

آبشویی نیتروژن در حضور زئولیت غنی‌شده با آمونیوم در دو نوع بافت خاک تحت کشت گندم

نرگس محراب*^۱ و مصطفی چرم^۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۰۶

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲ دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: narges_mehrab@yahoo.com

چکیده

آبشویی عناصر غذایی کودها و سموم موجود در خاک، از عوامل مهم تغییر کیفیت آبهای سطحی و زیرزمینی است. بررسی‌ها نشان داده است که درصدی از کودهای نیتروژن از خاکرخ خارج شده و به آبهای زیرزمینی و یا رودخانه‌ها می‌پیوندد. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر کاربرد زئولیت خام و غنی‌شده با آمونیوم بر کاهش آبشویی نیتروژن از خاک تحت کشت گیاه گندم بود. در این مطالعه گلخانه‌ای، اثر یک سطح کود شیمیایی اوره ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، دو سطح زئولیت خام ۵ درصد و ۱۰ درصد، دو سطح زئولیت غنی‌شده با آمونیوم ۵ درصد و ۱۰ درصد وزنی اضافه شده به دو نوع بافت خاک لوم رسی و لوم شنی و یک سطح آبشویی ۳۰ درصد عمق خالص آبیاری، در هشت دور آبیاری متوالی بر نیتروژن آبشویی شده مورد بررسی قرار گرفت. غلظت نیترات خروجی از تیمار کود شیمیایی در خاک لوم رسی و لوم شنی در تمام دوره‌های آبیاری بیش از تیمارهای زئولیتی بود. کمترین غلظت نیترات و آمونیوم زه-آب در تیمار ۱۰ درصد زئولیت غنی‌شده با آمونیوم مشاهده گردید. میزان نیترات و آمونیوم شسته شده از خاک لوم شنی بیش از لوم رسی بود. میزان نیترات خروجی از خاک لوم رسی در دور هشتم آبیاری با استفاده از ۱۰ درصد زئولیت خام و ۱۰ درصد زئولیت غنی‌شده به ترتیب ۴۳ درصد و ۷۲ درصد نسبت به کود شیمیایی کاهش نشان دادند. مقایسه زئولیت خام و غنی‌شده با آمونیوم نشان داد که زئولیت غنی‌شده با آمونیوم در نگهداری نیترات و کاهش آلودگی‌ها مؤثرتر است.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، بافت خاک، زئولیت غنی‌شده با آمونیوم، نیتروژن

Leaching of Nitrogen in the Presence of Zeolite Enriched with Ammonium in Two Soil Textures under Wheat Cultivation

N Mehrab*¹ and M Chorom²

Received: 22 February 2012 Accepted: 28 July 2013

¹Former M.Sc. Student, Dept. of Soil Sci., Shahid Chamran Univ., Ahvaz. Iran

²Assoc. prof., Dept. of Soil Sci., Shahid Chamran Univ., Ahvaz. Iran

*Corresponding Author Email: narges_mehrab@yahoo.com

Abstract

Leaching of fertilizers, nutrients and insecticides from soil is an important factor to change the surface and ground water quality. Studies show that some percentage of nitrogen fertilizers leaching from the soil profile joins the groundwater or rivers. The aim of this study was to investigate the effect of raw and ammonium-enriched zeolite on reducing nitrogen leaching from the soil under wheat plant cultivation. In this greenhouse experiment, effects of one level of fertilizer application (100 kg/ha), two levels of raw zeolite (5 and 10% wt) and NH₄⁺-zeolite (5 and 10% wt) added to the clay loam and sandy loam soils and one level of leaching (30% of net irrigation depth) on nitrogen leaching in eight consecutive irrigation events were studied. Nitrate concentrations in sandy loam and clay loam soils treated with the chemical fertilizer were more than those in zeolite treatments at the all irrigation period. The lowest concentrations of nitrate and ammonium in the drainage water were observed in the treatment with 10% zeolite enriched with ammonium. The quantities of the ammonium and nitrate leached from the sandy loam soil were more than those from the clay loam soil. The nitrate outputs from the clay loam soil with 10% raw zeolite and 10% zeolite enriched with ammonium were 43% and 72% less than those with the chemical fertilizer treatment, respectively. Comparison of the raw and enriched zeolite with ammonium showed that the ammonium-enriched zeolite stored the nitrate and reduced the pollution more effectively.

Keywords: Leaching, NH₄⁺-zeolite, Nitrogen, Soil Texture

کشاورزی از جمله کودهای شیمیایی است، روز به روز بر اهمیت توجه به کشاورزی پایدار می‌افزاید. از مهمترین مشکلات سیستم‌های کشاورزی سنتی، هدر روی کودهای شیمیایی مصرفی بویژه انواع نیتروژنی آن می‌باشد. عوامل متعددی بر میزان آبخوبی نیترات تأثیر دارند که در این عوامل بافت خاک نقش بسزایی

مقدمه

دستیابی به کشاورزی پایدار در کنار افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تأمین سلامت جامعه از اهداف محققان در بخش کشاورزی است (مدنی و همکاران ۱۳۸۸). تشدید اثرات مخرب زیست محیطی در کشاورزی سنتی که ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های

دارد. زمین‌های شنی از جمله اراضی زراعی هستند که پتانسیل بالایی برای شستشوی نیتروژن و در نهایت آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی دارند. این اراضی در کنار اندک خصوصیات مطلوب خود مانند تهویه مناسب و عدم ماندابی، بدلیل پائین بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت نگهداری و تأمین مقدار ناچیزی از عناصر غذایی را دارند. کشاورزان در این گونه زمین‌ها به منظور حصول عملکرد مناسب، ناچار از بکارگیری مقادیر بالایی از کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنه می‌باشند که سرانجام آن هدررفت نیتروژن و ورود مقادیر زیادی از نیترات به آبهای زیرزمینی و افزایش غلظت آن از حد مجاز (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) (نامعلوم ۲۰۰۲) می‌باشد (غلامحسینی و همکاران ۱۳۸۸) و منابع آب شیرین به سرعت کاهش می‌یابند و افزایش فعالیت‌های بشری اثرات مضر بر روی کمیت و کیفیت آب دارد (هیکام و همکاران ۲۰۰۱). از طرفی افزایش کود سبب ایجاد خاک‌های شور می‌شود که این عامل سبب آسیب به بذور در مناطق خشک و فقر از آب می‌شود (کومار و همکاران ۲۰۰۶). از جمله راه‌کارهای جدیدی که برای افزایش تأثیرگذاری و جلوگیری از هدر روی کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته است، بکارگیری ترکیبات طبیعی چون کانی‌های زئولیت در مزارع کشاورزی می‌باشد (پولات و همکاران ۲۰۰۴).

