



به زراعی کشاورزی

دوره ۲۳ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۰

صفحه‌های ۴۱-۲۷

مقاله پژوهشی:

تأثیر نانو زئولیت عامل‌دار شده با نیتروژن بر میزان آب‌شویی نترات در دو گونه لوبیا

مسلم حیدری^۱، سید محسن موسوی نیک^۲، نوشین میر^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۳. استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴

چکیده

کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب آلودگی خاک و منابع آب سطحی و زیرزمینی شده است. به این منظور آزمایشی با هدف بررسی امکان کاهش آلودگی آب‌های سطحی به نترات و هم‌چنین تأثیر نیتروژن بر ویژگی‌های کمی و کیفی لوبیا به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان در سال زراعی ۹۴-۹۳ به صورت گلدانی به اجرا در آمد. عامل اول شامل چهار نوع کود نیتروژن‌دار، X₁ (زئولیت-EN)، X₂ (زئولیت-AcAcEN)، X₃ (زئولیت-HED)، X₄ (کود اوره) و X₀ (نمونه شاهد- عدم استفاده از کود) و عامل دوم دو گونه لوبیا شامل لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgarize L.*) رقم درخشان و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata L.*) از ژنوتیپ ۲۹۰۰۵ بودند. کاربرد نانو کودهای زئولیت عامل‌دار شده باعث کاهش آب‌شویی نترات از واحدهای آزمایشی (گلدان‌ها) شدند. در این میان، کود زئولیتی X₃ توانست در مقایسه با کود اوره، آب‌شویی نترات را ۴۸ درصد کاهش دهد. مقدار نیتروژن خاک در گلدان حاوی کود X₃ ۰/۱۱۵ قسمت در میلیون بود و در مقایسه با تیمار کود اوره ۳۰ درصد حفظ و نگهداری این عنصر را در خاک بهبود بخشید. کود زئولیت X₃ توانست باعث بهبود ویژگی‌های رشد در گیاه لوبیا شود. بر این اساس کود X₃ موجب افزایش شاخص‌های کلروفیل، پروتئین و عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۴۴، ۶۴ و ۵۶ درصد در مقایسه با تیمار شاهد شد. به‌طور کلی کاربرد نانوزئولیت‌های عامل‌دار شده نقش مفیدی در کاهش آب‌شویی نترات و بهبود خصوصیت‌های کمی و کیفی گیاه لوبیا دارد.

کلیدواژه‌ها: آب‌شویی نترات، زئولیت کلینوپتیلولیت، لوبیا، نانو کود.

Effect of Functionalized Nano Zeolite with Nitrogen on Nitrate Leaching in the Cultivation of Two Bean Species

Moslem Heydari^{1*}, Seyed Mohsen Moussavi Nik², Noushin Mir³

1. Ph.D. Student, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, Zabol University, Zabol, Iran.

Received: December 31, 2019

Accepted: September 14, 2020

Abstract

Excessive use of chemical fertilizers has caused contamination of soil as well as surface and groundwater resources. For this purpose, an experiment has been conducted to investigate the possibility of reducing surface water pollution with nitrate and also the effect of nitrogen on quantitative and qualitative characteristics of beans as a factorial based on completely randomized design (CRD) with four replications in Hamadan Agricultural and Natural Resources Research Center between 2013 and 2014. The first factor includes four types of nitrogen fertilizers, X₁ (zeolite - EN), X₂ (zeolite - AcAcEN), X₃ (zeolite - HED), X₄ (urea fertilizer), and X₀ (control sample - no fertilizer use) and the second one involves two bean species, namely red beans (*Phaseolus vulgarize L.*) of Derakhshan cultivar and genotype 29005 of Cowpea (*Vigna unguiculata L.*). Applying functionalized zeolite nanofertilizers reduces nitrate leaching from the experimental units (pots). Meanwhile, zeolite X₃ fertilizer is capable of reducing nitrate leaching by 48% in comparison with urea fertilizer. The amount of soil nitrogen in pots, containing X₃ fertilizer, is 0.115 ppm and, compared to the urea fertilizer treatment, it improves this element's maintenance in the soil by 30%. Accordingly, X₃ fertilizer increases chlorophyll, protein, and grain yield by 44%, 64%, and 56%, respectively, in comparison with the control. In general, the application of functionalized nano zeolites has a beneficial role in reducing nitrate leaching and improving the quantitative and qualitative characteristics of bean plants.

Keywords: Bean, clinoptilolite zeolite, nanofertilizer, nitrate leaching,

۱. مقدمه

کمبود پروتئین در کشورهای رشد نیافته، امروزه یکی از مشکلات حاد تغذیه‌ای می‌باشد. این ماده حیاتی برای انسان و دیگر جانداران از دو منبع گیاهی و حیوانی قابل تأمین است و میزان پروتئین در منابع گیاهی فراوان است. پروتئین موجود در دانه‌های حبوبات دو تا سه برابر غلات و ۱۰ تا ۲۰ برابر گیاهان غده‌ای است. پایین بودن میزان پروتئین غلات (۹-۱۲ درصد) و بالابودن آن در حبوبات (۱۸-۳۲ درصد)، توجه عموم مردم به‌ویژه کشورهای در حال توسعه را به مصرف این ماده غذایی به‌عنوان منبع مهم تأمین پروتئین جلب نموده و حبوبات را به‌عنوان مکمل غذایی مناسب برای غلات مطرح کرده است، به‌نحوی که هم اکنون حبوبات نقش مهمی در جیره غذایی و سلامتی انسان‌ها دارد و پس از غلات دومین منبع مهم غذایی به‌شمار می‌روند. حبوبات سرشار از ویتامین‌هایی نظیر ریبوفلاوین، ویتامین ث، کاروتن و نیاسین است و از نظر آهن و کلسیم نیز غنی می‌باشند (Gupta, 2000).

پژوهش‌گران گزارش کردند که علی‌رغم تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط لوبیا، مقادیر مناسب نیتروژن می‌تواند موجب افزایش عملکرد گیاه شود (Thomas et al., 2008). همچنین در این شرایط، میزان نیتروژن، تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه افزایش می‌یابد (Geetha & Varughese, 2010). رشد تصاعدی جمعیت و نیاز روزافزون به منابع غذایی در کنار کاهش سطح زمین‌های قابل کشت، موجب افزایش تقاضای مصرف کودهای کشاورزی در سراسر جهان گردیده است. کودهای نیتروژنه، یکی از ضروری‌ترین کودهای مصرفی در بخش کشاورزی و جزو کودهای ماکرو با دامنه مصرف زیاد به حساب می‌آیند.

با وجود بهبود در فرایند تغذیه‌ی گیاهان، بازده بهره‌وری عناصر ضروری هم‌چون نیتروژن هنوز در سطح

رضایت بخشی نیست. مشکل استفاده از این کودها، عدم جذب کامل آنها توسط گیاه و در نتیجه ورود بخش قابل توجهی از این کودها به محیط زیست است. علت اصلی آب‌شویی نترات، ترکیب شیمیایی این مواد است که حاوی بارهای منفی (NO_3^-) می‌باشد و از طرفی خاک‌های رسی و خاک‌هایی با درصد رس بالا به دلیل دارابودن بار منفی در ساختار خود، مانع جذب این مواد توسط گیاه می‌شوند. هم‌چنین در بیش‌تر خاک‌ها، نیتروژن در نتیجه فعالیت‌های میکروبی به نترات، اکسید می‌شود. در نتیجه درصد بالایی از نیتروژن به‌کاررفته از محدوده ریشه حذف شده و وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (Afruos et al., 2005; Xiubin & Zhanbin, 2001). از آنجا که غلظت استاندارد نترات در آب آشامیدنی ۱۰ ppm می‌باشد، سطح بالای نترات در آب آشامیدنی موجب بروز برخی بیماری‌ها از جمله سرطان می‌گردد (Xiubin & Zhanbin, 2001).

