واکنش برخی شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن و محتوای پروتئین دانه گندم به سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن

حسن نوریانی
گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه پیام نور، ایران.
نویسنده مسئول*:hnouriyani@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۰۸/۰۹ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳**

چکیده

به‌منظور ارزیابی واکنش برخی شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن و محتوای پروتئین دانه گندم به سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن آزمایشی بر اساس طرح کرت‌های یکبار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۴۰۱ به‌صورت مزرعه‌ای در منطقه دزفول اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل کاربرد زئولیت طبیعی در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) به‌عنوان کرت‌های اصلی و همچنین چهار سطح مصرف نیتروژن (۵۰ ، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) از منبع کود اوره به‌عنوان کرت‌های فرعی بود. نتایج آزمایش نشان داد اثر تیمارهای زئولیت، نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها بر تمامی صفات موردبررسی معنی‌دار بود. بر اساس مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها، بیش‌ترین میزان کارآیی زراعی (۲۵/۰۲)، کارآیی فیزیولوژیک (۴۲/۱۰)، کارآیی جذب (۰/۹۳)، کارآیی بهره‌وری (۳۹/۱۵) برحسب کیلوگرم بر کیلوگرم و بازیافت ظاهری (۵۹/۰۷) و شاخص برداشت نیتروژن (۷۵/۰۳) برحسب درصد مربوط به تیمار ۱۲ تن در هکتار زئولیت به همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین مقادیر آن‌ها به ترکیب تیماری عدم مصرف زئولیت (شاهد) و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختصاص داشت. حداکثر محتوای پروتئین دانه (۱۳/۸۷ درصد) در تیمار ۱۲ تن در هکتار زئولیت به همراه ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد که نسبت به حداقل میزان آن (۸/۵۰ درصد) در تیمار شاهد و مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۶۳/۱۷ درصد افزایش نشان داد. بر اساس نتایج این آزمایش، می‌توان کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را مؤثرترین تیمار به‌عنوان ماده افزودنی به خاک جهت افزایش شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: بازیافت ظاهری، شاخص برداشت نیتروژن، کارآیی جذب و کارآیی زراعی.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

مقدمه

غلات ازنظر تنوع و تولید بیش‌ترین سهم را در تغذیه انسان و دام دارند. غالبیت کشت این محصولات به‌عنوان مرکز ثقلی عمل کرده و سبب شده است که کوشش‌های تحقیقاتی و تولیدی زیادی بر روی آن‌ها انجام شود تا نیاز غذایی جهان تأمین گردد. گندم نان (*Triticum aestivum* L.) بی‌شک در بین گیاهانی که به‌عنوان منبع غذایی در سطح گسترده‌ای کشت می‌شوند، نقش عمده‌ای ایفا کرده و احتمالاً محوری برای شروع کشاورزی بوده است. این گیاه به دلیل دارا بودن ویژگی‌های ژنتیکی متفاوت، انعطاف‌پذیری فنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌ها و داشتن ارقام مختلف، تقریباً در تمام دنیا کشت می‌گردد (مجنون حسینی، ۱۳۹۹). جذب و متابولیسم عناصر غذایی، فتوسنتز و تنفس، تسهیم مواد فتوسنتزی، پیری برگ‌ها و روابط آبی گیاه، ازجمله فرآیندهای مؤثر بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی هستند. نیتروژن یکی از عناصر اصلی و موردنیاز برای رشد و نمو گیاهان بوده و سرعت و میزان رشد آن‌ها غالباً به نیتروژن موجود در خاک بستگی دارد. نیتروژن در ترکیب شیمیایی گیاهان مثل پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، کلروفیل، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها و کوآنزیم‌ها اهمیت بسزایی دارد. هنگامی‌که تأمین نیتروژن در گیاهان عادی باشد، مواد فتوسنتزی بیشتر و عملکرد بیشتری به دست خواهد آمد (امام و همکاران، ۱۴۰۱). ازآنجایی‌که نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی در تولید گیاهان زراعی به شمار می‌آید و کمبود آن تقریباً در همه‌جا وجود دارد، بنابراین لازم است مصرف و جذب آن از کارآیی بیشتری برخوردار باشد تا بدین‌وسیله علاوه بر کاهش پتانسیل آلودگی محیط‌زیست، بخشی از هزینه‌های تولید در کشاورزی نیز کاسته شود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۸). تقریباً نیمی از مصرف جهانی کود نیتروژن در مزارع برنج، گندم و ذرت اعمال می‌شود و اغلب در مقادیر بیش از حد استفاده می‌شود تا از تأمین نیتروژن کافی برای رشد محصول اطمینان حاصل شود. با این حال، کاربرد بیش از حد کود نیتروژن (و اغلب ناهماهنگ با نیاز گیاه) به گونه‌ای است که در سطح جهان بیش از ۵۰ درصد از کود نیتروژن بدون استفاده باقی می‌ماند (Yu *et al*., 2022). با توجه به این‌که نیتروژن خاک نمی‌تواند برای نیاز گیاهان کافی باشد، نیتروژن موردنیاز گیاهان با کاربرد کودهای نیتروژن تأمین می‌شود. مدیریت صحیح کودهای نیتروژنی می‌تواند سبب افزایش کارآیی آن‌ها در خاک‌های کشاورزی و همچنین حفظ سلامت محیط‌زیست گردد. کود اوره پرمصرف‌ترین کود نیتروژنی مورداستفاده در تولید گیاهان زراعی است؛ بااین‌حال به دلیل هیدرولیز سریع اوره به آمونیوم و سپس تبدیل آن به نیترات، هدر رفت آن افزایش‌یافته و سبب کاهش فراهمی نیتروژن برای گیاه در زمان نیاز به آن می‌باشد (Souza *et al*., 2019). بهبود شرایط خاک از نظر فراهمی و جذب عناصر غذایی و درنهایت توسعه هر چه بیشتر ریشه در پروفیل خاک، ازجمله عوامل مؤثر در افزایش کارآیی جذب و مصرف نیتروژن در گیاهان به شمار می‌آید. نتایج برخی پژوهش‌های انجام‌شده در گندم نشان داد که افزایش سطح مصرف نیتروژن باعث کاهش کارآیی مصرف نیتروژن، کارآیی زراعی، کارآیی فیزیولوژیک،

