

## تأثیر آبیاری تکمیلی، زمان و روش‌های کاربرد کود آهن بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.)

لقمان احمدی<sup>۱</sup>، مختار قبادی<sup>۲\*</sup>، محسن سعیدی<sup>۲</sup> و جلال قادری<sup>۲</sup>

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، loghmanahamdi2004@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

(به ترتیب m.ghobadi@yahoo.com و msaeidi667@gmail.com)

۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، ghaderij@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۹

### چکیده

به منظور بررسی اثر آبیاری تکمیلی، زمان و روش‌های کاربرد کود آهن بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات کیفی دانه نخود زراعی، آزمایشی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در دانشگاه رازی واقع در کرمانشاه اجرا گردید. آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده انجام شد. شرایط دیم و آبیاری تکمیلی به عنوان فاکتور اصلی و همچنین زمان و نحوه کاربرد کود آهن به عنوان فاکتور فرعی در هشت سطح شامل عدم مصرف کود آهن ( $Fe_1$ )، خاک کاربرد ( $Fe_2$ )، محلول پاشی در مرحله شاخه‌دهی ( $Fe_3$ )، محلول پاشی در مرحله گلدهی ( $Fe_4$ )، محلول پاشی در مرحله غلاف‌بندی ( $Fe_5$ )، خاک کاربرد+محلول پاشی در مرحله شاخه‌دهی ( $Fe_6$ )، خاک کاربرد+محلول پاشی در مرحله گلدهی ( $Fe_7$ ) و خاک کاربرد+محلول پاشی در مرحله غلاف‌بندی ( $Fe_8$ ) بودند. نتایج نشان داد که از نظر اکثر صفات مورد بررسی، آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم برتری داشت (به جز میزان پروتئین دانه). تأثیر مثبت آبیاری تکمیلی روی عملکرد دانه عمدتاً از طریق افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه بود. مصرف کود آهن بر صفات مهمی چون عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد دانه در غلاف، میزان آهن دانه و درصد پروتئین دانه اثر معنی‌داری داشت. تیمار  $Fe_7$  از نظر عملکرد دانه (۱۶۱۴ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (۳۶۸۳ کیلوگرم در هکتار) و درصد پروتئین دانه (۲۷/۷ درصد)، بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داد، هرچند میزان آهن دانه در تیمار  $Fe_8$  (۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر بود. جهت ارتقاء عملکرد کمی و کیفی نخود در شرایط اقلیمی غرب ایران، انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و غلاف‌بندی و همچنین مصرف کود آهن در دو مرحله خاک کاربرد و محلول پاشی در مرحله گلدهی قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، آهن دانه، اجزای عملکرد، پروتئین دانه، عملکرد دانه

### مقدمه

شده است که این گیاه نقش مهمی در ثبات تولید نظام‌های زراعی ایفا نماید (Bagheri et al., 2001). خشکی و تنش ناشی از آن یکی از عواملی است که تولید محصولات زراعی را در مناطقی از دنیا تهدید می‌کند. در نواحی نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای به‌ویژه غرب آسیا و شمال آفریقا، مهم‌ترین فشار غیرزیستی بر کشاورزی، تنش خشکی و دمای بالا است (Galeshi et al., 2006). از بین عوامل مختلف ایجادکننده تنش همانند بیماری، آفت، علف‌های هرز، غرقابی، شوری و سرما، عامل خشکی به تنهایی مسبب ۲۵ درصد کاهش عملکرد محصولات زراعی در جهان است (Galeshi et al., 2006). تنش خشکی موجب پیری زودرس، ریزش برگ‌ها، تغییر زاویه برگ‌ها و لوله‌ای شدن برگ و... می‌شود. تنش رطوبتی میزان کلروفیل برگ را کاهش می‌دهد، لذا کاهش

نخود در ایران در مقایسه با سایر حبوبات از سطح زیرکشت و تولید، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲، سطح زیرکشت نخود کشور حدود ۵۲۸ هزار هکتار برآورد شده که معادل ۶۴ درصد از کل سطح زیرکشت حبوبات می‌باشد. در این سال، ۹۸/۳ درصد از اراضی زیرکشت نخود به صورت دیم کشت شده‌اند (Anonymous, 2015). این گیاه عمدتاً در نظام‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود و به نهاده‌های کمی نیاز دارد (Bagheri et al., 2001). خصوصیات مهمی همچون توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی عمیق و استفاده مؤثر از نزولات جوی سبب

\* نویسنده مسئول: m.ghobadi@yahoo.com

کرده در مناطق با خاک قلیایی و pH بالا، علائم کمبود آهن بهبود داده شد و موجب افزایش عملکرد ۵۰ درصدی در کولتیوارهای کم‌بازده شد، اما اثر چندانی روی کولتیوارهای پربازده نداشت (Saxena & Sheldark, 2003). در بررسی دیگر، محلول‌پاشی سولفات آهن در اوایل شروع کلروز، در بهبود علائم کمبود مؤثر، اما تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد محصول نخود تیپ کابلی نداشت (Saxena et al., 1990). در مطالعه‌ای دیگر، کود آهن موجب افزایش معنی‌دار در شاخه دهی و افزایش غیرقابل‌ملاحظه در اجزاء عملکرد نخود زراعی شد (Bahari et al., 2005). در آزمایشی بر روی سویا، محلول‌پاشی کود آهن موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، درصد پروتئین و روغن دانه شد (Mosivand et al., 2009). استفاده از کود آهن به همراه کود روی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش عملکرد دانه گندم شده است (Habib, 2009). گزارش شده که محلول‌پاشی آهن، اثر معنی‌داری روی افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا داشته است (Afshani et al., 2015). در آزمایشی دیگر، مقدار آهن دانه گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی با سولفات آهن نسبت به حالت شاهد افزایش یافت (Zhang et al., 2010).

اسیدپته بالا، آهکی بودن و کمبود ماده آلی، از مشکلات خاک‌های موجود در مناطق با آب و هوای مدیترانه‌ای مثل ایران است. جذب آهن توسط ریشه گیاه در خاک‌های آهکی مخصوصاً در شرایط تنش خشکی با مشکل مواجه می‌شود. در چنین شرایطی، محلول‌پاشی آهن می‌تواند روشی مفید برای تغذیه گیاه باشد (Bybord & Mamedov, 2010).

بر همین اساس، مقایسه تأثیر خاک کاربرد و محلول‌پاشی کود آهن در زمان‌های مختلف بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و کیفیت دانه نخود زراعی در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مهم‌ترین اهداف مورد نظر در این تحقیق بودند.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی واقع در کرمانشاه اجرا گردید. این محل در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه و در ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا واقع شده است. منطقه از نظر اقلیمی دومارتن، جزء آب و هوای سرد معتدل طبقه‌بندی می‌شود. وضعیت آب و هوایی منطقه در طول رشد گیاه نخود در جدول ۱ نشان داده شده است. قبل کاشت، از خاک مزرعه نمونه تهیه شد که نتیجه آن در جدول ۲ ارائه شده است.

کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیرروزنه‌ای به حساب آید (Mayoral, 1991).

