تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۸
۱۴۱-۱۵۲
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.1297.1265

واکنش صفات رویشی و کیفی دانه آفتابگردان به منابع مختلف نیتروژن (کود آلی و شیمیایی) و زئولیت تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

محمدقاسم جامی[۱]، امیر قلاوند[۲]، سید علی‌محمد مدرس ثانوی[۲]*، علی مختصی بیدگلی[۳]، ابوالفضل باغبانی آرانی[۴]، امین نامداری[۵]

۱. دانش‌آموخته دکتری زراعت دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران و استادیار گروه کشاورزی دانشگاه هرات افغانستان.
۲. استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳. استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۴. استادیار و عضو هیئت‌علمی گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
۵. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تلفیقی منابع مختلف کود نیتروژن (کود آلی و اوره) و زئولیت تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری، بر صفات کیفی دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، آزمایشی در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی شامل رژیم‌های آبیاری (آبیاری پس از تخلیه ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک) بود. ترکیب عامل‌های فاکتوریل از سامانه‌های حاصلخیزی خاک و زئولیت شامل تلفیقی از کود آلی (۳۵ درصد مرغی + ۶۵ درصد کود گوسفندی) به‌عنوان تأمین‌کننده ۱۰۰ درصد نیتروژن موردنیاز از طریق منبع آلی، تأمین ۵۰ درصد نیتروژن موردنیاز از طریق منبع آلی + تأمین ۵۰ درصد نیتروژن موردنیاز از طریق اوره، تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن موردنیاز از طریق اوره و عدم کاربرد و کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت بود. به ترتیب در سال اول و دوم، بیشترین قطر (۲/۲ و ۲/۲۶ میلی‌متر) و ارتفاع (۱۸۶/۷ و ۱۶۸/۳ سانتی‌متر) ساقه و همچنین عملکرد روغن و پروتئین در سال دوم (۹۴۳/۶ و ۵۵۶/۱ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم تنش (آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک) با کاربرد زئولیت حاصل شد. درمجموع می‌توان نتیجه گرفت که تنش رطوبتی شدید، باعث کاهش درصد اسیدهای چرب غیراشباع (به ترتیب اولئیک اسید و لینولئیک اسید در سال اول ۲۲ و ۷ درصد و در سال دوم ۲۷ و ۶/۸ درصد) و استئاریک اسید (به ترتیب در سال اول و دوم ۵۰ و ۵۲ درصد)، ولی افزایش مقدار پالمتیک اسید (به ترتیب در سال اول و دوم ۵۴/۶ و ۶۵/۳ درصد) آفتابگردان شد و به ترتیب در سال اول و دوم، کاربرد سیستم حاصلخیزی آلی با افزایش میزان اسید چرب لینولئیک (۹/۲ و ۹/۷ درصد) و اولئیک (۷/۸ و ۸/۲ درصد) دانه، سبب افزایش کیفیت روغن دانه آفتابگردان گردید که در شرایط آبیاری مطلوب، کودهای آلی و در شرایط تنش کم‌آبی، کودهای آلی دارای زئولیت دارای مزیت بودند. نتایج این آزمایش نشان داد که در اکثر تیمارهای آبیاری، مصرف زئولیت و کودهای آلی با افزایش دسترسی آب و عناصر غذایی، سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان گردید و نیز ایده مفیدی برای کاهش کاربرد کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار است.

واژه‌های کلیدی: **اسیدهای چرب غیراشباع، پروتئین، تنش کم‌آبی، روغن، کود آلی.**

مقدمه

دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین منبع مهم تأمین انرژی موردنیاز جوامع انسانی به شمار می‌روند. آفتابگردان یکی از دانه‌های روغنی عمده در جهان است که به دلیل دوره رشد کوتاه، عملکرد بالای روغن، بالا بودن ارزش غذایی، سطح زیر کشت آن افزایش یافته است. اسیدهای چرب غیراشباع لینولئیک و اولئیک که از اسیدهای چرب ضروری بوده، حدود

* نگارنده پاسخگو: سید علی محمد مدرس ثانوی. پست الکترونیک: modaresa@modares.ac.ir

۹۰ درصد از اسیدهای چرب روغن آفتابگردان را تشکیل می‌دهند (Izquierdo and Aguirrezabal, 2008). یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی به‌منظور حصول عملکرد بالا و با کیفیت مطلوب در گیاه آفتابگردان، ارزیابی منابع مختلف تغذیه‌ای بر کاهش اثرات تنش کم‌آبی در آفتابگردان با استفاده از زئولیت است که با تأثیرگذاری بر طول دوره‌ی رشد رویشی و زایشی گیاه و توازن بین آن‌ها، بسیار مهم است.

با توجه به اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های صنعتی ازجمله کودهای شیمیایی، دائماً بر اهمیت توجه به کشاورزی پایدار افزوده می‌شود (Shoghi-Kalkhoran et al., 2013). مطالعات بلندمدت نشان می‌دهند که استفاده مداوم از کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را به علت افت خصوصیات مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک و عدم وجود ریزمغذی‌ها در این کودها کاهش می‌دهد. کود دامی می‌تواند فعالیت‌های بیولوژیک و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشد و با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، اثرات کمبود آب را کاهش دهد (Jalilian et al., 2011)؛ بنابراین ارائه راهکارهایی به‌منظور حل مشکلات استفاده از کودهای دامی و به‌کارگیری مواد ارزشمندی همچون زئولیت در اراضی کشاورزی مخصوصاً زمین‌هایی با قابلیت اندک تأمین رطوبت و مواد غذائی نظیر زمین‌های شنی مهم است. تحقیقات بسیاری در مورداستفاده از مواد افزودنی مختلف به کودهای دامی به‌منظور افزایش اثرگذاری این مواد بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی انجام‌شده است که از آن جمله می‌توان به کانی‌های طبیعی زئولیت اشاره کرد (Gholamhoseini et al., 2013). با توجه به خصوصیات منحصربه‌فرد زئولیت‌ها مانند قابلیت تبادل کاتیونی مناسب و ساختمان مستحکم و فراوانی طبیعی آن‌ها در کشور ایران، استخراج آسان و سرانجام قیمت اقتصادی مناسب، علاوه بر اینکه شرایط تهویه را برای فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی فراهم می‌کنند باعث جذب مواد مغذی کود دامی مخصوصاً نیتروژن آن شده و از هدرروی نیتروژن موجود در کود دامی خواه به‌صورت آمونیاک و یا به‌صورت نیترات جلوگیری می‌کنند (Gholamhoseini et al., 2013).

