اثر متقابل سطوح مختلف تنش خشکی و کاربرد زئولیت بر عملکرد خیار گلخانه‌ای

علی اصغر محبتی[۱]، محمد حسین نجفی مود[۱]، علی شهیدی[۱] و عباس خاشعی سیوکی[۱*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۰)

چکیده

استفاده از اصلاح کننده‌های خاک در کشت‌های گلخانه‌ای کاربرد زیادی پیدا کرده است. خیار به‌عنوان یکی از محصولات صیفی، بیشترین سطح زیر کشت را در گلخانه های کشور دارد. از این رو، در این تحقیق، به بررسی تأثیر کاربرد زئولیت و تنش آبی بر شاخص‌های رشد خیار و پارامترهای میوه (تعداد، وزن، طول و قطر میوه خیار) در آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۹ تیمار و ۳ تکرار در گلخانه‌ای واقع در آرین شهر خراسان جنوبی پرداخته شد. در این آزمایش، زئولیت در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ گرم در هر کیلوگرم خاک) و تنش خشکی در سه سطح (صفر، ۲۵ و۵۰ درصد نیاز آبی) در طول دوره رشد گیاه اعمال شد. بررسی‌ها نشان داد که کاربرد زئولیت تنها بر تعداد میوه تأثیر معنی داری نداشته است؛ ولی تأثیر آن بر سایر پارامترهای عملکرد (وزن محصول، طول میوه و قطر میوه) در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده است. اثر متقابل زئولیت و تنش خشکی معنی‌دار بود. با مصرف ۱۰ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک، بیشترین عملکرد، تعداد میوه و طول میوه حاصل شد. با افزایش مقدار زئولیت، میزان عملکرد محصول نیز افزایش یافته است.

کلمات کلیدی: تنش خشکی، زئولیت، شاخص‌های عملکرد، خراسان جنوبی

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین عوامل حیات موجودات زنده است که کمبود آن در مناطق خشک، گسترش کشت در اراضی مستعد را با محدودیت مواجه می‌سازد. ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق دنیا قرار گرفته است. براساس آخرین آمار، کل مصارف آب در کشور بالغ بر ۸۸ میلیارد مترمکعب در سال است (۱۳). بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده منابع آب تجدید شونده کشور بوده و سهم این بخش در مصرف آب بیش از ٪۹۰ از کل منابع آب است. در بوم نظام‌های زراعی، شناخت عوامل افزایش دهنده کمیت و کیفیت محصول الزامی بوده و باید جهت دستیابی به عملکرد مطلوب مورد توجه قرار گیرند (۱۳). به همین دلیل، امروزه از کودهای شیمیایی به‌منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح به وفور استفاده می‌شود (۴).

زئولیت‌ها کاربرد گسترده‌ای در کشاورزی دارند. در اغلب کشورها مثل کوبا، آمریکا، روسیه، ژاپن، ایتالیا، آفریقای جنوبی، مجارستان و بلغارستان، پتانسیل‌های زیادی از این ماده معدنی وجود دارد که استفاده از آن روز به روز در حال افزایش است (۲). مهم‌ترین زئولیت که از نوع طبیعی است و کاربرد زیادی در

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: abbaskhashei@birjand.ac.ir

کشاورزی دارد، کلینوپتیلولایت است. اثرها و مزایای مصرف زئولیت‌ها در کشاورزی را می‌توان در شش بخش شامل آبیاری، خاک، کود، تأثیر بر محصولات، تأثیر بر گیاه و اکولوژیک نام برد (۲). زئولیت‌ها در کشور ما نیز از گستردگی بسیار خوبی برخوردارند و در مناطق میانه، سمنان، زاهدان و فیروزکوه معادنی از این کانی با ارزش وجود دارد (۲). زئولیت‌ها به‌دلیل داشتن تخلخل زیاد و ساختار کریستالی قادرند بیش از ۶۰٪ وزن خود، آب را نگهدارند. مولکول‌های آب می‌توانند بدون اینکه باعث خرابی در ساختار زئولیت شوند، تبخیر شده و مجدداً جذب شوند. بنابراین، از زئولیت‌ها می‌توان به عنوان یک ذخیره مطمئن آب در دوره‌های خشک بهره برد. زئولیت‌ها قابلیت مرطوب شدن داشته و به ریشه گیاهان قابلیت گسترش جانبی را می‌دهند. آب ذخیره شده در شبکه کریستالی زئولیت به تدریج جذب گیاه می‌شود. استفاده از زئولیت می‌تواند رطوبت خاک را برای مدت بیشتری حفظ و در اختیار گیاه قرار دهد. بنابراین، کاربرد زئولیت می‌تواند اثر سوء تنش خشکی در گیاهان زراعی را تعدیل بخشد (۱۰).