آهن از عناصر غذایی مهم برای انسان می‌باشد. آهن در خیلی از فرایندهای بیوشیمیایی شامل عمل انتقال الکترون، تنظیم ژن، جذب و انتقال اکسیژن و رشد و نمو سلول شرکت می‌کند. کمبود آهن می‌تواند موجب بروز بیماری‌هایی نظیر کم‌خونی آنمی، ورم زبان، ورم زاویه‌ای مخاط دهان و لثه و آبی شدن صلیب چشم شود (Beard, 2001).

برای گیاهان، از بین عناصر کم‌مصرف، آهن به میزان بیشتری مورد نیاز است (به‌صورت محلول تقریباً یک میلی‌گرم در لیتر). برخی محققان حتی در تقسیم‌بندی عناصر غذایی، آهن را جزء عناصر پرمصرف منظور می‌دارند (Mengel & Kirkby, 1987). در گیاه، آهن در فرایندهای فیزیولوژیکی متعددی مثل فتوسنتز، تنفس میتوکندریایی، آسیمیلاسیون نیتروژن، بیوسنتز برخی تنظیم‌کننده‌های رشد، تولید و پاکسازی انواع رادیکال‌های آزاد نقش دارد (Hansch & Mendel, 2009). اولین آثار کمبود آهن در گیاه بر ساختار و عملکرد کلروپلاست ظاهر می‌کند. بنابراین در شرایط کمبود آهن، کاهش محتوای آهن با کاهش محسوس مقدار کلروفیل همراه است (Gogor Cena et al., 2004). در برگ‌هایی که با کمبود آهن مواجه هستند، هرچند رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر قرار می‌گیرند، اما اثر کمبود آهن بر همه رنگیزه‌های فتوسنتزی و اجزای انتقال الکترون به یک اندازه نیست. به‌عنوان مثال، فعالیت فتوسیستم I بیشتر از فتوسیستم II کاهش می‌یابد و تأثیر مصرف کود آهن بر فتوسیستم I بیشتر از فتوسیستم II می‌باشد (Romheld & Marschner, 1991). نتایج یک آزمایش نشان داد که با کاربرد کود کلات آهن در خاک و محلول‌پاشی آهن در گیاه گلرنگ، مقدار آنتوسیانین و فلاونوئید افزایش یافت (Fathi Amirkhiz et al., 2011).

کمبود آهن بر رشد و عملکرد گیاه اثر سوء دارد (Briat, 2007). در یک گزارش، کمبود آهن راندمان مصرف آب و آب در دسترس فیزیولوژیک را در دو وارپته نخود زراعی کاهش داد و مانع شکل‌گیری بیوماس کامل گیاه گردید (Mahmoudi et al., 2007). کاربرد کود آهن سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی و بهبود کارایی مصرف آب در گیاه شوید گردید (Gholinezhad, 2018). کلروز ناشی از کمبود آهن، موجب کاهش عملکرد کاه و عملکرد دانه در چندین لگوم شامل نخود زراعی، عدس و لوبیا شده است (Mengel & Kirkby, 1987). کمبود آهن باعث کاهش چشمگیری در عملکرد دانه سویا و زردی گیاه گردید (Wiersma, 2005). در مطالعه‌ای با محلول‌پاشی کود آهن ۵/۰ درصد روی کولتیوارهای نخود رشد

جدول ۱- وضعیت آب و هوایی کرمانشاه در طول فصل رشد گیاه نخود زراعی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰  
 Table 1. The weather characteristics of Kermanshah during growth season of chickpea in 2013

ماه Month	دمای حداقل هوا Air Minimum Temperature (°C)	دمای حداکثر هوا Air Maximum Temperature (°C)	بارندگی Rainfall (mm)
اسفند March	-12	23	34
فروردین April	-5	26	47
اردیبهشت May	2	34	17
خرداد June	7	37	0
تیر July	8	40	0

جدول ۲- نتایج آزمون خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)  
 Table 2. The results of soil test (depth 0-30 cm)

شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	اسیدیته pH	مس Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	روی Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	آهن Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	منگنز Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	کربن آلی OC (%)	پتاسیم K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> )	فسفر P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
18	37	45	7.4	1.34	1.4	3.9	4.6	1.35	520	5.8

استفاده ۵۰ بوته در مترمربع بود. هر کرت شامل شش ردیف به طول پنج متر و فواصل بین دو ردیف ۲۵ سانتی‌متر بود. با توجه به نتایج آزمون خاک، از کود اوره به صورت آغازگر به میزان ۲۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار استفاده شد. در صورت لزوم، وچین دستی انجام گرفت. برای مبارزه با کرم پيله‌خوار نخود از سم دلتامترین به میزان نیم لیتر در هکتار استفاده شد. در این تحقیق، صفات زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

عملکرد بیولوژیک (وزن کل اندام‌های هوایی): با برداشت چهار ردیف وسط هر کرت و با حذف اثر حاشیه در هنگام رسیدگی فیزیولوژیک و پس از خشک‌شدن بوته‌های نخود در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت و سپس توزین آن‌ها.

عملکرد دانه: با جداکردن دانه بوته‌های برداشت‌شده برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و توزین آن‌ها.

شاخص برداشت: با تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک و ضرب عدد به دست آمده در عدد ۱۰۰.

عملکرد کاه: با کم کردن عملکرد دانه از عملکرد بیولوژیک. تعداد غلاف در بوته: با شمارش تعداد غلاف در ۱۰ بوته برداشت‌شده از مزرعه، در هنگام رسیدگی فیزیولوژیک.

تعداد دانه در نیام: با شمارش تعداد کل دانه‌های ۱۰ بوته برداشت‌شده و سپس تقسیم عدد به دست آمده بر تعداد نیام‌های پُر.

این آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خردشده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. آبیاری تکمیلی به‌عنوان فاکتور اصلی در دو سطح (بدون آبیاری و آبیاری در مرحله گلدهی و غلاف‌بندی گیاه نخود) و فاکتور فرعی شامل زمان‌ها و روش‌های کاربرد کود آهن در هشت سطح شامل عدم کاربرد کود آهن (Fe<sub>1</sub>)، مصرف کود آهن به صورت خاک کاربرد به هنگام کاشت (Fe<sub>2</sub>)، محلول‌پاشی آهن در مرحله شاخه‌دهی (Fe<sub>3</sub>)، محلول‌پاشی آهن در مرحله گلدهی (Fe<sub>4</sub>)، محلول‌پاشی آهن در مرحله غلاف‌بندی (Fe<sub>5</sub>)، مصرف خاک کاربرد به هنگام کاشت+محلول‌پاشی در مرحله شاخه‌دهی (Fe<sub>6</sub>)، مصرف خاک کاربرد به هنگام کاشت+محلول‌پاشی در مرحله گلدهی (Fe<sub>7</sub>) و مصرف خاک کاربرد به هنگام کاشت+محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌بندی (Fe<sub>8</sub>) بود. جهت اعمال فاکتور کود آهن به صورت خاک کاربرد، از کود کلات آهن ۶ درصد (Fe EDDHA) شرکت OMEX آلمان به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار و بر اساس توصیه شرکت سازنده استفاده شد. همچنین جهت محلول‌پاشی برگ، از محلول سولفات آهن (شرکت کاوین حاوی ۱۰۰ گرم بر لیتر آهن (Fe-EDTA)) بر اساس توصیه شرکت سازنده کود به مقدار یک لیتر در هکتار استفاده شد. رقم نخود زراعی مورد استفاده رقم آزاد بود که از تیپ کابلی می‌باشد. کشت در ۲۴ اسفند انجام شد. تراکم مورد

