فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۹، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۲۱۱-۲۲۶
https://doi.org/10.22034/14.69.211

مقاله پژوهشی

بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک و عملکرد ارقام نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

افشین توکلی*، سهیلا غنیمتی و کامران افصحی

گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۵/۲۸)

چکیده

کمبود آب در شرایط دیم اثرات نامطلوبی بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاه دارد. به منظور بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک ارقام نخود در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی آزمایشی به صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. در این تحقیق کرت‌های اصلی سه شرایط آبیاری شامل شرایط دیم، آبیاری تکمیلی و آبیاری کامل و کرت‌های فرعی شامل چهار رقم نخود آزکان، منصور عادل و سعید بود. خصوصیات فیزیولوژیک مورد بررسی در طی فصل رشد شامل محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت‌ها، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز، محتوی پرولین و مالون دی‌آلدهید، میزان کلروفیل a، b و کل بودند. در پایان فصل رشد نیز تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک و دانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار آبیاری بر کلیه صفات مورد بررسی درسطح یک درصد است. در شرایط دیم میزان نشت الکترولیت‌ها و میزان مالون دی‌آلدهید، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نسبت به شرایط آبیاری کامل به ترتیب ۳۲ درصد و ۱/۲۸ و ۵/۱۳ برابر افزایش یافت در حالیکه سایر صفات مورد بررسی کاهش یافتند. در بین ارقام مورد بررسی رقم منصور در شرایط آبیاری کامل بیشترین میزان تولید دانه (۱۸۵۰ کیلوگرم در هکتار) را داشت و رقم عادل در شرایط آبیاری کامل و تکمیلی کمترین میزان تولید (به ترتیب ۱۰۹۳ و ۸۵۰ کیلوگرم در هکتار) را نشان داد. در شرایط دیم ارقام تولید یکسانی را نشان دادند. انجام آبیاری تکمیلی باعث بهبود کارکردهای فیزیولوژیکی ارقام نخود نسبت به شرایط دیم شد. که در نهایت باعث افزایش تولید و عمکرد دانه نسبت به شرایط دیم در ارقام نخود شد. در شرایط آبیاری تکمیلی و کامل رقم منصور نسبت به ارقام دیگر برتری نشان داد و برای این شرایط مناسب است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، تنش خشکی، عملکرد دانه، کلروفیل

مقدمه

کمبود آب در دسترس یکی از عوامل مهم کاهش تولید گیاهان زراعی به ویژه در ایران است. نخود از حبوبات مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهت تأمین پروتئین مورد نیاز انسان است (Mafakheri *et al.*, 2011). بخش عمده سطح زیرکشت نخود در ایران به صورت دیم است که ۹۸ درصد کل سطح زیرکشت این گیاه را شامل می‌شود (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۲). در شرایط دیم گیاه با تنش‌های مختلف محیطی روبرو می‌شود که تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌ها در این شرایط است. تنش خشکی اثرات بسیار نامطلوبی بر رشد و

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Tavakoli@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

نمو و فرایندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه دارد (Mittler, 2002). در شرایط محدودیت آب به علت کاهش میزان آب در دسترس گیاه میزان جذب آب و محتوی نسبی آب در گیاه کاهش می‌یابد (مومنی و همکاران، ۱۳۹۳). محتوی نسبی آب شاخص مناسبی برای بررسی وضعیت آبی گیاه است (مومنی و همکاران ۱۳۹۳، Basak *et al.*, 2020). با کاهش محتوای نسبی آب در برگ‌ها روزنه‌های گیاه بسته شده و ورود دی‌اکسید کربن به برگ‌ها دچار محدودیت می‌شود و به دنبال آن میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد (Lawlor, 2002; Lawlor and Cornic, 2002). کاهش میزان فتوسنتز باعث افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه می‌شود که افزایش این گونه‌ها منجر به افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء، ماکرومولکول‌های حیاتی مانند DNA، RNA، پروتئین‌ها و ترکیبات دیگر مانند کلروفیل می‌شود (Hasanuzzaman *et al.*, 2020; Mylona and Polidoros, 2011). پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء منجر به تولید مالون دی‌آلدهید شده و اندازه‌گیری آن می‌تواند شاخصی از میزان آسیب به غشاهای سلول باشد (Kar and Ozturk, 2020). مطالعه انجام‌شده بر روی نخود نشان‌دهنده افزایش میزان MDA در شرایط کمبود رطوبت است (Keerthi *et al.*, 2023; Seifikalhor *et al.*, 2022). خسارت وارده به غشاها می‌تواند باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها از سلول شود (Kayan and Turhan, 2012). مطالعات انجام‌شده بر روی گیاه لوبیا و نخود نشان‌دهنده افزایش نشت الکترولیت‌ها در شرایط کمبود رطوبت است (بروجردنیا و همکاران، ۱۳۹۵، Seifikalhor *et al.*, 2022) و این صفت می‌تواند شاخصی جهت نشان دادن خسارت وارده به غشاهای سلول باشد. گیاهان جهت مقابله با گونه های فعال اکسیژن دارای سیستم آنتی‌اکسیدانی هستند که این سیستم شامل متابولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است (Hasanuzzaman *et al.*, 2020; Mylona and Polidoros, 2011). از جمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان که در سلول‌های گیاهی باعث حذف پروکسید هیدروژن (H_2O_2) می‌شود می‌توان به دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز اشاره کرد (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). آنزیم کاتالاز به صورت مستقیم پروکسید هیدروژن را تخریب کرده و میزان آن را کاهش می‌دهد در حالیکه آنزیم پراکسیداز از یک ترکیب به عنوان دهنده الکترون استفاده کرده و پروکسید هیدروژن را تخریب می‌کند (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). فعالیت این دو آنزیم در شرایط تنش‌های محیطی مانند تنش کمبود آب افزایش یافته تا گونه‌های فعال اکسیژن را حذف کنند (Scandalios, 2005; Zhou *et al.*, 2022). مطالعات انجام‌شده بر روی گندم و نخود نشان داد که در شرایط تنش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز افزایش یافته و این افزایش در ارقام مقاوم به خشکی بیشتر از ارقام حساس به خشکی بود (توکلی و همکاران، ۱۳۸۸، ابریشم‌چی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Nair and Chung, 2015). پرولین یک اسیدآمینه است که به صورت یک اسمولیت و تنظیم‌کننده اسمزی در سلول‌های گیاه عمل می‌کند و میزان آن در شرایط تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (Bhaskara *et al.*, 2015). افزایش این ترکیب در شرایط تنش منجر به اثرات مثبتی مانند کاهش پتانسل اسمزی و جذب بهتر آب، فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و سیگنال‌دهی در شرایط تنش شده و افزایش میزان پرولین در شرایط تنش خشکی با مطالعه بر روی گیاه کینوا (سالک معراجی و همکاران، ۱۳۹۹) نخود (Keerthi *et al.*, 2023; Seifikalhor *et al.*, 2022) و لوبیا (بروجردنیا و همکاران، ۱۳۹۵) گزارش شده است. در شرایط دیم که میزان دسترسی گیاه به آب به شدت محدود می‌شود تنش خشکی با تأثیرات مخرب بر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه باعث کاهش کارایی و تولید گیاه خواهد شد و استفاده از آبیاری تکمیلی در این شرایط می‌تواند به بهبود فرایندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه کمک کرده و در نهایت تولید را افزایش دهد و این مسئله در تحقیقات مختلف انجام شده گزارش شده است (خوجملی و همکاران، ۱۳۹۷؛ پارسا و همکاران، ۱۳۹۰). ارقام مختلف گیاهان زراعی از لحاظ خصوصیات فیزیولوژیک و پاسخ به شرایط تنش با یکدیگر می‌توانند متفاوت باشند و ارقام مقاوم به خشکی می‌توانند کارکردهای بهتر فیزیولوژیکی نیز در این شرایط داشته باشند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

هر چند پاسخ ارقام می‌تواند بسیار متفاوت و متنوع باشد (Asati *et al.*, 2022، حمه‌رشید و همکاران، ۱۳۹۸؛ توکلی و همکاران، ۱۳۸۸).