استفاده از زئولیت در اراضی کشاورزی به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل زیاد آن برای جذب و نگهداری آمونیوم، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش شستشوی عناصر غذایی خاک بویژه نیتروژن داشته باشد و همچنین سبب افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه شود. لوین (۱۹۹۹) برای رشد گیاه در پروژهای فضایی از بستر زئولیت برای گیاه گندم استفاده کردند، بطوری که زئولیت با عناصر ضروری برای رشد گیاه غنی شده بود و در طی رشد فقط آب دیونیزه شده به گیاه داده می‌شد. نتایج نشان داد که گندم‌هایی که در بستر زئولیت رشد کرده بودند نسبت به بستر پیت و ورمی کولایت دوره رشد رویشی طولانی‌تری داشتند که منجر به تولید مداوم پنجه‌های جدید شد. زئولیت‌ها ترکیبات حفره‌دار با چارچوب‌های

آلومینوسیلیکاتی (SiO_4 و AlO_4) دارای یک شبکه تتراهیدرال اتمهای اکسیژن هستند که در اطراف سیلیسیوم و آلومینیوم قرار گرفته‌اند و هیدراته هستند (مدنی و همکاران ۱۳۸۸). این مینرال در سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های رسوبی در رژیم‌های خشک و در کف دریاها یافت می‌شود. ویژگی‌های غیر معمول، آن را قادر ساخته است که مانند فیلتر عمل کند. دیگر یون‌ها در این مینرال‌ها سدیم و کلسیم است. زئولیت مشابه فلدسپات است (هیکام و همکاران ۲۰۰۱) و با ساختمان کریستالی خود مانند غربال مولکولی عمل می‌کند و قابلیت تبادل کاتیونی مناسب دارد و از طرفی دارای جذب انتخابی یون آمونیوم است که در حفرات و کانال‌های زئولیت قرار می‌گیرد ولی اندازه این حفرات و کانال‌ها به گونه‌ای است که مانع از ورود باکتری‌های نیتریفیکاسیون‌کننده به داخل ساختمان زئولیت می‌شود، بنابراین در حضور زئولیت در خاک سرعت تبدیل آمونیوم به نیترات کاهش پیدا می‌کند و این موجب کاهش شستشوی نیتروژن می‌گردد (مدنی و همکاران ۱۳۸۸).

با توجه به این ویژگی‌ها به نظر می‌رسد زئولیت غنی شده با آمونیوم پتانسیل خوبی برای استفاده در خاک جهت جایگزینی بخشی از نیتروژن محلول مورد نیاز گیاه و کاهش آبشویی نیتروژن در بر داشته باشد؛ هدف از این پژوهش بررسی اثر نوع بافت خاک و زئولیت غنی شده با آمونیوم در هدررفت نیتروژن خاک در کشت گلخانه‌ای گندم است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز سال ۱۳۹۰ در محل گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز با هدف بررسی تأثیر کاربرد زئولیت در جذب و هدررفت نیتروژن خاک در کشت گلخانه‌ای گیاه گندم با طرح آماری فاکتوریل در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با ۵ تیمار مختلف کاربرد زئولیت و ۲ تیمار بافت خاک انجام شد. تیمار شاهد فاقد زئولیت بود که در آن از کود شیمیایی اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد و چهار تیمار دیگر به ترتیب شامل ۵ درصد و ۱۰ درصد وزنی زئولیت خام و ۵ درصد و ۱۰ درصد وزنی

آوری و با کلرور کلسیم به حجم رسید و با دستگاه کج‌دال میزان آمونیوم محلول اندازه‌گیری شد (پارک و کمارننی ۱۹۹۸). در این عمل به دلیل جایگزینی یون کلسیم بجای یون آمونیوم در ساختار زئولیت و در نتیجه خروج آمونیوم در محلول، غلظت آمونیوم محلول قابل محاسبه است و در نهایت میزان یون آمونیومی که از هر گرم زئولیت رها می‌شود توسط دستگاه کج‌دال مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

کشت گیاه گندم

کشت گندم در ستون‌های PVC با ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. هر ستون آزمایش از ۵ کیلوگرم خاک هوا خشک و بدون هیچ‌گونه تراکم پر گردید (خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دو بافت خاک در جدول ۴ آمده است) و تیمارهای زئولیتی به صورت جداگانه اعمال شد و در مجموع ۳۰ ستون آماده گردید. با توجه به نیاز کودی گندم رقم چمران کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب از نوع اوره، سوپرفسفات تریپل و فسفات پتاسیم با نسبت (۵۰-۵۰-۱۰۰) به خاک اضافه شد (شایسته زاده ۱۳۸۷). به ستون‌های حاوی زئولیت غنی‌شده میزان کود اوره کمتری داده شد و مقدار آن با احتساب میزان آمونیومی بود که از هر گرم زئولیت غنی‌شده وارد خاک شد (به بخش ۱ مراجعه شود). بنابراین کمترین مقدار کود به تیمار حاوی زئولیت غنی‌شده با آمونیوم داده شد. یک دوم کود اوره بصورت پایه و یک دوم دیگر بصورت سرک در مرحله پنجه‌زنی در هر ستون اعمال گردید. سپس بذر گندم رقم چمران کاشت شد. پس از مراحل اولیه رشد ۵ گیاه قوی‌تر انتخاب و بقیه تنک شدند و پس از اتمام دوره ۴ ماهه رشد گندم، گیاه برداشت و ریشه از بخش اندام هوایی جدا گردید و پس از خشک کردن در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد، بخش هوایی گیاه گندم به منظور اندازه‌گیری درصد نیتروژن کل به آزمایشگاه منتقل گردید.

