



واکنش برخی شاخص‌های رشد و عملکرد شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) به زئولیت و کود نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی

ابوالفضل باغبانی آرانی^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۲*}، مسعود مشهدی اکبر بوجار^۳ و علی مختصی بیدگلی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۸/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۵

چکیده

به منظور بررسی اثرات تنش کم‌آبی، کود نیتروژن و زئولیت بر شاخص‌های رشد و عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله آزمایشی به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه دانشگاه تربیت مدرس اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل پنج رژیم آبیاری (بدون تنش؛ تنش خفیف در مراحل رویشی و زایشی؛ تنش شدید در مراحل رویشی و زایشی) به عنوان عامل اصلی و ترکیب فاکتوریلی از سه تیمار کودی بر اساس نیتروژن مورد نیاز گیاه (شاهد، ورمی کمپوست 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) به عنوان عامل فرعی بودند. در هر دو سال با افزایش شدت تنش کم‌آبی شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، ارتفاع گیاه، عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله کاهش یافتند به گونه‌ای که تیمار تنش شدید کم‌آبی در مرحله زایشی بدون کود و زئولیت (با کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک و دانه) در مقایسه با شاهد، به ترتیب در هر دو سال، کاهش ۶۰/۹۶ و ۴۸/۰۹ درصدی در عملکرد بیولوژیک و ۸۰/۱۸ و ۷۵/۶۲ درصدی در عملکرد دانه را نشان داد. با کاربرد کود نیتروژن، خصوصاً ورمی کمپوست، میزان شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه در مراحل مختلف رشدی و به تبع آن عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله، در رژیم‌های مختلف آبیاری افزایش یافتند. در رژیم‌های مختلف آبیاری تیمارهایی که ورمی کمپوست و یا زئولیت در آنها به کار رفته بودند توانستند شاخص سطح برگ و سرعت رشد بالاتری داشته باشند و در نهایت عملکرد بیشتری تولید نمایند.

واژگان کلیدی: تنش خشکی، ورمی کمپوست، کود شیمیایی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۴- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

مقدمه

آب و هوای ایران عمدتاً خشک و نیمه خشک است که در دسترس بودن آب یک مشکل بزرگ این نواحی بوده و در چنین وضعیتی مدیریت خشکسالی یک ضرورت فوری است (Baghalian *et al.*, 2011). کاشت گیاهانی با نیاز آبی کمتر یکی از راه‌های مدیریت مؤثر آب قابل دسترس می‌باشد. شنبليله می‌تواند به‌عنوان یک محصول مقرون به‌صرفه در زمینه کمبود آب به‌دلیل سازگاری قابل توجه آن به طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی در نظر گرفته شود. شنبليله گیاهی یک‌ساله است که به‌عنوان گیاه دارویی و علوفه‌ای با کیفیت بالا و گیاه پوششی تثبیت کننده نیتروژن در سرتاسر جهان به‌طور وسیعی کشت می‌گردد. شنبليله در تمام بخش‌های ایران با سطح زیر کشت حدود ۴۰۰ هکتار کشت می‌شود. تولید سالانه علوفه خشک شنبليله در ایران ۸۰۰ تن و عملکرد دانه آن ۰/۸ تن در هکتار می‌باشد. گسترش کشت آن در ایران و جهان، این گیاه را با تنش غیرزنده از جمله تنش کم‌آبی در طول فصل رشد مواجه خواهد کرد (Dadrasan *et al.*, 2015).

وقوع تنش کم‌آبی در گیاهان زراعی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی آنها اثر می‌گذارد و در نهایت، نتیجه این فعل و انفعالات در میزان عملکرد گیاه پدیدار می‌شود. اما میزان تأثیر تنش بر عملکرد محصول، رابطه مستقیمی با شدت و مدت تنش، مراحل وقوع تنش و نیز بر حسب گونه‌ی گیاه دارد (Jaleel *et al.*, 2008). نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که تنش ناشی از کمبود آب در شنبليله سبب کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از کاهش سطح برگ، ارتفاع و وزن خشک از طریق کاهش تعداد روز تا

گلدھی و رسیدگی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و در نهایت عملکرد علوفه و دانه خواهد شد (Bazazi *et al.*, 2013; Dadrasan *et al.*, 2015). نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در افزایش تولید گیاهان، به‌واسطه افزایش عملکرد ماده‌ی خشک، توسعه‌ی سطح برگ و بهبود فتوسنتز می‌باشد. نیتروژن علاوه بر ایفای نقش اصلی در تشکیل پروتئین‌ها، یک جزء لازم مولکول کلروفیل هم هست. کمبود نیتروژن در اکثر گیاهان باعث کاهش رشد رویشی، زایشی و در نهایت عملکرد می‌شود (Dordas and Sioulas, 2008). اثر مثبت کودهای شیمیایی نیتروژنه بر عملکرد شنبليله توسط محققین مختلفی گزارش شده است (Tunctürk *et al.*, 2011; Dadrasan *et al.*, 2015). علاوه بر این در راستای مدیریت مؤثر مصرف آب در کشاورزی، استفاده از تکنیک‌های زراعی از جمله کاربرد کودهای آلی، زئولیت یا تقویت شرایط بیولوژیکی خاک ممکن است در کاهش اثرات تنش کم‌آبی مؤثر باشند. یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست می‌باشد. همچنین، زئولیت‌ها گروهی از کانی‌های متخلخل طبیعی هستند که با ساختمان کریستالی خود باعث افزایش فراهمی طولانی مدت آب و عناصر غذایی شده که به بهبود رشد گیاه کمک می‌کنند. کاربرد مقادیر مختلف زئولیت طبیعی بر رشد شنبليله نشان داد که با مصرف زئولیت، تعداد، طول، قطر، سطح برگ و وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی افزایش یافت و کاربرد ۴۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک بیشترین تأثیر را بر رشد شنبليله داشت (Karimi *et al.*, 2013). آب و نیتروژن از عوامل عمده تعیین کننده سطح تولیدات کشاورزی در جهان هستند. شناخت و

کم‌آبی، کود نیتروژن و زئولیت و برهمکنش آنها بر شاخص‌های رشد و ارتباط آن با عملکرد بیولوژیک و دانه شنبليله می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در 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 گردید. بر اساس آمار هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (چیتگر) در دانشکده کشاورزی، این منطقه با ۲۴۲ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک بوده و میانگین درجه حرارت سالانه آن ۲۲ درجه سلسیوس است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. پنج رژیم آبیاری (I_1 بدون تنش در مرحله رویشی و زایشی؛ آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک (مقدار رطوبتی که بین دو حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی داریم در خاک وجود دارد)، 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

بررسی شاخص‌های رشد در تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر عملکرد و اجزای آن از اهمیت زیادی برخوردار است. فیزیولوژیست‌های گیاهی، شاخص‌های رشد را به‌عنوان ابزارهای مفیدی جهت تجزیه و تحلیل کمی رشد و نمو گیاه زراعی به‌شمار آورده و نیز یک روش پر قدرت برای تخمین بلند مدت تولید خالص فتوسنتزی می‌دانند. این روش بر مبنای اندازه‌گیری متوالی وزن خشک و سطح برگ گیاه منفرد و یا پوشش‌های گیاهی استوار است (Radfords, 1967). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که شاخص‌های فیزیولوژیک مانند شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، سرعت رشد نسبی و جذب خالص تحت تاثیر آب و کود نیتروژن قرار دارند (Tarighol Eslami et al., 2012). همچنین، نتایج مطالعات گاردنر و همکاران (Gardner et al., 1990) نشان داد که معمولاً شاخص سطح برگ سه تا پنج برابر تولید حداکثر ماده خشک در اغلب محصولات زراعی مناسب است. همچنین، گزارش کردند که همبستگی مثبت معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک وجود دارد. به‌دلیل این‌که اکثر شاخص‌های رشد به‌طریقی به شاخص سطح برگ وابسته هستند تغییر این شاخص از طریق تغییر در میزان آب مصرفی و کود نیتروژن یکی از عملی‌ترین راهکارها است. در هر منطقه شاخص سطح برگ که بتواند حداکثر عملکرد را تولید نماید متفاوت است و بایستی از طریق پژوهش‌های محلی به‌دست آید.

در خصوص رفتار گیاه دارویی شنبليله در پاسخ به شرایط مختلف رطوبتی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی و زئولیت مطالعات اندکی صورت گرفته است. هدف از انجام این پژوهش تاثیر تنش

هکتار تعیین گردید. زئولیت مصرفی از نوع کلینوپتیلولیت بوده و ویژگی‌های شیمیایی آن در جدول ۲ ارائه شده است.

بر اساس تیمارها، زئولیت و ورمی‌کمپوست قبل از کاشت با خاک هر کرت به‌طور کامل مخلوط شدند. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. بذر از اکوتیپ بومی منطقه اصفهان (توده اردستانی) بود. میانگین ارتفاع ۲۰ بوته در هر کرت در هنگام برداشت دانه شنبليله ثبت گردید.

برای محاسبه و اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، به فاصله هر ۱۴ روز یک بار از بوته‌ها نمونه‌گیری شد و سطح برگ‌ها توسط دستگاه سطح سنج (Leaf Area Meter) اندازه‌گیری شد. بوته شنبليله در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس وزن شدند (TDW, g). آزمون بارتلت در این آزمایش برای اکثر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار شد به همین دلیل سال‌ها به‌طور جداگانه آنالیز گردیدند. تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام پذیرفت. قبل از انجام عمل تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها (با استفاده از رویه Univariate) اطمینان حاصل شد. تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از رویه GLM (مدل خطی تعمیم یافته) انجام شد. مقایسه‌ی میانگین تیمارهای آزمایشی به روش آزمون LSD انجام گرفت.