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

کارآیی جذب و بهره‌وری نیتروژن، بازیافت ظاهری و شاخص برداشت نیتروژن شده است (سیدی و حمزه‌ئی، ۱۴۰۰؛ هوشمندی و همکاران، ۱۴۰۰؛ کشاورز و عباس زاده، ۱۳۹۸؛ توکلی کاخکی و همکاران، ۱۳۹۷؛ خلیل زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ خیاط و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین، کاهش کارآیی جذب و کارآیی مصرف نیتروژن با افزایش مصرف نیتروژن در گلرنگ نیز گزارش گردیده است (میرزاشاهی و نورقلی‌پور، ۱۳۹۹). چنین نتایج مشابهی از آزمایش بر روی گیاهانی مانند برنج و جو نیز گزارش‌شده است (درزی نفت‌چالی و مختصی بیدگلی، ۱۴۰۰؛ عطار زاده و همکاران، ۱۴۰۲). یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر برای بهبود کارآیی جذب نیتروژن در کود اوره و کاهش هدر رفت نیتروژن در خاک مورد توجه قرارگرفته، استفاده از مواد معدنی طبیعی مانند زئولیت در اراضی کشاورزی بوده است (Elrys *et al*., 2021). زئولیت‌ها خانواده بزرگی از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی را تشکیل می‌دهند. این ترکیبات کریستال‌های آلومینوسیلیکات هیدراته با شبکه سه‌بعدی می‌باشند. اسکلت باز آن‌ها شامل کانال‌ها و حفراتی حاوی کاتیون‌ها و مولکول‌های آب است و به دلیل تحرک این کاتیون‌ها، پدیده تبادل یونی که یکی از ویژگی‌های زئولیت‌ها است، میسر می‌شود (Mihok *et al*., 2021). زئولیت ظرفیت نگهداری آب بالایی داشته و می‌تواند با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در افزایش رشد و عملکرد گیاهان مؤثر باشد. این ترکیبات به دلیل سطح ویژه بالا می‌تواند با نگهداشت اوره در ساختار منافذ خود، آبشویی آن در خاک اطراف ریشه را کاهش داده و سبب می‌شود اوره کمتر در اختیار آنزیم اوره آز قرار گیرد. بدین ترتیب زئولیت سبب به تأخیر انداختن تبدیل اوره به آمونیوم می‌شود (Jumadi *et al.,* 2020). همچنین، به دلیل دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بالا و توانایی بالای جذب آمونیوم، می‌تواند آمونیوم را جذب نموده و علاوه بر کاهش تصعید آمونیوم، با کاهش نرخ تبدیل آمونیوم به نیترات، سبب کاهش آبشویی نیترات در خاک شود (Wu *et al.,* 2016). گزارش کرده‌اند کاربرد زئولیت به دلیل داشتن سیلیسیم و اثر هم‌افزایی سیلیسم و نیتروژن در خاک سبب افزایش جذب نیتروژن توسط گیاهان و بهبود عملکرد آن‌ها می‌شود (Ashfaque *et al*., 2017).

در آزمایشی بر روی گندم، افزایش کارآیی جذب و شاخص برداشت نیتروژن درنتیجه استفاده از زئولیت به همراه کود شیمیایی گزارش‌شده است (Kakabouki *et al*., 2024). افزایش نیتروژن و ظرفیت تبادل کاتیونی در کشت برنج در اثر استفاده همزمان زئولیت و کود شیمیایی نیز گزارش گردیده است (Wulandari *et al*., 2018). همچنین، افزایش کارآیی مصرف نیتروژن در گندم و بازیافت ظاهری در برنج با کاربرد زئولیت به همراه کودهای آلی و شیمیایی توسط برخی پژوهش‌گران نیز بیان‌شده است (خوراشاهی، ۱۳۹۵؛ Kavoosi, 2007). بنابراین با توجه به مزایای کاربرد زئولیت در خاک، این پژوهش به‌منظور بررسی اثر زئولیت در سطوح مختلف نیتروژن بر شاخص‌های کارآیی نیتروژن و محتوای پروتئین دانه گندم طراحی گردید.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

مواد و روش‌ها

این تحقیق بر اساس طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت مزرعه‌ای در جنوب شرق دزفول، واقع در شمال استان خوزستان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۹ دقیقه شمالی با ارتفاع ۴۸ متر از سطح دریا مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد زئولیت طبیعی در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) به‌عنوان کرت‌های اصلی و چهار سطح مصرف نیتروژن (۵۰ ، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) از منبع کود اوره به‌عنوان کرت‌های فرعی بود. عملیات خاک‌ورزی شامل شخم و دو دیسک عمود بر هم جهت تسطیح و خرد کردن کلوخه‌ها انجام شد. پنجاه‌درصد تیمارهای کودی نیتروژن به‌صورت پایه و قبل از دیسک دوم به همراه تیمارهای زئولیت به‌طور یکنواخت در مزرعه توزیع و سپس به‌وسیله دیسک با خاک مخلوط گردید. پنجاه‌درصد کود نیتروژن باقیمانده نیز به‌صورت سرک در دو مرحله، یکی در ابتدای مرحله پنجه‌زنی (کد ۲۱ زادوکس) و بعدی در مرحله ساقه رفتن (کد ۳۲ زادوکس) اعمال شد. بر اساس نتایج آزمون خاک محل آزمایش (جدول ۱) و توصیه‌های کودی، مقادیر کودهای فسفر و پتاس مورد نیاز، برحسب ۷۰ کیلوگرم فسفر (P_2O_5) و ۱۵۰ کیلوگرم پتاس (K_2O) در هکتار، به‌صورت پایه و قبل از دیسک دوم به‌صورت یکنواخت در مزرعه توزیع و به‌وسیله دیسک با خاک مخلوط گردید.

