Plant Prod., 2026, 49(2), 207-220
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.49476.2271
Received: 24 April 2025
Accepted: 20 June 2025

Plant Productions

Research Article

Yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under three different moisture regimes: Rainfed, Supplemental irrigation, and Full irrigation

Afshin Tavakoli[1], Sohila Ghanimati[2], Kamran Afsahi[3*]

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

Citation: Tavakoli, A., Ghanimati, S., & Afsahi, K. (2026). Yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under three different moisture regimes (Rainfed, Supplemental irrigation, and Full irrigation) in the Zanjan region. *Plant Productions*, 49(2), 207-220.

Abstract

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is an important grain legume cultivated in arid and semi-arid regions worldwide. Water deficit, particularly terminal drought stress, is one of the primary factors limiting chickpea productivity and grain yield. Supplemental irrigation can alleviate drought stress during critical growth and developmental stages, thereby enhancing crop yield. Irrigation applied at sensitive stages such as flowering, pod formation, and grain filling has been shown to improve yield and its components. Therefore, the present study aimed to evaluate the effects of supplemental irrigation on grain yield and water-use efficiency of different chickpea genotypes and to identify the most promising genotype under the studied conditions.

Materials and Methods

This study was conducted as a split-plot experiment based on a randomized complete block design with four replications at the research farm of the Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran, during the 2020 growing season. The main plots consisted of three irrigation regimes: full irrigation, supplemental irrigation, and rainfed conditions. The subplots included four chickpea genotypes: Azkan, Mansour, Adel, and Saeed. In the supplemental irrigation treatment, water was applied at two critical growth stages, namely flowering initiation and pod formation. At the end of the growing season, several agronomic traits were evaluated, including plant height, number of secondary branches, number of seeds per plant, hundred-seed weight, biological yield, grain yield, harvest index, grain and biological water-use efficiency, and irrigation water-use efficiency.

Results and Discussion

The highest number of seeds per plant was recorded under full irrigation and supplemental irrigation treatments. Among the studied genotypes, Azkan produced the greatest number of seeds per plant, whereas Saeed produced the fewest. The highest 100-seed weight was obtained under full irrigation, with significant reductions observed under supplemental irrigation and rainfed

* **Corresponding Author:** Kamran Afsahi
E-mail: Afsahi@znu.ac.ir

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

conditions. The decline in seed weight under drought stress may be attributed to reduced cell division, lower photosynthetic activity, and decreased activity of enzymes involved in the synthesis of seed storage compounds. Biological yield decreased under supplemental irrigation and rainfed conditions compared with full irrigation. This reduction can be explained by the decline in source strength resulting from limited soil moisture availability. Analysis of the irrigation × genotype interaction for grain yield revealed a substantial reduction in grain yield for all genotypes under rainfed conditions relative to full irrigation. Compared with full irrigation, the Azkan and Adel genotypes exhibited greater yield reductions under supplemental irrigation. Drought stress adversely affected grain yield by restricting leaf growth and development, reducing photosynthetic activity and source strength, and decreasing the number of flowers, pollination success, and fertile pods. In addition, drought reduced the accumulation of assimilates in developing seeds, thereby diminishing sink strength and ultimately lowering grain yield. Nevertheless, supplemental irrigation significantly increased grain yield compared with rainfed conditions. The interaction effect of irrigation regime and genotype on grain water use efficiency indicated that the highest water use efficiency was achieved by the Mansour genotype under supplemental irrigation, whereas the lowest water-use efficiency was observed under rainfed conditions. Grain water use efficiency increased under supplemental irrigation in all genotypes; however, the magnitude of improvement differed among them. Mansour and Saeed showed the greatest increases in grain water use efficiency. Irrigation water use efficiency for grain yield also improved under supplemental irrigation across all genotypes. Among the evaluated genotypes, Mansour exhibited the highest irrigation water use efficiency, while Adel showed the lowest under supplemental irrigation conditions.

Conclusion

Supplemental irrigation applied at the flowering and podding stages significantly increased grain yield and water use efficiency compared with rainfed conditions. Moreover, supplemental irrigation proved to be more effective than both rainfed and full irrigation in terms of optimizing crop productivity and water use efficiency. Among the genotypes, Mansour exhibited the highest grain yield and water use efficiency under both full and supplemental irrigation regimes. Therefore, this genotype can be recommended for cultivation in the Zanjan region, particularly under conditions where efficient water management is a priority.

Keywords: Drought stress, Supplemental irrigation, Water productivity, Yield components

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۲)، ۲۰۷ - ۲۲۰
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.49476.2271
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/ ۰۲/ ۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/ ۰۳/ ۳۰

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام نخود (*Cicer arietinum* L.) در سه رژیم رطوبتی: دیم، آبیاری تکمیلی و آبیاری کامل

افشین توکلی[۱]، سهیلا غنیمتی[۱]، کامران افصحی[۱*]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

نخود یکی از مهم‌ترین حبوبات در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است که در ایران، از جمله استان زنجان، عمدتاً به صورت دیم کشت می‌شود. این پژوهش به منظور بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام مختلف نخود تحت شرایط دیم، آبیاری تکمیلی و آبیاری کامل در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه زنجان طی سال زراعی ۱۳۹۹–۱۳۹۸ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل سه رژیم رطوبتی (آبیاری کامل، آبیاری تکمیلی و دیم) و کرت‌های فرعی شامل چهار رقم نخود آزکان، منصور، عادل و سعید بودند. در تیمار آبیاری کامل، آبیاری بر اساس نیاز گیاه در طول فصل رشد انجام شد، در حالی که در تیمار آبیاری تکمیلی، تنها در دو مرحلهٔ حساس شروع گلدهی و غلاف‌بندی آبیاری صورت گرفت. در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی کامل بوته‌ها، صفات زراعی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده اندازه‌گیری شد. همچنین شاخص برداشت، کارایی مصرف آب عملکرد دانه، کارایی مصرف آب زیست‌توده و کارایی مصرف آب آبیاری محاسبه شد. نتایج نشان داد که اثر رژیم رطوبتی و رقم بر تمامی صفات مورد بررسی، به‌جز شاخص برداشت، معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه در رقم منصور تحت شرایط آبیاری کامل (۱۸۵۰ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با عملکرد این رقم در شرایط آبیاری تکمیلی (۱۷۱۲ کیلوگرم در هکتار) نداشت. آبیاری تکمیلی با افزایش تعداد دانه در بوته (۱۰۸ درصد) و وزن صد دانه (۲۷/۵ درصد)، موجب افزایش عملکرد دانه در تمامی ارقام نسبت به شرایط دیم شد. بیشترین کارایی مصرف آب عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی به رقم منصور (۰/٦٤۹ کیلوگرم بر مترمکعب) تعلق داشت. این رقم همچنین بالاترین کارایی مصرف آب آبیاری را نشان داد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط محدودیت منابع آب، استفاده از آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و غلاف‌بندی می‌تواند ضمن افزایش عملکرد دانه، کارایی مصرف آب را نیز به‌طور قابل توجهی بهبود بخشد و بهره‌وری استفاده از منابع آب را نسبت به کشت دیم افزایش دهد. همچنین، آبیاری تکمیلی در مقایسه با آبیاری کامل، با وجود کاهش اندک عملکرد دانه، موجب افزایش چشمگیر کارایی مصرف آب شد و از این‌رو می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب برای مدیریت بهینه آب در منطقه توصیه شود. در میان ارقام مورد بررسی، رقم منصور در هر دو شرایط آبیاری کامل و آبیاری تکمیلی بیشترین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب را نشان داد. با این حال، توصیه این رقم برای کشت در منطقهٔ زنجان نیازمند تکرار آزمایش در سال‌ها و شرایط محیطی مختلف و تأیید پایداری نتایج به‌دست‌آمده است.

