



## اثر نوع و مقدار زئولیت بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت زعفران

محسن احمدی<sup>۱\*</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۲</sup>، محمدحسن سیاری<sup>۳</sup>، حمید کاردان مقدم<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند

۳- دانشیار گروه علوم خاک و مرکز پژوهشی گیاهان ویژه منطقه دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

۴- دانشجوی دکتری مدیریت منابع آب دانشگاه تهران

\* نویسنده مسئول: [E-mail: m.ahmadee@ymail.com](mailto:m.ahmadee@ymail.com)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۰۱

### چکیده

زعفران (*Crocus sativus L.*) گیاهی نیمه‌گرمسیری بوده که کشت آن در ایران سابقه طولانی داشته و عملکرد آن به خصوصیات شیمیایی خاک وابسته است. زئولیت‌ها از جمله موادی هستند که علاوه بر خاصیت حاصلخیزکنندگی خاک، قابلیت اصلاح آن را نیز دارند. بنابراین، به منظور بررسی اثر زئولیت بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، بی‌کربنات، سولفات، و اکسیدهای آهن و آلومین) تحت کشت زعفران، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با هفت تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۲ انجام شد. تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق شامل نوع زئولیت (کلسیک:  $ZCa$ ، پتاسیک:  $ZK$  و ترکیبی:  $ZS$ ) در سه سطح (صفر:  $M_0$ ؛ ۲:  $M_2$  و ۶:  $M_6$  درصد وزنی) با نه تکرار بود. تیمارها با خاک مخلوط و در گلدان‌هایی به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر ریخته شد. پس از اتمام فصل زراعی، نمونه‌برداری از خاک از عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری انجام شد. برای بررسی تغییرات هدایت الکتریکی از اعماق ۱۰-۳۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری نیز نمونه‌برداری شد. نتایج اثر نوع زئولیت بر تغییر خصوصیات شیمیایی خاک نشان داد که مقدار زئولیت تنها بر بی‌کربنات در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری داشت. اثر متقابل نوع و مقدار زئولیت در سطح احتمال پنج درصد بر کلسیم، منیزیم، کلر، بی‌کربنات، سولفات و  $pH$  در سطح احتمال یک درصد بر میزان سدیم و مجموع کاتیون‌ها معنی‌داری شد؛ ولی مقدار زئولیت بر هیچ پارامتری اثر معنی‌داری نداشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد زئولیت پتاسیک در هر دو سطح کاربرد بر سدیم و بی‌کربنات خاک اثرگذار بود. از طرفی کاربرد زئولیت کلسیک سبب تغییر  $EC$  خاک شد، به طوری که در هر سه عمق نمونه‌برداری شده نسبت به سایر تیمارها  $EC$  کمتری داشت و سبب کاهش ۳/۱ تا ۳/۹ برابری کاهش  $EC$  نسبت به ابتدای آزمایش شد. براساس نتایج، استفاده از زئولیت کلسیمی در لایه‌های زیرین و کاربرد زئولیت پتاسیمی در لایه‌های سطحی خاک برای زراعت زعفران پیشنهاد می‌شود. این عمل سبب کاهش حرکت املاح به سطح خاک شده و هدایت الکتریکی در ناحیه توسعه ریشه بانه زعفران را کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: زئولیت کلینوپتیلولایت، شوری خاک، هدایت الکتریکی خاک.

## مقدمه

زعفران (*Crocus sativus L.*) گیاهی چندساله و نیمه‌گرمسیری است که کشت آن در ایران سابقه طولانی دارد (Mollafilabi, 2004) و در حال حاضر ایران جزء مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده زعفران به شمار می‌آید (Mobaraki, 2005). استان‌های خراسان رضوی و خراسان جنوبی مناطق عمده کشت این محصول در ایران به شمار می‌روند، به طوری که بیش از ۹۰ درصد تولید کل زعفران کشور در این دو استان تولید می‌شود (Shahroodi et al., 2007). گرچه نیاز این گیاه به کود، بسیار کم می‌باشد، ولی عملکرد آن حتی در سال اول کاشت به شدت به خصوصیات خاک وابسته است (et al., 2006; Azizi, 2013). تحقیقات نشان داده است که کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به مرور سبب شوری خاک می‌شود (Bybord, 1989; Balba, 1975; Jafari, 2000); از طرفی، زراعت زعفران نیز این پدیده را تشدید می‌کند (Helal Beygi, 2009). بنابراین، توجه به خصوصیات شیمیایی خاک و کاهش (یا مهار فرآیند) شوری آن در طی فرآیند رشد زعفران اهمیت می‌یابد (Koocheki et al., 2014). استفاده از زئولیت‌ها از جمله راهکارهای ارزان قیمت و در دسترس بدین منظور می‌باشد. زئولیت‌ها خانواده بزرگی از کانی‌های آلومینیوسیلیکاته هستند که خاصیت حاصلخیزی و اصلاح خاک را دارند (Kazemian, 2004; Ahmadee, 2014). این کانی‌ها دارای عناصری نظیر پتاسیم، کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم و منیزیم هستند و می‌توانند به عنوان کود کشاورزی نیز مورد استفاده قرار گیرند (Shiranirad et al., 2011). همچنین قابلیت تبادل کاتیونی بالای زئولیت (Ming & Allen, 2001) سبب بهبود دسترسی گیاه به عناصر مورد نیاز (مانند پتاسیم) شده (Emadi et al., 2001) و بدین ترتیب سبب افزایش رشد و عملکرد آن می‌شود (Polite et al., 2004; Khashei & Ahmadee, 2016). نتایج تحقیقات ال-بوسعیدی و همکاران (Al-Busaidi et al., 2008) نیز نشان داده است که کاربرد زئولیت، علاوه بر ایجاد تعادل غذایی در خاک، سبب کاهش شوری خاک می‌شود. این محققان کاربرد این کانی را به دلیل کاهش تنش شوری و فراهمی عناصر مورد نیاز، جهت کشاورزی پیشنهاد کرده‌اند. در تحقیقی دیگر، با افزودن زئولیت کلسیکی به خاک تحت کشت برنج (*Oryza sativa L.*) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum L.*) مشاهده گردید که کاربرد این نوع زئولیت سبب کاهش معنی‌دار اثرات مضر یون سدیم در خاک و اندام‌های هوایی گیاهان مورد مطالعه شد (Song & Fujiyama, 1996). خوشخوی (Khoshkhouy, 2007) نشان داد که کاربرد زئولیت در خاک تحت کشت گل جعفری (*Tagetes erecta L.*) سبب افزایش برخی یون‌های مفید مانند پتاسیم و منیزیم در خاک شد. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان از جمله میناتو (Minato, 1968)، هوانگ و پتروویچ (Huang & Petrovic, 1994)، لی و همکاران (Li et al., 2000)، اینگلازاکیس (Inglezakis, 2005) و فیلچوا و تزادیلایس (Filcheva & Tsadilas, 2001) در این خصوص گزارش شده است.

مرور منابع نشان داد که کاربرد زئولیت در خاک می‌تواند به بهبود برخی خصوصیات شیمیایی و کاهش اثرات منفی شوری خاک کمک کند. با توجه به اهمیت کشت زعفران در استان خراسان جنوبی و مشکلات ذکر شده در خصوص زراعت این گیاه، در این تحقیق به بررسی اثر زئولیت بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت این محصول پرداخته شد.

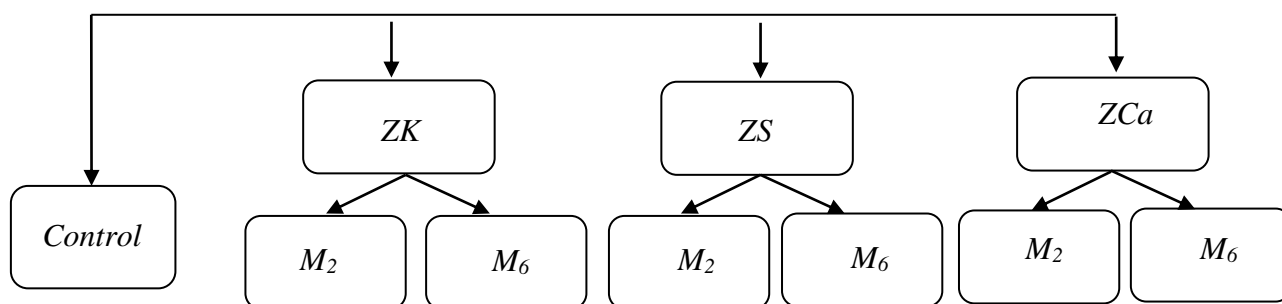
## مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با نه تکرار در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند (با طول جغرافیایی ۲۱°۵۹' شرقی، عرض جغرافیایی ۲۷°۳۲' شمالی و ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا) انجام