حضور زئولیت به‌عنوان اصلاح کننده خاک، این قابلیت را دارد که آب را جذب کرده و سپس آن را پس دهد و مقداری از کاتیون‌های موجود در خود را مبادله کند (۱۵). زئولیت سبب بهبود خواص فیزیکی خاک و نیز افزایش ماندگاری رطوبت در خاک می‌شود (۳ و ۵). قابلیت فراوان زئولیت در جذب و ذخیره‌سازی آب سبب می‌شود که اولاً آب مصرفی گیاه در زئولیت ذخیره شود و در هنگام لزوم مورد استفاده قرار گیرد. ثانیاً، به‌علت ذخیره‌سازی آب، از شسته شدن و هدر رفتن مواد مغذی کودها جلوگیری به عمل آید (۱۱). این کانی دارای عناصری نظیر پتاسیم، کلسیم، سدیم، سیلیسیم، آلومینیوم، منیزیم، آهن و فسفر است که می‌تواند به‌عنوان بهترین مکمل غذایی و کود کشاورزی محسوب شده و در بهره‌برداری و تولید بیشتر محصولات کشاورزی نقش مهمی ایفا نماید (۱۱). بنابراین، زئولیت می‌تواند به تنهایی به‌عنوان بخشی از کود کشاورزی محسوب شود و در افزایش تولید محصولات کشاورزی نقش مهمی ایفا نماید (۱۲). جذب انتخابی و آزادسازی کنترل شده عناصر غذایی از زئولیت باعث می‌شود در صورت انتخاب صحیح نوع زئولیت مصرفی، هنگامی که این مواد به عنوان اصلاح کننده به خاک اضافه می‌شوند، از طریق افزایش فراهمی طولانی مدت عناصر غذایی در خاک، موجب بهبود رشد گیاه شوند (۱۸). البته اثربخشی زئولیت به بافت خاک نیز بستگی دارد. هر چه میزان رس خاک کمتر باشد، تأثیر زئولیت در خاک بیشتر خواهد بود. بررسی تحقیقات خاشعی سیوکی و همکاران (۶) نشان داد که مصرف زئولیت بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده (شامل ارتفاع بوته، درصد پروتئین کل برگ و ساقه و کارایی مصرف آب) اثر معنی‌دار داشته، ولی درصد تخلیه رطوبت اثر معنی‌داری بر پروتئین کل برگ و ساقه نداشته است. اثر زئولیت بر ارتفاع بوته، وزن خشک، قیمت محصول، درصد قند و درصد نیکوتین توتون در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است (۹). احمدی و همکاران (۱) با کاربرد زئولیت‌های کلسیک و پتاسیک در پنج سطح (صفر، ۱، ۳، ۵ و ۷ درصد وزنی) به‌منظور کشت گیاه شاهی، نشان دادند که نوع و مقدار زئولیت بر شاخص D05 (زمان سبز شدن) اثر معنی‌داری دارد. همچنین، مشاهدات این محققان نشان داد که بیشترین درصد سبز شدن به تیمار زئولیت کلسیک با ۳٪ وزنی اختصاص داشت و سبب سبز شدن ۸۶/۶۶ درصد بذرهای کاشته شده گردید. نتایج کاربرد زئولیت طبیعی بر تولید گل نرگس نشان داد که کاربرد این کانی به همراه خاک سبب افزایش سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، میزان کلروفیل، طول، قطر، وزن تر و خشک ساقه گل دهنده و طول گلچه شد (۷). احمدی و همکاران (۱) با بررسی اثر زئولیت‌های کلسیک و پتاسیک بر کارایی مصرف آب نشان دادند که کاربرد زئولیت پتاسیک برای گیاه شاهی سبب افزایش ۱/۳۱ و ۱/۴۴ برابری کارایی مصرف آب نسبت به زئولیت کلسیک و تیمار شاهد شد. در حالی که در گیاه تربچه، زئولیت کلسیک بیشترین میزان کارایی مصرف آب را نشان داد و نسبت به زئولیت پتاسیک و تیمار شاهد به‌ترتیب افزایش ۱/۳۹ و ۱/۲۶ برابری داشت.

سوبرادو (۱۹) آزمایشی را بر روی شش رقم ذرت تحت سه رژیم آبیاری (گیاهانی که هفتگی آبیاری می‌شدند و گیاهانی که از ۳۰ تا ۵۶ روز بعد از کاشت آبیاری نمی‌شدند و گیاهانی که از۱۵ تا ۶۵ روز بعد از کاشت آبیاری نمی‌شدند) انجام داد و

جدول ۱. نقشه اجرایی طرح در گلخانه

$R_1S_2Z_3$	$R_1S_2Z_1$	$R_1S_2Z_2$	$R_1S_1Z_3$	$R_1S_1Z_2$	$R_1S_1Z_1$	$R_1S_3Z_1$	$R_1S_3Z_3$	$R_1S_2Z_2$
$R_2S_3Z_2$	$R_2S_2Z_1$	$R_2S_3Z_3$	$R_2S_1Z_2$	$R_2S_1Z_1$	$R_2S_1Z_3$	$R_2S_2Z_1$	$R_2S_2Z_3$	$R_2S_2Z_2$
$R_3S_1Z_2$	$R_3S_1Z_1$	$R_3S_1Z_3$	$R_3S_3Z_2$	$R_3S_3Z_1$	$R_3S_2Z_3$	$R_3S_2Z_2$	$R_3S_2Z_3$	$R_3S_2Z_1$

Z_1: مصرف صفر گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک (شاهد)، Z_2: مصرف پنج گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک، Z_3: مصرف ۱۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک، S_1:تامین ۵۰ درصد نیاز آبی، S_2: تامین ۷۵درصد نیاز آبی، S_3: تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد)، R شماره تکرار

نتیجه گرفت که کاهش مشاهده شده در سطح برگ تحت شرایط خشکی از کاهش در اندازه هر برگ ناشی می‌شود و نه از تعداد کمتر برگ همچنین همبستگی قوی بین سطح برگ در مرحله گرده افشانی و عملکرد دانه مشاهده شد. خیار با نام علمی *Cucumis sativus* جزو خانواده کدوئیان (*Cucurbitaceae*) بوده و یکی از سبزی‌های قدیمی جهان است. خیار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین سبزی‌ها، معمولاً در قالب میوه مصرف می‌شود. جد اولیه آن Hardwikii بوده است. پیشینه آن به ۳۰۰۰ سال قبل برمی‌گردد و منشأ آن به مناطق بومی گرمسیر آمریکا، آفریقا، هند و جنوب آسیا نسبت داده می‌شود.

وانگ و همکاران (۲۳) اثر مقادیر مختلف آب آبیاری را روی خیار مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان آب مصرفی، میزان محصول تولیدی نیز افزایش یافته، ولی کیفیت محصول اندکی کاهش می‌یابد. سیمسک و همکاران (۲۰) تیمارهای ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد تبخیر از تشت را روی بازده خیار بررسی کردند و نشان دادند که با کاهش آب کاربردی، راندمان گیاه نیز به‌طور چشمگیری کاهش یافت. مصلحی و همکاران (۱۴) در تحقیق خود، تأثیر تنش رطوبتی (در قالب سه تیمار پتانسیل خاک شامل آبیاری در مکش‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌بار) را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که تیمار مکش ۶۰ سانتی‌بار بیشترین سطح برگ (برگ‌های بزرگ) عملکرد را در گیاه خیار داشته است. وان و همکاران (۲۲) به بررسی اثر زئولیت بر بهینه‌سازی منابع کودی نیتروژن و فسفر پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که آمونیوم توسط زئولیت جذب و کلسیم آن آزاد می‌شود و همراه با فسفر رسوب می‌کند. این مهم نقش به‌سزایی در کاهش آب‌شویی نیترات در مزارع دارد. ییلماز و همکارن (۲۴) در ترکیه، به بررسی تأثیر زئولیت و چند ماده دیگر بر خصوصیات جوانه‌زنی و عملکرد خیار در شرایط گلخانه پرداختند نتایج نشان داد که تیمار ترکیبی توف و پرلیت به همراه زئولیت، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد خیار دارد.

