

## Influence of the Application of Zeolite and Nitrogen on Quality, Yield and Yield Components of Potato under Field Condition

KOHSAR AHMADI<sup>1</sup>, MOHAMMAD ALI MAHMOODI<sup>1\*</sup>, MASOUD DAVARI<sup>1</sup>, FARZAD HOSSEINPANAHI<sup>2</sup>, AKBAR KARIMI<sup>3</sup>

1. Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

3. Department of Agronomy Research, Khuzestan Sugarcane Development and By-products Research and Training Institute, Ahvaz, Iran.

(Received: May. 10, 2021- Revised: June. 5, 2021- Accepted: June. 9, 2021)

### ABSTRACT

For evaluation of the effect of different levels of zeolite and nitrogen on yield and some quality traits of potato under field condition, an experiment was carried out as a split plot based on a randomized complete blocks design in three replications in research fields of University of Kurdistan in 2018. The experimental treatments were clinoptilolite zeolite application at four levels (0, 5, 10 and 15 ton ha<sup>-1</sup>) as the main plot and nitrogen application at five levels (0, 50, 100 150 and 200 kg N ha<sup>-1</sup>) as the sub plot. The results indicated that with the application of different levels of zeolite, tuber yield, biological yield, average tuber weight, tuber dry matter, significantly increased, while, tuber NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration significantly decreased. Also, the results indicated that the nitrogen application led to significant increase in the tuber yield, biological yield, average tuber weight, tuber dry matter and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration. The greatest tuber yield was recorded at 200 kg ha<sup>-1</sup> N application treatment. The highest tuber yield and harvest index were recorded at 10 ton ha<sup>-1</sup> zeolite application treatment. The tuber yield in this treatment was 13.9% higher than the control treatments (no zeolite application). In general, the results of this study demonstrated that the zeolite application at 10 ton ha<sup>-1</sup> can be a suitable practice for improving potato yield and quality.

**Keywords:** Potato, Nitrate, Soil amendment, Sustainable Agriculture, Urea Fertilizer.

---

\* Corresponding Author's Email: a.mahmoodi@uok.ac.ir

## تأثیر کاربرد زئولیت و نیتروژن بر کیفیت، عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی در شرایط مزرعه

کوهسار احمدی<sup>۱</sup>، محمد علی محمودی<sup>۱\*</sup>، مسعود داوری<sup>۱</sup>، فرزاد حسین پناهی<sup>۲</sup>، اکبر کریمی<sup>۳</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

۳. گروه تحقیقات به‌زراعی، مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۰ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۳/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۳/۱۹)

### چکیده

برای بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر عملکرد و برخی ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی، در شرایط مزرعه‌ای، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان در سال زراعی ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت در چهار سطح (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) به‌عنوان کرت اصلی و کاربرد نیتروژن در پنج سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به‌عنوان کرت فرعی بودند. نتایج نشان داد در اثر کاربرد سطوح مختلف زئولیت عملکرد بیولوژیک، عملکرد غده، متوسط وزن غده، درصد ماده خشک غده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، در حالی‌که غلظت نیترات در غده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین کاربرد نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک، عملکرد غده، درصد ماده خشک غده، متوسط وزن غده و غلظت نیترات در گیاه گردید. بیش‌ترین عملکرد غده سیب‌زمینی با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و بیش‌ترین عملکرد غده و شاخص برداشت با مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت بود. عملکرد غده در این تیمار در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد زئولیت) ۱۳/۹٪ بیش‌تر بود. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد زئولیت در سطح ۱۰ تن در هکتار می‌تواند راهکار مناسبی در بهبود عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اصلاح‌کننده خاک، سیب‌زمینی، کشاورزی پایدار، کود اوره، نیترات.

### مقدمه

یکی از گیاهان پرنیاز به نیتروژن می‌باشد، که کارایی جذب نیتروژن پایینی دارد (Elrys *et al.*, 2021). بنابراین مدیریت کوددهی نیتروژن یکی از فاکتورهای مهم پیش‌رو در بهبود عملکرد سیب‌زمینی می‌باشد (Elrys *et al.*, 2021). غلظت بالای نیتروژن و قیمت مناسب کود اوره، سبب شده این کود پرمصرف‌ترین کود نیتروژنی مورد استفاده در تولید گیاهان زراعی جهان باشد. با این‌حال به‌دلیل هیدرولیز سریع اوره به آمونیوم ( $\text{NH}_4^+$ ) و سپس تبدیل آن به نیترات ( $\text{NO}_3^-$ )، هدررفت آن افزایش یافته و سبب کاهش فراهمی نیتروژن برای سیب‌زمینی در زمان نیاز به آن می‌باشد (Souza *et al.*, 2020). به‌طور کلی، به‌دلیل آزادسازی سریع نیتروژن از کود اوره، ۴۰ تا ۷۰٪ نیتروژن آن برای گیاهان غیرقابل دسترس می‌باشد (Beig *et al.*, 2020). افزون بر این، توسعه محدود ریشه و رشد کند سیب‌زمینی در اوایل دوره رشد سبب کاهش کارایی جذب نیتروژن توسط سیب‌زمینی می‌شود. بنابراین درکشت سیب‌زمینی، پتانسیل هدررفت نیتروژن بالا می‌باشد (Elrys *et al.*, 2021). از سوی دیگر

نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی برای تغذیه گیاهان و تولید محصولات زراعی بوده و کاربرد بهینه آن برای پایداری اقتصادی سیستم‌های زراعی بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Latifah *et al.*, 2017). یا توجه به این‌که نیتروژن خاک نمی‌تواند برای نیاز گیاهان کافی باشد، نیتروژن مورد نیاز گیاهان با کاربرد کودهای نیتروژن‌دار تأمین می‌شود (Beig *et al.*, 2020). مدیریت صحیح کودهای نیتروژنی می‌تواند سبب افزایش کارایی آن‌ها در خاک-های کشاورزی و همچنین حفظ سلامت محیط زیست می‌شود (Latifah *et al.*, 2017; Beig *et al.*, 2020). در گیاهان زراعی یک‌ساله بازایافت نیتروژن به‌دلیل هدررفت آن به‌ویژه تصعید آمونیوم، آبشویی و دنیتریفیکاسیون پایین می‌باشد (Latifah *et al.*, 2017).

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از منابع غذایی ضروری برای تغذیه انسان در جهان، پس از گندم و برنج می‌باشد (Gao *et al.*, 2015; Elrys *et al.*, 2019). سیب‌زمینی

افزایش انباشت نیترات در غده سیبزمینی، یکی دیگر از مشکلات موجود در تولید سیبزمینی می‌باشد و تهدیدی برای سلامتی جوامع بشری است (Chen et al., 2017; Elrys et al., 2018). بنابراین استفاده از راهکارهای مناسب جهت بهبود کارایی هدررفت کودهای نیتروژنی در مزارع سیبزمینی و همچنین کاهش انباشت نیترات در غده سیبزمینی، بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Elrys et al., 2021).

یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر برای بهبود کارایی جذب نیتروژن در کود اوره و کاهش هدررفت نیتروژن در خاک مورد توجه قرار گرفته، استفاده از اصلاح‌کننده‌های طبیعی مانند زئولیت در اراضی کشاورزی می‌باشد (Latifah et al., 2017; Elrys et al., 2021). زئولیت‌ها خانواده بزرگی از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی را تشکیل می‌دهند. این ترکیبات کریستال‌های آلومینوسیلیکاته هیدراته با شبکه سه بعدی 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 (Qi et al., 2016; Mihok et al., 2020). زئولیت ظرفیت نگهداری آب بالایی داشته و می‌تواند با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در افزایش رشد و عملکرد گیاهان مؤثر باشد (Karami et al., 2020). افزون بر این، زئولیت می‌تواند به عنوان منبع سیلیسم در تغذیه گیاهان زراعی نقش داشته باشد و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان شود (Ashfaq et al., 2017).

زئولیت کانی طبیعی و ارزان قیمت می‌باشد که 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 اوره‌آز قرار گیرد (Maghsoodi et al., 2020). بدین ترتیب زئولیت سبب به تأخیر انداختن تبدیل اوره به آمونیوم می‌شود (Maghsoodi et al., 2020). همچنین، زئولیت به دلیل دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بالا و توانایی بالای جذب آمونیوم، می‌تواند آمونیوم را جذب نموده و افزون بر کاهش تصعید آمونیوم، با کاهش نرخ تبدیل آمونیوم به نیترات، سبب کاهش آبشویی نیترات در خاک شود (Zheng et al., 2018; Jumadi et al., 2020; Elrys et al., 2021; Mihok et al., 2020). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده کاربرد زئولیت در خاک سبب افزایش آسیمیلایون<sup>۱</sup> نیتروژن، کاهش نیتریفیکاسیون و کاهش آبشویی نیترات در خاک می‌شود (Elrys et al., 2021). Pati et al. (2016). گزارش کردند کاربرد زئولیت به دلیل داشتن سیلیسیم و اثر هم‌افزایی<sup>۲</sup> سیلیسم و نیتروژن در خاک سبب

سیبزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی علاوه بر نقش مهمی که در صنعت دارد سهم به سزایی در تغذیه بسیاری از مردم جهان را به عهده دارد (Elrys et al., 2021). مدیریت مصرف نیتروژن در این زراعت از اهمیت بالایی برخوردار است و به دلیل سازگار بودن این گیاه با شرایط آب و هوایی مختلف سبب شده که کشت آن در مناطق مختلف جهان انجام شود (Elrys et al., 2021). تاکنون مطالعات چندانی در زمینه تأثیر کاربرد زئولیت به همراه کود اوره بر عملکرد و کیفیت سیبزمینی در شرایط مزرعه‌ای، در خاک‌های ایران انجام نشده است. بنابراین با توجه به مزایای کاربرد زئولیت در خاک، این پژوهش به منظور بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف زئولیت کلینتوپیتولیت و نیتروژن (از منبع کود اوره) بر رشد، عملکرد و برخی ویژگی‌های کیفی (ماده خشک و غلظت نیترات در غده) گیاه سیبزمینی رقم مامبا که از ارقام زودرس سیبزمینی می‌باشد، در شرایط مزرعه‌ای بود.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در دهگلان (۳۵ کیلومتری شهر سنندج) انجام شد. مزرعه تحقیقاتی در مختصات ۴۷/۱۵ درجه طول جغرافیایی و ۳۵/۲۹ درجه عرض جغرافیایی و با ارتفاع ۱۸۶۶ متر از سطح دریا قرار دارد. منطقه مورد اشاره از نظر اقلیمی جزو مناطق نیمه خشک و سرد استان کردستان به شمار می‌رود و میانگین بارندگی سالیانه در این منطقه ۳۵۰ میلی متر می‌باشد.

به منظور آگاهی از ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش، قبل از کشت، نمونه‌برداری از عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری انجام شد و پس از ترکیب کردن آن‌ها یک نمونه مرکب تهیه گردید و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان اندازه‌گیری شدند (Carter and

1. Assimilation

Gregorich, 2008). خاک مورد مطالعه دارای بافت لومی رسی، ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری نیز در این پژوهش در جدول (۲) غیرشور و pH آن در محدوده خاک‌های قلیایی بود (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

ویژگی	رس	سیلت	شن	باقث خاک	کربن آلی	pH	هدایت الکتریکی	نیتروژن کل	فسفر قابل دسترس	پتاسیم قابل دسترس
واحد	%	%	%	-	%	-	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
مقدار	۳۱/۲	۴۳/۷	۲۵/۱	لومی رسی	۰/۷۶	۷/۸	۰/۶	۱/۶	۱۳/۴	۳۰۶

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری در این پژوهش

ویژگی	pH	هدایت الکتریکی	سدیم	کلسیم	منیزیم	کربنات	بی‌کربنات	کلر
واحد	-	dS m <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
مقدار	۷/۷	۰/۳۸	۱۵/۳	۴۲/۲	۱۵/۸	۰	۱۴۹/۴	۱۱/۷

و شرایط منطقه هفته‌ای دو بار انجام شد.

کود نیتروژن از منبع اوره برای هر کرت به‌طور جداگانه با ترازوی دو رقم اعشار توزین گردید و در پاکت مخصوص جداگانه ریخته شد و در زمان اعمال کردن تیمار کود اوره به کرت‌های مربوطه پاشیده شد و آبیاری بلافاصله بعد از کود دهی انجام شد. برای توسعه بهتر ریشه‌ها در خاک، جلوگیری از بیرون افتادن غده‌ها از خاک در زمان غده‌بندی و همچنین وجین علف‌های هرز، خاک‌دهی پای بوته‌ها یک ماه پس از کشت انجام شد.

در پایان فصل رشد برای برداشت گیاه، اندام هوایی گیاه سیب‌زمینی حدود ۱۰ روز قبل از برداشت بریده شد تا غده‌ها پوست‌بندی خود را کامل کنند و وزن خشک غده‌ها کاهش نیابد. سپس برداشت گیاه انجام شد. غده‌های برداشت شده از هر کرت به‌طور جداگانه در داخل کیسه‌هایی قرار گرفت و جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد نظر به آزمایشگاه انتقال داده شدند. پس از برداشت گیاه از خاک کرت‌ها نمونه‌برداری شد و نیتروژن کل خاک با استفاده از روش کج‌لدال اندازه‌گیری شد (Jones, 1991). پس از رسیدگی محصول تعداد بوته و ساقه‌های هر کرت شمارش گردید و یادداشت شد. همچنین از هر کرت یک بوته برداشته، و اندام هوایی آن از غده‌ها جدا شد. سپس وزن تر کل چهار بوته اندازه‌گیری شد. سپس چهار بوته (مجموع ریشه، ساقه و برگ) را خرد کرده بعد مقداری از هر نمونه برداشته و وزن کرده و در پاکت کاغذی به مدت ۴۸ ساعت در آون قرار داده شد، سپس وزن خشک آن اندازه‌گیری گردید و در پایان عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. همچنین کل غده‌های ردیف‌های میانی برداشت شده و پس از شمارش تعداد آن‌ها، وزن غده‌های هر کرت اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری میزان ماده خشک غده، سه غده، بزرگ، متوسط و کوچک از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و وزن گردید سپس خرد شده و در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در

