Archive of SID

Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 50, No 2, Summer 2019 (47 - 57)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.223961.654236

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۰، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۸ (ص۵۷- ۴۷)

مطالعه تاثیر کمپوست دامی تلفیق‌شده با کودهای شیمیایی بر آبشویی نیترات و عملکرد دانه تحت تناوب کلزا-سویا-گندم در خاک‌های شنی

حامد اکبری[1] و سید علی‌محمد مدرس ثانوی[2*]

۱و۲. به ترتیب، دانشجوی دکتری و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۴)

چکیده

برای بهبود کیفیت آب و کارایی استفاده از نیتروژن در خاک‌های شنی، نیاز به راهبردهای جدید می‌باشد. هدف از این مطالعه تعیین مقدار آبشویی نیترات تحت روش‌های متداول و تلفیقی تغذیه گیاهان کلزا و گندم .بود. آزمایش در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای کوددهی شامل، اوره (CF)؛ اوره + زئولیت (CF-Z)؛ اوره + کمپوست دامی (IF)؛ اوره + کمپوست دامی + زئولیت (IF-Z) و شاهد (CK)، بود. بیشترین نفوذ عمقی آب بعد از آبیاری و در ماه‌های آبان و اردیبهشت اتفاق افتاد. میانگین مقدار آبشویی سالانه نیترات برای تیمارهای کوددهی CF، CF-Z، IF، IF-Z و CK به‌ترتیب برابر ۵۳/۶۴، ۴۱/۲۱، ۳۳/۱۶، ۲۵/۵۹ و ۹/۲۳ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین ضریب آبشویی نیترات برای تیمار CF (۴۷ درصد) و کمترین مقدار از تیمار IF-Z (۱۰ درصد) به‌دست آمد. مقدار و ضریب آبشویی نیترات همبستگی مثبت و معنی‌داری با مقدار آب ورودی به مزرعه در هر ماه داشت. تیمار کوددهی IF-Z بالاترین عملکرد دانه کلزا (۳۶۶۱/۵ کیلوگرم در هکتار) و گندم (۴۰۵۸/۹ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد. نتایج نشان داد که استفاده از کود دامی و زئولیت روشی مناسب برای کاهش کاربرد کودهای شیمیایی و بهبود پایداری در سیستم‌های کشاورزی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زئولیت، ضریب آبشویی، کمپوست دامی، کشاورزی پایدار، کوددهی تلفیقی.

A study on the effects of incorporated manure compost with chemical fertilizer on nitrate leaching and grain yield under canola-soybean-wheat crop rotation in sandy soils

Hamed Akbari [1] and Seyed Ali Mohammad Modares Secondary [2 *]

1 and 2. Ph.D. Student and Professor of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

(Received: December 31, 2016 – Accepted: August 5, 2017)

ABSTRACT

Innovative strategies are needed to improve water and nitrogen use efficiencies in sandy soils. The objectives of this study were to quantify the amount of nitrate leaching losses under conventional and integrated nutrient management of canola and wheat. The experiment was carried out using a randomized complete-block design, with three replications. Fertilization treatments including: urea (CF), urea + zeolite (CF-Z), urea + composted manure (IF), urea + composted manure + zeolite (IF-Z) and control (CK). The maximum water deep percolation was occurred after irrigation in November and May. The average of annual nitrate leaching losses for CF, CF-Z, IF, IF-Z and CK were 53.64, 41.21, 33.16, 25.59 and 9.23 $kg.ha^{-1}$, respectively. The maximum and minimum annual nitrate leaching factor were achieved with the CF (47%) and IF-Z (10%) treatments, respectively. Annual nitrate leaching losses and annual nitrate leaching factor showed positive and significant correlations with the amount of water inputs in the months. The IF-Z fertilizer treatment produced the highest grain yield for canola (3661.5 $kg.ha^{-1}$) and wheat (4058.9 $kg.ha^{-1}$). The results showed that application of manure compost and zeolite could be a useful methods for decreasing chemical fertilizer application rates and improving the sustainability of agricultural systems.

Keywords: Combined fertilization, leaching factor, Sustainable agriculture, Zeolite, manure compost.

* Corresponding author E-mail: modaresa@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

