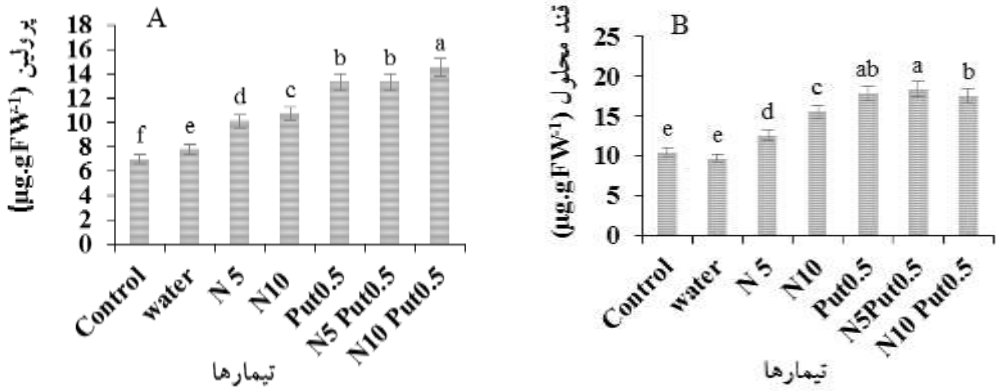
۰/۵ میلی‌مولار بیشترین اسیدآمینه متیونین را به‌همراه داشت. افزایش سطوح رطوبتی موجب افزایش میزان متیونین گردید که این روند برخلاف الگوی تجمع لیزین بود (جدول ٤). به عبارت دیگر می‌توان اظهار داشت که تحت تنش رطوبتی گیاه کنجد، مواد محلول‌پاشی شده را در فرآیند تولید بیشتر متیونین بکار برده است. متیونین تولیدشده نیز از طریق تبدیل‌شدن به پلی‌آمین‌ها باعث افزایش توانایی دفاعی گیاه در برابر کمبود آب می‌گردد (Martin-Tanguy, 2001). طبق نتایج به‌دست‌آمده در هر سه سطح تنش رطوبتی محلول‌پاشی نیترات کلسیم و با مصرف پوترسین منجر به افزایش اسیدآمینه متیونین گردید. اسیدآمینه متیونین پیش‌ماده ساخت اتیلن است. متیونین تحت تأثیر آنزیم S- آدنوزیل متیونین سنتاز ( AdoMet synthetase (SAMs)) تبدیل به S- آدنوزیل متیونین ((AdoMet (SAM) و این ماده تحت تأثیر آنزیم ACC سنتاز (ACC- synthase) به ۱- آمینوسیکلو پروپان ۱- کربوکسیلیک اسید (ACC) تبدیل می‌شود که به‌عنوان یک ترکیب حد واسط عمل کرده و در مسیر بیوسنتز اتیلن به‌عنوان آخرین پیش‌ماده محسوب می‌شود (Wang *et al*., 2002). کلسیم در سنتز اتیلن در گیاه نقش بازدارنده ایفا می‌کند که دلیل آن نقش کلسیم در تعادل غشای سلولی است. در واقع کلسیم تبدیل پیش‌ماده ACC به اتیلن را به‌وسیله آنزیم‌های محدودکننده غیراختصاصی در غشای سلول کاهش می‌دهد (مطلبی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۲)؛ و از تبدیل متیونین به اتیلن جلوگیری کرده و از این طریق میزان متیونین برگ افزایش می‌یابد. از سوی دیگر نشان داده شده است که برای ساخته‌شدن پلی‌آمین‌ها پیش‌ماده S – آدنوزیل متیونین مورد نیاز است که پیش‌ماده ساخت اتیلن نیز است؛ بنابراین با افزایش ساخت و یا غلظت پلی‌آمین‌ها در گیاه، ساخت و غلظت اتیلن کاهش می‌یابد (Khezri *et al*., 2010) هم‌چنین S- آدنوزیل متیونین به‌جای مسیر تولیدی اتیلن منجر به ساخت اسپرمین و اسپرمیدین شده و منجر به مقاومت گیاه در برابر تنش می‌شود.

**پرولین:** تجزیه واریانس داده‌های مربوط به پرولین نشان داد که سطوح رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین میزان پرولین را در سطح ۱٪ تحت تأثیر قرار دادند. هم‌چنین در بین اثرات دوگانه اثر متقابل نیترات کلسیم در پوترسین و اثر متقابل سه‌گانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارها نسبت به شاهد میزان پرولین بیشتری داشتند. حداکثر مقدار پرولین ١٤/٥ میکروگرم بر گرم وزن تر در محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و مصرف پوترسین و کمترین مقدار آن ٦/٩ میکروگرم بر گرم وزن تر بدون محلول‌پاشی (شاهد) مشاهده شد. به‌طوری‌که کمترین و بیشترین مقدار ۵۱/۸٪ با یکدیگر اختلاف داشتند (شکل 2a). مقایسه اثرات سه‌گانه نشان داد که در هر سه سطوح رطوبتی، محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و مصرف پوترسین منجر به افزایش پرولین گردید و علاوه بر آن در سطح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی عدم‌مصرف نیترات کلسیم و نیز مصرف پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار بیشترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند (جدول ٤).

