

## تأثیر تنش خشکی و کودهای زیستی و کودهای شیمیایی بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بزرک (*Linum usitatissimum L.*)

۱- سیده انیس صادقیان دهکردی، دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اگرواکولوژی، دانشگاه شهرکرد

sadeghian.anis@gmail.com

۲- علی تدین، دانشیار گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد

۳- محمودرضا تدین، دانشیار گروه زراعت دانشگاه شهرکرد

۴- علی صفار، دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اگولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه تهران

دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۳

پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۲۳

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی و کودهای زیستی از توبرور ۱ و از توبرور ۲ و کود شیمیایی (ازت و فسفر) بر تعدادی از صفات بزرک از جمله میزان پرولین، پتاسیم و کلسیم و روند سرعت رشد محصول تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۱۳۹۲ انجام گرفت. کرت‌های اصلی شامل چهار تیمار تنش خشکی بدون تنش با پتانسیل ۰/۳ اتمسفر، تنش ملایم با پتانسیل ۳/۵ اتمسفر، تنش متوسط با پتانسیل ۶/۵ اتمسفر و تنش شدید با پتانسیل ۹/۵ اتمسفر و کرت‌های فرعی شامل پنج تیمار کودی (بدون کود، کود شیمیایی نیتروژن + فسفر، کود زیستی نیتروژن دار از توبرور ۱، کود زیستی فسفات از توبرور ۲ و کود زیستی تلفیق نیتروژن دار از توبرور ۱ + بارور ۲) بودند. نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی، تیمارهای کودی و اثر متقابل آن‌ها بر صفات غلظت پرولین، غلظت کلسیم و پتاسیم در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود ( $P < 0/01$ ). حداکثر غلظت پرولین (۱۹/۲۴ میلی گرم بر گرم وزن خشک) و پتاسیم (۳/۱۰ درصد)، در تیمار تنش شدید تحت کود تلفیقی از توبرور ۱ و از توبرور ۲ و حداکثر کلسیم (۲/۱۰ درصد) در شرایط تنش شدید و تیمار بارور ۲ حاصل شد. در بررسی روند تغییرات سرعت رشد محصول حداکثر آن در ۶۵ روز پس از ظهور گیاه در سطح خاک در هر دو تیمار بدون تنش و کود شیمیایی (ازت+فسفر) مشاهده شد. بدلیل عوارض محیط زیستی مصرف کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای زیستی از توبرور ۱ و از توبرور ۲ توجیح پذیر است.

واژگان کلیدی: بزرک؛ تنش خشکی؛ از توبرور؛ پرولین؛ پتاسیم؛ کلسیم؛ سرعت رشد.

### مقدمه

در سویا [۲۰] انجام گرفته و در بیشتر موارد نتایج مثبتی را به همراه داشته است. به عنوان مثال باتلقیح بذر گلرنگ بهاره با باکتری آزادزی از توباکتر و یک قارچ هم‌زیست مولد میکوریزا، افزون بر افزایش عملکرد دانه و درصد روغن، باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل نامساعد محیطی و بهبود کیفیت محصول شد [۲۵].

با توجه به موقعیت ایران که از نظر اقلیمی در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد و بحران آب در این منطقه، استفاده گیاهان سازگار به شرایط خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳۰]. تنش خشکی یک فرآیند

دردده‌های اخیر، تولید محصولات کشاورزی به طور عمده متکی بر مصرف نهاده‌های شیمیایی بوده که این امر منجر به بروز مشکلات زیست محیطی شده است [۲۰]. انواع مختلفی از کودهای زیستی با منشأ باکتری، قارچ، جلبک و یا دیگر موجودات خاکی در سراسر جهان تولید می‌شوند که با استفاده از مکانیسم‌های مختلف باعث بهبود رشد گیاه در خاک می‌گردند [۳۴]. مطالعات گوناگونی بر روی کاربرد کودهای زیستی مختلف روی گیاهان از جمله باکتری سودوموناس در ذرت [۱۴]، تأثیر از توباکتر و میکوریزا در گلرنگ [۲۶]، تأثیر برادی ریزوبیوم

تنش‌های مختلف خشکی در چهار سطح بدون تنش با پتانسیل رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی مزرعه (حدود ۰/۳ اتمسفر)، تنش ملایم با پتانسیل رطوبت خاک در حدود ۳/۵ اتمسفر، تنش متوسط با پتانسیل رطوبت خاک در حدود ۶/۵ اتمسفر، و تنش شدید با پتانسیل رطوبتی خاک در حدود ۹/۵ اتمسفر و فاکتور فرعی شامل تیمارهای شاهد بدون کود، کود شیمیایی ازت+فسفر، کود زیستی ازتوبارور ۱، کود زیستی ازتوبارور ۲ و تلفیق کود زیستی ازتوبارور ۱+ ازتوبارور ۲ بود.

عملیات آماده‌سازی بستر در اواخر اردیبهشت صورت گرفت. برای تهیه بستر ابتدا زمین شخم زده و سپس دو بار دیسک عمود برهم اعمال شد. قبل از آماده‌سازی زمین جهت تعیین مقدار کود مورد نیاز، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری خاک مزرعه نمونه‌برداری انجام گرفت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه شیمیایی نمونه خاک در عمق ۰-۳۰ سانتیمتری

بافت	pH	OC (%)	EC (dS/m)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
لومی رسی	۷/۹۳	۰/۵۸	۰/۴۵	۰/۰۴۶	۱۰/۳	۳۰۳

کاشت گیاه بزرک در اوایل خرداد ۱۳۹۲ در ردیف‌هایی به فواصل ۱۵ سانتیمتر و در عمق سه سانتیمتر صورت گرفت. به منظور جلوگیری از هر گونه خطا، فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری انجام شد. آبیاری‌های بعدی در طول دوره رشد با توجه به نیاز آبی این گیاهان و شرایط محیطی به روش غرقابی انجام شد. تیمارهای تنش خشکی از مرحله استقرار گیاه (حدود یک ماه پس از کاشت) تا مرحله رسیدگی اعمال شد.

