نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۵، ص. ۸۴۱-۸۲۹

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2016, p. 829-841

اثر مقدار کود و زئولیت‌های کلسیمی، پتاسیمی و ترکیبی بر کاهش آبشویی نیترات از خاک

محسن احمدی[۱*]- عباس خاشعی سیوکی[۲]- محمد حسن سیاری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۱۳

چکیده

آبشویی نیترات نه تنها باعث اتلاف هزینه‌های بسیار زیادی می‌شود بلکه تشدید آلودگی منابع آب را نیز به دنبال خواهد داشت. بدین منظور راه‌های بسیاری برای جلوگیری از آبشویی نیترات پیشنهاد شده است که به دلیل مشکلاتی مانند هزینه بالا و کارایی کم مورد استقبال واقع نشده‌اند. استفاده از زئولیت‌ها یکی از راه‌هایی است که به دلیل ارزانی و توانایی بالا مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور این تحقیق در سال ۱۳۹۲ با ۲۱ تیمار و در ۳ تکرار و مجموعاً ۶۳ گلدان در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق شامل نوع زئولیت (کلسیمی: Zca، پتاسیمی: Zk و ترکیبی: Zs) در سه سطح (M0، M2 و M6 به ترتیب شامل صفر، ۲ و ۶ درصد وزنی) و سه سطح کود اوره (F0، F2 و F4 به ترتیب شامل صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) بود. نتایج نشان داد که نوع زئولیت، مقدار زئولیت، مقدار کود مصرفی، نوع زئولیت×مقدار زئولیت اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر آبشویی نیترات داشتند. همچنین اثر متقابل مقدار زئولیت × مقدار کود نیز در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌داری بر آبشویی نیترات نشان داد. سایر اثرات متقابل معنی‌دار نشدند. در این آزمایش، زئولیت پتاسیمی اثر بیشتری بر کاهش آبشویی نیترات نشان داد. با اعمال ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم کود اوره، کمترین میزان آبشویی در تیمار ZkM6 مشاهده شد که نسبت به شاهد به ترتیب ۳/۴۷ و ۴/۶۱ برابر کاهش داشت. با توجه به معنی‌دار نبودن اختلاف تیمارهای ZkM6F2 و ZkM6F4 نسبت به ZcaM2F4، به منظور کاهش مصرف زئولیت، پیشنهاد می‌شود که از تیمار ZcaM2F4 در کشت زعفران استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: زعفران، کلینوپتیلولایت، نگهداشت نیترات

مقدمه

نیتروژن یکی از عناصری است که برای رشد گیاهان ضروری می‌باشد و به همین دلیل کشاورزان برای بهبود رشد گیاهان از کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار استفاده می‌کنند. از پرکاربردترین کودهای نیتروژن‌دار، کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن است. این کود به شکل کریستال‌ها جامد و سفید رنگ می‌باشد و از سایر کودها نیز ارزان‌تر است. سبک بودن، مقاومت در برابر فساد و سهولت استفاده از دیگر ویژگی‌های این کود به شمار می‌روند (۱۸).

در ایران سالانه بیش از ۱۶۰۰۰۰۰ تن اوره در کشاورزی استفاده می‌شود (۳). نیترات به دلیل تحرک زیاد و عدم جذب توسط ذرات خاک به سرعت شستشو می‌شود و وارد منابع آب می‌گردد همچنین با توجه به آبشویی این کود بیش از ۵۰ درصد آن هنگام مصرف تلف می‌شود. آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی به نیترات در بسیاری از مناطق دنیا به صورت یک مشکل جدی مطرح است (۱۰). این یون مشکل چندانی بر محیط زیست و موجودات وارد نمی‌سازد ولی به دلیل احیای آن به نیتریت در بدن انسان، سبب افزایش مشکلاتی مانند اختلال در اکسیژن رسانی به بدن (۱۴)، تومورهای معده، مغز، پوست و استخوان (۱۵)، فشار خون بالا، افزایش مرگ و میر نوزادان، گواتر و تولد نوزادان نارس می‌شود (۶ و ۹). بنابراین جلوگیری از آبشویی این یون اهمیت خاصی پیدا می‌کند. تاکنون راهکارهای متعددی بدین منظور ارائه شده است که به دلیل هزینه بالا و کارایی محدود مورد استقبال واقع نشده است. در سال‌های اخیر کاربرد زئولیت به عنوان روشی ارزان و مناسب بدین منظور پیشنهاد شده است (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۶، ۲۷ و ۳۰). همچنین با توجه به منابع غنی زئولیت در ایران کاربرد این روش هزینه چندانی نخواهد داشت.

در مطالعه‌ای پولات و همکاران (۲۷) نشان دادند که افزودن زئولیت زئولیت به خاک‌های شنی نشان دادند که قابلیت نگهداری آب

۱ و ۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی و استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند
(*- نویسنده مسئول: Email:m.ahmadee@ymail.com)
۳ -استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بیرجند

و نیتروژن قابل نگهداشت افزایش یافت؛ همچنین مشاهده شد که این کانی طبیعی در نگهداری پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سایر عناصر ریز مغذی نیز موثر می‌باشد. سلیک و همکاران (۵) با بررسی کانی‌های زئولیت نتیجه گرفتند که این کانی‌ها به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی مقدار زیادی از یون‌های آمونیوم را جذب می‌کند. سپاسخواه و یوسفی (۲۹) با مطالعه و بررسی نسبت‌های متفاوت زئولیت به بررسی میزان آبشویی آمونیوم از خاک پرداختند و نشان دادند که استفاده از این کانی می‌تواند در جلوگیری از آبشویی آمونیوم موثر باشد. فرگوسن و پپر (۱۳) با افزودن زئولیت به خاک تحت کشت چمن نشان دادند که استفاده از زئولیت سبب کاهش آبشویی نیترات و افزایش بازده مصرف نیتروژن می‌گردد. مطالعات پرز و همکاران (۲۶) نشان داد که اثر زئولیت بر کاهش آبشویی نیترات موثر است و استفاده از این کانی علاوه بر کاهش آبشویی نیترات سبب کاهش نیاز به کوددهی نیز شده است. دوزیر و همکاران (۱۰) به منظور کاهش آلودگی منابع آب زیرزمینی کاربرد زئولیت را به عنوان بهترین اقدام مدیریتی معرفی کرده است. از سایر مطالعات انجام شده دراین خصوص می‌توان به تحقیقات عابدی کوپایی و همکاران (۱) اشاره کرد.

گرچه تاکنون مطالعات بسیاری روی اثر زئولیت در کاهش آبشویی نیترات انجام شده است ولی تاکنون اثر سه نوع زئولیت پر مصرف در ایران به همراه مقادیر مختلف کودی بررسی نشده است. همچنین در این تحقیق با توجه به نیاز کودی مزارع زعفران به بررسی اثر زئولیت پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر مقدار کود و نوع زئولیت در نگهداری نیترات، پژوهشی در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با طول جغرافیایی ´۲۱ °۵۹، عرض جغرافیایی ´۸۷ °۳۲ و ارتفاع ۱۴۹۱ از سطح دریا در کشت زعفران انجام شد. تحقیق حاضر به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در این تحقیق تیمار نوع زئولیت (کلسیمی: Zca، پتاسیمی: Zk و ترکیبی: Zs) در سه سطح (M0، M2 و M6 به ترتیب شامل صفر، ۲ و ۶ درصد وزنی) و سه سطح کود اوره (F0، F2 و F4 به ترتیب شامل صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) و با سه تکرار در نظر گرفته شدند. زئولیت‌های مورد نظر با ظرفیت تبادل کاتیونی ۲/۶ میلی‌اکی‌والان بر گرم از معدن زئولیت آبگرم در استان سمنان (با طول جغرافیایی ´۱۵ °۵۳ و عرض جغرافیایی ´۲۵ °۳۵) تهیه شد.