مهم‌ترین منابع تولید نترات در زمین‌های کشاورزی، کودهای شیمیایی، دامی و بقایای گیاهی می‌باشند که بخش عمده آن از طریق کودهای شیمیایی مانند اوره و بخش کمی نیز از منابع کودهای آلی تأمین می‌شود. نیتروژن آلی به‌آرامی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، درحالی‌که نیتروژن معدنی به‌مقدار زیاد و سریع در محیط آزاد و جابه‌جا می‌شود. این امر موجب مشکلات جدی در بسیاری از نظام‌های کشاورزی شده است (Sheldrick et al., 2002; Mosier et al., 2004). استفاده از کودهای شیمیایی در بیش‌تر خاک‌ها، برای رفع کمبود عناصر غذایی است که مصرف نامتعادل و مستمر آن موجب آلودگی منابع آب، هوا و خاک از راه آب‌شویی، تصعید و باقی‌ماندن در خاک می‌شود (Rasoli & Mafthoon, 2008)، به‌عبارت دیگر، حضور نترات به‌واسطه کاربرد کودهای شیمیایی، یکی از شاخص‌های مهم آلودگی منابع

به‌عنوان کودهای کندرها شامل ترکیبات آلی (ترکیبات آلی طبیعی و سنتزی) و ترکیبات معدنی با حلالیت کم در آب (آمونیم فسفات‌ها، سنگ‌های فسفاتی اسیدی، ژئولیت‌ها) می‌باشند (Kazemian, 2003).

ژئولیت‌ها کریستال‌های آلومینوسیلیکاته هیدراته‌ای هستند که بر ظرفیت تبادل کاتیونی و ویژگی‌های جذب سطحی خاک اثر دارند و به‌طور مؤثری در جداسازی عناصر سمی از آب‌های آلوده به‌کار برده می‌شوند (Galli & Gottary, 1985). ژئولیت‌ها باعث حفظ رطوبت خاک، افزایش هدایت هیدرولیکی، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، کاهش آلاینده‌ها و فلزات سنگین در خاک می‌شوند (Heydari et al., 2017; Galli & Gottary, 1985).

آزمایش‌های متعدد نشان داده است که ژئولیت توانایی آزادسازی کنترل شده یون‌های آمونیم، فسفات و پتاسیم را دارا می‌باشد. پژوهش‌های روی گیاهان مختلف نشان داد که با به‌کارگیری ژئولیت‌ها به‌عنوان کودهای آزادکننده آمونیم و پتاسیم، بازده تولید به شکل قابل‌توجهی افزایش یافت (Heydari et al., 2017; Valente et al., 1982; Ramesh et al., 2011). با توجه به روند رو به رشد استفاده از کانی ژئولیت در عرصه‌های مختلف صنعت و معدن، ویژگی‌هایی هم‌چون افزایش حاصلخیزی خاک، ظرفیت نگهداری بالای آب و عناصر غذایی خاک، افزایش عملکرد محصولات زراعی و افزایش مدت انبارداری محصولات کشاورزی با حفظ خصوصیات کیفی موجب شده است که نقش این مواد معدنی در زمینه کشاورزی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد (Khashee siveki et al., 2008). این‌طور می‌توان اذعان داشت که کاربرد کودهای نیتروژن با حامل ژئولیت، توانایی آزادسازی تدریجی نیتروژن را داشته و می‌تواند آب‌شویی نیترات را کاهش دهند (Hosseini et al., 2000; Abedi-Koupai & Hosseini et al., 2018; Asadkazemi, 2006; Gholam; Heydari et al., 2018).

آب، خاک و گیاهان زراعی است. گزارش‌های گوناگون، کم‌بودن کارایی مصرف کودهای شیمیایی (۳۰ تا ۵۰ درصد) و آب‌شویی زیاد آنها (۳۰ تا ۷۵ درصد) را عامل نگران‌کننده مصرف کودهای شیمیایی ذکر کرده‌اند (Hauk, 1973; Soudi et al., 1997; Chinnamuthu & Boopathi, 2009). این در حالی است که براساس مطالعه‌ای در ایران، کارایی مصرف کود اوره بین ۳ تا ۲۲ درصد گزارش گردید که بیانگر وضعیت نامطلوب مصرف کودهای شیمیایی در مقایسه با کشورهای پیشرفته و در حال توسعه است (Sadeghipour, 2010). به همین دلیل، مدیریت مصرف کود و کاربرد مناسب آن به‌دلیل نقش مهم در تولید محصول و اثرات زیست‌محیطی مورد توجه خاص قرار گرفته است (Khazaei & Arshdi, 2008; Mosier et al., 2004).

به‌منظور کاهش آلودگی منابع آب به نیترات، در حین آبیاری پس از کود پاشی و به‌منظور افزایش بازده کود در گیاه، انواعی از کودها تحت عنوان کودهای کندرها (SRFs) پیشنهاد شده‌اند. تغذیه مناسب و شناخت زمان‌های نیاز حداکثری گیاه به مواد مغذی، فاکتورهایی هستند که برای هر گیاهی، منحصر به فرد است. بنابراین، تغذیه گیاه در زمان نیاز آن به مواد غذایی با استفاده از یک الگوی مشخص موجب تأمین تغذیه بهینه برای رشد گیاه می‌شود (Mollahi et al., 2012). یکی از مواد مورد استفاده به‌عنوان کود کندرها، نانومواد هستند. این ساختارها به‌علت دارابودن حفره‌های کوچک در ابعاد نانو، توانایی به‌دام‌انداختن یون‌های مختلف و آزادسازی تدریجی آنها در خاک یا گیاه را دارند (Cui et al., 2006; Lai, 2007).

یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه کشاورزی، در بخش آب، خاک و استفاده از نانوکودها برای تغذیه گیاهان می‌باشد (Hosseini Abri et al., 2007; Monreal, 2010). انواع نانوساختارهای مورد استفاده

بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر نانوژئولیت‌های عامل‌دار شده با نیتروژن بر میزان آب‌شویی نیترات در کشت لوبیا می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. تهیه ترکیبات معدنی و تولید کودهای نیتروژن‌دار

برای ساخت نانو کود عامل‌دار شده با نیتروژن از ژئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت) به‌دست‌آمده از معادن سمنان به‌عنوان حامل نیتروژن استفاده گردید. برای عامل‌دار کردن ژئولیت طبیعی از ماده جاذب استفاده شد. ماده جاذب از سه نوع لیگاند EN^2 ، $AcAcEN^3$ و HED^4 تهیه شد. لیگاند EN به‌صورت تجاری از شرکت مرک (Merck) آلمان خریداری گردید. لیگاند $AcAcEN$ از واکنش تراکمی در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول از مخلوط کردن دو لیگاند $AcAcEN:EN$ به نسبت ۲:۱ در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شده و پس از فرایند تبلور مجدد و خالص‌سازی، به‌صورت محلول در آب استفاده شد. برای تهیه لیگاند HED ، ابتدا لیگاند $AcAcEN$ ، که روش تهیه آن شرح داده شد، در آب حل شده و تحت هم‌زدن به آن مقدار کافی از احیاگر سدیم بورهیدرید افزوده شد. این احیاگر با تبدیل باندهای دوگانه به یگانه موجب تشکیل محلول زرد روشن حاوی لیگاند EDD^5 گردید. سپس با افزودن مقدار لازم از هیدروکلریدریک اسید به محلول فوق، pH محلول از ۱۰ به ۷ کاهش یافت و بدین طریق کلیه سایت‌های نیتروژن با جذب یون H^+ ، به‌صورت کاتیونی درآمدند و لیگاند HED تهیه گردید (شکل ۱) (Petrucci et al., 2007).

هم‌چنین، در پژوهشی دیگر مقایسه‌ای بین نانو ژئولیت‌های عامل‌دار شده با سورفکتانت^۱ (مواد فعال‌کننده سطحی) و نانو ژئولیت‌های عامل‌دار نشده صورت گرفت. نتایج حاکی از این بود که در نانوژئولیت‌های عامل‌دار شده میزان آزادسازی نیترات کندتر بود (Madani et al., 2010; Heydari et al., 2018).

مطالعه درباره ژئولیت‌های کندرها نشان داده است که ژئولیت اصلاح‌نشده برای جذب و رهاسازی مواد مغذی محدودیت دارد و تنها قادر است کاتیون‌هایی هم‌چون NH_4^+ و K^+ را به مقدار زیاد و فرم‌های آنیونی هم‌چون NO_3^- و PO_4^{3-} را تنها به میزان بسیار کمی جذب کند. از این‌رو، ژئولیت باید به گونه‌ای اصلاح شود که با افزودن گروه‌های کاتیونی بر سطح آن، قادر به جذب بیش‌تر این مواد مغذی نیز باشد. در این راستا تلاش‌های بسیاری در گروه‌های پژوهشی نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است. در سال ۱۹۹۴، پژوهش‌گران یک ژئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت را گزارش کردند که قادر به حذف آلودگی‌های آنیونی از آب بود (Haggerty et al., 1994). از آن زمان به بعد این نوع ترکیبات به‌طور گسترده‌ای برای جذب و رهاسازی آنیون‌ها مطالعه شدند. در پژوهشی جذب آنیون فسفات توسط ژئولیت به‌کمک اصلاح ژئولیت کلینوپتیلولیت توسط سورفکتانت تجاری هگزادسیل‌تری‌متیل‌آمونوم برمید^۲ افزایش یافت. آن‌ها نشان دادند که به کمک این سورفکتانت، میزان جذب فسفر بر سطح ژئولیت ۴/۹ برابر افزایش پیدا کرد (Bansiwali et al., 2006). در پژوهش دیگری نیز نشان داده شد که ژئولیت اصلاح‌شده دارای ظرفیت جذب بالایی برای نیتروژن بوده و با افزایش pH از اسیدی به قلیایی، جذب نیتروژن نیز افزایش می‌یابد (Dionisiou et al., 2013).

