

## تأثیر عناصر کم مصرف بر رشد و عملکرد لوبیا چیتی تحت تیمارهای قطع آبیاری

محسن رشدی\*، داریوش بویاقچی و ساسان رضادوست<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۲۳)

## چکیده

به منظور بررسی تأثیر عناصر کم مصرف و قطع آبیاری در مراحل مختلف نمو بر برخی خصوصیات رویشی و عملکرد لوبیا چیتی رقم تلاش، آزمایشی طی سال ۱۳۸۸ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان خوی اجرا گردید. این آزمایش به صورت بلوک‌های خرد شده نواری در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (آبیاری معمول (شاهد)، قطع یک نوبت آبیاری در مرحله غلاف‌بندی، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و مصرف عناصر کم مصرف (بور، روی و منگنز) به عنوان عامل فرعی در چهار سطح (مصرف خاکی، یک‌بار محلول‌پاشی، دو بار محلول‌پاشی و شاهد (عدم مصرف عناصر ریزمغذی)) بودند. نتایج نشان داد که تأثیر سطوح آبیاری بر میانگین صفات ارتفاع اولین شاخه از سطح زمین، قطر ساقه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و میزان پروتئین دانه معنی‌دار بود. با قطع آبیاری طی مراحل غلاف‌بندی و پر شدن دانه، عملکرد دانه از ۲۶۴۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری معمول به ترتیب به ۱۲۶۹ و ۱۹۲۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. تیمار عناصر کم مصرف نیز بر میانگین صفات تعداد شاخه در بوته، ارتفاع اولین شاخه از سطح زمین، قطر ساقه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد پروتئین تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین عملکرد دانه در تیمار دو بار محلول‌پاشی بود که با میانگین ۲۳۷۹ کیلوگرم در هکتار، نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود) ۸۹۳ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد. بیشترین میزان پروتئین دانه (میانگین ۲۶/۸٪) در تیمار شاهد آبیاری و دو بار محلول‌پاشی کود به دست آمد. نتایج کلی تحقیق نشان داد که به دلیل حساسیت زیاد لوبیا چیتی به کم‌آبی، آبیاری معمول همراه با محلول‌پاشی عناصر کم مصرف طی دو مرحله برای بهبود رشد انجام پذیرد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات رشد، عناصر ریزمغذی، پروتئین، عملکرد بیولوژیک

۱. به ترتیب استادیار، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: roshdi1349@yahoo.com

## مقدمه

لوییا، علاوه بر این که در کشورهای در حال توسعه به عنوان یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در کشورهای پیشرفته نیز به عنوان مکمل غذایی دارای مصرف زیادی است. در ایران، سطح زیر کشت حبوبات بالغ بر ۱/۰۴ میلیون هکتار بوده که از این میزان ۸۲٪ به صورت دیم و بقیه آبی است. نخود با ۶۳٪ بیشترین سطح زیر کشت را دارد و بعد از آن عدس و لوییا (به ترتیب ۲۲ و ۱۱/۵ درصد از سطح زیر کشت) قرار دارند (۱۴). موهوک و همکاران (۱۹) اثر تنش خشکی را در مراحل مختلف فنولوژیک بر اجزای عملکرد لوییا مطالعه نمودند. آنها دوره رشد لوییا را به هفت مرحله (از تولید جوانه تا انتهای پرشدن دانه) تقسیم نمودند. گیاهان در مرحله توسعه جوانه، گل‌دهی و تشکیل میوه در مقایسه با دوره طویل شدن غلاف و پرشدن دانه، نسبت به تنش خشکی حساس‌تر بودند. تنش در مرحله توسعه جوانه‌ها موجب ریزش گل‌ها و کاهش تعداد غلاف‌ها می‌شد و تعداد غلاف در مقایسه با تعداد دانه در غلاف حساسیت بیشتری به تنش نشان داد. سینگ (۲۴) به منظور بررسی اثرهای خشکی، تحقیقی را روی لوییا انجام داد و گزارش نمود که میانگین کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی ۶۰٪ و کاهش وزن دانه ۱۴٪ بود. هایس و سینگ (۵) گزارش نمودند که خشکی، عملکرد دانه لوییا را ۶۸٪ و وزن دانه را ۱۱٪ کاهش داده است. جرمن و تران (۴) بیان داشتند که خشکی باعث کاهش بیوماس، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن دانه لوییا می‌شود. شکاری (۲۳) طی بررسی صفات متحمل به خشکی در لوییا اظهار داشت که بیشترین کاهش عملکرد دانه با اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی و پس از آن در مرحله غلاف‌بندی مشاهده گردید. کاهش عملکرد در مرحله گل‌دهی می‌تواند به دلیل ریزش گل و سقط دانه‌های تازه تشکیل شده باشد که باعث کاهش تعداد غلاف شده و در مرحله غلاف‌بندی به دلیل کاهش در وزن ۱۰۰ دانه می‌باشد.

ایشان هم‌چنین بیان نمودند که عملکرد بیولوژیک و عملکرد اقتصادی تحت تأثیر زمان اعمال تنش قرار گرفتند و

بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار شاهد بود. جلیلیان و خداینده (۸) دریافتند که تحت شرایط تنش در مراحل گل‌دهی و پرشدن غلاف، اکثر صفات کاهش یافته و بیشترین خسارت وارده به عملکرد دانه را ناشی از ریزش گل‌ها عنوان کردند و کاهش وزن ۱۰۰ دانه بر اثر تنش در مرحله پرشدن غلاف نیز قابل ملاحظه بود. نیلسن و نلسون (۲۱) گزارش کردند که وقوع تنش خشکی در لوییا در طول مدت گل‌دهی و پرشدن دانه موجب کاهش عملکرد دانه و تسریع در رسیدگی می‌گردد. تنش در مرحله زایشی باعث کاهش عملکرد دانه در اثر کاهش در تعداد غلاف در بوته و یا تعداد دانه در غلاف شد. تنش در مرحله رویشی تأثیری بر عملکرد دانه نداشت و کمترین عملکرد زمانی تولید شد که تنش در مرحله زایشی یا پرشدن دانه رخ داد.