به منظور آماده‌سازی بستر مناسب کشت، از گلدان‌های پلاستیکی به وزن ۶۰۰ گرم و با ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و قطر ۳۰ سانتی‌متر استفاده گردید. در کف گلدان‌ها سوراخی به منظور خروج زه آب تعبیه شد. خاک مورد استفاده در آزمایش از یکی از مزارع کشاورزی در دشت بیرجند که حاوی خاک شور بوده و قبلاً به منظور کشت زعفران استفاده می‌شده است تهیه گردید. ابتدا با استفاده از الک ۵ میلی‌متری خاک مورد استفاده یکنواخت شد. سپس با توجه به تیمارهای وزنی مورد استفاده، زئولیت با خاک مخلوط شد و در هر گلدان ۲۱ کیلوگرم خاک افزوده شد. در کف گلدان‌ها به ارتفاع ۳ سانتی‌متر شن به قطر ۵ تا ۲۰ میلی‌متر ریخته شد تا از خروج خاک جلوگیری گردد. در هر گلدان ۳ عدد پیاز زعفران در بازه‌ی وزنی ۶-۴ گرم به فاصله مساوی از هم و در عمق ۱۸ سانتی‌متر کاشته شد. مشخصات خاک آزمایش در جدول ۱ و مشخصات زئولیت‌های مورد استفاده در جدول‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. زئولیت‌های کلسیمی و پتاسیمی به ترتیب با قطرهای ۷-۱ و ۲-۱ میلی‌متر و با خلوص کامل در دسترس می‌باشند. زئولیت ترکیبی نیز با قطر ۲-۱ میلی‌متر و به صورت ناخالص از معدن تهیه می‌شود و به همین صورت مورد استفاده قرار گرفت.

پس از جمع‌آوری گل‌های زعفران، کود اوره به همراه آب آبیاری (زائیچ آب) به هر گلدان اضافه شد. به منظور آبیاری گلدان‌ها ۵ سانتی‌متر از بالای گلدان‌ها خالی نگه‌داشته شد. مشخصات آب آبیاری در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به اثر متفاوت هر تیمار بر نگهداری رطوبت، براساس نتایج به دست آمده از آزمایش‌های جداگانه، جز آبشویی برابر ۰/۲ در نظر گرفته شد تا هر گلدان میزان زهاب قابل ملاحظه‌ای برای اندازه‌گیری نیترات داشته باشد. به منظور جمع‌آوری زه آب، در زیر گلدان‌ها، ظرف نمونه گیری تعبیه شده بود. پس از خروج زه آب، نمونه‌ها در ظرف مخصوص ریخته شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردید و در یخچال نگهداری شدند. به منظور تعیین غلظت نیترات نمونه‌ها از دستگاه اسپکتروفوتومتر و در طول موج ۴۰۰ میکرومتر استفاده شد (۲۴).

سپس نتایج توسط نرم‌افزار SAS 9.1.3 و با استفاده از آزمون آماری توکی تجزیه و تحلیل شدند. برای مرتب‌سازی داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که نوع و مقدار زئولیت در سطح احتمال ۱ درصد بر کاهش آبشویی نیترات اثر معنی‌دار داشتند (جدول ۶). این نتایج با مطالعات عابدی کوپایی و همکاران (۱) مطابقت داشت. این محققان نیز با بررسی دو نوع زئولیت میانه و مشهد بر آبشویی نیترات گزارش کردند که زئولیت مشهد در نگهداری کود اوره موثرتر است.

جدول ۱- مشخصات خاک مورد استفاده در تحقیق

Table 1- Soil properties used in the study

شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت خاک Soil Texture	جرم مخصوص ظاهری Bulk Density ($g.cm^{-3}$)	N (Total) %	Ca	Mg	K	Na	pH –	EC ($dS.m^{-1}$)	SAR –	ماده آلی Organic Matter (٪)
%					($meq.lit^{-1}$)								
56	38	6	شنی لومی Sandy-Loam	1.61	0.078	30.8	38	10.7	91.3	7	13.16	15.58	0.3

جدول ۲- ترکیبات زئولیت کلسیمی مورد استفاده

Table 2- 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* (%)	SO3 (%)	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

جدول ۳- ترکیبات زئولیت ترکیبی مورد استفاده

Table 3- 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* (%)	SO3 (%)	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

جدول ٤- ترکیبات زئولیت پتاسیمی مورد استفاده

Table 4- Components of potasic zeolite

SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	MgO (%)	TiO_2 (%)	MnO (%)	P_2O_5 (%)
70.25	7.68	0.91	1.12	3.10	3.43	0.39	0.153	0.017	0.006
L.O.I* (%)	SO3 (%)	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

جدول ٥- مشخصات آب آبیاری

Table 5- Water properties used for irrigation

SO_4	Cl	HCO_3	CO_3	K	Na	Mg	Ca	TDS $mg.l^{-1}$	SAR –	pH –	EC $dS.m^{-1}$
$meq.l^{-1}$											
4.25	2.2	4.75	0.00	0.01	4.19	5.3	1.7	684.8	2.24	7.26	0.991

همچنین نتایج به دست آمده با مشاهدات مرادزاده و همکاران (۲۳) در خصوص اثر مقدار زئولیت بر نگهداشت نیترات یکسان بود. این محققان با کاربرد مقادیر صفر، ۲، ۴ و ۸ گرم زئولیت در کیلوگرم خاک گزارش کردند که مقدار نیترات زهاب به ترتیب برابر ۸۸/۹۳، ۹۱/۷۳، ۶۲/۵۹ و ۶۱/۵۳ درصد مقدار افزوده شده به خاک بود. علت آن نیز به خصوصیات زئولیت مرتبط است زیرا این کانی با ساختار قفس مانند سبب جذب یون‌های نیترات می‌گردد. نوع زئولیت نیز اثر متفاوت بر جذب نیترات خاک نشان داده است و این حاکی از اثرات متفاوت زئولیت‌های کشور در برابر آبشویی نیترات را نشان می‌دهد. بنابراین نمی‌توان از واژه‌ی زئولیت به صورت عام در تحقیقات اشاره کرد زیرا زئولیت‌های تولید شده واکنش‌های متفاوتی در برابر شرایط آزمایش مورد نظر از خود نشان می‌دهند.