کلیدواژه‌ها: آبیاری تکمیلی، اجزای عملکرد، بهروری آب، تنش خشکی

نویسنده مسئول: کامران افصحی
رایانامه: Afsahi@znu.ac.ir

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) از حبوبات مهم در مناطق خشک و نیمه خشک است که دانه‌های با پوست آن ۱۷ تا ۲۲درصد و دانه بدون پوشش آن با داشتن ۲۵/۳ تا ۲۸/۹ درصد پروتئین نقش مهمی در تأمین پروتئین مورد نیاز انسان دارد (Khattak *et al.*, 2007). سطح زیرکشت این گیاه در کشور ایران حدود ۴۱۲ هزار هکتار است که حدود دو درصد آن به صورت آبی و ۹۸ درصد باقی‌مانده به صورت دیم کشت می‌شود و سومین محصول دیم پس از گندم و جو محسوب می‌شود. در بین حبوبات نخود بیش‌ترین سطح زیر کشت دیم را دارد و میانگین عملکرد آن در شرایط دیم ۴۸۴ کیلوگرم در هکتار است (Ministry of Agriculture Jihad, 2023). در استان زنجان سطح زیر کشت نخود ۳۶۳۲ هکتار است که اغلب آن به صورت دیم است. میانگین عملکرد نخود دیم در استان زنجان ۵۲۷ کیلوگرم در هکتار است که از میانگین کشور بالاتر است (Ministry of Agriculture Jihad, 2023). پایین بودن عملکرد این گیاه در شرایط دیم به عوامل مختلفی بستگی دارد که محدودیت دسترسی به آب به ویژه تنش خشکی آخر فصل مهم‌ترین عامل است (Serraj *et al.*, 2004). در شرایط دیم به دلیل محدودیت دسترسی به آب و بروز تنش خشکی، سرعت فتوسنتز گیاه کاهش یافته و این امر منجر به کاهش میزان تولید مادهٔ خشک در گیاه می‌گردد (Awasthi *et al.*, 2014; Hosseinzadeh *et al.*, 2016). به استفاده از مقدار محدودی آب در تولید محصولات دیم در زمانی که بارندگی نتواند رطوبت لازم برای رشد طبیعی گیاه را تأمین کند، آبیاری تکمیلی گفته می‌شود (Oweis *et al.*, 2000). انجام آبیاری تکمیلی با برطرف نمودن تنش خشکی در مراحل بحرانی رشد و نمو گیاه می‌تواند عملکرد دانه نخود را افزایش دهد (Khojamli *et al.*, 2018). آبیاری تکمیلی در برخی موارد می‌تواند عملکرد دانه را تا حدود آبیاری کامل افزایش دهد. مطالعات انجام شده بیانگر این است که آبیاری تکمیلی در مراحل حساس رشد گیاه نخود مانند مرحلهٔ گلدهی، غلاف‌بندی و پرشدن دانه‌ها با افزایش اجزای عملکرد دانه می‌تواند منجر به بهبود عملکرد دانه شود (Mousavi and Shakarami, 2009; Parsa *et al.*, 2011; Khojamli *et al.*, 2018). با توجه به محدودیت آبی موجود در اقلیم خشک و نیم خشک کشور، استفاده از ارقام و روش‌هایی که باعث افزایش کارایی مصرف آب شود و بهروری آب آبیاری را افزایش دهد ضروری است. نتایج برخی تحقیقات نشان داده که استفاده از روش آبیاری تکمیلی در گیاه نخود می‌تواند باعث افزایش کارایی مصرف آب شود (Parsa *et al.*, 2011; Khojamli *et al.*, 2018; Jalali, 2019). بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در ارقام مختلف نخود و نیز شناسایی رقم برتر از نظر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ‌کشاورزی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. شرایط آب و هوایی منطقه در طی فصل رشد گیاه در جدول ۱ ارائه شده است. در کرت‌های اصلی آزمایش، عامل رژیم آبی در سه سطح شامل آبیاری کامل، آبیاری تکمیلی و دیم و در کرت-های فرعی چهار رقم نخود شامل آزکان، منصور، عادل و سعید مورد بررسی قرار گرفتند. آماده‌سازی زمین در پاییز انجام شد و بذور در تاریخ ۱۸ اسفندماه کشت شدند. ابعاد کرت‌های فرعی دو در پنج متر بود و کاشت توسط ماشین دقیق کار تحقیقاتی (Wintersteiger مدل TC2700) انجام شد. تنظیمات ماشین کاشت برای فواصل ردیف کاشت ۵۰ سانتی‌متر و تراکم بوته ۴۸ بوته در متر مربع بود. در تیمار آبیاری کامل از زمان کاشت تا رسیدگی بوته آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه انجام شد. جهت تعیین زمان آبیاری در تیمار آبیاری کامل درصد رطوبت خاک اندازه

گیری شد و آبیاری در زمان ۵۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک انجام شد و در کل دوره در مجموع ۴۱۰ میلی‌متر آبیاری انجام شد. در آبیاری تکمیلی آبیاری فقط در دو مرحلهٔ شروع گلدهی و غلاف‌بندی انجام شد و میزان آبیاری انجام شده در مجموع ۱۰۰ میلی‌متر بود. با توجه به نتایج آزمایش خاک که در جدول ۲ ارائه شده نیازی به استفاده از کودهای شیمیایی نبود. در طی فصل رشد نیز آفت یا بیماری خاصی نیز مشاهده نشد. مبارزه با علف‌های هرز طی فصل رشد به صورت دستی انجام شد. در پایان فصل رشد پس از رسیدگی بوته‌ها صفات مختلف شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد زیست‌توده و دانه اندازه‌گیری شدند. پس از انجام اندازه‌گیری‌ها، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب عملکرد دانه، زیست‌توده و آب آبیاری محاسبه شدند.

