Nova Biologica Reperta 6(2): 229-240 (2019)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press

یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۶، شماره ۲، صفحات ۲۲۹ الی ۲۴۰ (۱۳۹۸)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

اثر تنش کم‌آبی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، رنگدانه‌های فتوسنتزی، تریگونلین و عملکرد دانه شنبلیله در واکنش به زئولیت و نیتروژن

ابوالفضل باغبانی آرانی[۱]، سید علی محمد مدرس ثانوی[۲]، مسعود مشهدی اکبر بوجار[۳]، ظهراب اداوی[۱] و حمید دهقان‌زاده جزی[۱]

[۱]بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران؛ [۲]گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛ [۳]گروه علوم سلولی و مولکولی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

مسئول مکاتبات: سید علی محمد مدرس ثانوی، modaresa@modares.ac.ir

چکیده. به‌منظور بررسی اثرات تنش کم‌آبی، کود نیتروژن و زئولیت بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، رنگدانه‌ها، محتوای تریگونلین و عملکرد دانه شنبلیله، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل پنج رژیم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب فاکتوریلی از سه تیمار کودی بر اساس نیتروژن مورد نیاز گیاه (شاهد، ورمی‌کمپوست به میزان ۲/۷ تن در هکتار و اوره به میزان ۱۱ کیلوگرم در هکتار) و دو مقدار زئولیت (صفر و نه تن در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان دادند که تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری، ماکزیمم فلورسانس (F_m)، فلورسانس متغییر (F_V)، کارایی فتوسیستم II (F_v/F_m)، محتوای کلروفیل a، b و کل (a+b) و عملکرد دانه را کاهش داد ولی فلورسانس حداقل (F_0)، کارتنوئید و غلظت تریگونلین را افزایش داد. به‌علاوه، بیشترین میزان (F_v/F_m)، محتوای کلروفیل کل، کمترین میزان (F_0) و کاروتنوئید در تیمار بدون تنش کم‌آبی دیده شد و با افزایش شدت تنش کم‌آبی از غلظت تریگونلین و عملکرد دانه کاسته شد. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی منجر به بازدارندگی نوری فتوسیستم II شد. در اکثر تیمارها کاربرد کود ورمی‌کمپوست باعث افزایش عملکرد (به‌ترتیب در سال اول و دوم ۲۵/۵ درصد و ۳۲/۹۸ درصد) و غلظت تریگونلین دانه شنبلیله (۷/۴۶ درصد در سال اول) شد. بنابراین توصیه می‌شود اگر هدف کاشت، تولید تریگونلین از دانه شنبلیله باشد، تنش کم‌آبی خفیف به‌همراه ورمی‌کمپوست می‌تواند تیمار مناسبی بدین منظور باشد.

واژه‌های کلیدی. تنش خشکی، زئولیت، کارایی فتوسیستم، کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست

The effect of water deficit stress on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, trigoneline and grain yield in fenugreek in response to zeolite and nitrogen

Abolfazl Baghbani-Arani[1], Sayed Ali Mohammad Modares-Sanavi[2], Masoud Mashhadi Akbar Boojar[3], Zahrab Adavi[1] & Hamid Deghanzade-Jezi[1]

[1]Department of Agronomy Science, Faculty of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran; [2]Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; [3]Department of Cell and Molecular Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
Correspondent author: Sayed Ali Mohammad Modares-Sanavi, modaresa@modares.ac.ir

Abstract. In order to determine the effects of water deficit stress, nitrogen fertilization and zeolite on chlorophyll fluorescence, pigments, trigonelline content and seed yield in, a split factorial experiment was laid out in a randomized complete block design with three replications. Five irrigation regimes were randomly applied to the main plots. Subplots included six treatments and consisted of a factorial combination of three nitrogen fertilization (untreated plots, vermicompost at a rate of 2.7 ton ha^{-1} and nitrogen chemical fertilizer at a rate of 11 $kg.ha^{-1}$) and two zeolite rates (0 and 9 $ton.ha^{-1}$). The results demonstrated that (F_m), (F_v), (F_v/F_m), chl *a*, *b*, total chl content and also seed yield were significantly

دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸/ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۵/۲۹/ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴/ انتشار: ۱۳۹۸/۰۵/۱۰
Received ۰07.02.2018/ Revised 20.08.2018/ Accepted 26.08.2018/ Published 01.08.2019

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]

reduced by water deficit stress, wheras minimum fluorescence (F_0), carotenoid and trigonelline concentrations were increased. In addition, the highest F_v/F_m, chl *a+b* content and the lowest F_0 and carotenoids were observed when irrigation was done after unloading 40% of ASW. In most treatments vermicompost increased the yield (by 25.51% and 98.32% in 2014 and 2015, respectively) and grain trigonelline concentration (7.46% in 2014) in Fenugreek. Mild water stress with vermicompost treatment is recommended for the production of trigoneline from Fenugreek seeds.

Keywords. chemical fertilizer, drought stress, F_v/F_m, vermicompost, zeolite

مقدمه

شنبلیله با نام علمی *Trigonella foenum-graecum* L. گیاهی است یک‌ساله که به‌عنوان گیاهی دارویی و علوفه‌ای با کیفیت بالا و گیاه پوششی تثبیت کننده نیتروژن به‌طور وسیعی کشت می‌شود. شنبلیله به‌عنوان گیاهی دارویی در درمان برخی بیماری‌ها از قبیل دیابت و کاهش تب استفاده می‌شود (Dadrasan *et al*., 2015). این گیاه به‌عنوان یک محصول زمین خشک، آب مورد نیاز آن کم است و استفاده از آن می‌تواند هزینه‌های آبیاری را کاهش دهد و باعث صرفه‌جویی در آب و کاهش اتروفیکاسیون آب‌های سطحی شده و آلودگی منابع آب زمین را محدود می‌کند (Acharya *et al*., 2008; Basu, 2006). تقریباً در تمام نقاط ایران، شنبلیله به‌عنوان سبزی و محصول ادویه‌ای برای یک مدت طولانی کشت می‌شده و سطح زیر کشت آن در ایران در حدود ۴۰۰ هکتار با تولید سالانه علوفه ۸۰۰ تن و عملکرد دانه ۰/۸ تن در هکتار است (Dadrasan *et al*., 2015). شنبلیله به‌طور وحشی در استان‌های اصفهان، اردبیل، لرستان، فارس، کرمان، بلوچستان، خراسان، سمنان، غرب و شرق آذربایجان وجود دارد (Mehrafarin *et al*., 2011).

در مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود آب مانع اصلی تولید محصولات زراعی است. گیاهان در معرض تنش‌های محیطی گوناگون از جمله تنش کم‌آبی قرار دارند که منجر به اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر عمل‌کرد دستگاه فتوسنتز کننده می‌شود (Hazrati *et al*., 2016). یکی از عوامل تنش کم‌آبی بر فتوسنتز، کاهش میزان کارایی فتوسنتز از طریق افزایش فلورسانس کلروفیل است. به منظور تعیین وضعیت فیزیولوژی گیاه و میزان آسیب وارده به دستگاه فتوسنتزی از سنجش فلورسانس کلروفیل استفاده می‌شود. کارکرد دستگاه فتوسنتزی را می‌توان از طریق اندازه‌گیری (Fv/F_m) مورد بررسی قرار داد که نشان دهنده عملکرد کوآنتومی مراکز واکنش فتوسیستم II است (Hazrati *et al*., 2016; Paknejad *et al*., 2007; Ranjbar- Fordoei *et al*., 2013). مطالعات نشان می‌دهد که محتوی کلروفیل با افزایش تنش کم‌آبی به‌علت تخریب آنزیمی (آنزیم کلروفیلاز) کاهش یافته و در مقابل بر میزان کاروتنوئیدها که خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند افزوده می‌شود (Hazrati *et al*., 2016). استرس آبیاری یا خشک‌سالی اثر قابل توجهی بر فیزیولوژی گیاه، جذب مواد غذایی و تغییرات بیوشیمیایی در مراحل مختلف رشد شنبلیله دارد (Dadrasan *et al*., 2015). همچنین کمبود نیتروژن از مهمترین عوامل محدود کننده تولید محصولات زراعی است. نیتروژن علاوه بر ایفای نقش اصلی در تشکیل پروتئین‌ها، یک جزء لازم مولکول کلروفیل نیز است. نتایج محققان نشان می‌دهد که کاهش دسترسی به نیتروژن، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون فتوسیستم II و حداکثر کارایی آن را کاهش می‌دهد و همچنین باعث تخریب فتوسیستم II نیز می‌شود. افزایش میزان نیتروژن در گیاه، باعث افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها (به‌دلیل افزایش سطح برگ گیاه) شده که به‌دنبال آن سبزینگی، توانایی جذب نور خورشید و در نهایت رشد و عمل‌کرد گیاه افزایش می‌یابد (Conming & Zang, 2000).