محدودیت خشکی، مهم‌ترین عامل تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی در سراسر جهان به‌حساب می‌آید و این عامل، زمانی ایجاد می‌شود که ترکیبی از عوامل فیزیکی و محیطی سبب تنش در گیاه شوند و درنتیجه تولید را کاهش می‌دهند. این کاهش درنتیجه‌ی تأخیر یا عدم استقرار گیاه، تضعیف یا از بین رفتن گیاهان استقراریافته، مستعد شدن گیاه نسبت به حمله‌ی بیماری‌ها و آفات گیاهی و تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در سوخت‌وساز گیاهان و نهایتاً کاهش کیفی به وجود می‌آید (Sezen et al., 2011). نتایج پژوهشی روی آفتابگردان نشان داد که اثر متقابل رژیم آبیاری و سیستم‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد ماده خشک، عملکرد دانه، تعداد دانه در طبق، درصد و عملکرد روغن، اسید لینولئیک، اسید پالمتیک و اسید استئاریک دانه معنی‌دار شد (Khodaii Joghan, 2015).

استفاده از مواد معدنی طبیعی مانند زئولیت باعث بهبود ساختمان فیزیکی و شیمیایی خاک که منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک به مدت طولانی و صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی و جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود، توصیه شده است (Baghbani-Arani et al., 2017a). نتایج یک آزمایش نشان داد که مصرف زئولیت به همراه کود دامی، ضمن کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی بر رشد گیاه، سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان گردید (Gholamhoseini et al., 2013). محققین گزارش کردند که در تیمارهای دارای زئولیت، کاربرد کود آلی ظرفیت نگهداری آب را افزایش داد و این به خاطر ترکیبات آب‌دوستی است که در مواد آلی است (Lima et al., 2009).

با توجه به‌ضرورت تجدیدنظر در استفاده از کودهای شیمیائی مخصوصاً در اراضی سبک، تأمین مواد غذائی موردنیاز گیاه به‌ویژه نیتروژن از طریق منابع آلی مهم است. از طرفی دیگر استفاده از زئولیت‌ها به‌عنوان موادی کاملاً طبیعی به‌منظور حفظ مواد غذائی مخصوصاً نیتروژن موجود در کودهای دامی، می‌تواند نقش اساسی در تولید عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان داشته باشد. هدف این پژوهش بررسی خصوصیات کیفی آفتابگردان در واکنش به تیمارهای مختلف کودی نیتروژن و زئولیت تحت رژیم‌های مختلف آبیاری به‌منظور کاهش استفاده از کودهای شیمیایی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال‌های ۱۳۹۳ و ۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس اجرا

گردید. قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش نمونه‌ای مرکب از ۲۰ نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. رژیم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی شامل سه سطح، آبیاری پس از تخلیه ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک در عمق توسعه‌ی ریشه بود. عوامل فرعی شامل سه سطح تیمارهای کودی و سه سطح زئولیت بود؛ که کود آلی (جدول ۲) تلفیقی از (۳۵ درصد مرغی + ۶۵ درصد کود گوسفندی، یا به عبارتی ۱۴/۶ تن کود مرغی و ۲۸/۲ تن کود گوسفندی در هکتار) به‌عنوان تأمین‌کننده ۱۰۰ درصد نیتروژن موردنیاز از طریق منبع آلی، تأمین ۵۰ درصد نیتروژن موردنیاز از طریق منبع آلی+ تأمین ۵۰ درصد نیتروژن موردنیاز از طریق اوره، تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن موردنیاز از طریق اوره (۲۸۳ کیلوگرم در هکتار با ۴۶ درصد نیتروژن خالص) و عدم کاربرد و کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت بود.

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیائی خاک محل آزمایش.

Table 1. Chemical and physical characteristics of the experimental soil.

بافت خاک Soil Texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته خاک pH	مواد آلی (درصد) Organic matter (%)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density ($g.cm^{-3}$)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P ($mg.kg^{-1}$)	آهن قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg.kg^{-1}$)	رطوبت در ظرفیت زراعی (درصد حجمی) PWP (% by volume)	رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (درصد حجمی) FC (% by volume)
شن لومی Loamy sand	1.087	7.29	1.34	1.44	0.1	802	16	5.334	21	9

جدول ۲. خصوصیات شیمیائی کودهای دامی مورداستفاده در آزمایش.

Table 2. Chemical characteristics of animal manure used in experiment.

نوع کود Manure	نسبت شوری (۱:۱۰) (میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	فسفر کل (درصد) P (%)	پتاسیم کل (درصد) K (%)	نیتروژن کل (درصد) N (%)	آهن کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg.kg^{-1}$)	مس کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu ($mg.kg^{-1}$)	منگنز کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mn ($mg.kg^{-1}$)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)
گوسفندی Sheep	4.6	7.7	0.7	1.2	1.3	7962.8	114.9	16.7	289.5	64.1
مرغی Chicken	5.6	7.9	2.9	1.8	1.7	14472.7	520.8	54.8	763.1	45.2

هر کرت آزمایشی متشکل از ۶ ردیف ۴ متری بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و بین کرت‌های آزمایشی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. زئولیت و کودهای دامی قبل از کاشت با توجه به تیمارها با خاک هر کرت به‌طور کامل مخلوط شدند. زئولیت مصرفی از نوع کلینوپتیلولیت بوده و ویژگی‌های شیمیایی آن در جدول ۳ ارائه شده است. مقدار کود آلی برای تأمین ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، بر اساس اینکه ۳۵ و ۵۰ درصد از کل نیتروژن کود آلی (گوسفندی و مرغی) در سال اول کاربرد، قابل‌دسترس برای گیاه است (Fernandez-Martinez et al., 1990). به‌صورت فرمول زیر برای هر تیمار مشخص شد:

مقدار نیتروژن موردنیاز از کود آلی (۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) = وزن خشک کود آلی × درصد نیتروژن قابل‌دسترس ×درصد نیتروژن کود [۱]

بذور آفتابگردان هیبرید ایرانی فرخ که رقمی زودرس است با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از هم روی ردیف‌های کاشت در اوایل تیرماه به‌صورت هیرم‌کاری کشت گردید. زمان‌بندی آبیاری بر اساس درصد تخلیه رطوبت خاک در ظرفیت زراعی در منطقه ریشه و عمق مدیریت آبیاری برای آفتابگردان حدود ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که با استفاده از روابط ۲ و ۳ محاسبه گردید (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013). مقدار آب خاک ابتدا به روش وزنی و سپس با استفاده از مدل TDR (IMKO- Gmbh, D-76275,) Trime-FM Germany) در عمق ذکرشده تعیین گردید. برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه شده توسط TDR و درصد حجمی رطوبت خاک اندازه‌گیری شده به روش وزنی از منحنی کالیبراسیون استفاده شد. با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده و رابطه ۲ درصد تخلیه آب قابل‌دسترس خاک در منطقه مؤثر ریشه ارزیابی شد:

(MAD) حداکثر تخلیه مجاز =(FC-θ) /(FC-PWP) [۲]

در این فرمول FC و PWP به ترتیب رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم و θ درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری (قبل از اجرای آزمایش با نمونه‌برداری از خاک در زمان‌های مختلف، با استفاده از روش وزنی، درصد حجمی رطوبت خاک تعیین شد) است. θ بر اساس تیمارهای آبیاری تنظیم‌شده و مقدار آب موردنیاز برای آبیاری از رابطه ۳ محاسبه گردید:

$$V_d = MAD \times ASW \times R_z \qquad [۳]$$

در این فرمول V_d حجم آب آبیاری (میلی‌متر)، ASW آب قابل‌دسترس خاک برابر با ۱۲۰ میلی‌متر در هر متر عمق خاک و R_z عمق مؤثر ریشه بر اساس شخم انجام‌شده برابر با ۰/۳ متر می‌باشند. آب قابل‌دسترس خاک عبارت از مقدار آب موجود در ناحیه ریشه بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم است. مقدار آب استفاده‌شده برای آبیاری همه تیمارها در مرحله رشد رویشی (مرحله V_6-V_8، ۶ تا ۸ برگی) پس از استقرار گیاه یکسان و بعدازآن متفاوت بود (Camara et al., 2003).

جدول ۳. ترکیبات شیمیایی موجود در زئولیت مورداستفاده (درصد)

Table 3. Chemical composition of the used zeolite (%)

اکسید کلسیم CaO	اکسید منیزیم MgO	اکسید سدیم Na_2O	اکسید پتاس K_2O	تری اکسید آلومینیوم AL_2O_3	دی‌اکسید سیلیسیوم SiO_2	پنتا اکسید فسفر P_2O_5	تری اکسید گوگرد SO_3	کلر Cl	تری اکسید آهن Fe_2O_3	اکسید منگنز MnO	اکسید تیتانیوم TiO_2
2.3	0.1	1.08	3	12.02	65	0.01	-	-	1.5	0.04	0.03

ظرفیت تبادل کاتیونی= ۲۰۰ میلی‌اکی والان بر ۱۰۰ گرم CEC= 200 meq.100g $^{-1}$

درصد روغن نمونه‌های حاصل از دانه‌های کامل هر کرت در آزمایشگاه با روش سوکسله و با استفاده از حلال پترولیوم اتر برآورد شد (Omidian et al., 2012). ترکیبات اسیدهای چرب (اولئیک اسید، لینولئیک اسید، پالمتیک اسید و استئاریک اسید) اندازه‌گیری شدند اندازه‌گیری اسیدهای چرب روغن بر اساس روش پیشنهادی متکالف و همکاران (Metcalf et al., 1996) انجام پذیرفت. تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام پذیرفت. آزمون بارتلت نشان داد که برای اکثر صفات واریانس بین سال‌ها یکنواخت نبود و داده‌های هر سال جداگانه آنالیز شدند. تجزیه‌ی مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آزمایشی حاوی تیمارهای آبیاری بر پایه روش برش‌دهی فیزیکی و با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار صورت گرفت.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیک (قطر ساقه و ارتفاع)

تجزیه واریانس نشان داد که در هر دو سال، تمامی اثرات اصلی و برهمکنش دو و سه‌گانه تیمارها، به‌جز اثر برهمکنش دوگانه رژیم آبیاری و زئولیت بر صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده (قطر ساقه و ارتفاع گیاه) در سطح یک درصد معنی‌دار بود به‌گونه‌ای که با افزایش شدت تنش خشکی، قطر ساقه و ارتفاع گیاه کاهش بیشتری یافت (جدول ۴) و در اکثر ترکیبات تیماری آبیاری، کاربرد زئولیت و کود نیتروژن (خصوصاً کود آلی) سبب افزایش مقادیر این صفات گردید

همچنین در هر دو سال مطالعه، به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر قطر ساقه و ارتفاع آفتابگردان مربوط به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده خاک و کاربرد ۱۰۰ درصد کود آلی با ۵ تن زئولیت در هکتار و تیمار آبیاری پس از تخلیه ۸۰ درصد آب قابل‌استفاده خاک بدون کود و زئولیت مشاهده گردید. در تحقیقی نشان داده شد که تنش کم‌آبی سبب کاهش ارتفاع در ارقام مختلف آفتابگردان می‌گردد (Manivannan et al., 2007). تنش کم‌آبی به‌وسیله کاهش محتوای آب، فشار تورگر و ظرفیت کل آب گیاه و پژمردگی و بسته شدن روزنه‌ها، سبب کاهش بزرگ شدن سلولی، رشد و عملکرد گیاهان از جمله آفتابگردان می‌گردد و همچنین کیفیت و کمیت رشد گیاهی بستگی به تقسیم، بزرگ شدن و تمایز سلولی دارد که متأثر از تنش آبی است (Manivannan et al., 2007). ارتفاع بوته و قطر ساقه شاخص‌هایی از رشد رویشی محسوب می‌شوند و با توجه به این واقعیت که نیتروژن از عناصر اساسی برای رشد رویشی است، دسترسی به نیتروژن بیشتر، افزایش جذب و فتوسنتز بیشتر توسط گیاه از دلایل احتمالی افزایش ارتفاع در تیمارهای آلی است. اثر مثبت نیتروژن در افزایش رشد ساقه آفتابگردان توسط شوقی کالخوران و همکاران (Shoghi-Kalkhoran et al., 2013) گزارش شده است. کاربرد زئولیت نیز به دلیل خواص فیزیکی و ساختمان خود سبب حفظ آب در خاک و جلوگیری از آبشویی نیتروژن گردیده و سبب افزایش رشد رویشی آفتابگردان گردیده است (Gholamhoseini et al., 2013; Baghbani Arani et al., 2017b).