جهت محاسبه کارایی مصرف آب ابتدا میزان تبخیر و تعرق با استفاده از معادلهٔ تعادل آب خاک رابطهٔ ۱ محاسبه شد. در این رابطه؛ R، میزان بارندگی (میلی‌متر)؛ I، میزان آبیاری (میلی‌متر)؛ D، میزان زهکشی و ΔS، تغییرات ذخیره آب خاک (میلی‌متر) در طی فصل رشد است (Oweis *et al.*, 2004).

$$ET = R + I - D + \Delta S$$ رابطهٔ ۱

اطلاعات میزان بارندگی از ایستگاه هواشناسی مستقر در دانشگاه اخذ شد و میزان آب آبیاری در هر بار آبیاری نیز توسط کنتور اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میزان تغییرات ذخیرهٔ آب، میزان رطوبت خاک با روش وزنی و با نمونه‌گیری از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک، در زمان کاشت و برداشت در کرت‌ها اندازه‌گیری شد، سپس میزان تغییرات آب خاک محاسبه شد. با توجه به شرایط آزمایش و مزرعهٔ آزمایشی، میزان زهکشی صفر در نظر گرفته شد. در مزرعه هیچ گونه روان آبی وجود نداشت. پس از محاسبه میزان کل تبخیر و تعرق، میزان آب مصرفی به متر مکعب تبدیل شد و میزان کارایی مصرف آب با استفاده از رابطهٔ ۲ محاسبه شد. در این رابطه، Y، میزان عملکرد دانه یا زیست‌توده بر حسب کیلوگرم در هکتار است.

$$WUE = \frac{Y}{ET}$$ رابطهٔ ۲

میزان کارایی مصرف آب آبیاری نیز با استفاده از رابطهٔ ۳ محاسبه شد.

$$IWUE = \frac{Y_{r+i} - Y_r}{ET_{r+i} - ET_r}$$ رابطهٔ ۳

در این رابطه؛ Y_{r+i} و Y_r به ترتیب عملکرد دانه در شرایط آبیاری (کامل و تکمیلی) و شرایط دیم و ET_{r+i} و ET_r به ترتیب میزان تبخیر و تعرق در شرایط آبیاری و دیم است (Oweis *et al.*, 2004). پس از انجام اندازه‌گیری‌ها و محاسبات لازم، داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه واریانس و مقایسه میانگین شدند. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۷ ترسیم شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رژیم رطوبتی، رقم و برهم‌کنش آن‌ها در سطح یک درصد ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). مقایسات میانگین برهم‌کنش‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری کامل و آبیاری تکمیلی دو رقم آزکان و منصور ارتفاع بیش‌تری نسبت به ارقام عادل و سعید داشتند. در شرایط دیم رقم منصور کم‌ترین ارتفاع بوته را دارا بود (شکل ۱). در شرایط دیم رقم منصور کاهش ارتفاع بیشتری در مقایسه با رقم‌های دیگر نسبت به شرایط آبیاری کامل و تکمیلی نشان داد (شکل ۱). کاهش ارتفاع بوته در شرایط دیم ناشی از کمبود آب در دسترس گیاه است که باعث کاهش تقسیم و رشد سلول‌ها و همچنین فتوسنتز شده و در نهایت منجر به کاهش رشد ساقه می‌شود. ارتفاع بوته با میزان عملکرد زیست‌توده همبستگی مثبت، بالا و معنی‌داری ($r = ۰/۹^{**}$) نشان داد (جدول ۵). در مطالعهٔ انجام شده بر روی گیاه نخود، کاهش

ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی مشاهده شد و همبستگی بالا و معنی‌داری بین عملکرد زیست‌توده و ارتفاع بوته نیز وجود داشت که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. کاهش ارتفاع بوتهٔ گیاه نخود در شرایط دیم و تنش خشکی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Majnoon Hosseini *et al.*, 2022). کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی، برداشت مکانیزه را مشکل‌تر خواهد کرد (Benali *et al.*, 2023).

تعداد شاخهٔ فرعی

تجزیه واریانس تعداد شاخهٔ فرعی نشان دهندهٔ اثر معنی‌دار رژیم رطوبتی و رقم بر این صفت در سطح یک درصد است (جدول ۳). مقایسات میانگین رژیم‌های رطوبتی نشان داد که در شرایط آبیاری کامل بیش‌ترین تعداد شاخهٔ فرعی تولید شد و در شرایط دیم با کاهش ۷۱ درصدی به ۱/۹۳ شاخه در هر بوته رسید (جدول ۴). ایجاد شاخه‌های فرعی که از رشد جوانه‌های جانبی ایجاد می‌شود، تحت کنترل عوامل مختلفی مانند فراهمی مواد فتوسنتزی، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند سیتوکینین، اکسین و استریگولاکتون‌ها، تراکم کاشت و عناصر غذایی در دسترس گیاه است (Taiz *et al.*, 2015). در شرایط دیم و همچنین در شرایط آبیاری تکمیلی احتمالاً با کاهش تولید مواد فتوسنتزی، کاهش جذب عناصر غذایی از خاک و کاهش تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاهی به ویژه سیتوکینین میزان تولید شاخه‌های جانبی کاهش یافته است (Sharma *et al.*, 2022). بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در رقم آزکان مشاهده شد که با رقم عادل تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین تعداد در رقم سعید مشاهده شد که با رقم منصور تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). تعداد شاخه‌های فرعی با تعداد دانه در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). بنابراین ارقام دارای تعداد شاخهٔ جانبی بیش‌تر تعداد دانه در بوته بیش‌تری خواهند داشت که نتایج مقایسه میانگین تعداد دانه در بوته در این تحقیق نیز نشان‌دهندهٔ این موضوع بود (جدول ۴).

