نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر زئولیت غنی‌شده با کلسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک دانهال‌های پسته تحت تنش شوری

*وحید مظفری[۱] و مرضیه رعیت‌پیشه[۲]
[۱]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، [۲]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان
تاریخ دریافت: ۹٤/۱/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/٦/۱٦

چکیده

سابقه و هدف: پسته (*Pistacia vera* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات باغی بوده و از اهمیت اقتصادی ویژه‌ای برخوردار است. اکثر باغ‌های پسته با آب‌های شور و با کیفیت پایین آبیاری می‌شوند که این امر، سبب کاهش تولید پسته طی سال‌های اخیر به‌ویژه در باغ‌های استان کرمان شده است. تنش شوری یکی از عوامل مهم کاهش قابلیت اراضی در تولید محصولات کشاورزی بوده و باعث اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه و در نهایت کاهش رشد و عملکرد می‌شود. با وجود این‌که تحقیقاتی بر روی اثر زئولیت طبیعی بر برخی خصوصیات گیاهان انجام شده، ولی اطلاعاتی در مورد اثر زئولیت غنی‌شده به‌عنوان یک کود کندرها و یا اصلاح کننده خاک بر گیاه پسته تحت شرایط شور در منابع وجود ندارد. هدف این پژوهش بررسی اثر زئولیت غنی‌شده با کلسیم بر روی برخی خصوصیات فیزیولوژیک دانهال پسته تحت تنش شوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی پاسخ دانهال‌های پسته به سطوح شوری و زئولیت، آزمایشی در محیط کشت پرلیت و به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان انجام شد. تیمارها شامل سه سطح زئولیت غنی‌شده با کلسیم (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) و چهار سطح کلرید سدیم (۰، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار) بودند. در هر گلدان تعداد ۵ بذر جوانه زده در عمق ۳ سانتی‌متری کشت گردید. برای آبیاری گلدان‌ها از محلول غذایی هوگلند استفاده شد. در هفته نهم پس از کاشت، آبشویی گلدان‌ها با آب مقطر انجام گرفت و طبق نقشه طرح، تیمارهای کلرید سدیم (۰، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار) که به‌صورت محلول تهیه شده بود، طی دو مرحله و به‌فواصل زمانی یک هفته، به گلدان‌ها اضافه شد. شاخص کلروفیل فلورسانس (F_v/F_m) در ۳ زمان (هفته‌های دوازدهم، نوزدهم و بیست و چهارم پس از کاشت)، غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، پرولین و پروتئین اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش سطوح شوری غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل با کاهش معنی‌داری روبه‌رو گردیدند. کاربرد ۱۰ درصد وزنی زئولیت سبب افزایش ٦۸ درصدی کلروفیل b گردید. شوری هم‌چنین باعث کاهش شاخص کلروفیل فلورسانس و پروتئین گردید، به‌گونه‌ای که با افزایش شوری به ۲۲۵ میلی‌مولار شاخص کلروفیل فلورسانس حدود ۸ درصد و پروتئین حدود ۳۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. شوری باعث افزایش

* مسئول مکاتبه: vmozafary@yahoo.com

پرولین برگ گردید. کاربرد زئولیت غنی‌شده با کلسیم سبب افزایش پارامترهای ذکرشده گردید، به‌طوری‌که با افزایش ۱۰ درصد وزنی زئولیت غنی‌شده به محیط کشت، غلظت پرولین و پروتئین به‌ترتیب ۱۰۰ و ۱۹/۵ درصد افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که زئولیت غنی‌شده با کلسیم (غلظت ۱۰ درصد وزنی)، توانایی دانهال‌های پسته را در مقاومت به تنش‌شوری افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، پرولین، زئولیت غنی‌شده با کلسیم، کلروفیل فلورسانس، کلرید سدیم

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) گیاهی نیمه‌گرمسیری از خانواده *Anacardiaseae* و جنس *Pistacia*، یکی از مهم‌ترین محصولات باغی و دومین کالای صادراتی ایران می‌باشد و از اهمیت اقتصادی ویژه‌ای برخوردار است (۳۹). گرچه ایران مهم‌ترین تولیدکننده پسته در دنیا است، اما عملکرد پسته در برخی مناطق این کشور پایین است. اکثر باغ‌های پسته با آب‌های شور و با کیفیت پایین آبیاری می‌شوند (۲۰). شوری خاک و کیفیت پایین آب آبیاری، سبب کاهش تولید پسته طی سال‌های اخیر به‌ویژه در باغ‌های استان کرمان شده است (٤١، ٤٥). تنش شوری یکی از تنش‌های مهم به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده (٣٦) و یکی از عوامل مهم کاهش قابلیت اراضی در تولید محصولات کشاورزی است (۳۲).

شوری خاک باعث اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه شده و پیامد آن کاهش رشد و عملکرد است (۵۲). کلروفیل فلورسانس معیاری از میزان کارایی فتوسنتز است و آن را به‌وسیله نسبت بین فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر محاسبه می‌کنند (٤٠). اندازه‌گیری نسبت F_v/F_m، ظرفیت فتوشیمیایی فتوسیستم II را که به‌خصوص به انواع عوامل تنش‌زای محیطی حساس است نشان می‌دهد. کلروفیل فلورسانس به‌عنوان شاخص میزان کارایی فتوسیستم II، می‌تواند نشان‌دهنده توانایی گیاهان در مقاومت به تنش‌های محیطی و یا میزان آسیب وارده به سیستم فتوسنتزی باشد (۱۱، ۳۰). تنش شوری می‌تواند باعث از بین رفتن مرکز واکنش فتوسیستم II شده و باعث ایجاد اختلال در حمل و نقل الکترون در دستگاه فتوسنتزی گیاهان گردد (٤٠). فتوسنتز یکی از مهم‌ترین مسیرهای بیوشیمیایی است که گیاه توسط آن، مواد غذایی خود را می‌سازد و رشد می‌کند. گزارش‌هایی مبنی بر کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش شوری کلرید سدیم وجود دارد (۲۳).

استفاده از زئولیت غنی‌شده در کشورهای مختلف جهان با استقبال گسترده‌ای روبه‌رو شده است. مصرف زئولیت با توجه به ارزانی، کاربرد آسان و وجود منابع زیاد آن در کشور به‌سرعت در حال افزایش است. زئولیت‌ها موادی هستند که دارای توانایی‌هایی در افزایش کارایی استفاده از کود به‌وسیله پایین آوردن اتلاف از طریق شست‌وشو بوده و با آزاد کردن تدریجی یون‌های آمونیوم و پتاسیم و سایر کاتیون‌ها، آثار مفید خود را ظاهر می‌نمایند (۱۰). نهشته‌های عظیمی از کانی‌های زئولیت در مناطق مختلفی از ایران یافت شده و استفاده‌های کشاورزی و زیست‌محیطی از آن‌ها آغاز شده است. با وجود این‌که تحقیقاتی بر روی اثر زئولیت طبیعی بر برخی خصوصیات گیاهان انجام شده، ولی اطلاعاتی در مورد اثر زئولیت