برای به‌دست آوردن دور آبیاری، نیاز آبی گیاه با استفاده از نرم افزار CROPWAT محاسبه و با استفاده از رابطه‌های زیر، دور آبیاری مشخص شد:

$$TAW = \rho b \times D_r (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \quad (1)$$

$$RAW = f \times TAW \quad (2)$$

$$N = \frac{RAW}{ET_c} \quad (3)$$

فیزیکی شیمیایی است که بسیاری از مولکول‌ها در گیاه از جمله اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، یون‌ها، رادیکال‌های آزاد و عناصر معدنی در آن نقش دارند [۱۶]. توانایی گیاه برای سازش به تنش‌های محیطی بستگی به نوع، شدت و مدت تنش و همچنین گونه گیاهی و مرحله وقوع تنش دارد [۳۸]. نظر به اهمیت و جدید بودن کشت بزرک در منطقه و نبود اطلاعات زیاد در این موضوع، این پژوهش انجام شد.

## مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد، (طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی با ارتفاع ۲۰۷۰ متر از سطح دریا) در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل

بذر مورد استفاده از اکوتیپ بزرک ایرانی بود که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. مشخصات کودهای زیستی مورد استفاده شامل ازتوبارور ۱ دارای باکتری *Azotobacter vinlandii strain O4* و غلظت  $10^8$  cfu و ازتوبارور ۲ دارای باکتری *Pseudomonas putida, Strain P5* و غلظت  $10^8$  cfu است [۳۶].

میزان بذر مصرفی برای هر کرت بر اساس ۷۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد [۱۹]. مقدار کود شیمیایی ازت و فسفر در تیمارهای کودی بر اساس نتایج آزمایش خاک (به ترتیب ۱۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار) تعیین و میزان مصرف کودهای زیستی نیتروژن‌دار ازتوبارور ۱ و فسفات ازتوبارور ۲ هر کدام به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار تهیه شد. اعمال تیمارهای کود زیستی در دو زمان که بخشی به صورت آغشته کردن با بذر قبل از کاشت، و بقیه محلول پاشی روی گیاه قبل از مرحله گل‌دهی انجام شد.

که در آن: CGR سرعت تولید ماده خشک،  $W_1$  وزن خشک اندام هوایی در مرحله اول نمونه برداری،  $W_2$  وزن خشک اندام هوایی در مرحله بعدی نمونه برداری،  $t_1$  زمان اولیه نمونه برداری،  $t_2$ : زمان بعدی نمونه برداری و GA واحد سطح است.

میزان پرولین [۶] و عناصر پتاسیم و کلسیم [۹] ماده خشک اندام هوایی اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS V9 انجام شد. اثرات متقابل معنی دار تیمارهای آزمایشی، با نرم افزار Mstac مقایسه شد. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برازش داده‌های مربوط به سرعت رشد محصول (CGR) با استفاده از نرم افزار SigmaPlot 10 انجام شد.

## نتایج

### پرولین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که غلظت پرولین در تیمار تنش‌های مختلف رطوبتی و تیمارهای مختلف کودی و اثر متقابل بین تنش رطوبتی و کود در سطح ۱ درصد معنی دار بود ( $P < 0.01$ ).

که در آن: N: تعداد دور آبیاری، TAW کل آب قابل استفاده،  $\Theta_{FC}$  درصد جرمی رطوبت در ظرفیت زراعی و  $\Theta_{PWP}$  درصد جرمی رطوبت در نقطه پژمردگی (درصد)، RAW آب سهل الوصول،  $ET_c$  نیاز آبی گیاه (میلیمتر)،  $D_r$  عمق توسعه ریشه (سانتیمتر یا میلیمتر)،  $\rho_b$  جرم مخصوص ظاهری ( $g/cm^3$ ) و  $f$  ضریب تخلیه مجاز است [۴]. دور آبیاری با استفاده از نرم افزار فوق تقریباً ۵، ۷، ۹ و ۱۴ روز به ترتیب در تیمارهای تنش خشکی بود.

در طول دوره رشد مراقبت‌های لازم از جمله وجین دستی علف‌های هرز صورت گرفت. هنگام رسیدگی کامل (قهوه‌ای شدن ۹۰ درصد کپسول‌ها)، برداشت صورت گرفت. برای نمونه برداری و اندازه‌گیری صفات با حذف دو ردیف کناری از هر کرت و ابتدا و انتهای کرت‌ها انجام گرفت. در فاصله زمانی هر ۱۰ روز یک مرتبه پس از ظهور گیاه در سطح خاک، ۵ بوته به طور تصادفی برداشت و صفات زیر اندازه‌گیری شد. سرعت رشد محصول (CGR) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد [۲۳]

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \times \frac{1}{GA} \quad (4)$$

جدول ۲- تجزیه واریانس غلظت پرولین، پتاسیم و کلسیم در سطوح مختلف تنش خشکی کودی.

میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییرات
کلسیم	پتاسیم	پرولین		
۰/۰۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۸۲ <sup>ns</sup>	۲	بلوک
۰/۰۳۸**	۰/۱۶۶**	۱۹۶/۲۱**	۳	تنش خشکی
۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۱	۰/۴۵	۶	خطای a
۰/۱۴۶**	۰/۷۲۵**	۷۴/۰۸**	۴	کود
۰/۰۱۷**	۰/۰۳۸**	۱/۱۳**	۱۲	تنش خشکی × کود
۰/۰۰۶۰	۰/۰۰۶۴	۰/۱۹۳	۳۲	خطای b
۴/۴۴	۸/۰۷	۳/۰۵	-	ضریب تغییرات (%)

ns, \*\* به ترتیب غیر معنی دار و معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد.

مشاهده شد. غلظت پرولین اندام هوایی گیاه در شرایط تنش شدید حدود ۱۰۰ برابر بیشتر از مقدار آن در شرایط شاهد بدون تنش بود (جدول ۳).

