نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹٤
http://jopp.gau.ac.ir

تأثیر کاربرد زئولیت بر عملکرد کمی و کیفی سویا در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی

مائده آگوشی[۱]، *مهدی قاجار سپانلو[۲] و محمدعلی بهمنیار[۳]

[۱]کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۳]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱٦ ؛ تاریخ پذیرش:۹۳/۱۱/۱٦

چکیده

سابقه و هدف: تنش خشکی هر ساله خسارت‌های هنگفتی به محصولات کشاورزی در جهان به‌خصوص ایران با اقلیمی خشک و نیمه‌خشک وارد می‌نماید. بنابراین کاربرد موادی مانند زئولیت در خاک می‌تواند اثر سوء تنش رطوبتی را کاهش دهد اما میزان تأثیر زئولیت بر افزایش ظرفیت ذخیره‌ای آب در خاک متفاوت می‌باشد و به عوامل متعددی از قبیل شرایط فیزیکی خاک (مانند بافت و تخلخل) و میزان، اندازه و نوع زئولیت مصرفی بستگی دارد. در نتیجه این پژوهش با هدف تعیین میزان تأثیر کاربرد زئولیت در شرایط تنش رطوبتی و عدم تنش رطوبتی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه سویا در دو خاک با بافت متفاوت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر مصرف زئولیت بر عملکرد کمی و کیفی گیاه سویا تحت شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی در دو نوع خاک با بافت متفاوت، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده بلوک کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و ٤ تکرار در ٤۸ گلدان در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. در این آزمایش سطوح مختلف آبیاری در دو سطح (آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده و آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده) به‌عنوان عامل اصلی و عاملهای فرعی شامل نوع بافت خاک (لوم شنی و رس سیلتی) و مقادیر زئولیت در سه سطح (۰، ٤ و ۸ گرم در کیلوگرم خاک) در نظر گرفته شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، گیاه برداشت شد و عملکرد و اجزای عملکرد سویا اندازه‌گیری شد.

*مسئول مکاتبه: sepanlu@yahoo.com

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تنش رطوبتی سبب کاهش تعداد غلاف، تعداد دانه، وزن هزار دانه، درصد روغن دانه و عملکرد دانه شد اما درصد پروتئین دانه را افزایش داد. کاربرد زئولیت در خاک سبب افزایش تعداد غلاف، تعداد دانه، وزن هزار دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد دانه گردید ولی بر درصد روغن دانه اثری نداشت. با توجه به اثرات متقابل تیمارهای اعمال شده، اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و نوع بافت خاک نشان داد که اثرات نامطلوب اعمال تنش رطوبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا در خاک با بافت لوم شنی بیشتر از خاک با بافت رس سیلتی بود. همچنین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف زئولیت بر عملکرد دانه نشان داد که کاربرد ۸ گرم زئولیت نسبت به عدم مصرف آن در شرایط آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده سبب ٦ درصد افزایش و در شرایط آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده، عملکرد دانه را ۱۳ درصد افزایش داد.

نتیجه‌گیری: کاربرد زئولیت در سطوح مختلف رطوبتی سبب افزایش معنی‌داری در عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا شد. مصرف ۸ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک علاوه بر تولید عملکرد بالاتر می‌تواند در خاک‌هایی با بافت سبک سبب حفظ و نگهداری رطوبت خاک شود و از کاهش عملکرد جلوگیری نماید.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، زئولیت، سویا، عملکرد

مقدمه

سویا (*Glycine max* L.) مهم‌ترین گیاه روغنی است و در بین گیاهان روغنی بیشترین سطح زیر کشت را در جهان دارد. در دو دهه اخیر کم آبی باعث شده است که میزان عملکرد گیاهان زراعی با محدودیت مواجه شود زیرا یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی تعیین کننده عملکرد دانه، وضعیت رطوبتی خاک است. خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای محیطی است که روی اکثر مراحل رشد گیاه مانند مرحله جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و هم‌چنین ساختار اندام و فعالیت آن‌ها آثار مخرب و زیان‌باری وارد می‌سازد. تنش خشکی هر ساله خسارت‌های هنگفتی به محصولات کشاورزی در جهان به‌خصوص ایران با اقلیمی خشک و نیمه‌خشک وارد می‌نماید. بنابراین کاربرد موادی مانند زئولیت در خاک می‌تواند اثر سوء تنش رطوبتی را کاهش دهد. استفاده از زئولیت به‌منظور افزایش کارآیی مصرف آب و افزایش عملکرد گیاهان، یک مسئله مهم در حرکت به سمت کشاورزی پایدار می‌باشد. زئولیت‌ها، خانواده بزرگی از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی را تشکیل می‌دهند و معمولاً به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند (۵). از نظر کریستال شناسی دارای فرمول سلول واحدی به‌صورت زیر می‌باشند:

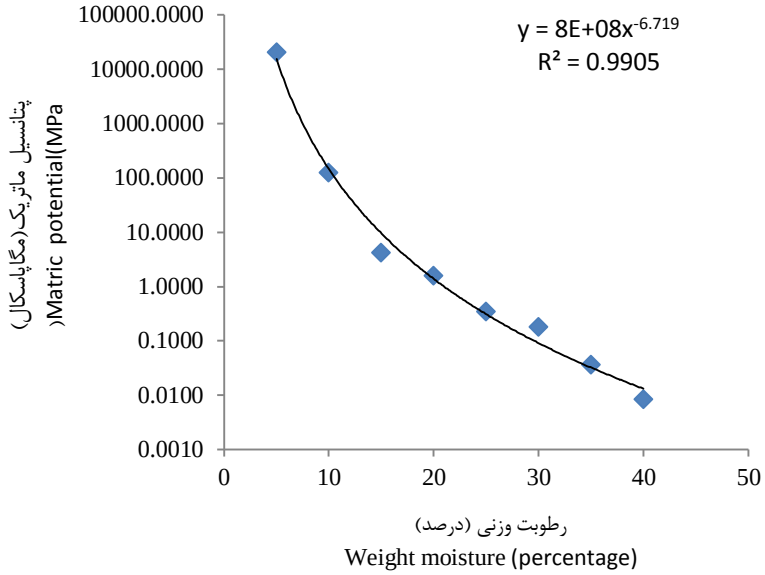
$$Mx/n\ [(Al_2O_3)x(SiO_2)y].wH_2O$$

که در آن M کاتیون قلیایی خاکی با ظرفیت n است و w تعداد مولکول‌های آب و (x+y) بیانگر تعداد چهار وجهی‌های سلول واحد می‌باشد (۸). زئولیت‌ها ساختمان سه بعدی نامحدود دارند که ساختمان کریستالی آن‌ها مشابه کندوی زنبور عسل است و قابلیت نگهداری مقادیر زیاد آب در کانال‌های ساختمان خود را دارند. زئولیت با خاصیت جذب شدید آب قادر است آب موجود در خاک را تا حد اشباع جذب نموده و آن را برای مدت طولانی درون شبکه خود نگهداری نماید و آب موجود در شبکه زئولیت به‌تدریج جذب گیاه می‌شود. لازم به‌ذکر است که میزان تأثیر زئولیت بر افزایش ظرفیت ذخیره‌ای آب در خاک متفاوت می‌باشد و به عوامل متعددی از قبیل شرایط فیزیکی خاک (مانند بافت و تخلخل) و میزان، اندازه و نوع زئولیت مصرفی بستگی دارد (۱۶). مهمترین عناصر غذایی که زئولیت‌ها می‌توانند در فراهمی طولانی مدت آن‌ها مؤثر باشند عبارت است از نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و عناصر ریزمغذی. زئولیت‌ها این عناصر را در محیط ریشه نگه می‌دارند و هنگامی‌که گیاه به‌این عناصر احتیاج دارد، عناصر از زئولیت آزاد شده و مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرند (۲۳).

باتوراک و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که کاربرد زئولیت در خاک سبب افزایش چشمگیری بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا شد (٤). گوریک و همکاران (۲۰۰۹) اثر زئولیت بر عملکرد برنج در مزرعه را بررسی نمودند و نشان دادند که مصرف زئولیت سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد برنج گردید و عملکرد برنج با مصرف زئولیت در مقایسه با عدم مصرف زئولیت حدود ۱۱ درصد افزایش یافت (٦). ایپولیتو و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثر افزودن زئولیت به خاک بر عملکرد ذرت در گلخانه پرداختند و بیان کردند که مصرف زئولیت نسبت به عدم مصرف آن سبب افزایش در عملکرد ذرت شد (۹). نوذری و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر کاربرد زئولیت در شرایط تنش رطوبتی نشان دادند که اعمال تنش رطوبتی سبب کاهش رشد و عملکرد سویا گردید (١٤). همچنین نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت سبب افزایش عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری طبیعی شد و کاربرد زئولیت در خاک در شرایط اعمال تنش رطوبتی اثرگذاری بیشتری نسبت به شرایط آبیاری طبیعی داشت. با توجه به اثرات سودمند زئولیت، هدف این پژوهش تعیین میزان تأثیر کاربرد زئولیت در شرایط تنش رطوبتی و عدم تنش رطوبتی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه سویا در دو خاک با بافت متفاوت بود.