با توجه به اهمیت تولید گیاه نخود در شرایط کمبود آب لازم است خصوصیات فیزیولوژیک و تولید این گیاه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مورد بررسی قرار گیرد ولی در تحقیقات به این گیاه کمتر توجه شده است به همین دلیل این آزمایش جهت بررسی خصوصیات و پاسخ‌های فیزیولوژیک چهار رقم نخود در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و ارتباط این خصوصیات با تولید این ارقام انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. خصوصیات آب و هوایی منطقه آزمایش در طی فصل رشد گیاه در جدول ۱ ارائه شده است. کرت‌های اصلی شامل سه تیمار آبیاری کامل، آبیاری تکمیلی و شرایط دیم و کرت‌های فرعی شامل چهار رقم نخود آزکان، منصور، عادل و سعید بود. آماده‌سازی و شخم زمین در فصل پاییز انجام شد و بذور در تاریخ ۱۸ اسفندماه کشت شدند. فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ و فاصله روی ردیف ۴/۱ سانتی‌متر و تراکم بوته ۴۸ بوته در مترمربع بود. در تیمار آبیاری کامل از زمان کاشت تا رسیدگی بوته آبیاری براساس نیاز گیاه انجام شد اما در تیمار آبیاری تکمیلی آبیاری، فقط در دو مرحله گلدهی و غلاف‌بندی انجام شد. در طی فصل رشد مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک مختلف نمونه‌گیری یازده روز پس از انجام اولین آبیاری تکمیلی انجام شد و در این روز دو روز از آبیاری در تیمار آبیاری کامل گذشته بود. سپس اقدام به اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک شد.

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ نمونه‌گیری در ساعت ۱۰ صبح انجام شد و نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و اندازه‌گیری طبق روش ریچی (Ritchie and Nguyen, 1990) انجام شد.

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز همچنین محتوی مالون دی‌آلدهید ابتدا نمونه‌ها در مزرعه با استفاده از نیتروژن مایع فریز شده و به آزمایشگاه منتقل و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. فعالیت آنزیم کاتالاز با روش Aebi (۱۹۸۴) و فعالیت آنزیم پراکسیداز با روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) اندازه‌گیری شد. جهت تعیین میزان پروتئین محلول از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. میزان مالون دی‌آلدهید شاخصی برای براورد پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء است و برای اندازه‌گیری محتوی MDA از روش Heath و Packer (۱۹۶۸) استفاده شد.

محتوای پرولین برگ با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد و جهت تهیه منحنی استاندارد نیز از پرولین خالص استفاده شد.

به منظور اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌ها در برگ از آخرین برگ توسعه‌یافته بوته‌ها نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد و میزان نشت الکترولیت‌ها اندازه‌گیری شد (Sairam and Srivastava, 2001).

جهت تعیین میزان کلروفیل a، b و کل نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و استخراج کلروفیل با استفاده از محلول استون ۸۰ درصد انجام شد و میزان جذب در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ خوانده شد سپس با استفاده از روابط میزان محتوی کلروفیل برحسب میلی‌گرم در گرم محاسبه شد (Ashraf *et al.*, 1994).

کلروفیل a= $[(A_{663}\times12.7) - (A_{645}\times2.69)] \times V/(1000\times W)$

کلروفیل b=$[(A_{645}\times22.9) - (A_{663}\times4.69)] \times V/(1000\times W)$

کلروفیل= $[(A645\times20.2) + (A663\times8.02)] \times V/(1000\times W)$

که در روابط بالا A جذب نمونه، V حجم نهایی عصاره استخراج‌شده و W وزن تر نمونه برگ است.

در پایان فصل رشد پس از رسیدگی بوته‌ها صفات دیگر شامل تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی منطقه آزمایش در طی فصل رشد گیاه سال ۹۹- ۱۳۹۸

پارامتر	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
میزان کل بارش (mm)	۳۹/۹	۵۳/۴	۵۱/۴	۱۲/۱	۱۵/۲
میانگین حداقل دما (°C)	-۰/۱۰	۲/۳۰	۷/۰۷	۱۱/۸۶	۱۴/۵۳
میانگین حداکثر دما(°C)	۱۳/۵۰	۱۳/۴۱	۲۰/۸۷	۳۱	۳۱/۲۷
میانگین دما (°C)	۶/۷	۷/۸۵	۱۳/۹۷	۲۱/۴۳	۲۲/۹۰

دانه اندازه‌گیری شد.

پس از انجام اندازه‌گیری‌ها و محاسبات لازم داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه واریانس و مقایسه میانگین شدند. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۷ ترسیم شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب: بررسی نتایج تجزیه واریانس محتوی نسبی آب برگ بیانگر این است که اثر آبیاری، رقم و اثر متقابل رقم و آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). معنی‌دار شدن اثر متقابل رقم و آبیاری نشان‌دهنده عکس‌العمل متفاوت ارقام در شرایط مختلف آبیاری است. در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط آبیاری کامل محتوای نسبی آب برگ به طور معنی‌داری کاهش داشته است ولی پاسخ ارقام مشابه نبود به طوریکه که دو رقم آزکان و منصور نسبت به دو رقم دیگر برتری داشتند ولی در شرایط دیم رقم سعید با محتوای نسبی آب ۷۵/۷۸ درصد نسبت به ارقام دیگر برتری داشت (شکل ۱). کاهش محتوی نسبی آب برگ در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم نسبت به شرایط آبیاری کامل ناشی از کاهش آب در دسترس گیاه است. در شرایط آبیاری تکمیلی نمونه‌گیری ۱۱ روز پس از آخرین آبیاری بود در حالیکه در شرایط آبیاری کامل دو روز از آخرین آبیاری گذشته بود. در شرایط دیم رقم سعید احتمالاً با بستن زودتر روزنه‌ها و حفظ رطوبت خود توانسته محتوی نسبی آب برگ بالاتری نسبت به ارقام دیگر داشته باشد. انجام آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم باعث بهبود محتوای نسبی آب برق شده است. مؤمنی و همکاران (۱۳۹۳) نیز با تحقیق بر روی گیاه نخود گزارش کردند که انجام آبیاری تکمیلی به صورت معنی‌داری محتوی نسبی آب برگ را افزایش داد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: نتایج تجزیه واریانس فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار آبیاری بر فعالیت هر دو آنزیم بود ولی ارقام تأثیر معنی‌داری بر فعالیت این آنزیم‌ها نداشتند (جدول ۲). اثر متقابل رقم و آبیاری فقط در آنزیم پراکسیداز در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر آبیاری نشان داد که فعالیت این آنزیم‌ها در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم نسبت به شرایط آبیاری کامل افزایش یافته است. اما افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز بیشتر از آنزیم پراکسیداز بود. به طوریکه در شرایط آبیاری تکمیلی فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز به ترتیب ۳۹/۹ و ۲۲ درصد و در شرایط دیم ۱۲۱ و ۵۹/۵ درصد افزایش داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و آبیاری آنزیم پراکسیداز بیانگر این است که افزایش اشاره‌شده در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در هر چهار رقم مشاهده شد ولی افزایش‌ها یکسان نبود به طوریکه در شرایط دیم دو رقم منصور و آزکان فعالیت بالاتری داشتند ولی در شرایط آبیاری کامل رقم آزکان کمترین فعالیت را نشان داد (شکل ۲). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش و کمبود رطوبت در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Keerthi *et al.*, 2023; Nounjan *et al.*, 2012; Eyidogan and Oz, 2007). آنزیم کاتالاز و پراکسیداز بخشی از سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه هستند که در شرایط تنش کمبود آب که تولید گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد منجر به حذف گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند و افزایش فعالیت این آنزیم‌ها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی ارقام نخود در شرایط دیم، آبیاری تکمیلی و آبیاری کامل