جدول ۱: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	عمق خاک (سانتی متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	اسیدیته (گل اشباع)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
سیلتی لوم	۳۰-۰	۰/۸۶	۰/۰۵۹	۱۰/۴	۱۸۳	۷/۷۴	۱/۱۷

در این پژوهش، هر کرت شامل شش خط کشت به طول هفت متر، فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع اعمال شد. در این آزمایش از گندم رقم چمران دو (تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۸۹ سانتی‌متر، متحمل به خوابیدگی، زودرسی نسبی، میانگین وزن هزار دانه ۴۱ گرم، کیفیت نانوایی بسیار خوب) استفاده و تاریخ کشت آن ۲۰ آذرماه بود. اولین آبیاری کرت‌های آزمایشی پس از کاشت انجام و آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز گیاه صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز و دیگر آفات احتمالی، در صورت نیاز در مرحله داشت انجام گردید. لازم به ذکر است که در هر تکرار یک سطح صفر نیتروژن (بدون مصرف کود نیتروژن) به‌عنوان شاهد، جهت محاسبه و برآورد میزان شاخص‌های کارآیی نیتروژن در نظر گرفته شد که در تجزیه واریانس دخالت داده نشد. در مرحله رسیدگی کامل، پس از حذف یک متر حاشیه از بالا و پایین دو خط میانی، محصول هر کرت در سطحی معادل ۱/۲ مترمربع کف بُر گردید. محصول برداشت‌شده از دو خط

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

مذکور پس از کوبیدن، دانه‌ها از سنبله جدا و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی آن‌ها برآورد گردید (مندنی و همکاران، ۱۳۹۸). در مرحله رسیدگی کامل جهت تعیین غلظت نیتروژن دانه و کاه اندام‌های رویشی گیاه (برگ و مابقی اندام‌های هوایی) از روش کجدال استفاده گردید و سپس محتوای پروتئین دانه از حاصل‌ضرب درصد نیتروژن دانه در ضریب ۵/۷ محاسبه شد (آناقلی و عزت احمدی، ۱۳۸۵). به‌منظور ارزیابی کارآیی زراعی نیتروژن (AE)، کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن (PE)، کارآیی جذب نیتروژن (NUpE) و کارآیی بهره‌وری نیتروژن (NUtE) برحسب کیلوگرم بر کیلوگرم و همچنین کارآیی بازیافت ظاهری (ARE) و شاخص برداشت نیتروژن (NHI) برحسب درصد به ترتیب از رابطه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ استفاده گردید (Limon-Ortega et al., 2008 ؛ Lopez-Bellido et al., 2005 ؛ Moll et al., 1982):

رابطه ۱: AE = (میزان عرضه نیتروژن خاک) / (عملکرد دانه تیمار شاهد – عملکرد دانه تیماری کودی)

رابطه ۲: PE = (جذب نیتروژن شاهد–جذب نیتروژن تیمار کودی) / (عملکرد زیستی شاهد – عملکرد زیستی تیمار کودی)

رابطه ۳: NUpE = (میزان عرضه نیتروژن خاک) / (کل نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه)

رابطه ۴: NUtE = (کل نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه / عملکرد دانه)

رابطه ۵: ARE = ۱۰۰× (میزان عرضه نیتروژن خاک) / (جذب نیتروژن تیمار شاهد – جذب نیتروژن تیمار کودی)

رابطه ۶: NHI = ۱۰۰× (کل نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه / نیتروژن دانه)

که میزان عرضه نیتروژن خاک (N_{supply}): شامل مجموع نیتروژن کودی، نیتروژن حاصل از فرآیند معدنی شدن، نیتروژن معدنی باقی‌مانده در خاک و نیتروژن حاصل از باران می‌باشد. به پیشنهاد Thuy و همکاران (۲۰۰۸) کل نیتروژن جذب‌شده گیاه در تیمار شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن) معادل نیتروژن حاصل از فرآیند معدنی شدن نیتروژن آلی، نیتروژن حاصل از باران و نیتروژن باقی‌مانده در خاک در هر تیمار کودی لحاظ شد.

کلیه محاسبات آماری و آنالیز واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.3) روی داده‌های آزمایش انجام گردید. مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی، بر اساس آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

کارآیی زراعی نیتروژن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای زئولیت ($P\leq ۰/۰۵$)، نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها ($P\leq ۰/۰۱$) بر کارآیی زراعی نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای آزمایش مشخص نمود که بیش‌ترین میزان کارآیی زراعی نیتروژن (۲۵/۰۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) در تیمار مصرف ۱۲ تن زئولیت و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن (۱۲/۰۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار عدم مصرف زئولیت (شاهد) و مصرف ۲۰۰

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (جدول ۳). Zheng و همکاران (۲۰۱۸) اعلام کردند، کارآیی زراعی در سطوح بالای مصرف نیتروژن، ممکن است در اثر کاهش جذب نیتروژن به‌وسیله گیاه و یا عدم استفاده مؤثر از آن کاهش یابد. همچنین برخی علت کاهش کارایی زراعی نیتروژن در اثر افزایش مصرف کود نیتروژن را با افزایش سرعت از دست رفتن عنصر مذکور از طریق آبشویی و تصعید و یا عدم جذب مؤثر آن توسط گیاه مرتبط دانستند (Doyle and Holford, 2005). کاهش کارآیی زراعی نیتروژن در اثر افزایش میزان نیتروژن در مطالعات دیگر نیز گزارش‌شده است (موسوی و ذاکر نژاد، ۱۳۹۹). در مقابل، به نظر می‌رسد که زئولیت با بهبود ساختمان خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب، جذب نیتروژن توسط ریشه را تسهیل کرده و این امر منجر به افزایش عملکرد دانه در واحد نیتروژن مصرفی (کارآیی زراعی) گردید.

کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس این تحقیق نشانگر آن است کارآیی فیزیولوژیک که توانایی گیاه زراعی را در استفاده از نیتروژن به‌منظور تولید عملکرد نشان می‌دهد، تحت اثر سطوح مختلف زئولیت ($P\leq ۰/۰۵$) و نیتروژن ($P\leq ۰/۰۱$) و برهم‌کنش آن‌ها ($P\leq ۰/۰۵$) قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کارآیی فیزیولوژیک به ترتیب در تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به میزان ۴۲/۱۰ کیلوگرم بر کیلوگرم و تیمار عدم مصرف زئولیت و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به میزان ۲۸/۰۳ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل گردید (جدول ۳). کاهش کارآیی فیزیولوژیک در سطوح بالای نیتروژن را می‌توان به افزایش بیش‌تر نیتروژن موجود در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به افزایش تولید محصول توسط آن‌ها دانست. به‌عبارت‌دیگر، به نظر می‌رسد که در سطوح بالای نیتروژن، گیاه تمایل به ذخیره نیتروژن در برگ‌ها و ساقه‌ها را دارد، اما این نیتروژن لزوماً به تولید بیش‌تر زیست‌توده یا دانه تبدیل نمی‌شود. نتایج مشابهی در خصوص کاهش کارآیی فیزیولوژیک با افزایش نیتروژن توسط دیگر محققان نیز گزارش‌شده است (هوشمندی و همکاران، ۱۴۰۰؛ کشاورز و عباس زاده، ۱۳۹۸). این در حالی است که با افزایش میزان زئولیت، کارآیی فیزیولوژیک مصرف نیتروژن افزایش یافت. اثر مثبت زئولیت در صفت مذکور را می‌توان به افزایش عملکرد در ازای افزایش جذب نیتروژن دانست.

کارآیی جذب نیتروژن

بر اساس نتایج این تحقیق، تفاوت بین سطوح مختلف زئولیت، نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها از لحاظ آماری ($P\leq ۰/۰۱$) بر کارآیی جذب نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای آزمایش نشان داد که بیش‌ترین میزان جذب نیتروژن (۰/۹۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) به تیمار ۱۲ تن زئولیت و مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن (۰/۷۴ کیلوگرم بر کیلوگرم) به تیمار عدم مصرف زئولیت (شاهد) و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعلق داشت (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف نیتروژن، کارآیی جذب نیتروژن کاهش یافت.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن و محتوای پروتئین دانه گندم تحت تأثیر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		کارآیی زراعی نیتروژن	کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن	کارآیی جذب نیتروژن	کارآیی بهره‌وری نیتروژن	کارآیی بازیافت ظاهری	شاخص برداشت نیتروژن	محتوای پروتئین دانه
تکرار	۲	۴۸/۲۷۰۸۴	۴۶/۹۳۷۵۰	۰/۰۰۷۹۶	۳۵۳/۲۵۰۰۰	۱۲۳/۲۷۰۸۳	۵۳/۰۸۳۳۲	۱/۲۰۰۲۱
زئولیت	۳	۲۶/۶۳۱۹۳*	۳۰/۷۴۳۰۶*	۰/۰۹۹۸۵**	۲۸/۹۶۵۲۸*	۶۱/۸۵۴۱۷**	۷۸/۱۸۷۵۰**	۷/۳۷۱۹۵**
خطای (a)	۶	۵/۴۶۵۲۸	۶/۰۷۶۳۹	۰/۰۱۰۰۹	۳/۷۷۸۷۶	۶/۲۷۱۸۴	۵/۰۸۴۲۲	۰/۲۵۵۴۷
نیتروژن	۳	۱۶۷/۴۰۹۷۲**	۲۶۶/۲۴۳۰۵**	۰/۰۵۲۱۶۸**	۳۴۴/۵۷۶۳۹**	۱۹۶/۸۵۴۱۷**	۸۸۸/۴۶۵۲۸**	۳۲/۵۵۱۳۹**
زئولیت × نیتروژن	۹	۶/۸۷۲۶۸**	۵/۲۲۴۵۴*	۰/۰۱۱۹۶**	۵/۵۹۴۹۱**	۷/۹۶۵۲۸**	۴/۱۸۷۵۱*	۰/۲۸۲۵۰۴**
خطای (b)	۲۴	۱/۹۴۵۷۰	۲/۱۲۵۰۱	۰/۰۰۳۵۵	۱/۵۹۰۲۸	۲/۱۰۴۱۷	۱/۶۹۴۴۲	۰/۰۸۳۸۹
ضریب تغییرات (CV)		۷/۷۴	۴/۱۳	۶/۹۸	۳/۹۶	۲/۸۹	۳/۱۵	۲/۶۷

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش زئولیت و نیتروژن بر شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن و محتوای پروتئین دانه گندم

