

## بررسی اثر زئولیت بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی چمن *Festuca arundinacea* تحت تنش خشکی

یحیی سلاح ورزی<sup>۱\*</sup>، سمیه سرفراز<sup>۲</sup>، مریم کمالی<sup>۳</sup>، محسن ذیحی<sup>۴</sup>، بهداد علیزاده<sup>۵</sup>

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 زئولیت‌ها به خصوص در سطح ۲۰٪ منجر به افزایش صفات رشدی از قبیل وزن تر و خشک ریشه و ساقه، سطح برگ، ارتفاع و کاروتنوئیدها 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، سوپرچادب، رنگیزه‌های فتوسنتزی، نشت یونی

### مقدمه

روزنه‌ای، سرعت فتوسنتزی و متابولیسم نیتروژن کاهش می‌یابد. کاهش پتانسیل آب باعث کاهش رشد سلولی و سنتز پروتئین می‌شود. جریان دی‌اکسید کربن 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، عمدتاً نتیجه افزایش سنتز و حساسیت به هورمون آبسزیک 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 خشکسالی‌های اخیر، حفظ و نگهداری رطوبت خاک به طرق مختلف از راه‌های پیشنهادی برای جلوگیری از اثرات تنش خشکی است (قلی زاده، ۱۳۸۳). بافت خاک

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

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)

اهمیت فضاهای سبز و نیاز به آن‌ها بیش از پیش نمایان گشته و مورد توجه قرار گرفته است. فضای سبز می‌تواند به طور قابل توجهی دمای هوا را معتدل نموده و به تلطیف هوا کمک کند (Shiravand, 2011). یکی از مهم‌ترین 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 محیط‌های شهری بر عهده دارد (شیراوند، ۱۳۹۰). چمن بویژه از نظر زیبایی شناختی گیاه مهمی در چشم انداز فضای سبز است. چمنزار می‌تواند 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 arundinacea* 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 ۶۰٪FC 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 ریشه‌ها داشت. افزودن زئولیت به محیط کشت به میزان ۳۰ گرم بر کیلوگرم 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

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.

زئولیت‌ها آلومینوسیلیکات‌های 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 برگشت پذیر آب و تبادل برخی از عناصر تشکیل دهنده آن‌ها بدون ایجاد تغییرات اساسی در ساختار مشخص می‌شوند. 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 نیمه خشک باشد (Ghanbari and Ariaifar, 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 شیب دار 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،

چمن‌ها 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 کاملاً 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 گلدان‌های 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 گلدان‌ها 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 سانتی‌گراد و در مدت ۲۴ ساعت کاملاً خشک گردید. سپس میزان رطوبت موجود در خاک برای اعمال سطوح آبیاری مختلف مشخص گردید. ابتدا محتوای رطوبتی خاک‌ها در شرایط ظرفیت زراعی اندازه‌گیری شد. سپس بوسیله وزن کردن روزانه تمامی گلدان‌ها در ساعت مشخص، وضعیت رطوبتی آن‌ها 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 گلدان‌ها 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 تشکیل‌دهنده زئولیت استفاده شده و در جدول ۲ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک این آزمایش آمده‌است.

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 می‌کند. کاربرد زئولیت می‌تواند اثرات تنش خشکی در گیاهان را تعدیل بخشد (Polite et al., 2004). 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 بر خصوصیات 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 گلخانه‌های 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  $25 \pm 2$  و  $18 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد 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 گلدان‌هایی 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.

جدول ۱- درصد مواد تشکیل‌دهنده زئولیت

(%) LO1	(%) P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%) K <sub>2</sub> O	(%) Na <sub>2</sub> O	(%) MgO	(%) CaO	(%) TiO <sub>2</sub>	(%) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%) SiO <sub>2</sub>	زئولیت
۱۲/۲	۰/۱۵	۱۸/۳۲	۱	۱/۱	۲/۱۵	۰/۱۵	۱/۱۸	۱۱/۹۸	۶۴	

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

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

با سطح خاک مماس و با جابجایی خط کش، ارتفاع گیاه در سه نقطه‌ی تصادفی از گلدان به دست آمد. میانگین این سه نقطه‌ی تصادفی میان ارتفاع گیاه بر حسب سانتیمتر بود. پس از برداشت، ریشه‌ها به صورت کامل و با حداقل آسیب‌دیدگی از خاک خارج شد.