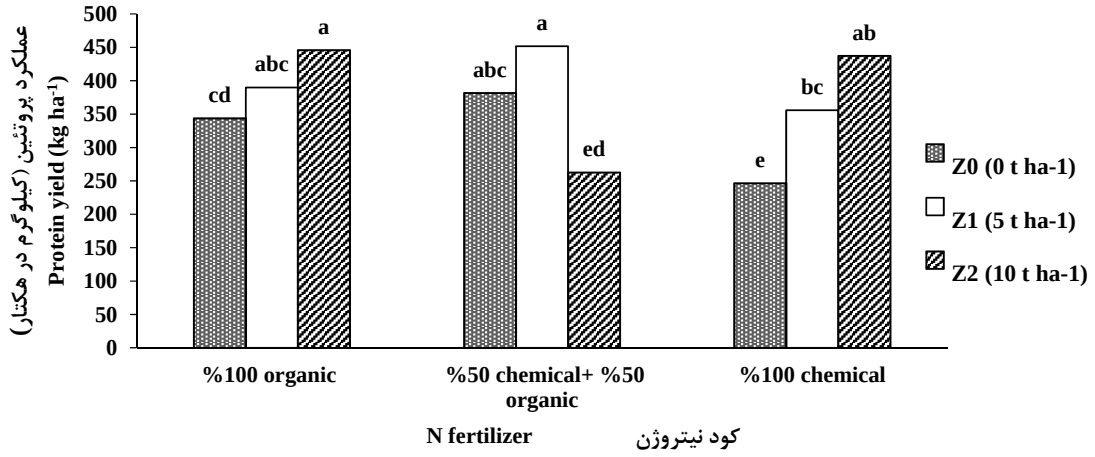
جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری، کود و زئولیت بر عملکرد روغن و پروتئین در سال ۱۳۹۳ و اولئیک اسید و پالمتیک اسید در سال‌های ۹۳ و ۹۴.

Table 4. The main effects of irrigation, fertilizer and zeolite on oil and protein yield in 2014 and the percentage of oleic acid and palmetic acid in 2014 and 2015.

پالمتیک اسید (درصد) Palmetic acid (%)		اولئیک اسید (درصد) Oleic acid (%)		عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار) Protein yield (kg ha^{-1})	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield (kg ha^{-1})	تیمارها Treatments
۱۳۹۳ 2014	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۳ 2014	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۳ 2014	۱۳۹۳ 2014	آبیاری (درصد تخلیه رطوبتی) Irrigation after depleting
3.52c	3.4 c	27.7 a	28.4 a	368.3 a	497.2 a	**40**
5.6 b	5.7 b	24.5 b	24.4 ab	255.9 b	406.2 b	**60**
7.76 a	7.78 a	21.6 c	20.8 b	93.3 c	239.0 c	**80**
						کود **Fertilizer**
4.92 c	4.89 c	24.2 b	24.4 b	-	429.2 a	**۱۰۰٪ آلی (100% Organic)**
5.36 b	5.36 b	27.3 a	26.8 a	-	418.6 a	**۵۰٪ آلی + ۵۰٪ شیمیایی (50% Organic + 50% Chemical)**
6.28 a	6.33 a	22.3 c	22.4 c	-	294.8 b	**۱۰۰٪ آلی (100% Chemical)**
						زئولیت **Zeolite**
5.34 c	5.39 c	21.6 c	23.1 c	-	446.2 a	**10**
5.67 b	5.61 b	24.5 b	24.9 b	-	406.8 b	**5**
5.87 a	5.92 a	27.7 a	25.5 a	-	289.6 c	**0**

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.



شکل ۱. اثر متقابل زئولیت و کود نیتروژن بر عملکرد پروتئین در سال ۱۳۹۳

Fig 1. Zeolite × Fertilizer interaction effect on protein yield in 2014.

عملکرد پروتئین

در هر دو سال آزمایش، عملکرد پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، کوددهی، زئولیت و اثر برهمکنش کود و زئولیت در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت و علاوه بر این در سال دوم، اثر برهمکنش آبیاری و کود، آبیاری و زئولیت و اثر برهمکنش سه‌گانه آبیاری، کود و زئولیت در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد پروتئین دانه معنی‌دار گردید. در سال اول با افزایش شدت تنش رطوبتی عملکرد پروتئین کاهش بیشتری یافت به‌گونه‌ای که به ترتیب تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک نسبت به تیمارهای (۶۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک) برتری ۳۰/۵ و ۷۴/۷ درصدی در میزان عملکرد پروتئین را نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد با توجه به اینکه عملکرد پروتئین، حاصل‌ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه است، تنش خشکی با کاهش عملکرد دانه سبب کاهش عملکرد پروتئین دانه آفتابگردان گردیده است (Jalilian et al., 2012; Gholamhoseini et al., 2013). اثر تیمارهای کودی به همراه زئولیت، سبب افزایش عملکرد پروتئین در سال اول گردید به‌طوری‌که بیشترین آن با به‌کارگیری کود تلفیقی همراه به ۵ تن در هکتار زئولیت به مقدار ۴۵۱/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در تیمار ۱۰۰ درصد شیمیایی و عدم کاربرد زئولیت به مقدار ۲۴۶/۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۱). با افزودن زئولیت به ترکیبات تیماری کود نیتروژن، قابلیت دستیابی گیاه به نیتروژن افزایش می‌یابد. زئولیت به دلیل داشتن ساختمان لانه‌زنبوری، مانع از آبشویی نیتروژن می‌شود. رشد رویشی زیاد و عملکرد بالای دانه آفتابگردان تحت تأثیر کاربرد مواد آلی زئولیت‌دار مؤید این مطلب است. با مقایسه یافته‌های این پژوهش با نتایج سایر محققان به‌روشنی می‌توان دریافت که عملکرد پروتئین به همراه تلفیقی از مواد آلی زئولیت‌دار به میزان قابل‌توجهی افزایش نشان داده است (Gholamhoseini et al., 2013). در سال دوم، به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد پروتئین دانه از تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت، سیستم تغذیه‌ی تلفیقی و ۵ تن در هکتار زئولیت (۵۵۶/۱ کیلوگرم در هکتار) و تیمار آبیاری پس از تخلیه ۸۰ درصد رطوبت، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و بدون زئولیت (۶۷/۱ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۵).

