نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۱۱۴-۱۰۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 103-114

بررسی اثر زئولیت برخصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی چمن *Festuca arundinacea* تحت تنش خشکی

یحیی سلاح ورزی[1*]، سمیه سرفراز[2]، مریم کمالی[3]، محسن ذبیحی[4]، بهداد علیزاده[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۴

چکیده

تنش خشکی و تأثیر آن بر گیاهان پوششی یکی از موارد مهم در تحقیقات گیاهی است. استفاده از تکنیک‌های جدید جهت ایجاد مقاومت بیشتر به تنش‌های محیطی در این گیاهان ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش به بررسی اثر زئولیت‌ها بر صفات مورفولوژیک و برخی صفات فیزیولوژیک چمن تحت تنش خشکی پرداخته شد. به این منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی با ۲ تیمار و ۳ تکرار در گلخانه‌های علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در بهار و تابستان ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل سطوح تنش خشکی بر اساس ظرفیت مزرعه (FC) در ۳ سطح (۱۰۰٪ (کنترل)، ۵۰٪ و ۲۵٪) و مقدار زئولیت مخلوط با خاک لومی در ۳ سطح (۰، ۱۰٪ و ۲۰٪ w/w) بود. با توجه به نتایج بدست آمده سطوح آبیاری ۵۰٪ و ۲۵٪ منجر به کاهش صفات رویشی، کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت یونی، مقدار پرولین و کربوهیدرات کل در گیاه شد. اثرات متقابل زئولیت و تنش خشکی نشان داد که بیشترین سطح برگ (۳۱۶۴۰ سانتی متر مربع)، وزن خشک کل (۷۸/۲۱ گرم) و کاروتنوئید (۲/۱۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کمترین مقدار نشت یونی در سطح زئولیت ۲۰٪ و در شرایط عدم تنش بوده است. استفاده از زئولیت ها به خصوص در سطح ۲۰٪ منجر به افزایش صفات رشدی از قبیل وزن تر و خشک ریشه و ساقه، سطح برگ، ارتفاع و کاروتنوییدها شد. به طور کلی کاربرد زئولیت منجر به افزایش صفات رشدی در گیاه چمن تحت تنش خشکی شده است و در شرایط آبیاری محدود می‌تواند اثرات جبرانی و بهبود دهنده‌ای بر رشد گیاه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: سطح برگ، سوپرجاذب، رنگیزه‌های فتوسنتزی، نشت یونی

مقدمه

آب یکی از محدودترین عوامل در تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان است (Sankar et al., 2007). تغییرات آب و هوایی در دهه اخیر باعث کاهش میزان بارندگی در جهان به خصوص خاورمیانه شده است (Alfi and azizi, 2015). آب اصلی‌ترین عوامل مؤثر در رشد و نمو گیاهان و همچنین سازگاری مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی با شرایط محیطی است (Cousins and Witkowski, 2012). طی تنش خشکی صفات فیزیولوژیکی گیاه مانند رشد برگ، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتزی و متابولیسم نیتروژن کاهش می‌یابد. کاهش پتانسیل آب باعث کاهش رشد سلولی و سنتز پروتئین می‌شود. جریان دی‌اکسیدکربن و تعرق برگ کاهش یافته و تجمع پرولین و اسیدآبسیزیک افزایش می‌یابد (Heidaiy and Moaveni, 2009). تنظیم تعداد برگ‌ها، تغییر طولانی مدتی برای بهبود سازگاری گیاه با تنش خشکی است (Kabiri, 2010). کمبود آب می‌تواند باعث ریزش برگ‌ها شود. روند ریزش برگ‌ها در طول تنش خشکی، عمدتا نتیجه افزایش سنتز و حساسیت به هورمون آبسیزیک اسید می‌باشد (Kabiri, 2010). در نتیجه تنش خشکی فرآیندهای متابولیکی گیاه مختل شده و در نتیجه رشد گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Heidaiy and Moaveni, 2009).

از طرفی خاک یکی از مهمترین عوامل محیطی و به عنوان منبع اصلی در تأمین عناصر ضروری گیاه، ذخایر آب و محیط کشت گیاه محسوب می‌شود (Ghaemi et al., 2014). با توجه به محدودیت منابع آب در ایران و به ویژه بروز خشکسالی های اخیر، حفظ و نگهداری رطوبت خاک به طرق مختلف از راه‌های پیشنهادی برای جلوگیری از اثرات تنش خشکی است (قلی زاده،۱۳۸۳). بافت خاک

۱- گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- کارشناس فضای سبز شهرداری مشهد
۳- گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- کارشناس فضای سبز شهرداری مشهد
۵- گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: Selahvarzi@umac.ir

یک عامل غیر زیستی مهم در توزیع مواد معدنی و نگهداری مواد آلی خاک و توده میکروبی است. توزیع منافذ تأثیر مهمی بر فراوانی قارچ‌ها و باکتری‌ها دارد که خود نقش مهمی در معدنی شدن کربن ایفا می‌کند (Hamarashid et al., 2010). از طرفی تخصیص منابع جدید آب برای فضای سبز، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، با مشکلاتی جدی روبرو است. بنابراین آب تخصیص یافته به آبیاری فضای سبز دارای ارزش زیادی بوده و باید به صورت بهینه و با راندمان بالا استفاده شود (Ghasemi Ghehsareh et al., 2010). در این راستا اصطلاح خشک منظر سازی برای فضای سبز شهرها توسط برنامه ریزان به دلیل کمبود منابع آب مطرح شده است. این برنامه مشتمل بر چند اصل بوده که از جمله آن به اصلاح خاک بستر در فضای سبز اشاره دارد (Abedi-Koupai et al., 2008). امروزه یکی از روش‌های جدید و مؤثر به منظور اصلاح بستر و حفظ آب و مواد معدنی در خاک استفاده از زئولیت‌هاست.

زئولیت ها آلومینوسیلیکات های کریستالی، آبرسان هیدراته از فلزات قلیایی و خاکی و دارای ساختارهای کریستالی نامتناهی و سه بعدی هستند. آن‌ها بیشتر با توانایی از دست دادن و به دست آوردن برگشت‌پذیر آب و تبادل برخی از عناصر تشکیل‌دهنده آن‌ها بدون ایجاد تغییرات اساسی در ساختار مشخص می شوند. حدود ۴۰ زئولیت طبیعی و ۱۰۰ زئولیت مصنوعی وجود دارد (Szerment et al., 2014). تولید جهانی زئولیت طبیعی در سال ۲۰۱۳، ۲/۷ تا ۳/۲ میلیون تن برآورد شده‌است (Virta, 2013).

با توجه به اینکه کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی باعث کاهش فعالیت بیولوژیکی، کاهش کیفیت خاک، ضعف ظرفیت رطوبت و عدم تعادل شدید مواد مغذی گیاهی شده است، زئولیت‌ها به دلیل هزینه پایین و قابلیت انعطاف پذیری بالا، می‌توانند نقش مهمی در بهبود شرایط کشت داشته باشند (Ge et al., 2010).

گزارش شده است زئولیت طبیعی ممکن است جایگزین مهمی برای کاهش اثرات خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد (Ghanbari and Ariafar, 2013). افزایش زئولیت و تنش آب تأثیر معنی‌داری بر بیشتر پارامترهای رشدی اندازه‌گیری شده دارد (قلی زاده، ۱۳۸۳). طبق تحقیقات استفاده از زئولیت می‌تواند روشی برای بهبود خاک، افزایش اثرات کودهای شیمیایی و ارگانیک و به عنوان یک جزء زیربنایی برای توسعه محصولات مختلف باشد (Najafi-Ghiri, 2014). گزارش شده است خاک با زئولیت در مقایسه با خاک طبیعی می‌تواند نفوذ آب را به میزان ۷-۳۰٪ در زمین‌های با شیب ملایم و بیش از ۵۰٪ در زمین شیب‌دار افزایش دهد. علاوه بر این زئولیت می‌تواند رطوبت خاک را ۰/۴ تا ۱/۸ ٪ تحت شرایط خشکسالی و ۵ تا ۱۵ درصد در شرایط معمولی افزایش دهد (Xiubin and Zhanbin, 2001).