زعفران (*Crocus sativus L.*) گیاهی چندساله و نیمه‌گرمسیری است که کشت آن در ایران سابقه طولانی دارد (Mollafilabi, 2004) و در حال حاضر ایران جزء مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده زعفران به شمار می‌آید (Mobaraki, 2005). استان‌های خراسان رضوی و خراسان جنوبی مناطق عمده کشت این محصول در ایران به شمار می‌روند، به طوری که بیش از ۹۰ درصد تولید کل زعفران کشور در این دو استان تولید می‌شود (Shahroodi et al., 2007). گرچه نیاز این گیاه به کود، بسیار کم می‌باشد، ولی عملکرد آن حتی در سال اول کاشت به شدت به خصوصیات خاک وابسته است (et al., 2006; Azizi, 2013). تحقیقات نشان داده است که کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به مرور سبب شوری خاک می‌شود (Bybord, 1989; Balba, 1975; Jafari, 2000); از طرفی، زراعت زعفران نیز این پدیده را تشدید می‌کند (Helal Beygi, 2009). بنابراین، توجه به خصوصیات شیمیایی خاک و کاهش (یا مهار فرآیند) شوری آن در طی فرآیند رشد زعفران اهمیت می‌یابد (Koocheki et al., 2014). استفاده از زئولیت‌ها از جمله راهکارهای ارزان قیمت و در دسترس بدین منظور می‌باشد. زئولیت‌ها خانواده بزرگی از کانی‌های آلومینیوسیلیکاته هستند که خاصیت حاصلخیزی و اصلاح خاک را دارند (Kazemian, 2004; Ahmadee, 2014). این کانی‌ها دارای عناصری نظیر پتاسیم، کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم و منیزیم هستند و می‌توانند به عنوان کود کشاورزی نیز مورد استفاده قرار گیرند (Shiranirad et al., 2011). همچنین قابلیت تبادل کاتیونی بالای زئولیت (Ming & Allen, 2001) سبب بهبود دسترسی گیاه به عناصر مورد نیاز (مانند پتاسیم) شده (Emadi et al., 2001) و بدین ترتیب سبب افزایش رشد و عملکرد آن می‌شود (Polite et al., 2004; Khashei & Ahmadee, 2016). نتایج تحقیقات ال-بوسعیدی و همکاران (Al-Busaidi et al., 2008) نیز نشان داده است که کاربرد زئولیت، علاوه بر ایجاد تعادل غذایی در خاک، سبب کاهش شوری خاک می‌شود. این محققان کاربرد این کانی را به دلیل کاهش تنش شوری و فراهمی عناصر مورد نیاز، جهت کشاورزی پیشنهاد کرده‌اند. در تحقیقی دیگر، با افزودن زئولیت کلسیکی به خاک تحت کشت برنج (*Oryza sativa L.*) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum L.*) مشاهده گردید که کاربرد این نوع زئولیت سبب کاهش معنی‌دار اثرات مضر یون سدیم در خاک و اندام‌های هوایی گیاهان مورد مطالعه شد (Song & Fujiyama, 1996). خوشخوی (Khoshkhouy, 2007) نشان داد که کاربرد زئولیت در خاک تحت کشت گل جعفری (*Tagetes erecta L.*) سبب افزایش برخی یون‌های مفید مانند پتاسیم و منیزیم در خاک شد. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان از جمله میناتو (Minato, 1968)، هوانگ و پتروویچ (Huang & Petrovic, 1994)، لی و همکاران (Li et al., 2000)، اینگلازاکیس (Inglezakis, 2005) و فیلچوا و تزادیلایس (Filcheva & Tsadilas, 2001) در این خصوص گزارش شده است.

وزن ۶۰۰ گرم، ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و قطر ۳۰ سانتی‌متر ریخته شدند. همچنین در هر گلدان سه بانه زعفران در بازه وزنی ۴-۶ گرم و در عمق ۱۸ سانتی‌متری کاشته شد. این آزمایش به مدت یک سال ادامه یافت و آبیاری بر اساس عرف منطقه در سه نوبت (ابتدای کاشت در ابتدای مهر، آبان و انتهای اسفندماه) انجام شد. مشخصات آب آبیاری در جدول ۵ نشان داده شده است.

شد. تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل نوع زئولیت (پتاسیک  $Zk$ ، زئولیت ترکیبی  $ZS$  و کلسیک  $ZCa$ ) و مقدار زئولیت (دو درصد وزنی:  $M_1$  و شش درصد وزنی:  $M_2$ ) بود. یک تیمار نیز بدون زئولیت و به عنوان شاهد در نظر گرفته شد (شکل ۱). تیمارهای مورد نظر (جدول‌های ۱ تا ۳)، براساس درصد وزنی، با خاک آزمایش (جدول ۴) کاملاً مخلوط شده سپس درون گلدان‌هایی پلاستیکی به



شکل ۱. شماتیک تیمارهای مورد استفاده

Fig. 1. Schematic of the treatments

$ZCa$ ،  $ZS$  و  $ZK$ : به ترتیب زئولیت کلسیمی، ترکیبی و پتاسیمی،  $M_2$  و  $M_6$ : نیز به ترتیب نشان‌دهنده ۲ و ۶ درصد وزنی زئولیت و  $Control$ : نیز شاهد و بدون زئولیت است.

$ZCa$ ،  $ZS$  and  $ZK$ : represent calcic, z-mix and potassic zeolite,  $M_2$  and  $M_6$  indicate: zero, 2 and 6 % zeolite levels and control: without zeolite, respectively.

جدول ۱. ترکیبات زئولیت کلسیمی

Table 1. Components of calcic zeolite

$SiO_2$ (%)	$Al_2O_3$ (%)	$Fe_2O_3$ (%)	$CaO$ (%)	$Na_2O$ (%)	$K_2O$ (%)	$MgO$ (%)	$TiO_2$ (%)	$MnO$ (%)	$P_2O_5$ (%)
70.95	7.88	1.31	2.21	3.00	3.67	0.62	0.162	0.022	0.013
$L.O.I^*$ (%)	$SO_3$ (%)	$Cl$ (ppm)	$Ba$ (ppm)	$Sr$ (ppm)	$Cu$ (ppm)	$Zn$ (ppm)	$Pb$ (ppm)	$Ni$ (ppm)	$Cr$ (ppm)
8.13	1.345	3504	1154	399	54	5	39	12	7

\*افت حرارتی

\*Loss of ignition

جدول ۲. ترکیبات زئولیت ترکیبی

Table 2. Components of z-mix zeolite

$SiO_2$ (%)	$Al_2O_3$ (%)	$Fe_2O_3$ (%)	$CaO$ (%)	$Na_2O$ (%)	$K_2O$ (%)	$MgO$ (%)	$TiO_2$ (%)	$MnO$ (%)	$P_2O_5$ (%)
65.36	6.44	2.19	6.42	1.20	2.88	1.59	0.213	0.043	0.018
$L.O.I^*$ (%)	$SO_3$ (%)	$Cl$ (ppm)	$Ba$ (ppm)	$Sr$ (ppm)	$Cu$ (ppm)	$Zn$ (ppm)	$Pb$ (ppm)	$Ni$ (ppm)	$Cr$ (ppm)
11.55	1.318	1920	1021	1056	60	17	33	20	20

\*افت حرارتی

\*Loss of ignition

جدول ۳. ترکیبات زئولیت پتاسیمی

**Table 3. Components of potassic zeolite**

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
70.25	7.68	0.91	1.12	3.10	3.43	0.39	0.153	0.017	0.006
L.O.I* (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Cl (ppm)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)
11.84	0.600	2049	1158	666	56	2	27	5	6

\*افت حرارتی

\*Loss of ignition

جدول ۴. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک

**Table 4. Physical and chemical characteristics of soil**

نسبت جذب سدیم SAR	هدایت الکتریکی EC (dS.m <sup>-1</sup> )	واکنش pH	سدیم Na	پتاسیم K	منیزیم Mg	کلسیم Ca	نیترژن کل Total N (%)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g.cm <sup>-3</sup> )	نسبت بافت Texture	رس Clay	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
15.58	13.16	7	91.3	10.7	38	30.8	0.078	1.61	شنی لومی SL	6	38	56

جدول ۵. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

**Table 5. Chemical criteria of irrigation water**

سولفات SO <sub>4</sub>	کلر Cl	بی‌کربنات HCO <sub>3</sub>	کربنات CO <sub>3</sub>	پتاسیم K	سدیم Na	منیزیم Mg	کلسیم Ca	کل املاح محلول TDS (g.l <sup>-1</sup> )	نسبت جذب سدیم SAR	واکنش pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m <sup>-1</sup> )
4.25	2.2	4.75	0.00	0.01	4.19	5/3	1.7	68.48	2.24	7.26	0.991

اندازه‌گیری شد (Page et al., 1992; Anonymous, 2008; Zare Abyaneh et al., 2014; Ghodsi et al., 2015). برای اندازه‌گیری توزیع شوری در اعماق مختلف خاک، از دو عمق دیگر (۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متر) نیز نمونه‌برداری و هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا آزمایش با حذف شاهد و به صورت فاکتوریل (۳×۲) تحلیل شد. سپس به منظور مقایسه نتایج کلیه تیمارها با شاهد، این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی (با فرض هفت تیمار) بررسی شد. بدین‌منظور، از آزمون توکی و نرم‌افزار SAS 9.1.3 استفاده گردید. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel 2013 انجام شد.