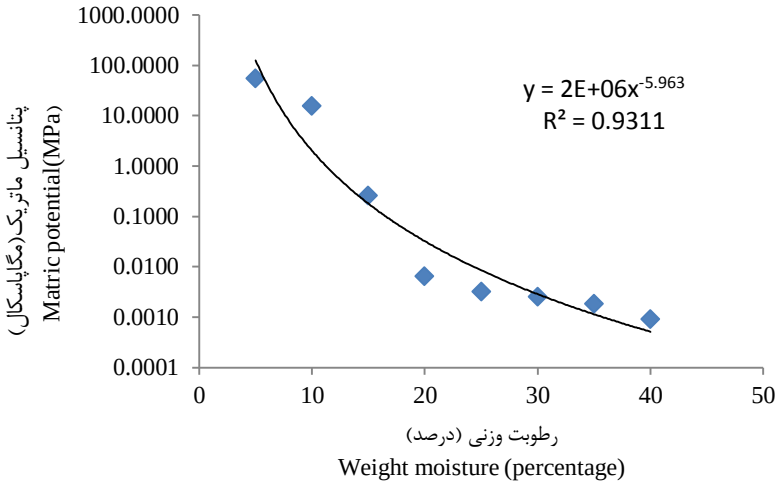
مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر مصرف مقادیر مختلف زئولیت و تنش رطوبتی در دو خاک با بافت متفاوت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا رقم *JK* آزمایشی به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ٤ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا گردید. در این تحقیق آبیاری در دو سطح (آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده و آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده) به‌عنوان عامل اصلی و نوع بافت خاک در دو سطح (خاک با بافت رس سیلتی و خاک با بافت لوم شنی) به‌عنوان عامل فرعی و مصرف زئولیت در سه سطح (صفر، ٤ و ۸ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. برای آماده سازی گلدان‌ها، ابتدا ۱۰ کیلوگرم خاک و سطوح مختلف زئولیت بر اساس تیمارها، به گلدان‌ها منتقل گردید و طبق آزمون خاک، کودهای شیمیایی اوره، سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل، قبل از کشت به خاک گلدان‌ها افزوده شد. در هر گلدان ۱۰ بذر سویا کاشته و پس از سبز شدن به ۳ بوته تنک گردید. پس از پنج برگی شدن، تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ و ۵۰ درصد آب قابل استفاده بر اساس داده‌های به‌دست آمده از منحنی رطوبتی دو نوع خاک (شکل ۱ و ۲)، اعمال گردید.



شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبتی خاک رس سیلتی.

Figure 1. Moisture characteristic curve of silty clay soil.



شکل ۲- منحنی مشخصه رطوبتی خاک لوم شنی.

Figure 2. Moisture characteristic curve of sandy loam soil.

ابتدا میزان آب قابل استفاده (AW) از تفاضل رطوبت در نقطه ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به‌دست آمد و گلدان‌ها هر روز وزن شد و هنگامی‌که ۲۵ و ۵۰ درصد آب قابل استفاده تخلیه می‌شد به گلدان‌ها تا رسیدن به حد رطوبت ظرفیت مزرعه آب اضافه می‌شد (جدول ۱ و ۲). در پایان دوره رشد برداشت انجام شد و صفات مدنظر مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار آماری MSTAT-C استفاده گردید و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

جدول ۱- درصد رطوبت وزنی خاک در نقطه FC و PWP.

Table 1. Percentage of soil weight moisture at FC point and PWP

درصد رطوبت در PWP Percentage of moisture at PWP	درصد رطوبت در نقطه FC Percentage of moisture at FC	خاک Soil
20	35.3	رس سیلتی Silty clay
10.7	20.2	لوم شنی Sandy loam

جدول ۲- مقادیر آب مصرفی (سانتی‌متر مکعب) در طول دوره رشد در دو نوع خاک و تیمارهای مختلف تخلیه آب قابل استفاده و مقادیر مختلف مصرف زئولیت.

Table 2. Amount of water usage (cm^3) during the growing season in two kinds of soil and different treatments of available water discharge and different amount of using Zeolite.