عملکرد روغن

تجزیه واریانس در هر دو سال نشان داد که عملکرد روغن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای آبیاری، کوددهی و زئولیت در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت علاوه بر این فقط در سال دوم، تمامی اثرات برهمکنش دوگانه و سه‌گانه به‌جز برهمکنش کود و زئولیت بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار گردید. در سال دوم مطالعه، به دلیل مناسب بودن

شرایط آب و هوایی (میانگین دمای حداکثر پایین‌تر و میزان بارندگی بیشتر) در طول مرحله رسیدگی دانه، شرایط مساعدتری برای پر شدن دانه مهیا بوده است به همین دلیل گیاه بهتر توانسته است نسبت به اثرات برهمکنش تیمارها پاسخ دهد (Baghbani Arani et al., 2017b) از طرف دیگر عملکرد روغن، حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن است. در سال اول با افزایش شدت تنش رطوبتی، عملکرد روغن کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین عملکرد روغن در تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک حاصل شد که نسبت به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۸۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک (با کمترین عملکرد روغن)، افزایش ۵۱/۹ درصدی نشان داد (جدول ۴). در همین رابطه محققین مختلفی کاهش عملکرد روغن در اثر تنش خشکی در آفتابگردان را گزارش کردند (Gholamhoseini et al., 2013; Sezen et al., 2011). همچنین در سال اول تیمارهای ۱۰۰ درصد کود آلی و تلفیقی با تولید عملکرد روغن بالاتر نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی به‌ترتیب باعث افزایش ۳۱/۳ و ۲۹/۶ درصدی عملکرد روغن نسبت به آن گردیدند (جدول ۴). می‌توان گفت که سیستم تغذیه‌ای آلی و تلفیقی به‌صورت کامل تمام عناصر ضروری گیاه در طول دوره رشد تأمین کرده است به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد نیتروژن موجود در کود مرغی آزاد گشته و سبب رشد رویشی بیشتر و تولید سطح سبز بیشتر شده است و در ادامه آزادسازی نیتروژن از کود گوسفندی سبب تداوم فتوسنتز بیشتر و رشد زایشی مناسب شده است، در نتیجه هم میزان عملکرد دانه و هم مقدار روغن دانه افزایش یافته است. در سال اول با افزایش مقدار زئولیت در هکتار میزان عملکرد روغن افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد روغن در تیمار ۱۰ تن در هکتار زئولیت که نسبت به تیمار بدون زئولیت سبب افزایش ۳۵/۱ درصدی عملکرد روغن گردید (جدول ۴). این افزایش را می‌توان به خصوصیات فیزیکوشیمیایی مناسب زئولیت در نگهداری و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و همچنین آب موردنیاز گیاه (توانایی رهاسازی کاتیون‌ها و مولکول‌های آب در شرایط متفاوت، بدون تغییر در ساختار آن‌ها و جذب دوباره آن از محیط اطراف) در طول فصل رشد آفتابگردان نسبت داد (Farmanber, 2011). در سال دوم نیز تیمار بدون تنش (I_1)، سیستم تغذیه‌ی تلفیقی (F_2) و ۵ تن در هکتار زئولیت با تولید بالاترین عملکرد روغن، افزایش ۸۳/۷ درصدی نسبت به تیمار تنش شدید رطوبتی (I_3)، کوددهی ۱۰۰ درصد شیمیایی (F_3) و عدم کاربرد زئولیت با کمترین عملکرد روغن را نشان داد (جدول ۵).

اولئیک اسید

در هر دو سال میزان اولئیک اسید به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی رژیم آبیاری، کود و زئولیت در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت. جدول شماره (۴) نشان می‌دهد که با افزایش شدت تنش رطوبتی، میزان اولئیک اسید کاهش بیشتری یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان اولئیک اسید در تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک، نسبت به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک با کمترین میزان اولئیک اسید، به‌ترتیب در سال اول و دوم، افزایش ۲۶/۸ و ۲۲ درصدی داشت (جدول ۴). نتایج پژوهشگران در مورد اثر تنش خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب گیاهان تا حدودی متفاوت است، به‌طوری‌که در یک آزمایش، تفاوت‌های خیلی کمی در ترکیب اسیدهای چرب در نتیجهٔ تنش خشکی گزارش شده است (Dwivedi et al., 2008)، اما در پژوهش دیگری همبستگی مثبت بین اولئیک اسید و آبیاری مطلوب مشاهده شده است (Jalilian et al., 2012). همچنین به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان اولئیک اسید در تیمار کود تلفیقی و تیمار کود شیمیایی مشاهده گردید (جدول ۴). محققین زیادی گزارش کردند که میزان و نوع کود نیتروژن در دسترس بر ترکیب اسیدهای چرب روغن آفتابگردان تأثیر می‌گذارد (Zheljazkov et al., 2009; Shoghi-Kalkhoran et al., 2013). در واقع میزان اسیدهای چرب اشباع با افزایش میزان نیتروژن کاهش و میزان اسیدهای چرب غیراشباع افزایش می‌یابد (Shoghi-Kalkhoran et al., 2013). با افزایش مقدار زئولیت در هکتار میزان اولئیک اسید کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان اولئیک اسید در تیمار عدم کاربرد زئولیت به‌دست آمد (جدول ۴). احتمالاً با توجه به اثر کمبود آب بر میزان اولئیک اسید، زئولیت به دلیل توانایی در حفظ آب (ساختمان متخلخل) و آزادسازی تدریجی آن، با افزایش آب قابل‌دسترس گیاه، سبب کاهش میزان اولئیک اسید گردیده است.