ولج و همکاران (۲۶) گزارش نموده‌اند که ۴۰٪ از جمعیت جهان از کمبود عناصر کم‌مصرف رنج می‌برند. مصرف عناصر ریزمغذی به دلیل وارد شدن آنها به قسمت‌های خوراکی گیاهان مانند دانه گندم، جو، ذرت و حبوبات و قسمت‌های خوراکی سبزی‌ها و علوفه، در افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی نقش دارند (۱۵). مطالعات مورگان و گرافتون (۱۸) در مورد مصرف روی در ارقام حساس و مقاوم لوییا نشان داد که کمبود روی منجر به تأخیر در رسیدگی ارقام حساس می‌گردد. حجازی و همکاران (۶) ملاحظه نمودند که حداکثر عملکرد دانه لوییا با مصرف کودهای آهن، روی و منگنز به صورت محلول‌پاشی قبل و بعد از گل‌دهی حاصل می‌گردد. افزایش پروتئین با کاربرد عناصر کم مصرف آهن، روی و منگنز توسط نوایی و ملکوتی (۲۰) و مجیدی و ملکوتی (۱۳) گزارش شده است. نتایج مطالعات محمدی و فرزنان (۱۷) در گیاه لوییا چیتی رقم تلاش نشان داد که اثر مصرف کود روی بر عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود، اما بر تعداد غلاف در بوته تأثیر معنی‌داری نداشت. حداکثر عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه در تیمار مصرف ۱/۲۵ برابر کود روی به میزان توصیه شده و با میانگین ۲۸۹۲/۴ کیلوگرم در هکتار و ۳۶/۹۴ گرم به‌دست آمد.

روی با توجه به مقادیر توصیه شده ۵، ۲۰ و ۲۵ کیلوگرم در هر هکتار مصرف گردیدند. در محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف، عنصر بور به نسبت ۳ در هزار و عناصر روی و منگنز به نسبت ۵ در هزار در دو مرحله مصرف گردیدند. مرحله اول محلول‌پاشی طی تکمیل رشد رویشی و اوایل گل‌دهی و مرحله دوم آن طی مرحله غلاف‌بندی، یعنی زمانی که ۷۵٪ بوته‌های کرت‌ها در مرحله غلاف‌بندی بودند، صورت پذیرفت.

محلول‌پاشی با غلظت‌های مذکور توسط سمپاش پستی ۲۰ لیتری اعمال شد. به طوری که اندام هوایی کل بوته‌های کرت مورد نظر به کودها آغشته گردید. آبیاری واحدهای آزمایشی هر بار به صورت نشتی و بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشت تبخیر کلاس A با استفاده از لوله‌های سیفونی انجام گرفت. هر کرت فرعی شامل ۴ ردیف کاشت به طول ۴ متر و فاصله ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود و تراکم ۶۶۶۶۷ بوته در هکتار تنظیم گردید. از ویژگی‌های رقم تلاش لوبیا چیتی، متوسط‌رس بودن (۱۰۵ روز)، تیپ رشدی نامحدود رونده، با ارتفاع بوته ۹۰-۸۵ سانتی‌متر، رنگ گل صورتی، شکل بذر بیضی، وزن هزار دانه ۳۸۰ گرم، متوسط عملکرد ۳/۱ تن در هکتار، نیمه مقاوم به کنه و مقاوم به بیماری‌های ویروسی است (۱۴). قبل از نمونه‌برداری گیاهان، اثر حاشیه‌ای حذف و سپس صفات ارتفاع اولین شاخه از سطح زمین، قطر ساقه، تعداد شاخه در بوته، تعداد غلاف در هر شاخه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه در واحد سطح، تعداد دانه در غلاف و درصد پروتئین مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های به‌دست آمده، با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTATC تجزیه واریانس شده و سپس میانگین‌های حاصله با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه گردیدند. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

## نتایج و بحث

### الف) تعداد شاخه در بوته

تعداد شاخه در بوته تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و اثر متقابل آبیاری و کود قرار نگرفت (جدول ۲). جدول ۲ نشان می‌دهد که مصرف کود اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه در بوته

همتی (۷) طی یک بررسی دو ساله روی کاربرد خاکی و محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر عملکرد و پروتئین لوبیا اظهار نمود که در سال اول از نظر عملکرد دانه بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. در عین حال، حداکثر متوسط عملکرد با کاربرد خاکی ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آهن و ۴۰ کیلوگرم سولفات روی و منگنز و یک مرتبه محلول‌پاشی عناصر فوق با غلظت ترکیبی ۶ در هزار حاصل گردید. این میزان افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد ۵۲٪ بود. ارزیابی اقتصادی تیمارهای آزمایشی نیز نشان داد که مصرف خاکی عناصر فوق دارای توجیه اقتصادی و محلول‌پاشی آنها فاقد توجیه اقتصادی بود. در همین راستا، آزمایش حاضر به منظور بررسی اثر توأم قطع آبیاری در مراحل مختلف نمو و محلول‌پاشی عناصر بور، روی و منگنز بر خصوصیات رویشی و عملکرد دانه لوبیا چیتی انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر طی سال ۱۳۸۸ در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان خوی با طول جغرافیایی ۵۵' ۴۴° شرقی، عرض جغرافیایی ۳۳' ۳۸° شمالی و ارتفاع ۱۱۰۳ متر از سطح دریا اجرا گردید. برای مشخص شدن بعضی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح، قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک تهیه گردید. نتایج به شرح جدول ۱ می‌باشد. عملیات کاشت لوبیا چیتی، رقم تلاش، در خرداد ماه انجام گرفت. آزمایش به صورت بلوک‌های خرد شده نواری در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این تحقیق سطوح آبیاری به عنوان عامل اصلی در سه سطح (شامل آبیاری معمول (شاهد)، قطع یک نوبت آبیاری در مرحله غلاف‌بندی و قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی) و مصرف عناصر کم‌مصرف (اسید بوریک، سولفات روی و سولفات منگنز) به عنوان عامل فرعی در سه سطح (شامل مصرف خاکی عناصر، یک بار محلول‌پاشی، دو بار محلول‌پاشی و تیمار شاهد (عدم مصرف عناصر کم‌مصرف) بود. اسید بوریک، سولفات منگنز و سولفات