غنی‌شده به‌عنوان یک کود کندرها و یا اصلاح‌کننده خاک بر گیاه پسته تحت شرایط شور در منابع وجود ندارد. افزایش غلظت کلروفیل با مصرف زئولیت توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (۱۳، ۳۸). هم‌چنین گزارش شده که مصرف زئولیت، سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنوئید) در برگ‌های خیار را تحریک کرد (۲٤). هدف این پژوهش بررسی اثر زئولیت غنی‌شده با کلسیم بر روی برخی خصوصیات فیزیولوژیک دانهال پسته تحت تنش شوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی پاسخ دانهال‌های پسته به سطوح شوری و زئولیت، آزمایشی در محیط کشت پرلیت و به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان انجام شد. تیمارها شامل سه سطح زئولیت غنی‌شده با کلسیم (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) و چهار سطح کلرید سدیم (۰، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار) بودند. زئولیت مورد استفاده در این آزمایش از شرکت معدنی افرازند سمنان، با دانه‌بندی یک میلی‌متر تهیه و به‌وسیله نیترات کلسیم اشباع گردید (۱۵). پرلیت به قطر یک میلی‌متر تهیه و طبق نقشه طرح، در ۱۲ گلدان مقدار یک کیلوگرم پرلیت (سطح زئولیت صفر)، در ۱۲ گلدان ۹۰۰ گرم پرلیت به‌همراه ۱۰۰ گرم زئولیت غنی‌شده (سطح زئولیت ۱۰ درصد) و در ۱۲ گلدان دیگر ۸۰۰ گرم پرلیت به‌همراه ۲۰۰ گرم زئولیت غنی‌شده (سطح زئولیت ۲۰ درصد) پس از مخلوط نمودن پرلیت و زئولیت ریخته شد.

بذرهای پسته رقم بادامی ریز زرند از مؤسسه تحقیقات پسته کشور تهیه گردید. برای آبیاری از محلول غذایی هوگلند[1] استفاده شد. برای تهیه محلول غذایی (هوگلند تصحیح‌شده)، ابتدا محلول مادر (۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) هر عنصر به‌طور جداگانه تهیه و در ظروف شیشه‌ای نگه‌داری شدند. سپس برای رساندن غلظت عناصری که در جدول ۱ آمده است، با آب مقطر رقیق‌سازی انجام گرفت. در نهایت پی‌اچ محلول به‌وسیله اسیدنیتریک و یا سود روی ٦/٥ تنظیم گردید (۱۹).

در هر گلدان تعداد ۵ بذر جوانه‌زده در عمق ۳ سانتی‌متری کشت گردید. سپس ظرفیت مزرعه‌ای (FC) بستر کشت برابر با ۰/٦ به‌دست آمد (۳). از آن‌جا که وزن گلدان و بستر کشت به‌ترتیب برابر با ۲۰۰ و ۱۰۰۰ گرم و وزن آب مقطر برای رساندن به FC برابر با ٦۰۰ گرم بود (وزن یک گلدان حاوی بستر کشت در حالت FC برابر با ۱۸۰۰ گرم است)، در نتیجه هر روز با توزین تک‌تک گلدان‌ها، کاهش وزن آن‌ها تا پایان هفته چهارم پس از کاشت با آب مقطر و از هفته پنجم که نهال‌های پسته چهاربرگی شدند، تا انتهای دوره آزمایش (بیست و چهار هفته پس از کاشت) آبیاری گلدان‌ها با محلول هوگلند تصحیح شده ادامه یافت. هم‌چنین در پایان هفته چهارم، لپه‌های بذر از ساقه‌چه و ریشه‌چه جدا گردید.

در هفته نهم پس از کاشت، آبشویی گلدان‌ها با آب مقطر انجام گرفت و طبق نقشه طرح، تیمارهای کلرید سدیم (۰، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار) که به‌صورت محلول تهیه شده بود، طی دو مرحله و به‌فواصل زمانی یک هفته، به گلدان‌ها اضافه شد. شاخص کلروفیل فلورسانس (F_v/F_m) در ۳ زمان (هفته‌های دوازدهم، نوزدهم و بیست و چهارم پس از کاشت) با استفاده از دستگاه کلروفیل فلورسانس مدل (*Hansatech LTD Pocket PEA, UK*) مورد سنجش قرار گرفت. با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های

1- Hoagland

بالغ، غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها اندازه‌گیری گردید (٣٧). برای استخراج پرولین، از نیم گرم برگ بالغ استفاده شد. سپس میزان جذب در طول موج ٥١٥ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید (٣٥). برای اندازه‌گیری پروتئین از روش برادفورد (١٩٧٦) استفاده گردید (٦). داده‌های مربوط به صفات فیزیولوژیکی با استفاده از نرم‌افزار SAS (version 19) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن، در سطح احتمال پنج درصد انجام و برای رسم جداول و نمودارها از برنامه Word و Excel استفاده گردید.

جدول ١- غلظت محلول نهایی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف.

Table 1. The concentration of final solution of macronutrients and micronutrients.

نام ترکیب (combination Name)	غلظت محلول نهایی (میلی‌مولار) (The concentration of final solution) (mM)	نام ترکیب (combination Name)	غلظت محلول نهایی (میکرومولار) (The concentration of final solution) (μM)
KNO_3	1	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.04
$Ca(NO_3)_2.\ 4H_2O$	0.5	H_3BO_3	24.26
NH_4NO_3	0.35	$CuSO_4.\ 5H_2O$	1
KH_2PO_4	0.8	$ZnSO_4.\ 7H_2O$	3.82
K_2HPO_4	0.3	Fe-EDTA	1.54
$MgSO_4.\ 7H_2O$	0.5		

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، شاخص کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پرولین برگ و پروتئین تحت‌تأثیر تیمار شوری و زئولیت غنی‌شده با کلسیم قرار گرفتند (جدول ٢).

جدول ٢- تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیولوژیکی در شرایط شور.

Table 2. Analysis of variance for physiologic characteristics in saline conditions.

منابع تغییرات (Sources of variations)	درجه آزادی (Degree of freedom)	میانگین مربعات (Mean of squares)					
		F_v/F_m			کلروفیل a (Chlorophyll a)	کلروفیل b (Chlorophyll b)	کلروفیل کل (Total chlorophyll)
		مرحله اول (I)	مرحله دوم (II)	مرحله سوم (III)			
شوری (Salinity)	3	0.007**	0.002^{ns}	0.002^{ns}	1.64**	0.33*	3.36**
زئولیت (Zeolite)	2	0.004^{ns}	0.018**	0.002^{ns}	1.06*	0.48*	2.74**
شوری * زئولیت (Salinity*Zeolite)	6	0.002^{ns}	0.004^{ns}	0.001^{ns}	0.82*	0.18^{ns}	1.66*
خطا (Error)	24	0.001	0.003	0.001	0.29	0.09	0.49

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار.

*, ** are significant at 1 and 5% probability level, respectively and ^{ns} not significant.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیولوژیکی در شرایط شور.

