

## اثر زئولیت‌های طبیعی و اصلاح‌شده با سورفکتانت بر عملکرد کمی و کیفی گندم در آبیاری با پساب

محمد علوی<sup>۱\*</sup>، جهانگیر عابدی کوپایی<sup>۲</sup> و بهروز مصطفی‌زاده فرد<sup>۳</sup>

### چکیده

هدرروی کودهای نیتروژنه به دلیل پایین بودن کارایی مصرف کود، موجب مسائل زیست‌محیطی می‌شود. بنابراین استفاده از مواد اصلاحی مانند زئولیت‌ها در خاک اهمیت پیدا می‌کند. پژوهش حاضر با اهداف بررسی تأثیر اندازه ذرات (میلی‌متر و میکرومتر) و میزان کاربرد (۲۰ و ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک) زئولیت کلینوپتیلولایت طبیعی و زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت بر آبسویی نترات خاک و عملکرد گیاه گندم با استفاده از ستون‌های خاک و برای آبیاری با پساب در محل گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار برای هر تیمار طراحی شد. نتایج نشان داد استفاده از اصلاح‌کننده‌های زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت رشد گیاه گندم را بهبود بخشید و میزان نیتروژن برداشت‌شده توسط گیاه را افزایش داد؛ به‌گونه‌ای که غلظت نیتروژن دانه و نیتروژن برداشت‌شده توسط گیاه در ستون‌های دریافت‌کننده زئولیت طبیعی به‌طور معنی‌داری (۱/۴۵ و ۲/۴۹ درصد) بیشتر از ستون‌های دریافت‌کننده زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت بود. با افزایش سطح کاربرد اصلاح‌کننده میزان نیتروژن نترات خروجی از ناحیه ریشه به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) کاهش یافت؛ اما نوع اصلاح‌کننده بر میزان نیتروژن آبسویی شده اثر معنی‌داری نداشت.

**واژه‌های کلیدی:** اصلاح‌کننده خاک، آبسویی نترات، اندازه ذرات اصلاح‌کننده‌ها، ستون خاک، کلینوپتیلولایت.

**ارجاع:** علوی م، عابدی کوپایی ج، و مصطفی‌زاده فرد ب. ۱۳۹۹ اثر زئولیت‌های طبیعی و اصلاح‌شده با سورفکتانت بر عملکرد کمی و کیفی گندم در آبیاری با پساب. مجله پژوهش آب ایران. ۳۷: ۱۱-۲۲.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

\* نویسنده مسئول: [mohammadalavi1991@gmail.com](mailto:mohammadalavi1991@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۲

## مقدمه

بحران کمبود آب، یکی از مشکلاتی است که امروزه جهان با آن مواجه است. محدودیت منابع آب و استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی، توجه پژوهشگران را به نقش آلاینده‌های فیزیکی آب نیز به خود معطوف کرده است؛ زیرا غلظت و ترکیبات مواد حل شده در آب بیشترین تأثیر را بر رشد گیاه و ویژگی‌های خاک دارند (چوپان و همکاران، ۱۳۹۷). استفاده صحیح از پساب‌های شهری علاوه بر گسترش پوشش گیاهی، از یک طرف، از آلودگی محیط‌زیست جلوگیری می‌کند و از طرف دیگر به دلیل دارا بودن مقادیر قابل توجهی از عناصر غذایی و مواد آلی، آثار مثبتی نیز بر حاصل‌خیزی خاک و رشد گیاهان می‌گذارد و باعث کاهش هزینه مصرف کود شیمیایی می‌شود (باتیستا و همکاران، ۲۰۱۰؛ شفق کلوانق و همکاران، ۱۳۹۴).

پساب دارای مقادیر زیادی عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر است که برای رشد گیاه با ارزش هستند (لی و همکاران، ۲۰۰۷). حدود ۶۰ درصد سطح مزارع جهان را غلات تشکیل می‌دهند که از این مقدار ۳۳ درصد آن به کشت گندم اختصاص دارد (شعاعی و همکاران، ۱۳۸۸). گندم از جمله محصولات اساسی کشور بوده و سطح زیر کشت آن ۶/۶ میلیون هکتار است که حدود ۴/۲ میلیون هکتار آن به‌صورت دیم و بقیه به کشت آبی اختصاص دارد. میزان پروتئین دانه گندم از ۶ تا ۱۸ درصد متغیر است که این تغییرات ناشی از عوامل توارثی، وضعیت محیطی و مصرف کودهای شیمیایی است (ملکوئی و غیبی، ۱۳۷۹). در این ارتباط در دهه‌های اخیر کاربرد کود، از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه گندم است (کوچکی و خواجه حسینی، ۱۳۹۱)، بنابراین ارائه روش‌هایی برای کنترل مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار و افزایش تأثیرگذاری آن‌ها در کنار حصول به عملکرد مناسب به‌ویژه در زمین‌های زراعی دارای بافت سبک (به‌دلیل پتانسیل ذاتی این خاک‌ها در هدرروی عناصر غذایی) مهم است. از جمله روش‌های مدیریتی که برای افزایش تأثیرگذاری و جلوگیری از هدرروی کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته، به‌کارگیری ترکیبات طبیعی چون کانی‌های ژئولیت در مزارع کشاورزی به‌دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل زیاد آن‌ها برای جذب و نگهداری آمونیوم

است (خاشعی سیوی و احمدی، ۱۳۹۴) که می‌توانند نقش مؤثری در کاهش شست‌وشوی عناصر غذایی خاک به‌ویژه نیتروژن و افزایش رشد گیاه داشته باشند. ژئولیت از آلومینوسیلیکات‌های بلورین که از واحدهای تتراهدرال  $\text{SiO}_4$  و  $\text{AlO}_4$  تشکیل شده است که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان پلیمرهای معدنی در نظر گرفت (لی، ۲۰۰۳). علاوه بر این، از آنجایی که آنیون‌ها و املاح خنثی جذب سطحی ژئولیت‌ها نشده و از سطح منفی آن دفع می‌شوند، کاربرد ژئولیت تنها منحصر به جداسازی و جذب کاتیون‌ها ست (برک، ۱۹۶۴). برای جلوگیری از حرکت آنیون‌ها مانند نیترات  $\text{NO}_3\text{-N}$ ، به موادی نیاز است که دارای تمایل جذب آنیونی بالایی باشند که این مواد به‌طور طبیعی در دسترس نیستند (لی، ۲۰۰۳). لذا استفاده از ژئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت به‌عنوان یک نوع تبادل‌کننده آنیونی سازگار با محیط‌زیست و ارزان قیمت مطالعه شده است (لی و بومن، ۱۹۹۷).