سپس به منظور تعیین اثر زئولیت بر برخی خصوصیات خاک تحت کشت زعفران، در انتهای فصل رشد، از عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل واکنش خاک (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کلسیم (Ca<sup>2+</sup>)، منیزیم (Mg<sup>2+</sup>)، پتاسیم (K<sup>+</sup>)، سدیم (Na<sup>+</sup>)، کلر (Cl<sup>-</sup>) و بی‌کربنات (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) بود. واکنش خاک با استفاده از pH متر مدل MI150، هدایت الکتریکی با استفاده از EC متر مدل HI99300، غلظت کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و کلر محلول با استفاده از روش تیتراسیون و غلظت سدیم و پتاسیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم فتمتر مدل Jenway Flame photometer PFP7

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که نوع زئولیت اثر معنی‌داری بر هیچکدام از پارامترهای مورد بررسی نداشت (جدول ۶). مقدار زئولیت نیز فقط بر بی‌کربنات اثر معنی‌داری نشان داد ( $P \leq 0.05$ ). برهمکنش نوع و مقدار زئولیت بر غلظت کلسیم، منیزیم، کلر، بی‌کربنات، سولفات و  $pH$  ( $P \leq 0.05$ ) و نیز بر غلظت سدیم و مجموع کاتیون‌ها ( $P \leq 0.05$ ) معنی‌داری شد. اثر نداشتن نوع و مقدار زئولیت بر پتاسیم احتمالاً به دلیل افزایش پتاسیم تبدلی نسبت به پتاسیم محلول می‌باشد (Filcheva & Tsadilas, 2001). نوع زئولیت ( $P \leq 0.001$ )، مقدار زئولیت ( $P \leq 0.05$ ) و اثر متقابل نوع و مقدار زئولیت ( $P \leq 0.01$ ) بر هدایت الکتریکی خاک اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۷). این نتایج با مشاهدات کیان و همکاران (Qian et al., 2001)، ال-بوسعیدی و همکاران (Al-Busaidi et al., 2008) و محبوب‌خدای (Mahboub Khomami, 2011) مطابقت داشت. مقایسه میانگین اثر نوع زئولیت بر پارامترهای مورد بررسی (با در نظر گرفتن شاهد) نشان داد که غلظت منیزیم در خاک برای تیمار زئولیت ترکیبی بیشترین و برای تیمار زئولیت پتاسیمی کمترین مقدار را داشت. گرچه این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌داری نشد. تفاوت بیشترین و کمترین میزان کلسیم حدود ۲۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود که نسبت به اختلاف غلظت منیزیم بین تیمارها بیشتر بود. گرچه میزان این دو عنصر در خاک مورد آزمایش تقریباً یکسان بود. تغییرات چندانی در غلظت پتاسیم و بی‌کربنات بین تیمارها نیز مشاهده نشد. میزان سدیم در زئولیت پتاسیمی از سایر زئولیت‌ها بیشتر بود و به ترتیب اختلافی حدوداً ۴۰ و ۵۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به ترتیب نسبت به زئولیت‌های ترکیبی و کلسیمی نشان داد. این روند برای سولفات نیز مشاهده شد.

\*، \*\* و \*\*\* به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

\*، \*\* and ns: are significant at 5%, 1% probability levels and non significant, respectively.

جدول ۶. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع و مقدار زئولیت بر خصوصیات خاک در مزرعه زعفران  
Table 6. Analysis of variance (mean of squares) for the effect of amount and type of zeolite on soil properties in saffron field

منابع تغییرات S.O.V	df	درجه آزادی	واکنش خاک pH	مجموع کاتیون‌ها Sum Cations	بی‌کربنات HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	کلر Cl <sup>-</sup>	سولفات SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	سدیم Na <sup>+</sup>	پتاسیم K <sup>+</sup>	منیزیم Mg <sup>2+</sup>	کلسیم Ca <sup>2+</sup>
نوع زئولیت Type of zeolite (Z)	2	0.0030 <sup>ns</sup>		3917.41 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	1705.5 <sup>ns</sup>	1781.13 <sup>ns</sup>	4737.81 <sup>ns</sup>	10.43 <sup>ns</sup>	28.28 <sup>ns</sup>	894.32 <sup>ns</sup>
مقدار زئولیت Amount of zeolite (M)	1	0.008 <sup>ns</sup>		3655.69 <sup>ns</sup>	0.56*	739.84 <sup>ns</sup>	1056.77 <sup>ns</sup>	6472.18 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	189.47 <sup>ns</sup>	46.08 <sup>ns</sup>
Z×M	2	0.1228*		46997**	0.57*	8247.50*	16059.40*	19630.06**	27.54 <sup>ns</sup>	1090.19*	1818.42*
ضریب تغییرات CV (%)	-	1.74		38.39	8.33	52.23	38.06	39.76	31.99	44.50	52.39

دو درصد وزنی زئولیت، سبب افزایش غلظت سدیم، کلر، بی کربنات، سولفات در خاک شد. کاربرد شش درصد وزنی زئولیت نیز سبب افزایش پتاسیم، منیزیم و کلسیم شد.

به دلیل مقادیر بالای سدیم و سولفات در تیمار زئولیت پتاسیمی، بیشترین مقدار این کاتیون‌ها نیز به این تیمار اختصاص داشت. مقایسه اثر مقدار زئولیت بر پارامترهای مورد بررسی (با در نظر گرفتن شاهد)، نشان داد که کاربرد

جدول ۷. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع و مقدار زئولیت و عمق خاک بر املاح خاک در مزرعه زعفران  
Table 7. Analysis of variance (mean of squares) for the effect of amount and type of zeolite and soil depth on soil EC in saffron field

منابع تغییرات S.O.V	خطا Error	Z×M×D	M×D	Z×D	Z×M	عمق خاک Soil depth (D)	مقدار زئولیت Amount of zeolite (M)	نوع زئولیت Type of zeolite (Z)
شوری EC	296.92	1.60 <sup>ns</sup>	2.07 <sup>ns</sup>	11.18 <sup>ns</sup>	164.47 <sup>***</sup>	4.28 <sup>ns</sup>	56.79*	102.59 <sup>***</sup>

\*, \*\*\*, ns: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱٪ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.  
\*, \*\*\*, and ns: are significant at 5%, 0.1% probability levels and non significant, respectively.

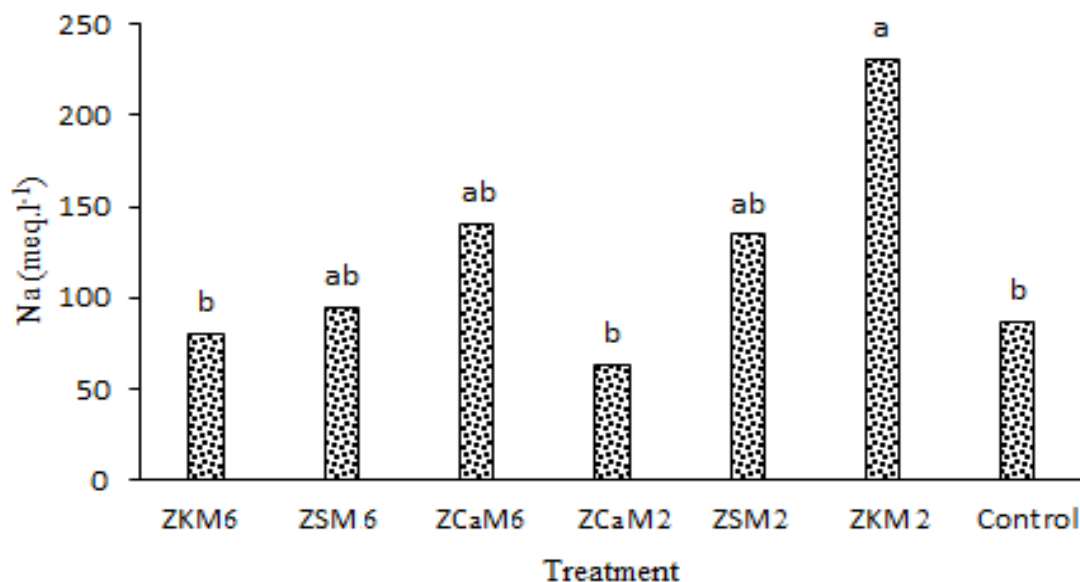
غلظت یون‌های مورد بررسی در این تیمار می‌تواند به این دلیل باشد.

