

Original article

Effect of zeolite in reducing drought stress on *Sanguisorba minor* plant

Zahra Zamani^{1*}, Reza Tamartash², Mehdi Ghajar Sepanlou³, Zeinab Jafarian Jelodar⁴

1. PhD graduate of Rangeland Science, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
2. Associate Professor, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
3. Assistant Professor, Department of Soil science, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
4. Professor, Department of Rangeland Management, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Received 17 April 2024; Revised 10 November 2024; Accepted 18 November 2024

Extended abstract

Introduction

Drought stress is always one of the main agricultural problems in Iran and the world and is considered an important factor in reducing plant yield, which is defined as a deviation from optimal conditions in plants. Zeolites are porous water-holding aluminosilicate minerals that contain many beneficial elements and have high ion exchange capacity. So that their use in plant growth media with the aim of improving soil structure by increasing water retention capacity in the soil can moderate the harmful effects of drought stress on plants. The aim of the present study is to investigate the effect of different amounts of zeolite on the performance of *Sanguisorba minor* rangeland plants at different levels of drought stress. Assuming that using zeolite superabsorbent can reduce the negative effects of drought stress on plants and provide the best amount of zeolite use in optimal growth conditions combined with stress.

Materials and methods

For this purpose, an experiment was conducted in the greenhouse of the Faculty of Natural Resources of Sari in a completely randomized design with 3 replications. The first factor included zeolite at three levels of 0, 2 and 4% by weight per kilogram of soil and the second factor was the irrigation regime at three levels (20 (as control), 40 and 60% field drainage) applied to *Sanguisorba minor* seedlings. To create each level of drought stress, the method of daily weighing of pots and irrigation according to field capacity was used. For seed cultivation, 20 *Sanguisorba minor* seeds were sown in plastic pots at a depth of one centimeter and each pot was considered as an experimental plot. The pots containing zeolite treatments were regularly irrigated with ordinary water until the establishment stage of *Sanguisorba minor* seedlings (two-leaf stage) and after this stage they were irrigated until the end of harvest to apply drought stress. Number of seedlings The greened plants were reduced to three plants after the adverse factors were eliminated. The experiment continued until the control treatment had normal growth in the greenhouse. Finally, the analysis of variance of the data and comparison of the means were performed

* Corresponding author: Zahra Zamani; E-Mail: zamani.z1395@gmail.com



based on Duncan's test at a probability level of 5% ($P < 0.05$) in SPSS_{var22} software. The graphs were also drawn using Excell software.

Results and discussion

The results of the analysis of variance of vegetative characteristics of *Sanguisorba minor* plant under drought and zeolite stress indicated that drought and zeolite alone and their interaction effects were significant on all investigated variables except the dry weight of aerial parts. Also, the results of comparing the average vegetative characteristics showed that at each level of field capacity depletion, with increasing amount of zeolite, the desired traits increased and showed more favorable growth. The results of the correlation coefficient between the traits measured in the *Sanguisorba minor* plant under drought stress and zeolite also showed that there is a high correlation ($r \geq 0.8$) among all the traits at the level of 1%.

Conclusion

According to the obtained results, it can be said that *Sanguisorba minor* is a relatively resistant plant to drought stress, and adding zeolite to the cultivation medium of this plant in water deficit conditions can moderate the drought stress on the plant, so that the plant in the condition of 40% depletion of field capacity with 4% weight of zeolite, it continues to grow optimally. Also, from the results of the present study, it can be concluded that the use of zeolite can prevent water loss in the condition of dehydration and provide it to the plant, and due to the compatibility of this mineral with nature and its affordable price, its use in the condition Dehydration is recommended. Therefore, it is suggested that by conducting studies on different plant species, drought-tolerant plants can be more accurately identified and introduced in order to use them to create drought-resistant vegetation in agricultural fields and rangelands.

Keywords: Field capacity, Stress, Super absorbent, Yield

اثر زئولیت در کاهش تنش خشکی بر گیاه توت روباه (*Sanguisorba minor* L.)

زهرا زمانی^{۱*}، رضا تمرتاش^۲، مهدی قاجار سپانلو^۳، زینب جعفریان جلودار^۴

۱. دانش‌آموخته دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
۲. دانشیار گروه مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
۳. دانشیار گروه خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
۴. استاد گروه مرتع‌داری، مرتبه علمی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: تنش سوپر جاذب ظرفیت زراعی عملکرد	تنش خشکی همواره یکی از مشکلات اساسی کشاورزی و عامل مهمی در کاهش عملکرد گیاهان به شمار می‌رود. لذا استفاده از زئولیت از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌تواند اثر سوء تنش خشکی را تعدیل نماید. به‌منظور بررسی اثر زئولیت در کاهش تنش خشکی بر گیاه توت روباه آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه دانشکده منابع طبیعی ساری اجرا شد. عامل اصلی شامل سه سطح آبیاری ۲۰ (به‌عنوان شاهد)، ۴۰ و ۶۰ درصد تخلیه زراعی و مقادیر زئولیت در سه سطح صفر، ۲ و ۴ درصد وزنی در هر کیلوگرم خاک به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شده و بر گیاهک‌های توت روباه اعمال شدند. درنهایت داده‌های به‌دست‌آمده در نرم‌افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مشخصات رویشی گیاه <i>Sanguisorba minor</i> بیانگر آن بود که اثر خشکی و زئولیت بر همه متغیرهای موردبررسی به‌جز وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بوده است. همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد در هر سطح از تخلیه ظرفیت زراعی، با افزایش مقدار زئولیت، صفات موردنظر افزایش‌یافته‌اند. نتایج حاصل از ضریب همبستگی میان صفات اندازه‌گیری شده نیز نشان داد که بین تمامی صفات همبستگی بالایی ($r \geq 0.8$) در سطح یک درصد وجود دارد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد توت روباه گیاهی نسبتاً مقاوم به تنش خشکی است و افزودن زئولیت به محیط کشت این گیاه در شرایط کم‌آبی می‌تواند تنش خشکی واردشده بر گیاه را تعدیل نماید به‌طوری‌که گیاه در شرایط ۴۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی توأم با مقدار ۴ درصد وزنی زئولیت همچنان به رشد مطلوب خود ادامه داده است. از طرفی با توجه به سازگاری زئولیت با طبیعت و قیمت مقرون‌به‌صرفه، استفاده از آن در شرایط کم‌آبی توصیه می‌گردد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸ تاریخ انتشار: پائیز ۱۴۰۴ ۵۱۳-۵۱۰ (۳)	