مطالعات متعددی در مورد کاربرد زئولیت بر رشد گیاهان مختلف انجام شده است، ولی تاکنون تحقیقی در خصوص اثر زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت سمنان بر شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه خیار در گلخانه انجام نشده است. به همین دلیل، مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر تنش‌های مدیریتی رطوبت خاک (آبیاری در تنش‌های مختلف) و کاهش اثرهای نامطلوب آنها با جاذب‌های زیستی، مانند زئولیت طبیعی، بر شاخص‌های رشد خیار گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه‌ای واقع در پنج کیلومتری شرق آرین شهر در فاصله ۴۵ کیلومتری جنوب شهر قاین در کنار جاده اصلی مشهد- بیرجند، با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، که در ارتفاع ۱۸۶۰ متری از سطح دریا است، انجام شد. جهت بررسی اثر مصرف مقادیر مختلف زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولایت مستخرج از معادن سمنان) و تنش خشکی بر میزان رشد و عملکرد خیار گلخانه‌ای، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده، با دو عامل مقادیر مختلف کاربرد زئولیت طبیعی (Z) در سه سطح و تنش خشکی (S) در سه سطح در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار به‌صورت پشته‌ای و جمعاً در ۲۷ پشته، هر یک به طول ۹۰ و عرض ۴۰ سانتی‌متر، انجام گرفت. نقشه اجرایی طرح در جدول (۱) ارائه شده است.

براساس نحوه کشت در گلخانه‌ها که به‌صورت جوی و

جدول ۲. برخی از مشخصات خاک استفاده شده

بافت خاک	عمق خاک (cm)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	Ca	Mg	K	Na	pH	EC (dS/m)
			(meq/kg)					
لوم سیلتی	۱۵-۰	۱/۴۵	۰/۷				۷/۶	۱/۱۴۰

جدول ۳. ترکیبات زئولیت کلسیک مورد استفاده (۶)

نوع زئولیت	P_2O_5 (٪)	MnO (٪)	TiO_2 (٪)	MgO (٪)	K_2O (٪)	Na_2O (٪)	CaO (٪)	Fe_2O_3 (٪)	Al_2O_3 (٪)	SiO_2 (٪)
کلسیک	۰/۰۱۳	۰/۰۲۲	۰/۱۶۲	۰/۶۲	۳/۶۸	۳/۰۰	۲/۲۱	۱/۳۱	۷/۸۸	۷۰/۹۵
نوع زئولیت	Cr (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Cl (ppm)	SO۳ (٪)	L.O.I (٪)
کلسیک	۷	۱۲	۳۹	۵	۵۴	۳۹۹	۱۱۵۴	۳۵۰۴	۱/۳۴۵	۸/۱۳

پشته است، ابتدا یک پشته انتخاب و سپس براساس تعداد تیمار و تکرار مورد نیاز، به ۲۷ کرت مساوی هر یک به طول ۹۰ و عرض ۴۰ سانتی‌متر تقسیم شد. فاصله کرت‌ها حدود ۱۵ سانتی‌متر درنظر گرفته شد و بین هر دو کرت مجاور، برای جلوگیری از نشت آب، توسط پلاستیک عایق‌بندی شد. خاک مورد استفاده در این طرح، خاک سنگین با بافت لوم سیلتی (۱۵٪ رس، ۵۰٪ سیلت و ۳۵٪ ماسه) انتخاب گردید (جدول ۲). سپس، به کرت‌های مربوط به زئولیت در دو سطح ۵ و ۱۰ گرم در هر کیلوگرم خاک، مقدار زئولیت به خاک هر کرت اضافه و سپس به‌طور کامل مخلوط شد. بعد از آماده کردن بستر مناسب کشت در هر کرت، پنج عدد بذر خیار رقم تونکا به‌صورت زیگزاگ در عمق ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر در تاریخ ۱۳۹۲/۱۰/۲۰ کشت گردید. همچنین، در هر کرت، یک عدد بذر اضافه کشت شد که در صورت سبز نشدن و یا از بین رفتن یک بوته، بوته اضافه جایگزین گردد. سپس، تمام کرت‌ها تا زمان جوانه زدن گیاهان به‌طور خودکار آبیاری شدند و عملیات مبارزه با آفات زراعی به میزان یکسان بین تمام کرت‌ها اعمال گردید. براساس طرح آماری این آزمایش، کرت‌ها به‌صورت کاملاً تصافی به فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر چیده و نامگذاری شدند. در انتهای فصل رشد و با استفاده از حفر پروفیل در خاک، از عمق ۵ تا ۱۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری گردید و نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شدند. نتایج تجزیه خاک در جدول (۲) ارائه شده است.

زئولیت مورد استفاده در این طرح از نوع کلسیک با دانه‌بندی ۰/۵ تا ۷ میلی‌متر است که از معادن سمنان تهیه گردید. مشخصات زئولیت کلسیک در جدول (۳) ارائه شده است.