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر نوع و مقدار زئولت و مقدار کود اوره بر میزان آبشویی نیترات

Table 6- The results of ANOVA (MS) on nitrate leaching

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS
نوع زئولیت Type of Zeolite	2	3048.65**
مقدار زئولیت Amount of Zeolite	2	145407.59**
مقدار کود Amount of Fertilizer	2	26447.43**
نوع زئولیت×مقدار زئولیت Type * Amount of Zeolite	4	16912.52**
مقدار زئولیت×مقدار کود Amount of Zeolite * Fertilizer	4	9934.00*
نوع زئولیت×مقدار کود Type of Zeolite * Amount of Fertilizer	4	528.92ns
نوع زئولیت×مقدار زئولیت×مقدار کود Type and Amount of Zeolite * Amount of Fertilizer	8	854.95ns
خطا Error	54	1195.45
ضریب تغییرات Coefficient of Variation	-	18.75

**، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری با آزمون توکی می‌باشند

**, * and ns are significant at 1, 5 and non-significant probability levels, respectively

مقدار کود نیز اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر آبشویی نیترات نشان داد. نتیجه به دست آمده به این نکته اشاره دارد که افزایش میزان کود مصرفی در تغییرات نیترات خارج شده از زه‌کش‌ها موثر بوده است که این امری بدیهی است. اثر نوع×مقدار زئولیت و اثر متقابل مقدار زئولیت×مقدار کود نیز به ترتیب اثرات معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد بر آبشویی نیترات نشان دادند. سایر اثرات متقابل اثر معنی‌داری بر آبشویی نیترات نشان ندادند.

در شکل ۱ اثر نوع زئولیت در آبشویی نیترات نشان داده شده است. مقدار نیترات در زه‌آب حاصل از تیمار زئولیت ترکیبی از دو زئولیت دیگر بیشتر شده و اختلاف معنی‌داری با این دو تیمار نشان داده است. علت این اختلاف را می‌توان به دلیل ماهیت زئولیت ترکیبی دانست. زئولیت ترکیبی به صورت ناخالص از معدن تهیه می‌شود و به همین نسبت به دو زئولیت دیگر اثر کمتری در کاهش آبشویی نیترات نشان داده است. زئولیت‌های پتاسیمی و کلسیمی نیترات زه‌آب را به ترتیب ۱۵/۴ و ۲۱/۸ درصد نسبت به زئولیت ترکیبی کاهش دادند.

نتایج نشان داد که با کاربرد مقادیر بیشتر زئولیت، آبشویی نیترات کاهش یافت (شکل ۲). افزایش مقدار زئولیت از صفر به ۲ درصد وزنی سبب کاهش ۳۲ درصدی نیترات زهاب شد. به همین صورت، افزایش مقدار زئولیت از ۲ به ۶ درصد وزنی سبب کاهش ۳۴ درصدی میزان نیترات خروجی گردید. گرچه با افزایش مقدار زئولیت در خاک، هزینه‌های خرید آن نیز افزایش می‌یابد ولی به دلیل کاهش آلودگی زیست محیطی، کاربرد آن در کشاورزی می‌تواند توجیه شود. نتایج حاضر با مشاهدات پرز و همکاران (۲۶)، عابدی کوپایی و همکاران (۱) و صادقی لاری و همکاران (۲۸) مطابقت دارد. این محققان نیز افزایش جذب نیترات را با افزایش میزان زئولیت گزارش کردند.

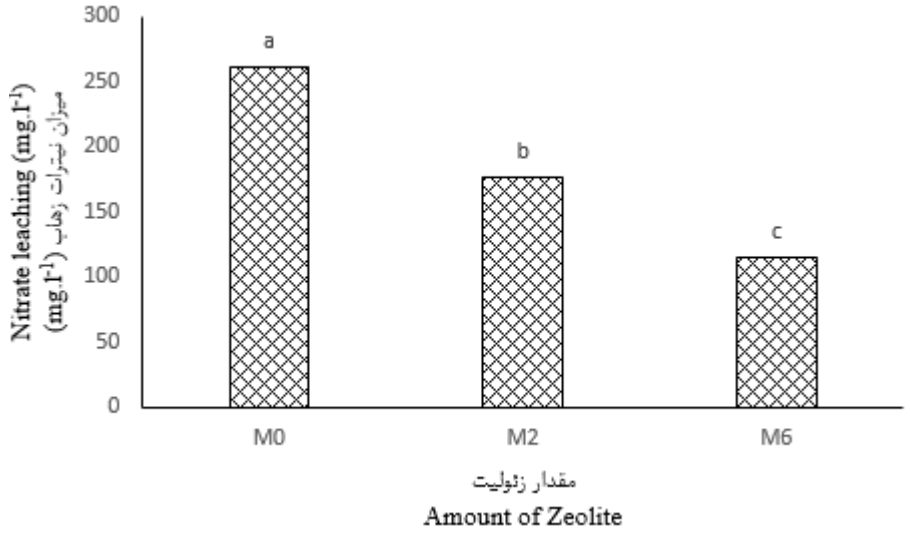
مقادیر مختلف کود اوره، میزان آبشویی نیترات را به صورت معنی‌داری افزایش داد (شکل ۳). گرچه تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار کودی ۲۰۰ و ۴۰۰ (میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) مشاهده نشد ولی هر دو تیمار تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با تیمار شاهد نشان دادند که این معنی‌داری به علت افزایش نیترات خاک و آبشویی آن می‌باشد. فانگ و همکاران (۱۲) و بهمنی (۴) نیز میزان مصرف کود نیتروژن را در آبشویی نیترات موثر گزارش کردند. ولی اثرات زئولیت بر جذب نیترات افزوده شده به خاک سبب شد تا این دو تیمار اختلاف معنی‌داری نسبت به هم نداشته باشند. نیاز نیتروژنی زعفران برابر ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک کود اوره

می‌باشد که کشاورزان به دلیل آبشویی این کود، از مقادیر بیشتری استفاده می‌کنند. بنابراین با توجه به نتایج تحقیق حاضر، می‌توان اثرات زیان‌بار افزایش کود اوره توسط کشاورزان را با مصرف زئولیت کاهش داد.

نتایج حاصل از بررسی اثر متقابل نوع×مقدار زئولیت نشان داد که تیمارهای ZkM2، ZsM2 و ZcaM2 به ترتیب سبب کاهش ۱۹/۶۵، ۲۵/۹۶ و ۵۲/۳۳ درصدی آبشویی نیترات نسبت به عدم کاربرد زئولیت شدند به طوری که این تغییرات در تیمارهای ZsM2 و ZcaM2 معنی‌دار شد (شکل ۴).

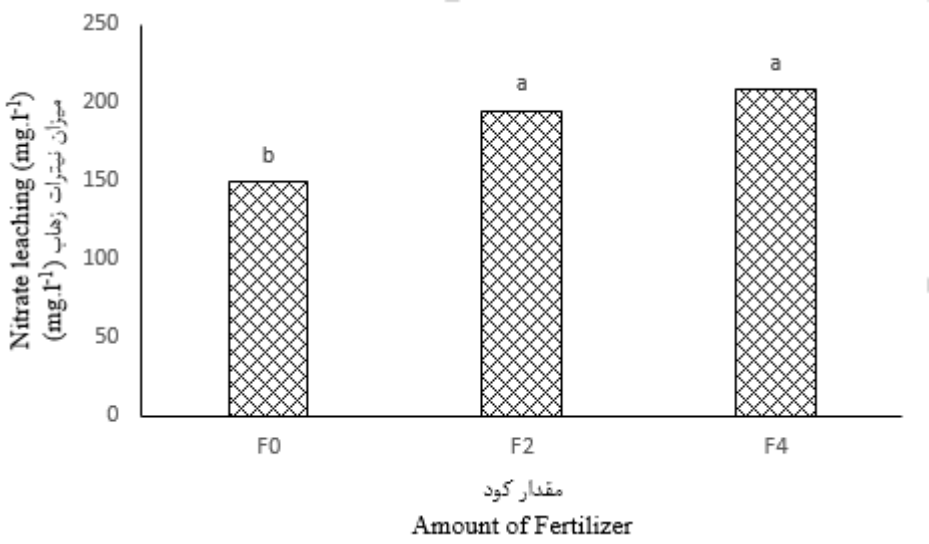
شکل ۱- اثر نوع زئولیت بر آبشویی نیترات (حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون توکی می‌باشند). Zk، Zs و Zca به ترتیب نشان دهنده‌ی زئولیت پتاسیمی، ترکیبی و کلسیمی هستند.