طبق نتایج به‌دست‌آمده در هر سه سطح تنش رطوبتی محلول‌پاشی نیترات کلسیم و نیز مصرف پوترسین منجر به افزایش اسیدآمینه پرولین گردید؛ به‌نظر می‌رسد که تجمع پرولین آزاد یک پاسخ متداول به تنش در گیاهان عالی باشد (قلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). البته اسیدآمینه‌های دیگری نیز تحت تنش‌های خشکی و شوری انباشته می‌شوند، اما درجه تغییرات آن‌ها با تجمع پرولین که ظرف مدت کوتاهی پس از اعمال تنش به سطوح خیلی بالا می‌رسد قابل مقایسه نمی‌باشد (Gzik, 1996). نتایج فلاح (۱۳۹۸) نشان داد که محتوای پرولین در گیاهانی که در معرض تنش خشکی قرار گرفتند به‌شدت افزایش یافت. افزایش پرولین در اثر تنش خشکی در محصولات زراعی از جمله کلزا (Sakr and Arafa, 2009) و برنج (Do *et al*., 2013) گزارش شده است. پلی‌آمین‌ها با مکانیسم‌های متعددی موجب افزایش غلظت پرولین در گیاهان می‌گردند (Pang *et al*., 2014). کاتابولیسم پلی‌آمین‌ها تحت تنش به میزان زیادی با تجمع پرولین در ارتباط است (Bouchereau *et al*., 1999). محلول‌پاشی پوترسین باعث می‌شود نیاز گیاه به پلی‌آمین‌های درونی کاهش پیدا کرده و

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]




**شکل ۲- اثر تیمارهای اعمال‌شده بر میزان پرولین (A) قند محلول (B). ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیست.**

**Control ,N= $Ca(NO_3)_2$ ,P= Putrescine= بدون محلول‌پاشی، Water= محلول‌پاشی با آب، $N_5$= نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار، $N_{10}$= نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار، $Put_{0.5}$= پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار، $N_5$ $Put_{0.5}$= نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار، $N_{10}$ $Put_{0.5}$= نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار**

درنتیجه‌ی کاتابولیسم پلی‌آمین‌های درونی، میزان پرولین گیاه افزایش پیدا کند (Farooq *et al.*, 2009). هم‌چنین فتحی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که استفاده از تیمارهای کلسیمی در شرایط تنش توانست میزان فعالیت پرولین را در برگ کنجد به‌طور معنی‌داری افزایش دهد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

**قند محلول:** تجزیه واریانس داده‌های مربوط به قند محلول نشان داد که اثر سطوح رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین و هم‌چنین اثرات دوگانه نیترات کلسیم در پوترسین و سطوح رطوبتی در نیترات کلسیم اثر بسیار معنی‌داری بر روی میزان قند محلول دارا بودند اما اثرات سه‌گانه سطوح رطوبتی در نیترات کلسیم در پوترسین معنی‌دار نگردید (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارها به‌استثنا محلول‌پاشی با آب نسبت به شاهد میزان قند محلول بیشتری بودند. حداکثر مقدار قند محلول ۲۰/۸۶ میکروگرم بر گرم وزن تر و کمترین مقدار آن به‌ترتیب ۹/۶۹، ۱۰/۳۹ میکروگرم بر گرم وزن تر محلول‌پاشی با آب و بدون محلول‌پاشی (شاهد) بود (شکل 2b). مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین (جدول ۵) نشان داد که بیشترین مقدار قندهای محلول به‌ترتیب ۱۸/۴۴۲، ۱۷/۸۷۵ و ۱۷/۵۳۶ میکروگرم بر گرم وزن تر مصرف پوترسین و کاربرد نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار، مصرف پوترسین و عدم‌کاربرد نیترات کلسیم، مصرف پوترسین و کاربرد نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار به‌دست آمد. کمترین مقدار قند محلول ۹/۶۹ میکروگرم بر گرم وزن تر عدم محلول‌پاشی پوترسین و نیترات کلسیم به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ۹۰/۲۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

هم‌چنین نتایج نشان داد نیترات کلسیم و پوترسین دارای تأثیرات متفاوت است که می‌توان علت آن را به مناسب‌بودن زمان محلول‌پاشی و بالارفتن کارایی گیاه در استفاده از کلسیم و پلی‌آمین نسبت داد. برهمکنش سطوح رطوبتی و پوترسین (جدول ٦) نشان داد که بیشترین مقدار قند محلول به‌ترتیب ۱۹/۲۹، ۱۹ میکروگرم بر گرم وزن تر در سطوح رطوبتی ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی با مصرف پوترسین به‌دست آمد. کمترین قند محلول ۱۰/۲۳ میکروگرم بر گرم وزن تر در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی و بدون مصرف پوترسین مشاهده شد، به‌طوری‌که که نسبت به کمترین مقدار ۸۳/۲۸ درصد افزایش نشان داد. به این صورت که در هر سه سطح تنش رطوبتی، مصرف پوترسین باعث شد که بیشترین مقدار قند محلول به‌دست آید.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

**جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین برای قند محلول و پروتئین برگ**

| پوترسین (میلی‌مولار) | نیترات کلسیم (درصد) | قند محلول (میکروگرم بر گرم وزن تر) | پروتئین برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) |
|---|---|---|---|
| عدم مصرف | ۰ | ۹/٦۹٤ [d] | ۲۹/٦٤۷ [f] |
| مصرف | | ۱۷/۸۷۵ [a] | ٤۵/۰۷۲ [d] |
| عدم مصرف | ۵ | ۱۲/۵۵۸ [c] | ٤۱/٤۹۲ [e] |
| مصرف | | ۱۸/٤٤۲ [a] | ۵۵/۳۰۲ [b] |
| عدم مصرف | ۱۰ | ۱۵/۵٦۰ [b] | ۵۰/۷۷۵ [c] |
| مصرف | | ۱۷/۵۳٦ [a] | ۵۹/۰۷۵ [a] |

**اختلاف ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیست.**

**جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی و پوترسین برای قند محلول و پروتئین برگ**

| پوترسین (میلی‌مولار) | سطوح رطوبتی (درصد) | قند محلول (میکروگرم بر گرم وزن تر) | پروتئین برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) |
|---|---|---|---|
| عدم مصرف | ۵۰ | ۱٤/۵۰ [c] | ۳۱/٤۸ [d] |
| مصرف | | ۱۹/۰۰٦ [a] | ٤۷/٤۰۰ [c] |
| عدم مصرف | ۷۵ | ۱۲/۷۷ [d] | ٤٤/٦٦ [c] |
| مصرف | | ۱۹/۲۹ [a] | ۵۱/۹۵ [b] |
| عدم مصرف | ۱۰۰ | ۱۰/۲۳ [e] | ٤۵/۷۵ [c] |
| مصرف | | ۱۵/۵۵ [b] | ٦۰/۰۹۹ [a] |

**اختلاف ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیست.**

نتایج به‌دست‌آمده از (جدول ٦) نشان داد که مقدار قند محلول در تیمار استفاده پوترسین در شرایط سطوح رطوبتی ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی افزایش یافت. کاربرد برگی پوترسین باعث افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در برگ‌های کنجد شد و مقاومت به خشکی را افزایش داد. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح رطوبتی و نیترات کلسیم (جدول ۷) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار قند محلول به‌ترتیب ۱۸/۷۲، ۱۸/۳۱ در صورت محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۵ و ۱۰ میلی‌مولار در سطوح رطوبتی ۵۰ و ۷۵٪ نیاز آبی به‌دست آمد. کمترین مقدار قند محلول به‌ترتیب ۱۲/٦۲، ۱۱/۹٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط عدم محلول‌پاشی نیترات کلسیم و نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ٥٦/٥٤ درصد افزایش نشان داد. بدین صورت در هر سه سطوح رطوبتی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم بیشترین مقدار قند محلول به‌دست آمد. براساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش در سطوح رطوبتی ملایم و شدید بیشترین میزان تجمع قند محلول مشاهده شد. در تحقیقات مختلف مشخص شده که با افزایش شدت تنش خشکی و کاهش میزان آب خاک کربوهیدرات‌های محلول سلول افزایش می‌یابد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول تحت تنش خشکی در لوبیا (بروجرد نیا و همکاران، ۱۳۹۵) و نخود (سی‌وسه مرده و همکاران، ۱۳۹۳) گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی پوترسین موجب بیوسنتز و افزایش میزان پرولین و نهایتاً افزایش سطح کربوهیدرات‌های محلول در گیاه شده

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

**جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی و نیترات کلسیم برای قند محلول و پروتئین برگ**

| سطوح رطوبتی (درصد) | نیترات کلسیم (میلی‌مولار) | قند محلول (میکروگرم بر گرم وزن تر) | پروتئین برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) |
|---|---|---|---|
| ۵۰ | ۰ | ۱٤/۷٤٥ c | ۲۷/٦۹ e |
| | ۵ | ۱۸/۷۲۷ a | ۳۸/٤۰ d |
| | ۱۰ | ۱٦/۷۹ b | ۵۲/۲۲ b |
| ۷۵ | ۰ | ۱٤/٦٤٦ c | ۳۹/۵۰ d |
| | ۵ | ۱۵/۱۵٤ c | ۵۳/۲٦ b |
| | ۱۰ | ۱۸/۳۱ a | ۵۲/۱۵ b |
| ۱۰۰ | ۰ | ۱۱/۹٦۳ d | ٤٤/۸۷ c |
| | ۵ | ۱۲/٦۲۰ d | ۵۳/۵۲ b |
| | ۱۰ | ۱٤/۵٤۲ c | ٦۰/۳۹ a |