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		محتوی نسبی آب برگ	نشت الکترولیت	مالون دی‌آلدهید	کاتالاز	پراکسیداز	پرولین
بلوک	۳	۷/۶ n.s	۵۲/۳۸ n.s	۰/۰۵۹ n.s	۲/۱۹۵ n.s	۱/۶۸۹ n.s	۰/۰۲۲۵ n.s
آبیاری	۲	۱۶۳۰/۱۸ **	۱۶۴۱/۹۶ **	۱/۴۴۲ **	۱۸۵/۴۶ **	۳۳۷/۵ **	۱۷۹/۱۲ **
خطای اصلی	۶	۱/۶۱۷	۱۹/۶۶	۰/۰۳۰۶	۰/۷۷۳	۰/۴۹۹۸	۰/۰۳۹
ارقام	۳	۶۲/۶۶ **	۳۱/۷۹ n.s	۰/۱۰۷۳ n.s	۰/۹۸ n.s	۰/۵ n.s	۱/۸۸۷ **
آبیاری ×ارقام	۶	۵۷/۰۹ **	۴/۵۸ n.s	۰/۰۵۵۶ n.s	۰/۴۲۷ n.s	۲/۰۴ **	۰/۱۳۷*
خطای فرعی	۹	۳/۳۰۶	۱۹/۱۹	۰/۰۵۹	۰/۶۲۴	۰/۵۶۳	۰/۰۴۵
ضریب تغییرات (٪)		۲/۰۶	۶	۳۱/۵۸	۹/۵۵	۳/۸۲	۴/۸۵

***، ** و n.s به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم تفاوت معنی‌دار است.**

ادامه جدول ۲-

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	تعداد دانه در بوته	وزن صد دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
بلوک	۳	۲/۳۶۵ n.s	۱/۳۰۹*	۷/۳۳ n.s	۱۳/۲۹ n.s	۰/۹۴ n.s	۸۷۳۳۶۸ n.s	۷۹۲۰۵ n.s
آبیاری	۲	۵۶/۵۶ **	۱۰/۷۳ **	۲۲۹/۶ **	۵۲۷/۹۶ **	۴۷۷/۰۴ **	۷۶۷۴۹۳ **	۷۴۱۸۰۰۹**
خطای اصلی	۶	۰/۷۹۳	۰/۰۶	۰/۸۲	۸/۹	۱/۱۱	۱۳۴۲۰۱	۴۵۶۹۵
ارقام	۳	۱۰/۵۷۶ **	۱/۶۴ **	۲۰/۳۷ **	۱۳۲ **	۱۳۴/۱۷**	۲۵۰۳۵۷۶**	۶۳۱۸۳۱ **
آبیاری ×ارقام	۶	۱/۰۳۹ n.s	۰/۸۰۸ **	۳/۲۴۷ **	۸/۶۵ n.s	۵/۰۸۶ n.s	۵۴۳۵۷۶ n.s	۱۵۶۰۳۶ *
خطای فرعی	۹	۰/۶۳۷	۰/۱۸۵	۰/۶۸۴	۱۵/۲۶	۴/۴۳۷	۲۷۴۶۹۹	۵۵۲۸۹
ضریب تغییرات (٪)		۷/۷۵	۱۲/۶۶	۶/۱۴	۲۴/۷۷	۵/۷۶	۱۶/۲۲	۲۳/۳۴

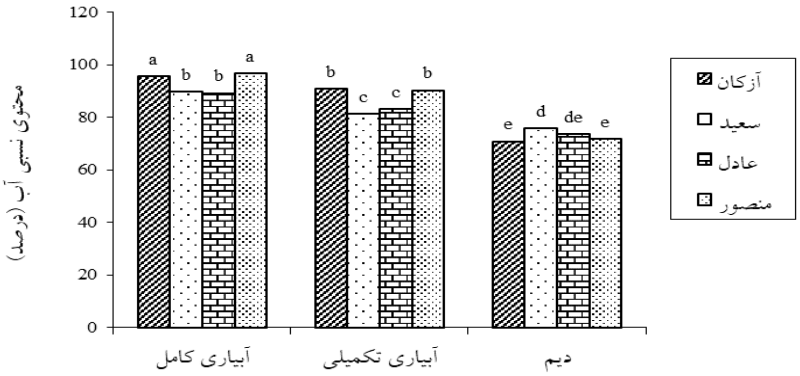
***، ** و n.s به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم تفاوت معنی‌دار است.**

می‌تواند به مقاومت گیاه در برابر شرایط تنش کمک کند (Keerthi *et al.*, 2023; Hasanuzzaman *et al.*, 2020). گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده در شرایط تنش علاوه بر اثرات تخریبی به عنوان سیگنال‌های مولکولی نیز عمل می‌کنند و می‌توانند باعث فعالسازی فاکتورهای رونویسی مختلف شود که این فاکتورهای رونویسی می‌تواند باعث افزایش بیان ژن‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز و پراکسیداز شود (Hasanuzzaman *et al.*, 2020; Scandalios, 2005). به همین دلیل در شرایط دیم و یا آبیاری تکمیلی میزان فعالیت این آنزیم‌ها افزایش یافته است تا با گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده مقابله شود.

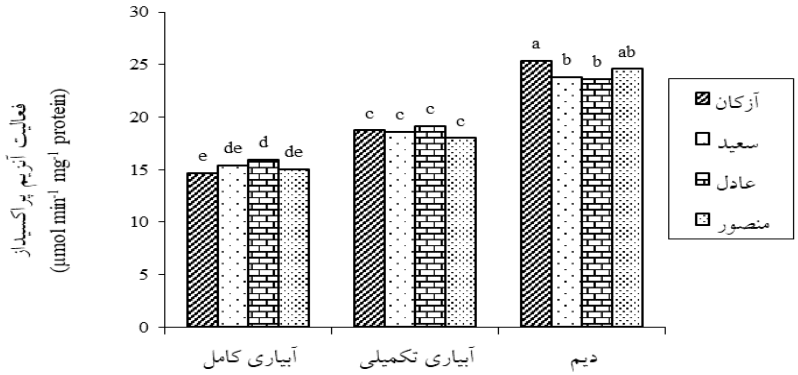
پرولین: نتایج تجزیه واریانس میزان پرولین نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار آبیاری و رقم در سطح یک درصد و اثر متقابل آن ها در سطح پنج درصد است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و رقم نشان داد که در تمام ارقام میزان پرولین در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم افزایش یافته است. در بین ارقام رقم آزکان بیشترین میزان افزایش پرولین را نسبت به شرایط آبیاری کامل نشان داد و مقدار پرولین از ۱/۰۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

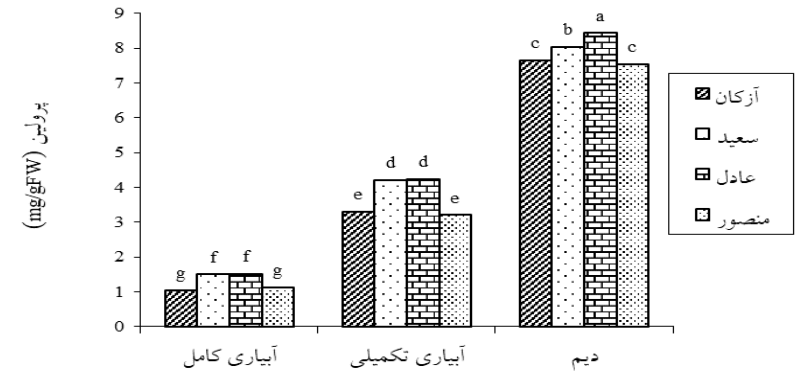
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم بر صفت محتوی نسبی آب (ستون‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و رقم بر صفت فعالیت آنزیم پراکسیداز (ستون‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم بر صفت محتوای پرولین (ستون‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

به ۷/۶۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر افزایش یافت (شکل ۳). در شرایط آبیاری تکمیلی و آبیاری کامل میزان پرولین در دو رقم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی خصوصیات مورد بررسی در شرایط مختلف آبیاری و ارقام نخود

