

اثر مصرف زئولیت و کود نیتروژن بر رشد، عملکرد دانه و بهره‌وری آب شنبلیله  
(*Trigonella foenum-graecum* L.) در شرایط تنش خشکی

Effect of application of zeolite and nitrogen fertilization on growth, seed yield  
and water productivity of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under  
drought stress conditions

ابوالفضل باغبانی آرانی<sup>۱</sup>، سید علی محمد مدرس ثانوی<sup>۲</sup>، مسعود مشهدی اکبر بوجار<sup>۳</sup>  
و علی مختصی بیدگلی<sup>۴</sup>

چکیده

باغبانی آرانی، ا.، س.ع.م. مدرس ثانوی، م. مشهدی اکبر بوجار و ع. مختصی بیدگلی. ۱۳۹۶. اثر مصرف زئولیت و کود نیتروژن بر رشد، عملکرد دانه و بهره‌وری آب شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) در شرایط تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران. ۱۹(۳): ۲۵۴-۲۳۹.

به منظور ارزیابی اثر مصرف زئولیت و کود نیتروژن بر صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و زراعی شنبلیله در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل پنج سطح آبیاری (بدون تنش، تنش خفیف در مراحل رویشی و زایشی و تنش شدید در مراحل رویشی و زایشی) به عنوان عامل اصلی و ترکیب فاکتوریلی سه تیمار کودی بر اساس نیتروژن مورد نیاز گیاه (شاهد، ورمی کمپوست به میزان ۲/۷ تن در هکتار و کود اوره به میزان ۱۱ کیلوگرم در هکتار) و دو مقدار زئولیت (صفر و نه تن در هکتار) به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که در هر دو سال آزمایش، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار کلیه صفات گیاهی مورد مطالعه نسبت به شاهد بدون تنش شده و مصرف زئولیت و ورمی کمپوست اثر منفی تنش خشکی را کاهش داد. بیشترین عملکرد دانه شنبلیله در برهمکنش تیمارهای آبیاری و زئولیت با کود نیتروژن، در تیمار بدون تنش همراه با ورمی کمپوست (۹۰۳/۱ کیلوگرم در هکتار) و در تیمار زئولیت همراه با ورمی کمپوست (۵۶۸/۰۹ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. با افزایش شدت تنش خشکی در مرحله رویشی و زایشی، عملکرد دانه در سال اول به ترتیب ۲۴ و ۷۶ درصد و در سال دوم به ترتیب ۳۱ و ۵۴ درصد، نسبت به شاهد بدون تنش، کاهش یافت. نتایج این آزمایش نشان داد که در اکثر تیمارهای آبیاری، مصرف زئولیت و ورمی کمپوست با افزایش دسترسی آب و عناصر غذایی، سبب افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب دانه شنبلیله گردید.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ورمی کمپوست، اوره، بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد.

این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۹

۱- دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: modaresa@modares.ac.ir)

۳- دانشیار دانشگاه خوارزمی

۴- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

## مقدمه

شنبليله (*Trigonella foenum-graecum*) گیاهی است یک‌ساله و متعلق به خانواده بقولات که به‌طور وسیعی در مناطق معتدله و گرمسیری مدیترانه‌ای، اروپا، آسیا و آفریقا کشت می‌شود. این گیاه در ایران به‌صورت خودرو در استان‌های اصفهان، اردبیل، لرستان، فارس، کرمان، سیستان و بلوچستان، خراسان، سمنان، آذربایجان غربی و شرقی می‌روید. در ایران شنبليله، علاوه بر مصرف به صورت سبزی، به‌عنوان گیاه ادویه‌ای و دارویی (ضد فشار خون، دیابت و ...) و آرایشی مورد استفاده قرار گرفته و به‌علاوه به‌عنوان کود سبز نیز می‌توان از آن استفاده کرد. سطح زیر کشت شنبليله در ایران حدود ۴۰۰ هکتار و تولید سالانه آن ۸۰۰ تن در هکتار (ماده خشک) و ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار (دانه) می‌باشد (Sadeghzadeh-Ahari et al., 2010). با توجه به گستردگی کشت شنبليله در ایران و جهان، این گیاه با تنش‌های مختلف غیر زنده محیطی از جمله تنش خشکی، در طول فصل رشد مواجه می‌شود (Dadrasan et al., 2015; Sadeghzadeh-Ahari et al., 2010). نتایج برخی آزمایش‌ها نشان داده است که تنش ناشی از کمبود آب در شنبليله باعث کاهش تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی، کاهش سطح برگ، کاهش ارتفاع بوته و وزن خشک گیاه، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و عملکرد علوفه و دانه خواهد شد (Bazazi et al., 2013; Dadrasan et al., 2015).

نیترژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی است که کمبود آن رشد و توسعه گیاهان را محدود کرده و استفاده از آن برای حصول به‌عملکرد مناسب ضروری است. اثر مثبت کودهای شیمیایی نیترژنی بر عملکرد شنبليله گزارش شده است (Tunctürk et al., 2011; Dadrasan et al., 2015).

استفاده از روش‌های به‌زراعی جهت مدیریت موثر

مصرف آب و توسعه کشاورزی پایدار مورد تاکید قرار گرفته است. استفاده از کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوست که باعث بهبود شرایط بیولوژیک خاک شده و همچنین مصرف زئولیت به‌دلیل نقش آن در کاهش اثرات تنش کم‌آبی، از جمله این روش‌ها است. استفاده از مواد معدنی طبیعی مانند زئولیت باعث بهبود ساختمان فیزیکی و شیمیایی خاک که منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک به مدت طولانی و صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی و جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود، توصیه شده است (Ippolito et al., 2011). نتایج یک آزمایش نشان داد که مصرف ۴۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک باعث افزایش تعداد، طول، قطر، وزن تر و وزن خشک ریشه و سطح برگ، وزن تر و وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه شنبليله شد (Karimi et al., 2013). محققین گزارش کردند که در تیمارهای دارای زئولیت، کاربرد کود آلی ظرفیت نگهداری آب را افزایش داد و این به خاطر ترکیبات آبدوستی است که در مواد آلی است (Lima et al., 2009). علاوه بر این زئولیت رشد و نمو گیاهان را بهبود می‌بخشد و تولید ماده خشک را از طریق فراهمی طولانی مدت نیترژن افزایش می‌دهد. بنابراین راندمان مصرف آب بالاتر در تیمار تلفیقی با زئولیت، در دو مرحله جداگانه می‌تواند توضیح داده شود. افزایش نگهداری آب به‌دلیل ترکیبات موجود در مواد آلی و رشد و نمو بهتر گیاه به‌دلیل حضور زئولیت (Gholamhoseini et al., 2013).