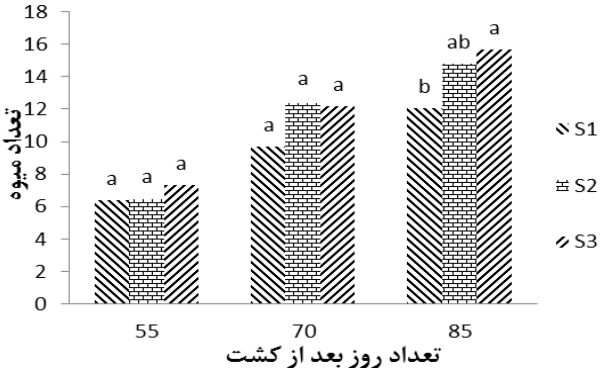
تبخیر- تعرق گیاه (ETc) براساس داده‌های یک دوره آماری ۳۰ ساله از ایستگاه سینوپتیک شهرستان بیرجند محاسبه گردید. رزمی و همکاران (۸) با تعیین تبخیر- تعرق در طول فصل رشد، رابطه تبدیل تبخیر- تعرق گیاه مرجع بیرون از گلخانه به تبخیر- تعرق داخل گلخانه را به‌دست آوردند. این رابطه نشان می‌دهد که تبخیر- تعرق مرجع داخل گلخانه ۷۳٪ تبخیر- تعرق گیاه مرجع بیرون از گلخانه است. محققانی همچون روفائل و کولا (۱۹) نیز گزارش کرده‌اند که تبخیر- تعرق درون گلخانه تقریباً ۶۰ تا ۸۰ درصد تبخیر- تعرق خارج گلخانه است.

آبیاری تا زمان دوبرگی شدن و برای استقرار و مقاوم شدن گیاه به‌صورت یکسان و بدون اعمال تنش صورت گرفت. بعد از دوبرگی شدن، تنش آبی در کرت‌های شامل تنش خشکی اعمال شد و از این پس آبیاری به‌صورت دستی و به‌صورت حجمی انجام شد. عملیات زراعی از قبیل کود دادن، هرس کردن، محلول‌پاشی و مبارزه با علف‌های هرز و آفات به‌طور یکسان در تمامی کرت‌ها انجام شد.اولین برداشت محصول پس

جدول ۴. تجزیه واریانس تعداد میوه

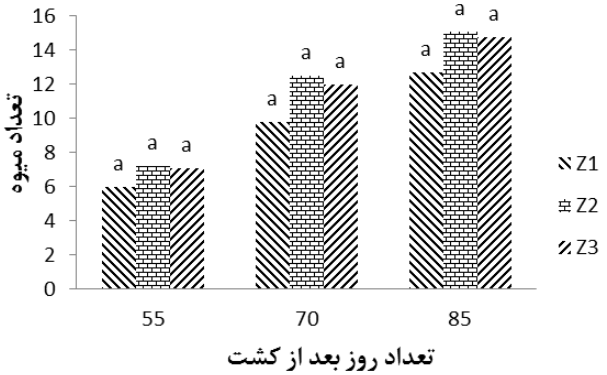
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد میوه		
		تعداد روز بعد از کشت		
		۵۵	۷۰	۸۵
تکرار	۲	۲۱/۷*	۱/۱ns	۱۰/۸ns
تنش خشکی	۲	۲/۱۱ ns	۱۹/۷ns	۳۲/۹ns
تکرار * تنش	۴	۶/۸۷ns	۴/۵ns	۵/۹ns
زئولیت	۲	۴/۱۱ns	۱۷/۸۱ns	۱۴/۹ns
تنش * زئولیت	۴	۱۳/۸*	۳/۰۹ns	۵/۰۳ns
خطا	۱۲	۳/۲۹	۸/۲۲	۱۷
ضریب تغییرات (٪)	–	۲۶/۷	۲۴/۹۷	۲۹

* و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر تنش بر روی تعداد میوه

میانگین‌های شامل حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر زئولیت بر روی تعداد میوه

میانگین‌های شامل حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند

از گذشت ۵۵ روز انجام گرفت. خیارها از بوته جدا شده و وزن میوه هر کرت توسط ترازوی دقیق و با خطای ۰/۱ گرم به‌دست آمد. طی دوره کشت، سه بار، برداشت خیار به فواصل زمانی ۱۴ روز صورت گرفت و وزن میوه‌ها محاسبه گردید. همچنین، تعداد میوه به‌دست آمده از هر کرت یادداشت شد. در هر دوره برداشت، قطر میوه‌های به‌دست آمده از هر کرت و در هر اندازه‌گیری برای تجزیه و تحلیل وارد نرم‌افزار SAS9.1.3 شد. طول میوه خیار نیز همانند قطر میوه توسط کولیس اندازه‌گیری شد و بزرگ‌ترین طول به‌دست آمده در تجزیه داده‌ها اعمال شد. آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح ۵٪ و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel 2010 انجام شد.

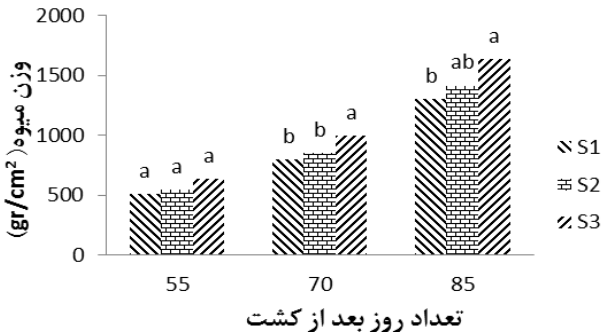
نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل تأثیر زئولیت و تنش خشکی بر عملکرد محصول براساس جدول (۴) نشان می دهد که اثر متقابل تنش خشکی و زئولیت تنها در دوره اول برداشت محصول در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. لذا، در این بخش، اثرهای ساده نیازی به بررسی دقیق ندارند. البته براساس شکل (۱)، تنش خشکی در هیچکدام از دوره های برداشت محصول روی تعداد میوه تأثیر معنی داری نداشته است. با بررسی شکل (۲) مقایسه میانگین ها می‌توان نتیجه گرفت که بهترین عملکرد از لحاظ تعداد میوه در هر سه دوره برداشت مربوط به سطح زئولیت Z_2 است. اما بین سطوح مختلف زئولیت هیچ تفاوت معنی داری قابل مشاهده