نیتروژن یکی از مهم‌ترین، عناصر غذایی و عامل کلیدی در دست‌یابی به عملکرد مطلوب در محصولات زراعی می‌باشد. در میان عناصر غذایی مختلفی که در بافت گیاهی یافت می‌شود، نیتروژن بیشترین غلظت را داشته و نقش مهمی در افزایش عملکرد دارد، به‌طوری که کمبود آن، بیش از سایر عناصر عملکرد را محدود می‌کند (Ali *et al*., 2011). آبشویی نیترات در زمین-های کشاورزی ناشی از کاهش راندمان مصرف نیتروژن (Nitrogen Use Efficiency)، نگرانی‌های فراوانی در سرتاسر جهان در ارتباط با آلودگی آب‌های زیرزمینی ایجاد کرده است (Ju *et al*., 2006). در روش‌های متداول کشاورزی که مقادیر زیادی کودهای شیمیایی و آبیاری برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد و سوددهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، آبشویی نیترات موضوع بسیار مهمی تلقی می‌شود (Zhao *et al*., 2010). مسئله آبشویی نیترات، ابتدا توسط محققین کشورهای اروپایی به‌عنوان یک رویکرد مهم برای ارزیابی نیتروژن شسته‌شده از خاک مورد مطالعه قرار گرفت (Warrington, 1905). در برخی از کشورهای اروپایی قوانینی برای کنترل میزان نیترژن ورودی در مزارع کشاورزی ایجاد شده است (Eichler & Schulz, 1998). در کشور ایران، مشکلات ناشی از آبشویی نیترات کمتر از میزان عملکرد تولیدی مورد توجه قرار گرفته است. گرچه در سال‌های اخیر با افزایش استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی، آبشویی نیترات نیز در مناطق مختلف ایران گزارش شده است (Gholamhoseini *et al*., 2013a; Zare Abyaneh & Bayat Varkeshi, 2015). کشاورزی متداول با اثرات منفی روی کیفیت خاک و آب، محققان را بر آن داشته تا با استفاده از گزینه‌های مدیریتی، ضمن کاهش آبشویی عناصر غذایی و افزایش کیفیت خاک و آب، منجر به افزایش عملکرد گیاهان زراعی گردد (Edmeades, 2003). راهبردهای جایگزین کشاورزی، مانند سیستم‌های تغذیه ارگانیک و تلفیقی برای به حداقل‌رساندن صدمات زیست‌محیطی و تقویت خاک و آب نسبت به روش‌های متداول پیشنهاد شده است (Reganold, 1995). استفاده از مواد آلی مانند کود دامی، نگهداری آب و عناصر غذایی در خاک‌های شنی را بهبود می‌بخشد (Bigelow *et al*., 2004). مواد آلی، به‌ویژه کود گاوی، رشد و عملکرد گیاهان زراعی را با افزایش فراهم‌آوری عناصر غذایی به‌صورت مستقیم و اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک که منجر به توسعه بهتر ریشه و تحریک رشد گیاه می‌گردد، بهبود می-دهد (Bandyopadhyay *et al*., 2010). کود دامی معمولا به دو فرم تازه و کمپوست‌شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. کود دامی تازه دارای نسبت پایین C:N بوده اما ذخیره‌سازی و حمل و نقل آن بسیار مشکل می‌باشد. نتایج نشان داده که حدود ۵۰ درصد از نیتروژن کود دامی تازه در نتیجه حمل و نقل و ۲۵ درصد آن بعد از کاربرد هدر می‌رود (Dawson *et al*., 2008). در مقابل کمپوست دامی به‌راحتی ذخیره شده، سبب از بین‌رفتن پاتوژن‌ها و بذر علف‌های هرز می-گردد و به‌دلیل داشتن حجم و وزن کمتر به‌آسانی مدیریت می‌شود (Eghball, 2002). از جمله معایب کمپوست‌سازی، از دست رفتن عناصر غذایی و C در نتیجه این فرآیند می‌باشد (Eghball *et al*., 1997). تحقیقات انجام‌شده در زمینه‌ی تأثیر کوددهی شیمیایی، آلی و تلفیقی بر رشد و عملکرد دیگر گیاهان زراعی و بهبود حاصلخیزی خاک نشان داده است که یکی از مشکلات اصلی استفاده از کودهای شیمیایی و آلی افزایش شستشوی عناصرغذایی به خصوص نیتروژن از محیط ریشه می‌باشد (Eghball & Lesoing, 2000; Zvomuya *et al*., 2003). همچنین مقدار آبشویی نیترات در سیستم‌های کوددهی شیمیایی و آلی بین ۲۵ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Basso & Ritchie, 2005). بنابراین استفاده از روش‌های جدید که باعث ایجاد ثبات در کود دامی، قبل و بعد از استفاده از آن شود، به‌خصوص در خاک‌های شنی مورد نیاز می‌باشد. از جمله مواد افزودنی که با کود دامی مورد استفاده قرار می‌گیرد زئولیت است. زئولیت‌ها از نظر ساختمانی، چهارچوبی آلومینوسیلیکاتی است، که تشکیل‌دهنده یک شبکه سه‌بعدی می‌باشد (Rehakova *et al*., 2004). زئولیت-

www.SID.ir

Archive of SID

ها شامل یک‌سری کانال‌ها و حفره‌های متصل به هم است که به‌وسیله کاتیون‌ها و مولکول‌های آب اشغال شده‌اند؛ کاتیون‌های موجود متحرک بوده و معمولا امکان تعویض با سایر کاتیون‌ها را دارند و ملکول‌های آب موجود در شبکه زئولیت‌ها نیز به‌طور پیوسته و برگشت‌پذیر قابلیت خروج از شبکه را دارند (Leggo *et al*., 2006; Ok *et al*., 2003). کلینوپتیلولیت یکی از پرمصرف‌ترین و کاربردی‌ترین زئولیت‌ها در صنایع مختلف به‌ویژه در کشاورزی می‌باشد. همچنین بر اساس اطلاعات موجود، بیشترین ذخائر زئولیتی ایران مربوط به این کانی ارزشمند می‌باشد. کلینوپتیلولیت به‌دلیل خصوصیات قابل‌توجه از جمله ظرفیت تبادل کاتیونی بالا (۳۰۰-۲۰۰ میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم)، تخلخل زیاد و همچنین پایداری بالا در مقابل تغییرات حرارتی و شیمیایی، کاربردهای وسیعی را در صنایع مختلف از جمله تولیدات کشاورزی دارا می‌باشد (Leggo *et al*, 2006).

تناوب‌های گیاهی در برگیرنده غلات و حبوبات از چند طریق مفید می‌باشد: اول، تجزیه بقایای حبوبات، نیتروژن اضافی مورد نیاز غلات را تامین می‌کند؛ دوم، با بهبود خصوصیات خاک مانند تخلخل و ساختار خاک، موجب تقویت رشد گیاه می‌گردد؛ و در نهایت، افزایش تنوع گیاهی منجر به شکستن چرخه زندگی آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز می‌شود (Carter *et al*., 2002). در این مطالعه، آزمایش مزرعه‌ای برای تعیین میزان آبشویی نیترات در اراضی شنی در طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۹ طراحی شد. هدف از این مطالعه ارزیابی اثرات راهبردهای مدیریت تغذیه گیاهان زراعی روی آبشویی نیترات و عملکرد دانه کلزا و گندم بود و اینکه چگونه کاربرد به‌موقع و مناسب نیتروژن می‌تواند ضمن کاهش آبشویی نیترات، از خطرات زیست‌محیطی ناشی از این فرآیند جلوگیری کند.