3. Ethylenediamine

4. Bis (acetylaceton) ethylenediamine

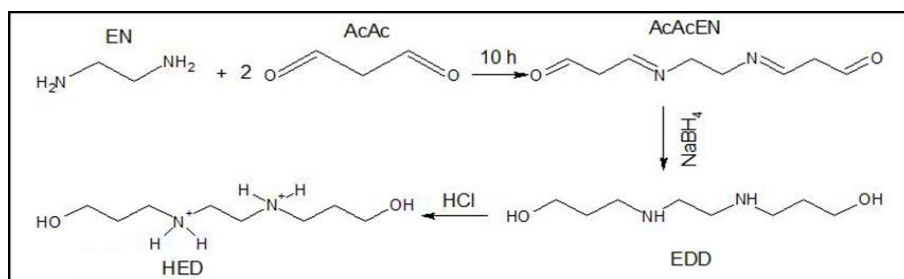
5. N, N-bis (4-hydroxypentane-2y1) ethane-1,2-diaminium

6. 4,4'-(ethane-1,2-diylidimino) dipentan-2-ol

1. Surfactant

2. Hexadecyltrimethylammonium bromide

تأثیر نانو ژئولیت عامل دار شده با نیتروژن بر میزان آبشویی نترات در دو گونه لوبیا



شکل ۱. فرایند تهیه لیگاند HED

نشان داده شده است. شکل (۱-ا) طیف EDX از ژئولیت اصلاح نشده را نشان می‌دهد و در آن مقدار Si, Al و همچنین مقدار بسیار کمی سدیم و پتاسیم را تأیید می‌کند. در شکل (۲-ب) ژئولیت اصلاح شده نشان داده شده است. طیف EDX نشان می‌دهد که سدیم از سطح نمونه حذف شده است که احتمالاً به علت جایگزینی کاتیون HED است. پیک مرتبط با N و C به وضوح در شکل (۲-ب) مشاهده می‌شود که ارائه‌کننده شواهدی مبنی بر جذب HED روی سطح ژئولیت است. علاوه بر این، درصد وزن داده شده در جدول (۱) نشان می‌دهد که کاهش در سطح عناصر Si و Al به عنوان مواد معدنی با اعمال HED تغییر یافته است.

۲.۳. تهیه و آنالیز خاک و بذره‌های لوبیا و شرایط کاشت گیاه

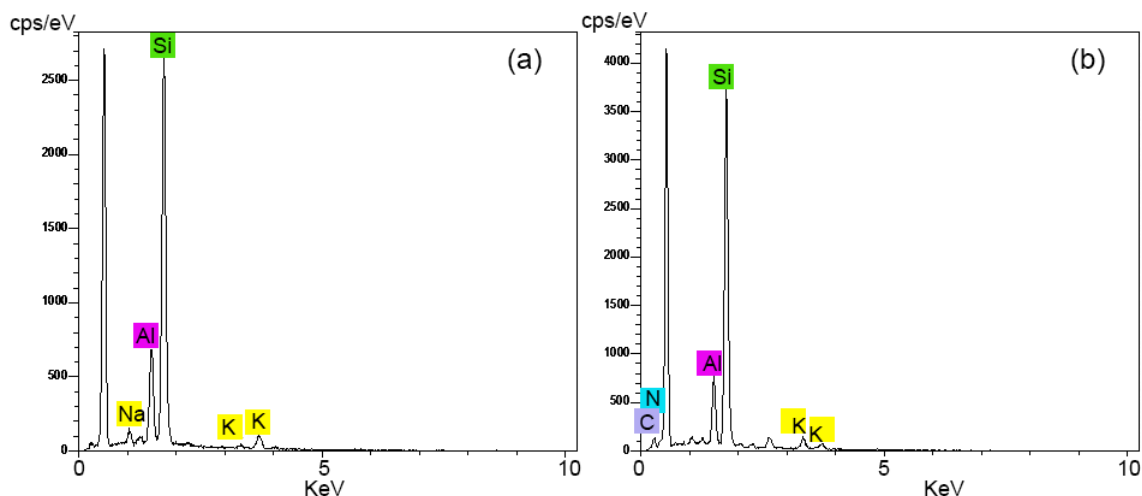
خاک مورد نظر از عمق ۲۰-۰ سانتی متری مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی همدان تهیه و پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، میزان pH با دستگاه pH متر (مدل Metrohm 691، کشور آلمان) (Nelson, 1982)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت سنج (مدل WTW Series inolab، کشور سوئیس) (Rhoades, 1982) و درصد کربن آلی به روش والکلید بلک (Nelson & Sommers, 1986) اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود ماده جاذب حاصل، دارای مکان‌هایی با بار مثبت است که قادر به جایگزین شدن به جای کاتیون‌های موجود در ساختار کلینوپتیلولیت هم‌چون سدیم، منیزیم و یا کلسیم می‌باشد (شکل ۲). این لیگاند پس از قرار گرفتن در خلل و فرج نانومتری ژئولیت توانایی جذب آنیون‌هایی مانند یون نترات را داراست. برای تهیه ژئولیت عامل دار شده، هر یک از لیگاندهای EN، AcAcEN و HED به صورت جداگانه در سوسپانسیون‌هایی حاوی ژئولیت افزوده شده و به مدت ۲۴ ساعت روی هم‌زن در دمای اتاق مخلوط شده و سپس دو فاز مختلف توسط سانتریفیوژ جدا شدند. در مرحله آخر، به منظور جذب یون‌های نترات روی ژئولیت‌های مورد نظر، تمامی نمونه‌های تهیه شده در محلول ۲۸۰ ppm پتاسیم نترات قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت روی هم‌زن تکان داده شدند.

۲.۲. تجزیه و تحلیل طیف سنج انرژی انتشاری اشعه ایکس (EDX)

تجزیه و تحلیل طیف سنج انرژی انتشاری اشعه ایکس به منظور نشان دادن متوسط ترکیب عناصر ژئولیت اصلاح نشده و اصلاح شده نشان داده شده است (شکل ۲). دو طیف EDX، وزن و درصد عناصر اصلی از ژئولیت اصلاح نشده و اصلاح شده در شکل (۲) و جدول (۱)

1. Energy-dispersive X-ray spectroscopy



شکل ۲. طیف انرژی انتشاری اشعه ایکس (EDX) از (a) زئولیت خام (b) زئولیت اصلاح شده

جدول ۱. ترکیب درصد عناصر اصلی موجود در زئولیت خام و زئولیت اصلاح شده

| کود | نیترژن (%) | کربن (%) | سدیم (%) | پتاسیم (%) | آلومینیوم (%) | سلیسیوم (%) |
|------------------|------------|----------|----------|------------|---------------|-------------|
| زئولیت خام | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۱/۰۷ | ۱/۱۲ | ۱۵/۶۳ | ۸۲/۱۸ |
| زئولیت اصلاح شده | ۹/۹۱ | ۳۳/۲۸ | ۰/۰۰ | ۲/۴۲ | ۵/۲۵ | ۴۹/۱۴ |

استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (TDR^۱ مدل Trase 6050X1) رطوبت خاک گلدان‌ها اندازه‌گیری شد، سپس با برآورد نیاز گیاه به آبیاری (Abdali & Daneshi, 2005)، عملیات آبیاری گلدان‌ها حدوداً هر شش روز یکبار در ابتدای دوره رشد و در انتهای دوره رشد هر پنج روز یکبار اتفاق افتاد. نیترژن خاک قبل و همچنین بعد از اتمام آزمایش نیز توسط دستگاه کج‌دال (مدل k-9840، کشور آلمان) مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفت. برای جمع‌آوری میزان نیترات خارج‌شده از زهکش گلدان‌ها، از ظروف مخصوصی که در زیر گلدان‌ها تعبیه شده بودند استفاده گردید. پس از هر دور آبیاری میزان آب خروجی از گلدان‌ها جمع‌آوری و سریعاً در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس نیترات آن اندازه‌گیری شد. میزان آب‌شویی نیترات آب خارج‌شده از گلدان‌ها در تمامی مراحل

