



به‌زرای کشاورزی

دوره ۱۹ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶
صفحه‌های ۵۳۱-۵۱۷

تأثیر نانو کودفسفات اصلاح شده با یک ترکیب آلی جدید بر خصوصیات کیفی دو نوع لوبیا

مسلم حیدری^{۱*}، نوشین میرآ، سید محسن موسوی نیک^۲

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲. استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۱۴

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۴

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر نانوذرات فسفات‌های اصلاح‌شده با دو ترکیب آلی در آزادسازی فسفر و اثر آن بر خصوصیات رشدی گیاه لوبیا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان همدان در سال ۱۳۹۳ به اجرا درآمد. تیمارهای کودی شامل P_0 (ذرات بدون گروه عاملی (نمونه شاهد))، P_1 (ذرات + لیگاند AcAcEN)، P_2 (ذرات + با لیگاند HED) و P_3 (سوپر فسفات تریپل) و همچنین دو نوع لوبیا شامل لوبیا قرمزرقم "درخشان" (*Phaseolus vulgaris*L.) و لوبیا چشم‌بلبلی ژنوتیپ "۲۹۰۰۵" (*Vigna unguiculata*L.) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد کود نانوذرات فسفات اصلاح‌شده با لیگاند HED بیشتر از دو کود ژنوتیپی دیگر موجب بهبود ویژگی‌های کمیوکیفی گیاه لوبیا شده است. کود P_2 در خصوص عملکرد دانه و میزان جذب فسفات گیاه، نتایج بهتری را نسبت به کود سوپر فسفات تریپل نشان داد. علاوه بر این، میزان آبسویی فسفات در این کود کمتر بود. نتایج کلی نمایانگر نقش مفید و مؤثر نانوذرات فسفات اصلاح‌شده با لیگاند HED در بهبود ویژگی‌های رشد و خصوصیات کیفی و کمی گیاه لوبیا بود.

کلیدواژه‌ها: خصوصیات رشدی، فسفر، کلروفیل، گیاه، لوبیا، نانوذرات.

۱. مقدمه

فسفر بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه است. این عنصر در در تشکیل بذر نقش دارد و در مرحله زایشی گیاه، گلدهی را متعادل کرده و موجب تقویت و ماندگاری گل می‌شود. [۲، ۸، ۹، ۱۵، ۱۸ و ۱۸]. امروزه آبشویی فسفر و نفوذ آن به اعماق خاک و سپس ورود آن به آب‌های زیرزمینی پس از آبشویی نترات، یکی از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی به حساب می‌آید [۱ و ۳۱]. یکی از مواد مصرفی برای کاهش آبشویی نترات، فسفات و فلزات سنگین، زئولیت‌ها هستند.

زئولیت‌ها، آلومینوسیلیکات‌های بلوری و هیدراته فلزات قلیایی هستند که شبکه‌های سه‌بعدی متشکل از چهاروجهی‌های $4[SiO_4]$ و $4[AlO_4]$ دارند [۱۳ و ۳۳]. گزارش شده است که زئولیت‌ها موجب بهبود ساختار شکننده و غیر یکنواخت خاک شده و موجب افزایش ماندگاری کود در منطقه توسعه ریشه می‌شود [۲۳ و ۴۰]. همچنین، با ساختاری بسیار متخلخل و با سطح داخلی بسیار گسترده، باعث تثبیت عناصر غذایی در بین ساختار خود می‌شود و از طریق رهاسازی تدریجی آن‌ها، فراهمی درازمدت این عناصر را برای گیاه ایجاد می‌نماید [۳ و ۳۶].

در گزارشی نشان داده شد که افزایش ۱ تا ۲۰ درصدی کلینوپتیلولیت (زئولیت طبیعی) به خاک جهت اصلاح آن، موجب افزایش محصولات کشاورزی می‌شود [۴۲]. در گزارشی دیگر، کاربرد زئولیت موجب افزایش ۳۶ درصدی عملکرد در گیاه ذرت نسبت به حالت شاهد شد [۲۱]. اخیراً، مشخص شده است که زئولیت‌های اشباع شده توسط آمونیوم قادر به افزایش انحلال کانی‌های حاوی فسفات هستند و در نتیجه موجب بهبود جذب فسفر توسط گیاه و افزایش عملکرد آن می‌شوند [۳۴]. مطالعات صورت گرفته نشان داد که مخلوط‌های زئولیت (کلینوپتیلولیت) و سنگ فسفات از طریق وقوع واکنش‌های تبادل یون و انحلال

موجب رهاسازی آرام عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک شدند [۳۷ و ۴۱].

مطالعه درباره زئولیت‌های کندرها نشان داده است که زئولیت اصلاح نشده برای جذب و رهاسازی مواد مغذی محدودیت دارد و تنها قادر است کاتیون‌هایی همچون NH_4^+ و K^+ را جذب کند و جذب فرم‌های آنیونی همچون NO_3^- و PO_4^{3-} تنها به میزان بسیار ناچیز صورت می‌گیرد. از این رو، زئولیت 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 تحقیقاتی نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است. در سال ۱۹۹۴، یک زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت گزارش شد که قادر به حذف آلودگی‌های آنیونی از آب بود [۳۰]. اصلاح زئولیت A توسط سورفکتانت تجاری هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم بر مید جذب آنیون فسفات توسط زئولیت ۴ برابر افزایش داد [۲۱]. در مطالعه آزمایشگاهی که اخیراً صورت گرفت، نشان داده شد که زئولیت اصلاح شده دارای ظرفیت جذب بالایی برای فسفر است و با افزایش pH از اسیدی به قلیایی، جذب فسفر نیز افزایش می‌یابد [۲۷].

در پژوهش حاضر از دو نوع لوبیا شامل لوبیا قرمز رقم "درخشان" (*Phaseolus vulgaris*L) و لوبیا چشم‌بلبلی ژنوتیپ "29005" (*Vigna unguiculata*L) برای بررسی عملکرد کودهای طراحی شده استفاده شده است. لوبیا قرمز گیاهی یک‌ساله است که از تیره بقولات (Leguminosae) است [۱۶ و ۲۹]. لوبیا چشم‌بلبلی گیاهی است از خانواده *Fabaceae* علفی و یک‌ساله بارشده کم، بوته‌ای و تا حدی رونده. رنگ ساقه آن زرد، سبز روشن یا قهوه‌ای است. برگ‌های آن دم‌برگ بلندی داشته و سه برگچه‌ای است [۳۲].