۸ گرم زئولیت 8 g of Zeolite	٤ گرم زئولیت 4 g of Zeolite	عدم کاربرد زئولیت Non use of Zeolite	تیمار Treatment نوع بافت خاک Soil texture	سطوح مختلف آبیاری Different levels of irrigation
16550	17800	18900	رس سیلتی Silty clay	آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده Irrigation based on 25% discharge of available water
8320	9150	10200		آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده Irrigation based on 50% discharge of available water
20450	21700	22900	لوم شنی Sandy loam	آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده Irrigation based on 25% discharge of available water
10550	11100	12800		آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده Irrigation based on 50% discharge of available water

نتایج و بحث

عملکرد دانه در گلدان: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳) که با نتایج پژوهش‌های کرناک و همکاران (۲۰۰۸) و روح الامین و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد (۱۷ و ۱۰). تنش کمبود آب، عملکرد سویا را به واسطه کاهش تعداد غلاف، وزن دانه و وزن هزار دانه، کاهش داد و بیشترین عملکرد زمانی به‌دست آمد که شرایط محیطی از جمله رطوبت قابل دسترس در تمامی مراحل رشد گیاه در حد مطلوب باشد. کاهش جذب آب در اثر کاهش رشد ریشه، کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و کاهش سرعت سوخت و ساز کربن، از عوامل مؤثر در کاهش عملکرد در شرایط تنش کمبود آب شناخته شده‌اند (۷).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (درجه آزادی و میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا.

Table 3. Results of analysis of variance (degree of freedom and mean square) yield and yield component of soybean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات Mean Square						
		عملکرد دانه در گلدان Yield of seed in pot	تعداد غلاف در گلدان Number of pod in pot	تعداد دانه در گلدان Number of seed in pot	وزن هزار دانه Thousand seed weight	درصد پروتئین دانه Seed protein percentage	درصد روغن دانه Seed oil percentage
تکرار Replication	3	0.889 ns	29.299 ns	65.576 ns	28.239 ns	3.890 ns	1.645 ns
آبیاری Irrigation	1	41.843**	2625.521**	22750.521**	1288.784**	161.333**	183.262**
خطا Error	3	0.478	6.076	15.687	27.054	1.501	4.310
خاک Soil	1	109.457**	1740.021**	6936.021**	534.334**	35.466**	2.808 ns
آبیاری× خاک Irrigation * Soil	1	7.477**	105.021**	475.021**	162.509*	53.299**	42.922**
زئولیت Zeolite	2	3.579**	70.583**	159.521*	499.846**	49.709**	4.011 ns
آبیاری× زئولیت Irrigation* Zeolite	2	1.587*	0.583 ns	65.396 ns	8.432 ns	0.95 ns	0.404 ns
خاک× زئولیت Zeolite* Soil	2	ns0.052	2.333 ns	53.521 ns	17.642 ns	3.145 ns	2.679 ns
خاک× آبیاری×زئولیت Soil*Irrigation*Zeolite	2	1.121 ns	8.583 ns	5.646 ns	11.551 ns	0.442 ns	2.182 ns
خطا Error	30	0.371	11.821	41.699	41.512	2.449	4.085
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.17	7.38	7.58	7.01	4.16	8.07

**، * و ns به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم وجود اثر معنی‌دار می‌باشند.

**, * and ns represent significant effect at $P<0.01$, $P<0.05$ and no significant effect, respectively.

اثر نوع بافت خاک بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. همچنین اثر سطوح مختلف زئولیت نیز بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳) که با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های نوذری و همکاران (۲۰۱۲) و محمودآبادی (۲۰۱۰) مطابقت داشت (۱۲ و ۱٤).

مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد زئولیت بر عملکرد دانه نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار کاربرد ۸ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک می‌باشد که نسبت به تیمار عدم کاربرد زئولیت ۱۱ درصد افزایش نشان داد. همچنین کاربرد ٤ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک نسبت به تیمار عدم کاربرد زئولیت سبب افزایش ۵ درصدی افزایش عملکرد دانه شد (جدول ٤). آلبرتو و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که زئولیت با بهبود کارآیی مصرف عناصر غذایی از طریق قابلیت جذب فسفر، آمونیوم و نیترات و همچنین با کاهش آبشویی و اتلاف کاتیون‌های تبادلی، به‌خصوص پتاسیم سبب افزایش عملکرد دانه گردید (۱).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و نوع بافت خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه.

Table 4. Mean comparisons of interaction effects of different irrigation levels and soil texture on yield and yield components.