رگرسیون خطی $\ln TDW$ بر متغیر زمان، (t) تعداد روز پس از تنش و همچنین رگرسیون خطی $\ln LAI$ در t توسط روش "حداقل مربعات" با استفاده از نرم‌افزار SAS (2002) برآورد شد. درجه چند جمله‌ای بر اساس بالاترین ضریب (R_2) تعیین شد.

تن در هکتار و $F_3 =$ اوره به میزان ۱۱ کیلوگرم در هکتار) و دو مقدار زئولیت ($Z_1 =$ صفر و $Z_1 = 9$ 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 گردید 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 گردید. مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار بر اساس فرمول‌های روش (Mokhtassi-Bidgolia et al., 2013) محاسبه و در اختیار گیاه قرار گرفت. در هر دو سال کشت در تاریخ ۲۰ اردیبهشت در زمین اصلی با تراکم حدود ۲۷ بوته در متر مربع (فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۲/۵ سانتی‌متر) انجام گردید. تیمارهای تنش کم‌آبی در مرحله رویشی پس از استقرار کامل گیاه (۱۷ خرداد) در زمین اصلی تا مرحله گلدهی (۱۶ تیرماه) و تیمار تنش کم‌آبی در مرحله زایشی نیز، هنگام گلدهی تا انتهای سیکل حیاتی گیاه بر اساس ظرفیت زراعی خاک منطقه اعمال گردید. مبنای تعیین مقدار مورد نیاز کود ورمی‌کمپوست عبارت از درصد نیتروژن خاک و کود (جدول ۱)، مقدار کود نیتروژن لازم برای شنبليله برابر با ۴۰ کیلوگرم در هکتار و مقدار آزادسازی نیتروژن کود ورمی‌کمپوست (۳۰ درصد) بود. بر این اساس مقدار مورد نیاز کود ورمی‌کمپوست ۲/۷ تن در

در سال ۱۳۹۳ در ۴۵ روز پس از کاشت به ترتیب بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمارهای تنش خفیف کم آبی در مرحله رویشی با کاربرد ورمی کمپوست بدون زئولیت ($I_2Z_1F_2$) و تیمار شاهد بدون کود و زئولیت ($I_2Z_1F_1$) بود. در سال ۱۳۹۴ بیشترین مقدار LAI مربوط به تیمار تنش خفیف کم آبی در مرحله رویشی با زئولیت و بدون کود ($I_2Z_2F_1$) بود که با تیمارهای تنش خفیف کم آبی در مرحله رویشی با ورمی کمپوست با یا بدون زئولیت ($I_2Z_1F_2$ و $I_2Z_2F_2$) تفاوت معنی داری نداشت. در این راستا، محققین نیز بیان نمودند که آب و نیتروژن از مهم ترین عامل های تعیین کننده گسترش سطح برگ می باشند (Mokhtassi-Bidgoli *et al.*, 2013).

همان طور که مشاهده می شود در اکثر تیمارهای تنش کم آبی خفیف در ۴۵ روز پس از کاشت، کاربرد ورمی کمپوست علاوه بر نقش آن در تامین مواد غذایی مورد نیاز شنبلیله (از جمله نیتروژن) توانسته اثرات منفی کم آبی را بر LAI نیز کاهش دهد. در هر دو سال، نمونه برداری ۵۹ روز پس از کاشت که مصادف با گلدهی کامل شنبلیله بود در کرت های بدون تنش کم آبی (I_1, I_3 و I_5) اختلاف معنی داری بین تیمارهای آزمایشی وجود نداشت اما با تنش کم آبی خفیف (I_2) و شدید (I_4) در مرحله رویشی اختلاف معنی داری وجود داشت. به گونه ای که در سال ۱۳۹۳ در تنش کم آبی خفیف بیشترین LAI در تیمار تنش خفیف کم آبی در مرحله رویشی با کاربرد ورمی کمپوست بدون زئولیت ($I_2Z_1F_2$) مشاهده شد که با تیمارهای تنش خفیف کم آبی در مرحله رویشی با کاربرد ورمی کمپوست بدون زئولیت و با تیمار کاربرد زئولیت و اوره ($I_2Z_1F_2$ و $I_2Z_2F_3$) تفاوت معنی داری نداشت و کمترین آن در تیمار شاهد

$$\text{Ln TDW} = (a + bt + ct^2) \quad (1)$$

$$\text{Ln LAI} = (a_1 + b_1t + c_1t^2) \quad (2)$$

سرعت رشد محصول نیز با استفاده از روش پیشنهاد شده توسط گادریان و وان لار (Goudriaan and van Laar, 1994) محاسبه گردید.

$$\text{CGR} = (b + 2ct) \times \text{TDW} \quad (3)$$

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: شاخص سطح برگ

در همه تیمارها شباهتی را از نظر افزایش تدریجی از آغاز اعمال تیمارها و رسیدن به حداکثر آن در اواسط رشد (۷۳ روز بعد از کاشت) را نشان داد و بعد از آن تمایل به کاهش در پایان دوره رشد مشهود بود. تیمار شاهد (I_1) به عنوان تیماری که بالاترین آب قابل دسترس را در اختیار داشت LAI بیشتری را در مقایسه با سایر سطوح خشکی به خود اختصاص داد ولی تفاوت معنی دار قابل توجهی با سایر تیمارها نداشت. در هر دو سال، ۱۷ و ۳۱ روز پس از سبز شدن تفاوت معنی داری بین شاخص سطح برگ در میان تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد (شکل های ۱ و ۲). دلیل آن را می توان چنین بیان کرد که در مراحل ابتدایی رشد بوته ها کم بوده و توسعه شاخ و برگ در گیاه چندان زیاد نیست. بنابراین طبیعی است که حداکثر تفاوت در این آزمایش از این زمان به بعد باشد. نتایج فوق با نتایج ساجدی و اردکانیان (Sajedi and Ardekani, 2008) و همکاران (Tarighol Eslami *et al.*, 2012) مطابقت دارد. با شروع اعمال تنش کم آبی خفیف و شدید در مرحله رویشی (I_2 و I_4) از ۳۱ روز پس از سبز شدن به بعد تفاوت معنی داری بین تیمارها از نظر کاربرد زئولیت و کود نیتروژن (ورمی کمپوست و اوره) وجود داشت به گونه ای که

انتهای فصل، LAI در تمامی تیمارها کاهش یافت ولی در بین تیمارها، دو تیمار (I_3 و I_5) زودتر به مرحله کاهش LAI وارد شده‌اند به نحوی که کمترین شاخص سطح برگ در تیمار شدید کم‌آبی در مرحله زایشی بدون مصرف کود و زئولیت به دست آمد. در هر دو سال ۹۹ روز پس از کاشت با توجه به اتمام فصل رشد شنبليله شاخص سطح برگ به حداقل خود رسیده و بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت.

سرعت رشد محصول: همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود به‌طور کلی سرعت رشد محصول در ابتدا افزایش سپس کاهش و بعد از آن منفی شده‌است. چنین روندی به دلیل افزایش تدریجی و فزاینده جذب تشعشع خورشیدی همزمان با افزایش سطح برگ در اوایل فصل رشد و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاهان می‌باشد. با پیر شدن برگ‌ها و کاهش سرعت تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول رو به تنزل می‌گذارد. مهم‌ترین علت منفی شدن CGR در مراحل انتهایی رشد، کاهش ماده خشک در اثر ریزش برگ‌ها است (Parsa *et al.*, 2011; Tarighol Eslami *et al.*, 2012; Omid, 2009).

در مراحل اولیه رشد، به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و درصد کم جذب نور توسط برگ‌های گیاه، سرعت رشد گیاه کم بود ولی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر کاربرد کود نیتروژن و زئولیت وجود داشت به گونه‌ای که در همان ابتدای فصل رشد، قبل از شروع تنش کم‌آبی (۳۱ و ۱۷ روز پس از کشت)، در اکثر تیمارها در هر دو سال کاربرد کود نیتروژن (ورمی کمپوست یا اوره) سبب افزایش سرعت رشد محصول گردید (شکل ۳). نتایج سایر پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با

($I_2Z_1F_1$) به دست آمد که با تیمار با زئولیت و بدون کود نیتروژن ($I_2Z_2F_1$) اختلاف معنی‌داری نداشت. در سال ۱۳۹۴ بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار ($I_2Z_2F_1$) می‌باشد که با تیمارهای ($I_2Z_1F_2$ و $I_2Z_2F_2$) تفاوت معنی‌داری نداشتند. نتایج حاکی از آن است که در هر دو سال در اکثر تیمارهای تنش کم‌آبی خفیف در هنگام گلدهی، ورمی کمپوست توانسته بیشترین شاخص سطح برگ را ایجاد نماید. در سال ۱۳۹۳ در تنش کم‌آبی شدید در مرحله رویشی نیز تیمار ($I_4Z_2F_2$) بالاترین LAI را به خود اختصاص داده که با تیمار ($I_4Z_1F_2$) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار آن در ($I_4Z_1F_1$) مشاهده شد. در سال ۱۳۹۴ نیز بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار ($I_4Z_2F_1$) بوده که با تیمارهای ($I_4Z_2F_2$ و $I_4Z_1F_2$) اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد که در تنش‌های شدید کم‌آبی زئولیت با ورمی کمپوست توانسته در کاهش اثرات منفی کم‌آبی مؤثرتر واقع شود. می‌توان چنین گفت که ورمی کمپوست به دلیل رهاسازی تدریجی مواد غذایی از جمله نیتروژن و حفظ و نگهداری آب توانسته شاخص سطح بیشتری را ایجاد نماید (Allahdadi *et al.*, 2010).