این آزمایش به صورت اسپلینت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با دو عامل کاربرد زئولیت (در چهار سطح، شامل صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) و کاربرد مقادیر مختلف کود نیتروژن از منبع کود اوره (در پنج سطح، شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و در سه تکرار انجام شد. یک سوم کود نیتروژنی در هر تیمار، هنگام کاشت به‌صورت پایه و بقیه کود، در دو نوبت در مرحله خاک‌دهی و در زمان گلدهی به‌صورت سرک اعمال شد. همچنین بر اساس نتایج آزمون خاک و جهت جلوگیری از تنش تغذیه‌ای، قبل از کشت ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم، به‌صورت کود پایه به خاک اضافه شد.

به‌منظور اعمال تیمارهای سطوح مختلف زئولیت کلینوپتیلولیت، قبل از کشت زمانی که رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه بود، زئولیت به‌صورت دستی به خاک اضافه شده و به‌وسیله دیسک و روتیواتور با خاک مخلوط گردید.

پس از اعمال تیمارها کشت سیب زمینی (رقم بامبا) انجام شد. برای انجام کشت، بعد از تهیه غده‌های سالم کشت به‌وسیله دستگاه غده کار نیمه اتوماتیک و به صورت ردیفی انجام شد. به‌طوری که در هر کرت شش ردیف کشت وجود داشت. در هر کرت نیم متر از ابتدا و انتهای کرت و همچنین از هر کرت ردیف اول و آخر کشت به عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد. از چهار ردیف میانی جهت نمونه‌گیری و اندازه‌گیری صفات مختلف استفاده گردید. کرت‌های ایجاد شده دارای شش ردیف کاشت به فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود. فاصله بوته‌ها روی هر ردیف ۲۵ سانتی‌متر و طول ردیف‌های کاشت در هر کرت آزمایشی ۸/۲۵ متر در نظر گرفته شد. در طی دوره داشت آبیاری به‌صورت بارانی و آبیاری اول بلافاصله پس از کشت و آبیاری‌های بعدی با توجه به نیاز گیاه

## نتایج و بحث

### ماده خشک غده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی کاربرد زئولیت و کود نیتروژن بر تولید ماده خشک غده سیب‌زمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در حالی‌که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد نیتروژن بر ماده خشک گیاه نشان داد کاربرد سطوح مختلف نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار درصد ماده خشک غده شد. مقایسه تیمارهای مختلف کاربرد نیتروژن نشان داد بیش‌ترین مقدار ماده خشک غده (۲۱/۸۵ درصد) مربوط به تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بود. همچنین تفاوت درصد ماده خشک غده در تیمارهای کاربرد مقادیر ۵۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۱).

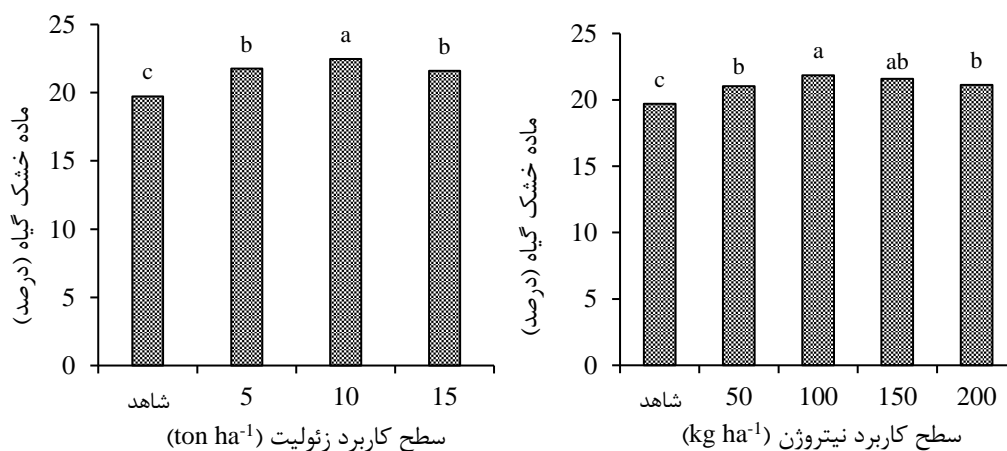
آون قرار گرفتند تا به وزن ثابت برسند و سپس مجدداً توزین شدند. در ادامه از نسبت ماده خشک غده به وزن کل آن، درصد ماده خشک تعیین شد. شاخص برداشت از نسبت وزن خشک غده به عملکرد کل ماده خشک محاسبه شد. همچنین غلظت نیترات غده به روش اسید سولفوسالسیلیک - سود اندازه‌گیری شد (Cataldo et al., 1975).

قبل از تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد و پس از اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها و صادق بودن سایر فرضیات آزمایش، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها انجام شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. نمودارها در محیط نرم افزار EXCEL رسم شدند.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر غلظت نیتروژن خاک و ویژگی‌های کمی سیب‌زمینی

میانگین مربعات		میانگین مربعات		میانگین مربعات		میانگین مربعات	
متوسط وزن غده‌ها	تعداد غده در ساقه	تعداد ساقه در متر مربع	درصد ماده خشک	درجه آزادی	منابع تغییرات		
۱۵۰/۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۷۸ <sup>ns</sup>	۳/۲۸۳ <sup>ns</sup>	۰/۲۹۰ <sup>ns</sup>	۲	بلوک		
۷۵۳۸/۸ <sup>**</sup>	۰/۲۶۴ <sup>ns</sup>	۹۳/۴۲ <sup>**</sup>	۲۴/۱۲ <sup>**</sup>	۳	زئولیت		
۱۱۸/۷۴	۰/۰۸۶	۱/۶۷۳	۰/۲۳۹	۶	خطا		
۷۸۰۷/۷۲	۰/۴۲۸	۹۸/۳۷	۲۴/۶۴۹	۱۱	کرت‌های اصلی		
۱۲۲۷/۷ <sup>**</sup>	۰/۱۷۸ <sup>ns</sup>	۱۳/۹۷ <sup>**</sup>	۱/۸۰۱ <sup>**</sup>	۴	نیتروژن		
۲۸۶/۰۲ <sup>**</sup>	۰/۱۶۱ <sup>ns</sup>	۲/۰۷۴ <sup>**</sup>	۰/۷۱۷ <sup>ns</sup>	۱۲	زئولیت × نیتروژن		
۴۱/۲۴	۰/۱۴۶	۰/۷۰۸	۰/۴۱۰	۳۲	خطا		
۱۵۵۴/۹۶	۰/۴۸۵	۱۶/۷۵	۲/۹۲۸	۴۸	کرت‌های فرعی		
۹۳۶۲/۶۸	۰/۹۱۳	۱۱۵/۱۲	۲۷/۵۷	۵۹	کل		
۴/۷۳	۱۰/۶۳	۴/۷۵	۳/۰۰	-	ضرب تغییرات		