تیمارها		محتوی نسبی آب برگ (٪)	نشت الکترولیت (٪)	مالون دی‌آلدهید (µg/gFW)	کاتالاز (µmol H_2O_2 min^{-1} mg^{-1} protein)	پراکسیداز (µmol min^{-1} mg^{-1} protein)	پرولین (mg/gFW)
آبیاری	کامل	۹۲/۷۴ a	۶۳/۳۲c	۰/۴۶ c	۵/۴۹ c	۱۵/۲۶ c	۱/۲۹ c
	تکمیلی	۸۸/۳۳ b	۷۲/۳۸ b	۰/۶۸ b	۷/۶۸ b	۱۸/۶۳ b	۳/۷۴ b
	دیم	۷۲/۹۶ c	۸۳/۵۵ a	۱/۰۵ a	۱۲/۱۷ a	۲۴/۳۴ a	۷/۹۱ a
ارقام	آزکان	۸۵/۷۵ a	۷۰/۸۱a	۰/۶۱a	۸/۵۴ a	۱۹/۵۹ a	۴b
	منصور	۸۶/۲۱a	۷۳/۴۸a	۰/۷۴a	۸/۸۰a	۱۹/۲۰a	۳/۹۵ b
	سعید	۸۲/۲۱b	۷۳/۳۷ a	۰/۷۲a	۸/۱۷a	۱۹/۵۸a	۴/۵۸a
	عادل	۸۱/۸۷b	۷۴/۶۸ a	۰/۸۴a	۸/۲۶ a	۱۹/۲۷ a	۴/۷۲a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

ادامه جدول ۳-

تیمارها		کلروفیل a (mg/gFW)	کلروفیل b (mg/gFW)	کلروفیل کل (mg/gFW)	تعداد دانه در بوته	وزن صد دانه (g)	عملکرد بیولوژیک (Kg/ha)	عملکرد دانه (Kg/ha)
آبیاری	کامل	۱۲/۳۵ a	۴/۰۸ a	۱۶/۴۳ a	۱۹/۹۱a	۴۰/۶۴a	۴۶۸۷/۵a	۱۴۹۸/۴a
	تکمیلی	۱۰/۶۱ b	۲/۹۷ b	۱۳/۵۸ b	۱۸/۱۷a	۳۸/۷۰b	۴۲۹۳/۷b	۱۲۹۳/۷b
	دیم	۸/۵۹ c	۲/۴۸ c	۱۱/۰۷ c	۹/۲۱b	۳۰/۳۶c	۷۱۲/۵c	۲۳۰/۱c
ارقام	آزکان	۱۱/۲۳ a	۳/۴۳ a	۱۴/۸۱ a	۱۸/۸۲a	۳۷/۷۴b	۳۵۰۰ab	۱۰۷۶/۱ab
	منصور	۱۱/۳۴a	۳/۴۷a	۱۴/۶۶a	۱۳/۴۹b	۴۰/۷۴a	۳۶۵۶/۲a	۱۲۶۹/۱a
	سعید	۹/۳۸ b	۲/۶۷b	۱۳/۲۵b	۱۲/۳۵b	۳۴/۳۱c	۳۱۴۱/۶b	۹۶۵/۲b
	عادل	۱۰/۱۲b	۳/۱۳ab	۱۲/۰۵c	۱۸/۳۸a	۳۳/۴۶c	۲۶۲۷c	۷۱۹/۴c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

عادل و سعید بالاتر از دو رقم آزکان و منصور بود در حالیکه در شرایط دیم رقم عادل بالاترین میزان (۸/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را داشت و رقم سعید به طور معنی‌دار میزان پرولین کمتری (۸/۰۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) نسبت به رقم عادل داشت (شکل ۳).

بررسی بیان ژن‌های دخیل در بیوسنتز و کاتابولیسم پرولین نشان‌دهنده این است که در شرایط تنش میزان سنتز پرولین افزایش یافته و همچنین میزان تخریب پرولین کاهش می‌یابد که در نهایت منجر به افزایش محتوای پرولین در برگ می‌شود (Sharma *et al.*, 2011; Kaushal *et al.*, 2011). اسیدآمینه پرولین در شرایط تنش خشکی و کمبود رطوبت نقش‌های مختلفی را در گیاه انجام می‌دهد که از آن جمله می‌توان به تنظیم اسمزی و جذب بهتر آب، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، بهبود جذب عناصر غذایی و بهبود هدایت روزنه‌ای اشاره کرد (Kaushal *et al.*, 2011; Kadir *et al.*, 2017; Bhaskara *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2025). بنابراین افزایش پرولین در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم باعث تحمل بهتر شرایط کمبود آب می‌شود. میزان پرولین با فعالیت دو آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز (r= ۰/۹۴۲) و پراکسیداز (r= ۰/۹۶۴) همبستگی بسیار بالایی را نشان داد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس محتوای کروفیل a، b و کل نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار آبیاری و رقم در سطح یک درصد بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

هر سه صفت است. اثر متقابل رقم و آبیاری بر کلروفیل a تأثیر نداشت ولی کلروفیل b و کل تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری و رقم در سطح یک درصد قرار گرفتند (جدول ۲). میزان کلروفیل a در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی نسبت به آبیاری کامل به ترتیب ۳۰/۵ و ۱۴ درصد کاهش یافت (جدول ۳). دو رقم آزکان و منصور با داشتن ۱۱/۲۳ و ۱۱/۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر کلروفیل a بالاتری نسبت به دو رقم دیگر داشتند (جدول ۳). در شرایط آبیاری کامل رقم آزکان و منصور به ترتیب با داشتن ۴/۹۳ و ۴/۶۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر بالاترین میزان کلروفیل b را داشتند. در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم میزان کلروفیل b در تمام ارقام کاهش یافت ولی در این دو شرایط ارقام تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۴). میزان کلروفیل کل در شرایط آبیاری کامل مانند کلروفیل b در دو رقم آزکان و منصور بالاترین مقدار را داشت و در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم رقم سعید به ترتیب با داشتن ۱۲/۱ و ۹/۹۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ کمترین میزان کلروفیل را داشت (شکل ۵).

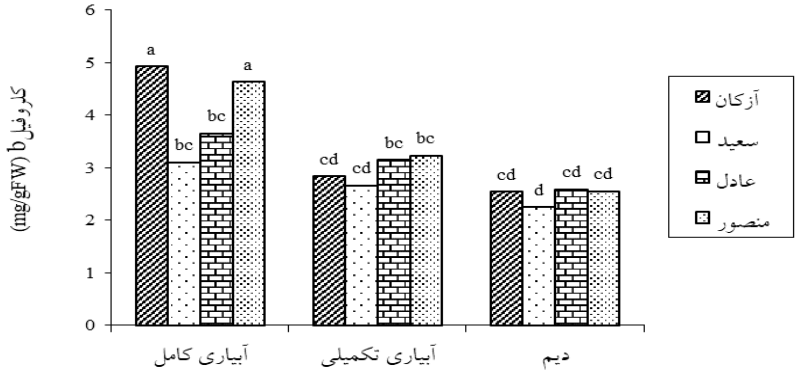
مطالعات نشان می‌دهد که تنش خشکی منجر به کاهش قابل توجه کلروفیل a و b در گونه‌های مختلف از جمله برنج و سورگوم می‌شود که با توجه به رقم و شدت تنش خشکی وارد شده به گیاه میزان کاهش کلروفیل از ۱۱/۱ تا ۳۲/۲ درصد گزارش شده است (Yang *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2019). کاهش کلروفیل گیاه در شرایط محدودیت آب، ناشی از کاهش تولید کلروفیل همچنین افزایش تخریب کلروفیل بر اثر فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز است (Karami *et al.*, 2025; Kang *et al.*, 2023). کاهش محتوای کلروفیل در شرایط کمبود رطوبت یک مکانیسم برای سازگاری گیاه با این شرایط است. در این شرایط به علت محدودشدن فتوسنتز انرژی اضافه دریافت‌شده منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. بنابراین کاهش محتوای کلروفیل باعث دریافت کمتری انرژی و تولید کمتر گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (Kaliaha and Kozel, 2022). محتوای کلروفیل برگ با میزان عملکرد بیولوژیک (r=۰/۷۸۱) و عملکرد دانه (r=۰/۷۸۹) همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). و بالاتربودن محتوای کلروفیل برگ می‌تواند با افزایش قدرت منبع میزان تولید گیاه را افزایش دهد که تحقیقات دیگر نیز ارتباط بین میزان کلروفیل و تولید را گزارش کردند (Montealiva *et al.*, 2021).