تیمار Treatment		عملکرد دانه در گلدان (گرم) Yield of seeds in pot (g)	تعداد غلاف در گلدان Number of pod in pot	تعداد دانه در گلدان Number of seed in pot	وزن هزار دانه (گرم) Thousand seed weight (g)	درصد پروتئین دانه Seed protein percentage	درصد روغن دانه Seed oil percentage
سطوح مختلف آبیاری Different levels of irrigation	نوع بافت خاک Soil texture						
آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده Irrigation based on 25% discharge of available water	رس سیلتی Silty clay	11.13 a	60 a	122.2 a	102.1 a	35.97 b	28.20 a
آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده Irrigation based on 50% discharge of available water		7.52 b	49 b	91.83 b	93.07 b	41.36 a	26.83 b
آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده Irrigation based on 25% discharge of available water	لوم شنی Sandy loam	9.68 a	43 a	83.72 a	94.05 a	35.23 b	24.81 a
آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده Irrigation based on 50% discharge of available water		6.14 b	33 b	58.54 b	84.39 b	39.53 a	22.40 b

در هرستون متعلق به هر بافت خاک، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه بر طبق آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column belonging to the soil texture, means with at least one similar letter have no significant difference at 0.05 level based on LSD Test.

اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و نوع بافت خاک بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در خاک با بافت لوم شنی، آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده سبب کاهش ۳٦ درصدی عملکرد دانه نسبت به آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده شد. این در حالی است که در خاک با بافت رس سیلتی، آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده بر عملکرد دانه معنی‌دار شد و آن را ۳۲ درصد کاهش داد (جدول ٤). با وجود یکسان بودن شرایط اعمال تنش رطوبتی برای هر دو نوع بافت خاک، در خاک لوم شنی به‌دلیل سبک بودن بافت خاک، حجم بالای خلل و فرج درشت و سرعت بالای تخلیه رطوبتی، اثر سوء اعمال تنش رطوبتی بر عملکرد دانه نسبت به خاک با بافت رس سیلتی بیشتر مشاهده شده است.

اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد زئولیت بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳) که با نتایج پژوهش‌های نوذری و همکاران (۲۰۱۲) هم‌خوانی داشت (١٤). بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده و کاربرد ۸ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک رس سیلتی با ۹/٦۲ گرم و کمترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده و عدم کاربرد زئولیت در خاک لوم‌شنی با ۷/۱٦ گرم مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت در شرایط آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده در مقایسه با آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده، تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه داشت (جدول ٦). به‌نظر می‌رسد دلیل این امر، خاصیت زئولیت در جذب آب می‌باشد که آب موجود در خاک را تا حد اشباع جذب نموده و آن را برای مدت طولانی درون شبکه خود نگهداری می‌کند و سپس آب موجود در شبکه خود را به‌تدریج در دسترس گیاه قرار می‌دهد.

تعداد غلاف در گلدان: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری بر تعداد غلاف در گلدان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). با توجه به این‌که در این پژوهش تنش رطوبتی پس از مرحله پنج برگی اعمال شد، بنابراین به‌نظر می‌رسد که یکی از دلایل کاهش تعداد غلاف در گلدان، ناشی از ریزش گل و غلاف می‌باشد. غلاف در گیاه تأثیر مستقیمی بر عملکرد دانه دارد. محلوجی و همکاران (۲۰۰۰) بیان نمودند که علت روند کاهشی تعداد غلاف در شرایط تنش کمبود آب را می‌توان به تشکیل تعداد گل و غلاف کمتر و افزایش میزان ریزش گل و غلاف در فواصل زیاد آبیاری نسبت داد (۱۱). اثر نوع بافت خاک بر تعداد غلاف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. همچنین اثر سطوح مختلف زئولیت نیز بر تعداد غلاف اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳)، که با نتایج مطالعات محمودآبادی (۲۰۱۰) مطابقت داشت (۱۲).

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر ساده زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه

Table 5. Mean comparisons of effects of Zeolite on yield and yield components

درصد پروتئین دانه Seed protein percentage	وزن هزاردانه (گرم) Thousand seed weight (g)	تعداد دانه در گلدان Number of seed in pot	تعداد غلاف در گلدان Number of pod in pot	عملکرد دانه در گلدان (گرم) Yield of seeds in pot (g)	تیمار Treatment
35.78 c	85.90 c	81.69 b	40 b	8.03 c	عدم کاربرد زئولیت Non use of zeolite
37.76 b	92.85 b	86.25 ab	47 a	8.47 b	٤ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک 4g of zeolite (g/kg soil)
39.29 a	96.96 a	87.85 a	46 a	8.97 a	٨ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک 8g of zeolite (g/kg soil)

در هرستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه بر طبق آزمون LSD، در سطح احتمال ٥ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column means with at least one similar letter have no significant difference at 0.05 level based on LSD Test.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد زئولیت بر عملکرد دانه.

Table 6. Mean comparisons of interaction effects of different levels of irrigation and Zeolite usage on yield and yield components.

