

اثر کاربرد خاکی زئولیت طبیعی و کود دامی بر خصوصیات بیوشیمیایی تاک انگور در شرایط تنش خشکی

محمدرضا زکائی خسروشاهی^{۱*}، روح‌الله کریمی^۲ و امین ترنجیان^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۵)

چکیده

کاربرد خاکی کود دامی و زئولیت به عنوان روشی ساده و ارزان برای حفظ رطوبت خاک در نواحی خشک و نیمه‌خشک و خاک‌های سبک مطرح است. به منظور بررسی تأثیر کود گوسفندی و زئولیت طبیعی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی انگور بیدانه سفید در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در تاکستان دانشگاه ملایر، همدان طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری (۷ روز و ۲۱ روز یکبار) و چهار سطح اصلاح کننده‌ها (شاهد، ۱۲ کیلوگرم زئولیت، ۱۵ کیلوگرم کود گوسفندی، ترکیب ۱۲ کیلوگرم زئولیت و ۱۵ کیلوگرم کود گوسفندی) بود. نتایج نشان داد که کاهش آبیاری به کاهش محتوای پروتئین محلول و غلظت عناصر معدنی برگ و همچنین، به افزایش محتوای پرولین، کربوهیدرات‌ها، فنل کل، مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن برگ منجر شد. کاربرد کود حیوانی و زئولیت در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی به دلیل افزایش جذب و نگهداری آب در خاک، در بهبود تمامی شاخص‌های مورد ارزیابی موثر بود. کاربرد کود حیوانی و زئولیت اثر مثبت معنی‌داری بر میزان عناصر پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) برگ داشت، اما اثر این تیمارها بر میزان عناصر کم‌مصرف (آهن و روی) برگ غیرمعنی‌دار بود. نتایج این تحقیق نشان داد که با کاربرد خاکی زئولیت، به تنهایی یا در ترکیب با کود حیوانی، می‌توان با حفظ بهتر رطوبت در خاک‌های سبک، اثرات منفی تنش خشکی بر تاک انگور را به حداقل رساند.

کلمات کلیدی: اصلاح خاک، پروکسید هیدروژن، پرولین، کربوهیدرات محلول، مالون دی‌آلدهید

۱- استادیار گروه باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۲- استاد گروه باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

* پست الکترونیک: mreza.zokaee@malayeru.ac.ir

مقدمه

بیش از ۲۰ درصد زمین‌های کشاورزی جهان تحت تأثیر خشکسالی قرار دارند و تولید غذا در آنها کمتر از حد مورد نیاز است (منصور^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). یکی از راه‌های مقابله با کم‌آبی در نواحی خشک و نیمه‌خشک حفظ رطوبت خاک و افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک است. استفاده از انواع مواد آلی از جمله کودهای حیوانی به منظور بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصول از زمان‌های گذشته متداول بوده است و این به دلیل ظرفیت آنها برای تأمین عناصر غذایی، بهبود فعالیت میکروبیولوژیکی خاک، افزایش تبادل کاتیونی، نفوذ و ظرفیت نگهداری آب، کاهش تراکم و بهبود ساختمان خاک است (مارتین-مارتینز^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). به هر حال، کاربرد مقادیر بالای این مواد گاهی باعث افزایش غلظت نمک‌های محلول و تجمع برخی مواد نامطلوب (مانند فلزات سنگین یا آلاینده‌های آلی) می‌شود (لئوگرند و ویتی^۳، ۲۰۱۹). اخیراً استفاده از زئولیت‌های طبیعی به عنوان اصلاح‌کننده خاک‌های کشاورزی رونق یافته است. زئولیت‌ها گروهی از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی با ساختمان متخلخل هستند که در طبیعت یافت شده یا به صورت صنعتی ساخته می‌شوند. تاکنون بیش از ۵۰ نوع زئولیت طبیعی و ۲۱۰ نوع زئولیت مصنوعی شناسایی شده است (جها و سینگ^۴، ۲۰۱۶). زئولیت‌ها در صنایع مختلف به‌عنوان جاذب سطحی و کاتالیزور موارد مصرف متعددی دارند. در کشاورزی از این کانی‌ها به‌عنوان ماده جاذب رطوبت و نیز برای اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و بهبود حاصلخیزی خاک استفاده می‌شود (کاتالدو^۵ و همکاران، ۲۰۲۱b). زئولیت‌ها به دلیل داشتن تخلخل بالا و ساختار کریستالی می‌توانند تا بیش از ۶۰ درصد وزنی خود آب را جذب کرده و به تدریج آن را در اختیار گیاه قرار دهند (پولات^۶ و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین، این مواد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش می‌دهند و موجب کاهش آبشویی عناصر غذایی و افزایش ماندگاری کود در منطقه توسعه ریشه می‌شود (وانگ^۷ و همکاران، ۲۰۲۳). آنالیز

خاک و برگ درختان زیتون در باغی که از زئولیت طبیعی استفاده شده بود، حاکی از افزایش غلظت‌های دو عنصر ضروری نیتروژن و پتاسیم بود (پرز-کابالرو^۸ و همکاران، ۲۰۰۸). در آزمایشی توسط میلوزویچ و میلوزویچ^۹ (۲۰۰۹) که تأثیر کاربرد کودهای آلی و معدنی به همراه زئولیت بررسی شد، زئولیت رشد رویشی شاخساره، قطر تنه و عملکرد دو رقم سیب را افزایش داد. نتایج آزمایش مذکور حاکی از آن بود که زئولیت با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، دسترسی گیاه به عناصر غذایی از جمله نیتروژن و پتاسیم را افزایش می‌دهد. مطالعه انجام شده توسط کرمی^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که زئولیت از طریق حفظ طولانی مدت رطوبت و نیتروژن محلول در خاک موجب افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها و بهبود کارایی شیمیایی فتوسنتز II شد و کارایی مصرف آب و نیتروژن گیاه آمارانتوس در شرایط تنش خشکی را بهبود بخشید. در آزمایش دیگری، افزودن ۱ درصد زئولیت به خاک محتوای رطوبتی آن را ۱۰ درصد افزایش داد که به افزایش ۶ درصدی جذب آب توسط گیاه اسفناج منجر گردید (کاسترونوو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۳). دونی^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند زئولیت ظرفیت تبادل کاتیونی خاک تاجستان را افزایش داد و بر دسترسی به مواد مغذی تأثیر مثبت گذاشت و بدین ترتیب، باعث حاصلخیزی خاک شد. کاربرد خاکی زئولیت در تاجستان با خاک لومی‌رسی باعث افزایش فتوسنتز تک‌برگ، کاهش دمای برگ و کاهش خسارت تنش آبی به درختان جوان انگور شد (کاتالدو و همکاران، ۲۰۲۱a).

با توجه به واقع شدن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک و شدت گرفتن مشکلات ناشی از خشکسالی در سال‌های اخیر به نظر می‌رسد یافتن راهی جهت حفظ رطوبت خاک باعث بهبود رشد و نمو درختان میوه گردیده و در نتیجه به افزایش عملکرد منجر شود. بخش عمده تاجستان‌های شهرستان ملایر دارای خاک سبک با ظرفیت پایین نگهداری آب هستند. به همین خاطر هدف پژوهش حاضر ارزیابی پتانسیل حفظ رطوبت زئولیت و کود دامی در راستای کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر شاخص‌های

8. Perez-Caballero
9. Milosevic and Milosevic
10. Karami
11. Castronuovo
12. Doni

1. Mansoor
2. Marin-Martinez
3. Leogrande and Vitti
4. Jha and Singh
5. Cataldo
6. Polat
7. Wang

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک محل اجرای آزمایش

عمق (cm)	لای	شن	رس	بافت خاک	هدایت الکتریکی (dS m^{-1})	پی‌اچ	آهک (%)	کربن آلی (%)	نیتروژن (%)	فسفر (ppm^*)	پتاسیم
۳۰-۰	۴۷/۷	۲۷/۱	۲۴/۲	لومی	۰/۷۵	۷/۹	۳۲/۵	۰/۵۸	۰/۰۴	۰/۲۷	۲۳۳
۶۰-۳۰	۴۶/۱	۳۰/۶	۲۳/۳	لومی	۰/۶۶	۸/۰	۳۳/۸	۰/۴۹	۰/۰۵	۰/۱۵	۲۰۵

* ppm: قسمت در میلیون، dS m^{-1} : دسی‌زیمنس بر متر، cm: سانتیمتر

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی کود گوسفندی مورد استفاده در آزمایش

هدایت الکتریکی (dS m^{-1})	پی‌اچ	فسفر	نیتروژن	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	کربن آلی	آهن	مس	روی
(%)									(میلی گرم در کیلوگرم)	
۵/۸	۷/۸۹	۰/۵۷	۱/۷۹	۱/۲	۵/۷	۱/۲	۳۵/۶	۲۵۱۴	۱۸	۱۲۲

جدول ۳- خصوصیات فیزیکوشیمیایی زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت) مورد استفاده در آزمایش

نتیجه	واحد	ویژگی	نتیجه	واحد	ویژگی	نتیجه	واحد	ویژگی
۴۰	ppm	Ni	۰/۰۲۸	%	MnO	۲۵/۴۰	%	SiO ₂
۴۹	ppm	Cu	۰/۱۴۳	%	P ₂ O ₅	۵/۹۶	%	Al ₂ O ₃
۴۶	ppm	Zn	۴/۱۰	%	SO ₃	۱/۶۹	%	Fe ₂ O ₃
۲۵	ppm	As	۲۷/۹۷	%	افت حرارتی	۳۰/۶۲	%	CaO
۱۹۸۲	ppm	Sr	۱۴۶۶	ppm	Cl	۰/۳۴	%	Na ₂ O
۶	ppm	Pb	۵۸	ppm	Ba	۱/۴۸	%	K ₂ O
۷/۲۵	-	پی‌اچ	۳۶	ppm	V	۱/۶۶	%	MgO
۳/۶۷	dS m^{-1}	هدایت الکتریکی	۲۲	ppm	Cr	۰/۲۷۰	%	TiO ₂

فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انگور بیدانه سفید می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ روی تاک‌های ۱۲ ساله انگور (*Vitis vinifera* L.) رقم بیدانه سفید واقع در تاکستان آموزشی-تحقیقاتی دانشگاه ملایر، همدان، ایران انجام شد. تاک‌ها با فواصل ۵×۲ متر در ردیف‌های شرقی-غربی و سیستم جوی-پشته‌ای کاشته شده و به صورت پرگولا تربیت شده‌اند. آبیاری تاکستان به روش غرقابی می‌باشد. قبل از اجرای آزمایش، از خاک تاکستان (اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری)، زئولیت طبیعی و کود گوسفندی مورد استفاده نمونه تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها در آزمایشگاه تعیین گردید (جدول‌های ۱، ۲ و ۳). مواد اصلاح‌کننده خاک در اواخر زمستان سال ۱۴۰۰ به کار برده شدند. برای این منظور، آنها کاملاً با خاک مخلوط شده و در کانالی به عرض و عمق ۴۰ سانتیمتر در امتداد ردیف تاک‌ها قرار داده شدند. زئولیت طبیعی مورد استفاده از نوع کلینوپتیلولیت^۱ و به

شکل پودر با مش ۳۰-۵۰ (قطر دانه‌ها ۵۹۵-۲۹۷ میکرون) بود که از شرکت زئولیت اصفهان خریداری گردید.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل رژیم آبیاری در دو سطح ۱- شاهد (دور آبیاری ۷ روز یک‌بار، طبق عرف منطقه) و ۲- تنش خشکی (دور آبیاری ۲۱ روز یک‌بار) و فاکتور دوم شامل تیمارهای اصلاح خاک در چهار سطح ۱- شاهد، ۲- زئولیت (۱۲ کیلوگرم برای هر تاک)، ۳- کود گوسفندی (۱۵ کیلوگرم برای هر تاک) و ۴- ترکیب ۱۲ کیلوگرم زئولیت + ۱۵ کیلوگرم کود گوسفندی بود. تنش آبی با افزایش دور آبیاری از ۷ روز به ۲۱ روز اعمال گردید. نمونه‌های برگ کاملاً توسعه یافته در اواخر جولای (اوایل مرداد)، یک روز قبل از آبیاری از گره‌های ۱۰-۸ قاعده شاخه‌های بارده هر تاک برداشته شده و برای انجام اندازه‌گیری‌ها به آزمایشگاه انتقال یافتند. پرولین آزاد برگ به روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۱۵ نانومتر با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر

جدول ۴- اثر مواد اصلاح کننده خاک بر محتوای پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و پروتئین محلول کل برگ انگور بیدانه سفید تحت تنش خشکی و آبیاری متعارف

رژیم آبیاری	اصلاح کننده خاک	پرولین (میکرومول در گرم وزن تر)	کربوهیدرات محلول (میلی گرم در گرم وزن تر)	پروتئین محلول کل (میلی گرم در گرم وزن تر)
آبیاری متعارف	شاهد	۱/۸۷±۰/۱۱ d	۳۰/۸۴±۳/۰۱ d	۴/۴۱±۰/۱۵ b
	زئولیت	۱/۸۵±۰/۰۹ d	۳۰/۲۹±۱/۱۸ d	۴/۴۸±۰/۲۰ b
	کود دامی	۲/۹۸±۰/۲۶ c	۳۵/۷۷±۲/۲۶ c	۴/۴۵±۰/۱۴ b
	زئولیت + کود دامی	۳/۰۲±۰/۰۹ c	۳۵/۷۱±۰/۹۲ c	۴/۹۲±۰/۲۴ a
تنش خشکی	شاهد	۳/۹۳±۰/۱۲ a	۵۱/۸۰±۰/۷۰ a	۲/۱۶±۰/۲۳ e
	زئولیت	۳/۱۱±۰/۰۷ c	۴۳/۵۴±۱/۴۸ b	۲/۹۶±۰/۱۴ d
	کود دامی	۴/۰۹±۰/۱۵ a	۵۳/۱±۷۷/۹۵ a	۲/۹۵±۰/۱۷ d
	زئولیت + کود دامی	۳/۶۸±۰/۱۰ b	۴۵/۲±۹۸/۴۳ b	۳/۴۴±۰/۲۶ c
تجزیه واریانس				
بلوک		ns	ns	ns
رژیم آبیاری		**	**	**
اصلاح کننده‌های خاک		**	**	**
اثر متقابل رژیم آبیاری و اصلاح کننده‌های خاک		**	*	*

در هر ستون، مقادیر میانگین با حروف غیرمشابه دارای اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد (بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن) هستند. ns و ** به ترتیب بیانگر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است. اعداد بیانگر میانگین سه تکرار ± انحراف استاندارد (SD) هستند.

تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک^۷ استفاده شد. با توجه به این که بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، بین سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ تفاوت معنی‌داری از نظر صفات مورد بررسی برای هر تیمار مشاهده نشد، میانگین دوساله هر صفت ارائه گردید.

نتایج و بحث

پرولین

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار ۱۱۰ درصدی غلظت پرولین برگ انگور شد. در شرایط آبیاری متعارف، اختلاف معنی‌داری بین تیمار زئولیت و شاهد مشاهده نشد، اما محتوای پرولین برگ تاک‌هایی که کود گوسفندی و ترکیب کود گوسفندی و زئولیت دریافت کرده بودند، به طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. در شرایط تنش خشکی، کاربرد زئولیت و ترکیب کود گوسفندی و زئولیت به ترتیب، به کاهش ۲۰/۹ و ۶/۴ درصدی پرولین برگ منجر شد. محتوای پرولین برگ تاک‌هایی که تیمار کود گوسفندی دریافت کرده بودند، بیشتر از شاهد بود، هرچند اختلاف بین آنها معنی‌دار نبود.

تجمع پرولین یکی از معمول‌ترین تغییرات متابولیکی است

(Varian، مدل Cary 100، استرالیا) اندازه‌گیری شد (بیتز^۱ و همکاران، ۱۹۷۳). میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ به‌روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۶۲۵ نانومتر تعیین گردید (عبدی^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی در بافت برگ با اندازه‌گیری غلظت مالون دی‌آلدید براساس اختلاف جذب نوری نمونه‌ها در دو طول موج ۶۰۰ و ۵۳۲ نانومتر تعیین گردید (هادجز^۳ و همکاران، ۱۹۹۹). غلظت پراکسید هیدروژن و محتوای فنل کل بر اساس جذب نوری نمونه‌ها به ترتیب در طول موج‌های ۳۹۰ نانومتر (الکسیوا^۴ و همکاران، ۲۰۰۱) و ۷۶۵ نانومتر (اسپانوس و رولستاد^۵، ۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد. میزان پروتئین محلول کل طبق دستورالعمل بردفورد^۶ (۱۹۷۶) بر اساس جذب نوری نمونه‌ها در ۵۹۵ نانومتر تعیین گردید. ارزیابی عناصر معدنی در دمبرگ (به جای پهنک) سه برگ از هر تکرار انجام گرفت. نیتروژن به روش کج‌لدال، فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر و آهن و روی به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. داده‌های به دست آمده به کمک نرم‌افزار SAS-9.4 تجزیه آماری شده و مقایسه میانگین اثر

1. Bates
2. Abdi
3. Hodges
4. Alexieva
5. Spanos and Wrolstad
6. Bradford

7. Shapiro–Wilk test

گیاهان دیگر از جمله آلوئه‌ورا (حضرتی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۷)، آمارانتوس (کرمی و همکاران، ۲۰۲۰) و چچم چندساله (رحیمی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۱) به کاهش پرولین برگ منجر شده است که با یافته‌های ما مطابقت می‌نماید. در شرایط آبیاری متعارف، تیمار ترکیبی زئولیت و کود گوسفندی به افزایش معنی‌دار میزان پرولین برگ منجر شد که احتمالاً ناشی از تشدید شوری خاک توسط کود گوسفندی باشد. از سوی دیگر، در شرایط تنش خشکی، هرچند کاربرد کود گوسفندی به تنهایی به افزایش نسبی (غیرمعنی‌دار) پرولین در مقایسه با شاهد منجر گردید، اما تیمارهای زئولیت و ترکیب زئولیت و کود گوسفندی باعث کاهش معنی‌دار پرولین شدند. با توجه به این یافته‌ها به نظر می‌رسد کود گوسفندی در حضور زئولیت اثر کمتری بر شوری خاک و در نتیجه، غلظت پرولین برگ داشته است.