Fig 1- Effect of type of Zeolite on nitrate leaching [Means with the same letter(s) in each row have not significantly difference based on Tukey's test (p≤0.05)]. Zk, Zs and Zca: indicate potasic, z-mix and calcic zeolite, respectively.



شکل ۲- اثر مقدار زئولیت بر آبشویی نیترات (حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون توکی می‌باشند). M0، M2 و M6 به ترتیب نشان دهنده‌ی مقدار زئولیت در سطوح صفر، ۲ و ٦ درصد وزنی هستند.

Fig 2- Effect of amount of Zeolite on nitrate leaching [Means with the same letter(s) in each row have not significantly difference based on Tukey's test (p≤0.05)]. M0, M2 and M6: indicate zero, 2 and 6 % zeolite levels, respectively.



شکل ۳- اثر مقدار کود بر آبشویی نیترات (حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون توکی می‌باشند). F0، F2 و F4 به ترتیب نشان دهنده‌ی مقادیر کاربرد کود اوره در سطوح صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک می‌باشند.

Fig 3- Effect of amount of fertilizer on nitrate leaching [Means with the same letter(s) in each row have not significantly difference based on Tukey's test (p≤0.05)]. F0, F2 and F4: indicate urea rate at zero, 200 and 400 mg.g^{-1} soil, respectively.

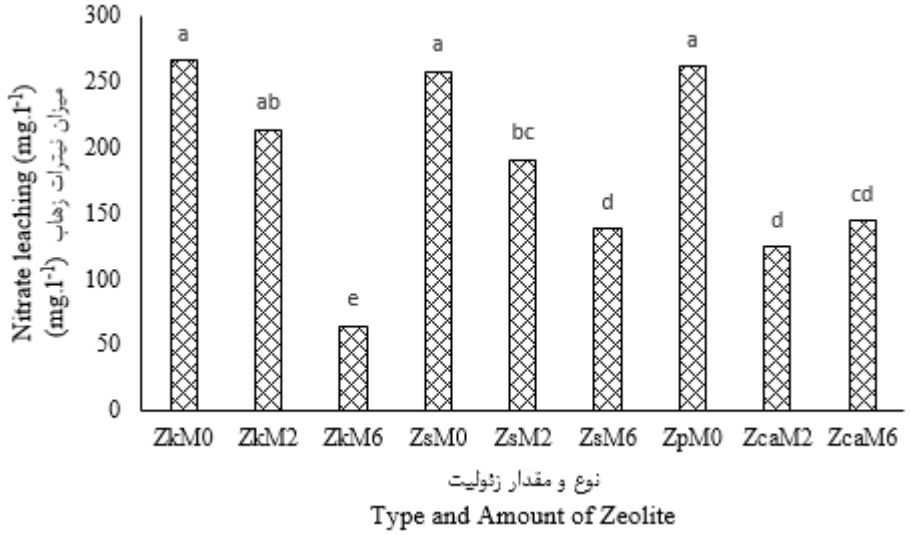
افزایش سطوح زئولیت از ۲ به ۶ درصد وزنی نیز سبب کاهش آبشویی نیترات گردید و تنها در زئولیت کلسیمی میزان نیترات خروجی کاهش نیافت. با افزایش مقدار این زئولیت از ۲ به ۶ درصد، نیترات موجود در زه‌آب، ۱۶ درصد افزایش نشان داد که البته این مقدار معنی‌دار نبود. گرچه در تعیین نوع و مقدار زئولیت افزوده به خاک کشاورزی باید معیارهای مختلفی از جمله تغییرات خصوصیات خاک و رشد گیاه در نظر گرفته شود ولی از دیدگاه محیط زیستی، در صورت استفاده از این زئولیت، افزایش مقدار آن تا ۶ درصد وزنی توصیه نمی‌شود. افزایش مقدار زئولیت پتاسیمی و ترکیبی از ۲ به ۶ درصد وزنی به ترتیب باعث کاهش ۶۹/۸۷ و ۲۷/۹ درصدی نیترات شد. کمترین میزان نیترات به تیمار ZkM6 اختصاص داشت که نسبت به تیمارهای ZsM6 و ZcaM6 به ترتیب اختلاف ۵۳/۲ و ۵۵/۵ درصدی نشان داد. علت این اختلاف را می‌توان به بالا بودن سطح تماس زئولیت پتاسیمی برای جذب نیترات (به دلیل قطر ذرات و خلوص آن) دانست (۱ و ۲). ولی در مقدار ۲ درصد وزنی زئولیت کلسیمی اثر بیشتری نسبت به دو زئولیت دیگر داشت. علت این امر نیز کاهش EC خاک در این تیمار نسبت به سایر زئولیت‌ها (۲) می‌باشد که این عامل سبب کاهش هدایت هیدرولیکی خاک و آبشویی نیترات شده است (۷، ۸ و ۱۷). البته شاید مقادیر بالاتر آهن در ترکیب زئولیت کلسیمی نیز در کاهش میزان نیترات در زهاب موثر بوده است (۲۵).

اثر مقدار زئولیت×کود در شکل ۵ نشان داد شده است. نتایج نشان می‌دهد که کمترین میزان آبشویی نیترات به تیمار M6F0 اختصاص داشت و علت آن به دلیل کاربرد کمتر کود و استفاده از مقادیر بیشتر زئولیت است. بیشترین میزان نیترات نیز در تیمارهای M0F2 و M0F4 به دست آمد که نسبت به تیمار M0F0 به ترتیب افزایش ۲۵ و ۴۶/۵ درصدی نشان داد. با کاربرد زئولیت در سطح ۶ درصد وزنی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای M6F0 با M6F2 و M6F4 مشاهده نشد. بنابراین با استفاده از مقادیر ۶ درصد وزنی زئولیت اثرات مخرب زیست محیطی، ناشی از کاربرد بیش از حد کود اوره توسط کشاورزان، کاهش خواهد یافت.

بررسی اثر نوع زئولیت×مقدار کود نشان داد که بین مقادیر کود مصرفی به همراه زئولیت‌های کلسیمی و پتاسیمی اثر معنی‌داری نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود اوره) وجود داشت (شکل ۶). کمترین میزان نیترات در تیمارهای ZkF0 و ZcaF0 و بیشترین میزان نیترات در تیمار ZsF4 مشاهده شد. در زئولیت پتاسیمی با افزودن ۲۰۰ و ۴۰۰ (میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) کود اوره، میزان نیترات خروجی به ترتیب ۶۶/۵ و ۶۰/۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت.