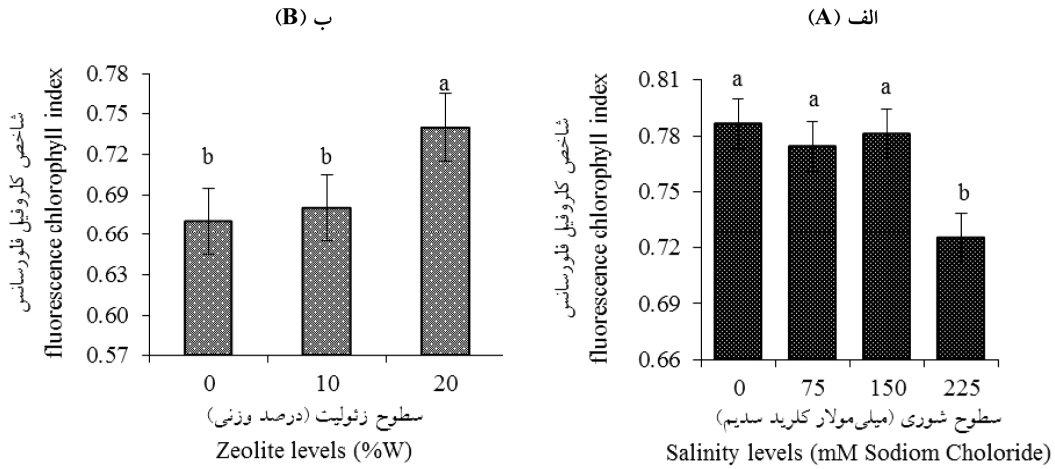
Continue Table 2. Analysis of variance for physiologic characteristics in saline conditions.

منابع تغییرات (Sources of variations)	درجه آزادی (Degree of freedom)	میانگین مربعات (Mean of squares)		
		کاروتنوئیدها (Carotenoids)	غلظت پرولین برگ (The concentration of leaf proline)	غلظت پروتئین کل (The concentration of total protein)
شوری (Salinity)	3	0.76^{ns}	0.47**	0.0003*
زئولیت (Zeolite)	2	1.12*	1.02**	0.0001*
شوری * زئولیت (Salinity*Zeolite)	6	0.05^{ns}	0.64**	0.0001*
خطا (Error)	24	0.27	0.08	0.00003

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار.

*, ** are significant at 1 and 5% probability level, respectively and ^{ns} not significant.

کلروفیل فلورسانس (F_v/F_m): نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که شوری، شاخص کلروفیل فلورسانس (F_v/F_m) را فقط در مرحله اول (سه هفته پس از اعمال تنش) تحت‌تأثیر معنی‌دار قرار داد و در مراحل بعدی این شاخص تحت‌تأثیر شوری قرار نگرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که سه هفته پس از اعمال تنش شوری، شاخص کلروفیل فلورسانس در تیمار ۲۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم با کاهش معنی‌داری روبه‌رو شد که این کاهش نسبت به شاهد حدود ۸ درصد بود (شکل ۱- الف)، اما در مراحل دوم (ده هفته پس از اعمال تنش) و سوم (پانزده هفته پس از اعمال تنش) اندازه‌گیری، این شاخص تحت‌تأثیر شوری قرار نگرفت، ولی تیمار زئولیت غنی‌شده با کلسیم (۲۰ درصد وزنی) توانست در مرحله دوم اندازه‌گیری، شاخص کلروفیل فلورسانس را بیش از ۱۱ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد (شکل ۱- ب).



شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص کلروفیل فلورسانس برای سطوح شوری در مرحله اول (الف) و سطوح زئولیت در مرحله دوم (ب) دانهال‌های پسته.

Figure 1. Mean comparison ofchlorophyll fluorescence index for salinity levels in the first stage (A) and zeolite levels in the second stage (B) of pistachio seedlings.

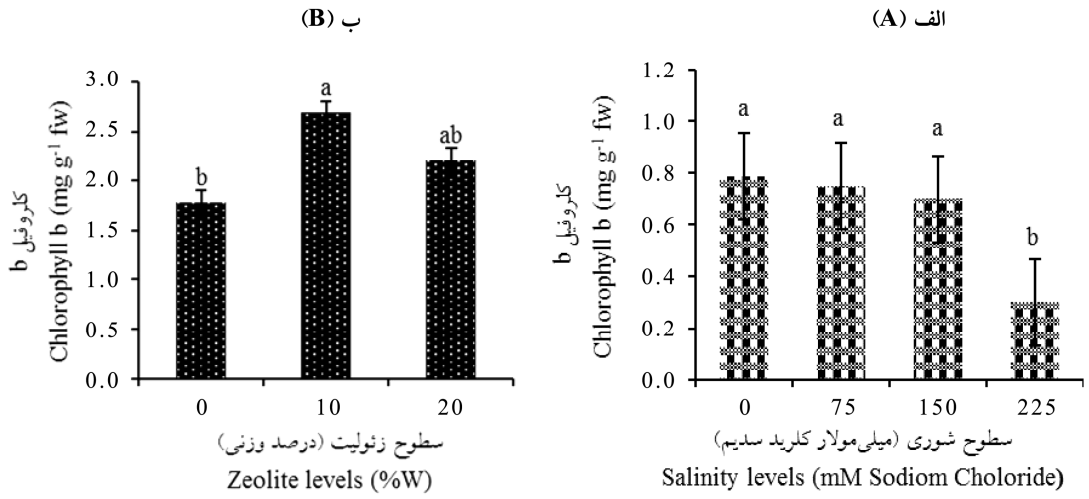
مشخص شده تنش شوری در برخی گیاهان میزان F_v/F_m را کاهش داده است. در پژوهشی که بونگی و لورتو (١٩٨٩) بر روی درختان زیتون انجام دادند، دریافتند که تنش شوری میزان F_v/F_m را کاهش داد (٥). یامان و همکاران (٢٠٠٨) با بررسی کلروفیل فلورسانس تحت تنش شوری عنوان کردند که کاهش F_v/F_m به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی خسارت به کلروفیل، به‌ویژه غشای تیلاکوئید می‌باشد (٥٠). هم‌چنین تغییر در نسبت فلورسانس متغیر (F_v) به فلورسانس حداکثر (F_m) به‌نوعی سبب صدمه به فتوسیستم II و سبب کاهش این نسبت می‌شود که در این صورت فرآیندهای فتوسنتز از طریق عوامل تنش‌زا محدود شده و سبب ایجاد عوامل بازدارندگی نوری می‌شود. بازدارندگی به‌عنوان یک تنش ثانویه سبب ایجاد صدمه به گیاه می‌شود (٢٨).

در ارتباط با عدم تفاوت شاخص کلروفیل فلورسانس در مراحل دوم و سوم تحت‌تأثیر شوری، می‌توان گفت که احتمالاً در این مراحل دانهال‌ها به‌میزان بیش‌تری ظرفیت فتوسنتزی خود را حفظ نموده ولی در مرحله اول، آسیب نوری وارد شده به مرکز واکنش فتوسیستم II در برگ دانهال‌ها بیش‌تر بوده است. این نتایج با یافته‌های حکم‌آبادی (٢٠٠٣) و واکر و همکاران (١٩٨٧) در ارتباط با وضعیت فتوسنتزی گیاهان تحت تنش‌های محیطی هم‌سو می‌باشد (٢١، ٤٨).

