

اثر متقابل زئولیت کلینوپتیلولیت و تنش شوری در مراحل زایشی بر چهار رقم کلزا

وحید اسماعیل زاده^۱، حسین زاهدی^۲، یونس شرقی^۳، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۴*}، سید علی علوی اصل^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، تهران، ایران

۲. استادیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.

۳. استاد فیزیولوژی گیاهان زراعی گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه پیام نور.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۱۰

چکیده

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان جهت تولید روغن خوراکی در جهان بوده و شوری نسبی آب برخی از مناطق ایران از عوامل افت عملکرد این گیاهان است. زئولیت‌ها گروهی از کانی‌های متخلخل طبیعی هستند که با ساختمان کریستالی خود قادرند تا ۷۰ درصد حجم خود آب جذب کنند که ناشی از ساختمان بلوری و تخلخل بالای آن‌ها می‌باشد. اخیراً تحقیقات گسترده‌ای درباره تأثیر زئولیت در گیاهان زراعی انجام شده است و در این میان بررسی اثر متقابل این ماده بر عملکرد کلزا ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۲ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش شوری در سه سطح شاهد، شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد زئولیت در دو سطح شاهد و ۸ تن در هکتار و ارقام کلزا در چهار سطح زرقام، ساری گل، هایولا و RGS بودند. در انتها صفاتی از قبیل عملکرد دانه، اجزای عملکرد، عملکرد و درصد روغن و شاخص سبزیگی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد اثر رقم بر تمامی صفات مورد بررسی به جز شاخص برداشت معنی‌دار بوده و هیچ‌یک از تیمارهای آزمایشی اثر معنی‌داری بر درصد روغن نداشتند. صفات تعداد دانه در غلاف و شاخص برداشت تحت تأثیر تنش شوری قرار نگرفتند و زئولیت بر عملکرد دانه، تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف، شاخص برداشت و شاخص سبزیگی معنی‌داری شد. نتایج نشان داد کاربرد زئولیت در سطوح شوری صفر و تنش متوسط می‌تواند عملکرد دانه رقم RGS را ۲۶ و ۹ درصد افزایش دهد. رقم ساریگل در شرایط بدون تنش و رقم زرقام در شرایط تنش شدید با اختلاف ۲۲ درصد به ترتیب بیش‌ترین و کمترین وزن هزار دانه را داشتند. رقم ساریگل در شرایط شاهد تنش و زئولیت با اختلاف ۶۶ درصد نسبت به رقم زرقام در شرایط تنش شدید و شاهد زئولیت بیشترین عملکرد روغن را دارا بود. همچنین رقم زرقام در شرایط تنش متوسط و عدم کاربرد زئولیت مقادیر شاخص سبزیگی بیشتری نسبت به همان رقم در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد زئولیت دارد.

واژه‌های کلیدی: ارقام کلزا، درصد روغن، شاخص سبزیگی، عملکرد دانه

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان جهت تولید روغن خوراکی در ایران و جهان است. از طرفی شوری نسبی آب آبیاری برخی از مناطق ایران یکی از عوامل منفی در زراعت گیاهان می‌باشد. طی آزمایش‌های جداگانه‌ای در مناطق وسیعی از تهران، قم و کاشان مشخص شد که علت عمده‌ی شوری چاه‌های این مناطق وجود کاتیون‌های Na^+ و Ca^{2+} و Mg^{2+} و آنیون‌های Cl^- و SO_4^{2-} است. بر اساس نظر پژوهش‌گران، شوری به مفهوم وجود غلظت زیاد املاح است که مانع از رشد گیاه می‌شود (Munns and Termaat, 1986).