ملکیان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که مقدار عملکرد دانه، وزن خشک و غلظت نیتروژن دانه گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ژئولیت افزایش یافته است. با توجه به مطالب ارائه شده، هدف از اجرای این مطالعه بررسی اثر اندازه ژئولیت و ژئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت و میزان کاربرد آن‌ها در کاهش آبیاری نیتروژن از طریق زه‌آب در اثر کاربرد کود نیتروژنه همراه آبیاری با پساب و همچنین بررسی کارایی ژئولیت و ژئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت بر عملکرد کمی و کیفی گیاه گندم در یک خاک با بافت سبک است. نتایج حاصل از بررسی سطوح مختلف ژئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا قرمز تحت تنش خشکی در شرایط آب و هوایی کرمانشاه نشان داد که سطوح مختلف ژئولیت بر تعداد غلاف در بوته در سطح آماری پنج درصد و بر ارتفاع بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد و این صفت‌ها را افزایش داد (حبیب‌پور کاشفی و همکاران، ۱۳۹۶). حسینی چمنی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تأثیر ژئولیت، دور آبیاری و قارچ مایکوریزا بر عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه ماش پرداختند که نتایج حاصل از مطالعات آن‌ها حاکی از معنی‌دار بودن اثر ژئولیت بر عملکرد دانه بود و همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که با استفاده از قارچ مایکوریزا و

داده شد. برای این منظور ۵۵۰ گرم از زئولیت در اندازه میلی‌متر با ۱۶۵۰ میلی‌لیتر از محلول HDTMA با غلظت ۵۰ میلی‌مولار به مدت ۲۴ ساعت در همزن با دور ۱۵۰ دور در دقیقه مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و محلول رویی دور ریخته شد. زئولیت اصلاح‌شده حاصل دو بار با آب دیونیزه شده شسته و پس از آن هوا خشک گردید (لی و همکاران، ۲۰۰۷؛ ژینگ، ۲۰۱۶). روش مشابهی برای تغییر سطح زئولیت با اندازه ذرات میکرون به کار برده شد، با این تفاوت که غلظت محلول HDTMA برابر با ۷۰ میلی‌مولار بود.

### مطالعه مزرعهای و جمع‌آوری داده‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در محل گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در ۲۷ ستون استوانه‌ای از جنس پلی‌اتیلن با قطر داخلی برابر با ۱۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۵ سانتی‌متر انجام شد. این آزمایش مشتمل بر ۹ تیمار و ۳ تکرار بود. طرح از نظر آماری در قالب آزمایش فاکتوریل با ۳ فاکتور انجام شد. فاکتور اول سطح کاربرد اصلاح‌کننده (۲۰ و ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک)، فاکتور دوم اندازه ذرات اصلاح‌کننده (میلی‌متر و میکرون) و فاکتور سوم نوع اصلاح‌کننده (زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت) است. تیمارهای پژوهش مطابق جدول ۱ است. خاک مورد استفاده در این پژوهش از منطقه مرتعی ورودی شهر تیران واقع در استان اصفهان به صورت لایه‌ای تهیه و بعد از آوردن به محل گلخانه، هوا خشک و سپس با هم مخلوط و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک با توجه به درصد شن، سیلت و رس نمونه خاک، از نوع خاک لوم شنی است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک موردنظر در جدول ۲ ارائه شده است. در کف هر ستون لایه‌ای به ضخامت ۵ سانتی‌متر از شن به‌عنوان فیلتر قرار گرفت. همچنین برای اجتناب از وقوع جریان ترجیحی (Preferential flow) در دیواره‌های ستون خاک، بدنه داخلی آن‌ها با گریس چرب و به‌وسیله ذرات شن پوشانده شد (لی، ۲۰۰۳). سپس مطابق تیمارها، ترکیب خاک و زئولیت به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر به صورت لایه‌ای و مطابق با چگالی ظاهری خاک از طریق مرحله به مرحله پر کردن ستون‌ها با استفاده از روش وزنی، ریخته شد تا از ایجاد

زئولیت می‌توان فاصله آبیاری در گیاه ماش را در منطقه مورد مطالعه از ۷ به ۱۰ روز یکبار افزایش داد. با توجه به گزارش‌های فوق در زمینه مؤثر بودن زئولیت در کاهش آبیاری نیترات، تاکنون مطالعه جامعی درباره تأثیر کاربرد زئولیت ایرانی بر ویژگی‌های خاک و گیاه گندم انجام نشده است. همچنین تاکنون پژوهش‌های اندکی در مورد جذب نیترات با استفاده از زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت و اثر آن در اندازه میکرون بر جذب نیترات در خاک صورت گرفته است. لذا با توجه به کمبود آب، ضرورت استفاده از پساب برای آبیاری و استراتژیک بودن این گیاه برای کشور، انجام این مطالعه ضروری است.

### مواد و روش‌ها

#### ویژگی‌های زئولیت

در این مطالعه، زئولیت طبیعی از نوع کانی کلینوپتیلولایت بود و از سنگ‌های آتشفشانی معدن سمنان تهیه شد. این پژوهش از اندازه‌های میلی‌متری و میکرون برای زئولیت استفاده شد. ذرات میلی‌متری به‌وسیله الک‌های با مش ۱۲ و ۱۸ (۱/۶۸ و ۱ میلی‌متری) و ذرات میکرون به کمک دستگاه جت میل (Jet mill)، خرد و با الک‌های با مش ۲۳۰ و ۲۷۰ (۶۳ و ۵۳ میکرون) جداسازی شدند. برای بررسی خواص جذبی زئولیت، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم (چمپمن، ۱۹۶۵) و ظرفیت تبادل کاتیون خارجی زئولیت (ECEC) به روش مینگ و دیکسون (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد. مقادیر CEC برای زئولیت میلی‌متری و میکرون به ترتیب  $140 \text{ cmol kg}^{-1}$  و  $160 \text{ mmol kg}^{-1}$  و مقادیر ECEC این نمونه‌ها به ترتیب ۷۵ و ۱۰۵ تعیین شد.

#### تهیه زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت

برای جذب آنیون‌های معدنی در سطح زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت، سطح اصلاح‌شده باید دارای مکان‌های تبدیلی با بار مثبت باشد. این مکان‌ها زمانی شکل می‌گیرند که سورفکتانت به صورت کاملاً دولایه‌ای (Bilayer) یا بخشی دولایه‌ای روی زئولیت قرار گرفته باشد. مقدار زئولیت اصلاح‌شده موردنیاز در ابعاد میلی‌متر و میکرومتر برای اصلاح خاک محاسبه و برای تهیه زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت از HDTMA-Br (Mereck) استفاده و زئولیت به اندازه ۲۰۰ درصد ECEC تغییر سطح

در بسته‌های متصل شدند، به این صورت زه‌آب مستقیماً از ستون خاک به ظروف جمع‌آوری در بسته منتقل شد و در نتیجه تبخیر زه‌آب به حداقل رسید. به محض جمع‌آوری نمونه‌ها، ظروف نمونه‌برداری به آزمایشگاه منتقل و تا زمان اندازه‌گیری پارامترهای موردنظر در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند. برای اندازه‌گیری غلظت ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) موجود در زهاب از روش رنگ‌سنجی استفاده شد (کنی و نیلسون، ۱۹۸۲).