کربوهیدرات‌های محلول

بر اساس نتایج جدول ۴، تنش خشکی به افزایش معنی‌دار کربوهیدرات‌های محلول برگ انگور منجر شد، به طوری که محتوای کربوهیدرات‌های برگ در تاک‌های تحت تنش در مقایسه با شاهد ۶۸ درصد بالاتر بود. قبلاً افزایش قندهای محلول برگ در پاسخ به تنش خشکی در انگور (فهیم و همکاران، ۲۰۲۲) و سایر درختان میوه از جمله زیتون (بچیر^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۳) و سیب (نمسکری^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۵) گزارش شده است که نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند. قندهای محلول گروهی از اسمولیت‌ها هستند که تجمع آنها در شرایط کم‌آبی تعادل اسمزی را تنظیم می‌کند (گوری^{۱۴} و همکاران، ۲۰۲۰). قندهای محلول نظیر سوکروز، گلوکز، فروکتوز و سوربیتول در شرایط تنش خشکی تجمع یافته و ممکن است به عنوان عامل اسمزی (بچیر و همکاران، ۲۰۱۳) و یا محافظ سلولی (سامی^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۶) عمل نمایند. این قندها در حالت اول با تنظیم اسمزی سلول و نگهداری تورژسانس سلول‌ها و در حالت دوم با حفظ پایداری پروتئین‌ها و غشاءها در برابر گونه‌های فعال اکسیژن در ارتباط می‌باشند.

که تحت تأثیر تنش‌های مختلف بویژه تنش خشکی و شوری در گیاهان گزارش شده است (بیدآبادی^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). تجمع پرولین پتانسیل آبی بافت‌های گیاهی به‌ویژه برگ‌ها را کاهش می‌دهد و در نتیجه آنها را قادر می‌سازد تا از دست دادن آب را محدود کنند و به جذب آب از خاک در شرایط تنش خشکی ادامه دهند (خلیل و بدرالدین^۲، ۲۰۲۱). بر اساس گزارش‌های قبلی، محتوای پرولین در طول تنش خشکی در برگ‌های ارقام انگور مانند بیدانه سفید (کرمی و همکاران، ۲۰۱۷)، کریمسون (خلیل و بدرالدین، ۲۰۲۱) و رشه (باری^۳ و همکاران، ۲۰۲۱) به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در مطالعه فهیم^۴ و همکاران (۲۰۲۲) روی ۱۴ رقم انگور، محتوای پرولین برگ در همه ارقام تحت تأثیر تنش خشکی افزایش معنی‌داری پیدا کرد. بیدآبادی^۵ و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول به افزایش ۶۱۸ درصدی پرولین برگ انگور عسکری منجر گردید.

همانطور که نتایج نشان می‌دهد (جدول ۴)، برگ تاک‌هایی که کود گوسفندی دریافت کرده بودند در هر دو شرایط تنش و آبیاری متعارف، دارای پرولین بیشتری در مقایسه با شاهد بود که احتمالاً به دلیل افزایش شوری خاک می‌باشد. در تأیید یافته‌های ما، افزایش محتوای پرولین برگ در اثر کاربرد خاکی کود دامی قبلاً توسط یامیکا^۶ و همکاران (۲۰۱۸) در گیاه سویا و بامشاد^۷ و همکاران (۲۰۲۱) در گیاه سالیکورنیا^۸ نیز گزارش شده است. در تضاد با یافته‌های ما، عسکری^۹ و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای روی دو گونه آویشن نشان دادند که میزان پرولین برگ در گیاهان تیمار شده با کود حیوانی کمتر از شاهد بود. همچنین، بر اساس نتایج آزمایش ما کاربرد خاکی زئولیت به کاهش محتوای پرولین برگ منجر شد که بیانگر افزایش تحمل تاک به تنش خشکی و کاهش اثرات منفی تنش بر گیاه می‌باشد. کاربرد زئولیت در

1. Bidabadi
2. Khalil and Badr Eldin
3. Bari
4. Fahim
5. Bidabadi
6. Yamika
7. Bamshad
8. *Salicornia persica*
9. Askary

10. Hazrati
11. Rahimi
12. Bchir
13. Nemeskeri
14. Gurrieri
15. Sami

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در شرایط آبیاری متعارف، کاربرد کود گوسفندی و ترکیب کود گوسفندی و زئولیت باعث افزایش معنی‌دار کربوهیدرات‌های برگ (به ترتیب ۱۶ و ۱۵/۸ درصد بیشتر از شاهد) شد. همچنین، در شرایط تنش خشکی، بیشترین محتوای کربوهیدرات برگ (۵۳/۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مربوط به تاک‌هایی بود که کود گوسفندی دریافت کرده بودند در حالی که کمترین میزان کربوهیدرات (۴۳/۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مربوط به تیمار زئولیت بود. اختلاف این دو تیمار از نظر آماری معنی‌دار بود. به طور کلی، هم در شرایط تنش و هم در شرایط آبیاری متعارف، کاربرد خاکی کود گوسفندی به افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ منجر شد که احتمالاً به دلیل افزایش EC خاک می‌باشد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول برگ در نتیجه کاربرد کود حیوانی در نخل خرما (رشید^۱ و همکاران، ۲۰۲۰) نیز گزارش شده است که یافته‌های ما را تأیید می‌کند. در مطالعه چاتیسثاتیس^۲ و همکاران (۲۰۲۰) روی زیتون، تیمارهای مختلف کود حیوانی تأثیر معنی‌داری بر محتوای قند کل برگ نداشت.

بر اساس نتایج جدول ۴، کاربرد خاکی زئولیت در شرایط آبیاری متعارف تأثیر معنی‌داری بر محتوای کربوهیدرات برگ نداشت، اما در شرایط تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار محتوای کربوهیدرات‌های برگ شد. میزان کربوهیدرات محلول در برگ تاک‌هایی که زئولیت و ترکیب زئولیت و کود گوسفندی دریافت کرده بودند به ترتیب ۱۵/۹ و ۱۱/۲ درصد کمتر از شاهد بود. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد خاکی زئولیت احتمالاً با حفظ رطوبت خاک و فراهم نمودن آب بیشتر برای ریشه‌ها در طول دوره تنش خشکی، اثرات منفی تنش خشکی بر تاک را کاهش داده است. جلوگیری از افزایش کربوهیدرات‌های محلول برگ در شرایط تنش خشکی با مصرف خاکی زئولیت در آلوئه‌ورا (حضرتی و همکاران، ۲۰۱۷) و هویج (شامیلی^۳ و همکاران، ۲۰۲۰) نیز گزارش شده است که در تأیید یافته‌های ما است.

پروتئین محلول کل

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) حاکی از آن است که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر محتوای پروتئین محلول برگ داشت و آن را به میزان ۵۱ درصد در مقایسه با تاک-های خوب آبیاری شده، کاهش داد. مشخص شده است که تنش خشکی می‌تواند حجم و ترکیب پروتئین برگ را تغییر دهد و منجر به تغییر در پروتئین‌های محلول و پروتئین‌های ساختاری شود (ساسیلا^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). مطالعه کرامر^۵ و همکاران (۲۰۱۳) روی انگور نشان داد که تنش خشکی در بسیاری از پروتئین‌های تأثیرگذار در سوخت‌وساز، انرژی (فتوسنتز، گلیکولیز و تنفس)، دفاع آنتی‌اکسیدانی و سرنوشت پروتئین (ساخت پروتئین، تاخوردگی و تغییر) نقش دارد. همسو با نتایج ما، پانتین^۶ و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که غلظت پروتئین برگ انگور به شدت تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت که به دلیل افزایش تجزیه و یا کاهش بیوسنتز پروتئین‌ها در شرایط تنش آبی می‌باشد. کانیس^۷ و همکاران (۲۰۱۶) نیز قبلاً کاهش مقدار پروتئین در شرایط تنش خشکی را با افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین مانند پروتئازها مربوط دانسته‌اند. از سوی دیگر در تضاد با این یافته‌ها در مطالعه فهیم و همکاران (۲۰۲۲) روی ۱۴ رقم انگور، تنش خشکی به افزایش پروتئین‌های کل برگ منجر شد و با افزایش شدت تنش، پروتئین بیشتری در ارقام مقاوم مشاهده شد.

بر اساس نتایج جدول ۴ در شرایط آبیاری متعارف، کاربرد هر یک از زئولیت و کود گوسفندی به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر پروتئین محلول برگ نداشت، اما کاربرد توأم آن دو به افزایش معنی‌دار محتوای پروتئین برگ منجر شد. محتوای پروتئین محلول برگ تاک‌های خوب آبیاری شده‌ای که هر دو زئولیت و کود گوسفندی را دریافت کرده بودند در مقایسه با شاهد ۱۱/۶ درصد بالاتر بود. همچنین، در شرایط تنش خشکی کاربرد زئولیت و کود گوسفندی به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر پروتئین برگ نداشت، اما تیمار کاربرد توأم آن دو به طور معنی‌داری (به میزان ۵۹/۳ درصد) محتوای پروتئین برگ را افزایش داد که حاکی از بهبود شرایط فیزیولوژیکی تاک‌ها در نتیجه مصرف این اصلاح‌کننده‌ها می‌باشد. افزایش پروتئین محلول برگ انگور