آبیاری ستون‌های خاک

قبل از عمل آبیاری و جمع‌آوری زه‌آب خارج شده از ستون‌های خاک، در انتهای هر یک از ستون‌ها یک ظرف برای جمع‌آوری زه‌آب قرار داده شد. جهت

زئولیت غنی‌شده با آمونیوم می‌باشد که این مقادیر به ترتیب معادل ۹۰۰ و ۱۸۰۰ کیلوگرم در هکتار است. دو تیمار بافت خاک شامل بافت لوم رسی و لوم شنی بوده است و کلاً ۱۰ تیمار در ۳ تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. این پژوهش شامل مرحله آزمایشگاهی تهیه زئولیت غنی‌شده با آمونیوم و مرحله گلخانه‌ای کشت گندم و مراحل آبیاری جهت جمع‌آوری زه‌آب بود که به شرح زیر آمده است.

تهیه زئولیت غنی‌شده با آمونیوم

زئولیت مورد استفاده در این پژوهش از معادن فیروزکوه تهیه گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، ترکیب عنصری و درصد کانی‌های همراه با زئولیت خام مورد استفاده به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ آمده است. به منظور غنی‌سازی زئولیت با آمونیوم از روش اشباع‌سازی به کمک کلرور آمونیوم استفاده شد. بدین منظور ۵ گرم زئولیت به مدت ۲۴ ساعت در ۳۰ میلی‌لیتر محلول ۱ مولار کلرور آمونیوم نگهداری شد و پس از ۳۰ دقیقه بهم‌زدن و ۵ دقیقه سانتریفیوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه، محلول رویی دور ریخته شد. مرحله بهم‌زدن و سانتریفیوژ با محلول کلرور آمونیوم دو مرتبه دیگر نیز انجام شد تا عمل جایگزینی یون آمونیوم در مکان‌های جذبی زئولیت انجام شود. عمل بهم‌زدن در دور دوم و سوم ۵ دقیقه بود. سپس شستشو با آب مقطر جهت دفع نمک‌های اضافی در سه مرحله صورت گرفت. جهت شستشو در هر مرحله ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید و پس از ۵ دقیقه بهم‌زدن و ۵ دقیقه سانتریفیوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه، محلول رویی دور ریخته شد. در نهایت زئولیت غنی‌شده با آمونیوم در آون در دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک و آماده گردید (ابزل و همکاران ۱۹۹۵، پارک و کمارننی ۱۹۹۸). برای تعیین میزان کل آمونیومی که طی مرحله غنی‌سازی جذب زئولیت شده است از محلول ۰/۱ مولار کلرور کلسیم استفاده شد. در این روش ۳ مرتبه و هر مرتبه ۳۰ میلی‌لیتر کلرور کلسیم به ۵ گرم زئولیت غنی‌شده با آمونیوم اضافه شد و ۵ دقیقه بهم‌زده و ۵ دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و محلول رویی در هر سه مرحله در یک بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری جمع-

کشت گیاه، رطوبت خاک به روش وزنی، اندازه‌گیری شد.

تعیین زمان آبیاری

زمان آبیاری ستون‌های خاک ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شد. مطابق یافته‌های خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۸۷) در رطوبت‌های کمتر عملکرد گیاه کاهش می‌یابد. این مقدار رطوبت با اندازه‌گیری مقدار رطوبت در ظرفیت مزرعه تعیین شد (به بخش ۳-۱ مراجعه شود). در طول زمان کشت بصورت روزانه ستون‌های شاهد رطوبتی وزن شده و با رسیدن وزن آنها به وزن ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه عمل آبیاری صورت گرفت.

پس از جمع آوری زه‌آب و اندازه‌گیری نیترات و آمونیوم توسط دستگاه کج‌دال (شایسته‌زاده ۱۳۸۷)، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS و MSTATC صورت گرفت و از آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL صورت گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، ترکیب عنصری و درصد کانی‌های همراه با زئولیت خام مورد استفاده به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ قابل مشاهده است.

در جدول ۱ همه خصوصیات ذکر شده بجز سطح ویژه زئولیت که توسط آزمایشگاه محل تهیه زئولیت اندازه‌گیری شده است، مستقیماً در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. جدول ۲ حاکی از آن است که زئولیت مورد استفاده از نوع کلینوپتیلولیت است.

مشخصات فیزیکی و شیمیایی دو خاک مورد استفاده در جدول ۴ آمده است. مطابق با این جدول میزان نیترات در خاک اولیه لوم رسی بیش از خاک لوم شنی است در حالی که میزان آمونیوم خاک لوم شنی بیشتر از خاک لوم رسی است. میزان آمونیوم کمتر در بافت لوم رسی احتمالاً ناشی از خواص کلونیدی و جذب بیشتر آمونیوم و در نهایت کاهش آمونیوم محلول است. همچنین کیفیت آب آبیاری در جدول ۵ نمایش داده

آبیاری از آب تصفیه شده گلخانه استفاده شد (جدول ۵). در این پژوهش ۸ مرتبه عمل آبیاری به منظور جمع-آوری زه‌آب صورت گرفت و زه‌آب در هر مرحله برای انجام آزمایشات مربوطه به آزمایشگاه منتقل گردید.