در خصوص رفتار گیاه دارویی شنبليله در پاسخ به شرایط مختلف رطوبتی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی و زئولیت مطالعات محدودی صورت گرفته است. هدف از اجرای این پژوهش، بررسی اثر تنش خشکی، کود نیترژن، زئولیت و برهمکنش آن‌ها بر صفات مرتبط با فنولوژی، مورفولوژی، عملکرد دانه و اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب دانه شنبليله بود.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در کیلومتر ۱۶ اتوبان تهران- کرج در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۲۱۵ متر از سطح دریا اجرا شد. بر اساس آمار هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به دانشکده کشاورزی (چیتگر)، این منطقه با ۲۴۲ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک بوده و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۲۲ درجه سانتی‌گراد است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل پنج سطح آبیاری ( $I_1$ =بدون تنش در مرحله رویشی و زایشی؛ آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک،  $I_2$ =آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در مرحله رویشی،  $I_3$ =آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در مرحله زایشی،  $I_4$ =آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در مرحله زایشی و  $I_5$ =آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در مرحله زایشی) به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب فاکتوریلی از سه تیمار کودی بر اساس نیاز نیتروژنی گیاه ( $F_1$ =بدون کود دهی،  $F_2$ =ورمی کمپوست به میزان ۲/۷ تن در هکتار و  $F_3$ =اوره به میزان ۱۱ کیلوگرم در هکتار) و دو مقدار زئولیت ( $Z_1$ =صفر و  $Z_2$ =۹ تن در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی بودند. قبل از اجرای آزمایش با نمونه‌برداری از خاک در زمان‌های مختلف، با استفاده از روش وزنی، درصد حجمی رطوبت خاک تعیین شد (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013) و درصد حجمی رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR

(TRIM-FM TDR 10776, IMCO, Germany) اندازه‌گیری شد و سپس یک معادله رگرسیونی بین دو سری از داده‌های اندازه‌گیری شده برای کالیبره کردن دستگاه TDR مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر اندازه‌گیری شده با دستگاه TDR در طول دوره رشد گیاه به‌طور روزانه ثبت شد. نتایج این روش با استفاده از روش وزنی کنترل و به رطوبت حجمی تبدیل گردید. مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار بر اساس روش مختصی بیدگلی و همکاران (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013) محاسبه و به روش جوی و پشته‌ای در اختیار گیاه قرار داده شد.

در هر دو سال کشت در تاریخ ۲۰ اردیبهشت در زمین اصلی با تراکم ۲۷ بوته در مترمربع (فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها ۱۲/۵ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌های اصلی و فرعی به ترتیب ۳ و ۲ متر) انجام شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۳×۲/۵ با هشت خط کاشت بود. تیمارهای تنش خشکی در مرحله رویشی، پس از استقرار کامل گیاه (۱۷ خرداد) تا مرحله گلدهی (۱۶ تیر) و تیمار تنش خشکی در مرحله زایشی در هنگام گلدهی تا انتهای دوره رشد گیاه بر اساس ظرفیت زراعی خاک، اعمال گردید. مبنای تعیین مقدار مورد نیاز کود ورمی کمپوست با در نظر گرفتن محتوای نیتروژن خاک و کود (جدول ۱)، مقدار کود نیتروژن لازم برای گیاه شنبلیله (۴۰ کیلوگرم در هکتار) و مقدار آزادسازی نیتروژن کود ورمی کمپوست (۳۰ درصد) بود (Mehrafarin et al., 2011). بر این اساس مقدار مورد نیاز کود ورمی کمپوست ۲/۷ تن در هکتار تعیین شد. زئولیت مصرفی از نوع کلینوپتیلولیت بوده و ویژگی‌های شیمیایی آن در جدول ۲ ارائه شده است. زئولیت و ورمی کمپوست قبل از کاشت با خاک هر کرت به‌طور کامل مخلوط شدند. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. ژنوتیپ آزمایشی اکوتیپ بومی منطقه اصفهان (توده اردستانی) بود که بذر آن از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. بزاز و

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی و خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست

Table 1. Physico-chemical properties of soil in the experimental site and chemical properties of vermicompost

| روى                       | آهن                       | پتاسیم                   | فسفر                     | کربن به نیتروژن | نیتروژن | مواد آلی           | اسیدیته | هدایت الکتریکی           | بافت خاک     |              |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|---------|--------------------|---------|--------------------------|--------------|--------------|
| Zn (mg.kg <sup>-1</sup> ) | Fe (mg.kg <sup>-1</sup> ) | K (mg.kg <sup>-1</sup> ) | P (mg.kg <sup>-1</sup> ) | C:N             | N (%)   | Organic matter (%) | pH      | EC (dS.m <sup>-1</sup> ) | Soil texture |              |
| 0.84                      | 3.86                      | 320                      | 35                       | 0.099           | 0.06    | 1.98               | 7.35    | 1.82                     | لومی شنی     | خاک          |
|                           |                           |                          |                          |                 |         |                    |         |                          | Sandy loam   | Soil         |
| 170                       | 14000                     | 72                       | 48                       | 16.5            | 0.84    | -                  | 7.65    | 9.25                     | -            | ورمی کمپوست  |
|                           |                           |                          |                          |                 |         |                    |         |                          |              | Vermicompost |

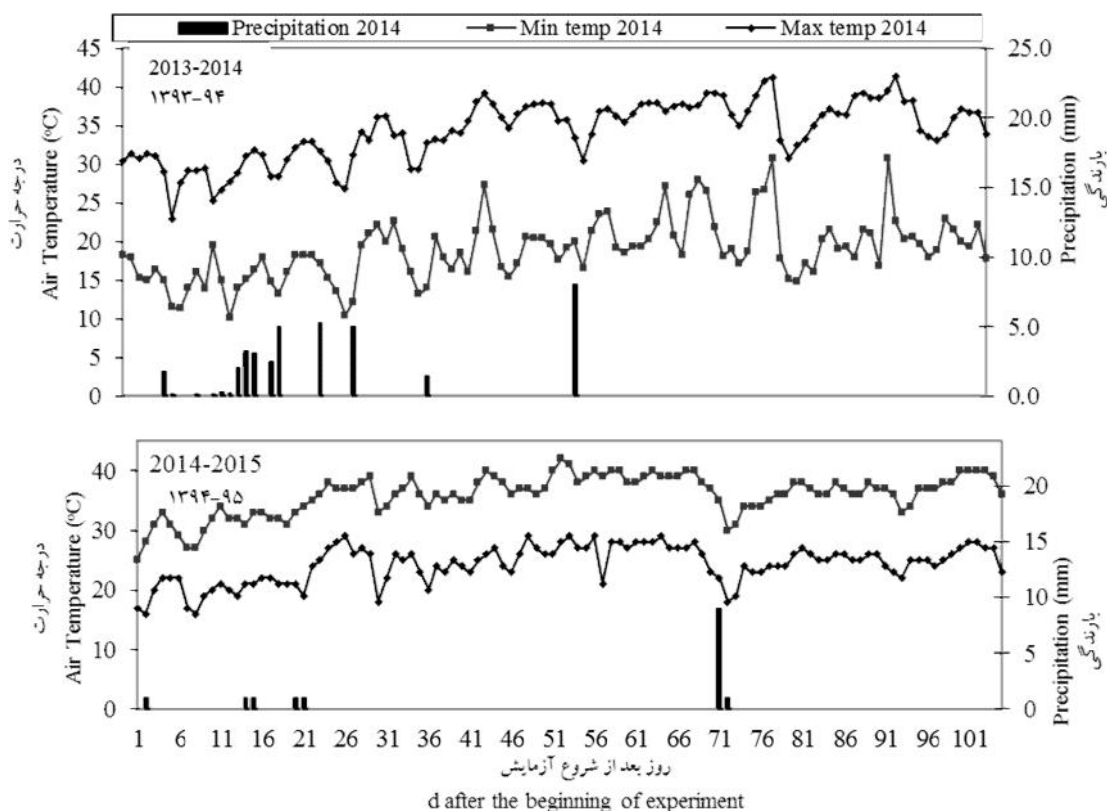
جدول ۲- ترکیبات شیمیایی موجود در زئولیت مورد استفاده (درصد)