آهن، افزایش میزان تولید کلروفیل و نمو کلروپلاست و به دنبال آن افزایش میزان فتوسنتز و تولید کربوهیدرات می‌باشد که در نتیجه بالا رفتن میزان فتوسنتز، شرایط مناسب‌تری برای رشد و نمو گیاه فراهم می‌شود (Yassen et al., 2010). در آزمایشی، محلول پاشی کود آهن اثر معنی‌داری بر میزان سبزی‌نگی برگ و شاخص سطح برگ گیاه نخود داشت. همچنین محلول پاشی آهن بر روی برگ‌های گیاه نخود سبب کاهش اثرات تنش خشکی گردید (Ahmadi et al., 2016).

شرایط رطوبتی اثر معنی‌داری بر صفت عملکرد دانه داشت (جدول ۳) و در شرایط آبیاری تکمیلی به میزان ۵۰ میلی‌متر در مرحله گلدهی و ۵۰ میلی‌متر در مرحله غلاف‌بندی، عملکرد دانه بیشتر از شرایط دیم به دست آمد (به ترتیب ۲۱۸۴ و ۵۴۶ کیلوگرم در هکتار). در یک گزارش، ۱۷ درصد افزایش در عملکرد دانه نخود با اعمال آبیاری به دست آمد (Bakhsh et al., 2007). نتایج مشابهی در گزارش‌های Pezeshkpoor & Mousavi, 2005; و Ghasemi-Golozani et al., 2004) در بررسی چندساله روی حبوبات (نخود، نخودفرنگی و ماش) گزارش شد که همبستگی بالایی بین مصرف آب و عملکرد دانه وجود داشت، به طوری که بالاترین پاسخ را گیاه نخود در بین سه گیاه مورد آزمایش (هر میلی‌متر افزایش در مصرف آب، ۱۰/۶ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد) نشان داد (Nielsen, 2001). در آزمایش حاضر، فاکتور کود آهن اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۳). مصرف کود آهن موجب افزایش عملکرد دانه شد و تیمار خاک کاربرد به همراه محلول پاشی در مرحله گلدهی (Fe<sub>7</sub>) دارای مقدار بالاتری (۱۶۱۴ کیلوگرم در هکتار) نسبت به دیگر سطوح فاکتور کود آهن بود (جدول ۴). همچنین اثر متقابل رژیم رطوبتی و کود آهن، بر روی صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود و تیمار مصرف کود آهن به صورت خاک کاربرد و محلول پاشی در مرحله گلدهی در شرایط آبیاری تکمیلی (I<sub>2</sub>Fe<sub>7</sub>) دارای بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲۵۹۸ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سایر سطوح کود آهن در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بود (جدول ۵). هر چند تفاوت معنی‌داری با تیمارهای Fe<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>, Fe<sub>5</sub> و Fe<sub>6</sub> آبیاری تکمیلی نداشت. در مطالعه‌ای مشاهده شد که مصرف کود سولفات آهن موجب افزایش معنی‌دار در شاخه‌دهی و عملکرد دانه نخود زراعی گردید (Bahari et al., 2005). در یک تحقیق، محلول پاشی آهن موجب افزایش عملکرد در سویا شد (Groos & Johanson, 2004). در آزمایشی گزارش شد که محلول پاشی سولفات آهن در مرحله آغاز به ساقه‌رفتن و آغاز گلدهی، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد کلزا گردید (Afshani

وزن ۱۰۰ دانه: با شمارش چهار نمونه ۱۰۰ عددی از دانه‌های بوته‌های برداشت شده جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه و سپس توزین آن‌ها.

درصد پروتئین دانه: با جدا کردن حدود ۲۰۰ گرم بذر از هر تیمار و استفاده از روش NIR (Osborne, 2007) و تعیین درصد پروتئین بر حسب درصد ماده خشک بذر، توسط دستگاه تجزیه فوق سریع مدل DA-7200 ساخت شرکت Perten (کشور سوئد).

محتوای آهن دانه: با هضم نمونه‌های گیاهی به روش سوزاندن خشک و ترکیب با HCL و سپس استفاده از دستگاه جذب اتمی (Varian 220) (Farzami Sepehr, M. 2013). داده‌های جمع‌آوری شده قبل از تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار EXCEL طبقه‌بندی شدند. سپس با استفاده از نرم افزار MSTAT-C تست نرمال بودن، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها انجام شد. برای مقایسه میانگین از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. تجزیه همبستگی صفات اندازه‌گیری شده به کمک نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

## نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش نشان داد که آبیاری تکمیلی اثر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشت (جدول ۳)، به نحوی که مقدار آن در شرایط آبیاری تکمیلی ۱۳۲ درصد بیشتر از شرایط دیم (با بارش ۹۸ میلی‌متر در طی ماه‌های اسفند تا خرداد) بود. در یک تحقیق، افزایش ۳۶ درصدی افزایش در وزن خشک بوته نخود با اعمال آبیاری گزارش شد (Bakhsh et al., 2007). مصرف کود آهن نیز اثر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشت (جدول ۳). نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف کود آهن موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد و تیمار کاربرد خاکی به همراه محلول پاشی در مرحله گلدهی (Fe<sub>7</sub>) بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک را (۳۶۸۳ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سایر تیمارهای کود آهن نشان داد. تیمار Fe<sub>7</sub> از نظر این صفت با تیمار Fe<sub>1</sub> (عدم مصرف کود آهن) دارای تفاوت معنی‌دار بود، اما با سایر سطوح مصرف کود آهن اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). در آزمایشی گزارش گردید که محلول پاشی کود آهن موجب افزایش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده سویا شد (Mosivand et al., 2009). همچنین مصرف کود آهن سبب افزایش ماده خشک شلغم علوفه‌ای (Moghadam et al., 2013) و لوبیا (Jokar et al., 2015) شد. از نقش‌های مثبت

اثر فاکتور شرایط رطوبتی بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود (جدول ۳). این در حالی است که در یک گزارش، با اجرای آبیاری تکمیلی در نخود، تعداد دانه در غلاف ۴۸ درصد افزایش یافت (Bakhsh *et al.*, 2007). اثر متقابل آبیاری تکمیلی و مصرف کود آهن نیز بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار گردید (جدول ۳) و بیشترین تعداد دانه در غلاف به میزان ۱/۷۵۵ عدد در تیمار مصرف خاک کاربرد و محلول‌پاشی کود آهن در مرحله گلدهی ( $I_1Fe_7$ ) مشاهده شد (جدول ۵). از نظر آماری وزن ۱۰۰ دانه تحت تأثیر آبیاری تکمیلی قرار گرفت و مقدار آن در شرایط آبیاری تکمیلی بیشتر از شرایط دیم (به ترتیب ۲۵/۹۲ و ۲۰/۹۱ گرم) بود (جدول ۳). پایین‌ترین وزن ۱۰۰ دانه در شرایط محدودیت رطوبتی به دلیل بروز رقابت دانه‌ها در به‌دست آوردن آب و مواد غذایی و کاهش کربوهیدرات ذخیره‌ای گیاه است که تعداد سلول‌های مولد و وزن ۱۰۰ دانه کاهش می‌یابد (Vaziri Kateshori *et al.*, 2014).