با توجه به گسترش شهرها و ماشینی شدن زندگی مدرن امروزه، اهمیت فضاهای سبز و نیاز به آن‌ها بیش از پیش نمایان گشته و مورد توجه قرار گرفته است. فضای سبز می تواند به طور قابل توجهی دمای هوا را معتدل نموده و به تلطیف هوا کمک کند (Shiravand, 2011). یکی از مهم ترین اجزای فضای سبز گیاهان پوششی هستند و چمن یکی از مهم‌ترین گیاهان پوششی دنیا است (Hosseini et al., 2015). در واقع هیچ گیاهی به مانند چمن نمی‌تواند زیبایی و شادابی یک محیط سبز را تامین کند (تهرانی فر و همکاران، ۱۳۸۸). چمن بیشترین نقش را در تصفیه هوا و کاهش آلودگی آن در محیط های شهری بر عهده دارد (شیراوند، ۱۳۹۰). چمن بویژه از نظر زیبایی شناختی گیاه مهمی در چشم انداز فضای سبز است. چمنزار می تواند در برخی از محیط‌های رو به رشد و رژیم‌های آبی با هدف صرفه‌جویی در مصرف هرچه بیشتر آب، استفاده شود (Nematollahi et al., 2018). جنس Festuca شامل بیش از ۳۶۰ گونه است که از نظر ظاهری تفاوت زیادی دارند. کمتر از ده گونه آن به عنوان چمنزار استفاده می‌شود. چمن *Festuca arundina*cea گیاه پوششی چند ساله با ریشه عمیق و مناسب فصل سرد است. رشد شدید در بهار و پاییز نشان می‌دهد و سیستم ریشه گسترده آن به تحمل شرایط خشکی کمک می‌کند. گونه‌ها با طیف گسترده‌ای از خاک و شرایط آب و هوایی سازگار هستند، اما بهترین عملکرد را در جایی با زمستان نسبتاً معتدل دارند (Wiecko, 2006). بررسی بهبود مرحله رشدی اولیه فستوکا آرندیناسه با استفاده از اصلاحات محیط کشت تحت شرایط تنش آبی نشان داد که کیفیت چمن با استفاده از سیستم آبیاری FC٪۶۰ در طول خروج جوانه و جوانه زنی اولیه کاهش نیافت. و در بسیاری موارد منجر به کیفیت بهتر چمن و صرفه جویی آب در مدیریت چمن شد. استفاده از کود ورمی کمپوست به عنوان اصلاح کننده خاک توانست رطوبت خاک را نگه دارد و مکمل آب برای بهبود مورفولوژی و کیفیت فیزیولوژیکی و بصری فستوکا باشد (Nematollahi et al, 2018). بررسی اثر متقابل نیتروژن و زئولیت طبیعی در محیط کشت بر رشد رویشی فستوکا (Festuca arundinacea schreb) نشان داد استفاده از زئولیت و نیتروژن تأثیر متفاوتی بر ارتفاع گیاهچه، وزن تر و خشک گیاه، محتوای کلروفیل و وزن خشک ریشه ها داشت. افزودن زئولیت به محیط کشت به میزان ۳۰ گرم برکیلوگرم و نیتروژن به میزان ۱۲/۱۲ گرم بر کیلوگرم به طور معنی‌داری ارتفاع چمن را افزایش داد. نتایج نشان داد که زئولیت می‌تواند نیتروژن را جذب و به آرامی به محیط کشت آزاد کند (Eshghi et al., 2014). بررسی شاخص‌های رشدی و غلظت برخی عناصر در گل اطلسی نشان داد با افزایش ده درصد زئولیت در خاک شاخص‌های رشدی گیاه از قبیل وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، تعداد گل، تعداد برگ، قطر گل، ارتفاع نهایی و غلظت عناصر نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و کلسیم افزایش یافت (Hamidpour et al., 2013). زئولیت قادر به جذب آب تا ۷٪ حجم خود می‌باشد. این

توانایی ناشی از تخلخل بالا و ساختمان بلوری آن‌ها می‌باشد. مشخص شده است که کاربرد زئولیت باعث ثابت ماندن ذخیره آب در منطقه ریشه در طول دوران خشکی شده و به انتشار افقی آب در خاک کمک می کند. کاربرد زئولیت می تواند اثرات تنش خشکی در گیاهان را تعدیل بخشد (Polite ,.2004 et al). زیوبین و ژانبین نیز در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که زئولیت در خاک می‌تواند رطوبت خاک را در شرایط بسیار خشک ۱/۸-۰/۴ ٪ افزایش دهد و در شرایط معمولی ۵-۱۰٪ رطوبت خاک را افزایش می‌دهد (Xiubin and Zhanbin, 2001). با توجه به اهمیت تنش خشکی در فضای سبز و تأثیر زئولیت بر نگهداری آب، این پژوهش با هدف بررسی اثر زئولیت و تنش خشکی برخصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی چمن *Festuca arundinacea* طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر زئولیت بر صفات کمی و کیفی گیاه چمن تحت تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی با ۲ تیمار و ۳ تکرار در گلخانه های علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در بهار و تابستان ۱۳۹۷ اجرا شد. متوسط دمای روزانه و شبانه در گلخانه به ترتیب برابر با ۲ ± ۲۵ و ۲ ± ۱۸ درجه سانتی گراد بود و رطوبت نسبی بین ۷۰-۶۰ درصد تنظیم شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل سطوح آبیاری در سه سطح (۱۰۰٪ (کنترل)، ۵۰٪ و ۲۵٪ ظرفیت زراعی) و مقدار زئولیت مخلوط با خاک لومی در سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰٪ وزنی) اعمال شد. بذر چمن در گلدان هایی با قطر دهانه ۱۸ سانتیمتر و مخلوط شن و ماسه به نسبت ۱:۱ کشت شد. تا زمان استقرار کامل چمن که دو ماه به طول انجامید، آبیاری به طور منظم و تاحدی که آب به آرامی از انتهای زهکش گلدان خارج شود، انجام شد تا از بروز خشکی جلوگیری شود. چمن ها برای اولین بار پس از رسیدن به ارتفاع ۷ سانتیمتر کوتاه شدند. زئولیت از شرکت افرازند سمنان و بذر فستوکا از شرکت پاکان بذر خریداری شد. ذرات زئولیت (با اندازه ۳-۱ میلی متر)، با آب مقطر شسته شدند، سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس کاملا خشک شدند و قبل از کشت بذر چمن، به نسبت‌های ذکر شده با خاک مخلوط شدند. روش اعمال تنش خشکی روش وزنی و با تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان بود. به این منظور، ابتدا گلدان های یکدست با وزن و شکل یکسان تهیه و با استفاده از ترازو به صورت هم‌وزن از خاک مزرعه پر شدند. سپس با افزودن آب، خاک هر گلدان را به درجه اشباع رسانده و پس از پوشاندن سطح گلدان ها به وسیله فویل آلومینیمی (جهت جلوگیری از تبخیر آب از سطح خاک گلدان) به مدت ۴۸ ساعت روی سطح مشبک قرار داده شد تا هر گلدان پس از زهکشی آب اضافی به ظرفیت مزرعه برسد. در این مرحله گلدان‌ها به سرعت وزن شده و خاک آن‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد و در مدت ۲۴ ساعت کاملا خشک گردید. سپس میزان رطوبت موجود در خاک برای اعمال سطوح آبیاری مختلف مشخص گردید. ابتدا محتوای رطوبتی خاک ها در شرایط ظرفیت زراعی اندازه گیری شد. سپس بوسیله وزن کردن روزانه تمامی گلدان‌ها در ساعت مشخص، وضعیت رطوبتی آن ها تعیین شد و بدین ترتیب نقصان رطوبتی گلدان‌های شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با اضافه نمودن مقدار آب لازم به صورت روزانه جبران شد. در سایر گلدان ها نیز بسته به تیمار مورد نظر (۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، مقدار آب لازم جهت ایجاد تنش خشکی مورد نظر اضافه گردید. سطوح آبیاری به طور منظم اعمال گردید. در جدول ۱ درصد مواد تشکیل دهنده زئولیت استفاده شده و در جدول ۲ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک این آزمایش آمده‌است.