جدول ۱. مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

مس (mg/kg)	روی (mg/kg)	منگنز (mg/kg)	آهن (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	کربن آلی (mg/kg)	درصد مواد خنثی	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS/m)	درصد اشباع	عمق نمونه برداری (سانتی متر)
۲/۵۲	۰/۴۶	۶/۲	۹/۴	۲۴۰	۶/۹	۰/۸۸	۱۷/۸	۸/۱	۰/۸	۴۴	۰-۳۰
۲/۵۸	۰/۵۴	۶/۹	۹/۳	۲۵۰	۶/۴	۰/۸۴	۱۶/۸	۸/۲	۰/۸۱	۴۶	۳۰-۶۰

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس برخی صفات آزمایشی در لوبیا چیتی، رقم تلاش

درصد پروتئین	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییر
			قطر ساقه	تعداد شاخه از زمین	تعداد غلاف در ارتفاع اولین شاخه از بوته		
۳/۷۵	۸۴۲۵/۱۰۲	۵۵۰۴۱۹/۳۱	۱/۰۹۴	۱/۷۴	۰/۴۵	۰/۸۶	تکرار
۳/۵۹**	۱۷۸۷۷۳۶۸/۵۵*	۵۷۰۱۱۲۷/۵۱*	۳/۵۷*	۴/۹۵*	۴/۹۴ <sup>ns</sup>	۲/۶۷ <sup>ns</sup>	قطع آبیاری
۰/۱۴	۱۸۰۰۱۲/۲۹	۵۴۵۱۹۲/۲۱	۰/۴۴	۰/۳۹	۰/۹۹	۱/۰۷	خطا (a)
۱۹/۹۸**	۲۸۵۶۴۵/۳۴**	۱۵۸۹۰۱۹/۳۸**	۷/۱۶*	۴/۴۳*	۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۹/۹۱**	کود
۰/۲۱	۱۱۶۰۲۲/۶۷	۳۸۶۶۹/۳۹	۱/۱۱	۰/۶۳	۰/۰۶	۰/۱۷	خطا (b)
۲/۱۱**	۷۸۶۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۱۰۳۴۲/۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۲۶ <sup>ns</sup>	۱/۲۵*	۰/۵۳*	۰/۴۵ <sup>ns</sup>	آبیاری × کود
۰/۲۷	۳۷۲۰۴/۳۹	۴۱۷۶۰/۳۸	۰/۱۴	۰/۳۲	۰/۱۵	۰/۳۰	خطا (c)
۲/۱۳	۳/۵۳	۱۰/۵۰	۴/۷۶	۱۰/۲۳	۱۱/۰۳	۹/۱۹	ضرب تغییرات (%)

\*\* و \* PIS به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱/ و ۵/ و عدم تفاوت معنی دار

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر ساده سطوح آبیاری و نحوه مصرف عناصر کم‌مصرف بر برخی صفات آزمایشی لویا چیتی

فاکتورهای آزمایشی	تعداد شاخه در بوته	ارتفاع اولین شاخه از زمین (cm)	قطر ساقه (mm)	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	پروتئین (%)
آبیاری						
شاهد	۶/۴ <sup>a</sup>	۵/۳ <sup>b</sup>	۸/۲۴ <sup>a</sup>	۲۶۴۷ <sup>a</sup>	۶۷۵۶ <sup>a</sup>	۲۵/۲۰ <sup>a</sup>
قطع آبیاری در مرحله غلاف‌بندی	۵/۵ <sup>a</sup>	۵/۰ <sup>b</sup>	۷/۱۵ <sup>b</sup>	۱۲۶۹ <sup>c</sup>	۴۳۲۸ <sup>b</sup>	۲۴/۴۰ <sup>b</sup>
قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه	۶/۱ <sup>a</sup>	۶/۲ <sup>a</sup>	۷/۷۳ <sup>ab</sup>	۱۹۲۰ <sup>b</sup>	۵۳۲۷ <sup>b</sup>	۲۴/۱۰ <sup>b</sup>
کود						
شاهد	۵/۰ <sup>c</sup>	۴/۶ <sup>b</sup>	۶/۸۹ <sup>b</sup>	۱۴۸۶ <sup>b</sup>	۴۸۳۱ <sup>b</sup>	۲۲/۸ <sup>c</sup>
مصرف خاکی	۵/۲ <sup>c</sup>	۵/۴ <sup>ab</sup>	۷/۰۹ <sup>ab</sup>	۱۷۰۳ <sup>b</sup>	۵۱۸۶ <sup>b</sup>	۲۳/۹ <sup>b</sup>
محلول‌پاشی (یک بار)	۶/۴ <sup>b</sup>	۵/۹ <sup>a</sup>	۸/۰۵ <sup>a</sup>	۲۲۱۳ <sup>a</sup>	۵۷۹۸ <sup>a</sup>	۲۵/۶ <sup>a</sup>
محلول‌پاشی (دو بار)	۷/۳ <sup>a</sup>	۶/۲ <sup>a</sup>	۸/۸۱ <sup>a</sup>	۲۳۷۹ <sup>a</sup>	۶۰۶۶ <sup>a</sup>	۲۶/۰ <sup>a</sup>

اعداد هر ستون (تیمارهای آبیاری یا کود) که دارای حروف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

به شرایط محیطی دارد. عمل تثبیت نیتروژن در مناطق خشک و فقیر از مواد غذایی و دارای شرایط آب و هوایی نامطلوب کمتر صورت می‌گیرد (۱۰). استفاده از عناصر کم‌مصرف، به‌خصوص به‌صورت محلول‌پاشی، می‌تواند در افزایش فعالیت هورمون‌ها، تثبیت نیتروژن و در نتیجه افزایش تعداد شاخه در بوته تأثیر به‌سزایی داشته باشد. مصرف عناصر ریزمغذی به‌صورت خاکی احتمالاً به علت تثبیت و غیرمتحرک شدن عناصر، به ویژه در خاک‌های قلیایی، تأثیر کمتری را داشته است (۱۵).