استفاده از زئولیت یکی از راه‌های جلوگیری از کاهش رطوبت خاک و تنش شوری است. زئولیت آلومینوسیلیکاتی با

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان جهت تولید روغن خوراکی در ایران و جهان است. از طرفی شوری نسبی آب آبیاری برخی از مناطق ایران یکی از عوامل منفی در زراعت گیاهان می‌باشد. طی آزمایش‌های جداگانه‌ای در مناطق وسیعی از تهران، قم و کاشان مشخص شد که علت عمده‌ی شوری چاه‌های این مناطق وجود کاتیون‌های Na^+ و

سازی گل، هایولا و RGS بودند. محیط گلخانه در شرایط نور و دمای طبیعی از هفتم آبان ماه (کاشت) تا ۳۰ اردیبهشت (برداشت) قرار گرفت. داخل گلدان‌ها از مخلوط خاک مزرعه و ماسه به نسبت ۱:۱ استفاده شد (جدول ۱). زئولیت مصرفی از نوع کلینوپتیلولیت^۱، تولیدی شرکت افرازند و تهیه شده از معادن استان البرز (محدوده‌ی کردان) با فرمول شیمیایی $\text{Na}_6[(\text{AlO}_2)_6(\text{SiO}_2)_{30}]24\text{H}_2\text{O}$ بود (جدول ۲). تیمارهایی که دارای زئولیت بودند، قبل از کاشت با خاک هر گلدان به‌طور کامل مخلوط شدند. برای ایجاد زهکشی مناسب و جلوگیری از تجمع نمک، سه سوراخ به قطر یک سانتی‌متر ته هر گلدان تعبیه شد. بذور ارقام کلزا (تهیه شده از مرکز تحقیقات تهیه‌ی نهال و بذر کرج) که توسط هیپوکلرید سدیم ۰/۵ درصد ضدعفونی شده بودند در گلدان‌ها کشت شدند. در هر گلدان ۱۰ عدد بذر به عمق حدود ۳ سانتی‌متر کاشته شد. گلدان‌ها از مرحله‌ی کاشت تا قبل از شروع گلدهی با آب شرب شهری به‌وسیله‌ی ظروف مدرج آبیاری شدند. دو هفته بعد از استقرار، بوته‌ها به پنج بوته در گلدان تنک شدند و در طول آزمایش با توجه به عدم بروز آفت نیازی به سم‌پاشی مشاهده نشد. قبل از شروع گلدهی، با افزودن مخلوط نمک‌ها به آب آبیاری تنش شوری شروع گردید. جهت شبیه‌سازی نسبی سهم هریک از کاتیون‌های Na^+ و Ca^{2+} و Mg^{2+} و آنیون‌های Cl^- و SO_4^{2-} در مخلوط نمک نهایی با آب‌های شور چاه‌های مناطق تهران، قم و کاشان از نسبت ۲:۴:۳:۴:۳ نمک‌های NaCl ، Na_2SO_4 ، CaSO_4 ، MgCl_2 و CaCl_2 استفاده شد. مقدار مخلوط نمک‌ها برای هر سطح تنش از طریق فرمول (۱) و پس از استانداردسازی با هدایت سنج الکتریکی محاسبه گشت. سپس در بشکه‌های ۱۰۰ لیتری در آب محلول شدند و در نهایت با ظروف مدرج، آب‌شور به هر گلدان انتقال یافت.

$$\text{EC (dS/m)} = \text{TDS (mg/L)} / \text{K} \quad [1]$$

که در آن $\text{TDS} =$ کل نمک‌های محلول، و $\text{K} = 640$ (در بیشتر موارد).

آبیاری به‌صورت دو روز در میان در حد ظرفیت زراعی مزرعه انجام شد. قبل از مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیک، از هر گلدان چهار بوته کفبر گردید و در آن‌ها خصوصیات وزن بوته و تعداد غلاف اندازه‌گیری شد. پس از مرحله‌ی رسیدگی نیز سایر صفات زراعی از قبیل تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه (به‌وسیله‌ی ترازوی ۰/۱ گرم)، عملکرد دانه،