خلل و فرج بزرگ در خاک جلوگیری و وضعیتی مشابه با وضعیت طبیعی خاک ایجاد شود. اصلاح‌کننده‌های خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک ستون‌ها و پیش از کاشت گیاه، با خاک مخلوط شدند. در نهایت ۱۰ سانتی‌متر بالایی هر ستون خاک نیز فضای خالی برای آبیاری در نظر گرفته شد. برای جمع‌آوری زه‌آب، سوراخی‌هایی به ابعاد ۲۵ میلی‌متر در کف هر ستون ایجاد شد که به وسیله تبدیل و لوله‌های پلاستیکی به ظروف

جدول ۱- مشخصات تیمارهای مورد مطالعه

اندازه ذرات	سطح کاربرد	نوع اصلاح‌کننده	علامت اختصاری
M (میلی‌متر)	a (۲۰ گرم در کیلوگرم خاک)	Z (ژئولیت طبیعی)	ZMa
M (میلی‌متر)	a (۲۰ گرم در کیلوگرم خاک)	S (ژئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت)	SMa
m (میکرون)	a (۲۰ گرم در کیلوگرم خاک)	Z (ژئولیت طبیعی)	Zma
m (میکرون)	a (۲۰ گرم در کیلوگرم خاک)	S (ژئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت)	Sma
M (میلی‌متر)	b (۶۰ گرم در کیلوگرم خاک)	Z (ژئولیت طبیعی)	ZMb
M (میلی‌متر)	b (۶۰ گرم در کیلوگرم خاک)	S (ژئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت)	SMb
m (میکرون)	b (۶۰ گرم در کیلوگرم خاک)	Z (ژئولیت طبیعی)	Zmb
m (میکرون)	b (۶۰ گرم در کیلوگرم خاک)	S (ژئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت)	Smb
-	-	-	C (شاهد)

طریق کود اوره و نیتروژن ورودی از طریق آب آبیاری (پساب) برابر با مقدار توصیه‌شده برای گیاه گندم بود. این میزان در دو نوبت به‌طور مساوی در مراحل جوانه‌زنی و پنجه‌زنی گیاه در اختیار آن قرار گرفت. همچنین با توجه به توصیه فنی کود و نیاز خاک، کودهای سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم قبل از کشت تماماً در یک نوبت به خاک داده شد.

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پساب دانشگاه

پارامتر	مقدار در پساب	واحد
TSS	۵۴۴/۹۳	(mg lit <sup>-1</sup> )
Turbidity	۵۵/۸۳	(NTU)
pH	۷/۸	-
EC	۱/۱۴	(dS m <sup>-1</sup> )
SAR	۸/۲۵	(meq L) <sup>0.5</sup>
NO <sub>3</sub> -N	۸/۹	(mg L <sup>-1</sup> )
NH <sub>4</sub> -N	۱۸/۵۲	(mg L <sup>-1</sup> )
K	۱۵/۴۲	(mg L <sup>-1</sup> )
P	۲/۱	(mg L <sup>-1</sup> )
Na	۸۴/۹	(mg L <sup>-1</sup> )

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تهیه شده

از منطقه تیران		
پارامتر	مقدار	واحد
شن	۶۲/۸	(%)
سیلت	۲۱/۵	(%)
رس	۱۶/۷	(%)
pH <sup>*</sup>	۷/۵	-
EC <sup>*</sup>	۰/۹۵	(dS m <sup>-1</sup> )
CEC	۷/۱	(cmol kg <sup>-1</sup> )
OC	۰/۸۵	(%)
Na <sup>*</sup>	۴۹/۳	(mg kg <sup>-1</sup> )
نیتروژن کل (N)	۰/۰۳	(%)
K <sup>*</sup>	۱۰۶/۱	(mg kg <sup>-1</sup> )
P <sup>*</sup>	۵/۱۸	(mg kg <sup>-1</sup> )

\* اندازه‌گیری در عصاره ۲:۱ (خاک و آب مقطر)

کشت بذر گیاه گندم، رقم پیش‌تاز (58 Adlan/Ias) در عمق ۱ سانتی‌متری داخل خاک انجام شد. از آنجایی‌که عناصر N-P-K از جمله عناصر مورد نیاز برای رشد کلیه گیاهان هستند، این عناصر پس از انجام تجزیه خاک و تعیین میزان قابل دسترس عناصر غذایی موجود در خاک، در اختیار گیاه قرار داده شد. مجموع نیتروژن اعمال‌شده از

ذرات خاک، مواد آلی و ...)، تا حد امکان از آن جدا شوند. در آخر از طریق اختلاف حجم ایجادشده پس از قرارگیری ریشه در حجم مشخصی از آب، حجم ریشه برحسب سانتی‌مترمکعب در بوته محاسبه شد (زایکین، ۱۹۷۶). پس از اندازه‌گیری حجم ریشه، وزن خشک ریشه‌ها نیز همانند اندام هوایی، اندازه‌گیری و تجزیه آماری صفت‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و Excel انجام شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

### نتایج و بحث

#### بررسی اثر زئولیت بر صفت‌های کمی گندم

با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول ۴، اثر نوع اصلاح‌کننده بر عملکرد دانه و وزن خشک در سطوح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار شد. میزان ماده خشک گیاه و همچنین عملکرد دانه در تیمار زئولیت طبیعی نسبت به تیمارهای زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بیشتر است؛ به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه و وزن خشک گیاه گندم (۱/۳۳ و ۳/۱۷ گرم در بوته) در تیمار زئولیت طبیعی به دست آمد؛ در حالیکه نسبت به شرایط کنترل‌شده میزان عملکرد دانه (۲/۳ و ۰/۸ درصد) و وزن خشک (۱۰/۸۴ و ۹/۸ درصد) به‌ترتیب در تیمارهای زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت افزایش یافت (جدول ۵). نتایج مشابهی توسط دیگر متخصصان برای سایر گیاهان زراعی و باغی به دست آمده است (بیلو و جنتری، ۱۹۸۷؛ راپ، ۱۹۸۹؛ باربر و همکاران، ۱۹۹۴). زئولیت طبیعی از طریق جذب داخلی آمونیوم می‌تواند آن را به‌طور فیزیکی از فعالیت میکروارگانیزم‌ها و نیترات‌سازی حفظ کند. همچنین این نتایج می‌تواند به‌دلیل تفاوت در جذب و واجذب  $\text{NH}_4^+$  و  $\text{NO}_3^-$ -N به‌ترتیب از زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت باشد (ملکیان و همکاران، ۲۰۱۱). جذب و واجذب  $\text{NH}_4^+$  روی زئولیت طبیعی در اثر تبادل کاتیونی و انتشار است (اکبری، ۱۳۸۴)؛ در حالیکه جذب و واجذب  $\text{NO}_3^-$ -N روی زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت به تبادلات آنیونی سطحی نسبت داده می‌شود (بای بوردی، ۱۳۸۱). این بدان معناست که احتمالاً زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت نسبت به زئولیت طبیعی در رهاسازی به‌موقع نیتروژن مورد نیاز برای رشد گیاه قدری ضعیف‌تر عمل

عملیات برداشت پس از رسیدگی فیزیولوژیکی دانه‌ها و با انجام ۱۴ مرتبه آبیاری برای تمام تیمارها انجام شد. زمان آبیاری ستون‌های خاک ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شد. در طول زمان کشت به‌صورت روزانه ستون‌های شاهد رطوبتی وزن شده و با رسیدن وزن آن‌ها به وزن ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه عمل آبیاری انجام شد. برای آبیاری، از پساب خروجی حوضچه‌های تصفیه اولیه فاضلاب واقع در دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده شد. در طول اجرای آزمایش، ۴ مرتبه (یک‌بار در ماه) پساب دانشگاه صنعتی اصفهان تحلیل و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. میانگین نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LAI)، سطح برگ‌های سبز گیاه توسط خط‌کشی با دقت یک میلی‌متری اندازه‌گیری شد (اوون، ۱۹۶۸؛ داکمین و همکاران، ۲۰۰۵).

$$LA = a (L \times W) \quad (1)$$

$$LAI = \frac{LA}{A} \quad (2)$$

که در آن‌ها LA سطح برگ (مترمربع)، L طول برگ، W عرض برگ، A مساحت ستون آزمایشی (مترمربع) و a ضریب کاهشی وابسته به شکل برگ که برای گیاه گندم برابر ۰/۸۷ است.