برهمکنش نوع و مقدار زئولیت بر سدیم خاک اثرات متفاوتی نشان داد (شکل ۲). کمترین غلظت سدیم در تیمارهای  $ZCaM_2$  و  $ZKM_6$  مشاهده شد. بیشترین غلظت سدیم نیز در تیمار  $ZKM_2$  تعیین شد که نسبت به دو تیمار قبلی به ترتیب افزایش ۶۵ و ۷۲ درصدی داشت. غلظت سدیم در شاهد نسبت به تیمارهای  $ZCaM_2$  و  $ZKM_6$  بیشتر بود ولی تفاوت معنی‌داری بین شاهد و این تیمارها مشاهده نشد. همچنین با مقایسه سدیم اولیه خاک آزمایش (جدول ۴)، مشاهده شد که تنها در دو تیمار  $ZKM_6$  و  $ZCaM_2$  میزان سدیم کاهش یافت. در حالت کلی، زئولیت به دلیل قابلیت تبادل کاتیونی بالا سبب افزایش سدیم در خاک می‌شود، ولی این فرآیند به نوع و مقدار زئولیت نیز بستگی دارد. زئولیت پتاسیمی به دلیل وجود سدیم بیشتر در ترکیبات خود و اندازه ذرات کوچک‌تر نسبت به سایر زئولیت‌ها، بیشترین تبادل کاتیونی را در بین زئولیت‌های مورد بررسی داشت به همین دلیل افزایش سدیم خاک با کاربرد این زئولیت مشاهده شد. در تحقیقات کیان و همکاران (*Qian et al., 2001*) و زورپاس و همکاران

نتایج برهمکنش نوع و مقدار زئولیت نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری برای غلظت کلسیم، منیزیم، پتاسیم، کلر و سولفات در هیچکدام از تیمارها نسبت به شاهد مشاهده نشد. گرچه بیشترین غلظت کلسیم و منیزیم خاک در تیمار  $ZCaM_6$  تعیین شد. بیشترین غلظت پتاسیم خاک نیز در تیمارهای  $ZSM_2$  و  $ZKM_2$  مشاهده گردید. تیمار  $ZCaM_2$  نیز پتاسیم خاک را ۳۵/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. زورپاس و همکاران (*Zorpas et al., 2000*) افزایش پتاسیم خاک را در اثر کاربرد زئولیت را گزارش کردند؛ در حالی که رضایی و موحدی نایینی (*Rezaei & Movahedi Naeni, 2009*) کاربرد زئولیت را سبب کاهش پتاسیم خاک بیان کردند. نتایج تحقیق حاضر، مشاهدات سایر محققان را تأیید می‌کند؛ به طوری که توجه به نوع و مقدار زئولیت بر کاهش یا افزایش پتاسیم خاک مؤثر می‌باشد. با توجه به جداول ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود که تغییرات کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم تا حدودی به فراوانی آن‌ها در زئولیت مورد نظر بستگی دارد. البته درشت دانه بودن زئولیت کلسیمی نسبت به دو زئولیت دیگر نیز سبب کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی آن نسبت به سایر زئولیت‌ها شده است، بنابراین، کاهش

که زئولیت‌های مختلف اثرات مختلفی بر غلظت سدیم خاک دارند و به دلیل استفاده‌ی محققان قبلی (Zorpas et al., 2000; Qian et al., 2001) از یک نوع زئولیت، افزایش سدیم خاک گزارش شده است.

(Zorpas et al., 2000)، افزایش سدیم خاک بر اثر کاربرد زئولیت گزارش شد. در تحقیق حاضر نیز، برخی از تیمارهای حاوی زئولیت (شامل  $ZSM_6$ ،  $ZCaM_6$ ،  $ZKM_2$  و  $ZSM_2$ ) سدیم خاک را افزایش دادند. این نتایج نشان داد



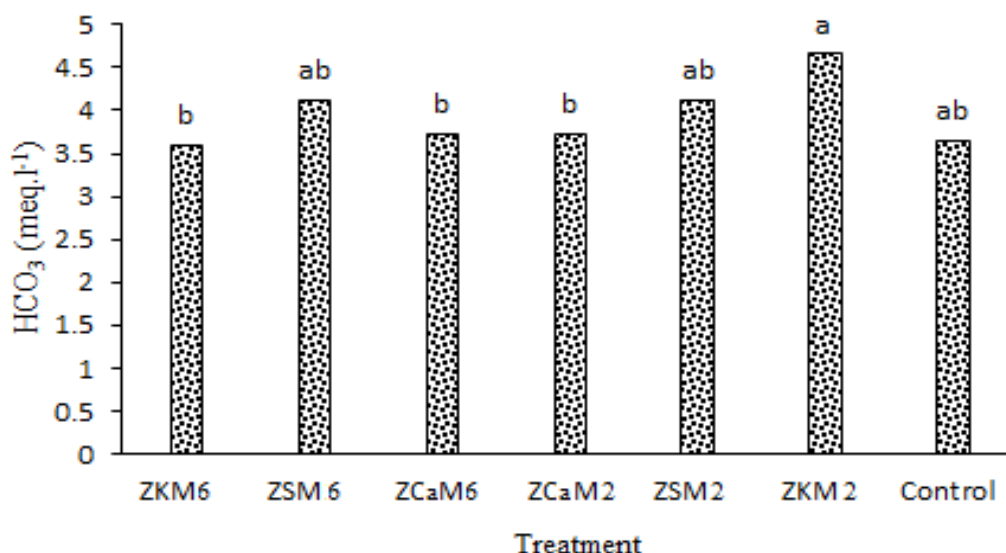
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر نوع و مقدار زئولیت بر غلظت سدیم خاک

Fig. 2. Mean comparisons for the effect of type and amount of zeolite on Soil Na<sup>+</sup>

ZK و ZS: به ترتیب زئولیت کلسیمی، ترکیبی و پتاسیمی و M<sub>2</sub> و M<sub>6</sub>: نیز به ترتیب نشان‌دهنده ۲ و ۶ درصد وزنی زئولیت می‌باشند. ZCa, ZS and ZK: represent calcic, z-mix and potassic zeolite and M<sub>2</sub> and M<sub>6</sub>: indicate 2 and 6 % zeolite levels, respectively.

افزایش مقدار زئولیت سبب کاهش SAR شد؛ به طوری که کمترین مقدار SAR با کاربرد شش درصد وزنی زئولیت به دست آمد. علت آن نیز افزایش غلظت منیزیم و کلسیم در تیمارهای حاوی شش درصد وزنی زئولیت بود. برهمکنش نوع و مقدار زئولیت، تفاوت آماری معنی‌داری بر این پارامتر ایجاد نکرد. گرچه پارامتر SAR در هیچ تیماری تغییرات چندانی نسبت به ابتدای آزمایش نشان نداد، ولی در تیمار  $ZKM_2$  افزایش دو برابری برای این پارامتر تعیین شد. علی‌رغم افزایش SAR در این تیمار، تفاوت معنی‌داری بین نسبت‌های  $Na^+/K^+$ ،  $Na^+/Mg^{2+}$  و  $Na^+/Ca^{2+}$  در هیچکدام از تیمارها مشاهده نشد.

برهمکنش نوع و مقدار زئولیت بر بی‌کربنات خاک نشان داد که تیمارهای  $ZCaM_6$ ،  $ZCaM_2$  و  $ZKM_6$  کمترین غلظت بی‌کربنات را داشتند (شکل ۳). بالاترین غلظت بی‌کربنات در تیمار  $ZKM_2$  به دست آمد؛ به طوری که نسبت غلظت بی‌کربنات در این تیمار نسبت به تیمارهای  $ZCaM_6$ ،  $ZCaM_2$  و  $ZKM_6$  به ترتیب برابر با ۲۲/۵، ۲۰ و ۲۰ درصد افزایش داشت. این تناقض در نتایج به دلیل ماهیت هر زئولیت در کاهش با افزایش ظرفیت تبادل آنیونی است. براساس این نتایج، با افزایش زئولیت کلسیمی بیشترین ظرفیت تبادل آنیونی را در بین دو زئولیت دیگر دارد. خاک‌های حاوی زئولیت‌های پتاسیمی و ترکیبی از لحاظ غلظت بی‌کربنات نیز تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند که علت آن نیز اندازه ذرات و ماهیت نزدیک به هم این دو زئولیت می‌باشد.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر نوع و مقدار زئولیت بر بی‌کربنات خاک

**Fig. 3. Mean comparisons for the effect of type and amount of zeolite on Soil HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

ZK و ZS به ترتیب زئولیت کلسیمی، ترکیبی و پتاسیمی و M<sub>6</sub> و M<sub>2</sub>: نیز به ترتیب نشان‌دهنده ۶ و ۲ درصد وزنی زئولیت می‌باشند. ZCa, ZS and ZK: represent calcic, z-mix and potassic zeolite and M<sub>2</sub> and M<sub>6</sub>: indicate 2 and 6 % zeolite levels, respectively.