نشت الکترولیت‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشت الکترولیت‌ها نشان داد که تأثیر آبیاری بر نشت الکترولیت‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بود و سایر عوامل تأثیر معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۲). میزان نشت الکترولیت‌ها در شرایط آبیاری کامل ۶۳/۳ درصد بود که در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم به ترتیب ۱۴/۳ و ۳۱/۹ درصد افزایش داشت (جدول ۳). میزان نشت الکترولیت‌ها با محتوای نسبی آب برگ همبستگی منفی نشان داد (جدول ۴). به این معنی که با کاهش محتوای نسبی آب برگ میزان نشت الکترولیت‌ها افزایش یافته است. همبستگی بین محتوی نسبی آب برگ و نشت الکترولیت‌ها در مطالعه بروجردنیا و همکاران (۱۳۹۵) بر روی گیاه لوبیا نیز گزارش شده است. مطالعه انجام‌شده بر روی نخود کاهش میزان نشت الکترولیت‌ها و افزایش محتوای نسبی آب برگ را در شرایط انجام آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم گزارش کردند (Kayan and Turhan, 2012). افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها ناشی از خسارت وارده بر اثر فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و عوامل دیگر است. میزان نشت الکترولیت‌ها با محتوای مالون دی‌آلدهید (r= ۰/۶۴۹) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). میزان مالون دی‌آلدهید نشان‌دهنده میزان پراکسیداسیون لیپیدها است و بالارفتن آن با افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها از غشای سلول ارتباط دارد که در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (Seifikalhor *et al.*, 2022).

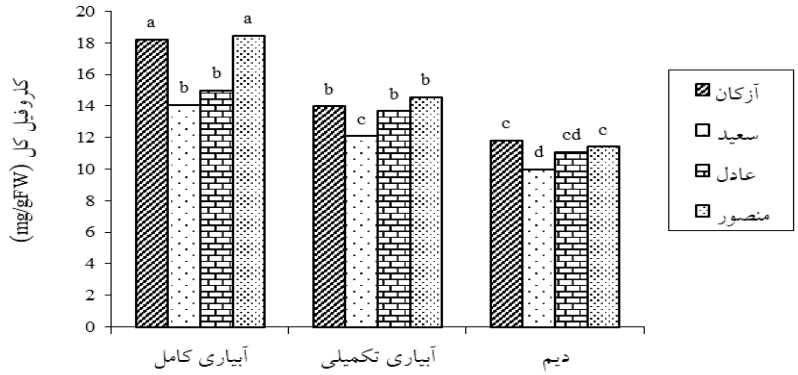
مالون دی‌آلدهید (MDA): نتایج تجزیه واریانس میزان مالون دی‌آلدهید نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار عامل آبیاری بر این صفت است در حالیکه سایر عوامل بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). میزان MDA در شرایط آبیاری کامل ۰/۴۶ نانومول بر گرم ماده تر بود که در شرایط آبیاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]



شکل ۴- مقایس میانگین اثر متقابل آبیاری و رقم بر صفت محتوای کلروفیل b (ستون‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم بر صفت محتوای کلروفیل کل (ستون‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

تکمیلی ۴۷ درصد افزایش یافت ولی میزان افزایش آن در شرایط دیم بسیار بیشتر و ۱/۲۸ برابر شد (جدول ۳). MDA نشانگر میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا است و افزایش شدید آن در شرایط دیم ناشی از افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن است در شرایط دیم به علت کاهش میزان فتوسنتز تولید گونه‌های اکسیژن افزایش یافته که منجر به پیراکسیداسیون بیشتر لیپیدهای غشاء و افزایش MDA می‌شود و با انجام آبیاری به صورت تکمیلی یا کامل میزان تولید MDA کاهش می‌یابد. مطالعه انجام‌شده بر روی گیاه نخود نشان داد که در شرایط تنش خشکی و کمبود آب در دسترس گیاه میزان محتوی نسبی آب کاهش یافته و به دنبال آن میزان تولید مالون دی‌آلدهید و نشت الکترولیت‌ها افزایش یافته است (Keerthi *et al.*, 2023).

تعداد دانه در بوته: نتایج تجزیه واریانس تعداد دانه در بوته بیانگر تأثیر معنی‌دار آبیاری و رقم بر این صفت در سطح یک درصد است (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در بوته در آبیاری کامل مشاهده شد که با آبیاری تکمیلی تفاوت معنی‌داری نداشت اما در شرایط دیم تعداد دانه در بوته نسبت به آبیاری کامل ۵۳/۷ درصد کاهش یافت (جدول ۳). از چهار رقم مورد مطالعه رقم آزکان بیشترین و رقم سعید کمترین تعداد دانه در بوته را داشتند (جدول ۳). تعداد دانه در بوته در گیاه نخود بستگی به تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته دارد که تعداد غلاف در بوته عامل بسیار مهمتری در تعیین تعداد دانه در بوته است. کاهش تعداد دانه در بوته در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

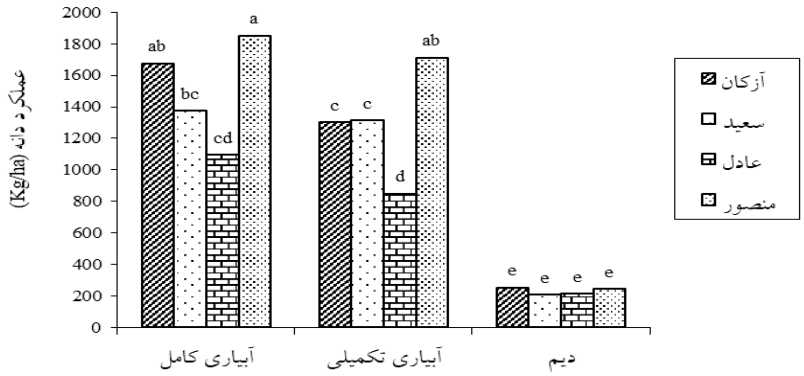
دیم ناشی از کاهش میزان فتوسنتز، کاهش تعداد گل‌های تلقیح و بارورشده و کاهش تعداد شاخه‌های جانبی است. تعداد دانه در بوته از اجزای مهم عملکرد است که در این تحقیق همبستگی خوبی (r= ۰/۵۷۳) با عملکرد دانه نشان داد (جدول ۴). کاهش تعداد دانه در بوته در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (مجنون حسینی و همکاران، ۱۴۰۱).