نتایج نشان داد در هر دو سال در ابتدای شروع تنش در مرحله زایشی (۷۳ روز پس از کاشت) بین سطوح مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود نداشت و در این مرحله گیاهان شنبليله حداکثر شاخص سطح برگ را دارا بودند ولی ۸۷ روز پس از کاشت که گیاهان مدت زمان بیشتری با تنش کم‌آبی مواجه بوده‌اند تنش کم‌آبی شدید در مرحله زایشی (I_5) اثر بیشتری در کاهش شاخص سطح برگ داشت. همان‌طور که مشاهده می‌شود با گذشت زمان و نزدیک شدن به

مرحله شاخص سطح برگ بالاتری داشتند توانستند سرعت رشد محصول بیشتری نیز داشته باشند. به نظر می‌رسد با افزایش شاخص سطح برگ در شرایط بدون تنش، تشعشع بیشتری توسط گیاه دریافت شده است که به علت فتوسنتز بیشتر سرعت رشد محصول نیز افزایش یافته است. در شرایط تنش به علت کاهش سطح برگ، کاهش فتوسنتز و پیری زودرس، سرعت رشد محصول کاهش یافته است (Parsa *et al.*, 2011). سوماره و همکاران (Soumare *et al.*, 2003) نیز نشان دادند که در ذرت گیاهانی که سریع‌تر سطح برگ خود را گسترش داده بودند سرعت رشد محصول بیشتری داشته و در نتیجه منجر به افزایش ۱۰-۲۰ درصد عملکرد و ماده خشک نسبت به شاهد گردیدند (Allahdadi *et al.*, 2010). در سال ۱۳۹۳ در تنش کم‌آبی شدید در مرحله رویشی نیز تیمار کاربرد ژئولیت و ورمی‌کمپوست ($I_4Z_2F_2$) در طول فصل رشد، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول بیشتری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی داشته که در مقایسه با شاهد در این سطح تنش ($I_4Z_1F_1$)، منجر به افزایش بیش از ۱۹ درصدی عملکرد دانه گردیده است. اما در سال ۱۳۹۴ بیشترین سرعت رشد محصول مربوط به تیمار کاربرد اوره به تنهایی بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در اکثر تیمارهای تنش کم‌آبی خفیف در ۴۵ روز پس از کاشت، کاربرد ورمی‌کمپوست و یا ژئولیت، به دلیل نقش آنها در کاهش اثرات منفی کم‌آبی بر رشد گیاه، توانستند سرعت رشد بالاتری را داشته باشند. در هر دو سال، در ۵۹ روز پس از کاشت در اکثر ترکیبات تیماری سطوح مختلف آبیاری، تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست بالاترین سرعت رشد را داشتند و همچنین در بین

افزایش میزان مواد غذایی موجود در خاک، گیاه سریع‌تر سطح برگ خود را افزایش و موجب پوشیده شدن زمین توسط تاج گیاه شده و این امر منجر به افزایش سرعت رشد محصول و در نهایت ماده خشک می‌گردد (Singer *et al.*, 2004; Allahdadi *et al.*, 2010). با نمو گیاه، و به دلیل توسعه سطح برگ‌ها و در نتیجه جذب نور بیشتر توسط سطح جامعه گیاهی، در میزان CGR افزایش سریعی به وجود آمد که به دلیل افزایش نیاز گیاه به آب و مواد غذایی، اختلاف CGR بین ترکیبات تیماری سطوح مختلف آبیاری از ۴۵ روز بعد از کاشت زیاد شد و تیمارهای دارای ژئولیت و کود نیتروژن در خاک، افزایش CGR را به همراه داشتند. با شروع اعمال تنش کم‌آبی در مرحله رویشی در نمونه برداری سوم (از ۳۱ روز پس از سبز شدن به بعد) تغییرات سرعت رشد محصول در رژیم‌های مختلف آبیاری متفاوت گشت به نحوی که تنش کم‌آبی در مقایسه با شرایط مطلوب (تیمارهای بدون تنش) سبب کاهش سرعت رشد شنبليله شد، به‌ویژه در تیمارهای (I_2 و I_4) تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از نظر کاربرد ژئولیت و کود نیتروژن (ورمی‌کمپوست و اوره) نیز وجود داشت، به‌گونه‌ای که در هر دو سال در تیمارهای تنش کم‌آبی خفیف در مرحله رویشی (I_2)، به ترتیب بیشترین و کمترین سرعت رشد محصول در تیمار بدون ژئولیت با ورمی‌کمپوست (Z_1F_1) و بدون ژئولیت و کود (Z_1F_2) مشاهده شد. نتایج سایر محققین نیز حاکی از آن است که در شرایط تنش خشکی و با کاهش پتانسیل آب گیاه، سرعت رشد گیاه به دلیل افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز کاهش می‌یابد (Parsa *et al.*, 2011; Tarighol Eslami *et al.*, 2012; Omid, 2009). نتایج نشان داد اکثر تیمارهایی که در این

برخی از اندام‌ها مثل برگ‌ها از دست می‌دهد (Mosavian and Seyed Mohammadi, 2015). همچنین در این مرحله از نمونه برداری، CGR کرت‌هایی که گیاهان آنها با تنش کم‌آبی در مرحله زایشی مواجه شده بودند با سرعت بیشتری کاهش یافت و علاوه بر این، گیاهانی که با ورمی کمپوست و یا زئولیت تیمار شده بودند دارای بالاترین سرعت رشد محصول بودند. در آخرین مرحله نمونه برداری (۹۹ روز پس از کاشت) در هر دو سال در تیمار شاهد (بدون تنش کم‌آبی) به ترتیب بیشترین و کمترین میزان CGR در تیمارهای کاربرد زئولیت و کود ورمی کمپوست (Z_2F_2) و بدون زئولیت و کود اوره (Z_1F_3) مشاهده شد. که می‌توان گفت در تیمار بدون تنش اضافه کردن زئولیت تاثیری در سرعت رشد محصول نداشته و حتی اضافه شدن کود اوره به دلیل آب‌شویی به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار نگرفته است ولی اضافه کردن ورمی کمپوست به دلیل رهاسازی تدریجی مواد غذایی خصوصاً نیتروژن نقش موثری در سرعت رشد محصول داشته است و همچنین زئولیت نیز توانسته در کاهش آب‌شویی نیتروژن رهاسازی شده از ورمی کمپوست نقش مؤثری داشته باشد (Arancon *et al.*, 2005). در تیمار تنش کم‌آبی خفیف در مرحله رویشی (I_2)، در هر دو سال نیز به ترتیب بیشترین و کمترین میزان CGR در تیمارهای کاربرد زئولیت و کود ورمی کمپوست (Z_2F_2) و زئولیت بدون کود نیتروژن (Z_2F_1) مشاهده شد. در تنش کم‌آبی شدید در مرحله زایشی (I_3)، در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به ترتیب کمترین میزان CGR در تیمارهای بدون کاربرد زئولیت و کود نیتروژن (Z_1F_1) و بدون زئولیت و کود اوره (Z_1F_3) به دست آمدند که نشان‌دهنده

تیمارهای دارای تنش کم‌آبی در مرحله رویشی (I_2) و (I_4) تیمارهای بدون کود و زئولیت نیز کمترین سرعت رشد را به خود اختصاص دادند (شکل ۴). به تدریج و با رسیدن به مرحله رشد زایشی (۷۳ روز پس از کاشت) و پیر شدن برگ‌ها CGR کاهش یافته که این مرحله نیز برای تیمارهای اعمال شده، در زمان‌های مختلفی حادث گردید، ولی به‌طور کلی، با افزایش شدت کم‌آبی نسبت به شاهد، گیاه زودتر به مرحله کاهش CGR وارد شد و با افزودن ورمی کمپوست رسیدن به مرحله کاهش CGR دیرتر به وقوع پیوست. با توجه به تاثیر مثبت ورمی کمپوست در افزایش نگهداری آب در ناحیه خاک ریشه و نقش آن بر دوام سطح برگ، شاخص سطح برگ و جلوگیری از کاهش زود هنگام NAR، تاثیر مثبت ورمی کمپوست بر CGR قابل پیش‌بینی بود. نتایج این آزمایش در مطابقت کامل با نتایج سایر محققین می‌باشد (Allahdadi *et al.*, 2010; Singer *et al.*, 2004) در این راستا نیز لوئکه و همکاران (Loecke *et al.*, 2004) در بررسی اثرات کود کمپوست بر گیاه ذرت در یک آزمایش دو ساله نیز نتایج مشابهی به دست آورد، به طوری که، کاربرد کمپوست در خاک موجب افزایش سرعت رشد (CGR)، محتوای نیتروژن برگ، شاخص سطح برگ (LAI) و در یکی از دو سال سرعت جذب خالص ذرت گردید.

در هر دو سال در نمونه برداری ۸۷ روز پس از کاشت سرعت رشد در تمامی سطوح تنش (به غیر از شاهد) منفی گردید این بدان معنی است که به دلیل اثر مستقیم آب بر فتوسنتز و تنفس و به تبع آن کاهش ماده خشک تولیدی گیاه، میزان ماده خشک تولید شده، کمتر از مقدار ماده خشکی است که گیاه در اثر تنفس و یا ریزش

رشد، فتوسنتز و ویژگی‌های ساختار ظاهری و در نهایت ارتفاع و زیست توده گیاه کاهش می‌یابد (Baghalian *et al.*, 2011). مطالعات مختلف نشان داده است که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع سنبليله (Ahmad Alhadi *et al.*, 1999; Riasat *et al.*, 2005) می‌شود. حضرتی و همکاران (Hazrati *et al.*, 2015) گزارش کردند که احتمالاً به‌کارگیری زئولیت تحت شرایط کم‌آبی از طریق بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ذخیره رطوبت و مواد غذایی باعث افزایش ارتفاع گیاه و طول برگ آلتورا شد. حاج سید هادی و رضایی قلعه (Haj-Seyed-Hadi and Rezaee- Ghale, 2016) نیز گزارش کردند که کود اوره و ورمی‌کمپوست سبب افزایش ارتفاع بابونه می‌گردند. ورمی‌کمپوست از طریق ازدیاد جذب آب و تأثیر بر قابلیت تحریک‌کنندگی فعالیت میکروب‌های مفید خاک و توانایی آن در افزایش جذب مواد غذایی پرمصرف و کم‌مصرف روی میزان فتوسنتز و تولید بیوماس مؤثر واقع شده و باعث افزایش ارتفاع بوته‌ها می‌شود. در مطالعه‌ای روی گیاه سیر مشخص گردید که استفاده از ورمی‌کمپوست موجب بهبود چشمگیر در ارتفاع بوته شد (Arguello *et al.*, 2006).