علاوه بر این استفاده از تکنیک‌های زراعی از جمله کاربرد کودهای آلی، زئولیت یا تقویت شرایط بیولوژیک خاک ممکن است در کاهش اثرات تنش کم‌آبی مؤثر باشند. اثر مثبت کودهای شیمیایی نیتروژنی بر عملکرد شنبلیله توسط محققین گزارش شده است (Tunctürk *et al*., 2011). یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست است. این ماده دارای تخلخل زیاد، قدرت جذب و نگهداری بالای عناصر معدنی، تهویه و زهکش مناسب، ظرفیت زیاد نگهداری آب و بدون بوی نامطبوع و عوامل بیماری‌زا بوده و امروزه استفاده از آن در کشاورزی پایدار، جهت بهبود رشد و کیفیت محصولات زراعی و باغی متداول است (Arancon *et al*., 2005). همچنین زئولیت‌ها گروهی از کانی‌های متخلخل طبیعی هستند که با ساختمان کریستالی خود باعث افزایش فراهمی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]

طولانی مدت آب و عناصر غذایی شده که به بهبود رشد گیاه کمک می‌کند (Karimi *et al.*, 2013). محققان مختلف نشان داده اند که شنبلیله در آبیاری مناسب و تغذیه کافی بیشترین عملکرد دانه و تریگونلین را دارد (Mehrafarin *et al.*, 2011; Dadrasan *et al.*, 2015). بنابراین هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی اثرات کم‌آبی و راهکارهای کاهش اثرات منفی آن بر عمل‌کرد دستگاه فتوسنتز کننده، محتوی رنگدانه برگ‌ها و غلظت تریگونلین و عملکرد دانه شنبلیله بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای طی سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در کیلومتر ۱۶ اتوبان تهران - کرج و ارتفاع ۱۲۱۵ متر اجرا شد. بر اساس آمار هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (چیتگر) ، این منطقه با ۲۴۲ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک بوده و میانگین درجه حرارت سالیانه آن ۲۲ درجه سانتی‌گراد است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ نشان داده‌است. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. پنج رژیم 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، I_4= آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در مرحله رویشی 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 کوددهی، F_2= ورمی‌کمپوست 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= نه تن در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی بودند. جهت اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی، قبل از اجرای آزمایش با نمونه‌گیری از خاک در زمان‌های متفاوت، از طریق روش وزنی درصد حجمی رطوبت خاک تعیین شد و درصد حجمی رطوبت خاک به‌وسیله دستگاه TDR (Time Domain Reflectometry) اندازه‌گیری شد و سپس یک معادله رگرسیونی بین دو سری از داده‌ها محاسبه شده که برای کالیبره کردن دستگاه TDR مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های دستگاه TDR به‌طور روزانه در طول دوره رشد گیاه ثبت شد. این روش با استفاده از روش وزنی چک و به رطوبت حجمی تبدیل شد. مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار بر اساس فرمول‌های روش مختصی و همکاران محاسبه و در اختیار گیاه قرار گرفت (Mokhtassi-Bidgoli *et al.*, 2013). تیمارهای تنش کم‌آبی در مرحله رویشی پس از استقرار کامل گیاه در زمین اصلی تا مرحله گلدهی و تیمار تنش کم‌آبی در مرحله زایشی نیز، هنگام گلدهی تا انتهای سیکل حیاتی گیاه بر اساس ظرفیت زراعی خاک منطقه اعمال شد. مبنای تعیین مقدار مورد نیاز کود ورمی‌کمپوست عبارت از درصد نیتروژن خاک و کود (جدول ۱)، مقدار کود نیتروژن لازم برای شنبلیله برابر با ۴۰ کیلوگرم در هکتار و مقدار آزادسازی نیتروژن کود ورمی‌کمپوست (۳۰ درصد) بود (Mehrafarin *et al.*, 2011). بر این اساس مقدار مورد نیاز کود ورمی‌کمپوست ۲/۷ تن در هکتار تعیین شد. زئولیت مصرفی از نوع کلینوپتیلولیت بوده و ویژگی‌های شیمیایی آن در جدول ۲ ارائه شده‌است. بر اساس تیمارها، زئولیت و ورمی‌کمپوست قبل از کاشت با خاک هر کرت به طور کامل مخلوط شدند. کشت در تاریخ ۲۰ اردیبهشت در زمین اصلی با تراکم حدود ۲۷ بوته در مترمربع (فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۲/۵ سانتی‌متر انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. بذر از اکوتیپ بومی منطقه اصفهان (توده اردستانی) بود.

پارامترهای فلورسانس کلروفیل در برگ‌های سازگار شده به تاریکی با استفاده از دستگاه فلورومتر مدل (Walz, Germany PAM 2000) اندازه‌گیری شدند که عبارتند از F_0: حداقل فلورسانس زمانی که تمامی مراکز واکنش فتوسیستم II باز است؛ F_m: حداکثر فلورسانس زمانی که تمامی مراکز واکنش فتوسیستم II بسته هستند؛ و F_v/F_m: حداکثر عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی فتوسیستم II بودند (Hazrati *et al.*, 2016; Paknejad *et al.*, 2007; Ranjbar-Fordoei *et al.*, 2013). برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل کل (a+b) و کاروتنوئیدها از روش آرنون استفاده شد (Arnon, 1949). به همین منظور ۰/۲ گرم نمونه‌ی برگی در استون ۸۰ درصد عصاره‌گیری شد. سپس عصاره‌ی حاصل از کاغذ صافی عبور داده و تا رسیدن به حجم ۲۵ میلی‌لیتر و استخراج کامل کلروفیل به آن استون اضافه گشت. جذب نوری کلروفیل a و b به‌ترتیب در طول موج‌های

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]

۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد و با استفاده از فرمول مربوطه، غلظت کلروفیل a و b و کلروفیل کل و کارتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم برگ تازه به‌دست آمد.

$$\text{کلروفیل a} = [12.7(D_{663}) - 2.69(D_{645})] \times \frac{V}{1000\,W}$$

$$\text{کلروفیل b} = [22.9(D_{645}) - 4.68(D_{663})] \times \frac{V}{1000\,W}$$

$$\text{کلروفیل کل} = [20.2(D\,465) - 8.02(D\,663)] \times \frac{V}{1000\,W}$$

$$\text{کارتنوئید} = [1000(D470) - 1.82\,Cl\,a - 85.02\,Cl\,b).198W$$

W: وزن نمونه بر حسب گرم، V: حجم نمونه قرار گرفته در دستگاه اسپکتروفوتومتر، D: میزان جذب صورت گرفته در طول موج خاص برای سنجش تریگونلین، سه گرم از نمونه خشک شده با آب گرم ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت ریفلاکس شده، سپس عصاره صاف شده و با آب مقطر به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر رسید. محلول حاصل به‌صورت ۱:۵ حجمی: حجمی رقیق شده و ۳ میلی لیتر از آن پس از عبور از صافی با قطر ۰/۴۵ میکرومتر با ستون C_{18} به دستگاه HPLC مدل Unicom cristal-200 ساخت انگلستان تزریق شد. ابعاد ستون به طول ۲۰ سانتی متر با قطر داخلی ۴ میلی‌متر بود. قابل ذکر است که فاز متحرک شامل اسید کلریدریک ۲ میلی مول بر لیتر (pH=2) و سرعت جریان ۲ میلی‌لیتر بر دقیقه بود. دتکتور از نوع ماورا بنفش و در طول موج ۲۶۵ نانومتر تنظیم شد. برای تهیه محلول استاندارد آن از روش حسن‌زاده و همکاران (Hassanzadeh *et al*., 2011) استفاده شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، ۱۰ بوته تصادفی از هرکرت از دو ردیف میانی با رعایت حذف اثر حاشیه برداشت شد (Hassanzadeh *et al*., 2011).

در این آزمایش آزمون بارتلت برای اکثر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار شد به همین دلیل سال‌ها به‌طور جداگانه تحلیل شدند. تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام پذیرفت. مقایسه‌ی میانگین تیمارهای آزمایشی به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

پارامترهای عملکرد کوانتومی (F_v/F_m)، فلورسانس کمینه (F_0)، فلورسانس بیشینه (F_m) و فلورسانس متغیر (Fv)