مهدوی (٢٠١١) در پژوهشی بر روی گیاه گلرنگ گزارش کرد، میزان F_v/F_m و F_m تحت‌تأثیر تیمار زئولیت قرار گرفت، به‌طوری‌که مصرف زئولیت باعث افزایش این پارامترها گردید (٢٩). در گیاهان تنش‌دیده، مصرف زئولیت باعث افزایش F_m گردید در حالی‌که در شرایط بدون تنش، مصرف زئولیت تغییری در این پارامتر نسبت به عدم مصرف زئولیت ایجاد نکرد. گزارش شده است مصرف زئولیت در گیاه خیار میزان فتوسنتز خالص را افزایش داد (٤٣). فتوسیستم II به عوامل بازدارنده محیطی بسیار حساس بوده و تنش شوری موجب خسارت به مراکز فتوسیستم II می‌شود. بنابراین به‌نظر می‌رسد زئولیت با حفظ کلروفیل فلورسانس، اثرات مضر تنش را کاهش داده و توانسته است گیاه را از صدمات وارده به دستگاه فتوسنتزی حفظ کند.

کلروفیل (a، b و کلروفیل کل): نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ٢)، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل تحت‌تأثیر شوری و زئولیت قرار گرفتند. شوری غلظت کلروفیل b را نسبت به شاهد کاهش داد، به‌صورتی که در بالاترین سطح شوری (٢٢٥ میلی‌مولار کلرید سدیم)، این پارامتر ٦٢ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ٢- الف). در صورتی که با کاربرد ١٠ درصد وزنی زئولیت، کلروفیل b حدود ٦٨ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ٢- ب).

با افزایش شوری به بالاترین سطح (٢٢٥ میلی‌مولار کلرید سدیم)، غلظت کلروفیل کل حدود ٤٥ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ٣). نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد (جدول ٢)، برهم‌کنش تیمارهای شوری و زئولیت بر کلروفیل کل در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج اثرات متقابل نشان داد، در سطح شوری کم (٧٥ میلی‌مولار کلرید سدیم)، کلروفیل کل تحت‌تأثیر مثبت افزایش زئولیت غنی‌شده با کلسیم قرار گرفت، به‌طوری‌که کلروفیل کل از ١/٢٧ میلی‌گرم در گرم وزن تر در شاهد به ٤/٠٨ میلی‌گرم در گرم وزن تر (١٠ درصد وزنی زئولیت) رسید، ولی در شرایط غیرشور و شوری‌های بیش‌تر، زئولیت تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل کل نداشت (جدول ٣).



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطوح شوری (الف) و سطوح زئولیت (ب) بر غلظت کلروفیل b دانهال‌های پسته.

Figure 2. Mean comparison of the effect of salinity levels (A) and zeolite levels (B) on chlorophyll b concentration of pistachio seedlings.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و زئولیت بر غلظت کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تر) دانهال‌های پسته.

Table 3. Mean comparison of interaction of salinity and zeolite on total chlorophyll concentration (mg gr^{-1} fw) of pistachio seedlings.

سطوح شوری (میلی‌مولار کلرید سدیم) Salinity levels (Mmolar Sodiom Chloride)	سطوح زئولیت (درصد وزنی) Zeolite levels (%w)			میانگین Mean
	0	10	20	
0	2.31 bcd	2.61 a-d	1.62 cde	2.25 A
75	1.27 de	4.08 a	3.45 ab	2.70 A
150	2.92 abc	2.45 bcd	2.52 bcd	2.60 A
225	0.59 e	2.09 b-e	1.25 de	1.42 B
میانگین Mean	1.78 B	2.69 A	2.21 AB	

* میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means with at least one common letter are not significantly different with each other at probability level of 5% according to Duncan test.

نتایج اثرات متقابل تیمارهای شوری و زئولیت بر کلروفیل a نیز مشابه با کلروفیل کل نشان داد، در تیمار شاهد و شوری‌های بالا، زئولیت غنی‌شده با کلسیم، کلروفیل a را با تغییر معنی‌داری مواجه نساخت و فقط در شوری کم (۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم)، با کاربرد ۱۰ درصد وزنی زئولیت، کلروفیل a از ۰/۹٤ به ۲/۸۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر افزایش یافت (جدول ٤).

جدول ٤- مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و زئولیت بر میزان کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تر) دانهال‌های پسته.

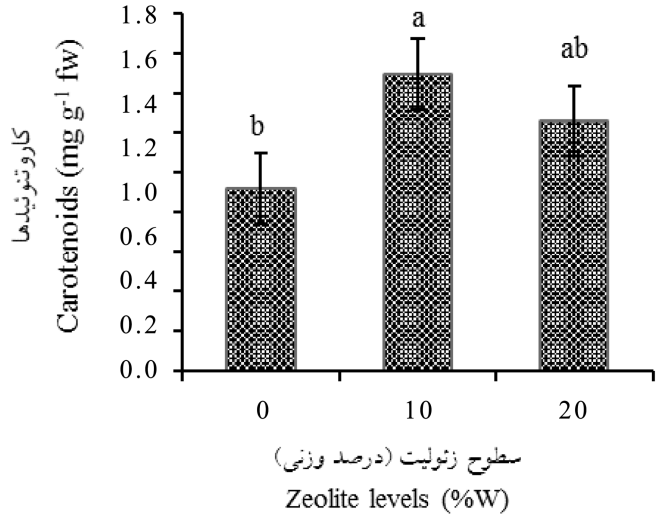
Table 4. Mean comparison of interaction of salinity and zeolite on chlorophyll a concentration (mg gr^{-1} fw) of pistachio seedlings.

سطوح شوری (میلی‌مولار کلرید سدیم) Salinity levels (Mmolar Sodiom Chloride)	سطوح زئولیت (درصد وزنی) Zeolite levels (%w)			میانگین Mean
	0	10	20	
0	1.55 bcd	1.57 bcd	1.33 bcd	1.50 AB
75	0.94 dc	2.80 a	2.49 ab	1.91 A
150	2.13 abc	1.69 abc	2.00 abc	1.90 A
225	0.44 d	1.59 bcd	0.92 cd	1.07 A
میانگین Mean	1.26 B	1.83 A	1.68 AB	

* میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means with at least one common letter are not significantly different with each other at probability level of 5% according to Duncan test.

کاروتنوئیدها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ٢)، شوری بر میزان کاروتنوئیدها تأثیر معنی‌داری نداشت، در حالی‌که با کاربرد زئولیت غنی‌شده با کلسیم (١٠ درصد وزنی)، میزان کاروتنوئیدها بیش از ٦٠ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ٣).



شکل ٣- مقایسه میانگین تأثیر سطوح زئولیت غنی‌شده با کلسیم بر میزان کاروتنوئیدها در دانهال‌های پسته.

Figure 3. Mean comparison of the effect of calcium-enriched zeolite levels on carotenoids content of pistachio seedlings.

کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش شوری، می‌تواند به‌دلایل مختلف باشد که یکی از آن‌ها مربوط به زوال غشای کلروپلاست و تیلاکوئیدها است (۲۹) و یا ممکن است به‌علت تجزیه آنزیم‌های خاصی باشد که مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی هستند (۳۳). کلروفیل a رنگدانه اصلی در مرکز واکنش بوده، اما کلروفیل b نه‌تنها رنگدانه کمکی است، بلکه به‌عنوان یک تنظیم‌کننده سایر گیرنده‌های نوری عمل می‌کند (٤٤). معمولاً نقش کلروفیل a نسبت به کلروفیل b در فتوسنتز گیاهان غالب‌تر است اما تحت تنش شوری ارزش آن‌ها به‌هم نزدیک‌تر می‌شود (۲۹). براساس نتایج به‌دست آمده، تیمار شوری باعث کاهش غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل گردید، به‌طوری‌که در سطح ۲۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم بیش‌ترین میزان کاهش در این پارامترها مشاهده شد. برخی پژوهشگران اعتقاد دارند که دلیل اصلی کاهش توان فتوسنتزی گیاه، اثر مستقیم سمیت یک یون (۵۰) و یا یک آنزیم کلیدی در چرخه تثبیت کربن می‌باشد (٤٦). بن‌حسنی و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی که بر روی پایه آتلانتیکا انجام دادند، گزارش کردند که کاهش در پتانسیل اسمزی محلول خاک سبب ایجاد تنش آبی در گیاه می‌گردد (٤). کاهش میزان آب در گیاه، سبب تجمع اسید آبسیزیک ترشح شده از ریشه می‌شود که به دنبال آن روزنه‌ها بسته شده و میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد. هم‌چنین کاهش کلروفیل می‌تواند به‌دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیباتی نظیر پرولین باشد که در تنظیم اسمزی به‌کار می روند. افزایش تولید پرولین موجب می‌شود که گلوتامات که پیش‌ماده مشترک ساخت کلروفیل و پرولین است، کم‌تر در مسیر سنتزکلروفیل وارد شود (۲۲).

کارتنوئیدها نقش بسیار مهمی در حفاظت نوری گیاهان در مقابل تنش دارند. کارتنوئیدها گروهی از مولکول‌های بزرگ ایزوپرونوئیدی هستند که دارای رنگیزه‌های جمع‌کننده انرژی نورانی می‌باشند و به هیدروکربن‌های کاروتن مانند لیکوپن، بتاکاروتن یا گزانتوفیل‌ها تقسیم می‌شوند. آن‌ها انرژی اضافی جذب‌شده توسط کلروفیل و رنگیزه‌های دیگر را دریافت و می‌توانند آن را از طریق سیکل گزانتوفیل و به شکل گرما از دست بدهند (۲۳). بتاکاروتن در کلروپلاست‌های تمام گیاهان سبز وجود دارد و به فتوسیستم I و II متصل است. حفاظت در مقابل صدمات رادیکال‌های اکسیژن فعال در این محل برای کلروپلاست‌ها عملی حیاتی است. در این محل بتاکاروتن علاوه‌بر این‌که به‌عنوان رنگدانه کمکی عمل می‌کند، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان مؤثر در حفاظت از فرآیندهای فتوشیمیایی و پایداری آن‌ها نقش دارد (۱۷). بنابراین بالاتر بودن کاروتنوئیدها به گیاه امکان می‌دهد که تنش شوری را بهتر تحمل کند. علی‌رغم این موضوع نتایج این پژوهش نشان داد، که تنش شوری کاروتنوئیدها را تحت‌تأثیر معنی‌داری قرار نداد. براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت، گیاه پسته هنگام مواجهه با تنش شوری، با بستن روزنه‌ها و تنظیم مکانیسم اسمزی و افزایش انباشت پرولین، شرایط تنش را تا حدی تحمل کرده است.

آن‌چه از نتایج این پژوهش برمی‌آید زئولیت نیز بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه تأثیر داشته و باعث افزایش این پارامترها گردیده است. مهدوی (۲۰۱۱) گزارش کرد، اثر متقابل تنش (کم‌آبی) و زئولیت بر کلروفیل b معنی‌دار بود. در ارتباط با اثر متقابل تنش و زئولیت مشخص شد که مصرف زئولیت در گیاهان تنش‌دیده میزان کلروفیل b را افزایش داد (۲۸). افزایش غلظت کلروفیل با مصرف زئولیت توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (۱۳، ۳۸). هم‌چنین مصرف زئولیت سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنوئید) در برگ‌های خیار را تحریک کرد (٢٤).

مقدار کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند، زیرا به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده مؤثر می‌باشند. کاهش غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است و حفظ غلظت کلروفیل تحت این شرایط به ثبات فتوسنتز کمک می‌کند (۷). در ارتباط با تأثیر برهم‌کنش شوری و زئولیت بر غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل، با افزایش شوری همراه با افزایش سطوح زئولیت به ۷۵ میلی‌مولار، غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل افزایش یافت. براساس نتایج این آزمایش می‌توان گفت احتمالاً مصرف زئولیت در شرایط تنش، از کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی القاء شده توسط تنش ممانعت به‌عمل آورده و توانسته است با حفظ فتوسنتز گیاه خسارات ناشی از تنش را کاهش دهد.

غلظت پرولین برگ: نتایج مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که با افزایش شوری غلظت پرولین برگ افزایش یافت. به‌عبارت دیگر زمانی‌که سطح شوری از صفر به ۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم افزایش یافت، تغییری در میزان پرولین برگ مشاهده نشد، اما با افزایش شوری به ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، پرولین به‌ترتیب بیش از ۱۳۳ و ۲۷۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۵). نتایج نشان داد، اثر زئولیت بر غلظت پرولین برگ معنی‌دار شد، به‌گونه‌ای که با افزایش زئولیت به ۱۰ درصد وزنی، پرولین حدود ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت، گرچه بین سطوح ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی زئولیت تفاوتی از نظر میزان پرولین مشاهده نگردید (جدول ۵). همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، در سطح صفر شوری و شوری متوسط، با افزایش زئولیت غلظت پرولین تغییر معنی‌داری پیدا نکرد، ولی در شوری زیاد (۲۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم) با افزایش زئولیت غنی‌شده با کلسیم، میزان پرولین با افزایش چشم‌گیری مواجه گردید و به‌ترتیب در سطوح ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی زئولیت، از ۰/۰۱ به ۰/۲۸ و ۰/۳۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر رسید.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و زئولیت بر غلظت پرولین برگ (میلی‌گرم در گرم وزن تر) دانهال‌های پسته.

Table 5. Mean comparison of interaction of salinity and zeolite on leaf proline concentration (mg gr^{-1} fw) of pistachio seedlings.

سطوح شوری (میلی‌مولار کلرید سدیم) Salinity levels (Mmolar Sodiom Chloride)	سطوح زئولیت (درصد وزنی) Zeolite levels (%w)			میانگین Mean
	0	10	20	
0	0.10 de	0.10 de	0.06 ef	0.09 C
75	0.05 f	0.18 c	0.08 ef	0.10 BC
150	0.14 d	0.10 de	0.13 d	0.12 B
225	0.01 g	0.28 b	0.38 a	0.25 A
میانگین Mean	0.08 B	0.16 A	0.17 A	

* میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means with at least one common letter are not significantly different with each other at probability level of 5% according to Duncan test.