ارتفاع گیاه قبل از برداشت و از قسمت طوقه تا انتهای آخرین برگ بالغ (برگ پرچم) و قطر ساقه به‌ترتیب توسط خط کش میلی‌متری و کولیس مکانیکی با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در برداشت گیاهان، اندام هوایی از ناحیه طوقه توسط یک تیغ بریده شد. سپس نمونه‌ها درون پاکت‌های کاغذی مخصوص در داخل خشک‌کن با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از ۴۸ ساعت وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. بلافاصله پس از قرائت وزن خشک اندام هوایی، دانه‌ها از سنبله جدا و وزن آن‌ها با ترازو، با دقت ۰/۰۲ گرم اندازه‌گیری شد. همچنین برای تعیین نیتروژن اندام هوایی و دانه از روش نووامسکی و همکاران (۱۹۷۴) استفاده شد. در برداشت ریشه‌ها، ابتدا خاک درون ستون با دقت خارج شد. سپس ریشه‌ها درون تشت‌های آب قرار گرفتند. پس از سست شدن خاک اطراف ریشه، ریشه با احتیاط از خاک جدا و محتاطانه در برابر جریان آب، شست‌وشو تا ذرات غیر از ریشه (مانند

کرده است؛ بنابراین می‌توان بیان نمود که زئولیت طبیعی بدین سبب باعث افزایش کارایی کود نیتروژنی و در نتیجه رشد بهتر گیاه می‌شود.

نتایج مشابیهی را غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۷) برای گیاه کلزا، حسینی ابری و همکاران (۱۳۸۹) برای گیاه گلرنگ، خاشعی و همکاران (۲۰۰۷)، لطیفه و همکاران (۲۰۱۱) و ملکیان و همکاران (۲۰۱۱) برای گیاه ذرت، حسینی چمنی و همکاران (۱۳۹۸) برای گیاه ماش گزارش شده است؛ در حالی که اندازه ذرات اصلاح‌کننده تأثیر معنی‌داری را بر میزان عملکرد وزن خشک گیاه و همچنین عملکرد دانه نداشته است، سطح کاربرد اصلاح‌کننده و اثر متقابل نوع و سطح کاربرد اصلاح‌کننده دارای اثر معنی‌داری بر این دو پارامتر گیاهی هستند (جدول ۴). کاربرد سطح بالاتر اصلاح‌کننده به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) وضعیت رشد بهتری را برای گیاه نسبت به کاربرد کمتر اصلاح‌کننده ایجاد کرده است (جدول ۵). بررسی اثر متقابل تیمارها نشان می‌دهد که عملکرد وزن خشک گیاه و عملکرد دانه در اثر کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک در مقایسه با تیمار کنترل بیشتر که این تفاوت در سطح بالای کاربرد اصلاح‌کننده‌ها معنی‌دار است (شکل ۱). با بررسی اثر متقابل تیمارها بیشترین میزان وزن خشک و عملکرد دانه در تیمار Zmb و به ترتیب ۳/۴۹ گرم در بوته و ۱/۳۷ گرم در بوته مشاهده شد.

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر نوع اصلاح‌کننده بر وزن خشک و حجم ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۴). میزان وزن خشک و حجم ریشه گیاه در تیمارهای زئولیت طبیعی نسبت به زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بیشتر است (جدول ۵). بیشترین وزن خشک ریشه و حجم ریشه گیاه در تیمار زئولیت طبیعی به ترتیب ۵/۳۷ و ۶/۶۱ و در تیمارهای زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت اندازه ذرات اصلاح‌کننده، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک و حجم ریشه ندارد (جدول ۴)؛ اما سطح کاربرد اصلاح‌کننده و اثر متقابل نوع و سطح کاربرد اصلاح‌کننده دارای اثر معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد

است (جدول ۴). کاربرد سطح بیشتر اصلاح‌کننده به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) وضعیت رشد بهتری را برای رشد ریشه نسبت به کاربرد کمتر اصلاح‌کننده ایجاد کرده است (جدول ۵). بررسی اثر متقابل تیمارها نشان می‌دهد که وزن خشک و حجم ریشه در اثر کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک در مقایسه با تیمار کنترل بیشتر که این تفاوت در سطح بالای کاربرد اصلاح‌کننده‌ها معنی‌دار است (شکل ۱). با بررسی اثر متقابل تیمارها بیشترین میزان حجم ریشه و وزن خشک ریشه به ترتیب در تیمارهای Zmb و Zmb (۲/۶۴ سانتی‌مترمکعب در بوته و ۲۷۱ میلی‌گرم در بوته) مشاهده شد. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید میزان حجم ریشه در تیمارهای Zma، Zmb، Zmb، Smb، Sma و Smb نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۰/۵، ۱۱/۲۲، ۰/۵، ۲۸/۷۸، ۰/۵، ۸/۷۸ و ۹/۲۷ درصد افزایش یافت و با تیمارهای ZMa و Sma اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین وزن خشک ریشه در تیمارهای Zma، Zmb، ZMa، Zmb، Sma، Sma، Smb و Sma نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲/۰۷، ۱۲/۴۵، ۱/۶۶، ۱۲/۰۳، ۱/۶۶، ۱۰/۳۷ و ۲/۰۷ و ۱۰/۳۷ درصد افزایش یافت (شکل ۱).

نتایج تجزیه واریانس حداکثر شاخص سطح برگ (LAI) نشان داد که تیمارهای کاربردی اثر معنی‌داری بر این پارامتر ندارند (جدول ۴). همچنین کاربرد زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت در اندازه‌ها و سطوح کاربردی مختلف تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع و قطر گیاه اندازه‌گیری شده در انتهای فصل رشد نداشته است (جدول ۵). به‌طور کلی بیشترین شاخص سطح برگ (۲/۷۳)، ارتفاع گیاه (۵۰/۷ سانتی‌متر) و قطر ساقه (۲/۲۹ میلی‌متر) در تیمار Zmb مشاهده شد.

#### بررسی اثر زئولیت بر صفت‌های کیفی گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای اعمال شده بر میزان نیتروژن ساقه و برگ اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۶) که با نتایج رنجبر چوبه و همکاران (۱۳۸۳) برای گیاه توتون، پرین و همکاران (۱۹۹۸)، خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۸۷) و ملکیان و همکاران (۲۰۱۱) برای گیاه ذرت و پرز و همکاران (۲۰۰۸) برای زیتون مطابقت دارد. میزان نیتروژن دانه و نیتروژن برداشت شده توسط گیاه به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) تحت تأثیر نوع

وضعیت رشد بهتری برای گیاه در مقایسه با تیمار کنترل فراهم شده است. میزان نیتروژن دانه و نیتروژن برداشت شده توسط گیاه در اثر کاربرد زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت نسبت به تیمار کنترل افزایش داشته، که این اختلاف در سطح بالای کاربرد اصلاح کننده‌ها معنی دار است؛ به گونه‌ای که میزان غلظت نیتروژن دانه و نیتروژن برداشت شده توسط گیاه در تیمارهای Zmb, Zmb, Smb و Smb نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵/۳۷، ۴/۸۸، ۲/۴۴ و ۲/۴۴ درصد افزایش یافت. همچنین نیتروژن برداشت شده توسط گیاه در تیمارهای Zmb, Zmb, Smb و Smb نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۵/۴۷، ۱۴/۵۵، ۹/۷۳ و ۹/۵۷ درصد افزایش یافت و با تیمارهای Zma, Zma, Sma و Sma اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل ۲) که دلیل آن مهیا بودن نیتروژن بیشتر برای جذب در تیمارهای اصلاح شده است.