یکماه پس از اعمال تنش و پس از مشاهده علائم تنش روی گیاه چمن، اندازه‌گیری صفات آغاز شد. سطح برگ با دستگاه سطح برگ‌سنج (Model Li-Cor-1300, USA) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد. بدین منظور یک طرف خط کش

توسط کاغذ واتمن صاف شد. یک میلی لیتر از عصاره به همراه یک میلی لیتر محلول ناین هیدرین در حمام آب جوش با دمای ۱۰۰ درجه به مدت یک ساعت قرار داده شد. بعد از سرد شدن به آن ها 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 طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (Bates, 1973). از محلول غلظت های مختلف پرولین جهت رسم منحنی استاندارد استفاده گردید. اندازه گیری میزان قندهای محلول به روش Irigoyen (1992) انجام گرفت.

آنالیز داده ها: تحلیل داده ها توسط نرم افزار 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 اندازه گیری 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 معنی دار داشته است (جدول ۳). 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٪ معنی دار 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 معنی دار بوده است (جدول ۴). برهمکنش تنش خشکی و زئولیت بر میزان نشت یونی در سطح احتمال ۱٪ و بر میزان کاروتنوئید برگ چمن در سطح ۵٪ معنی دار 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 و ۳۱/۱۷٪ 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.

سپس جهت جلوگیری از پلاسیدگی ریشه ها بلافاصله به یخچال انتقال یافتند. اندازه گیری بیشترین طول ریشه در محل گلخانه و بلافاصله پس از تخریب گلدان ها 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 سانتی متر مکعب اندازه گیری شد. سپس ریشه و اندام هوایی گیاه جهت اندازه گیری 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 برگ های کاملاً توسعه یافته بعد از مشاهده علائم تنش و مطابق با رابطه زیر محاسبه شد (Omae et al., 2007):

$$(1) \quad 100 \times \frac{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن آماس برگ}}{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن تر برگ}} = \text{محتوای رطوبت نسبی}$$

نشت الکتروولیت: قطعاتی برگی با اندازه ۲ سانتیمتر پس از شست و شو همراه با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر در لوله های آزمایش قرار گرفتند. سپس لوله ها به مدت ۱۷ تا ۱۸ ساعت تحت تکان شدید بوسیله شیکر قرار گرفتند. سپس (Ci) بوسیله دستگاه هدایت سنج (شرکت JEN WAY مدل ۴۳۱۰) اندازه گیری شد. لوله های 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 الکتروولیت طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$(2) \quad EL = (Ci/Cm) \times 100$$

رنگیزه های 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 کم نور با ۱۰ میلی لیتر 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 موج های ۶۶۶، ۶۵۳ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید. غلظت کلروفیل a، b و کل و کارتنوئید با استفاده از روابط زیر حاصل شد (Dere, 1998):

$$(3) \quad \text{Chl a (g/ml)} = 15/65 A_{666\text{nm}} - 7/34 A_{653\text{nm}}$$

$$(4) \quad \text{Chl b (g/ml)} = 27/05 A_{653\text{nm}} - 11/21 A_{666\text{nm}}$$

$$(5) \quad \text{Chl (total)} = \text{Chla} + \text{Chlb} + \text{Cx} + \text{c}$$

$$(6) \quad \text{carotenoid} = (1000 A_{470\text{nm}} - 2.860 \text{ Chla} - 129.2 \text{ Chl b}) / 245$$

پرولین و کربوهیدرات محلول: به منظور عصاره گیری ابتدا ۱۰۰ میلی گرم از بافت برگی در پنج میلی لیتر اتانول ۴۰٪ ساییده و سپس

جدول ۴- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اندازه گیری شده در گیاه چمن

