تأثیر عناصر کم‌مصرف بر رشد و عملکرد لوبیا چیتی تحت تیمارهای قطع آبیاری

محسن رشدی*، داریوش بویاقچی و ساسان رضادوست[۱]

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

چکیده

به منظور بررسی تأثیر عناصر کم‌مصرف 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 به‌صورت 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 کم‌مصرف (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 به‌ترتیب به ۱۲۶۹ و ۱۹۲۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. تیمار عناصر کم‌مصرف 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 به‌دست آمد. نتایج کلی تحقیق نشان داد که به دلیل حساسیت زیاد لوبیا چیتی به کم‌آبی، آبیاری معمول همراه با محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف طی دو مرحله برای بهبود رشد انجام پذیرد.

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

۱. به‌ترتیب استادیار، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و استادیار زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی

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

مقدمه

لوبیا، علاوه بر این‌که 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٪ به‌صورت دیم و بقیه آبی است. نخود با ۶۳٪ بیشترین سطح زیر کشت را دارد و بعد از آن عدس و لوبیا (به‌ترتیب 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 لوبیا مطالعه نمودند. آنها دوره رشد لوبیا 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 لوبیا 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 لوبیا 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 لوبیا می‌شود. شکاری (۲۳) طی بررسی صفات متحمل به خشکی در لوبیا 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 خدابنده (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 لوبیا 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.

ولچ 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 لوبیا نشان داد که کمبود روی منجر به تأخیر در رسیدگی ارقام حساس می‌گردد. حجازی و همکاران (۶) ملاحظه نمودند که حداکثر عملکرد دانه لوبیا 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 فرزان (۱۷) در گیاه لوبیا 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.

همتـی (۷) طـی یـک بررسـی دو سـاله روی کـاربرد خـاکی و محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر عملکرد و پروتئین لوبیا اظهـار نمود که در سال اول از نظر عملکرد دانه بین تیمارهـای آزمایـشی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. در عـین حـال، حـداکثر متوسـط عملکرد با کاربرد خاکی ۵۰ کیلوگرم در هکتـار سـولفات آهـن و ۴۰ کیلوگرم سولفات روی و منگنـز و یـک مرتبـه محلـول‌پاشـی عناصر فوق با غلظت ترکیبی ۶ در هزار حاصل گردید. این میـزان افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد ۵۲٪ بود. ارزیـابی اقتـصادی تیمارهای آزمایشی نیز نشان داد که مـصرف خـاکی عناصـر فـوق دارای توجیه اقتصادی و محلول‌پاشی آنها فاقـد توجیـه اقتـصادی بود. در همین راستا، آزمایش حاضر به منظور بررسی اثر توأم قطع آبیاری در مراحل مختلف نمو و محلول‌پاشی عناصـر بـور، روی و منگنز بر خصوصیات رویشی و عملکـرد دانـه لوبیـا چیتـی انجـام گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیـق حاضـر طـی سـال ۱۳۸۸ در مزرعـه ایـستگاه تحقیقـات کشاورزی و منابع طبیعـی شهرسـتان خـوی بـا طـول جغرافیـایی '۵۵ °۴۴ شرقی، عرض جغرافیایی '۳۳ °۳۸ شمالی و ارتفـاع ۱۱۰۳ متـر از سـطح دریـا اجـرا گردیـد. بـرای مـشخص شـدن بعـضی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجـرای طـرح، قبـل از اجرای آزمایش، نمونه خاک تهیه گردید. نتایج به شـرح جـدول ۱ می‌باشد. عملیات کاشت لوبیا چیتی، رقـم تـلاش، در خـرداد مـاه انجام گرفت. آزمایش به‌صورت بلوک‌هـای خـرد شـده نـواری در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شـد. در این تحقیق سطوح آبیاری بـه عنـوان عامـل اصـلی در سـه سـطح (شامل آبیاری معمول (شاهد)، قطع یک نوبـت آبیـاری در مرحلـه غلاف‌بندی و قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی) و مـصرف عناصـر کم‌مصرف (اسید بوریـک، سـولفات روی و سـولفات منگنـز) بـه عنوان عامل فرعی در سه سطح (شامل مصرف خاکی عناصر، یـک بار محلول‌پاشی، دو بار محلول‌پاشی و تیمار شاهد (عـدم مـصرف عناصر کم‌مصرف) بود. اسید بوریک، سـولفات منگنـز و سـولفات روی با توجه به مقادیر توصیه شـده ۵، ۲۰ و ۲۵ کیلـوگرم در هـر هکتار مصرف گردیدند. در محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف، عنـصر بور به نسبت ۳ در هزار و عناصـر روی و منگنـز بـه نـسبت ۵ در هزار در دو مرحله مصرف گردیدند. مرحله اول محلول‌پاشی طـی تکمیل رشد رویشی و اوایل گل‌دهی و مرحله دوم آن طی مرحلـه غلاف‌بندی، یعنی زمانی کـه ۷۵٪ بوتـه‌هـای کـرت‌هـا در مرحلـه غلاف‌بندی بودند، صورت پذیرفت.