مواد و روش‌ها

مکان اجرای آزمایش

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۹۳-۱۳۸۹ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت-مدرس، واقع در ۱۶ کیلومتری غرب تهران با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۲۱۵ متر از سطح دریا اجرا شد. مکان اجرای آزمایش دارای میانگین بارندگی سالیانه ۲۸۹ میلی‌متر بود که اکثر آن در ماه‌های پاییز و زمستان نازل می‌شود. حداکثر و حداقل بارندگی (۱۱۶ و ۲۲۰ میلی‌متر) به‌ترتیب در سال‌های زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ و ۱۳۹۳-۱۳۹۲ نازل شد. مجموع آب آبیاری مورد استفاده در سال‌های زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۲ به‌ترتیب برابر با ۵۴۰، ۴۸۰، ۴۹۰ و ۴۹۵ میلی‌متر بود. مقدار نفوذ عمقی آب در سال‌های زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۲ به‌ترتیب برابر با ۱۸۱/۱۶، ۱۵۶/۹۲، ۱۷۸/۸۰ و ۱۶۲/۱۰ میلی‌متر بود. خاک محل آزمایش بافت لومی - شنی داشت و میزان هدایت الکتریکی (۱/۵، ۱/۳۷، ۱/۴۰ و ۱/۲۶ دسی‌زیمنس بر متر)، میانگین اسیدیته خاک (۷/۱، ۷/۵، ۷/۲ و ۷) و کربن آلی خاک (۱/۵۳، ۱/۵۴، ۱/۵۹ و ۱/۵۶ درصد) به‌ترتیب در سال‌های زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۲ بود. مکان آزمایشی در پاییز ۱۳۸۹ با استفاده از شخم سبک و دیسک برای کاشت آماده شد. هر واحد آزمایشی چهار متر طول و ۳ متر عرض داشت. برای جلوگیری از تداخل بلوک‌ها و واحدهای آزمایشی به‌ترتیب یک و دو متر فاصله بین واحدهای آزمایشی و بلوک‌ها در نظر گرفته شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای کوددهی شامل: CF: تامین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژنی گیاه با کاربرد کود شیمیایی اوره؛ CF-Z: تامین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژنی گیاه با کاربرد کود شیمیایی اوره + ۸ تن در هکتار زئولیت؛ IF: تامین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه با کاربرد کود شیمیایی اوره + تامین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه با کاربررد کمپوست دامی؛ IF-Z: تامین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه با کاربرد کود شیمیایی اوره + تامین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه با کاربررد کمپوست دامی + ۸ تن در هکتار زئولیت؛ و CK: عدم کاربرد هر کود شیمیایی، کمپوست دامی و

www.SID.ir

Archive of SID

زئولیت. تناوب گیاهی شامل کلزا-سویا-گندم بود. کمپوست دامی قبل از کاشت تا عمق ۱۵ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. کود شیمیایی به سه بخش تقسیم شده و در مراحل کاشت، طویل‌شدن ساقه و آغاز گلدهی مورد استفاده قرار گرفت. رقم‌های مورد کاشت شامل اوکاپی (کلزا)، ویلیامز (سویا) و پیشتاز (گندم) .بود. برای اطمینان از استقرار مناسب گیاهان، واحدهای آزمایشی، متراکم کشت شده و سپس در مرحله سه برگی برای رسیدن به تراکم ۸۴ بوته در مترمربع (کلزا)، ۴۵ بوته در متر مربع (سویا) و ۲۵۰ بوته در متر مربع (گندم)، تنک شد. علف‌های هرز در طول فصل رشد با دست وجین شد. بلافاصله پس از کاشت، آبیاری انجام گرفت. حجم آب آبیاری مورد استفاده با استفاده از کنتور تعیین شد. برای کنترل رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه، از لوله‌های دستگاه (Time-Domain Reflectometry, England) TDR در عمق ۰ تا ۸۰ سانتی‌متری واحدهای آزمایشی استفاده شد. در طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۹، پس از حذف حاشیه، مساحتی حدود ۴ متر مربع از بخش مرکزی هر واحد آزمایشی انتخاب شده و عملکرد دانه کلزا و گندم برحسب کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد.

اندازه‌گیری نیترات شسته‌شده از محیط ریشه

برای اندازه‌گیری نیتروژن غیر آلی شسته‌شده به‌صورت کیلوگرم در هکتار، تعیین دو عامل الزامی می‌باشد. ۱) غلظت نیتروژن غیر آلی در نمونه زه‌آب در عمق پائین-تر از توسعه ریشه و ۲) میزان نفوذ عمقی آب. در این آزمایش برای تهیه نمونه زه‌آب از زیر منطقه توسعه ریشه، از دستگاه (Model 1900, Soil Moisture Soil Water Sampler (Equipment Co. استفاده شد. در هر مرحله نمونه‌ها برای اندازه‌گیری نیترات، به-وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Model dr/2500, Hach Co.) تجزیه شدند. برای اندازه‌گیری نفوذ عمقی آب، از رابطه بیلان آبی به‌صورت زیر استفاده شد (Errebhi *et al*., 1998):

نفوذ عمقی آب (mm) = بارندگی (mm) + آبیاری (mm) – تغییرات حجمی رطوبت خاک (mm) – تبخیر و تعرق روزانه مزرعه (mm) – رواناب سطحی (mm)

برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق از رابطه زیر استفاده شد (Vázquez *et al*., 2005):

تبخیر و تعرق گیاه = تبخیر و تعرق پتانسیل × ضریب گیاهی

برای تعیین مقدار نیترات شسته‌شده و ضریب آبشویی نیترات از روابط زیر استفاده شد (Carneiro *et al*., 2012):

مقدار آبشویی نیترات ($kg.ha^{-1}$) = نفوذ عمقی آب (mm) × غلظت نیترات در نمونه زه‌آب ($mg.l^{-1}$) × ۰/۰۱ (ضریب تبدیل $mg.l^{-1}$ به $kg.ha^{-1}$)

$$\text{ضریب آبشویی نیترات (٪)} = \frac{\text{میزان آبشویی نیترات در تیمارهای کوددهی} - \text{میزان آبشویی نیترات در تیمار شاهد}}{\text{مقدار نیتروژن ورودی}} \times ۱۰۰$$

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با استفاده از نرم‌افزار SAS و رویه GLM انجام گرفت. فرض‌های تجزیه واریانس مبنی بر یکنواختی واریانس‌ها، تصادفی‌بودن خطاها و نرمال‌بودن داده‌ها قبل از اجرای تجزیه مورد آزمون قرار گرفت. برای مقایسه میانگین، از آزمون LSD استفاده شد. آزمون بارتلت یکنواختی واریانس تیمارهای مورد بررسی در سال‌های آزمایشی را نشان داد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت و مقدار نیترات شسته‌شده سالیانه