سطوح تیمارها		کارآیی زراعی نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارآیی جذب نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارآیی بهره‌وری نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارآیی بازیافت ظاهری (درصد)	شاخص برداشت نیتروژن (درصد)	محتوای پروتئین دانه (درصد)
زئولیت (تن در هکتار)	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)							
Z_0	N_{50}	۲۰/۳۳ cd	۳۹/۰۲ bcd	۰/۸۹ c	۳۵/۳۱ bc	۵۲/۰۱ cd	۷۰/۰۳ ef	۸/۵۰ h
	N_{100}	۱۸/۰۰ de	۳۶/۰۱ ef	۰/۸۱ ef	۳۲/۴۰ de	۴۹/۰۲ ef	۷۱/۲۱ de	۹/۲۱ g
	N_{150}	۱۵/۰۲ fg	۳۲/۰۰ hi	۰/۷۸ f	۲۸/۰۰ gh	۴۷/۰۳ gh	۶۳/۰۱ i	۱۰/۴۲ ef
	N_{200}	۱۲/۰۱ h	۲۸/۰۳ j	۰/۷۴ g	۲۳/۰۳ j	۴۳/۲۰ i	۵۱/۳۵ l	۱۲/۶۰ c
Z_4	N_{50}	۲۱/۰۰ bc	۴۰/۱۰ abc	۰/۹۱ ab	۳۶/۱۲ bc	۵۳/۰۴ c	۷۲/۰۱ de	۹/۲۴ g
	N_{100}	۱۹/۰۱ cd	۳۷/۰۵ de	۰/۸۳ e	۳۴/۳۳ cd	۵۰/۰۳ de	۷۳/۱۳ d	۹/۵۰ g
	N_{150}	۱۶/۰۳ ef	۳۳/۰۲ gh	۰/۷۹ f	۲۹/۳۴ g	۴۸/۶۷ g	۶۴/۱۰ hi	۱۰/۸۷ e
	N_{200}	۱۳/۰۱ gh	۲۸/۶۷ j	۰/۷۵ g	۲۴/۰۷ ij	۴۵/۰۲ hi	۵۴/۰۵ k	۱۲/۲۵ c
Z_8	N_{50}	۲۳/۰۳ ab	۴۱/۲۱ ab	۰/۹۲ a	۳۷/۰۵ ab	۵۶/۱۰ b	۷۴/۰۲ bc	۹/۶۰ g
	N_{100}	۲۰/۰۲ cd	۳۸/۰۵ cde	۰/۸۵ de	۳۶/۰۰ bc	۵۲/۰۲ cd	۷۵/۰۵ b	۱۰/۳۰ f
	N_{150}	۱۸/۰۱ de	۳۵/۰۷ fgh	۰/۸۰ ef	۳۰/۰۱ fg	۵۰/۲۵ de	۶۶/۰۰ gh	۱۱/۲۱ d
	N_{200}	۱۴/۰۱ fgh	۳۰/۱۱ ij	۰/۷۷ f	۲۵/۰۰ ij	۴۶/۲۰ gh	۵۸/۰۷ j	۱۲/۸۶ cd
Z_{12}	N_{50}	۲۵/۰۲ a	۴۲/۱۰ a	۰/۹۳ a	۳۹/۱۵ a	۵۹/۰۷ a	۷۵/۰۳ b	۱۰/۲۱ f
	N_{100}	۲۱/۱۲ bc	۳۸/۲۴ cd	۰/۸۶ de	۳۷/۰۴ ab	۵۴/۱۳ c	۷۷/۰۶ a	۱۱/۴۰ d
	N_{150}	۱۸/۱۶ de	۳۵/۳۴ efg	۰/۸۱ ef	۳۲/۰۰ ef	۵۱/۰۶ de	۶۸/۱۱ fg	۱۳/۰۲ b
	N_{200}	۱۵/۰۱ fg	۳۲/۰۰ hi	۰/۷۸ f	۲۶/۰۱ hi	۴۷/۰۶ gh	۵۹/۰۸ j	۱۳/۸۷ a

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

Z_0، Z_4، Z_8 و Z_{12}: به ترتیب کاربرد مقادیر صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن زئولیت در هکتار ؛ N_{50}، N_{100}، N_{150} و N_{200}: به ترتیب کاربرد مقادیر ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

به نظر می‌رسد که در مقادیر بالای نیتروژن مصرفی، مقدار زیادی از این عنصر در خاک باقی‌مانده و یا از طریق تبخیر آمونیاک، شستشوی نیترات و دنیتریفیکاسیون هدررفته و جذب نگردیده است. اثر تشدیدکنندگی میزان کود مصرفی بر مقدار نیتروژن ازدست‌رفته در دیگر مطالعات نیز گزارش‌شده است (مندنی و همکاران، ۱۳۹۸). در این تحقیق، مشاهده گردید که مصرف زئولیت اثر مثبت و معنی‌داری بر کارآیی جذب نیتروژن داشت. به‌طوری‌که میزان صفت مذکور به‌وسیله تیمارهای مصرف زئولیت در تمامی سطوح نیتروژن موردمطالعه، بالاتر از تیمار عدم کاربرد زئولیت (شاهد) بود (جدول ۳). بر این اساس، بالاتر بودن میزان کارآیی جذب نیتروژن در تیمارهای کاربرد زئولیت، ممکن است به دلیل بهبود وضعیت خاک ازنظر فراهمی عناصر غذایی و تلفات کم‌تر نیتروژن باشد. افزایش کارآیی جذب نیتروژن در اثر استفاده از زئولیت توسط دیگر محققان نیز گزارش‌شده است (Latifah *et al*., 2017 ؛Kakabouki *et al*., 2024).

کارآیی بهره‌وری نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تیمارهای زئولیت ($P\leq ۰/۰۵$)، نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها ($P\leq ۰/۰۱$) اثر معنی‌داری بر کارآیی بهره‌وری نیتروژن داشت (جدول ۲). در این تحقیق، بیش‌ترین کارآیی بهره‌وری نیتروژن به میزان ۳۹/۱۵ کیلوگرم بر کیلوگرم به تیمار مصرف ۱۲ تن زئولیت و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن به میزان ۲۳/۰۱ کیلوگرم بر کیلوگرم به تیمار عدم مصرف زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختصاص داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد، عکس‌العمل گیاه به کاربرد کود نیتروژن در محدوده رفع نیاز آن مثبت بوده و سبب افزایش عملکرد می‌شود، اما در بالاتر از این محدوده، نیتروژن مصرفی صرفاً باعث افزایش غلظت نیتروژن دانه خواهد شد، به‌عبارت‌دیگر در سطوح بالای نیتروژن، محتوای نیتروژن گیاه افزایش‌یافته، ولی عملکرد دانه به‌تناسب آن افزایش نیافته است و همین امر کاهش راندمان بهره‌وری نیتروژن را سبب گردید. نتایج مشابهی در آزمایش توکلی کاخکی و همکاران (۱۳۹۷) نیز حاصل‌شده است. به نظر می‌رسد، افزایش میزان بهره‌وری نیتروژن توسط زئولیت، به دلیل به‌کارگیری بیش‌تر نیتروژن جذب‌شده به‌وسیله گیاه در افزایش عملکرد دانه باشد. Latifah و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند زئولیت با بهبود توزیع نیتروژن در اندام‌های زایشی، کارآیی بهره‌وری نیتروژن را در گندم افزایش داد.