خاک موردنظر قبل از ریخته‌شدن در گلدان‌های ۱/۵ کیلوگرمی، در اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ اتمسفر، به مدت یک ساعت کاملاً ضدعفونی شده، سپس روی پوشش‌های پلاستیکی پهن و برای مدت ۲۴ ساعت در معرض هوای آزاد قرار داده شدند و برای بار دوم خاک درون کیسه‌های ضدعفونی ریخته شده و در اتوکلاو در همان شرایط ضد عفونی گردید. بذور لوبیا اصلاح‌شده از مرکز تحقیقات همدان تهیه گردید و به مدت ۱۵-۱۲ دقیقه با هیپوکلریت سدیم نیم درصد ضدعفونی و سه دفعه هر بار به مدت ۵ دقیقه با آب مقطر شست‌وشو داده شدند. تعداد چهار بذر لوبیا در هر گلدان کشت و پس از استقرار کامل گیاهچه، طی عملیات تنک‌کاری، دو گیاهچه در هر گلدان باقی ماندند. کود زئولیتی و همچنین کود اوره در یک سوم ابتدایی گلدان‌ها و در نزدیکی بذر لوبیا قرارداده شد. با

1. Time-Domain Reflectometry

با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردیدند.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. بررسی نمونه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

تصویر SEM نانوزئولیت (کلینوپتیلولیت) در شکل نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۳-ا) مشاهده می‌شود شکل نانوذرات به صورت کروی می‌باشد که این نانوذرات به دلیل اندازه کوچک و تمایل به پایداری به یکدیگر چسبیده‌اند و به صورت کلوخه‌ای درآمده‌اند. اندازه تعدادی از این نانوذرات کروی در شکل (۳-ب) برچسب‌گذاری شده است و ملاحظه می‌گردد که سایز ذرات در محدوده ۳۰ تا ۶۰ نانومتر قرار دارد (شکل ۳). نانوساختار بودن زئولیت عامل‌دار شده موجب افزایش سطح مؤثر نانوکود تهیه‌شده گردیده و این امکان را فراهم می‌آورد که جاذب به کاررفته به میزان بیشتری جذب زئولیت گردد که این مسأله خود موجب افزایش جذب نیترات در کود و کارایی مؤثرتر آن می‌شود.

۳.۲. نیترات آب، نیتروژن گیاه و خاک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، کاربرد کودهای نیتروژن‌دار تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان نیترات خروجی، نیتروژن زیست‌توده گیاه و نیتروژن خاک از گلدان‌های حاوی لوبیا داشت (جدول ۳). در بررسی کودهای نیتروژن‌دار، گیاهان پرورش‌یافته با کود X_3 کاهش ۴۸ درصدی آبشویی نیترات را نسبت به تیمار کود اووه را از خود نشان داد (جدول ۴). در این میان گلدان‌های حاوی کود اووه با مقدار ۱۱/۸۳ قسمت در میلیون بیش‌ترین میزان آبشویی نیترات و کود X_3 با ۶/۲۲ قسمت در میلیون کم‌ترین میزان آبشویی نیترات را به خود اختصاص داد (جدول ۴).

رشد گیاه و دورهای مختلف آبیاری با استفاده از روش اولترا ویوله (Ultra Violet) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

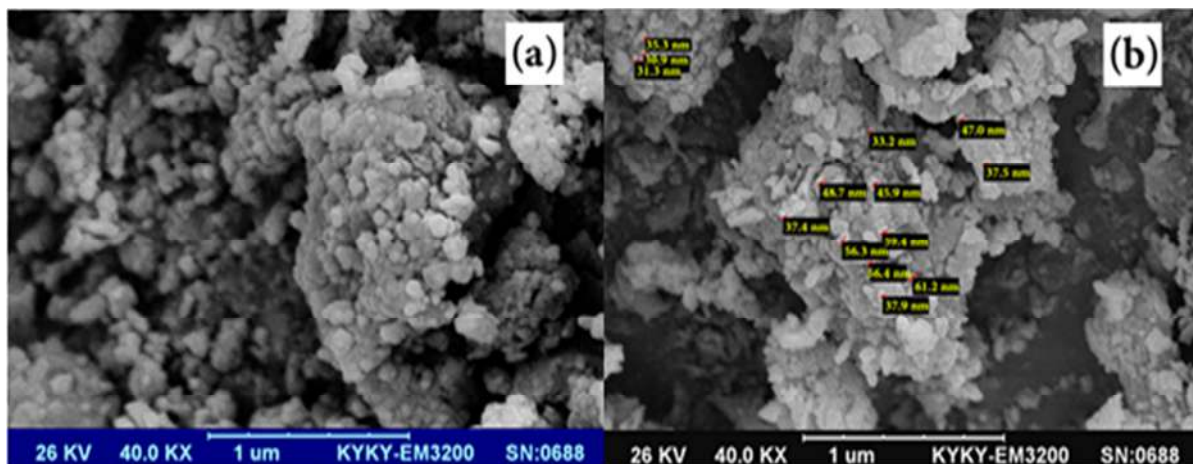
مقدار ۵۲/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم از هر سه کود زئولیت عامل‌دار شده در هر گلدان استفاده گردید. دو گونه لوبیا شامل لوبیا قرمز رقم درخشان و لوبیا چشم بلبلی از ژنوتیپ ۲۹۰۰۵ نیز در این پژوهش به کار برده شدند.

۴. پارامترهای مورد ارزیابی

پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل نیترات زه‌آب، نیتروژن خاک، نیتروژن گیاه، پروتئین دانه، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد اقتصادی و شاخص کلروفیل برگ بودند. پروتئین دانه از روش برادفورد (Bradford, 1976)، شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD (مدل 504 ساخت کشور ژاپن) در مرحله گل‌دهی، نیتروژن گیاه، خاک و زه‌آب با دستگاه کج‌دلال (مدل k-9840 ساخت کشور آلمان) (Mulvaney & Bremner, 1982)، وزن دانه و وزن بوته جهت حصول عملکرد بیولوژیکی و عملکرد اقتصادی با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شدند. با تقسیم عملکرد اقتصادی (دانه) بر عملکرد بیولوژیکی و ضرب در ۱۰۰، شاخص برداشت به دست آمد. هم‌چنین نمونه SEM^۱ از نمونه‌های موردنظر در آزمایشگاه شیمی دانشگاه تهران اندازه‌گیری گردید.

۵. طرح آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان در سال زراعی ۹۴-۹۳ به اجرا درآمد. زئولیت‌های عامل‌دار شده با AcAcEN، EN و HED به ترتیب X_1 ، X_2 و X_3 ، هم‌چنین زئولیت فاقد گروه عاملی X_0 و کود اووه X_4 نامگذاری شدند. تجزیه واریانس داده‌های حاصل، با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها



شکل ۳. تصویر نمونه SEM. (a) ساختار کروی ذرات زئولیت، (b) اندازه و تعداد ذرات زئولیت

جدول ۲. ویژگی‌های خاک مورد آزمایش

| نیترژن کل (%) | مواد آلی (%) | EC (dS/m) | pH | کربن آلی (%) | کربنات کلسیم (%) | بافت خاک |
|---------------|--------------|-----------|------|--------------|------------------|----------|
| ۰/۰۵ | ۱/۱۶ | ۰/۹ | ۷/۶۷ | ۱/۱ | ۱۴/۷ | لوم رسی |

بلکه با در اختیار قراردادن نیترژن مورد نیاز گیاه در طول دوره رشد، نیاز گیاه را به نیترژن تأمین می‌کند. کود اوره که دارای ۳۰-۵۰ درصد کارایی می‌باشد، بیش‌ترین میزان مصرف را در بخش کشاورزی به خود اختصاص داده است، هم‌چنین بیش‌ترین آب‌شویی نیترات نیز با مصرف این کود حاصل می‌شود (Chinnamuthu & Boopathi, 2009; Timsina et al., 2001). آب‌شویی نیترات یکی از عوامل مهم تخریب محیط زیست و به‌دنبال آن نیتراشه‌شدن آب‌های سطحی و زیر سطحی است که در نهایت منجر به افزایش بیماری‌های مختلف از جمله سرطان می‌گردد (Shaviv, 2000). هم‌چنین با نگاهی به نتایج می‌توان مشاهده کرد که کود اوره ۱۱/۸۳ قسمت در میلیون نیترات به زه‌آب اضافه کرده است که این میزان بیش‌تر از میزان غلظت استاندارد جهانی آن یعنی ۱۰ قسمت در میلیون می‌باشد (Shaviv, 2000; Asghari Moghaddam & Adigozalpour, 2016) که به‌نوبه خود می‌تواند خطرات زیست‌محیطی گسترده‌ای را ایجاد کند.