تعیین مقدار آب مورد نیاز جهت آبیاری

میزان آبی که به هر ستون خاک داده می‌شود باید به گونه‌ای باشد که رطوبتی حدوداً معادل ۲۰ درصد ظرفیت مزرعه خارج شود. با توجه به اینکه در زمان آبیاری ستون‌ها رطوبت مناسب خاک ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه تعیین شده است (مطابق یافته‌های خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۸۷) در رطوبت‌های کمتر عملکرد گیاه کاهش می‌یابد)، بنابراین برای آبیاری هر مرتبه باید میزان آبی معادل با ۶۰ درصد رطوبت در حالت ظرفیت مزرعه داده شود تا ۴۰ درصد برای رسیدن رطوبت ستون خاک به ظرفیت مزرعه مصرف شود و ۲۰ درصد دیگر بصورت زه‌آب خارج شود.

برای تعیین آب مورد نیاز، وزن گلدان‌ها در حالت اشباع و ظرفیت مزرعه تعیین گردید. لذا دو گلدان حاوی خاک با بافت لوم رسی و لوم شنی که به عنوان شاهد رطوبتی در نظر گرفته شده بودند، به مدت ۲۴ ساعت در تشت آب قرار داده شدند تا توسط آب از کف اشباع گردند. سپس با تعیین وزن آنها، درصد رطوبت وزنی در حالت اشباع در هر دو نوع بافت خاک بدست آمد. سپس سطح ستون‌ها با نایلون پوشانده شد تا تبخیر صورت نگیرد و دو ستون خاک تحت نیروی ثقل قرار داده شد و پس از ۴۸ ساعت نمونه برداری صورت گرفت در نهایت در شرایط گلخانه رطوبت خاک ستون-ها در حد ظرفیت مزرعه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و ۶۰ درصد آن محاسبه شد. با توجه به اینکه رطوبت وزنی در حالت ظرفیت مزرعه برای خاک با بافت لوم رسی ۲۷/۵ درصد و برای خاک با بافت لوم شنی ۲۲ درصد اندازه‌گیری شد و با توجه به اینکه خاک موجود در هر ستون ۵ کیلوگرم بود میزان آب مورد نیاز برای هر نوبت آبیاری بصورتی که حدود ۲۰ درصد ظرفیت مزرعه به شکل زه‌آب خارج شود، در خاک با بافت لوم رسی تقریباً برابر ۱۴۰۰ میلی‌لیتر و برای خاک لوم شنی برابر ۱۱۰۰ میلی‌لیتر محاسبه گردید. در طول زمان

شده است. در این پژوهش از آب تصفیه شده گلخانه استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زئولیت خام مورد استفاده.

رنگ	اندازه (مش)	سطح ویژه (m ² /g)	pH (۱:۱)	EC (dS/m) (۱:۱)	CEC (Cmole(+) Kg ⁻¹)
سفید	۲۰۰	۳۲ ± ۱	۸/۱۷	۱۲/۶	۱۳۸

جدول ۲- ترکیب عنصری کانی زئولیت مورد مطالعه (حمیدپور و همکاران ۲۰۱۰).

ترکیب عنصری	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂
%	۶۱/۵	۸/۰۰	۲/۳۹	۱/۱۴	۱/۰۶	۰/۹۱	۰/۷۰	۰/۱۲

جدول ۳- درصد کانی‌های همراه با زئولیت مورد مطالعه (حمیدپور و همکاران ۲۰۱۰).

نام کانی	کلینوپتیلولیت	کوارتز	ایلات	فلدسپار
%	۸۲/۵	۸/۶	۵/۳	۲/۵

جدول ۴- مشخصات فیزیکی و شیمیایی دو خاک مورد استفاده.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی	بافت لوم رسی	بافت لوم شنی
رس (%)	۳۲/۷	۱۹
سیلت (%)	۴۳/۳	۵۶/۵
شن (%)	۲۴	۲۴/۵
رطوبت اشباع (%)	۳۱/۲	۲۴
نیتروژن کل (mg/kg)	۸۷۰	۶۴۰
نترات قابل جذب (mg/kg)	۱۳۵	۱۲۰
آمونیم قابل جذب (mg/kg)	۸۵	۹۴
فسفر قابل جذب (mg/kg)	۱۱/۴	۱۰/۱
پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	۱۷۶	۱۱۷
سدیم قابل جذب (mg/kg)	۳۰۸	۲۶۴
کلسیم قابل جذب (mg/kg)	۳۸۰	۳۳۲
منیزیم قابل جذب (mg/kg)	۱۷۵	۱۷۰
بی‌کربنات قابل جذب (mg/kg)	۳۹۶	۳۶۶
کلرید قابل جذب (mg/kg)	۴۲۰	۳۶۷
سولفات قابل جذب (mg/kg)	۱۲۴۸	۱۰۵۶
pH	۷/۷۵	۷/۶۵
EC (dS/m)	۲/۰۴	۱/۹
مواد آلی (%)	۰/۹۸	۰/۵۳
CEC (cmol _c /kg)	۲۵	۱۸

جدول ۵- خصوصیات آب آبیاری.

Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	EC	pH
(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(dS/m)	
۲	۱/۹	۱	۰/۱	۲	۱	۰/۱۱۷	۰/۳۳۴	۰/۱۷	۶/۴۸

شسته شده از خاک بسیار کمتر از نیترات است. این نتایج با یافته‌های گاپتا و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. آنها بیان کردند که بار مثبت یون آمونیوم و عدم پایداری طولانی مدت آن در خاک که ناشی از تبدیل آمونیوم به نیترات در اثر فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌باشد، مهمترین دلایل برای پائین بودن غلظت آمونیوم در زه‌آب می‌باشد. بیشترین میزان نیترات و آمونیوم آبشویی شده در دور پنجم آبیاری مشاهده شد. دلیل آن استفاده از کود سرک اوره، پنج روز قبل از آبیاری بود. کمترین میزان نیترات و آمونیوم شسته شده در دوره‌های اول آبیاری مشاهده گردید که البته با غلظت این عناصر در دور آخر آبیاری اختلاف معنی‌داری ندارند. کاهش غلظت نیترات زه‌آب در دوره‌های اول آبیاری به دلیل زمان بر بودن تبدیل اوره به نیترات و همچنین حرکت آن از لایه‌های سطحی به عمق خاک است (شایسته‌زاده ۱۳۸۷).