#### ب) ارتفاع اولین شاخه از زمین

ارتفاع اولین شاخه از سطح زمین تحت تأثیر سطوح آبیاری، مصرف کود و اثر متقابل این دو فاکتور قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی بود. دو سطح محلول‌پاشی یک و دو بار دارای بیشترین ارتفاع اولین شاخه از سطح زمین بودند و کمترین مقدار این صفت مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۴/۶ سانتی‌متر بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل دو فاکتور نشان داد که یک‌بار محلول‌پاشی در تیمار قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی با میانگین ۷/۴ سانتی‌متر دارای بیشترین ارتفاع اولین شاخه از سطح زمین

داشت و تعداد شاخه در بوته را افزایش داد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد که تیمارهای شاهد و مصرف خاکی کودهای ریزمغذی در پایین‌ترین گروه آماری قرار داشتند و تیمار محلول‌پاشی کود به تعداد دو بار بیشترین میانگین (۷/۳) شاخه در بوته را دارا بود (جدول ۳). علت عدم تفاوت اثر سطوح مختلف آبیاری بر تعداد شاخه در بوته را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که در مراحل انتهایی رشد، از رشد رویشی گیاه کاسته شده و رشد زایشی افزایش می‌یابد. هم‌چنین به علت ایجاد شرایط کم‌آبی، عمل تولید نیتروژن توسط گیاه مختل شده و دچار اشکالاتی می‌گردد. با توجه به نتایج مذکور، مشاهده می‌گردد که بر اثر اعمال تنش خشکی، تعداد شاخه‌های بوته کاهش معنی‌داری نیافته، که هم به علت ایجاد شرایط کمبود نیتروژن بر اثر خشکی و هم به علت این می‌باشد که زمان اعمال تنش تقریباً از اوایل رشد زایشی گیاه (کاهش رشد سریع رویشی) می‌باشد. به همین علت، سطوح آبیاری نتوانسته‌اند اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه در بوته داشته باشند. تعداد شاخه‌های جانبی در غلات و حبوبات به عوامل زیادی مانند ژنوتیپ گیاه، تراکم کشت، مواد غذایی موجود در خاک، نور و رطوبت بستگی دارد. هم‌چنین عمل نیتریفیکاسیون در حبوبات بستگی

بیشترین و کمترین قطر ساقه بودند (جدول ۳). در بین سطوح مصرف کود، بیشترین و کمترین قطر ساقه مربوط به تیمارهای دو بار محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و شاهد (عدم مصرف) بود (جدول ۳). اثر متقابل آبیاری و مصرف کود بر قطر ساقه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که قطر ساقه طی دوره رشد و نمو تحت تأثیر عوامل محیطی مختلف قرار دارد. تنظیم‌کننده‌های رشد (اکسین و جیبرلین)، نور، طول روز، تراکم و آرایش کاشت و عوامل محیطی نظیر دما و رطوبت از عوامل تأثیرگذار بر رشد و نمو ساقه از جمله قطر ساقه می‌باشند (۱۰). تنش در مرحله رویشی باعث کاهش رشد رویشی و کاهش ادامه رشد ساقه اصلی در لوبیا شد، که بعد از آبیاری مجدد رشد ساقه‌های فرعی و در نتیجه ساقه‌های گل‌دهنده تحریک گردید (۲۳). کاهش رشد رویشی شامل کاهش طول و قطر ساقه می‌باشد که می‌تواند به علت کاهش اندازه و تعداد سلول‌ها باشد. کاهش آبیاری باعث کاهش فعالیت برخی از آنزیم‌ها می‌گردد. همچنین به نظر می‌رسد که مصرف عناصر ریزمغذی در شرایط محلول‌پاشی با تأثیر بر سنتز آنزیم‌های محرک رشد، باعث افزایش رشد و تعداد سلول‌ها می‌گردد.

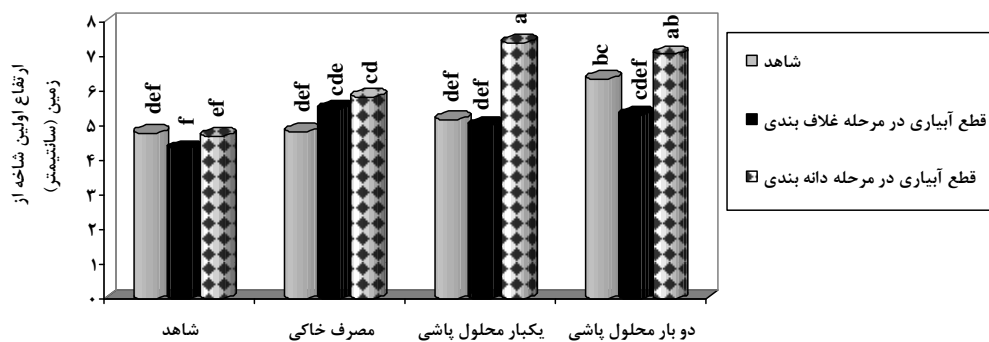
#### د) تعداد غلاف در شاخه اولیه

سطوح مختلف آبیاری و مصرف کود تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف در شاخه نداشت (جدول ۲). اما اثر متقابل سطوح آبیاری و مصرف کود تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف در شاخه نداشت (جدول ۲). کمترین و بیشترین تعداد غلاف در شاخه مربوط به تیمار عدم مصرف کود با قطع آبیاری در مرحله غلاف‌بندی و یک بار محلول‌پاشی در تیمار آبیاری شاهد بود. نتایج نشان داد که کمترین تعداد غلاف در شاخه در تمام تیمارهای کودی مربوط به قطع آبیاری در مرحله غلاف‌بندی بود (شکل ۲). قطع آبیاری در شروع مرحله زایشی، با خشک کردن دانه‌های گرده، باعث عدم گرده‌افشانی و در نتیجه سقط گل‌ها و متعاقب آن کاهش تعداد غلاف‌های تشکیل یافته و همچنین تعداد دانه در