کودهای X_1 و X_2 در مقایسه با کود X_3 از کارایی کم‌تری در خصوص کاهش آب‌شویی نیترات برخوردار بودند، اما با این حال در مقایسه با کود اوره (X_4) به‌ترتیب ۲۷ و ۱۹ درصد میزان نیترات خروجی از گلدان‌ها را کاهش دادند. زئولیت‌ها با دارا بودن حفرات نانو و سطح داخلی بسیار گسترده قابلیت به دام انداختن عناصر مختلف، به‌ویژه نیترژن را دارا می‌باشند و به‌دنبال آن توانایی آزادسازی تدریجی این عناصر را دارند (Nasiri et al., 2012). می‌توان این‌گونه بیان کرد که کاربرد کودهای نیترژن با حامل زئولیت توانایی آزادسازی تدریجی نیترژن را دارند و می‌توانند آب‌شویی نیترات را کاهش دهند. نتایج به‌دست‌آمده کاملاً همسو با نتایج سایر پژوهش‌گران مبنی بر کاهش آب‌شویی نیترات با کاربرد زئولیت‌های حاوی نیترژن می‌باشد (Hosseini et al., 2000; Abedi-Koupai, 2006; Gholam; Heydari et al., 2015). استفاده از کودهای نانو زئولیت عامل‌دار شده با نیترژن نه‌تنها باعث جلوگیری از آب‌شویی شدید نیترات می‌شود،

تأثیر نانو ژئولیت عامل دار شده با نیتروژن بر میزان آب شویی نیترات در دو گونه لوبیا

یک آزادکننده تدریجی محسوب می‌شوند (Xiubin & Zhanbin, 2001)، علاوه بر مرتفع ساختن نیاز تدریجی گیاه به نیتروژن در طول دوره رشد، مانع از هدررفت آن نیز می‌شود (Afrous et al., 2005; Hosseini Abary et al., 2007; Heydari et al., 2015; Gholam Hosseini et al., 2000).

با توجه به نتایج به دست آمده، کودهای نیتروژن دار توانستند مقدار نیتروژن بیش تری را در خاک گلدان‌ها حفظ کنند (Heydari et al., 2018; Kottogoda et al., 2011) و مانع از آب شویی این عناصر شوند (جدول ۴).

غلظت نیتروژن در گیاه به عوامل متعددی بستگی دارد، گزارش گردیده است که هرچه میزان نیتروژن خاک بیش تر باشد مقدار نیتروژن گیاه تا حد مشخصی افزایش می‌یابد (Yoldas & Esiyok, 2004). بر این اساس نانوکود ژئولیت X_3 بیش ترین تأثیر را بر مقدار نیتروژن گیاه داشت. کود X_3 با تأثیر بر مقدار نیتروژن گیاه توانست مقدار این عنصر ضروری برای گیاه را به ۳/۹۱ درصد برساند که در مقایسه با نمونه کنترل (شاهد) مقدار نیتروژن گیاه را ۴۸ درصد افزایش داده است (جدول ۴). نانوزئولیت‌های عامل دار شده با نیتروژن که به عنوان

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر نوع کود نیتروژن بر نیتروژن گیاه، نیتروژن خاک و نیتروژن زه‌آب، کلروفیل، عملکرد دانه، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیکی، پروتئین دانه، دو گونه لوبیا

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | |
|------------------|------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|------------------|
| | | نیتروژن زه‌آب | نیتروژن خاک | نیتروژن گیاه | عدد کلروفیل متر | عملکرد دانه | شاخص برداشت | عملکرد بیولوژیکی |
| گونه | ۱ | ۰/۱۲ ns | ۰/۰۰۰۴ ns | ۰/۰۷ * | ۴۹/۱۲** | ۲۰۵/۳۴۸** | ۴/۰۶ ns | ۱۰۲۴/۹۶۰** |
| کود | ۴ | ۱۱۵/۰۹** | ۰/۰۰۱۷** | ۱/۵۸** | ۲۳۴۳/۱۲** | ۳۵۱۷/۸۱۶** | ۸۷/۱۹** | ۲۲۷۰۹/۰۳۵** |
| گونه × کود | ۴ | ۰/۰۸ ns | ۰/۰۰۰۵ ns | ۰/۰۱ ns | ۲/۷۵ ns | ۶۰/۲۹۲* | ۶/۸۷ ns | ۶۸/۵۷۱ ns |
| خطا | ۳۰ | ۰/۱۱ | ۰/۰۰۰۰۷ | ۰/۰۲ | ۴/۶۶ | ۱۶/۳۹۶ | ۲/۶۵ | ۱۲۵/۹۲۱ |
| ضریب تغییرات (%) | - | ۵/۳ | ۴/۷ | ۳/۱۱ | ۳/۶۶ | ۶/۸۹ | ۷/۱۰ | ۴/۴۸ |

علائم *, **, و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد و نبود معنی‌داری.

جدول ۴. مقایسه میانگین تأثیر گونه و کود نیتروژن بر کلروفیل، عملکرد دانه، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیکی و پروتئین دانه در لوبیا

| نیتروژن گیاه (%) | نیتروژن خاک (ppm) | نیتروژن زه‌آب (ppm) | عدد کلروفیل متر | شاخص برداشت (%) | عملکرد بیولوژیکی (g per pot) | پروتئین دانه (mg/m) |
|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|---------------------|
| گونه | | | | | | |
| ۳/۰۱ a | ۰/۰۸ a | ۷/۵۶ b | ۵۹/۹۸ a | ۲۴/۱۵ a | ۸۰/۶۹ a | ۴۲۸/۶۳ a |
| ۲/۷۳ b | ۰/۰۷۳b | ۸/۸۴ a | ۵۷/۷۶ b | ۲۳/۳۰ a | ۷۷/۴۹ b | ۴۰۸/۸۲ b |
| کود نیتروژن | | | | | | |
| ۱/۹۵e | ۰/۰۵۵d | ۳/۹۶ e | ۴۳/۷ d | ۱۸/۸۸ c | ۶۰/۵۹ d | ۲۲۴/۱۲ d |
| ۲/۸۹d | ۰/۰۹b | ۸/۵۶c | ۵۰/۳۱ c | ۲۱/۶۶ b | ۷۲/۸۹ b | ۳۴۱/۷۱ b |
| ۳/۴b | ۰/۰۸۷b | ۹/۵۵b | ۴۵/۴۸ d | ۲۰/۷۶ cb | ۶۸/۱۸ c | ۲۷۴/۱۶c |
| ۳/۹۱a | ۰/۱۱۵a | ۶/۲۲d | ۷۸/۵۵ a | ۲۶/۷۴ a | ۹۷/۶۰ a | ۶۳۰/۸۸ a |
| ۳/۰۷c | ۰/۰۷۹c | ۱۱/۸۳ a | ۷۶/۲۷ b | ۲۶/۱۸ a | ۹۶/۲۱ a | ۶۲۲/۷۵ a |

در هر ستون و برای هر جز، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. (X_0 = نمونه شاهد، X_1 = ژئولیت با EN، X_2 = ژئولیت با AcAcEN، X_3 = ژئولیت با HEN و X_4 = کود اوره)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر معنی‌دار بودن تأثیر کودهای نیتروژن‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان شاخص کلروفیل گیاه لوبیا است (جدول ۳). با بررسی واکنش لوبیا با مصرف کودهای نیتروژن‌دار مشخص شد که اعمال نانوزئولیت‌های عامل‌دار شده با نیتروژن، سبب افزایش شاخص کلروفیل در گیاه گردید. افزایش شاخص کلروفیل در گیاه می‌تواند پژوهش‌گران را در تولید گیاهانی با توان فتوسنتز بالاتر یاری نماید. گزارش‌های موجود در این آزمایش نیز در خصوص واکنش شاخص کلروفیل برگ لوبیا به استفاده از کودهای نانوزئولیت عامل‌دار شده مبنی بر حصول بالاترین شاخص کلروفیل در گیاهان تیمار شده با کود X_3 می‌باشد. کم‌ترین میزان نیز به تیمار عدم استفاده از کود (نمونه شاهد) اختصاص یافت، که اختلاف این دو کود معادل با ۴۴ درصد می‌باشد (جدول ۴). نتایج پژوهش‌های پژوهش‌گران که تأثیر افزایش مصرف نیتروژن بر میزان کلروفیل گیاه را نشان دادند با پژوهش حاضر مطابقت دارد (Heydari et al., 2018; Gholam Hosseini et al., 2000; Mumpton, 1999).