با اینکه تاکنون مطالعاتی در زمینه جذب آنیون‌ها بر

روی این لیگاند و متعاقباً عدم وجود برهم کنش‌های الکتروستاتیک، پیش‌بینی می‌شود جذب آنیون توسط این لیگاند به‌طور مؤثر صورت نگیرد. به همین سبب در پژوهش حاضر، لیگاند HED که ساختار آن در شکل ۱ نشان داده شده، طراحی گردیده است. این ترکیب آلی که از احیا کردن لیگاند AcAcEN و سپس اسیدی کردن گروه‌های نیتروژن به دست می‌آید، دارای دو عامل کاتیونی بر روی سطح خود بوده و قادر است توسط برهم کنش‌های الکتروستاتیک، گروه‌های فسفات را جذب کرده و در هنگام آبیاری به کندی آزاد کند. شکل ۲ که تصویر SEM^۳ زئولیت طبیعی مورد استفاده در این پژوهش حاضر را نشان می‌دهد، نمایانگر نانوذراتی با ابعاد متوسط ۳۰ تا ۶۰ نانومتر است که تأیید می‌کند این کود جزو دسته نانوساختارها طبقه‌بندی می‌شود. درون این حفره‌ها کاتیون‌هایی مانند سدیم، منیزیم و کلسیم با قابلیت تبادل با کاتیون‌های دیگر قرار دارند.

برای تهیه نانو زئولیت‌های عامل‌دار شده با فسفر در آزمایشگاه شیمی تجزیه دانشگاه زابل، ابتدا لیگاند‌های AcAcEN و HED تهیه شدند. لیگاند AcAcEN از واکنش تراکمی دو لیگاند اتیلن‌دی‌آمین (EN) و استیل‌استون (AcAc) به نسبت ۲:۱ در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شده و پس از فرایند تبلور مجدد و خالص‌سازی، به صورت محلول در آب استفاده شد [۲۶]. برای تهیه لیگاند HED، ابتدا لیگاند AcAcEN (که روش تهیه آن شرح داده شد) در آب حل شده و تحت همزدن به مقدار کافی از احیاگر سدیم بورهیدرید (NaBH₄) به آن افزوده شد. این احیاگر با تبدیل باندهای دوگانه به یگانه موجب تشکیل محلول زرد روشن حاوی لیگاند EDD^۴ گردید.

روی زئولیت اصلاح‌شده صورت گرفته است، در همه موارد از سورفکتانت‌های تجاری برای اصلاح زئولیت استفاده شده است. در این مطالعه، زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت با یک ترکیب آلی جدید با خصوصیت جذب بالا اصلاح گردید. کود طراحی شده روی گیاه لوبیا اعمال شد و خصوصیات رشدی آن را در مقایسه با کود سوپر فسفات تریپل (بیشترین کود فسفردار مصرفی در بخش کشاورزی ایران) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر نانو زئولیت‌عامل‌دار شده با فسفر بر خصوصیات رشدی گیاه لوبیا، پژوهشی در سال ۱۳۹۳ در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان همدان انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام پذیرفت. تیمارهای کودی شامل P₀ (زئولیت بدون گروه عاملی (نمونه شاهد))، P₁ (زئولیت + گروه عاملی AcAcEN)^۱، P₂ (زئولیت + با گروه عاملی HED)^۲ و P₃ (سوپر فسفات تریپل) و همچنین دو نوع لوبیا شامل لوبیا قرمزرقم "درخشان" (*Phaseolus vulgaris*L) و لوبیا چشم‌بلبلی رقم "۲۹۰۰۵" (*Vigna unguiculata*L) بودند. AcAcEN یک لیگاند کلاسیک آلی است که در تشکیل کمپلکس‌های فلزی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این لیگاند دارای دو سر نیتروژن‌دار و دو انتهای اکسیژن‌دار است که توانایی بسیار بالایی برای اتصال به انواع فلزات را دارند و به همین دلیل، از دهه‌های قبل شیمیدان‌های معدنی مطالعات بسیاری بر روی این لیگاند صورت داده‌اند [۲۶]. از آنجا که گروه‌های نیتروژن لیگاند AcAcEN توانایی کوئوردینه شدن بر روی سطح زئولیت را دارند، احتمال جذب گروه‌های فسفات توسط این لیگاند وجود دارد. با وجود این به دلیل عدم وجود بار مثبت بر

3. Scanning Electron Microscopy

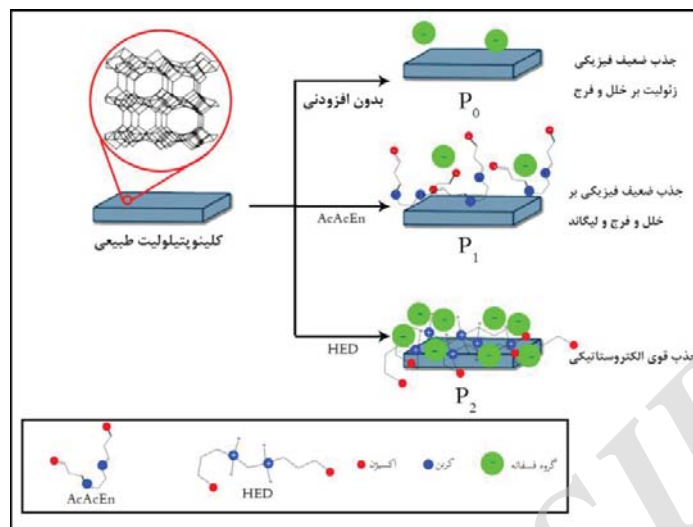
4. Ethylenediamine

5. Acetylacetone

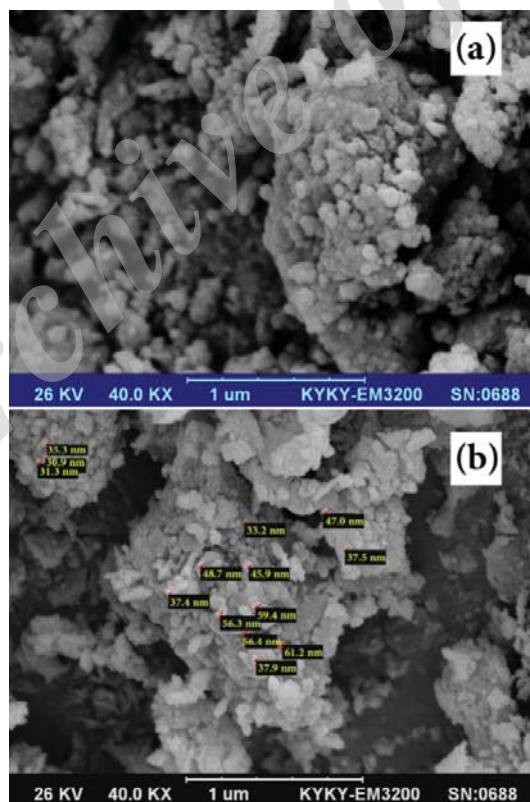
6. 4,4'-(ethane-1,2-diyldiimino) dipentan-2-ol