ساختار داربستی است که یون‌های بزرگ و مولکول‌های آب حفرات آن را اشغال کرده و در ساختار آن متحرک می‌باشند؛ به‌طوری‌که واکنش‌های تعویض یون و آب‌گیری آن‌ها، به‌صورت برگشت‌پذیر انجام می‌شود (Ayan et al., 2005). نوری و همکاران (Noori et al., 2006) نشان دادند که کاربرد زئولیت طبیعی در شرایط تنش شوری باعث افزایش ظرفیت نگهداری خاک و در نتیجه بهبود عملکرد ترپچه می‌شود. آن‌ها بیان کردند کاربرد زئولیت طبیعی باعث نگهداشت نمک‌های مضر خاک می‌گردد و از این طریق جذب آب توسط گیاه راحت‌تر می‌شود. طی یک تحقیق تأثیر کاربرد زئولیت بر هدایت هیدرولیکی غیراشباع و نگهداشت آب در خاک در بافت‌های مختلف انجام شد و نتایج مثبتی در مورد افزایش نگهداشت آب در خاک به دست آمد. در بررسی اثر زئولیت بر خصوصیات خاک و عملکرد جو تحت استفاده از دو شوری مختلف آب آبیاری (۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر) مشخص شد کاربرد زئولیت در شوری‌های ۳ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد محصول جو را ۲۳ درصد افزایش می‌دهد (Al-Busaidi et al., 2008).

اخیراً تحقیقات پیرامون کاربردهای مختلف زئولیت در گیاهان زراعی و همچنین نحوه‌ی اثر آن بر روند جلوگیری از ورود یون‌های سمی مثل سدیم و جذب عناصر غذایی ضروری گیاهان زراعی متمرکز شده است و در این میان بررسی اثر متقابل این دو ماده بر گیاه زراعی کلزا ضروری به نظر می‌رسد. آزمایش حاضر در نظر دارد خسارات ناشی از تنش شوری روی عملکرد و اجزای عملکرد چهار رقم گیاه زراعی کلزا و نحوه‌ی کاهش این تنش را از طریق کاربرد زئولیت مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در پاییز ۱۳۹۲ شروع و در پایان بهار ۱۳۹۳ عملیات گلخانه‌ای آن به اتمام رسید. تیمارهای آزمایشی شامل تنش شوری در سه سطح شاهد، شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد زئولیت در دو سطح شاهد و ۸ تن در هکتار (به‌صورت خاک کاربرد پیش از کاشت بذور داخل گلدان) و ارقام کلزا در چهار سطح زرافام،

با استفاده از نرم افزار SAS آنالیز شد. مقایسه‌های میانگین داده‌ها به روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و نمودارهای مربوطه به کمک نرم افزار Excel ترسیم گردید.

در صد روغن و عملکرد روغن (حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد روغن) اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی از برگ‌های شماره‌ی ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته‌های گلدان استفاده و از طریق دستگاه کلروفیل‌متر اندازه‌گیری شد. داده‌های آزمایش از نظر نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت و

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physical and chemical characteristics of the experimental soil.

عمق Depth (cm)	شن Sand (%)	لای Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture	هدایت الکتریکی Ec (dS/m)	واکنش گل اشباع pH
0-30	75	20	5	لوم شنی Sandy loam	1.68	7.6
درصد نیتروژن کل TNP	فسفر قابل جذب P _{ava} (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب K _{ava} (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	درصد کربن آلی OC%
0.082	41.6	36	7.1	9	7.2	1.28

جدول ۲. مشخصات و درصد ترکیبات شیمیایی موجود در زئولیت مورد استفاده

Table 2. Characteristic and percentage of chemical compounds used in zeolite

ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq/gr)	خلوص Purity (%)	وزن مخصوص ظاهری Specific gravity (gr/cm ³)	دانه‌بندی Range of particles (mm)	رنگ Range of color	جذب آب Water absorption capacity (%)
2.6	85	0.5-1.1	1-2	سفید White	60
SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO
65	12.02	3	1.08	0.1	2.3
Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl
1.5	0.04	0.03	0.01	-	-

نتایج و بحث

غللاف، وزن هزار دانه، تعداد دانه در غلاف و شاخص سبزی‌نگی اثر معنی‌داری داشته و اثر متقابل رقم × زئولیت تعداد غلاف، وزن هزار دانه و شاخص سبزی‌نگی را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. اثر متقابل تنش × زئولیت اثر معنی‌داری بر تعداد غلاف و شاخص سبزی‌نگی داشته و اثرات متقابل سه‌گانه تیمارهای آزمایشی توانست عملکرد دانه، تعداد غلاف، وزن خشک، عملکرد روغن و شاخص سبزی‌نگی را تحت تأثیر قرار دهد (جدول ۳).