براساس نتایج جدول ۳، بیشترین غلظت پرولین در تیمار تنش رطوبتی شدید و تیمارهای کود شیمیایی (ازت+فسفر) و مخلوط ازتوبارور ۱ و بارور ۲ و کمترین آن در تیمار کودی شاهد بدون کود و در شرایط بدون تنش

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار تنش رطوبتی و تیمار کودی بر غلظت پرولین، پتاسیم و کلسیم در اندام هوایی بزرگ

کلسیم (%)	پتاسیم (%)	پرولین (میلی گرم بر گرم وزن خشک)	تیمار کودی	تیمار تنش خشکی
۱/۵۸ <sup>j</sup>	۳/۰۳ <sup>l</sup>	۹/۱۲ <sup>h</sup>	شاهد	بدون تنش (پتانسیل ۰/۳ اتمسفر)
۱/۶۳ <sup>ij</sup>	۲/۴۶ <sup>ij</sup>	۱۰/۰۳ <sup>g</sup>	کود شیمیایی	
۱/۷۹ <sup>cde</sup>	۲/۴۷ <sup>hij</sup>	۹/۸۷ <sup>g</sup>	ازتوبارور ۱	
۱/۷۷ <sup>def</sup>	۲/۶۸ <sup>def</sup>	۹/۶۸ <sup>gh</sup>	ازتوبارور ۲	
۱/۸۰ <sup>cd</sup>	۲/۷ <sup>def</sup>	۱۰/۱۳ <sup>g</sup>	ازتوبارور ۱ + ازتوبارور ۲	
۱/۶۲ <sup>j</sup>	۲/۳۳ <sup>k</sup>	۱۲/۴۸ <sup>f</sup>	شاهد	تنش ملایم (پتانسیل ۳/۵ اتمسفر)
۱/۶۸ <sup>hi</sup>	۲/۷۲ <sup>def</sup>	۱۵/۳۹ <sup>e</sup>	کود شیمیایی	
۱/۷۶ <sup>def</sup>	۲/۵ <sup>ghij</sup>	۱۳/۴۶ <sup>e</sup>	ازتوبارور ۱	
۱/۷۴ <sup>efg</sup>	۲/۶ <sup>fgh</sup>	۱۲/۱۷ <sup>f</sup>	ازتوبارور ۲	
۱/۷۲ <sup>fgh</sup>	۲/۸ <sup>bcd</sup>	۱۴/۲۸ <sup>d</sup>	ازتوبارور ۱ + ازتوبارور ۲	
۱/۶۹ <sup>gh</sup>	۲/۳۸ <sup>j</sup>	۱۴/۱۱ <sup>de</sup>	شاهد	تنش متوسط (پتانسیل ۶/۵ اتمسفر)
۱/۷۹ <sup>cde</sup>	۲/۶۲ <sup>efg</sup>	۱۷/۹۸ <sup>b</sup>	کود شیمیایی	
۱/۷۹ <sup>cde</sup>	۲/۷ <sup>def</sup>	۱۵/۸۹ <sup>e</sup>	ازتوبارور ۱	
۱/۸۱ <sup>cd</sup>	۲/۵۹ <sup>fghi</sup>	۱۵/۲۹ <sup>e</sup>	ازتوبارور ۲	
۱/۸۴ <sup>bc</sup>	۲/۸۶ <sup>bc</sup>	۱۷/۳۹ <sup>b</sup>	ازتوبارور ۱ + ازتوبارور ۲	
۱/۷۸ <sup>de</sup>	۲/۱۴ <sup>kl</sup>	۱۶/۲۶ <sup>f</sup>	شاهد	تنش شدید (پتانسیل ۹/۵ اتمسفر)
۱/۸۹ <sup>ab</sup>	۲/۹۱ <sup>b</sup>	۱۹/۲۹ <sup>a</sup>	کود شیمیایی	
۱/۸۹ <sup>ab</sup>	۲/۷ <sup>def</sup>	۱۸/۰۸ <sup>b</sup>	ازتوبارور ۱	
۱/۹۱ <sup>a</sup>	۲/۷۴ <sup>cde</sup>	۱۷/۸۶ <sup>b</sup>	ازتوبارور ۲	
۱/۸۸ <sup>ab</sup>	۳/۱۰ <sup>a</sup>	۱۹/۲۴ <sup>a</sup>	ازتوبارور ۱ + ازتوبارور ۲	

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد ندارند (LSD).

### غلظت پتاسیم اندام هوایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که غلظت پتاسیم در تیمارهای مختلف تنش خشکی و تیمار کودی و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار است ( $P < 0.01$ ). بیشترین درصد پتاسیم (۳/۱۰ درصد) در تیمار رطوبتی تنش شدید که به وسیله مخلوط ازتوبارور ۱ + ازتوبارور ۲ تغذیه شده بود و کمترین آن در شرایط آبیاری کامل (شاهد) و تیمار کودی شاهد بدون کود (۲/۰۳ درصد) مشاهده شد. در تیمار رطوبتی تنش ملایم و تنش متوسط کمترین درصد پتاسیم در تیمار کودی شاهد بدون کود و بیشترین میزان از تیمار کودی مخلوط ازتوبارور ۱ + ازتوبارور ۲ بدست آمد (جدول ۳). در همه تیمارهای رطوبتی مصرف توام ازتوبارور ۱ + ازتوبارور ۲ افزایش بیشتری در میزان پتاسیم نسبت به مصرف جداگانه آن‌ها نشان داد. در ضمن، در هر دو تیمار رطوبتی ملایم و متوسط تیمارهای مصرف جداگانه ازتوبارور ۱ و ازتوبارور ۲ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۳).