عملکرد دانه (گرم در گلدان) Yield of seeds in pot (g)		تیمار Traetment
	سطوح مختلف کاربرد زئولیت (گرم در یک کیلوگرم خاک) Different levels of Zeolite usage	سطوح مختلف آبیاری different levels of irrigation
9.12a	0	آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده Irrigation based on 25% discharge of available water
9.46 a	4	
9.62a	8	
7.16c	0	آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده Irrigation based on 50% discharge of available water
7.71b	4	
8.13a	8	

در هرستون آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ و ۵۰ درصد آب قابل استفاده، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه بر طبق آزمون LSD، در سطح احتمال ٥ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column belonging to discharge of 25% and 50% AW, means with at least one similar letter have no significant difference at 0.05 level based on LSD Test.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیشترین تعداد غلاف مربوط به تیمار کاربرد ٤ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک با تعداد ٤٧ غلاف می‌باشد که نسبت به تیمار عدم کاربرد زئولیت با تعداد ٤٠ عدد، صفت مذکور ١٧ درصد افزایش نشان داد (جدول ٥). این مطلب حاکی از این است که کاربرد زئولیت در خاک سبب ایجاد تعادل رطوبتی و حفظ عناصر غذایی در محیط ریشه می‌شود و در نتیجه سبب افزایش در اجزای عملکرد گیاه خصوصا تعداد غلاف در گلدان می‌گردد.

اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و نوع بافت خاک بر تعداد غلاف در گلدان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ٣). مقایسه میانگین اثر متقابل این دو عامل بر صفت مورد بحث نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ٢٥ درصد آب قابل استفاده و خاک با بافت رس سیلتی با تعداد ٦١ غلاف و کمترین نیز در تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ٥٠ درصد آب قابل استفاده و خاک با بافت لوم شنی با تعداد ٣٣ غلاف مشاهده شد (جدول ٤).

تعداد دانه در گلدان: از نظر تعداد دانه در گلدان بین آبیاری مطلوب و تنش رطوبتی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده گردید (جدول ٣)، که از جمله دلایل آن، کاهش تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف‌های پر است. تنش رطوبتی از طریق ایجاد محدودیت در تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای تولید دانه‌ها و ریزش اندام‌های زایشی، تعداد دانه در غلاف را تحت تأثیر قرار می‌دهد (٢١).

اثر نوع بافت خاک بر تعداد غلاف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. ولیکن اثر سطوح مختلف زئولیت بر تعداد غلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ٣). مقایسه میانگین کاربرد مقادیر زئولیت بر تعداد دانه نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد دانه به‌ترتیب مربوط به تیمار کاربرد ٨ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک با تعداد ٨٧/٧٥ دانه و تیمار عدم کاربرد زئولیت با تعداد ٨١/٦٩ دانه می‌باشد (جدول ٥). صفایی و همکاران (٢٠٠٧) بیان نمودند که مصرف زئولیت نسبت به عدم مصرف آن، برتری معنی‌داری را بر تعداد دانه کلزا نشان داد و سبب افزایش ١٠ درصدی تعداد دانه کلزا شد (١٩)، که با پژوهش‌های انجام شده توسط پازوکی (٢٠١٠) مطابقت داشت (١٥).

اثر سطوح مختلف آبیاری و نوع بافت خاک بر تعداد دانه در گلدان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ٣). با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول ٣، آبیاری بر اساس تخلیه ٥٠ درصد آب قابل استفاده در خاک با بافت لوم شنی سبب کاهش ٣٠ درصدی تعداد دانه در گلدان شد،

در صورتی‌که آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده در خاک با بافت رس سیلتی بر تعداد دانه در گلدان ۲٤ درصد کاهش نشان داد.

وزن هزاردانه: نتایج حاصل از بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف آبیاری بر وزن هزار دانه تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که در وضعیت آبیاری مطلوب انتقال بسیار مناسبی از فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها صورت می‌گیرد ولی با بروز تنش کم‌آبی شاهد کاهش چشمگیری از ذخیره این فرآورده‌ها در دانه هستیم. با توجه به کاهش سایر اجزای عملکرد می‌توان چنین اظهار نظر کرد که دلیل کاهش وزن هزاردانه کاهش میزان فتوسنتز است نه تغییر معنی‌دار در تسهیم مواد به دانه‌ها، که از مهمترین دلایل آن کاهش دوره پر شدن دانه و کاهش میزان آنزیم‌های فتوسنتزی می‌باشد (۲۲).