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که در سال ۱۳۹۳ نسبت F_v/F_m تنها تحت تأثیر اثر اصلی رژیم آبیاری قرار گرفت ولی در سال ۱۳۹۴ این نسبت تحت تأثیر اثرات برهمکنش رژیم آبیاری × زئولیت، رژیم آبیاری × کود و زئولیت × کود بود (جدول ۳). نسبت F_v/F_m به‌طور معنی‌داری با افزایش تنش کم‌آبی در هر دو سال کاهش پیدا کرد (جدول‌های ۵، ۶ و شکل ۲). در سال ۱۳۹۳ بیشترین مقدار نسبت F_v/F_m در تیمار بدون تنش آبی و کمترین به ترتیب در تیمارهای تنش شدید آبی در مرحله رویشی و تنش شدید آبی در مرحله زایشی به‌دست آمدند (شکل ۲). جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال ۱۳۹۴، به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار اثر برهمکنش رژیم آبیاری و زئولیت برای نسبت F_v/F_m در تیمارهای بدون تنش کم‌آبی و کاربرد زئولیت و تنش شدید کم‌آبی در مرحله رویشی بدون مصرف زئولیت به‌دست آمد و برای اثر برهمکنش رژیم آبیاری و کود در تیمارهای بدون تنش کم‌آبی با مصرف کود و تنش خفیف کم‌آبی در مرحله زایشی بدون مصرف کود و اثر برهمکنش زئولیت و کود بر صفت عملکرد کوانتومی در تیمارهای با کاربرد زئولیت و کود اوره اندازه‌گیری شدند که اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون زئولیت همراه با کود ورمی‌کمپوست نداشت (جدول‌های ۵، ۶ و شکل ۱). همچنین تجزیه واریانس نشان داد که در هر دو سال اثر اصلی رژیم آبیاری و کود و اثر برهمکنش بین آن‌ها و علاوه بر آن در سال ۱۳۹۴ اثر اصلی زئولیت نیز بر مقدار (F_0) معنی‌دار شد. مطابق با جدول مقایسه میانگین در سال ۱۳۹۳، بیشترین مقدار (F_0) در گیاهانی که در معرض تنش شدید کم‌آبی در مرحله زایشی همراه با کاربرد شیمیایی نیتروژن قرار داشتند، مشاهده شد ولی در سال ۱۳۹۴، بیشترین مقدار (F_0) در گیاهانی که در معرض صفت F_m در تیمار تنش کم‌آبی خفیف در مرحله زایشی بدون زئولیت و بدون تنش آبی و زئولیت به‌دست آمد (جدول‌های ۵ و ۶). در سال ۱۳۹۳، بیشترین مقدار F_v مربوط به گیاهانی بود که در تیمار تنش شدید کم‌آبی در مرحله زایشی با کاربرد زئولیت و کود اوره ($I_5Z_2F_3$) قرار داشتند و در سال ۱۳۹۴، بیشترین مقدار F_v در تیمار بدون تنش کم‌آبی با زئولیت و بدون کود نیتروژن ($I_1Z_2F_1$) مشاهده شد (جدول ۴).

مقادیر F_v/F_m، F_m، F_v و F_0 پارامترهای بسیار مهم کلروفیل فلورسانس هستند که در بررسی و مطالعات فیزیولوژیکی تنش

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه‌ی اجرای آزمایش و ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده.

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

	بافت Texure	EC (dS/m)	pH	مواد آلی (٪) Organic mater(%)	نیتروژن کل (٪) N (%)	کربن : نیتروژن C/N	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg) K	آهن Fe (mg/kg)
خاک Soil	لوم شنی	۱/۸۲	۷/۳۵	۱/۳۴	۰/۰۶	۰/۰۹۹	۳۵	۳۲۰	۳/۸۶
ورمی‌کمپوست Vermicompost	–	۹/۲۵	۷/۶۵	–	۰/۸۴	۱۶/۵	۴۸	۷۲	۱۴۰۰۰

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

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

TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Cl	SO_3	P_2O_5	SiO_2	AL_2O_3	K_2O	Na_2O	MgO	CaO
۰/۰۳	۰/۰۴	۱/۵	–	–	۰/۰۱	۶۵	۱۲/۰۲	۳	۱/۰۸	۰/۱	۲/۳

CEC = ۲۰۰ meq/۱۰۰g

گیاهی ارزیابی می‌شوند. اکثر محققان گزارش کرده‌اند که مقدار F_0 تحت شرایط کم‌آبی افزایش اما مقادیر Fv، F_m و نسبت F_v/F_m کاهش خواهد می‌یابد (Hazrati *et al*., 2016; Paknejad *et al*., 2007). اصولاً میزان فلورسانس کلروفیل a در زمانی که پذیرنده الکترون کوئینون Q، در حالت احیا باشد، زیاد است و به این دلیل مقدار Fv نیز در این حالت زیاد می‌شود، ولی در شرایطی‌که فلورسانس کلروفیل a کم باشد، کوئینون Q درحالت اکسیداسیون است. در این پژوهش Fv در تیمار تنش کاهش یافت، بنابراین می‌توان پی برد که تنش کم‌آبی ممکن است در جریان انتقال الکترون در واکنش مربوط به تجزیه آب فتوسیستم II (واکنش هیل) اختلال ایجاد کرده باشد و اثرات تنش در جریان انتقال الکترون بعد از اولین پذیره الکترون کوئینون (QA) ناچیز بوده و از این راه کارآیی کوانتومی فتوسنتز خالص، کاهش یافته‌است (Paknejad *et al*., 2007; Ranjbar-Fordoei *et al*., 2013). بازدارندگی نوری با کاهش کارآیی مصرف فوتون‌ها به‌وسیله‌ی فتوسیستم II مشخص می‌شود. کاهش کارآیی فتوسیستم II در دو وضعیت رخ می‌دهد: اول زمانی که برگ‌ها به‌طور ناگهانی در معرض نور شدید قرار می‌گیرند که به مرکز فتوسیستم II صدمه می‌زند و دوم وقتی که در معرض محدودیت آبی واقع شوند. در این حالت، کاهش مربوط به افزایش شدید انرژی برانگیختگی غیر تابشی می‌شود که منجر به آزادسازی انرژی به‌صورت دما می‌شود. در این مطالعه کاهش نسبت F_v/F_m در شرایط تنش کم‌آبی، به‌طور عمده به‌خاطر وجود آشفتگی در کلروپلاست بوده و نشان‌دهنده بازدارندگی نوری و کاهش کارایی فتوسیستم II و نیز کاهش میزان کلروفیل است که به‌علت کاهش انتقال الکترون از فتوسیستم II به I است (Paknejad *et al*., 2007; Ranjbar- Fordoei *et al*., 2013). فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در مراکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد و وجود هرگونه آشفتگی، مانند جلوگیری از تولید تعدادی از پروتئین‌های تیلاکوئید رمز شده توسط کلروپلاست، در مقایسه با پروتئین‌های رمز شده توسط هسته سلول و یا دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم II، منجر به کاهش حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم در شرایط سازگار با تاریکی (F_v/F_m) می‌شود (Francheboud & Leipner, 2003). در این راستا زئولیت و ورمی‌کمپوست به‌دلیل نقش آنها در جذب و نگهداری و افزایش تبادلات یونی باعث افزایش نسبت Fv/F_m و کارایی فتوسیستم II شده است. همچنین معنی‌دار بودن اثر برهمکنش کود و زئولیت بر نسبت F_v/F_m می‌تواند به دلیل نقش مهم زئولیت در کاهش آبشویی نیتروژن در خاک و تأثیر آن در کاهش تنش کم‌آبی باشد (Ippolito *et al*., 2011).

محتوای رنگدانه‌ها (کلروفیل *a*، *b* و کل (*a*+*b*) و کارتنوئید)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]

مقدار کلروفیل *a* با افزایش تنش کم‌آبی در هر دو سال کاهش معنی‌داری یافت. بیشترین مقدار کلروفیل *a* در هر دو سال در تیمارهای بدون تنش کم آبی و بدون زئولیت با ورمی‌کمپوست ($I_1Z_1F_2$) مشاهده شد و کمترین مقدار کلروفیل *a* در هر دو سال در تیمار تنش شدید کم‌آبی در مرحله رویشی بدون مصرف کود و زئولیت ($I_4Z_1F_1$) به‌دست آمد (جدول ۴). همچنین در سال ۱۳۹۳، مقدار کلروفیل *b* به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری × زئولیت × کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۴). اما در سال ۱۳۹۴، اثرات برهمکنش دوگانه رژیم آبیاری × کود نیتروژن بر مقدار کلروفیل *b* معنی‌دار شد که بیشترین مقدار کلروفیل *b* در تیمار (I_1F_2) و کمترین مقدار آن در تیمارهای (I_2F_1 و I_4F_2) مشاهده شد (جدول ۵).

تجزیه واریانس نشان داد که در هر دو سال مقدار کلروفیل کل (*a+b*) و کارتنوئید تحت تأثیر اثرات برهمکنش رژیم آبیاری × زئولیت × کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین مقدار کلروفیل کل (*a+b*) در سال ۱۳۹۳ مربوط به گیاهانی بود که در تیمارهای بدون تنش کم‌آبی با کود ورمی‌کمپوست با یا بدون زئولیت ($I_1Z_2F_2$ و $I_1Z_1F_2$) با (۷ میلی‌گرم برگرم وزن تازه برگ) قرار داشتند و در سال ۱۳۹۴، بیشترین مقدار کلروفیل کل در تیمارهای ($I_1Z_1F_2$، $I_1Z_1F_3$، $I_1Z_2F_2$، $I_3Z_1F_2$، $I_1Z_2F_3$ و $I_3Z_2F_2$) مشاهده شدند. کمترین مقدار کلروفیل کل در سال ۱۳۹۳ در تیمارهای تنش کم‌آبی در مرحله رویشی ($I_2Z_1F_1$، $I_2Z_2F_1$، $I_4Z_1F_1$، $I_4Z_1F_2$، $I_4Z_2F_1$ و $I_4Z_2F_2$) با (۳ میلی‌گرم برگرم وزن تازه برگ) به‌دست آمد و کمترین مقدار کلروفیل کل در سال ۱۳۹۴ در تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در مرحله رویشی و همراه با زئولیت و بدون کود با (۳/۳۳ میلی‌گرم برگرم وزن تازه برگ) مشاهده شد (جدول ۴). همچنین بیشترین مقدار کاروتنوئید در هر دو سال در تیمار تنش شدید کم‌آبی در مرحله رویشی بدون کاربرد زئولیت و کود مشاهده شد. مطابق جدول (۴)، تنش شدید کم‌آبی در مرحله رویشی، منجر به افزایش محتوای کارتنوئید در برگ شنبلیله شده‌است.