وزن صد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمار آبیاری در سطح پنج درصد و رقم در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر وزن صد دانه داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری کامل بیشترین میزان وزن صد دانه به دست آمد در حالیکه در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم به ترتیب به میزان ۴/۷۷ و ۲۵/۳ درصد کاهش یافت (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی و کمبود آب تقسیم سلولی کاهش یافته که باعث کاهش تعداد سلول در دانه می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش اندازه مخزن شود. همچنین در شرایط تنش خشکی کاهش میزان فتوسنتز گیاه باعث می‌شود میزان مواد فتوسنتزی فراهم برای پر شدن دانه کمتر شده در نتیجه اندازه دانه کوچک می‌شود. عامل دیگری که می‌تواند باعث کاهش وزن دانه شود کاهش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در بیوسنتز مواد ذخیره‌ای دانه است که در شرایط کمبود آب و وقوع تنش خشکی فعالیت این آنزیم‌ها در دانه نخود کاهش یافته که منجر به کاهش وزن نهایی دانه می‌شود (Awasthi *et al.*, 2024). کاهش وزن صد دانه نخود در شرایط دیم همچنین آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط شاهد و آبیاری کامل در آزمایشات محققان دیگر نیز گزارش شده است (مجنون حسینی و همکاران، ۱۴۰۱؛ Benali *et al.*, 2023). در این تحقیق استفاده از آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و نیام‌بندی میزان وزن صد دانه را نسبت به شرایط دیم ۲۷/۵ درصد افزایش داد (جدول ۲). و افزایش این جزء عملکرد باعث تولید بالاتر دانه در شرایط آبیاری تکمیلی شده است. مطالعه انجام‌شده بر روی نخود سیاه نشان داد که انجام یک مرحله آبیاری تکمیلی وزن دانه را بین ۱۰ تا ۱۹/۵ درصد افزایش داد (جلیلیان و حیدرزاده، ۱۳۹۶). از بین ارقام رقم منصور بیشترین و رقم عادل کمترین وزن صد دانه را داشت که با رقم سعید تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). وزن صد دانه از اجزای مهم عملکرد دانه است که همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه داشت (r= ۰/۸۴۵) که نشان‌دهنده تأثیر مهم این جزء در عملکرد دانه است (جدول ۴).

عملکرد بیولوژیک: تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک نشان‌دهنده وجود تأثیر معنی‌دار آبیاری و رقم بر این صفت در سطح یک درصد است (جدول ۲). عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم نسبت به آبیاری کامل کاهش معنی‌داری (به ترتیب ۸/۴ و ۸۴/۸ درصد) داشت (جدول ۳). در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی میزان تولید مواد فتوسنتزی در گیاه کاهش می‌یابد. کاهش تولید به علت کاهش قدرت منبع در شرایط محدودیت دسترسی به رطوبت است. تنش خشکی از یک سمت با کاهش توسعه برگ‌ها و افزایش زردشدن برگ‌ها اندازه منبع را کاهش داده و از سمت دیگر با تأثیر بر عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای منجر به کاهش فعالیت منبع شده و در نهایت تولید مواد فتوسنتزی را کاهش می‌دهد (Awasthi *et al.*, 2014; Hosseinzadeh *et al.*, 2016). کاهش محتوی کلروفیل برگ در شرایط ابیاری تکمیلی و دیم باعث کاهش فتوسنتز و قدرت منبع شده و میزان تولید مواد فتوسنتزی را کاهش می‌دهد. گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی علاوه بر تخریب کلروفیل به ماشین فتوسنتزی سلول آسیب وارد کرده و تولید مواد فتوسنتزی را کاهش می‌دهد. عملکرد بیولوژیک با میزان مالون دی‌آلدهید همبستگی منفی و معنی‌داری (r= −۰/۶۷۰) داشت که نشان‌دهنده این است که هر چقدر میزان تخریب گونه‌های فعال اکسیژن و تولید MDA بیشتر باشد میزان عملکرد بیولوژیک کاهش خواهد یافت. در بین ارقام مورد مطالعه رقم منصور با ۳۶۵۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد بیولوژیک را داشت که با رقم آزکان تفاوت معنی‌داری نداشت و رقم عادل با ۲۶۲۷ کیلوگرم در هکتار کمترین میزان عملکرد بیولوژیک را داشت (جدول ۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و رقم بر عملکرد دانه (ستون‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات و خصوصیات مورد بررسی در ارقام نخود در شرایط آبیاری مختلف

صفات	۱- محتوی نسبی آب	۲- نشت الکترولیت	۳- مالون دی آلدهید	۴- کاتالاز	۵- پراکسیداز	۶- پرولین	۷- کلروفیل a	۸- کلروفیل b	۹- کلروفیل کل	۱۰- تعداد دانه در بوته	۱۱- وزن صد دانه	۱۲- عملکرد بیولوژیک	۱۳- عملکرد دانه
۱	۱												
۲	-۰/۸۰۰**	۱											
۳	-۰/۷۰۶**	۰/۶۴۹**	۱										
۴	-۰/۸۷۷**	۰/۸۳۴**	۰/۶۷۱**	۱									
۵	-۰/۹۱۹**	۰/۸۵۲**	۰/۷۱۴**	۰/۹۳۵**	۱								
۶	-۰/۹۳۱**	۰/۸۸۵**	۰/۷۵۱**	۰/۹۴۲**	۰/۹۶۴**	۱							
۷	۰/۸۵۱**	-۰/۷۳۸**	-۰/۵۹۶**	-۰/۷۲۲**	-۰/۷۸۰**	-۰/۸۲۱**	۱						
۸	۰/۷۳۳**	-۰/۶۷۸**	-۰/۵۰۵**	-۰/۶۵۰**	-۰/۷۱۶**	-۰/۷۲۸**	۰/۷۴۴**	۱					
۹	۰/۸۶۳**	-۰/۷۶۲**	-۰/۶۰۲**	-۰/۷۴۲**	-۰/۸۰۶**	-۰/۸۳۹**	۰/۹۷۴**	۰/۸۷۴**	۱				
۱۰	۰/۶۸۸**	-۰/۶۱۵**	-۰/۵۰۶**	-۰/۷۰۶**	-۰/۶۵۸**	-۰/۶۹۳**	۰/۶۰۴**	۰/۵۶۲**	۰/۶۲۶**	۱			
۱۱	۰/۸۳۰**	-۰/۷۲۴**	-۰/۶۶۷**	-۰/۷۰۱**	-۰/۷۴۵**	-۰/۸۳۰**	۰/۸۲۷**	۰/۶۳۳**	۰/۸۱۳**	۰/۵۵۱**	۱		
۱۲	۰/۹۰۸**	-۰/۷۸۱**	-۰/۶۷۰**	-۰/۸۶۱**	-۰/۸۹۷**	-۰/۹۱۴**	۰/۷۵۹**	۰/۶۰۱**	۰/۷۸۱**	۰/۶۶۷**	۰/۸۵۷**	۱	
۱۳	۰/۸۹۱**	-۰/۷۱۴**	-۰/۶۳۰**	-۰/۷۹۸**	-۰/۸۶۵**	-۰/۸۶۸**	۰/۸۱۱**	۰/۵۹۹**	۰/۷۸۹**	۰/۵۷۴**	۰/۸۴۵**	۰/۹۶۷**	۱

**** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال یک درصد است.**

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد آبیاری و رقم در سطح یک درصد و اثر متقابل آنها در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها اثرات متقابل آبیاری و رقم نشان داد که در شرایط دیم عملکرد دانه در تمام ارقام به شدت نسبت به شرایط آبیاری کامل کاهش یافت که این کاهش به طور میانگین ۸۴ درصد بود (جدول ۳ و شکل ۶). با انجام آبیاری تکمیلی ارقام عکس‌العمل متفاوتی داشتند به طوریکه نسبت به آبیاری کامل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