### غلظت کلسیم اندام هوایی

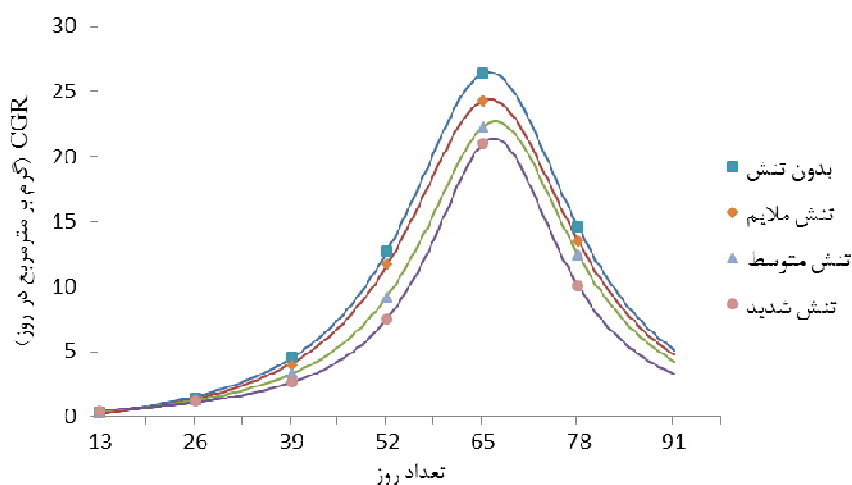
بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) درصد کلسیم اندام هوایی بزرگ در تیمار تنش‌های مختلف رطوبتی و تیمارهای مختلف کودی و اثر متقابل بین تنش رطوبتی و نوع کود در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود ( $P < 0.01$ ). بیشترین غلظت کلسیم (۱/۹۱ درصد) در شرایط تنش رطوبتی شدید و تیمار کودی ازتوبارور ۲ بدست آمد، که با سایر تیمارهای کودی در همان سطح تنش از لحاظ آماری اختلافی نشان نداد هرچند که از لحاظ عددی از سایر تیمارها بیشتر بود. کمترین غلظت کلسیم (۱/۵۸ درصد) در شرایط آبیاری کامل و تیمار شاهد بدون کود مشاهده شد.

### سرعت رشد محصول (Crop Growth Rate)

رشد روزانه گیاهان زراعی در مراحل مختلف متفاوت است و تا مرحله‌ای از رشد افزایش و سپس کاهش می‌یابد. براساس شکل ۱، با افزایش زمان تا مرحله ۶۵ روز، مقدار CGR افزایش و به حداکثر خود رسید و سپس کاهش

تنش ملایم با ۲۴/۲، تنش متوسط با ۲۲/۲ و تنش شدید با ۲۰/۹ گرم بر مترمربع در روز بود (شکل ۱).

یافت. این الگوی تغییرات در تمامی تنش‌های خشکی به طور تقریب یکسان است، با این تفاوت که از نظر عددی میزان CGR در نقطه اوج در شرایط بدون تنش با ۲۶/۴



شکل ۱- رابطه بین میزان CGR (گرم بر مترمربع در روز) و تعداد روز پس از ظهور گیاه در سطح خاک تا زمان قبل از برداشت در تیمارهای مختلف تنش خشکی. خطوط منحنی نشان دهنده اعداد برازش شده (fitted) در معادلات بدون تنش، تنش ملایم، تنش متوسط و تنش شدید و علائم (بدون تنش خشکی)، (تنش ملایم)، (تنش متوسط) و (تنش شدید) میزان عددی مشاهده شده تیمارها است

جدول ۴- مشخصات معادلات برازش شده مربوط به CGR در تیمارهای مختلف تنش خشکی. تمامی تیمارهای آزمایشی در مدل رگرسیون (Peak, Lorentzian, 4 Parameter) و معادله  $Y=y_0+a/(1+((x-x_0)/b)^2)$  برازش گردید

ضرایب معادله				SEE	ضریب تبیین ( $R^2$ )	تیمارهای تنش خشکی
$Y_0$	$X_0$	b	a			
۱/۵۸۳±۰/۱۱۴	۶۵/۸۵۶±۰/۰۷۷	۱۴/۱۲۳±۰/۱۳۵	۲۸/۰۵۹±۰/۱۵۱	۰/۱۱۸	۰/۹۹	بدون تنش (پتانسیل ۰/۳ اتمسفر)
۱/۵۳۱±۰/۱۵۶	۶۵/۹۲۱±۰/۱۱۳	۱۴/۱۶۳±۰/۲۰۱	۲۵/۹۰۹±۰/۲۰۶	۰/۱۶۲	۰/۹۹	تنش ملایم (پتانسیل ۲/۵ اتمسفر)
۰/۸۷۹±۰/۰۸۱	۶۶/۷۵۹±۰/۰۶۸	۱۲/۸۱۳±۰/۱۱۶	۲۳/۵۵۸±۰/۱۱۳	۰/۰۸۹	۰/۹۹	تنش متوسط (پتانسیل ۶/۵ اتمسفر)
۰/۳۹۶±۰/۰۹۰	۶۶/۵۳۳±۰/۰۹۱	۱۰/۹۸۸±۰/۱۳۱	۲۱/۷۸۷±۰/۱۳۶	۰/۱۰۶۷	۰/۹۹	تنش شدید (پتانسیل ۹/۵ اتمسفر)

• Standard Error of Estimate

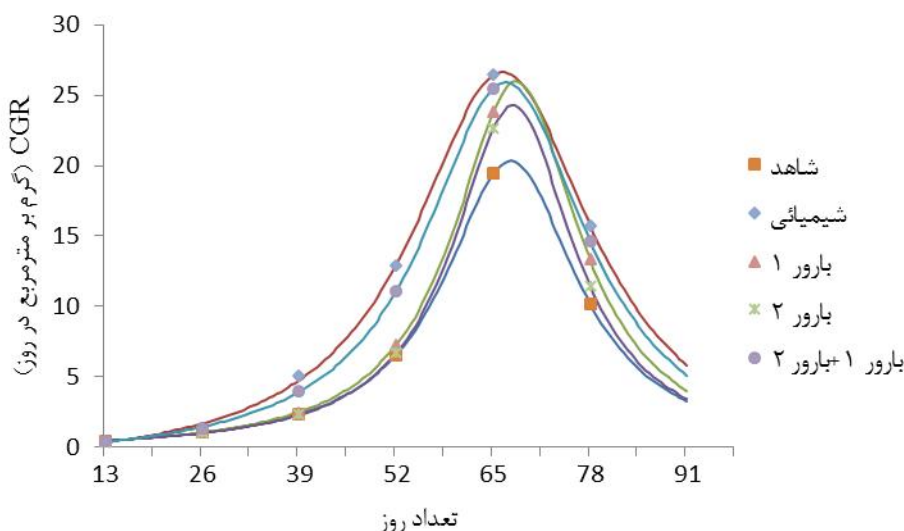
مفهوم استفاده از این مدل این است که برای دستیابی به حداکثر سرعت رشد محصول تا مرحله ۶۵ روز پس از ظهور گیاه در سطح خاک، تامین نیازهای زراعی گیاه ضروری است. تامین این نیازها پس از گذشت این مدت، از نظر مدیریتی نه تنها باعث افزایش سرعت رشد محصول و بالا رفتن عملکرد نمی‌شود، بلکه موجب کاهش سرعت رشد محصول خواهد شد. استفاده از نهاده‌های زراعی مثل کود، سموم و علف کش مقرون به صرفه و اقتصادی نخواهد بود.