سیلیسیم بین زئولیت و خاک بوده است (Matoh et al., 1986; Ahmad et al., 1992; Liang & Ding 2002). البته کاهش هدایت الکتریکی خاک به نوع زئولیت نیز بستگی داشت، به طوری که زئولیت کلسیمی نقش مؤثرتری در کاهش هدایت الکتریکی خاک نسبت به زئولیت‌های ترکیبی و پتاسیمی نشان داد. کاهش هدایت الکتریکی در خاک تحت کاربرد این زئولیت نسبت به زئولیت‌های ترکیبی و پتاسیمی به ترتیب برابر با ۶۷/۳ و ۶۳/۸ درصد بود. علت این کاهش نیز احتمالاً به دلیل مقادیر بیشتر سیلیسیم (جدول ۱) نتایج برهمکنش نوع و مقدار زئولیت بر هدایت الکتریکی خاک نشان داد که تیمار ZKM<sub>2</sub> سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد (شکل ۴). هدایت الکتریکی در این تیمار نسبت به ابتدای فصل کاشت حدود ۵/۶ افزایش داشت. تفاوت هدایت الکتریکی خاک بین این تیمار و شاهد حدود ۳۶/۸ درصد بود، ولی از لحاظ آماری این اختلاف معنی‌دار نبود. کمترین هدایت الکتریکی نیز به تیمار ZCaM<sub>2</sub> مشاهده شد؛ به طوری که نسبت به ابتدای فصل کاشت حدود ۶۷/۳ درصد کاهش نشان داد. کاهش هدایت الکتریکی در این تیمار به دلیل کاهش یون سدیم (شکل ۲) در خاک بوده است. این نتایج با مشاهدات

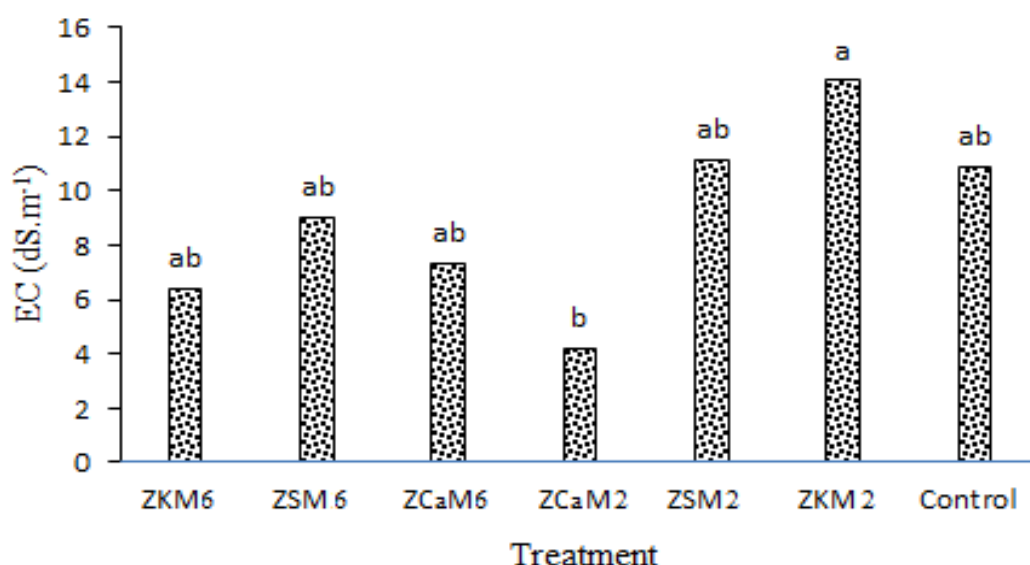
نوع و مقدار زئولیت نیز بر pH خاک اثر معنی‌داری نشان ندادند. علت آن نیز اثر یکسان زئولیت‌ها بر pH خاک بوده است. با مقایسه برهمکنش نوع و مقدار زئولیت نیز تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. بیشترین میزان pH خاک در تیمار ZCaM<sub>2</sub> و کمترین میزان pH خاک در تیمار ZCaM<sub>6</sub> مشاهده شد. شاهد از ZCaM<sub>6</sub>، ZSM<sub>2</sub> و ZKM<sub>2</sub> قلیابیت بیشتری نشان داد و به ترتیب افزایش ۲، ۳ و ۵/۲ درصدی نسبت به این تیمارها نشان داد. البته با مقایسه pH کلیه تیمارها نسبت به pH اولیه خاک (جدول ۴)، مشاهده شد که pH خاک افزایش یافت. نتایج مشابه نیز توسط لین و همکاران (Lin et al., 1998)، فیلشوا و تزدیلاس (Filcheva & Tsadilas, 2001) و محبوب خومامی (Mahboub Khomami, 2011) گزارش شده است. این محققان وجود کاتیون‌ها در ساختار زئولیت و کاهش آبشویی یون‌های خاک توسط زئولیت را از علل افزایش pH خاک بیان کردند.

نتایج نشان داد که با افزایش مقدار زئولیت، هدایت الکتریکی خاک کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل ۷). علت کاهش هدایت الکتریکی خاک احتمالاً افزایش تبادلی



عمق‌های ۲۰-۳۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری نسبت به عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری کاهش یافت. با افزایش زئولیت، هدایت هیدرولیکی خاک کاهش یافته و در نتیجه آبشویی املاح از سطح خاک به عمق‌های پایین‌تر نیز کمتر می‌شود (Ahmadee et al., 2013 a,b). از طرفی، مرطوب ماندن لایه‌های زیرین برای مدت زمان بیشتر، سبب انتقال بیشتر املاح از عمق‌های پایین‌تر به سطح خاک می‌شود.

احمدی و همکاران (Ahmadee et al., 2014) مطابقت داشت. این محققان نیز گزارش کردند که بهبود شرایط خاک و کاهش هدایت الکتریکی آن در تیمار حاوی دو درصد وزنی زئولیت کلسیمی، سبب افزایش درصد سبز شدن بنه‌های زعفران شد. نتایج نشان داد که عمق خاک، برهمکنش نوع زئولیت و عمق خاک و برهمکنش مقدار زئولیت و عمق خاک بر هدایت الکتریکی خاک اثر معنی‌داری نداشتند. گرچه با افزایش مقدار زئولیت ( $M_6$ )، هدایت الکتریکی خاک در



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر نوع و مقدار زئولیت بر هدایت الکتریکی خاک

Fig. 4. Mean comparisons for the effect of type and amount of zeolite on soil EC

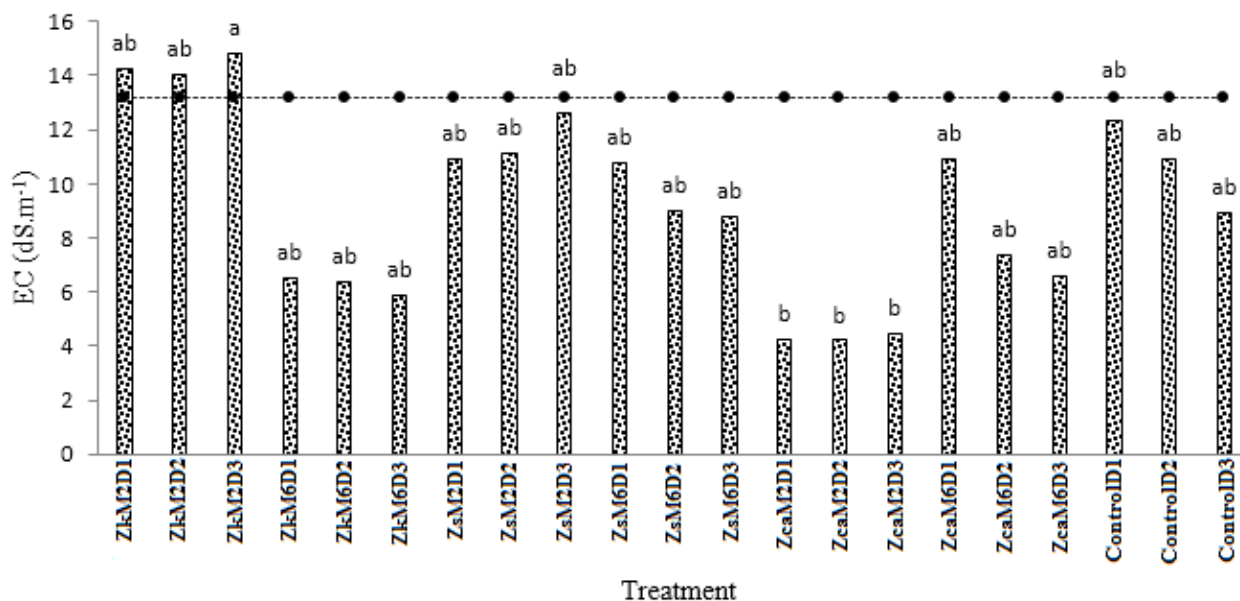
ZK and ZS: به ترتیب زئولیت کلسیمی، ترکیبی و پتاسیمی و  $M_2$  و  $M_6$ : نیز به ترتیب نشان‌دهنده ۲ و ۶ درصد وزنی زئولیت می‌باشند. ZCa, ZS and ZK: represent calcic, z-mix and potassic zeolite and  $M_2$  and  $M_6$ : indicate 2 and 6 % zeolite levels, respectively.