اصلاح کننده، سطح کاربرد اصلاح کننده و اثر متقابل نوع و سطح کاربرد اصلاح کننده قرار گرفته است (جدول ۶). نتایج به دست آمده با نتایج رنجبر چوبه و همکاران (۱۳۸۳) برای گیاه توتون، پیرین و همکاران (۱۹۹۸)، خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۸۷) و ملکیان و همکاران (۲۰۱۱) برای گیاه ذرت و پرز و همکاران (۲۰۰۸) برای زیتون مطابقت دارد. غلظت نیتروژن دانه و نیتروژن برداشت شده توسط گیاه در ستون‌های دریافت کننده زئولیت طبیعی به طور معنی داری (۱/۴۵ و ۲/۴۹ درصد) بیشتر از ستون‌های دریافت کننده زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت هستند. همچنین افزایش سطح کاربردی اصلاح کننده به طور معنی داری (در سطح ۵ درصد) سبب افزایش میزان غلظت نیتروژن دانه و نیتروژن برداشت شده توسط گیاه شده است. نتایج همچنین نشان داد که به دلیل کاهش تلفات نیتروژن در اثر کاربرد اصلاح کننده‌های زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت،

جدول ۴- تجزیه واریانس عملکرد وزن خشک گیاه یا زیتوده (گرم در بوته)، عملکرد دانه (گرم در بوته)، شاخص سطح برگ LAI، ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)، قطر ساقه (میلی‌متر)، حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب در بوته) و وزن خشک ریشه (میلی‌گرم در بوته)

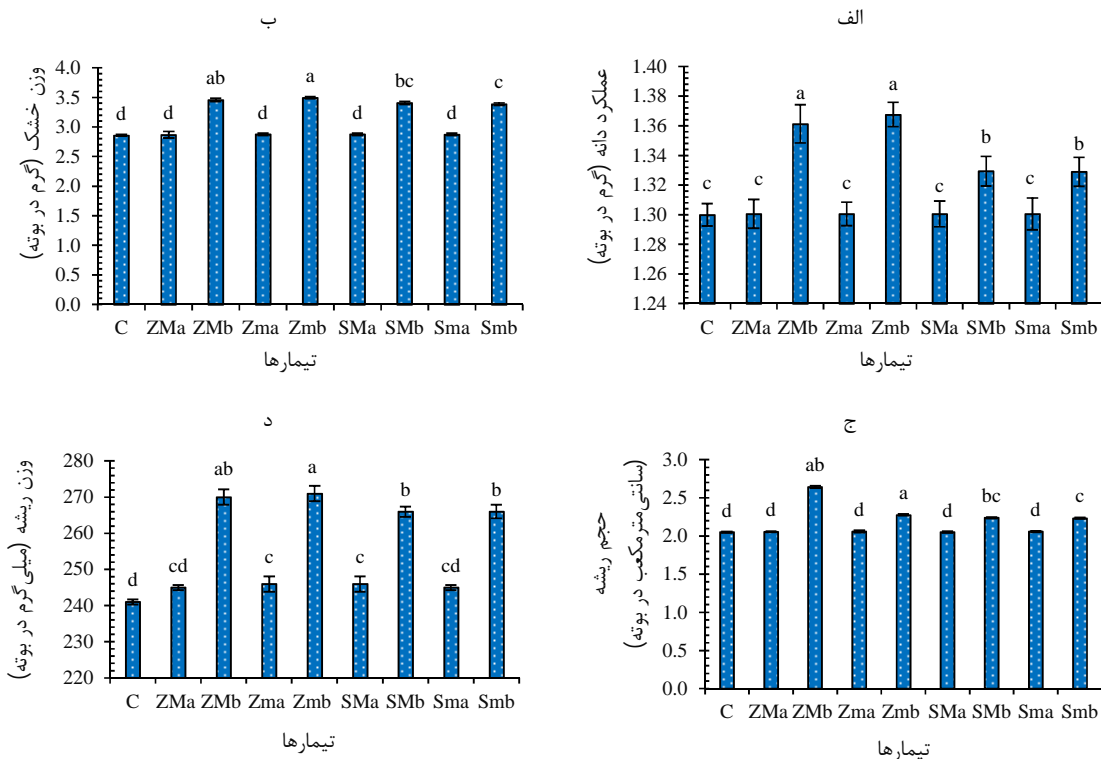
منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه (گرم در بوته)	وزن خشک (گرم در بوته)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب در بوته)	وزن خشک ریشه (میلی‌گرم در بوته)	LAI	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)
نوع اصلاح کننده	۱	۰/۰۰۱۸۶۴۴۵**	۰/۰۰۸۴۳۷۵*	۰/۰۰۱۹۴۴*	۳۰/۳۷۵*	۰/۰۰۰۳۳۷۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹۸۳۷۵
اندازه ذرات اصلاح کننده	۱	۰/۰۰۰۱۳۰۳	۰/۰۰۰۲۰۴۱۷	۰/۰۰۰۱۸۱۵	۰/۳۷۵	۰/۰۰۰۰۳۷۵	۰/۰۶	۰/۰۰۱۸۳۷۵
سطح کاربرد اصلاح کننده	۱	۰/۰۱۲۸۰۹۶۸**	۱/۸۹۸۴۳۷۵**	۰/۲۳۴۰۳۷۵**	۳۱۰۵/۳۷۵**	۰/۰۰۳۰۳۷۵	۱۳/۵۰	۰/۰۷۵۹۳۷۵
اثر متقابل نوع در اندازه ذرات اصلاح کننده	۱	۰/۰۰۰۰۱۶۸۶	۰/۰۰۰۱۸۳۷۵	۰/۰۰۰۰۹۶	۳/۳۷۵	۰/۰۰۰۹۳۷۵	۲/۵۳۵	۰/۰۲۷۳۳۷۵
اثر متقابل نوع در سطح کاربرد اصلاح کننده	۱	۰/۰۰۱۸۶۷۸۹**	۰/۰۱۰۰۰۴۱۷*	۰/۰۰۱۵۳۴*	۳۰/۳۷۵*	۰/۰۰۰۹۳۷۵	۱/۲۱۵	۰/۰۰۰۹۳۷۵
اثر متقابل اندازه ذرات در سطح کاربرد	۱	۰/۰۰۰۰۱۲۱۶	۰/۰۰۰۰۳۷۵	۰/۰۰۰۰۱۳۵	۰/۳۷۵	۰/۰۰۰۹۳۷۵	۰/۲۴	۰/۰۰۳۰۳۷۵
اثر متقابل نوع در اندازه ذرات در سطح کاربرد	۱	۰/۰۰۰۰۱۷۲۰	۰/۰۰۰۷۰۴۱۷	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۳۷۵	۰/۰۰۰۹۳۷۵	۰/۱۳۵	۰/۰۳۱۵۳۷۵
ضرب تغییرات	۷/۱	۶/۷۸	۶/۷۷	۶/۹۶	۴/۱۴	۶/۳۶	۸/۰۱	

\* و \* \* به ترتیب نشانگر معنی دار بودن اثر تیمار آزمایشی در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشند.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های<sup>۱</sup> عملکرد وزن خشک گیاه یا زیتوده (گرم در بوته)، عملکرد دانه (گرم در بوته)، شاخص سطح برگ LAI، ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)، قطر ساقه (میلی‌متر)، حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب در بوته) و وزن خشک ریشه (میلی‌گرم در بوته)