Table 2. Chemical composition of the used zeolite (%)

| اکسید کلسیم | اکسید منیزیم | اکسید سدیم        | اکسید پتاس       | تری اکسید آلومینیوم            | دی اکسید سیلیسیوم | پنتا اکسید فسفر               | تری اکسید گوگرد | کلر | تری اکسید آهن                  | اکسید منگنز | اکسید تیتانیوم   |
|-------------|--------------|-------------------|------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|-----|--------------------------------|-------------|------------------|
| CaO         | MgO          | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub>  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | Cl  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO         | TiO <sub>2</sub> |
| 2.3         | 0.1          | 1.08              | 3                | 12.02                          | 65                | 0.01                          | -               | -   | 1.5                            | 0.04        | 0.03             |

CEC= 200 meq.100g<sup>-1</sup>

ظرفیت تبادل کاتیونی = ۲۰۰ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم



شکل ۱- حداکثر و حداقل دمای هوا (درجه سانتی گراد) و بارندگی (میلی متر) طی فصل رشد شنبلیله (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴)  
Fig. 1. Maximum and minimum air temperatures (°C) and precipitation (mm) during the growing season of fenugreek (2014 and 2015)

عملکرد دانه به مقدار آب مصرفی، بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، محاسبه شد (Hatfield *et al.*, 2001). نتایج آزمون بارتلت برای اکثر صفات اندازه گیری شده معنی دار بود، به همین دلیل تجزیه آماری سال ها به طور جداگانه انجام شد. تجزیه های آماری با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد. قبل از انجام تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع باقیمانده ها (با استفاده از رویه Univariate) اطمینان حاصل شد. تجزیه واریانس داده های آزمایش با استفاده از رویه GLM (مدل خطی تعمیم یافته) انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی به روش آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

همکاران (Bazazi *et al.*, 2013) گزارش کردند که از بین شش توده شنبلیله (شیراز، اردستان، تیرانچه، یزد، جهرم و هندی) که در ایران کشت می شوند، توده اردستانی بیشترین عملکرد بیولوژیک و دانه را در شرایط خشکی داشته و کشت این توده برای مناطق خشک توصیه کردند.

جهت اندازه گیری اجزای عملکرد، ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت برداشت و برای تعیین عملکرد دانه، بوته های دو ردیف میانی با رعایت اثر حاشیه، برداشت شدند. برای اندازه گیری ماده خشک گیاهی و محاسبه شاخص برداشت، نمونه ها در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشکانده و توزین شدند. بهره وری آب برای تولید دانه، با استفاده از نسبت

## نتایج و بحث

نتایج نشان داد که در هر دو سال، اثر اصلی تیمارهای آبیاری، کود و اثر برهمکنش آبیاری با کود بر ارتفاع بوته سنبله معنی دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر دو سال، با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع بوته کاهش یافت. در اکثر ترکیبات تیمار آبیاری استفاده از کود نیتروژن (اوره و ورمی کمپوست) باعث افزایش ارتفاع بوته شد، به گونه‌ای که کود اوره در تیمارهای بدون تنش خشکی ( $I_1$ ) و در اکثر ترکیبات تیماری تنش خفیف در مرحله رویشی و زایشی ( $I_2$  و  $I_3$ )، بالاترین ارتفاع بوته را داشتند، ولی در تنش‌های شدید خشکی در مرحله رویشی و زایشی ( $I_4$  و  $I_5$ )، تیمارهای دارای ورمی کمپوست، بیشترین ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۳).

بزاز و همکاران (Bazazi et al., 2013) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته سنبله (توده اردستانی) شده و با افزایش شدت تنش، کاهش بیشتری یافت. علت کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی، کاهش فشار آماس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها می‌باشد (Baghalian et al., 2011). با افزایش تنش آب و کاهش فشار آماس سلول‌های محافظ روزنه، هدایت روزنه‌ای کاهش یافته و در اثر آن ارتفاع بوته، سرعت رشد، فتوسنتز و زیست توده گیاه کاهش می‌یابد (Baghalian et al., 2011). نتایج تحقیقات نشان داده است که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته سنبله می‌شود (Khosravi et al., 2014; Dadrasan et al., 2015; Baradaran et al., 2013; Shafighi et al., 2014). محققان گزارش کرده‌اند که مصرف کود نیتروژن باعث افزایش ارتفاع بوته سنبله (Dadrasan et al., 2015; Baradaran et al., 2013) می‌شود. همچنین گزارش شده است که کود ورمی کمپوست باعث افزایش ارتفاع بوته لویا می‌شود (Manivannan et al., 2009).

ورمی کمپوست از طریق افزایش جذب آب و تأثیر بر قابلیت تحریک‌کنندگی فعالیت میکروب‌های مفید خاک و توانایی آن در افزایش جذب مواد غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بر میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک مؤثر واقع شده و باعث افزایش ارتفاع بوته‌ها می‌شود (Manivannan et al., 2009; Haj Seyed Hadi and Rezaee Ghale, 2016).

تعداد شاخه‌های جانبی در هر دو سال آزمایش تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و کود قرار گرفت و در سال دوم علاوه بر آن‌ها، اثر زئولیت و برهمکنش آبیاری  $\times$  کود نیز بر تعداد شاخه‌های جانبی سنبله معنی دار شدند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر دو سال، با افزایش شدت تنش خشکی، تعداد شاخه‌های جانبی کاهش یافتند، به گونه‌ای که کمترین تعداد شاخه رویشی در تیمارهای تنش شدید خشکی در مراحل رویشی و زایشی مشاهده شد (جدول‌های ۳ و ۴).

در سال ۱۳۹۳ بیشترین تعداد شاخه جانبی با مصرف ورمی کمپوست به‌دست آمد و در سال ۱۳۹۴ نیز در تمامی ترکیبات تیماری آبیاری و کود، تیمارهای دارای ورمی کمپوست، بیشترین تعداد شاخه جانبی را داشتند (جدول‌های ۳ و ۴). در سال ۱۳۹۴، تیمارهای دارای زئولیت بیشترین تعداد شاخه رویشی را داشتند (جدول ۳). گزارش شده است که با افزایش تنش خشکی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و وزن گیاه سنبله کاهش می‌یابد (Shafighi et al., 2014). نتایج سایر تحقیقات نشان داده است که مصرف ورمی کمپوست، تعداد شاخه‌های جانبی گیاه لویا (Manivannan et al., 2009) و عدس (Eskandari and Astarayi, 2006) را افزایش داد. شفیقی و همکاران (Shafighi et al., 2014) گزارش دادند که استفاده از کود زیستی در سطوح مختلف آبیاری، باعث افزایش تعداد شاخه جانبی در سنبله گردید. خسروی و همکاران (Khosravi et al., 2014) گزارش کردند که افزایش مصرف نیتروژن از صفر به

جدول ۳- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، عملکرد دانه و اجزای عملکرد شبلیله در برهمکنش تیمارهای آبیاری و کود