به ترتیب ۶۷/۸، ۶۸ و ۶۵/۸ درصد کاهش داشت. مقایسه هدایت الکتریکی سایر تیمارها نسبت به هدایت الکتریکی اولیه خاک بیانگر کاهش هدایت الکتریکی در طی فصل زراعی به علت آبشویی بود. گرچه در برخی تیمارها میزان کاهش هدایت الکتریکی این تغییرات اندک بود. در تیمارهای حاوی شش درصد زئولیت پتاسیک ( $ZKM_6D_1$ ،  $ZKM_6D_2$  و  $ZKM_6D_3$ ) هدایت الکتریکی خاک افزایش داشت. این نتایج با مشاهدات ال-بوسعیدی و همکاران (Al-Busaidi et al., 2008) مطابقت داشت. این محققان

برهمکنش نوع و مقدار زئولیت در اعماق مختلف خاک نشان داد که کاربرد زئولیت کلسیک با مقدار دو درصد وزنی سبب کاهش معنی‌داری هدایت الکتریکی خاک شد، به طوری که کمترین هدایت الکتریکی در تیمارهای  $ZCaM_2D_1$ ،  $ZCaM_2D_2$  و  $ZCaM_2D_3$  مشاهده شد (شکل ۵). علت این پدیده را می‌توان کاهش یون سدیم در این تیمارها بیان کرد. هدایت الکتریکی در این تیمارها به ترتیب برابر با ۴/۲۴، ۴/۲۱ و ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر بود و نسبت به هدایت الکتریکی خاک در ابتدای فصل کاشت

2011) نیز گزارش کردند که کاربرد زئولیت سبب افزایش مشکلات شوری در خاک شد. گرچه این محققان به نوع زئولیت مورد استفاده اشاره‌ای نکرده بودند، ولی افزایش هدایت الکتریکی خاک در تحقیقات ایشان احتمالاً به علت استفاده از زئولیت نوع پتاسیمی است.

گزارش کردند که کاربرد زئولیت سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد و علت آن را وجود مواد معدنی در زئولیت و همچنین ظرفیت نگهداری نمک توسط این کانی بیان کردند. همچنین کیان و همکاران ( Qian et al., 2001) و محبوب خومامی ( Mahboub Khomami, )



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر نوع و مقدار زئولیت و عمق خاک بر شوری خاک

Figure 5. Mean comparisons for the effect of type and amount of zeolite and soil depth on soil EC

هدایت الکتریکی اولیه خاک به صورت خط افقی نشان داده شده است.

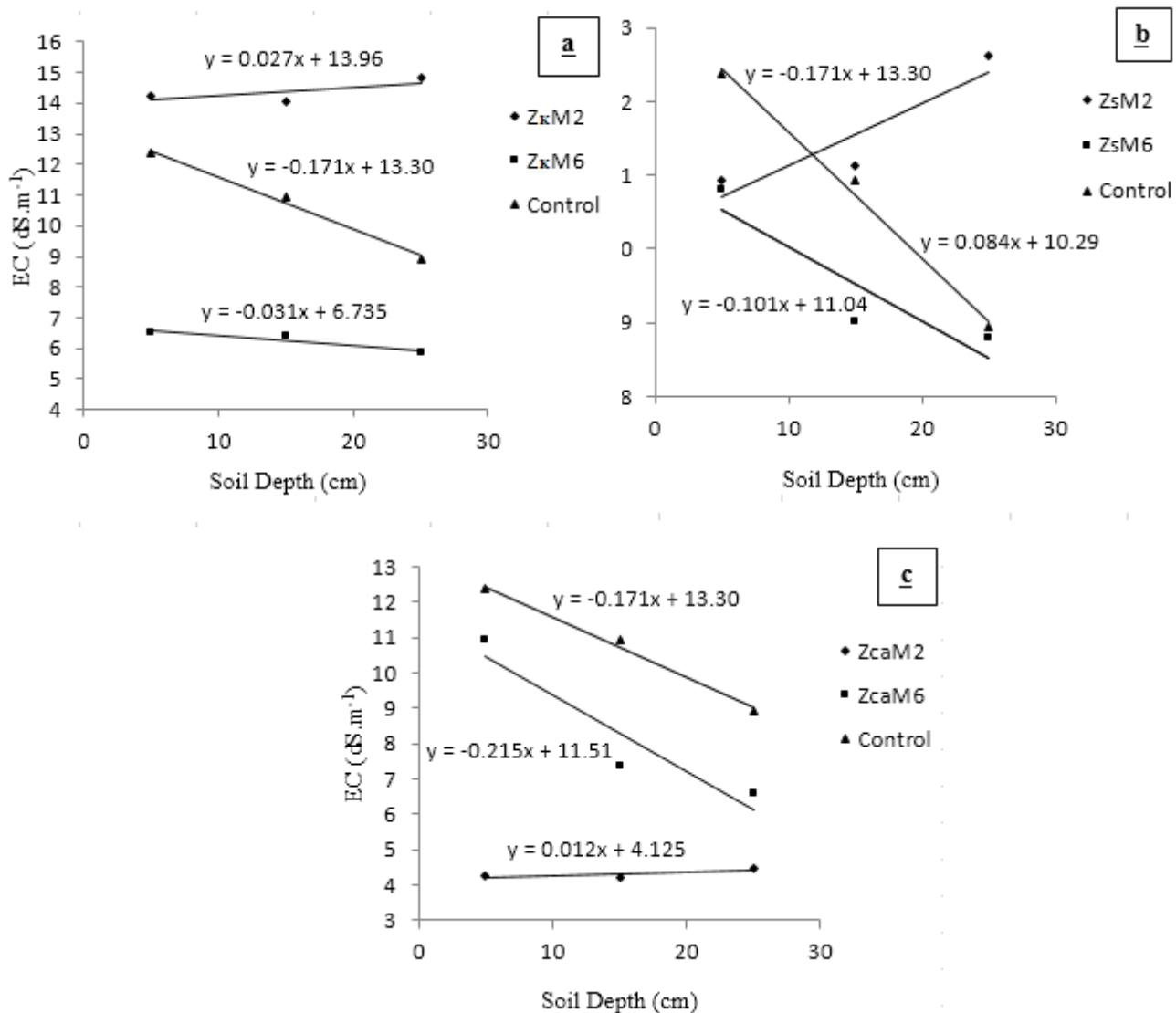
D1, D2 و D3: به ترتیب نشان‌دهنده اعماق ۰-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متر، ZCa, ZS و ZK: زئولیت کلسیمی، ترکیبی و پتاسیمی و M2 و M6: نیز به ترتیب نشان‌دهنده ۲ و ۶ درصد وزنی زئولیت می‌باشند.

Initial Soil ECe is shown as horizontal line.

D1, D2 and D3: are depth 0-10, 10-20 and 20-30 cm, ZCa, ZS and ZK: represent calcic, z-mix and potasic zeolite, and M2 and M6: indicate 2 and 6 % zeolite levels, respectively.

ZKM6 به ترتیب افزایش ۶/۳ و ۵/۵ برابر بیشتر بود. گرچه شیب تغییرات املاح در نیمرخ خاک برای تیمار ZKM2 تقریباً صعودی و برای تیمار ZKM6 تقریباً نزولی بود؛ ولی این تغییرات بسیار کم بود و از آن‌ها می‌توان صرف نظر کرد. علت آن نیز احتمالاً نگهداشت رطوبت، کاهش هدایت هیدرولیکی خاک و کنترل حرکت املاح توسط زئولیت پتاسیک باشد ( Ahmadee et al., 2013 a,b; Khashei, Siuki & Ahmadee, 2016). همچنین خلل و فرج ریز و ذرات زئولیت سبب کاهش سرعت حرکت آب در خاک شده به همین علت سرعت حرکت املاح در خاک آهسته‌تر می‌شود (Lin et al., 1998; Al-Busaidi et al., 2008).