تیمار آزمایشی	عملکرد دانه (گرم در بوته)	وزن خشک (گرم در بوته)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب در بوته)	وزن خشک ریشه (میلی‌گرم در بوته)	LAI	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)
نوع اصلاح‌کننده							
ژنوتیپ طبیعی	۱/۳۳۲۵۰۸ <sup>a</sup>	۳/۱۷۳۳۳ <sup>a</sup>	۲/۱۶ <sup>a</sup>	۲۵۸ <sup>a</sup>	۲/۶۹ <sup>a</sup>	۵۰/۰۲ <sup>a</sup>	۲/۲۴ <sup>a</sup>
ژنوتیپ اصلاح‌شده با سورفکتانت	۱/۳۱۴۸۸ <sup>b</sup>	۳/۱۳۵۸۳ <sup>b</sup>	۲/۱۵ <sup>b</sup>	۲۵۵/۷۵ <sup>b</sup>	۲/۷۰ <sup>a</sup>	۴۹/۹۸ <sup>a</sup>	۲/۱۸ <sup>a</sup>
اندازه ذرات اصلاح‌کننده							
میلی‌متر	۱/۳۲۲۹۵۸ <sup>a</sup>	۳/۱۵۱۶۷ <sup>a</sup>	۲/۱۵ <sup>a</sup>	۲۵۶/۷۵ <sup>a</sup>	۲/۶۹ <sup>a</sup>	۵۰/۰۵ <sup>a</sup>	۲/۲۲ <sup>a</sup>
میکرومتر	۱/۳۲۴۴۳۱ <sup>a</sup>	۳/۱۵۷۵ <sup>a</sup>	۲/۱۶ <sup>a</sup>	۲۵۷ <sup>a</sup>	۲/۶۹ <sup>a</sup>	۴۹/۹۵ <sup>a</sup>	۲/۲۰ <sup>a</sup>
سطح کاربرد اصلاح‌کننده (g kg <sup>-1</sup> )							
۲۰	۱/۳۰۰۵۹۳ <sup>b</sup>	۲/۸۷۳۳۳ <sup>b</sup>	۲/۰۵ <sup>b</sup>	۲۴۵/۵ <sup>b</sup>	۲/۶۹ <sup>a</sup>	۴۹/۲۵ <sup>a</sup>	۲/۲۷ <sup>a</sup>
۶۰	۱/۳۴۶۷۹۷ <sup>a</sup>	۳/۴۳۵۸۳ <sup>a</sup>	۲/۲۵ <sup>a</sup>	۲۶۸/۲۵ <sup>a</sup>	۲/۷۱ <sup>a</sup>	۵۰/۷۵ <sup>a</sup>	۲/۱۶ <sup>a</sup>

۱- اعداد هر تیمار آزمایشی در هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.



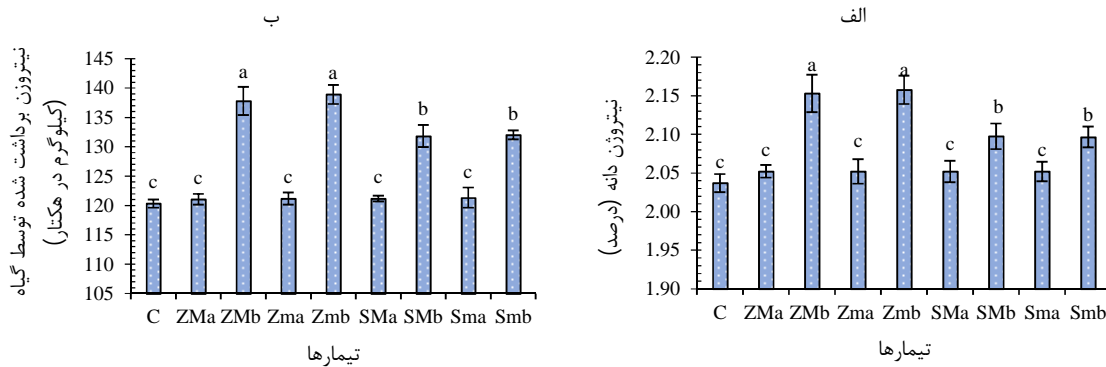
شکل ۱- آثار متقابل تیمارهای اعمال‌شده بر الف) عملکرد دانه، ب) وزن خشک، ج) حجم ریشه و د) وزن ریشه



جدول ۶- تجزیه واریانس میزان نیتروژن کاه گندم (درصد)، نیتروژن دانه گندم (درصد) نیتروژن برداشت شده توسط گیاه (کیلوگرم بر هکتار)، میزان زه آب خروجی در طول دوره رشد (میلی متر) و مقدار کل نیترات آیشویی شده (کیلوگرم بر هکتار)

میانگین مربعات						
نیترات آیشویی شده (کیلوگرم بر هکتار)	میزان زه آب (میلی متر)	N برداشت شده توسط گیاه (کیلوگرم بر هکتار)	N دانه گندم (درصد)	کاه گندم (درصد)	درجه آزادی	منبع تغییرات
۱۸/۰۹۸۰۳۴	۷/۶۹۵۳۳۷۵۰	۵۹/۷۶۷۵۵۹**	۰/۰۰۵۰۷۵۰۴**	۰/۰۰۰۳۰۳۷	۱	نوع اصلاح کننده
۲/۱۹۴۳۳۵۴	۰/۲۳۴۰۳۷۵۰	۰/۹۲۵۲۷۶	۰/۰۰۰۰۰۵۰۴	۰/۰۰۰۰۱۸۳۸	۱	اندازه ذرات اصلاح کننده
۲۵۲/۱۹۵۱۸۳۴**	۹۵/۱۶۱۸۳۷۵۰	۱۱۶۹/۳۹۱۳۷۶**	۰/۰۳۳۰۷۸۳۸**	۰/۰۰۰۱۳۵۳۸	۱	سطح کاربرد اصلاح کننده
۰/۰۰۰۳۶۰۴	۲/۷۹۴۸۳۷۵۰	۰/۲۹۲۴۳۰	۰/۰۰۰۰۱۲۰۴	۰/۰۰۰۰۱۸۳۸	۱	اثر متقابل نوع در اندازه ذرات اصلاح کننده
۱/۹۴۷۶۹۰۴	۸/۶۷۶۰۳۷۵۰	۶۵/۰۶۴۸۸۳**	۰/۰۰۵۰۷۵۰۴**	۰/۰۰۰۰۶۳۳۸	۱	اثر متقابل نوع در سطح کاربرد اصلاح کننده
۰/۲۳۲۸۰۳۴	۱/۱۴۸۴۳۷۵۰	۰/۳۸۱۲۳۹	۰/۰۰۰۰۰۵۰۴	۰/۰۰۰۰۰۳۳۷	۱	اثر متقابل اندازه ذرات در سطح کاربرد
۰/۴۵۴۵۷۵۴	۰/۹۰۰۹۳۷۵۰	۰/۳۲۰۶۰۳	۰/۰۰۰۰۱۲۰۴	۰/۰۰۰۰۰۳۳۷	۱	اثر متقابل نوع در اندازه ذرات در سطح کاربرد
۵/۵۲۹۱۳۷۵	۲۵/۰۲۲۴۵	۴/۳۷۱۹۳۸	۰/۰۰۰۰۰۶۲۵	۰/۰۰۰۰۳۳۳۷	۱۶	خطای آزمایش
۸/۸۵	۸/۶۸	۲/۶۳	۲/۰۷۷	۲/۳۹		ضریب تغییرات

\*\* و \* به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن اثر تیمار آزمایشی در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد هستند.