عملکرد بیولوژیک: عملکرد بیولوژیک با افزایش شدت تنش کم‌آبی در هر دو سال کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۴). در سال ۱۳۹۳ در تمامی ترکیبات تیماری آبیاری، تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست بالاترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار بدون تنش کم‌آبی به همراه ورمی‌کمپوست با (۲۲۵۵/۴ کیلوگرم) و کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی بدون کود با (۷۹۵/۹۲ کیلوگرم) به‌دست آمد (جدول

اهمیت نقش مصرف زئولیت در کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی خفیف می‌باشد و می‌توان بیان کرد که در مراحل انتهایی رشد سنبليله کاربرد اوره به‌دلیل آب‌شویی، تأثیر مفیدی بر سرعت رشد محصول نداشته است.

خصوصیات مرتبط با مورفولوژی و عملکرد

جدول تجزیه مرکب نشان داد که اثر برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری، کود نیتروژن و سال بر هر سه صفت ارتفاع، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار گردید. علاوه بر این اثر برهمکنش چهارگانه رژیم آبیاری، کود، زئولیت و سال بر عملکرد بیولوژیک و اثر برهمکنش کود و زئولیت بر عملکرد دانه معنی‌دار گردیدند (جدول ۳).

ارتفاع گیاه: با افزایش شدت تنش کم‌آبی، ارتفاع بوته کاهش یافت (جدول ۴). در اکثر ترکیبات تیمار آبیاری استفاده از کود نیتروژن (اوره و ورمی‌کمپوست) سبب افزایش ارتفاع شد. به‌گونه‌ای که، کود اوره در تیمارهای بدون تنش کم‌آبی (I_1) و در اکثر ترکیبات تیماری تنش کم‌آبی خفیف در مرحله رویشی و زایشی (I_2 و I_3)، بالاترین ارتفاع را ایجاد کرد ولی در تنش‌های شدید کم‌آبی در مرحله رویشی و زایشی، تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست بیشترین ارتفاع را داشتند. بزازی و همکاران (Bazazi *et al.*, 2013) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع سنبليله (توده اردستانی) شده و با افزایش شدت تنش، ارتفاع کاهش بیشتری یافت. علت کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی، کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها می‌باشد. با افزایش تنش آب و کاهش فشار آماس یاخته‌های محافظ روزنه، هدایت روزنه‌ها کاهش یافته و در نتیجه آن سرعت

نشان داده شد که در انتهای دوره رشد، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن ساقه، وزن دانه در بوته و ماده خشک تولیدی در اثر تنش نسبت به شرایط نرمال کاهش می‌یابد. با توجه به دلایل فوق، در اثر تنش، به تدریج سرعت و میزان رشد گیاه و در نتیجه عملکرد نهایی آن کاهش خواهد یافت (Ehyaei *et al.*, 2009). گرگینی شبانکاره و همکاران (Gorgini Shabankareh *et al.*, 2016) نیز گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی وزن تر و خشک بادرنجبویه نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت. آنها عوامل اصلی کاهش در وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه در طول تنش را تولید گونه‌های فعال اکسیژن، تخصیص بیشتر زیست توده تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها، کاهش میزان سبزینه یا بازدهی فتوسنتز و کاهش سطح برگ گیاه معرفی نمودند. روند کاهش سطح برگ نیز با روند کاهش عملکرد در اثر تشدید کمبود آب همخوانی دارد. کاهش آب منجر به کاهش جذب عناصر غذایی می‌شود و از این راه نیز رشد برگ‌ها کاهش یافته، بنابراین با کاهش سطح برگ سطح تعرق گیاه نیز کاهش می‌یابد و این نخستین ساز و کار گیاه برای رویارویی با خشکی به حساب می‌آید. کاهش سطح برگ، کاهش سطح جذب نور خورشید و به دنبال آن سطح نور ساختی گیاه کاهش و در نهایت به کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه منجر می‌شود (Taheri Asghari, 2010). همچنین اله‌دادی و همکاران (Allahdadi *et al.*, 2010) نشان دادند که کاربرد کودهای کمپوستی در خاک پس از آن‌که این ماده دوره رسیدگی خود را در داخل خاک گذراند، به تدریج تاثیر مثبت آن بر سطح فتوسنتزی (LAI) و به دنبال آن سرعت تولید ماده خشک (CGR) ظهور بیشتری پیدا کرده و سبب افزایش اختلاف

۴). همچنین، در سال ۱۳۹۴ نیز در اکثر ترکیبات تیماری آبیاری، کرت‌های دارای ورمی‌کمپوست بالاترین عملکرد بیولوژیک را به دست آوردند، به گونه‌ای که، بیشترین مقدار برهمکنش ($I \times Z \times F$) آن در تیمار بدون تنش آبی به همراه مصرف زئولیت و ورمی‌کمپوست با (۱۹۹۸ کیلوگرم) و کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی در مرحله زایشی بدون مصرف کود و زئولیت به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ($I_1 Z_1 F_1$) کاهش ۴۸ درصدی در عملکرد بیولوژیک را نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد کاهش عملکرد بیولوژیک به دلیل کاهش سرعت رشد گیاه و شاخص سطح برگ باشد. هنگامی که گیاهان با محدودیت آب مواجه می‌شوند برای به حداقل رساندن از دست دادن آب، روزنه‌های خود را می‌بندند که منجر به کاهش CO_2 قابل دسترس برای فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود. تحقیقات حکایت از آن دارد که افزایش تنش خشکی در گیاهان مختلف موجب کاهش طول برگ، عرض برگ، طول ساقه‌های جانبی و عملکرد ماده خشک می‌گردد (Dadrasan *et al.*, 2015). بزازی و همکاران (Bazazi *et al.*, 2013) گزارش کردند که در شنبليله با افزایش شدت تنش کم‌آبی (آبیاری پس از تخلیه ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) نسبت به شاهد (آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) عملکرد بیولوژیک را به میزان ۴۳ درصد کاهش می‌دهد. در بررسی انجام شده در گیاه شنبليله تنش کم‌آبی سبب کاهش سطح برگ گیاه در نتیجه کاهش در تعداد و اندازه سلول و همچنین کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a, b و کارتنوئیدها) برگ شد (Ahmad Alhadi *et al.*, 1999). در بررسی دو گیاه دارویی ریحان و شنبليله تحت تنش خشکی،

برهمکنش اثر زئولیت و کود برای عملکرد دانه در تیمار کاربرد زئولیت و کود ورمی کمپوست (Z_2F_2) به مقدار (۵۶۹/۰۹ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در تیمار بدون کاربرد زئولیت و کود نیتروژن (Z_1F_1) به مقدار (۳۵۷/۶۶ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (شکل ۵). مقدار این نتایج مشابه با نتایج سایر محققینی است که گزارش کردند همبستگی منفی معنی داری بین تنش کم آبی و عملکرد دانه و بیولوژیک وجود دارد (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009; Mokhtassi-Bidgoli *et al.*, 2013). همچنین، فلاح و نظری (Fallah and Nazari, 2012) در خصوص تاثیر تنش خشکی بر گیاه دارویی شنبلیله نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع، سطح برگ، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیولوژیک و شاخص برداشت گردید. بزازی و همکاران (Bazazi *et al.*, 2013) گزارش کردند که با افزایش شدت تنش کم آبی (آبیاری پس از تخلیه ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) نسبت به شاهد (آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) عملکرد دانه شنبلیله به میزان ۴۲/۳ درصد کاهش می یابد. امید (Omidi, 2009) گزارش کرد تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گلرنگ به دلیل کاهش CGR باعث کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه گردید. گزارش شده است که مرحله زایشی حساسیت بیشتری به تنش کم آبی دارد. کم آبی در این مرحله، سبب کاهش در اجزای عملکرد دانه (تعداد گلچه در کپسول) و کاهش طول دوره رسیدن دانه در آفتابگردان می شود. در نتیجه کاهش ظرفیت مخزن و کوتاه تر شدن طول دوره رشد منجر به کاهش عملکرد دانه می گردد (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009).

در بین تیمارها از نظر ارتفاع و وزن خشک گیاه در مراحل مختلف می گردد. در مطالعه دیگری که تحت شرایط مزرعه ای روی گیاه فلفل و با استفاده از مقادیر ۱۰ و ۲۰ تن ورمی کمپوست در سال اول و مقادیر ۵ و ۱۰ تن ورمی کمپوست در سال دوم انجام گرفت، مشاهدات بیانگر آن بود که وزن اندام های هوایی، سطح برگ و عملکرد میوه گیاهان فلفل تیمار شده با ورمی کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی داری بیشتر گردید (Arancon *et al.*, 2005). محققین این پژوهش در تفسیر نتایج حاصله، چنین عنوان کردند که مصرف ورمی کمپوست از طریق بهبود خواص بیولوژیک خاک مانند افزایش بیوماس میکروبی و عرضه پایدار عناصر غذایی پرمصرف نظیر نیتروژن و فسفر و نیز وجود تنظیم کننده های رشد گیاهی همچون هورمون های رشد گیاه در ورمی کمپوست می تواند موجب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاه فلفل گردد.