جدول ۵. تجزیه واریانس وزن میوه

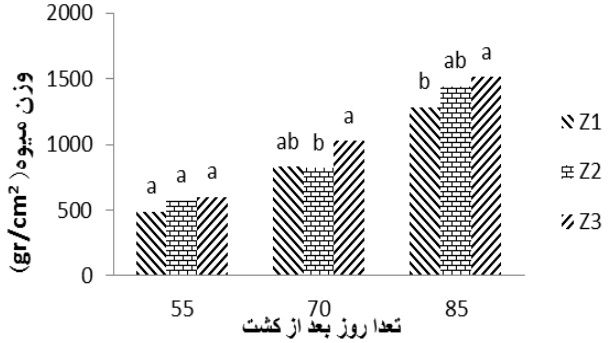
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن میوه (گرم بر سانتی‌متر مربع)		
		تعداد روز بعد از کشت		
		۵۵	۷۰	۸۵
تکرار	۲	۲۳۲۲۴۸**	۳۲۲۳۲۵**	۴۲۲۳۵۸**
تنش خشکی	۲	۵۵۹۵۶^{ns}	۱۶۷۳۸۹*	۲۶۶۲۰۲*
تکرار * تنش	۴	۶۴۶۹۹^{ns}	۶۳۴۹۶^{ns}	۱۱۲۳۴۰^{ns}
زئولیت	۲	۳۱۷۸۴^{ns}	۱۵۲۳۵۰*	۲۵۸۴۱۳*
تنش * زئولیت	۴	۱۱۴۴۱۰*	۱۳۷۱۷^{ns}	۳۲۰۷۲^{ns}
خطا	۱۲	۲۹۸۸۱	۳۵۴۶۰	۷۶۱۱۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۷/۲	۲۱	۱۹

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار



شکل ۳. مقایسه میانگین تنش بر روی وزن میوه

میانگین‌های شامل حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند



شکل ۴. مقایسه میانگین زئولیت بر روی وزن میوه

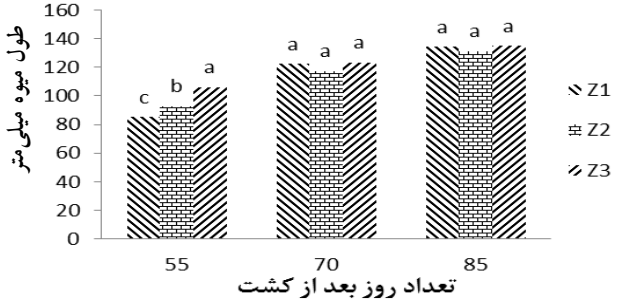
میانگین‌های شامل حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند

نیست. دو دوره برداشت دیگر محصول تأثیر معنی‌داری بر تعداد میوه نداشتند. براساس شکل‌های (۱) و (۲) در سطح تنش S_1 در هر سه دوره، بهترین سطح زئولیت به‌ترتیب با میانگین ۸، ۱۱/۶ و ۱۳/۳ مربوط به سطح زئولیت Z_2 است و در سطح S_2 نیز بهترین سطح زئولیت با بیشترین تعداد میوه مربوط به سطح Z_2 است. در این دو سطح تنش، با افزایش زئولیت از ۵ گرم به ۱۰ گرم در هر کیلوگرم خاک، تعداد میوه کم شده است. اما در سطح تنش S_3 بیشترین تعداد میوه مربوط به سطح Z_3 است. در این سه دوره برداشت، بیشترین تعداد میوه مربوط به تیمار S_3Z_3 است.

با توجه به جدول (۵) و شکل‌های (۳) و (۴)، تجزیه واریانس نتایج نشان داد که تنش خشکی در اولین برداشت محصول تأثیری بر وزن میوه ندارد؛ ولی در دومین و سومین برداشت محصول، اثر تنش خشکی بر عملکرد محصول در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده که با نتایج مصلحی و همکاران (۱۴) و وانگ و همکاران (۲۳) روی گیاه خیار مطابقت دارد. تنش آبی بر خصوصیات رشد گیاه تأثیر گذاشته و باعث کاهش رشد آن می‌شود. در این آزمایش، تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته و سطح برگ شده است که این دو عامل باعث ایجاد شرایط نامساعد برای گیاه شده و کاهش عملکرد محصول رخ می‌دهد. با توجه به شکل (۴)، مقایسه میانگین تنش خشکی در هر سه

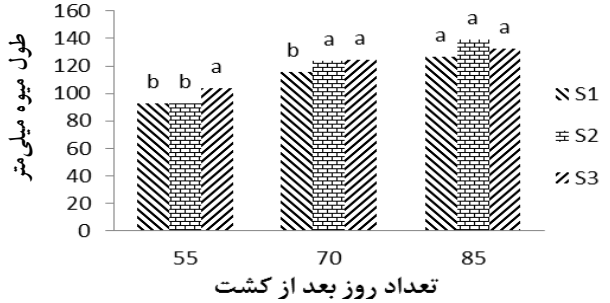
جدول ۶. تجزیه واریانس طول میوه

منابع تغییر	درجه آزادی	طول میوه (میلی‌متر) تعداد روز بعد از کشت		
		۱۵	۳۰	۴۰
تکرار	۲	۴۶۳/۳*	۲۰۳/۲۵ns	۵۶۹/۹*
تنش خشکی	۲	۳۳۷/۸ns	۲۰۵/۶ns	۳۲۵/۸ns
تکرار * تنش	۴	۲۶/۶۴ns	۸/۷۵ns	۱۸۸/۳ns
زئولیت	۲	۵۷۱/۲۵**	۹۰/۷ns	۲۱/۸ns
تنش * زئولیت	۴	۱۶/۸۷ns	۳۵/۲ns	۷۳/۷ns
خطا	۱۲	۱۰۸/۲۲	۵۹/۱۴	۱۴۴/۶
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۰/۷۵	۶/۳۲	۹