نتایج نشان داد اثر رقم بر تمامی صفات مورد بررسی به‌جز شاخص برداشت معنی‌دار بوده و هیچ‌یک از تیمارهای آزمایشی اثر معنی‌داری بر درصد روغن نداشتند. تنش شوری صفات تعداد دانه در غلاف و شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار نداد و زئولیت بر عملکرد دانه، تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف، شاخص برداشت و شاخص سبزی‌نگی اثر معنی‌داری داشت. همچنین اثر متقابل رقم × تنش بر عملکرد دانه، تعداد

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مختلف ارقام کلزا در شرایط تنش شوری و کاربرد زئولیت.

Table 3. Analysis of variance for different characteristics of Brassica species under salt stress and zeolite application condition.

S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	تعداد غلاف Number of pods	وزن هزار دانه 1000-grain weight)	تعداد دانه در		شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	شاخص سبزی‌نگی SPAD
					غلاف Number of grains per pod	وزن خشک Dry weight				
تکرار Replication (R)	2	0.008 ^{ns}	7.14 ^{ns}	0.53 ^{ns}	5.03 ^{ns}	1.08 ^{ns}	25.99 ^{ns}	3.008 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.001 ^{ns}
رقم Variety (V)	3	2.94 ^{**}	222.7 [*]	2.23 ^{**}	54.71 ^{**}	8.19 ^{**}	9.09 ^{ns}	23.43 ^{ns}	0.42 ^{**}	0.793 ^{**}
تنش شوری Salinity (S)	2	7.42 ^{**}	2540 ^{**}	1.96 ^{**}	0.39 ^{ns}	22.7 ^{**}	22.17 ^{ns}	8.92 ^{ns}	0.66 ^{**}	51 ^{**}
زئولیت Zeolite (Z)	1	1.79 ^{**}	2286 ^{**}	0.81 ^{ns}	68.7 ^{**}	0.94 ^{ns}	62.53 [*]	48.18 ^{ns}	0.047 ^{ns}	564 ^{**}
V×S	6	0.155 [*]	389 ^{**}	0.64 [*]	26.38 ^{**}	0.69 ^{ns}	10.21 ^{ns}	34.77 ^{ns}	0.02 ^{ns}	543 ^{**}
V×Z	3	0.02 ^{ns}	282.6 ^{**}	1.01 [*]	5.1 ^{ns}	0.55 ^{ns}	18.29 ^{ns}	17.35 ^{ns}	0.029 ^{ns}	323 ^{**}
S×Z	2	0.195 ^{ns}	253 [*]	0.075 ^{ns}	16.02 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0.52 ^{ns}	34.11 ^{ns}	0.006 ^{ns}	282 ^{**}
V×S×Z	6	0.329 ^{**}	277.4 ^{**}	0.51 ^{ns}	15 ^{ns}	2.09 ^{**}	9.27 ^{ns}	31.87 ^{ns}	0.09 ^{**}	47.1 ^{**}
خطای آزمایش Error	46	0.07	61.5	0.27	7.09	0.48	10.62	17.32	0.01	4.17
ضریب تغییرات CV (%)		10.46	18.3	10.58	21.43	14	9.81	13.49	14.91	3.85

^{ns}, * و **: غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Not significant, significant at the 5% and 1% levels, respectively.

عملکرد دانه

بسیاری از گیاهان زراعی حساسیت قابل ملاحظه‌ای نسبت به شرایط شور دارند که این موضوع به علت تجمع یون سدیم در سلول و تأثیر آن بر اختلال در تعادل یونی و تنظیم اسمزی، فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها و متابولیسم سلول و نیز ایجاد سمیت بازدارنده است (Munns and Termaat, 1986)، و از آنجایی که زئولیت توانایی افزایش جذب آب اطراف ریشه و میزان عناصر ریزمغذی خاک را دارد، با افزایش آب قابل مصرف، عملکرد افزایش خواهد یافت. در آزمایش حاضر مشخص شد کاربرد زئولیت در سطوح شاهد و تنش متوسط رقم RGS می‌تواند عملکرد دانه را ۲۶ و ۹ درصد افزایش دهد (جدول ۴).