جدول ۱- ویژگی‌های اقلیمی منطقهٔ انجام آزمایش در طی فصل رشد سال ۱۳۹۹

Table 1. Climatic characteristics of the experimental site during the 2020 growing season

	March	April	May	June	July
Total precipitation (mm)	36.6	63.1	26.0	9.9	15.2
Average minimum temperature(C°)	1.17	4.12	9.45	11.71	15.63
Average maximum temperature(C°)	14.11	16.14	25.40	31.13	31.41
Average temperature(C°)	7.6	10.1	17.4	21.4	23.5

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Physical and chemical properties of the experimental soil

Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	N (%)	P ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)	pH	Electrical conductivity ($ds.m^{-1}$)	Organic matter (%)
33	29	38	0.21	21.3	173.2	7.4	1.24	0.46

جدول ۳- تجزیه واریانس خصوصیات مختلف ارقام نخود در شرایط رژیم‌های متفاوت آبیاری

Table 3. Analysis of variance for different traits in various chickpea cultivars under different irrigation regimes

S.O. V	df	Plant height	Number of branches	Seed number per plant	100-seed weight	Biological yield	Seed yield	Harvest index	WUEsy	WUEby
Block	3	15.83**	0.936$^{n.s}$	13.29$^{n.s}$	0.94$^{n.s}$	573368$^{n.s}$	79205$^{n.s}$	23.87$^{n.s}$	0.045$^{n.s}$	0.136$^{n.s}$
Moisture regimes (M)	2	459**	110.1**	527.4**	477.1*	76749375**	7418009**	15.13$^{n.s}$	4.731**	56.75**
E (a)	6	0.701	0.443	8.9	1.11	134201	45695	33.67	0.007	0.0349
Cultivar (C)	3	52.22**	9.188**	132**	134.17**	2503576**	631831**	81.67$^{n.s}$	0.355**	1.06*
M × C	6	15.59**	1.12$^{n.s}$	8.65$^{n.s}$	5.08$^{n.s}$	54576$^{n.s}$	156036*	24.98$^{n.s}$	0.154*	0.466$^{n.s}$
E (b)	9	3.69	1.06	15.26	4.437	274699	55289	56.69	0.047	0.025
C.V%	--	5.46	20.97	24.77	5.76	16.22	23.34	24.66	30.92	21.44

ns: غیر معنی‌دار *و** به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

ns: not significant; *and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

WUEsy: کارایی مصرف آب عملکرد دانه

WUEsy: Water use efficiency of seed yield

WUEby: کارایی مصرف آب عملکرد بیولوژیک

WUEby: Water use efficiency of biological yield

جدول ٤- مقایسات میانگین اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و ارقام خصوصیات مختلف نخود

Table 4. Mean comparison of chickpea traits for the main effects of irrigation regimes, and cultivars

Treatment	Plant height (cm)	Number of branches	Seed number per plant	100-seed weight (g)	Biological yield (kg ha^{-1})	Seed yield (kg ha^{-1})	Harvest index	WUE_{sy} (kg m^{-3})	WUE_{by} (kg m^{-3})
Moisture regimes									
Full	38.75^{a}	6.78^{a}	19.91^{a}	40.64^{a}	4687^{a}	1498^{a}	31.6^{a}	0.264^{b}	0.827^{b}
Supplementary	37.81^{b}	6.08^{b}	19.17^{a}	38.70^{b}	4293^{b}	1293^{b}	29.7^{a}	0.490^{a}	1.629^{a}
Rainfed	29.09^{c}	1.93^{c}	9.21^{b}	30.36^{c}	712^{c}	230^{c}	30.3^{a}	0.139^{c}	0.430^{c}
Cultivar									
Azkan	37.46^{a}	5.98^{a}	18.82^{a}	37.74^{b}	3500^{ab}	1076^{ab}	30^{a}	0.314^{b}	1.035^{a}
Mansoor	36.47^{a}	4.50^{bc}	13.49^{b}	40.74^{a}	3656^{a}	1269^{a}	34.3^{a}	0.215^{c}	0.778^{b}
Adel	33.70^{b}	5.26^{ab}	18.38^{a}	33.46^{c}	2627^{c}	719^{c}	28.6^{a}	0.374^{a}	1.085^{a}
Saied	33.18^{b}	3.98^{c}	12.35^{b}	34.31^{c}	3141^{b}	965^{b}	29.1^{a}	0.288^{b}	0.949^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

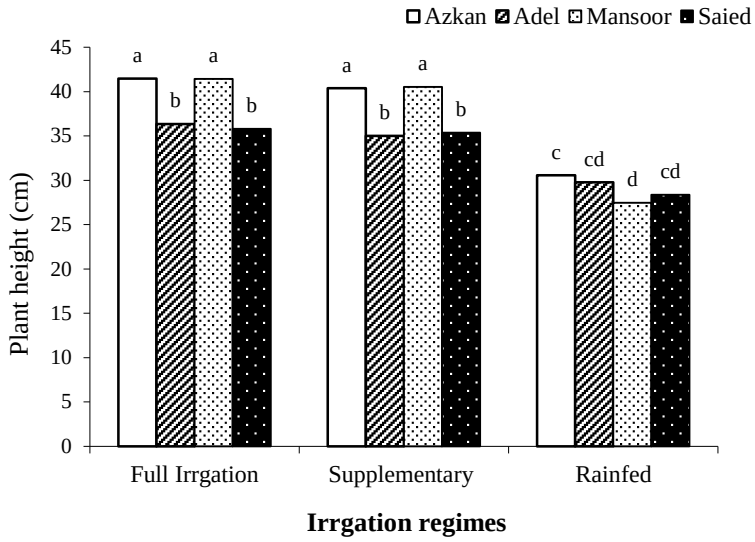
Means followed by the same letters in each column at 5% probability level did not differ significantly

WUEsy: کارایی مصرف آب عملکرد دانه

WUEsy: Water use efficiency of seed yield

WUEby: کارایی مصرف آب عملکرد بیولوژیک

WUEby: Water use efficiency of biological yield



شکل ۱- مقایسه میانگین ارتفاع بوته در رژیم‌های مختلف آبیاری در ارقام نخود. ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه‌ای داتکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 1. Mean comparison of plant height under different irrigation regimes in chickpea cultivars. Columns with at least one similar letter are not significant different based on Duncan's multiple range test at the 5% level.