روند غلظت و مقدار نیترات شسته‌شده در نمونه زه‌آب در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در طی دوره انجام آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین غلظت نیترات در نمونه زه‌آب و نیترات شسته‌شده برای تیمارهای CF، CF-Z، IF، IF-Z و CK به‌ترتیب برابر با ۳۲/۰۳، ۲۴/۰۷، ۱۹/۸۱، ۱۵/۱۲ و ۵/۷۴ میلی‌گرم بر لیتر و ۶/۷۰، ۵/۱۵، ۴/۱۴، ۳/۱۹ و ۱/۱۵ کیلوگرم در هکتار بود. تنوع بسیار زیادی بین ماه‌های مختلف سال از لحاظ غلظت و مقدار نیترات شسته‌شده وجود داشت. همان‌طور که مشخص می-

www.SID.ir

Archive of SID

باشد با افزایش استفاده از کودهای شیمیایی، میزان آبشویی نیترات نیز افزایش یافته است. افزایش آبشویی نیترات با افزایش کودهای شیمیایی توسط محققین گزارش شد (Li *et al*., 2007; Zvomuya *et al*., 2003). تاثیر استفاده از کودهای دامی روی آبشویی نیترات، توسط محققان زیادی گزارش گردیده که این نتایج در تناقض با یکدیگر می‌باشند. محققان بیان داشتند که استفاده از کمپوست دامی سبب کاهش معنی‌داری بر آبشویی نیترات شد (Evanylo *et al*., 2008; Leclerc *et al*., 1995). استفاده از کمپوست دامی با بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و رشد و توسعه بهتر ریشه، سبب افزایش جذب نیتروژن شده و کاهش آبشویی را به‌دنبال خواهد داشت (Basso & Ritchie, 2005; Yan *et al*., 2002). استفاده از زئولیت در تیمارهای شیمیایی و تلفیقی منجر به کاهش غلظت و مقدار نیترات شسته‌شده در ماه‌های مختلف سال شد. محققان کاهش شستشوی نیتروژن و نیترات را در حضور زئولیت کلینوپتیلولیت در شرایط محیطی کنترل‌شده گزارش کردند (Huang & Petrovic, 1994; Nus & Brauen, 1991). مهم‌ترین دلیل برای کاهش شستشوی نیتروژن در حضور زئولیت، مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی منحصر به فرد این ماده معدنی بوده که تبدیل آمونیوم به نیترات را کاهش می‌دهد (Mumpton, 1999).

مقدار نیترات شسته‌شده سالیانه و ضریب آبشویی نیترات

مقدار نیترات شسته‌شده و ضریب آبشویی در سال‌های مختلف و برای تیمارهای کوددهی در شکل ۲ نشان داده شده است. مقدار نیترات شسته‌شده دارای دامنه ۴۱/۹۲ تا ۶۶/۹۴ با میانگین ۵۳/۶۴ کیلوگرم در هکتار برای CF، ۳۴/۲۰ تا ۵۰/۰۲ با میانگین ۴۱/۲۱ کیلوگرم در هکتار برای CF-Z، ۲۶/۸۷ تا ۳۷/۱۴ با میانگین ۳۳/۱۶ برای IF، ۲۱/۴۷ تا ۲۹/۵۹ با میانگین ۲۵/۵۹ کیلوگرم در هکتار IF-Z و ۷/۵۹ تا ۱۰/۹۷ با میانگین ۹/۲۳ کیلوگرم در هکتار برای CK بود. در تیمار CF، ۵۲ درصد نیترات بیشتری نسبت به IF-Z آبشویی شد (شکل ۲). ضریب آبشویی نیترات، شاخص کمی بوده که نشان می‌دهد چه مقدار از نیتروژن به‌کار برده در مزارع کشاورزی، به‌صورت نیترات از دسترس خارج می‌شود. در بین سال‌های مورد آزمایش، تفاوت زیادی بین تیمارهای کوددهی برای این صفت مشاهده شد. بیشترین ضریب آبشویی نیترات در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ برای تیمار CF (۴۷ درصد) و کمترین مقدار از تیمار IF-Z (۱۰ درصد) در سال ۱۳۹۰-۱۳۸۹ به‌دست آمد. همبستگی مثبتی میان مقدار نیترات شسته‌شده و ضریب آبشویی نیترات با مقدار آب ورودی در مزرعه در هر ماه مشاهده شد (جدول ۱). توجیه دلیل اصلی تنوع آبشویی نیترات در سال‌های مختلف با توجه به اثرات ترکیبی بارندگی، آبیاری، مقدار نیتروژن معدنی مورد استفاده، شرایط محیطی و خصوصیات خاک بر آبشویی نیترات دشوار می‌باشد (Min *et al*., 2012). نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های کوتاه‌مدت برای توضیح و تفسیر چگونگی آبشویی نیترات در سال‌های مختلف مشکل می‌باشد (Li, 2000). نتایج این تحقیق نشان داد که ۱۳ تا ۳۵ درصد از نیتروژن کاربردی در هر سال، به‌صورت آبشویی از دسترس خارج می‌شود. نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش شد (Xing and Zhu, 2000; Yin *et al*., 2010).