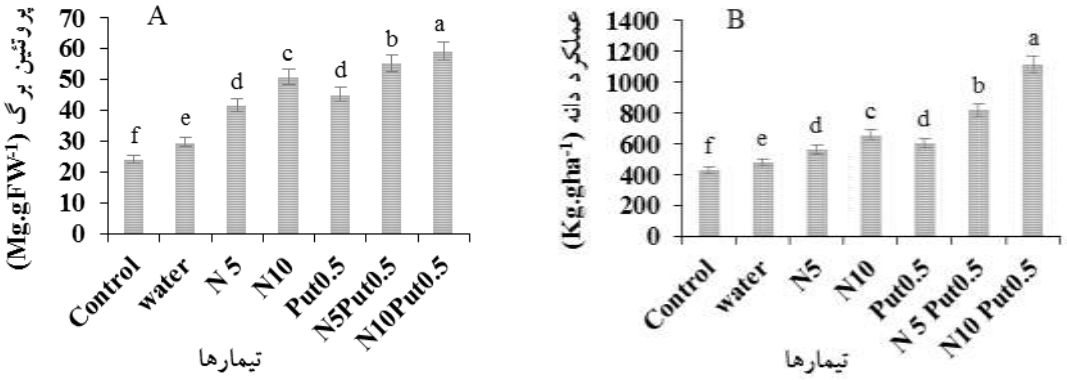
**اختلاف ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیست.**

است. هم‌چنین افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول در اثر تغذیه کلسیم در برگ گوجه‌فرنگی (Manaa *et al.*, 2014) و آفتاب‌گردان (Ibrahim *et al.*, 2016) گزارش شده است.

**پروتئین برگ:** تجزیه واریانس داده‌های مربوط به پروتئین برگ نشان داد اثر سطوح رطوبتی در سطح احتمال ۱٪ و نیترات کلسیم و پوترسین و هم‌چنین اثرات دوگانه سطوح رطوبتی در نیترات کلسیم سطح احتمال ۰/۰۱٪ بر روی میزان پروتئین برگ دارا بودند. اثرات دوگانه سطوح رطوبتی در پوترسین در سطح ۱٪ و نیترات کلسیم در پوترسین در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارها نسبت به شاهد میزان پروتئین برگ بیشتری را دارا بودند. حداکثر مقدار پروتئین ٦۷/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و حداقل میزان پروتئین ۱۲/٤۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود (شکل ۳a).

میزان پروتئین در شرایط عدم محلول‌پاشی و عدم مصرف پوترسین به‌شدت کاهش یافت، اما با کاربرد نیترات کلسیم و پوترسین، مقدار آن به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت. نتایج تحقیق کاهش میزان پروتئین برگ را با افزایش شدت تنش نشان داد. Ranjan و همکاران (۲۰۰۱) اظهار داشتند که تنش رطوبتی با تولید رادیکال‌های مخرب اکسیژن باعث تخریب ساختار پروتئین‌ها و اسیدآمینه‌ها شد و فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین نیز افزایش یافت، هم‌چنین کاهش مقدار سنتز پروتئین منجر به تجمع اسیدآمینه‌های آزاد از جمله پرولین شد. مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین (جدول ۵) نشان داد که محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ و مصرف پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار باعث شد بیشترین میزان پروتئین ۵۹/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به‌دست آید. کمترین مقدار پروتئین ۲۹/٦٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر محلول‌پاشی با آب به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار، ۹۹/۲٦ درصد افزایش نشان داد؛ بنابراین با محلول‌پاشی نیترات کلسیم و مصرف پوترسین بیشترین مقدار پروتئین حاصل شد. در صورت محلول‌پاشی با آب و عدم‌مصرف پوترسین کمترین مقدار پروتئین مشاهده شد. براساس نتایج آزمایش، سطوح رطوبتی منجر به کاهش میزان پروتئین در برگ‌های کنجد شد که می‌توان نتیجه گرفت تیمار پوترسین و کلسیم موجب حفظ پروتئین و کاهش تجزیه آن‌ها در برگ‌های کنجد تحت تنش رطوبتی شده است. احتمالاً تیمار کلسیم و پلی‌آمین باعث بهبود عملکرد پروتئین‌ها شده بنابراین میزان سنتز پروتئین افزایش پیدا کرده است. برهمکنش سطوح رطوبتی و پوترسین (جدول ٦) نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین (٦۰/۰۹ میلی‌گرم بر

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]




**شکل ۳- اثر تیمارهای اعمال‌شده بر روی میزان پروتئین برگ (A) عملکرد دانه (B). ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیست.**

**Control =بدون محلول‌پاشی، Water= محلول‌پاشی با آب، $N_5$= نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار، $N_{10}$= نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار، $Put_{0.5}$= پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار، $N_5$ $Put_{0.5}$= نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار، $N_{10}$ $Put_{0.5}$= نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار**