تعداد غلاف، وزن هزار دانه و تعداد دانه در غلاف

کاربرد زئولیت در شرایط بدون تنش و عدم کاربرد زئولیت در شرایط تنش شدید بر رقم زرفام با اختلاف ۳۶ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد غلاف را نشان دادند (جدول

۴). زئولیت با استفاده از ساختار شبکه‌ای خود جذب آب در محدوده‌ی ریشه را افزایش داده (Ayan et al., 2005) و از این طریق بروز اختلال در فرایندهای زیستی گیاه را کاهش می‌دهد. لذا در تحقیق حاضر این ماده‌ی معدنی باعث افزایش فرایندهای زیستی گیاه شده و توانسته است اختلاف معنی‌داری را نسبت به شرایط شاهد به وجود بیاورد. همچنین در تحقیق حاضر مشخص شد با افزایش سطوح تنش شوری در رقم ساریگل تعداد غلاف کاهش می‌یابد، به طوری که بین سطوح شاهد و تنش شدید اختلاف حدود ۳۶ درصدی وجود دارد. مطالعات پژوهشگران نشان داد با افزایش میزان شوری عملکرد و تعداد دانه در غلاف کاهش می‌یابد (Azari et al., 2012).

رقم ساریگل در شرایط بدون تنش و رقم زرفام در شرایط تنش شدید با اختلاف ۲۲ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین وزن هزار دانه را نشان دادند (جدول ۵). تغییرات در سنتز و پایداری رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و غیر فتوسنتزی در اثر تنش شوری (Bertrand and Schoofs, 1999) فتوسنتزی و سیستم‌های محافظتی وابسته به برخی

(جدول ۵). معمولاً مقادیر بالای Na^+ در خاک‌های شور تعادل مواد غذایی موجود در خاک را به هم زده و باعث اختلال در تعادل اسمزی گیاه می‌شود (Munns and Termaat, 1986) که همین امر موجب کاهش تعداد گل‌های بارور و در نتیجه کاهش تعداد دانه در گیاه می‌گردد. همچنین مشخص شد کاربرد زئولیت می‌تواند باعث افزایش ۱۵ درصدی مقادیر این صفت شود. (جدول ۶). زئولیت از طریق افزایش توانایی تبادل کاتیونی خاک و آب قابل دسترس به کنترل فشار اسمزی سلول کمک کرده و این امر به افزایش تعداد دانه در غلاف می‌انجامد (Ayan et al., 2005).

رنگ‌دانه‌ها مانند فلاونوئیدها را متأثر ساخته و در نهایت با کاهش آسیمیلات‌های درون سلولی به کاهش گل‌های بارور و وزن هزار دانه منجر می‌شود. احتمالاً تقویت دیواره‌ی سلولی و کاهش سمیت سدیم باعث افزایش متابولیسم سلولی شده و در نهایت باعث افزایش وزن هزار دانه گردیده است. همچنین مشخص شد کاربرد زئولیت می‌تواند وزن هزار دانه رقم هایولا را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد ولی بر سایر ارقام مورد بررسی اثر معنی‌داری نداشت (شکل ۱).

نتایج نشان داد رقم RGS در شرایط شاهد و هایولا در شرایط تنش شدید با اختلاف حدود ۵۴ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد دانه در غلاف را نشان دادند.

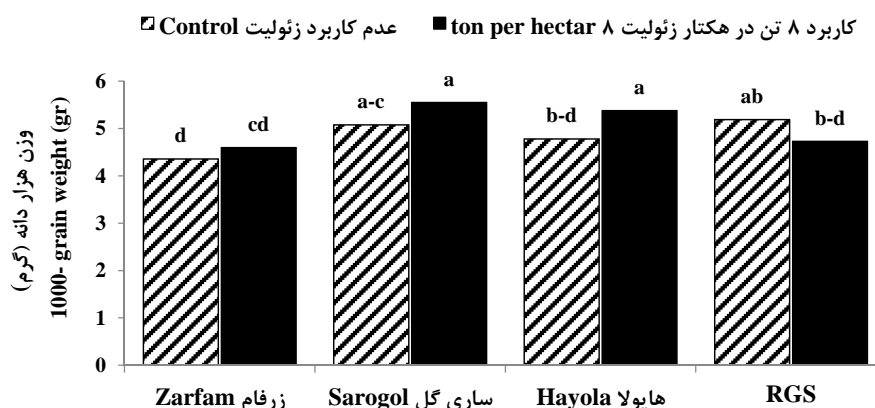
جدول ۴. مقایسه میانگین برخی صفات چهار رقم کلزا در شرایط مختلف تنش شوری.