شکل ۵. مقایسه اثر تنش بر روی طول میوه

میانگین‌های شامل حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند



شکل ۶. مقایسه اثر تنش بر روی طول میوه

میانگین‌های شامل حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند

دوره نشان داد که بیشترین عملکرد مربوط به تیمار S_3 است، که در دو دوره آخر برداشت محصول با سطح S_1 تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ ایجاد کرده است. افزایش میزان آب مصرفی، میزان محصول تولیدی را نیز افزایش داده و می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد این محصول به شدت از حجم آب آبیاری در هر مرحله از رشد تأثیر می‌پذیرد که با نتایج بلانکو و فولگاتی (۱۵) روی خیار مطابقت دارد. اثر زئولیت بر عملکرد محصول با توجه به جدول (۵)، در اولین برداشت، همانند تنش، معنی‌دار نشده است. اما در دو دوره برداشت آخر، تأثیر زئولیت بر عملکرد محصول در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده و باعث افزایش محصول شده است که با نتایج تحقیقات خاشعی سیوکی (۵) در گیاه ذرت مطابقت دارد. با توجه به این مورد که زئولیت در اواخر دوره برداشت تأثیر بیشتری بر عملکرد داشته می‌توان اثر زئولیت در طولانی مدت بر رشد گیاهان زراعی را توجیه کرد. بیشترین عملکرد محصول را تیمار Z_3 در هر سه دوره به خود اختصاص داده که با سطوح دیگر زئولیت تفاوت معنی‌داری دارد. اثر متقابل تنش خشکی و زئولیت تنها در دوره اول برداشت در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. اثرهای اصلی سطوح تنش و زئولیت به تنهایی در این دوره معنی‌دار نبوده است، که این موضوع نشان می‌دهد که تیمار تنش و زئولیت به تنهایی بر عملکرد تأثیر نداشته و با همکاری هم باعث افزایش عملکرد شده‌اند. در دو دوره برداشت ۷۰ و ۸۵ روز بعد از کشت، اثر متقابل تنش و زئولیت معنی‌دار نبوده است. بیشترین مقدار عملکرد مربوط به تیمار S_3Z_3 در هر سه دوره است. اما از لحاظ اقتصادی و کارایی مصرف آب مقرون به صرفه نیست که با این شرایط می‌توان تیمار S_2Z_3 را به‌عنوان بهترین و مقرون به صرفه‌ترین تیمار نام برد و برای عملی کردن پیشنهاد نمود.

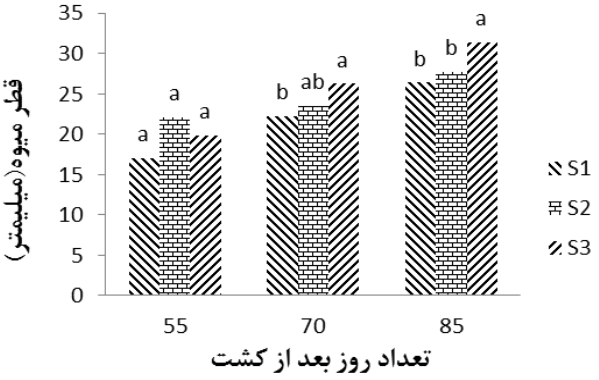
با توجه به جدول (۶) تجزیه واریانس و شکل‌های (۵) و (۶)، تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر طول میوه در هیچ کدام از

جدول ۷. تجزیه واریانس قطر میوه

منابع تغییر	درجه آزادی	قطر میوه (میلی‌متر)		
		تعداد روز بعد از کشت		
		۵۵	۷۰	۸۵
تکرار	۲	۱۱۲**	۴۲/۱۱**	۴/۳^{ns}
تنش خشکی	۲	۵۹^{ns}	۳۷/۳*	۶۰/۴**
تکرار * تنش	۴	۲۰*	۴/۹^{ns}	۱/۶^{ns}
زئولیت	۲	۱۹/۱۸*	۱۷/۵*	۱۶/۴۳*
تنش * زئولیت	۴	۰/۷۸^{ns}	۳/۲۷^{ns}	۲/۶۵^{ns}
خطا	۱۲	۵/۲	۵/۸۹	۵/۴
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۰/۲	۱۰/۱۲	۸/۱۵

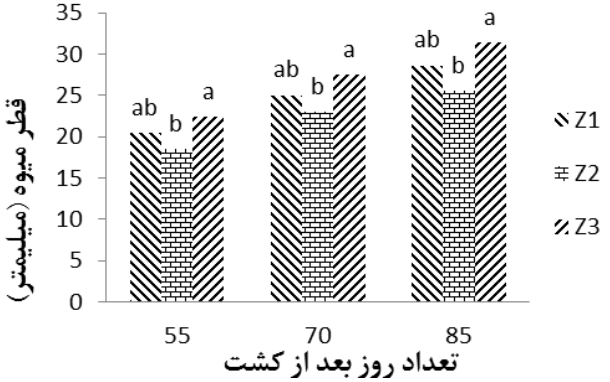
دوره‌های برداشت محصول نداشت. براساس نمودار مقایسه میانگین تنش، مشاهده می‌شود که در ۵۵ روز بعد از کشت سطوح S_1 و S_2 با سطح S_3 تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ دارند و بزرگ‌ترین طول میوه مربوط به سطح S_3 است. افزایش تنش به میزان ۲۵٪ باعث کاهش طول میوه به مقدار ناچیز شده و از لحاظ آماری طول میوه به یک مقدار ثابت رسیده است. در دوره ۷۰ روز بعد از کشت، سطوح S_2 و S_3 با سطح تنش S_1 در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری دارند. همچنین، با افزایش تنش خشکی از سطح S_3 به سطح S_2، طول میوه تغییر نکرده ولی افزایش تنش تا سطح S_1 باعث کاهش چشمگیر طول میوه شده است. با توجه به شکل (۵)، دوره آخر برداشت بهترین عملکرد از نظر طول میوه را سطح S_2 به خود اختصاص داده و تأثیر تنش در روزهای انتهایی برداشت بر طول میوه کاهش پیدا کرده است. نتایج جدول (۶) نشان‌دهنده این است که زئولیت تنها در دوره ابتدایی برداشت (۵۵ روز بعد از کشت) بر طول میوه تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ ایجاد کرده و با توجه به نتایج قبلی می‌توان نتیجه گرفت که زئولیت تأثیر خود را در ابتدای دوره باردهی بیشتر روی اندازه میوه گذاشته است تا روی عملکرد محصول. اما در دو دوره انتهایی برداشت محصول، زئولیت تأثیر قابل ملاحظه‌ای از لحاظ آماری بر طول میوه نداشته است که این تأثیر در روزهای انتهایی رشد زایشی بیشتر بر عملکرد محصول بوده است. شکل (۶) نشان‌دهنده این امر است که با افزایش مقدار زئولیت، طول میوه افزایش یافته و این افزایش به لحاظ آماری در سطح ۱٪ معنی‌دار است. با توجه به نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها، در دوره ۵۵ روز بعد از کشت، بزرگ‌ترین طول میوه مربوط به تیمار S_3Z_3 است که از لحاظ کارایی و صرفه‌جویی مصرف آب قابل پیشنهاد نیست. اما در دو دوره ۷۰ و ۸۵ روز بعد از کشت، بزرگ‌ترین طول میوه مربوط به تیمار S_2Z_3 است که با توجه به کارایی مصرف آب و کاهش میزان آب مصرفی، قابل پیشنهاد و تأمل است.