ارقام آزکان و عادل کاهش بیشتری نسبت به دو رقم سعید ومنصور نشان دادند (شکل ۶). کاهش عملکرد دانه در شرایط دیم نسبت به شرایط آبیاری کامل براساس خصوصیات مورد بررسی در این تحقیق ناشی از کاهش تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه بود (جدول ۳). به طورکلی در شرایط دیم به علت محدودیت شدید آب در اختیار، گیاه دچار تنش خشکی شدید می‌شود. تنش خشکی با ایجاد محدودیت در رشد و توسعه برگ‌ها و کاهش سرعت فتوسنتز که منجر به کاهش قدرت منبع می‌شود همچنین کاهش تعداد گل‌ها در بوته، کاهش تلقیح گل‌ها، کاهش غلاف‌های بارور و کاهش سرعت ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه که باعث کاهش قدرت مخزن می‌شود عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Benali *et al.*, 2023; Awasthi *et al.*, 2024; Hosseinzadeh *et al.*, 2016; Awasthi *et al.*, 2014; Qiao *et al.*, 2024). با توجه به خصوصیات فیزیولوژیک بررسی‌شده در این تحقیق می‌توان گفت در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم که میزان رطوبت در اختیار گیاه کاهش می‌یابد و کاهش محتوی نسبی آب نشان‌دهنده آن است میزان فتوسنتز گیاه کاهش یافته و در نتیجه محدودیت فتوسنتز تولید گونه‌های فعال اکسیژن افزایش یافته و خسارت به غشاهای سلولی زیادتر می‌شود که افزایش تولید MDA و نشت الکترولیت‌ها بیانگر خسارت واردشده به سلول‌ها است. خسارت واردشده به ساختارهای سلولی در کنار کاهش میزان کلروفیل توان تولیدی گیاه را کاهش داده و میزان عملکرد دانه کاهش پیدا کرده است. در شرایط آبیاری تکمیلی رقم منصور نسبت به ارقام دیگر عملکرد بالاتری داشتند که بالاتر بودن عملکرد این رقم با بالاتر بودن خصوصیات فیزیولوژیک مانند محتوی نسبی آب و محتوی کلروفیل همراه بود ولی در شرایط دیم که شدت تنش خشکی بالاتر بود ارقام از نظر عملکرد و بسیاری خصوصیات تفاوت چندانی نداشتند.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که در شرایط دیم به علت شدیدبودن شدت تنش خشکی وارد شده به گیاه، خسارت‌های وارد شده به غشاء سلولی زیاد بوده که منجر به افزایش محتوای مالون دی‌آلدهید و نشت الکترولیت‌ها شده است. در این شرایط مکانیسم‌های حفاظتی گیاه مانند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای پرولین افزایش یافته ولی این افزایش جهت کاهش خسارت به گیاه کافی نیست. انجام آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم کارکردهای فیزیولوژیکی ارقام نخود را بهبود بخشیده و به صورت قابل توجهی باعث شده است میزان تولید و عملکرد دانه افزایش یابد. در شرایط آبیاری کامل و تکمیلی رقم منصور از نظر تولید دانه بر ارقام دیگر برتری داشت و می‌توان این رقم را به عنوان رقم مناسب برای این شرایط کشت نمود ولی در شرایط دیم به علت بالا بودن شدت تنش خشکی عملکرد دانه ارقام تفاوت معنی‌داری نداشت.

منابع

ابریشم‌چی، پروانه، گنجعلی، علی، و ساکنی، هصان (۱۳۹۱). بررسی صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط تنش خشکی. *پژوهش‌های حبوبات ایران*، ۳(۲). doi: 10.22067/ijpr.v1391i2.24695

آمارنامه کشاورزی (۱۴۰۲). محصولات زراعی. جلد اول. وزارت جهاد کشاورزی. ایران.

بروجردنیا مریم، بی‌همتا محمدرضا، عالمی‌سعید، خلیل، و عبدوسی، وحید. (۱۳۹۵). اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، نشت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۸(۲۹)، ۲۳-۴۱. http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-633-1-fa.html

پارسا، مهدی، نظامی، احمد، پرسا، حسن، و باقری، عبدالرضا (۱۳۹۰). بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های نخود متحمل به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

سرما در شرایط کشت. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۹(۳)، ۳۳۰-۳۲۲. doi: 10.22067/gsc.v9i3.11961

توکلی، افشین، احمدی، علی، و علیزاده، هوشنگ (۱۳۸۸). بررسی برخی جنبه‌های فیزیولوژیک عملکرد ارقام حساس و متحمل به تنش خشکی گندم تحت شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴۰(۱).

جلیلیان، جلال، و حیدرزاده، سعید (۱۳۹۶). بررسی تغییرات عملکرد دانه و اجزای آن و قابلیت نخود سیاه (*Cicer arietinum* L.) در سرکوب علف‌های هرز در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. *زراعت دیم ایران*، ۶(۱)، ۸۵-۶۷. doi: 10.22092/idaj.2017.113430

حمه رشید، سه‌حه‌ر، احمدی، علی، سی و سه مرده، عادل و جهانسوز، محمدرضا (۱۳۹۸). ارزیابی برخی از پاسخ های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام مختلف گندم دیم تحت تیمارهای آبیاری تکمیلی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۰(۳)، ۱۳۳-۱۲۱ doi: 10.22059/ijfcs.2018.254340.654457

خوجملی، ارازقلی، نخزری مقدم، علی، ملاشاهی، مهدی، و آهنگر، لیلا (۱۳۹۷). تأثیر نیتروژن و آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) رقم آزاد. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۱(۴)، ۸۸۲-۸۷۳. doi: 10.22077/escs.2017.808.1159

سالک معراجی، هادی، توکلی، افشین، و سپهوند، نیازعلی (۱۳۹۹). تأثیر سیتوکینین بر خصوصیات فیزیولوژیک و صفات مرتبط با عملکرد کینوا تحت شرایط تنش خشکی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۲(۳)، ۴۳۲-۴۱۹. doi: 10.22059/jci.2020.292821.2298

مجنون حسینی، ناصر، غلامی، محمدباقر، افشون، اسماعیل، جهانسوز، محمدرضا، و ربیعیان، احسان (۱۴۰۱). تأثیر رژیم آبیاری و تراکم کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.). *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۵(۱)، ۷۸-۶۷. doi: 10.22077/escs.2020.3714.1892

مؤمنی فردین، قبادی، مختار، جلالی هنرمند، سعید، و شکاری، پرویز (۱۳۹۳). واکنش خصوصیات فیزیولوژیک نخود به کودهای روی و پتاسیم در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۳(۹)، ۸۴-۷۱. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-155fa.html

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, *105*, 121-126.

Asati, R., Tripathi, M. K., Tiwari, S., Yadav, R. K., & Tripathi, N. (2022). Molecular Breeding and Drought Tolerance in Chickpea. Life 12, https://doi.org/10.3390/life12111846

Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H., & Ala, S. A. (1994). Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiologia Plantarum*, *16*, 185-191.

Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N. C., Berger, J., Siddique, K. H. M.,& Nayyar, H. (2014). Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. *Functional Plant Biology*, *41*(11), 1148-1167. https://doi.org/10.1071/FP13340

Awasthi, R., Devi, P., Chand Jha, U., Dev Sharma, K., Roorkiwal, M., Kumar, S., Pareek, A., Siddique, H. M.,Vara Prasad, P. V., Parida, D. K., & Nayyar, H. (2024). Exploring the synergistic effects of drought and heat stress on chickpea seed development: Insights into nutritional quality and seed yield. *Plant Stress*, *14*(100635). https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100635

Basak, R., Wahid, K. A., Dinh, A., Soolanayakanahally, R., Fotouhi, R., & Mehr, A. S. (2020). Rapid and efficient determination of relative water contents of crop leaves using electrical impedance spectroscopy in vegetative growth stage. *Remote Sensing*, *12*(11), 1753. https://doi.org/10.3390/rs1211175

Bates, L. S., Waldern, R. P., & Tear, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.

Benali, A., El Haddad, N., Patil, S. B., Goyal, A., Hejjaoui, K., El Baouchi, A., Gaboun, F., Taghouti, M., Ouhssine, M., & Kumar, S. (2023). Impact of terminal heat and combined heat-drought stress on plant growth, yield, grain size, and nutritional quality in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plants*, *12*, 3726. https://doi.org/10.3390/plants12213726

Bhaskara, G. B., Yang, T. H., & Verslues, P. E. (2015). Dynamic proline metabolism: Importance and regulation in water limited environments. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 484. doi: 10.3389/fpls.2015.00484

Bradford, M. 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.

Chance, B, & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidase. *Methods in Enzymology*, *2*, 764-775.

Eyidogan, F, & Oz, M. T. (2007). Effect of salinity on antioxidant responses of chickpea seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, *29*, 485-493.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., Fujita, M., & Fotopoulos, V. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants, 9*(8), 681. https://doi.org/10.3390/antiox9080681

Heath, R. L, & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics, 125*, 189-198.

Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica, 54*, 87-92. https://doi.org/10.1007/s11099-015-0162-x

Kadir, K., Talebi, R., & Hamidi, H. (2017). Multivariate analysis and drought stress tolerance indices in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 5*(1), 54-60. DOI: 10.18006/2017.5(1).054.060

Kaliaha, T. G, & Kozel, N. V. (2022). The effect of soil drought on the content of photosynthetic pigments in barley plants of the Brovar variety. *Journal of the Belarusian State University Biology, 3*, 46-53. https://doi.org/10.33581/2521-1722-2020-3-46-53

Kang, U., Chu, Y., Ma, G., Zhang, Y., Zhang, X., Wang, M., Lu, H., Wang, L., Kang, G., Ma, D., Xie, Y., & Wang, C. (2023). Physiological mechanisms underlying reduced photosynthesis in wheat leaves grown in the field under conditions of nitrogen and water deficiency. *The Crop Journal, 11*(2), 638-650. https://doi.org/10.1016/j.cj.2022.06.010

Kar, M, & ve Ozturk, N. (2020). Determination of the expression level of stress-related genes in chickpea (*Cicer arietinum*) under short-term heavy metal stress and the relationship to cellular H_2O_2 concentrations. *Bursa Uludag Universitesi Ziraat Fakultesi Dergisi, 34*(2), 303-315.

Karami, S., Shiran, B., & Ravash, R. (2025). Molecular investigation of how drought stress affects chlorophyll metabolism and photosynthesis in leaves of C_3 and C_4 plant species: A transcriptome meta-analysis. *Heliyon, 11*, 3. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42368

Kaushal, N., Gupta, K., Bhandhari, K., Kumar, S., Thakur, P., & Nayyar, H. (2011). Proline induces heat tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants by protecting vital enzymes of carbon and antioxidative metabolism. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 17*(3), 203-13. doi: 10.1007/s12298-011-0078-2. Epub 2011 Jul 9. PMID: 23573011; PMCID: PMC3550571

Kayan, N, & Turhan, E. (2012). The physiological effects of different irrigation times on chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Food Agriculture and Environment, 10*, 506-510.

Keerthi Sree, Y., Lakra, N., Manorama, K., Ahlawat, Y., Zaid, A., Elansary, H. O., Sayed, S. R. M., Rashwan, M. A., & Mahmoud, E. A. (2023). Drought-induced morpho-physiological, biochemical, metabolite responses and protein profiling of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agronomy, 13*, 1814. https://doi.org/10.3390/agronomy13071814

Khan, P., Abdelbacki, A. M. M., Albaqami, M., Jan, R., & Kim, K. M. (2025). Proline promotes drought tolerance in maize. *Biology, 14*, 41. https://doi.org/10.3390/biology14010041

Lawlor, D. W, & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment, 25*, 275-294.

Lawlor, D. W. (2002). Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany, 89*, 871-885.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P. C., & Sohrabi, Y. (2011). Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Australian Journal of Crop Scince, 5*(10), 1255-1260.

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science, 7*(9), 405-410. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9

Montealiva, M. I., Guzzo, M. C., & Posada, G. A. (2021). Breeding for drought tolerance by monitoring chlorophyll content. *Gene Technology, 10*, 165. DOI: 10.35248/2329-6682.21.10.165

Mylona Photini, V, & Polidoros Alexios, N. (2011). ROS regulation of antioxidant genes. In: Reactive Oxygen Species and Antioxidants in Higher Plants (ed. Dutta Gupta, S.) Pp. 101-127. Science Publishers.

Nair, P. M. G, & Chung, I. M. (2015). Changes in the growth, redox status and expression of oxidative stress related genes in chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to copper oxide nanoparticle exposure. *Journal of Plant Growth Regulation, 34*, 350-361. https://doi.org/10.1007/s00344-014-9468-3

Nounjan, N., Nghia, P. T., & Theerakulpisut, P. (2012). Exogenous proline and trehalose promote recovery of rice seedlings from salt-stress and differentially modulate antioxidant enzymes and expression of related genes. *Journal of plant Physiology, 169*, 596-604.

Qiao, M., Hong, C., Jiao, Y., Hou, S., & Gao, H. (2024). Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. *Plants, 13*, 1808. https://doi.org/10.3390/plants13131808

Ritchie, S. W, & Nguyen, H. T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science, 30*, 105-111.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

Sairam, R. K, & Srivastava, G. C. (2001). Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. *Journal Agronomy and Crop Science, 186*, 63-70.

Scandalios, J. G. (2005). Oxidative stress: Molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 38*, 995-1014.

Seifikalhor, M., Niknam, V., Aliniaeifard, S., Didaran, F., Tsaniklidis, G., Fanourakis, D., Teymoorzadeh, M., Mousavi, S. H., Bosacchi, M., & Li, T. (2022). The regulatory role of γ-aminobutyric acid in chickpea plants depends on drought tolerance and water scarcity level. *Science Report, 12*, 7034. https://doi.org/10.1038/s41598-022-10571-8

Sharma, S., Villamor, J. G., & Verslues, P. E. (2011). Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential. *Plant Physiology, 157*, 292-304. doi: 10.1104/pp.111.183210

Yang, X., Wang, X., Li, Y., Yang, L., Hu, L., Han, Y., & Wang, B. (2024). Effects of drought stress at the booting stage on leaf physiological characteristics and yield of rice. *Plants, 13*, 3464. https://doi.org/10.3390/plants13243464

Zhang, F., Zhu, K., Wang, Y. Q., Zhang, Z. P., Lu, F., Yu, H. Q., & Zou, J. Q. (2019). Changes in photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of sorghum under drought and waterlogging stress. *Photosynthetica, 57*(4), 1156-1164.

Zhou, Q., Li, Y., Wang, X., Yan, C., Ma, C., Liu, J., & Dong, S. (2022). Effects of different drought degrees on physiological characteristics and endogenous hormones of soybean. *Plants, 11*, 2282. https://doi.org/10.3390/plants11172282

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]

Physiological responses and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed and supplemental irrigation conditions

Afshin Tavakoli*, Sohila Ghanimati, Kamran Afsahi

Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agricultural, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(Received: 2025/04/17, Accepted: 2025/08/19)

Abstract

Water deficit in rainfed conditions has adverse effects on the physiological characteristics of plants. To investigate the physiological responses of chickpea cultivars under rainfed and supplemental irrigation conditions, an experiment was conducted as a split-plot design based on a randomized complete block design with four replications. In this study, the main plots consisted of three irrigation regimes: rainfed, supplemental irrigation, and full irrigation. The subplots consisted of four chickpea cultivars: Azkan, Mansour, Adel, and Saeed. Physiological characteristics assessed during the growing season included leaf relative water content, electrolyte leakage, the activity of antioxidant enzymes catalase and peroxidase, proline and malondialdehyde content, and the amount of chlorophyll a, b, and total chlorophyll. The number of seeds per plant, hundred-seed weight, biological yield, and grain yield were also evaluated at the end of the growing season. The irrigation treatment showed a significant effect at the 1% probability level on all traits studied. Under rainfed conditions, electrolyte leakage and malondialdehyde and proline levels, as well as antioxidant enzyme activity, increased by 32%, 128%, and 513%, respectively, compared to full irrigation conditions, while other investigated traits decreased. Among the cultivars, Mansour showed the highest grain yield (1850 kg/ha) under full irrigation conditions, while Adel showed the lowest yield under full and supplementary irrigation conditions (1093 and 850 kg/ha, respectively). The cultivars showed similar yields under rainfed conditions. Supplemental irrigation improved the physiological performance of chickpea cultivars compared to rainfed conditions, which ultimately led to increased production and grain yield compared to rainfed conditions in chickpea cultivars. Under supplementary and full irrigation conditions, the Mansour cultivar had a higher seed yield than other cultivars and is suitable for these conditions.

Keywords: Antioxidant enzymes, Proline, Drought stress, Grain yield, Chlorophyll

Corresponding author, Email: Tavakoli@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.211]