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر درصد ماده خشک گیاه

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

را افزایش داد و در اثر کاربرد مقادیر بالاتر کود نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) درصد ماده خشک غده کاهش (بیش از ۰/۴۶

این نتایج نشان می‌دهد می‌توان با کاربرد مقدار کم‌تر کود نیتروژن (۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، درصد ماده خشک غده

### اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی کاربرد زئولیت و نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد ساقه (در مترمربع) و متوسط وزن غده‌ها معنی‌دار بود. در حالی که اثرات اصلی و متقابل تیمارهای کاربرد زئولیت و نیتروژن بر تعداد غده در ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در اثر کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن تعداد ساقه در متر مربع و وزن غده، در مقایسه با تیمار بدون کاربرد کود نیتروژن، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). مقایسه تیمارهای مختلف نیتروژن نشان داد بیش‌ترین تعداد ساقه در متر مربع مربوط به تیمار سطح کاربرد ۱۵۰ تن در هکتار نیتروژن و کاربرد سطح ۱۰ تن در هکتار زئولیت و بیش‌ترین مقدار وزن غده مربوط به تیمارهای کاربرد ۲۰۰ تن در هکتار نیتروژن بود. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح مختلف زئولیت سبب افزایش معنی‌دار تعداد ساقه در متر مربع و وزن غده سیب‌زمینی شد (جدول ۴). به‌طور کلی بیش‌ترین تعداد ساقه در مترمربع (۲۳/۲۳ عدد) و وزن غده (۱۸۳/۰)، به‌ترتیب مربوط به تیمارهای کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت همراه با ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن و کاربرد ۱۵ تن در هکتار زئولیت همراه با ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، بود. همچنین کم‌ترین تعداد ساقه در مترمربع (۱۳/۲۰ عدد) و وزن غده (۹۶/۵۴ گرم)، مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد کود نیتروژن و زئولیت) بود (جدول ۴).

درصد می‌یابد که این می‌تواند به‌دلیل افزایش غلظت نیتروژن و احتمالاً به‌وجود عدم تعادل تغذیه‌ای در گیاه باشد (Malakouti, 2011). نتایج اثر اصلی کاربرد زئولیت بر ماده خشک غده نشان داد کاربرد سطوح مختلف زئولیت سبب درصد ماده خشک غده را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۱). به‌طوری‌که درصد ماده خشک غده، در تیمارهای کاربرد سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار، به‌ترتیب ۱۰/۳، ۱۳/۹ و ۹/۵٪ بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۱). از میان تیمارهای کاربرد زئولیت بیش‌ترین درصد ماده خشک گیاه (۲۲/۴۷٪) مربوط به تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت بود. همچنین تفاوت بین درصد ماده خشک غده در تیمارهای کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۱). این نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت زئولیت در بهبود درصد ماده خشک غده، به‌عنوان یکی از ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی است و از جمله ویژگی‌های مؤثر در افزایش زمان انبارداری آن می‌باشد. افزایش درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی می‌تواند زمان انبارداری سیب‌زمینی را افزایش دهد. بنابراین کاربرد زئولیت می‌تواند در بهبود این ویژگی کیفی سیب‌زمینی مؤثر باشد. به‌طور مشابه با این پژوهش، Petropoulos *et al.* (2020) نیز گزارش کردند کاربرد زئولیت به همراه سطوح بهینه کودهای شیمیایی سبب افزایش درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی (واريته Spunta) شد. آن‌ها گزارش کردند اثر کاربرد زئولیت بر درصد ماده خشک غده در واریته‌های مختلف سیب‌زمینی متفاوت می‌باشد. نتایج این پژوهش با نتایج برخی از پژوهش‌های پیشین مشابه بود (Elrys *et al.*, 2021; Ozbahce *et al.*, 2018).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر تعداد ساقه در مترمربع و متوسط وزن غده‌ها

سطح کاربرد زئولیت (تن در هکتار)				
۱۵	۱۰	۵	صفر	سطح کاربرد نیتروژن
تعداد ساقه در متر مربع				
۱۷/۴ <sup>efg</sup>	۱۷/۹۶ <sup>def</sup>	۱۵/۹۶ <sup>hi</sup>	۱۳/۲ <sup>k</sup>	صفر
۱۹/۱۷ <sup>bcd</sup>	۲۰/۵۷ <sup>b</sup>	۱۶/۰۹ <sup>ghi</sup>	۱۴/۰۱ <sup>jk</sup>	۵۰
۱۹/۷۶ <sup>bc</sup>	۱۹/۹۳ <sup>bc</sup>	۱۷/۱۷ <sup>fgh</sup>	۱۴/۵۵ <sup>jk</sup>	۱۰۰
۱۹/۳۴ <sup>bcd</sup>	۲۳/۲۳ <sup>a</sup>	۱۸/۷۶ <sup>cde</sup>	۱۴/۵۲ <sup>jk</sup>	۱۵۰
۱۸/۶۵ <sup>cde</sup>	۱۹/۶۸ <sup>bc</sup>	۱۸/۰۰ <sup>def</sup>	۱۵/۳۴ <sup>ij</sup>	۲۰۰
میانگین وزن غده‌ها (گرم)				
۱۲۹/۷۹ <sup>ghi</sup>	۱۳۴/۶۸ <sup>fg</sup>	۱۲۰/۵۲ <sup>ij</sup>	۹۶/۴۶ <sup>k</sup>	صفر
۱۶۴/۵۱ <sup>b</sup>	۱۵۸/۲۸ <sup>bcd</sup>	۱۲۳/۰۲ <sup>hij</sup>	۹۷/۷۴ <sup>k</sup>	۵۰
۱۵۱/۲۸ <sup>cde</sup>	۱۴۷/۷۹ <sup>de</sup>	۱۲۴/۶۹ <sup>ghij</sup>	۱۰۴/۶۹ <sup>k</sup>	۱۰۰
۱۴۹/۵۴ <sup>cde</sup>	۱۵۹/۱۵ <sup>bc</sup>	۱۴۵/۱۸ <sup>ef</sup>	۱۱۹/۱۴ <sup>ij</sup>	۱۵۰
۱۸۳/۰ <sup>a</sup>	۱۵۴/۱۷ <sup>bcd</sup>	۱۳۲/۸۴ <sup>gh</sup>	۱۱۵/۴۷ <sup>j</sup>	۲۰۰

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر ویژگی، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

مقدار عملکرد مؤثر است. افزایش تعداد ساقه در اثر کاربرد سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت به‌دلیل افزایش رشد گیاه در اثر کاربرد

تعداد ساقه یکی از ویژگی‌های مهم در سیب‌زمینی است زیرا تعداد ساقه در تشکیل استولون‌ها و در نتیجه تشکیل غده و