تجزیه واریانس نشان داد که آبیاری تکمیلی و کود آهن اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه داشتند (جدول ۳) و مقدار آن در شرایط دیم بیشتر از شرایط آبیاری تکمیلی (به ترتیب ۲۸ و ۲۶ درصد) بود. بالاتر بودن درصد پروتئین در شرایط دیم می‌تواند مرتبط با کاهش طول دوره رشد و نمو در این شرایط باشد که موجب کاهش نسبت کربوهیدرات به پروتئین در دانه و در نتیجه افزایش درصد پروتئین دانه شده است. افزایش درصد پروتئین دانه نخود تحت شرایط تنش رطوبتی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Jalilian *et al.*, 2005; Maleki *et al.*, 2011). آن‌ها گزارش کردند که در شرایط تنش رطوبتی، درصد پروتئین دانه افزایش یافته است. مصرف کود آهن اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه داشت (جدول ۳) و تیمار  $Fe_7$  از محتوای پروتئین بیشتری (۲۷/۷۲ درصد) نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود (جدول ۴). در این رابطه گزارش شده است که با محلول‌پاشی کود آهن در گیاه عدس، درصد پروتئین دانه افزایش یافته است (Mehrban, 2017). در تحقیقی که در آن، اثر کود آهن در گیاه شلغم علوفه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت، گزارش شد که مصرف کود آهن سبب افزایش پروتئین خام و درصد فیبرهای غیرمحلول شد (Moghadam *et al.*, 2013).

اثر آبیاری تکمیلی روی محتوای آهن دانه از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). با این وجود، مقدار آن در شرایط آبیاری تکمیلی بیشتر از شرایط دیم (به ترتیب ۶۲/۸ و ۵۸/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. بیشتر بودن محتوای آهن دانه در شرایط بدون تنش خشکی، به نقش آب در جذب عناصر مورد نیاز گیاه مخصوصاً آهن برمی‌گردد.

(*et al.*, 2015). استفاده از کودهای آهن و روی با هم به‌طور معنی‌داری موجب افزایش عملکرد دانه گندم گردید (Habib, 2009). در نتایج حاصل از آزمایش حاضر، مقدار عملکرد دانه در تیمار  $Fe_7$  (مصرف خاک کاربرد + محلول‌پاشی در مرحله گلدهی) بیشتر از سایر تیمارها بود. از طرف دیگر، تیمار  $Fe_7$  از نظر عملکرد بیولوژیک مقدار بیشتری را به خود اختصاص داد. از عوامل اصلی برتری  $Fe_7$  از نظر عملکرد دانه، افزایش عملکرد بیولوژیک و به‌دنبال آن افزایش تعداد دانه در غلاف می‌باشد. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که مصرف توأم کود آهن به صورت خاک کاربرد و محلول‌پاشی در مرحله گلدهی موجب افزایش باروری و افزایش تعداد دانه در غلاف شده است. از عوامل فرعی مسبب این امر، می‌توان به افزایش وزن ۱۰۰ دانه حاصل از مصرف تیمار  $Fe_7$  اشاره نمود.

صفت شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آبیاری تکمیلی و مصرف کود آهن قرار گرفت (جدول ۳). مقدار شاخص برداشت در شرایط آبیاری تکمیلی (۴۶/۳۲ درصد) بیشتر از شرایط دیم (۲۷/۰۹ درصد) بود. در بین تیمارهای مصرف کود آهن، تیمار  $Fe_2$  (مصرف خاک کاربرد) و تیمار  $Fe_7$  دارای شاخص برداشت بالاتری (به ترتیب ۳۹/۳۵ و ۳۹/۱۶ درصد) نسبت به سایر تیمارها بودند (جدول ۴). فاکتور شرایط رطوبتی اثر معنی‌داری بر عملکرد کاه داشت (جدول ۳) و مقدار آن در شرایط آبیاری تکمیلی بیشتر از شرایط دیم بود (به ترتیب ۲۴۸۱ و ۱۴۵۹ کیلوگرم در هکتار). آبیاری تکمیلی مخصوصاً در زمان گلدهی و پُرشدن غلاف‌های نخود به دلیل تأثیر مثبت بر توسعه تعداد شاخه‌های فرعی و ارتفاع بوته، سبب افزایش عملکرد کاه می‌شود. افزایش عملکرد کاه نخود در اثر انجام آبیاری تکمیلی در برخی تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (Tuba Bicer *et al.*, 2004; Parsa *et al.*, 2011). اثر فاکتور کود آهن بر این صفت، از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که آبیاری تکمیلی بر تعداد غلاف در بوته اثر معنی‌داری داشته است (جدول ۳) و مقدار آن در شرایط آبیاری تکمیلی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط دیم بود (به ترتیب ۲۵/۲۸۳ و ۸/۷۷۵ غلاف). با عنایت به این که آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پُرشدن غلاف انجام گرفت، لذا تفاوت در تعداد غلاف در اثر آبیاری تکمیلی می‌تواند به علت تداوم رشد رویشی باشد که البته نقش رشد نامحدود گیاه نخود را نیز در این ارتباط نباید نادیده گرفت. تأثیر آبیاری تکمیلی در مرحله پُرشدن غلاف نخود روی تعداد غلاف در بوته در پژوهش دیگر نیز گزارش شده است (Jalilian *et al.*, 2005). اثر فاکتور کود آهن بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار نبود. همچنین

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر فاکتورهای آبیاری تکمیلی، کود آهن و اثر متقابل آنها  
Table 3. Analysis of variance of traits for supplemental irrigation, Fe fertilizer and its interactions