روند تغییرات سرعت رشد محصول در تیمارهای مختلف کودی و توصیف آن با استفاده از مدل رگرسیونی

برای توجیه برازش داده‌های مربوط به مقدار تجمعی CGR نسبت به زمان در تنش‌های مختلف خشکی در این آزمایش از ویژگی‌های  $R^2$  و  $SEE^1$  استفاده شد. روند تغییرات سرعت رشد محصول در تیمارهای مختلف تنش خشکی و توصیف آن با استفاده از مدل رگرسیونی غیرخطی peak در شکل ۱، نشان داده شده است. مقادیر SEE و  $R^2$  در مدل در حد قابل قبول است و مدل به خوبی می‌تواند روند تغییرات سرعت رشد محصول را توصیف کند (جدول ۴).

<sup>1</sup>. Standard Error of Estimate

CGR افزایش و به حداکثر خود رسید و سپس کاهش یافت. این الگوی تغییرات در تمامی تیمارهای مختلف کودی تقریباً یکسان است، با این تفاوت که از نظر عددی میزان CGR در نقطه اوج در شرایط تیمار شاهد بدون کود با ۱۹، شیمیایی (ازت+فسفر) با ۲۶/۴، ازتوبارور ۱ با ۲۳/۸، ازتوبارور ۲ با ۲۲/۶ و ازتوبارور ۱+۲ با ۲۵/۵ گرم بر مترمربع در روز بود (شکل ۲).



شکل ۲- رابطه بین میزان CGR (گرم بر متر مربع در روز) و تعداد روز پس از ظهور گیاه در سطح خاک تا زمان پیش از برداشت در تیمارهای مختلف کودی. خطوط منحنی نشان دهنده اعداد برازش شده در معادلات شاهد بدون کود، کودشیمیایی (ازت+فسفر)، ازتوبارور ۱، بارور ۲ و بارور ۱+۲ (Peak, Lorentzian, 4 Parameter) و علائم (شاهد بدون کود)، (کود شیمیایی)، (بارور ۱)، (بارور ۲) و (بارور ۱+۲) میزبان عددی مشاهده شده تیمارهای کودی است.

جدول ۵- مشخصات معادلات برازش شده مربوط به CGR در تیمارهای مختلف کودی. تمامی تیمارهای آزمایشی در مدل رگرسیون (Peak, Lorentzian, 4 Parameter) و معادله  $Y=y_0+a/(1+((x-x_0)/b)^2)$  برازش گردید

ضرایب معادله				SEE	ضریب تبیین (R <sup>2</sup> )	تیمارهای کودی
Y <sub>0</sub>	X <sub>0</sub>	b	a			
-۰/۳۱۶±۰/۰۲۳	۶۷/۳۳۴±۰/۰۲۴	۱۰/۸۵۴±۰/۰۳۹	۲۰/۶۵۴±۰/۰۳۶	۰/۰۲۷	۰/۹۹	شاهد بدون کود
-۱/۷۰۴±۰/۳۲۹	۶۶/۳۳۳±۰/۲۱۳	۱۴/۸۲۲±۰/۴۰۶	۲۸/۳۳۷±۰/۴۲۱	۰/۳۳۰	۰/۹۹	شیمیایی (ازت+فسفر)
-۰/۴۴۶±۰/۰۵۲	۶۸/۰۹۸±۰/۲۱۳	۱۰/۳۲۳±۰/۰۸۰	۲۶/۴۲۳±۰/۰۹۶	۰/۰۶۲	۰/۹۹	ازتوبارور ۱
-۰/۳۲۴±۰/۰۹۹	۶۷/۶۷۴±۰/۰۹۱	۹/۹۰۱۸±۰/۱۵۵	۲۴/۵۹۶±۰/۱۸۴	۰/۱۲۰	۰/۹۹	ازتوبارور ۲
-۱/۲۱۵±۰/۰۹۱	۶۶/۶۹۹±۰/۰۶۴	۱۳/۳۹۳±۰/۱۱۴	۲۷/۱۲۹±۰/۱۲۲	۰/۰۹۷۵	۰/۹۹	ازتوبارور ۱+۲

## بحث و نتیجه گیری

نیتروکسین (ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم) بدست آمد [۱۵]. افزایش پرولین در هنگام تنش نشان دهنده نقش اسیدآمینو در تنظیم فشار اسمزی است [۲۲] این موضوع را می توان دلیلی بر افزایش میزان پرولین در تیمارهایی که تحت تنش شدید بودند، دانست.