1. Bis(acetylaceton)ethylenediamine

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



شکل ۱. شمایی از سه کود زئولیتی مورد استفاده در پژوهش حاضر و جذب گروه‌های فسفات بر روی سطح آن‌ها
P₀: زئولیت بدون گروه عاملی (نمونه شاهد)، P₁: زئولیت + لیگاند AcAcEn، P₂: زئولیت + لیگاند HED



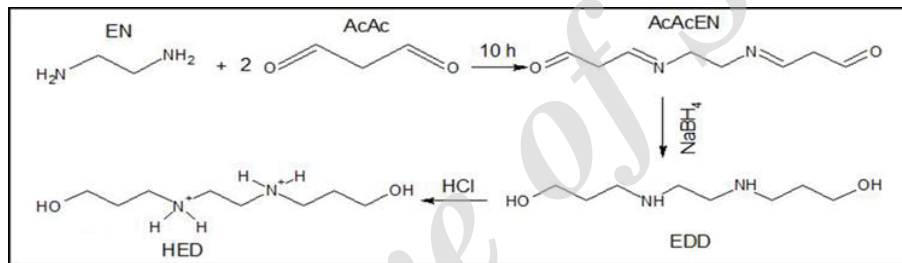
شکل ۲. تصاویر میکروسکوپ الکترونیروشی (SEM) زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت (P₀) با دو بزرگ‌نمایی مختلف

بر روی سطح خود است، بنابراین جذب آن بر روی سطح زئولیت تنها از طریق جذب فیزیکی صورت می‌گیرد. اما، در خصوص کود P_2 مسئله متفاوت است. ترکیب شیمیایی مورد استفاده برای ساخت این کود، یک لیگاند چهار دندانه با دو سر نیتروژن دار کاتیونی (آمین نوع چهارم) می‌باشد. این لیگاند همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، از لحاظ ساختار بسیار شبیه $AcAcEN$ است، زیرا حاصل فرایند احیا بر روی این لیگاند است. این کاتیون با داشتن دو بار مثبت بر روی سطح خود، توانایی تعویض با کاتیون‌های موجود بر سطح زئولیت را داراست. از طرف دیگر پس از جذب بر روی حفره‌های نانواعاد زئولیت، قادر است به کمک برهم‌کنش‌های الکتروستاتیک نسبتاً قوی، آنیون‌های فسفات را بر روی سطح زئولیت نگه دارد. بذور گیاهان (لوبیا قرمز رقم "درخشان" و لوبیا چشم‌بلبلی ژنوتیپ "۲۹۰۵") از مرکز تحقیقات کشاورزی شهر همدان تهیه شد. بذور به مدت ۱۵-۱۲ دقیقه با هیپوکلریت سدیم نیم درصد ضد عفونی و سه دفعه هر بار به مدت پنج دقیقه با آب مقطر شسته شدند. مخلوط خاک شامل خاک بکر و ماسه شسته شده به نسبت ۱:۱، قبل از ریخته شدن در گلدان‌های ۱/۵ کیلوگرمی، (ارتفاع ۱۱/۸، قطر دهانه ۱۵/۲، قطر کف ۱۱/۲ سانتی‌متر و حجم ۱/۵ لیتر) در اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ اتمسفر، به مدت یک ساعت سترون گشت، سپس روی پوشش‌های پلاستیکی پهن و برای مدت ۲۴ ساعت در معرض هوای آزاد قرار داده شدند. سپس، برای بار دوم خاک درون کیسه‌های سترون ریخته شده و در اتوکلاو در همان شرایط سترون‌گردید. جدول ۱ خصوصیات خاک مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقدار ۵ گرم در یک کیلوگرم خاک از هر کود در یک سوم ابتدایی گلدان‌ها و در نزدیکی بذور لوبیا قرار داده شدند. آبیاری به صورت هر پنج روز یکبار انجام شد و هر بار مقدار ۲۵۰ سی‌سی آب به گلدان‌ها

سپس با افزودن مقدار لازم از هیدروکلریدریک اسید به محلول فوق، pH محلول از ۱۰ به هفت کاهش یافت و بدین طریق همه سایت‌های نیتروژن با جذب یون H^+ ، به صورت کاتیونی درآمدند و لیگاند HED تهیه شد (شکل ۳). در مرحله بعد، زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت پس از شستشو و خشک کردن در آون به مدت ۲۴ ساعت در ۵۰ درجه، به میزان کافی در محلول دو لیگاند تهیه شده $AcAcEN$ و HED ریخته شده و به مدت ۲۴ ساعت در شیکر قرار گرفت و سپس با آب شستشو و توسط دستگاه سانتریفیوژ جداسازی شده و در آون در دمای ۵۰ درجه به مدت ۱۰ ساعت خشک گردید. این دو جاذب به ترتیب P_1 و P_2 نامگذاری شد. جاذب‌های تهیه شده P_1 و P_2 به همراه زئولیت طبیعی (P_0) در مرحله بعد در ۵۰ mL محلول KH_2PO_4 با غلظت ۱۰۰۰ mmol/L قرار گرفت و به مدت ۲۴ ساعت در شیکر همزده شد و مجدداً مراحل شستشو و خشک کردن بر روی آن انجام گرفت [۲۶]. سپس کودهای حاصل برای ارزیابی و تأثیر بر روی دو جنس مختلف لوبیا در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان همدان مورد آزمایش قرار گرفت. میزان فسفر کودهای P_1 ، P_0 و P_2 به ترتیب عبارت است از: ۵۲/۱۲ mg/Kg، ۳۶/۲۱ mg/Kg و ۱۳۴/۱۲ mg/Kg. شکل ۱ شمایی از نانوکودهای زئولیتی به کاررفته در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، بستر مورد استفاده زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت است که حفره‌هایی در ابعاد نانو با اندازه تقریبی ۰/۴ نانومتر دارد [۲۸]. وقتی به کود P_0 که همان زئولیت طبیعی است گروه‌های فسفات افزوده می‌شود، تنها امکان اتصال این آنیون‌ها به سطح زئولیت، برهم‌کنش‌های ضعیف فیزیکی با سطح زئولیت است که در نهایت به جذب ناچیز این آنیون‌ها بر سطح زئولیت منجر می‌شود. کود P_1 از برهم‌کنش لیگاند $AcAcEN$ بر سطح زئولیت ساخته می‌شود. لیگاند $AcAcEN$ فاقد هر گونه بار

زمان ساخت و آزمایش خصوصیات زئولیت‌های اصلاح‌شده دو ماه و همچنین کشت تا زمان برداشت گیاهان چهار ماه به‌طول انجامید. همه صفات بیولوژیکی گیاهان پس از برداشت اندازه‌گیری شدند. پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل فسفر زه‌آب، فسفر گیاه (برگ و ساقه)، پروتئین دانه، عملکرد دانه و کلروفیل بودند. در این پژوهش برای سنجش پروتئین از روش برادفورد [۲۲] و برای برآورد کلروفیل گیاه از دستگاه کلروفیل متر دستی SPAD (مدل ۵۰۴، ساخت ژاپن) استفاده شد [۲۵].