Table 4. Mean comparison of some characteristics of four canola varieties under salinity stress conditions.

رقم Varieties	تنش شوری Salt stress (dS m ⁻¹)	زئولیت Zeolite (Kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (Kg ha ⁻¹)	تعداد غلاف Number of pods	وزن خشک (گرم) Dry weight (gr)	عملکرد روغن (گرم در بوته) Oil yield (gr plant ⁻¹)	شاخص سبزی‌نگی SPAD
زرغام Zarfam	0	0	2.48de	36f-i	5.06c-f	0.79c-h	57.3g
		8	3.04bc	75a	6.03a-c	0.8c-g	44.5jk
	5	0	1.65	29.1i	3.93f-h	0.5jk	76.6a
		8	1.83fg	27.5i	3.81f-h	0.6g-k	63.2de
ساریگل Sarogol	0	0	1.61g	26.76i	3.69gh	0.46k	28.6m
		8	1.86fg	38.6e-i	3.71gh	0.58h-k	57.2g
	5	0	3.7a	53b-e	7.16a	1.34a	42.7kl
		8	3.34ab	54.8b-d	6.61ab	0.96b-d	57g
هایولا Hayola	0	0	2.68cd	48.5c-f	4.51e-h	0.71e-j	51.5h
		8	3.27ab	45.6c-h	6.05a-c	0.98bc	51.9h
	5	0	2.24d-f	33.4g-i	4.64d-h	0.91b-e	0.91b-e
		8	2.62cd	36.3f-i	5.75b-e	0.83c-f	48.5hi
RGS	0	0	2.58cd	65.7ab	6.09a-c	0.74d-i	59.4fg
		8	3.36ab	64ab	5.8b-e	1.07b	47.1ij
	5	0	1.89fg	31.4hi	3.74f-h	0.55i-k	50.4hi
		8	1.93fg	47.8c-g	3.52h	0.56i-k	48.6hi
RGS	0	0	1.56g	26.8i	3.46h	0.49k	66.9bc
		8	1.85fg	41.6d-i	3.94f-h	0.5jk	64.9cd
	5	0	2.59cd	33.7f-i	4.97c-g	0.77c-i	70.2b
		8	3.58a	54.7b-d	6.75ab	1.11b	50hi
10	0	2.41de	32.1hi	5.87a-d	0.77c-i	49.7hi	
	8	2.63cd	35.3f-i	4.5e-h	0.86c-f	39.2i	
10	0	2.03e-g	29.7i	4.81c-h	0.65f-k	61ef	
	8	2.28d-f	59.5bc	4.21f-h	0.66f-k	48.3hi	

اعداد با حروف مشابه در هر ستون از هر بخش بر اساس آزمون LSD ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارد

Means within each column of each section followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.



شکل ۱. اثر متقابل ارقام زراعی کلزا و زئولیت بر وزن هزار دانه. اعداد با حروف مشابه در هر ستون از هر بخش بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارد.

Fig 1. Interaction effect of canola varieties and zeolite on number of pod. Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by LSD.

جدول ۵. مقایسه میانگین برخی صفات چهار رقم کلزا در شرایط مختلف تنش شوری.

Table 5. Mean comparison of some characteristics of four canola varieties under salinity stress conditions.

رقم	تنش شوری	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در غلاف
Varieties	Salt stress (dS m^{-1})	1000- grain weight (gr)	Number of grains per pod
زرغام	0	4.5e	13.9a-d
	5	4.47e	12.7b-e
	10	4.46e	12.3b-f
ساریگل	0	5.8a	14.6a-c
	5	5.62ab	11.7c-f
	10	4.92c-e	12b-f
هایولا	0	4.78c-e	11.3c-f
	5	5.41a-c	9.7ef
	10	4.61de	8.8f
RGS	0	4.7de	16.1a
	5	5.2a-d	15.2ab
	10	5b-e	10.7d-f

اعداد با حروف مشابه در هر ستون از هر بخش بر اساس آزمون LSD ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارد. Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.