تنش خشکی باعث افزایش جذب پتاسیم در اندام هوایی گیاه ذرت شد [۳۱]. هم چنین در بررسی دیگری در

در بزرک با افزایش تنش خشکی، میزان پرولین تا صد برابر میزان آن در گیاهان شاهد (آبیاری مناسب) افزایش یافت [۱۲]. میزان اسیدآمینو پرولین در گیاه کتان روغنی تحت شرایط تنش خشکی افزایش داشته است [۱۱]. در گیاه دارویی همیشه بهار نیز تنش خشکی و کود زیستی و اثر بر هم کنش آن ها تاثیر معنی داری بر میزان پرولین داشت، به نحوی که بیشترین میزان پرولین در تنش نسبتاً شدید (پتانسیل ۶/۵ اتمسفر) و استفاده از

نتایج ما و همکاران [۲۳] در خردل است. در شرایط تنش با ساخت و انتقال اسید آبسزیک به برگ، مجراهای کلسیمی در سلول‌های نگهبان روزنه فعال و روزنه‌ها بسته می‌شوند و جذب کلسیم افزایش پیدا می‌کند [۱].

در بررسی تأثیر کود ازتوبارور ۲ بر روی یونجه بیان شد بیشترین درصد کلسیم در اندام هوایی مربوط به تیمار کود بیولوژیک ازتوبارور ۲ بود [۲]. تلقیح لوبیا با میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش جذب برخی عناصر مانند کلسیم توسط گیاه شد [۳۲]. افزایش فسفر محلول با کاهش عناصر سنگینی مانند آلومینیوم باعث افزایش جذب عناصری از جمله کلسیم می‌شود [۳۷]. افزایش کلسیم هم‌چنین می‌تواند ناشی از تأثیر باکتری‌ها در توسعه سیستم ریشه و در پی آن جذب بهتر کلسیم باشد [۳]. به عبارت دیگر، با افزایش سطح ریشه و جذب بیشتر آب، افزایش جذب کلسیم اتفاق افتاده است.

کاهش CGR در اثر تنش خشکی در گلرنگ نیز اشاره شد [۲۸]. در گیاه ذرت با افزایش سطح تنش خشکی سرعت رشد گیاه یا CGR کاهش یافت [۳۳]. افزایش سرعت رشد محصول در گیاه لوبیا با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی گزارش شده است [۲۷]. در آزمایشی بر روی کتان روغنی سطوح مختلف کود شیمیایی (نیتروژن) بر CGR معنی‌دار شد و بیشترین میزان آن در تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بدست آمد [۲۹]. در همین راستا گزارش شد که تلقیح ذرت با ازتوباکتر باعث افزایش معنی‌دار CGR در این گیاه شد [۳۷]. تیمارهای مختلف کودهای بیولوژیک محرک رشد ازتوباکتر و آزوسپیریلوم و قارچ همزیست میکوریزا باعث افزایش CGR نسبت به تیمار شاهد بدون کود در گیاه سیاهدانه بود [۲۰]. دلیل این امر را افزایش دسترسی عناصر غذایی و بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه دانستند [۳۷]. تولید هورمون‌های محرک رشد به خصوص اکسین از طریق تحریک سیستم ریشه زایی باعث افزایش جذب در واحد سطح شده و در حضور مقادیر مناسبی از کودهای شیمیایی باعث تشدید این اثرات می‌شوند که این امر سرانجام موجب افزایش سرعت رشد محصول شده است [۸].

گیاه ذرت تنش خشکی باعث تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر میزان تجمع پتاسیم شد [۵].

وجود پتاسیم در نگهداری آب بافت‌های گیاهی اهمیت خاصی دارد. این کاتیون در تنظیم فشار اسمزی و کنترل روزنه‌ای نقش ایفا می‌کند [۳۸]. پتاسیم سبب می‌شود تا اثرات سوء تنش خشکی بر صفات کمی و کیفی گیاهان به واسطه افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و عمق نفوذ ریشه، کاهش یابد و سبب افزایش بازده مصرف آب در شرایط تنش خشکی شود که می‌تواند گامی مهم در جهت استفاده بهینه از آب در مناطق خشک باشد [۳۴].

در گیاه ذرت در تیماری که از کود شیمیایی ازت، فسفر و پتاسیم استفاده شد، افزایش پتاسیم در ریشه و اندام هوایی مشاهده گردید [۱۹]. استفاده از کود زیستی حاوی باکتری سودوموناس نیز تأثیر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم دانه در گیاه دارویی رازیانه داشته است [۷]. نتایج ارائه شده توسط سایر پژوهشگران مبنی بر افزایش غلظت پتاسیم در نتیجه استفاده کود شیمیایی با نتایج آزمایش جاری مطابقت دارد.

غلظت عناصر غذایی در خاک و حفظ تعادل در عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ضروری است، چرا که عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر، منیزیم برای حفظ کارایی مصرف آب و عنصری چون پتاسیم برای کنترل تلفات آبی از گیاه دارای نقش‌های مهمی هستند [۱۰]. از طرفی حضور دو کود بیولوژیک در کنار یکدیگر (حضور ازتوبارور ۱ و ازتوبارور ۲ در این آزمایش) نه تنها از طریق کمک در افزایش فراهم کردن سطح جذب، باعث بهبود جذب عناصر معدنی می‌شوند؛ بلکه قادرند در چرخه بیوژئوشیمیایی عناصر غذایی در خاک نیز دخالت نموده و از طریق آسان‌سازی حلالیت عناصر معدنی، موجب جذب کارآمد آن‌ها توسط گیاه شوند [۷].

در بررسی گیاهان کلزا و خردل گزارش شد با افزایش شدت تنش خشکی، کلسیم تجمع یافته در برگ روندی افزایشی داشته هرچند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار نبود [۱۰]. تنش اسمزی شدید سبب افزایش کلسیم سیتوپلاسمی شده و نقش یک سیگنال درک‌کننده تنش را در گیاهان مختلف دارد [۲۴]. میل به افزایش کلسیم برگ تحت تنش که در این مطالعه مشاهده شد، همسو با

می تواند تأثیر به سزایی در کاهش هزینه های حمل و نقل، انبارداری و توزیع داشته باشد. استفاده از کودهای زیستی کمک قابل توجه ای به تولید محصول سالم نموده و مخاطرات محیط زیستی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی را کاهش می دهد.

### سپاسگزاری

بر خود لازم می دانم از شرکت زیست فناور سبز به دلیل در اختیار نهادن کودهای زیستی مورد نیاز مربوط به آزمایش تشکر و قدردانی به عمل آورم.