اضافه گردید. با کمک ظروف تعبیه‌شده در زیر گلدان‌ها آب‌های خارج‌شده از زهکش گلدان‌ها جمع‌آوری و سریعاً به یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شد. پس از آبیاری تمامی گلدان‌ها، زه آب‌های جمع‌آوری‌شده به آزمایشگاه منتقل و میزان فسفر زه آب، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. اینکار به مدت ۱۲ مرتبه در ۱۲ دور آبیاری انجام گرفت. فسفر خاک قبل از آزمایش اندازه‌گیری شد و بعد از اتمام آزمایش نیز توسط روش موسوم به استخراج بری^۱ به کمک دستگاه اسپکتوفوتومتر (مدل ۲۱۰۱، ساخت ژاپن) مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفت [۲۴]. مدت



شکل ۳. فرایند تهیه لیگاند AcAcEN و HED

جدول ۱. خصوصیات خاک به‌کاررفته در گلدان‌های آزمایش

ویژگی	مقدار
pH	۷/۶۷
هدایت الکتریکی (dS m ^{-۱})	۰/۹
ظرفیت تبادل کاتیون (cmol Kg ^{-۱})	۶/۸
فسفر (ppm)	۶/۱۵
پتاسیم (ppm)	۳۰۱/۸
نیتروژن کل (%)	۰/۵
ماده آلی	۱/۱۶

1. Bray

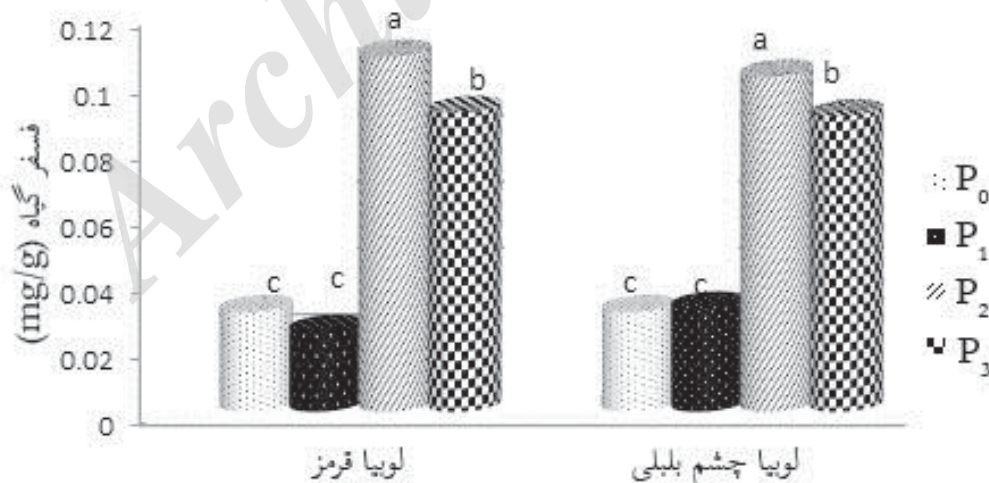
نتایج و بحث

فسفر گیاه (برگ و ساقه)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر کود فسفردار [$p \leq 0/01$] بر غلظت فسفر گیاه است (جدول ۲). نتایج حاکی از برتری ۷۰ درصدی کود P_2 در مقایسه با کود P_0 در افزایش فسفر گیاه لوبیا قرمز و چشم‌بلبلی است (شکل ۴). بنابراین زئولیت با داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا که از ساختار متخلخل آن منشأ می‌گیرد [۳ و ۲۱]، یک انتخاب مناسب برای استفاده به‌عنوان بستر برای جذب لیگاند کاتیونی جدید است. همان‌طور که نتایج ارائه‌شده در جدول ۲ نشان می‌دهد، ماده معدنی اصلاح‌شده نهایی موجب جلوگیری از هدررفت فسفر و قابل دسترس‌تر شدن آن برای استفاده گیاه شده است. همچنین نتایج شکل ۴ حاکی از آن است که کاربرد نانو زئولیت عامل‌دار شده با فسفات (P_2) در مقایسه با کود P_3 (کود سوپرفسفات تریپل) که به‌عنوان پرکاربردترین کود فسفردار در بخش کشاورزی در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد، کارایی بیشتری دارد [۷].

فسفر خاک و زه‌آب

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نوع گیاه اثر معنی‌داری بر فسفر خاک و فسفر زه‌آب نداشت، درحالی‌که کود فسفردار اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر غلظت فسفر خاک و گیاه داشت (جدول ۲). جدول ۳ نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری‌شده در لوبیا را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین فسفر آبشویی‌شده در نوع لوبیا قرمز حدود ۶/۷٪ کمتر از فسفر موجود در زه‌آب لوبیا چشم‌بلبلی بود که این مؤید نتایج جدول ۲ مبنی بر معنی‌دار بودن اثر نوع لوبیا بر فسفر زه‌آب است. در ارزیابی نتایج حاصل از کاربرد کودهای فسفردار مشخص شد که کود P_2 از آبشویی فسفات جلوگیری به عمل آورده است، به‌طوری‌که فسفر زه‌آب در این کود ۰/۱۲ بود که از کاهش معنی‌دار ۳۶ درصدی نسبت به کود سوپرفسفات تریپل برخوردار بود (جدول ۳).