شکل ۲- اثرات متقابل تیمارهای اعمال شده بر الف) نیتروژن دانه و ب) نیتروژن برداشت شده توسط گیاه

زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت در طول دوره مطالعه است. از طرفی میزان  $\text{NO}_3\text{-N}$  آیشویی شده علاوه بر غلظت  $\text{NO}_3\text{-N}$  زهاب تحت تأثیر حجم زه آب خروجی نیز قرار دارد. البته میزان زه آب خروجی در طول دوره رشد تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار نگرفت است (جدول ۶). حجم زهاب در طول دوره رشد با توجه به میزان برداشت گیاه، تبخیر و میزان آبیاری متغیر است؛ به همین دلیل با وجود معنی دار بودن اثر اصلاح کننده بر غلظت  $\text{NO}_3\text{-N}$  زه آب، میزان  $\text{NO}_3\text{-N}$  کل خروجی تحت تأثیر نوع اصلاح کننده قرار نگرفته است.

### بررسی اثر زئولیت بر آیشویی نیتروژن

نتیجه آنالیز واریانس میزان کل  $\text{NO}_3\text{-N}$  آیشویی شده در طول دوره رشد نشان داد که اثر نوع اصلاح کننده بر میزان نیتروژن آیشویی شده معنی دار نیست (جدول ۶). اگرچه زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت به طور معنی داری متوسط غلظت  $\text{NO}_3\text{-N}$  زه آب را نسبت به زئولیت طبیعی کاهش داده، میزان کل  $\text{NO}_3\text{-N}$  آیشویی شده در طول دوره رشد تحت تأثیر نوع اصلاح کننده قرار نگرفته است (جدول ۶) نتیجه به دست آمده احتمالاً به دلیل تفاوت در جذب و واجذب  $\text{NO}_3\text{-N}$  و  $\text{NH}_4^+$  به ترتیب از زئولیت طبیعی و

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های<sup>۱</sup> میزان نیتروژن کاه گندم (درصد)، نیتروژن دانه گندم (درصد) نیتروژن برداشت‌شده توسط گیاه (کیلوگرم بر هکتار) و مقدار کل نیترات آیشویی شده (کیلوگرم بر هکتار)

تیمار آزمایشی	N کاه گندم (درصد)	N دانه گندم (درصد)	N برداشت‌شده توسط گیاه (کیلوگرم بر هکتار)	میزان زه‌آب (میلی‌متر)
نوع اصلاح‌کننده				
زئولیت طبیعی	۰/۴۲ <sup>a</sup>	۲/۱۰ <sup>a</sup>	۱۲۹/۷۴ <sup>a</sup>	۲۷/۴۲ <sup>a</sup>
زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت	۰/۴۱ <sup>a</sup>	۲/۰۷ <sup>b</sup>	۱۲۶/۵۹ <sup>b</sup>	۲۵/۶۹ <sup>a</sup>
اندازه ذرات اصلاح‌کننده				
میلی‌متر	۰/۴۱ <sup>a</sup>	۲/۰۹ <sup>a</sup>	۱۲۸/۳۶ <sup>a</sup>	۲۶/۸۶ <sup>a</sup>
میکرومتر	۰/۴۲ <sup>a</sup>	۲/۰۹ <sup>a</sup>	۱۲۷/۹۷ <sup>a</sup>	۲۶/۲۵ <sup>a</sup>
سطح کاربرد اصلاح‌کننده (g kg <sup>-1</sup> )				
۲۰	۰/۴۱ <sup>a</sup>	۲/۰۵ <sup>b</sup>	۱۲۱/۱۸ <sup>b</sup>	۲۹/۸۰ <sup>a</sup>
۶۰	۰/۴۲ <sup>a</sup>	۲/۱۳ <sup>a</sup>	۱۳۵/۱۵ <sup>a</sup>	۲۳/۳۱ <sup>b</sup>

۱- اعداد هر تیمار آزمایشی در هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

معنی‌داری بیشتر بود. این بدان معنی است که مصرف زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک، آیشویی نیترات را به‌طور معنی‌داری کاهش و به‌تبع آن مقدار نیتروژن خاک در لایه اول را افزایش می‌دهد. در نتیجه با افزایش فراهمی طولانی مدت نیتروژن در محیط ریشه نه‌تنها آلودگی محیط‌زیست کاهش می‌یابد، بلکه بازدهی محصول افزایش می‌یابد و به بهبود رشد گیاه کمک می‌کند. اندازه ذرات اصلاح‌کننده‌ها اثر معنی‌داری بر آیشویی نیترات و رشد گیاه گندم نداشت. همچنین کاربرد اصلاح‌کننده‌ها در سطح ۲۰ گرم در کیلوگرم در کاهش آیشویی نیترات و رشد گیاه گندم چندان مؤثر نبود.

## منابع

۱. اکبری ب. ۱۳۸۴. بررسی میزان اثربخشی نانو تکنولوژی در شاخه‌های مختلف بهداشت محیط. هشتمین همایش ملی بهداشت محیط. ۱۹-۱۷ آبان. بیمارستان امام خمینی تهران. ۱-۷.
۲. بای‌بوردی م. ۱۳۸۱. پیدایش و رده‌بندی خاک. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ نهم. ۷۱۶ ص.
۳. چوپان ی. خاشعی سیوکی ع. و شهیدی ع. ۱۳۹۷. اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهر تربت حیدریه بر عملکرد مرفولوژیک پنبه رقم ورامین. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲(۱): ۶۷-۷۷.
۴. حبیب‌پور کاشفی ا. قرینه م. ح. و شافعی‌نیا ر. ۱۳۹۶. تأثیر سطوح مختلف زئولیت بر عملکرد اجزای عملکرد لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris*)

سطح کاربرد اصلاح‌کننده تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر میزان  $\text{NO}_3\text{-N}$  خروجی از ستون‌ها داشته است (جدول ۶). با افزایش سطح کاربرد اصلاح‌کننده میزان  $\text{NO}_3\text{-N}$  خروجی از ناحیه ریشه به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) کاهش یافته است (جدول ۷). بیشترین میزان  $\text{NO}_3\text{-N}$  آیشویی شده در سطح ۲۰ گرم بر کیلوگرم (۲۹/۸۰ کیلوگرم بر هکتار) و کمترین میزان  $\text{NO}_3\text{-N}$  آیشویی شده در سطح ۶۰ گرم بر کیلوگرم (۲۳/۳۱ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد. با افزایش سطح کاربرد اصلاح‌کننده، به‌دلیل افزایش جذب نیتروژن توسط ذرات زئولیت، کاهش شست‌وشوی نیتروژن اتفاق می‌افتد. در آزمایش‌های غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۷) و ملکیان و همکاران (۲۰۱۱) نیز نتایج مشابه با نتایج این پژوهش حاصل شده است. به‌طور کلی کاهش شست‌وشوی نیتروژن از طریق کاربرد زئولیت، ناشی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد شیمیایی و ساختمانی این مواد طبیعی است.