گرم وزن تر) در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی و با مصرف پوترسین به‌دست آمد کمترین مقدار پروتئین (۳۱/٤۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سطوح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی و بدون مصرف پوترسین به‌دست آمد که نسبت به بیشترین مقدار ۳۱/۱۸ درصد کاهش نشان داد. به این صورت که در هر سه سطوح رطوبتی، مصرف پوترسین باعث شد که بیشترین مقدار پروتئین به‌دست آید. نتایج به‌دست‌آمده در جدول ٦ نشان داد که مقدار پروتئین در تیمار استفاده پوترسین نسبت به تیمار عدم مصرف پوترسین در همان سطح رطوبتی افزایش یافت. امرایی تبار و همکاران (۱۳۹۵) در یک بررسی روی بادام و هلو به این نتیجه رسیدند که کاربرد پوترسین و اسپرمیدن در شرایط تنش خشکی موجب افزایش پروتئین برگ می‌گردد و دلیل احتمالی آن را، اثر پلی‌آمین‌ها در از بین‌بردن رادیکال‌های فعال اکسیژن در کاهش تجزیه و افزایش بیوسنتز پروتئین‌های برگ بیان نمودند. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح رطوبتی و نیترات کلسیم (جدول ۷) نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین برگ ٦۰/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی مشاهده شد. کمترین مقدار پروتئین برگ ۲۷/٦۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر با عدم محلول‌پاشی نیترات کلسیم و سطوح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی به‌دست آمد که نسبت به بیشترین مقدار ۳۸/۲۸ درصد کاهش نشان داد. طبق جدول ۷ بنابراین در سطوح رطوبتی ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین مقدار پروتئین با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و در سطوح رطوبتی ۷۵٪ نیاز آبی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار به‌دست آمد. هم‌چنین Yousuf و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که کاربرد کلسیم در شرایط تنش توانست میزان محتوای پروتئین برگ را در گیاه خردل هندی به‌طور معنی‌داری افزایش دهد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

**عملکرد دانه:** تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای سطوح رطوبتی، نیترات کلسیم، پوترسین هم‌چنین اثرات دوگانه سطوح رطوبتی در نیترات کلسیم، سطوح رطوبتی در پوترسین سطح احتمال ۰/۰۱٪ بر روی عملکرد دانه داشتند. برهمکنش نیترات کلسیم در پوترسین در سطح احتمال ۵٪ و هم‌چنین اثرات سه‌گانه در سطح احتمال ۱٪ بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارها نسبت به شاهد میزان عملکرد دانه بیشتری بودند. حداکثر مقدار عملکرد دانه ۱۱۱٦/۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن ٤۳۱/۷ کیلوگرم در هکتار بدون محلول‌پاشی (شاهد) مشاهده شد (شکل 3b). مقایسه اثرات سه‌گانه نشان

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

داد که در هر سه سطوح رطوبتی، محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و مصرف پوترسین منجر به افزایش عملکرد دانه گردید و علاوه بر آن در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و مصرف پوترسین بیشترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند (جدول ٤). Mohamadi و همکاران (۲۰۰٦)، Pireivatlou و همکاران (۲۰۱۰) و عباس شهری و همکاران (۱۳۹۰) نیز نتایج مشابهی مبنی بر کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی گزارش کردند. عوامل مهم داخلی زیادی عملکرد دانه را کنترل می‌کنند. وجود کلسیم برای انجام فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی ضروری است. به‌طورکلی، عناصر معدنی در رشدونمو گیاهان اهمیت زیادی دارند. برای مثال ارتباط مثبتی بین سنتز اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها با عملکرد گیاه وجود دارد. در آزمایشی تأثیر کاربرد سطوح کلرید کلسیم بر سنتز آمینواسیدها و پروتئین‌های موجود در تنباکو را بررسی کردند، نتایج حاکی از افزایش پروتئین‌سازی در حضور کلسیم بود که درنتیجه آن میزان عملکرد گیاه افزایش پیدا کرد (Ruiz *et al.*, 1999). نتایج سایر تحقیقات نیز نقش مثبت کلسیم در بهبود عملکرد آفتابگردان (Ibrahim *et al.*, 2016) و ذرت دانه‌ای تحت تنش کم‌آبی (زراعی و همکاران، ۱۳۸۸) و نیز توت‌فرنگی تحت تنش شوری (Khayyat *et al.*, 2009) را نشان دادند. هم‌چنین کاربرد پوترسین باعث افزایش عملکرد در حبوبات (Nassar *et al.*, 2003) و گندم تحت تنش خشکی (Gupta and Gupta, 2011) گردید. به‌نظر می‌رسد احتمالاً افزایش عملکرد، تأثیر پوترسین در تولید اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول باشد که باعث افزایش پتانسیل اسمزی گیاه و نیز سبب افزایش قدرت جذب آب در شرایط نامساعد محیطی شده است.

## نتیجه‌گیری

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که بروز کاهش سطوح رطوبتی با تأثیر بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه موجب کاهش عملکرد دانه کنجد شد. در طی کاهش سطوح رطوبتی از میزان پروتئین محلول در برگ گیاه کاسته شد که علت آن می‌تواند تجزیه پروتئین‌ها به اسیدهای آمینه پرولین باشد. به‌طوری‌که گیاه با کاهش سطوح رطوبتی میزان سنتز اسیدآمینه پرولین و میزان قندهای محلول را افزایش داده تا از این طریق بتواند تأثیرات تنش را کم کند. هم‌چنین نتایج نشان داد نیترات کلسیم و پوترسین دارای تأثیرات متفاوتی هستند ولی در بیشتر صفات اندازه‌گیری‌شده محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و مصرف پوترسین بیشترین تأثیر را داشت؛ که علت آن می‌تواند مناسب‌بودن زمان محلول‌پاشی عناصر نامبرده و بالارفتن کارایی گیاه در استفاده از نیترات کلسیم و پلی‌آمین باشد.