در سال ۱۳۹۴، اثر تنش کم‌آبی خفیف بر محتوای کلروفیل به‌وسیله ورمی‌کمپوست به‌دلیل نقش آن در کاهش نیاز آبی گیاهان (۳۰ تا ۴۰ درصد) و افزایش فراهمی مواد غذایی قابل دسترس خاک (مقدار نیتروژن و فسفر در ورمی‌کمپوست اغلب ۵ تا ۱۱ برابر بیشتر از خاک است) خنثی شد (Arancon *et al*., 2005). تحت شرایط کم‌آبی، بازیابی مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن از کلروپلاست‌ها که برای ساختن کلروفیل مورد نیاز هستند کاهش می‌یابد و سرعت تولید کلروفیل کند و کندتر می‌شود نتایج این پژوهش مطابق با نتایج سایر محققین بود (Khaleghi *et al*., 2012; Hazrati *et al*., 2016). مطابق با یافته‌های این تحقیق، تنش کم‌آبی نسبت F_v/F_m را کاهش داده علاوه برآن، باعث کاهش محتوای کل کلروفیل (*a+b*) نیز شده‌است. یکی از دلایل کاهش محتوای کلروفیل، تخریب آن‌ها به‌وسیله گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) است. کم‌آبی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی کاهش دهنده فعالیت اکسیژن فعال، افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه خسارت به غشای سلولی و تخریب رنگدانه‌ها می‌شود (Khaleghi *et al*., 2012; Hazrati *et al*., 2016).

مطابق نتایج موجود در جدول ۴، تیمارهای بدون تنش همراه با کود ورمی‌کمپوست ($I_1Z_2F_2$ و $I_1Z_1F_2$) بیشترین مقدار کلروفیل *a* را دارند و در هر دو سال افزایش ۱۶ درصد در مقایسه با تیمار شاهد ($I_1Z_1F_1$) را نشان دادند. گزارش کردند که مقدار کلروفیل *a*، *b* و نسبت کلروفیل *a/b* به‌طور معنی‌داری تحت تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد (Khaleghi *et al*., 2012). تحت شرایط تنش، کم‌آبی و شوری، کلروفیل a حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی و شوری دارد و مقدار آن نسبت به کلروفیل *b* بیشتر کاهش می یابد (Jaleel *et al*., 2009). در مطالعه حاضر، در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ محتوای کارتنوئید در تیمار آبیاری در ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده در مرحله رویشی و بدون زئولیت و کود ($I_4Z_1F_1$) در مقایسه با تیمار شاهد ($I_1Z_1F_1$) به‌ترتیب بیش از ۴۳ و ۵۵ درصد افزایش یافت (جدول ۴). در تنش‌های شدید، میزان کاروتنوئید که به‌عنوان یک عامل حمایت کننده برای کلروفیل‌ها در برابر اکسیداسیون نوری به‌شمار می‌روند افزوده می‌شود تا مانع تخریب بیشتر کلروفیل‌ها شود. این نتایج با یافته‌های سایر محققان مطابقت دارد (Abdalla & El-Khoshiban, 2007; Khaleghi *et al*., 2012).

تریگونلین

تجزیه واریانس نشان داد که در سال ۱۳۹۳ مقدار تریگونلین تحت تأثیر اثرات برهمکنش رژیم آبیاری × زئولیت × کود و در سال ۱۳۹۴ تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۳). حداکثر مقدار محتوای تریگونلین در سال ۱۳۹۳، در تیمار تنش خفیف کم‌آبی در مرحله رویشی با کاربرد زئولیت

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]

جدول ۳- تحلیل واریانس (میانگین مربعات) اثرات رژیم‌های آبیاری، کود و زئولیت بر فلورسانس کلروفیل، رنگدانه‌ها، تریگونلین و عملکرد دانه شنبلیله

Table 3. Analysis of variance for the main and interactive effects of irrigation (I), fertilizer (F) and zeolite (Z) on Chl fluorescence, pigments, trigonelline and seed yield in fenugreek.

منابع تغییرات (سال ۱۳۹۳)	درجه آزادی	F_m	F_v	F_v/F_m	F_0	کاروتنوئید	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	تریگونلین	عملکرد دانه
تکرار	۲	۰/۰۰۸۴^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۳۶۹۵^{ns}	۰/۰۰۳۴^{ns}	۰/۰۷۷۷^{ns}	۰/۰۱۱۱^{ns}	۱۵۰۳/۵۳^{ns}	۳۱۰۱/۶۱^{ns}
(I) آبیاری	۴	۰/۰۱۴۵**	۰/۰۱۵۷**	۰/۰۲۱۱*	۰/۰۱۲۶**	۴۲۷/۵۱**	۱۳/۷۷۸**	۳/۵۹۴۴**	۲۸/۶۲۷**	۵۳۰۱۵۷/۳**	۷۴۰۰۹۳/۷**
خطای a	۸	۰/۰۰۲۵^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۱۱۶^{ns}	۰/۰۰۱۸^{ns}	۰/۴۱۱۷^{ns}	۰/۰۰۳۴^{ns}	۰/۰۳۶۱^{ns}	۰/۰۱۱۱^{ns}	۴۹۶/۱۱^{ns}	۸۱۶۹/۶۳^{ns}
(Z) زئولیت	۱	۰/۰۰۴۵^{ns}	۰/۰۲۰۵**	۰/۱۲۷۱^{ns}	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۹۶۰^{ns}	۰/۱۸۰۴**	۰/۱۰۰^{ns}	۰/۵۴۴۴**	۶۵۱۹/۵۱*	۱۲۴۶۶۷/۴**
(F)کود	۲	۰/۰۰۴۳^{ns}	۰/۰۲۴۸**	۰/۰۱۹۹^{ns}	۰/۰۱۴۴**	۶۷/۷۱۸**	۲/۶۰۸۱**	۰/۵۷۷۷**	۶/۱۷۷۷**	۷۹۹۶۹/۲۳**	۲۶۵۸۲۵/۱**
I*Z	۴	۰/۰۰۱۰^{ns}	۰/۰۰۱۸**	۰/۰۰۲۸^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۳/۷۴۱۷**	۰/۰۴۴۰**	۰/۱۲۷۷**	۰/۱۲۷۷**	۲۵۰۶/۵۱^{ns}	۴۸۷۳/۶۵^{ns}
I*F	۸	۰/۰۱۵۸**	۰/۰۰۸۴**	۰/۰۱۳۱^{ns}	۰/۰۰۲۷**	۱۱/۵۵۸**	۰/۱۸۵۰**	۰/۳۶۹۴**	۱/۰۵۲۷**	۸۲۹۸/۶۵**	۳۲۵۰۸/۱۷**
Z*F	۲	۰/۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۱۳۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۷^{ns}	۰/۱۰۳۴^{ns}	۰/۰۱۰۱*	۰/۱۳۳۳*	۰/۰۴۴۴*	۲۱۷۲۹/۸۷**	۹۶۵۱/۴۹^{ns}
I*Z*F	۸	۰/۰۰۵۳^{ns}	۰/۰۰۳۴**	۰/۰۰۴۳^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۱/۲۸۰۹*	۰/۰۴۱۱**	۰/۱۱۹۴**	۰/۲۵۲۷**	۳۶۷۶/۲۱**	۱۰۸۴/۵۷^{ns}
خطای b	۵۰	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۰۸	۰/۴۶۹۰	۰/۰۰۲۰	۰/۰۳۱۱	۰/۰۱۱۱	۱۱۴۶/۶۸	۸۶۲۰/۰۷
(٪C.V)		۲۰/۰۵	۱۰/۸۶	۲۴/۴۵	۱۸/۳۳	۳/۶۸	۱/۴۴	۱۱/۴۲	۲/۲۲	۴/۹۰	۲۲/۶۶
تکرار (سال ۱۳۹۴)	۲	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۲۲^{ns}	۰/۰۰۴۱^{ns}	۰/۰۲۲۰^{ns}	۰/۰۴۳۵^{ns}	۰/۰۳۳۳^{ns}	۰/۰۳۳۳^{ns}	۱۷۸۲۴/۸۷^{ns}	۱۰۹۶۹/۱۲^{ns}
(I) آبیاری	۴	۰/۰۳۰۱**	۰/۰۰۷۳**	۰/۰۱۱۹*	۰/۰۱۴۲**	۴۲۲/۱۶**	۱۳/۰۱۰۵**	۲/۵۲۷۷**	۲۸/۶۲۷**	۸۱۰۱۸۹/۸۴**	۸۱۴۳۵۱/۳**
خطای a	۸	۰/۰۰۷۰^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۳۵^{ns}	۰/۰۰۲۷^{ns}	۰/۴۴۲۳^{ns}	۰/۰۲۲۵^{ns}	۰/۰۶۱۱^{ns}	۰/۰۶۱۱^{ns}	۹۴۱۱/۰۰^{ns}	۳۱۱۶/۸۵^{ns}
(Z) زئولیت	۱	۰/۰۱۷۰*	۰/۰۰۷۸**	۰/۰۶۳۷**	۰/۰۱۱۱*	۰/۱۳۹۲^{ns}	۰/۱۷۵۱*	۰/۲۷۷۷	۰/۵۴۴۴**	۳۲۸/۷۱^{ns}	۱۳۹۶۴۴/۸**
(F) کود	۲	۰/۰۱۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۱۴۹*	۰/۰۰۶۴*	۶۹/۲۲۵**	۳/۳۴۶۷**	۰/۱۳۳۳^{ns}	۴/۱۳۳۳**	۶۹۳۱۹/۸۱**	۱۴۳۰۶۲/۹**
I*Z	۴	۰/۰۲۵۴**	۰/۰۱۱۴**	۰/۰۱۶۵*	۰/۰۰۲۸^{ns}	۳/۷۷۶**	۰/۰۷۵۰*	۰/۰۸۳۳^{ns}	۰/۳۲۲۲**	۳۲۱۰/۷۱^{ns}	۳۶۳/۲۳^{ns}
I*F	۸	۰/۰۱۸۵**	۰/۰۱۱۲**	۰/۰۴۳۱**	۰/۰۰۱۵**	۱۲/۱۸۷**	۰/۰۹۰۶**	۰/۸۶۹۴**	۰/۷۰۲۷**	۷۹۵۵/۶۴^{ns}	۲۹۴۶۷/۵۴**
Z*F	۲	۰/۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۴۵**	۰/۰۵۱۳**	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۱۰۸۲**	۰/۰۱۳۴^{ns}	۰/۰۴۴۴^{ns}	۰/۳۱۱۱**	۱۰۸۳۶/۸۷^{ns}	۲۸۹۷۰/۴۷*
I*Z*F	۸	۰/۰۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۳۹**	۰/۰۰۵۱^{ns}	۰/۰۰۲۷^{ns}	۱/۲۹۱۲*	۰/۰۹۴۱**	۰/۰۵۸۳^{ns}	۰/۳۸۰۵**	۳۶۷۶/۲۱^{ns}	۱۱۰۹۰/۳۵^{ns}
خطای b	۵۰	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۱۷	۰/۴۸۳۳	۰/۰۲۸۲	۰/۰۶۸۸	۰/۰۴۲۲	۶۲۲۱/۲۹	۹۰۹۵/۷۴
(٪C.V)		۲۳/۷۱	۱۶/۷۱	۲۱/۳۸	۲۳/۲۷	۳/۹۷	۵/۲۷	۱۴/۳۱	۳/۹۲	۷/۳۱	۱/۴۷