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر کاربرد زئولیت‌های طبیعی زئولیت طبیعی و اصلاح‌شده با سورفکتانت به‌عنوان اصلاح‌کننده‌های خاک برای کنترل آیشویی نیترات و رشد گیاه گندم تحت آبیاری با پساب تصفیه‌شده انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت به میزان ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک بر کاهش آیشویی نیترات و رشد گیاه گندم مؤثر است. غلظت نیتروژن دانه و نیتروژن برداشت‌شده توسط گیاه در تیمار زئولیت طبیعی نسبت به تیمار زئولیت اصلاح‌شده با سورفکتانت به‌طور

- عملکرد کمی و کیفی علوفه کلزای پاییزه. نشریه علوم آب و خاک- علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲(۴۵): ۵۴۸-۵۳۷.
۱۴. ملکوتی م. ج. و غیبی م. ن. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور. نشر آموزش کشاورزی. چاپ دوم. ۹۲ ص.
15. Barber K. L. Pierzynski G. M. and Vanderlip R. L. 1994. Ammonium/nitrate ratio effects on dry matter partitioning and radiation use efficiency of corn. *Journal of Plant Nutrition*. 17(5): 869-882.
16. Batista A. P. Monterio V. H. Coelho S. R. and Sampaio S. R. 2010. The effect of irrigation with swine wastewater on yield and seed quality of dry beans. Use of manures and organic wastes to improve soil quality and nutrient balances, Western Parana state University, Brazil
17. Below F. E. and Gentry L. E. 1987. Effect of mixed N nutrition on nutrient accumulation, partitioning, and productivity of corn. *Journal of Fertilizer Issues*. 4(3): 79-85.
18. Breck D. W. 1964. Crystalline molecular sieves. *Journal of Chemical Education*. 41(12): 678-689.
19. Chapman H. D. 1965. Cation exchange capacity, In: Black, C. A. (Ed.), *Method of Soil Analysis*. SSA, Madison, Wisc. pp. 891-901.
20. Duchemin B. Hadria R. Erraki S. Boulet G. and Maisongrande P. 2005. Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: On the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. *Agricultural Water Management*. 79: 1-27.
21. Keeney D. R. and Nelson D. W. 1982. *N-inorganic forms Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2: 643-698.
22. Khasheei S. Kuchakzaden A. M. Shahbifar J. and Abassi H. 2007. Application of natural zeolite of clinoptilolite of corn yield under water depletion. *Journal of agricultural science Technology*. 73(3): 611-619.
23. Latifah O. Ahmed O. H. and Muhamad A. M. 2011. Enhancing nutrient use efficiency of maize (*Zea mays L.*) from mixing urea with zeolite and peat soil water. *International Journal of Physical Sciences*. 6(14): 3330-3335.
- L) تحت تنش خشکی در شرایط آب و هوایی کرمانشاه. دو فصلنامه فناوری تولیدات گیاهی ۱۹(۱): ۱۴۱-۱۵۱.
۵. حسینی ابری س. ع. صالح پرهیزکار م. ر. ارادتمند اصلی د. و مرادی پ. ۱۳۸۹. تأثیر سطوح مختلف زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ. دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار (فرصت‌ها و چالش‌های پیش‌رو). ۱۱-۱۲ اسفند. شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز. ۱-۱۰.
۶. حسینی چمنی ع. قرینه م. ج. بخشنده ع. و لطفی جلال‌آبادی ا. ۱۳۹۸. تأثیر دور آبیاری، قارچ مایکوریزا و زئولیت بر عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه ماش. به زراعی کشاورزی. ۲۱(۲): ۱۳۰-۱۱۹.
۷. خاشعی سیوکی ع. و احمدی م. ۱۳۹۴. زئولیت‌ها: معرفی، خواص و کاربرد آن. بیرجند، انتشارات دانشگاه بیرجند، چاپ اول. ۱۰۳ ص.
۸. خاشعی سیوکی ع. کوچک‌زاده م. و شهبابی فر م. ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت و رطوبت خاک بر اجزای عملکرد ذرت. مجله پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک) ۲۲(۲): ۲۳۵-۲۴۲.
۹. کوچکی ع. و خواجه حسینی م. ۱۳۹۱. زراعت نوین. جهاد دانشگاهی (دانشگاه مشهد). چاپ دوم. ۷۱۲ ص.
۱۰. رنجبر چوبه م. اصفهانی م. کاووسی م. و یزدانی م. ۱۳۸۳. تأثیر آبیاری و مصرف زئولیت طبیعی بر عملکرد کمی و کیفی توتون کوکر ۳۴۷. پژوهش‌نامه علم کشاورزی. ۱(۲): ۷۱-۷۲.
۱۱. شفق کلوانق ج. زهتاب سلماسی س. نصراله زاده ص. هاشمی عمیدی ن. و دست برهان س. ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد و پروتئین دانه جو در واکنش به نیتروژن و تداخل علف‌های هرز. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۵(۴): ۱۱۹-۱۳۴.
۱۲. شعاعی ش. رفیعی ف. و کاشانی ع. ۱۳۸۸. تأثیر تناوب و کود نیتروژن بر غلظت P، N و K و عملکرد گندم. دانش نوین کشاورزی. ۱۷: ۲۷-۳۴.
۱۳. غلامحسینی م. آقاعلیخانی م. و ملکوتی م. ج. ۱۳۸۷. تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر

36. Zykin V. A. 1976. The root system of wheat and the possibility of improving it by breeding. *Vestnik S-kh. Nauki Moscow*. 11: 43-48.
24. Lei X. Sugiura N. Feng C. and Maekawa T. 2007. Pretreatment of anaerobic digestion effluent with ammonia stripping and biogas purification. *Journal of Hazardous Materials*. 145: 391-397.
25. Li Z. 2003. Use of surfactant-modified zeolite as fertilizer carriers to control nitrate release. *Microporous Mesoporous Materials*. 61(3): 181-188.
26. Li Z. H. and Bowman R. S. 1997. Cointerion effects on the sorption of cationic surfactant and chromate on natural clinoptilolite. *Environmental Science Technology*. 31(8): 2407-2412.
27. Malekian R. Abedi-Kuopai J. and Eslamian S. S. 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth, *Journal of Hazardous Materials*. 185: 970-976.
28. Mig D. W. and Dixon J. B. 1987. Quantitative determination of clinoptilolite in soils by a cation-exchange capacity method. *Clays Clay Minerals*. 35(6): 463-468.
29. Novozamsky I. van Eck R. van Schouwenburg J. and Walinga I. 1974. Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol blue method. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 22: 3-5.
30. Owen P. C. 1968. A measuring scale for areas of cereals leaves. *Experimental Agricultural*. 4: 275-278.
31. Perez R. Caballero J. Gil C. Benitez J. and Gonazalez L. 2008. The effect of adding zeolite to soils in order to improve the N-K nutrition of olive trees: Preliminary results. *American Journal of Agricultural Biological Science*. 2(1): 321-324.
32. Perrin T. S. Drost D. T. Boettinger J. L. and Norton J. M. 1998. Ammonium-loaded clinoptilolite: A slow-release nitrogen fertilizer for sweet corn. *Journal of Plant Nutrition*. 21(3): 515-530.
33. Rehakova M. Covanova S. Dzivak M. Rimar J. and Gaval'ova Z. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. *Current Opinion Solid State Materials Science*. 8(6): 397-404.
34. Rupp L. A. 1989. Greenhouse culture, in: James, D. W., and K. F. Toppers (Eds.), *Utah fertilizer guide*, Cooperative Extension Service, Utah State University, Logan, UT. pp. 42-54.
35. Xing Xuebing. 2016. Ionic-liquid-crafted zeolite for the removal of anionic dye methyl orange. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 59: 237-243.