### References

- [1]. Abdul-Majid, S., Rehana, A., & Ghulam, M. (2007). Potassium-calcium inter relationship linked to drought tolerance in wheat, *Pakistan Journal of Botany*, 39(5), 1609-1621.
- [2]. Afrasiabi, M., AminiDehaghi, M., & ModaresSanavi, A. (2011). Effect of phosphate biofertilizer Barvar-2 and triple super phosphate fertilizer on yield, quality and nutrient uptake of *Medicago scutellata*, cv. Robinson, *Journal of Agronomy Sciences*, 2(4), 43-54, (in Farsi).
- [3]. Alikhani, H.A., & Yakhchali, B. (2009). Potential use of Iranian rhizobial strains as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and effects of selected strains on growth characteristics of wheat, corn and alfalfa. Desert, <http://jdesert.ut.ac.ir>.
- [4]. Alizade, A. (2008). Plants and soil water relations, Press of Astan Qods Razavi, Mashhad, 396 pp.
- [5]. Alizade, O., & Alizade, A. (2007). Mycorrhizal effects on nutrient uptake of maize under different soil moisture, *Journal of Agricultural Sciences*, 3:1, 101-109, (in Farsi).
- [6]. Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, L.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies, *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- [7]. Darzi, M.T., Ghalavand, A., & Rejali, F. (2009). The effects of biofertilizers application on N, P, K assimilation and seed yield in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), *Iranian*

هر یک از سطوح متفاوت تنش خشکی تأثیری معنی دار نسبت به تیمار آبیاری کامل یا شاهد بر خصوصیات بزرگ نشان دادند. در بین تیمارهای تنش رطوبتی، تیمار تنش شدید رطوبتی بیشترین تأثیر را بر صفات مورد مطالعه داشت. این کودها علاوه بر تامین نیازهای غذایی گیاه با توسعه سیستم ریشه می توانند به افزایش جذب مواد غذایی و آب از خاک کمک و همچنین مقاومت گیاهان را نسبت به بیماری ها و تنش های آبی افزایش دهند. این موضوع به ویژه در کشور ما که با محدودیت منابع آب در کشاورزی روبه رو است بسیار اهمیت دارد. همچنین با کاربرد حجم کمتری از کودهای زیستی (تا ۳۰ درصد مقدار کودهای شیمیایی) به تنهایی

- Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 25(1), 1-19, (in Farsi)
- [8]. Eidizade, K.H., MahdaviDamghani, A., Sabahi, H., & Sufi zade, S. (2010). Effect of Biological fertilizer in combination with inorganic fertilizer on the growth of maize (*Zea mays* L.) in Shoushtar, *Journal of Agricultural Ecology*, 2(2), 292-301, (in Farsi).
- [9]. Emami, A. (1996). Analysis methods of plant. Soil and water research institute press. 202pp.
- [10]. Fanaei, H.R., Galuy, M., Kafi, M., & Shirani rad, A.H. (2013). Interaction of Water Deficit Stress and Potassium Application on Potassium, Calcium, Magnesium Concentration and Oil of Two Species of Canola (*Brassica napus*) and Mustard (*Brassica juncea*), *Journal of Soil and Water*, 23(3), 261-275, (in Farsi).
- [11]. Ghorbanli, M., BakhshiKhaniki, G.H., & Zakeri, A. (2011). Effect of drought stress on anti oxidant compound on linseed (*Linum usitatissimum* L.), *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(4), 646-658, (in Farsi).
- [12]. Girousse, C., Bournolille, R., & Bonnemain, J.L. (1996). Water deficit changes in concentration of proline and some other amino acids in the phloem sap of alfalfa, *Plant Physiology*, 111, 109-115.
- [13]. Hamidi, H., & Safarnejad, A. (2002). The study Morphological and biochemical characteristics of the callus of alfalfa under