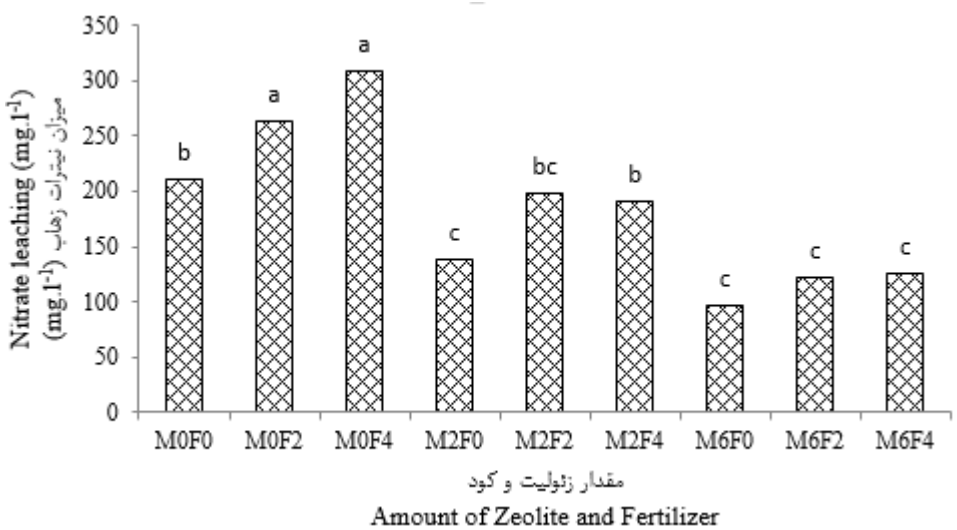
با مقایسه‌ی کلیه تیمارها مشاهده شد که بیشترین نیترات خروجی به تیمارهای ZkM0F4، ZsM0F4 و ZcaM0F4 اختصاص داشت (شکل ۷). در تیمارهای بدون زئولیت، با افزایش میزان کود اوره، میزان نیترات خروجی روندی صعودی نشان داد به طوری که دو تیمار ZkM0F0 و ZkM0F4 اختلاف معنی‌داری داشتند. این اختلاف بین تیمارهای ZsM0F0 و ZsM0F4 و همچنین ZcaM0F0 و ZcaM0F4 نیز مشاهده شد. علت عدم معنی‌داری بین دو تیمار ZkM0F0 و ZkM0F2 را می‌توان وجود مقادیر جرم مخصوص ظاهری بالا و شوری خاک به شمار آورد (۷، ۸ و ۱۷). این نتایج با مشاهدات سروش و همکاران (۳۱) مطابقت دارد. همچنین مالهای و

همکاران (۲۱) خصوصیات خاک را از جمله عوامل موثر بـر سرنوشـت حرکت نیتروژن در خاک بیان کرده‌اند. گرچه این میزان در مقایسه بـا تیمارهای زئولیت کم می‌باشد.



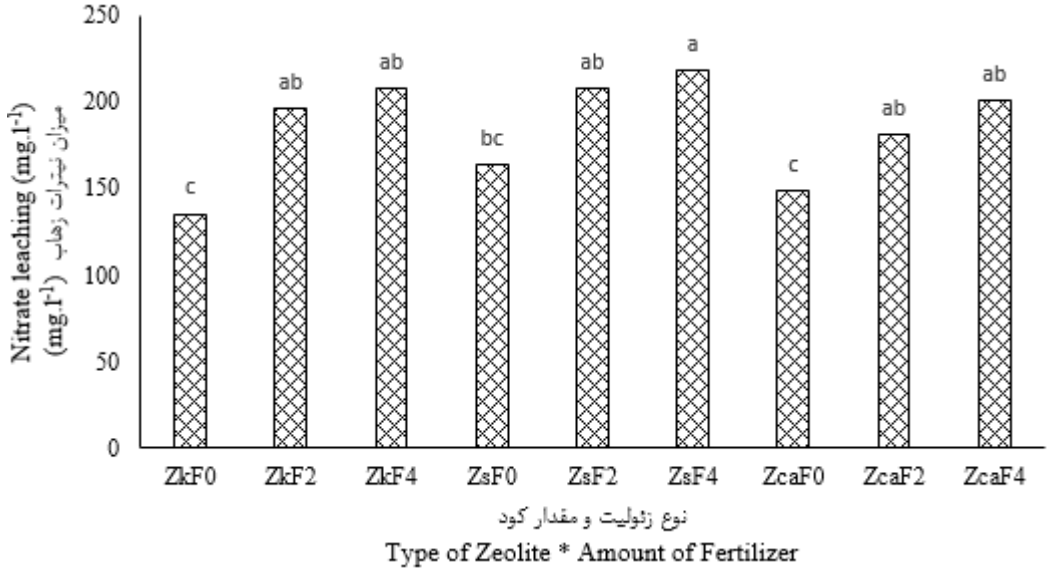
شکل ٤- اثر نوع×مقدار زئولیت بر آبشویی نیترات (حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون توکی می‌باشند). Zk، Zs و Zca به ترتیب نشان دهنده‌ی زئولیت پتاسیمی، ترکیبی و کلسیمی هستند. همچنین M0، M2 و M6 به ترتیب نشان دهنده‌ی مقدار زئولیت در سطوح صفر، ۲ و ٦ درصد وزنی هستند.

Fig 4- Effect of type and amount of Zeolite on nitrate leaching [Means with the same letter(s) in each row have not significantly difference based on Tukey's test (p≤0.05)]. Zk, Zs and Zca: indicate potasic, z-mix and calcic zeolite, respectively. M0, M2 and M6: indicate zero, 2 and 6 % zeolite levels, respectively.



شکل ۵- اثر مقدار زئولیت×کود بر آبشویی نیترات (حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون توکی می‌باشند). M0، M2 و M6 به ترتیب نشان دهنده‌ی مقدار زئولیت در سطوح صفر، ۲ و ٦ درصد وزنی هستند. همچنین F0، F2 و F4 به ترتیب نشان دهنده‌ی مقادیر کاربرد کود اوره در سطوح صفر، ۲۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک می‌باشند.

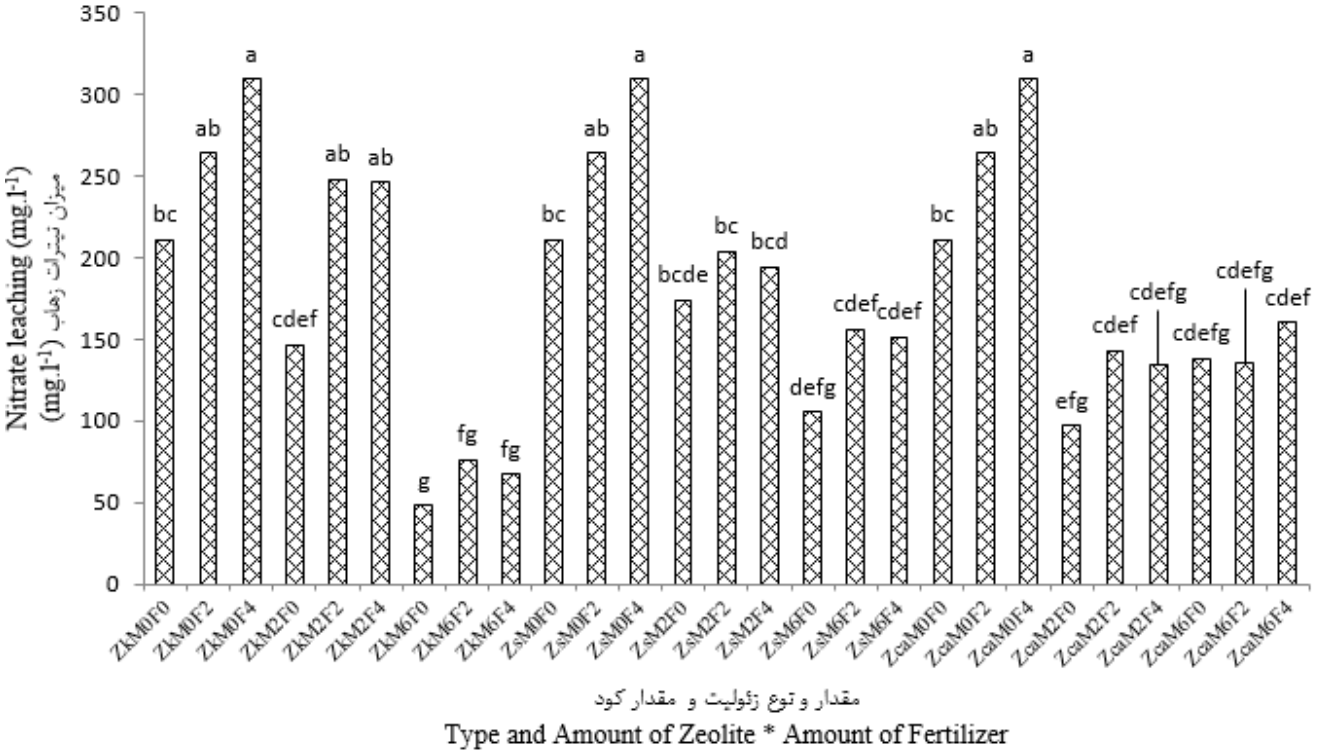
Fig 5- Effect of amount of Zeolite and fertilizer on nitrate leaching [Means with the same letter(s) in each row have not significantly difference based on Tukey's test (p≤0.05)]. M0, M2 and M6: indicate zero, 2 and 6 % zeolite levels, respectively. F0, F2 and F4: indicate urea rate at zero, 200 and 400 mg.g^{-1} soil, respectively.