از نظر وزن هزاردانه بین دو نوع بافت خاک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده گردید و تأثیر کاربرد زئولیت نیز بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). اثر ساده کاربرد زئولیت بر وزن هزار دانه نشان می‌دهد که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار کاربرد ۸ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک با وزن ۹٦/۹٦ گرم می‌باشد که نسبت به تیمار عدم کاربرد زئولیت با وزن ۸۵/۹۰ گرم، بر وزن هزار دانه ۱۲ درصد افزایش نشان داد. همچنین با افزایش مصرف زئولیت از صفر به ٤ گرم در یک کیلوگرم خاک، وزن هزار دانه در گلدان از ۸۵/۹۰ به ۹۲/۸۵ گرم و به مقدار ۸ درصد افزایش یافت (جدول ۵). شیرانی راد و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند کاربرد زئولیت در خاک اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد داشت و کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت نسبت به عدم کاربرد آن، وزن هزار دانه را ۲۳ درصد افزایش داد (۲۰).

اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و نوع بافت خاک بر وزن هزار دانه در گلدان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). به صورتی‌که آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده در خاک با بافت لوم شنی سبب کاهش ۱۰ درصدی در وزن هزار دانه شد، در صورتی‌که در خاک با بافت رس سیلتی بر وزن هزار دانه ۸ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳).

درصد پروتئین دانه: نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری بر درصد پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). همچنین اعمال تنش رطوبتی سبب افزایش درصد

پروتئین دانه شد. امینی‌فر و همکاران (۲۰۱۳) بیان نمودند که در شرایط تنش کمبود آب، با کوچک شدن اندازه دانه، پروتئین حجم بیشتری از فضای دانه را نسبت به شرایط غیر تنش اشغال نموده و اعمال تنش رطوبتی سبب افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود (۲).

همان‌طور که نتایج نشان داد که اثر کاربرد زئولیت بر درصد پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین و کمترین درصد پروتئین دانه به‌ترتیب مربوط به تیمار کاربرد ۸ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک با ۳۹/۲۹ درصد و در تیمار عدم کاربرد زئولیت با ۳۵/۷۸ درصد می‌باشد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد به‌کار بردن زئولیت از طریق جلوگیری از اتلاف نیتروژن چه در توده کودی و یا در خاک توانسته نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار دهد و با افزایش مصرف نیتروژن، درصد پروتئین دانه را افزایش دهد. نتایج بررسی اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و نوع بافت خاک بر درصد پروتئین دانه نشان داد که اثر متقابل این دو عامل بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳).

درصد روغن دانه: طبق نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس، سطوح مختلف آبیاری بر درصد روغن دانه اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد. اما اثر نوع بافت خاک و کاربرد زئولیت بر درصد روغن دانه معنی‌دار نگردید. اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و نوع بافت خاک نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). سبکدست و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که کمبود آب در مراحل مختلف رشد سبب کاهش درصد روغن دانه سویا می‌گردد (۱۸) که با نتایج به‌دست آمده از مطالعات اشکانی و همکاران (۲۰۰۷) بر روی گیاه گلرنگ هم‌خوانی داشت (۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و نوع بافت خاک نشان داد که بیشترین درصد روغن دانه در تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده و خاک با بافت رس سیلتی با مقدار ۲۸/۲۰ درصد و کمترین آن در تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده و خاک با بافت لوم شنی با مقدار ۲۲/٤۰ درصد مشاهده شد. همچنین درصد روغن دانه در تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده در مقایسه با تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده، در خاک با بافت لوم شنی، ۹ درصد و در خاک با بافت رس سیلتی، ٤ درصد کاهش یافت که دلیل این امر افزایش اثرات سوء ناشی از تنش رطوبتی در خاک لوم شنی بود (جدول ٤).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج، کاربرد زئولیت در سطوح مختلف رطوبتی سبب افزایش معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا شد. مصرف ۸ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک علاوه بر تولید عملکرد بالاتر می‌تواند در خاک‌هایی با بافت سبک سبب حفظ و نگهداری رطوبت خاک شود و از کاهش عملکرد جلوگیری نماید. با توجه به وجود ذخائر عظیم زئولیت در نقاط مختلف کشور و قیمت اقتصادی مناسب آن و همچنین وجود مسئله کم آبی در کشور و ارزش گیاه روغنی سویا، کاربرد ماده معدنی زئولیت می‌تواند هم باعث حفظ هرچه بهتر آب شده و هم سبب افزایش تولیدات گیاهی شود.