و ورمی‌کمپوست ($I_2Z_2F_2$) به مقدار (۱۰۵۶/۶ میکروگرم بر میلی‌گرم وزن دانه) مشاهده شد و کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی در مرحله رویشی با زئولیت و بدون کود نیتروژن ($I_4Z_2F_1$) با (۴۱۹ میکروگرم بر میلی‌گرم وزن دانه) به‌دست آمد. اما در سال ۱۳۹۴، به‌ترتیب بیشترین و کمترین محتوای تریگونلین مربوط به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در مرحله رویشی و تیمار آبیاری کامل مشاهده شد (شکل ۲). همچنین به‌ترتیب بیشترین و کمترین محتوای تریگونلین مربوط به اثر اصلی کود در تیمار کاربرد کود ورمی‌کمپوست و در تیمار بدون کاربرد کود (۷۳۴/۷۷ و ۶۴۸/۵۷ میکروگرم بر میلی‌گرم وزن دانه) به‌دست آمد. مطابق با نتایج، اختلاف آماری معنی‌داری بین کاربرد کود ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی نیتروژن در رابطه با تجمع تریگونلین در دانه شنبلیله وجود نداشت. تریگونلین یک ترکیب آلکالوئیدی است که در پاسخ به تنش‌های اکسیداتیو، تنظیم فشار اسمزی در واکنش به تنش شوری و خشکی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند (Shimizu & Mazzafera, 2000).

در سال ۱۳۹۳، تیمارهای تنش کم‌آبی خفیف در مرحله رویشی همراه با کود ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی نیتروژن بیشترین تجمع تریگونلین را به خود اختصاص داده است. مطابق با نتایج این تحقیق، محققان بسیاری گزارش کرده‌اند که درصد اسانس و متابولیت‌های ثانویه (به‌خصوص غلظت تریگونلین) با تنش خفیف کم‌آبی افزایش می‌یابد (Cho *et al.*, 2011). به‌طور کلی نقش تعیین کننده ترکیبات نیتروژنه در افزایش آلکالوئیدها، ناشی از این موضوع است که نیتروژن مولکول اصلی در ترکیب اسیدهای آمینه و متابولیت‌های حاصل از آلکالوئیدها است (Facchini, 2001). نتایج نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین انواع مختلف کودی نیتروژن (کود ورمی‌کمپوست و اوره) در سال ۱۳۹۴ وجود نداشت. در توافق با نتایج مطالعه حاضر، دادرسان و همکاران (Dadrasan *et al.*, 2015) گزارش کردند که استفاده از انواع مختلف کود نیتروژن (کود بیولوژیکی، شیمیایی و تلفیقی از آن‌ها) اثر معنی‌داری بر غلظت تریگونلین در شنبلیله نداشت (Dadrasan *et al.*, 2015).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات برهمکنش رژیم‌های آبیاری، زئولیت و کود بر F_v، رنگدانه‌ها و تریگونلین دانه شنبلیله.

Table 4. Irrigation regime (I) × zeolite (Z) × fertilizer (F) interaction on Chl fluorescence, pigments and trigonelline in fenugreek.