جدول ۱- درصد مواد تشکیل‌دهنده زئولیت

	SiO_2 (٪)	Al_2O_3 (٪)	Fe_2O_3 (٪)	T1O2 (٪)	CaO (٪)	MgO (٪)	Na2O (٪)	K2O (٪)	P_2O_3 (٪)	LO1 (٪)
زئولیت	۶۴	۱۱/۹۸	۱/۱۸	۰/۱۵	۲/۱۵	۱/۱	۱	۱۸/۳۲	۰/۱۵	۱۲/۲

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

	PH	EC (ms/cm)	OM (٪)	Texture	Sand (٪)	Silt (٪)	Clay (٪)	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)
خاک	۷/۷۸	۲/۲۲	۰/۵۰	لوم	۱۴	۴۲	۱۸	۱۰۰۱	۹۸/۱۰	۲۴۷

یکماه پس از اعمال تنش و پس از مشاهده علایم تنش روی گیاه چمن، اندازه گیری صفات آغاز شد. سطح برگ با دستگاه سطح برگ‌سنج (Model Li-Cor– 1300,USA) مورد اندازه گیری قرار گرفت. ارتفاع گیاه اندازه گیری شد. بدین منظور یک طرف خط کش با سطح خاک مماس و با جابجایی خط کش، ارتفاع گیاه در سه نقطه ی تصادفی از گلدان به دست آمد. میانگین این سه نقطه ی تصادفی مبین ارتفاع گیاه بر حسب سانتیمتر بود. پس از برداشت، ریشه‌ها به صورت کامل و با حداقل آسیب‌دیدگی از خاک خارج شد.

سپس جهت جلوگیری از پلاسیدگی ریشه‌ها بلافاصله به یخچال انتقال یافتند. اندازه گیری بیشترین طول ریشه در محل گلخانه و بلافاصله پس از تخریب گلدان‌ها انجام گرفت. پس از شستشوی ریشه ها، حجم ریشه توسط استوانه مدرج و بر اساس میزان افزایش حجم آب نسبت به حالت اولیه بر حسب سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد. سپس ریشه و اندام هوایی گیاه جهت اندازه‌گیری وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به آون منتقل شدند و با ترازوی دیجیتال مدل GF-300 با دقت ۰/۰۰۱ مورد اندازه گیری قرار گرفتند. سایر صفات به شرح ذیل اندازه گیری شد:

محتوای رطوبت نسبی آب برگ (Relative Water Content): این پارامتر در برگ‌های کاملا توسعه یافته بعد از مشاهده علایم تنش و مطابق با رابطه زیر محاسبه شد (Omae et al., 2007):

(۱) محتوای رطوبت نسبی (٪) = (وزن خشک برگ–وزن تر برگ) / (وزن خشک برگ–وزن آماس برگ) × ۱۰۰

نشت الکترولیت: قطعاتی برگی با اندازه ۲ سانتیمتر پس از شست‌وشو همراه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفتند. سپس لوله‌ها به مدت ۱۷ تا ۱۸ ساعت تحت تکان شدید بوسیله شیکر قرار گرفتند. سپس (Ci) بوسیله دستگاه هدایت سنج (شرکت JEN WAY مدل ۴۳۱۰) اندازه‌گیری شد. لوله‌های آزمایش به اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه و فشار ۱/۲ اتمسفر به مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. و (Cm) نیز پس از سرد شدن محتویات داخل لوله های آزمایش انجام گرفت. سپس مقادیر نشت الکترولیت طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$EL = (Ci/Cm) \times 100 \quad (۲)$$

رنگیزه‌های فتوسنتزی: به منظور سنجش محتوای کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید، ۲۰۰ میلی گرم برگ تازه را در یک هاون چینی در محیط خنک و در جای کم‌نور با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۶٪ سائیده تا به صورت یک توده یکنواختی درآید، مخلوط حاصل پس از عبور از کاغذ صافی به مدت ده دقیقه با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. از فاز بالایی برداشته و با استفاده از اسپکتروفتومتر (شرکت Bio Quest، مدل CE 2502) میزان جذب نور در طول موج‌های ۶۶۶، ۶۵۳ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید. غلظت کلروفیل a، b و کل و کارتنوئید با استفاده از روابط زیر حاصل شد (Dere, 1998):

$$Chl\ a\ (g/ml) = 15/65\ A\ 666nm - 7/34\ A\ 653nm \quad (۳)$$

$$Chl\ b\ (g/ml) = 27/05\ A\ 653nm - 11/21\ A \quad (۴)$$

$$Chl\ (total) = Chla + Chlb + Cx + c \quad (۵)$$

$$carotenoid = (1000\ A_{470\ nm} - 2.860\ Chla - 129.2\ Chl\ b)/245 \quad (۶)$$

پرولین و کربوهیدرات محلول: به منظور عصاره‌گیری ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت برگی در پنج میلی‌لیتر اتانول۴۰٪ ساییده و سپس توسط کاغذ واتمن صاف شد. یک میلی‌لیتر از عصاره به همراه یک میلی لیتر محلول نین هیدرین در حمام آب جوش با دمای ۱۰۰ درجه به مدت یک ساعت قرار داده شد. بعد از سرد شدن به آن‌ها ۱۰ میلی لیتر تولوئن افزوده و لوله تکان داده شد تا دو فاز مشخص ایجاد شود. مایع رویی به کوت دستگاه اسپکتروفتومتر منتقل و سپس جذب آن در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (Bates, 1973). از محلول غلظت های مختلف پرولین جهت رسم منحنی استاندارد استفاده گردید. اندازه‌گیری میزان قندهای محلول به روش Irigoyen (1992) انجام گرفت.

آنالیز داده‌ها: تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار jmp 8 انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از Excel و مقایسه میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال خطای ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده در گیاه چمن نشان داد که اثر ساده تنش خشکی اعمال شده بر تمام صفات مورفولوژیک چمن در سطح احتمال ۱٪ و اثر ساده زئولیت بر تمام صفات مورفولوژیک جدول ۳ به جز طول ریشه اثر معنی‌دار داشته است (جدول۳). همچنین برهمکنش دو تیمار تنش خشکی و زئولیت بر همه صفات مورفولوژیک به جز طول و حجم ریشه و ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. جدول میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اندازه گیری شده در گیاه چمن نیز نشان داد که اثر ساده تنش خشکی بر تمام صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی چمن در سطح احتمال ۱٪ و اثر ساده زئولیت بر تمام صفات به جز پرولین و کربوهیدرات معنی‌دار بوده است (جدول۴). برهمکنش تنش خشکی و زئولیت بر میزان نشت یونی در سطح احتمال ۱٪ و بر میزان کاروتنویید برگ چمن در سطح ۵٪ معنی‌دار شد.