زئولیت و کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک گیاه معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج همچنین نشان داد اثر اصلی کاربرد زئولیت و کود نیتروژن بر عملکرد غده معنی‌دار بود، در حالی که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد سطوح مختلف زئولیت و کود نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک گیاه در جدول (۶) آمده است. این نتایج نشان داد در تمامی سطوح کاربرد زئولیت، در اثر کاربرد کود نیتروژن عملکرد بیولوژیک گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین کاربرد زئولیت سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گیاه شد. از میان تیمارهای مختلف زئولیت، بیش‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیک گیاه مربوط به سطح کاربرد ۱۵ تن در هکتار زئولیت بود (جدول ۶). به‌طور کلی، بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک گیاه (۱۵۸/۶۹ گرم ماده خشک در مترمربع) در تیمار کاربرد ۱۵ تن در هکتار زئولیت همراه با ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار مشاهده شد که نسبت به کم‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیک (۶۱/۷۳ گرم ماده خشک در مترمربع) در تیمار شاهد (بدون کاربرد کود نیتروژن و زئولیت)، ۶۰/۲۴٪ بیش‌تر بود (جدول ۶).

آن‌ها، بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و افزایش سطح فتوسنتزی گیاه می‌باشد (Elrys et al., 2021). همچنین به‌دلیل افزایش جذب نیتروژن در اثر کاربرد آن، به‌دلیل افزایش تولید مواد ذخیره‌ای، غده‌زایی تحریک شده و تعداد غده و وزن آن‌ها افزایش می‌یابد (Bunce, 2006). (Madani et al., 2017) با بررسی تأثیر سطوح مختلف نیتروژن (۹۶، ۱۸۶ و ۲۷۶ کیلوگرم در هکتار) و زئولیت (۰، ۲، ۴ و ۶ تن در هکتار) بر ویژگی‌های کمی و کیفی سیب‌زمینی رقم آگریا در منطقه اراک گزارش کردند بیش‌ترین تعداد ساقه مربوط به تیمار کاربرد ۶ تن زئولیت در هکتار بود. آن‌ها دلیل این نتیجه را افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن در اثر کاربرد زئولیت، نسبت دادند. نتایج آن‌ها همچنین نشان داد بیش‌ترین متوسط وزن غده مربوط به تیمار کاربرد ۶ تن زئولیت در هکتار و کم‌ترین متوسط وزن غده مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد زئولیت) بود که نتایج آن‌ها با نتایج این پژوهش مشابه بود.

#### عملکرد بیولوژیک و عملکرد غده گیاه

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر اصلی کاربرد

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر عملکرد، شاخص برداشت و غلظت نیترات غده

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	عملکرد غده	شاخص برداشت	غلظت نیترات غده
بلوک	۲	۲۸/۸۲۴ <sup>ns</sup>	۴/۴۱ <sup>ns</sup>	۳۱/۴۱ <sup>ns</sup>	۸۶۷/۳۵ <sup>ns</sup>
زئولیت	۳	۶۵۰۵/۰۴۴ <sup>**</sup>	۲۳۰/۹۹ <sup>**</sup>	۲۹/۱۱ <sup>**</sup>	۴۶۸۷/۴*
خطا	۶	۳۵/۷۸۲	۱/۵۴۵	۴/۳۶	۱۱۴۹/۷
کرت‌های اصلی	۱۱	۶۵۷۰/۰۴	۲۳۶/۹۴	۶۴/۷۸	۶۷۱۳/۴۵
نیتروژن	۴	۲۸۲۵/۴۳ <sup>**</sup>	۶۶/۵ <sup>**</sup>	۱۵۰/۰۳ <sup>**</sup>	۳۱۴/۱۵*
زئولیت × نیتروژن	۱۲	۴۰۳/۷۷ <sup>**</sup>	۶/۶۹۳ <sup>ns</sup>	۳۱/۰۶ <sup>ns</sup>	۸۶۶/۷۸*
خطا	۳۲	۹۵/۶۵۴	۵/۹۴۴	۲۰/۷۷	۱۴۶/۴۴
کرت‌های فرعی	۴۸	۳۳۲۴/۸۵	۷۹/۱۳	۲۰/۱۸۶	۱۵۲۷/۳۷
کل	۵۹	۹۸۹۴/۸۹	۳۱۶/۰۷	۲۶۶/۶۴	۸۲۴۰/۸۲
ضریب تغییرات		۹/۳۴	۹/۳۵	۸/۴۱	۷/۹۸

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

و ۱۵ تن در هکتار زئولیت به ترتیب ۲۷/۵، ۴۱/۷ و ۳۹/۴٪ بیش‌تر از تیمار شاهد (بدون کاربرد زئولیت) بود (شکل ۲). مقایسه تیمارهای کاربرد زئولیت نشان داد تأثیر سطح کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت بر عملکرد غده به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سطح کاربرد ۵ تن بر هکتار بود. در حالی که اختلاف تیمارهای ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت، از نظر آماری معنی‌دار نبود. بنابراین، سطح کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار می‌تواند سطح بهینه کاربرد آن در بهبود عملکرد غده سیب‌زمینی با عملکرد ۲۹/۰۴ تن در هکتار و افزایش ۴۱/۷ درصدی عملکرد نسبت به

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد کود نیتروژن بر عملکرد غده، کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار عملکرد غده سیب‌زمینی شد (شکل ۲). بیش‌ترین عملکرد غده مربوط به تیمار کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود (شکل ۲). اگرچه تفاوت معنی‌داری میان سطوح کاربرد ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن مشاهده نشد. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد زئولیت بر عملکرد غده، نیز نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار عملکرد غده، در اثر کاربرد زئولیت بود. به‌طوری‌که عملکرد غده در تیمارهای کاربرد ۵، ۱۰

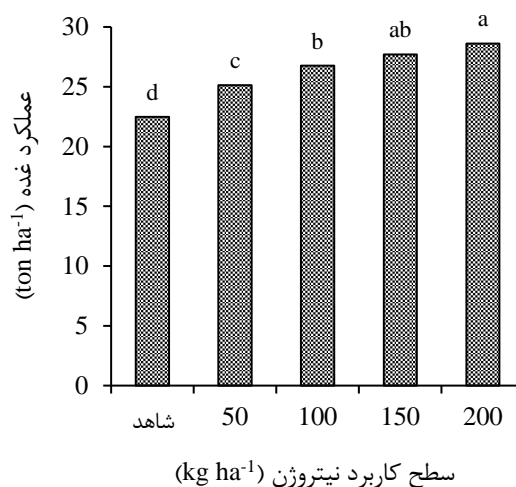
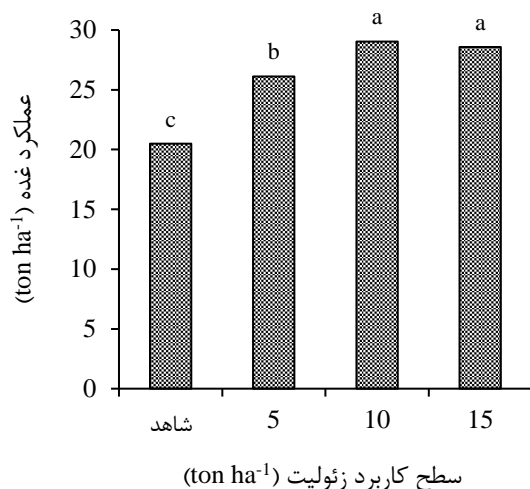
تیمار شاهد (بدون کاربرد زئولیت) باشد.