رژیم آبیاری I	مقدار زئولیت Z	کود نیتروژن F	F_v (فلورسانس متغییر)		کارتنوئید (میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) Carteniode		کلروفیل *a* Chl *a*		کلروفیل کل Total Chl		کلروفیل *b* Chl *b*	تریگونلین (میکروگرم بر گرم) Trigonelin
			(میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) (mg.g)									
			۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۳
I_1	۰	F_1	۰/۱۳۶^{hij}	۰/۱۰^{fgh}	۱۴/۸۵^{l}	۱۳/۸۲^{l}	۳/۸۲^{e}	۳/۸۸^{de}	۶/۰۰^{b}	۶/۰۰^{b}	۲/۰۰^{a}	۶۲۴/۶۷^{kl}
		F_2	۰/۱۰۶^{klm}	۰/۰۳۰^{m}	۱۳/۵۱^{mn}	۱۲/۵^{mn}	۴/۵۹^{a}	۴/۶۱^{a}	۷/۰۰^{a}	۷/۰۰^{a}	۲/۰۰^{a}	۶۷۵/۰۰^{jk}
		F_3	۰/۱۰۶^{klm}	۰/۰۲۶^{m}	۱۰/۷۵^{op}	۹/۷۲^{pq}	۴/۲۶^{b}	۴/۲۱^{b}	۷/۰۰^{a}	۶/۰۰^{b}	۲/۰۰^{a}	۷۳۴/۰۰^{ghi}
	۹	F_1	۰/۱۲۶^{jk}	۰/۲۸۳^{a}	۱۴/۷۹^{l}	۱۳/۷۶^{l}	۳/۹۳^{d}	۳/۹۰^{cde}	۶/۰۰^{b}	۶/۰۰^{b}	۲/۰۰^{a}	۶۵۱/۶۶^{kl}
		F_2	۰/۱۰۳^{klm}	۰/۰۹^{ghi}	۱۲/۹۲^{n}	۱۱/۸۹^{o}	۴/۵۸^{a}	۴/۶۰^{a}	۷/۰۰^{a}	۷/۰۰^{a}	۲/۰۰^{a}	۷۳۴/۰۰^{ghi}
		F_3	۰/۱۹۳^{cde}	۰/۰۸^{hijk}	۹/۸۵^{p}	۸/۸۲^{q}	۴/۱^{c}	۴/۱۶^{bc}	۶/۰۰^{b}	۷/۰۰^{a}	۲/۰۰^{a}	۷۲۱/۶۶^{hij}
I_2	۰	F_1	۰/۱۸۰^{def}	۰/۰۵۶^{kl}	۲۴/۵۹^{cd}	۲۳/۵۶^{cd}	۲/۰۸^{pq}	۲/۰۶^{op}	۳/۰۰^{f}	۴/۰۰^{ef}	۱/۰۰^{d}	۸۰۱/۶۶^{def}
		F_2	۰/۲۰۶^{bc}	۰/۰۸^{hijk}	۲۰/۳۳^{gh}	۱۹/۳۰^{gh}	۲/۶۳^{m}	۲/۶۷^{lm}	۴/۰۰^{e}	۴/۰۰^{ef}	۱/۰۰^{d}	۸۶۸/۰۰^{c}
		F_3	۰/۱۶۳^{fgh}	۰/۰۹^{fgh}	۲۱/۸۶^{ef}	۲۰/۸۳^{ef}	۲/۵۲^{n}	۲/۵۰^{mn}	۴/۰۰^{e}	۴/۰۰^{ef}	۱/۰۰^{d}	۱۰۰۸/۳^{a}
	۹	F_1	۰/۱۷۰ ^{efg}	۰/۰۹^{ghi}	۲۳/۹۹^{d}	۲۲/۹۶^{d}	۲/۰۳^{q}	۲/۰۸^{op}	۳/۰۰^{f}	۳/۳۳^{g}	۱/۰۰^{d}	۷۸۸/۶۶^{efg}
		F_2	۰/۲۰۰ ^{cd}	۰/۱۰۳^{fg}	۱۹/۵۵^{hi}	۱۸/۵۲^{hi}	۳/۰۶^{i}	۳/۱۲^{hi}	۵/۰۰^{d}	۵/۰۰^{e}	۲/۰۰^{a}	۱۰۵۶/۶^{a}
		F_3	۰/۲۱۶ ^{bc}	۰/۱۵^{bcd}	۲۰/۸۶^{fg}	۱۹/۸۳^{fg}	۲/۸۰^{k}	۲/۸۱^{jkl}	۴/۰۰^{e}	۵/۰۰^{e}	۱/۰۰^{d}	۹۵۱/۰^{b}
I_3	۰	F_1	۰/۱۴۶ ^{ghij}	۰/۱۴^{cde}	۱۵/۲۰^{l}	۱۴/۱۷^{l}	۳/۵۵^{g}	۳/۴۷^{fg}	۵/۰۰^{d}	۶/۰۰^{b}	۲/۰۰^{a}	۷۱۱/۰^{ij}
		F_2	۰/۱۰۰ ^{lm}	۰/۱۶۶^{b}	۱۱/۲^{o}	۱۰/۱۷^{p}	۴/۱۰۳^{c}	۴/۱۶۰^{bc}	۶/۰۰^{b}	۷/۰۰^{a}	۲/۰۰^{a}	۷۷۰/۶^{fgh}
		F_3	۰/۱۴۰ ^{hij}	۰/۰۹^{ghi}	۱۵/۲۶^{l}	۱۴/۲۳^{l}	۳/۸۸^{de}	۳/۸۴^{de}	۶/۰۰^{b}	۶/۰۰^{b}	۲/۰۰^{a}	۸۵۲/۰^{cd}
	۹	F_1	۰/۲۰۶^{bc}	۰/۰۶۰^{jkl}	۱۶/۳۹^{k}	۱۵/۳۶^{k}	۳/۶۴^{f}	۳/۶۶^{ef}	۵/۳۳^{c}	۶/۰۰^{b}	۲/۰۰^{a}	۷۲۵/۶۶^{hij}
		F_2	۰/۱۲۳^{jkl}	۰/۱۳۰^{de}	۱۴/۳۶^{lm}	۱۳/۳۳^{lm}	۴/۰۷^{c}	۴/۱۲^{bcd}	۶/۰۰^{b}	۷/۰۰^{a}	۲/۰۰^{a}	۸۵۵/۰^{cd}
		F_3	۰/۱۹^{cde}	۰/۱۶۰^{bc}	۱۵/۴۳^{kl}	۱۴/۴۰^{kl}	۳/۹۵^{d}	۳/۹۷^{bcd}	۶/۰۰^{b}	۶/۰۰^{b}	۲/۰۰^{a}	۸۲۷/۶۶^{cde}
I_4	۰	F_1	۰/۱۳۳^{ij}	۰/۰۸^{ghik}	۲۶/۱۵^{a}	۲۵/۱۲^{a}	۱/۸۵^{s}	۱/۸۴^{p}	۳/۰۰^{f}	۴/۰۰^{ef}	۱/۰۰^{d}	۴۲۸/۶۶^{qr}
		F_2	۰/۰۶۳^{n}	۰/۱۱۶^{ef}	۲۵/۲^{abc}	۲۴/۲^{abc}	۲/۱۱^{p}	۲/۶۲^{lm}	۳/۰۰^{f}	۴/۰۰^{ef}	۱/۰۰^{d}	۴۷۲/۰^{pqr}
		F_3	۰/۱۵^{ghi}	۰/۰۵۶^{kl}	۲۲/۳۰^{e}	۲۱/۰۲^{e}	۲/۳۹^{o}	۲/۳۳^{no}	۴/۰۰^{e}	۴/۰۰^{ef}	۱/۰۰^{d}	۴۸۹/۶۶^{p}
	۹	F_1	۰/۱۰۰ ^{lm}	۰/۰۵۰^{lm}	۲۵/۷۴^{ab}	۲۴/۷۱^{ab}	۱/۹۴^{r}	۱/۹۷^{p}	۳/۰۰^{f}	۴/۰۰^{ef}	۱/۳۳^{c}	۴۱۹/۰۰^{r}
		F_2	۰/۱۶^{fgh}	۰/۰۵۰^{lm}	۲۴/۸^{bcd}	۲۳/۸^{bcd}	۲/۰۴^{pq}	۲/۱^{op}	۳/۰۰^{f}	۳/۶۶^{fg}	۱/۰۰^{d}	۵۴۸/۶۶^{o}
		F_3	۰/۱۴^{hij}	۰/۰۸^{hijk}	۲۲/۷۱^{e}	۲۱/۳۴۳^{e}	۲/۵۲^{n}	۲/۵۵^{lmn}	۴/۰۰^{e}	۴/۰۰^{ef}	۱/۰۰^{d}	۴۸۰/۳۳^{pq}
I_5	۰	F_1	۰/۰۶۰^{no}	۰/۰۷^{ijkl}	۲۰/۷۰^{g}	۱۹/۶۷^{g}	۲/۶۹^{lm}	۲/۶۸^{klm}	۴/۳۳^{de}	۴/۰۰^{e}	۱/۰۰^{d}	۵۹۸/۰^{lmno}
		F_2	۰/۱۲۶ ^{jk}	۰/۰۹^{fghi}	۱۷/۸۵^{j}	۱۶/۸۲^{j}	۳/۲۲^{h}	۳/۲۷^{gh}	۵/۰۰^{d}	۵/۰۰^{e}	۲/۰۰^{a}	۶۱۱/۳۳^{lmn}
		F_3	۰/۲۳۰^{ab}	۰/۰۸^{ghij}	۱۹/۱۸^{i}	۱۸/۱۵^{i}	۲/۹۵^{j}	۲/۹۵^{ijk}	۴/۰۰^{e}	۵/۰۰^{e}	۱/۶۶^{b}	۵۷۷/۳^{mno}
	۹	F_1	۰/۰۹۳^{m}	۰/۰۸^{hijk}	۲۰/۵۴^{gh}	۱۹/۴۷^{gh}	۲/۷۴^{kl}	۲/۷۵^{jklm}	۴/۰۰^{e}	۵/۰۰^{e}	۱/۰۰^{d}	۵۵۵/۰۰^{o}
		F_2	۰/۱۳۳ ^{ij}	۰/۰۷^{ijkl}	۱۶/۵۰^{k}	۱۵/۳۹^{k}	۳/۵۶^{g}	۳/۶۳^{ef}	۵/۰۰^{d}	۶/۰۰^{b}	۲/۰۰^{a}	۵۹۴/۳^{mno}
		F_3	۰/۲۴۶ ^{a}	۰/۰۹^{ghi}	۱۹/۵۰^{hi}	۱۸/۴۷^{hi}	۳/۰۵^{i}	۳/۰۰^{hij}	۵/۰۰^{d}	۵/۰۰^{e}	۱/۳۳^{c}	۵۶۸/۳۳^{no}

I_1= آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد ASW؛ I_2 و I_3 = آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ASW در مرحله رویشی و زایشی ؛ I_4 و I_5= آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد ASW در مرحله رویشی و زایشی. F_1 و F_2 و F_3(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_1: Irrigation at 20% of ASW; I_2, I_3: irrigation at 40% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; I_4, I_5: irrigation at 60% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; F_1, F_2, F_3: (Zero nitrogen, 2.7 ton.ha^{-1} vermicompost, 11 kg.ha^{-1} Urea). Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]

جدول ۵- اثرات برهمکنش رژیم آبیاری و کود نیتروژن بر F_m، F_0، F_v/F_m، کلروفیل b و عملکرد دانه در شنبلیله.

Table 5. Irrigation regime (I) × fertilizer (F) interaction on Chl fluorescence, pigments and seed yield in fenugreek.