Table 3. Mean comparison of plant height, seed yield and yield components of fenugreek in irrigation × fertilizer treatments

| ۱۳۹۳<br>2014                   |                                     |                                               |                                              |                                                     | ۱۳۹۴<br>2015                        |                                     |                                               |                                              |                                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| تیمارهای آزمایشی<br>Treatments | ارتفاع بوته<br>Plant height<br>(cm) | تعداد غلاف در بوته<br>Pod.plant <sup>-1</sup> | تعداد دانه در غلاف<br>Seed.pod <sup>-1</sup> | عملکرد دانه<br>Seed yield<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | ارتفاع بوته<br>Plant height<br>(cm) | تعداد شاخه جانبی<br>No. of branches | تعداد غلاف در بوته<br>Pod.plant <sup>-1</sup> | تعداد دانه در غلاف<br>Seed.pod <sup>-1</sup> | عملکرد دانه<br>Seed yield<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) |
| I <sub>1</sub> F <sub>1</sub>  | 42.2cde                             | 17.5b                                         | 5.5ef                                        | 605.2b                                              | 40.9def                             | 13.3bc                              | 16.7ab                                        | 6.1bcde                                      | 714.8b                                              |
| I <sub>1</sub> F <sub>2</sub>  | 46.7ab                              | 20.3a                                         | 7.7ab                                        | 903.1a                                              | 45.0bc                              | 14.2ab                              | 19.5a                                         | 7.7a                                         | 959.6a                                              |
| I <sub>1</sub> F <sub>3</sub>  | 47.2ab                              | 17.3 b                                        | 5.4ef                                        | 554.6b                                              | 46.2ab                              | 14.2ab                              | 15.3b                                         | 6.0bcde                                      | 601.2c                                              |
| I <sub>2</sub> F <sub>1</sub>  | 39.7def                             | 13.2c                                         | 7.2abcd                                      | 502.4bc                                             | 38.9efg                             | 10.5def                             | 14.5bc                                        | 5.8cde                                       | 481.1d                                              |
| I <sub>2</sub> F <sub>2</sub>  | 43.3bcd                             | 17.0 b                                        | 6.1cde                                       | 604.9b                                              | 41.8de                              | 11.7cd                              | 14.7bc                                        | 5.8cde                                       | 495.6 cd                                            |
| I <sub>2</sub> F <sub>3</sub>  | 48.0a                               | 17.8b                                         | 5.8def                                       | 442.2c                                              | 48.4a                               | 12.2cd                              | 14.5bc                                        | 5.3e                                         | 415.4 de                                            |
| I <sub>3</sub> F <sub>1</sub>  | 39.3ef                              | 6.2 e                                         | 4.4f                                         | 124.2f                                              | 36.6gh                              | 12.7bc                              | 9.7ef                                         | 6.8abc                                       | 329.6efg                                            |
| I <sub>3</sub> F <sub>2</sub>  | 43.8bc                              | 10.8d                                         | 5.7ef                                        | 301.8d                                              | 39.8def                             | 15.3a                               | 11.8cde                                       | 5.8cde                                       | 420.0de                                             |
| I <sub>3</sub> F <sub>3</sub>  | 44.3abc                             | 10.5d                                         | 5.3ef                                        | 273.2de                                             | 42.4cd                              | 10.8de                              | 10.3def                                       | 5.5de                                        | 278.2fgh                                            |
| I <sub>4</sub> F <sub>1</sub>  | 36.7fg                              | 9.7d                                          | 7.9a                                         | 416.24c                                             | 34.9h                               | 8.8fgh                              | 11.5cde                                       | 5.4de                                        | 330.2efg                                            |
| I <sub>4</sub> F <sub>2</sub>  | 42.7cde                             | 14.7c                                         | 7.3abc                                       | 515.4bc                                             | 38.9efg                             | 9.7efg                              | 13.5bcd                                       | 6.3bcde                                      | 394.9de                                             |
| I <sub>4</sub> F <sub>3</sub>  | 37.3fg                              | 11.0 d                                        | 5.4ef                                        | 306.5d                                              | 40.5def                             | 8.8fgh                              | 10.0 ef                                       | 6.4bcd                                       | 340.5ef                                             |
| I <sub>5</sub> F <sub>1</sub>  | 34.7gh                              | 3.7f                                          | 6.2cde                                       | 147.5f                                              | 33.5hi                              | 7.7h                                | 6.2g                                          | 5.8cde                                       | 141.7i                                              |
| I <sub>5</sub> F <sub>2</sub>  | 41.8cde                             | 7.0e                                          | 6.2bcde                                      | 266.2de                                             | 38.1fg                              | 10.5def                             | 6.2g                                          | 6.9ab                                        | 224.3ghi                                            |
| I <sub>5</sub> F <sub>3</sub>  | 31.2h                               | 6.8e                                          | 5.2ef                                        | 181.7ef                                             | 30.8i                               | 8.5gh                               | 7.0fg                                         | 5.9bcde                                      | 195.5hi                                             |

I<sub>1</sub> = بدون تنش، آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک؛ I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub> = به ترتیب تنش خفیف خشکی در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک؛ I<sub>4</sub> و I<sub>5</sub> = تنش شدید خشکی در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک. F<sub>1</sub> و F<sub>2</sub> و F<sub>3</sub>: (بدون کود نیتروژن، ۲/۷ تن در هکتار ورمی کمپوست، ۱۱ کیلوگرم در هکتار اوره) در هر ستون میانگین هایی که با حروف مشترک نشان داده شده اند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند

I<sub>1</sub>: unstressed at vegetative and reproductive stages, Irrigation at 60% of ASW; I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>: mild stress and irrigation at 40% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; I<sub>4</sub>, I<sub>5</sub>: severe stress irrigation at 20% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>: (Zero nitrogen, 2.7 ton.ha<sup>-1</sup> vermicompost, 11 kg.ha<sup>-1</sup> Urea)

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد شاخه‌های اصلی را به ترتیب ۱۱/۸ و ۲۳/۵ درصد افزایش داد و افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۰ روز، اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه اصلی در شنبلیله نداشت. آن‌ها بیان نمودند که افزایش مصرف نیتروژن به علت افزایش قابلیت دسترسی ریشه شنبلیله به این عنصر ضروری، پتانسیل شاخه‌دهی گیاه را افزایش داده و می‌تواند با تولید شاخه و برگ بیشتر و افزایش دوام و شاخص سطح برگ، مواد فتوسنتزی کافی برای عملکرد دانه شنبلیله را فراهم کند.

در هر دو سال، تعداد روز تا رسیدگی تنها تحت تاثیر اثر اصلی تیمارهای آبیاری قرار گرفت. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، با افزایش شدت تنش خشکی (به خصوص در مراحل زایشی)، تعداد روز تا رسیدگی کاهش یافت. بیشترین تعداد روز تا رسیدگی در سال اول در تیمار شاهد ( $I_1$ ) با ۱۰۵ روز و در سال دوم در تیمارهای ( $I_1$  و  $I_2$ ) با ۹۹ روز و کمترین آن در سال اول در تیمار ( $I_5$ ) با ۸۳ روز و در سال دوم در تیمارهای ( $I_3$  و  $I_5$ ) با ۹۴ روز مشاهده گردید. کمبود رطوبت بازتاب گسترده‌ای در رشد، پیشرفت و عملکرد اقتصادی گیاه داشته و با تغییر در ساختمان بافت‌ها و اعضای گیاهی، ساختمان ماکرومولکول‌ها و هورمون‌های گیاهی، باعث تسریع چرخه زندگی گیاه برای بقای آن می‌شود (Blum, 1988).

بزازی و همکاران (Bazazi et al., 2013) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی در شنبلیله گردیده و با افزایش شدت تنش خشکی، زمان برداشت محصول ژنوتیپ‌های آزمایشی زودتر حاصل شد. پارسا و همکاران (Parsa et al., 2011) نیز گزارش کردند که تنش خشکی به علت کاهش شاخص سطح برگ و پیری زودرس گیاه، تعداد روز تا رسیدگی در نخود را کاهش داد.