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد کاه Straw yield	تعداد گلوف در پوته Pods per plant	تعداد دانه در غلاف Grains per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100 grain weight	محتوای آهن دانه Grain Fe content	محتوای پروتئین دانه Grain protein content	محتوای فیبر دانه Grain fiber content
تکرار Replication	2	389456	101316	34.632	167988	15.317	0.014	1.545	30.579	0.62	0.034
آبیاری تکمیلی (I) Supplemental irrigation (I)	1	84883738*	32188633**	4435.9**	12538714*	3270.3*	0.006 <sup>ns</sup>	300.9*	184.84 <sup>ns</sup>	48.985*	0.0001 <sup>ns</sup>
خطای ۱ Error1	2	2199464	197489	33.15	1086845	36.277	0.056	24.295	42.981	2.304	0.065
کود آهن (Fe) Fe fertilizer (Fe)	7	751262*	344819*	41.109*	123139 <sup>ns</sup>	9.025 <sup>ns</sup>	0.087*	1.137 <sup>ns</sup>	83.485**	1.891*	0.033 <sup>ns</sup>
اثر متقابل I × Fe	7	530583 <sup>ns</sup>	302085*	34.48 <sup>ns</sup>	74603 <sup>ns</sup>	23.916 <sup>ns</sup>	0.096*	2.209 <sup>ns</sup>	28.702 <sup>ns</sup>	0.536 <sup>ns</sup>	0.037 <sup>ns</sup>
خطای ۲ Error2	28	309874	103113	16.055	92639	11.667	0.036	2.912	16.521	0.452	0.016
ضریب تغییرات CV (%)		16.69	23.52	10.91	15.44	20.06	16.06	7.29	6.68	2.49	2.54

ns, \* و \*\*: به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج‌درصد و یک‌درصد.

ns, \* and \*\*: Non-significant, significant at 5% and 1% level of probability, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر مصرف کود آهن

Table 4. Mean comparisons of traits for Fe fertilizer

تیمار کود آهن Fe treatments	عملکرد بیولوژیک Biologic yield (kg ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	شاخص برداشت Harvest index (%)	تعداد دانه در غلاف Grains per pod	محتوای آهن دانه Grain Fe content (mg kg <sup>-1</sup> )	محتوای پروتئین دانه Grain protein content (%)
Fe <sub>1</sub>	2777 b	1114 c	35.4 ab	1.077 b	56.04 c	26.37 c
Fe <sub>2</sub>	3583 a	1569 ab	39.35 a	1.09 b	59.66 bc	27.28 ab
Fe <sub>3</sub>	3681 a	1570 ab	37.8 ab	1.225 b	55.82 c	27.42 ab
Fe <sub>4</sub>	3053 ab	1062 c	32.6 b	1.151 b	60.94 bc	26.65 bc
Fe <sub>5</sub>	3225 ab	1252 abc	33.51 b	1.163 b	61.46 b	26.17 c
Fe <sub>6</sub>	3624 a	1582 a	38.93 a	1.099 b	63.84 ab	27.48 ab
Fe <sub>7</sub>	3683 a	1614 a	39.16 a	1.45 a	62.19 ab	27.72 a
Fe <sub>8</sub>	3029 ab	1159 bc	36.95 ab	1.153 b	66.88 a	26.99 abc

Fe<sub>1</sub>: عدم کاربرد کود آهن؛ Fe<sub>2</sub>: کود آهن به صورت خاک کاربرد؛ Fe<sub>3</sub>: محلول‌پاشی کود آهن در مرحله شاخه‌دهی؛ Fe<sub>4</sub>: محلول‌پاشی کود آهن در مرحله گلدهی؛ Fe<sub>5</sub>: محلول‌پاشی کود آهن در مرحله غلاف‌دهی؛ Fe<sub>6</sub>: کود آهن به صورت خاک کاربرد+محلول‌پاشی در مرحله شاخه‌دهی؛ Fe<sub>7</sub>: کود آهن به صورت خاک کاربرد+محلول‌پاشی در مرحله گلدهی؛ Fe<sub>8</sub>: کود آهن به صورت خاک کاربرد+محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌دهی

Fe<sub>1</sub>: no Fe fertilizer; Fe<sub>2</sub>: Fe fertilizer as soil application; Fe<sub>3</sub>: Fe fertilizer as foliar application during branching; Fe<sub>4</sub>: Fe fertilizer as foliar application during flowering; Fe<sub>5</sub>: Fe fertilizer as foliar application during podding; Fe<sub>6</sub>: Fe fertilizer as soil application+foliar application during branching; Fe<sub>7</sub>: Fe fertilizer as soil application+foliar application during flowering; Fe<sub>8</sub>: Fe fertilizer as soil application+foliar application during podding

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری شده در اثر متقابل آبیاری تکمیلی × کود آهن  
Table 5. Mean comparisons of traits for supplemental irrigation × Fe fertilizer

اثر متقابل آبیاری تکمیلی × کود آهن I×Fe interaction	عملکرد دانه Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	تعداد دانه در غلاف Grains per pod
I <sub>1</sub> Fe <sub>1</sub>	393.5 c	1.036 b
I <sub>1</sub> Fe <sub>2</sub>	589 c	1.045 b
I <sub>1</sub> Fe <sub>3</sub>	568.2 c	1.246 b
I <sub>1</sub> Fe <sub>4</sub>	479.8 c	1.183 b
I <sub>1</sub> Fe <sub>5</sub>	392.8 c	1.109 b
I <sub>1</sub> Fe <sub>6</sub>	572.8 c	1.071 b
I <sub>1</sub> Fe <sub>7</sub>	630.4 c	1.755 a
I <sub>1</sub> Fe <sub>8</sub>	743.5 c	1.049 b
I <sub>2</sub> Fe <sub>1</sub>	1835 b	1.119 b
I <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub>	2548 a	1.135 b
I <sub>2</sub> Fe <sub>3</sub>	2571 a	1.203 b
I <sub>2</sub> Fe <sub>4</sub>	1643 b	1.12 b
I <sub>2</sub> Fe <sub>5</sub>	2112 ab	1.216 b
I <sub>2</sub> Fe <sub>6</sub>	2591 a	1.127 b
I <sub>2</sub> Fe <sub>7</sub>	2598 a	1.145 b
I <sub>2</sub> Fe <sub>8</sub>	1575 b	1.257 b

I<sub>1</sub>: شرایط دیم؛ I<sub>2</sub>: شرایط آبیاری تکمیلی؛ Fe<sub>1</sub>: عدم کاربرد کود آهن؛ Fe<sub>2</sub>: کود آهن به صورت خاک کاربرد؛ Fe<sub>3</sub>: محلول پاشی کود آهن در مرحله شاخه‌دهی؛ Fe<sub>4</sub>: محلول پاشی کود آهن در مرحله گلدهی؛ Fe<sub>5</sub>: محلول پاشی کود آهن در مرحله غلاف‌دهی؛ Fe<sub>6</sub>: کود آهن به صورت خاک کاربرد+محلول پاشی در مرحله شاخه‌دهی؛ Fe<sub>7</sub>: کود آهن به صورت خاک کاربرد+محلول پاشی در مرحله گلدهی؛ Fe<sub>8</sub>: کود آهن به صورت خاک کاربرد+محلول پاشی در مرحله غلاف‌دهی.

I<sub>1</sub>: dryland; I<sub>2</sub>: supplemental irrigation; Fe<sub>1</sub>: no Fe fertilizer; Fe<sub>2</sub>: Fe fertilizer as soil application; Fe<sub>3</sub>: Fe fertilizer as foliar application during branching; Fe<sub>4</sub>: Fe fertilizer as foliar application during flowering; Fe<sub>5</sub>: Fe fertilizer as foliar application during podding; Fe<sub>6</sub>: Fe fertilizer as soil application+foliar application during branching; Fe<sub>7</sub>: Fe fertilizer as soil application+foliar application during flowering; Fe<sub>8</sub>: Fe fertilizer as soil application+foliar application during podding.