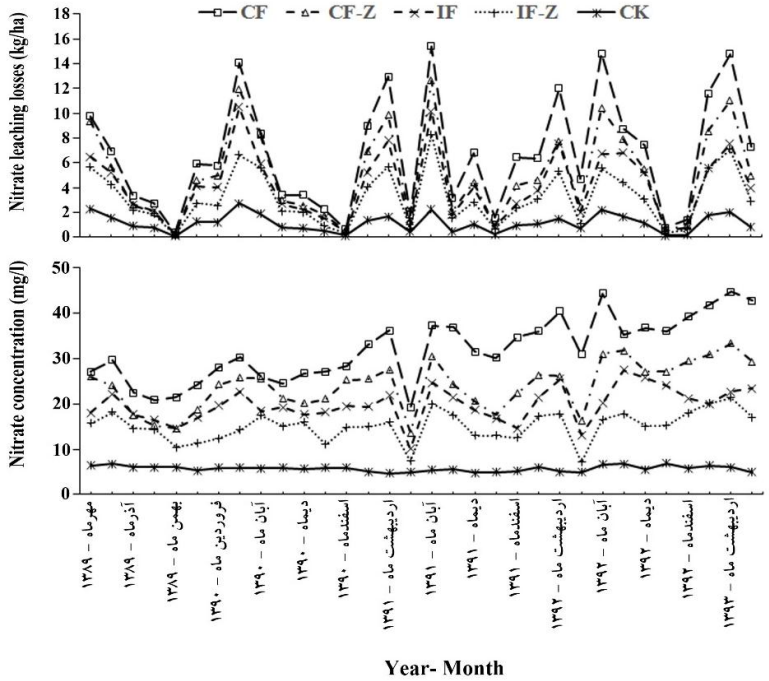
روابط رگرسیونی

برای ارزیابی اثرات نوع آب ورودی به مزرعه روی مقدار نیترات شسته‌شده سالانه و ضریب آبشویی نیترات، از تجزیه رگرسیونی استفاده شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که هر دو صفت، رابطه معنی‌داری با مقدار بارندگی و آبیاری سالیانه ندارند. تجزیه رگرسیونی روابط معنی‌داری را بین این صفات و مقدار آب ورودی به مزرعه در هر ماه نشان داد. آب حامل و نیروی محرکه برای حرکت نیترات درون خاک می‌باشد. بارش باران‌های سنگین و آبیاری بیش از اندازه، عامل اصلی در آبشویی نیترات در زمین‌های کشاورزی می‌باشد (Gholamhoseini *et al*., 2013a; Sharma *et al*., 2012). وانگ و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند که

www.SID.ir

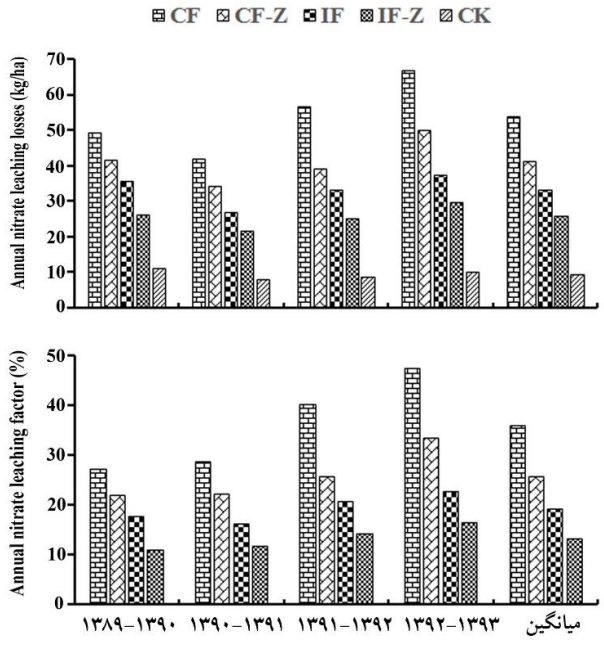
Archive of SID

با افزایش میزان آبیاری، آبشویی نیترات به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. همبستگی مثبت میان میزان آبشویی و مقدار آب ورودی توسط محققین بسیاری گزارش شده است (Cameira *et al*., 2001).



شکل ۱. غلظت و مقدار آبشویی نیترات طی دوره آزمایش از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳.

Figure 1. Concentrations of nitrate and amount of nitrate leaching losses in the monitoring period from 2010 to 2014.



شکل ۲. مقدار آبشویی سالانه نیترات و ضریب آبشویی نیترات در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در طی دوره آزمایش از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳.

Figure 2. Annual nitrate leaching losses and annual nitrate leaching factors in the 100 cm soil layer during the monitoring period from 2010 to 2014.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. روابط رگرسیونی میان مقدار و ضریب آبشویی سالیانه نیترات در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک با نوع آب ورودی.

Table 1. Regression relationship between annual nitrate leaching losses and Annual nitrate leaching factor, in the 100 cm soil layer with all forms of water inputs.

Items	CF		CF-Z	
	Annual nitrate leaching losses (kg/ha)	Annual nitrate leaching factor (%)	Annual nitrate leaching losses (kg/ha)	Annual nitrate leaching factor (%)
Annual precipitation (mm)	$y = -0.17 + 88.54$ $R^2 = 0.22 (P = 0.52)$	$y = -0.18 + 68.14$ $R^2 = 0.51 (P = 0.17)$	$y = -0.15 + 67.70$ $R^2 = 0.27 (P = 0.33)$	$y = -0.11 + 45.12$ $R^2 = 0.68 (P = 0.10)$
Annual irrigation (mm)	$y = -0.13 + 118.61$ $R^2 = 0.15 (P = 0.60)$	$y = -0.20 + 137.42$ $R^2 = 0.20 (P = 0.31)$	$y = -0.02 + 53.08$ $R^2 = 0.13 (P = 0.88)$	$y = -0.10 + 76.11$ $R^2 = 0.06 (P = 0.38)$
Total water inputs in the months (mm)	$y = 0.08 - 0.74$ $R^2 = 0.82$ $(P = 2.12E-10)$	$y = 0.05 - 0.51$ $R^2 = 0.78$ $(P = 6.98E-12)$	$y = 0.072 - 0.96$ $R^2 = 0.87$ $(P = 4.67E-15)$	$y = 0.04 - 0.67$ $R^2 = 0.85$ $(P = 2.47E-14)$
Items	IF		IF-Z	
	Annual nitrate leaching losses (kg/ha)	Annual nitrate leaching factor (%)	Annual nitrate leaching losses (kg/ha)	Annual nitrate leaching factor (%)
Annual precipitation (mm)	$y = -0.09 + 49.57$ $R^2 = 0.50 (P = 0.10)$	$y = -0.06 + 30.08$ $R^2 = 0.73 (P = 0.09)$	$y = -0.07 + 38.96$ $R^2 = 0.16 (P = 0.17)$	$y = -0.04 + 21.38$ $R^2 = 0.50 (P = 0.18)$
Annual irrigation (mm)	$y = -0.03 + 16.66$ $R^2 = 0.05 (P = 0.76)$	$y = -0.04 + 40.58$ $R^2 = 0.22 (P = 0.52)$	$y = -0.001 + 26.15$ $R^2 = 0.11 (P = 0.95)$	$y = -0.05 + 40.31$ $R^2 = 0.26 (P = 0.28)$
Total water inputs in the months (mm)	$y = 0/05 - 0/56$ $R^2 = 0/88$ $(P = 3/51E-15)$	$y = 0.02 - 0.38$ $R^2 = 0.83$ $(P = 1.77E-13)$	$y = 0.04 - 0.49$ $R^2 = 0.75$ $(P = 2.34E-14)$	$y = 0.02 - 0.33$ $R^2 = 0.80$ $(P = 2.93E-12)$

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات پارامترهای مختلف (سال و تیمارهای کوددهی) روی صفات اندازه‌گیری‌شده در کلزا و گندم.