یکی از عوامل مؤثر در حفظ پتانسیل اسمزی سلول، اسید آمینه پرولین است. گزارش‌های متعددی در ارتباط با افزایش پرولین آزاد تحت شرایط تنش اعلام شده است (٤٩). نقش مثبت پرولین در تنظیم فشار اسمزی در شرایط شور، توسط پژوهشگران بر روی پسته گزارش شده است (١، ٢٦). نتایج آزمایش حاضر مطابق با نتایج پژوهشگران فوق می‌باشد. در این آزمایش افزایش شوری باعث افزایش غلظت پرولین برگ گردید. همبستگی مثبتی بین مقاومت به شوری و غلظت پرولین در گیاه وجود دارد. در ارتباط با اثر افزایش پرولین بر عملکردهای مختلف سلولی، نظریات گوناگونی مطرح شده است. برای نمونه پرولین از طریق حفظ ظرفیت آبگیری در سیتوپلاسم سلول، منجر به حفظ ماکرومولکول‌ها از جمله آنزیم‌ها می‌شود تا از تشکیل اشکال نامطلوب و یا قطعه‌قطعه شدن آن‌ها جلوگیری به‌عمل آید (٩). عده‌ای از محققان علت افزایش این ماده را نتیجه تخریب پروتئین‌ها ذکر کرده‌اند (٤٤). برای تجمع پرولین هنگام تنش شوری در گیاهان دلایل مختلفی ارائه شده است. برخی آن را به‌علت اثر تنظیمی ABA بر فرآیندهای نوری (فتوسنتز) در متابولیسم پرولین می‌دانند. هم‌چنین ممکن است در شرایط تنش شوری ژن انتقال‌دهنده نیتروژن غیرفعال شده، در نتیجه گیاه اسیدآمینه پرولین را انتقال دهد (٢٧). از آن‌جا که پرولین و قندهای محلول مهم‌ترین اجزای تنظیم‌کننده پتانسیل اسمزی در برگ بسیاری از گیاهان می‌باشند، این نتایج نشان می‌دهد گیاه پسته هنگام مواجهه با تنش شوری با بستن روزنه‌ها و تنظیم مکانیسم اسمزی و افزایش انباشت پرولین و قندهای کل، شرایط تنش را تا حدی تحمل می‌کند.

کاربرد زئولیت غنی‌شده با کلسیم نیز در شرایط تنش شوری سبب افزایش غلظت پرولین برگ گردید. دانشمندی و عزیزی (٢٠٠٩) پژوهشی بر روی گیاه دارویی ریحان انجام و تأثیر کاربرد زئولیت معدنی را بررسی نمودند (٨). نتایج به‌دست آمده نشان داد، مصرف زئولیت در شرایط تنش خشکی بر غلظت پرولین گیاه ریحان دارای اثر مثبت و معنی‌داری بود. در پژوهش حاضر احتمالاً زئولیت با افزایش غلظت عناصری مثل کلسیم، منیزیم و آهن باعث بهبود رشد گیاه شده است. به‌عنوان مثال کلسیم باعث بهبود دیواره غشاء سلولی شده و در نتیجه نشتی غشاء کمتر و رشد گیاه بیش‌تر شده و گیاه برای تولید پرولین آماده می‌شود.

پروتئین: بر اساس نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌ها (جدول ٦)، با افزایش شوری به ٧٥ و ٢٢٥ میلی‌مولار کلرید سدیم، پروتئین برگ به‌ترتیب ٢٧ و ٣٦/٥ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. هم‌چنین با کاربرد ١٠ و ٢٠ درصد وزنی زئولیت، میزان پروتئین برگ به‌ترتیب ١٩/٥ و ١١ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. نتایج جدول ٦ بیان‌گر این مطلب است که در سطوح غیرشور و شوری ١٥٠ میلی‌مولار کلرید سدیم، با افزایش سطوح زئولیت، تفاوت معنی‌داری در میزان پروتئین برگ مشاهده نگردید، ولی در شوری متوسط و زیاد (٧٥ و ٢٢٥ میلی‌مولار کلرید سدیم)، با افزایش سطوح زئولیت پروتئین برگ با تغییر معنی‌داری روبه‌رو گردید. در غلظت ٧٥ میلی‌مولار کلرید سدیم و با کاربرد ١٠ درصد وزنی زئولیت، پروتئین برگ حدود ٤٩ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. در غلظت ٢٢٥ میلی‌مولار کلرید سدیم با افزایش زئولیت به ٢٠ درصد وزنی، پروتئین برگ ٢٠ درصد نسبت به شاهد، افزایش یافت.

جدول ٦- مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و زئولیت بر میزان پروتئین برگ (میلی‌گرم در گرم وزن تر) دانهال‌های پسته.

Table 6. Mean comparison of interaction of salinity and zeolite on leaf protein content (mg gr^{-1} fw) of pistachio seedlings.

سطوح شوری (میلی‌مولار کلرید سدیم) Salinity levels (Mmolar Sodiom Chloride)	سطوح زئولیت (درصد وزنی) Zeolite levels (%w)			
	0	10	20	میانگین Mean
0	0.04 [a]	0.04 [a]	0.04 [a]	0.04 A
75	0.04 [a]	0.02 [d]	0.02 [d]	0.03 B
150	0.03 [b]	0.02 [bc]	0.02 [bc]	0.02 B
225	0.02 [cd]	0.02 [cd]	0.03 [b]	0.02 C
میانگین Mean	0.03 A	0.02 C	0.03 B	

[*] میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means with at least one common letter are not significantly different with each other at probability level of 5% according to Duncan test.

براساس نتایج پژوهش حاضر، با شدت گرفتن تنش شوری، مقدار کل پروتئین‌های محلول در برگ کاهش یافت، که این روند با افزایش غلظت پرولین همراه بود. نتایج نشان داد، با افزایش شوری به ٧٥ و ٢٢٥ میلی‌مولار کلرید سدیم، میزان پروتئین برگ به‌ترتیب ٢٧ و ٣٦/٥ درصد کاهش یافت. این نتایج با نتایج پژوهش‌های انجام‌گرفته بر روی ذرت (١٦)، سویا (٤٨) و گوجه‌فرنگی (٢) همخوانی دارد. بنابراین تحت شرایط تنش شدید، افزایش چشم‌گیر غلظت پرولین به همراه کاهش معنی‌دار پروتئین در برگ‌های سویا را می‌توان هم به تخریب پروتئین و هم کاهش سنتز آن (١٨) نسبت داد. تخریب پروتئین‌ها و انباشت برخی آمینواسیدهای آزاد جهت حفظ و تنظیم فشار اسمزی سلول و کاهش سنتز پروتئین، در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (٣١). قربانلی و نیاکان (٢٠٠٥) در پژوهشی بر روی گیاه سویا گزارش کردند، میزان پروتئین کل به‌ویژه در برگ‌ها، با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافت (١٤). در پژوهشی که به‌منظور بررسی اثرات زئولیت بر روی کدو پوست کاغذی تحت شرایط تنش کم‌آبی انجام شد، مشخص گردید که محتوای پروتئین محلول در اثر تنش کم‌آبی کاهش یافت (٣٤). نتایج به‌دست آمده با گزارش‌های ارائه‌شده از آزمایش‌های مشابه مطابقت دارد (٥١).