۹۲/۰۶ <sup>gh</sup>	۱۰۹/۵۲ <sup>def</sup>	۱۰۲/۴۷ <sup>efg</sup>	۶۳/۰۹ <sup>jk</sup>	۵۰
۱۱۸/۹۱ <sup>bcd</sup>	۱۳۱/۳۲ <sup>b</sup>	۱۰۳/۷۴ <sup>defg</sup>	۷۳/۸۵ <sup>ijk</sup>	۱۰۰
۱۳۴/۰۶ <sup>b</sup>	۱۲۷/۷۷ <sup>bc</sup>	۱۱۱/۵۰ <sup>de</sup>	۷۹/۰۸ <sup>hij</sup>	۱۵۰
۱۵۸/۶۹ <sup>a</sup>	۱۳۰/۶۷ <sup>b</sup>	۱۱۴/۳۳ <sup>cde</sup>	۹۴/۹۹ <sup>fgh</sup>	۲۰۰

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر عملکرد بیولوژیک گیاه (گرم ماده خشک در مترمربع)

سطح کاربرد نیتروژن	سطح کاربرد زئولیت (تن در هکتار)			
	صفر	۵	۱۰	۱۵
صفر	۶۱/۷۳ <sup>k</sup>	۱۰۳/۰۵ <sup>defg</sup>	۸۷/۹۳ <sup>ghi</sup>	۹۴/۶۴ <sup>fgh</sup>



شکل ۲- مقایسه میانگین سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد غده سیب‌زمینی

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد غده در اثر کاربرد زئولیت را می‌توان به توانایی زئولیت در نگه‌داشت نیتروژن در خاک و جلوگیری از آبهویی و هدررفت آن در خاک و در نتیجه بهبود فراهمی آن برای گیاه باشد (Latifah et al., 2017; Elrys et al. 2021). افزون بر این، فراهمی مناسب نیتروژن و یا آزادسازی آهسته آن در مراحل پایانی رویشی، می‌تواند در بهبود کارایی مصرف نیتروژن و افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی مؤثر باشد (Elrys et al. 2021). در اثر کاربرد زئولیت می‌تواند در افزایش همچنین افزایش CEC خاک و بهبود فراهمی عناصر غذایی در خاک از جمله فسفر و پتاسیم و عناصر غذایی کم‌مصرف، و به دنبال آن افزایش جذب آن‌ها توسط گیاه، می‌تواند از دیگر دلایل افزایش عملکرد گیاه در اثر کاربرد زئولیت باشد (Ramesh et al. 2018; Ozbahce et al. 2010; et al.). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که زئولیت به دلیل داشتن ساختار حفره‌ای و سطح ویژه بالا، توانایی بالایی در در اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک، نگه‌داشت آب و حفظ رطوبت خاک دارد و کارایی مصرف آب در گیاه را افزایش می‌دهد (Ramesh et al. 2015; Ozbahce et al. 2018).

بنابراین احتمالاً کاربرد زئولیت با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش کارایی مصرف آب، در بهبود عملکرد گیاه مؤثر بوده است. عملکرد بیولوژیک بیانگر آن است که گیاه زراعی قادر است چه مقدار فتوسنتز حقیقی خود را به صورت فتوسنتز خالص درآورد (Pirzad, 2013). تأثیر مثبت زئولیت به‌عنوان منبع سیلیسیم در تغذیه گیاه و نقش سیلیسیم در تحریک فتوسنتز گیاه (Elrys et al. 2021)، نیز می‌تواند در افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه نقش داشته باشد. به‌طور مشابه با این پژوهش، نتایج پژوهش Ozbahce et al. (2018) نشان داد کاربرد سطوح مختلف زئولیت سبب افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی (رقم اگر یا) شد. آن‌ها نتایج خود را به بهبود جذب آب و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه در اثر کاربرد زئولیت نسبت دادند. همچنین Yarmohammadi et al. (2014) با بررسی اثر کاربرد کود دامی و زئولیت بر ویژگی‌های زراعی و عملکرد سیب‌زمینی رقم آگریا گزارش کردند بالاترین عملکرد محصول در اثر کاربرد ۲۰ تن کود دامی با ۴ تن در هکتار زئولیت بدست آمد.

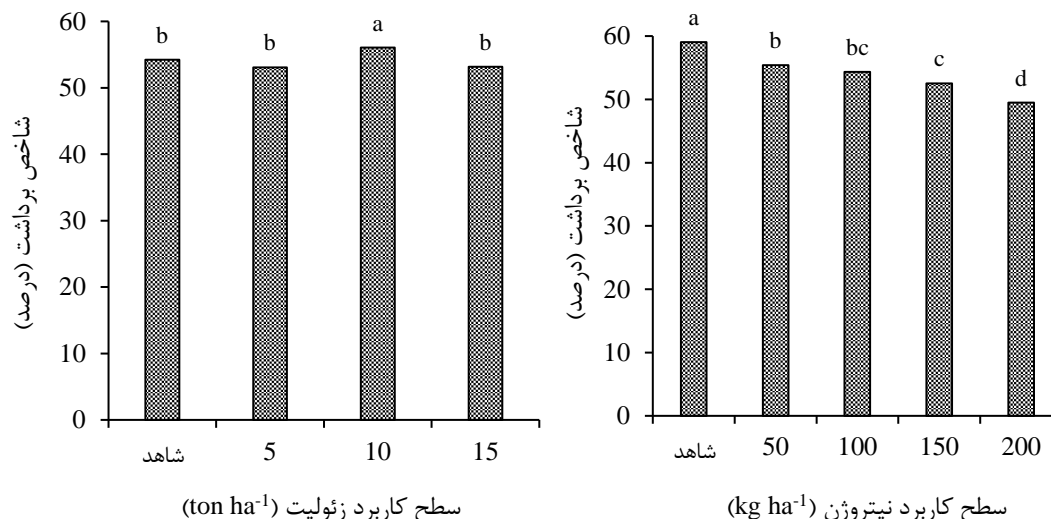
افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد غده در اثر کاربرد زئولیت را می‌توان به توانایی زئولیت در نگه‌داشت نیتروژن در خاک و جلوگیری از آبهویی و هدررفت آن در خاک و در نتیجه بهبود فراهمی آن برای گیاه باشد (Latifah et al., 2017; Elrys et al. 2021). افزون بر این، فراهمی مناسب نیتروژن و یا آزادسازی آهسته آن در مراحل پایانی رویشی، می‌تواند در بهبود کارایی مصرف نیتروژن و افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی مؤثر باشد (Elrys et al. 2021). در اثر کاربرد زئولیت می‌تواند در افزایش همچنین افزایش CEC خاک و بهبود فراهمی عناصر غذایی در خاک از جمله فسفر و پتاسیم و عناصر غذایی کم‌مصرف، و به دنبال آن افزایش جذب آن‌ها توسط گیاه، می‌تواند از دیگر دلایل افزایش عملکرد گیاه در اثر کاربرد زئولیت باشد (Ramesh et al. 2018; Ozbahce et al. 2010; et al.). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که زئولیت به دلیل داشتن ساختار حفره‌ای و سطح ویژه بالا، توانایی بالایی در در اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک، نگه‌داشت آب و حفظ رطوبت خاک دارد و کارایی مصرف آب در گیاه را افزایش می‌دهد (Ramesh et al. 2015; Ozbahce et al. 2018).



### شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی کاربرد زئولیت و کود نیتروژن بر شاخص برداشت معنی‌دار بود، در حالی که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین

داده‌ها نشان داد شاخص برداشت در سطوح مختلف کاربرد کود نیتروژن، به‌طور معنی‌داری کم‌تر از تیمار شاهد (بدون کاربرد کود نیتروژن) بود (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر شاخص برداشت گیاه میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

در بهبود ماده خشک کل گیاه و عملکرد اقتصادی دارد. بنابراین کاربرد زئولیت می‌تواند تأثیر مثبتی در افزایش کارایی کود نیتروژن در عملکرد گیاه و شاخص برداشت داشته باشد.

### غلظت نیترات در غده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل کود نیتروژن و زئولیت بر غلظت نیترات غده معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در اثر کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن غلظت نیترات غده، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و با افزایش سطح کاربرد نیتروژن، روند افزایشی در غلظت نیترات غده مشاهده شد (جدول ۷). در حالی که کاربرد سطوح مختلف زئولیت سبب کاهش غلظت نیترات غده شد. در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن، در اثر کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت، غلظت نیترات غده در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد زئولیت) به‌ترتیب ۱۰/۱ و ۱۲/۱٪ کاهش یافت. این نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت زئولیت در کاهش غلظت نیترات در غده سیب‌زمینی می‌باشد. Amini *et al.* (2018) با بررسی اثر کودهای آلی در ترکیب با کود شیمیایی بر عملکرد غده و برخی صفات کیفی سیب‌زمینی گزارش کردند که بالاترین غلظت نیترات در غده (۲۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار بود. آن‌ها دلیل افزایش غلظت نیترات در این تیمار اینگونه بیان کردند که کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی به

شاخص برداشت، بیانگر کارایی توزیع انتقال آسمیلات‌های ساخته شده در گیاه بین اندام‌های مختلف آن به ویژه اندام‌های اقتصادی می‌باشد. به عبارت دیگر، شاخص برداشت نسبت انباشت ماده خشک در کل گیاه و در عملکرد اقتصادی (وزن غده‌های سیب‌زمینی که محصول را تشکیل می‌دهند و دارای ارزش اقتصادی هستند) را نشان می‌دهد (Pirzad, 2013). بنابراین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن، ماده خشک غده‌های سیب‌زمینی و عملکرد غده را نسبت به کل گیاه، به مقدار کم‌تری افزایش می‌دهد و کود نیتروژن تأثیر بیش‌تری در افزایش ماده خشک برگ و عملکرد بیولوژیک دارد. بنابراین شاخص برداشت با افزایش مصرف نیتروژن کاهش یافت. این نتایج می‌تواند به دلیل نقش چشم‌گیر کود نیتروژن در افزایش جذب نیتروژن در برگ، در مقایسه با جذب آن توسط غده باشد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تفاوت معنی‌داری میان شاخص برداشت در تیمارهای کاربرد سطوح ۵ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت با تیمار شاهد وجود نداشت، در حالی که شاخص برداشت در تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد و سایر تیمارهای کاربرد زئولیت (۵ و ۱۵ تن در هکتار) بود (شکل ۲). این نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت کاربرد سطح ۱۰ تن در هکتار زئولیت در بهبود عملکرد غده می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد کاربرد زئولیت، تأثیر نسبتاً مشابهی

توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) ۲۵۰ میلی‌گرم کیلوگرم وزن تر گزارش شده است (WHO, 1978). Yeganeh and Bazargan (2016) حد مجاز نیترات در غده سیب زمینی بر اساس سبب غذایی ایرانیان را ۲۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر گزارش کردند. با فرض در نظر گرفتن ۲۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر، به‌عنوان حد مجاز غلظت نیترات در غده سیب‌زمینی، کاربرد سطوح ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت می‌تواند در کاهش غلظت نیترات در غده سیب‌زمینی تا پایین‌تر از حد مجاز، نقش مؤثری داشته باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد از میان سطوح مختلف کاربرد نیتروژن، اگرچه بیش‌ترین عملکرد غده سیب‌زمینی (۲۸/۶۱ تن در هکتار) مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود، اما عملکرد غده با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن نیز کاهش چشم‌گیری نداشت. بنابراین با کاهش مصرف کود نیتروژن از ۲۰۰ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌توان افزون بر کاهش هزینه‌های تولید، به عملکرد نسبتاً مشابهی دست یافت. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد کاربرد سطوح مختلف زئولیت سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی (رقم بامبا) می‌شود که این اثر مثبت زئولیت به سطح کاربرد آن بستگی دارد. از میان سطوح مختلف زئولیت کاربرد سطوح ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار در مقایسه با سطح کاربرد ۵ تن در هکتار، اثرات مثبت بیش‌تری بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی داشتند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان با کاربرد زئولیت در سطح ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار می‌توان افزون بر افزایش عملکرد گیاه، انباشت نیترات در گیاه را کاهش داد. به‌طور کلی، بر اساس نتایج پژوهش حاضر، کاربرد زئولیت در سطح ۱۰ تن در هکتار، می‌تواند راهکار مناسبی جهت کاهش مصرف کود نیتروژن و افزایش درصد ماده‌خشک و کاهش انباشت نیترات در سیب‌زمینی، در راستای سیستم کشاورزی پایدار باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

مقدار زیاد و سریع در گیاه جذب شده و مقدار نیترات گیاه را با نرخ بالایی افزایش می‌دهند. زئولیت به‌دلیل داشتن CEC بالا، توانایی بالایی در جذب آمونیوم و نیترات در خاک دارد و سبب جلوگیری از نیترات سازی (نیتریفیکاسیون) و تبدیل آمونیوم به نیترات در خاک و در نتیجه کاهش انباشت نیترات در خاک می‌شود (Zheng et al., 2018; Jumadi et al., 2020; Elrys et al., 2021; Mihok et al., 2020). بنابراین، کاهش غلظت نیترات در غده در اثر کاربرد زئولیت، احتمالاً به‌دلیل کاهش انباشت نیترات در خاک بوده است.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر غلظت نیترات غده (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