جدول ۴. اثر برهمکنش سه‌گانه آبیاری، کود و زئولیت بر برخی صفات آفتابگردان

Table 4. Interaction effects of irrigation, fertilizer and zeolite on some traits of sunflower

تیمارهای آبیاری (درصد تخلیه رطوبتی) Irrigation	تیمارهای کودی Fertilizer	مقادیر زئولیت (تن در هکتار) Zeolite rate ($t\ ha^{-1}$)	قطر ساقه (میلی‌متر) Stem diameter (mm)		ارتفاع (سانتی‌متر) Height (cm)		لینولئیک اسید (درصد) Linoleic acid (%)		استئاریک اسید (درصد) Stearic acid (%)	
			۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۳ 2014	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۳ 2014	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۳ 2014	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۳ 2014
I1	F1	10	1.9c	1.9b	159.3b	165.6b	81.4a	81.3a	3.1c	3.1de
		5	1.8d	1.6cd	151.3c	158.7c	66.9b	65.7b	2.8d	2.7f
		0	1.67e	1.5de	149.0d	151.0d	65.7c	65.3b	2.5e	2.4g
	F2	10	1.9c	1.8b	161.0b	163.7b	62.5d	62.5c	3.3c	3.2cd
		5	2.26a	2.2a	168.3a	186.7a	60.6e	60.4d	3.1c	3.2c
		0	2.06b	1.7c	152.0c	155.1c	60.4e	60.4d	3.1c	3e
	F3	10	1.87cd	1.7c	140.6e	149.4d	61.7d	61.7c	4.7a	4.6a
		5	1.63ef	1.5ef	140.e	149.0d	60ef	60de	4.6b	3.6b
		0	1.58f	1.4f	133.0f	136.7e	59.3f	59.3e	3.3c	3.2cd
I2	F1	10	1.76a	1.8a	151.3a	164.4a	65a	66.7a	2.5e	2.4h
		5	1.63b	1.6b	145.3b	152.3b	63.7b	63.7b	2.7d	2.9f
		0	1.5c	1.4cd	131.7d	140.0c	62c	62c	2.73d	2.7g
	F2	10	1.4de	1.3cd	132.3d	134.4d	60.4 de	60.4d	3.1bc	3.1d
		5	1.46cd	1.43c	141.7c	140.1c	61.4cd	61.4cd	3c	3e
		0	1.3f	1.3d	130.7d	138cd	61.3cd	61.6cd	2.9c	2.9ef
	F3	10	1.5c	1.4cd	129.7d	136cd	61.5cd	61.5cd	3.6a	3.6a
		5	1.36ef	1.3d	125.6e	137cd	60.3e	60.6d	3.4a	3.4b
		0	1.16g	1.0c	111.7f	123e	52.2f	52.6e	3.2c	3.2c
I3	F1	10	1.26ab	1.31ab	118.4cd	123.3cd	58.4ab	62.5a	2.2ab	2.2c
		5	1.24abc	1.3abc	120bcd	141.6a	61.9a	61.5b	2.2ab	2.1cd
		0	1.17bc	1.1cd	120bcd	121d	61.2ab	60.7bc	1.2d	1.2e
	F2	10	1.22bc	1.2abc	126.5ab	130b	60.4ab	60.4c	1.8c	2.1cd
		5	1.36a	1.36a	128.2a	126bc	58.8ab	57.2d	2.0bc	2.0d
		0	1.02d	1.06d	124abc	120.3d	58.6ab	59.8c	2.2ab	2.1cd
	F3	10	1.12cd	1.2abc	120bcd	120d	56.1bc	54.5f	2.3ab	2.6a
		5	1.4bcd	1.1cd	115.0d	119d	53.5cd	56.2e	2.5ab	2.4b
		0	0.84e	0.8e	101.7e	100e	53.1d	51.2g	2.6a	2.6a

I2, I1 و I3 = به ترتیب آبیاری پس از تخلیه ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک. F1= ۱۰۰ درصد کود آلی؛ F2= ۵۰ درصد کود آلی + ۵۰ درصد کود شیمیایی؛ F3= ۱۰۰ درصد کود شیمیایی. میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

I1, I2 and I3: Irrigation after depleting (40, 60 and 80%) ASW, respectively. F1, F2 and F3: 100% Organic, 50% Organic+ 50% chemical, 100% Chemical, respectively. Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

لینولئیک اسید

در هر دو سال اثر برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری، کود و زئولیت بر میزان لینولئیک اسید معنی‌دار گردید. در هر دو سال با افزایش شدت تنش آبی، میزان لینولئیک اسید کاهش یافت و در اکثر ترکیبات تیماری آبیاری، کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت و ۱۰۰ درصد کود آلی بالاترین و تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و بدون زئولیت کمترین میزان لینولیئک اسید را تولید کرد (جدول ۴). به‌طور کلی در هر دو سال در هر یک از رژیم‌های آبیاری با حرکت از تیمارهای شیمیایی به آلی و با کاربرد زئولیت اثرات منفی تنش آبی بر میزان لینولئیک اسید کاهش یافته است (جدول ۴). استنباط این است که این کاهش در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم اولئات دی سچوراز (Oleat desaturase) باشد، زیرا که این آنزیم حساسیت زیادی به دما دارد و فعالیت آن با افزایش دما کاهش می‌یابد. آبیاری ممکن است بر دمای گیاهان و میکروکلیمای مزرعه تأثیر بگذارد در واقع در شرایط کمبود آب دمای میکروکلیمای گیاهان افزایش می‌یابد؛ بنابراین احتمالاً در این آزمایش افزایش دمای بافت‌های گیاهی در

شرایط تنش کم‌آبی، سبب کاهش فعالیت این آنزیم و کاهش میزان لینولئیک اسید در شرایط تنش شده است (Schneiter and Miller, 1981; Sezen et al., 2011). نیتروژن عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان و عنصر اصلی افزایش‌دهنده عملکرد است (Camara et al., 2003). رهاسازی مناسب نیتروژن از کود آلی و قابل‌دسترس بودن آن به هنگام نیاز گیاه و همچنین متعادل بودن عناصر غذایی به دلیل حضور عناصر ریزمغذی از یکسو و بهبود شرایط فیزیکی و فرایندهای حیاتی خاک از سوی دیگر ضمن ایجاد بستر مناسب برای رشد و فتوسنتز باعث تداوم رشد گیاه و دیررسی آن و مواجه شدن با دماهای خنک‌تر شده و اسیدهای چرب غیراشباع افزایش یافته است (Arancon et al., 2007).