محتوای نسبی آب برگ	نشست یونی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلروفیل کل	کار تنوید	پروپین	کربوهیدرات	درجه آزادی	منابع تغییر
۲۵۴۱/۵۳**	۴۸۱/۳۱**	۳/۰۴**	۳/۰۴**	۱۲/۱۷**	۳/۱۴**	۱/۶۰**	۰/۴۸**	۲	تنش خشکی (A)	
۴۷۱/۸۳**	۳۸/۶۴*	۰/۴۷**	۱/۰۱**	۲/۸۵**	۰/۱۷*	۰/۰۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۹ <sup>NS</sup>	۲	ژنولیت (B)	
۳۹/۴۹ <sup>NS</sup>	۵۶/۵۵**	۰/۰۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۳ <sup>NS</sup>	۰/۱۴ <sup>NS</sup>	۰/۱۱*	۰/۰۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۱ <sup>NS</sup>	۴	B × A	
۶۵/۵۰	۱۲/۳۲	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۹	۱۸	خطا	
۱۱/۶۶	۱۵/۵۴	۱۰/۹۴	۱۳/۶۴	۱۲/۱۴	۱۰/۳۱	۱۲/۵۶	۱۲/۶۷		ضریب تغییرات	

\*\*،\*\*\* به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد ns بیانگر اختلاف غیر معنی دار

جدول ۳- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی اندازه گیری شده در گیاه چمن

وزن خشک ریشه	وزن خشک هوایی	وزن خشک کل	وزن تر کل	وزن کل	وزن خشک کل	وزن ریشه	سطح برگ	طول ریشه	حجم ریشه	ارتفاع گیاه	درجه آزادی	منابع تغییر
۱۵۳۲/۵۸**	۳۵۳/۵۱۰**	۵۰۳۴/۶۱**	۳۳۴۳/۱۷**	۵۹۵۶۰۰/۵۷**	۱۵۱/۰۳**	۲۹۵۳۵/۵۹**	۳۸/۶۹**	۲	تنش خشکی (A)			
۴۱۶/۲۰**	۸۶/۲۹۲**	۹۱۰۳/۷۸**	۸۸۱/۰۶**	۱۲۴۲۲۴۲۵/۱۹**	۴/۷۷ <sup>NS</sup>	۴۲۷۳/۵۹**	۵/۲۵*	۲	ژنولیت (B)			
۹۲/۱۳۴**	۲۰/۹۷۹**	۱۴۸۸/۶۸**	۲۰/۷۱**	۳۰۲۶۲۱۳۲/۷۰**	۵/۷۲ <sup>NS</sup>	۶۰۳/۵۹ <sup>NS</sup>	۱/۸۶ <sup>NS</sup>	۴	A × B			
۱۳/۲۲۱	۲/۲۲۴	۳۸۷/۲۰	۲۶/۰۶	۲۵۹۱۶۶۶/۱۳	۵/۱۹	۶۶۴/۰۰	۱/۱۳	۱۸	خطا			
۱۳/۱۷	۱۱/۳۷	۱۴/۴۷	۱۲/۴۹	۹/۵۷	۱۱/۷۹	۱۳/۳۲	۶/۳۶		ضریب تغییرات			

\*\*،\*\*\* به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد ns بیانگر اختلاف غیر معنی دار

جدول ۶- برهمکنش تنش خشکی و زبولیت بر صفات کمی و کیفی اندازه گیری شده در گیاه چمن

وزن خشک ریشه (g/plant)	وزن خشک هوایی (g/plant)	وزن خشک کل (g/plant)	وزن تر کل (g/plant)	سطح برگ (cm <sup>2</sup> )	نشست یونی (%)	کار نیتروید (mg/gfw)	زبولیت (%)	تنش خشکی (FC %)
۱۶/۶۷de	۷/۸۳de	۲۴/۶۰de	۶۵/۴۰cd	۹۹۵۷d	۲۵/۲۵bc	۰/۲۵e	۰	۱۰۰
۳۷/۳۳b	۱۷/۹۷b	۵۵/۷۰b	۱۶۴/۵۰b	۲۲۵۳۰b	۱۸/۶۹def	۱/۸۹abc	۱۰	
۵۲/۹۸a	۲۵/۳۳a	۷۸a	۳۳۱/۰۰a	۳۱۶۴۰a	۱۳/۵۵f	۲/۱۲a	۲۰	
۱۵/۰۰e	۷/۱۴e	۲۲/۱۴e	۶۰/۳۷d	۵۷/۸۹de	۳۰/۵۹ab	۱/۳۹d	۰	۵۰
۲۵/۳۳c	۱۲/۰۶c	۳۷/۴۰c	۱۶۳/۶۰b	۱۵۱۳۰c	۱۹/۵۹cdef	۱/۳۳c	۱۰	
۳۴/۱۰b	۱۶/۳۴b	۵۰/۳۳b	۳۴۱/۰۰a	۲۱۰۳۰b	۲۰/۵۳cde	۲/۱۶a	۲۰	
۱۱/۲۵e	۵/۶۷e	۱۶/۹۳e	۵۰/۸۵d	۷۲۱۰e	۳۶/۱۱a	۰/۸۲e	۰	۲۵
۲۱/۵۳cd	۱۰/۲۵cd	۳۱/۷۸cd	۹۴/۸۳c	۱۲۸۶۰c	۳۲/۹۸cd	۱/۸۴bc	۱۰	
۳۳/۸۲b	۱۶/۸۹b	۵۰/۷۱b	۱۵۲/۱۰b	۲۲۱۸۰b	۱۴/۷۵ef	۲/۱۱ab	۲۰	
۶/۲۳	۲/۵۸	۸/۷۵	۳۳/۷۵	۲۷۶۲	۶/۰۲	۰/۲۸		LSD