وزن خشک ریشه و اندام هوایی، وزن تر و خشک کل گیاه: با توجه به نتایج حاصل از جدول ۶، تنش خشکی منجر به کاهش وزن تر و خشک چمن شد.به طوریکه با افزایش شدت تنش از ۱۰۰ به ۲۵٪ ظرفیت زراعی وزن خشک بخش هوایی، ریشه، وزن تر و خشک کل به ترتیب ۲۸/۴۹، ۳۲/۵۰، ۲۴/۱۷۲۲ و۳۱/۱۷ ٪ کاهش یافت. این در حالی است که استفاده از زئولیت مخلوط با خاک گلدان منجر به افزایش وزن تر و خشک گیاه شد، به طوریکه بیشترین وزن خشک بخش هوایی، ریشه، وزن تر و خشک کل چمن در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و ۲۰٪ زئولیت به میزان ۲۵/۲۳، ۵۲/۹۸، ۲۳۱ و ۷۸/۲۱ گرم در هر بوته بود.

جدول ٤- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده در گیاه چمن

منابع تغییر	درجه آزادی	کربوهیدرات	پرولین	کارتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	نشت یونی	محتوای نسبی آب برگ
تنش خشکی(A)	۲	۰/۴۸**	۱/۶۰**	۳/۱۴**	۱۲/۱۷**	۳/۰۴**	۳/۰۴**	۴۸۱/۲۱**	۲۵۴۱/۵۴**
زئولیت (B)	۲	۰/۰۱۹^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۱۷*	۲/۸۵**	۱/۰۱**	۰/۴۷**	۳۸/۶۴*	۴۷۱/۸۲**
B ×A	۴	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۱۱*	۰/۱۴^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۵۶/۵۵ **	۳۹/۴۹^{ns}
خطا	۱۸	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۲/۳۲	۶۵/۵۰
ضریب تغییرات		۱۲/۶۷	۱۲/۵۶	۱۰/۲۱	۱۲/۱۴	۱۳/۶۴	۱۰/۹۴	۱۵/۵۴	۱۱/۶۶

*، ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصدو ns بیانگر اختلاف غیر معنی‌در

جدول ۳- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده در گیاه چمن

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	حجم ریشه	طول ریشه	سطح برگ	وزن خشک کل	وزن تر کل	وزن خشک هوایی	وزن خشک ریشه
تنش خشکی(A)	۲	۳۸/۶۹**	۲۹۵۳۵/۵۹**	۱۵۱/۰۲**	۵۹۵۶۰۷۳۹۰/۵۷**	۳۳۴۳/۱۷**	۵۰۲۴۴/۶۱**	۳۵۳/۵۱۰**	۱۵۲۲/۵۸**
زئولیت(B)	۲	۵/۲۵*	۴۲۷۳/۵۹**	۴/۷۷^{ns}	۱۲۴۲۲۴۳۵۱/۱۹**	۸۸۱/۰۶**	۹۱۰۳/۷۸**	۸۶/۲۹۲**	۴۱۶/۲۰**
A ×B	۴	۱/۸۶ ^{ns}	۶۰۳/۵۹^{ns}	۵/۷۲ ^{ns}	۳۰۲۶۲۱۲۳/۷۰**	۲۰۰/۷۱**	۱۴۸۸/۶۸**	۲۰/۹۷۹**	۹۲/۱۳۴**
خطا	۱۸	۱/۱۳	۶۶۴/۰۰	۵/۱۹	۲۵۹۲۶۶۶/۱۳	۲۶/۰۶	۳۸۷/۲۰	۲/۲۷۴	۱۳/۲۲۱
ضریب تغییرات		۶/۳۶	۱۳/۳۲	۱۱/۷۹	۹/۵۷	۱۲/۴۹	۱۴/۴۷	۱۱/۳۷	۱۳/۱۷

*، ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصدو ns بیانگر اختلاف غیر معنی‌دار

جدول ٦- برهمکنش تنش خشکی و زئولیت بر صفات کمی و کیفی اندازه‌گیری شده در گیاه چمن

تنش خشکی (FC %)	زئولیت (%)	کارتنوئید (mg/gfw)	نشت یونی (%)	سطح برگ (cm^2)	وزن تر کل (g/plant)	وزن خشک کل (g/plant)	وزن خشک هوایی (g/plant)	وزن خشک ریشه (g/plant)
۱۰۰	۰	۰/۷۵e	۲۵/۲۵bc	۹۹۵۲d	۶۵/۴۰cd	۲۴/۶۰de	۷/۹۳de	۱۶/۶۷de
	۱۰	۱/۸۹abc	۱۸/۶۹def	۲۲۵۳۰b	۱۶۴/۵۰b	۵۵/۷۰b	۱۷/۹۷b	۳۷/۷۳b
	۲۰	۲/۱۳a	۱۳/۸۵f	۳۱۶۴۰a	۲۳۱/۰۰a	۷۸a	۲۵/۲۳a	۵۲/۹۸a
۵۰	۰	۱/۳۹d	۳۰/۵۹ab	۵۷/۸۹de	۶۰/۳۷d	۲۲/۱۴e	۷/۱۴e	۱۵/۰۰e
	۱۰	۱/۷۳c	۱۹/۵۹cdef	۱۵۱۳۰c	۱۶۳/۶۰b	۳۷/۴۰c	۱۲/۰۶c	۲۵/۳۳c
	۲۰	۲/۱۶a	۲۰/۵۳cde	۲۱۰۳۰b	۲۴۱/۱۰a	۵۰/۳۳b	۱۶/۲۴b	۳۴/۱۰b
۲۵	۰	۰/۸۲e	۳۶/۱۱a	۷۱۲۱e	۵۰/۸۵d	۱۶/۹۳e	۵/۶۷e	۱۱/۲۵e
	۱۰	۱/۸۴bc	۲۳/۹۸cd	۱۲۸۶۰c	۹۴/۸۳c	۳۱/۷۸cd	۱۰/۲۵cd	۲۱/۵۳cd
	۲۰	۲/۱۱ab	۱۴/۷۵ef	۲۲۱۸۰b	۱۵۲/۱۰b	۵۰/۷۱b	۱۶/۸۹b	.۳۳/۸۲ b
LSD		۰/۲۸	۶/۰۲	۲۷۶۲	۳۳/۷۵	۸/۷۵	۲/۵۸	۶/۲۳

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۱٪ ،آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

جدول ۵- اثر ساده تنش خشکی و بافت خاک بر برخی صفات کمی و کیفی اندازه‌گیری شده در گیاه چمن

تیمارها		کربوهیدرات (µg/gfw)	پرولین(mg/gfw)	کلروفیل کل (mg/gfw)	کلروفیلb (mg/gfw)	کلروفیل a (mg/gfw)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	ارتفاع (cm)	حجم ریشه (cm^3)	طول ریشه (cm)
تنش خشکی	۱۰۰	۰/۵۰b	۰/۹۶b	۴/۸۸a	۲/۲۱a	۲/۶۷a	۸۰/۱۷a	۱۸/۵۰a	۱۶۷/۲a	۲۳/۰۶a
(FC %)	۵۰	۰/۸۷a	۱/۶۶a	۴/۷۴a	۲/۱۴a	۲/۶۰a	۷۷/۹۹a	۱۷/۲۲b	۱۱۱/۷b	۲۰/۰۰b
	۲۵	۰/۹۲a	۰/۹۹b	۲/۸۰b	۱/۱۷b	۱/۶۳b	۵۰/۰۴b	۱۴/۴۴c	۵۲/۶۷c	۱۴/۹۴c
سطوح زئولیت	۰	۰/۸۰a	۱/۵۰a	۳/۴۹b	۱/۴۵b	۲/۰۳b	۶۱/۱۲b	۱۷/۵۶a	۹۷/۲۲b	۱۹/۲۲a
(%)	۱۰	۰/۷۱a	۱/۳۵a	۴/۴۸a	۲/۰۳a	۲/۴۴a	۷۴/۵۶a	۱۶/۵۶ab	۱۳۵/۷a	۲۰/۱۱a
	۲۰	۰/۷۸a	۱/۵۰a	۴/۴۵a	۲/۰۳a	۲/۴۱a	۷۲/۵۲a	۱۶/۰۶b	۹۸/۶۷b	۱۸/۶۶a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۱٪ ،آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