با توجه به نتایج جدول (۷)، تنش خشکی در دوره اول برداشت (۵۵ روز بعد از کشت) تأثیر معنی‌داری بر قطر میوه ندارد که با نتایج مصلحی و همکاران (۱۴) در مورد گیاه خیار مطابقت دارد. این بدان معناست که تنش خشکی علیرغم اینکه باعث کاهش میزان آب مصرفی بدون کاهش عملکرد در این دوره شده است، تأثیری بر خصوصیات مورفولوژیک محصول خیار، از جمله طول و قطر خیار، نداشته است. اما در دو دوره بعدی برداشت محصول، تنش خشکی در ۷۰ روز بعد از کشت در سطح ۵٪ و در دوره ۸۵ روز بعد از کشت در سطح ۱٪ تأثیر معنی‌داری بر قطر میوه داشته است که با نتایج مائو و همکاران (۱۷) روی گیاه خیار مطابقت دارد. این نتایج و نتایج قبلی نشان‌دهنده این است که میزان عملکرد خیار و قطر میوه تحت



شکل ۷. مقایسه میانگین تنش بر روی قطر میوه

میانگین‌های شامل حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند



شکل ۸. مقایسه میانگین زئولیت بر روی قطر میوه

میانگین‌های شامل حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند

تأثیر حجم آب مصرفی قراردارد. با توجه به نمودار مقایسه میانگین تنش خشکی، هر چه مقدار تنش افزایش یافته، قطر میوه نیز کاهش یافته است که این کاهش قطر در دوره‌های ۷۰ و ۸۵ روز بعد از کشت معنی‌دار است.

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس جدول (۷) و شکل‌های (۷) و (۸) نشان می‌دهد که زئولیت در هر سه دوره برداشت اثر معنی‌داری در سطح ۵٪ بر قطر میوه داشته و نشان دهنده اثر زئولیت به‌طور یکسان طی دوره رشد زایشی گیاه است. با توجه به شکل مقایسه میانگین قطر میوه، بزرگ‌ترین قطر مربوط به سطح Z_3 زئولیت و کمترین مقدار مربوط به سطح Z_2 زئولیت است که این اختلاف قطر از لحاظ آماری در سطح ۱٪ معنی‌دار است. با این نتایج و نتایج قبلی به‌دست آمده از بخش مقایسه میانگین اثر زئولیت بر تعداد میوه می‌توان نتیجه گرفت که سطح Z_2 تأثیر خود را بیشتر روی تعداد میوه گذاشته و به همین سبب روی افزایش قطر میوه تأثیر کمتری داشته که این سطح از زئولیت کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. تأثیر متقابل تنش و زئولیت بر قطر میوه در هیچکدام از دوره‌های برداشت محصول معنی‌دار نبوده است. با توجه به این که تنش و اثر متقابل در دوره ۵۵ روز بعد ازکشت بر قطر ساقه اثر معنی‌دار ندارند، بنابراین، زئولیت بیشترین اثر را بر قطر میوه در این دوره داشته است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۷)، می‌توان گفت که اثر زئولیت و تنش خشکی بر قطر میوه در دو دوره ۷۵ و ۸۵ روز بعد از کشت معنی‌دار بوده است. اثر متقابل تنش و زئولیت بر قطر میوه معنی‌دار نیست. این مطلب نشان می‌دهد که این دو تیمار تنش و زئولیت به‌صورت مستقل بر قطر میوه اثر گذاشته‌اند.

نتیجه‌گیری

استفاده از زئولیت در کشاورزی یکی از راهکارهای دستیابی به کشاورزی پایدار است. به‌طوری که با کاربرد این کانی در میزان آب آبیاری و مصرف کود صرفه‌جویی می‌شود. این تحقیق، به بررسی اثرهای مختلف زئولیت و تنش خشکی بر گیاه خیار در شرایط گلخانه‌ای پرداخته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تنش خشکی بر شاخص‌های عملکرد تعداد میوه و طول میوه تأثیر معنی‌داری ایجاد نکرده، ولی بر عملکرد محصول و قطر میوه تأثیر معنی‌داری در سطح ۵٪ داشته است. بیشترین عملکرد محصول و تعداد میوه را سطح بدون تنش دارا است. با توجه با این نتیجه که بین دو سطح بدون تنش و مصرف ٪۷۵ نیاز آبی تفاوت معنی‌داری از لحاظ عملکرد محصول مشاهده نمی‌شود، بنابراین از نظر کارایی مصرف آب و کاهش آب مصرفی، بهینه‌ترین سطح تنش، سطح S_2 (٪۷۵ نیاز آبی) است. با مصرف ۱۰ گرم زئولیت در یک کیلوگرم خاک،

بیشترین عملکرد، تعداد میوه و طول میوه حاصل شد. با افزایش مقدار زئولیت، میزان عملکرد محصول افزایش یافته است.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، م.، ع. خاشعی سیوکی، ع. شهیدی و م. باقری مقدم. ۱۳۹۲. تأثیر کاربرد زئولیت کلسیک و پتاسیک و آب مغناطیسی بر کارایی مصرف آب در دو گیاه شاهی و تربچه. مجموعه مقالات دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط‌زیست سالم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، شرکت هم‌اندیشان محیط‌زیست فردا.