مصرف کود آهن اثر معنی‌داری بر محتوای آهن دانه داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، تیمار Fe<sub>8</sub> (خاک کاربرد+محلول پاشی در مرحله غلاف‌بندی) دارای بیشترین میزان آهن در دانه بود (۶۶/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک)؛ و تیمارهای Fe<sub>1</sub> (عدم کاربرد کود آهن) و Fe<sub>3</sub> (محلول پاشی در مرحله شاخه‌دهی)، کمترین مقادیر (به ترتیب ۵۶/۰۲ و ۵۵/۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). بر اساس نتایج یک بررسی، مقدار آهن دانه گندم به طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول پاشی با سولفات آهن، نسبت به حالت شاهد افزایش یافت (Zhang *et al.*, 2010). همچنین گزارش شده که محلول پاشی کود آهن موجب افزایش محتوای آهن دانه گندم شده است

نشان‌دهنده حرکت آهن از برگ‌ها به سمت دانه می‌باشد (Pahlavan-Rad & Pesarakli, 2009). این نتیجه در واقع نشان‌دهنده حرکت آهن از برگ‌ها به سمت دانه می‌باشد (Garnett & Graham, 2005). در آزمایش حاضر نیز فاصله زمانی کمتر محلول پاشی کود آهن در مرحله غلاف‌بندی با رسیدگی دانه، نسبت به دیگر مراحل فنولوژیکی انتخاب شده برای محلول پاشی، موجب افزایش حرکت آهن از سمت برگ‌ها و غلاف‌ها به سمت دانه شده است. در تیمار Fe<sub>1</sub> که در آن کود آهن اضافه نشده بود، دور از انتظار نیست که مقدار کمتری را به خود اختصاص دهد. اما در مورد تیمار Fe<sub>3</sub> (محلول پاشی در مرحله شاخه‌دهی) می‌توان چنین استنباط نمود که محلول پاشی کود آهن در مرحله شاخه‌دهی، احتمالاً روی صفاتی مانند سطح برگ، شاخه‌دهی و صفات مرتبط با رشد

و کاهش عملکرد در این شرایط (Jalilian *et al*, 2005)، می‌توان موضوع را به کاهش طول دوره رشد و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه نسبت داد. در این شرایط، میزان پروتئین نسبت به کربوهیدرات افزایش می‌یابد (Jalilian *et al*, 2005; Maleki *et al*, 2011). از نظر میزان آهن دانه، با توجه به این که میزان آهن دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با صفات عملکرد بیولوژیک (۰/۳۲)، عملکرد گاه (۰/۳۴) و تعداد غلاف در بوته (۰/۳۶) بوده است، لذا بنا بر همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با صفات مذکور، در نتیجه این موضوع موجب همبستگی مثبت و معنی‌دار میزان آهن دانه با عملکرد دانه (۰/۳۴) شده است. افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف کود آهن می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور آهن، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز، افزایش ریبوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور آهن اشاره نمود (Rahmani *et al.*, 2013; Sharafi *et al.*, 2001).

رویش گیاه بیشتر اثر گذاشته است و اثر کمتری روی میزان آهن دانه داشته است. همچنین مشخص شد مصرف توأم کود آهن به صورت خاک کاربرد و به صورت محلول پاشی (تیمارهای  $Fe_7$  و  $Fe_8$ )، موجب تجمع مقادیر بیشتری از میزان آهن در دانه شد. این نتیجه این ادعا را که ممکن است مصرف خاک کاربرد کود آهن نیز تا حدی بتواند تأثیر مثبتی در افزایش میزان آهن دانه داشته باشد، تأیید می‌نماید.

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی صفات مورد بررسی (جدول ۶) نشان می‌دهد که صفات عملکرد بیولوژیک (۰/۹۷)، شاخص برداشت (۰/۸۶)، عملکرد گاه (۰/۹۵)، تعداد غلاف در بوته (۰/۸۶) و وزن ۱۰۰ دانانه (۰/۷۰) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارند، اما تعداد دانه در غلاف (۰/۰۶) همبستگی منفی و غیرمعنی‌داری با عملکرد دانه داشت. درصد پروتئین دانه همبستگی منفی و معنی‌دار (۰/۵۸-) با عملکرد دانه نشان داد، اما میزان آهن دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه بود. در مورد درصد پروتئین دانه، با توجه به افزایش آن در شرایط تنش (به خصوص تنش خشکی)

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده صفات مختلف در گیاه نخود تحت تأثیر تیمارهای آبیاری تکمیلی و کود آهن  
Table 6. Simple correlation coefficients among different traits in response to supplemental irrigation and Fe fertilizer in chickpea

صفات Traits	(1) عملکرد دانه Grain yield	(2) عملکرد بیولوژیک Biologic yield	(3) عملکرد گاه Straw yield	(4) تعداد غلاف در بوته Pods per plant	(5) تعداد دانه در غلاف Grains per pod	(6) وزن صد دانه 100 grain weight	(7) شاخص برداشت Harvest index	(8) محتوای پروتئین دانه Grain protein content	(9) محتوای آهن دانه Grain Fe content
(1)	1								
(2)	0.979**	1							
(3)	0.956**	0.877**	1						
(4)	0.86**	0.855**	0.805**	1					
(5)	-0.06 <sup>ns</sup>	-0.086 <sup>ns</sup>	-0.018 <sup>ns</sup>	-0.06 <sup>ns</sup>	1				
(6)	0.701**	0.769**	0.551**	0.737**	-0.193 <sup>ns</sup>	1			
(7)	0.868**	0.963**	0.706**	0.835**	-0.16 <sup>ns</sup>	0.877**	1		
(8)	-0.582**	-0.568**	-0.558**	-0.695**	0.161 <sup>ns</sup>	-0.683**	-0.595**	1	
(9)	0.345*	0.32*	0.347*	0.369**	0.065 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	0.338*	-0.206 <sup>ns</sup>	1

ns, \* و \*\*: به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, \* and \*\*: Non-significant, significant at 5% and 1% level of probability, respectively

### نتیجه‌گیری

عملکرد دانه عمدتاً از طریق افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانانه اتفاق افتاد. همچنین، کاربرد کود آهن بر صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد دانه در غلاف، شاخص برداشت، درصد پروتئین دانه و میزان آهن دانه گیاه نخود اثر مثبت و معنی‌دار داشت. تأثیر مثبت کود آهن روی عملکرد دانه

آبیاری تکمیلی عملکرد دانه نخود را از ۵۴۶ به ۲۱۸۴ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. همچنین آبیاری تکمیلی سبب افزایش اجزای عملکرد و سایر صفات مورد بررسی به جز درصد پروتئین دانه گردید. تأثیر مثبت آبیاری تکمیلی روی



مرحله کاشت به همراه محلول پاشی در مرحله غلاف‌بندی بود. بنابراین، به نظر می‌رسد جهت ارتقاء عملکرد کمی و کیفی نخود رقم آزاد، انجام آبیاری تکمیلی و کاربرد کود آهن به صورت خاک کاربرد و محلول پاشی در مرحله گلدهی قابل توصیه باشد.