## منابع


اثنی‌عشری، م. و زکایی خسروشاهی، م. (۱۳۸۷) پلی‌آمین‌ها و علوم باغبانی. انتشارات دانشگاهی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

امرایی‌تبار، س.، ارشادی، ا. و رباطی، ت. (۱۳۹۵) تأثیر پوترسین و اسپرمین بر تحمل به خشکی بادام و هلو. مجله به‌زراعی کشاورزی ۱۸: ۲۰۳-۲۰۱۸.

بروجرد نیا، م.، بی‌همتا، م.، عالمی سعید، خ. و عبدوسی، و. (۱۳۹۵) اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، نشت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی اهواز ۸: ٤١-۲۳.

بنی‌عباس شهری، ز.، زمانی، غ. ز. و سیاری زهان، م. ح. (۱۳۹۰) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه آفتابگردان. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۲: ۱۷۲-۱٦٥.


[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

بهروز، ز. و شیرزادی، م. ح. (۱۳۸۸) اثر تراکم کاشت و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد کنجد رقم محلی جیرفت. مجله یافته‌های نوین کشاورزی ۲: ۹۹-۹۱.

بیک خورمیزی، ع.، حسینی سرقین، س.، سرافراز اردکانی، م. ر.، مشتاقیون، م. و موسوی کوهی، م. (۱۳۹۸) برهمکنش و ورمی کمپوست بر رشد و میزان جذب برخی عناصر معدنی در چهار جمعیت رازیانه *Foeniculum vulgare*. نشریه پژوهش آب در کشاورزی ۳۳: ۵۲-٤۰.

خواجه‌پور، م. ر. (۱۳۸۳) گیاهان صنعتی. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاهی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

زراعی، ع. (۱۳۸۸) اثر سطوح مختلف تنش کم آبیاری و عنصر کلسیم بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در ذرت دانه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد ورامین- پیشوا، ایران.

سردمدنیا، غ. و کوچکی، ع. (۱۳۷٤) جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاهی، دانشگاه فردوسی مشهد.

سی‌وسه مرده، ع.، غلامی، س.، بهرام نژاد، ب.، کانونی، ه. و صادقی، ف. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی بر محتوای اسمولیت‌های سازگار، فعالیت آنزیمی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.). مجله علوم زراعی ایران ۱٦: ۱۲٤-۱۰۹.

سی‌وسه مرده، ع.، احمدی، ع.، پوستینی، ک. و ابراهیم‌زاده، ح. (۱۳۸۳) عوامل روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای کنترل‌کننده فتوسنتز و ارتباط آن با مقاومت به خشکی در ارقام گندم. مجله علوم کشاورزی ایران ۱: ۱۰٦-۹۳.

شمس، ه. (۱۳۸۸) تغییرات کمی و کیفی اندام هوایی گل‌گاوزبان در اثر محلول‌پاشی نیترات کلسیم. فصلنامه گیاهان دارویی ۸: ۱٤٤-۱۳۸.

شوت، پ. (۱۳۷٤) گیاهان اقتصادی جهان. ترجمه پور صالحی، م. انتشارات مؤسسه اصلاح بذر و تهیه نهال. کرج.

صفاری، م.، اویسی، م. و ضرغامی، ر. (۱۳۹٤) بررسی تأثیر پلی‌آمین پوترسین و بر برخی صفات گیاهان دارویی آویشن (*Thymus vulgaris* L.) در شرایط کمبود آب. پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر ۱۲: ۲۸۹-۲۷۹.

طلایی، ع.، خضری، م. و جوانشاه، ا. (۱۳۹۱) بررسی تأثیر محلول‌پاشی پلی‌آمین‌های آزاد بر برخی مشکلات فیزیولوژیکی پسته رقم کله قوچی. مجله علوم باغبانی ایران ٤: ۳۹۱-۳۸۳.

ظفری، م.، عبادی، ع.، پرمون، ق و جهانبخش، س. (۱۳۹٤) تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر تولید متابولیت‌های سازگاری و برخی خصوصیات یونجه همدانی در طی تنش خشکی. فرآیند و کارکرد گیاهی ۱٤: ۷۵-٦۱.

علیزاده، ب.، قهرمانی، ز.، برزگر، ط. و نیکبخت، ج. (۱۳۹۵) اثر محلول‌پاشی پوترسین بر رشد، عملکرد و کیفیت میوه فلفل شیرین تحت تنش کم‌آبی. مجله به‌زراعی کشاورزی ۱۹: ٤٤٤-٤۳۱.