سطح کاربرد نیتروژن	سطح کاربرد زئولیت (تن در هکتار)			
	۱۵	۱۰	۵	صفر
صفر	۲۲۳/۶۸ <sup>l</sup>	۲۳۰/۴۹ <sup>jk</sup>	۲۳۸/۲۵ <sup>gh</sup>	۲۳۸/۳۱ <sup>gh</sup>
۵۰	۲۲۸/۴۴ <sup>k</sup>	۲۳۳/۸۱ <sup>ij</sup>	۲۴۱/۵۰ <sup>fg</sup>	۲۵۵/۶۳ <sup>c</sup>
۱۰۰	۲۳۲/۳۲ <sup>ij</sup>	۲۳۸/۶۶ <sup>gh</sup>	۲۴۵/۴۷ <sup>e</sup>	۲۵۹/۵۲ <sup>b</sup>
۱۵۰	۲۳۵/۶۶ <sup>hi</sup>	۲۴۴/۵۷ <sup>ef</sup>	۲۴۷/۹۶ <sup>de</sup>	۲۶۳/۰۵ <sup>b</sup>
۲۰۰	۲۴۰/۴۵ <sup>g</sup>	۲۴۵/۸۱ <sup>de</sup>	۲۴۹/۹۴ <sup>d</sup>	۲۷۳/۴۳ <sup>a</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

آنزیم نیترات ردوکتاز به‌عنوان یک آنزیم تنظیمی و تنظیم‌کننده مقدار نیترات در گیاهان می‌باشد و هر عاملی که سبب افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در گیاه شود، می‌تواند انباشت نیترات در گیاه را کاهش دهد (Ashfaqe et al., 2017; Elrys et al., 2018). بنابراین دیگر دلیل کاهش انباشت نیترات در غده، در اثر کاربرد زئولیت در این پژوهش، می‌تواند افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز باشد، چراکه کاربرد زئولیت در خاک به‌عنوان یک منبع سیلیسیم، به دلیل نقش مثبت سیلیسیم در افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز، سبب افزایش فعالیت این آنزیم در گیاه می‌شود (Ashfaqe et al., 2017; Elrys et al., 2021). نتایج پژوهش Elrys et al. (2021) نیز نشان داد کاربرد زئولیت به‌همراه کود اوره سبب کاهش چشم‌گیر غلظت نیترات در غده سیب‌زمینی شد. حد مجاز غلظت نیترات در غده سیب‌زمینی

### REFERENCES

- Amini, R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Mahdavi, S. (2017). Effect of organic fertilizers in combination with chemical fertilizer on tuber yield and some qualitative characteristics of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agroecology*, 9(3), 734-748.
- Ashfaqe, 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.
- Beig, B., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Hussain, A., Zia, M. H. and Mehran, M. T. (2020). Coating materials for slow release of nitrogen from urea fertilizer: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 43(10), 1510-1533.
- Bunce, J.A. (2006). How do leaf hydraulics limit stomatal conductance at high water vapour

- pressure deficits? *Plant Cell and Environment*, 29, 1644-1650.
- Carter M.R., and Gregorich E.G. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis (2nd Ed.). CRC Press. Boca Raton, Florida, 1204p.
- Cataldo, D. A., Maroon, M., Schrader, L. E. and Youngs, V. L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid 1. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6(1): 71-80.
- Chen, J., Wu, H., Qian, H. and Gao, Y. (2017). Assessing nitrate and fluoride contaminants in drinking water and their health risk of rural residents living in a semiarid region of northwest China. *Exposure and Health*, 9(3), 183-195.
- Elrys, A. S., Abdo, A. I. and Desoky, E. S. M. (2018). Potato tubers contamination with nitrate under the influence of nitrogen fertilizers and spray with molybdenum and salicylic acid. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(7), 7076-7089.
- 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.
- Elrys, A. S., Raza, S., Abdo, A. I., Liu, Z., Chen, Z. and Zhou, J. (2019). Budgeting nitrogen flows and the food nitrogen footprint of Egypt during the past half century: Challenges and opportunities. *Environment international*, 130, 104895.
- Gao, X., Li, C., Zhang, M., Wang, R. and Chen, B. (2015). Controlled release urea improved the nitrogen use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) on silt loamy soil. *Field crops research*, 181, 60-68.
- Jones, J. B. Jr. 1991. Kjeldahl Method for Nitrogen Determination. Micro-Macro Publishing, Athens, GA
- 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.
- Karami, S., Hadi, H., Tajbaksh, M., and Modarres-Sanavy, S. A. M. (2020). Effect of zeolite on nitrogen use efficiency and physiological and biomass traits of Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) under water-deficit stress conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 1427-1441.
- Latifah, O., Ahmed, O. H. and Majid, N. M. A. (2017). Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. *Geoderma*, 306, 152-159.
- Madani, H., Farhadi, A., Pazoki, A. and Changizi, M. (2009). Effects of different levels of nitrogen and zeolite on traits qualitative and quantitative of potato in Arak region. *New Finding in Agriculture*, 3(4), 379-391. (In Farsi)
- Maghsoodi, M. R., Najafi, N., Reyhanitabar, A., & Oustan, S. (2020). Hydroxyapatite nanorods, hydrochar, biochar, and zeolite for controlled-release urea fertilizers. *Geoderma*, 379, 114644.
- Malakouti, M. J. (2011). Relationship between balanced fertilization and healthy agricultural products (A Review). *Journal of Crop and Weed Ecophysiology*. 4(16), 133-150. (In Farsi)
- 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.
- Ozbahce, A., Tari, A. F., Gonulal, E. and Simsekli, N. (2018). Zeolite for enhancing yield and quality of potatoes cultivated under water-deficit conditions. *Potato Research*, 61(3), 247-259.
- Pati, S., Pal, B., Badole, S., Hazra, G. C. and Mandal, B. (2016). Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(3), 284-290.
- Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Polyzos, N., Antoniadis, V., Barros, L. and CFR Ferreira, I. (2020). The impact of fertilization regime on the crop performance and chemical composition of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivated in central Greece. *Agronomy*, 10(4), 474.
- Pirzad, A., Yoosefi, M., Darvishzadeh, R. and Raei, Y. (2013). Effect of different rates of zeolite and nitrogen fertilizer on yield and harvest index of flower, grain, essential oil and seed oil of *calendula officinalis* L. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(2), 61-75.
- Qi, W., Guimin, Xia., Taotao, C., Daocai, C., Ye, J. and Dehuan, S. (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.
- 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.
- WHO. (1978). Nitrates, Nitrites and N-Nitroso Compounds. Geneva, Environmental Health Criteria 5.
- Yarmohammadi, V. Sajedi, N.V. and Mirzakhani, M. (2014). The effect of irrigation cycle and application of manure and zeolite on agronomic characteristics and potato yield of Agria cultivar. *New Agricultural Findings*. 9(2), 158-149. (In Farsi)
- Yeganeh, M. and Bazargan, K. (2016). Human health risks arising from nitrate in potatoes consumed in Iran and calculation nitrate critical value using risk assessment study, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(3), 817-

824.

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.