کارآیی بازیافت ظاهری

نتایج تجزیه واریانس آزمایش مشخص نمود کارآیی بازیافت ظاهری تحت اثر معنی‌دار تیمار زئولیت، نیتروژن و همچنین برهم‌کنش آن‌ها ($P\leq ۰/۰۱$) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها نشان داد که بیش‌ترین میزان کارآیی بازیافت ظاهری (۵۹/۰۷ درصد) مربوط به تیمار مصرف ۱۲ تن زئولیت و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین میزان آن (۴۳/۲۰ درصد) به تیمار عدم مصرف زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعلق داشت (جدول ۳).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

در این تحقیق با افزایش مقادیر مصرف نیتروژن از ۵۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، میزان کارآیی بازیافت ظاهری به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. Alvarez و همکاران (۲۰۰۲) نتیجه گرفتند که عدم نگهداری نیتروژن در خاک و آبشویی از دلایل مهم کارآیی پایین بازیافت ظاهری نیتروژن در گندم به شمار می‌رود. کاهش کارآیی بازیافت ظاهری در سطوح بالای نیتروژن در آزمایش‌های دیگر محققان نیز گزارش‌شده است (هوشمندی و همکاران، ۱۴۰۰؛ کشاورز و عباس زاده ۱۳۹۸). در مقابل، به نظر می‌رسد که زئولیت با تعدیل هدر رفت نیتروژن از طریق کاهش تثبیت نیتروژن در خاک و آبشویی و همچنین جلوگیری از تبدیل آن به فرم‌های غیرقابل جذب، سهم نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه را نسبت به نیتروژن مصرفی افزایش داده که این امر باعث افزایش کارآیی بازیافت ظاهری در تیمارهای مصرف زئولیت نسبت تیمار عدم مصرف آن در سطوح مختلف تیمار نیتروژن گردید. افزایش کارآیی بازیافت ظاهری ناشی از مصرف زئولیت در تحقیق Kavoosi (۲۰۰۷) نیز گزارش گردیده است.

شاخص برداشت نیتروژن

اثر تیمارهای زئولیت و نیتروژن ($P\leq۰/۰۱$) و همچنین برهم‌کنش آن‌ها ($P\leq۰/۰۵$) بر شاخص برداشت نیتروژن که درواقع نشان‌دهنده نسبت نیتروژن دانه به نیتروژن جذب‌شده به‌وسیله گیاه می‌باشد، معنی‌دار بود (جدول ۲). در مقایسه ترکیب‌های تیماری، مشخص گردید که تیمار مصرف ۱۲ تن زئولیت به همراه ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۷۷/۰۶ درصد و تیمار عدم مصرف زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۵۱/۳۵ درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان شاخص برداشت نیتروژن را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). زئولیت با جذب و رهاسازی تدریجی NH_4^+ و NO_3^-، از هدر رفت نیتروژن جلوگیری می‌کند و جذب پایدار آن را توسط گیاه تضمین می‌کند. این امر باعث افزایش انتقال نیتروژن به اندام‌های زایشی (دانه) در مرحله پر شدن دانه و افزایش شاخص برداشت نیتروژن می‌گردد (Ramesh *et al*., 2015). درواقع می‌توان اظهار نمود که افزایش شاخص برداشت نیتروژن به‌وسیله مصرف زئولیت، نشان‌دهنده بهبود کارآیی انتقال نیتروژن از اندام‌های رویشی به دانه است. نتایج حاصل از آزمایش Kakabouki و همکاران (۲۰۲۴) نیز مؤید این موضوع می‌باشد.

محتوای پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای زئولیت، نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها ($P\leq۰/۰۱$) بر صفت محتوای پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). حداکثر محتوای پروتئین دانه (۱۳/۸۷ درصد) از ترکیب تیماری کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد و تیمار عدم مصرف زئولیت و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۸/۵۰ درصد، حداقل محتوای پروتئین دانه را داشت (جدول ۳). از آنجایی‌که انتقال مجدد نیتروژن از اندام‌های

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

رویشی به دانه، سهم بسزایی در میزان پروتئین دانه ایفا می‌کند، به نظر می‌رسد برتری میزان پروتئین دانه در سطوح بالای تیمارهای زئولیت و نیتروژن نسبت به سطوح پایین آن‌ها، به افزایش غلظت نیتروژن در بخش‌های رویشی و انتقال مجدد و تجمع بیشتر آن در دانه‌ها باشد. بنابراین توزیع نیتروژن ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی و انتقال آن به دانه در شرایط مصرف زئولیت به همراه کود نیتروژن دارای اهمیت زیادی است. لذا، فراهمی بیشتر نیتروژن در مراحل مختلف رشد گیاه و بهبود جذب آن توسط ریشه‌ها در اثر مصرف ۱۲ تن زئولیت و افزایش توزیع مجدد نیتروژن در تیمار کودی ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار علت افزایش معنی‌دار میزان پروتئین دانه ترکیب تیمار کودی مذکور نسبت به تیمار عدم مصرف زئولیت به همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. افزایش میزان پروتئین دانه درنتیجه مصرف زئولیت در آزمایش‌های دیگر نیز گزارش‌شده است (صالحی و همکاران، ۱۴۰۲؛ نافعی و همکاران، ۱۴۰۰؛ اصلانی و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین، اظهار شده است، زئولیت با تنظیم pH خاک و افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم نیتروژن (مانند نیترات ردوکتاز)، تبدیل نیتروژن به پروتئین و سایر ترکیبات مفید در گیاه را بهبود می‌بخشد (Jumadi *et al*., 2020).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد افزایش مصرف نیتروژن اثر کاهشی بر شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن (کارآیی زراعی، کارآیی فیزیولوژیک، کارآیی جذب، کارآیی بهره‌وری، بازیافت ظاهری و شاخص برداشت نیتروژن) و اثر افزایشی بر محتوای پروتئین دانه گندم داشت. درحالی‌که، اثر کاربرد زئولیت بر شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن و همچنین محتوای پروتئین دانه افزایشی بود. بیش‌ترین میزان شاخص‌های مذکور مربوط به تیمار مصرف ۱۲ تن زئولیت به همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین میزان آن‌ها به تیمار عدم مصرف زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعلق داشت. حداکثر محتوای پروتئین دانه (۱۳/۸۷ درصد) در تیمار ۱۲ تن در هکتار زئولیت به همراه ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد که نسبت به حداقل میزان آن (۸/۵۰ درصد) در تیمار شاهد و مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۶۳/۱۷ درصد افزایش نشان داد. بر اساس نتایج این آزمایش، می‌توان کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را مؤثرترین تیمار به‌عنوان ماده افزودنی به خاک جهت افزایش شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن مورد استفاده قرار داد. درنهایت می‌توان اظهار داشت، کاربرد هم‌زمان زئولیت و نیتروژن در خاک می‌تواند یک رویکرد مفید جهت افزایش شاخص‌های کارآیی کودهای نیتروژن دار و بهبود پایداری سامانه‌های کشاورزی محسوب شود. شایان ذکر است که با توجه به فراوانی زئولیت‌های طبیعی در کشور و قیمت ارزان آن و تأثیر قابل ملاحظه این مواد بر شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن، استفاده آن از دیدگاه اقتصادی کاملاً قابل توجیه است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است که با همکاری و حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه پیام نور استان خوزستان انجام گردیده که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

اصلانی، پ.، داوری، م.، محمودی، م.ع.، حسین‌پناهی، ف. و خالق پناه، ن. ۱۴۰۰. تأثیر زئولیت و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های مبنایی خاک و عملکرد گندم در تناوب سیب زمینی- گندم. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی). ۴۴ (۱): ۹۷-۱۱۹.