با توجه به این نکته که شاخص کلروفیل برگ با فراهمی نیتروژن و نقش زئولیت در کاهش آب‌شویی عناصر به‌ویژه نیتروژن ارتباط نزدیکی دارد (Gholam Hosseini et al., 2000) میزان سنتز کلروفیل با استفاده از نیتروژن - زئولیت بهبود یافته است. به نظر می‌رسد به کارگیری زئولیت، مانع از شست‌وشوی نیتروژن شده و افزایش فراهمی این عنصر در طول دوره رشد گیاه سبب بهبود سنتز کلروفیل گردیده است (Gholam Hosseini et al., 2000). در پژوهش حاضر نیز سنتز کلروفیل در گیاه با کاربرد نانو زئولیت‌ها افزایش معنی‌داری یافت. در همین راستا پژوهش‌گران گزارش کردند که کاربرد زئولیت و نیتروژن، کلروفیل برگ سیب‌زمینی را در مقایسه با تیمار شاهد ۱۳ درصد افزایش داد (Madani et al., 2010).

با نگاهی به جدول (۳)، کود X_3 با حفظ ۰/۱۱۵ قسمت در میلیون نیتروژن در خاک بیش‌ترین مقدار را به‌خود اختصاص داد. کود X_3 در مقایسه با کود اوره میزان نیتروژن ذخیره‌شده در خاک را ۳۰ درصد افزایش داد (جدول ۴). کودهای X_1 و X_2 اگرچه با اندکی اختلاف در مقدار نیتروژن باقی‌مانده در خاک به ترتیب ۰/۰۸۷ و ۰/۰۹ قسمت در میلیون می‌باشد، اما این دو کود در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). از داده‌های موجود در جدول (۲) چنین برمی‌آید که نانو کودهای زئولیت عامل‌دار شده با نیتروژن، نه تنها باعث جلوگیری از آب‌شویی شدید نترات از گلدان‌ها شدند بلکه با در اختیار قراردادن نیتروژن به‌طور منظم و تدریجی، قابلیت جذب بهتر توسط گیاه را ایجاد کرده و در نهایت با حفظ نیتروژن در بین ساختار خود از هدرروی این عنصر مفید برای گیاه و مضر برای محیط زیست جلوگیری کردند.

۳.۳. شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد اثر رقم و کودهای نیتروژن‌دار بر شاخص کلروفیل گیاه لوبیا است (جدول ۳). شاخص کلروفیل در دو رقم مورد بررسی، مقادیر متفاوتی داشت. اگرچه داده‌ها مبنی بر اختلاف معنی‌دار بین ارقام می‌باشد ولیکن این اختلاف ناچیز بوده و حاکی از برتری چهار درصدی لوبیا قرمز بر لوبیا چشم‌بلبلی در میزان شاخص کلروفیل می‌باشد (جدول ۴). تفاوت در مقدار شاخص کلروفیل لوبیا تحت تأثیر گونه‌ها را می‌توان به توان گونه‌های مختلف در جذب و ارسال عناصر معدنی به شاخساره نسبت داد. یکی از دلایل احتمالی این امر می‌تواند ناشی از تفاوت در گسترش ریشه‌های گیاه در خاک باشد که سبب اختلاف در شرایط تغذیه‌ای و در نتیجه سنتز کلروفیل می‌گردد (Bhattacharyya et al., 1993).

۳. ۴. عملکرد دانه

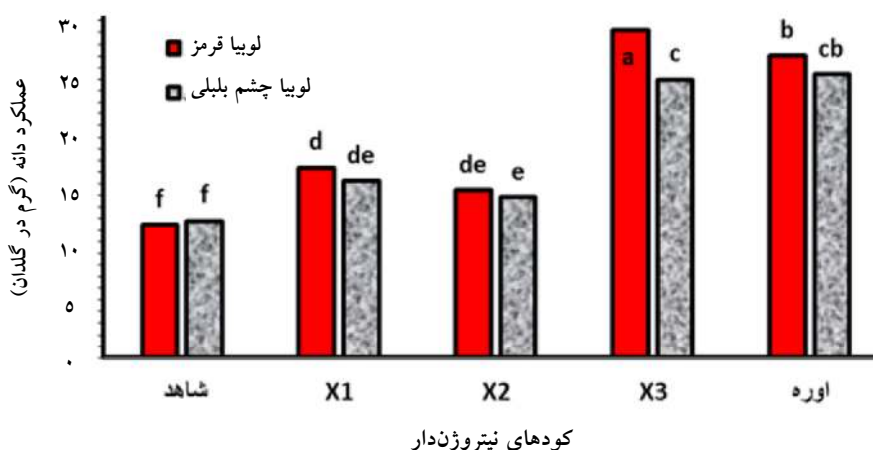
نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات ساده رقم و کودهای نیتروژن‌دار و همچنین اثر متقابل گونه در کود به ترتیب تأثیر معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد بر عملکرد دانه لوبیا داشته است (جدول ۳). بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار کود X_3 و لوبیا قرمز به دست آمد (شکل ۴). ژئولیت با افزایش قابلیت نگهداری عناصر در طولانی‌مدت، کیفیت خاک را بهبود می‌بخشد. افزون بر فراهمی عناصری مانند نیتروژن و پتاسیم در نگهداری و در اختیار گذاشتن کاتیون‌هایی مانند کلسیم، منیزیم و عناصر کم‌مصرف می‌تواند مؤثر واقع شود و در نهایت منجر به افزایش عملکرد در گیاه می‌گردد (Ramesh et al., 2007). نتایج مطالعه حاضر با (Heydari et al., 2018; Gholam Hosseini et al., 2000; Mumpton, 1999).

۳. ۵. عملکرد بیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده گونه و کود

نیتروژن‌دار به ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد سبب تفاوت معنی‌داری در بین تیمارها از نظر عملکرد بیولوژیکی گردید (جدول ۳). با توجه به ژنتیک هر گونه در تولید تعداد و سطح برگ که می‌تواند میزان دریافت نور و فتوسنتز و در نتیجه تجمع ماده خشک در گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Nobahar & Pazoki, 2010)، به نظر می‌رسد که لوبیا قرمز از توان فتوسنتزی بالاتری برخوردار بوده است. بر همین اساس است که لوبیا قرمز از افزایش چهار درصدی عملکرد بیولوژیکی نسبت به لوبیا چشم بلبلی برخوردار گردید.

نتایج مقایسه میانگین در تشخیص مؤثرترین حالت ممکن، در افزایش عملکرد بیولوژیکی در لوبیا نشان داد که گیاهان تیمار شده با کود X_3 و کود X_4 بهترین تأثیر را در بهبود این صفت نشان دادند (جدول ۴). در تعیین تفاوت تأثیر کودها، کود X_3 و X_4 با فرارگیری در گروه‌های آماری یکسان، روند صعودی مشابهی را در افزایش عملکرد بیولوژیکی نشان دادند. گیاهان پرورش یافته با کودهای X_3 و X_4 با اختلاف ناچیزی نسبت به هم، سبب افزایش ۳۷ درصدی عملکرد بیولوژیکی نسبت به تیمار شاهد گردیدند.



شکل ۴. اثر متقابل رقم و کودهای نیتروژن‌دار بر عملکرد دانه لوبیا

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد اگرچه به لحاظ آماری در گیاهان رشد یافته در تیمار X_3 و X_4 سیر صعودی شاخص برداشت نسبت به سایر تیمارها بیش تر است ولیکن این دو کود با قرارگیری در گروه های آماری مشترک و با اختلاف ناچیز نسبت به هم سبب افزایش ۳۸ درصدی شاخص برداشت نسبت به تیمار شاهد گردیدند (جدول ۴).

کاربرد زئولیت باعث افزایش رشد و بهبود عملکرد شد و در نتیجه دارای اثرات مثبت روی شاخص برداشت بود. نتایج پژوهش روی ذرت نشان داد که استفاده از زئولیت های عامل دار شده باعث بهبود و افزایش عملکرد گیاه شد (Abedi-Koupai & Asadkazemi, 2006). نتایج این پژوهش کاملاً همسو با نتایج پژوهش گران دیگر (Heydari et al., 2015; Heydari et al., 2018; Gholam Hosseini et al., 2000; Mumpton, 1999) می باشد. به نظر می رسد تأثیر نیتروژن روی تولید محصول از طریق افزایش بیش تر سطح برگ با تأثیرگذاری بر مکانیسم های توسعه سلولی باشد (Cook et al., 2005) می شود. به علاوه نیتروژن با فعال کردن آنزیم پروتئولیز در برگ ها نیز سبب افزایش فتوسنتز می شود و جریان انتقال مواد نیتروژنی از برگ ها به دانه را تسریع می کند و از این طریق باعث افزایش عملکرد می شود. بنابراین زمان و میزان مصرف آن می تواند، عملکرد نهایی محصول را تحت تأثیر قرار دهد (Cook et al., 2005).