جدول ۶. مقایسه میانگین برخی صفات چهار رقم کلزا در شرایط مختلف کاربرد زئولیت.

Table 6. Mean comparison of some characteristics of four canola varieties under different zeolite application conditions.

Zeolite	زئولیت	تعداد دانه در غلاف	شاخص برداشت
		Number of grains per pod	Harvest index (%)
Control	شاهد	11b	32.3b
8 ton ha^{-1}	۸ تن در هکتار	13a	34.1a

اعداد با حروف مشابه در هر ستون از هر بخش بر اساس آزمون LSD ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارد. Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.

وزن خشک و شاخص برداشت

نتایج نشان داد کاربرد زئولیت بر رقم RGS در شرایط شاهد تنش و عدم کاربرد زئولیت بر رقم هایولا در شرایط تنش شدید با اختلاف حدود ۵۰ درصد بیشترین و کمترین وزن خشک را دارا می‌باشند (جدول ۴)؛ که با نتایج دیگر محققین در مورد گیاه اسفرزه (*Plantago ovate L.*) مطابقت دارد (Chadordooz Jedi et al., 2011). تنش شوری از طریق تأثیر مستقیم بر چند فرایند اساسی مثل تنظیم اسمزی سلول، جذب مواد غذایی، فتوسنتز، تجمع املاح الی، تغییر در فرایند نرخ تنفس و پتانسیل آب خاک باعث تأخیر در رشد و در نهایت تأثیر بر وزن خشک گیاه می‌شود (Pessarakli, 1994). در تحقیق دیگری روی ارقام کلزا و شلغم روغنی مشخص شد شوری مقادیر زیست‌توده‌ی این گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (Azari et al., 2012). همچنین در همین تحقیق بیان شد، میزان پایداری غشاء سلولی همبستگی بالایی با میزان زیست‌توده دارد و از آنجایی که در شرایط تنش میزان نشست غشاء و مواد سیئوپلاسمی به دلیل افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن افزایش یافت، احتمالاً کاهش وزن خشک از عوارض اثر تنش شوری بر این صفت فیزیولوژیک کلزا باشد. پاسخ گیاهان به تنش شوری تابعی از غلظت نمک، نوع یون، مرحله‌ی رشد گیاه و دیگر عوامل محیطی است. خاک‌های شور رشد گیاهان را از طریق کاهش جذب آب و فعالیت‌های زیستی به دلیل سمیت نمک و کمبود مواد غذایی ناشی از تداخل یونی، کاهش می‌دهند (Yeo, 1983).

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد کاربرد زئولیت حدود ۶ درصد شاخص برداشت را افزایش می‌دهد (جدول ۶). بالا بودن شاخص برداشت می‌تواند به علت بالا بودن عملکرد دانه در حضور زئولیت باشد که صورت کسر بزرگ می‌شود و در نتیجه میزان شاخص برداشت افزایش می‌یابد. در پژوهشی مشخص شد مصرف ۹ تن در هکتار زئولیت، شاخص برداشت را نسبت به شاهد، ۵/۰۷ افزایش می‌دهد که نشان‌دهنده‌ی نقش مثبت آن در کاهش صدمات ناشی از تنش کمبود آب است (Mirzakhani and Sibi, 2010).

عملکرد روغن

نتایج نشان داد رقم ساریگل در شرایط شاهد تنش و زئولیت با اختلاف ۶۶ درصد نسبت به رقم زرفام در شرایط تنش شدید و شاهد زئولیت بیشترین عملکرد روغن را دارا است (جدول ۴). همچنین کاربرد زئولیت بر ارقام RGS در شرایط بدون تنش و ساریگل در شرایط تنش متوسط می‌تواند باعث افزایش این صفت شود. در تحقیق حاضر احتمالاً زئولیت از طریق افزایش تبادل کاتیونی خاک و گسترش سطح جذب آب توسط ریشه به افزایش فعالیت‌های زیستی سلول و در نهایت افزایش عملکرد روغن کمک نموده است.