۱۳۹۳ (2014)					۱۳۹۴ (2015)				
رژیم آبیاری I	کود Fertilizer	F_m	F_0	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (Kg ha^{-1})	F_m	F_0	F_v/F_m	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) Chl b (mg.g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (Kg ha^{-1})
I_1	F_1	۰/۲۵def	۰/۱۶cd	۶۰۵/۲ b	۰/۳۸a	۰/۲bcde	۰/۴۶a	۲/۱۶b	۷۱۴/۸b
	F_2	۰/۲۶def	۰/۱۵d	۹۰۳/۱a	۰/۲۱fg	۰/۱۵ef	۰/۲۷ef	۲/۶۶a	۹۵۹/۶a
	F_3	۰/۳۱bcd	۰/۱۹abc	۵۵۴/۶ b	۰/۱۶g	۰/۱۱f	۰/۲۹def	۲/۰۰bc	۶۰۱/۲c
I_2	F_1	۰/۲۷def	۰/۱e	۵۰۲/۴ bc	۰/۲۶cdef	۰/۱۹bcde	۰/۲۹cdef	۱/۰۰e	۴۸۱/۰۶d
	F_2	۰/۲۵cde	۰/۰۹e	۶۰۴/۹ b	۰/۲۵def	۰/۱۷bcde	۰/۳۱cde	۱/۸۳cd	۴۹۵/۶ cd
	F_3	۰/۲۶def	۰/۱۶cd	۴۴۲/۱ c	۰/۲۵def	۰/۱۷cde	۰/۳۵bcd	۱/۶۶d	۴۱۵/۴ de
I_3	F_1	۰/۳۹a	۰/۲۱a	۱۲۴/۲ f	۰/۳۲abcd	۰/۲۱abc	۰/۱۹g	۲/۰۰bc	۳۲۹/۶efg
	F_2	۰/۲۶def	۰/۱۵d	۳۰۱/۸ d	۰/۳۳abc	۰/۱۸bcde	۰/۴۳ab	۲/۰۰bc	۴۲۰/۱de
	F_3	۰/۳۶ab	۰/۲ab	۲۷۳/۲ de	۰/۳۳abc	۰/۲abcd	۰/۳vbc	۲/۰۰bc	۲۷۸/۲fgh
I_4	F_1	۰/۳bcd	۰/۱vbcd	۴۱۶/۲ c	۰/۲۲efg	۰/۱۶cde	۰/۲۲fg	۲/۰۰bc	۳۳۰/۲efg
	F_2	۰/۲۱def	۰/۱vcd	۵۱۵/۴ bc	۰/۲۴ef	۰/۱۶def	۰/۳۳cde	۱/۰۰e	۳۹۴/۹de
	F_3	۰/۲۲f	۰/۱۶cd	۳۰۶/۵ d	۰/۲۴ef	۰/۱۷bcde	۰/۲۸def	۱/۶۶d	۳۴۰/۵ef
I_5	F_1	۰/۲۳ef	۰/۱۵d	۱۴۷/۵ f	۰/۳bcde	۰/۲۴a	۰/۳۲cde	۲/۰۰bc	۱۴۱/۷i
	F_2	۰/۲۹cde	۰/۱۵d	۲۶۶/۳ de	۰/۲۹bcdef	۰/۲۲ab	۰/۳۳cde	۲/۰۰bc	۲۲۴/۴ghi
	F_3	۰/۳۵abc	۰/۲۱a	۱۸۱/۷ ef	۰/۳۴ab	۰/۲abcd	۰/۳۶bcd	۲/۰۰bc	۱۹۵/۵hi

I_1= آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد ASW؛ I_2 و I_3 = آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ASW در مرحله رویشی و زایشی ؛ I_4 و I_5= آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد ASW در مرحله رویشی و زایشی. F_1 و F_2و F_3:(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_1: Irrigation at 20% of ASW; I_2, I_3: irrigation at 40% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; I_4, I_5: irrigation at 60% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; F_1, F_2, F_3: (Zero nitrogen, 2.7 ton.ha^{-1} vermicompost, 11 kg.ha^{-1} Urea). Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%.

جدول ٦- اثرات برهمکنش رژیم آبیاری و زئولیت بر Fv/F_m و F_m در شنبلیله در سال ۱۳۹۴.

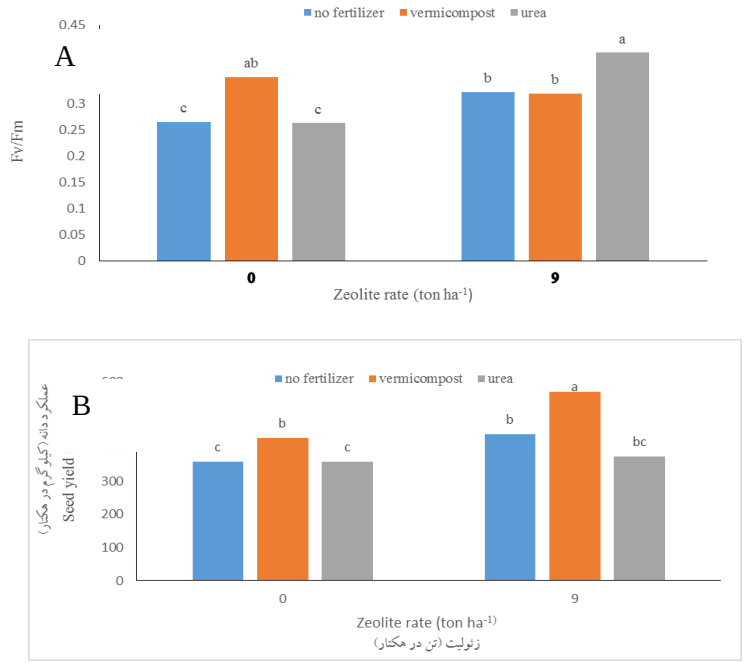
Table 6. Irrigation regime (I) × zeolite (Z) interaction on Chl fluorescence in fenugreek in 2015.

رژیم آبیاری Irrigation regime	مقدار زئولیت (تن در هکتار) Zeolite rate (ton ha^{-1})	F_m	F_v/F_m
I_1	۰	۰/۱ve	۰/۲۷d
	۹	۰/۳۲ab	۰/۴۱a
I_2	۰	۰/۲۳de	۰/۲۸d
	۹	۰/۲۷bcd	۰/۳۶ab
I_3	۰	۰/۳۴a	۰/۳۱bcd
	۹	۰/۳۱abc	۰/۳۵ab
I_4	۰	۰/۲۵cd	۰/۲۷d
	۹	۰/۲۱de	۰/۲۸cd
I_5	۰	۰/۳abc	۰/۳۴abc
	۹	۰/۳۲ab	۰/۳۳bcd

I_1= آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد ASW؛ I_2و I_3 = آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ASW در مرحله رویشی و زایشی ؛ I_4 و I_5= آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد ASW در مرحله رویشی و زایشی. 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.

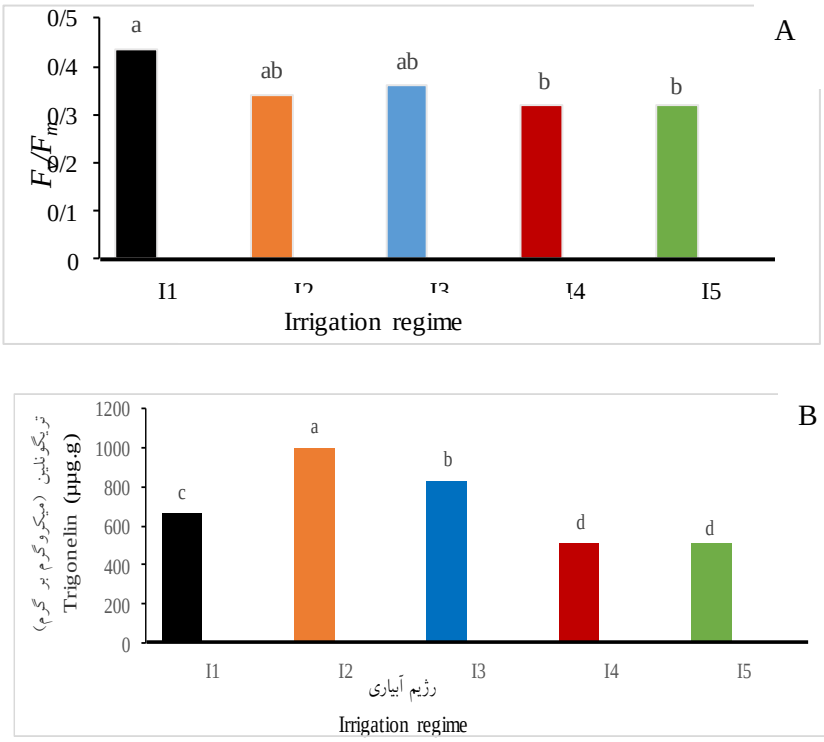
I_1: Irrigation at 20% of ASW; I_2, I_3: irrigation at 40% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively; I_4, I_5: irrigation at 60% of ASW during the vegetative and reproductive stages respectively. Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]



شکل ۱- اثر بر همکنش زئولیت و کود بر **A**. F_v/F_m **B**. عملکرد دانه شنبلیله در سال ۱۳۹۴

Fig. 1. A. Zeolite × Fertilizer interaction on F_v/F_m. **B.** seed yield in 2015.



شکل ۲- اثر رژیم آبیاری بر F_v/F_m در **A**. سال ۱۳۹۳. **B**. تریگونلین دانه شنبلیله در سال ۱۳۹۴.

Fig. 2. A. Irrigation regime effect on Fv/F_m in 2014. **B.** and trigoneline in 2015.

I1. آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد ASW؛ I2و I3 آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ASW در مرحله رویشی و زایشی ؛ I4 و I5. آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد ASW در مرحله رویشی و زایشی.

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.