فتحی، ع.، برادران فیروزآبادی، م.، عامریان، م. و قلی‌پور، م. (۱۳۹٦) اثر سدیم نیترو پرو ساید و کربنات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی کنجد در شرایط تنش شوری. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی اهواز ۹: ۲۰-۵.

فلاح، ع. (۱۳۹۸) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی سولفات روی بر رشد، عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی در گندم الوند. مجله علمی پژوهشی اکو فیزیولوژی گیاهی ۱۱: ۲۲۸-۲۱۷.

قلی‌پور، س. و عبادی، ع. (۱۳۹٦) مطالعه تغییرات متابولیت‌های سازگاری و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش رطوبتی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ٦: ۲۳۲-۲۱۹.

قلی‌نژاد، ر.، سیروس‌مهر، ع. و فاخری، ب. (۱۳۹۳) تأثیر تنش خشکی و کودهای آلی بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، پرولین و عملکرد گاوزبان (*Borago officinalis*). نشریه علوم باغبانی ۳: ۳٤٦-۳۳۸.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

مطلبی‌فرد، ر.، کافی، م. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۲) ضرورت کلسیم برای بهبود خصوصیات کمی و کیفی گل و گیاهان زینتی در کشور. انتشارات دفتر برنامه‌ریزی رسانه‌های ترویجی، تهران.

منشی، ر. ی.، شرقی، ی.، زاهدی، ح.، محمد مدرس ثانوی، س. ع.، مرادی قهدریجانی، م. و کشاورز، ح. (۱۳۹۶) تأثیر محلول‌پاشی تریازول‌ها و سیلیکات کلسیم بر مقاومت به خشکی کلزا. علوم گیاهان زراعی ٤٨: ۳۱۷-۳۰۳.

Akpan-Iwo, G., Idowu, A. A. and Mirsari, S. M. (2007) Collection and evalution of sesame (Sesamum spp.) germplasm in Nigeria. Plant Genetic Resources Newsletter 142: 59-62.

Bakry, C., El-Hariri, B., Sadak, D. Sh. and El-Bassiouny, M. (2012) Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid in two linseed varieties grown under Newly Reclaimed sandy soil. Journal of Applied Sciences Research 7: 3503-3514.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and soil 39: 205-208.

Bouchereau, A., Aziz, A., Larher, F. and Martin- Tanguy, J. (1999) Polyamines and environmental challenges: Recent development. Plant Science 140: 103-125.

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

Brar, G. S. (1982)Variations and correlations in oil content and fatty acid composition of Sesame. Indian Journal of Agricultural Science 52: 27-30.

Crowe, J. H., Carpenter, J. F., Crowe, L. M. and Anchordoguy, T. (1990) Are freezing and dehydration similar stress vectors? A comparison of modes of interaction of stabilizing solutes with biomolecules. Cryobiology 27: 219-231.

Do, P. T., Degenkolbe, T., Erban, A., Heyer, A. G., Kopka, J., Kohl, K. I., Hincha, D. K. and Zuther, E. (2013) Dissecting rice polyamine metabolism under controlled long-term drought stress. Plos One 4: 1-14.

Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Cheema, Z. A., Cheema, M. A. and Khaliq, A. (2008) Physiological role of exogenously applied glycinebetaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agronomy and Crop Science 194: 325-333.

Feller, R. E., Feller, D. A. and Shepherd, A. D. (1969) Determination of free lysine and methionine in amino acid-fortified wheat. Cereal Chemistry 46: 614-620.

Galili, G., Tang, G., Zhu, X. and Gakiere, B. (2001) Lysine catabolism: A stress and development superregulated metabolic pathway. Current Opinion in Plant Biology 4: 261-266.

Gupta, S. and Gupta, N. K. (2011) Field efficacy of exogenously applied putrescine in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water-stress conditions. The Indian Journal of Agricultural Science 6: 516-519.

Gzik, A. (1996) Accumulation of prolin and pattern of α- amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. Environmental and Experimental Botany 1: 29-38.

Hanson, A. D. and Hitz, W. D. (1982) Metabolic responses of mezophytes to plant water deficit. Annual Review Plant Physiology 1: 163-203.

Hare, P. D. and Cress, W. A. (1997) Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. Plant Growth Regulation 21: 79-102.

Ibrahim, M. F. M., Faisal, A. and Shehata, S. A. (2016) Calcium chloride alleviates water stress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters. American- Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 16: 677-693.

Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. Plant Physiology 84: 55-60.

Khayyat, M., Tehranifar, A., Akbarian, A., Shayesteh Nia, S. and Khabari, S. (2009) Effect of calcium forms on electrolyte leakage, total nitrogen, yield and biomass production by strawberry plants under NaCl salinity. Journal of Central European Agriculture 3: 297-302.

Khezri, M., Talaie, A., Javanshah, A. and Hadavi, F. (2010) Effect of exogenous application of free polyamines on physiological disorders and yield of 'Kaleh-Ghoochi' pistachio shoots (*Pistacia vera* L.). Scientia- Horticulture 125: 270-276.