تغییرات هدایت الکتریکی خاک برای عمق‌های مختلف در شکل ۶ نشان داده شده است. تغییرات هدایت الکتریکی در نیمرخ خاک شاهد نشان داد که در اعماق بالاتر هدایت الکتریکی بیشتر از دو عمق دیگر است. افزایش هدایت الکتریکی در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری نشان‌دهنده‌ی حرکت املاح از اعماق پایین به سطح خاک در اثر تبخیر است. با توجه به بالا بودن دمای هوا در انتهای فصل رشد این فرآیند انجام شده است. تغییرات هدایت الکتریکی در نیمرخ خاک برای تیمار زئولیت پتاسیمی بسیار کمتر از شاهد بود. تغییرات هدایت الکتریکی در شاهد با شیبی برابر ۰/۱۷۱ رخ داد و نسبت به تغییرات تیمارهای ZKM2 و



شکل ۶. روند تغییرات شوری در اعماق مختلف تحت تاثیر نوع و مقدار زئولیت

Figure 6. Trends of  $EC_e$  at different soil depths affected as type and amount of zeolite

$ZCa$ ,  $ZS$  and  $ZK$  represent calcic, z-mix and potassic zeolite,  $M_2$  and  $M_6$ : indicate 2 and 6 % zeolite levels, respectively. نیز به ترتیب نشان دهنده ۲ و ۶ درصد وزنی زئولیت می باشند.

حالی که کاربرد شش درصد وزنی زئولیت کلسیمی ( $ZCaM_6$ ) اثری مشابه شاهد داشت. به طور کلی، مقادیر دو درصد وزنی زئولیت سبب افزایش هدایت الکتریکی در عمق نسبت به سطح خاک شد در حالی که مقادیر شش درصد وزنی زئولیت سبب افزایش هدایت الکتریکی در سطح خاک شدند.

علت این پدیده را می توان کاهش آبشویی املاح و فرصت بیشتر برای صعود موئینگی املاح به همراه رطوبت بیان کرد. تفاوت هدایت الکتریکی در زئولیت های کلسیمی و ترکیبی بسیار مشهودتر از زئولیت پتاسیک بود که علت

تغییرات هدایت الکتریکی در تیمارهای حاوی زئولیت ترکیبی به مراتب بیشتر از زئولیت پتاسیمی بود. علت آن نیز احتمالاً ماهیت این زئولیت باشد. زئولیت ترکیبی خلوص کمتری نسبت به پتاسیمی دارد و همین عامل احتمالاً سبب کاهش خصوصیات نگهداشت املاح در این تیمار شد. کاربرد شش درصد وزنی زئولیت ترکیبی ( $ZSM_6$ )، حرکت املاح به سطح خاک را نسبت به کاربرد مقادیر دو درصد وزنی ( $ZSM_2$ ) افزایش داد. کاربرد دو درصد زئولیت کلسیمی ( $ZCaM_2$ ) همانند زئولیت پتاسیمی سبب کاهش حرکت املاح به سطح خاک شد؛ در

هدایت الکتریکی خاک اثر معنی‌داری داشتند. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان داد که نوع و مقدار زئولیت کاربردی در خاک می‌تواند اثر متفاوتی بر هدایت الکتریکی خاک داشته باشد؛ به طوری که در برخی تیمارها سبب افزایش هدایت الکتریکی ( $ZKM_2$ ) و در برخی دیگر سبب کاهش هدایت الکتریکی ( $ZSM_2$ ,  $ZCaM_6$  و  $ZKM_2$ ) خاک شد. بنابراین، توصیه می‌شود به منظور کشت زعفران، به خصوص در خاک‌های شور، از زئولیت کلسیمی در لایه‌های زیرین خاک استفاده شود. این عمل سبب ایجاد محیطی مناسب برای رشد بانه و کاهش اثرات شوری خاک توسط زراعت زعفران می‌گردد. همچنین توصیه می‌شود جهت جلوگیری از صعود شوری به سطح خاک در فصل رشد زعفران (و همچنین در زمان خواب تابستانه)، زئولیت پتاسیمی به لایه‌های بالایی خاک اضافه شود تا با به تعویق انداختن تبخیر از سطح خاک، به این امر کمک نماید.

آن را می‌توان خلوص کمتر در زئولیت ترکیبی و اندازه ذرات درشت‌تر در زئولیت کلسیمی بیان کرد. سطح خاک در این دو زئولیت همانند شاهد به سرعت خشک شده و شیب هیدرولیکی برای انتقال املاح از اعماق پایین‌تر به سطح خاک فراهم می‌شود. در صورتی که زئولیت پتاسیمی در هر دو مقدار مورد استفاده در مدت طولانی‌تری رطوبت خود را در برابر تبخیر حفظ می‌کنند (Ahmadede, 2014).

### نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد نوع زئولیت اثر معنی‌داری بر غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های خاک نداشت، در حالی که مقدار زئولیت بر بی‌کربنات خاک اثر معنی‌داری نشان داد. برهمکنش نوع و مقدار زئولیت بر غلظت کلسیم، منیزیم، کلر، بی‌کربنات، سولفات و  $pH$  و نیز بر غلظت سدیم و مجموع کاتیون‌ها معنی‌داری شد. همچنین نوع زئولیت، مقدار زئولیت و اثر متقابل نوع و مقدار زئولیت بر

### منابع

- Ahmad, R., Zaheer, S.H., and Ismail, S., 1992. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Sci.* 85, 43-50.
- Ahmadede, M., 2014. Effect of Zeolite on fertility and reducing nitrate leaching from saline soil under saffron cultivation. MSc Thesis. University of Birjand, Birjand, Iran. [in Persian With English summary].
- Ahmadede, M., Khashei Siuki, A., Kabiri, T., Seyyedi, S., and Khasi, F., 2013a. Evaluation of soil moisture characteristics curve with application of zeolite. 13<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress. [in Persian]
- Ahmadede, M., Khashei Siuki, A., Seyyedi, S., Kabiri, T., and Khasi, F., 2013 b. Evaluation of type and amount of zeolite on soil hydraulic conductivity. 13<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress. [in Persian]
- Ahmadede, M., Khashei Suki, A., and Sayyari, M.H., 2014. Type and amount evaluation of natural clinoptilolite zeolites impacts on saffron (*Crocus sativus* L.) emergence. *J. Saffron Res.* 1(2), 97-109. [in Persian With English Summary].
- Ahmadede, M., and Khashie Siuki, A., 2013. Evaluation of application of type and amount of zeolite on saffron (case study: leaf length and leaf dry weight). First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture. [in Persian]
- Al-Busaidi, A., Yamamoto, T., Inoue, M., Eneji, A.E., Mori, Y., and Irshad, M., 2008. Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. The 3<sup>rd</sup> International Conference on Water Resources and Arid Environments and the 1<sup>st</sup> Arab Water Forum.
- Anonymous., 2008. Guidelines for Laboratory Analysis of Soil and Water Samples; No. 467, Islamic Republic of Iran Vice Presidency for Planning and Supervision. 278 pp. [in Persian]
- Azizi, E., Jahani Kondori, M., and Divan, R., 2013. The effect of soil physiochemical characteristics and field age on