محلول‌پاشی با غلظت‌های مذکور توسـط سـمپاش پـشتی ۲۰ لیتری اعمال شد. به‌طوری‌که اندام هوایی کل بوته‌های کرت مـورد نظر به کودها آغشته گردید. آبیـاری واحـدهای آزمایـشی هـر بـار به‌صورت نشتی و بعـد از ۶۰ میلـی‌متـر تبخیـر تجمعـی از تـشت تبخیر کلاس A با استفاده از لوله‌های سیفونی انجـام گرفـت. هـر کرت فرعـی شـامل ۴ ردیـف کاشـت بـه طـول ۴ متـر و فاصـله ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود و تـراکم ۶۶۶۶۷ بوتـه در هکتار تنظـیم گردیـد. از ویژگـی‌هـای رقـم تـلاش لوبیـا چیتـی، متوسطرس بودن (۱۰۵ روز)، تیـپ رشـدی نامحـدود رونـده، بـا ارتفاع بوته ۹۰- ۸۵ سانتی‌متـر، رنـگ گـل صـورتی، شـکل بـذر بیضی، وزن هـزار دانـه ۳۸۰ گـرم، متوسـط عملکـرد ۳/۱ تـن در هکتار، نیمه مقاوم به کنه و مقاوم به بیماری‌هـای ویروسـی اسـت (۱۴). قبل از نمونه‌برداری گیاهان، اثر حاشـیه‌ای حـذف و سـپس صفات ارتفاع اولین شاخه از سطح زمین، قطر ساقه، تعـداد شـاخه در بوته، تعداد غلاف در هر شاخه، عملکـرد بیولوژیـک، عملکـرد دانه در واحد سطح، تعداد دانه در غلاف و درصد پـروتئین مـورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های به‌دست آمده، با استفاده از نـرم‌افـزار آماری MSTATC تجزیه واریـانس شـده و سـپس میـانگین‌هـای حاصله با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایـسه گردیدنـد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

الف) تعداد شاخه در بوته

تعداد شاخه در بوته تحت تأثیر سـطوح مختلـف آبیـاری و اثـر متقابل آبیاری و کود قرار نگرفت (جـدول ۲). جـدول ۲ نـشان می‌دهد که مصرف کود اثر معنی‌داری بر تعـداد شـاخه در بوتـه

جدول ۱. مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

عمق نمونه برداری (سانتی‌متر)	درصد اشباع	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته گل اشباع	مواد خنثی شونده	درصد کربن آلی	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	آهن (mg/kg)	منگنز (mg/kg)	روی (mg/kg)	مس (mg/kg)
۰– ۳۰	۴۴	۰/۸	۸/۱	۱۷/۸	۰/۸۸	٦/۹	۲۴۰	۹/۴	٦/۲	۰/۴٦	۲/۵۲
۳۰–٦۰	۴٦	۰/۸۱	۸/۲	۱٦/۸	۰/۸۴	٦/۴	۲۵۰	۹/۳	٦/۹	۰/۵۴	۲/۵۸