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که اثر اصلی پارامترهای دور آبیاری، بافت خاک و سطوح زئولیت و همچنین اثر متقابل بافت و زئولیت اثر معنی‌داری بر کاهش غلظت آبشویی نیترات دارند ولی در مورد یون آمونیوم فقط دور آبیاری توانسته است اثر معنی‌داری بر روی آن نشان دهد.

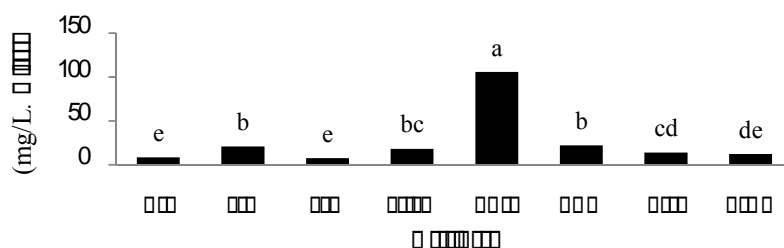
تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری بر نیترات و آمونیوم زه‌آب‌ها

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب تأثیر میزان نیترات و آمونیوم زه‌آب در دوره‌های مختلف آبیاری را نشان می‌دهند. نتایج نشان داد میزان آمونیوم شسته شده نسبت به نیترات شسته شده از خاک در آبیاری‌های مختلف کمتر است. با توجه به پائین بودن قابلیت تحرک یون آمونیوم در مقایسه با یون نیترات (شوگلا و همکاران ۲۰۰۶) و همچنین تبدیل سریع آمونیوم به نیترات طی فرایند نیتریفیکاسیون، مدت زمانی که یون آمونیوم در خاک حضور دارد کوتاه است و بنابراین پتانسیل بالایی برای شستشوی این یون وجود ندارد و میزان آمونیوم

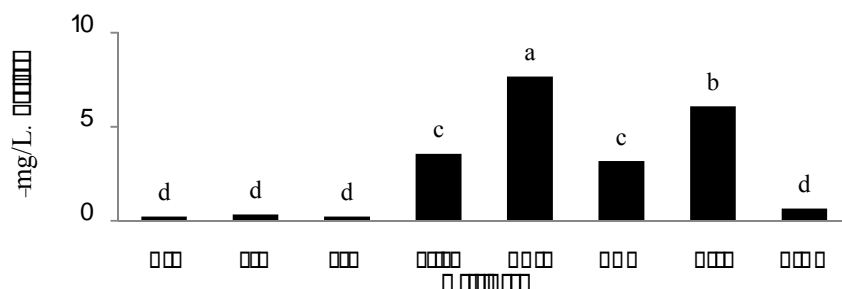
جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای مختلف بر میزان نیترات و آمونیوم زه‌آب‌ها.

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
آمونیوم زه‌آب‌ها	نیترات زه‌آب‌ها		
۲۵۲/۵۹۷**	۳۱۷۹۳/۸۵۳**	۷	آبیاری
۱/۰۵۶ ^{ns}	۳۷۴/۱۱۸*	۱	بافت
۸/۹۹۶ ^{ns}	۱۲۵۶/۲۸۷**	۴	زئولیت
۰/۶۷۰ ^{ns}	۹۵/۶۲۵ ^{ns}	۷	آبیاری × بافت
۲/۰۴۱ ^{ns}	۵۱/۲۹۰ ^{ns}	۷	آبیاری × زئولیت
۰/۴۵۵ ^{ns}	۸۴۴/۵۸۳**	۲۸	بافت × زئولیت
۰/۶۵۶ ^{ns}	۸۶/۲۵۲ ^{ns}	۲۸	آبیاری × بافت × زئولیت
۰/۷۴۶	۸۵/۲۶۱	۱۶۰	خطا
		۲۴۰	کل

ns غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد است



شکل ۱- میانگین تأثیر دوره‌های آبیاری مختلف بر میزان نیترات زه‌آبها (N-NO₃).

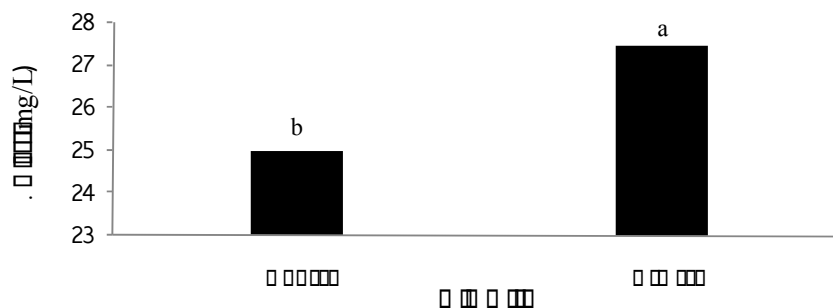


شکل ۲- میانگین تأثیر دوره‌های آبیاری مختلف بر میزان آمونیوم زه‌آبها (N-NH₄⁺).

که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد به دلیل نیترات زه‌آب در تیمار کود شیمیایی است. این نتایج با توجه به میزان بیشتر نیترات محلول در خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی (به دلیل خاصیت کلوئیدی کمتر در خاک لوم شنی) و با توجه به این مورد که یون نیترات بسیار محلول است، قابل قبول است.

تأثیر تیمارهای بافت بر نیترات زه‌آبها

شکل ۳ بررسی اثر نوع بافت خاک در نیترات زه-آبها را نشان می‌دهد. مطابق این نمودار میزان نیترات زه‌آبها در خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی افزایش معنی‌دار داشته است. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود در تمام تیمارهای حاوی زئولیت میزان نیترات خروجی از خاک لوم شنی کمتر از لوم رسی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف نیتراتی



شکل ۳- میانگین تأثیر کاربرد دو نوع بافت خاک بر میزان نیترات زه‌آبها (N-NO₃).