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 اندازه گیری شده در گیاه چمن

طول ریشه (cm)	حجم ریشه (cm <sup>3</sup> )	ارتفاع (cm)	محتوای نسبی آب برگ (%)	کلروفیل a (mg/gfw)	کلروفیل b (mg/gfw)	کلروفیل کل (mg/gfw)	پروکلین (mg/gfw)	کربوهیدرات (μg/gfw)	تیماها
۲۳/۰۶a	۱۶/۲۲a	۱۷/۵۰a	۸۰/۱۷a	۲/۶۷a	۲/۲۱a	۴/۸۸a	۰/۸۶b	۰/۵۰b	تنش خشکی (FC %)
۲۰/۰۰b	۱۱/۱۷b	۱۷/۲۲b	۷۷/۹۹a	۲/۶۰a	۲/۱۴a	۴/۷۴a	۱/۶۶a	۰/۸۷a	۵۰
۱۴/۹۲c	۵/۶۷c	۱۴/۴۲c	۵۰/۴۶b	۱/۶۳b	۱/۱۷b	۲/۸۰b	۰/۹۹b	۰/۹۲a	۲۵
۱۹/۲۲a	۹/۲۲b	۱۷/۵۶a	۶۱/۱۲b	۲/۰۳b	۱/۴۵b	۳/۴۹b	۱/۵۰a	۰/۸۰a	سطح زبولیت (%)
۲۰/۱۱a	۱۳/۵۷a	۱۶/۵۶ab	۷۴/۵۶a	۲/۴۴a	۲/۰۳a	۴/۴۸a	۱/۳۵a	۰/۷۱a	۱۰
۱۸/۶۶a	۹/۶۷b	۱۶/۰۶b	۷۲/۵۲a	۲/۴۱a	۲/۰۳a	۴/۴۵a	۱/۵۰a	۰/۷۸a	۲۰

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 در جدول 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 می‌گیرد. 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 آنتی‌اکسیدانی و میزان واکنش گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و در نتیجه استرس اکسیداتیو می‌شود. ROS برای سیگنالینگ درون سلولی ضروری است اما در غلظت بالا می‌تواند باعث صدمه به سطوح مختلف سلول از جمله به کلروپلاست شود. ROS توانایی شروع پراکسیداسیون لیپید و تخریب پروتئین‌ها، 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 آسبزیک در سلول‌های محافظ مورد استفاده در کلروپلاست‌ها ذخیره می‌شود و ساخت ABA در سلول‌های محافظ و مزوفیل افزایش می‌یابد. 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، مه‌بار رشد سلول منجر به کاهش رشد برگ می‌شود. سطح پایین برگ باعث جذب آب

کمتری از خاک شده و تعرق کاهش می‌یابد. محدودیت‌های سطح برگ می‌تواند 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 سوپر جاذب 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 سوپر جاذب گزارش شده است (Alfi and Azizi, 2015). زئولیت N (NH<sub>4</sub>) موجود در محیط بستر را جذب کرده و به تدریج آن را به محیط برای استفاده گیاهان رها می‌کند، 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); Hazrati, 2017; Gholamhoseini, (2013). مطالعات در سبب 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 سوپر جاذب به خاک لومی و لوم شنی منجر به افزایش خطی رطوبت ظرفیت زراعی و افزایش آب قابل استفاده خواهد شد (Akhtar et al., 2004). یوروتاز و همکاران گزارش کرد کاربرد زئولیت عملکرد محصول گندم را نزدیک به ۱۰۰٪ در مقایسه با شاهد (بدون کود) افزایش داد (Urotadze et al., 2002). قلی زاده و همکاران (۱۳۸۳) بیان کردند که مصرف زئولیت بر وزن خشک و تعداد میان‌گره گیاه دارویی بادرنشینی تاثیر معنی دار نداشت ولی تاثیر 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 (جدول ۵). همچنین هر دو سطوح ۱۰ و ۲۰٪ زئولیت بدون وجود تفاوت معنی دار محتوای نسبی آب برگ را افزایش دادند. به این ترتیب محتوای نسبی 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 نشأت یونی در جدول ۶ نشان داد کاهش میزان آب آبیاری منجر به افزایش نشأت یونی در سلول‌های برگ می‌شود. به طوری که با افزایش شدت تنش از ۱۰۰ به ۲۵٪ ظرفیت زراعی، میزان نشأت یونی از ۲۵٪ به ۳۶٪ افزایش یافت. هر دو سطح زئولیت استفاده شده در این آزمایش بر کاهش نشأت یونی در شرایط تنش مؤثر بود. به طوری که در شدیدترین تنش خشکی اعمال شده (۲۵٪)، با کاربرد زئولیت در دو سطح ۱۰ و ۲۰٪ وزنی، مقدار نشأت 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 معنی داری 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 Hoseini et al., 2013). نیمی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کرد استفاده از زئولیت تحت تیمارهای تنش کم آبی تأثیر مثبت و معنی داری 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 می‌رسد 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 (جدول ۵). به طوری که با افزودن 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 کاروتنوئید 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 آبسزیک اسید در گیاه آنزیم کلروفیل‌لاز 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 واکنش پذیر می‌شود و بنابراین غشای سلولی به دلیل پراکسیداسیون لیپیدها آسیب دیده و اکسیداسیون پروتئین منجر به کاهش میزان کلروفیل در گیاه می‌شود. همان طور که در نتایج ذکر شد اثر ساده زئولیت بر مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی دار 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، کاروتنوئید موجود در چمن‌های 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 کاروتنوئید 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



تحت تنش خشکی شده است و در شرایط آبیاری محدود می تواند اثرات جبرانی و بهبود دهنده ای 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 می گردد.

### 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، ۳۳(۱): ۹-۱.

قلی زاده، آ. ۱۳۸۳. اثر تنش خشکی و ژئولیت بر صفات فیزیکی و مورفولوژیکی گیاهان دارویی. پایان نامه 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 ژئولیت 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 Iqbal, 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

واریانس داده ها، 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 معنی داری مشاهده نشد (جدول ۵). با کاهش مقدار آب آبیاری کربوهیدرات 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 کربوهیدراتی خود را در شرایط تنش جهت 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 کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه سلول در شرایط محیطی تحت تنش در حد مطلوب نگه دارد (Verma and Dubey, 2001). یکی دیگر از مکانیزم های 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 پروتئین ها و افزایش فعالیت آنزیم ها می گردد (Szabados et al., 2010). این پدیده احتمالاً مکانیسم سازشی گیاه برای حفظ پتانسیل اسمزی است.

### نتیجه گیری

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 ژئولیت ها به خصوص در سطح ۲۰٪ منجر به افزایش صفات رشدی از قبیل وزن تر و خشک ریشه و ساقه، سطح برگ، ارتفاع و کاروتنوئیدها شد. به طور کلی کاربرد ژئولیت منجر به افزایش صفات رشدی در گیاه چمن

- 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-Yadkori, 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., Pooryoosof, 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 wheat 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 fluorescence 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.

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

Y. Selahvarzi<sup>1\*</sup>, S. Sarfaraz<sup>2</sup>, M. Kamali<sup>3</sup>, M. Zabihi<sup>4</sup>, B. Alizadeh<sup>5</sup>  
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<sup>2</sup>), 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)