شکل ۴. اثر ساده کود فسفردار بر فسفر لوبیا قرمز و لوبیا چشم‌بلبلی (برگ و ساقه). P_0 : زئولیت بدون گروه عاملی (نمونه شاهد)، P_1 : زئولیت + لیگاند AcAcEN، P_2 : زئولیت + با لیگاند HED و P_3 : سوپرفسفات تریپل. برای هر نوع، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس برخی صفات اندازه‌گیری شده در دو نوع لوبیا (چشم‌بلیلی و قرمز) با به کارگیری چهار نوع کود P₀ (نمونه شاهد)، P₁ (زنولیت + لیگاند AcAcEN)، P₂ (زنولیت + با لیگاند HED) و P₃ (سوپر فسفات تریپل)

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییرات
پروتئین دانه (mg/ml)	عملکرد دانه	کلروفیل	فسفر زه آب (mg/L)	فسفر خاک (mg/L)	فسفر گیاه (mg/L)		
۴۵۱۲/۵۰ **	۲۹۱۴۶۶/۱۲ **	۲۶/۷۷ **	۰/۰۰۰۹ **	۰/۷۹ ns	۰/۰۱ ns	۱	نوع گیاه
۲۷۶۷۷۵/۲۱ **	۳۰۸۷۶۴۱/۲۰ **	۲۳۷۲/۷۱ **	۰/۰۰۰۹ **	۲۸/۴۵ **	۰/۱۶ **	۳	کود
۴۱۸/۸۹ ns	۵۳۴۹۶/۲۰ *	۰/۳۵ ns	۰/۰۰۰۰۹ ns	۰/۴۳ ns	۰/۰۱ ns	۳	نوع گیاه × کود
۲۵۵/۹۹	۱۳۴۸۸/۶۴	۱/۷۵	۰/۰۰۰۰۹	۰/۴۴	۰/۰۱	۱۴	خطا
۳/۲۰	۵/۷۰	۲/۱۱	۶/۷۴	۶/۹۹	-	-	ضرب تغییرات

علائم **، *، ns و به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و عدم معنی‌دار بودن است

جدول ۳. مقایسه میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده در دو نوع لوبیا (چشم‌بلیلی و قرمز) با به کارگیری چهار نوع کود P₀ (نمونه شاهد)، P₁ (زنولیت + لیگاند AcAcEN)، P₂ (زنولیت + با لیگاند HED) و P₃ (سوپر فسفات تریپل)

پروتئین دانه (mg/ml)	کلروفیل برگ	فسفر زه آب (mg/L)	فسفر خاک (mg/L)	گونه‌ها
۴۸۱/۶۵a	۶۳/۵۲a	۰/۱۴ b	۹/۳۹ a	لوبیا قرمز
۴۵۷/۹۰ b	۶۱/۶۹ b	۰/۱۵ a	۹/۷۱ a	لوبیا چشم‌بلیلی
۳۴۱/۲۵b	۵۰/۱۳c	۰/۱۴ b	۹/۷۷ b	تیمار فسفر
۲۷۹/۱۸c	۴۵/۴۸ b	۰/۱۲ c	۶/۸۲ c	P ₀
۶۳۲/۸۱ a	۷۸/۵۵ a	۰/۱۲ c	۱۰/۸۷ a	P ₁
۶۲۵/۸۷ a	۷۶/۲۷ b	۰/۱۹ a	۱۰/۷۳ a	P ₂
				P ₃

در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است. تیمارهای کودی مورد استفاده: P₀ = زنولیت طبیعی، P₁ = زنولیت + AcAcEN، P₂ = زنولیت + HED، P₃ = سوپر فسفات تریپل

از طرف دیگر، مقدار فسفر موجود در خاک برای کود P₂ برابر با ۱۰/۸۷ بود که با مقدار فسفر ۱۰/۷۳ موجود در خاک حاوی سوپر فسفات تریپل (P₃) به‌عنوان یک کود تجاری برابری می‌کند. ظرفیت تبادل کاتیونی بالای زنولیت و همچنین عامل‌دار کردن زنولیت با لیگاند کاتیونی HED موجب شده است که کود P₂ علاوه بر توانایی جذب بالای فسفر، قادر باشد این یون ارزشمند را به‌کندی آزاد کرده و در خاک به تدریج رها سازد. همین امر موجب می‌شود که کود P₂ قابلیت رقابت با کود تجاری سوپر فسفات تریپل را از لحاظ ظرفیت فسفر داشته باشد و در عین حال با

اختصاص یافت که اختلاف این دو کود معادل ۴۲ درصد است (جدول ۳). به تبعیت از این نکته که میزان کلروفیل برگ به صورت تنگاتنگی با فراهمی نیتروژن در ارتباط است [۳۲] و با توجه به نقش کلیدی فسفر در ساختمان آنزیم‌ها [۸] و نقش ژئولیت در کاهش آبیویی عناصر به خصوص نیتروژن (که یکی از عناصر اصلی در ساختمان کلروفیل است) [۱۰] ستنز کلروفیل در استفاده از فسفر-ژئولیت بهبود یافته است. به طوری که مشاهده می‌شود نتایج دلالت بر قرارگیری سوپر فسفات تریپل در رده‌ای پایین‌تر از کود P₂ دارد. در آزمایش‌هایی که بر روی سیب‌زمینی انجام شد [۱۷ و ۵] مشخص شد اگرچه ژئولیت تأثیر معنی‌داری بر کلروفیل این گیاه نداشت، کاربرد آن سبب افزایش ۱۳ درصدی این صفت نسبت به عدم استفاده گردید.

عملکرد دانه

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد اثر نوع گیاه [p≤0/01] و کود فسفات [p≤0/01] به‌طور جداگانه و نیز به‌صورت متقابل [p≤0/05] بر عملکرد دانه معنی‌دار شده است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که کودهای فسفردار به میزان متفاوتی موجب افزایش عملکرد دانه شده‌اند. در تفسیر نتایج به‌دست‌آمده در جنس‌های لوبیای تیمارشده با کودهای فسفردار می‌توان اذعان داشت که لوبیا قرمز در پاسخ به کاربرد کود P₂ نسبت به سایر تیمارها پیشی گرفته و موفق به حصول ۲۸۳۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه شده است. پس از آن کاربرد سوپر فسفات تریپل [P₃] در لوبیا قرمز و لوبیا چشم‌بلبلی با قرارگیری در گروه‌های آماری مشترک به یک میزان در افزایش صفت فوق مؤثر واقع شدند (شکل ۵). علاوه بر آن مشخص گردید که گیاهان تیمار یافته با کود P₁ در هر دو نوع، از عملکرد دانه کمتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بوده‌اند. اختلاف بالاترین و کمترین سطح بسیار چشمگیر و در حدود ۵۰ درصد است (شکل ۵).