امام، ی.، مقصودی، ک. و احسان زاده، پ. ۱۴۰۱. فیزیولوژی گیاهان زراعی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی. ۳۰۴ ص.

آناقلی، ا. و عزت احمدی، م. ۱۳۸۵. تأثیر مقدار و زمان مصرف نیتروژن بر پروتئین دانه و کارآیی مصرف نیتروژن گندم رقم زاگرس در شرایط دیم. نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۱۶ (۱): ۱۲۲-۱۱۳.

توکلی کاخکی، ح.ر.، نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.ر.، جهان، م. و بهشتی، ع.ر. ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.). نشریه بوم شناسی کشاورزی. ۱۰ (۳): ۷۱۸-۶۹۹.

خلیل زاده، غ.ر.، عزیزاف، ا. و مظفری، ج. ۱۳۹۶. بررسی توده‌های بومی گندم نان در جذب و بهره‌وری نیتروژن. نشریه زراعت دیم ایران. ۶ (۱): ۵۳-۳۵.

خوراشاهی، م. ۱۳۹۵. تأثیر زئولیت بر جذب پتاسیم و کارایی مصرف ازت و پتاسیم توسط گندم در یک خاک با محدودیت پتاسیم قابل استفاده. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۱۱۱: ۱۳-۶.

خیاط، ش.، مجدم، م. و علوی‌فاضل، م. ۱۳۹۳. اثر مقادیر نیتروژن بر عملکرد دانه و کارآیی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های گندم دوروم در خوزستان. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۶ (۲۱): ۱۱۳-۱۰۳.

درزی نفت‌چالی، ع. و مختصی بیدگلی، ع. ۱۴۰۰. تأثیر آبیاری و زهکشی متناوب بر جذب و شاخص برداشت نیتروژن دو رقم برنج. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۱ (۴۴): ۱۴۰-۱۲۳.

سیدی، س.م. و حمزه‌ئی، ج. ۱۴۰۰. بررسی کارآیی مصرف نیتروژن و عملکرد گندم تحت تأثیر مدیریت کاربرد کود و

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

تناوب زراعی. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۴ (۳): ۲۶-۱۳.

صالحی، م.، زارع، م.، بذرافشان، ف.، آیین، ا. و امیری، ب. ۱۴۰۲. پاسخ مورفو- فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مختلف ذرت به کاربرد زئولیت تحت شرایط تنش خشکی. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۵ (۶۰): ۱۰۴-۸۹.

عطار زاده، م.، ملکی فراهانی، س. و میردورقی، م. ۱۴۰۲. ارزیابی عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط کم نهاده. نشریه علوم زراعی ایران. ۲۵ (۴): ۴۲۲-۴۰۵.

کشاورز، پ. و عباس زاده، م. ۱۳۹۸. اثر ویژگی‌های خاک بر کارآیی مصرف نیتروژن در مزارع گندم استان خراسان رضوی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). الف ۳۳ (۴): ۴۴۰-۴۲۵.

مجنون حسینی، ن. ۱۳۹۹. زراعت غلات، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران. ۲۴۶ ص.

ملکوتی، م.ج.، بابا اکبری، م. و نظامی، س. ۱۳۸۸. تأثیر منابع مختلف کودهای محتوی نیتروژن پایه بر عملکرد، کارآیی و درصد بازیافت نیتروژن در گندم. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۳ (۴۹): ۱۳۹-۱۲۹.

مندنی، ف.، بزرگی حسین آباد، ع.، سعیدی، م.، باقری، ع.ر. و حیدری، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی کارآیی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه. نشریه بوم شناسی کشاورزی. ۱۱ (۱): ۱۰۲-۸۷.

موسوی، س. و ذاکر نژاد، س. ۱۳۹۹. اثر مدیریت مصرف نیتروژن بر صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.). نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲ (۴۵): ۱۱۱-۹۱.

میرزاشاهی، ک. و نورقلی‌پور، ف. ۱۳۹۹. بررسی میزان و نحوه مصرف نیتروژن بر کارآیی مصرف نیتروژن و عملکرد دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲ (۴۷): ۴۵-۶۳.

نافعی، ا.، مظفری، ح. و رجب زاده، ف. ۱۴۰۰. ارزیابی اثر کاربرد زئولیت طبیعی و سولفات روی بر عملکرد و صفات زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم مهدوی. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۱۳ (۴۶): ۲۷-۱۵.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

هوشمندی، ح.، میرزاوند، ج. و زارع، م. ۱۴۰۰. اثر روش‌های خاک‌ورزی و مقادیر مختلف نیتروژن بر کارآیی مصرف و شاخص تغذیه نیتروژن گندم در یک خاک آهکی (مطالعه موردی: منطقه زرقان، استان فارس). نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۳۱ (۱): ۲۵۷-۲۳۹.

Alvarez, R., Alvarez, C.R. and Steinbach, H.S. 2002. Association between soils organic matter and wheat yield in Humid Pampa of Argentina. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 33: 749-757.

Ashfaque, F., Inam, A., Iqbal, S. and Sahay, S. 2017. Response of silicon on metal accumulation, photosynthetic inhibition and oxidative stress in chromium-induced mustard (*Brassica juncea* L.). South African Journal of Botany. 111: 153-160.