4. Suseela
5. Cramer
6. Pontin
7. Conesa

1. Rashid
2. Chatzistathis
3. Shamili

فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ در رقم بین‌المللی چاردونای^۹ کاهش یافت، اما در رقم زینیستری^{۱۰} (یک رقم بومی سازگار شده با اقلیم قبرس) نسبت به شاهد مربوطه افزایش یافت. در تضاد با یافته‌های ما، کرول^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برگ و ریشه انگور تحت تنش خشکی کمتر از شرایط آبیاری بود. واکنش‌های متفاوت گیاهان مختلف به تنش خشکی از نظر تغییرات محتوای ترکیبات فنلی می‌تواند تا حدی به تفاوت در گونه، رقم و اندام گیاهی مورد بررسی مربوط باشد. به عقیده تزورتاکیس و همکاران (۲۰۲۰) ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه انگور به شدت تحت تأثیر عواملی مانند رقم، شدت تنش و زمان اعمال تنش آبی قرار می‌گیرد.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵)، کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک به کاهش محتوای فنل کل برگ انگور منجر شد. در تاک‌های خوب آبیاری شده، کاربرد زئولیت و کود گوسفندی به تنهایی هر چند باعث کاهش فنل کل شد، اما اختلاف آنها با شاهد معنی‌دار نبود. همچنین، کاربرد ترکیب زئولیت و کود گوسفندی به کاهش معنی‌دار (۱۱ درصدی) فنل کل برگ منجر گردید. در تاک‌های تحت تنش خشکی نیز کاربرد زئولیت و کود گوسفندی باعث کاهش فنل کل شد، اما اختلاف آنها با شاهد معنی‌دار نبود. کاربرد ترکیب زئولیت و کود گوسفندی در شرایط تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار (۷/۶ درصدی) فنل کل برگ شد. کاهش محتوای ترکیبات فنلی برگ تحت شرایط تنش خشکی در اثر کاربرد خاکی زئولیت در گیاه هویج (شامیلی و همکاران، ۲۰۲۰) نیز گزارش شده است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. با این حال، گزارش کاتالدو و همکاران (۲۰۲۳) حاکی از افزایش محتوای ترکیبات فنلی میوه انگور در نتیجه افزودن زئولیت کلینوپتیلولیت به خاک می‌باشد که در تضاد با یافته‌های ما است. همچنین، کاربرد خاکی پلیمر سوپرجاذب (چگالی جرمی ۸/۵ گرم در لیتر) در شرایط تنش خشکی موجب افزایش محتوای فنل سبب شد (کیوانفر و همکاران، ۲۰۱۹). نویسندگان چنین استدلال کردند که مواد سوپرجاذب آب و مواد مغذی را در ناحیه

با کاربرد زئولیت و کود گوسفندی در شرایط تنش خشکی را می‌توان به بهبود وضعیت آبی گیاه، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف نسبت داد. جوزف^۱ و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشته‌اند که کودهای آلی با کلات کردن عناصر ضروری سبب افزایش جذب عناصر غذایی گیاه می‌شوند و کاربرد آنها بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه، مقدار پروتئین محلول گیاه اثرگذار است. در تأیید نتایج پژوهش حاضر، پیرزاد و محمدزاده^۲ (۲۰۱۴) گزارش کرده‌اند که تنش خشکی باعث کاهش و کاربرد زئولیت باعث افزایش محتوای پروتئین برگ خلر شد. همچنین، رحیمی و همکاران (۲۰۲۱) نشان داده‌اند که کاربرد خاکی زئولیت در شرایط تنش شوری به افزایش پروتئین محلول برگ چچم منجر شد.

فنل کل برگ (TPC)

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر فنل کل برگ انگور داشت و به افزایش ۴۹/۹ درصدی آن منجر شد. افزایش سطوح ترکیبات فنلی یکی از مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان برای مقابله با تنش خشکی است (بتائیب^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). همبستگی زیادی بین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل برگ در انگور (تانگولار^۴ و همکاران، ۲۰۱۶) گزارش شده است. از سوی دیگر، فنل‌ها نیز همانند پرولین و قندها جزو مواد محلول سازگار هستند که تجمع آنها در شرایط کمبود آب، راهکار مهمی برای جلوگیری از پسابیدگی (دهیدراسیون) بافت و حفظ وضعیت آب گیاه در نظر گرفته می‌شود (کاپور^۵ و همکاران، ۲۰۲۰). در مطالعات قبلی نیز تنش خشکی منجر به افزایش ترکیبات فنلی در برگ انگور (پانتین و همکاران، ۲۰۲۱)، سیب (کیوانفر^۶ و همکاران، ۲۰۱۹) و زیتون (مچری^۷ و همکاران، ۲۰۲۰) شده است که با نتایج این آزمایش همسو می‌باشد. تزورتاکیس^۸ و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه اثر تنش خشکی روی دو رقم انگور مشاهده کردند که فنل کل و

1. Joseph
2. Pirzad and Mohammadzade
3. Bettaieb
4. Tangolar
5. Kapoor
6. Keivanfar
7. Mechri
8. Tzortzakakis

9. Chardonnay
10. Xynisteri
11. Król

ریشه حفظ می‌کند و در نتیجه با تجمع اجزای فنلی، خواص آنتی‌اکسیدانی گیاه را بهبود می‌بخشد که در نهایت، باعث کاهش شدت تنش اکسیداتیو می‌شود.

مالون‌دی‌آلدئید (MDA)

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵)، تنش خشکی اثر معنی‌داری بر محتوای مالون‌دی‌آلدئید (MDA) برگ انگور گذاشت و آن را به میزان ۳۵/۶ درصد افزایش داد.

افزایش تولید MDA در شرایط تنش خشکی بیانگر شدت گرفتن آسیب به غشاءهای سلولی از طریق پراکسیداسیون لیپیدهای غشائی است. MDA محصول نهایی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع در فسفولیپیدها است و سطوح پراکسیداسیون لیپیدها در شرایط تنش به عنوان یک شاخص مهم به منظور ارزیابی میزان خسارت رادیکال‌های آزاد به غشای سلولی شناخته شده است

جدول ۵- اثر مواد اصلاح کننده خاک بر فنل کل، مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن برگ انگور بیدانه سفید تحت تنش خشکی و آبیاری متعارف

رژیم آبیاری	اصلاح کننده خاک	فنل کل (میلی گرم در گرم وزن تر)	مالون‌دی‌آلدئید (میکرومول در گرم وزن تر)	پراکسید هیدروژن (میکرومول در گرم وزن تر)
آبیاری متعارف	شاهد	۴/۷۱±۰/۱۹ c	۱/۴۹±۰/۰۴ d	۱/۴۲±۰/۰۷ c
	زئولیت	۴/۳۲±۰/۱۴ cd	۱/۵۰±۰/۰۷ cd	۱/۰۳±۰/۰۸ d
	کود دامی	۴/۴۱±۰/۱۷ cd	۱/۴۷±۰/۰۸ d	۱/۰۹±۰/۰۸ d
	زئولیت + کود دامی	۴/۱۹±۰/۲۸ d	۱/۴۵±۰/۰۹ d	۱/۱۳±۰/۰۶ d
تنش خشکی	شاهد	۷/۰۶±۰/۲۳ a	۲/۰۲±۰/۱۰ a	۲/۳۵±۰/۱۲ a
	زئولیت	۶/۶۵±۰/۲۱ ab	۱/۶۳±۰/۰۸ bc	۱/۶۷±۰/۱۱ b
	کود دامی	۶/۷۶±۰/۲۹ ab	۱/۷۲±۰/۰۹ b	۱/۶۲±۰/۱۴ b
	زئولیت + کود دامی	۶/۵۲±۰/۲۹ b	۱/۴۳±۰/۰۵ d	۱/۵۴±۰/۱۰ bc
تجزیه واریانس				
بلوک		ns	ns	ns
رژیم آبیاری		**	**	**
اصلاح کننده‌های خاک		**	**	**
اثر متقابل رژیم آبیاری و اصلاح کننده‌های خاک		ns	**	**

در هر ستون، مقادیر میانگین با حروف غیرمشابه دارای اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد (بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن) هستند. ns، * و ** به ترتیب بیانگر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است. اعداد بیانگر میانگین سه تکرار ± انحراف استاندارد (SD) هستند.

(باردواج و یاداو^۱، ۲۰۱۲). تنش خشکی با آسیب به غشای سلولی و پراکسیداسیون لیپیدها میزان MDA را در گیاهان افزایش می‌دهد. در تطابق با یافته‌های ما، تنش خشکی به افزایش معنی‌دار محتوای MDA در برگ انگور منجر شد (تزور تاکیس و همکاران، ۲۰۲۰). زنگ^۲ و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که تنش خشکی تولید H₂O₂ و رادیکال سوپراکسید در برگ انگور را به ترتیب ۱۲ و ۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که منجر به افزایش ۳۳ درصدی محتوای MDA و افزایش ۱۴۹ درصدی نشت یونی شد. فهیم و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری بر فرایندهای فیزیولوژیکی سلول‌های برگ انگور تأثیر گذاشت و محتوای MDA را به دلیل افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب

غشای سلولی افزایش داد. در آزمایش دیگری، بیدآبادی و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار H₂O₂ و MDA در برگ انگور به ترتیب، به میزان ۶۶/۹ و ۱۰۶ درصد شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵)، تیمار با اصلاح‌کننده‌های خاک در شرایط آبیاری کامل تأثیر معنی‌داری بر MDA برگ انگور نداشت، اما در شرایط تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار MDA شد. تاک‌های تحت تنش خشکی که کود گوسفندی، زئولیت و هر دو را دریافت کرده بودند، به ترتیب ۱۴/۹، ۱۹/۳ و ۲۹/۲ درصد MDA کمتری نسبت به شاهد داشتند. این مشاهدات بیانگر کاهش خسارت تنش خشکی به غشاهای سلولی برگ انگور در نتیجه کاربرد خاکی زئولیت و کود گوسفندی می‌باشد. در تأیید یافته‌های ما، نوزری^۳ و

1. Bhardwaj and Yadav
2. Zeng

3. Nozari

شرایط تنش خشکی در برگ چغندر قند (عبدالفتاح و خلیل^۴، ۲۰۲۰) و گندم (صداقت و همکاران، ۲۰۲۲) نیز گزارش شده است. همچنین، کاربرد زئولیت به کاهش محتوای H_2O_2 برگ چمن لیلیوم رشد کرده در شرایط شوری منجر شد (رحیمی و همکاران، ۲۰۲۱).