کاربرد زئولیت غنی‌شده با کلسیم نیز باعث کاهش پروتئین برگ گردید. نعیمی و همکاران (٢٠١٢) در پژوهشی تأثیر کاربرد زئولیت بر کدوی پوست کاغذی را بررسی نموده و بیان نمودند، کاربرد زئولیت در تمام تیمارهای مختلف آبیاری تأثیر معنی‌دار و مثبتی بر محتوای پروتئین کل داشت. این پژوهشگران عنوان نمودند که بیش‌ترین میزان پروتئین از کاربرد زئولیت و کم‌ترین میزان مربوط به عدم مصرف زئولیت بود (٣٤). غلام‌حسینی و همکاران (٢٠٠٨) در پژوهشی بر روی گیاه کلزا بیان کردند، عملکرد پروتئین به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمارهای زئولیتی قرار نگرفت، هر چند درصد پروتئین خام علوفه با افزایش زئولیت مصرفی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، اما این کاهش با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار بین عملکرد پروتئین علوفه تیمارهای زئولیتی قابل اغماض است (١٢).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این پژوهش، اثر سوء شوری بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیک دانهال‌های پسته (رقم بادامی ریز زرند) مشخص و برای اولین بار تأثیر مثبت زئولیت غنی‌شده با کلسیم در شرایط شور، بر افزایش شاخص کلروفیل فلورسانس و کاروتنوئیدها که نشان‌دهنده توانایی گیاهان در مقاومت به تنش‌های محیطی می‌باشد مورد تأیید قرار گرفت. هم‌چنین نتایج این پژوهش نشان داد که علی‌رغم این‌که در شرایط شور، گیاهان مقاومت خود را با افزایش پرولین و در نتیجه کاهش پروتئین نشان می‌دهند ولی کاربرد زئولیت غنی‌شده با کلسیم (۱۰ درصد وزنی) در شوری بالا، هم پرولین و هم پروتئین برگ را با افزایش معنی‌داری مواجه ساخت.

منابع

1.Abbaspour, H., Afshari, H., and Abdel-wahhab, M.A. 2012. Influence of salt stress on growth, pigments, soluble sugars and ion accumulation in three pistachio cultivars. J. Med. Plant. Res. 6: 12. 2468-2473.

2.Alfocea, F.P., Estan, M.T., Crus, A.S., and Bolarin, M.C. 1993. Effect of salinity on nitrate, total nitrogen, soluble protein and free amino acid levels in tomato plants. J. Hort. Sci. 68: 6. 1021-1027.

3.Assadollahi, Z., and Mozafari, V. 2012. The effect of salinity and manganese on the growth and chemical composition of salt and Pistachio seedlings (*Pistacia vera* L.) in perlite medium. J. Sci. Technol. Greenhouse Cul. 3: 12. 13-27. (In Persian)

4.Benhassaini, H., Hocine, A.A.K., and Belkhodja, M. 2012. Effect of salt stress on growth and accumulation of proline and soluble sugars on plantlets of Pistacia atlantica Desf. subsp. atlantica used as rootstocks. Biotechnology, Agronomy, Soc. Environ. J. 16: 2. 159-165.

5.Bongi, G., and Loreto, F. 1989. Gas exchange properties of salt-stressed olive (*Olea europaea* L.) leaves. J. Plant Physiol. 90: 533-545.

6.Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72: 248-254.

7.Castrilli, M., and Trujillo, I. 1994. Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivars of French bean plants under water stress and rewatering. Photosynthetica. 30: 175-181.

8.Daneshmandi, M., and Azizi, M. 2009. Interaction effects of dry stress and mineral zeolite application on quantitative and qualitative characteristics of the Hungarian Reformed herb basil varieties. Congress of Horticultural Sciences, University of Guilan. (In Persian)

9.Evan, R.D., Black, R.A., Loescher, W.H., and Follows, R.J. 1992. Osmotic relations of the drought-tolerant shurb Artemisia tridentate in response to water stress. Plant, Cell and Environment. 15: 49-59.

10.Ferguson, G.A., and Pepper, I.L. 1987. Ammonium retention in soils amended with clinoptilolite. Soil Sci. Soc. Amer. J. 51: 1. 231-234.

11.Fracheboud, Y., Haldimann, P., Leipner, J., and Stamp, P. 1999. Chlorophyll fluorescence as a selection tool for cold tolerance of photosynthesis in maize (*Zea mays* L.). J. Exp. Bot. 50: 1533-1540.

12.Gholamhosseini, M., Aghalikhani, M., and Malakouti, M.J. 2008. Effect of different levels of N and zeolite on qualitative and quantitative characteristics of autumn forage canola. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 45: 537-548. (In Persian)

13.Gholizadeh, A., Amin, M.S.M., Anuar, A.R., and Saberioon, M.M. 2010. Water Stress and Natural Zeolite Impact on Phisiomorphological Characteristics of Moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.). Austr. J. Bas. Appl. Sci. 4: 10. 5184-5190.

14.Ghorbanli, M., and Niakan, M. 2005. Effect of dry stress on the content of soluble sugars, protein, proline, phenolic compounds and nitrate reductase enzyme activity of soybean varieties 3. J. Teach. Edu. 5: 1. 537-550. (In Persian)
15.Hamidpour, M., Afyuni, M., Kalbasi, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Vasilis, J., and Inglezakis, V.J. 2010. Mobility and plant-availability of Cd (II) and Pb (II) adsorbed on zeolite and bentonite. Applied Clay Science. 48: 3. 342-348.
16.Hanson, A.D., and Hitz, W.D. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. Annual Review of Plant Physiology. 33: 1. 163-203.
17.Havaux, M. 1998. Carotenoids as membrane stabilizers in chloroplasts. Trends in Plant Science. 3: 147-151.
18.Hissao, T. 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology. 24: 519-570.
19.Hoagland, D.R., and Arnon, D.I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station. 347: 1-34.
20.Hojjat Nooghi, F., and Mozafari, V. 2012. Effects of calcium on elimination the negative effects of salinity in pistachio (*pistacia vera* L.) seedling. Austr. J. Crop Sci. 6: 4. 711-716.
21.Hokmabadipour, H. 2003. Response of some Pistachio Rootstocks to boron and sodium chloride in irrigation water. Ph.D. Thesis, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran. (In Persian)
22.Jahani, S.M., Lahooti, F., and Abbasi, M. 2011. Interaction Effects of Na^{+}-Ca^{2+} on soluble sugars and the number of chlorophyll in barley (*Hordeum Vulgare* L. cv. Reyhan). First National Conference on strategies to achieve sustainable agriculture, PNU Khuzestan. (In Persian)
23.Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigment composition. Inter. J. Agric. Biol. 11: 1. 100-105.
24.Jankauskiene, J., and Brazaityte, A. 2008. The influence of various substratum on the quality of cucumber seedlings and photosynthesis parameters. Sodininkyste ir Darzininkyste. 27: 2. 285-294.
25.Karimi, S., Rahemi, L., Maftoun, M., and Tavallali, V. 2009. Effects of Long-term Salinity on Growth and Performance of Two Pistachio (*Pistacia* L.) Rootstocks. Austr. J. Bas. Appl. Sci. 3: 3. 1630-1639.
26.Kavi kishor, B.P., Sangam, S., Amrutha, R.N., Sri Laxmi, P., Naidu, K.R., Rao, K.R.S.S., Rao, S., Reddy, K.J., Theriaappan, P., and Sreenivasulu, N. 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current Science. 88: 3. 424-438.
27.Lezar, D., and Naus, J. 1998. Statistical properties of chlorophyll fluorescence induction paremeters. Photosynthetica. 35: 121-127.
28.Mahdavi, B. 2011. Evaluation of the interaction of chitosan and zeolite on phenology, growth and yield of safflower under water stress. Ph.D. Thesis, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran. (In Persian)
29.Mane, A.V., Deshpande, T.V., Wagh, V.B., Karadge, B.A., and Samant, J.S. 2011. A critical review on physiological changes associated with reference to salinity. Inter. J. Environ. Sci. 1: 6. 1192-1216.
30.Maxwell, K., and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. J. Exp. Bot. 51: 345. 659-668.
31.Moran, J.F., Becana, M., Iturbe-Ormaetxe, I., Frechilla, S., Klucas, R.V., and Aparicio-Tejo, P.M. 1994. Drought induces oxidative stress in pea plants. Planta. 194: 3. 346-352.
32.Mozafari, V. 2005. Evaluation of the role of potassium, calcium and zinc in pistachio dieback disease control. Ph.D. Thesis, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran. (In Persian)