عملکرد دانه: در هر دو سال بیشترین مقدار

اثر برهمکنش رژیم آبیاری × کود برای عملکرد دانه در تیمار بدون تنش کم آبی همراه با کاربرد کود ورمی کمپوست (I_1F_2) مشاهده شد و کمترین مقدار آن در سال ۱۳۹۳ در تیمار تنش کم آبی خفیف در مرحله رویشی بدون کود نیتروژن (I_3F_1) به دست آمد که به ترتیب با تیمارهای تنش شدید کم آبی در مرحله زایشی بدون کود نیتروژن و با کود اوره (I_5F_1 و I_5F_3) تفاوت معنی داری نداشت و همچنین در سال ۱۳۹۴ در تیمار تنش شدید کم آبی بدون کود نیتروژن (I_5F_1) به دست آمد. به نظر می رسد کاهش عملکرد دانه در اثر تنش کم آبی به دلیل اثر تنش در کاهش سرعت رشد گیاه و شاخص سطح برگ باشد. همچنین، نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۴، بیشترین مقدار

شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و سرعت رشد گیاه و ماده خشک را در گیاه ذرت به مقدار کمی کاهش می‌دهد و مرحله رشد زایشی، باعث کاهش شدید این شاخص‌ها می‌شود. پارسا و همکاران (Parsa *et al.*, 2013) بیان داشتند که بیشترین عملکرد دانه با آبیاری در مرحله گل‌دهی حاصل شد. بنابراین آن دسته از عملیات زراعی که سرعت رشد محصول را در مرحله پر شدن دانه افزایش می‌دهد و دوام بافت‌های سبز گیاه را در طی این مرحله طولانی‌تر می‌سازد، می‌تواند میزان رشد و اندازه (وزن) دانه را در بقولات دانه‌ای بهبود بخشد. سینگ (Singh, 1995) نیز گزارش کرد اعمال تنش خشکی در کلیه مراحل رشد، شاخص سطح برگ لوبیا را کاهش داد، ولی تنش اعمال شده در مرحله قبل از گل‌دهی شاخص سطح برگ را به‌شدت تحت تأثیر قرار داد.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر با افزایش تنش خشکی، شاخص سطح برگ کاهش یافته و تنش خشکی خفیف و شدید در مرحله رویشی نسبت به مرحله زایشی توانسته‌اند در مراحل پایانی فصل رشد شاخص سطح برگ بالاتری را به خود اختصاص داده و به تبع سطح سبز بیشتر، فتوسنتز بیشتری انجام داده و عملکرد بیولوژیک و دانه بیشتری را تولید کردند. همچنین افزودن کود ورمی‌کمپوست به دلیل قابلیت جذب آب بالا در کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی و همچنین فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن سبب افزایش شاخص سطح برگ و آهنگ رشد گیاه و به تبع آن افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه شنبليله گردید. به‌گونه‌ای که به ترتیب در سال ۱۳۹۳ از نظر عملکرد دانه، تنش خفیف و شدید کم‌آبی در مرحله رویشی با ورمی‌کمپوست (۶۰۴/۸۷ و

همچنین، در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، تیمار بدون تنش کم‌آبی با کود ورمی‌کمپوست (I_1F_2) در مقایسه با تیمار شاهد (I_1F_1) به ترتیب افزایش ۳۳ و ۲۵ درصد در عملکرد دانه را نشان داد. این به دلیل اثر کود ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه می‌باشد. گزارش کردند که کود ورمی‌کمپوست با بهبود فعالیت میکروارگانسیم‌های مفید خاک و تهیه مداوم و پایدار عناصر معدنی به‌ویژه نیتروژن به دلیل افزایش دوام و شاخص سطح برگ، سبب افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک می‌شود (Arancon *et al.*, 2005). حمیدپور و همکاران (Hamidpour *et al.*, 2013) نشان دادند که کاربرد زئولیت بر خواص رویشی گل اطلسی اثر مثبت دارد و بیان داشتند که افزایش رشد گیاهان در تیمارهای حاوی زئولیت ممکن است مربوط به افزایش فراهمی برخی از عناصر غذایی باشد. محققین بسیاری گزارش نموده‌اند که زئولیت نقش مهم و موثری در بهبود ساختار فیزیکی خاک از طریق اصلاح ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) دارد که این به دلیل کاهش آب‌شویی نیتروژن و افزایش حضور کودها در ناحیه ریشه می‌باشد و همچنین زئولیت می‌تواند سبب افزایش مقدار آب قابل دسترس گیاه شود (Ippolito *et al.*, 2011). همچنین، بیان داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست و زئولیت بر خواص کمی و کیفی گل اطلسی اثر مثبت دارد. زئولیت و ورمی‌کمپوست باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه، وزن خشک ریشه، تعداد گل، تعداد برگ، قطر گل و ارتفاع نهایی گیاه و غلظت عناصر نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و کلسیم در گل اطلسی می‌شود (Hamidpour *et al.*, 2013). پاندی و همکاران (Pandy *et al.*, 2000) گزارش کردند که کم آبیاری در اوایل رشد رویشی،

رویشی همراه با ورمی کمپوست توانست اثرات منفی تنش کمبود آب را به حداقل برساند و ممکن است از نظر عملکرد اقتصادی و شرایط اکولوژیکی نیز مفید واقع شود همچنین زئولیت نیز با افزایش آب قابل دسترس در اکثر صفات مربوط به شاخص‌های رشدی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله گردید.

۵۱۵/۴۳ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد (۶۰۵/۱۸ کیلوگرم در هکتار) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. پس جهت مدیریت و صرفه‌جویی در مصرف آب، می‌توان با مصرف ورمی کمپوست و کم‌آبی خفیف در مراحل رویشی، با کاهش ۲۰ درصد مصرف آب، عملکرد دانه شنبلیله مطلوبی در حد شرایط بدون تنش کم‌آبی تولید کرد. سرانجام تنش کم‌آبی خفیف در مرحله

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه‌ی اجرای آزمایش و ویژگی‌های شیمیایی ورمی کمپوست مورد استفاده

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

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	pH	مواد آلی Organic matter (%)	نیترژن کل Total N (%)	کربن به نیترژن C/N	فسفر قابل جذب Available P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg kg ⁻¹)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)
خاک لومی شنی Sandy loam	1.82	7.35	1.34	0.06	0.099	35	320	3.86
ورمی کمپوست vermicompost	-	9.25	7.65	0.84	16.5	48	72	14000

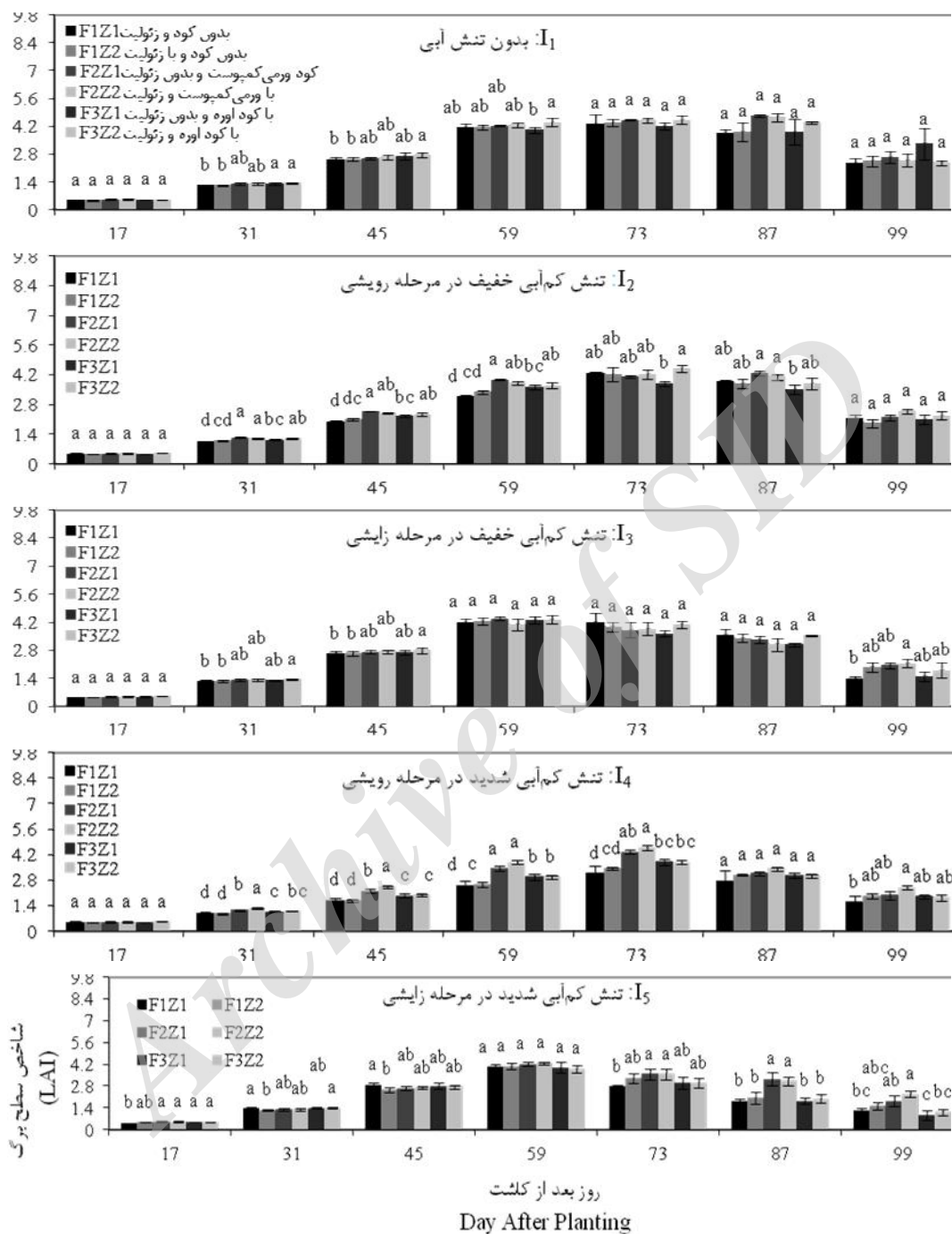
جدول ۲- درصد ترکیبات شیمیایی موجود در زئولیت مورد استفاده