مقدمه

تنش خشکی به‌منزله کمبود آب در گیاه بوده و این وضعیت زمانی ایجاد می‌شود که میزان تعرق از میزان جذب آب بیشتر باشد. تنش خشکی معمولاً باعث برخی پاسخ‌های ظاهری مانند کاهش سطح برگ، کاهش رشد ساقه، افزایش رشد ریشه، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش نرخ رشد، تجمع ناگهانی آنتی‌اکسیدان‌ها و ترکیبات محلول و فعال‌سازی برخی آنزیم‌ها در گیاهان می‌شود (Chehregani Rad et al., 2016). از آنجاکه کشور ایران با متوسط نزولات آسمانی به‌عنوان منطقه خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌گردد، لذا وقوع

رشد و نمو گیاهان به عوامل مختلفی مانند حرارت، نور، اکسیژن، آب و ... در حد مطلوب و در زمان مناسب بستگی دارد (Ghaemi et al., 2019) که کمبود و یا افزایش بیش‌ازحد هریک از عوامل مؤثر بر رشد می‌تواند بر خصوصیات ظاهری، ساختار، عملکرد و رشد و نمو گیاهان اختلال ایجاد نماید (Chehregani Rad et al., 2016; Ghaemi et al., 2019)؛ بنابراین انحراف از شرایط مطلوب در گیاهان به‌عنوان تنش تعریف می‌شود و رشد و باروری گیاهان توسط عوامل تنشی گوناگون زیستی و غیرزیستی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

تنش خشکی در دوره رشد محصولات کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است.

در سال‌های اخیر استفاده از زئولیت که یک ماده معدنی طبیعی و اصلاح‌کننده خاک است به‌منظور تعدیل تنش خشکی در بخش کشاورزی و منابع طبیعی مؤثر واقع شده است (Ahmadi Azar et al., 2015). زئولیت یک ماده معدنی متخلخل متشکل از آلومینوسیلیکات بوده و کاربرد تجاری عمده آن در صنایع به‌عنوان جاذب سطحی است. استفاده از زئولیت علاوه بر بهبود باروری، سبب اصلاح ساختمان فیزیکی و شیمیایی خاک شده که این امر منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک نیز می‌شود (Ahmadi Azar et al., 2015).

از مزایای استفاده از زئولیت در زمینه اصلاح خاک است (Mirzakhani and Maleki, 2015; Huang and Petrovic, 1995). ویژگی جذب انتخابی و آزادسازی کنترل‌شده عناصر غذایی از زئولیت نیز سبب می‌گردد در صورت انتخاب صحیح نوع زئولیت مصرفی از طریق افزایش فراهمی طولانی‌مدت رطوبت و عناصر غذایی به بهبود رشد گیاه کمک کند (Sibi et al., 2011)، به‌طوری‌که در این راستا محققان گزارش نمودند که استفاده از زئولیت شرایط مناسبی برای حفظ رطوبت محیط اطراف ریشه به وجود آورده و ضمن بهبود و توسعه ریشه، شرایط لازم برای جذب آب و مواد غذایی بیشتری فراهم می‌شود (Dehdary et al., 2017).

توت روباه با نام علمی *Poterium sanguisorba* L. یک گیاه چندساله مرتعی متعلق به خانواده Rosaceae بوده که در برخی منابع با نام علمی *Sanguisorba minor* معرفی شده است و در خاک‌هایی با رطوبت متوسط و زهکشی خوب رشد می‌کند و نیز قابلیت رشد در اراضی شیب‌دار و سنگلاخی را دارد (Andrabi et al., 2012). همچنین در توصیف این گیاه بیان شده که در خاک‌های نسبتاً اسیدی تا نسبتاً قلیایی سازگاری خوبی دارد و اسیدیته حدود ۸ را تحمل می‌کند (Ferris and Taylor, 1994). رشد توت روباه در فصل تابستان بوده و در زمستان نیز همیشه‌سبز است (Shariatmadari et al., 2014). این گیاه دارای ساقه برافراشته است که ارتفاع آن در آب‌وهوای مناطق مرطوب تا ۷۰ سانتی‌متر می‌رسد. (Andrabi et al., 2012). در برخی منابع بیان شده گیاه توت روباه تحمل زیادی به شرایط خشک‌سالی دارد که این مقاومت به خشکی ناشی از ویژگی

ریشه راست و ضخیم آن است که توانایی جذب و ذخیره‌سازی آب زیادی را فراهم می‌کند و این شاخصه سبب شده تا با تغییر شرایط محیطی میزان بهره‌برداری خود را از آب تغییر دهد (Zamani et al., 2021).

در رابطه با بررسی اثر تنش خشکی بر گیاهان، مطالعات سودائی زاده و همکاران (Sodaizadeh et al., 2017) در ارزیابی برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه دارویی آویشن قره‌باغی (*Thymus fedtschenko*) تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد آویشن قره‌باغی با به‌کارگیری برخی سازوکارهای دفاعی قابلیت سازگاری با شرایط خشک را دارا است. پژوهش قائمی و همکاران (Ghaemi et al., 2019) نیز در بررسی اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و میزان تولید اسانس در گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در مراحل مختلف رشد نشان داد تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی داشته است. همچنین پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با تأثیر زئولیت توأم با اعمال تنش خشکی بر عملکرد شاهدانه (Bahador et al., 2017)، کلزا (Gholamhoseini et al., 2008; Zahedi et al., 2009) و گندم (Tsadilas and Argyropoulos, 2006) معنی‌دار بوده است. لذا با توجه به مطالعات انجام‌شده هدف از اجرای این آزمایش بررسی مقادیر مختلف زئولیت بر عملکرد گیاه مرتعی توت روباه در سطوح مختلف تنش خشکی بوده است با این فرض که با استفاده از سوپر جاذب زئولیت بتوان اثرات منفی ناشی تنش خشکی بر گیاه را کاهش داد و بهترین مقدار استفاده از زئولیت را در شرایط رشد مطلوب توأم با تنش ارائه نمود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در شرایط گلخانه با ۱۲ ساعت روشنایی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۲ ساعت تاریکی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (Ahmadi Azar et al., 2015) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده منابع طبیعی ساری انجام گردید. به‌منظور بررسی اثر زئولیت بر گیاه توت روباه تحت تنش خشکی، تیمار زئولیت در سه سطح صفر، ۲ و ۴ درصد وزنی در هر کیلوگرم خاک و تیمار خشکی در سه سطح ۲۰ (به‌عنوان شاهد)، ۴۰ و ۶۰ درصد تخلیه زراعی در نظر گرفته شد و اعمال گردید. زئولیت مورد استفاده در این مطالعه با نام

کلینوپتیلولایت از شرکت صادرات ژئولیت ایران در تهران تهیه شد.

برای ایجاد هر سطح تنش خشکی از روش توزین روزانه گلدان‌ها و آبیاری برحسب ظرفیت زراعی اعمال شد. برای کشت بذر، تعداد ۲۰ عدد بذر توت روباه که از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شده بود در داخل گلدان‌های پلاستیکی (با قطر دهانه ۲۵ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) در عمق یک سانتی‌متری کشت گردید و هر گلدان به‌عنوان یک قاب آزمایشی در نظر گرفته شد. قبل از کشت، گلدان‌ها به‌خوبی ضدعفونی و برای ایجاد زهکشی مناسب ته گلدان سوراخ شد. برای دقت در آزمایش تمامی گلدان‌های پلاستیکی پر شده از خاک، به‌طور یکسان وزن گردیدند. نمونه ترکیب خاک استفاده‌شده در گلدان‌ها برای تجزیه مشخصات خاک به آزمایشگاه انتقال و مورد آزمایش قرار گرفتند. گلدان‌های حاوی تیمارهای ژئولیت تا مرحله استقرار گیاهک‌های توت روباه (مرحله دوبرگی) به‌طور مرتب با آب معمولی آبیاری و پس‌ازاین مرحله تا پایان برداشت برای اعمال تنش خشکی آبیاری شدند. تعداد گیاهک‌های سبز شده پس از برطرف شدن عوامل نامساعد به سه بوته تقلیل یافت. آزمایش تا زمانی که تیمار شاهد در گلخانه رشد طبیعی داشت ادامه یافت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۱. نتایج حاصل از تجزیه ژئولیت کلینوپتیلولایت

Table 1. The results of the analysis of clinoptilolite zeolite

ترکیبات										
Compounds	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
درصد %	0.02	0.04	0.07	1.86	2.97	0.19	1.29	4.2	10.95	67.1

Table 2. The properties of the soil used

بافت	شن	سیلت	رس	اسیدیته	هدایت الکتریکی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	ماده آلی
Texture	Sand	Silt	Clay	pH	EC	K	P	N	Organic matter
	%				dS m ⁻¹			%	
شنی-لومی	47.27	37.62	15.1	6.71	0.55	543.46	23.37	0.084	2.05
Sandy-loud									

آن بود که خشکی و ژئولیت هرکدام به‌تنهایی و نیز اثر متقابلشان بر همه متغیرهای موردبررسی به‌جز وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بوده است (جدول ۳). در این راستا نتایج

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشخصات رویشی گیاه *Sanguisorba minor* تحت تنش خشکی و ژئولیت بیانگر

معناداری داشت. این در حالی است که نتایج مطالعات احمدی آذر و همکاران (Ahmadi Azar et al., 2015) نشان داد اثرات متقابل تنش خشکی و کاربرد ژئولیت بر طول ریشه معنی‌دار نبود که این امر می‌تواند ناشی از محصور بودن ریشه‌ها و عدم فرصت کافی برای رشد گیاه باشد.

حاضر با مطالعات میرزاخانی و ملکی (Mirzakhani and Maleki, 2015) و مطالعات کریمی و همکاران (Karimi et al., 2013) مطابقت دارد. همچنین مطالعات شاه‌حسینی و همکاران (Shahhoseini et al., 2012) بر گیاه دارویی ریحان نشان داد که پلیمر سوپر جاذب آب بر تمامی صفت‌های اندازه‌گیری شده به‌جز ارتفاع بوته و وزن خشک اثر

جدول ۳. تجزیه واریانس مشخصات رویشی *Sanguisorba minor* تحت تنش خشکی و ژئولیت.

Table 3. Variance analysis of vegetative specifications of *Sanguisorba minor* drought stress and zeolite.

وزن خشک	وزن خشک	وزن خشک	وزن خشک	وزن خشک	وزن خشک	وزن خشک	وزن خشک
اندام هوایی	اندام زیرزمینی	اندام هوایی	اندام زیرزمینی	اندام زیرزمینی	اندام زیرزمینی	اندام زیرزمینی	اندام زیرزمینی
Dry weight of aerial parts	Dry weight of the underground organ	Aerial body fresh weight	The weight of the underground organ	طول ساقه	طول ریشه	درجه آزادی	منبع تغییرات
				Stem length	Root length	df	S.O.V
2.949*	0.485**	2.323**	1.673**	131.574**	117.254**	2	خشکی
0.357*	0.145*	0.225*	0.300*	49.374**	14.029*	2	ژئولیت
0.130 ^{ns}	0.015*	0.017*	0.020*	5.381*	3.124*	4	ژئولیت*خشکی
0.090	0.004	0.005	0.001	0.059	0.054	18	خطا
4.9	3.5	5.1	7.2	3.5	4.1		ضریب تغییرات
							CV(%)

***: معنی‌داری در سطح ۱ درصد *: معنی‌داری در سطح ۵ درصد ns: عدم معنی‌داری

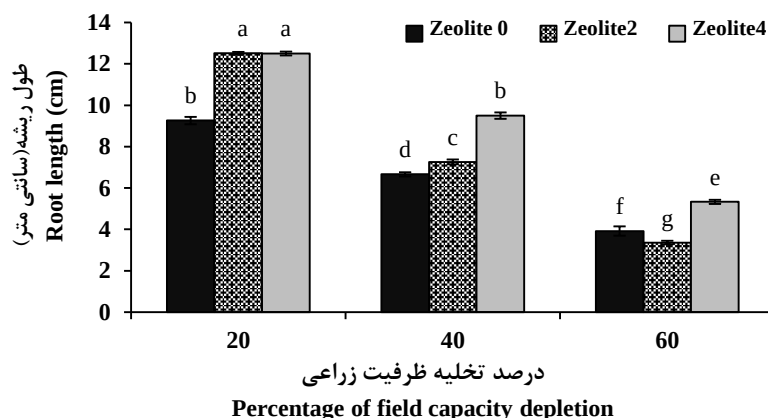
***:significance at 1% level *: significant at the 5% level ns: non-significance

یافته‌های حاصل از مقایسه میانگین طول ساقه در سطوح مختلف خشکی و ژئولیت نیز نشان داد در سطح ۲۰ و ۴۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری میان ۲ و ۴ درصد وزنی ژئولیت از نظر طول ساقه وجود ندارد. این در حالی است که میان سطح ۴۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی توأم با عدم مصرف ژئولیت و سطح ۶۰ درصد تخلیه زراعی همراه با ۴ درصد وزنی نیز اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود. ولو آنکه در سطح ۶۰ درصد تخلیه زراعی همراه با مقادیر مختلف ژئولیت اختلاف معناداری وجود دارد (شکل ۲).

به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد با افزایش سطوح خشکی طول ساقه کاهش می‌یابد و با افزایش مقدار ژئولیت در هر سطح خشکی تا حدودی این کاهش طولی جبران می‌گردد. در این راستا احمدی آذر و همکاران (Ahmadi Azar et al., 2015) و توحیدی مقدم و همکاران (Tohidi-Moghadam et al., 2009) بیان نمودند تنش خشکی موجب کاهش طول ساقه و ایجاد حالت کوتاه‌قدی در گیاهان می‌گردد. یکی از علت‌های کاهش طولی گیاه در شرایط تنش خشکی این‌گونه بیان شده است که فعالیت آنزیم ایندول

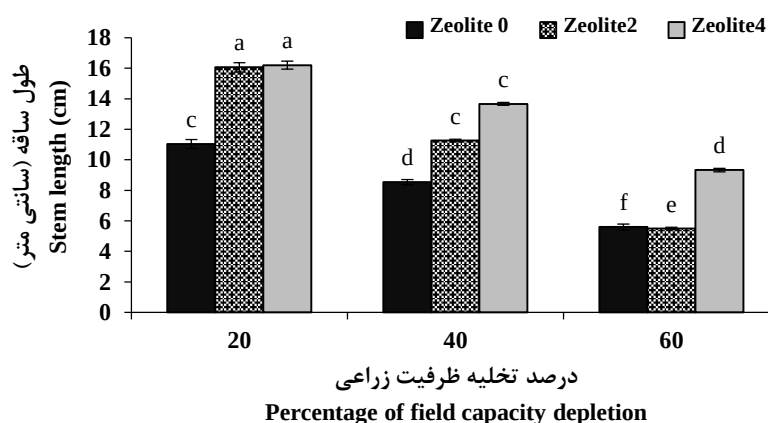
نتایج حاصل از مقایسه میانگین طول ریشه در سطوح مختلف خشکی و ژئولیت بیانگر آن بود که با افزایش درصد ژئولیت در هر سطح از ظرفیت زراعی طول ریشه افزایش یافت که این امر نشان‌دهنده اثر معنی‌دار ژئولیت بر طول ریشه است که با نتایج پژوهش کریمی و همکاران (Karimi et al., 2013) هم‌خوانی دارد. همچنین نتایج نشان داد در سطح ۲۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی همراه با ۲ درصد وزنی ژئولیت در مقایسه با ۴ درصد وزنی ژئولیت تفاوت معناداری مشاهده نشد. در حالی که در سایر سطوح تنش خشکی و ژئولیت اختلاف معناداری از نظر طول ریشه وجود داشت (شکل ۱). به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد گرچه درصد متفاوت ژئولیت عامل معنی‌داری در سطوح مختلف ظرفیت زراعی است، اما تنش خشکی عامل مهم‌تر و اثرگذارتری بر گیاه به شمار می‌رود به‌طوری‌که در شرایط یکسان از مصرف ژئولیت افزایش تنش خشکی رشد طولی ریشه گیاه را محدود کرده است. به‌طور کلی ژئولیت به‌احتمال زیاد با ممانعت از کاهش رطوبت در محل ریشه گیاه، در هر سطح از تنش تا حدی کمبود آب خاک را جبران می‌کند (Bahador et al., 2017).

استیک اسید اکسیداز در بافت‌های گیاهی با رشد سریع، بسیار کم است درحالی‌که فعالیت این آنزیم در شرایط تنش کم‌آبی افزایش یافته و موجب تجزیه هورمون اکسین در گیاه می‌گردد (Najafi and Mohammadi, 2015).



شکل ۱. اثر سطوح مختلف خشکی و زئولیت بر طول ریشه گیاه توت روباه

Fig. 1. Effect of different levels of dryness and zeolite on root length of *Sanguisorba minor* plant



شکل ۲. اثر سطوح مختلف خشکی و زئولیت بر طول ساقه گیاه توت روباه

fig2. Effect of different levels of dryness and zeolite on steam length of *Sanguisorba minor* plant

همخوانی دارد. به نظر می‌رسد علت این امر در آن است که با کاهش پتانسیل اسمزی، انرژی آزاد آب کاهش یافته و گیاه برای به دست آوردن مقدار مشخصی آب باید انرژی حیاتی بیشتری صرف کند، لذا بخشی از انرژی خود گیاه که برای رشد و نمو به آن نیاز دارد صرف به دست آوردن آب شده و بدین ترتیب رشد عمومی آن کاهش می‌یابد. همچنین مطالعات نشان می‌دهد در شرایط کم‌آبیاری تعادل بین ذخیره آب برگ و میزان ترقق برهم‌خورده و در نتیجه بیلان آبی سلول‌ها کاهش می‌یابد که این پیامد به کاهش آماسیدگی سلولی منجر می‌گردد. کاهش مقدار ترقق از طریق بسته شدن روزنه‌ها نیز افت فعالیت فتوسنتزی گیاه را در پی دارد که

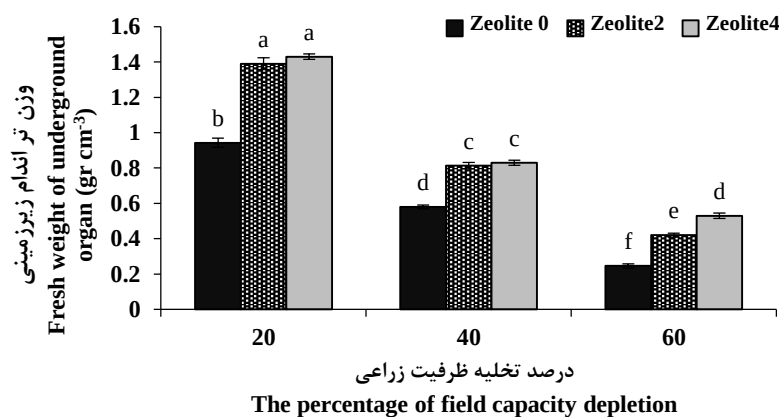
مطالعات مختلف در این زمینه نشان می‌دهد تنش خشکی، رشد گیاه را با اثرگذاری بر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی کاهش می‌دهد و افزودن زئولیت به خاک و افزایش مصرف این کانی سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده و در نتیجه با افزایش تنش رطوبتی، زئولیت موجود به تدریج آب و مواد غذایی محلول در آب را در اختیار گیاه قرار می‌دهد و جلوگیری از کاهش طول ساقه را موجب می‌گردد (Farooq et al., 2009). همچنین نتایج این پژوهش با یافته‌های اسپکت و همکاران (Specht et al., 2001)، وو و همکاران (Wu et al., 2008)؛ ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2004)، ساندرا و همکاران (Sandra et al., 2005) و قائمی و همکاران (Ghaemi et al., 2019)

زئولیت اختلاف معناداری وجود ندارد؛ و جز در این حالت، میان تمام سطوح تخلیه ظرفیت زراعی و زئولیت اختلاف معنی‌داری از نظر وزن خشک اندام زیرزمینی دیده می‌شود (شکل ۴). در بررسی وزن تر و خشک اندام زیرزمینی محققین بیان نمودند زمانی که سوپر جاذب زئولیت به خاک افزوده می‌شود، این کانی رسی مانند یک مخزن ذخیره آب عمل کرده و در زمان کمبود آب، مدت حفظ رطوبت در خاک را افزایش داده و تر شدن و پخش شدن مجدد آب در ناحیه ریشه بعد از آبیاری به سرعت افزایش یافته که منجر به تعدیل تنش ناشی از کم‌آبی به گیاه می‌گردد (Ahmadi Azar et al., 2015; Mahdavi et al., 2013; Savvas et al., 2004; Taiz and Zeiger, 2010).

در نهایت منجر به کاهش صفات ریختی گیاه همچون طول ساقه می‌شود (Joleini et al., 2020).

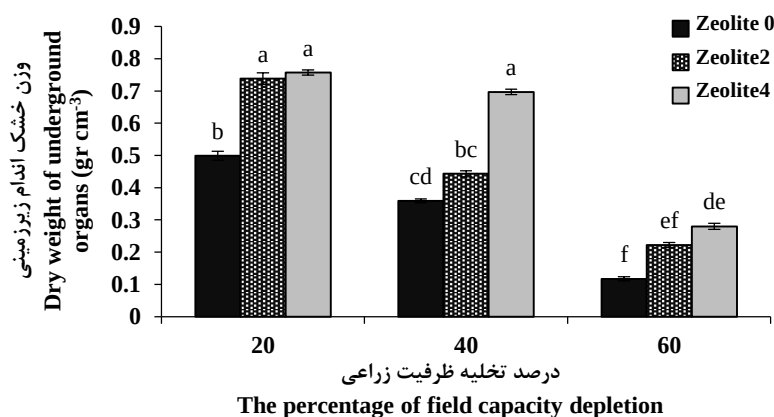
طبق نتایج دریافتی از مقایسه میانگین وزن تر اندام زیرزمینی (شکل ۳)، در سطح ۲۰ و ۴۰ درصد تخلیه زراعی همراه با مصرف ۲ و ۴ درصد وزنی زئولیت تفاوت معناداری مشاهده نشد. همچنین در سطح ۴۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی همراه با عدم مصرف زئولیت با سطح ۶۰ درصد تخلیه زراعی و ۴ درصد وزنی زئولیت اختلاف معناداری از نظر وزن تر اندام زیرزمینی وجود ندارد.

مقایسه میانگین وزن خشک اندام زیرزمینی نیز نشان داد در سطح ۲۰ درصد تخلیه زراعی همراه با ۲ و ۴ درصد وزنی زئولیت و سطح ۴۰ درصد تخلیه زراعی همراه با ۴ درصد وزنی



شکل ۳. اثر سطوح مختلف خشکی و زئولیت بر وزن تر اندام زیرزمینی گیاه توت روباه

Fig. 3. The effect of different levels of dryness and zeolite on the wet weight of the underground organs of *Sanguisorba minor* plant



شکل ۴. اثر سطوح مختلف خشکی و زئولیت بر وزن خشک اندام زیرزمینی گیاه توت روباه

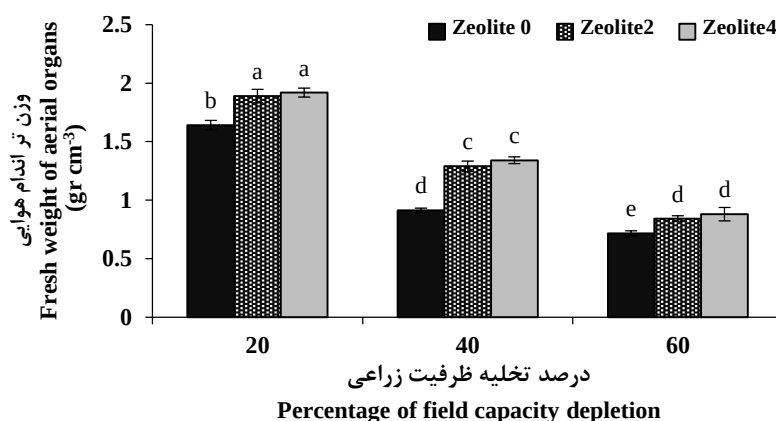
Fig. 4. The effect of different levels of dryness and zeolite on the dry weight of underground organs of *Sanguisorba minor* plant

(Ahmadi Azar et al., 2015) در این زمینه نشان داد در شرایط عدم ژئولیت با افزایش تنش از ۱۰۰ به ۵۰ درصد حد ظرفیت مزرعه هم وزن تر و هم وزن خشک اندام هوایی کاهش یافتند، که علت این امر کاهش میزان آب قابل دسترس گیاه است. همچنین بیان نمودند در سطوح دیگر ژئولیت نیز با کاهش رطوبت خاک، میزان وزن تر و وزن خشک اندام هوایی کاهش معناداری پیدا کرده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. مکانیسم اثر ژئولیت در خاک بدین صورت بیان شده است که در شرایطی که رطوبت خاک پای گیاه از میزان متعارف آن کمتر باشد، قبل از محبوس شدن آب در کانال‌های ژئولیت، گیاه همان میزان رطوبت را مورد استفاده قرار می‌دهد، درحالی‌که در شرایط آب بیشتر، قبل از مصرف آب توسط گیاه، کانال‌های ژئولیت این رطوبت را در خود نگه داشته و از دسترس گیاه خارج می‌نمایند (Nabati and Rezvani Moghadam, 2010).

نتایج حاصل از بررسی ضریب همبستگی میان صفات اندازه‌گیری شده در گیاه توت روباه تحت تنش خشکی و ژئولیت نشان داد که میان تمامی صفات مورد بررسی همبستگی بالایی در سطح یک درصد وجود دارد (جدول ۴). این امر بیانگر آن است که هرگونه تغییر در مشخصات رویشی گیاه توت روباه اثر مستقیم بر سایر صفات داشته و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ به عبارت دیگر، گیاه برای بقا در محیط تنش‌زا طیف وسیعی از واکنش‌های ریختی، فیزیولوژیکی و مولکولی که در ارتباط با هم هستند را برای مقابله با تغییر ایجاد شده به کار می‌بندد (Zeglin et al., 2013; Joleini et al., 2020).

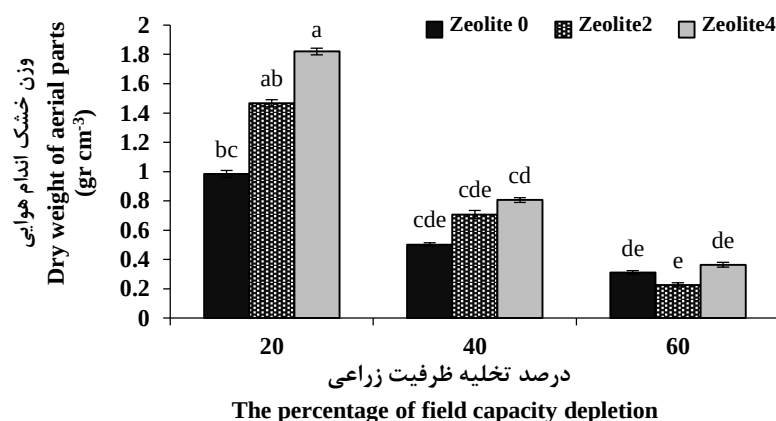
نتایج حاصل از مقایسه میانگین وزن تر اندام هوایی بیانگر آن بود که در هر سطح از تخلیه ظرفیت زراعی همراه با ۲ و ۴ درصد وزنی ژئولیت اختلاف معناداری از نظر وزن تر اندام هوایی وجود نداشت (شکل ۵). همچنین در هر سطح از تخلیه ظرفیت زراعی با افزایش مقدار ژئولیت وزن تر اندام هوایی افزایش یافت که این مقدار در مقایسه با عدم مصرف ژئولیت معنادار بود. شجاعی و همکاران (shojaei et al., 2013) نیز در نتایج بررسی‌های خود بیان نمودند کاربرد ژئولیت، کاهش ویژگی‌های رویشی گیاه شلغم روغنی (*Brassica ropa*) را در اثر تنش خشکی تقلیل داده است. نتایج مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد، با استفاده از ژئولیت در شرایط تنش خشکی تا حدودی می‌توان از کاهش عملکرد با استفاده از راهکارهای مدیریتی کاست (Ahmadi Azar et al., 2015; Mirzakhani and Maleki, 2015; Agooshi et al., 2015).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی در سطوح مختلف درصد تخلیه ظرفیت زراعی و ژئولیت بیانگر آن است که در سطح ۲۰ درصد تخلیه زراعی توأم با مقادیر ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی ژئولیت اختلاف معناداری با سایر سطوح تخلیه زراعی و ژئولیت دیده می‌شود. کما اینکه در سطح ۴۰ درصد تخلیه زراعی همراه با عدم مصرف ژئولیت و ۲ درصد وزنی ژئولیت تفاوت معناداری دیده نمی‌شود. همچنین یافته‌های دریافتی از این پژوهش نشان می‌دهد در سطح ۶۰ درصد تخلیه زراعی همراه با مقادیر صفر و ۴ درصد وزنی ژئولیت تفاوت ایجاد شده از نظر وزن خشک اندام هوایی معنادار نشده است (شکل ۶). مطالعات احمدی آذر و همکاران



شکل ۵. اثر سطوح مختلف خشکی و ژئولیت بر وزن تر اندام هوایی گیاه توت روباه

Fig. 5. The effect of different levels of dryness and zeolite on fresh weight of aerial parts of *Sanguisorba minor* plant



شکل ۶. اثر سطوح مختلف خشکی و زئولیت بر وزن خشک اندام هوایی گیاه توت روباه

Fig. 6. The effect of different levels of dryness and zeolite on dry weight of aerial parts of *Sangisorba minor* plant

جدول ۴. ضریب همبستگی میان مشخصات رویشی *Sangisorba minor* تحت تنش خشکی و زئولیت

Table 4. Correlation coefficient between vegetative characteristics of *Sangisorba minor* under drought stress and zeolite

		1	2	3	4	5	6
1	ریشه	1					
Root							
2	ساقه	0.986**	1				
Steam							
3	وزن تر اندام زیرزمینی	0.950**	0.926**	1			
Fresh weight of the underground organs							
4	وزن تر اندام هوایی	0.944**	0.914**	0.975**	1		
Aerial body fresh weight							
5	وزن خشک اندام زیرزمینی	0.939**	0.921**	0.908**	0.877**	1	
Dry weight of the underground organ							
6	وزن خشک اندام هوایی	0.855**	0.828**	0.869**	0.862**	0.781**	1
Dry weight of aerial parts							

**: همبستگی در سطح ۰/۰۱، *: همبستگی در سطح ۰/۰۵

*: Correlation at 0.01 level, **: Correlation at 0.05 level

می‌گردد. لذا پیشنهاد می‌شود با انجام مطالعات در رابطه با گونه‌های گیاهی متفاوت بتوان گیاهان متحمل به خشکی را دقیق‌تر شناسایی و معرفی کرد تا از آن‌ها در جهت ایجاد پوشش گیاهی مقاوم به خشکی در زمینه‌های زراعی و مرتع کاری استفاده نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به جهت در اختیار قرار دادن امکانات لازم برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر به‌طور کلی می‌توان بیان نمود *Sangisorba minor* گیاهی نسبتاً مقاوم به تنش خشکی است و افزودن زئولیت به محیط کشت این گیاه در شرایط کم‌آبی می‌تواند تنش خشکی وارد شده بر گیاه را تعدیل نماید به‌طوری‌که گیاه در شرایط ۴۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی توأم با مقدار ۴ درصد وزنی زئولیت به رشد مطلوب خود ادامه داده است. همچنین از نتایج مطالعه حاضر استنباط می‌شود استفاده از زئولیت می‌تواند از اتلاف آب در شرایط کم‌آبی جلوگیری کند و آن را در اختیار گیاه قرار دهد و با توجه به سازگاری این ماده معدنی با طبیعت و قیمت مقرون‌به‌صرفه استفاده از آن در شرایط کم‌آبی توصیه

منابع

- Agooshi, M., Ghajar Sepanlou, M., Bahmanyar, M., 2015. Effect of zeolite application on the yield and quality of soybean under water and non-water stress. *Journal of Plant Production Research*. 22(2), 173-187. [In persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222050.1394.22.2.9.8>
- Ahmadi Azar, F., Hasanloo, T., Feizi, V., 2015. Water stress and mineral zeolite application on growth and some physiological characteristics of Mallow (*Malva sylvestris*). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 28(3), 459-474. [In persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1394.28.3.1.0>
- Andrabi, S.M., Rehman, W., Reshi, Z.A., Naqsi, A.R., Ganie, A.H., 2012. *Sanguisorba minor scop.* (Rosaceae), a new addition to the Indian flora. *Taiwania*. 57(4), 410-412. DOI:10.6165/tai.2012.57.410
- Bahador, M., Tadayon, M.R., Rafie-alhoseini, M., Salehi, M.H., 2017. Changes of Canopy Temperature and Some Physiological Traits of Hemp (*Cannabis sativa*) Under Deficit Water Stress and Zeolite Rates. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 10(2), 269-279. [In persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.583>
- Chehregani Rad, A., Khorzaman, N., Lari Yazdi, H., Shirkhani, Z., 2016. Changes in vegetative traits and physiological indicators of bean plants under zinc stress in hydroponic cultivation environment. *Quarterly Journal of Developmental Biology*. 8(2), 31-39. [In persian]. <https://sanad.iau.ir/Journal/jdb/Article/1041933>
- Dehdary, S., kuhansani, Z., shojaee, F., kazemi, R., 2017. Study the effects of using zeolite on the prototypical stages of growth in pasture species: *Cymbopogon Olivieri*, *Medicago sativa* and *Medicago scutellata*. *Journal of Range and Watershed Management*. 70(2), 333-344. [In persian]. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.226863.1101>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29(1), 185-212. <https://hal.science/hal-00886451v1>
- Ferris, R., Taylor, G., 1994. Elevated CO₂ water relations and biophysics of leaf extension in four chalk grassland herbs. *New Phytologist*. 127(2), 297-307. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1994.tb04280.x>
- Ghaemi, M., Zare, Z., Nasiri, Y. M., 2019. Effect of drought stress on some morphological characteristics and essential oil production levels of *Ocimum basilicum* in different stages of growth and development. *Quarterly Journal of developmental Biology*. 11, 15-26. [In persian]. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/1041636>
- Gholamhoseini, M., Aghaalikhani, M., Malakouti, M.J., 2008. Effect of natural zeolite and nitrogen rates on Canola forage quality and quantity. *JWSS- Journal of Water and Soil Science*. 12(45), 537-548. [In persian]. <http://dori.net/dor/20.1001.1.24763594.1387.12.45.44.1>
- Huang, Z.T., Petrovic, A.M., 1994. Physical properties of sand as affected by clinoptilolite zeolite particle size and quantity. *Journal of Turfgrass Management*. 1(1), 1-15. https://doi.org/10.1300/J099v01n01_01
- Joleini, M., FazeliKakhki, S., Rezvani, H., Goldani, M., 2020. Effect of Irrigation Interval on Morphological, Yield components and seed oil characteristics of evening primrose plant (*Oenothera biennis* L.) in field conditions. *Journal of Water and Sustainable Development*. 7(3), 73-82. [In persian]. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v7i3.87122>
- Karimi, S., Nasri, M., Ghoshchi, F., 2013. Investigation of drought stress on agro-physiological indices of sunflower (*Helianthus annuus* L.) with zeolite application tested in the region of Varamin.. *International Journal of AgriScience*. 3(12), 894-903.
- Mahdavi, B., Modarres Sanavy, S.A.M., Aghaalikhani, M., Sharifi, M., 2013. Effect of chitosan on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed germination and antioxidant enzymes activity under water stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 26(3), 352-365. [In persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1394.26.3.12.7>
- Mirzakhani, M., Maleki, G.R., 2015. Evaluation of some physiological characteristics of wheat under water stress conditions and zeolite

- application. Journal of Agriculture (Research and construction). 28(107), 58-66. [In persian].
<https://doi.org/10.22092/aj.2015.105687>
- Moshatati, A., Khodaei Joghhan, A., Siadat, S. A., Mousavi, S. H., Rezaei, M., 2019. The effect of cattle manure and zeolite on bread wheat yield under drought stress condition. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12(4), 1179-1188. [In persian].
<https://doi.org/10.22077/escs.2019.2124.1527>
- Nabati, J., Rezvani Moghadam, P., 2010. Effect or irrigation intervals on the yield and morphological characteristics of forage millet, sorghum and corn. Iranian Journal of Field Crop Science. 41(1), 179-186. [In persian].
<https://dor.net/dor/20.1001.1.20084811.1389.4.1.1.18.7>
- Nafeie, O., Mozafari, H., Rajabzadeh, F., 2021. Investigation of the effect of application of natural zeolite and zinc sulfate on agronomic traits and wheat yield (*Triticum aestivum*) of mahdavi cultivar. Scientific-Research Journal of Plant Ecophysiology. 13(46), 15-27. [In persian].
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1400.13.46.2.6>
- Najafi, F., Mohammadi, F., 2015. Effect of indoleacetic acid on growth, protein, catalase and peroxidase contents in Soybean plant (*Glycine max* (L.) Merr) under aluminum chloride stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 28(1), 186-198. [In persian].
<https://dor.net/dor/20.1001.1.23832592.1394.2.8.1.17.2>
- Sandras, J., Roda, F., Penuelas, J., 2005. Effects of water and nutrient pulse supply on *Rosmarinus officinalis* growth, nutrient content and flowering in the field. Environmental and Experimental Botany. 53(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.02.007>
- Savvas, D., Samantouros, K., Paralemos, D., Vlachakos, G., Stamnatakis, M., Vassilatos, C., 2004. Yield and nutrient status in the root environment of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) grown on chemically active and inactive inorganic sunbstrates. International Symposium on Growing Media and Hydroponics. 644, 377-383.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.644.50>
- Shahhoseini, R., Omidbaigi, R., Kiani, D., 2012. Effect of biological fertilizers of biosulfur, nitroxin and super absorbent polymer on growth, yield and essential oil content of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Horticulture Science. 26(3), 246-254. [In persian].
<https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.15193>
- Shariatmadari, N., Yazdanpanah, M. M., Saeidijam, S., 2014. The effect of sodium choride on swelling, compressibility and permeability of bentonite. Journal of Engineering Geology. 8, 2261-2276. [In persian].
- Shojaei, A., delkhosh, B., shiranirad, A., noormohammadi, G., 2013. Effects of potassium and zeolite on quantitative and qualitative characteristics of turnip oil (*Brassica rapa* L.) in drought stress of the end of season. Journal of Crop Production in Environmental Stress. 4(4), 51-62. [In persian].
<http://irdoi.ir/810-529-675-005>
- Sibi, M., Mirzakhani, M., Gomarian, M., 2011. Effect of water stress, taking zeolite and salicylic acid on yield and yield components of spring safflower. Science- Reserch Quarterly Journal. New Finding in Agriculture. 5(3), 275-290. [In persian].
<https://sanad.iau.ir/en/Journal/nfa/Article/1086523/FullText>
- Sodaiizadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady Maibody, S.A.M., Hakimzadeh, M.A., 2017. Evaluation of some physiological characteristics of *Thymus fedtschenko* under different levels of water stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 9(4), 423-427. [In persian].
<https://doi.org/10.22077/escs.2017.470>
- Specht, J.E., Chase, K., Macrander, M., Graef, G.L., Chung, J., Markwell, J.P., Germann, M., Orf, J.H., Lark, K.G., 2001. Soybean response to water. A QTL analysis of drought tolerance. Crop Science. 41(2), 493 – 509.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412493x>
- Taiz, L., Zeiger, E., 2010. Plant Physiology, 5th Edition. SinauerAssociates, Sunderland, 782 p.
- Tohidi-Moghadam, H. R., Shirani-Rad, A. H., Nour-Mohammadi, G., Habibi, D., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi-Akbar-Boojar, M., Dolatabadian, A., 2009. Response of six oil seed rape genotypes to water stress and hydrogel application. Pesquisa Agropecuária Tropical. 39(3), 243-250.

- Torabi, A., Farahbakhsh, H., Khajoienejad, G. R. 2013. Effect of different irrigation regimes and zeolit super absorbent on the yield and yield components of forage sorghum. *Journal of Crops Improvement*, 15(3), 1-14. [In persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2013.36382>
- Tsadilas, C. D., Argyropoulos, G., 2006. Effect of clinoptilolite addition to soil on wheat yield and nitrogen uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37, 2691-2699. <https://doi.org/10.1080/00103620600830088>
- Wu, Q.S., Xia, R.X., Zou, Y.N., 2008. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *European Journal of Soil Biology*. 44(1), 122 – 128. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.10.001>
- Zahedi, H., Noormohammadi, G., Shiranirad, A. H. S., Habibi, D., Boojari, M. M. A., 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. *Notulae Scientia Biologicae*. 1(1), 73-80. <https://doi.org/10.15835/nsb113500>
- Zamani, Z., Tamartash, R., Ghajar Sepanlu, M., and Jafarian Jelodar, Z., 2021. Investigating drought stress tolerance of *Sanguisorba minor* plant in laboratory conditions. The 10th National Conference on Environment, Energy and Sustainable Natural Resources. 1-8p. [In persian]. <https://civilica.com/doc/1040239>
- Zeglin, L. H., Bottomley, P. J., Jumpponen, A., Rice, C. W., Arango, M., Lindsley, A., McGowan, A., Mfombep, P., Myrold, D. D., 2013. Altered precipitation regime affects the function and composition of soil microbial communities on multiple time scales. *Ecology*. 94(10), 2334-2345. <https://doi.org/10.1890/12-2018.1>
- Zhang, M., Duan, L., Zhai, Z., Li, J., Tian, X., Wang, B., He, Z., Li, Z., 2004. Effects of plant growth regulators on water deficit-induced yield loss in soybean. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*, Brisbane, Australia.