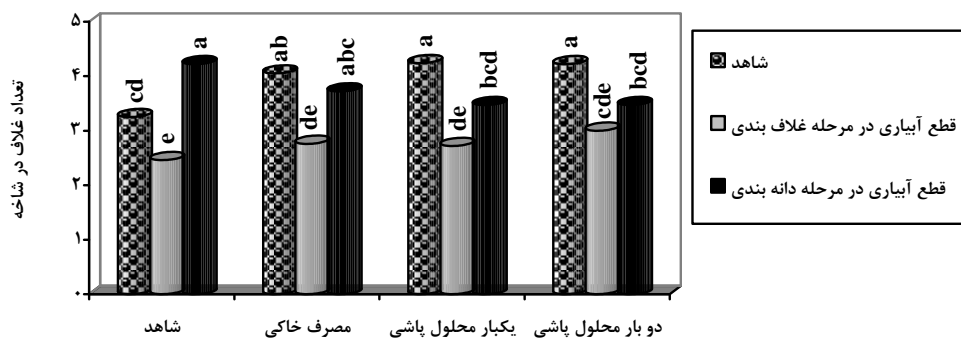
بود و کمترین مقدار این صفت با میانگین  $4/33$  سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد کودی با قطع آبیاری طی مرحله غلاف‌بندی بود (شکل ۱). رشد سلولی در گیاه نسبت به کمبود آب بسیار حساس است. کاهش پتانسیل آب بافت‌های مرستمی غالباً موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول می‌شود. این امر موجب کاهش سنتز پروتئین و تنزل رشد و بزرگ شدن سلول می‌شود. رشد طولی ساقه می‌تواند نتیجه فعالیت مرستم میان‌بافتی میانگره‌ها باشد. طول میانگره نیز به علت افزایش تعداد و عمدتاً اندازه سلول‌ها، افزایش می‌یابد (۱۰). به نظر می‌رسد که قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی تأثیری بر ارتفاع اولین شاخه از سطح زمین نداشته باشد، زیرا قبل از این مراحل شاخه‌های اولیه تشکیل یافته‌اند و بخش پایینی ساقه اصلی رشد خود را کامل کرده و بر اثر شرایط تنش طی مرحله دانه‌بندی نه از تعداد سلول‌ها و نه از اندازه آنها کاسته می‌شود. طبق گزارش ملکوتی و طهرانی (۱۵) در مورد این که کمبود روی به علت تأثیر بر بیوسنتز اکسین می‌تواند باعث کوتاه شدن فاصله میانگره‌ها و کوتولگی گیاه شود، صحت نتایج به دست آمده تأیید می‌شود. هر عاملی که باعث کاهش جذب عناصر ریزمغذی از قبیل آهن، روی و منگنز شود باعث کاهش ارتفاع ساقه می‌شود و فراهم نمودن این عناصر غذایی به شکل مصرف برگی در خاک‌های شور و یا آهنکی می‌تواند باعث افزایش ارتفاع ساقه شود (۹). به نظر می‌رسد که مصرف عناصر کم‌مصرف در مراحل رشد گیاه باعث سنتز اکسین و در نتیجه افزایش ارتفاع بوته در اثر افزایش تعداد سلول‌ها و اندازه آنها می‌گردد (۱۵) و سپس فاصله اولین شاخه از سطح زمین افزایش می‌یابد.

#### ج) قطر ساقه

قطر ساقه تحت تأثیر اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و مصرف کود قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه سطوح مختلف آبیاری نشان داد که تیمارهای آبیاری شاهد و قطع آبیاری در مرحله غلاف‌بندی به ترتیب با میانگین  $7/15$  و  $8/24$  میلی‌متر دارای



شکل ۱. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح آبیاری و مصرف کود بر ارتفاع اولین شاخه از سطح زمین



شکل ۲. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح آبیاری و مصرف کود بر تعداد غلاف در شاخه

لویا چیتی دارای عادت رشد غیر انتهایی می‌باشد و غلاف‌دهی برخی از شاخه‌های فرعی آن می‌تواند تا دانه‌بندی ساقه اصلی و شاخه‌های پایین بوته ادامه داشته باشد، لذا قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی در کرت‌های تحت این تیمار تا حدودی باعث کاهش تعداد غلاف در بوته نسبت به تیمار شاهد شد، که این موضوع در شکل ۲ مشهود است.

#### ه) عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۲). با قطع آبیاری در هر یک از مراحل غلاف‌بندی و دانه‌بندی، عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد کاهش می‌یابد. بدین ترتیب که با قطع آبیاری در مراحل غلاف‌بندی و دانه‌بندی، عملکرد دانه از ۲۶۴۷/۱

غلاف می‌گردد. هم‌چنین با اعمال تنش خشکی یا کم‌آبی در مرحله گل‌دهی، طول دوره گل‌دهی کاهش یافته و همین عامل نیز می‌تواند بر کاهش تعداد غلاف در بوته مؤثر باشد. در مرحله غلاف‌بندی نیز اعمال تنش ممکن است باعث ریزش غلاف‌های جوان گردد. هم‌چنین مصرف کودهای کم‌مصرف موجب افزایش سنتز برخی آنزیم‌های محرک رشد می‌گردد که موجب افزایش لقاح گل‌ها و در نتیجه افزایش تعداد غلاف‌های لقاح یافته می‌شود. در این صفت، آبیاری شاهد و دو بار محلول‌پاشی دارای بیشترین مقدار در حالت اثر ساده بودند. ولی این دو معنی‌دار نشدند. درحالی‌که در اثر متقابل، این دو با هم حالت افزایشی پیدا کرده و در نتیجه معنی‌دار گردید. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، تیمارهای محلول‌پاشی در تیمار آبیاری شاهد دارای بیشترین تعداد غلاف در شاخه بودند. نظر به این که