Liu, H. P., Yu, B. J., Zhang, W. H. and Liu, Y. L. (2005) Effect of osmotic stress on the activity of $H^+$ -ATPase and the levels of covalently and non-covalently conjugated polyamines in plasma membrane preparation from wheat seedling roots. Plant Science 168: 1599-1607.

Manaa, A., Gharbi, E., Mimouni, H., Wasti, S., Aschi-Smiti, S., Lutts, S. and Ahmed, H. B. (2014) Simultaneous application of salicylic acid and calcium improves salt tolerance in two contrasting tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. South African Journal of Botany 95: 32-39.

Martin-Tanguy, J. (2001) Metabolism and function of polyamines in plants: Recent development (new approaches). Plant Growth Regulation 34: 135-148.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

Mohammadi, A., Majidi, E., Bihamta, M. R., Heidari, B. and Sharifabdi, H (2006) Evalution of drought stress on agro morphological characteristics in some wheat cultivars. Crop Science 73: 184-192.

Moradshahi, A., Salehi Eskandari, B. and Kholdebarin, B. (2004) Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. Iranian Journal of Science and Technology 21: 43-49.

Munns, R. and Termaat, A. (1986) Whole-plant responses to salinity. Australian Journal of Plant Physiology 13: 143-160.

Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.

Nassar, A. H., Khaled, A. E. and Krishnapillai, S. (2003) Growth promotion of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by a polyamine-producing isolate of Streptomyces griseoluteus. Plant Grows Regulation 40: 97-106.

Pang, X. M., Zhang, Z. Y., Wen, X. P., Ban, Y. and Moriguchi, T. (2007) Polyamines, all purpose players in response to environment stresses in plants. Plant Street 174-188.

Pang, Y., Li. Z., Zhou, H., Zhang, X., Ma. X., Huang, L. and Yan, Y. (2014) Exogenously applied spermidine improves drought tolerance in creeping bent grass associated with change in antioxidant defense, endogenous polyamines and phytohormones. Plant Growth Regulation 1: 71-82.

Pireivatlous, A. S., Dehdar Masjedlou, B. and Ramiz, T. A. (2010) Evolution ofb yield potential and stress adaptive trit in wheat genotypes under post anthesis drought stress. Crop Science 93: 55-72.

Ranjan, R., Bohra, S. P. and Jeet, A. M. (2001) Plan Productivity under Environment Stress. Agrobios, Jodhpur, New Delhi.

Ruize, J. M., Garcia, P. C., Rivero, R. M. and Romero, L. (1999) Response of phenolic metabolism to the application to the carbendazim plus boron in tobacco leaves. Plant Physiology 2: 151-157.

Sakar, M. and Arafa, A. (2009) Effect of some antioxidants on canola plants grown under soil salt stress condition. Pakistan Journal of Biological Science 7: 582-588.

Wang, K., Li, H. and Ecker, J. (2002) Ethylene biosynthesis and signaling networks. Plant Cell 15: 131-151.

Yamada, Y. and Fukutoku, Y. (1986) Effect of water stress on soybean, soybean in tropical and sub-tropical cropping system. The Asian Vegetable Research and Development Center 48: 373-382.

Yousuf, P. Y., Ahad, A., Hemant, Ganie, A. H., Aref, I. M. and Iqbal, M. (2015) Potassium and calcium application ameliorates growth and oxidative homeostasis in salt-stressed Indian mustard (*Brassica Jucea*) plants. Pakistan Journal of Botany 47: 1629-16 39.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]

# Effect of putrescine and calcium nitrate foliar application on some physiological traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) under different contents

**Samira gholipour, Gholam reza zamani*, Majid Jami alahmadi**

**Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand University**
**(Received: 23/10/2019, Accepted: 24/06/2020)**

**Abstract**

Moisture stress is one of the most important factors reducing crop yield, including oilseed crops, in Iran. Therefore, this study was aimed to study the effect of different moisture levels on amino acid content of methionine, proline, soluble sugar and protein of sesame leaf in the 2018 crop year. Moisture levels were water collected in a split plot-factorial experiment with a randomized complete block design with three replications at the Birjand University of Agriculture Research Farm. In this experiment, moisture at three levels (100, 75 and 50% of sesame water requirement) as the main factor application of calcium nitrate at three levels (0, 5 and 10 Mm) and putrescine at two levels (0.5 Mm and water spraying solution) were considered as sub-factors. The result showed that the interaction of moisture levels, calcium nitrate, and putrescine were significant ($P < 0.05$) for methionine, lysine, proline amino acids and grain yield. The highest amount of methionine amino acid (0.060 mg/g fresh weight) was obtained in the case of 10 Mm calcium nitrate foliar application with putrescine use at 50% water requirement level. The dual interaction of calcium nitrate and putrescine, moisture levels and putrescine, as well as moisture levels and calcium nitrate, were significant on soluble sugar and protein of sesame leaf. In general, foliar application of calcium nitrate and putrescine was the best treatment to reduce the effect of moisture levels on sesame which was indicative of a synergistic relationship between them in reducing the effect of moisture stress.

**Keywords**: Methionine, Foliar solution, Proline, Sesame and soluble sugar.

Corresponding author, Email: gzamani@birjand.ac.ir

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.5.4 ]