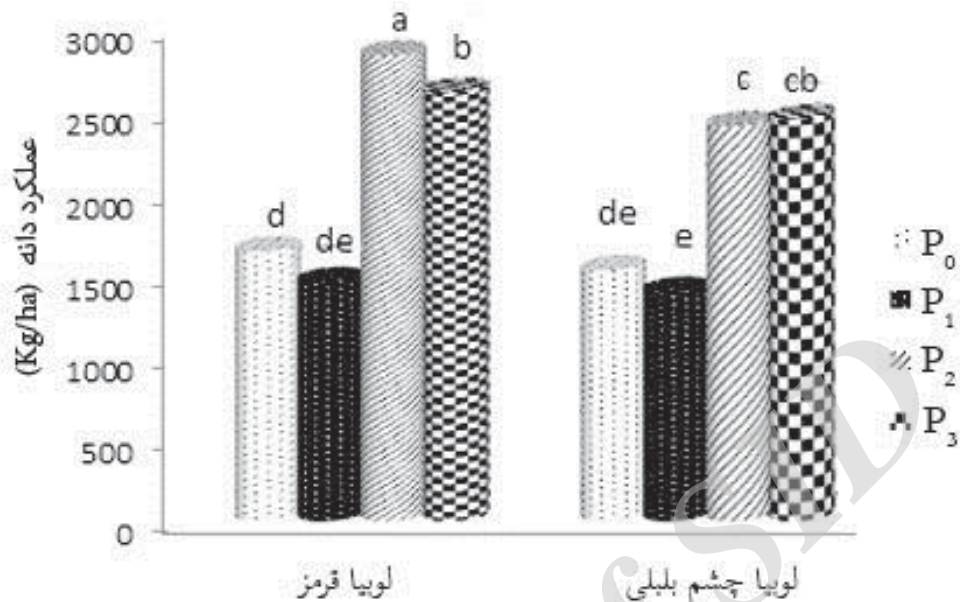
کندره‌سازی فسفر برتری خود را نسبت به این کود نشان دهد.

همان‌طور که مطالعات گسترده قبلی نشان می‌دهد، با توجه به پایین بودن حلالیت فسفر، مصرف بیش از حد این عنصر موجب هدررفت آن و ورود به آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود [۱]. کودهای کند رهاکننده‌ای همچون کود P₂ در پژوهش حاضر، علاوه بر تأمین نیاز غذایی گیاه در طول دوره رشد، به دلیل آزادسازی تدریجی فسفر، مانع از ورود مقادیر اضافی این ترکیبات به منابع آبی زیرزمینی شده و از اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی آن جلوگیری می‌کنند [۱۹].

کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر معنی‌دار بودن [p≤0/01] اثر نوع گیاه و کودهای فسفردار بر میزان کلروفیل برگ گیاه لوبیا است (جدول ۲). اگرچه داده‌ها بر اختلاف معنی‌دار بین گیاهان دلالت دارد، این اختلاف ناچیز بوده و حاکی از برتری ۲/۹ درصدی لوبیا قرمز بر لوبیا چشم‌بلبلی در صفت فوق می‌باشد (جدول ۳). تفاوت در مقدار کلروفیل برگ لوبیا تحت تأثیر نوع گیاه را می‌توان به توان روش‌های 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 ستنز کلروفیل می‌شود [۳].

افزایش میزان کلروفیل در برگ گیاه می‌تواند محققان را در تولید گیاهانی با توان فتوسنتز بالاتر یاری کند. گزارش‌های موجود در این آزمایش نیز در خصوص واکنش کلروفیل برگ لوبیا به استفاده از کودهای فسفردار مبنی بر حصول بالاترین کلروفیل در قرائت اسپد، در گیاهان تیمارشده با کود P₂ می‌باشد. کمترین میزان نیز به کود P₀



شکل ۵. اثر متقابل نوع لویبا و کود فسفر در باربر عملکرد دانه لویبا، P₀: زئولیت بدون گروه عاملی (نمونه شاهد)، P₁: زئولیت + لیگاند AcAcEN، P₂: زئولیت + لیگاند HED و P₃: سوپر فسفات تریپل. برای هر نوع، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

توانایی گیاه در مصرف عناصر و در نتیجه بهبود صفات و افزایش عملکرد شده است [۲۵]. از سوی دیگر با استناد به مطالعات صورت گرفته نیز مشخص شد که کاربرد زئولیت‌ها به همراه اصلاح‌کننده‌های شیمیایی موجب افزایش عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی می‌گردد، به طوری که عملکرد دانه در برنج ۱۳ درصد [۱۴] کلزا ۳۳ درصد [۱۰] و در مطالعه‌ای دیگر ۸۹ درصد افزوده شد [۲۰]. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده شد، کود P₂ تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه لویبا چشم‌بلبلی نداشت. در گزارشی نیز مشاهده گردید که افزایش مقادیر متوسط از کود فسفر (۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار) تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه این گیاه نداشت. این نتیجه نشان داد که فسفر یک فاکتور محدودکننده در مراحل بعدی رشد گیاه است. مقدار بالاتر فسفر به کاررفته در گزارش ذکر شده (۶۰

با توجه به آنکه لویبا قرمز و کود P₂ در اکثر صفات اندازه‌گیری شده بالاترین میزان را دارند، انباشت عناصر غذایی و به تبع آن افزایش عملکرد دانه در این تیمار دور از ذهن به نظر نمی‌رسد، کما اینکه بسیاری از محققان به اثر مثبت فسفر در بهبود صفات و عملکرد گیاهان زراعی اشاره کرده‌اند [۷، ۹ و ۱۱]. اگرچه، این عنصر به راحتی در خاک تثبیت گشته و از دسترس گیاه خارج می‌شود [۲ و ۳۵]، به نظر می‌رسد که کود P₂ از طریق افزایش شدید ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و با ایجاد یک حالت پیوستگی انتخابی برای آلومینیوم و پتاسیم، موجب بهبود ساختمان خاک شده و علاوه بر آن با ساختاری بسیار متخلخل و سطح ویژه بالا، موجب تثبیت عناصر غذایی در بین ساختار خود شده و از طریق رهاسازی تدریجی آن‌ها، فراهمی درازمدت این عناصر را برای گیاه ایجاد کرد و در نهایت سبب افزایش

محققان و در رابطه با گونه‌های گیاهی دیگر نیز به اثبات رسیده است [۶].