طول و حجم ریشه، ارتفاع گیاه، سطح برگ: اگرچه برهمکنش تنش خشکی و زئولیت بر طول و حجم ریشه و همچنین ارتفاع گیاه چمن معنی دار نشد بررسی اثر ساده میانگین مربعات درجدول ۵ نشان داد که کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی به سطوح پایین‌تر(۵۰ و ۲۵) منجر به کاهش معنی‌داری در طول و حجم ریشه و ارتفاع چمن شده است. به طوری که در سطح آبیاری ۲۵٪ طول و حجم ریشه چمن به ترتیب ۳۵/۲ و ۶۸/۴ ٪ نسبت به سطح شاهد (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) کاهش داشت. همچنین با افزایش تنش خشکی از ۱۰۰ به ۲۵٪ ظرفیت زراعی ارتفاع چمن ۴ سانتیمتر کاهش یافت (جدول ۵). با توجه به نتایج جدول ۵ استفاده از تیمار زئولیت ۱۰٪، حجم ریشه را نسبت به شاهد ۲۷٪ افزایش داد. در حالیکه زئولیت ۲۰٪ اختلاف معنی‌داری با سطح شاهد نداشت. بررسی اثرات متقابل تنش خشکی و زئولیت در جدول ۶ آمده است. با توجه به نتایج این جدول، بیشترین مقدار سطح برگ (۳۱۶۴۰ سانتیمتر مربع) در سطح آبیاری ۱۰۰٪ + زئولیت ۲۰٪ و کمترین مقدار در شرایط عدم استفاده از زئولیت، و در تیمار آبیاری ۲۵٪ ظرفیت زراعی (۷۱۲۱ سانتیمتر مربع) و ۵۰٪ ظرفیت زراعی (۸۹۷۵ سانتیمتر مربع) بود. رشد گیاه از طریق ارزیابی تاثیر تیمارها بر صفاتی چون طول ریشه، ارتفاع، وزن خشک ریشه و بخش هوایی و سطح برگ صورت می گیرد. در این پژوهش تنش خشکی در سطوح آبیاری ۵۰ و ۲۵٪ منجر به کاهش صفات رویشی مانند طول و حجم ریشه و ارتفاع گیاه شد. در توجیح این امر می‌توان گفت تنش خشکی منجر به عدم تعادل بین دفاع آنتی اکسیدانی و میزان واکنش گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و در نتیجه استرس اکسیداتیو می‌شود. ROS برای سیگنالینگ درون سلولی ضروری است اما در غلظت بالا می تواند باعث صدمه به سطوح مختلف سلول از جمله به کلروپلاست شود. ROS توانایی شروع پراکسیداسیون لیپید و تخریب پروتئین ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک را دارد (Hendry, 2005). در حقیقت با افزایش تنش خشکی، دیواره سلولی از بین رفته و با کاهش حجم سلول، پتانسیل رشد سلول بسته به مقدار استرس کاهش می‌یابد. (Bagheri, 2009).از طرفی سلول‌های مزوفیلی برگ به دلیل خشکی دچار کمبود آب می‌شوند، اسید آبسیزیک در سلول‌های محافظ مورد استفاده در کلروپلاست ها ذخیره می شود و ساخت ABA در سلول های محافظ و مزوفیل افزایش می یابد. با افزایش ABA، پتاسیم و کلسیم از سلول محافظ خارج می‌شوند. نتیجه این روند بسته شدن روزنه، با از دست دادن آب در سلول محافظ است، و با کمبود آب، میزان فتوسنتز در گیاهان کاهش یافته و به تبع آن رشد گیاه کم می‌شود (Fathi *et al.*, 2016). با توجه به نتایج جدول ۶، تنش خشکی منجر به کاهش سطح برگ چمن شد. در واقع در شروع تنش آب، مهار رشد سلول منجر به کاهش رشد برگ می‌شود. سطح پایین برگ باعث جذب آب کمتری از خاک شده و تعرق کاهش می یابد. محدودیت های سطح برگ می تواند اولین خط دفاعی در برابر تنش خشکی باشد (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۷۸). از طرفی نتایج پژوهش فوق نشان داد زئولیت به خصوص در سطح ۲۰٪ تاثیر قابل توجهی در افزایش اغلب صفات رشدی از قبیل سطح برگ، وزن خشک ریشه و بخش هوایی و وزن کل گیاه در شرایط تنش داشته است. منطبق با نتایج فوق، در واریته‌های ذرت تنش خشکی ارتفاع گیاه و وزن آن‌ها را کاهش داد. هرچند در این شرایط استفاده از سوپرجاذب منجر به بهبود عملکرد گیاه شد که این بهبود در اثر افزایش ظرفیت ذخیره آب در خاک، کاهش فرسایش و شستشوی خاک و رشد مناسب ریشه تحت تاثیر سوپرجاذب گزارش شده است (Alfi and Azizi, 2015). زئولیت N (NH4) موجود در محیط بستر را جذب کرده و به تدریج آن را به محیط برای استفاده گیاهان رها می کند، که نتیجه آن افزایش صفاتی نظیر ارتفاع گیاه است (Eshghi *et al.*, 2014). طبق نتایج سایر محققین کاربرد زئولیت باعث افزایش صفات رشدی از قبیل وزن تر و خشک و تعداد برگ، افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب از طریق افزایش جذب آب می‌شود (Sepaskhah and Barzegar, (2010); Gholamhoseini, (2013); Hazrati, 2017). مطالعات در سیب زمینی شیرین نشان داد که استفاده از زئولیت حفظ رطوبت خاک را افزایش داده و جذب NPK را بهبود می‌بخشد (Ramesh et al., 2015). در تحقیق اثر زئولیت بر کیفیت خاک و عملکرد نیشکر مشخص شد که زئولیت به تنهایی یا همراه با کمپوست و کودهای معدنی اثرات قابل توجهی در میزان ماده آلی و ساختار خاک و بازده نیشکر دارد (Cairo *et al*, 2017). کاربرد معروف ترین نوع زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت) به عنوان یک مکمل خاک در گیاهان علوفه مرتعی غلات، سبزیجات و میوه‌ها به طور معنی‌داری محصول تا بیش از ۶۳٪ افزایش یافت (Eshghi et al., 2014). اختر و همکاران نیز بیان کردند که افزایش ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد سوپرجاذب به خاک لومی و لوم شنی منجر به افزایش خطی رطوبت ظرفیت زراعی و افزایش آب قابل استفاده خواهد شد (Akhtar, 2004 et al.,). یوروتاز و همکاران گزارش کرد کاربرد زئولیت عملکرد محصول گندم را نزدیک به ۱۰۰٪ در مقایسه با شاهد (بدون کود) افزایش داد (Urotadze, 2002 et al.,). قلی زاده و همکاران (۱۳۸۳) بیان کردند که مصرف زئولیت بر وزن خشک و تعداد میان گره گیاه دارویی بادرشبی تأثیر معنی دار نداشت ولی تأثیر آن روی سایر صفات اندازه گیری شده مانند وزن تر بوته، خشک ریشه، سطح برگ، میزان کلروفیل، تعداد گل، تعداد برگ و درصد اسانس معنی‌دار بود.

نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ: نتایج نشان داد سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی بدون اختلاف معنی دار محتوای نسبی آب بالاتری (به ترتیب ۸۰ و ۷۸٪) نسبت به تیمار ۲۵٪

ظرفیت زراعی(۵۰٪ میزان محتوای نسبی آب) داشت (جدول۵). همچنین هر دو سطوح ۱۰ و ۲۰٪ زئولیت بدون وجود تفاوت معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ را افزایش دادند. به این ترتیب محتوای تسبی آب برگ در دو تیمار ۱۰ و ۲۰٪ زئولیت مخلوط در خاک گلدان، به ترتیب ۷۴/۵ و ۷۲/۵٪ بود در حالی که مقدار این صفت در شرایط عدم استفاده از زئولیت ۶۱/۱٪ اندازه گیری شد. بررسی نتایج نشت یونی در جدول ۶ نشان داد کاهش میزان آب آبیاری منجر به افزایش نشت یونی در سلول‌های برگی چمن شده است.به طوریکه با افزایش شدت تنش از ۱۰۰ به ۲۵٪ ظرفیت زراعی، میزان نشت یونی از ۲۵٪ به ۳۶٪ افزایش یافت. هر دو سطح زئولیت استفاده شده در این آزمایش بر کاهش نشت یونی در شرایط تنش موثر بود. به طوریکه در شدیدترین تنش خشکی اعمال شده (۲۵٪)، با کاربرد زئولیت در دو سطح ۱۰ و ۲۰٪ وزنی، مقدار نشت از ۳۶/۱٪ در شرایط عدم استفاده از زئولیت به ۲۳/۹ و ۱۴/۷٪ کاهش یافت. طبق نتایج جدول ۵ تنش خشکی و زئولیت بر محتوای نسبی آب اثر گذار بوده است. سطح آبیاری ۱۰۰ و ۵۰٪ نسبت به سطح ۲۵٪ تفاوت معنی‌داری بر محتوای نسبی آب داشته است. محتوای نسبی آب یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی مهم در بررسی مقاومت گیاهان به تنش است و گیاهانی که بردباری بیشتری به تنش خشکی داشته و عملکرد بهتری دارند از محتوای نسبی آب بالاتری برخوردارند (Paknejad *et al*., 2007). محتوای نسبی آب رابطه نزدیکی با پتانسیل آبی برگ دارد و در بسیاری از تحقیقات تحت تنش خشکی قرار گرفته و مقدار آن در گیاه کاهش می‌یابد (Heidari *et al*., 2015). در شرایط بدون تنش و با وجود آب کافی محتوای نسبی آب برگ بین ۸۵ تا ۹۵٪ متغیر است و در شرایط تنش خشکی بسته به نوع گیاه و بافت آن این پارامتر ۵۰٪ و یا پایین‌تر از آن قرار می‌گیرد (Taize *et al*., 2007). طبق نتایج فوق بر گیاه چمن، استفاده از زئولیت تاثیر قابل توجهی بر افزایش محتوای نسبی آب داشته است. زئولیت‌ها باعث توزیع افقی آب در خاک شده و با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک از اثرات تنش خشکی بر مقدار آب نسبی گیاه می‌کاهد (Polat *et al*., 2004). غلامحسینی و همکاران به تأثیر مثبت زئولیت در افزایش محتوای نسبی آب برگ آفتابگردان اذعان نمودند که دلیل آن را خاصیت برگشت پذیری جذب و دفع آب توسط زئولیت دانستند (Gholam et *al*., 2013Hoseini). نعیمی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کرد استفاده از زئولیت تحت تیمارهای تنش کم آبی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر صفت رطوبت نسبی برگ در کدو پوست کاغذی داشت و بیشترین میزان رطوبت نسبی برگ از تیمار کاربرد زئولیت در شرایط آبیاری معمول به دست آمد و کمترین میزان آن نیز مربوط به تیمار عدم کاربرد زئولیت در شرایط تنش کم آبی در مرحله گلدهی بود. در آزمایشی تأثیر کاربرد زئولیت در شرایط تنش خشکی بر رشد و نمو چمن کنتاکی مورد مطالعه قرار گرفت و مشاهده شد که استفاده از زئولیت در شرایط تنش موجب افزایش رطوبت نسبی برگ در چمن گردید. به نظر می رسد زئولیت به دلیل دارا بودن خاصیت جذب و دفع آب به صورت برگشت پذیر، قادر است در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش میزان فراهمی رطوبت در حفظ کیفیت چمن مؤثر باشد (عبدی، ۱۳۸۷).

کلروفیل a، کلروفیل b ،کلروفیل کل و کاروتنوئید: مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۵۰٪ بدون تفاوت معنادار بیشتر از تیمار ۲۵٪ ظرفیت زراعی بود (جدول ۵). به این ترتیب در ۵۰٪ ظرفیت زراعی مقدار کلروفیل کل ۴/۷ میلی گرم در هر گرم وزن تر بود و در تنش ۲۵٪ به ۲/۸ میلی گرم کاهش یافت. همچنین مقدار کلروفیل (a, b, t) در هر دو سطح ۱۰ و ۲۰٪ تیمار زئولیت بدون تفاوت معنادار از تیمار بدون زئولیت (سطح صفر) بیشتر بود (جدول۵). به طوریکه با افزدون ۱۰٪ وزنی زئولیت به خاک، کلروفیل کل ۲۸٪ نسبت به شاهد افزایش داشت. اثر متقابل زئولیت و تنش خشکی بر میزان کاروتنوئید موجود در برگ چمن نشان داد کمترین میزان کارتنوئید در دو تیمار ۲۵ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و در شرایط عدم استفاده از زئولیت به میزان ۰/۸۲ و ۰/۷۵ میلی گرم در هر گرم وزن تر بود. به این ترتیب تنش خشکی اثر مستقیمی در کاهش میزان کلروفیل برگ و عملکرد گیاه داشت. این تنش با افزایش مقدار هورمون آبسیزیک‌اسید در گیاه آنزیم کلروفیلاز را فعال می‌کند و این آنزیم منجر به تخریب ساختار کلروفیل و کاهش سنتز آن در گیاه می‌شود (Mittler, 2002). در شرایط تنش خشکی، انتقال الکترون در سیستم فتوسنتز II مختل شده و آزاد شدن بیش از حد الکترون‌ها از آب باعث تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر می‌شود و بنابراین غشای سلولی به دلیل پراکسیداسیون لیپیدها آسیب دیده و اکسیداسیون پروتئین منجر به کاهش میزان کلروفیل در گیاه می شود. همان طور که در نتایج ذکر شد اثر ساده زئولیت بر مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی‌دار بوده و باعث افزایش مقدار آن شده است. گزارش شده است زئولیت باعث افزایش محتوای کلروفیل می‌گردد. کلروفیل ساختار نیتروژنی دارد، بنابراین زئولیت با افزایش کارایی جذب عناصر به خصوص نیتروژن باعث افزایش محتوای کلروفیل می‌گردد (Alfi and Azizi, 2015). طبق نتایج جدول ۶، با افزایش تنش از ۱۰۰ به ۵۰ و ۲۵٪ ظرفیت زراعی، کارتنوئید موجود در چمن های تحت تیمار از ۰/۷۵ به ۱/۳۹ و ۰/۸۲ میلی گرم در هر گرم وزن تر افزایش یافت. در راستای این نتایج گزارش شده است تنش خشکی در مقابل کاهش سنتز کلروفیل بر مقدار کاروتنویید می‌افزاید و تجمع متابولیت‌های ثانویه از جمله آنتوسیانین‌ها را افزایش می‌دهد (Arazmjio et al., 2010). استفاده از زئولیت در محیط کشت موجب افزایش میزان فتوسنتز، کارایی یاخته‌های مزوفیل، کارایی مصرف آب و میزان کلروفیل شد (Nazari et al., 2007).