تعداد دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس تعداد دانه در بوته نشان دهندهٔ تأثیر معنی دار اثر رژیم رطوبتی و رقم در سطح یک درصد بر این صفت بود (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد دانه در بوته در تیماری آبیاری کامل مشاهده شد که با آبیاری تکمیلی تفاوت معنی‌داری نداشت. در شرایط دیم تعداد دانه در بوته نسبت به آبیاری کامل ۵۳/۷ درصد کاهش یافت (جدول ۴). در بین ارقام مورد بررسی، رقم آزکان بیش‌ترین و رقم سعید کم‌ترین تعداد دانه در بوته را داشتند (جدول ۴). تعداد دانه در بوته در گیاه نخود بستگی به تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته دارد. با توجه به کم بودن تعداد دانه در غلاف در این گیاه (یک یا دو دانه) عامل اصلی تعیین کنندهٔ تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در هر بوته است. تعداد غلاف در بوته بستگی به تعداد شاخه‌های فرعی دارد که همبستگی بین این دو صفت ($r = ۰/۸۲۸^{**}$) نیز نشان دهندهٔ آن است (جدول ۴). کاهش تعداد دانه در بوته ناشی از کاهش میزان فتوسنتز، کاهش تعداد گل‌های تلقیح و بارور شده و کاهش تعداد شاخه‌های جانبی است. تعداد دانه در بوته از اجزای مهم عملکرد است که در این تحقیق همبستگی متوسطی ($r= ۰/۵۷۳^{**}$) با عملکرد دانه نشان داد (جدول ۵).

کاهش تعداد دانه در بوته در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (Mousavi and Shakarami, 2009; Majnoon Hosseini *et al.*, 2022).

وزن صددانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که رژیم رطوبتی در سطح پنج درصد و رقم در سطح یک درصد بر وزن صددانه اثر معنی‌دار داشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن صددانه در شرایط آبیاری کامل به دست آمد و در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم به ترتیب به میزان ۴/۷۷ و ۲۵/۳ درصد کاهش یافت (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی تقسیم سلولی دانه در مراحل اولیه رشد آن‌ها کاهش یافته و منجر به کاهش تعداد سلول‌ها در دانه می‌شود و اندازهٔ مخزن را کاهش می‌دهد. همچنین در شرایط تنش خشکی کاهش میزان فتوسنتز گیاه باعث می‌شود میزان فراهمی مواد فتوسنتزی برای پر شدن دانه کاهش یافته در نتیجه اندازهٔ دانه کوچک می‌شود. عامل دیگر کاهش وزن دانه کاهش فعالیت آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز مواد ذخیره‌ای در دانه است که در شرایط تنش فعالیت این آنزیم‌ها در دانه نخود کاهش یافته و باعث کاهش وزن نهایی دانه می‌شود (Awasthi *et al.*, 2024). کاهش وزن صددانه نخود در شرایط تنش خشکی و آبیاری تکمیلی در

تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (Majnoon Hosseini *et al.*, 2022; Benali *et al.*, 2023). استفاده از آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و نیام‌دهی میزان وزن صددانه را نسبت به شرایط دیم به میزان ۲۷/۵ درصد افزایش داد (جدول ۳). افزایش این مؤلفه منجر به عملکرد بالاتر در شرایط آبیاری تکمیلی شد. مطالعه بر روی نخود سیاه نشان داد که با انجام یک مرحلهٔ آبیاری تکمیلی میزان وزن دانه بین ۱۰ تا ۱۹/۵ درصد افزایش یافت (Jalilian and Heydarzadeh, 2017). در بین ارقام مورد مطالعه رقم منصور دارای بیش‌ترین و رقم عادل دارای کم‌ترین میزان وزن صددانه بودند که با رقم سعید تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). وزن صددانه از اجزای مهم عملکرد دانه است و همبستگی مثبت، بالا و معنی‌دار آن با عملکرد دانه ($r= ۰/۸۴۵^{**}$) نشان دهندهٔ اثر مهم این جزء در عملکرد دانه است و بالا بودن آن می‌تواند منجر به عملکرد بیش‌تر دانه شود.

عملکرد زیست‌توده

نتایج تجزیه واریانس عملکرد زیست‌توده بیانگر اثر معنی‌دار رژیم رطوبتی و رقم بر این صفت در سطح یک درصد بود (جدول ۳). مقایسات میانگین این صفت نشان داد که میزان عملکرد زیست-توده در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم نسبت به آبیاری کامل کاهش معنی‌داری (به ترتیب ۸/۴ و ۸۴/۸ درصد) نشان داد (جدول ۴). در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی میزان تولید مواد فتوسنتزی در گیاه کاهش می‌یابد. این کاهش تولید به علت کاهش قدرت منبع در شرایط محدودیت دسترسی به رطوبت است. تنش خشکی از یک سمت با کاهش توسعهٔ برگ‌ها و افزایش زرد شدن آن‌ها، اندازهٔ منبع را کاهش داده و از سوی دیگر با تأثیر بر عوامل روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای منجر به کاهش فعالیت منبع شده و در نهایت تولید مواد فتوسنتزی را کاهش می‌دهد (Awasthi *et al.*, 2014; Hosseinzadeh *et al.*, 2016).

بررسی تحقیقات بر روی گیاهان زراعی مختلف نشان داد که در شرایط کمبود رطوبت میزان فتوسنتز و در نهایت تولید مادهٔ خشک و عملکرد گیاهان زراعی کاهش می‌یابد (Zandi *et al.*, 2023; Qiao *et al.*, 2024; Valipour *et al.*, 2025). نتایج به دست آمده در این تحقیق نیز با نتایج فوق مطابقت داشت. در بین ارقام مورد بررسی رقم منصور بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده را نشان داد که با رقم آزکان تفاوت معنی‌داری نداشت و رقم عادل کم‌ترین میزان تولید عملکرد زیست‌توده را نشان داد (جدول ۴). عملکرد زیست‌توده همبستگی مثبت، بالا و معنی‌داری با ارتفاع بوته ($r= ۰/۹^{**}$) و تعداد شاخهٔ فرعی ($r= ۰/۸۴۹^{**}$) نشان داد (جدول ۵).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان دهندهٔ اثر معنی‌دار رژیم رطوبتی و رقم در سطح یک درصد و برهم‌کنش آن‌ها در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه بود (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین برهم‌کنش رژیم رطوبتی و رقم نشان دهندهٔ این است که در شرایط دیم میزان عملکرد دانه در تمام ارقام به شدت نسبت به شرایط آبیاری کامل کاهش یافت که این کاهش به طور میانگین ۸۴ درصد بود (جدول ۴ و شکل ۲). ارقام مورد بررسی در شرایط دیم تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (شکل ۲). در شرایط انجام آبیاری تکمیلی ارقام عکس‌العمل متفاوتی نشان دادند و در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به آبیاری کامل، ارقام آزکان و عادل کاهش بیش‌تری نسبت به دو رقم منصور و عادل نشان دادند (شکل ۲).