در هر دو سال تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در

غلاف تحت تاثیر اثر اصلی تیمارهای آبیاری، ژنوتیپ و کود و برهمکنش آبیاری با ژنوتیپ و آبیاری با کود قرار گرفتند، به جز در سال ۱۳۹۴ که اثر اصلی ژنوتیپ بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر دو سال، در اکثر ترکیبات تیماری آبیاری، استفاده از ورمی کمپوست و ژنوتیپ باعث افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف گردید، به گونه‌ای که بیشترین تعداد غلاف در بوته در شرایط بدون تنش همراه با مصرف ورمی کمپوست و ژنوتیپ به‌دست آمد (جدول‌های ۳ و ۵). بزازی و همکاران (Bazazi et al., 2013) نیز گزارش کردند که بیشترین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در شنبلیله در شرایط بدون تنش به‌دست آمد و با افزایش شدت تنش، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف، به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. در میان اجزای عملکرد، تعداد غلاف در بوته بیشترین کاهش را داشت. قابل ذکر است که تعداد غلاف در بوته می‌تواند علاوه بر اثر مستقیم، به‌طور غیر مستقیم، از طریق تعداد دانه در بوته بر عملکرد دانه تاثیر بگذارد (Dadrasan et al., 2015). کاهش تعداد غلاف در بوته می‌تواند ناشی از عدم تلقیح تعدادی از گل‌ها و ریزش آن‌ها در اثر کمبود آب باشد و کاهش تعداد دانه در غلاف می‌تواند ناشی از ناکافی بودن فتوسنتز و تولید مواد لازم برای رشد دانه‌ها در شرایط کمبود آب باشد (Bazazi et al., 2013). دادرسا و همکاران (Dadrasan et al., 2015) نیز گزارش کردند که عملکرد دانه و اجزای عملکرد شنبلیله به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر رژیم آبیاری، کود و برهمکنش کود و آبیاری قرار گرفتند و تنش خشکی باعث کاهش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه و وزن هزار دانه شنبلیله می‌شود. در آزمایش آن‌ها تیمارهایی که در آن‌ها ۵۰ درصد کود بیولوژیک و ۵۰ درصد کود شیمیایی مصرف شده بود، بیشترین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه را تولید کردند. آن‌ها همچنین گزارش کردند که



جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه و اجزای عملکرد شنبلیله در تیمارهای آبیاری، زئولیت و کود نیتروژن

Table 4. Means comparison of seed yield and yield components of fenugreek in irrigation, zeolite and nitrogen fertilizer treatments

| تیمارهای آزمایشی<br>Treatments | تعداد شاخه جانبی<br>No. of branches |       | شاخص برداشت<br>Harvest index (%) |       | وزن هزار دانه<br>1000-seed weight (g) |      | عملکرد دانه<br>Seed yield (kg.ha <sup>-1</sup> ) |      | بهره‌وری آب<br>Water productivity (kg.ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> ) |        | روز تا رسیدگی<br>Days to maturity |      |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------|----------------------------------|-------|---------------------------------------|------|--------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------|------|
|                                | ۱۳۹۳                                | ۱۳۹۴  | ۱۳۹۳                             | ۱۳۹۴  | ۱۳۹۳                                  | ۱۳۹۴ | ۱۳۹۳                                             | ۱۳۹۴ | ۱۳۹۳                                                                       | ۱۳۹۴   | ۱۳۹۳                              | ۱۳۹۴ |
|                                | 2014                                | 2015  | 2014                             | 2015  | 2014                                  | 2015 | 2014                                             | 2015 | 2014                                                                       | 2015   | 2014                              | 2015 |
| I <sub>1</sub>                 | 15.4a                               | -     | 35.4a                            | 48.5a | 9.0a                                  | 9.9a | -                                                | -    | 1.1a                                                                       | 1.2a   | 105a                              | 99a  |
| I <sub>2</sub>                 | 13.6a                               | -     | 37.5a                            | 42.9b | 7.9b                                  | 8.9b | -                                                | -    | 1.0ab                                                                      | 0.9b   | 97b                               | 99a  |
| I <sub>3</sub>                 | 15.7a                               | -     | 17.9b                            | 30.7c | 7.5b                                  | 7.9c | -                                                | -    | 0.6c                                                                       | 0.88bc | 92c                               | 94b  |
| I <sub>4</sub>                 | 10.1b                               | -     | 37.3a                            | 35.7b | 7.8b                                  | 7.9c | -                                                | -    | 0.9b                                                                       | 0.8c   | 92c                               | 99a  |
| I <sub>5</sub>                 | 10.6b                               | -     | 18.8b                            | 19.6d | 8.7a                                  | 7.5c | -                                                | -    | 0.6c                                                                       | 0.59d  | 83d                               | 94b  |
| Z <sub>1</sub>                 | -                                   | 10.5b | 27.4b                            | 33.4b | -                                     | -    | 372.5b                                           | -    | 0.7b                                                                       | 0.7b   | -                                 | -    |
| Z <sub>2</sub>                 | -                                   | 12.0a | 31.3a                            | 38.3a | -                                     | -    | 446.9a                                           | -    | 0.9a                                                                       | 1.0a   | -                                 | -    |
| F <sub>1</sub>                 | 13.3a                               | -     | -                                | 30.4b | 8.5a                                  | -    | -                                                | -    | 0.7b                                                                       | 0.8b   | -                                 | -    |
| F <sub>2</sub>                 | 13.8a                               | -     | -                                | 39.9a | 8.4a                                  | -    | -                                                | -    | 1.1a                                                                       | 1.1a   | -                                 | -    |
| F <sub>3</sub>                 | 12.1b                               | -     | -                                | 34.2b | 7.7b                                  | -    | -                                                | -    | 0.7b                                                                       | 0.76b  | -                                 | -    |

I<sub>1</sub>= بدون تنش، آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک؛ I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>= به ترتیب تنش خفیف خشکی در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک؛ I<sub>4</sub> و I<sub>5</sub>= تنش شدید خشکی در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک. F<sub>1</sub> و F<sub>2</sub> و F<sub>3</sub>: (بدون کود نیتروژن، ۲/۷ تن در هکتار ورمی کمپوست، ۱۱ کیلوگرم در هکتار اوره)

در هر ستون میانگین‌هایی که با حروف مشترک نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

I<sub>1</sub>: unstressed at vegetative and reproductive stages, Irrigation at 60% of ASW; I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>: mild stress and irrigation at 40% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; I<sub>4</sub>, I<sub>5</sub>: severe stress irrigation at 20% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>: (Zero nitrogen, 2.7 ton.ha<sup>-1</sup> vermicompost, 11 kg.ha<sup>-1</sup> Urea).

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در تنش خشکی احتمالاً از طریق بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ذخیره رطوبت و جلوگیری از هدرروی عناصر غذایی (از جمله نیتروژن)، باعث افزایش کارایی کودها شده و در نتیجه رشد گیاه نیز بهبود یافته است (Karimi et al., 2013).