عناصر معدنی

الف- عناصر پرمصرف (N,P,K)

نتایج تجزیه آماری (جدول ۶) نشان می‌دهد که رژیم آبیاری و کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک اثر معنی‌داری بر غلظت عناصر پرمصرف برگ انگور دارند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، تنش خشکی به کاهش معنی‌دار عناصر پرمصرف برگ منجر گردید. غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ تاک‌های تحت تنش به ترتیب، ۲۹/۳، ۲۲/۲ و ۵۰/۳ درصد پایین‌تر از برگ تاک‌های خوب آبیاری شده بود. این نتایج با یافته‌های تدین^۵ و همکاران (۲۰۱۸) و کریمی^۶ و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی دارد. کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک هم در شرایط آبیاری متعارف و هم در شرایط تنش خشکی به افزایش معنی‌دار جذب عناصر پرمصرف منجر شد. در شرایط آبیاری متعارف، میزان N برگ با کاربرد خاکی زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آنها به ترتیب، ۲۳/۹، ۳۳/۷ و ۵۴/۳ درصد افزایش یافت. در شرایط تنش خشکی، N برگ تاک‌هایی که زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آن دو را دریافت کرده بودند، به ترتیب ۳۶/۹، ۳۰/۸ و ۸۹/۲ درصد بالاتر از تاک‌های تیمار نشده بود. غلظت P برگ با مصرف زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آنها در شرایط آبیاری متعارف به ترتیب ۳۳/۳، ۷۲/۲ و ۱۱۱/۱ درصد و در شرایط تنش خشکی به ترتیب ۷۸/۶، ۸۵/۷ و ۱۰۷/۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در شرایط آبیاری متعارف، غلظت K برگ در اثر مصرف خاکی زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آنها به ترتیب ۴۵/۴، ۳۷/۷ و ۷۳/۲ درصد افزایش یافت. همچنین، در شرایط تنش آبی، کاربرد زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آنها به ترتیب به افزایش ۱۳۹/۶، ۱۴۰/۷ و ۱۸۶/۸ درصدی K برگ در مقایسه با شاهد منجر گردید.

کاربرد زئولیت به بهبود جذب N، P و K و افزایش غلظت

همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که تنش خشکی باعث افزایش و کاربرد خاکی زئولیت و کود گاوی باعث کاهش MDA برگ سویا شد. کاهش تولید MDA پس از کاربرد خاکی زئولیت در شرایط تنش خشکی در برگ گندم (صداقت^۱ و همکاران، ۲۰۲۲) و گلرنگ (فرج‌زاده‌معماری تبریزی و باباش‌پوراصل^۲، ۲۰۲۲) نیز گزارش شده است. همچنین، کاربرد زئولیت به کاهش محتوای H_2O_2 و MDA برگ چمن لیلیوم رشد کرده در شرایط شوری منجر شد (رحیمی و همکاران، ۲۰۲۱).

پراکسید هیدروژن (H_2O_2)

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که محتوای پراکسید هیدروژن (H_2O_2) برگ انگور با افزایش فاصله آبیاری از ۷ روز به ۲۱ روز به‌طور معنی‌داری به میزان ۶۵/۵ درصد افزایش یافت. این امر بیانگر شدت یافتن تولید و آسیب گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در شرایط تنش خشکی است. مشخص شده است که تولید گونه‌های فعال اکسیژن بویژه H_2O_2 در پاسخ به تنش‌های مختلف از جمله خشکی بیشتر القا می‌شود (حسن‌الزمان^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). همسو با یافته‌های ما، افزایش غلظت H_2O_2 در پاسخ به تنش خشکی در مطالعات قبلی روی انگور مشاهده شده است (تزرورتاکیس و همکاران، ۲۰۲۰؛ زنگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ بیدآبادی و همکاران، ۲۰۲۳).

همانطور که نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان می‌دهد، هم در شرایط تنش و هم در شرایط آبیاری متعارف تیمارهای اصلاح‌کننده خاک به کاهش معنی‌دار H_2O_2 منجر شد، هرچند تفاوت بین این تیمارها معنی‌دار نبود. در تاک‌های خوب آبیاری شده کاربرد زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آن دو محتوای H_2O_2 برگ را به ترتیب به میزان ۲۷/۵، ۲۳/۲ و ۲۰/۴ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد. همچنین در تاک‌های تحت تنش خشکی، کاربرد زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آن دو به ترتیب به کاهش ۲۸/۹، ۳۱/۱ و ۳۴/۵ درصدی محتوای H_2O_2 برگ منجر شد. احتمالاً کاهش میزان H_2O_2 و MDA توسط زئولیت و کود گوسفندی به خاطر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد. همسو با یافته‌های ما، کاهش غلظت H_2O_2 پس از کاربرد خاکی زئولیت در

4. Abdel Fatah and Khalil
5. Tadayyon
6. Karimi

1. Sedaghat
2. Farajzadeh-Memari-Tabrizi and Babashpour-Asl
3. Hasanuzzaman

جدول ۶- اثر مواد اصلاح کننده خاک بر غلظت برخی عناصر پرمصرف و کم مصرف برگ انگور بیدانه سفید تحت تنش خشکی و آبیاری

متعارف					
رژیم آبیاری	اصلاح کننده خاک	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن
		(درصد وزن خشک)			(ppm)
آبیاری متعارف	شاهد	۰/۹۲±۰/۰۵ c	۰/۱۸±۰/۰۱ d	۱/۸۳±۰/۰۸ d	۲۹/۳۳±۰/۵۷ a
	زئولیت	۱/۱۴±۰/۰۸ b	۰/۲۴±۰/۰۴ c	۲/۶۶±۰/۰۸ b	۲۹/۱۳±۰/۲۵ a
	کود دامی	۱/۲۳±۰/۰۹ b	۰/۳۱±۰/۰۲ b	۲/۵۲±۰/۱۳ b	۲۹/۲۰±۰/۲۶ a
	زئولیت+کود دامی	۱/۴۲±۰/۰۸ a	۰/۳۸±۰/۰۳ a	۳/۱۷±۰/۰۹ a	۲۹/۵۳±۰/۶۸ a
تنش خشکی	شاهد	۰/۶۵±۰/۰۶ d	۰/۱۴±۰/۰۱ d	۰/۹۱±۰/۰۷ c	۲۷/۵۷±۰/۶۵ b
	زئولیت	۰/۸۹±۰/۰۴ c	۰/۲۵±۰/۰۲ c	۲/۱۸±۰/۱۷ c	۲۶/۹۲±۰/۳۶ b
	کود دامی	۰/۸۵±۰/۰۸ c	۰/۲۶±۰/۰۲ c	۲/۱۹±۰/۱۶ c	۲۷/۲۷±۰/۲۵ b
	زئولیت+کود دامی	۱/۲۳±۰/۱۰ b	۰/۲۹±۰/۰۳ bc	۲/۶۱±۰/۱۵ b	۲۷/۴۹±۰/۱۵ b
تجزیه واریانس					
بلوک	ns	ns	ns	ns	ns
رژیم آبیاری	**	**	**	**	**
اصلاح کننده های خاک	**	**	**	**	ns
اثر متقابل رژیم آبیاری و اصلاح کننده های خاک	ns	*	*	**	ns

در هر ستون، مقادیر میانگین با حروف غیرمشابه دارای اختلاف آماری معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد (بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن) هستند. ns، * و ** به ترتیب بیانگر غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است. اعداد بیانگر میانگین سه تکرار ± انحراف استاندارد (SD) هستند.

آنها در برگ انگور منجر شد. همسو با یافته های ما، افزودن زئولیت آسیاب شده قبل از کاشت به میزان ۳۰، ۴۵ و ۶۰ تن در هکتار باعث افزایش ۲ تا ۳ برابری نیتروژن و پتاسیم خاک و همچنین، بهبود محتوای مواد معدنی (شامل Fe و Ca ، K ، P ، N) با درختان تیمار نشده گردید (جاکوب و جاکوب^۱، ۲۰۱۰). در آزمایش دیگری، کاربرد خاکی زئولیت و کود دامی همراه با کودهای NPK به افزایش غلظت فسفر، پتاسیم و منیزیم برگ سیب منجر شد (میلوزویچ و میلوزویچ، ۲۰۱۵). در آزمایش لوپز^۲ و همکاران (۲۰۲۰) روی زیتون، غلظت کلسیم و منیزیم برگ تحت تأثیر کاربرد خاکی زئولیت افزایش یافت. در زیتون (الطبال^۳ و همکاران، ۲۰۲۰) و آفتابگردان (گوایا^۴ و همکاران، ۲۰۲۰) کاربرد زئولیت به افزایش محتوای نیتروژن و فسفر برگ منجر شد. بهبود جذب عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نتیجه کاربرد خاکی زئولیت و افزایش معنی دار غلظت آنها در برگ های گیاهان دیگری مثل زردآلو (میلوزویچ و همکاران، ۲۰۱۳)، پاپایا (چو^۵ و همکاران، ۲۰۲۰) و انبه (هارهاش^۶ و همکاران، ۲۰۲۲) نیز گزارش شده است که با