- drought stress, *Research and Development Journal*, 58, 84-89, (in Farsi).
- [14]. Hernandez, A.N., Hernandez, A., & Heydrich, M. (1995). Selection of rhizobacteria for use maize cultivation, *Journal of Cultivos Tropicales*, 6, 5-8.
- [15]. Jafarzadeh, L., Omidi, H., & Bostani, A. A. (2013). Effect of drought stress and bio-fertilizer on flower yield, photosynthesis pigments and proline content of Marigold (*Calendula officinalis* L.), *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 29(3), 666-681, (in Farsi).
- [16]. Kafi, M. (1995). Plant Physiology (Volume II), Mashhad Press University Jihad, 676 pp, (in Farsi).
- [17]. KhajehPour, M.R. (2013). Principles of agronomy. Esfahan University of Jihad press, 658 pp, (in Farsi).
- [18]. Khan, M.M.A. (2006). In Glimpses in plant Research, Medicinal Plants, 6. 287-290.
- [19]. KhanpourArdestani, N., ZareMarivan, H., & Ghanati, F. (2008). Potassium and magnesium uptake in mycorrhizal maize plants under different amounts of potassium and magnesium, *Plant and Ecosystem journal*, (14), 87-101, (in Farsi).
- [20]. Khoramdel, S., Kuchaki, A., NasiriMahalati, M., & Ghorbani, R. (2010). Effect of fertilizers on the yield and yield components of biological medicinal NS, *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(5), 758- 766, (in Farsi).
- [21]. Kuchaki, A., & Sarmadnia, G.H.M. (2012). Physiology of Crop Plants, Mashhad Press University Jihad, 400, (in Farsi).
- [22]. Kuzentsov, V.I., & S hevyakova, N.I., (1999). Proline under stress: biological role, metabolism, and regulation, *Russian Journal of Plant Physiology*, 46, 274-287.
- [23]. Ma, Q.F., Turner, D.W., Levy, D., & Cowling, W.A. (2004). Solute accumulation and osmotic adjustment in leaves of Brassica oilseeds in response to soil water deficit, *Australian Journal of Agricultural Research*, 55, 939-945.
- [24]. Matsumoto, T.K., Ellsmore, A.J., Cessna, S.G., Low, P.S., Pardo, J.M., Bressan, R.A., & Hasegawa, P.M. (2002). An osmotically induced cytosolic  $Ca^{2+}$  transient activates calcineurin signaling to mediate ion homeostasis and salt tolerance of *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Biological Chemistry* 27. 3075-3080.
- [25]. Mirshekari, M., Amiri, R., Irannezhad, H., Noori, A., & Zandevakili, O.R. (2012). Effect of Planting Date and Water Dificit on Quantitative and Qualitative Traits of Flax seed. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 12(7). 901-913.
- [26]. Mirzakhani, M., Ardakani, M.R., Ayeineband, A., Shirani rad, A.H., & Rejali, F. (2008). Effect of Azotobacter inoculation and mycorrhiza in nitrogen and phosphorus on yield and yield components of spring safflower. The 10<sup>th</sup> Iranian Crop Sciences Congress, 30-28 August, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj. PP413, (in Farsi).
- [27]. Nazeri, P., Kashani, A., Kavazi, K., Ardakani, M., & Mirakhori, M. (2012). Effect of Use Microbial Zinc Granulated Phosphorous Bio fertilizer on Growth Indices of Bean. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(3). 111-126. (in Farsi).
- [28]. Omidi, A. (2009). Effect of Drought Stress at Different Growth Stages on Seed Yield and some agronomic and physiological traits of three cultivars of spring safflower. *Seed and Plant Production Journal*, 25(1), 15-31 (in Farsi).
- [29]. Rahimi, M., Mohamadi, G.H., Aeineband, A., Afshar, A., & Maafpourian, G.H. (2009). Effects of Sowing Time and Different Nitrogen Levels on Quantitative and Qualitative Characteristics of Oil Flax (*Linum usitatissimum* L.), *Seed and Plant Production Journal*, 25-2 (1), 79-91, (in Farsi).
- [30]. Safarnejad, A. (2003). A review of various methods of selective plants for drought tolerance, *Journal of Agricultural Drought and droughts*, 7, 7-13, (in Farsi).
- [31]. Sajedi, N.A., Ardakani, M.R., Sajedi, A., & Bahrami, A. (2010). Absorption of some nutrients is influenced by mycorrhiza and different levels of drought stress and zink on corn. *Journal of Agricultural Research*, 8(5), 784-791, (in Farsi).
- [32]. Singh, S., & Kapoor, K. (1988). Effect of inoculation of phosphate solubilizing microorganisms and arbuscular mycorrhizal fungus on mung bean grown under natural soil condition, *Mycorrhiza*, 7(5), 249-253.

- [33]. Tarigholeslami, M., Zarghami R., Akbar bujar, M., & Oveisi, M. (2012). Effect of Nitrogen fertilizer and Water Deficit Stress on Physiological indices of corn (*Zea mays* L.), *Journal of Agriculture and Plant Modification*, 8(1), 161-174, (in Farsi).
- [34]. Valadabadi, A., & Ali-abadiFarahani, H. (2008). Effect of potassium application on quantitative characteristics and root penetration of corn, sorghum and millet under drought stress, *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 4(2), 37-42, (in Farsi).
- [35]. Vessy, K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers, *Plant and Soil*, 225, 521-589.
- [36]. Waluyo, S.H., Lie, T.A., & Mannetje, L. (2004). Effect of phosphate on nodule formation of soybean (*Glycine max* Merrill) in acid soils in rhizotron experiments, *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 5, 37-44, (in Farsi).
- [37]. Wu, S.C., Cao, Z.H., Li Z.G., Cheung, K.C., & Wong, M.H. (2005). Effect of biofertilizer containing N-fixer, Plant Growth Promoters and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial *Geoderma*, 125, 155-166.
- [38]. Yordanov, V., & Tsoev, T. (2000). Plant responses to drought, acclimation and stress tolerance, *Photosynthetica*, 38(1), 171-186.

**Effect of drought stress and bio-fertilizers and chemical fertilizers on some morphological and physiological characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.)**

- 1- S.A. Sadeghian Dehkordi, MSc. Student of Agroecology Department of Agronomy, Shahrekord University  
sadeghian.anis@gmail.com
- 2- A. Tadayyon, Associate Professor, Department of Agronomy, Shahrekord University
- 3- M. R. Tadayon, Associate Professor, Department of Agronomy, Shahrekord University
- 4- A. Saffar, MSc. of Crop Ecology Department of Agronomy, University of Tehran

Received: 14 Nov 2013

Accepted: 14 Nov 2015

**Abstract**

In order to evaluate the effects of drought stress, bio-fertilizers and chemical fertilizer (N+P) treatments on some traits of linseed, include percent of proline, potassium and calcium and the pattern of CGR, a field experiment was conducted as split-plot in RCBD design with three replications at Shahrekord University in 2013. Drought stress at four levels of without stress (with potential of 0.3 atmosphere), light stress (with potential of 3.5 atmosphere), moderate stress (6.5 atmosphere) and severe stress (9.5 atmosphere) as main factors and five fertilizer treatments of control (no fertilizer), chemical fertilizer (N+P), bio-fertilizer of Azotobarvar 1, Azotobarvar 2 and combination of Azotobarvar 1+ Azotobarvar 2 as minor factors were used. Results showed that the effects of drought stress, fertilizer and their interaction on the characteristics of proline, calcium and potassium concentrations were significant at 1 percent level ( $P \leq 0.01$ ). The maximum proline (19.24 mg/g dry weight) and potassium (3.10%) obtained under severe drought stress and Azotobarvar 1+ Azotobarvar 2 treatments and maximum calcium obtained under severe drought stress and Azotobarvar 2 treatments. Analyzing of the trend of crop growth rate the maximum CGR observed at 65 days after seedling emergence in soil in both control treatment of without stress and chemical fertilizers (N + P). Because of the side environmental effects of using chemical fertilizers, using bio-fertilizers of azotobarvar 1, Azotobarvar 2 is recommended.

**Keywords:** Azotobarvar; Calcium; Crop growth rate; Linseed; Water deficit; Potassium; Proline.