- agronomic traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *J. Agroecol.* 5(2), 134-142. [in Persian with English Summary].
- Balba, A.M., 1975. Predicting soil salinization alkalization and waterlogging. *J.S.S. UAR.* P. 17.
- Bybordi, M., 1989. Problems in planning of irrigation project in Iran. In: J.R. Rydzewskin and C.F. Ward (Eds.). *Irrigation: Theory and Practice.* Pentech Press, London, pp. 115-123.
- Classen, N.E., and Wilcox, G.E., 1974. Comparative reduction of calcium and magnesium composition of corn tissue by  $NH_4-N$  and K fertilization. *Agron. J.* 66, 521-522.
- Emadi, H., Nezhad, J.E., and Pourbagher, H., 2001. In vitro comparison of zeolite (clinoptilolite) and activated carbon as ammonia absorbents in fish culture. In: Naga, Y., Ed. *Penang, Malaysia: ICLARM.* 24(1-2), pp. 18-20.
- Filcheva, E.G., and Tsadilas, C.D., 2001. Influence of clinoptilolite and compost on soil properties. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33(3-4), 595-607.
- Ghodsi, A., Astarai, A.R., and Emami, H., 2015. Effects of nano iron oxide powder and urban solid waste compost coated sulfur on chemical properties of a saline-sodic soil. *J. Desert.* 20, 39-46.
- Helal Beygi, Y., 2009. The effect of saffron crop management on some of soil physical and chemical properties. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran. [in Persian With English Summary].
- Herwijnen, R.V., Hutchings, T.R., Al-Tabbaa, A., Moffat A.J., Johns, M.L., and Ouki, S.K., 2007. Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts. *Environ. Pollut.* 150, 347-354.
- Huang, Z.T., and Petrovic, A.M., 1994. Clinoptilolite zeolite influence on nitrate leaching and nitrogen-use efficiency in simulated sand-based golf greens. *J. Environ. Qual.* 23, 1190-1194.
- Jafari, M., 2000. *Saline Soils in Natural Resources.* Tehran University Publication. 195 pp. [in Persian].
- Janzen, H.H., and Chang, C., 1987. Cation nutrition of barley as influenced by soil solution composition in saline soil. *Can. J. Soil Sci.* 67, 619-629.
- Kazemian, H., 2004. *Introduction to Zeolites, Minerals Magic.* Behesht Publication. 126 pp. [in Persian].
- Khashei Siuki, A., and Ahmadee, M., 2016. *Zeolites: introduction, properties and their applications.* University of Birjand Publication. 100 pp. [in Persian].
- Khoshkhoy, M., Eshghi, S., and Nazari, F., 2007. Effect of natural zeolite on physiological properties of *Tagetes*. 5<sup>th</sup> Congress of Iranian Horticultural Science. 396 p.
- Koochehi A., Rezvani Moghaddam, P., Mollafilabi, A., and Seyyedi, S.M., 2014. Effects of corm planting density and manure rates on flower and corm yields of saffron (*Crocus sativus* L.) in the first year after planting. *J. Agroecol.* 6(4), 719-729.
- Koochehi, A., Nassiri M., and Behdani, M.A., 2006. Agronomic attributes of saffron yield at agroecosystems. *Acta Hort.* 739, 24-33.
- Li, D., Joo J.K., Christians, N.E., Minner, D.D., 2000. Inorganic soil amendment effects on sand-based sports turf media. *Crop Sci.* 40, 1121-1125.
- Liang, Y.C., and Ding, R.X., 2002. Influence of silicon on microdistribution of mineral ions in roots of salt-stressed barley as associated with salt tolerance in plants. *Sci. China* 45, 298-308.
- Lin, C.F., Lo, S.S., Lin, H.Y., and Lee, Y., 1998. Stabilization of cadmium contaminated soils using synthesized zeolite. *J. Hazard. Mater.* 60, 217-226
- Mahboub Khomami, A., 2011. Influence of substitution of peat with Iranian zeolite (Clinoptilolite) in peat Medium on *Ficus benjamina* growth. *J. Orn. Hortic. Plant.* 1(1), 13-18.
- Matoh, T., Kairusmee, P., and Takahashi, E., 1986. Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate. *Soil Sci. Plant Nutr.* 32, 295-304.
- Minato, H., 1968. Characteristics and uses of natural zeolites. *Koatsu. Gasu.* 5, 536-547.
- Ming, D.W., and Allen, E.R., 2001. Use of natural zeolites in agronomy, horticulture, and environmental soil remediation, p. 619-649. In: D.L. Bish, and D.W. Ming, Eds.
- Ming, D.W., and Mumpton, F.A., 1989. Zeolite in soils. In: *Minerals in soil*

- environments, J.B. Dixon and S.B. Week, pp. 874–911. Madison, Wisc.: SSSA.
- Mobaraki, Z., 2005. *Saffron Cultivation Locating in Qazvin Province*. MSc Thesis. Tehran University. Tehran, Iran. [in Persian with English Summary].
- Mollafilabi, A., 2004. *Experimental findings of production and echophysiological aspects of saffron (Crocus sativus L.)*. *Acta Hort.* 650, 195-200.
- Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R., 1992. *Methods of Soil Analysis. Part: II. Chemical and mineralogical properties; No. 9*. SSSA Pub., Madison, USA. 1159 pp.
- Perrin, T.S., Boettinger, J.L., Drost, D.T., and Norton, J.M., 1998. *Decreasing nitrogen leaching from a sandy soil with ammonium-loaded clinoptilolite*. *J. Environ. Qual.* 27, 656–663.
- Polite, E., Karuca, M., Demire, H., and Naci Onus, A., 2004. *Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture*. *J. F. Orna. Plant Res.* 12, 183-189.
- Qian, Y.L., Koski, A.J., and Welton, R., 2001. *Amending isolate and zeolite in sand under saline conditions: leachate composition and salt deposition*. *Hort. Sci.* 36, 717-720.
- Rengasamy, P., 1987. *Importance of calcium in irrigation with saline-sodic water- A viewpoint*. *Agric. Water Man.* 12, 207-219.
- Rezaei, M., and Movahedi Naeini, S.A.R., 2009. *Kinetics of potassium desorption from the loess soil, soil mixed with zeolite and the clinoptilolite zeolite as influenced by calcium and ammonium*. *J. Appl. Sci.* 9, 3335–3342.
- Shahroodi, A., Ahmadi, A., and Chizari, M., 2007. *Structures affect the yield and quality of saffron: Case study: Torbat Haydarieh city*. *Iran. Agric. Ext. Educ. J.* 3, 143 -157. [in Persian with English Summary].
- Shiranirad, A., Moradi Aghdam, A., Taherkhani, T., Eskandari, K., and Nazari Golshan, A., 2011. *Evaluation of canola reaction to nitrogen values and humidity regime to application of zeolite*. *J. Crop Echoph.* 3(4), 296-306. [in Persian with English Summary].
- Song, J.Q., and Fujiyama, H., 1996a. *Differences in response of rice and tomato subjected to sodium salinization to the addition of calcium*. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42, 503-510.
- Inglezakis, V.J., 2005. *The concept of 'capacity' in zeolite ion-exchange systems*. *J. Coll. Int. Sci.* 281, 68-79.
- Zare Abyaneh, H., Jovzi, M., Afruzi, A., Gharibzadeh, A., 2014. *Determination of electrical conductivity of the saturation extract (EC<sub>e</sub>) relationships with a few soil salinity parameters in comparison with the new method of calculating EC<sub>e</sub>*. *J. Eng. Irrig. Water.* 16, 81-93. [in Persian with English Summary].
- Zorpas, A.A., Kapetanios, E., Zorpas, G.A., Karlis, P., Vlyssides, A., Haralambous, I., and Loizidou, M., 2000. *Compost produced from organic fraction of municipal solid waste, primary stabilized sewage sludge and natural zeolite*. *J. Hazard. Matter.* B77, 149–159.



## ***Effects of Types and Amounts of Zeolite on Some Chemical Characteristics of Soil under Saffron Cultivation***

***Mohsen Ahmadee<sup>1\*</sup>, Abbas Khashei Siuki<sup>2</sup>, Mohammad Hasan Sayyari<sup>3</sup> and Hamid Kardan Moghaddam<sup>4</sup>***

*1-PhD Student, Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran*

*2- Associate Professor of Water Engineering, University of Birjand, Iran*

*3- Associate Professor, Department of soil Sciences and Special Plants Regional Research centre, College of Agriculture, University of Birjand, Iran*

*4-PhD student of Water Resource Management, University of Tehran, Iran*

*\*Corresponding Author Email: m.ahmadee@ymail.com*

*Received 4 June 2016; Accepted 21 April 2017*

### ***Abstract***

*Saffron (*Crocus sativus* L.) is a subtropical plant which is cultivated in Iran so far and its yield is strongly dependent on soil chemical properties. Zeolites are one of the substances which are used to improve soil characteristics and soil correction capability as well. To evaluate the effects of these minerals in some soil chemical properties (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, pH and EC) under saffron cultivation, a study was conducted at completely randomized design with seven treatments at the Agricultural Research Station, University of Birjand during 2012. Factors which examined in this study included type of Zeolites: calcic zeolite (ZCa), potasic zeolite (ZK) and z-mix zeolite (ZS) in three levels: zero (Z<sub>0</sub>), 2 (M<sub>2</sub>) and 6 (M<sub>6</sub>) as weight% with 9 replications. These treatments were mixed with soil and were placed in pots with diameter 30 cm and height 35 cm. Soil sampling was done in depth of 10-20 cm at the end of crop season. Also, soil sampling was performed at two other depth layers (0-10 and 20-30 cm) for determination of soil EC. The results showed that the effect of zeolite was significant on bicarbonate concentration in soil solution ( $P \leq 0.05$ ). Interaction effect between type and amount of zeolite was significant on Ca, Mg, Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> concentrations in soil solution and pH as well ( $P \leq 0.05$ ) and it affected on Na and total cations ( $P \leq 0.01$ ), but the amount of Zeolite has no affect. Mean comparisons showed that application of ZK on both levels was affected on sodium and bicarbonate of soil solution. The application of ZCa caused significant change in soil salinity (ECe) and this factor reduced 3.1 to 3.9 times compared to control. Regarding to the results, it is recommended to use calcic zeolite in lower soil depth and potasic zeolite in soil surface. It is beneficial to reduce the solute transport toward the soil surface and reduction of ECe in corm root zone.*

***Key words:*** Clinoptilolite zeolite, Soil salinity, Soil electrical conductivity.