که در هر دو نوع بافت خاک تیمارهای کود شیمیایی نسبت به تیمارهای دارای زئولیت بخصوص ۱۰ درصد زئولیت غنی‌شده با آمونیوم میزان نیترات زه‌آب بیشتر است. در تیمار ۱۰ درصد زئولیت غنی‌شده میزان

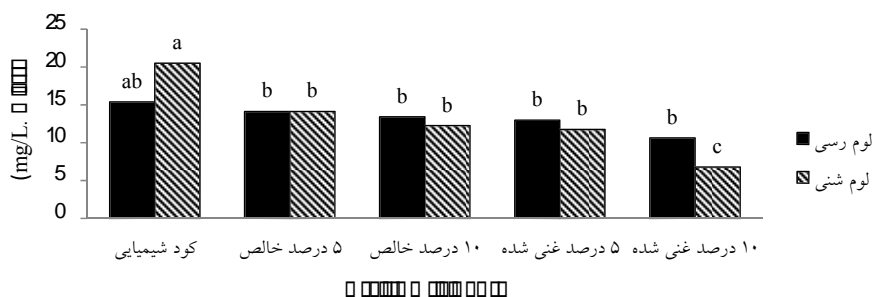
تأثیر متقابل تیمارهای بافت و زئولیت بر نیترات زه-آبها

شکل ۴ معنی‌داری اثر متقابل زئولیت و بافت خاک را نمایش می‌دهد. در این نمودار مشاهده می‌شود

ساختار قفس مانند خود، مانع جذب سریع و به موقع نیتروژن توسط گیاه می‌شود (به جدول ۷ مراجعه شود).

نتایج فوق با یافته‌های غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد. آنها از زئولیت خام در کشت کلزا استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از زئولیت خام به دلیل جذب بیشتر اوره در منافذ زئولیت، نیتروژن قابل استفاده برای گیاه به کندی در اختیار ریشه گیاه قرار گرفته در نتیجه از این طریق باعث کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه می‌گردد.

نیترات زه‌آب در خاک لوم شنی با ۶/۶ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به خاک لوم رسی با ۱۰/۶ میلی‌گرم بر لیتر ۳۷/۷ درصد کمتر است و این اختلاف معنی‌دار است. البته باید متذکر شد که در این میان نقش گیاه نباید نادیده گرفته شود. گیاهان کشت شده در خاک لوم شنی به دلیل تهویه مناسب‌تر و رشد بهتر ریشه و در نتیجه جذب نیتروژن بالاتر، در کاهش نیترات شسته شده نقش مؤثری داشته است. از طرفی در تیمارهای کود شیمیایی و ۱۰ درصد زئولیت غنی شده با آمونیوم به دلیل داشتن نیتروژن محلول بیشتر گیاه توان بیشتری در جذب نیتروژن از خود نشان داد در حالی که در تیمارهای زئولیت خام به دلیل محبوس شدن موقت نیتروژن در



شکل ۴- میانگین اثر متقابل کاربرد سطوح مختلف زئولیت و بافت خاک بر میزان نیترات زه‌آب ($N-NO_3$).

جدول ۷- اثر تیمارهای بافت خاک و زئولیت بر درصد نیتروژن کل بخش هوایی گیاه گندم.

فاکتورها	درصد نیتروژن کل
بافت خاک: لوم رسی	۰/۷۴ a
لوم شنی	۰/۷۹ b
زئولیت: صفر (فقط کود شیمیایی)	۰/۸ a
۵ درصد زئولیت خام	۰/۷۴ ab
۱۰ درصد زئولیت خام	۰/۷۲ b
۵ درصد زئولیت غنی شده	۰/۷۶ ab
۱۰ درصد زئولیت غنی شده	۰/۸a

* حروف لاتین غیر مشابه نشانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

با افزایش مصرف کود اوره، به دلیل تجمع بیشتر نیتروژن به صورت نیترات در خاک، افزایش شستشوی نیتروژن اتفاق می‌افتد. این همان دلیلی است که تیمار ۱۰ درصد زئولیت غنی شده کمترین آبشویی را دارا است چون علاوه بر مصرف کانی زئولیت، کود اوره مصرفی

عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقات خود در یک خاک لوم شنی به این نتیجه رسیدند که با افزودن تنها ۵ درصد زئولیت به خاک پس از آبیاری‌های متعدد، آبشویی کود اوره به میزان ۱۰ تا ۵۵ درصد کاهش یافت. مطابق با اظهارات غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۸)

شیمیایی در جدول ۸ ارائه شده است. میزان نیتروژن معادل مجموع یون‌های نیترات و آمونیوم در نظر گرفته شده و از اشکال دیگر نیتروژن صرف نظر شده است. با مقایسه اعداد این جداول می‌توان مفید بودن وجود زئولیت در کاهش آبشویی نیتروژن در دوره‌های آبیاری را مشاهده کرد. کمترین کاهش آبشویی در دوره‌های مختلف آبیاری مربوط به استفاده از ۵ درصد زئولیت خام و بیشترین کاهش آبشویی مربوط به کاربرد ۱۰ درصد زئولیت غنی‌شده با آمونیوم است.

در نتایج مربوط به خاک لوم رسی در جدول ۸، با افزودن تنها ۵ درصد زئولیت خام به خاک در دوره‌های آبیاری مختلف، آبشویی نیتروژن به میزان ۱۱/۱ تا ۲۳/۵ درصد کاهش یافت. بیشترین تأثیر کاهش آبشویی نیتروژن ۷۱/۹ درصد بود که ناشی از افزودن ۱۰ درصد زئولیت غنی‌شده با آمونیوم در دور هشتم آبیاری بوده است. این نتایج نشان داد که در تمام سطوح زئولیت بیشترین درصد کاهش آبشویی نیتروژن را دور هشتم آبیاری که آخرین مرحله آبیاری است به خود اختصاص داده است در حالی که در خاک لوم شنی بیشترین کاهش آبشویی نیتروژن مربوط به دور چهارم آبیاری است.