۷.۳ پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد که اثر گونه و کودهای نیتروژنه تأثیر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بر پروتئین دانه داشته است (جدول ۳). با توجه به آن که اهمیت حبوبات (از جمله لوبیا) به دلیل بالابودن درصد و مرغوبیت پروتئین در دنیا مطرح است، به نظر می رسد که اختلاف گونه های لوبیا در افزایش پروتئین دانه قابل چشم پوشی نیست، بالاترین مقدار پروتئین به میزان چهار درصد در لوبیا

نتایج حاصله با نتایج دیگر پژوهش گران (Mumpton, 1999; Heydari et al., 2017; Gholam Hosseini et al., 2000) هماهنگی دارد، به طوری که در این آزمایش ها با افزایش نیتروژن، عملکرد بیولوژیک این گیاهان افزایش می یابد. در این راستا استفاده از فناوری های جدید در زمینه استفاده از کودهای شیمیایی همراه با کاربرد موادی مانند زئولیت موفق عمل نموده است. مکانیسم های مختلفی در ارتباط با زئولیت- نیتروژن بر بهبود عملکرد بیولوژیک ذکر شده است. یکی از مهم ترین این مکانیسم ها افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، جذب و نگهداری عناصر غذایی به ویژه نیتروژن در خاک است (Mumpton, 1999; Gholam Hosseini et al., 2000). علاوه بر آن از دیگر خواص زئولیت ها توانایی نگهداری بالای رطوبت است (Smith, 1976; Breck, 1984)، بنابراین نتیجه حاضر قابل توجیه است. در همین راستا پژوهشی روی گیاه کلزا پاییزه افزایش عملکرد بیولوژیک با کاربرد زئولیت را نشان داد و جلوگیری از هدرروی عناصر غذایی را گزارش کرد (Gholam Hosseini et al., 2000)، این عامل با افزایش کارایی کودها در نهایت سبب بهبود رشد در گیاه می گردد.

۶.۳ شاخص برداشت (HI)

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر کودهای نیتروژنه بر شاخص برداشت لوبیا در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ها نشان دهنده تأثیرگذاری کودهای نیتروژنه بر شاخص برداشت لوبیا بوده است. این صفت بیان کننده نسبت توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک می باشد (Dadkhah et al., 2010). با توجه به این که در تیمارهای مورد استفاده کودهای نیتروژن دار از نظر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی داری وجود دارد و کودهای X_3 و X_4 دارای بالاترین میزان در عملکرد دانه بوده است.

پژوهش گران و در رابطه با گونه‌های گیاهی دیگر نیز به اثبات رسیده است (KhaShee Siveki et al., 2008).

۴. نتیجه گیری

این پژوهش به طور گویا بیانگر تأثیر مثبت نانوکودهای ژئولیت عامل دار شده با لیگاند جدید و نیتروژن در کاهش آبشویی نیترات از گلدان‌ها و همچنین افزایش عملکرد لوبیا بود. استفاده از نانو ژئولیت‌های عامل دار شده در آزمایش نیتروژن، در مقایسه با کود اوره باعث کاهش آبشویی نیترات از گلدان‌ها شد. این در حالی بود که کود ژئولیت با لیگاند HED (X₃) کم‌ترین میزان آبشویی نیترات را از خود نشان داد که آبشویی نیترات را نسبت به تیمار کود اوره ۴۸ درصد کاهش داد. با اندازه‌گیری نیترات زه‌آب گلدان‌ها نتایج حاکی از کارایی بالاتر نانوکودهای ساخته شده در مقایسه با کود اوره بود. اگرچه کودهای ژئولیتی با لیگاند EN (X₁) و لیگاند AcAcEN (X₂) آبشویی نیترات را نسبت به کود اوره کاهش دادند، اما توانایی زیادی در قراردادن نیتروژن در اختیار گیاه نسبت به کود اوره نداشتند. با توجه به نتایج، کود ژئولیت با لیگاند HED (X₃) توانست باعث بهبود ویژگی‌های کیفی گیاه از جمله کلروفیل، پروتئین دانه، شاخص برداشت، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در گیاه لوبیا شود. همچنین نتایج به دست آمده مبین برتری لوبیا قرمز در مقایسه با لوبیا چشم بلبلی در صفات اندازه‌گیری شده بود.

۵. تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه زابل می باشد، که بدینوسیله از گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و ریاست محترم دانشگاه زابل، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

قرمز حاصل شد (جدول ۴). تیمار X₃ توانست پروتئین دانه را در مقایسه با تیمار شاهد ۶۴ درصد افزایش دهد و با توجه به آن که افزایش پروتئین در لوبیا جهت بهبود کیفیت دانه به‌عنوان عاملی حائز اهمیت مطرح می‌شود و همچنین افزایش پروتئین دانه می‌تواند پژوهش‌گران را در تولید حیواناتی سرشار از پروتئین یاری نماید. نتایج آزمایش مبنی بر اثرگذاری مثبت کودهای نیتروژن‌دار بر سنتز پروتئین بوده است. به نظر می‌رسد که استفاده از کود X₃ و X₄ موجب بهبود این صفت در هر دو گونه شده است. با توجه به این که با افزایش میزان نیتروژن خاک، مقدار بیش‌تری از این عنصر توسط گیاه جذب و مازاد آن برای رشد رویشی و تشکیل دانه به شکل پروتئین در دانه تجمع می‌یابد (Nasiri et al., 2012) و همچنین نقش مثبت ژئولیت‌ها در جلوگیری از آبشویی و افزایش نیتروژن قابل‌دسترس گیاه (Hosseini Abari et al., 2006; Heydari et al., 2017; Gholam Hosseini et al., 2000) نتیجه مطالعه حاضر قابل‌توجه است. در همین راستا پژوهش‌گران گزارش کردند که استفاده از ژئولیت و کودهای شیمیایی باعث بهره‌وری بیش‌تر در جذب عناصر غذایی و آب و در نتیجه بهبود تغذیه معدنی و پروتئین دانه می‌شود (Heydari et al., 2015).

هرگونه اثرگذاری بر جذب و سوخت‌وساز نیتروژن می‌تواند ارتباط مستقیمی بر سرعت سنتز اسید نوکلئیک و پروتئین‌ها داشته باشد. بنابراین با توجه به این که قابلیت دسترسی به فسفر در خاک بر میزان جذب نیتروژن و استفاده گیاه از آن مؤثر می‌باشد (Yasuda et al., 1998). تأثیر ژئولیت بر جلوگیری از آبشویی نیتروژن و افزایش نیتروژن قابل‌دسترس گیاه به اثبات رسیده است (Hosseini Abari et al., 2006; Heydari et al., 2018; Gholam Hosseini et al., 2000). این مکانیسم سبب شده تا پروتئین دانه با کاربرد نیتروژن- ژئولیت بهبود یابد. افزایش میزان پروتئین به موازات کاربرد نیتروژن و همچنین ژئولیت توسط سایر