موارد تعیین کننده، مرحله مصرف عناصر غذایی می باشد، یعنی مرحله ای که طی آن مشخص می شود چه مقدار از مواد غذایی جذب شده توسط گیاه در تشکیل عملکرد استفاده شده است (۲). طی دو بار محلول پاشی عناصر ریزمغذی، برگ های جدیدی که در لوبیا بعد از محلول پاشی اول به وجود می آید و نتوانسته اند از مواد کم مصرف در بار اول استفاده نمایند، در بار دوم این مواد را جذب می نمایند. هم چنین تأثیر عناصر ریزمغذی بر عملکرد دانه به این صورت توجیه می گردد که این عناصر با افزایش میزان فتوسنتز و بهبود دوام سطح برگ باعث افزایش عملکرد دانه می گردند (۲۲). کولیگ و زیولک (۱۲) با مصرف ۲ الی ۳ لیتر از کودهای تجاری حاوی عناصر کم مصرف به نام فلوویت، افزایش معنی دار در عملکرد، تعداد غلاف در گیاه و تعداد دانه در غلاف به دست آورد. نتایج آزمایش ملکوتی (۲۶)، حجازی و همکاران (۶) و محمدی و فرزنان (۱۷) نشان داد که با مصرف بهینه کودها، خصوصاً عناصر کم مصرف در مزارع حبوبات، افزایش عملکرد بر اثر افزایش اجزای عملکرد حاصل می گردد.

#### و) عملکرد بیولوژیک

سطوح مختلف آبیاری و مصرف کود تأثیر معنی داری بر عملکرد بیولوژیک داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین ها نشان داد که تیمار شاهد بیشترین عملکرد بیولوژیک را داشت و دو سطح قطع آبیاری در مراحل غلاف بندی و دانه بندی در گروه آماری مشابه و پایین تر قرار گرفتند (جدول ۳). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار دو بار محلول پاشی با میانگین ۶۰۶۶/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) با میانگین ۴۸۳۱/۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک بیانگر عدم اختلاف معنی دار بین سطوح مختلف اثر متقابل آبیاری و مصرف کود کم مصرف بود (جدول ۲). در مراحل نمو، تنش بسیار جزئی می تواند سرعت رشد برگ و در

کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد آبیاری به ترتیب به ۱۲۶۹/۳ و ۱۹۲۰/۶ کیلوگرم در هکتار کاهش می یابد که حدود ۵۲ و ۲۷ درصد کاهش نشان می دهد (جدول ۳). عملکرد دانه در سطوح مختلف مصرف کود اختلاف معنی داری با هم نشان دادند (جدول ۲). کمترین و بیشترین عملکرد دانه به ترتیب در دو تیمار شاهد و دو بار محلول پاشی با میانگین ۱۴۸۶/۵ و ۲۳۷۹/۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۳). اثر متقابل دو عامل آبیاری و مصرف کود بر عملکرد دانه معنی دار نبود (جدول ۲). به نظر می رسد سطوح مختلف دو عامل به طور مستقل از یکدیگر عمل نموده و تأثیر تشدیدکننده یا تضعیف کننده در حد معنی دار آماری نداشتند.

کمبود آب در دوره رشد سبب کاهش سطح برگ شده و به علت وجود همبستگی شدید بین سطح برگ و عملکرد، محصول دانه کاهش خواهد یافت (۱۰). از سوی دیگر، گونه های رشد نامحدود به علت آن که استعداد گل دهی برای مدت طولانی را دارند به اندازه گیاهان رشد محدود نسبت به تنش آب حساس نیستند. تنش های شدید ولی کوتاه مدت اگر چه موجب ریزش گل ها می گردد لیکن چون گیاه دوباره اقدام به تولید گل می نماید عملکرد آن کمتر کاهش می یابد. در گیاهی مانند سویا، حساس ترین مرحله اواخر غلاف بندی تا اواسط دانه بندی می باشد (۱۰). در این آزمایش با توجه به داده های جدول ۳، تأثیر تنش خشکی (قطع آبیاری) در مرحله غلاف دهی شدیدتر از دانه بندی بود. شکاری (۲۳) نیز در بررسی صفات متحمل به خشکی در لوبیا چیتی اظهار داشت که بیشترین کاهش در عملکرد دانه بعد از مرحله گل دهی، در مرحله غلاف بندی مشاهده می گردد و کاهش عملکرد در مرحله گل دهی می تواند به دلیل ریزش گل ها و سقط دانه های تازه تشکیل شده باشد. آزمایش سینگ (۲۴) بیانگر کاهش عملکرد دانه در اثر کاهش این صفات در اثر تنش خشکی می باشد. محلول پاشی عناصر ریزمغذی نیز باعث افزایش عملکرد دانه در واحد سطح گردید. مقدار مواد غذایی جذب شده توسط گیاه به تنهایی تعیین کننده عملکرد اقتصادی یا بیوماس کلی نیست. از