مطابق جدول ۸ میزان کاهش نیتروژن آبشویی شده تحت تأثیر زئولیت نسبت به تیمار کود شیمیایی در خاک لوم شنی کمتر از لوم رسی است. نتایج حاصل از نیتروژن شسته شده در خاک لوم رسی نشان می‌دهد که تا مراحل آخر آبیاری مقدار قابل توجهی نیتروژن در تیمار کود شیمیایی باقیمانده است و این امر سبب کاهش درصد آبشویی نیتروژن در تیمارهای زئولیتی نسبت به کود شیمیایی شده است ولی در بافت لوم شنی به دلیل تخلیه سریعتر نیتروژن در مراحل اولیه و بخصوص در دور چهارم آبیاری، میزان نیتروژن زه‌آب در مراحل آخر آبیاری در تیمار کود شیمیایی کمتر است. بنا به یافته‌های اقبال و همکاران (۱۹۹۹)، میزان جذب نیتروژن توسط گیاه در خاک لوم رسی نسبت به خاک با بافت سبک‌تر لوم رسی شنی به دلیل تهویه کمتر و همچنین فعالیت کمتر ریشه گیاه کاهش می‌یابد و این سبب افزایش میزان نیتروژن باقیمانده در خاک لوم

در این تیمار ۱۵ درصد کمتر از تیمار کود شیمیایی و تیمارهای زئولیتی خام است. تحقیقات هانگ و پتروویک (۱۹۹۵) نیز نشان داد با استفاده از زئولیت‌ها می‌توان شستشوی نیتروژن را مخصوصاً در اراضی سبک کنترل نمود.

با افزایش نیتروژن مصرفی، تجمع بیشتری از نیترات در خاک حاصل می‌شود که با توجه به بار منفی این ترکیب و عدم نگهداری آن توسط ذرات خاک، یون نیترات همراه با آب به لایه‌های پائین‌تر خاک حرکت و از منطقه توسعه ریشه خارج می‌شود که در نهایت باعث افزایش غلظت آن در نمونه زه‌آب می‌گردد.

بین مقادیر مختلف زئولیت از نظر غلظت نیترات در نمونه زه‌آب تفاوت معنی‌داری مشاهده شد که ناشی از ویژگی‌های مثبت زئولیت مصرفی از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، قدرت جذب آمونیوم و آزادسازی کنترل شده آن می‌باشد. با توجه به قابلیت تبادل کاتیونی زئولیت و از طرفی جاذب انتخابی بودن این ماده برای یون آمونیوم (پولات و همکاران ۲۰۰۴) هنگامی که در اثر مصرف کود، یون آمونیوم در خاک افزایش می‌یابد، توسط زئولیت جذب شده و لذا از دسترس مستقیم آنزیم‌های تولید کننده نیترات خارج می‌شود، در حالی که در تیمارهای بدون زئولیت افزایش فراهمی یون آمونیوم، در اثر فعالیت آنزیم اوره‌آز تولید مقدار قابل توجهی از نیترات کرده که با توجه به بار منفی آن توسط ذرات خاک جذب نشده و در اثر آبیاری و یا بارندگی به طبقات پائین‌تر پروفیل خاک حرکت کرده و در نهایت غلظت آن در نمونه زه‌آب افزایش پیدا می‌کند. تأثیر مقدار نیتروژن بر مقدار نیترات شسته شده از خاک بسیار معنی‌دار بود به این ترتیب با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی به علت افزایش ترکیبات نیتروژن دار خاک، مقدار نیترات شسته شده از خاک افزایش یافت، تحقیقات شایسته‌زاده (۱۳۸۷) مؤید این بخش از نتایج می‌باشد.

به منظور بررسی تأثیر زئولیت در آبیاری‌های متوالی در دو نوع بافت خاک لوم رسی و لوم شنی، درصد کاهش آبشویی نیتروژن به ازای درصد مختلف زئولیت خام و غنی‌شده با آمونیوم نسبت به تیمار کود

رسی می‌شود. از طرفی به دلیل خواص کلوئیدی رس‌ها در خاک لوم رسی درصد نیتروژن خروجی در این

بافت خاک نسبت به خاک لوم شنی که دارای نیتروژن محلول بیشتری است کمتر می‌باشد.

جدول ۸- کاهش نیتروژن آبشویی شده (بر حسب درصد) در اثر کاربرد زئولیت در خاک لوم رسی و لوم شنی.

دور آبیاری				خاک لوم رسی				خاک لوم شنی			
		زئولیت خام		زئولیت غنی شده		زئولیت خام		زئولیت غنی شده			
		%	%	%	%	%	%	%	%		
اول	۵۷/۸	۴۶/۶	۳۶/۴	۲۵/۷	۵۵/۷	۴۸/۲	۳۱/۱	۱۸/۱	۱۰/۱		
دوم	۶۰	۴۹/۴	۳۳	۲۰/۳	۵۳/۶	۴۲/۱	۳۵/۳	۲۰/۹	۲۰/۹		
سوم	۶۰/۷	۵۰	۲۷/۲	۲۰/۸	۶۱/۳	۵۱/۸	۲۹/۵	۱۶/۶	۱۶/۶		
چهارم	۳۳/۶	۲۱/۱	۱۷/۷	۱۱/۱	۵۴/۶	۵۱/۲	۲۸/۴	۳۲/۴	۳۲/۴		
پنجم	۲۴/۸	۲۰/۴	۲۱/۲	۱۵/۶	۲۲/۶	۱۸/۸	۱۴	۱۱/۱	۱۱/۱		
ششم	۳۲/۷	۲۷/۸	۳۱/۷	۲۷	۴۳/۲	۴۱/۴	۲۸/۱	۱۹/۹	۱۹/۹		
هفتم	۴۸/۳	۳۲/۵	۳۰/۹	۲۲/۷	۲۲/۷	۱۷/۶	۱۱/۷	۵/۵	۵/۵		
هشتم	۷۱/۹	۵۱/۷	۴۳/۱	۲۳/۵	۲۳/۸	۱۷/۳	۱۷/۲	۸/۵	۸/۵		