جدول ۵. اثر برهمکنش سه گانه آبیاری، کود و زئولیت بر صفات کیفی دانه آفتابگردان در سال ۱۳۹۴

Table 5. Interaction effects of irrigation, fertilizer and zeolite on quality traits of sunflower in 2015.

تیمارهای آبیاری (درصد تخلیه رطوبتی) Irrigation (percentage of depleting moisture)	تیمارهای کودی Fertilizer treatments	مقادیر زئولیت (تن در هکتار) Zeolite rate (t ha^{-1})	عملکرد روغن (کیلو گرم در هکتار) Oil yield (kg ha^{-1})	عملکرد پروتئین (کیلو گرم در هکتار) Protein yield (kg ha^{-1})
I_1	F_1	10	705.6d	532.7b
		5	693d	477.8cd
		0	563.2f	376.3f
	F_2	10	852.2b	495c
		5	943.6a	556.1a
		0	758.5c	464.3d
	F_3	10	607e	546.1ab
		5	528.4g	422.9e
		0	472h	335g
I_2	F_1	10	577.5b	286.6ab
		5	489.4d	247.5c
		0	507.4d	258.4c
	F_2	10	645.2a	249c
		5	549c	220.9d
		0	504.9d	196e
	F_3	10	510d	281.1b
		5	450e	282.6ab
		0	430f	294.1a
I_3	F_1	10	421.3a	166.9a
		5	424.4a	144.6ab
		0	369.8ab	129.2b
	F_2	10	378.4ab	116.3bc
		5	345bc	92.6cde
		0	299.8 bc	74.2de
	F_3	10	262.9d	77.2de
		5	251d	96.3cd
		0	153.6e	67.1e

I_1, I_2 و I_3 = به ترتیب آبیاری پس از تخلیه ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک. F_1= ۱۰۰ درصد کود آلی؛ F_2= ۵۰ درصد کود آلی + ۵۰ درصد کود شیمیایی؛ F_3= ۱۰۰ درصد کود شیمیایی. میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

I_1, I_2 and I_3: Irrigation after depleting (40, 60 and 80%) ASW, respectively. F_1, F_2 and F_3: 100% Organic, 50% Organic+ 50% chemical, 100% Chemical, respectively. Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

پالمتیک اسید

در هر دو سال میزان پالمتیک اسید به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، کود و زئولیت در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت. اثر اصلی آبیاری طی هر دو سال نشان داد که با افزایش تنش رطوبتی میزان پالمتیک اسید افزایش می‌یابد به‌طوری‌که به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان پالمتیک اسید در تیمار آبیاری پس از تخلیه ۸۰ و ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک حاصل گردید (جدول ۴). کاهش دسترسی به آب توسط گیاه با کاهش طول دوره رشد گیاه و زودرس شدن آن سبب مصادف شدن رسیدگی دانه با دماهای بیشتر گشته که این امر سبب افزایش میزان اسیدهای چرب اشباع شده است. به‌طور کلی هر اندازه دوره رشد گیاه کوتاه‌تر و مرحله رسیدگی بذر مصادف با گرمای بیشتر باشد مقدار اسیدهای چرب اشباع دانه افزایش می‌یابد؛ که این نتایج با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Flagella et al., 2000; Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013). همچنین به‌ترتیب در سال اول و دوم، میزان پالمتیک اسید در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نسبت به تیمار ۱۰۰ کود آلی (۲۱/۶ و ۲۲/۷ درصد) و تیمار کود تلفیقی (۱۴/۶ و ۱۵/۳ درصد) افزایش نشان داد (جدول ۴). دلیل اصلی کمتر بودن درصد اسیدهای چرب اشباع در تیمارهای آلی نسبت به شیمیایی و تلفیقی، استفاده از کود آلی بوده است که با فراهمی بیشتر نیتروژن تا انتهای فصل سبب افزایش طول دوره رشد گیاه و دیررس شدن آن شده‌اند (Jalilian et al., 2012). اصولاً مصادف شدن رسیدگی دانه با دماهای کمتر باعث کاهش میزان اسیدهای چرب اشباع و افزایش اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود (Zheljazkov et al., 2009). با افزایش مقدار زئولیت در هکتار میزان پالمتیک اسید کاهش یافت، به‌طوری‌که در هر دو سال، بیشترین میزان پالمتیک اسید در تیمار عدم کاربرد زئولیت و کمترین آن در تیمار ۱۰ تن در هکتار زئولیت بود (جدول ۴).