Table 2- Chemical composition in the zeolite percent

اکسید تیتانیوم	اکسید منگنز	تری اکسید آهن	کلر	تری اکسید گوگرد	پنتا اکسید فسفر	دی اکسید سیلیسیوم	تری اکسید آلومینیوم	اکسید پتاس	اکسید سدیم	اکسید منیزیم
TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Cl	SO ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	AL ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO
0.03	0.04	1.5	-	-	0.01	65	12.02	3	1.08	0.1

ظرفیت تبادل کاتیونی = 200 میلی‌اکی والان بر 100 گرم

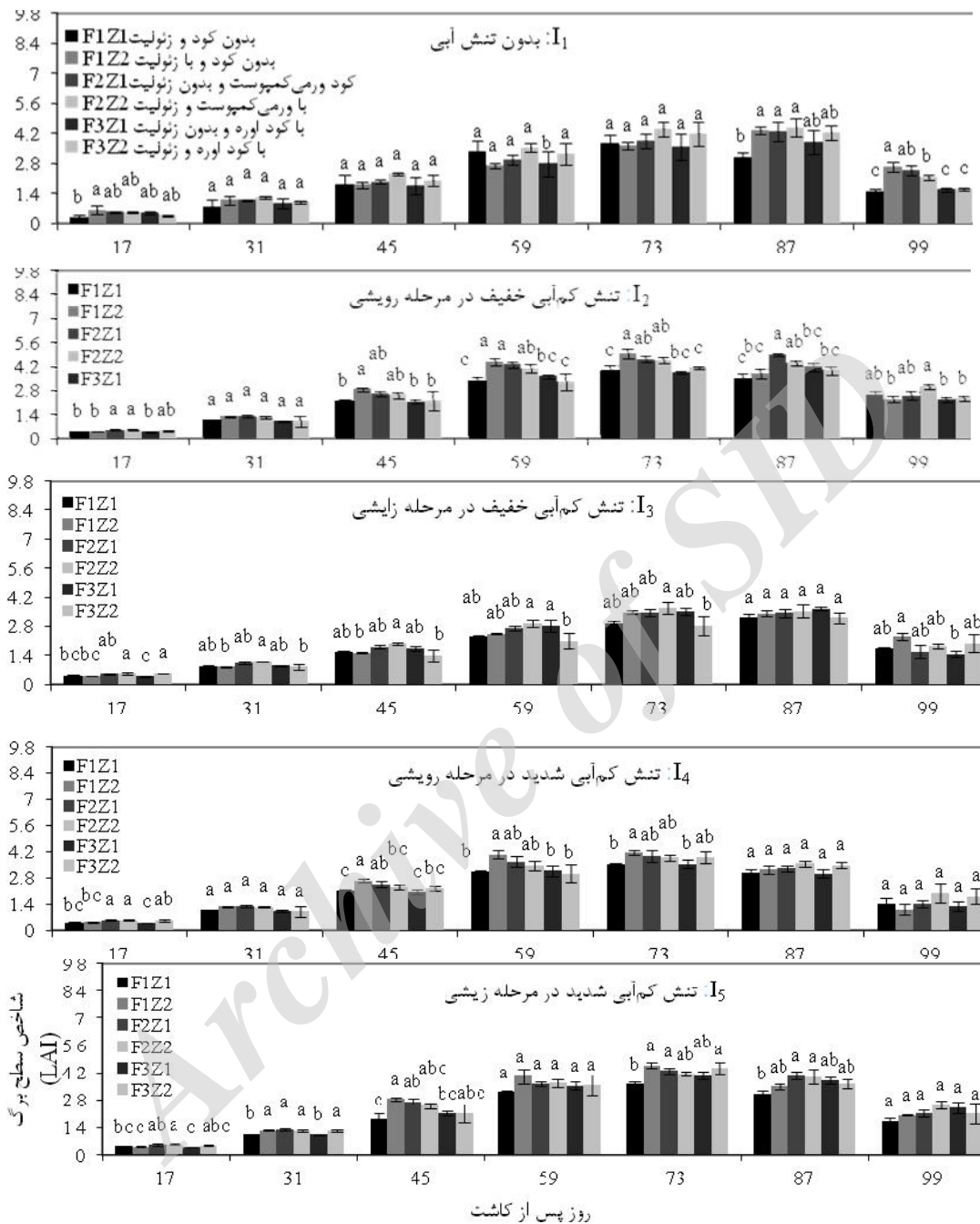
CEC= 200 meq.100g⁻¹



شکل ۱- شاخص سطح برگ در رژیم‌های آبیاری، زئولیت و کود نیتروژن در سال ۱۳۹۳
Figure 1- LAI in irrigation regimes, zeolite and nitrogen fertilizer in 2014

در هر مرحله زمانی، ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال با یکدیگر ندارند. خطوط عمودی نشان دهنده خطای معیار می‌باشند.

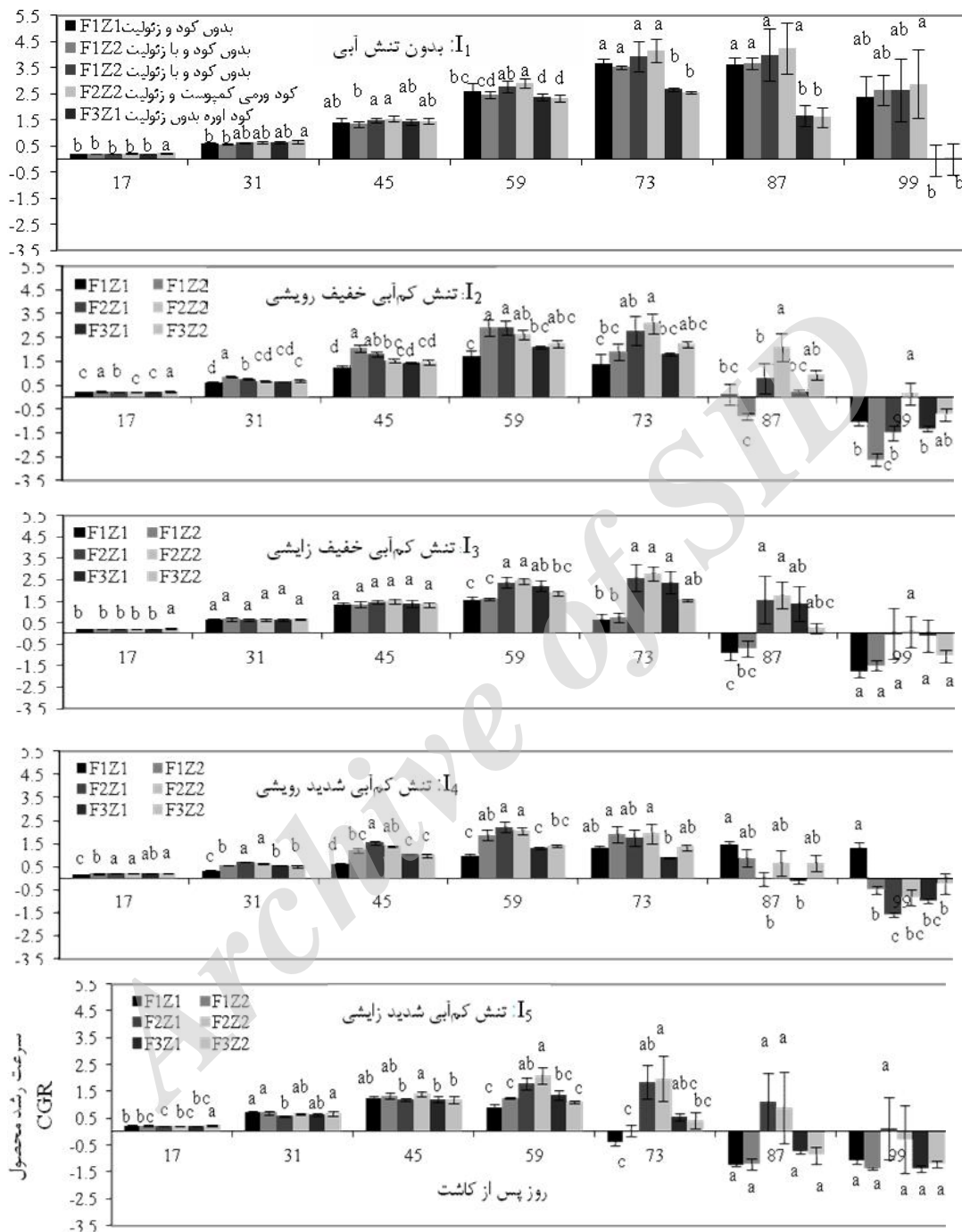
at each time step, means within each column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%. Vertical lines represent a standard error.