I1. Irrigation at 20% of ASW; I2, I3. irrigation at 40% of ASW during the vegetative and reproductive stages, respectively; I4, I5. irrigation at 60% of ASW during the vegetative and reproductive stages, respectively.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]

عملکرد دانه

تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه در سال ۱۳۹۳ تحت تأثیر اثرات بر همکنش رژیم آبیاری × کود و نیز اثر اصلی زئولیت و در سال ۱۳۹۴ تحت تأثیر اثرات بر همکنش رژیم آبیاری × کود و زئولیت × کود و اثرات اصلی رژیم آبیاری، زئولیت و کود قرار گرفته‌است. در هر دو سال بیشترین مقدار اثر برهمکنش رژیم آبیاری × کود برای عملکرد دانه در تیمار بدون تنش کم‌آبی همراه با کاربرد کود ورمی‌کمپوست مشاهده شد و کمترین مقدار آن در سال ۱۳۹۳ در تیمار تنش خفیف کم‌آبی بدون کود نیتروژن (I_3F_1) به‌دست آمد که از نظر آماری به‌ترتیب با تیمارهای تنش شدید کم‌آبی در مرحله زایشی بدون کود نیتروژن و یا با مصرف کود اوره (I_5F_1 و I_5F_3) تفاوت معنی‌داری نداشت و همچنین در سال ۱۳۹۴ در تیمار تنش شدید کم‌آبی در مرحله زایشی بدون کود نیتروژن (I_5F_1) به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۴، به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار برهمکنش اثر زئولیت و کود برای عملکرد دانه در تیمار دارای زئولیت و ورمی‌کمپوست (Z_2F_2) به مقدار (۵۶۹/۰۹ و ۳۵۷/۶۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (شکل ۱). همچنین مطابق با نتایج، در سال ۱۳۹۳ بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار کاربرد زئولیت به میزان (۴۴۶/۹ کیلوگرم در هکتار) بود. عملکرد دانه شنبلیله با افزایش شدت تنش کم‌آبی در هر دو سال کاهش یافت. این نتایج مشابه با نتایج سایر محققینی است که گزارش کردند ارتباط قوی بین تنش کم‌آبی و عملکرد دانه و بیولوژیک وجود دارد (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009; Mokhtassi-Bidgoli *et al.*, 2013). گزارش شده‌است که مرحله زایشی حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی دارد. کم‌آبی در این مرحله، سبب کاهش در اجزای عملکرد دانه و کاهش طول دوره رسیدن دانه در آفتابگردان می‌شود. در نتیجه کاهش ظرفیت مخزن و کوتاهتر شدن طول دوره رشد منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009). همچنین در هر دو سال، تیمار بدون تنش کم‌آبی با کود ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد (I_1F_1) به‌ترتیب افزایش ۳۲/۹۸ و ۲۵/۵ درصد در عملکرد دانه را نشان داد. گزارش کردند که کود ورمی‌کمپوست با بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک و تهیه مداوم و پایدار عناصر معدنی به‌ویژه نیتروژن سبب افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک می‌شود (Roy *et al.*, 2010).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی ماکزیمم فلورسانس (F_m)، فلورسانس متغییر (F_V)، کارایی فتوسیستم II (F_v/F_m)، محتوای کلروفیل *a*، *b* و کل ($a+b$) و عملکرد دانه را کاهش داد ولی فلورسانس حداقل (F_0)، کاروتنوئید و غلظت تریگونلین را افزایش داد به‌گونه‌ای‌که تجمع بیشترین تریگونلین در گیاهانی به‌دست آمد که در شرایط تنش خفیف کم‌آبی (آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه در مرحله رویشی و زایشی) قرار داشتند اما از طرفی دیگر، با کاهش معنی‌دار عملکرد دانه مواجه شد. در حقیقت، اثر منفی تنش خفیف کم‌آبی بر عملکرد دانه به‌طور کامل با اثر مثبت آن در افزایش غلظت تریگونلین جبران شد. در نتیجه غلظت بیشتر متابولیت‌های ثانویه در گیاهان تحت تنش خفیف کم‌آبی ممکن است از نظر اقتصادی باصرفه نباشد زیرا غلظت بیشتر متابولیت‌های ثانویه اغلب با کاهش عملکرد دانه یا بیولوژیک همراه است. سرانجام تنش خفیف کم‌آبی در مرحله رویشی با ورمی‌کمپوست توانست اثرات منفی تنش کمبود آب را به حداقل برساند و ممکن است از نظر عملکرد اقتصادی و شرایط اکولوژیکی نیز مفید واقع شود.

سپاسگزاری

از گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران که در طول اجرای آزمایش همکاری نموده‌اند تشکر می‌شود.

REFERENCES

Abdalla, M.M. and El-Khoshiban, N.H. 2007. Metabolic and hormonal contents of two *Triticium aestivum* cultivars. – J. Appl. Sci. Res. 3: 2062-2074.

Acharya, S.N., Thomas, J.E. and Basu, S.K. 2008. Fenugreek, an alternative crop for semiarid regions of North America. – Crop Sci. 48: 841-53.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D. and Lucht, C. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. – Pedobiol. 49: 297-306.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in *Beta vulgaris*. – Plant Physiol. 24: 1-150.

Basu, S.K. 2006. Seed production technology for fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in the Canadian. Master of Science Thesis. Department of Biological Sciences University of Lethbridge, Alberta, Canada pp: 202.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]

Cho, Y., Kodjoe, E., Puppala, N. and Wood, A.J. 2011. Reduced trigonelline accumulation due to rhizobial activity improves grain yield in peanut (*Arachis hypogaea* L.). – Acta Agri. Scand. B 61: 395-403.

Conming, L. and Zang, J. 2000. Photosynthetic CO_2 assimilation chlorophyll fluorescence and photoihibiton as affected by nitrogen deficiency in maize plants. – J. Plant Sci. 151: 135-143.

Dadrasan, M., Chaichi, M. R., Pourbabaee, A. A., Yazdani, D. and Keshavarz-Afshar, R. 2015. Deficit irrigation and biological fertilizer influence on yield andtrigonelline production of Fenugreek. – Indust. Crops Prod. 77: 156-162.

Facchini, P.J. 2001. Alkaloid biosynthesis in plants: biochemistry, cell biology, molecular regulation, and metabolic engineering applications. – Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 52: 29-66.

Francheboud, Y. and Leipner, J. 2003. The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature and drought stress. In: De-Ell, J.R., P.M.A. Tiovonen (Eds.). Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. – Boston: Kluwer Academic Publishers. pp: 125-150.

Hassanzadeh, E., Chaichi, M.R., Mazaheri, D., Rezazadeh, S. and Badi, H.A.N. 2011. Physical and chemical variabilities among domestic Iranian fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*) seeds. – Asi. J. Plant Sci. 10: 323-330.

Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mokhtassi-Bidgoli. A. and Nicola, S. 2016. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. – Plant Physiol. Biochem. 106: 141-148.

Ippolito, A.J., Tarkalson, D.D. and Lehrsch, G.A. 2011. Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture, and Corn growth. – Soil Sci. 176: 136-142.

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Jasim, H., Somasundaram, R. and Pannerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. – Inter. J. Agricul. Biol. 11: 100-105.

Karimi, S., Nasri, M. and Ghoshchi, F. 2013. Investigation of drought stress on agro-physiological indices of sunflower (*Helianthus annuus* L.) with Zeolite application tested in the region of Varamin. – Inter. J. Agricul. Sci. 3: 894-903.

Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N. and Barzegar, M. 2012. Evaluation of chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters and relationships between chlorophyll a, b and chlorophyll content index under water stress in *Olea europaea* cv. Dezful. – World Acad. Sci. Engin.Tech. 68: 1154-1157.

Mehrafarin, A., Rezazadeh, Sh., Naghdi Badi, H., Noormohammadi, G.H., Zand, E. and Qaderi, A. 2011. A review on biology, cultivation and biotechnology of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) as a valuable medicinal plant and multipurpose. – J. Med. Plants. 10: 6-24.

Mokhtassi-Bidgoli, A., Agha Alikhani, M., Nassiri-Mahallati, M., Zand, E., Gonzalez-Andujard, J. L. and Azarie, A. 2013. Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of *Descurainia Sophia* in response to different nitrogen rates and water regimes. – Indust. Crops Prod. 44: 583-592.

Movahhedy-Dehnavy, M., Modarres-Sanavy, S.A.M. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of sunfflower (*Helianthus annuus* L.) grown under water deficit stress. – Indust. Crops Prod. 30: 82-92.

Paknejad, F., Majidi heravan, E., Noor mohammadi, Q., Siyadat, A. and Vazan, S. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. – Amer. J. Bioch. Biotech. 5: 162-169.

Ranjbar- Fordoei, A., Samson, R. and Van Damme, P. 2013. Some ecophysiological characteristics of artà (*Calligonum comosum* Hérit) in response to drought stress. – Forest Sci. Pract. 15: 114-120.

Roy, S., Arunachalam, K., Kumar Dutta, B. and Arunachalam, A. 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. Eco. 7: 39-46.

Shimizu, M.M. and Mazzafera, P.A. 2000. Role for trigonelline during imbibition and germination of coffee seeds. – Plant Bio. 605: 2-11.

Tunctürk, R., Celen, A.E. and Tunctürk, M. 2011. The effects of nitrogen and sulphur fertilizers on the yield and quality of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). – Turk J. Fie. Crops. 16: 69-75.

*****

How to cite this article:

Baghbani-Arani, A., Modares- Sanavi, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., Adavi, Z. and Deghanzade-Jezi, H. 2019. The effect of water deficit stress on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, trigoneline and grain yield in fenugreek in response to zeolite and nitrogen. – Nova Biologica Rep. 6: 229-240.

باغبانی‌آرانی، ا.، مدرس ثانوی، س.ع.م.، مشهدی اکبر بوجار، م.، اداوی، ظ. و دهقان‌زاده جزی، ح. ۱۳۹۸. اثر تنش کم‌آبی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، رنگدانه‌های فتوسنتزی، تریگونلین و عملکرد دانه شنبلیله در واکنش به زئولیت و نیتروژن. – یافته‌های نوین در علوم زیستی ۶: ۲۴۰-۲۲۹.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.2.13.0]
[DOI: 10.29252/nbr.6.2.229]