نتیجه گیری

پژوهش حاضر به طور گویا نشانگر تأثیر مثبت نانو کود زئولیت عامل دار شده با لیگاند جدید و فسفات در کاهش آبشویی فسفات از گلدان و همچنین افزایش عملکرد لوبیا بود. نتایج به طور کلی حاکی از آن است که نانو زئولیت عامل دار شده با لیگاند جدید به دلیل داشتن بار مثبت بر روی اتم‌های نیتروژن و در نتیجه توانایی برای ایجاد برهم‌کنش‌های الکتروستاتیکی با آنیون‌های فسفات، قادر به جذب و آزادسازی فسفر مورد نیاز گیاه به طور مؤثر و تدریجی است و موجب بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی لوبیا می‌گردد. سه کود زئولیتی مختلف در پژوهش حاضر استفاده شد که در این میان، کود زئولیتی نانوساختار عامل دار شده با لیگاند کاتیونی (کود P_2) بیشترین تأثیر را بر خصوصیات رشدی گیاه لوبیا داشت. اثربخشی این کود بر پارامترهای رشد گیاه و میزان جذب فسفر توسط گیاه با کود تجاری و رایج سوپر فسفات تریپل مقایسه شد. نتایج نشان داد که میزان جذب فسفر توسط گیاه و عملکرد دانه در گیاه لوبیا قرمز کشت شده در حضور کود P_2 به طور معنی‌داری بالاتر از کود تریپل فسفات بود و در خصوص پروتئین دانه نیز نتایج دو کود قابل مقایسه بود. علاوه بر این، کود معرفی شده در پژوهش حاضر میزان آبشویی فسفات کمتری از کود تجاری سوپر فسفات تریپل از خود نشان داد که با توجه به آلودگی منابع آب به فسفر، این کود می‌تواند به عنوان راه حلی به منظور برطرف کردن این معضله زیست‌محیطی تلقی شود.

کیلوگرم در هکتار) منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد که این نشان می‌دهد که فسفر مسئول غده‌زایی^۱ در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی است [۳۸]. در اینجا نیز عدم بهبود معنی‌دار عملکرد دانه در گیاه چشم‌بلبلی را می‌توان به ناکافی بودن فسفر مورد نیاز برای افزایش غده‌زایی گیاه نسبت داد. این احتمال وجود دارد که با افزایش میزان کود P_2 و P_3 این تفاوت به صورت معنی‌داری بروز کند.

پروتئین دانه

نتایج داده‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد اثر نوع [p≤0/01] و کود فسفات [p≤0/01] به طور جداگانه بر پروتئین دانه معنی‌دار شد. با توجه به آنکه افزایش پروتئین در لوبیا به منظور بهبود کیفیت دانه به عنوان عاملی حائز اهمیت مطرح می‌شود، به نظر می‌رسد که استفاده از کود P_2 و P_3 در بهبود این صفت در هر دو نوع موفق عمل نموده‌اند. با وجود این، لوبیا قرمز در پاسخ مناسب به کاربرد دو کود ذکر شده توانسته با پیشی گرفتن از سایر تیمارها در بالاترین میزان قرار گیرد. شایان ذکر است که لوبیا چشم‌بلبلی دارای کمترین تأثیر پذیری در کاربرد کود P_1 بوده، به طوری که اختلاف کود P_1 و P_2 غیر قابل چشم‌پوشی و در حدود ۵۸ درصد است (جدول ۳). هرگونه اثرگذاری بر جذب و سوخت و ساز نیتروژن می‌تواند اثر مستقیم بر سرعت سنتز اسید نوکلئیک و پروتئین‌ها به همراه داشته باشد. بنابراین، با توجه به آنکه قابلیت دسترسی به فسفر در خاک بر میزان جذب نیتروژن و استفاده گیاه از آن مؤثر بود [۳۹] و از سوی دیگر تأثیر زئولیت بر جلوگیری از آبشویی نیتروژن و افزایش نیتروژن قابل دسترس گیاه به اثبات رسیده است [۱۰ و ۱۱] این مکانیسم سبب شد تا پروتئین دانه با کاربرد فسفر - زئولیت بهبود یابد. افزایش میزان پروتئین به موازات کاربرد فسفر و همچنین زئولیت توسط سایر

1. nodulation

منابع

۱. افروس ع ش، لیاقت ع م، ستوده‌نیا ع و بشلیده ح (۱۳۸۵). آلودگی آب‌های زیرزمینی به وسیله کودهای مصرفی کشاورزی (مطالعه موردی قزوین). همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، ۱۲ الی ۱۴ اردیبهشت.
۲. جلالی م و کلاهچی ز (۱۳۸۴). فراهمی فسفر در خاک در اثر افزودن مقادیر مختلف کود فسفر در خاک‌های استان همدان. علوم آب و خاک، ۱۹(۱): ۶۰-۵۳.
۳. حسینی ابری س ع، کاوه م ا و صالح پرهیزگار م (۱۳۸۶). بررسی ساختار شیمیایی ژئولیت‌های طبیعی و مزایای استفاده از آنها به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک‌های کشاورزی. علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی (jsiau)، ۶۴(۲): ۱۱-۱۸.
۴. حسینی ابری س ع، کاوه م و صالح پرهیزگار م (۱۳۸۶). بررسی تأثیر سوپر فسفات تریپل و ژئولیت بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه سیب زمینی. علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی (JSIAU)، ۶۴: ۱۱-۱۸.
۵. حیدری م، موسوی نیک م و میر ن (۱۳۹۴). تأثیر نانو ژئولیت‌های عامل‌دار شده بر کاهش آبشویی نیترات و خصوصیات رشدی گیاه لوبیا. نخستین کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در بخش علوم زیستی و کشاورزی. تهران.
۶. خاشعی سیوکی ع، کوچک زاده م و شهابی فر م (۱۳۸۷). تأثیر کاربرد ژئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت و رطوبت خاک بر اجزای عملکرد ذرت. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۲(۲): ۶۷-۵۶.
۷. دادخواه ع م، امینی دهقی م و کافی م (۱۳۹۱). بررسی تأثیر سطوح مختلف کودهای نیتروژن و فسفر بر عملکرد کمی و کیفی بابونه آلمانی. پژوهش‌های زراعی ایران، ۱(۲): ۳۲۶-۳۲۱.
۸. رهنما ا (۱۳۹۱). فیزیولوژی گیاهی. انتشارات پوران پژوهش. ۳۸۹ صفحه.
۹. زارع‌زاده ع، میرشمسی م ر، میرحسینی ع و عرب‌زاده م ر (۱۳۹۱). اثر کودهای نیتروژن و فسفر بر عملکرد بذر و اسانس گیاه دارویی انیسون (*Pimpinella anisum*). به‌زراعی نهال و بذر، ۲۸(۲): ۳۶۳-۳۷۱.
۱۰. غلامحسینی م، آقا علیخانی م و ملکوتی م ج (۱۳۷۸). تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و ژئولیت بر عملکرد کمی و کیفی کلزای پاییزه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۵(۱۲): ۷۵-۵۵.
۱۱. قبادی م، جهانبین ش، اولیایی ح ر، مطلبی فرد ر و پرویزی خ (۱۳۹۲). تأثیر کودهای زیستی فسفر بر عملکرد و جذب فسفر در سیب زمینی. دانش آب و خاک. ۲۳(۲): ۱۳۸-۱۲۵.
۱۲. فرهودی ر و مکی‌زاده نفتی (۱۳۹۱). ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر رشد و نمو، عملکرد، میزان اسانس و درصد کامازولن گیاه دارویی سه رقم بابونه (*Matricaria recutita*) در شرایط خوزستان. پژوهش‌های زراعی ایران، ۱(۴): ۷۴۱-۷۳۵.
۱۳. کاظمیان ح (۱۳۸۳). مقدمه‌ای بر ژئولیت‌ها، کانی‌های سحرآمیز. انتشارات بهشت.
۱۴. کاوسی م و رحیمی م (۱۳۸۲). تأثیر کاربرد ژئولیت بر عملکرد برنج. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه گیلان.
۱۵. کوچکی ع، راشد محصل، م ح، نصیری م و صدرآبادی