جدول ۵- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف شنبلیله در برهمکنش تیمارهای آبیاری و زئولیت

Table 5. Means comparison of number of pod.plant<sup>-1</sup> and number of seed.pod<sup>-1</sup> of fenugreek in

| irrigation × zeolite treatments |                                               |                                              |                                               |                                              |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| تیمارهای آزمایشی<br>Treatments  | ۱۳۹۳<br>2014                                  | ۱۳۹۴<br>2015                                 |                                               |                                              |
| I×Z                             | تعداد غلاف در بوته<br>Pod.plant <sup>-1</sup> | تعداد دانه در غلاف<br>Seed.pod <sup>-1</sup> | تعداد غلاف در بوته<br>Pod.plant <sup>-1</sup> | تعداد دانه در غلاف<br>Seed.pod <sup>-1</sup> |
| I <sub>1</sub> Z <sub>1</sub>   | 17.7a                                         | 5.8bcd                                       | 16.1a                                         | 6.8ab                                        |
| I <sub>1</sub> Z <sub>2</sub>   | 19.1a                                         | 6.6abc                                       | 18.2a                                         | 6.4abc                                       |
| I <sub>2</sub> Z <sub>1</sub>   | 14.4b                                         | 6.5abc                                       | 12.8b                                         | 6.1abcd                                      |
| I <sub>2</sub> Z <sub>2</sub>   | 17.5a                                         | 6.3abc                                       | 16.3a                                         | 5.2e                                         |
| I <sub>3</sub> Z <sub>1</sub>   | 8.0e                                          | 5.4cd                                        | 9.9c                                          | 5.6cde                                       |
| I <sub>3</sub> Z <sub>2</sub>   | 10.3d                                         | 4.9d                                         | 11.3bc                                        | 6.5abc                                       |
| I <sub>4</sub> Z <sub>1</sub>   | 12.0c                                         | 6.4abc                                       | 11.2bc                                        | 5.9cde                                       |
| I <sub>4</sub> Z <sub>2</sub>   | 11.5cd                                        | 7.4a                                         | 12.1bc                                        | 6.1bcd                                       |
| I <sub>5</sub> Z <sub>1</sub>   | 5.8f                                          | 4.9d                                         | 6.5d                                          | 5.4de                                        |
| I <sub>5</sub> Z <sub>2</sub>   | 5.9f                                          | 6.9ab                                        | 6.3d                                          | 6.9a                                         |

I<sub>1</sub>= بدون تنش، آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک؛ I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>= به ترتیب تنش خفیف خشکی در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک؛ I<sub>4</sub> و I<sub>5</sub>= تنش شدید خشکی در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک. Z<sub>1</sub> و Z<sub>2</sub>: (صفر و نه تن زئولیت در هکتار).

در هر ستون میانگین هایی که با حروف مشترک نشان داده شده اند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند

I<sub>1</sub>: unstressed at vegetative and reproductive stages, Irrigation at 60% of ASW; I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>: mild stress and irrigation at 40% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; I<sub>4</sub>, I<sub>5</sub>: severe stress irrigation at 20% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; Z<sub>1</sub> and Z<sub>2</sub> (0 and 9 t ha<sup>-1</sup>).

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

وزن هزار دانه شده است. همچنین تنش خشکی احتمالاً باعث کاهش طول دوره پرشدن دانه و در نتیجه وزن دانه گردیده است. این نتایج با یافته های سایر محققان در مورد کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی در شنبلیله مطابقت دارد (Bazazi ; Dadrasan et al., 2015) (et al., 2013).

در هر دو سال، بیشترین مقدار عملکرد دانه در برهمکنش تیمارهای آبیاری با کود، در تیمار بدون تنش همراه با مصرف کود ورمی کمپوست (I<sub>1</sub>F<sub>2</sub>)

اثر اصلی تیمارهای آبیاری در هر دو سال بر وزن هزار دانه معنی دار بود و علاوه بر این، در سال اول تحت تاثیر تیمارهای کود نیز قرار گرفت. در مقایسه میانگین سطوح آبیاری در هر دو سال و مقادیر کود نیتروژن در سال ۱۳۹۴ برای این صفت، بیشترین مقدار وزن هزار دانه متعلق به تیمار شاهد بود (جدول ۴). به نظر می رسد که به دلیل اثر منفی تنش خشکی بر میزان فتوسنتز و تولید ناکافی مواد لازم برای پر شدن دانه ها، میانگین وزن هر دانه کاهش یافته و باعث کاهش

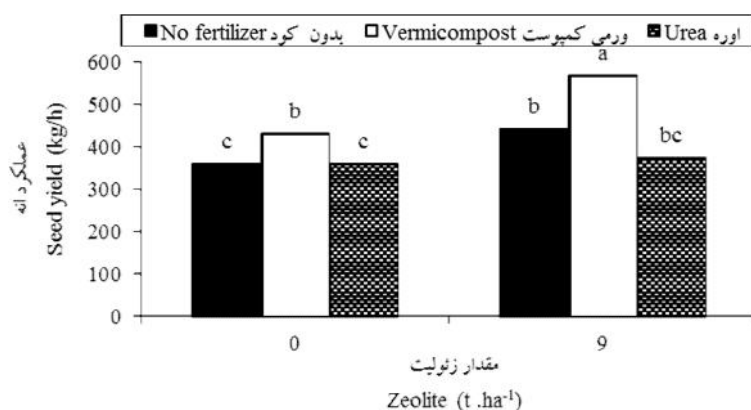
بدست آمد و کمترین مقدار آن در سال ۱۳۹۳ در تیمار  $I_3F_1$  به دست آمد که به ترتیب با تیمارهای  $I_5F_1$  و  $I_5F_3$  تفاوت معنی داری نداشتند و در سال ۱۳۹۴ در تیمار  $I_5F_1$  به دست آمد (جدول ۳). نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۴، بیشترین مقدار برهمکنش اثر زئولیت و کود برای عملکرد دانه در تیمار  $Z_2F_2$  (۵۶۸/۰۹) کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن در تیمار  $Z_1F_1$  (۳۵۷/۶) کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (شکل ۲). در سال ۱۳۹۳ بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار مصرف زئولیت (۴۴۶/۹) کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۴). مقدار عملکرد دانه شبلیله در این آزمایش مشابه مقدار عملکرد گزارش شده توسط حسن زاده و همکاران (Hassanzadeh et al., 2011) برای اکوتیپ‌های بومی شبلیله در ایران می‌باشد. این نتایج مشابه با نتایج سایر محققان است که گزارش کردند ارتباط قوی بین تنش خشکی و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک وجود دارد (Movahhedy-Dehnavy et al., 2009; Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013). بزازی و همکاران (Bazazi et al., 2013) گزارش کردند که در شبلیله با افزایش شدت تنش خشکی (آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) نسبت به شاهد (آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک)، عملکرد دانه به میزان ۴۲/۳ درصد کاهش می‌یابد. گزارش شده است که مرحله زایشی حساسیت بیشتری به تنش خشکی دارد (Movahhedy-Dehnavy et al., 2009; Parsa et al., 2011). کم آبی در این مرحله، باعث کاهش در اجزای عملکرد دانه و کاهش طول دوره رسیدگی دانه در نخود می‌شود، در نتیجه کاهش ظرفیت مخزن و کوتاه تر شدن طول دوره رشد منجر به کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Parsa et al., 2011). در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، عملکرد دانه در تیمار بدون تنش با کود ورمی کمپوست ( $I_1F_2$ ) در مقایسه با تیمار شاهد ( $I_1F_1$ )، به ترتیب ۳۳ و ۲۵ درصد افزایش داشت. این موضوع اثر مثبت کود

ورمی کمپوست بر عملکرد دانه را نشان می‌دهد. گزارش شده است که کود ورمی کمپوست با بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک و فرام ساختن مداوم و پایدار عناصر معدنی، به ویژه نیتروژن، باعث افزایش دوام و شاخص سطح برگ شده و این موضوع باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک می‌شود (Roy et al., 2010). حبیب پور کاشفی و همکاران (Habibpour-Kashafi et al., 2015) نشان دادند که مصرف زئولیت بر خواص رویشی لوبیا قرمز اثر مثبت دارد و گزارش کردند که افزایش رشد گیاهان در تیمارهای حاوی زئولیت ممکن است مربوط به توانایی جذب و نگهداری آب در خاک و افزایش فراهمی برخی از عناصر غذایی باشد. محققان بسیاری گزارش نموده‌اند که زئولیت نقش موثری در بهبود ساختار فیزیکی خاک، از طریق اصلاح ظرفیت تبادل کاتیونی خاک دارد که این موضوع به دلیل کاهش آبتشویی نیتروژن و افزایش حضور کودها در ناحیه ریشه می‌باشد. بعلاوه زئولیت می‌تواند باعث افزایش مقدار آب قابل دسترس برای گیاه شود (Ippolito et al., 2011; Karimi et al., 2013; Hazrati et al., 2015).