محتوای پرولین و کربوهیدرات محلول کل: طبق جدول آنالیز

واریانس داده‌ها، تنش خشکی تنها عامل اثر گذار بر دو صفت پرولین و کربوهیدرات کل بوده است. بیشترین مقدار پرولین (۱/۶۶ میلی گرم بر گرم) در سطح آبیاری ۵۰٪ بود و بین سطوح ۱۰۰ و ۲۵٪ از نظر مقدار پرولین تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد(جدول۵). با کاهش مقدار آب آبیاری کربوهیدارت کل موجود در گیاه افزایش یافت. به طوریکه میزان کربوهیدرات در شرایط عدم اعمال تنش خشکی ۰/۵۰ میکروگرم بود و در سطوح آبیاری ۵۰ و ۲۵٪ به ۰/۸۷ و ۰/۹۲ میکروگرم در هر گرم وزن تر رسید. طبق نتایج این پژوهش میزان کربوهیدرات و پرولین تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفته و سطوح آبیاری ۵۰ و ۲۵٪ نسبت به سطح ۱۰۰٪ از میزان پرولین و کربوهیدرات بیشتری برخوردار بوده است. تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیکی یکی از مهمترین رخدادها در هنگام مواجهه گیاه با تنش خشکی است (Liu et al., 2011). از طرفی در شرایط تنش اسمزی میزان قندهای محلول در سلول بالا می رود. این پدیده احتمالاً مکانیسم سازشی گیاه برای حفظ پتانسیل اسمزی در شرایط تنش اسمزی است. علاوه بر این با این مکانیزم، گیاه می تواند ذخیره کربوهیدارتی خود را در شرایط تنش جهت حفظ متابولیسم پایه در حد مطلوب حفظ کند (Verma and Dubey, 2001). علاوه بر نقش قندها در تنظیم فشار اسمزی تصور می شود با افزایش قندهای حل شونده گیاه بتواند ذخیره کربوهیدارتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه سلول در شرایط محیطی تحت تنش در حد مطلوب نگه دارد (Verma and Dubey, 2001). یکی دیگر از مکانیزم‌های گیاه برای سازگاری با تنش خشکی افزایش غلظت پرولین در سلول جهت نگهداری حجم سلول و فشار اسمزی آن است (Heidaiy and Moaveni, 2009). پرولین یک آمینواسید چندکاره است که اغلب به عنوان یک اسمولیت داخلی عمل کرده و باعث حفظ ساختار پروتئین‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌گردد (Szabados et al., 2010). این پدیده احتمالاً مکانیسم سازشی گیاه برای حفظ پتانسیل اسمزی است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق طول ریشه و حجم آن و ارتفاع گیاه تحت تاثیر سطوح آبیاری ۵۰ و ۲۵٪ کاهش یافت. سطح آبیاری ۲۵٪ محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل a و b و کلروفیل کل را کاهش داد. و میزان نشت یونی در این سطح افزایش معنی داری نسبت به دو سطح دیگر داشت. سطوح آبیاری ۵۰ و ۲۵٪ میزان کربوهیدرات ها و پرولین را افزایش داد. استفاده از زئولیت ها به خصوص در سطح ۲۰٪ منجر به افزایش صفات رشدی از قبیل وزن تر و خشک ریشه و ساقه، سطح برگ، ارتفاع و کاروتنوییدها شد. به طور کلی کاربرد زئولیت منجر به افزایش صفات رشدی در گیاه چمن تحت تنش خشکی شده است و در شرایط آبیاری محدود می تواند اثرات جبرانی و بهبود دهنده‌ای بر رشد گیاه داشته باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از واحد ویژه خدمات تخصصی علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشگاه فردوسی مشهد بابت تامین هزینه های این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

تهرانی فر، ع.، سلاح ورزی، ی.، گزانچیان، ع. و آرویی، ح. ۱۳۸۸. بررسی پاسخ های گراس های بومی و وارداتی در چگونگی اجتناب از خشکی. مجله علوم باغبانی، ۲۳(۱): ۹-۱.

قلی‌زاده، آ. ۱۳۸۳. اثر تنش خشکی و زئولیت بر صفات فیزیکی و مورفولوژیکی گیاهان دارویی. پایانامه کارشناسی ارشد. دانشگاه گیلان

کافی، م. و دامغانی مهدوی، آ. ۱۳۷۸. مکانیزم مقاومت گیاهان به تنش های محیطی. دانشگاه مشهد

نعیمی، م. علی اکبری، غ.، شیرانی راد، ا.، حسنلو، ط. و اکبری، غ.ع. ۱۳۹۱. اثر کاربرد زئولیت و محلولپاشی سلنیم در شرایط تنش کم آبی بر روابط آبی و آنزیم های آنتی اکسیدان در گیاه دارویی کدو پوست کاغذی. مجله به زراعی کشاورزی، دوره ۱۴ ، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱ ، ص ۶۷-۸۱.

Abedi-Koupai, J., Sohrab, F and Swarbrick, G.W. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. Journal of Plant Nutrition. 31:317-331.

Akhtar, J., Mahmood, K., Malik, K.A., Ahmad, M and Igbal, M.M. 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea, Plant Soil Environ. 50(10): 463–469.

Alfi, Sh and Azizi, F. 2015. Effect of Drought Stress and Using Zeolite on Some Quantitative and Qualitative Traits of Three Maize Varieties. Research Journal of Recent Sciences. 4(2), 1-7

Arazmjo, A., Heidari, M and Ghorbani, A. 2010 The effect of water stress and three sources of fertilizers on flower yield, physiological parameters and nutrient uptake in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants-4:482-494

Bagheri, A. 2009, Effects of drought stress on chlorophyll, proline and rates of photosynthesis and

sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. Soil and Tillage Research. 126 (1): 193–202.

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E and Khodaei-Joghan, A. 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. Agricultural Water Management. 117, 106–114.

Hamarashid, N. H., Othman, M. A and Hussain, M. A. H. 2010. Effects of soil texture on chemical compositions, microbial populations and carbon mineralization in soil. Egyptian Journal of Experimental Biology (Botany). 6(1): 59 – 64

Hamidpour, M., Fathi, S and Roosta, H. 2013. Effects of Zeolite and Vermicompost on Growth Characteristics and Concentration of Some Nutrients in Petunia Hybrida. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center. 4 (13): 95-102.

Harb, E.M.Z and Mahmoud, M.A. 2009. Enhancing of growth, essential oil yield and components of yarrow plant (*Achillea millefolium*) grown under safe agriculture conditions using zeolite and compost. 4rd Conference on Recent Technologies in Agriculture. Pp 586-592

Hazrati-Yadekori, S and Tahmasebi-Sarvestani, Z. 2012. Effects of different nitrogen fertilizer levels and hormone benzyl adenine (BA) on growth and ramet production of *Aloe vera* L. Iran. Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 28, 210–223.

Heidaiy, Y and Moaveni, P. 2009. Study of Drought stress on accumulation and proline among aba in different genotypes forage corn. Research journal of biological sciences. 4:1121-1124.

Heidari, N., Pooryoosef, M and Tavakoli, A. 2015. Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). Journal of Plant Research. 27(5):829-839.

Hendry, G.A. 2005. Oxygen free radical process and seed longevity. Seed Science Journal. 3: 141- 147

Irigoyen, J.J., Emerich, D.W and Sanchez- Dias, M. 1992. Water stress Induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago Sativa*) plants. Plant Physiology. 84: 55-60.