شکل ۲- شاخص سطح برگ در رژیم‌های آبیاری، زئولیت و کود نیتروژن در سال ۱۳۹۴
Figure 2- LAI in irrigation regimes, zeolite and nitrogen fertilizer in 2015

در هر مرحله زمانی، ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال با یکدیگر ندارند. خطوط عمودی نشان دهنده خطای معیار می‌باشند.

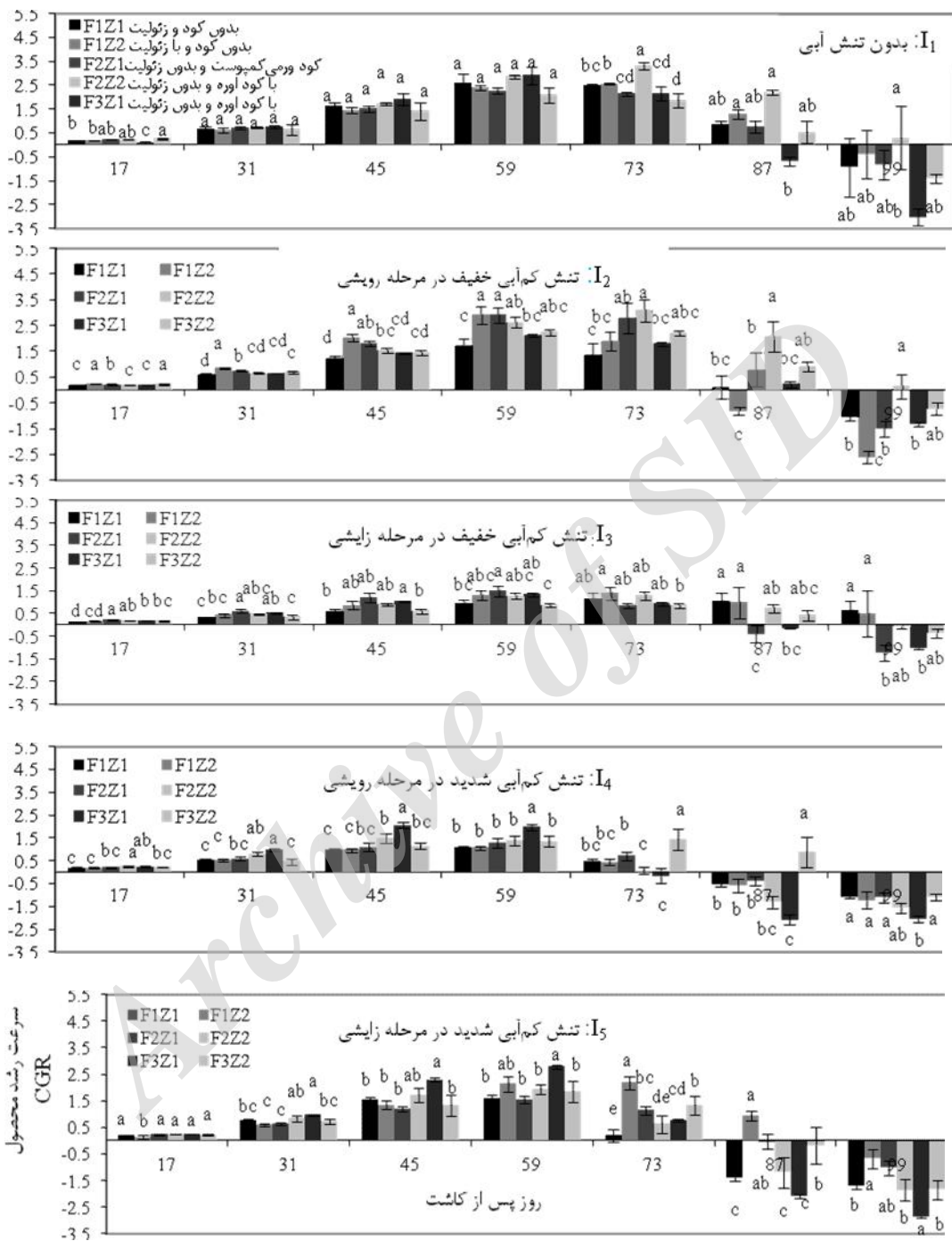
at each time step, means within each column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%. Vertical lines represent a standard error.



شکل ۳- سرعت رشد محصول در رژیم‌های آبیاری، زئولیت و کود نیتروژن در سال ۱۳۹۳
Figure 3- CGR in irrigation regimes, zeolite and nitrogen fertilizer in 2014

در هر مرحله زمانی، ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال با یکدیگر ندارند. خطوط عمودی نشان دهنده خطای معیار می‌باشند.

at each time step, means within each column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%. Vertical lines represent a standard error.



شکل ۴- سرعت رشد محصول در رژیم‌های آبیاری، زئولیت و کود نیتروژن در سال ۱۳۹۴
Figure 4- CGR in irrigation regimes, zeolite and nitrogen fertilizer in 2014

در هر مرحله زمانی، ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال با یکدیگر ندارند. خطوط عمودی نشان دهنده خطای معیار می‌باشند.

at each time step, means within each column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%. Vertical lines represent a standard error.

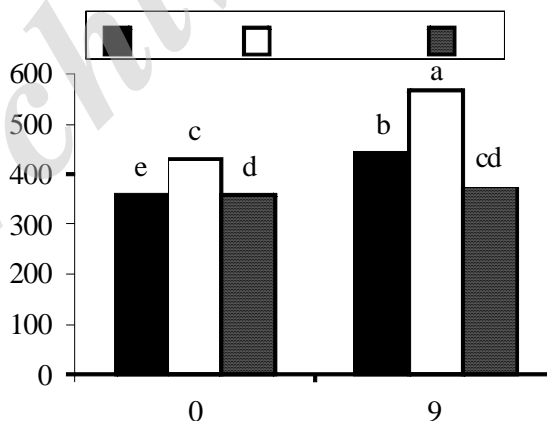
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در شنبلیله

Table 3- Results of analysis of variance for the studied traits in fenugreek

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
S.O.V	df	Plant height	Grain yield	Biological yield
سال (Y)	1	387.20**	16318.66*	2191197.93**
خطای الف (Ea)	4	6.87	7035.36	54978.60
آبیاری (I)	4	570.67**	1403613.72**	3350917.57**
IY	4	30.01 ^{ns}	50633.38**	111338.04**
خطای ب (Eb)	16	36.65	5643.24	24516.10
زئولیت (Z)	1	1.80 ^{ns}	264099.95**	161694.14*
کود (F)	2	371.48**	395412.16**	1394380.82**
I×Z	4	30.81 ^{ns}	2453.18 ^{ns}	32255.49 ^{ns}
I×F	8	91.78**	49556.63**	161780.03**
Z×F	2	44.86 ^{ns}	35345.10*	200061.21**
Z×Y	1	15.02 ^{ns}	212.35 ^{ns}	41.95 ^{ns}
F×Y	2	15.20 ^{ns}	13475.94 ^{ns}	622835.01**
I×Z×F	8	4.48 ^{ns}	6636.14 ^{ns}	68860.89**
I×Z×Y	4	2.81 ^{ns}	2783.70 ^{ns}	25154.41 ^{ns}
I×F×Y	8	147.16**	22419.07**	64733.15**
Z×F×Y	2	41.75 ^{ns}	3276.87 ^{ns}	36470.40 ^{ns}
I×Z×F×Y	8	13.06 ^{ns}	5538.78 ^{ns}	78243.96**
خطای پ (Ep)	100	14.78	8857.91	23770.77
ضریب تغییرات (%C.V)	-	9.66	22.64	12.41

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال خطای یک و پنج درصد

ns= non significant * = Significant at the 0.05 probability levels, ** = Significant at the 0.01 probability levels.



شکل ۵- اثر بر همکنش زئولیت و کود نیتروژن بر عملکرد دانه شنبلیله

Fig 5- Effect of zeolite and nitrogen fertilizer interaction on seed yield in fenugreek

تفاوت معنی‌دار در سطح 0.05 P با حروف متفاوت نشان داده شده‌است

Significant differences at P 0.05 have been indicated with different letters

جدول ۴- برش دهی مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری × ژئولیت × کود × سال و برهمکنش آبیاری × کود × سال بر صفات مرتبط با ارتفاع و عملکرد

Table 4- Mean comparison of irrigation × zeolite × fertilizer × year and irrigation × fertilizer × year interaction on height and yield traits

آبیاری Irrigation	ژئولیت Zeolite (t ha ⁻¹) Year سال	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	ارتفاع گیاه Plant height (cm)		عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)		عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	
			2014 ۱۳۹۳	2015 ۱۳۹۴	2014 ۱۳۹۳	2015 ۱۳۹۴	2014 ۱۳۹۳	2015 ۱۳۹۴
I ₁	0	0	42.16	40.9	1594.00	1594.00	605.18	714.83
		ورمی کمپوست	46.66	45.00	1534.67	1564.37	903.10	959.57
		اوره	47.16	46.16	1750.67	1750.60	554.63	601.20
	9	0	-	-	1540.67	1540.67	-	-
		ورمی کمپوست	-	-	1998.00	1998.00	-	-
		اوره	-	-	1027.33	1027.30	-	-
I ₂	0	0	39.66	38.91	1064.00	1054.00	502.38	481.06
		ورمی کمپوست	43.33	41.83	1001.33	1001.30	604.87	495.64
		اوره	48.00	48.41	947.33	947.33	442.15	415.45
	9	0	-	-	1150.67	1150.67	-	-
		ورمی کمپوست	-	-	1298.00	1298.00	-	-
		اوره	-	-	970.67	970.67	-	-
I ₃	0	0	39.33	36.58	920.67	920.67	124.18	329.59
		ورمی کمپوست	43.83	39.83	1141.33	1141.33	301.77	420.03
		اوره	44.33	42.41	1130.00	1130.00	273.24	278.21
	9	0	-	-	1364.00	1364.00	-	-
		ورمی کمپوست	-	-	1088.00	1088.00	-	-
		اوره	-	-	1050.67	1057.60	-	-
I ₄	0	0	36.66	34.91	967.33	967.33	416.19	330.23
		ورمی کمپوست	42.66	38.91	878.00	878.00	515.43	394.96
		اوره	37.33	40.50	874.00	874.0	306.53	340.52
	9	0	-	-	1050.67	1057.60	-	-
		ورمی کمپوست	-	-	1061.33	1061.30	-	-
		اوره	-	-	860.67	860.67	-	-
I ₅	0	0	34.66	33.50	827.33	827.33	147.51	141.68
		ورمی کمپوست	41.83	38.08	961.33	961.33	266.25	224.35
		اوره	31.16	30.83	946.67	946.67	181.72	195.50
	9	0	-	-	894.00	894.00	-	-
		ورمی کمپوست	-	-	914.67	914.67	-	-
		اوره	-	-	1154.00	1154.0	-	-
LSD			3.95	3.21	125.33	133.21	103.56	120.14