استئاریک اسید

در هر دو سال اثر برهمکنش سه‌گانه آبیاری، کود و زئولیت در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان استئاریک اسید معنی‌دار گردید. در هر دو سال بالاترین میزان استئاریک اسید در تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک، سیستم تغذیه‌ی ۱۰۰ درصد شیمیایی و ۱۰ تن در هکتار زئولیت حاصل شد و با افزایش شدت تنش آبی، میزان استئاریک اسید کاهش یافت (جدول ۴). به‌طور کلی در هر دو سال در هر یک از سیستم‌های آبیاری با حرکت از تیمارهای آلی به شیمیایی و با کاربرد زئولیت اثرات منفی تنش آبی بر میزان استئاریک اسید کاهش یافته است (جدول ۴). کاهش درصد استئاریک اسید به‌دلیل وقوع تنش خشکی است که این نتیجه مشابه نتایج سزن و همکاران (Sezen et al., 2011) است. تیمارهای آلی زئولیتی علاوه بر فراهمی مناسب عناصر برای گیاه، سبب دسترسی بهتر به آب در طول فصل رشد شده‌اند. استفاده از زئولیت در فرایند کمپوست‌سازی کودهای آلی منجر به حفظ و نگهداری بهتر عناصر غذایی گشته و در طول دوره رشد به‌صورت یکنواخت آب و عناصر غذایی را در اختیار گیاه قرار داده و این امر سبب کاهش اثرات مخرب شرایط تنش کم‌آبی شده که نتیجه آن افزایش دوره رسیدگی گیاه و مواجه شدن رسیدگی دانه با دماهای خنک‌تر است (Basun et al., 2008; Munir et al., 2007).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، حداکثر مقدار صفات رویشی (قطر ساقه و ارتفاع) و صفات کیفی (عملکرد پروتئین، عملکرد روغن، اولئیک اسید و لینولئیک اسید) با آبیاری پس از تخلیه‌ی ۴۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک به دست آمد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که تنش رطوبتی باعث افزایش درصد اسیدهای چرب غیراشباع (اولئیک اسید و لینولئیک اسید)، استاریک اسید و کاهش مقدار پالمتیک اسید شد. در همه تیمارهای کودی با کاربرد زئولیت عملکرد روغن افزایش یافت و بیشترین آن‌ها با کاربرد ۱۰۰ درصد کود آلی (۲۸/۲ تن کود گوسفندی + ۱۴/۶ تن کود مرغی در هکتار) همراه با ۱۰ تن در هکتار زئولیت به‌دست آمد. با به‌کارگیری تلفیقی کود آلی (مرغی و گوسفندی) همراه با زئولیت در شرایط عدم تنش، علاوه بر اینکه از هدرروی نیتروژن موجود در توده کودی به شکل قابل‌توجهی جلوگیری می‌شود، استفاده از این کودهای آلی به همراه زئولیت در خاک باعث بهبود اکثر صفات کیفی گیاه آفتابگردان گردید.

منابع

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Dick, R., Dick, L., 2007. Vermicompost tea production and plant growth impacts. Biocycle. 48, 51–52.

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

Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., Mokhtassi Bidgoli, A., 2017b. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. Industrial Crops and Products. 109, 346–357.

Basun, M., Bhadoria, P.B.S., Mahapatra, S.C., 2008. Growth, nitrogen fixation, yield and kernel quality of peanut in response to lime, organic and inorganic fertilizer levels. Bioresource Technology. 99, 4675–4683.

Camara, K.M., Payne, W.A., Rasmussen, P.E., 2003. Long-term effects of tillage, nitrogen, and rainfall on winter wheat yields in the Pacific Northwest. Agronomy Journal. 95, 828–835.

Dwivedi, S.L., Nigam, S.N., Jambunathan, R., Sahrawate, K.L., Nagabhushanam, G.V.S., Raghunath, K., 1993. Effects of genotypes and environments on oil content and oil quality parameters and their correlations in peanut (*Arachis hypogaea* L.). Peanut Science. 20, 84–89.

Farmanber, A., 2011. Effect of integrated mychriza, vermicompost and zeolite on yield and component yield of sunflower. M.Sc. Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. 307p. [In Persian with English Summary].

Fernandez-Martinez, J., Jimenez-Ramirez, J., Dominguez-Gimenez, J., Francis, C.A., Bulter, F.C., King, L.D., 1990. Sustainable agriculture in temperate zones. New York. John Wiley and Sons. U.S.A. 487p.

Flagella, Z., Rotunno, T., Tarantino, E., Di Caterina, R., De Caro, A., 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. European Journal of Agronomy. 17, 221–230.

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H., Farmanbar, E., 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. Soil and Tillage Research. 126, 193–202.

Izquierdo, N.G., Aguirrezabal, L.A.N., 2008. Genetic variability in the response of fatty acid composition to minimum night temperature during grain filling in sunflower. Field Crops Research. 106, 116–125.

Jalilian, J., Modarres Sanavy, S.A.M, Saberali, S.F., Sadat-Asilan, K., 2012. Effects of the combination of beneficial microbes and nitrogen on sunflower seed yields and seed quality traits under different irrigation regimes. Field Crops Research. 127, 26–34.

Lima, D.L.D., Santos, S.M., Scherer, W.H., Schneider, R.J., Duarte, A.C., Santos, E.B.H., Esteves, V.I., 2009. Effect of organic and inorganic amendments on soil organic matter properties. Geoderma 150, 38–45.

Khodaii Joghan, A., 2015. Response eco-physiology of sunflower to nutrient's systems under different irrigation regimes. Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. 150 pp. [In Persian with English Summary].

Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A. Panneerselvam, R., 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 59, 141–149.

Metcalf, L.C., Schmitz, A.A., Pelka, J.R., 1966. Rapid preparation of methyl esters from lipid for gas chromatography analysis. Analytical chemistry. 38, 514-515.

Mokhtassi-Bidgoli A., Aghaalikhani, M., Nassiri-Mahallati, M., Zand, E., Gonzalez-Andujar, J.L., Azari, A., 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.

Munir, M.A., Malik, M.A., Saleem, M.F., 2007. Impact of integration of crop manuring and nitrogen application on growth, Malik, yield and quality of spring planted sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pakistan Journal of Botany. 39, 441-449.

Omidian, A., Siadat, A., Naseri, R., Moradi, M., 2012. Effect of $ZnSo_4$ foliar on oil yield and protein of seed in four canola cultivars. Iranian Journal of Agronomy Science. 14(1), 16-28. [In Persian with English Summary].

Schneiter, A.A., Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stage. Crop Science. 21, 901-903.

Sezen, S.M., Yazar, A., Kapur, B., Teken, A., 2011. Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. Agricultural Water Management. doi: 10.1016/j.agat.2011.02.005.

Shoghi-Kalkhoran, S., Ghalavand, A., Modarres-Sanavy, S.A.M. Mokhtassi- Bidgoli, A., Akbari, P., 2013. Integrated Fertilization Systems Enhance Quality and Yield of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Agriculture Sciences and Technology. 15, 1343-1352.

Zheljazkov, V.D., Vick, B.A., Ebelhar, M.W., Buehring, N., Baldwin, B., Astatkie, T., Miller, J.F., 2009. Yield, oil content, and composition of sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown at multiple locations in Mississippi. Agronomy Journal. 100, 635–642.