Table 2. Analysis of variance (mean squares) for the effects of different parameters (year and fertilizer treatments) on the measured traits in canola and wheat.

A. Canola Source of variance	DF	Grain yield	Nitrate concentration	Nitrate leaching losses
Year (Y)	1	46^{ns}.10640	45^{*}.42	66^{**}.62
Replication × Year	4	89.104413	44.5	82.0
Fertilizer treatments (F)	4	00^{**}.4829215	15^{**}.752	43^{**}.1273
F × Y	4	04^{*}.179313	01^{*}.16	61^{**}.38
Error	16	40.58377	90.4	56.1
CV (%)		86.10	15.10	06.7
B. Wheat Source of variance	DF	Grain yield	Nitrate concentration	Nitrate leaching losses
Year (Y)	1	01^{ns}.4871	416403^{**}.72	137230^{**}.41
Replication × Year	4	88.15281	410573.0	192447.0
Fertilizer treatments (F)	4	18^{**}.7605939	181308^{**}.752	155020^{**}.1133
F × Y	4	67^{*}.150173	902762^{**}.20	864997^{**}.16
Error	16	14.46244	533890.1	413913.0
CV (%)		68.7	43.5	41.12

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنی‌داری.

*, ** and ns: Significant at 5%, 1% probability levels and not significant, respectively.

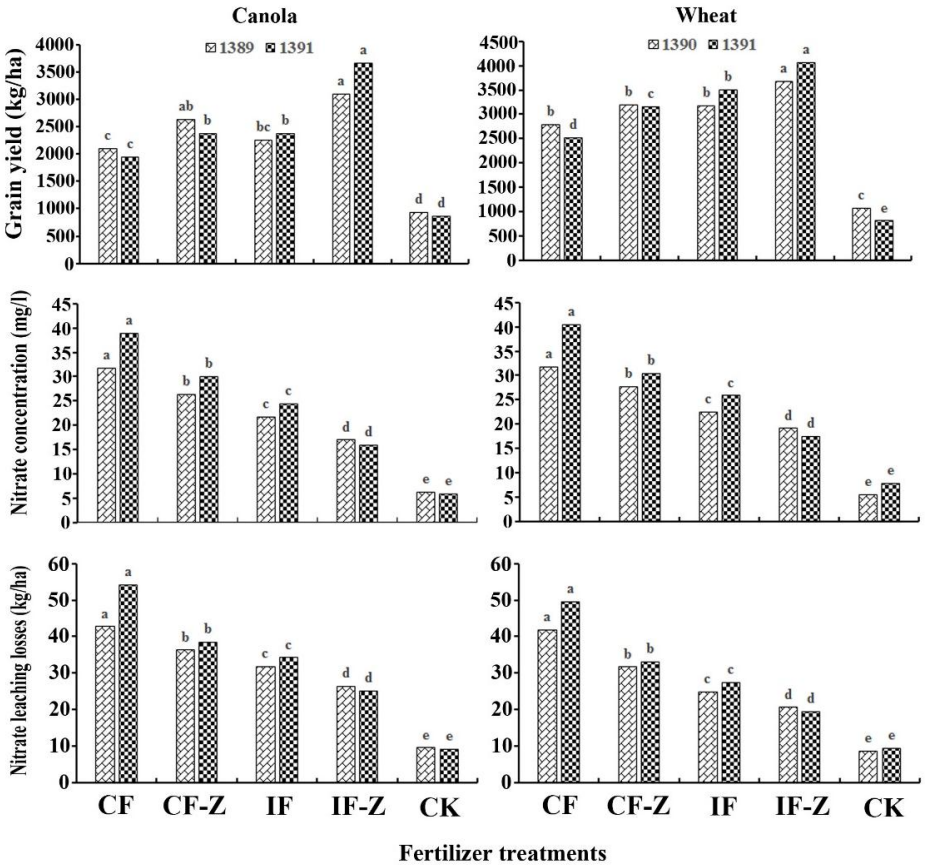
غلظت نیترات و مجموع نیترات شسته‌شده

اثر اصلی تیمارهای کوددهی و اثر متقابل تیمارهای کوددهی × سال برای هر دو صفت در هر دو گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین غلظت نیترات

www.SID.ir

Archive of SID

در زه‌آب از تیمار CF در سال دوم آزمایش به‌میزان ۳۸/۸۲ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین مقدار برای تیمار CK در سال دوم آزمایش به‌مقدار ۵/۸۵ میلی‌گرم بر لیتر برای گیاه کلزا به‌دست آمد (شکل ۳). در گیاه گندم نیز بیشترین و کمترین غلظت نیترات به‌ترتیب در تیمار CF و CK به‌میزان ۴۰/۴۵ و ۵/۳۸ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد (شکل ۳). بیشترین نیترات شسته‌شده از تیمار CF با مقدار ۵۴/۱۶ و ۴۹/۶۲ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب برای کلزا و گندم مشاهده شد (شکل ۳). استفاده از زئولیت منجر به کاهش ۳۲ و ۲۰ درصدی آبشویی نیترات به‌ترتیب در تیمارهای CF-Z و IF-Z شد. نتایج متفاوتی از تاثیر کود دامی روی میزان آبشویی نیترات توسط محققین به‌دست آمده است. بعضی از محققین بیان داشتند که استفاده از کمپوست دامی باعث کاهش آبشویی نیترات می‌گردد (Evanylo *et al*., 2008; Leclerc *et al*., 1995). کمپوست دامی با بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، منجر به توسعه بهتر ریشه، افزایش جذب نیتروژن و کاهش آبشویی می‌گردد. زئولیت دارای منافذ بزرگی بوده که کاتیون‌هایی مانند آمونیوم به‌راحتی در آن قرار گرفته و از دسترس باکتری‌های نیتریفیکاسیون خارج می‌شود (Baerlocher *et al*., 2001). بنابراین تبدیل آمونیوم به نیترات و در نتیجه میزان آبشویی نیترات کاهش یافته است.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای کوددهی × سال برای صفات آبشویی نیترات، غلظت نیترات و عملکرد دانه کلزا و گندم.