شکل ٦- اثر نوع زئولیت در مقدار کود بر آبشویی نیترات (حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون توکی می‌باشند). Zk، Zs و Zca به ترتیب نشان دهنده‌ی زئولیت پتاسیمی، ترکیبی و کلسیمی هستند. همچنین F0، F2 و F4 به ترتیب نشان دهنده‌ی مقادیر کاربرد کود اوره در سطوح صفر، ۲۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک می‌باشند.

Fig 6- Effect of type of Zeolite and amount of fertilizer on nitrate leaching [Means with the same letter(s) in each row have not significantly difference based on Tukey's test (p≤0.05)]. Zk, Zs and Zca: indicate potasic, z-mix and calcic zeolite, respectively. F0, F2 and F4: indicate urea rate at zero, 200 and 400 mg.g^{-1} soil, respectively.

با مقایسه‌ی تیمارهای بدون کود، مشاهده شد که ZcaM6F0، ZsM6F0 و ZkM6F0 به ترتیب نسبت به تیمارهای ZcaM0F0، ZsM0F0 و ZkM0F0 اثر معنی‌داری بر کاهش نیترات داشته‌اند. همچنین کمترین میزان نیترات خروجی نیز در ZkM6F0 مشاهده شد. با مقایسه‌ی تیمارهای کودی در سطح ۲۰۰ (میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) مشاهده شد که تمامی مقادیر زئولیت در سطح ۶ درصد وزنی اثر معنی‌داری نسبت به تیمارهای شاهد داشتند و علت آن نیز خاصیت زئولیت در جذب نیترات است. در سطح ۲ درصد وزنی زئولیت، با فرض تیمار کودی F2، تنها ZcaM2F2 با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد و دو تیمار دیگر گرچه نسبت به شاهد نیترات خروجی را کاهش دادند ولی اثر معنی‌داری نداشتند. علت آن نیز بالا بودن EC خاک در تیمارهای زئولیت پتاسیمی و ترکیبی نسبت به زئولیت کلسیکی است (۲) که در نتیجه هم‌آوری خاک زیاد شده و هدایت هیدرولیکی و انتقال نیترات نیز افزایش یافته است (۱۷). با افزایش دو برابری کود مصرفی بین تیمارهای حاوی زئولیت و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. با افزایش میزان نیترات، خاک نتوانسته است همانند زئولیت در کاهش نیترات موثر واقع شود. بنابراین گرچه خصوصیات خاک آزمایش از آبشویی نیترات جلوگیری می‌کند ولی این امر در سطوح پایین مصرف کود موثر است. در سطح ۲ درصد وزنی زئولیت پتاسیمی، تفاوت معنی‌داری بین مصرف سطوح مصرف کود مشاهده شد به طوری که با افزایش میزان کود از F0 به F2 آبشویی نیترات ۶۹/۸۶ درصد افزایش یافت. علی‌رغم این موضوع، تیمار کودی F4 اثر معنی‌داری نسبت به F2 نشان نداد. نکته قابل توجه اینکه در سطح ۶ درصد وزنی زئولیت پتاسیمی، هیچ تفاوت معنی‌داری بین تمامی سطوح کودی وجود نداشت. در دو نوع زئولیت دیگر، با کاربرد ۲ درصد وزنی زئولیت اختلاف معنی‌داری بین سطوح مصرفی کود مشاهده نشد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین سطوح کاربرد کود اوره در تیمارهای حاوی ۶ درصد وزنی زئولیت ترکیبی و کلسیمی نیز وجود نداشت. بیشترین نسبت کاهش نیترات خروجی در مقایسه با شاهد (تیمار بدون زئولیت) در تیمار ZkM6F4 با ۷۸/۳۴ درصد کاهش مشاهده شد که مبین کارآمدی زئولیت پتاسیمی در کاهش نیترات از خاک است. این نتایج با مشاهدات عابدی کوپایی و همکاران (۱) مطابقت دارد. ایشان بیشترین کاهش آبشویی اوره از خاک را ۸۰ درصد گزارش کردند که مقداری نزدیک به نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر می‌باشد. این محققان گزارش کردند که در مقیاس بزرگ و در مزرعه نتیجه به دست امده می‌تواند از لحاظ اقتصادی با ارزش باشد.



شکل ۷- اثر نوع و مقدار زئولیت×مقدار کود بر آبشویی نیترات (حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون توکی می‌باشند). Zk، Zs و Zca به ترتیب نشان دهنده‌ی زئولیت پتاسیمی، ترکیبی و کلسیمی هستند. M0، M2 و M6 به ترتیب نشان دهنده‌ی مقدار زئولیت در سطوح صفر، ۲ و ٦ درصد وزنی می‌باشند. همچنین F0، F2 و F4 به ترتیب نشان دهنده‌ی مقادیر کاربرد کود اوره در سطوح صفر، ۲۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک هستند.

Fig 7- Effect of type and amount of Zeolite and amount of fertilizer on nitrate leaching [Means with the same letter(s) in each row have not significantly difference based on Tukey's test (p≤0.05)]. Zk, Zs and Zca: indicate potasic, z-mix and calcic zeolite, respectively. M0, M2 and M6: indicate zero, 2 and 6 % zeolite levels, respectively. F0, F2 and F4: indicate urea rate at zero, 200 and 400 mg.g^{-1} soil, respectively.