کاهش عملکرد دانه در شرایط دیم نسبت به شرایط آبیاری کامل براساس خصوصیات مورد بررسی ناشی از کاهش تعداد شاخهٔ فرعی، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه بود (جدول ۴). به طور کلی در شرایط دیم به علت محدودیت شدید آب، گیاه دچار تنش خشکی شدید می‌شود. تنش خشکی با ایجاد محدودیت در رشد و توسعهٔ برگ‌ها و کاهش سرعت فتوسنتز منجر به کاهش قدرت منبع می‌شود. همچنین کاهش تعداد گل در بوته، کاهش تلقیح گل‌ها، کاهش غلاف‌های بارور و کاهش سرعت ذخیرهٔ مواد فتوسنتزی در دانه باعث کاهش قدرت مخزن می‌شود و عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Awasthi *et al.*, 2014; Hosseinzadeh *et al.*, 2016; Benali *et al.*, 2023; Awasthi *et al.*, 2024; Qiao *et al.*, 2024).

انجام آبیاری تکمیلی در شروع مرحلهٔ گلدهی باعث شده تلقیح گل‌ها به خوبی انجام شده و تعداد دانه‌های تشکیل شده در بوته افزایش یابد و آبیاری در مرحلهٔ غلاف‌بندی باعث تکمیل فرایند پرشدن دانه‌ها و افزایش وزن صد دانه شد. بنابراین انجام آبیاری تکمیلی باعث افزایش شدید عملکرد دانه نسبت به شرایط دیم شد. تحقیقات دیگر نیز نشان داده است که آبیاری تکمیلی در مرحلهٔ گلدهی (Parsa *et al.*, 2011; Khojamli *et al.*, 2018)،

مرحلهٔ غلاف‌دهی و پرشدن دانه (Mousavi and Shakarami, 2009) و آبیاری تکمیلی در هر دو مرحلهٔ گلدهی و غلاف‌دهی (Mousavi and Shakarami, 2009; Khojamli *et al.*, 2018) در گیاه نخود باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه شده است.

در این مطالعه شاخص برداشت نخود در تیمارهای مختلف آبیاری و در ارقام مختلف مورد بررسی تحت تأثیر قرار نگرفت (جدول ۲). عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای مورد بررسی بر شاخص برداشت، ناشی از تغییرات هماهنگ و یکسان عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده بر اثر اعمال تیمارها است.

کارایی مصرف آب عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس کارایی مصرف آب عملکرد دانه نشان دهندهٔ تأثیر معنی‌دار رژیم رطوبتی و رقم در سطح یک درصد و برهم‌کنش آن‌ها در سطح پنج درصد بر این صفت بود (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش کارایی مصرف آب دانه نشان داد که بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب در رقم منصور در شرایط آبیاری تکمیلی به دست آمد و کم‌ترین میزان کارایی مصرف آب در هر چهار رقم در شرایط دیم مشاهده شد (شکل ۳). در هر چهار رقم در شرایط آبیاری تکمیلی کارایی مصرف آب افزایش یافت ولی میزان افزایش در ارقام متفاوت بود. دو رقم منصور و سعید افزایش بیش‌تری در کارایی مصرف آب عملکرد دانه نشان دادند. در حالی که میزان افزایش کارایی مصرف آب عملکرد دانه در دو رقم آزکان و عادل کم‌تر بود. در شرایط دیم میزان کارایی مصرف آب در هر چهار رقم پایین بود و تفاوت معنی‌داری نداشتند. عدم تفاوت معنی‌دار ارقام ناشی از عدم تفاوت عملکرد آن‌ها در شرایط دیم است (شکل ۳ و شکل ۲). تحقیق انجام شده روی گیاه نخود نشان داد که ارقام مختلف در شرایط دیم از نظر کارایی مصرف آب تفاوت نداشتند، ولی با انجام آبیاری تکمیلی میزان کارایی مصرف آب ارقام افزایش یافت و ارقام نیز در شرایط آبیاری تکمیلی تفاوت معنی‌داری نشان دادند (Jalali, 2019). همسو با نتایج سایر مطالعات میزان کارایی مصرف آب دانه با عملکرد دانه همبستگی مثبت، بالا و معنی‌داری (r = ۰/۷۳۶) نشان داد (جدول ۵) (De Santis *et al.*, 2022; Kaloki *et al.*, 2019).

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مختلف مطالعه شدهٔ ارقام نخود در رژیم‌های مختلف آبیاری

Table 5. Correlation coefficients between traits of studied chickpea cultivars under different irrigation regimes

	Plant height	Number of branches	Seed number per plant	100-seed weight	Biological yield	Seed yield	Harvest index	WUE_{sy}
Number of branches	0.809**							
Seed number per plant	0.623**	0.828**						
100-seed weight	0.831**	0.710**	0.551**					
Biological yield	0.900**	0.849**	0.667**	0.857**				
Seed yield	0.873**	0.743**	0.573**	0.845**	0.857**			
Harvest index	0.128 ns	-0.018ns	-0.085 ns	0.179n.s	0.162 ns	0.316**		
WUE_{sy}	0.658**	0.485**	0.331**	0.599**	0.718**	0.736**	0.308**	
WUE_{by}	0.659**	0.560**	0.408**	0.580**	0.722**	0.675**	0.117 ns	0.962**

میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

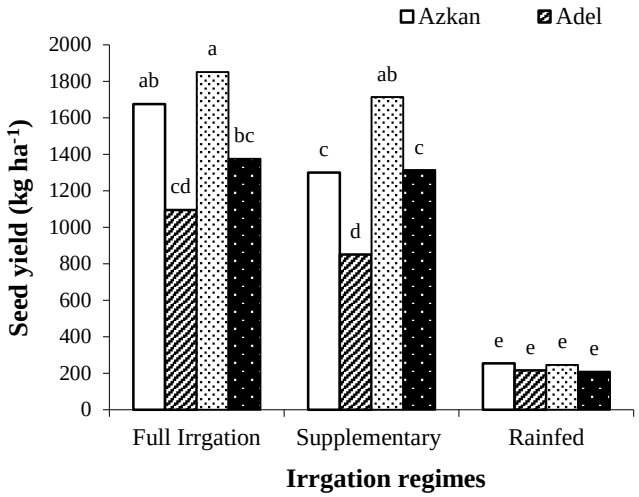
Means followed by the same letters in each column at 5% probability level did not differ significantly

WUEsy: کارایی مصرف آب عملکرد دانه

WUEsy: Water use efficiency of seed yield

WUEby: کارایی مصرف آب عملکرد بیولوژیک

WUEby: Water use efficiency of biological yield



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه در رژیم‌های مختلف آبیاری در ارقام نخود. ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه‌ای داتکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 2. Mean comparison of seed yield under different irrigation regimes in chickpea cultivars. Columns with at least one similar letter are not significant different based on Duncan's multiple range test at the 5% level.