۷. منابع

- Abdali, Sh., & Daneshi, N. (2005). Determine the water required for bean cultivation. The first national conference on beans, *Ferdousi University of Mashhad, May 25-26*. https://www.civilica.com/Paper-PULSES01-PULSES01_095.html
- Abedi-Koupai, J., & Asadkazemi, J. (2006). Effect of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus Arizonica*) under reduced irrigation regimes. *Iranian Polymer Journal, 15*(9), 715-725.
- Afruos, A. Sh., Liaghat, A. M. Sutodehnia, A., & Bashldeh, H. (2005). Pollution of Groundwater by Agricultural Fertilizers (Case Study of Qazvin). *National Conference on Irrigation and Drainage Networks, Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Engineering, May, 12-14*.
- Bansiwal, N. K., Rayalu, S. S., Labhasetwar, N. K., Juwarkar, A. A., & Devotta, S. (2006). Surfactant-Modified Zeolite as a Slow Release Fertilizer for Phosphorus. *Journal of Agricultural Food and Chemistry, 54*(4), 4773-4779.
- Bhattacharyya, T., Pal, D. K., & Deshpande, S. B. (1993). Genesis and transformation of minerals in the formation of red (Alfisols) and black (Inceptisols and Vertisols) soils on basalt in the Western Ghats, India. *Journal of Soil Science, 44*(1), 159-171.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry, 72*(32), 248-254.
- Breck, D. W. (1984). *Zeolite molecular sieves*. Robert. E. Krieger publishing co.
- Chinnamuthu, C. R., & Boopathi, P. (2009). Nanotechnology and agroecosystem. *Madras Agricultural Journal, 96*(12), 17-31.
- Cook, B. G., Pengelly, B. C., Brown, S. D., Donnelly, J. L., Eagles, D. A., Franco, M. A., Hanson, J., Mullen, B. F., Partridge, I. J., Peters, M., & Schultze-Kraft, R. (2005). Tropical forages. CSIRO, DPI & F(Qld), CIAT and ILRI, Brisbane, Australia.
- Cui, H., Sun, C. Liu, Q. Jiang, J., & Gu, W. (2006). *Applications of Nanotechnology in Agrochemical Formulation, Perspectives, Challenges and Strategies*, Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China, 1-6.
- Dadkhah, A., Amini Dehghi, M., & Kafi, M (2010). Effect of different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on quantitative and qualitative yield of German chamomile. *Iranian Journal of Agricultural Research, 1*(2), 321-326.
- Dionisiou, N. S., Matsi, T., & Misopolinos, N. D. (2013). Nitrogen Adsorption-Desorption on a Surfactant-Modified Natural Zeolite: A Laboratory Study. *Water Air Soil Pollution, 224*(6), 1362-1372.
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1: Physical and mineralogical methods, (methodsofsoilan1), 11*(13), 383-411.
- Geetha, V., & K. Varughese. (2010). Response of vegetable cowpea to nitrogen and potassium under varying methods of irrigation. *College of Agriculture, Vellayani 695522, rivandrum, India. Journal of Tropical Agriculture, 39*(11), 111-113.
- Gholam Hosseini, M., Aghalikhani, M., & Malekoti, M. G. (2000). Effect of different levels of nitrogen and zeolite on quantitative and qualitative performance of autumn canola. *Journal of Agricultural Science and Technology, 45*(12), 55-75.
- Gottary, G. and Galli, E. (1985). *Natural Zeolite*. Springer. Berlin.
- Gupta, Y. P. (2000). *Nutritive value of pulses*. Oxford and IBH Publishing Company, New Delhi, p: 601.
- Hauk, R. D. (1973). Nitrogen traces in nitrogen cycle studies post use and future needs. *Journal of Environmental Quality, 2*(3), 317-327.
- Haggerty, G. M., & Bowman, R. S. (1994). Sorption of inorganic anions by organo-zeolites. *Environmental Science & Technology, 28*(11), 452-458.
- Heydari, M., Mousavi Nik, S., & Mir, N. (2015). Effect of factorized nano zeolites on nitrate leaching and growth characteristics of bean plant. *The First National Conference on New Achievements in the Life Sciences and Agricultural Sciences. Tehran*.
- Heydari, M., Mousavi Nik, S., & Mir, N. (2017). Effect of modified nano-fertilizers with a new organic compound on properties Qualitative Two Beans, *Journal of Crop Improve, 19*(2), 517-531.
- Heydari, M., Mousavi Nik, S., & Mir, N. (2018). Reducing nitrogen loss by application of natural clinoptilolite modified with quaternary N-Alkyl agent as controlled-release fertilizer in two species of beans (*P. Vulgaris* and *Vigna Unguiculata*, *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis, 16*(5), 1-18.
- Hosseini Abri, S., Kaveh, M., & Paschzarmar, S. (2007). Effect of triple and zeolite superphosphate on quantitative and qualitative characteristics of potato plant. *Basic Sciences Journal of Islamic Azad University (JSIAU), 64*(19), 18-11.
- Kazemian, H. (2003). *An introduction to zeolites, magic minerals*. Behesht Publication.

- KhaShee Siveki, A., Kochak Zadeh, M., & Shahabifar, M. (2008). The Effect of Application of Clinoptilolite Natural Zeolite and Soil Moisture on Corn Yield Components. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 22(2), 56-67.
- Khazaei, H. R., & Arshadi, M. J. (2008). Investigation of the Effect of Nitrogen Circulation Fertilizer on Yield and Potato Quality Characteristics of Agria Cultivar in Mashhad Water and Climate Conditions. *Journal of Horticulture (Agricultural Science and Technology)*, 22(3), 49-63.
- Kottegoda, N., Munaweera, I. Madusanka, N., & Karunaratne, A.V. (2011). Green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Journal of Current Science*, 101(5), 73-78.
- Lai, R. (2007). *Soil Science in the Era of Hydrogen Economy and 10 Billion People*, The Ohio State University, USA, 1-9.
- Madani, H., Moghimi, A., & Sajedi, N. (2010). Effect of different levels of zeolite and irrigation interval on yield and some potato traits. *New Agricultural Findings*, 4(3), 281-289.
- Mollahi, F. Asghari, H., & Ghorbani, H. (2012). The effect of interaction of zeolite and mycorrhiza on leaching of nitrogen and phosphorus of soil under cultivation of *Trifolium alexandrinum*. *6th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering*.
- Monreal, C. M. (2010). Nanofertilizers for increased N and P use efficiencies by crops, 12-13. In: Monreal Summary of Information Currently Provided to MRI Concerning Applications for Round 5 of the Ontario Research Fund Research Excellence Program.
- Mosier, A. R., Syers, J. K., & Freney, J. R. (2004). Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the environment. Washington DC, Island Press, USA.
- Mumpton, F. A. (1999). *La Roca Magica: uses of natural zeolites in agriculture and industry*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 96, 3463-3470. doi:10.1073/pnas.96.7.3463
- Nasiri, A., Delkhosh, B. Shirani Rad, A., & Nurmohammadi, Gh. (2012). Effect of different amounts of potassium and zeolite on quantitative and qualitative traits of canola in different irrigation regimes. *Production of Crops in Conditions of Environmental Stresses*, 4(3), 49-57.
- Nelson, E.O. (1982). Soil pH and lime requirement. American society of Agronomy, Madison, 199-224.
- Nelson, S. R., & Sommer, L. A. (1986). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. United States Department of Agriculture; Washington.
- Nobahar, M., & Pazaki, R. (2010). Genetic diversity in some traits of indigenous Iranian fenugreek. *Journal of Ecophysiology of Crops and Weeds*. 100(12), 21-32.
- Petrucci, R. H., Harwood, W. S. Herring, G. F. & Madura, J. D. (2007). *General chemistry: principles and modern applications*. Upper Saddle River; New Jersey: Pearson Prentice Hall Press. (9th ed.).
- Sadeghipour Marvi, M. (2010). *Fertilizer use efficiency in Iran*. First Congress of Fertilizer Challenges in Iran: Half a Century of Fertilizer Consumption. March 10-12. Tehran. 1-9.
- Shaviv, A. (2000). Advances in controlled-release fertilizers. *Journal of Nano Fertilizer Science*, 12(5), 20-42.
- Sheldrick, W. F., Syers, J. K., & Lingard, J. (2002). A conceptual model for conducting nutrient audits at national, regional, and global scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62(6), 61-72. Sikoia L and Szmia PAK, 2001. Nitrogen sources, mineralization rates and plant nutrient benefits from compost. In:
- Smith, J.V. (1976). Zeolite chemistry and Catalysis. *Am. Chem. Soc. Rabo. J. A.* 3.
- Soudi, B., Agbani, M., & Badraoui, M. (1997). Impact of N-fertilisation of sugar beet on nitrate leaching. 60. Institut International de Recherches Betteravières Congres, 1-3 July, Cambridge, UK.
- Thomas, J. M., Weller, S. C., & Ashton, F. M. (2008). *Weed Science*. Principles and Practices. 4th ed. United State of America.
- Valente, S., Burriesci, N. Cavallaro, S. Galvagno, S., & Zipelli, C. (1982). Utilization of zeolites as soil conditioner in tomato growing. *Zeolites*. 2(2), 271-274. doi:10.1016/S0144-2449(82)80069-9
- Xiubin, H., & Zhanbin, H. (2001). Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Resour. Conser. Recyc.*, 34(1), 45-52.
- Yasuda, H., Takuma, K. Fukuda, T. Suzuki, J. & Fukushima, Y. (1998). Effects of zeolite amendment on water and salt characteristics in soil proceedings. *International Agricultural Engineering Conference, Bangkok. Thailand*, 842-837.
- Yoldas, F., & Esyok, D. (2004). Effects of temperature plant spacing sowing/planting date on generative growth and yield components of broccoli. 39th Croatian Symposium on Agriculture with International Participation. February 17-20, Opatija, Croatia.