عمدتاً از طریق افزایش تعداد دانه در غلاف بود. بالاترین مقادیر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در غلاف و درصد پروتئین دانه هنگامی حاصل شد که کود آهن به صورت خاک کاربرد در مرحله کاشت به همراه محلول پاشی در در مرحله گلدهی مصرف شد. همچنین بالاترین محتوای آهن دانه مربوط به تیماری بود که مصرف کود آهن به صورت خاک کاربرد در

## منابع

1. Afshani, S., Amirnia, R., and Hadi, H. 2015. Study effect of foliar application of iron and zinc on yield and yield components of autumn rapeseed (*Brassica napus* L.) under limited irrigation. Iranian Journal of Field Crops Research 13(1): 43-52. (In Persian).
2. Ahmadi, L., Ghobadi, M., Saeidi, M., and Ghaderi, J. 2016. The study of some physiologic and biochemical traits to drought stress and methods of Fe fertilizer application in chickpea. Journal of Plant Process and Function 4(14): 165-176. (In Persian).
3. Anonymous. 2015. Crop Production Statistics. Ministry of Agriculture-Jahad. (In Persian).
4. Bagheri, A., A. Nezami., A., Ganjeali, and Parsa, M. 2001. The Chickpea. Jahad Daneshgahi Mashhad Press. p. 224-251. (In Persian).
5. Bakhsh, A., Malik, S.R., Mohammad, A., Umer, I., and Haqqani, A.M. 2007. Response of chickpea genotypes to irrigated and rain-fed conditions. International Journal of Agricultural and Biological 9: 590-593.
6. Beard, J.L. 2001. Iron biology in immune function, muscle metabolism and neuronal functioning. The Journal of Nutrition 131: 568-580.
7. Briat, J.F. 2007. Iron Dynamics in Plant. In: J.C. Kader & M. Delseny (Eds.). Advances in Botanical Research: Incorporating Advances in Plant Pathology. Vol. 46. Academic Press, London, UK, ISBN 9780123737052, p. 137-180.
8. Bybordi, A., and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae 2(1): 94-103.
9. Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehghani, M., Modarres Sanavi, S.A.M., and Hashemi, S. 2011. The effects of soil and foliar application of Fe on some biochemical characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under two irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science 42(3): 509-518. (In Persian).
10. Farzami Sepehr, M. 2013. The Essentials of Practical Plant Physiology. Jahade-Daneshgahi Mashhad Press. 184 pp. (In Persian).
11. Galeshi, S., Farzaneh, S., and Soltani, A. 2005. Investigation of drought tolerance at seedling stage in forty genotypes of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Crop Breeding Journal 21(1): 65-79. (In Persian).
12. Garnett, T.P., and Graham, R.D. 2005. Distribution and remobilization of iron and copper in wheat. Annals of Botany 95: 817-826.
13. Ghasemi-e-Golozani, K., Fathollahzadeh, M., and Dalil, B. 2004. Effect of Water Deficit on Yield and HI in Chickpea Grain at Tabriz. p. 447. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> Iranian Crop Sciences Congress. Karaj, Iran. (In Persian).
14. Gholinezhad, S. 2018. Effect of drought stress and nano-fertilizer on grain yield, yield components and water use efficiency in dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27(4): 93-105. (In Persian).
15. Gogor Cena, Y., Abadía, J., and Abadía, A. 2004. A new technique for screening iron-efficient genotypes in peach rootstocks elicitation of root ferric chelate reductase by manipulation of external iron concentrations. Journal of Plant Nutrition 27: 1701-1715.
16. Groos, R.J., and Johanson, B.E. 2004. Seed treatment, seeing rate, and cultivar effect on iron deficiency chlorosis of soybean. Journal of Plant Nutrition 24: 1255-1268.

17. Jovkar, L., Ronaghi, A., Karimian, N.A., and Ghasemi Fasaye, R. 2015. Effect of applying different level of Fe and Fe EDDHA on growth and some concentration elements of bean plant in a calcareous soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 6(22): 9-18. (In Persian).
18. Habib, M. 2009. Effect of application of Zn and Fe on wheat yield and quality. *African Journal of Biotechnology* 8: 6795-6798.
19. Hansch, R., and Mendel, R.R. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology* 12: 259-266.
20. Jalilian, J., Modarres Sanavi, S.A.M., and Sabaghpour, S.H. 2005. Effect of plant density and supplemental irrigation of yield, yield components and protein content of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditons. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 12(5): 1-9. (In Persian).
21. Mahmoudi, H., Koyro, H.W., Debez, A., and Adelly, C. 2009. Comparison of tow chickpea varieties regarding their responses to direct and induced Fe deficiency. *Environmental and Experimental Botany* 66: 349-356.
22. Maleki, A., Heidari, A., Siadat, A., Tahmasebi, A., and Fathi, A. 2011. Effect of supplementary irrigation on yield, yield components and protein percentages of chickpea cultivars in Ilam, Iran. *Journal of Crop Ecophysiology* 5(3): 65-75. (In Persian).
23. Mayoral, M., Atsman, L.D., Shimshi, D., and Gromete-Elhanan, Z. 1991. Effect of water stress of enzyme activities on wheat and related wild species: carboxylase activity, electron transport and photophrylation in isolated chloroplast. *Australian Journal of Plan Physiology* 8: 385-393.
24. Mehraban, A. 2017. Effect of foliar application of iron on yield, yield component, and grain protein of lentil crop. *Journal of Iranian Ecophysiological Research* 12(45): 27-37. (In Persian).
25. Mengel, K., and Kirkby, E.A. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. 5<sup>th</sup> Edn. Kluwer Academic Publishers. Translated by Salardini, A., and Mojtahedi, M.
26. Moghadam, H., Dashtaki, M., and Mohammadi, M. 2013. Effects of phosphorous, iron and zinc fertilizers on quantity and quality of turnip (*Brassica napa*) forage. *Iranian Journal of Field Crop Sciences* 43(4): 681-689. (In Persian).
27. Moosivand, M., Khorgami, A., and Rafiei, M. 2009. Evaluation of Fe on growth and yield components in different soybean genotypes. *Crop Physiology Journal* 1(4): 35-45. (In Persian).
28. Nielsen, D.C. 2001. Production function for chickpea, field pea, and lentil in the central great plains. *Agronomy Journal* 93: 563-569.
29. Osborne, B.G., Henry, R., and Southan, M.D. 2007. Assessment of commercial milling performance of hard wheat by measurement of the rheological properties of whole grain. *Journal of Cereal Science* 45: 122-127.
30. Pahlavan-Rad, M., and Pessarakli, M. 2009. Response of wheat plants to zinc, iron, and manganese application and uptake and concentration of zinc, iron, and manganese in wheat grains. *Communications in Soil Sciences and Plant Analysis* 40: 1322-1332.
31. Parsa, M., Ganjeali, A., Rezaiean, A., and Nezami, A. 2011. Effects of supplemental irrigation on yield and growth indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research* 9(3): 310-321. (In Persian).
32. Pezeshkpoor, P., and Mousavi, S.K. 2005. Correlation between drought indices and grain yield in chickpea in optimum condition (autumn sowing) and stress condition (spring sowing). In: *Proceeding of 1<sup>st</sup> Iranian Pulse Crops Symposium*. Mashhad, Iran. Pp. 318. (In Persian).
33. Rahmani, A., Mirza, M., and Tabaei Aghdai, S.R. 2013. Effects of different fertilizaers (macro and micro element) on quantity and quality of essential oil and other byproducts of *Rosa damascena* Mill. in Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 29(4): 747-759. (In Persian).
34. Romheld, V., and Marschner, H. 1991. Function of Micronutrients in Plants. In: J. J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch. *Micronutrients in Agriculture* (2<sup>nd</sup> Ed.). p. 297-328. Madison, WI: SSSA.
35. Saxena, M.C., Malhotra, R.S., and Singh, K.B. 1990. Iron deficiency in chickpea in the Mediterranean region and its control through resistant genotypes and nutrient application. *Plant and Soil* 123: 251-254.