Figure 3. Mean comparison of interaction effects of fertilizer treatments × year on nitrate leaching losses, nitrate concentrations and grain yield of canola and wheat.

عملکرد دانه

اثرات اصلی سال و تیمارهای کوددهی و همچنین اثر متقابل تیمارهای کوددهی × سال روی عملکرد دانه کلزا و گندم معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه کلزا و گندم در سال دوم آزمایش بالاتر بود. تیمار کوددهی IF-Z در فصل زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ دارای بالاترین عملکرد دانه (۳۶۶۱/۵ کیلوگرم در هکتار) برای کلزا و در فصل زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ دارای بالاترین عملکرد دانه (۴۰۵۸/۹ کیلوگرم در هکتار) برای گندم بود. کمترین عملکرد دانه از تیمار CK برای هر دو گیاه در سال دوم آزمایش به‌دست آمد. در تمامی سال‌ها کاربرد زئولیت عملکرد دانه را در تیمارهای شیمیایی و تلفیقی افزایش داد. تیمار IF-Z، ۲۲ تا ۳۴ درصد عملکرد دانه بیشتری را نسبت به CF-Z به‌ترتیب برای کلزا و گندم تولید کرد. عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی به‌دلیل تعادل مناسب میان نیتروژن خاک و نیازهای نیتروژنی گیاه افزایش یافته است. Liang *et al* (2011) بیان داشتند که مواد آلی، قابلیت دسترسی عناصر غذایی را افزایش داده و منجر به افزایش عمکلرد دانه گیاهان زراعی می‌گردد. کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، افزایش قابلیت نگهداری آب و بهبود فعالیت میکروبی خاک در نتیجه کاربرد کود دامی می‌تواند سبب افزایش عملکرد دانه گردد (Bhattacharyya *et al*., 2008). کاربرد زئولیت با افزایش جذب و کاهش آبشویی نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود (Harland *et al*., 1999).

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از کودهای شیمیایی به‌همراه آبیاری در مراحل ابتدایی و آخر رشد، منجر به افزایش آبشویی نیترات شد. کاربرد کمپوست دامی به‌همراه زئولیت، علاوه بر کاهش آبشویی نیترات، عملکرد دانه کلزا و گندم را نسبت به تیمارهای شیمیایی افزایش داد. برای تولید کلزا و گندم در خاک‌های شنی، ترکیب کمپوست دامی، زئولیت و کود شیمیایی برای اطمینان از حصول عملکرد قابل‌قبول (زراعی) و حفاظت خاک و آب از شسته‌شدن بیش از حد نیتروژن (زیست-محیطی) توصیه می‌شود. کاهش آبشویی نیتروژن در حضور زئولیت طبیعی مانند کلینوپتیولیت، ناشی از افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن برای گیاه و به تبع آن، افزایش کارایی مصرف نیتروژن می‌باشد. نتایج نشان داد که استفاده از کود دامی و زئولیت، روشی مناسب برای کاهش کاربرد کودهای شیمیایی و بهبود پایداری در سیستم‌های کشاورزی می‌باشد.

REFERENCES

1. Ali, A., Syed, A.A.W.H., Khaliq, T., Asif, M., Aziz, M. & Mubeen, M. (2011). EFFECTS OF NITROGEN ON GROWTH AND YIELD COMPONENTS OF WHEAT.(REPORT), in: Biol. Sci. pp. 1004–1005.
2. Baerlocher, C., Olson, D.H. & Meier, W.M. (2001). *Atlas of Zeolite Framework Types* (formerly: Atlas of Zeolite Structure Types). Elsevier.
3. Bandyopadhyay, K.K., Misra, A.K., Ghosh, P.K. & Hati, K.M. (2010). Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and productivity of soybean. *Soil Tillage Res*. 110, 115–125.
4. Basso, B. & Ritchie, J.T. (2005). Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize–alfalfa rotation in Michigan. Agric. E*cosyst. Environ*. 108, 329–341.
5. Bhattacharyya, R., Kundu, S., Prakash, V. & Gupta, H.S. (2008). Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean–wheat system of the Indian Himalayas. *Eur. J. Agron*. 28, 33–46.
6. Bigelow, C.A., Bowman, D.C. & Cassel, D.K. (2004). Physical properties of three sand size classes amended with inorganic materials or sphagnum peat moss for putting green rootzones. *Crop Sci*. 44, 900–907.
7. Cameira, M.R., Fernando, R.M., Pereira, L.S., Mermoud, A., Musy, A. & Ragab, R. (2001). Monitoring water and NO3-N in irrigated maize fields in the Sorraia Valley, Portugal., in: Proceedings of an International Workshop of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), Cape Town, South Africa, 22-27 October 2000. *International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)*, pp. 53–62.
8. Carneiro, J.P., Coutinho, J. & Trindade, H. (2012). Nitrate leaching from a maize× oats double-