33.Murkute, A.A., Sharma, S., and Singh, S.K. 2006. Studies on salt stress tolerance of citrus rootstock genotypes with arbuscular mycorrhizal fungi. Horticultural Science. 33: 70-76.
34.Naeimi, M., Akbari, Gh., Shiranirad, A., Hasanlou, T., and Akbari, G.H. 2012. Effect of application of zeolite and foliar selenium under water stress on antioxidant enzymes in plant water relations and medicinal pumpkin peel paper. J. Crop Improv. 14: 81-67. (In Persian)
35.Paquin, R., and Lechasseur, P. 1979. Observations sure une methode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. Can. J. Bot. 57: 1851-1854.
36.Parvaiz, A., and Satyawati, S. 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. Plant, Soil and Environment. 54: 3. 89-99.
37.Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research. 73: 1. 149-156.
38.Ranjbar, M., Esfahani, M., Kavousi, M., and Yazdani, M.R. 2004. Effects of irrigation and natural zeolite application yield and quality of tobacco (*Nicotiana tabaccum* var. Coker 347). Agricultural Sciences. 1: 71-84.
39.Razavi, S. 2005. Pistachio production: Iran vs. the World. Acta Horticulturae. 726: 225-230.
40.Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zang, F., and Huang, Y. 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. Mycorrhiza. 18: 6. 287-296.
41.Soliemanzadeh, A., Mozafari, V., Tajabadi pour, A., and Akhgar, A. 2013. Effect of Zn, Cu and Fe foliar application on fruit set and some quality and quantity characteristics of pistachio trees. South Western J. Hort. Biol. Environ. 4: 1. 19-34.
42.Song, X.H., Wang, X.F., Wei, M., and Zang, J.B. 2005. Effects of zeolite on growth and ionic content of cucumber seedling under NaCl stress. Plant Nutrition and Fertilizer Science. 11: 259-263.
43.Taher, A. 1988. Physiologia and lipid change in some upland rice (*Oryza sativa* L.) cultivars grown under drought stress. College Laguna (Philippines), 162p.
44.Tanaka, R., and Tanaka, A. 2000. Chlorophyll b is not just an accessory pigment but a regulator of the photosynthetic antenna. Porphyrins. 9: 240-245.
45.Tavallali, V., Rahemi, M., and Kholdebarin, B. 2009. Ameliorative Effects of Zinc on Pistachio (*Pistacia vera* L.) Growth under Salt-Affected Soil Conditions. Res. J. Environ. Sci. 3: 6. 656-666.
46.Tester, M., and Davenport, R. 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annals of Botany. 91: 5. 503-527.
47.Walker, R.R., Torokfaluy, E., and Behboodian, M.H. 1987. Uptake and distribution of chloride, sodium and potassium ions and growth of salt-treated pistachio plants. Austr. J. Agric. Res. 38: 2. 383- 394.
48.Yamada, Y., and Fukutoku, Y. 1986. Effect of water stress on soybean stress. Soybean in tropical and subtropical cropping system. The asion vegetable research and development center shanbue Taiwan, China chapter. 48: 373-382.
49.Yaman, K., Taniguchi, M., Kawasaki, M., and Miyake, H. 2008. Correlation Between Chloroplast Ultrastructure And Chlorophyll Fluorescence Charactristics In The Leaves Of Rice (*Oryza sativa* L.) Grown Under Salinity. Plant Production Science. 11: 139-145.
50.Yeo, A.R., Caporn, S.J.M., and Flowers, T.J. 1985. The Effect of Salinity upon Photosynthesis in Rice (*Oryza sativa* L.): Gas Exchange by Individual Leaves in relation to their Salt Content. J. Exp. Bot. 36: 8. 1240-1248.
51.Zahedi, H., Noor-Mohamadi, G.H., Shirani Rad, A.H., Habibi, D., and Mashhadi Akbar Boojar, M. 2009. Effect of Zeolite and Foliar Application of Selenium on Growth, Yield and Yield Component of Three Canola Cultivar under Conditions of Late Season Drought Stress. World Applied Sciences. 7: 255-262.
52.Zhu, J.K. 2001. Plant salt tolerance. Trends Plant Science. 6: 2. 66-71.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 6(4), 2017
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of calcium-enriched zeolite on some physiological characteristics of pistachio seedlings under salinity stress

***V. Mozafari[1] and M. Rayatpisheh[2]**
[1]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,
[2]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan
Received: 04/18/2015; Accepted: 09/06/2016

Abstract

Background and Objectives: Pistachio (*Pistacia vera* L.) is one of the most important horticultural products and of particular economic importance. Most of pistachio orchards are irrigated with saline and low quality water which reduced production in recent years especially in the gardens of Kerman pistachio in recent years. Salinity stress is one of the important factors reducing the land ability in agricultural production and impairing the plant physiological processes and reduced growth and yield eventually. Although research on the effect of natural zeolite on some plant characteristics, but information about the effect of enriched zeolite as a slow release fertilizer or soil conditioner on pistachio plant under saline conditions, there are no resources. The aim of this study is to evaluate the effect of calcium enriched zeolite on some physiological characteristics of pistachio seedlings under salinity stress.

Materials and Methods: In order to investigate the response of pistachio seedlings to salinity and zeolite levels, a factorial experiment was carried out in a completely randomized design in perlite medium with three replications in the greenhouse of agriculture college, Vali-e-Asr University of Rafsangan. Treatments consisted of three levels of zeolite enriched by calcium (0, 10 and 20% W) and four levels of NaCl (0, 75, 150 and 225 mM). 5 germinated seeds were planted in each pot at a depth of 3 cm. Hoagland solution was used for pots irrigation. Pots leaching was carried out with distilled water in the ninth week after planting and according to plan, treatments of sodium chloride (0, 75, 150 and 225 mM) was prepared as a solution added to pots in two phases and once a week. fluorescence Chlorophyll index (F_v/F_m) at 3 times (weeks twelfth, nineteenth and twenty-fourth after planting), concentration of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, proline and protein were measured.

Results: The results showed that, with increasing salinity the concentration of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll decreased significantly. Application of 10% W zeolite increased chlorophyll b by 68 percent. Salinity also decreased the fluorescence chlorophyll index and protein, so that with increasing salinity to 225 mM, fluorescence Chlorophyll index by 8 percent and protein by 37 percent decreased compared to control. Salinity increased leaf proline. Application of zeolite enriched by calcium increased mentioned parameters, so that with increasing 10% W zeolite enriched by calcium to medium, the concentration of proline and protein, increased by 100 and 19.5 percent respectively.

Conclusion: In general it is concluded that the calcium-enriched zeolite (10% W), increased the ability of pistachio seedlings in resistance to salinity stress.

Keywords: Protein, Proline, Calcium enriched zeolite, Chlorophyll fluorescence, Sodium chloride

* Corresponding Author; Email: vmozafary@yahoo.com