23. Bhattacharyya T, Pal DK and Deshpande S B (1993). Genesis and transformation of minerals in the formation of red (Alfisols) and black (Inceptisols and Vertisols) soils on deccan basalt in the western Ghats, India. *European Journal of Soil Science*. 44(1): 159-171.
24. Bray RH, Kurtz LT (1945 Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*. 59: 39-46.
25. Chapman, SC and Barreto HJ (1997) Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agronomy Journal* 89:557-562.
26. Costes JP, Cros G, Darbieu MH and Laurent JP (1982) The non-template synthesis of novel non-symmetrical, tetradentate Schiff bases. Their nickel (II) and cobalt (III) complexes. *Inorganica Chimica Acta*. 60: 111-114.
27. Dionisiou NS, Matsi T and Misopolinos ND (2013) Phosphorus Adsorption-Desorption on a Surfactant-Modified Natural Zeolite: A Laboratory Study. *Water Air Soil Pollution*. 224: 1362-1372.
28. Farjoo A, Sawada JA and Kuznicki SM (2015) Manipulation of the pore size of clinoptilolite for separation of ethane from ethylene. *Chemical Engineering Science*. 138: 685-688.
29. Gebeyehu S (2006) Physiological Response to Drought Stress of Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Genotypes Differing in Drought Resistance. *Cuvillier Verlag Publications*.
30. Haggerty GM and Bowman RS (1994) Sorption of inorganic anions by organo-zeolites. *Environmental Science and Technology*. 28: 452-458.
۱۶. مجنون حسینی، ن (۱۳۷۲). حبوبات در ایران. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران، تهران. ۲۴۰ صفحه.
۱۷. مدنی ح، مقیمی آ و ساجدی ن (۱۳۸۹). تأثیر مقادیر مختلف زئولیت و دور آبیاری بر عملکرد و برخی صفات سیب زمینی. یافته‌های نوین کشاورزی، ۴(۳): ۲۸۹-۲۸۱.
۱۸. مرادی پ، حسن دخت م ر و کاشی ع (۱۳۸۹). تنوع ژنتیکی در برخی صفات توده‌های بومی شنبليله ایرانی. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف‌های هرز، ۱۶(۴): ۷۰-۵۵.
۱۹. مولایی ف، اصغری ح و قربانی ه (۱۳۹۱). بررسی اثر برهم‌کنش زئولیت و قارچ مایکوریزا بر آبشویی نیتروژن و فسفر خاک تحت کشت شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum*) ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.
۲۰. نصیری آ، دلخوش ب، شیرانی راد ا ح و نورمحمدی ق (۱۳۹۱). بررسی اثر مقادیر مختلف پتاسیم و زئولیت بر صفات کمی و کیفی گیاه کلزا در رژیم‌های مختلف آبیاری. تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی، ۴(۳): ۴۹-۵۷.
21. Bansawal NK, Rayalu SS, Labhasetwar NK, Juwarkar AA and Devotta S (2006) Surfactant-Modified Zeolite as a Slow Release Fertilizer for Phosphorus. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*. 54: 4773-4779.
22. Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72: 248-254.

31. Jiao W, Chen W, Chang AC and Page AL (2012). Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: A review. *Environmental Pollution*. 168: 44–53.
32. Kays SJ (2011) *Cultivated Vegetables of the World: A Multilingual Onomasticon*, Springer Science & Business Media Publications.
33. Korkuna O, Lebeda R, Skubiszewska-Zieba J, Vrublevs'ka, T, Gun'ko, VM and Ryczkowski J (2006). Structural and physicochemical properties of natural zeolites: clinoptilolite and mordenite. *Microporous and Mesoporous Materials*. 87: 243–254.
34. Kottegoda N, Munaweera I, Madusanka N, and Karunaratne AV (2011) A Green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Journal of Current Science*. 101: 73-78.
35. Kovar JL and Barber V (1998) Phosphorus supply characteristics of 33 soils as influenced by seven rates of phosphorus addition. *Soil Science Society of American Journal*. 52: 160-165.
36. Lu J, Choi E, Tamanoi F and Zink J I (2008). Light activated nanoimpeller-controlled drug release in cancer cells. *Small*, (4): 421–426.
37. Ramesh K, Biswas A, Somasundaram K and Subba Rao A (2010). Nanoporous zeolites in farming: current status and issues ahead. *Journal of Current science*. 99: 760-764.
38. Singh A, Baoule AL, Ahmed HG, Dikko AU, Aliyu U, Sokoto MB, Alhassan J, Musa M and Haliru B (2011) Influence of phosphorus on the performance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) varieties in the Sudan savanna of Nigeria. *Agricultural Science*. 2: 313-317.
39. Tavasolee AR and Aliasgharzad N (2009). Effect of Arbuscular Mycorrhizal fungi on nutrient uptake and Onion yield in a saline soil at field conditions. *Water and Soil Science*. 145: 158.
40. Wingenfelder U, Gerhardfurrer C and Schulin R (2005). Removal of heavy metals from mine waters by natural zeolites. *Environmental Science and Technology*. 39: 4606-4613.
41. Xiubin H and Zhanbin H (2001). Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Resources, Conservation and Recycling*. 34: 45-52.
42. Yasuda H, Takuma K, Fukuda T, Suzuki J and Fukushima Y (1998) Effects of zeolite amendment on water and salt characteristics in soil. *Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, Bangkok, Thailand*. - 842-837.