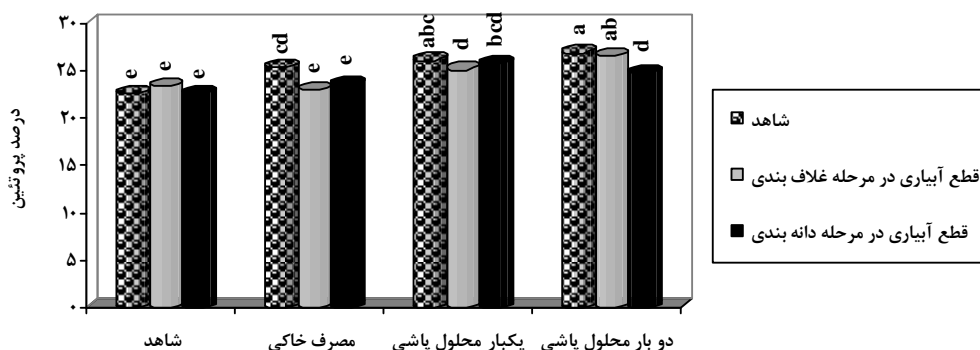
### ز) درصد پروتئین

اثرهای ساده آبیاری و مصرف کود بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار شاهد آبیاری با میانگین ۲۵/۲ درصد و تیمار قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی با میانگین ۲۴/۱ درصد به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد پروتئین بودند و تیمار قطع آبیاری در مرحله غلاف‌بندی نیز با تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه در گروه آماری مشابه قرار گرفتند (جدول ۲). میانگین تیمارهای مصرف کود نشان داد که مصرف عناصر کم‌مصرف باعث افزایش پروتئین دانه لوبیا گردید و درصد پروتئین دانه از ۲۲/۸ درصد در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) به ۲۶ درصد در تیمار دو بار محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف افزایش یافت (جدول ۳). اثر متقابل دو فاکتور آزمایشی باعث تفاوت معنی‌دار پروتئین دانه در سطوح مختلف گردید (جدول ۲). نتایج میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد که در حالت کلی، تیمارهای شاهد کودی در هر سه تیمار آبیاری کمترین درصد پروتئین را داشتند. کمترین درصد پروتئین (با میانگین ۲۲/۵) به تیمار عدم مصرف کود و قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی تعلق داشت و بیشترین مقدار پروتئین نیز در تیمار شاهد آبیاری و دو بار محلول‌پاشی با میانگین ۲۶/۸ درصد به دست آمد (شکل ۳). ترکیب شیمیایی دانه‌ها تحت کنترل ژنتیکی است؛ اما محیط نیز بر آن اثر می‌گذارد. آبیاری و سایر عملیات کشت نیز این ترکیبات شیمیایی (روغن، قند و پروتئین) را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

دانه‌های حبوبات و غلات نشاسته ذخیره می‌کنند. هم‌چنین از نظر پروتئین نیز غنی می‌باشند. پروتئین‌ها پلیمرهایی از اسیدهای آمینه می‌باشند که در دانه‌های حبوبات ذخیره می‌شوند (۱۰). تنش خشکی باعث کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش ذخیره‌سازی موادی مانند کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها می‌گردد و در نتیجه از درصد پروتئین دانه می‌کاهد. هم‌چنین عناصر کم‌مصرف باعث افزایش فعالیت برخی آنزیم‌ها و در نتیجه فتوسنتز می‌گردند، که آن نیز باعث افزایش سنتز و ذخیره مواد معدنی و آلی در دانه و در نتیجه افزایش درصد پروتئین دانه

مراحل بعدی شاخص سطح برگ را کاهش دهد. تنش شدید می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها گردد. این امر جذب دی اکسید کربن و تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد. تداوم تنش می‌تواند کاهش شدیدتر شدت فتوسنتز را به دنبال داشته باشد (۱۰). امام و ثقه‌الاسلام (۳) بیان کردند که اندازه کوچک گیاهانی که تحت تنش آب رشد می‌کنند، ناشی از کم شدن جذب و تحلیل کربن می‌باشد.

البته می‌توان گفت کاهش سطح برگ عامل اصلی کاهش توانایی گیاهان زراعی در جذب و تحلیل دی اکسید کربن است. به نظر می‌رسد که با کم شدن شاخص سطح برگ و مقدار فتوسنتز، میزان آسیمیلایون خالص و تولید و ذخیره مواد غذایی کاهش می‌یابد و در نتیجه از وزن ماده خشک گیاه (بیوماس) کاسته می‌شود. ولاسکویز (۲۵) مشاهده نمود که تنش خشکی باعث کاهش تولید ماده خشک، کاهش اندازه گیاه (در اثر کاهش رشد) و افزایش ضخامت برگ و رشد ریشه می‌شود. در ضمن تنش باعث کاهش هدایت روزانه‌ای شده و در نتیجه فتوسنتز خالص نیز کاهش یافت. اکوستا و آدامز (۱) و شکاری (۲۳) کاهش بیوماس گیاه را بر اثر افزایش تنش خشکی در مراحل مختلف دوره رشد لوبیا گزارش نمودند. تحقیقات متعدد بیانگر تأثیر استفاده از عناصر ریزمغذی برای افزایش ماده خشک می‌باشد، که این مسأله ناشی از افزایش قابلیت جذب عناصر پرمصرفی همچون نیتروژن و فسفر می‌باشد که جذب نیتروژن بیشتر توسط گیاه در اثر مصرف عناصر ریزمغذی باعث افزایش تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (۱۱). افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عناصر ریزمغذی (۱۵) و افزایش فتوسنتز در نتیجه افزایش غلظت کلروفیل (مخصوصاً کلروفیل a)، افزایش فعالیت فسفوانول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع عنصر سدیم در بافت‌های گیاهی و ده‌ها عامل دیگر را می‌توان توجیه‌کننده افزایش عملکرد ماده خشک به میزان قابل توجه در حضور عناصر کم‌مصرف دانست.



شکل ۳. مقایسه میانگین‌های سطوح آبیاری و مصرف کود بر درصد پروتئین دانه

صرفه نمی‌باشد. درصد پروتئین دانه که از صفات کیفی مهم در دانه‌ها به‌خصوص حبوبات می‌باشد، تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی قرار گرفت. تنش در تمامی مراحل باعث کاهش درصد پروتئین می‌گردد که این اثر در مراحل انتهایی رشد دانه بیشتر می‌باشد، زیرا خصوصیات کیفی دانه‌ها در مراحل آخر رشد تعیین می‌گردد. هم‌چنین عناصر کم‌مصرف باعث افزایش درصد پروتئین می‌گردد. در حالت کلی می‌توان اظهار نمود که گیاهانی که تحت شرایط مختلف تنش قرار می‌گیرند اکثراً به همراه کاهش کمی دانه از نظر کیفیت دانه نیز افت می‌نمایند. یعنی برای افزایش کیفیت دانه، وجود شرایط مناسب برای رشد کمی دانه مورد نیاز می‌باشد.

می‌گردد. افزایش پروتئین با کاربرد عناصر کم مصرف آهن، روی و منگنز توسط نوایی و ملکوتی (۲۰) و مجیدی و ملکوتی (۱۳) گزارش شده است.

### نتیجه‌گیری

لوبیا حساس به خشکی و کم آبی است. به‌طوری‌که قطع آبیاری، به‌خصوص طی مراحل گل‌دهی و غلاف‌بندی، باعث افت محسوس عملکرد دانه می‌شود. مصرف عناصر کم‌مصرف به‌صورت محلول‌پاشی نتایج بهتر و سریع‌تری را دارد و مصرف این عناصر به صورت خاکی به علت آبشویی و تثبیت اثر کمتری را بر عملکرد دانه بر جای می‌گذارد. در اکثر صفات، یکبار و دو بار محلول‌پاشی در گروه آماری مشابه قرار گرفتند، که نشان می‌دهد دو بار محلول‌پاشی از نظر اقتصادی مقرون به

### منابع مورد استفاده

- Acosta-Gallegos, J. A. and M. W. Adams. 1991. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under drought stress. *Journal of Agricultural Science* 117: 213-219.
- Emam, Y. and M. Niknejad. 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Third Edition, Shiraz University Press, Shiraz, Iran, 571 p. (In Farsi).
- Emam, Y. and M. J. Saghatoleslam. 2005. Crop Yield, Physiology and Processes. Shiraz University Press, Shiraz, Iran. 592 p. (In Farsi).
- German, C. and H. Teran. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Science* 46: 2111-2120.
- Hayse, R. and S. H. Singh. 2007. Response of cultivars of race durango to continual dry bean versus rotational production systems. *Agronomy Journal* 99: 1458-1462.
- Hegazy, M. M. H., D. N. Abadi and A. Genaidy. 1993. Effect of some micronutrients and methods of application and rhizobium inoculation of faba bean. *Egyptian Journal of Agricultural Research* 71: 21-33.

7. Hemmati, A. 2005. Study of soil application and spraying of Fe, Zn and Mn on yield and protein of bean. Proceedings of 1<sup>st</sup> Iranian Congress of Legumes, Kermanshah, pp. 387-390. (In Farsi).
8. Jalilian, A. and N. Khodabandeh. 1998. Study of effects of drought stress at reproductive growth stages on yield and yield components of soybean. Abstracts of the 5<sup>th</sup> Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding, Karaj, Iran, p. 321. (In Farsi).
9. Khalili Mahaleh, J. and M. Roshdi. 2000. Study of effects of microelements spraying on yield and yield components of corn (SC. 704). *Journal of Agricultural Science* 13: 453-466. (In Farsi).
10. Koocheki, A. R. and G. H. Sarmadnia. 2003. Crop Physiology. Jahad-e- Daneshgahi of Mashhad, 400 p.
11. Khaper, R. L., A. S. Patial and S. D. More. 1994. Effect of zinc, iron and manganese on grain yield and related traits in sorghum. *Journal of Maharashtra Agriculture University* 19: 204-205.
12. Kulig, B. and W. Ziolk. 1996. Productivity of horse bean under condition of application of multicomponent microelement fertilizers. *Zeszyty Problemowe Postepow, Nauk Rolniczych* 434: 173-177.
13. Majidi, A. and M. J. Malakouti. 2000. Role of manures consumption in production and enrichment of different cultivars of wheat. *Journal of Soil and Water* 12: 1-10. (In Farsi).
14. Majnoon Hosseini, N. 2008. Legumes culture and Production. Jahad-e- Daneshgahi of Tehran, 285 p. (In Farsi).
15. Malakouti, M. J. and M. M. Tehrani. 1999. Role of microelements on yield and quality of agricultural productions. Tarbiat Modares Publ., Tehran, Iran, 299 p. (In Farsi).
16. Malakouti, M. J. 1999. Opportunity to increase in new regions of agricultural products. Proceedings of 6<sup>th</sup> Iranian Congress of Soil Science, Mashhad, pp. 51-57. (In Farsi).
17. Mohhamadi, M. and M. Farzan. 2007. Effect of K and Zn consumption on yield and yield components of pinto bean, Talash variety. Proceedings of 10<sup>th</sup> Iranian Congress of Soil Science, Karaj, Iran, pp. 907-909. (In Farsi).
18. Morgan, J. T. and K. Grafton. 1999. Seed-zinc concentration and the zinc efficiency trait in Navy bean. *Journal of Soil Science*. 63: 918-922.
19. Mouhouche, B., F. Ruget and R. Delecolle. 1998. Effects of water stress applied at different phenological phases on yield components of dwarf bean. *Agronomie J.* 18: 197-207.
20. Navaei, F. and M. J. Malakouti. 2002. Study of effect of balance nourishment of elements on quantitative and quality of corn. *Journal of Soil and Water* 16: 161-168. (In Farsi).
21. Nielsen, D. C. and N. O. Nelson. 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Science* 38: 422-427.
22. Sepehr, A. and M. J. Malakouti. 1997. Effects of K, Mg, S and microelements on sunflower yield and quality. MSc. Thesis, Tarbiat Modares University, 107 p. (In Farsi).
23. Shekari, F. 2001. Study of relation of traits with drought tolerance in bean. Report of Research Design, Department of Agronomy of Zanjan Univ., 63 p. (In Farsi).
24. Singh, S. H. 2007. Drought resistance in the race durango dry bean landraces and cultivars. *Agronomy Journal* 99: 1219-1225.
25. Velasquez, M. J. 1986. Studies on the response of *Phaseolus vulgaris* to drought stress. *Dissertation Abstract* 47: (2) 329.
26. Welch, R. M., W. H. Allaway, W. A. House and J. Kubota. 1991. Geographic distribution of trace element problems. PP. 31-57. In: Mortvedt, J. J., F. R. Cox, L.M. Shuman and R. M. Welch (Eds.), *Micronutrients in Agriculture*, Second Edition, Soil Science of Society of America, Madison, WI.