1. Jakab and Jakab
2. Lopes
3. Al-Tabbal
4. Guaya
5. Choo
6. Harhash

نتایج پژوهش حاضر مطابقت می نمایند. نتایج تحقیقاتی که تاکنون انجام شده است حاکی از نقش مفید و کارآمد زئولیت ها در بهبود ویژگی های فیزیکی خاک از طریق تغییر ساختمان خاک، افزایش میزان دسترسی گیاه به آب و کاهش چسبندگی ذرات خاک می باشد. زئولیت ها با تغییر دادن شکل و اندازه منافذ خاک موجب بهبود ساختمان خاک می شوند (مندال^۷ و همکاران، ۲۰۲۱). زئولیت ها با ساختاری بسیار متخلخل و با سطح داخلی بسیار گسترده موجب تثبیت عناصر غذایی در بین ساختار خود شده و از طریق رهاسازی تدریجی آنها، فراهمی درازمدت این عناصر را برای گیاه موجب می شوند (پولات و همکاران، ۲۰۰۴). آذرپور^۸ و همکاران (۲۰۱۱) بحث کردند که زئولیت ها استفاده از عناصر غذایی را بهبود می بخشند و این عمل از طریق افزایش در دسترس بودن فسفر از سنگ فسفات، بهبود استفاده از نیتروژن به فرم های نترات (NO_3^-) و آمونیوم (NH_4^+) و کاهش تلفات آبشویی کاتیون های تبادل پذیری پتاسیم حاصل می گردد. در آزمایش کاوادیاس^۹ و همکاران (۲۰۲۳) روی گیاه کاهو، زئولیت به طور معنی داری در دسترس بودن فسفر، پتاسیم و سدیم را در خاک و بافت

7. Mondal
8. Azarpour
9. Kavvadias

زئولیت در محلول خاک آزاد شده و مقدار آن در خاک افزایش می‌یابد (میلوزویچ و میلوزویچ، ۲۰۰۹) و سپس، توسط ریشه گیاه جذب می‌شود. این نتایج برای خاک‌های با بافت سبک که دسترسی پتاسیم در آنها کم است از اهمیت بالایی برخوردار هستند. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از زئولیت و کود دامی به‌عنوان بهبوددهنده ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی (فعالیت میکروبی) خاک می‌تواند یکی از راهکارهای کاهش اثر نامطلوب تنش خشکی باشد. تنش خشکی از طریق کاهش گسترش برگ، انسداد روزنه‌ها و کاهش سرعت فتوسنتز بر رشد و باردهی گیاه تأثیر می‌گذارد. فراهمی پتاسیم عامل مهمی برای تنظیم شرایط اسمزی سلول، تنظیم روزنه‌ها و کنترل تعرق و فتوسنتز در افزایش سرعت فتوسنتز کلروپلاست، فعالیت‌های آنزیمی، حفظ آماس سلول و مقاومت به تنش رطوبتی خاک می‌باشد.

در شرایط آبیاری متعارف، نیتروژن و پتاسیم به‌ترتیب کمترین (۲۳/۹ درصد) و بیشترین (۴۵/۴ درصد) میزان تجمع در اثر کاربرد زئولیت را داشتند. از سوی دیگر، کمترین و بیشترین تجمع عناصر پرمصرف در نتیجه مصرف کود گوسفندی به‌ترتیب مربوط به نیتروژن (۳۳/۷ درصد) و فسفر (۷۲/۲ درصد) بود. همچنین در تیمار ترکیب زئولیت و کود گوسفندی کمترین تجمع مربوط به نیتروژن (۵۴/۳ درصد) و بیشترین تجمع مربوط به فسفر (۱۱۱/۱ درصد) بود. در شرایط تنش خشکی، عنصر پتاسیم تحت تأثیر هر سه تیمار اصلاح‌کننده‌های خاک بیشترین تجمع را نسبت به سایر عناصر پرمصرف داشت (۱۳۹/۶، ۱۴۰/۷ و ۱۸۶/۸ درصد به‌ترتیب، مربوط به تیمارهای زئولیت، کود دامی و ترکیب آن دو)، در حالی که نیتروژن کمترین میزان تجمع (۳۶/۹، ۳۰/۸ و ۸۹/۲ درصد به‌ترتیب، مربوط به تیمارهای زئولیت، کود دامی و ترکیب آن دو) را نشان داد.

عناصر کم‌مصرف (Fe, Zn)

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که اثر رژیم آبیاری بر غلظت عناصر کم‌مصرف برگ معنی‌دار، اما اثر تیمارهای اصلاح‌کننده خاک غیرمعنی‌دار است. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار غلظت عناصر کم‌مصرف Fe و Zn برگ به‌ترتیب، به میزان ۶ و ۲۸/۱ درصد شد. کاربرد خاکی کود گوسفندی و زئولیت تأثیر معنی‌داری بر میزان عناصر کم‌مصرف برگ نداشت که احتمالاً به‌دلیل کم بودن میزان

گیاه افزایش داد و این اثر زئولیت در خاک‌های مختلف متفاوت بود. آنها بحث کردند که زئولیت ممکن است به دلیل تغییر معنی‌دار CEC و ظرفیت نگهداری آب خاک و در دسترس بودن آن برای گیاه، خاک‌های درشت بافت را به میزان بیشتری نسبت به خاک‌های ریزبافت تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات پرز-کابلرو و همکاران (۲۰۰۸) روی گیاه زیتون، تأثیر مثبت زئولیت را در کاهش آبشویی نیترات و کاهش نیاز کوددهی نشان داد. آنها دریافتند که به‌دنبال افزودن زئولیت به خاک، به‌دلیل جذب NH_4^+ توسط زئولیت‌ها و کاهش تلفات NO_3^- از طریق شستشو، سطوح N و K در برگ زیتون افزایش یافت. این مشاهدات نتایج حاصل از پژوهش حاضر را تأیید می‌کند. در تضاد با یافته‌های ما در دو آزمایش روی زیتون (لوپز و همکاران، ۲۰۲۰) و کاهو (کاوادیاس و همکاران (۲۰۲۳) غلظت نیتروژن برگ تحت تأثیر زئولیت موجود در خاک قرار نگرفت. بنابراین، محققان بیان داشتند که استفاده از زئولیت تأثیر چندانی بر نیتروژن کل خاک و جذب آن توسط گیاه نمی‌گذارد، زیرا زئولیت به‌دلیل ظرفیت تبادل یونی بالای خود، قابلیت کاهش نیترات و آمونیوم از محلول خاک را دارد. با این حال، مدورو^۱ و همکاران (۲۰۲۲) طی آزمایش دیگری روی زیتون پیشنهاد کردند زئولیت ماندگاری نیتروژن را در خاک افزایش داده و امکان بهره‌برداری بهتر توسط گیاه را فراهم می‌کند. یافته‌های اخیر با نتایج پژوهش حاضر مطابقت می‌نماید.

در پژوهش حاضر، افزودن زئولیت به‌طور معنی‌داری جذب پتاسیم و غلظت آن در برگ انگور را افزایش داد. به خوبی شناخته شده است که کلینوپتیلولیت برای پتاسیم بسیار انتخابی است و پتاسیم قابل تبادل با افزودن زئولیت افزایش می‌یابد (فیلچوا و تسادیلز^۲، ۲۰۰۲). بهبود جذب پتاسیم توسط گیاه به‌دلیل افزودن زئولیت در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (احمد^۳ و همکاران، ۲۰۱۰؛ رباعی^۴ و همکاران، ۲۰۱۳؛ کاوادیاس و همکاران، ۲۰۲۳) که نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند. پتاسیم از جمله مواد مغذی با بالاترین ظرفیت تبادل یونی است (تریسی و هیگینز^۵، ۲۰۰۱) و به همین دلیل به راحتی از

1. Medoro
2. Filcheva and Tsadilas
3. Ahmed
4. Rabai
5. Treacy and Higgins

اثرات مضر تنش خشکی در یک تاکستان دارای خاک سبک را می‌توان با کاربرد زئولیت طبیعی و کود دامی به عنوان بهبوددهنده‌های خاک کاهش داد. با این حال، تجمع پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ‌های تاک حاکی از افزایش شوری خاک در نتیجه کاربرد خاکی کود گوسفندی می‌باشد که اثبات این امر مستلزم بررسی تغییرات EC خاک می‌باشد. چنانچه این فرضیه اثبات گردد، بایستی از مصرف کود گوسفندی بویژه در خاک‌های شور پرهیز گردد. در همین راستا، استفاده از سایر کودهای حیوانی با شوری پایین می‌تواند به رفع این مشکل کمک نماید. زئولیت طبیعی که دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است، در بسیاری از مناطق جهان، بویژه ایران به فراوانی یافت می‌شود و قیمت ناچیزی دارد. ضمن این که زئولیت برخلاف کود گوسفندی باعث افزایش شوری خاک نمی‌شود. به همین دلیل با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، مصرف ۱۲ کیلوگرم زئولیت طبیعی به ازای هر تاک (معادل ۱۷-۱۵ تن در هکتار) در تاکستان‌های کشور قابل توصیه است. همچنین، کاربرد توأم زئولیت طبیعی با کودهای حیوانی و سایر کودهای آلی می‌تواند یکی از بهترین راه حل‌ها برای مقابله با مشکلات خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان باشد.