با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق با مصرف کود در سطح مصرف ۲۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک، کمترین میزان نیترات خروجی در تیمار ZkM6F2 به دست آمد. با دو برابر شدن مصرف کود کمترین میزان نیترات زهاب متعلق به تیمار ZkM6F4 بود. تفاوت نیترات خروجی از تیمارهای ZcaM2F2 و ZcaM2F4 نسبت به ZkM6F2 به ترتیب ۵۳/۲۱ و ۴۳/۲۸ درصد و نسبت به ZcaM6F2 به ترتیب ۵/۳۰ و ۱/۳۰ درصد بود که گرچه از لحاظ عددی مقادیر مختلفی را نشان می‌دهند ولی از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشند. بنابراین از لحاظ اقتصادی (کاهش مصرف زئولیت) و تأمین نیاز کودی پیشنهاد می‌شود که از تیمار ZcaM2F4 در کشت زعفران استفاده شود. بنابراین توجه به نوع زئولیت مورد استفاده در انتخاب گزینه مناسب می‌تواند به محقق کمک شایانی بکند. نتایج به دست آمده مطابق مشاهدات عابدی کوپایی و همکاران (۱) می‌باشد. ایشان نیز نوع زئولیت را در کاهش آبشویی نیترات موثر می‌دانند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج تحقیق حاضر بیانگر موثر بودن اثر کاربرد زئولیت در کاهش آبشویی نیترات از خاک است. با ثابت در نظر گرفتن سایر عوامل به کار رفته در این آزمایش، زئولیت کلسیمی اثر بیشتری بر کاهش آبشویی نیترات نشان داد ولی با تفکیک اثرات متقابل نوع زئولیت، مقدار زئولیت و مقدار کود، مشاهده شد که بیشترین کاهش آبشویی نیترات با کاربرد ۶ درصد وزنی زئولیت پتاسیمی به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، آبشویی نیترات در مقادیر کاربرد کمتر زئولیت نیز مشاهده شد. همچنین با توجه به تحقیق حاضر و تحقیقات مشابه، افزایش میزان کود اوره به خاک سبب افزایش آبشویی نیترات می‌گردد ولی می‌توان با استفاده از زئولیت حاشیه اطمینانی برای کاربرد این کودها ایجاد کرد. بیشترین میزان کاهش آبشویی نیترات نسبت به شاهد در این تحقیق به در تیمار ZkM6F4 به میزان ۷۸/۳۴ درصد مشاهد شد. گرچه برای انتخاب نوع زئولیت جهت

افزودن به مزارع کشاورزی می‌بایست عوامل متعددی از جمله اثر آن‌ها بر تغییرات فیزیکوشیمیایی خاک و رشد گیاه را در نظر گرفت ولی براساس نتایج حاصله از این تحقیق پیشنهاد می‌شود که از زئولیت کلسیمی در سطح ۲ درصد وزنی استفاده کرد. با کاربرد این تیمار حتی می‌توان تا ۴۵/۷۵ درصد تلفات ناشی از مصرف بی‌رویه کود اوره را مهار کرد.

سپاسگزاری

نویسندگان از داوران محترم که با راهنمایی‌های خود سبب غنای این مقاله شدند کمال تشکر را دارند. همچنین از جناب آقای مهندس مهران رجبی مدیر عامل شرکت افرازند و دکتر محمد علی بهدانی رییس گروه پژوهش‌های زعفران دانشگاه بیرجند قدردانی می‌نمایند.

منابع

1- Abedi-Koupai J., Mousavi S.F., and Motamedi A. 2010. Effect of clinoptilolite zeolite application on reducing urea leaching from soil, Water & Wastewater, 21(3): 51-57. (In Persian with English abstract).
2- Ahmadee M. 2014. Effect of zeolite on fertility and reducing nitrate leaching from saline soil under saffron cultivation, MSc thesis in irrigation and drainage. University of Birjand, 150 pp. (in Persian with English abstract).
3- Akhlaghi K. 2005. Sulfur coated urea fertilizer production process and determine the release of the equation coefficients, 10th National Iranian Chemical Engineering Congress. University of Sistan and Baluchestan. Zahedan. Iran. (in Persian).
4- Bahmani A., Boroomand Nasab S., Behzad M. and Naseri A. A. 2009. Evaluation Of potential nitrate and ammonium leaching under deficit irrigation, Irrigation and Drainage, 1(3): 37-44. (in Persian with English abstract).
5- Celik M. S., Ozdemir B., and Turan M. 2001. Removal of ammonia by natural clay mineral using fixed and fluidized bed column reactors, Water Science and Water Technology: Water Supply1(1): 81-88.
6- Chatterjee S., Lee D. S., Lee M.W., and Woo S.H. 2009. Nitrate removal from aqueous solutions by cross-linked chitosan beads conditioned with sodium bisulfate, Journal of Hazardous Materials. 166(1):508-13.
7- Chaudhari S.K., Singh R., and Kumar A. 2010. Suitability of a hydraulic conductivity model for predicting salt effects on swelling soils, Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 173: 360-367.
8- Chaudhari S.K., and Somawanshi R.B. 2004. Unsaturated flow of different quality irrigation waters through clay, clay loam and silt loam soils and its dependence on soil and solution parameters, Agricultural Water Management, 64: 69-904.
9- Cho D.W., Chon C.M., Jeon B.H., Kim Y., Khan M.A., and Song, H. 2010. The role of clay minerals in the reduction of nitrate in groundwater by zero-valent iron, Chemosphere. 81(5): 611-616.
10- Dozier M.C., Morgan G., and Sij J. 2008. BMPs to reduce nitrate impacts in groundwater and to assess atrazine and arsenic occurrences in private water wells, Texas State Soil and Water Conservation Board, USA.
11- Faghihian H., Mostafavi A., and Mohammadi A. 2001. Surface modification of analcime for removal of nitrite and nitrate from aqueous solutions, Journal of Science, Islamic Republic of Iran, 12(4): 327-332.
12- Fang Q., Yu Q., Wng E., Chen Y., Zhang G., Wang J., and Li L. 2006. Soil nitrate accumulation and crop nitrogen use influenced by fertilization and irrigation in an intensive wheat-maiz double cropping system in the North China plain, Journal of Plant and Soil, 284(1-2): 335-350.
13- Ferguson G.A., and Pepper I. L. 1987. Ammonium retention in sand amended with clinoptilolite, Journal of Soil Science Society of America, 51: 231-234.
14- Gilbert P.M., Harrison J., Heil C., and Seitzinger S. 2006. Escalating worldwide use of urea – a global change contributing to coastal eutrophication, Biogeochemistry, 77: 441-463.
15- Jahed Khaniki G., Mahdavi M., Ghasri A. and Saeednia S. 2008. Investigation of Nitrate Concentrations in Some Bottled Water Available in Tehran, Iranian Journal of Health and Environment, 1 (1) :45-50. (in Persian with English abstract).
16- Kapoor A., and Viraraghavan T. 1997. Nitrate removal from drinkingwater, Journal of Environmental Engineering, ASCE,123: 371-380.
17- Khazaei S., Ansari H., Ghahraman B., and Ziaee A. N. 2013. Evaluation of water salinity and sodicity effect on diffusivity and unsaturated hydraulic conductivity, Journal of Water and Soil, 27(2): 304-312. (in Persian with English abstract).
18- Li Z., Willms C., and Roy S. 2003. Desorption of hexadecyl trimethyl ammonium from charged surface, Environmental Geoscience. 10(1): 37-45.
19- Mahdavi Mazdeh A., Liaghat A., and Sheikh Mohammadi Y. 2011. Nitrate Removal from agricultural wastes using modified zeolite, Iraninan Water Research Journal, 5(8): 117-124. (in Persian with English abstract).
20- Malekian R., Abedi-Koupai J., and Eslamian S.S. 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified

clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth, Journal of Hazardous Materials. 185: 970-976.
21- Malhi S.S., Grant C.A., Johnston A.M., and Gill K.S. 2001. Nitrogen fertilization management for no till cereal production in the Canadian Great Plains: A review, Soil and Tillage Research, 60(3-4):101-122.
22- Mehrdadi N. 2001. Quality management of agricultural drainages, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). (in Persian).
23- Moradzadeh M., Moazed H., Sayyad Gh.A., Mohammadzadeh Haji Khanlo H. and Sadeghi Lari, A. 2012. Effect of potassium zeolite application on nitrate and ammonium retention in sandy loam soil under saturated condition, Iranian Soil Research (Formerly Soil and Water Research), 26(1): 99-109. (in Persian with English abstract).
24- Mulvaney R.L. 1996. Nitrogen-inorganic forms. In: Sparks DL (ed). Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods—SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, pp 1123–1184.
25- Nik Aein M., and Naseri S. 2006. Evaluation of Metallic Iron (Feo) Application to Remediate Nitrate-Contaminated Water, Water and Wastewater, 17(4): 15-21. (in Persian with English abstract).
26- Perez R., Caballero J., Gil C., Benitez J., and Gonazalez L. 2008. The effect of adding zeolite to soilsin order to improve the N-K nutrition of olive trees: Preliminary results, American Journal of Agricultural and Biological Science, 2(1): 321-324.
27- Polat E., Karaca M., Demir H., and Naci Onus A. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture, Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 12:183-189.
28- Sadeghi Lari A., Moazed H., Hooshmand A.R., and Chorom M. 2010. Effect of na-zeolite application on nitrate and ammonium retention in a silty loam soil under saturated conditions, Irrigation Science and Engineering (Scientific Journal of Agriculture), 33(1): 31-43. (in Persian with English abstract).
29- Sepaskhah A.R., and Yousefi F. 2007. Effects of zeolite application on nitrate and ammonium retention of a loamy soil under saturated conditions, Australian Journal of Soil Research, 45(5): 368-373.
30- Soleimani M., Ansari A., Haj Abbasi M.A., and Abedi-Kopai J. 2008. Investigation of Nitrate and Ammonium Removal from Groundwater by Mineral Filters, Water & Wastewater, 19(3): 18-26. (in Persian with English abstract).
31- Soroush N., Sayyad Gh.A., and Moezi A.A. 2011. Mobility of Different Forms of Nitrogen in Soil Influenced by Different Rates of Urea Fertilizer in Maize Fertigation System in the North of Khuzestan. Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture), 34(2): 41-53. (in Persian with English abstract).

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2016, p. 829-841

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۵، ص. ۸۴۱-۸۲۹

Effect of Amount of Fertilizer and Calcic, Potasic and Soil Zeolite on Reducing Nitrate Leaching from Soil

M. Ahmadee[1]*- A. Khashei Siuki [2]- M. H. Sayyari [3]

Received: 23-10-2014
Accepted: 05-10-2015

Introduction: Nitrogen is an essential element for plant nutrition. Urea is a common fertilizer that used by farmers due to high nitrogen content in its structure. This fertilizer transforms into nitrate in soil. Nitrate is leached below the rooting zoon of agricultural soil. Nitrate leaching is not only a waste of a great cost, but also causes the pollution of water resources. Methemoglobinemia and cancer are well known issues that caused by nitrate leaching. For this purpose, many methods have been proposed to prevent nitrate leaching but due to high cost and low efficiency are not accepted. Using of zeolites is one of the ways that is considered due to its low cost and ability. Zeolite is a mineral material that found in many regions in Iran. Although effect of zeolite on nitrate leaching reduction was studied by many researchers, but there was no study on common three types of Iranian zeolite.

Materials and Methods: For this purpose, a study was conducted as factorial layout based on a CRD with 21 treatments and 3 replications (total of 63 pots) at the Agricultural Research Station (with longitude and latitude 59^{o} 21’ E and 32^{o} 78’ N, respectively, and elevation 1941m), University of Birjand during 2013. Treatments consisted of calcic zeolite (Zca), potasic (Zk) and z-mix (Zs) in three levels: 0 (M0), 2 (M2) and 6 (M6) as wt% and three nitrogen levels: zero (F0), 200 (F2) and 400 (F4) (as mg.kg^{-1} soil). Natural clinoptilolite zeolite (Zca, Zk and Zs) were collected from Semnan province (53^{o} 15’ E, 35^{o} 25’ N) and analyzed for its chemical composition by X-ray diffraction.

Pots after saffron harvesting irrigated (in October) and urea treatment added to irrigation water (Iranian farmers called as Zaeech Ab). For prepared sufficient drain from all pots, due to different effect of type and amount of zeolite on soil water content, based on former experiments, leaching fraction was considered as 20%. Sample drain from each pot were transferred toa lab, immediately, and were measured by spectrophotometer. Data related to nitrate leaching were analyzed by ANOVA and Tukey’s test. In this study, SAS *9.1.3* software and Microsoft Excel 2013 were used.

Results and Discussion: Results showed that type of zeolite, amount of zeolite, amount of nitrogen fertilizer, type of zeolite with amount of zeolite (interaction effect) had significant effect ($P<0.01$) on nitrate leaching. Also, type of zeolite and amount of fertilizer (interaction effect) had a significant effect (P-value<0.05) on nitrate leaching. Other interaction effects were not significant.

Results showed that z-mix zeolite had less effect on nitrate leaching reduction compared to calcic and potasic zeolite. It might be due to its properties since z-mix zeolite were prepared as gross zeolite. Potasic and calcic zeolite reduced nitrate leaching about 15.4 and 21.8% compared to z-mix zeolite, respectively. By increasing the amount of zeolite, nitrate leaching reduced. These reductions were 32 and 34% by using M2 and M6 treatments compared to M0, respectively. Amount of urea had a significant effect on nitrate leaching reduction (P-value<0.05). Although no significant effect between F2 and F4 was observed, but these treatments had significant effects compared to F0 (P-value<0.05).

The highest nitrate concentration in drain water was observed in ZkM0F4, ZsM0F4 and ZcaM0F4. It is well known that no zeolite was used in these treatments. Results showed a significant difference (P-value<0.05) between ZkM0F4 and ZkM0F0. There was not significant effect between ZkM0F0 and ZkM0F2 due to high bulk density and salinity. So, soil had no capability to maintain nitrate when 400 mg of urea were used. The Zca and Zs treatments showed similar results. When zeolite was not used in soil, it is necessary to apply urea in several times with low levels. It is recommended for both Zca and Zs treatmensts.

In this experiment, potasic zeolite showed the greatest effect on reducing nitrate leaching. By applying 200 and 400 mg of urea, the lowest leaching was observed in ZkM6 treatment which compared to control it was

1 And 2-Former MSc student of irrigation and drainage and Assistant Professor of water engineering, University of Birjand
(*-Coressponding Author Email: m.ahmadee@ymail.com)
3- Assistant Professor of agronomy and plant breeding, University of Birjand

reduced 3.47 and 4.61 times, respectively. As ZcaM2F4 showed a reduction about 45.75% in nitrate leaching, it can be recommended to use in saffron cultivation. This proposal was due to lack of significant effect among ZcaM2F4, ZkM6F2 and ZkM6F4. In addition, amount of zeolite is reduced enough by application of this treatment.

Keywords: Clinoptilolite, Nitrate Maintenance, Saffron