افزایش کارایی مصرف آب در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم ناشی از افزایش قابل توجه عملکرد دانه با انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی است (شکل ۳). افزایش کارایی مصرف آب عملکرد دانه با انجام آبیاری تکمیلی در گیاه نخود نسبت به شرایط دیم توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است که دلیل آن افزایش عملکرد دانه گزارش شده است (Oweis *et al.*, 2004; Cheraghi *et al.*, 2021). مطالعهٔ انجام شده بر روی سه رقم نخود نشان داد که آبیاری مزرعه در مراحل گلدهی و پرشدن دانه میزان کارایی مصرف آب را نسبت به شرایط آبیاری کامل افزایش داد (Anwar *et al.*, 1999).

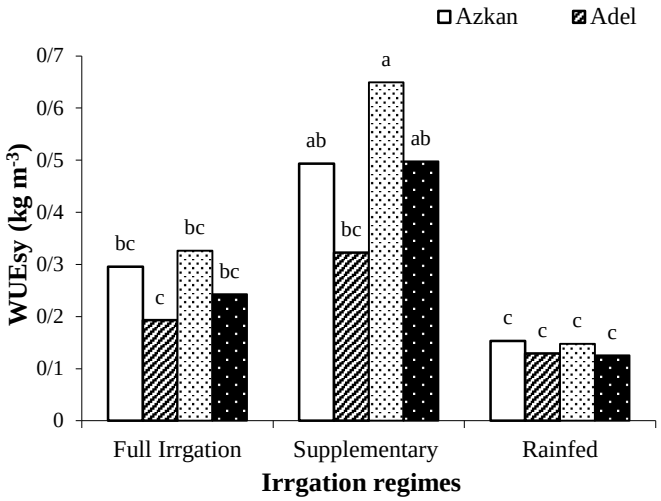
کارایی مصرف آب عملکرد زیست‌توده

نتایج تجزیه واریانس کارایی مصرف آب عملکرد زیست-توده نشان دهندهٔ تأثیر رژیم رطوبتی در سطح یک درصد و ارقام در سطح پنج درصد بر این صفت بود (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که آبیاری تکمیلی بیش‌ترین و شرایط دیم کم‌ترین میزان کارایی مصرف آب عملکرد زیست‌توده را داشتند. در بین ارقام مورد بررسی رقم عادل بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف آب عملکرد زیست‌توده را داشت و کم‌ترین مقدار هم متعلق به رقم منصور بود (جدول ۴). افزایش کارایی مصرف آب عملکرد زیست‌توده در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم ناشی از افزایش قابل توجه عملکرد زیست-توده نسبت به شرایط دیم است. انجام آبیاری در مرحلهٔ گلدهی و غلاف‌دهی عملکرد زیست‌توده را افزایش داد. در این مراحل از رشد گیاه میزان بارندگی کاهش یافته و دمای هوا افزایش می-یابد در نتیجه شدت تنش خشکی وارد شده به گیاه افزایش یافته و آبیاری در این مراحل می‌تواند تأثیر زیادی بر افزایش تولید گیاه داشته باشد. افزایش کارایی مصرف آب عملکرد زیست‌توده با انجام آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم در گیاهان زراعی دیگر مانند گندم (Oweis, *et al.*, 2000) و نخود (Oweis *et al.*, 2004) نیز گزارش شده است.

کارایی مصرف آبیاری عملکرد دانه

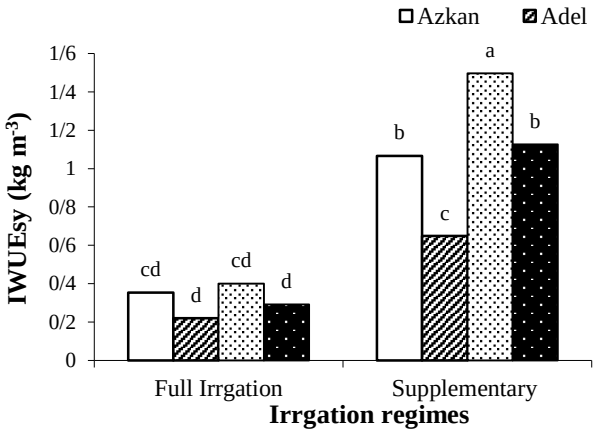
کارایی مصرف آب آبیاری عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی در هر چهار رقم مورد بررسی افزایش معنی‌داری را نشان داد. در شرایط آبیاری تکمیلی بیش‌ترین کارایی مصرف آب آبیاری عملکرد دانه در رقم منصور و کم‌ترین در رقم عادل مشاهده شد و در شرایط آبیاری کامل ارقام تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۴). نتایج به دست آمده بیانگر این است که انجام آبیاری کامل احتمالاً به علت افزایش میزان آب مصرفی باعث کم‌تر شدن کارایی مصرف آب آبیاری شد و انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی می‌تواند به طور مؤثری عملکرد دانه را افزایش داده و کارایی بهتری از انجام

آبیاری در این مراحل مشاهده شود. مطالعهٔ انجام شده بر روی نخود نشان داد که کاربرد کم‌تر آب نسبت به شرایط آبیاری کامل منجر به بالا رفتن کارایی مصرف آب شده است و بر اساس این تحقیق مصرف کم‌تر آب جهت تولید نخود توصیه شده است (Oweis *et al.*, 2004). نتایج تحقیق همچنین نشان دهندهٔ بالاتر بود میزان کارایی مصرف آب آبیاری رقم منصور در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به ارقام دیگر است.