شاخص سبزی‌نگی

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد رقم زرفام در شرایط تنش متوسط و عدم کاربرد زئولیت با اختلاف بیش از دو برابر مقادیر شاخص سبزی‌نگی بیشتری نسبت به همان رقم در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد زئولیت دارد (جدول ۴). طی یک بررسی نشان داده شد رقم زرفام از نظر تعداد، سطح برگ، وزن پهنک و کلروفیل مقادیر بالایی را داراست (Azari et al., 2012). محققین بیان کردند شاخص سبزی‌نگی در گیاه گندم با افزایش سطح تنش شوری کاهش پیدا می‌کند (Velicevici et al., 2014). در همین تحقیق مشخص شد مقاومت به تنش شوری بین ارقام مختلف یک گیاه زراعی ترکیبی از مکانیسم‌های مختلف فیزیولوژیکی بوده و جهت شناخت بهتر از ارقام مقاوم به تنش بهتر است از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش شوری (مثل شاخص سبزی‌نگی) استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

کاربرد زئولیت عملکرد دانه‌ی رقم زرفام را افزایش می‌دهد و هر سه سطح شوری باعث کاهش معنی‌دار این صفت در ارقام کلزا می‌گردند. با توجه به قیمت پایین (۵۰۰ ریال به ازای هر کیلوگرم) زئولیت و فراوانی این ماده‌ی معدنی در کشورمان می‌توان از این ماده جهت جلوگیری از افت عملکرد در اراضی با شوری بالا استفاده نمود. همچنین در شرایط بروز شوری رقم ساریگل نسبت به دیگر ارقام موردبررسی مقادیر شاخص سبزی‌نگی بالاتری را نشان داد و استفاده از زئولیت در شرایط بروز تنش باعث جلوگیری از افت مقادیر شاخص سبزی‌نگی رقم زرفام شد.

منابع

- Abedi-Koupai, J., Asadkazemi, J., 2006. Effect of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica* L.) under reduced irrigation regimes. *Journal of Iranian Polymer*. 15, 715-725. [In Persian with English Summary].
- Al-Busaidi, A., Yamamoto, M., Inoue, Y., Eneji, A.E., Mori, Y., Irshad. M., 2008. Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. *Journal of Plant Nutrient*. 31, 1159-1173.
- Ayan, S., Yahyaoglu, Z., Gercek, V., Şahin A., 2005. Utilization of zeolite as a substrate for containerized oriental spruce (*Picea orientalis* L.) seedlings propagation. *Acta Horticulture*. 779, 583-590.
- Azari, A., Modares Sanavi, S.A.M., Askari, H., Ghanati, F., Naji, A. M., Alizadeh, B., 2012. Effect of salt stress on morphological and physiological traits of two species of rapeseed (*Brassica Napus* and *B. Rapa*). *Iranian Journal of Crop Sciences*. 14(2), 121-135. [In Persian with English Summary].
- Chadordooz Jedi, A., Ghasemi Golazani, K., Zaferani Moatar, P., 2011. The effect of salinity on biological and harvest index psyllium (*plantago ovate* L.). National Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture. The Environment Research Center for Agriculture and Natural Resources of Azerbaijan. Iran, Urmia. Pp. 2225-2231. [In Persian with English Summary].
- Mirzakhani, M., Sibi, M., 2010. Response of physiological characteristics to water stress, application of zeolite in Safflower. 2th National Conference on Agriculture and Sustainable Development, Opportunities and challenges ahead. Islamic Azad University of Shiraz. Shiraz. Pp 21. [In Persian].
- Munns, R., Termaat, A., 1986. Whole plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*. 13, 143-160.
- Noori, M., Zendehtdel, M., Ahmadi, A., 2006. Using natural zeolite for the improvement of soil salinity and crop yield. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 88, 77-84.
- Pessarakli, M., 1994. In: Pessarakli., M. (Ed.) *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, Inc, New York pp. 1067-1084.
- Velicevici, G., Madosa, E., Ciulca, A., Coradini, R., Oproi, E., Petolescu, C., Malaescu, M., Danci, M., Merghes, P., 2014. Influence of salt stress upon chlorophyll content at some wheat genotypes. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 18, 220-223.
- Yeo, A.R., 1983. Salinity resistance: Physiologies and prices. *Physiologia Plantarum*. 58, 214-222.