Craswell, E.T. 1997. The efficiency of urea fertilizer under different environment conditions. Australian Centre for International Agricultural Research. 63: 92-95.

Doyle, A.D. and Holford, I.C.R. 2005. The uptake of nitrogen by wheat, its agronomic efficiency and their relationship to soil and nitrogen fertilizer. Australian Journal Agriculture. 44: 1245-1258.

Elrys, A.S., El-Maati, M.F.A., Abdel-Hamed, E.M.W., Arnaout, S.M., El-Tarabily, K.A. and Desoky, E.S.M. 2021. Mitigate nitrate contamination in potato tubers and increase nitrogen recovery by combining dicyandiamide, moringa oil and zeolite with nitrogen fertilizer. Ecotoxicology and Environmental Safety. 209: 111839.

Jumadi, O., Hala, Y., Iriany, R.N., Makkulawu, A.T., Baba, J. and Inubushi, K. 2020. Combined effects of nitrification inhibitor and zeolite on greenhouse gas fluxes and corn growth. Environmental Science and Pollution Research. 27 (2): 2087-2095.

Kakabouki, I., Roussis, I., Mavroeidis, A., Stavropoulos, P., Kanatas, P., Pantaleon, K., Folina, A., Beslemes, D. and Tigka, E. 2024. Effects of zeolite application and inorganic nitrogen fertilization on growth, productivity, and nitrogen and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) cultivated under mediterranean conditions. Sustainability. 17 (2178): 1-32.

Kavoosi, M. 2007. Effects of zeolite application on rice yield, nitrogen recovery, and nitrogen use efficiency. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 38: 69-76.

Latifah, O., Ahmed, O.H. and Abdul-Majid, N.M. 2017. Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. Geoderma. 306: 152-159.

Limon-Ortega, A., Govaerts, B. and Sayre, K.D. 2008. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. European Journal of Agronomy. 29: 21-28.

Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R.J. and Redondo. R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rain fed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. Field Crops Research. 92 (94): 86-97.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

Mihok, F., Macko, J., Oriňak, A., Oriňaková, R., Koval, K., Sisáková, K., Petruš, O. and Kostecká, Z. 2020. Controlled nitrogen release fertilizer based on zeolite clinoptilolite: Study of preparation process and release properties using molecular dynamics. Current Research in Green and Sustainable Chemistry. 3: 100030.

Moll, R.H., Kamprath, E.J. and Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors, which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal. 74: 262-264.

Ramesh, V., Jyothi, J.S. and Shibli, S. 2015. Effect of zeolites on soil quality, plant growth and nutrient uptake efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). Journal of Root Crops. 41 (1): 25-31.

Souza, E.F., Soratto, R.P., Fernandes, A.M. and Rosen, C.J. 2019. Nitrogen source and rate effects on irrigated potato in tropical sandy soils. Agronomy Journal. 111 (1): 378-389.

Thuy, N.H., Shan, Y., Singh, B., Wang, K., Cai, Z., Singh, Y. and Buresh, R.J. 2008. Nitrogen supply in rice-based cropping systems as affected by crop residue management. Soil Science Society of America Journal. 72: 514-523.

Wu, Q., Xia, G.M., Chen, T.T., Chi, D.C., Jin, Y. and Sun, D.H. 2016. Impacts of nitrogen and zeolite managements on yield and physicochemical properties of rice grain International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 9 (5): 93-100.

Wulandari, R., Hanum, H. and Hasanah, Y. 2018. The effect of nitrogen fertilizer, zeolite and fresh straw to increase total-N, cation exchange capacity (CEC) of rice crop. Earth and Environmental Science. 260 (012157): 1-6.

Yu, X., Keitel, C., Zhang, Y., Wangeci, A.N. and Dijkstra, F.A. 2022. Global meta-analysis of nitrogen fertilizer use efficiency in rice, wheat and maize. Agriculture, Ecosystems and Environment. 338: 108089.

Zheng, J., Chen, T., Xia, G., Chen, W., Liu, G., and Chi, D. 2018. Effects of zeolite application on grain yield, water use and nitrogen uptake of rice under alternate wetting and drying irrigation. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 11 (1): 157-164.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

Reaction of some nitrogen use efficiency indices and wheat grain protein content to different levels of zeolite and nitrogen

H. Nouriyani

Department of Agronomy and Plant Breeding, Payame Noor University, I.R. Of Iran.

Corresponding Author:hnouriyani@pnu.ac.ir

Received date: 2024.10.30 **Accepted date: 2025.02.01**

Abstract

In order to evaluate the reaction of some nitrogen use efficiency indices and wheat grain protein content to different levels of zeolite and nitrogen, an experiment was conducted in a field in Dezful region based on a split plot design in a basic randomized complete block design with three replications in 2021-22 cropping season. The experimental treatments included the application of natural zeolite at four levels (0, 4, 8 and 12 ton.ha^{-1}) as main plots and also four levels of nitrogen application (50, 100, 150 and 200 kg.ha^{-1} pure nitrogen) from the urea fertilizer source as subplots. The results of the experiment showed that the effect of zeolite, nitrogen treatments and their interaction on all studied traits was significant. Based on the comparison of the average interaction of treatments, the highest agronomic efficiency (25.02), physiological efficiency (42.10), uptake efficiency (0.93), utilization efficiency (39.15) in terms of kg.kg^{-1} and apparent recovery (59.07) and nitrogen harvest index (75.03) in terms of percentage were attributed to the treatment of 12 ton.ha^{-1} of zeolite along with 50 kg/ha of nitrogen, and the lowest values were attributed to the treatment combination of no zeolite application (control) and application of 200 kg.ha^{-1} of nitrogen. The maximum grain protein content (13.87%) was achieved in the treatment of 12 ton.ha^{-1} of zeolite with 200 kg.ha^{-1} of nitrogen, which was an increase of 63.17% compared to the minimum content (8.50%) in the control treatment and 50 kg.ha^{-1} of nitrogen. Based on the results of this experiment, the application of 12 ton.ha^{-1} zeolite along with 50 kg/ha of nitrogen can be considered the most effective treatment as a soil additive to increase nitrogen use efficiency indices.

Key Words: Apparent recovery, Nitrogen harvest index, Uptake efficiency and Agronomic efficiency.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]