شکل۳ - مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در رژیم‌های مختلف آبیاری در ارقام نخود. ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه‌ای داتکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 3. Mean comparison of water use efficiency under different irrigation regimes in chickpea cultivars. Columns with at least one similar letter are not significant different based on Duncan's multiple range test at the 5% level.



شکل٤ - مقایسه میانگین کارایی مصرف آب آبیاری در رژیم‌های مختلف آبیاری در ارقام نخود. ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه‌ای داتکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 4- Mean comparison of irrigation water use efficiency under different irrigation regimes in chickpea cultivars. Columns with at least one similar letter are not significant different based on Duncan's multiple range test at the 5% level.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که انجام آبیاری تکمیلی در دو مرحلهٔ گلدهی و غلاف بندی با بهبود اجزای عملکرد دانه شامل تعداد دانه در بوته و وزن صددانه باعث افزایش عملکرد دانه به میزان قابل توجهی نسبت به شرایط دیم شد. در شرایط کمبود آب در دسترس برای آبیاری، استفاده از آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی باعث افزایش کارایی مصرف آب و استفاده بهینه از منابع آب در اختیار می‌شود. همچنین آبیاری تکمیلی نسبت به آبیاری کامل کارایی مصرف آب و آبیاری بالاتری داشت به همین جهت استفاده از آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم و آبیاری کامل، قابل توصیه است. از بین ارقام مورد بررسی رقم منصور در هر دو شرایط آبیاری کامل و آبیاری تکمیلی بیش‌ترین میزان عملکرد دانه را داشت. همچنین این رقم دارای کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به ارقام دیگر در این شرایط بود و در صورت تکرار آزمایش در سال‌های بعد و تأیید نتایج به دست آمده می‌توان این رقم را جهت کاشت در شرایط آبیاری کامل و یا آبیاری تکمیلی در منطقهٔ زنجان و سایر مناطق با شرایط اقلیمی مشابه توصیه نمود.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های دانشگاه زنجان جهت تأمین هزینه‌های پایان‌نامه کمال سپاسگزاری را داریم.

References

Ministry of Agriculture Jihad. (2023). Annual harvested area, production, and yield in 2022-2023, Iran. [In Persian].

Anwar, M.R., McKenzie, B.A., & Hill, G.D. (1999). Water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Canterbury: effect of irrigation and sowing date. *Agronomy*, 29, 1-8. https://doi.org/10.1017/S0021859603003630

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

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

Cheraghi, S., Khourgami, A., & Pezeshkpour, P. (2021). Effect of application of barley residue and zeolite on seed yield and water productivity of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed and supplement irrigation conditions in Khoramabad, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 23 (2),198-210. http://agrobreedjournal.ir/article-1-1161-fa.html [In Persian].

De Santis, M.A., Satriani, A., De Santis, F., & Flagella, Z. (2022). Water use efficiency, spectral phenotyping and protein composition of two chickpea genotypes grown in Mediterranean environments under different water and nitrogen supply. *Agriculture*, 12, 2026. https://doi.org/10.3390/agriculture12122026

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

Jalali, A.H. (2019). Comparison of yield and water use efficiency of three chickpea cultivars under rainfed and irrigation condition. *Iranian Journal of Pulses Research*, 10(1), 52-62. https://doi.org/10.22067/IJPR.V10I1.62160 [In Persian].

Jalilian, J., & Heydarzadeh, S. (2017). Assessment of changes in grain yield, its components and weed suppression capabilities of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in rainfed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 11(1), 67-85. https://doi.org/10.24425/jppr.2020.132212 [In Persian].

Kaloki, P., Trethowan, R., & Tan, D.K.Y. (2019). Genetic and environmental influences on chickpea water-use efficiency. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205 (5), 470-476. https://doi.org/10.1111/jac.12338

Khattak, A. B, Zeb, A., Khan, M., Bibi, N., & Khattak, M.S. (2007). Influence of germination techniques on sprout yield, biosynthesis of ascorbic acid and cooking ability in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Food Chemistry*, 103, 115–120. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.003

Khojamli, A., Nakhzari, A., Mollashahi, M., & Ahangar, L. (2018). Effect of nitrogen and supplemental irrigation on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cv. Azad. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(4), 873-882. https://doi.org/10.22077/ESCS.2017.808.1159 [In Persian]

Majnoon Hosseini, N., Gholami, M.B., Afshoon, E., Jahansooz, M.R., & Rabieian, E. (2022). Effect of irrigation regime and plant density on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environmental Stresses in Crop Science*, 15(1), 67-78. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.314020.654776 [In Persian].

Mousavi, S., & Shakarami, GH. (2009). Effects of supplemental irrigation on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield in Low rain condition. *Crop Production*, 1(4), 99-113. https://doi.org/20.1001.1.2008739.1387.1.4.7.4 [In Persian].

Oweis, T. Zhang, H. & Pala, M. (2000). Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agronomy Journal*, 92, 231–238. https://doi.org/10.2134/agronj2000.922231x

Oweis, T., Hachum, A., & Pala, M. (2004). Water use efficiency of winter-sown chickpea under supplemental irrigation in a mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 66(2), 163-179. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2003.10.006

Parsa, M., Ganjeali, A., Rezaiean, A., Nezami, A. (2011). Evaluating yield components and yield of cold tolerant genotypes of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under entezary sowing of Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(3), 310-321. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2019.243228.654389 [In Persian].

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

Serraj, R., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kumar, J., Chandra, S., & Crouch, J.H. (2004). Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under terminal drought. *Field Crops Research*, 88, 115-127. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.12.001

Sharma, A., Prakash, S., & Chattopadhyay, D. (2022). Killing two birds with a single stone-genetic manipulation of cytokinin oxidase/dehydrogenase (CKX) genes for enhancing crop productivity and amelioration of drought stress response. *Frontiers in genetics*, 13, 941595. https://doi.org/10.3389/fgene.2022.941595

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., & Murphy, A. (2015). Plant Physiology and Development. 6th Edition, Sinauer Associates, Sunderland, CT.

Valipour, M., Rahnama, A., Hassibi, P., & Monsefi, A. (2025). Evaluation of morphological traits and yield and yield components of oilseed flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes in response to deficit irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 18(2), 263-281. https://doi.org/10.22077/ESCS.2024.7074.2258 [In Persian].

Zandi, R., Rahnama, A., & Meskarbashi, M. (2023). Effects of deficit irrigation management on physiological and biochemical properties of two safflower cultivars. *Applied Field Crops Research*, 35(4), 1-24. https://doi.org/10.22092/AJ.2023.359982.1624 [In Persian].