نتیجه‌گیری کلی

جذب بیشتر نیتروژن رشد بهتری خواهد داشت. پیشنهاد می‌گردد به منظور پی بردن به تأثیر مش‌بندی، دانه‌بندی‌های مختلف زئولیت در تحقیقات بعدی مورد بررسی قرار گیرد و خواص زئولیت و تأثیر مش‌بندی، در مقیاس مزرعه و به روش لایسیمتری دنبال گردد. متأسفانه در ایران مطالعات چندانی در این باره روی این ماده صورت نگرفته است. چنانچه قرار باشد در مقیاس وسیعی از زئولیت استفاده گردد و کشاورزان با کمک فنون جدید به کاهش آلودگی آبهای زیرزمینی از طریق کم کردن کوددهی به مزارع ترغیب شوند، دانستن اینکه چه زئولیتی و با چه مش‌بندی، تأثیر بهتری دارد و همچنین از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است، بحثی بسیار ضروری به شمار می‌رود.

در این تحقیق کود اوره همراه با سطوح مختلف زئولیت غنی شده با آمونیوم و زئولیت خام در دو نوع بافت خاک بکار گرفته شد. نتایج نشان داد که افزایش درصد استفاده از زئولیت اثر مثبتی را بر کاهش آبشویی اوره دارد. از طرفی میزان آبشویی در خاک لوم شنی بیشتر است که با استفاده از زئولیت به مقدار چشمگیری کاهش یافته است. با افزایش مصرف زئولیت، میزان نیتروژن خروجی از گلدان‌ها کم شد. استفاده از ۱۰ درصد زئولیت غنی شده نسبت به زئولیت خام میزان نیتروژن جذب شده توسط گیاه گندم را افزایش داد. در نتیجه با تعمیم این نتایج به زمین‌های زراعی بزرگ می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از زئولیت غنی شده با آمونیوم علاوه بر کاهش آلودگی آبهای زیرزمینی به اوره یا نترات، گیاه گندم به واسطه

منابع مورد استفاده

خاشعی سیوکی ع، کوچک زاده م و شهابی فر م، ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت و رطوبت خاک بر اجزای عملکرد ذرت. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۲، شماره ۲. صفحه‌های ۲۳۵ تا ۲۴۱.
شایسته‌زاده م، ۱۳۸۷. بررسی تأثیر کاربردهای مختلف نیتروژن بر عملکرد گندم و آبشویی نترات. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز.

- عابدی کوپایی ج، موسوی ف و معتمدی آ، ۱۳۸۹. بررسی تأثیر کاربرد زئولیت کلینوپتیلولایت در کاهش آبشویی کود اوره از خاک. آب و فاضلاب، شماره ۳. صفحه‌های ۵۱ تا ۵۷.
- غلامحسینی م، آقاعلیخانی م و ملکوتی م ج، ۱۳۸۸. تأثیر زئولیت در کاهش آبشویی نیتروژن در یک خاک شنی تحت کشت کلزای علوفه‌ای. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۳، شماره ۱. صفحه‌های ۴۹ تا ۶۰.
- مدنی ح، فرهادی ا، پازکی ع و چنگیزی م، ۱۳۸۸. تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر خصوصیات کمی و کیفی سیب زمینی رقم آگریا در منطقه اراک. یافته‌های نوین کشاورزی، سال سوم، شماره ۴. صفحه‌های ۳۷۹ تا ۳۹۱.
- Anonymous, 2002. Current Drinking Water Standards. EPA 816-F-02-013. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Eberl DD, Barbarick KA and Lai TM, 1995. Influence of NH_4^+ -exchanged clinoptilolite on nutrient concentration in sorghum-sudangrass. Pp. 491-504. In: Ming DM and Mumpton FA. Natural Zeolites 93- International Committee on Natural Zeolites. Brockport, New York.
- Gupta S, Munyankusi E, Monerief J, Zvomuya F and Hanewall M, 2004. Tillage and manure application effects mineral nitrogen leaching from seasonally frozen soils. Journal of Environmental Quality 33:1239-1246.
- Hamidpour M, Kalbasi M, Afyuni M and Shariatmadari H, 2010. Kinetic and isothermal studies of cadmium sorption onto bentonite and zeolite. International Agrophysics Journal 24: 253-259.
- Hikam M, Asijati E and Ratnasari D, 2001. Identification and enrichment of indonesian zeolite using cation flotation method. Kontribusi Fisika Indonesia 12(1): 14-18.
- Huang ZT and Petrovic AM, 1995. Physical properties of sand as affected by clinoptilolite zeolite particle size and quantity. Journal Turfgrass Management 1(1):1-15.
- Iqball MS, Hassan A and Abid M, 1999. Effect of soil texture and compaction on nutrient uptake and growth of maize (*Zea mays L.*). Pakistan Journal Agriculture Science 36:3-4.
- Kumar BA, Suresh RS, Kumar LN, Ashok JA and Devotta S, 2006. Surfactant-Modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus. Journal of Agricultural Food Chemistry 54: 4773-4779.
- Levine HG, 1999. The growth of wheat in tree nutrient providing substrates under consideration for spaceflights application. Acta Horticulturae. Pp. 596-600. Abstract in International Symposium on Growing Media and Hydroponics, the University of Wisconsin- Madison.
- Park M and Komarneni S, 1998. Ammonium nitrate occlusion vs. Nitrate ion exchange in natural zeolites. Soil Science Society of American Journal 62:1455-1459.
- Polat E, Karaca M, Demir H and Naci Onus A, 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit Ornamental Plant Research 12:183-189.
- Shukla S, Hanlon EA, Jaber FH, Stoffella PJ, Obreza TA and Hampton MO, 2006. Groundwater nitrogen: behavior in flatwoods and gravel soils using organic amendments for vegetable production. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agriculture Sciences, Circular 1494. Florida.