این عناصر در خاک می‌باشد. به نظر می‌رسد عناصر ریزمغذی موجود در خاک جذب سطحی کود حیوانی و زئولیت شده و کمتر جذب گیاه شده است. مشخص شده است که تأثیر اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان آهن قابل دسترسی خاک تا حد زیادی به نوع خاک، pH آن و غلظت سایر عناصر بستگی دارد. کاوادیاس و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که کاربرد کمپوست باعث کاهش آهن قابل دسترس در خاک‌های اسیدی و افزایش آن در خاک‌های قلیایی می‌شود. همچنین، کاربرد زئولیت تأثیر منفی بر میزان آهن قابل دسترس در خاک‌های قلیایی داشت. کاربرد زئولیت در خاکی که کوددهی نشده بود، باعث کاهش آهن قابل دسترس شد، در حالی که در خاک کوددهی شده با NPK آهن قابل دسترس را افزایش داد. در هر دو نوع خاک اسیدی و قلیایی، کاربرد زئولیت تأثیر معنی‌داری بر محتوای آهن، روی و مس برگ کاهو نداشت که با یافته‌های ما مطابقت می‌نماید. در زردآلو، کاربرد خاکی زئولیت طبیعی باعث افزایش معنی‌دار Fe, Mn, Cu برگ شد، اما تأثیری بر غلظت Zn و B نداشت (میلوزویچ و همکاران، ۲۰۱۳). در سیب رقم آیدارد^۱، کاربرد خاکی کود NPK در ترکیب با زئولیت طبیعی و کود دامی باعث افزایش غلظت اغلب عناصر ریزمغذی برگ شد، در حالی که در رقم ملروز^۲، فقط برخی از عناصر ریزمغذی افزایش یافت (میلوزویچ و میلوزویچ، ۲۰۱۷). در آزمایش مذکور، مقایسه غلظت عناصر ریزمغذی برگ سیب با غلظت‌های استاندارد حاکی از بیش‌بود آهن و روی و کمبود منگنز، مس و بور در برگ درختان تیمار شده بود. در گزارش هارهاش و همکاران (۲۰۲۲) میزان عناصر ریزمغذی (Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, B) برگ انبه در اثر کاربرد خاکی زئولیت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که در تضاد با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

توانایی زئولیت و کود دامی در نگهداری آب و تبادل مواد مغذی این قابلیت را به تاک‌ها داد که وضعیت آب برگ‌های خود را در شرایط تنش کم‌آبی بهبود بخشند و به جذب عناصر معدنی پرمصرف از خاک ادامه دهند. بر اساس یافته‌های این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که

1. Idared
2. Melrose

منابع

- Abdel Fatah, E.M. and Khalil, S.R. 2020. Effect of zeolite, potassium fertilizer and irrigation interval on yield and quality of sugar beet in sandy soil. *Journal of Plant Production*, 11(12):1569-1579.
- Abdi, S., Abbaspur, N., Avestan, S. and Barker, A.V. 2016. Sana physiological responses of two grapevines (*Vitis vinifera* L.) cultivars to Cycocel™ treatment during drought. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 91(3): 211-219.
- Ahmed, O.H., Sumalatha, G. and Muhamad, A.N. 2010. Use of zeolite in maize (*Zea mays*) cultivation on nitrogen, potassium and phosphorus uptake and use efficiency. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(15): 2393-2401.
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*, 24(12), 1337-1344.
- Al-Tabbal, J.A., Al-Mefleh, N.K., Al-Zboon, K.K. and Tadros, M.J. 2020. Effects of volcanic zeolite tuff on olive (*Olea europaea* L.) growth and soil chemistry under a constant water level: five years' monitoring experience. *Environment and Natural Resources Journal*, 18(1): 44-54.
- Askary, M., Parsa, S., Behdani, M.A., Jami Al-Ahmadi, M. and Mahmoodi, S. 2023. Evaluation of quantitative yield of two thyme species affected as different levels of drought stress and the manure application. *Journal of Medicinal plants and By-Products*, 12(1): 11-27.
- Azarpour, E., Motamed, M.K., Moraditochae, M. and Bozorgi, H.R. 2011. Effects of zeolite application and nitrogen fertilization on yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *World Applied Sciences Journal*, 14(5): 687-692.
- Bamshad, R., Kalanaki, M. and Fazilatnia, M. 2021. Effect of cow manure and deficit irrigation with saline water on some morphological and biochemical characteristics of *Salicornia persica* Akhani. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(2): 515-527.
- Bari, L.R., Ghanbari, A., Darvishzadeh, R., Giglou, M.T. and Baneh, H.D. 2021. Discernment of grape rootstocks base on their response to salt stress using selected characteristics in combination with chemometric tools. *Food Chemistry*, 365: 130408.
- Bates, L.S., Waldren, R.P.A. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Bchir, A., Steppe, K., Van Labeke, M.C., Lemeur, R. and Braham, M. 2013. Active and passive osmotic adjustment in olive tree leaves during drought stress. *European Scientific Journal*, 9(24): 423-439.
- Bettaieb, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B. 2011. Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33: 1103-1111.
- Bhardwaj, J. and Yadav, S.K. 2012. Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in a drought tolerant and a sensitive variety of horsegram (*Macrotyloma uniflorum*) under drought stress. *American Journal of Plant Physiology*, 7(1): 17-29.
- Bidabadi, S.S., Sabbatini, P. and VanderWeide, J. 2023. Iron oxide (Fe₂O₃) nanoparticles alleviate PEG-simulated drought stress in grape (*Vitis vinifera* L.) plants by regulating leaf antioxidants. *Scientia Horticulturae*, 312: 111847.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
- Castronuovo, D., Comegna, A., Belviso, C., Satriani, A. and Lovelli, S. 2023. Zeolite and *Ascophyllum nodosum*-based biostimulant effects on spinach gas exchange and growth. *Agriculture*, 13(4): 754.
- Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., Masciandaro, G., Manzi, D., Masini, C.M. and Mattii, G.B. 2021b. Application of zeolites in agriculture and other potential uses: A review. *Agronomy*, 11(8): 1547.
- Cataldo, E., Fucile, M., Manzi, D., Masini, C.M., Doni, S. and Mattii, G.B. 2023. Sustainable soil management: effects of clinoptilolite and organic compost soil application on eco-physiology, quercetin, and hydroxylated, methoxylated anthocyanins on *Vitis vinifera*. *Plants*, 12(4): 708.
- Cataldo, E.C., Salvi, L.S., Paoli, F.P., Fucile, M.F., Masciandaro, G.M., Manzi, D.M., Masini, C.M.M. and Mattii, G.B.M. 2021a. Effects of natural clinoptilolite on physiology, water stress, sugar, and

- anthocyanin content in Sanforte (*Vitis vinifera* L.) young vineyard. The Journal of Agricultural Science, 159(7-8): 488-499.
- Chatzistathis, T., Papadakis, I.E., Papaioannou, A., Chatzissavvidis, C. and Giannakoula, A. 2020. Comparative study effects between manure application and a controlled-release fertilizer on the growth, nutrient uptake, photosystem II activity and photosynthetic rate of *Olea europaea* L. (cv. Koroneiki). Scientia Horticulturae, 264: 109176.
- Choo, L.N.L.K., Ahmed, O.H., Talib, S.A.A., Ghani, M.Z.A. and Sekot, S. 2020. Clinoptilolite zeolite on tropical peat soils nutrient, growth, fruit quality, and yield of *Carica papaya* L. cv. Sekaki. Agronomy, 10(9): 1320.
- Conesa, M.R., De La Rosa, J.M., Domingo, R., Banon, S. and Pérez-Pastor, A. 2016. Changes induced by water stress on water relations, stomatal behaviour and morphology of table grapes (cv. Crimson Seedless) grown in pots. Scientia Horticulturae, 202: 9-16.
- Cramer, G.R., Van Sluyter, S.C., Hopper, D.W., Pascovici, D., Keighley, T. and Haynes, P.A. 2013. Proteomic analysis indicates massive changes in metabolism prior to the inhibition of growth and photosynthesis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) in response to water deficit. BMC Plant Biology, 13(49): 1-22.
- Doni, S., Gispert, M., Peruzzi, E., Macci, C., Mattii, G.B., Manzi, D., Masini, C.M. and Grazia, M. 2021. Impact of natural zeolite on chemical and biochemical properties of vineyard soils. Soil Use and Management, 37(4): 832-842.
- Fahim, S., Ghanbari, A., Naji, A.M., Shokohian, A.A., Lajayer, H.M., Gohari, G. and Hano, C. 2022. Multivariate discrimination of some grapevine cultivars under drought stress in Iran. Horticulturae, 8(10): 871.
- Farajzadeh-Memari-Tabrizi, E. and Babashpour-Asl, M. 2022. Effects of zeolite, vermiculite, and superabsorbent application on agronomic and physiological traits of safflower in response to water-deficit stress. Journal of Plant Physiology and Breeding, 12(1): 1-13.
- Filcheva, E.G. and Tsadilas, C.D. 2002. Influence of clinoptilolite and compost on soil properties. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 33(3-4): 595-607.
- Guaya, D., Mendoza, A., Valderrama, C., Farran, A., Sauras-Yera, T. and Cortina, J.L. 2020. Use of nutrient-enriched zeolite (NEZ) from urban wastewaters in amended soils: Evaluation of plant availability of mineral elements. Science of the Total Environment, 727: 138646.
- Gurrieri, L., Merico, M., Trost, P., Forlani, G. and Sparla, F. 2020. Impact of drought on soluble sugars and free proline content in selected *Arabidopsis* mutants. Biology, 9(11): 367.
- Harhash, M.M., Ahamed, M.M. and Mosa, W.F. 2022. Mango performance as affected by the soil application of zeolite and biochar under water salinity stresses. Environmental Science and Pollution Research, 29(58): 87144-87156.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S.M., Mahmud, J.A., Fujita, M. and Fotopoulos, V. 2020. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. Antioxidants, 9(8): 681.
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mohammadi, H. and Nicola, S. 2017. Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of Aloe vera L. Agricultural Water Management, 181: 66-72.
- Hodges, D.M., DeLong, J.M., Forney, C.F. and Prange, R.K. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. Planta, 207: 604-611.
- Jakab, S. and Jakab, A. 2010. Effects of the Zeolitic Tuff on the physical characteristics of Haplic Luvisol and the quality of fruits on apple orchards. Acta Universitatis Sapientiae Agriculture and Environment, 2: 31-37.
- Jha, B. and Singh, D.N. 2016. Fly ash zeolites: innovations, applications, and directions (Vol. 78). Singapore: Springer.
- Joseph, S., Graber, E.R., Chia, C., Munroe, P., Donne, S., Thomas, T., Nielsen, S., Marjo, C., Rutledge, H., Pan, G.X. and Li, L. 2013. Shifting paradigms: development of high-efficiency biochar fertilizers based on nano-structures and soluble components. Carbon Management, 4(3): 323-343.

- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M. and Sharma, A. 2020. The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10(16): 5692.
- Karami, L., Ghaderi, N. and Javadi, T. 2017. Morphological and physiological responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to drought stress and dust pollution. *Folia Horticulturae*, 29(2): 231-240.
- 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.
- Karimi, S., Rahemi, M., Rostami, A.A. and Sedaghat, S. 2018. Drought effects on growth, water content and osmoprotectants in four olive cultivars with different drought tolerance. *International Journal of Fruit Science*, 18(3): 254-267.
- Kavvadias, V., Ioannou, Z., Vavoulidou, E. and Paschalidis, C. 2023. Short term effects of chemical fertilizer, compost and zeolite on yield of lettuce, nutrient composition and soil properties. *Agriculture*, 13(5):1022.
- Keivanfar, S., Fotouhi Ghazvini, R., Ghasemnezhad, M., Mousavi, A. and Khaledian, M.R. 2019. Effects of regulated deficit irrigation and superabsorbent polymer on fruit yield and quality of Granny Smith apple. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 84(4): 383-389.
- Khalil, H.A. and Eldin, R.M.B. 2021. Chitosan improves morphological and physiological attributes of grapevines under deficit irrigation conditions. *Journal of Horticultural Research*, 29(1): 9-22.
- Król, A., Amarowicz, R. and Weidner, S. 2014. Changes in the composition of phenolic compounds and antioxidant properties of grapevine roots and leaves (*Vitis vinifera* L.) under continuous of long-term drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36: 1491-1499.
- Leogrande, R. and Vitti, C. 2019. Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. *Arid Land Research and Management*, 33(1): 1-21.
- Lopes, J.I., Arrobas, M., Brito, C., Gonçalves, A., Silva, E., Martins, S., Raimundo, S., Rodrigues, M.Â. and Correia, C.M. 2020. Mycorrhizal fungi were more effective than zeolites in increasing the growth of non-irrigated young olive trees. *Sustainability*, 12(24): 10630.
- Mansoor, S., Khan, T., Farooq, I., Shah, L.R., Sharma, V., Sonne, C., Rinklebe, J. and Ahmad, P. 2022. Drought and global hunger: biotechnological interventions in sustainability and management. *Planta*, 256(5): 97.
- Marín-Martínez, A., Sanz-Cobena, A., Bustamante, M.A., Agulló, E. and Paredes, C. 2021. Effect of organic amendment addition on soil properties, greenhouse gas emissions and grape yield in semi-arid vineyard agroecosystems. *Agronomy*, 11(8): 1477.
- Mechri, B., Tekaya, M., Hammami, M. and Chehab, H. 2020. Effects of drought stress on phenolic accumulation in greenhouse-grown olive trees (*Olea europaea*). *Biochemical Systematics and Ecology*, 92: 104112.
- Medoro, V., Ferretti, G., Galamini, G., Rotondi, A., Morrone, L., Faccini, B. and Coltorti, M. 2022. Reducing nitrogen fertilization in olive growing by the use of natural chabazite-zeolite as soil improver. *Land*, 11(9):1471.
- Milošević, T. and Milošević, N. 2015. Apple fruit quality, yield and leaf macronutrients content as affected by fertilizer treatment. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(1): 76-83.
- Milošević, T. and Milošević, N. 2017. Influence of mineral fertilizer, farmyard manure, natural zeolite, and their mixture on fruit quality and leaf micronutrient levels of apple trees. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(5): 539-548.
- Milosevic, T. and Milosevic, N. 2009. The effect of zeolite, organic and inorganic fertilizers on soil chemical properties, growth and biomass yield of apple trees. *Plant, Soil and Environment*, 55(12): 528-535.
- Milošević, T., Milošević, N. and Glišić, I. 2013. Tree growth, yield, fruit quality attributes and leaf nutrient content of 'Roxana' apricot as influenced by natural zeolite, organic and inorganic fertilisers. *Scientia Horticulturae*, 156: 131-139.
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P.K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M. and Ondrisik, P. 2021. Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*, 11(3): 448.

- Nemeskeri, E., Kovacs-Nagy, E., Nyeki, J. and Sardi, E. 2015. Responses of apple tree cultivars to drought: carbohydrate composition in the leaves. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(6): 949-957.
- Nozari, R., Moghadam, H.R.T. and Zahedi, H. 2013. Effect of cattle manure and zeolite applications on physiological and biochemical changes in soybean [*Glycine max* check for this species in other resources (L.) Merr.] grown under water deficit stress. *Revista Cientifica UDO Agrícola*, 13(1): 76-84.
- Perez-Caballero, R., Gil, J., Benitez, C. and Gonzalez, J.L. 2008. The effect of adding zeolite to soils in order to improve the NK nutrition of olive trees, preliminary results. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 2(1): 321-324.
- Pirzad, A. and Mohammadzade, S. 2014. The effects of drought stress and zeolites on the protein and mineral nutrients of *Lathyrus sativus*. *International Journal of Biosciences*, 4(7): 241-248.
- Polat, E., Karaca, M., Demir, H. and Onus, A.N. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12(1): 183-189.
- Pontin, M., Murcia, G., Bottini, R., Fontana, A., Bolcato, L. and Piccoli, P., 2021. Nitric oxide and abscisic acid regulate osmoprotective and antioxidative mechanisms related to water stress tolerance of grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 27(3): 392-405.
- Rabai, K.A., Ahmed, O.H. and Kasim, S., 2013. Use of formulated nitrogen, phosphorus, and potassium compound fertilizer using clinoptilolite zeolite in maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Emirates Journal of Food and Agriculture (EJFA)*, 25(9).
- Rahimi, E., Nazari, F., Javadi, T., Samadi, S. and da Silva, J.A.T. 2021. Potassium-enriched clinoptilolite zeolite mitigates the adverse impacts of salinity stress in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) by increasing silicon absorption and improving the K/Na ratio. *Journal of Environmental Management*, 285: 112142.
- Rashid, Z.S., Homed, A.T. and Essa, B.A. 2020. Effect of biofertilizers and animal manure on some chemical and botanical properties of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*, 16(1): 2020.
- Sami, F., Yusuf, M., Faizan, M., Faraz, A. and Hayat, S. 2016. Role of sugars under abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109: 54-61.
- Sedaghat, M., Hazrati, S. and Omrani, M. 2022. Use of zeolite and salicylic acid as an adaptation strategy against drought in wheat plants. *South African Journal of Botany*, 146: 111-117.
- Shamili, M., Dehghanpour, S. and Atrash, S. 2020. Zeolite alleviates defense responses in drought stressed carrot (*Daucus carota* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 9(37): 27-36.
- Spanos, G.A. and Wrolstad, R.E. 1990. Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson seedless grape juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(7): 1565-1571.
- Suseela, V., Tharayil, N., Xing, B. and Dukes, J.S. 2015. Warming and drought differentially influence the production and resorption of elemental and metabolic nitrogen pools in *Q. uercus rubra*. *Global Change Biology*, 21(11): 4177-4195.
- Tadayyon, A., Nikneshan, P. and Pessarakli, M. 2018. Effects of drought stress on concentration of macro-and micro-nutrients in Castor (*Ricinus communis* L.) plant. *Journal of Plant Nutrition*, 41(3): 304-310.
- Tangolar, S., Tangolar, S., Kelebek, S.E.R.P.İ.L. and Topcu, S. 2016. Determination of phenolics, sugars, organic acids and antioxidants in the grape variety kalecik karasi under different bud loads and irrigation amounts. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 34(3): 495-509.
- Treacy, M.J. and Higgins, J.B. 2001. Collection of simulated XRD powder patterns for zeolites, 4th edition. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, p. 586
- Tzortzakis, N., Chrysargyris, A. and Aziz, A. 2020. Adaptive response of a native mediterranean grapevine cultivar upon short-term exposure to drought and heat stress in the context of climate change. *Agronomy*, 10(2): 249.
- Wang, Y., Chen, J., Sun, Y., Jiao, Y., Yang, Y., Yuan, X., Lærke, P.E., Wu, Q. and Chi, D. 2023. Zeolite reduces N leaching and runoff loss while increasing rice yields under alternate wetting and drying irrigation regime. *Agricultural Water Management*, 277: 108130.

- Yamika, W.S.D., Aini, N., Setiawan, A. and Runik, D.P. 2018. Effect of gypsum and cow manure on yield, proline content, and K/Na ratio of soybean genotypes under saline conditions. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 5(2): 1047.
- Zeng, G., Gao, F., Li, C., Li, D. and Xi, Z. 2022. Characterization of 24-epibrassinolide-mediated modulation of the drought stress responses: Morphophysiology, antioxidant metabolism and hormones in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 184: 98-111.