www.SID.ir

Archive of SID

cropping forage system fertilized with organic residues under Mediterranean conditions. *Agric. Ecosyst. Environ*. 160, 29–39.
9. Carter, M.R., Sanderson, J.B., Ivany, J.A. & White, R.P. (2002). Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the cool-humid climate of Atlantic Canada. *Soil Tillage Res.* 67, 85–98. doi:10.1016/S0167-1987(02)00043-0
10. Dawson, J.C., Huggins, D.R. & Jones, S.S. (2008). Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *F. Crop*. Res. 107, 89–101.
11. Edmeades, D.C. (2003). The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. Nutr. Cycl. *Agroecosystems* 66, 165–180. doi:Doi 10.1023/A:1023999816690
12. Eghball, B. (2002). Soil properties as influenced by phosphorus-and nitrogen-based manure and compost applications. *Agron. J*. 94, 128–135.
13. Eghball, B., Lesoing, G.W. (2000). Viability of weed seeds following manure windrow composting. *Compost Sci. Util.* 8, 46–53.
14. Eghball, B., Power, J.F., Gilley, J.E. & Doran, J.W. (1997). Nutrient, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual*. 26, 189–193.
15. Eichler, F. & Schulz, D. (1998). The nitrogen reduction programme in the Federal Republic of Germany. *Environ. Pollut.* 102, 609–617.
16. Errebhi, M., Rosen, C.J., Gupta, S.C. & Birong, D.E. (1998). Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agron. J*. 90, 10–15.
17. Evanylo, G., Sherony, C., Spargo, J., Starner, D., Brosius, M. & Haering, K. (2008). Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agric. Ecosyst. Environ*. 127, 50–58. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2008.02.014
18. Franzluebbers, a J., Hons, F.M. & Saladino, V. a. (1995). Sorghum, Wheat and Soybean Production As Affected By Long-Term Tillage, Crop Sequence and N Fertilization. *Plant Soil* 173, 55–65. doi:10.1007/bf00155518
19. Gholamhoseini, M., AghaAlikhani, M., Mirlatifi, S.M. & Sanavy, S.A.M.M. (2013a). Weeds – Friend or foe? Increasing forage yield and decreasing nitrate leaching on a corn forage farm infested by redroot pigweed. Agric. *Ecosyst. Environ.* 179, 151–162. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.016
20. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H. & Farmanbar, E. (2013b). Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil Tillage Res*. 126, 193–202.
21. Harland, J., Lane, S. & Price, D. (1999). Further experiences with recycled zeolite as a substrate for the sweet pepper crop. *Acta Hort* 481, 187–194.
22. Huang, Z.T. & 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.
23. Ju, X.T., Kou, C.L., Zhang, F.S. & Christie, P. (2006). Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environ. Pollut*. 143, 117–125.
24. Leclerc, B., Georges, P., Cauwel, B. & Lairon, D. (1995). A five year study on nitrate leaching under crop fertilized with mineral and organic fertilizers in lysimeter. *J. Environ. Qual*. 23, 337–343.
25. Leggo, P.J., Ledésert, B. & Christie, G. (2006). The role of clinoptilolite in organo-zeolitic-soil systems used for phytoremediation. *Sci. Total Environ.* 363, 1–10.
26. Li, S. (2000). [Leaching loss of nitrate from semiarid area agroecosystem]. Ying yong sheng tai xue bao= *J. Appl*. Ecol. sheng tai xue xue hui, Zhongguo ke xue yuan Shenyang ying yong sheng tai yan jiu suo zhu ban 11, 240–242.
27. Li, X., Hu, C., Delgado, J.A., Zhang, Y. & Ouyang, Z. (2007). Increased nitrogen use efficiencies as a key mitigation alternative to reduce nitrate leaching in north china plain. *Agric. Water Manag*. 89, 137–147.
28. Min, J., Zhang, H. & Shi, W. (2012). Optimizing nitrogen input to reduce nitrate leaching loss in greenhouse vegetable production. *Agric. water Manag*. 111, 53–59.
29. Mumpton, F.A. (1999). Uses of natural zeolite in agriculture and industry.
30. Nus, J.L. & Brauen, S.E. (1991). Clinoptilolitic zeolite as an amendment for establishment of creeping bentgrass on sandy media. *HortScience* 26, 117–119.
31. Ok, C.-H., Anderson, S.H. & Ervin, E.H. (2003). Amendments and construction systems for improving the performance of sand-based putting greens. *Agron. J*. 95, 1583–1590.

www.SID.ir

Archive of SID

32. Power, Jf. & Schepers, J.S. (1989). Nitrate contamination of groundwater in North America. Agric. Ecosyst. Environ. 26, 165–187.
33. Reganold, J.P. (1995). Soil quality and profitability of biodynamic and conventional farming systems: A review. *Am. J. Altern. Agric*. 10, 36–45.
34. Rehakova, M., Čuvanová, S., Dzivak, M., Rimár, J. & Gaval'Ova, Z. (2004). Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci*. 8, 397–404.
35. Sharma, P., Shukla, M.K., Sammis, T.W., Steiner, R.L. & Mexal, J.G. (2012). Nitrate-nitrogen leaching from three specialty crops of New Mexico under furrow irrigation system. *Agric. water Manag*. 109, 71–80.
36. Song, X.-Z., Zhao, C.-X., Wang, X.-L. & Li, J. (2009). Study of nitrate leaching and nitrogen fate under intensive vegetable production pattern in northern China. C. R. Biol. 332, 385–392.
37. Spalding, R.F. & Exner, M.E. (1993). Occurrence of nitrate in groundwater—a review. *J. Environ. Qual.* 22, 392–402.
38. Vázquez, N., Pardo, A., Suso, M.L. & Quemada, M. (2005). A methodology for measuring drainage and nitrate leaching in unevenly irrigated vegetable crops. Plant Soil 269, 297–308.
39. Warrington, R., (1905). Lost fertility, the production and loss of nitrate in the soil. Trans. Highl. *Agric. Soc. Scotl.* 1–35.
40. Xing, G.X. & Zhu, Z.L. (2000). An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 57, 67–73.
41. Yan, W., Yamamoto, K. & Yakushido, K. (2002). Changes in nitrate N content in different soil layers after the application of livestock waste compost pellets in a sweet corn field. *Soil Sci. plant Nutr.* 48, 165–170.
42. Yin, X.F., Tong, Y.A., Zhang, S.L., Zeng, Y.J., Gao, P.C., Zhou, J. & Yang, X.L. (2010). [Nitrate leaching characteristics of wheat-corn rotation farmland in Guanzhong area of Shaanxi]. Ying yong sheng tai xue bao= *J. Appl. Ecol*. sheng tai xue xue hui, Zhongguo ke xue yuan Shenyang ying yong sheng tai yan jiu suo zhu ban 21, 640–646.
43. Zare Abyaneh, H. & Bayat Varkeshi, M. (2015). Effect of Nano-chelate Nitrogen and Urea Fertilizers on Nitrate Leaching and Its Distribution in Soil Profile and Potato Plant. *Water soil Sci.* 25, 25–40.
44. Zhao, C., Hu, C., Huang, W., Sun, X. & Tan, Q., Di, H. (2010). A lysimeter study of nitrate leaching and optimum nitrogen application rates for intensively irrigated vegetable production systems in Central China. *J. Soils Sediments* 10, 9–17.
45. Zvomuya, F., Rosen, C.J., Russelle, M.P. & Gupta, S.C. (2003). Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea to potato. *J. Environ. Qual*. 32, 480–489.

www.SID.ir