I₁ = بدون تنش در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک، I₂ و I₃ = به ترتیب تنش خفیف در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک، I₄ و I₅ = تنش شدید در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده

I₁: unstress at vegetative and reproductive stages, Irrigation at 20% of FC; I₂, I₃: mild stress and irrigation at 40% of FC during the vegetative and reproductive stages respectively; I₄, I₅: severe stress irrigation at 60% of FC during the vegetative and reproductive stages respectively

خط تیره در هر ستون به منزله عدم وجود اثر متقابل سه گانه و حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می باشد.

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5% (LSD).

References

منابع مورد استفاده

- Ahmad Alhadi, F., B. Taha Yasseen, and M. Jabr. 1999. Water stress and gibberellic acid effects on growth of Fenugreek plants. *Irrigation Science*. 18: 185-190.
- Allahdadi, I., A. Memari, Gh. Akbari, and O. Lotfifar. 2010. Effect of different amounts of municipal solid waste compost on soil properties and nutrient concentration and growth of corn yield. *Plant Production Technology*. 11(1): 83-97.
- Arancon, N.Q., C.A. Edwards, P. Bierman, J.D. Metzger, and C. Lucht. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*. 49: 297-306.
- Arguello, J.A., A. Ledesma, S.B. Nunez, C.H. Rodriguez, and M.D.D. Goldfarb. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of Rosado paraguayo garlic bulbs. *Hort Science*. 41(3): 589-592.
- Baghalian, K. Sh. Abdoshah, F. Khalighi-Sigaroodi, and F. Paknejad. 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*. 49: 201-207.
- 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).
- 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. *Industrial Crops and Products*. 77: 156-162.
- Dordas, C., and C. Sioulas. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain-fed conditions. *Industrial Crops and Products*. 27: 75-85.
- Ehyaei, H.R., P. Rezvani Moghadam, and M.B. Amiri. 2009. Effect of drought stress on some morphological indices of sweet basil and fenugreek in greenhouse conditions. The First National Conference on Environmental Stresses in Agricultural Science, 28-29 January, Birjand University, pp. 136. (In Persian).
- 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. *Environmental Stresses in Crop Science*. 5(2): 147-159. (In Persian).
- Gardner, F., P.R. Balle, and D.E. Mc Cloud. 1990. Yield characteristics of ancient races of maize compared to a modern hybrid. *Agronomy Journal*. 82: 864-868.
- Gorgini Shabankareh, H., B.A. Fakheri, and R. Mohammadpuor Vashvahi. 2016. Effects of different levels of salinity and drought stress on growth parameters and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Filed Crop Science*. 46(4): 673-686. (In Persian).
- Goudriaan, J., H.H. van Laar. 1994. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Haj-Seyed-Hadi, M., 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.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 31(6): 1058-1070. (In Persian).

- Hamidpour, M., S. Fathi, and H. Rosta. 2013. The effect of zeolite and vermicompost on growth characteristics and concentration of some elements Petunia. *Science and Technology of Greenhouse Culture*. 4(13): 95-102. (In Persian).
- Hazrati, S., Z. Tahmasebi-Sarvestani, S.A.M. Modarres-Sanavy, and A. Mokhtassi-Bidgoli. 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. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- Ippolito, A.J., D.D. Tarkalson, and G.A. Lehrsch. 2011. Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture, and corn growth. *Soil Science*. 176(3): 136-142.
- Jaleel, C.A., B. Sankar, P.V. Murali, M. Gomathinayagam, G.M.A. Lakshmanan, and R. Panneerselvam. 2008. Water deficit stress effects on reactive oxygen metabolism in *Catharanthus roseus* L. impact on ajmalicine accumulation. *Colloids Surfaces. Biointerfaces*. 62: 105-111.
- 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. *International Journal of Agriculture Science*. 3(12): 894-903.
- Loecke, T., D. Liebman, M. Cambardella, and T.L. Richard. 2004. Corn growth responses to composted and fresh solid swine manures. *Crop Science*. 44: 177-184.
- Mokhtassi-Bidgolia, A., M. Agha Alikhania, M. Nassiri-Mahallatib, E. Zandc, 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. *Industrial Crops and Products*. 44: 583– 592.
- Mosavian, S.N., and S.A. Seyed Mohammadi. 2015 .The effect of nitrogen and cropping patterns on morphological traits and growth indices in intercropping of maize and sunflower. *Crop Physiology Journal*. 7(26): 105-120. (In Persian).
- 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 (*Helianthus annus* L.) grown under water deficit stress. *Industrial Crops and Products*. 30: 82–92.
- Omidi, A.H. 2009. Effect of drought stress at different growth stages on seed yeild and some agro-physiological traits of three spring safflower cultivars. *Seed and Plant Production Journal*. 25(1): 15-31. (In Persian).
- Pandy, R.K., J.W. Maranvill, and M.M. Chetima. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agriculture Water Managment*. 46: 15-27.
- 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. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 9(3): 310-321. (In Persian).
- Radfords, P.J. 1967. Growth analysis formulae–Their use and abuse. *Crop Science*. 7: 171-175.

- Riasat, M., A.R. Nasirzadeh, A.A. Jafari, and L. Jokar. 2005. Resistance of *Trigonella* perennial accessions to drought stress. *Iranian Journal of Rangeland and Forest Plant Breeding and Genetic Research*. 13: 189-208. (In Persian).
- Sajedi, N., and A. Ardekani. 2008. Effect of nitrogen fertilizer, iron on the physiological indices forage maize in central provinces. *Iranian Studies Journal of Agronomy*. 6 (1): 99-110. (In Persian).
- SAS, Procedures Guide. SAS Institute, Cary, NC. 2002.
- Singer, J.W., K.A. Kohler, M. Liebman, T.L. Richard, C.A. Cambardella, and D.D. Buhler. 2004. Tillage and compost affect yield of corn, soybean, and wheat and soil fertility. *Agronomy Journal*. 96: 531-537.
- Singh, S.P. 1995. Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean. *Crop Science*. 35: 118-128.
- Soumare, M., G. Tack, and M.G. Verloo. 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresource Technology*. 86: 15-20.
- Taheri Asghari, A. 2010. Effects of water stress on morphological characteristics, proline and thymol content in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal Medicinal and Aromatic Plants Research of Iran*. 26(2): 239-251. (In Persian).
- Tarighol Eslami, M., R. Zarghami, M. Mashhadi Akbar Bojar, and M. Oweici. 2012. Effect of nitrogen fertilizer and water deficit stress on physiological indices of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 8(1): 161-174. (In Persian).
- 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.). *Turkish Journal of Field Crops*. 16: 69-75.

Effect of Deficit Water Stress on Some Growth Indices and Yield of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in Response to the Zeolite and Nitrogen Fertilizer

Abolfazl Baghbani Arani¹, Seyyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy^{2*}, Masoud Mashhadi Akbar Boojar³ and Ali Mokhtassi Bidgoli⁴

Received: February 2016, Revised: 6 November 2017, Accepted: 19 February 2018

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of water deficit stress, nitrogen fertilizer and zeolite on growth parameters, biomass and seed yield of fenugreek. A split factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted at the Research Field of Tarbiat Modares University in 2014 and 2015. Five irrigation regimes (unstressed, mild stresses during the vegetative and reproductive stages, respectively; severe stresses during the vegetative and reproductive stages, respectively) were randomized to the main plots. Subplots consisted of six treatments of a factorial combination of three levels of nitrogen fertilizations (untreated plots, vermicompost fertilizer at a rate of 2.7 t.ha⁻¹ and nitrogen chemical fertilizer at a rate of 11 kg.ha⁻¹) and two rates of zeolite (0 and 9 t.ha⁻¹). In both years, increasing severity of water deficit stresses reduced leaf area index, crop growth rate, plant height, biological and seed yield of fenugreek; Thus, severe water deficit stress at the reproductive stage without fertilizer and zeolite (with the least amount of biological and grain yield) compared with that of control, caused 60.96 and 48.09 percent reduction in biological yield and 80.18 and 75.62 percent reduction in grain yield, in both years, respectively. Application of nitrogen fertilizer, especially vermicompost, resulted in a significant increase in the leaf area index, crop growth rate of fenugreek in various stages of development, thereby increased biological and grain yield in different irrigation regimes. In various irrigation regimes, higher leaf area index, crop growth rate and finally more yield produced with application of vermicompost or zeolite.

Key words: CGR, Drought stress, Chemical fertilizer, LAI, Vermicompost.

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Prof., Department of Agronomy Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3- Associate Prof., Department of Biology Science, Kharazmi University, Tehran, Iran.

4- Assistant Prof., Department of Agronomy Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

* Corresponding Author: modaresa@modares.ac.ir

Archive of SID