Kabiri, R. 2010. Effect of salicylic acid to reduce the oxidative stress caused by drought in the hydroponic cultivation of Nigella sativa (*Nigella sativa*). MA thesis. Kerman University SHahid Bahonar

Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., Yu, L and Yang, R. 2011. Effect of drought on respiration and activity of superoxide dismutase and peroxidase in millet (*Panicum milenaceum* L.). National conference on water scarcity and drought management in agriculture. Islamic Azad University Arsanjan, p.16

Bates, L., Waldren, RP and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

Cairo, P., Machadode Armas, J., Artiles, P.T., Martin, B.D., Carrazana, R. J and Lopez, O.R. 2017. Effects of zeolite and organic fertilizers on soil quality and yield of sugarcane. Australian Journal of Crop Science. 11(06):733-738

Cousins, S.R and Witkowski, E.T.F. 2012. African aloe ecology: a review. Journal of Arid Environment. 85, 1–17

Dere, S., Günes, T and Sivaci, R. 1998. Spectrophotometric Determination of Chlorophyll - A, B and Total Carotenoid Contents of Some Algae Species Using Different Solvents. Turkish Journal of Botany. 22: 13-17.

Eshghi, S. Bahadoran, M and Salehi H. 2014. Department of Horticultural Science, College. Growth of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) seedlings sown in soil mixed with nitrogen and natural zeolite. Adv. Horticulture Science. 28(1): 20-24.

Fathi, A and Barari Tari, D. 2016. Effect of Drought Stress and its Mechanism in Plants. International Journal of Life Sciences. 10 (1): 1 – 6.

Ge, G., Li, Z., Fan, F., Chu, G., Hou, Z and Liang, Y. 2010. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term applications of organic and inorganic fertilizers. Plant and Soil. 326: 31-44

Ghaemi, M, Astaraei, A.R, Emami, H and Mahalati, M.N. 2014. Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds-east of Mashhad- Iran. Journal of Soil Science Plant Nutrition. 14: 987–1004.

Ghanbari, M and Ariafar, S. 2013. The effect of water deficit and zeolite application on Growth Traits and Oil Yield of Medicinal Peppermint (*Mentha piperita* L.). International Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 3(1): 33-39. 15

Ghasemi Ghehsareh, M., Khosh-Khui, M and Abedi-Koupai, J. 2010. Effects of superabsorbent polymer on water requirement and growth indices of *Ficus benjamina* L. 'Starlight'. Journal of Plant Nutrition. 33:785-795.

Gholam Hoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan., A., Dolatabadian., A., Zakikhani, H and Farmanbar, H. 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on

Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L). Moench. Acta botanica Croatica. 66, 43–56.

Sepaskhah, A.R and Barzegar, M. 2010. Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. Agriculture Water Management. 98, 38–44.

Shiravand, D. 2011. Landscape and Landscape Design with Ornamental Trees and Shrubs. Second edition. Agricultural Education and Promotion Publications. 600 pages.

Szabados, L and Savouré, A. 2010. Proline: a multifunctional amino acid. Trends Plant Sciene. 15: 89–97.

Szerment, J., Ambrozewich-Nita, A., Kedziora, K and Piasek, J. 2014. Use of zeolite in agriculture and environmental protection. A short review. UDC: 666.96:691.5

Taize, L and Zaiger, E. 2007. ABA and Drought Adaptation. (5th Ed.). Chapter 25. P: 671-682.

Urotadze, S.L., Andronikashvili, T.A and Tsitishvili, G.V. 2002. Output of a winter wealth grown on enriched by Aloumontite containing rock. Book of Zeolite Abstracts.

Vassilis, J and Inglezakis, B. 2005. The concept of 'capacity' in zeolite ion-exchange systems. Current Opinion in Colloid and Interface Science. 281: 68 - 79.

Verma, S and Dubey, R.S. 2001. Effect of Cd on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice. Biologia plantarum. 44(1): 117-123

Virta, R. 2013. Zeolites advance release. USGS science for a changing world. 4 p.

Wiecko, G. 2006. Fundamentals of tropical turf management. Contact Biddle's book printing in King's Lynn Norfolk, UK, pp. 205.

Xiubin, H., Zhanbin, H. 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in soil loses. Resources, Conservation and Recycling. 34: 45-52.

pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. Environmental and Experimental Botany.71:174–183.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. Trends in Plant Science 9: 405- 410

Najafi-Ghiri, M. 2014. Effects of zeolite and vermicompost applications on potassium release from calcareous soils. Soil and Water Research 9: 31–37.

Nazari, F., Khoshkhui, M., Eshghi, S and Salehi, H. 2007. Effects of natural zeolite on vegetative, reproductive and physiological characteristics of African marigold (*Tagetes erecta* L., Queen). Horticulture Environment Biotechnology. 8: 241-245.

Nematollahia, F. Tehranifara, A. Nematia, S.H. Kazemia, F., and Gazanchianb, Gh. A. 2018. Improving early growing stage of *Festuca arundinacea* Schreb. Using media amendments under water stress conditions. Desert 23-2 295-306

Omae, H., Kumar, A., Kashiviba, K and Shono, M. 2007. Assessing drought tolerance of Snap bean (Phaseolus vulgaris) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. Plant Production Science 10(1): 28-35.

Paknejad, F., Nasri, M., Tohidi Moghadam, H.R., Zahedi, H and Jami Alahmad, M. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluoresence parameters chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. Journal of Biology Science. 7(6): 841-847.

Polat, E., Karaca M., Demir, H and Naci-Onus. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. 12: 183-189

Ramesh, V. George, J. Jyothi, J. S and Shibli, S.M.A. 2015. Effect of Zeolites on Soil Quality, Plant Growth and Nutrient Uptake Efficiency in Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.). Journal of Root Crops. 41(1): 25-31.

Sankar, B., Jaleel, C.A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R and Panneerselvam, R., 2007.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 103-114

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۱۱۴-۱۰۳

Effect of Zeolite on Some Physiological and Morphological Traits of Festuca Arundinacea Grass under Drought Stress

Y. Selahvarzi[1*], S. Sarfaraz[2], M. Kamali[3], M. Zabihi[4], B. Alizadeh[5]

Recived: Oct.07, 2019 Accepted: Nov.25, 2019

Abstract

Drought stress and its impact on cover crops is one of the most important studies in plant research. So, the use of modern techniques to provide greater resistance to environmental stresses is necessary. In this study, investigated the effect of zeolite on some morphological and physiological traits of *Festuca arundinacea* grass under drought stress. A factorial experiment based on completely randomized design with 2 treatments and 3 replications was conducted in horticultural science greenhouses of Ferdowsi University of Mashhad in spring and summer of 2018. Treatments included 3 levels of drought stress based on field capacity (FC): (100% (control), 50% and 25%) and 3 levels of zeolite mixed with loam: (0, 10% and 20% w / w). According to the results, irrigation levels of 50% and 25% resulted in reduced vegetative traits, decreased relative water content and increased ion leakage, proline and total carbohydrate content in the plant. The interaction effects of zeolite and drought stress showed that treatment with 20% zeolite had the highest leaf area (31640 cm ^{2}), total dry weight (78.21 g) and carotenoids (2.16 mg/g fresh weight) and the lowest ion leakage in non-stress conditions. Application of zeolites especially at 20% level resulted in increased growth traits such as fresh and dry weight of roots and shoots, leaf area, height and carotenoids. The results showed that zeolite improves plant growth traits and can reduce the damaging effects of drought stress on grass.

Keywords: Ion leakage, leaf area, photosynthetic pigments, superabsorbent

1- Department of Horticultural Science and Landscape engineering, Ferdowsi University of Mashhad
2- Mashhad Municipality Experts
3- Department of Horticultural Science and Landscape engineering, Ferdowsi University of Mashhad
4- Mashhad Municipality Experts
5- Department of Horticultural Science and Landscape engineering, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: Selahvarzi@um.ac.ir)