منابع

1. Alberto, C., Oliviera, P., and Melomonte, M. 2010. Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia.
2. Aminifar, J., Mohsen Abadi, Gh., Beigloii, M.H., and Sami Zadeh, H. 2013. Effect of deficit irrigation on yield, yield components and water productivity of Soybean T. 215 cultivar. Iranian Irrig. Water Engin. 3(11):11-18. (In Persian)
3. Ashkani, J.H., Pakniyat, Y., Emam, M., Assad, T., and Bahrami, M.J. 2007. The Evaluation and relationships of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under stress and Non-stress water Regimes. JAST. 9: 267-277. (In Persian)
4. Butorac, A., Filipan, T., Basic, F., Butorac, J., Mesic, M., and Kisic, I. 2002. Crop response to the application of special natural amendments based on zeolite tuff. Rostlinna Vyroba. 48: 117-124.
5. Christie, T., Brathwaite, B., and Thompson, B. 2003. Mineral commodity report zeolite. Institute of geological and nuclear science Ltd, New Zealand Mining. 31: 76-112.
6. Gevrek, M., Tatar, O., Yagmur, B., and Ozaydin, S. 2009. The effect of clinoptilolite application on growth and nutrient ions content in rice grain. Turk. J. Field Crops. 14: 79-88.
7. González rodríguez, A.M., Martín olivera, A., Morales, D., and Jiménez, M.S. 2005. Physiological responses of tagasaste to a progressive drought in its native environment on the Canary Islands. Environ. Exp. Bot. 53: 195-204.
8. He, Z.L. 2002. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. Plant Soil. 247: 253-60.
9. Ippolito, J.A., Tarkelson, D.D., and Lehrsch, G. 2011. Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture and corn growth. Soil Sci. 176: 136-142.

10. Kirnak, H., Dogan, E., Alpaslan, M., Celik, S., Boydak, E., and Copur, O. 2008. Drought stress imposed at different reproductive stages influences growth yield and seed composition of soybean. Philippine Agri. Sci. 91: 261-268.
11. Mahloji, M., Mosavie, S.F., and Karimi, M. 2000. Effect of Water Stress and Planting Date on Yield and Yield Components of pinto beans. Sci. Technol. J. Agri. Nat. Res. 4(1):57-67. (In Persian)
12. Mahmoodabadi, M.R. 2010. Experimental study on the effect of natural zeolite on lead toxicity, growth, nodulation and chemical composition of soybean. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 41(16): 1896-1092. (In Persian)
13. Mahmoodabadi, M.R., Ronaghi, A.M., Khayyat, M., and Hadarabadi, G.R. 2009. Effect of zeolite and cadmium on growth and chemical composition of soybean (*Glysin max* L.). Trop. Subtrop. Agroecosys. 10(3): 67-77.
14. Nozari, R., Tohidi, H.R., and Mashhadi, M. 2012. Effects of zeolite and cattle manure on growth, yield and yield components of soybean grown under water deficit stress. Res. Crops. 13(3): 920-927.
15. Pazoki, A.R. 2010. Effect of zeolit amounts and drought stress on yield, yield components and harvest index of rapeseed (*Brassica napus* L.) in Shahr-e-Rey region. J. of Agron. 2(2): 1-16. (In Persian)
16. Polite, E., Karuca, M., Demire, H., and Onus, N. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. J. Fruit Ornam. Plant Res. 12: 183-189.
17. RuhulAmin, A.K.M., Jahan, S.R.A., and Hasanuzzaman, M. 2009. Yield components and yield of three soybean varieties under different irrigation management. Am.-Eur J. Sci. Res. 1(4):40-46.
18. Sabokdast, M., Zeinali, H., and Khialparast, F. 2008. Effect of yield and is components on seed oil content, protein content and fatty acid composition in soybean (*Glycine max* L). Iran. J. Field Crop Sci. 39(1): 211-220. (In Persian)
19. Safaie, R., Shirani Rad, A., Mir Hadi, M.G., and Delkhosh, B. 2007. Zeolite effects on agronomic traits of two canola varieties under drought stress. J. Plant Ecosystem. 15: 63-79. (In Persian)
20. Shirani rad, A., Taherkhani, T., Moradi Aghdam, A., Nazari Golshan, A., and Skandari, K. 2011. Effect of amount of Nitrogen and Zeolite on agronomic traits of canola under drought stress. J. Crop Ecophysiol. 3(2): 125-135. (In Persian)
21. Sinclair, T.R., Messina, C.D., Beatty, A., and Samples, M. 2010. Assessment across the United States of the benefits of altered soybean drought traits. Agron. 102: 475-482.
22. Singh, K.B., and Saxenav, M.C. 1991. Studies on drought tolerance in legume program. Annual report, ICARDA.
23. Stylianou, M., Inglezakis, V., and Loizidou, M. 2004. Effects of zeolite addition on soil chemistry open field experiments. Protec. Restora. Enviorn. 11: 14-21.