36. Saxena, M.C., and Sheldark, A.R. 2003. Iron chlorosis in chickpea grown on higher pH calcareous vertisol. *Field Crops Research* 3: 211-214.
37. Sharafi, S. Tajbakhsh, M., Majidi, M., and Pourmirza, A.A. 2001. Effect of iron and zinc fertilizers on the yield of two maize cultivars in Urmia. Abstracts of the 7<sup>th</sup> Congress of Soil Science, Iran, 4-7 September. p. 424-425. (In Persian).
38. Tuba Bicer, B., Narin Kolender, A., and Akar, D.A. 2004. The effect of irrigation on spring-sown chickpea. *Journal of Agronomy, Asian Network for Scientific Information* 3: 154-158.
39. Vaziri Kateshori, S., Daneshvar, M., Sohrabi, A., and Nazarian Firoz Abadi, F. 2014. Effects of foliar application of P, Zn and Fe on grain yield and yield components of chickpea. *Agricultural Crop Management* 15(2): 17-30. (In Persian).
40. Wiersma, J.V. 2005. High rates of Fe-EDDHA and seed iron concentration suggest partial solution to iron deficiency in soybean. *Agronomy Journal* 97: 924-934.
41. Yassen, A., Abou El-Nour, E.A.A., and Shedeed, S. 2010. Response of wheat to foliar spray with urea and micronutrients. *Journal of American Science* 6(9): 14-22.
42. Zhang, Y., Shi, R., Rezaul, K.M.D., Zhang, F., and Chunqin. Z. 2010. Iron and Zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 58: 12268-12274.

## The effect of supplemental irrigation, time and methods of Fe fertilizer application on qualitative and quantitative traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Ahmadi<sup>1</sup>, L., Ghobadi<sup>2\*</sup>, M., Saeidi<sup>2</sup>, M. & Ghaderi<sup>3</sup>, J.

1. Department of Plant Production and Genetics Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, loghmanahamdi2004@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, (m.ghobadi@yahoo.com; msaeidi667@gmail.com, respectively)
3. Assistant Professor, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, ghaderij@yahoo.com

Received: 1 November 2017

Accepted: 29 March 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.68262

### Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important grain legumes in the south Asia and WANA (West Asia North Africa). In Iran, chickpea is the most important pulse crop of rain-fed systems, traditionally grown in rotation with wheat and barley. The annual cultivation and production of chickpea in Iran is about 0.5 million hectares and 270 thousand tons, respectively. High protein content in chickpea seed (about 20-30%) makes it a good food source for developing countries and low-income people. Among the micro-nutrients, iron (Fe) is used more for plants. Fe deficiency has adverse effects on plant morphology and physiology. Earlier studies have shown that Fe deficiency reduced seed yield in chickpea, soybeans, rapeseed and wheat. In a study, application of iron fertilizer increased the branching and yield components of chickpea. In another study, application of iron fertilizer increased the branching and yield components of chickpea. A study showed that Fe deficiency reduced the water use efficiency of chickpea. In another study, iron sulfate foliar application improved the symptoms of Fe deficiency and increased the yield in low-yielding cultivars, but did not have much effect on high yielding cultivars. Foliar application of iron sulfate also increased the seed iron content. The objective of this research was to study the effects of Fe fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of chickpea. Comparison of time and methods of Fe fertilization in chickpea was another aim of this study.

### Materials & Methods

This research was carried out at the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, in 2011. The experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design with three replications. Dryland conditions and supplementary irrigation were considered as the main factors as well as the time and methods of application of Fe fertilizer as the sub factors. Fe fertilizer treatments included as follow: without application of Fe fertilizer (Fe<sub>1</sub>), soil application of Fe fertilizer during planting (Fe<sub>2</sub>), Fe spraying at branching stage (Fe<sub>3</sub>), Fe spraying during flowering (Fe<sub>4</sub>) Fe spraying during pod filling (Fe<sub>5</sub>), Fe soil application+Fe spraying at branching stage (Fe<sub>6</sub>), Fe soil application+Fe spraying during flowering (Fe<sub>7</sub>), Fe soil application+Fe spraying during pod filling (Fe<sub>8</sub>). For irrigation treatment, two supplemental irrigations were performed at flowering and podding stages of chickpea. For rainfed conditions, these irrigations were prevented. To soil application, Fe-EDDHA (OMEX Company, Germany) as much as 10 Kg ha<sup>-1</sup> was used. For leaf spraying, a solution of iron sulfate (Cavin Company, Iran) was used as much as 1 lit ha<sup>-1</sup>. The planting date was March 15, 2011. The density was 50 plants per square meter. Each plot consisted of six rows, five meters long, 25 cm distance between two rows.

### Results & Discussion

The results showed that the supplementary irrigation had significant effects on biological yield, grain yield, harvest index, straw yield, the number of pods per plant, 100 seed weight and seed protein content. For

\* Corresponding Author: m.ghobadi@yahoo.com

these traits, the supplementary irrigation treatment was superior to rainfed conditions. However, supplementary irrigation did not have significant effects on the number of seeds per pod, grain iron content and grain fiber content. The effect of Fe fertilizer on biological yield, grain yield, harvest index, the number of seeds per pod, grain iron content and grain protein content were significant. Straw yield, the number of pods per plant, 100 seed weight and grain fiber content were not influenced by time and methods of Fe fertilizer. The highest grain yield ( $1614 \text{ Kg ha}^{-1}$ ), biological yield ( $3683 \text{ Kg ha}^{-1}$ ), the number of seeds per pod (1.45 seeds) and seed protein content (27.72%) were obtained in Fe<sub>7</sub> treatment. Fe<sub>8</sub> treatment had the highest seed iron content.

**Conclusion**

The supplemental irrigation improved seed yield and its components. Also, supplementary irrigation increased the seed iron content, but reduced the seed protein content. The time and methods of application of Fe fertilizer increased the quantitative and qualitative grain yield. Therefore, it seems that in order to increase the quantitative and qualitative grain yield of chickpea, the supplementary irrigation with application of Fe fertilizer (as soil and foliar application) can be recommended.

**Keywords:** Grain yield, Seed iron content, Seed protein, Supplemental irrigation, Yield components