شاخص برداشت در هر دو سال تحت تاثیر تیمارهای آبیاری و زئولیت قرار گرفت و علاوه بر این، در سال ۱۳۹۴ نیز تحت تاثیر تیمارهای کود نیز قرار گرفت. در مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری در سال ۱۳۹۳ برای این صفت (جدول ۴)، بیشترین مقدار شاخص برداشت در تیمار  $I_2$  به دست آمد که اختلاف معنی داری با تیمارهای ( $I_1$  و  $I_4$ ) نداشت و کمترین میزان شاخص برداشت در تیمار  $I_3$  مشاهده شد که اختلاف معنی داری با تیمار  $I_5$  نداشت. در سال ۱۳۹۴ به ترتیب بیشترین و کمترین شاخص برداشت در تیمارهای بدون تنش ( $I_1$ ) و ( $I_5$ ) دیده شد. در هر دو سال، بیشترین مقدار شاخص برداشت در کرت‌هایی که با زئولیت تیمار شده بودند، به دست آمد. در سال ۱۳۹۴ بیشترین

دادن رابطه کمی میان رشد گیاه و مصرف آب به کار برده می شود و به صورت مقدار ماده گیاهی تولید شده به ازای واحد آب مصرفی تعریف می شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که هر عامل مدیریتی که بدون افزایش تبخیر و تعرق محدودیت های رشد گیاه را کاهش دهد، باعث افزایش کارایی مصرف آب خواهد شد (Hatfield *et al.*, 2001). استفاده از کود ورمی کمپوست باعث افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک شد. زئولیت نیز از طریق جلوگیری از هدرروی نیتروژن، باعث فراهمی طولانی مدت این عنصر برای گیاه و بهبود رشد آن و افزایش عملکرد دانه و در نهایت افزایش بهره وری آب شد. افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک ناشی از افزایش کود دامی و زئولیت در شرایط تنش خشکی توسط غلامحسینی و همکاران (Gholamhoseini *et al.*, 2013) نیز گزارش شده است. آن ها گزارش کردند که اگر چه در شرایط کم آبیاری در مصرف آب صرفه جویی شد، اما بهره وری آب کاهش پیدا کرد. کاهش بهره وری آب در شرایط کم آبیاری توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Kar *et al.*, 2007; Nazari deljou and Heidari, 2014).

مقدار شاخص برداشت مربوط به تیمارهای کودی در تیمار ورمی کمپوست مشاهده شد. دادرسان و همکاران (Dadrasan *et al.*, 2015) گزارش کردند که شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی در شبلیله کاهش یافت که این موضوع نشان دهنده تجمع کمتر مواد فتوسنتزی در دانه ها در شرایط تنش است. فلاح و نظری (Fallah and Nazari, 2012) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته، کاهش سطح برگ، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شبلیله گردید. محققان دیگر نیز گزارش کرده اند که استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش شاخص برداشت می شود (Dadrasan *et al.*, 2015; Mokhtassi-Bidgoli *et al.*, 2013). بهره وری آب در هر دو سال تحت تاثیر تیمارهای آبیاری، کود و زئولیت قرار گرفت. در هر دو سال تنش خشکی باعث کاهش بهره وری مصرف آب گردید، به گونه ای که با افزایش شدت تنش خشکی، بهره وری آب کاهش بیشتری یافت و در هر دو سال، بیشترین میزان بهره وری آب در کرت هایی به دست آمد که با ورمی کمپوست یا زئولیت تیمار شده بودند (جدول ۴). بهره وری آب برای نشان



شکل ۲- برهمکنش زئولیت و کود بر عملکرد دانه شبلیله (۱۳۹۴)

Fig. 2. Interaction effect of zeolite and fertilizer on seed yield of fenugreek (2015)

استفاده بهینه از کودهای شیمیایی، تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه، مخصوصاً نیتروژن، از طریق منابع آلی و جلوگیری از آبشویی آن، حائز اهمیت می باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که در هر دو سال آزمایش، تنش خشکی باعث کاهش معنی دار صفات گیاهی و شاخص های مورد ارزیابی نسبت به تیمار شاهد شد و مصرف کود ورمی کمپوست و زئولیت در ت خفیف اثر منفی تنش خشکی موثر واقع شدند. وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی به دلیل کوتاه تر شدن طول دوره رشد تا رسیدگی و کاهش تعداد غلاف و تعداد دانه در گیاه و احتمالاً اختلال و تسریع در روند پر شدن دانه، تاثیر بیشتری بر کاهش عملکرد دانه شنبلیله داشت.

خسروی و همکاران (Khosravi et al., 2014) گزارش کردند که افزایش مصرف نیتروژن باعث بهبود کارایی مصرف آب برای تولید دانه شنبلیله شد و افزایش فاصله آبیاری نیز باعث افزایش آن گردید. آن ها اظهار داشتند که احتمالاً فراهم بودن نیتروژن، به عنوان پر مصرف ترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه و عدم محدودیت آن، سهم عمده ای در رشد رویشی و زایشی بهینه گیاه و در نتیجه بهبود کارایی مصرف آب برای تولید دانه و ماده خشک گیاه شنبلیله دارد.

### نتیجه گیری

آب و نیتروژن دو عامل خیلی مهم در رشد و افزایش تولیدات گیاهی می باشند. با توجه به ضرورت

### Reference

منابع مورد استفاده

- Baghalian, K., Sh. Abdoshah, F. Khalighi-Sigaroudi and F. Paknejad. 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). Plant Physiol. Biochem. 49: 201-207.
- Baradaran, R., M. Shokhmgar, Gh. Mousavi and E. Arazmjo. 2013. Effects of irrigation regime and nitrogen on yield and grain component yield of fenugreek. J. Hort. Sci. 27(3): 295-300. (In Persian with English abstract).
- Bazazi, N., M. Khodambashi and Sh. Mohammadi. 2013. Effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of fenugreek. Journal of Crop Production and Processing. 3(8): 11-22. (In Persian with English abstract).
- Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- Dadrasan, M., M. R. Chaichi, A. A. Pourbabaee, D. Yazdani and R. Keshavarz-Afshar. 2015. Deficit irrigation and biological fertilizer influence on yield and trigonelline production of fenugreek. Ind. Crops Prod. 77: 156-162.
- Eskandari, M., and A. Astarayi. 2006. Effect of different organic materials on plant growth characteristics and total biomass and grain weight of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Iranian Agronomy Research. 5(1): 19-27. (In Persian with English abstract).
- Fallah, S. and M. Nazari. 2012. The effect of biofertilizers and zinc sulfate on growth and yield drug plant fenugreek under drought conditions in Shahrekord region. Environ. Stresses Crop Sci. 5(2): 147-159. (In Persian with English abstract).