۲. احمدی، م.، ع. خاشعی سیوکی و ع. شهیدی. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر زئولیت طبیعی بر شاخص‌های رشد گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.). اولین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار. انجمن ارزیابان محیط‌زیست هگمتانه، همدان.

۳. احمدی، م.، ع. خاشعی سیوکی و ع. شهیدی. ۱۳۹۳. تأثیر آب مغناطیسی و نوع زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت بر مؤلفه‌های رشد لوبیای سبز (*Phaseolus vulgaris* L.). نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۸(۲): ۳۹۳-۴۰۱.

۴. امیدی، ح.، ح. ع. نقدی بادی، ع. گلزاد، ح. ترابی و م. ح. فتوکیان. ۱۳۸۸. تأثیر کود شیمیایی و زیستی نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.). فصلنامه گیاهان دارویی ۲(۳۰): ۹۸-۱۰۹.

۵. خاشعی سیوکی، ع. ۱۳۸۵. تأثیر زئولیت طبیعی بر برنامه‌ریزی آبیاری و عملکرد گیاه ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۶. خاشعی‌سیوکی، ع.، م. احمدی، ع. شهیدی و س. ر. هاشمی. ۱۳۹۲. ارزیابی اثر زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت بر سبز شدن کاسنی. مجموعه مقالات سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۷. خوشخوی، م.، ح. صالحی و غ. عبدی. ۱۳۸۶. بررسی اثرات زئولیت و تنش خشکی بر رشد و نمو چمن کنتاکی بلوگراس. چکیده مقالات پنجمین کنگره علوم باغبانی ایران، دانشگاه شیراز.

۸. رزمی، ز. و قائمی، ع ا. ۱۳۹۰. تعیین ضرایب گیاهی و تنش آب خاک گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، (۸۶-۷۵) :۷ (۲)

۹. رنجبر چوبه، م. ۱۳۸۲. تأثیر آبیاری و مصرف زئولیت طبیعی بر عملکرد کمی و کیفی توتون کوکر ۳۴۷. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشگاه گیلان.

۱۰. زمانیان، م. ۱۳۸۷. اثرات کاربرد سطوح مختلف زئولیت در ظرفیت نگهداری آب خاک. اولین همایش زئولیت ایران، دانشگاه امیرکبیر، صفحات ۲۴۷ تا ۲۴۸.

۱۱. شیرانی‌راد، ا. ح.، ت. طاهرخانی، ا. مرادی اقدم، ا. نظری گلشن و ک. اسکندری. ۱۳۹۰. تأثیر مقادیر نیتروژن و زئولیت بر صفات زراعی گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۳(۲): ۱۲۵-۱۳۵.

۱۲. عابدی کوپایی، ج.، س. س. اسلامیان و م. ج. زارعیان. ۱۳۹۰. اندازه‌گیری و مدل‌سازی نیاز آبی وضریب گیاهی خیار، گوجه فرنگی و فلفل با استفاده از میکرولایسیمتر در گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۲(۷): ۵۱-۶۳.

۱۳. کوچکی، ع.، م. جهانی، ل. تبریزی و ع. ا. محمد آبادی. ۱۳۹۰. ارزیابی اثر کودهای بیولوژیکی و شیمیایی و تراکم بر عملکرد گل و ویژگی‌های بنه زعفران (*Crocus sativus* L.). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۱): ۱۹۶-۲۰۶.

۱۴. مصلحی، ش.، پ. نجفی، س. ح. طباطبایی و ن. نورمهناد. ۱۳۹۰. تأثیر تنش رطوبتی بر شاخص‌های رشد و عملکرد خیار گلخانه‌ای. نشریه آب وخاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۴): ۷۷۰-۷۷۵.

15. Blanco F.F. and Folegatti M. 2003. Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 7(2): 285-291.
16. Bhattacharyya, T., D.K. Pal and S.B. Deshpande. 1993. Genesis and transformation of minerals in the formation of red (Alfisols) and black (Inceptisols and Vertisols) soils on Deccan basalt in the Western Ghats, India. J. Soil Sci. 44(1): 159-171.
17. Mao, X., M. Liu, X. Wang, C. Liu, Z. Hou and J. Shi. 2003. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain. Agric. Water Manage. 61(3): 219-228.
18. Polat, E., M. Karaca, H. Demir and A. Naci Onus. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. J. Fruit Ornam. Plant Res. 12: 183-189.
19. Rouphael, Y. and G. Colla. 2005. Radiation and water use efficiencies of greenhouse zucchini squash in relation to different climate parameters. Eur. J. Agron. 23: 183-194.
20. Simsek, M., T. Tonkaz, M. Kacira, N. Comlekcioglu and Z. Dogan. 2005. The effects of different irrigation regimes on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and yield characteristics under open field conditions. Agric. Water Manage. 73: 173-191.
21. Sobrado, M.A. 1990. Drought responses of tropical corn. I. Leaf area and yield components in the field. Maydica, 35(3): 221-226.
22. Wan, C., S. Ding, C. Zhang, X. Tan, W. Zou, X. Liu and X. Yang. 2017. Simultaneous recovery of nitrogen and phosphorus from sludge fermentation liquid by zeolite adsorption: Mechanism and application. Separat. Purif. Technol. 180(8): 1-12.
23. Wang, X., L.D. Shun and X. Zhang. 1999. Relationship between irrigation amount and yield of cucumber in Solar greenhouse. China Vegetables 1: 18-21.
24. Yilmaz, E., İ. Sonmez and H. Demir. 2014. Effects of zeolite on seedling quality and nutrient contents of cucumber plant (*Cucumis sativus* L. cv. Mostar F1) grown in different mixtures of growing media. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45(21): 2767-2777.