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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		تعداد شاخه در بوته	تعداد غلاف در شاخه	ارتفاع اولین شاخه از زمین	قطر ساقه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	درصد پروتئین
تکرار	۲	۰/۸٦	۰/۴۵	۱/۷۴	۱/۰۹۴	۵۵۰۴۱۹/۳۱	۸۴۲۵۱۸/۰۲	۳/۷۵
قطع آبیاری	۲	۲/٦۷^{ns}	۴/۹۴^{ns}	۴/۹۵*	۳/۵۷*	۵۷۰۱۱۲۷/۵۱*	۱۷۸۷۷۲٦۸/۵۵*	۳/۵۹**
خطا (a)	۴	۱/۰۷	۰/۹۹	۰/۳۹	۰/۴۴	۵۴۵۱۹۲/۲۱	۱۱۸۰۰۱۲/۲۹	۰/۱۴
کود	۳	۹/۹۱**	۰/۱۱^{ns}	۴/۴۳*	۷/۱٦*	۱۵۸۹۰۱۹/۳۸**	۲۸۵٦۴۳۵/۳۴**	۱۹/۹۸**
خطا (b)	٦	۰/۱۷	۰/۰٦	۰/٦۳	۱/۱۱	۳۸٦٦۹/۳۹	۱۱٦۰۲۲/٦۷	۰/۲۱
آبیاری × کود	٦	۰/۴۵^{ns}	۰/۵۳*	۱/۲۵*	۰/۲٦^{ns}	۱۰۳۴۲/۰٦^{ns}	۷۸۸٦۰/۱۱^{ns}	۲/۱۱**
خطا (c)	۱۲	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۳۲	۰/۱۴	۴۱۷٦۰/۳۸	۳۷۲۰۴/۳۹	۰/۲۷
ضریب تغییرات (٪)		۹/۱۹	۱۱/۰۳	۱۰/۲۳	۴/۷٦	۱۰/۵۰	۳/۵۳	۲/۱۳

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر ساده سطوح آبیاری و نحوه مصرف عناصر کم‌مصرف بر برخی صفات آزمایشی لوبیا 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 a	۵/۳ b	۸/۲۴ a	۲۶۴۷ a	۶۷۵۶ a	۲۵/۲۰ a
قطع آبیاری در مرحله غلاف‌بندی	۵/۵ a	۵/۰ b	۷/۱۵ b	۱۲۶۹ c	۴۳۲۸ b	۲۴/۴۰ b
قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه	۶/۱ a	۶/۲ a	۷/۷۳ ab	۱۹۲۰ b	۵۳۲۷ b	۲۴/۱۰ b
کود						
شاهد	۵/۰ c	۴/۶ b	۶/۸۹ b	۱۴۸۶ b	۴۸۳۱ b	۲۲/۸ c
مصرف خاکی	۵/۲ c	۵/۴ ab	۷/۰۹ ab	۱۷۰۳ b	۵۱۸۶ b	۲۳/۹ b
محلول‌پاشی (یک بار)	۶/۴ b	۵/۹ a	۸/۰۵ a	۲۲۱۳ a	۵۷۹۸ a	۲۵/۶ a
محلول‌پاشی (دو بار)	۷/۳ a	۶/۲ a	۸/۸۱ a	۲۳۷۹ a	۶۰۶۶ a	۲۶/۰ a

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

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 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

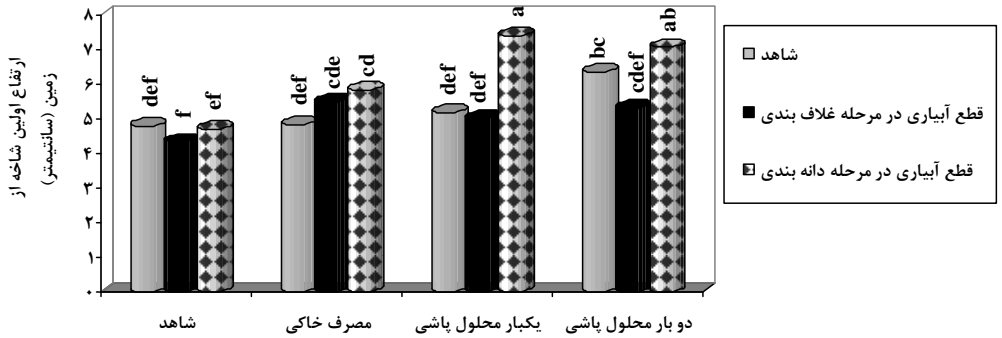
بود و کمترین مقدار این صفت با میانگین ۴/۳۳ سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد کودی با قطع آبیاری طی مرحله غلاف‌بندی بود (شکل ۱). رشد سلولی در گیاه نسبت به کمبود آب بسیار حساس است. کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی غالباً موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول می‌شود. این امر موجب کاهش سنتز پروتئین و تنزل رشد و بزرگ شدن سلول می‌شود. رشد طولی ساقه می‌تواند نتیجه فعالیت مریستم 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 این‌که کمبود روی به علت تأثیر بر بیوسنتز اکسین می‌تواند باعث کوتاه شدن فاصله میانگره‌ها و کوتولگی گیاه شود، صحت نتایج به‌دست 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 آهکی 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

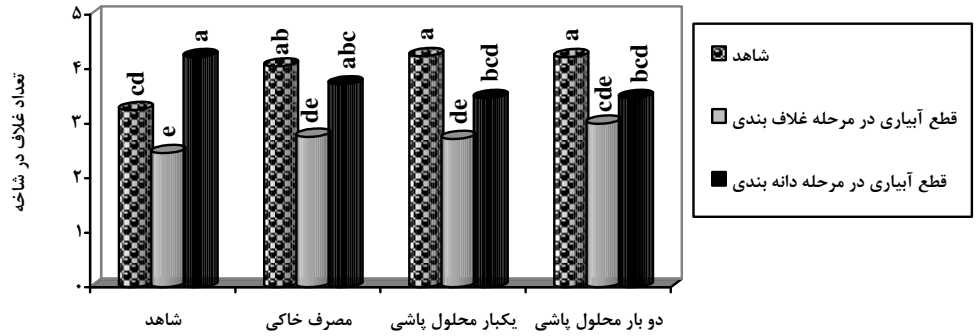
قطر ساقه تحت تأثیر اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و مصرف کود قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه سطوح مختلف آبیاری نشان داد که تیمارهای آبیاری شاهد و قطع آبیاری در مرحله غلاف‌بندی به‌ترتیب با میانگین ۸/۲۴ و ۷/۱۵ میلی‌متر دارای بیشترین و کمترین قطر ساقه بودند (جدول ۳). در بین سطوح مصرف کود، بیشترین و کمترین قطر ساقه 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 داشت (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



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

غلاف می‌گردد. هم‌چنین با اعمال تنش خشکی یا کم آبی 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 این‌که لوبیا 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.

هـ) 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

کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد آبیاری به‌ترتیب به ۱۲۶۹/۳ و ۱۹۲۰/۶ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد که حدود ۵۲ و ۲۷ درصد کاهش نشان می‌دهد (جدول ۳). عملکرد دانه در سطوح مختلف مصرف کود اختلاف معنی‌داری با هم نشان دادند (جدول ۲). کمترین و بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب در دو تیمار شاهد و دو بار محلول‌پاشی با میانگین ۱۴۸۶/۵ و ۲۳۷۹/۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). اثر متقابل دو عامل آبیاری و مصرف کود بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲). به نظر می‌رسد سطوح مختلف دو عامل به‌طور مستقل از یکدیگر عمل نموده و تأثیر تشدیدکننده یا تضعیف‌کننده در حد معنی‌دار 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، گونه‌های رشد نامحدود به علت آن‌که استعداد گل‌دهی برای مدت طولانی را دارند به اندازه گیاهان رشد محدود نسبت به تنش آب حساس نیستند. تنش‌های شدید ولی کوتاه مدت اگر چه موجب ریزش گل‌ها می‌گردد لیکن چون گیاه دوباره اقدام به تولید گل می‌نماید عملکرد آن کمتر کاهش می‌یابد. در گیاهی مانند سویا، حساس‌ترین مرحله اواخر غلاف‌بندی تا اواسط دانه‌بندی می‌باشد (۱۰). در این آزمایش با توجه به داده‌های جدول ۳، تأثیر تنش خشکی (قطع آبیاری) در مرحله غلاف‌دهی شدیدتر از دانه‌بندی بود. شکاری (۲۳) نیز در بررسی صفات متحمل به خشکی در لوبیا چیتی اظهار داشت که بیشترین کاهش در عملکرد دانه بعد از مرحله گل‌دهی، در مرحله غلاف‌بندی مشاهده می‌گردد و کاهش عملکرد در مرحله گل‌دهی می‌تواند به‌دلیل ریزش گل‌ها و سقط دانه‌های تازه تشکیل شده باشد. آزمایش سینگ (۲۴) بیانگر کاهش عملکرد دانه در اثر کاهش این صفات در اثر تنش خشکی می‌باشد. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نیز باعث افزایش عملکرد دانه در واحد سطح گردید. مقدار مواد غذایی جذب شده توسط گیاه به تنهایی تعیین‌کننده عملکرد اقتصادی یا بیوماس کلی نیست. از موارد تعیین‌کننده، مرحله مصرف عناصر غذایی می‌باشد، یعنی مرحله‌ای که طی آن مشخص می‌شود چه مقدار از مواد غذایی جذب شده توسط گیاه در تشکیل عملکرد استفاده شده است (۲). طی دو بار محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، برگ‌های جدیدی که در لوبیا بعد از محلول‌پاشی اول به وجود می‌آید و نتوانسته‌اند از مواد کم‌مصرف در بار اول استفاده نمایند، در بار دوم این مواد را جذب می‌نمایند. هم‌چنین تأثیر عناصر ریزمغذی بر عملکرد دانه به این صورت توجیه می‌گردد که این عناصر با افزایش میزان فتوسنتز و بهبود دوام سطح برگ باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردند (۲۲). کولیگ و زیولک (۱۲) با مصرف ۲ الی ۳ لیتر از کودهای تجاری حاوی عناصر کم مصرف به نام فلوویت، افزایش معنی‌دار در عملکرد، تعداد غلاف در گیاه و تعداد دانه در غلاف به‌دست آورد. نتایج آزمایش ملکوتی (۲۶)، حجازی و همکاران (۶) و محمدی و فرزان (۱۷) نشان داد که با مصرف بهینه کودها، خصوصاً عناصر کم مصرف در مزارع حبوبات، افزایش عملکرد بر اثر افزایش اجزای عملکرد حاصل می‌گردد.

و) عملکرد بیولوژیک

سطوح مختلف آبیاری و مصرف کود تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار شاهد بیشترین عملکرد بیولوژیک را داشت و دو سطح قطع آبیاری در مراحل غلاف‌بندی و دانه‌بندی در گروه آماری مشابه و پایین‌تر قرار گرفتند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار دو بار محلول‌پاشی 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 معنی‌دار بین سطوح مختلف اثر متقابل آبیاری و مصرف کود کم‌مصرف بود (جدول ۲). در مراحل نمو، تنش بسیار جزئی می‌تواند سرعت رشد برگ و در

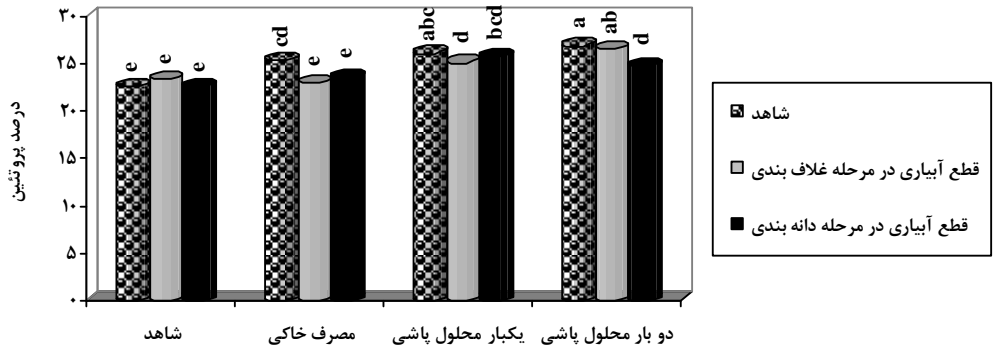
مراحل بعدی شاخص سطح برگ را کاهش دهد. تنش شدید می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها گردد. این امر جذب دی اکسید کربن و تولید مادهٔ خشک را کاهش می‌دهد. تداوم تنش می‌تواند کاهش شدیدتر شدت فتوسنتز را به دنبال داشته باشد (۱۰). امام و ثقه‌الاسلام (۳) بیان کردند که اندازهٔ کوچک گیاهانی که تحت تنش آب رشد می‌کنند،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

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 به‌ترتیب 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



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

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 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.

منابع مورد استفاده

1. Acosta-Gallegos, J. A. and M. W. Adams. 1991. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulagaris*) cultivars under drought stress. *Journal of Agricultural Science* 117: 213- 219.
2. 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).
3. Emam, Y. and M. J. Saghatoleslam. 2005. Crop Yield, Physiology and Processes. Shiraz University Press, Shiraz, Iran. 592 p. (In Farsi).
4. German, C. and H. Teran. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Science* 46: 2111- 2120.
5. 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.
6. 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. *Egyption Journal of Agricultural Research* 71: 21-33.

7. Hemmati, A. 2005. Study of soil application an spraying of Fe, Zn and Mn on yield and protein of bean. Proeeedingd of 1st 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 5th 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. Ziolek. 1996. Productivity of horse bean under condition of application of multicomponent microelement fertilizers. Zeszyty Problemowe Postepow, Nauk Rolniczyeh 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. Majnon 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 6th 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 10th 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 effeciency 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 quantitaive 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 varius 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 rlation of traits with drought tolerance in bean. Report of Research Design, Department of Agronomy of Zanjan Unv., 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.), Micronutrents in Agriculture, Second Edition, Soil Science of Society of America, Madison, WI.