- Gholamhoseini, M., A. Ghalavand, A. Khodaei-Joghan, A. Dolatabadian, H. Zakikhani and E. Farmanbar. 2013.** Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil Till. Res.* 126 (2013): 193–202.
- Habibpour-Kashafi, E., M. H. Gharineh, A. Shafeinia and M. Rozrokh. 2015.** Effect zeolite levels on chlorophyll fluorescence red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Crop Physiol. J., Islamic Azad University Ahvaz*, 7(28): 19-32. (In Persian with English abstract).
- Haj Seyed, M. R., Hadi and H. Rezaee Ghale. 2016.** Effects of vermicompost and foliar application of amino acids and urea on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iran. J. Medic. Arom. Plants.* 31(6): 1058-1070. (In Persian with English abstract).
- Hassanzadeh, E., M. R. Chaichi, D. Mazaheri, S. Rezazadeh and H. Naghdi Badi. 2011.** Physical and chemical variabilities among domestic Iranian fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*) seeds. *Asian J. Plant Sci.* 10(6): 323–330.
- Hatfield, J., T. J. Sauer and J. H. Pruger. 2001.** Managing soils to achieve greater water use efficiency. A Review. *Agronomy.* 93: 271– 280.
- Hazrati, S., Z. Tahmasebi-Sarvestani, S. A. M. Modarres-Sanavy, A. Mokhtassi-Bidgoli and S. Nicola. 2015.** Evaluation of light intensity and water deficiency stress with application of zeolite on physiological and phytochemical functions of *Aloe Vera* medicinal plant, Ph. D Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran. (In Persian with English abstract).
- Ippolito, A. J., D. D. Tarkalson and G. A. Lehrsch. 2011.** Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture, and corn growth. *Soil Sci.* 176(3): 136-142.
- Kar, G., A. Kumar and M. Martha. 2007.** Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agric. Water Manage.* 87: 73 – 82.
- Karimi, S., M. Nasri and F. Ghoshchi. 2013.** Investigation of drought stress on agro-physiological indices of sunflower (*Helianthus annuus* L.) with zeolite application tested in the region of Varamin. *Int. J. Agric. Sci.* 3(12): 894-903.
- Khosravi, M., S. Gh. Mousavi and M. J. Seghatoleslami. 2014.** Effect of irrigation interval, Nitrogen fertilizer rate and plant density on morphological traits, yield and water use efficiency of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Iran. J. Medic. Aroma. Plants* 30(5): 673-691. (In Persian with English abstract).
- Lima, D. L. D., S. M., Santos W. H., Scherer R. J., Schneider A. C., Duarte E. B. H Santos and V. I. Esteves. 2009.** Effect of organic and inorganic amendments on soil organic matter properties. *Geoderma.* 150: 38–45.
- Manivannan, S., M. Balamurugan, K. Parthasarathi, G. Gunasekaran and L. S. Ranganathan. 2009.** Effect of vermicompost on soil fertility and crop productivity - beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Environ. Biol.* 30(2): 275-281.

- Mehrafarin, A., Sh. Rezazadeh, H. Naghdi-Badi, Gh. Noormohammadi, E. Zand and A. Qaderi. 2011.** A review on biology, cultivation and biotechnology of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) as a valuable medicinal plant and multipurpose. J. Medic. Plants. 10(37): 6-24.
- Mokhtassi-Bidgolia, A., M. Agha Alikhanian, M. Nassiri-Mahallati, E., Zand, J. L. Gonzalez-Andujard and A. Azarie. 2013.** Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of *Descurainia sophia* in response to different nitrogen rates and water regimes. Ind. Crops Prod, 44: 583– 592.
- Movahhedy-Dehnavy, M., S. A. M. Modarres-Sanavy and A. Mokhtassi-Bidgoli. 2009.** Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of sunflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Ind. Crops Prod. 30: 82–92.
- Nazarideljou, M. J. and Z. Heidari. 2014.** Effects of vermicompost on growth parameters, water use efficiency and quality of zinnia bedding plants (*Zinnia elegance* ‘Dreamland Red’) under dsifferent irrigation regimes. Int. J. Hort. Sci. Technol. 1(2): 141-150.
- Parsa, M., A. Ganjali, E. Rezaeianzadeh and A. Nezami. 2011.** The effect of supplemental irrigation on yield and growth indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Mashhad. Iran. J. Field Crops Res. 9(3): 310-321. (In Persian with English abstract).
- Roy, S., K. Arunachalam, B. Kumar Dutta and A. Arunachalam. 2010.** Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. Appl. Soil Ecol. 7: 39-46.
- Sadeghzadeh-Ahari, D., M. R. Hassandokht A. K. Kashi, A. Amri and K. H, Alizadeh. 2010.** Genetic variability of some agronomic traits in the Iranian fenugreek landraces under drought stress and non-stress conditions. Afr. J. Plant Sci. 4(2): 12 – 20.
- Shafighi, A., A. Pazouki and D. Eradatmande Asli. 2014.** Alleviation of water stress in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) using different PGPR application methods. Adv. Environ. Biol. 8(24): 275-280.
- Tunctürk, R., A. E. Celen and M. Tunctürk. 2011.** The effects of nitrogen and sulphur fertilizers on the yield and quality of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.).Turk. J. Field Crops. 16, 69–75.

## Effect of application of zeolite and nitrogen fertilization on growth, seed yield and water productivity of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under drought stress conditions

Baghbani Arani, A.<sup>1</sup>, S.A.M. Modarres-Sanavy<sup>2</sup>, M. Mashhadi Akbar Boojar<sup>3</sup>  
and A. Mokhtassi Bidgoli<sup>4</sup>

### ABSTRACT

Baghbani Arani, A., S.A.M. Modarres-Sanavy, M. Mashhadi Akbar Boojar and A. Mokhtassi Bidgoli. 2017. Effect of application of zeolite and nitrogen fertilization on growth, seed yield and water productivity of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 19(3): 239-254. (In Persian).

To study the effects of drought stress, nitrogen fertilization and zeolite on some morphological, phenological and agronomic traits of fenugreek, a split factorial experiment was laid out in randomized complete block design with three replications in 2014 and 2015 growing seasons at research field of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Five irrigation regimes (non drought stress; mild drought stress during the vegetative and reproductive stages, respectively; severe drought stress during the vegetative and reproductive stages, respectively) were randomized in main plots. Subplots were six factorial combinations of three nitrogen fertilization levels (untreated plots, vermicompost fertilizer at a rate of 2.7 ton.ha<sup>-1</sup> and Urea fertilizer at rate of 11 kg.ha<sup>-1</sup>) and two zeolite levels (0 and 9 ton.ha<sup>-1</sup>). Results showed that in both growing seasons, drought stress significantly decreased all traits in comparison with control, and vermicompost fertilizer and zeolite reduced the negative effects of drought stress. The highest seed yield was obtained in non-water stress with vermicompost (903.1 kg.ha<sup>-1</sup>) and application of zeolite and vermicompost (568.09 kg.ha<sup>-1</sup>). In the first growing season, grain yield declined by 24% and 76% with increasing deficit water stress in vegetative and reproductive stages, respectively. In the second growing season, these decreases were 31% and 54%, respectively. It was concluded that application of vermicompost and zeolite extended the duration of availability of water and nitrogen and led to increase seed yield and its component as well as water productivity in fenugreek.

**Key words:** Drought stress, Seed yield, Urea, Vermicompost, Water productivity and Yield components.

Received: May 2017

Accepted:

1. Ph.D Student, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2. Professor, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (Corresponding author) (Email: [modaresa@modares.ac.ir](mailto:modaresa@modares.ac.ir))

3. Associate Prof., Kharazmi University, Tehran, Iran

4. Assistant Prof., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran