

تغییرات دمای سایه‌انداز و برخی صفات فیزیولوژیک شاهدانه (*Cannabis sativa*) تحت تنش کم آبی و سطوح زئولیت

محمود بهادر^۱، محمودرضا تدین^{۲*}، محمد رفیعی‌الحسینی^۳، محمدحسن صالحی^۴
۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۲. دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۳. استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۴. استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۲۳

چکیده

شاهدانه (*Cannabis sativa*) از جمله گیاهان دانه روغنی و دارویی بوده و استفاده از شاهدانه جهت دارو در ایران، از ۱۵۰۰ سال قبل از میلاد مرسوم بوده است. به منظور بررسی اثر تنش خشکی و زئولیت بر سطح و وزن برگ، دمای کانوپی، رطوبت نسبی برگ، نشت الکترولیت‌ها و عملکرد شاهدانه، آزمایشی در سال ۱۳۹۳ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه شهرکرد اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در چهار سطح (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی) و عامل فرعی زئولیت در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بود. نتایج نشان داد برهمکنش آبیاری و زئولیت بر همه صفات به‌جز دمای کانوپی معنی‌دار بود. تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار بیشترین عملکرد دانه، وزن و سطح برگ و رطوبت نسبی را به خود اختصاص داد. در حالی که تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد زئولیت، بیشترین درصد نشت الکترولیت‌ها از برگ را نشان داد. با توجه به یکسان بودن مقادیر تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۱۰ تن زئولیت، با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و بدون زئولیت از نظر محتوای رطوبت نسبی برگ، به‌کارگیری زئولیت جهت تولید عملکرد دانه بالاتر در گیاه روغنی-پروتئینی شاهدانه، در شرایطی که گیاه مواجه با تنش کم آبی باشد، توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: زئولیت، شاخص سطح برگ، نشت الکترولیت‌ها، نیاز آبی، همبستگی صفات.

مقدمه

زئولیت، باهدف تخفیف اثرات منفی تنش خشکی، از جمله اقداماتی است که موجب می‌گردد تا خسارت‌های وارده به گیاهان زراعی کاهش یابد. یکی از روش‌های مشخص کردن وضعیت تنش خشکی در گیاه، اندازه‌گیری دمای کانوپی است. تحت شرایط تنش خشکی گیاهی که در نیم‌روز دمای سایه‌انداز پایین‌تری دارد، به‌طور نسبی وضعیت آبی بهتری نیز دارا هست (Karimzadeh soureshjani et al., 2011). هم‌چنین سطح برگ به‌عنوان مهم‌ترین اندام در تعرق گیاه بوده و در کنترل مصرف آب در گیاهان نقشی اساسی دارد. در نتیجه، مقادیر ناچیز تنش آبی حتی در مراحل رویشی گیاه،

شاهدانه (*Cannabis sativa*) از گیاهان زراعی قدیمی است که دارای خواص دارویی متعددی است. دانه آن به‌عنوان نیروبخش، مسهل، ملین و نرم‌کننده و در تهیه داروهای مسکن و ضد انگل استفاده می‌شود (Dadkhah, 2010). با توجه به بروز تنش خشکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا، گستره وسیعی از مناطق کره زمین تحت تأثیر کمبود آب است. طبق تعریف، زمانی که ریشه گیاه قادر به جذب رطوبت ریزوسفر نباشد و یا تعرق بیش از جذب آب صورت گیرد، تنش رطوبتی بروز کرده است (Benjamin, 2007). به همین جهت، استفاده از مواد نگه‌دارنده رطوبت مانند

بوده و برای مقایسه وضعیت آب بافت‌ها و گونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lawlor and Cornic, 2002). نتایج پژوهش‌های انجام‌شده حاکی از تأثیر معنی‌دار زئولیت، تنش خشکی و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد دانه آفتابگردان (Zahedi, 2009; Gholamhoseini et al., 2007)، کلزا (Gholamhoseini et al., 2008; Safaei, 2008) و گندم (Tsadilas and Argyropoulos, 2010) بود. با توجه به‌قرار گرفتن کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک، لزوم استفاده از مواد نگه‌دارنده رطوبت و هم‌چنین مواد مغذی همراه با آبیاری احساس می‌شود. به همین دلیل، هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثرات زئولیت در افزایش راندمان عملکرد گیاه زراعی شاهدانه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۳ در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد (با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی) اجرا شد. ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ بیان شده است.

سرعت رشد برگ و درنهایت شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد (Rucker et al., 1995). کاهش سطح برگ تحت تنش خشکی می‌تواند مربوط به کاهش طولیل شدن سلول‌ها و هم‌چنین ناشی از پیری زودرس برگ‌ها و افزایش ریزش آن‌ها باشد. توسعه سطح برگ گیاه زراعی رابطه نزدیکی با آماس برگ‌ها، درجه حرارت و فراهم بودن مواد پرورده برای رشد داشته که همه این عوامل، تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند (Reddy et al., 2003). حسین و همکاران (Husain et al., 1990) اظهار کرده‌اند که گیاه باقلا در واکنش به تنش خشکی، به‌وسیله کاهش سرعت توسعه برگ و تولید برگ‌هایی با سطح مخصوص کمتر واکنش نشان داد. تحت تنش، پلاسمالما از نخستین اندام‌هایی است که آسیب می‌بیند و در نتیجه صدمه به غشای سلولی، تراوایی سلول افزایش یافته و نشت الکتروولیت از سلول، باعث مرگ آن می‌شود (Levitt, 1980). از این‌رو، جهت کمی کردن واکنش گیاهان به تنش خشکی، از پتانسیل آب برگ بهره می‌گیرند (Siddique, 2000). در بین فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط با فشار آماس برگ، می‌توان کاهش پتانسیل اسمزی را نام برد که در واقع، ناشی از کاهش میزان آب و یا تنظیم اسمزی (ذخیره مواد محلول در سیمپلاست) است (Jones and Corlett, 1992). علاوه بر موارد بیان‌شده، مقدار آب نسبی برگ (RWC) یک عامل مفید برای ارتباط وضعیت آب سلول با متابولیسم گیاه است. این شاخص به‌راحتی قابل اندازه‌گیری

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

Table 1. Soil physical and chemical characteristics of the research farm.

ویژگی	مقدار
Characteristics	Value
هدایت الکتریکی	0.676
EC (dS.m ⁻¹)	
اسیدیته خاک	7.77
pH	
کربن آلی	0.936
O.C (%)	
نیتروژن	0.103
N (%)	
فسفر	15.3
P (mg.kg ⁻¹)	
پتاسیم	420
K (mg.kg ⁻¹)	
بافت خاک	
Soil texture	
رس	36.0
Clay (%)	
سیلت	32.5
Silt (%)	
شن	31.5
Sand (%)	

با خاک مخلوط شد. بر اساس توصیه آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد، میزان ۵۰ کیلوگرم اوره و ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار قبل از کاشت به زمین داده شد. سپس به‌وسیله فاروئر، پشته‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد و بذور شاهدانه با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع در هفته اول خردادماه کاشته شد.

عامل اصلی شامل آبیاری در چهار سطح (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عامل فرعی شامل ژئولیت در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بود. ژئولیت مورد استفاده از نوع کلینوپتیلولیت و از شرکت دشت‌ده شهرکرد تهیه گردید (جدول ۲). پس از انجام عملیات خاک‌ورزی و کرت‌بندی در مزرعه، مقادیر تعیین‌شده ژئولیت در هر کرت اعمال گردید و به‌صورت دستی در عمق ۲۰ سانتی‌متری زمین

جدول ۲. ویژگی‌های ژئولیت مورد استفاده.

Table 2. Characteristics of used zeolite.

Cl	SO ₃	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
-	-	0.01	0.03	0.04	1.5	2.3	0.1	1.08	3	12.02	65

$$RWC = \left[\frac{FW-DW}{TW-DW} \right] \times 100 \quad [1]$$

$$EL\% = \frac{L_t}{L_0} \times 100 \quad [2]$$

که در آن FW، وزن دیسک برگ در حالت تر؛ L_t ، نشت الکترولیت در حالت اشباع اولیه؛ TW، وزن دیسک برگ در حالت اشباع؛ L_0 ، نشت الکترولیت در حالت اشباع نهایی؛ و DW، وزن دیسک برگ در حالت خشک هستند.

سطح برگ با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter AM 200) و به همراه وزن برگ، در مرحله گلدهی اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که یک بوته از خط نمونه‌برداری انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، صفات سطح برگ و وزن خشک برگ محاسبه گردید. دمای کانوپی با استفاده از دماسنج مادون‌قرمز (E200IR-Thermo hygrometer) و یک روز قبل از آبیاری در مرحله گلدهی اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که به دلیل دوپایه بودن گیاه شاهدانه، نسبت بوته‌های نر و ماده در هر کرت حدود ۵۰:۵۰ محاسبه شد. بوته‌های نر در مرحله رشدی ۲۱۰۳ (پایان مرحله گلدهی) خشک شد که تا پایان فصل رشد، تراکم بوته در کرت‌ها به نصف رسید و در محاسبات تعیین نیاز آبی هر کرت در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها، رسم نمودارها و آزمون همبستگی (پیرسون) بین صفات، به ترتیب با نرم‌افزارهای SAS 9.0، Sigmaplot 12.5 و SPSS 23.0 انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون کمترین

اعمال تیمارهای آبیاری پس از استقرار کامل گیاه شاهدانه در مزرعه و هم‌زمان با باز شدن چهارمین برگ گیاه (کد Mediavilla et al., ۱۰۰۸ در مراحل رشدی گیاه شاهدانه) (Richard et al., 1998) صورت گرفت و تا زمان رسیدگی و برداشت ادامه داشت. کود اوره در سه نوبت و هر بار ۵۰ کیلوگرم در هکتار در طول فصل اعمال گردید. به‌منظور اعمال تیمار تنش خشکی، ابتدا نمونه‌برداری از خاک مزرعه (از عمق‌های ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) انجام و پس از کشت، آبیاری برای کلیه تیمارها به‌صورت یکسان و بر مبنای نیاز آبی محاسبه‌شده به‌وسیله روش پنمن-مانتیت اصلاح‌شده توسط فائو، صورت گرفت (Richard et al., 1998). زمانی که میزان رطوبت خاک در تیمار شاهد به میزان ۵۰ درصد رطوبت خاک در ظرفیت زراعی رسید، آبیاری انجام شد، به این نحو که میزان آب موردنیاز تا رسیدن به رطوبت در ظرفیت زراعی، در واحد سطح برای تیمار آبی شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) محاسبه و به کرت‌های شاهد داده شد. سپس، به‌منظور اعمال تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، با استفاده از کنتور حجمی آبیاری کرت‌ها انجام شد (Alizadeh, 2008). برای اندازه‌گیری صفات محتوای نسبی آب برگ^۱ و نشت الکترولیت‌ها^۲ از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته در بوته در مرحله گلدهی و روز قبل از آبیاری، دیسک‌های به قطر یک سانتی‌متر تهیه و به ترتیب با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (Rosales et al., 2012; Ghoulam et al., 2002).

². Electrolyte Leakage

¹. Relative Water Content of Leaf

تیمارهای تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به همراه کاربرد ۱۰ و ۵ تن زئولیت در هکتار، با بیشترین سطح برگ در مرحله گلدهی، به ترتیب ۶۵ و ۶۴ درصد افزایش نسبت به تیمار تأمین ۴۰ درصد نیاز رطوبتی و بدون کاربرد زئولیت را در این صفت نشان دادند (شکل ۱).

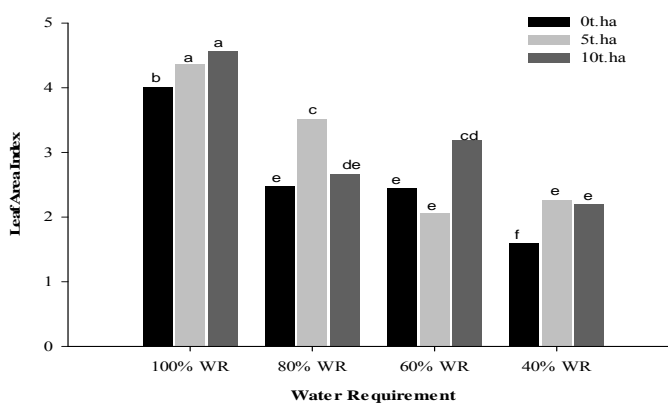
همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمارهای تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به همراه کاربرد ۵ و ۱۰ تن زئولیت در هکتار از برتری معنی‌دار و به ترتیب ۷۵ و ۷۶ درصدی نسبت به تیمار تأمین ۴۰ درصد نیاز رطوبتی و بدون زئولیت در ویژگی وزن برگ برخوردار بود (شکل ۲).

اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

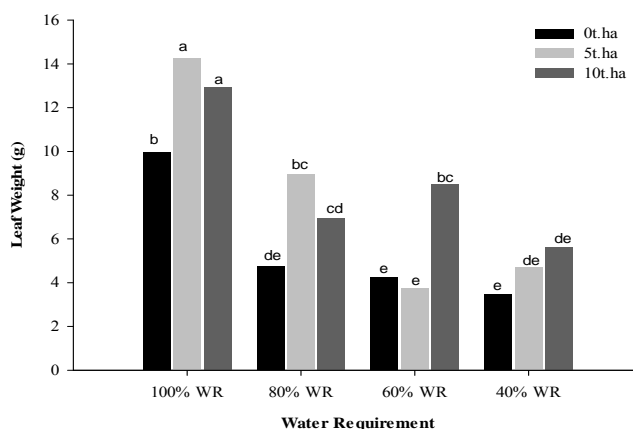
سطح و وزن برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری، زئولیت و اثر متقابل آن‌ها بر صفات سطح و وزن برگ معنی‌دار بود (جدول ۳).



شکل ۱. برهمکنش آبیاری و زئولیت بر شاخص سطح برگ شاهدانه

Fig. 1. Interaction between irrigation and zeolite on hemp leaf area index.



شکل ۲. برهمکنش آبیاری و زئولیت بر وزن برگ شاهدانه.

Fig. 2. Interaction between irrigation and zeolite on hemp leaf weight.

جدول ۳- درجه آزادی و میانگین مربعات صفات مورد مطالعه شاهدانه.

Table 3. Degree of Freedom and Mean of Squares of Hemp Studied Traits.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (Mean of Squares)					
		عملکرد دانه	دمای کانوپی	وزن خشک برگ	شاخص سطح برگ	نشت الکترولیت‌ها	رطوبت نسبی برگ
Source of variation	df	seed yield	canopy temperature	leaf dry weight	Leaf Area Index	Electrolyte Leakage	Relative Water Content of Leaf
بلوک	2	13.84 ^{ns}	3.44 ^{**}	5.46 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.001 ^{ns}	15.68 ^{**}
تکرار							
آبیاری (I)	3	22716 ^{**}	48.54 ^{**}	109.8 ^{**}	0.56 ^{**}	215 ^{**}	1162 ^{**}
خطای فرعی (E _I)	6	6.31	0.96	3.88	0.35	0.02	18.59
خطای I							
زئولیت (Z)	2	233 [*]	7.69 ^{**}	28.06 ^{**}	0.90 ^{**}	28.50 ^{**}	88.33 ^{**}
تکرار							
آبیاری × زئولیت (I*Z)	6	486 ^{**}	0.54 ^{ns}	7.94 [*]	0.53 ^{**}	1.23 ^{**}	8.98 ^{**}
خطای اصلی (E)	16	49.3	0.20	2.54	0.10	0.007	2.32
خطای Error							
ضریب تغییرات		8.52	1.02	21.71	10.92	0.33	3.01
CV (%)							

^{ns}, * و ^{**} به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and ^{**}: non-significant and significant at $\alpha=0.05$ & $\alpha=0.01$, respectively.

نشان داد که کمبود رطوبت موجب بروز متناسب کاهش سطح و وزن به‌ویژه در تیمارهای تنش شدید شد (جدول ۴). اما زئولیت به احتمال زیاد با ممانعت از کاهش رطوبت ریزوسفر گیاه، در هر سطح از تنش تا حدی کمبود آب خاک را جبران کرد. هم‌چنین در پژوهشی بر گیاه توتون، اثر زئولیت بر وزن خشک برگ‌ها معنی‌دار شد که دلیل آن را نقش زئولیت در حفظ عناصر غذایی موجود در ریزوسفر و در اختیار قرار دادن تدریجی آن‌ها برای گیاه بیان کردند (Ranjbar et al., 2004).

دمای کانوپی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد هرچند اثرات اصلی آبیاری و زئولیت بر دمای کانوپی معنی‌دار بود، اما برهمکنش آبیاری و زئولیت بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری و زئولیت نشان داد که به ترتیب، تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد نیاز رطوبتی (۴۱/۵) درجه سانتی‌گراد و تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت (۴۳/۵) درجه سانتی‌گراد) کمترین دما در سایه‌انداز را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

مقدار سطح برگ در طول فصل رشد و به‌ویژه در مرحله گلدهی که گیاه در حال تغییر مسیر مواد پرورده خود به سمت گل و دانه‌های در حال نمو است، از اهمیت خاصی برخوردار است (Pessarakli, 2001). احتمالاً خاصیت جذب بالای رطوبت در تیمارهای حاوی زئولیت، سبب بروز تفاوت معنی‌دار در صفات سطح و وزن برگ شاهدانه در پژوهش حاضر شد. مطابق با این نتایج، قلی‌زاده و همکاران (Gholizadeh et al., 2006) نیز در پژوهش خود بر گیاه بادرنشبی، نتایج مشابهی گزارش کردند. از سوی دیگر، ردی و همکاران (Reddy et al., 2003) بیان کردند که کاهش سطح برگ تحت تنش خشکی مربوط به کاهش در طولی شدن سلول‌ها و هم‌چنین ناشی از پیری زودرس برگ‌ها و افزایش ریزش آن‌ها بود و به‌موازات کاهش پتانسیل آب خاک، تعداد و وزن برگ‌ها در گیاه و هم‌چنین طول عمر برگ‌ها کاهش یافت. هم‌چنین حسین و همکاران (Husain et al., 1990) اظهار کرده‌اند که گیاه باقلا در واکنش به تنش خشکی، اندکی به‌وسیله کاهش سرعت توسعه برگ و تولید برگ‌هایی با سطح مخصوص کمتر واکنش نشان داد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین سطح با وزن برگ (۰/۹۰)

جدول ۴- همبستگی بین صفات مورد مطالعه شاهدانه.

Table 4. The Correlation Between Hemp Studied Traits.

		1	2	3	4	5	6
1. seed yield	عملکرد	--					
2. canopy temperature	دمای کانوبی	0.26 ^{ns}	--				
3. leaf dry weight	وزن خشک برگ	0.79**	0.35*	--			
4. Leaf Area Index	شاخص سطح برگ	0.87**	0.34*	0.90**	--		
5. Electrolyte Leakage	نشت الکترولیت	0.12 ^{ns}	0.91**	0.22 ^{ns}	0.21 ^{ns}	--	
6. Relative Water Content of Leaf	رطوبت نسبی	0.25 ^{ns}	-0.91**	-0.35*	-0.36*	-0.94**	--

**، همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

*، Correlation is significant at the 0.01 level.

دمای کمتر سایه‌گستر در تیمار استفاده از ۱۰ تن در هکتار زئولیت نیز ممکن است با جذب بیشتر رطوبت در درون ساختمان زئولیت و در نتیجه حفظ آب بیشتر در خاک مرتبط باشد. تاکنون نقش زئولیت بر تغییرات دمای سایه‌انداز گیاهی مورد بررسی قرار نگرفته است، با این وجود، در مطالعه‌ای روی برنج مشخص شد که میزان آب موجود در خاک بر دمای سایه‌انداز گیاهی اثرگذار بود و با افزایش میزان آب در خاک دمای سایه‌انداز گیاهی خنک‌تر شد (Wen-zhong et al., 2007)؛ بنابراین، با توجه به نتایج پژوهش حاضر، اثر زئولیت مشابه با تأمین نیاز رطوبتی گیاه در نظر گرفته شد. به طوری که با افزایش مقدار زئولیت، دمای سایه‌گستر گیاهی کاهش یافت.

از آنجاکه واکنش اولیه همه گیاهان به کاهش شدید آب، بستن روزنه‌ها به منظور جلوگیری از اتلاف آب است، احتمال می‌رود گیاه با بستن روزنه‌ها و کاهش تعرق، از کاهش آب سلول‌های برگ و دیگر اندام‌ها ممانعت به عمل آورده و در نتیجه این عمل، دمای برگ افزایش یافت. هم‌چنین ممکن است بازتابش انرژی قرمز دور نیز از برگ به‌ویژه در هنگام ظهر موجب گردد تا دمای سایه‌گستر در شرایط کمبود رطوبت، نسبت به شرایطی که نیاز رطوبتی آن تأمین شده است، به نسبت بالاتر رود (Karimzadeh soureshjani et al., 2011). گلستانی و آساد (Golestani and Assad, 1998) گزارش کردند در اثر تنش خشکی دمای سایه‌انداز گیاهی افزایش یافت.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر ویژگی دمای سایه‌انداز شاهدانه.

Table 5- Mean Comparison of Main Effects on Hemp Canopy Temperature.

Irrigation	آبیاری	دمای سایه‌انداز canopy temperature (°C)
	40% irrigation requirement	۴۰ درصد نیاز آبی
60% irrigation requirement	۶۰ درصد نیاز آبی	45 b
80% irrigation requirement	۸۰ درصد نیاز آبی	43.7 c
100% irrigation requirement	۱۰۰ درصد نیاز آبی	41.5 d
Zeolite	زئولیت	
0 t/ha	۰ تن در هکتار	45 a
5 t/ha	۵ تن در هکتار	44.5 b
10 t/ha	۱۰ تن در هکتار	43.5 c

میانگین‌هایی که در هر ستون، حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح $\alpha=0.05$ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.Means within each column with a letter in common are not significantly different at $\alpha=0.05$.

کرد. به همین جهت، احتمالاً کاربرد زئولیت به سبب کاهش شکل‌گیری سیگنال‌های بروز تنش خشکی در محیط ریشه گیاه، موجبات آن را فراهم آورده است که مقدار رطوبت نسبی بالا باشد. در تأیید این مطلب، ریگوبرتو و همکاران (Rigoberto et al., 2004) بیان کردند که بالا بودن محتوای نسبی آب، به خاطر وجود سازوکارهای کاهش‌دهنده تلفات آب از راه روزنه‌ها (بسته شدن روزنه‌ها) و یا به‌واسطه جذب بیشتر آب از طریق گسترش و توسعه سیستم ریشه‌ای بود.

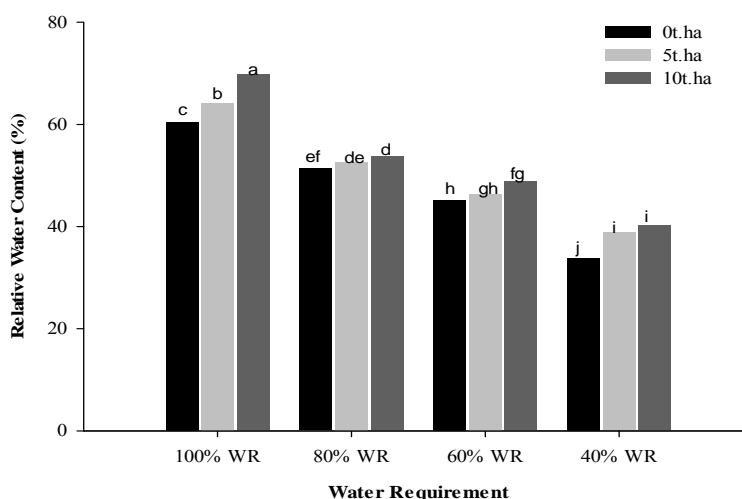
اعمال تنش خشکی به‌ویژه تنش شدید شاید موجب ناکارآمدی غشا سلولی در برگ گیاه و احتمالاً به دنبال آن افزایش نفوذپذیری غشا برای الکترولیت‌ها را موجب شد. همچنین با بررسی نقش زئولیت در کاهش درصد نشت الکترولیت‌ها از سلول، ممکن است که زئولیت، به دلیل نگهداری آب در محیط ریشه گیاه شاهدانه، با ممانعت از تولید سیگنال‌های مرتبط با کمبود رطوبت در ریشه، در نتیجه موجب کاهش تخریب غشاهای سلولی و درنهایت کاهش نشت الکترولیت‌ها از سلول‌های برگ گیاه گردید. مطابق با نتایج این پژوهش، سلاح‌ورزی و همکاران (Selahvarzi et al., 2007) نیز نشان دادند که بیشترین میزان نشت یونی از غشا یاخته‌های برگ‌گی در پایین‌ترین سطح آبیاری رخ داد.

رطوبت نسبی برگ و نشت الکترولیت‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری، زئولیت و نیز برهمکنش آبیاری و زئولیت در سطح احتمال یک درصد بر صفات رطوبت نسبی برگ و نشت الکترولیت‌ها معنی‌دار شد (جدول ۳).

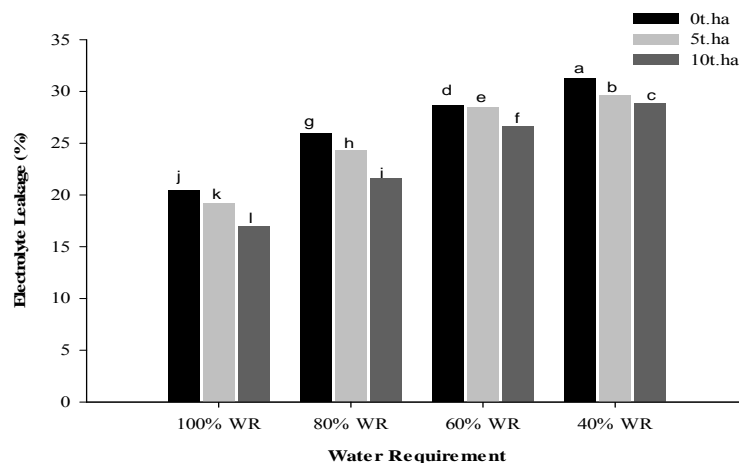
در مقایسه میانگین‌های برهمکنش آبیاری و زئولیت بر میزان رطوبت نسبی برگ، تیمار کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار به همراه تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ۵۱ درصد افزایش نسبت به تیمار بدون کاربرد زئولیت و تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی، بیشترین میزان بود (شکل ۳). همچنین کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها در برهمکنش آبیاری و زئولیت، در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰ تن زئولیت در هکتار (۱۷ درصد) و بیشترین آن در تیمار بدون زئولیت و آبیاری در ۴۰ درصد نیاز رطوبتی (۳۱/۳ درصد) با افزایشی به میزان ۴۵ درصد به دست آمد (شکل ۴).

چون در گیاهان زراعی، روزنه‌ها اغلب در واکنش به خشکی بلافاصله پس از هر گونه تغییر قابل توجه در پتانسیل آب برگ و رطوبت نسبی برگ بسته می‌شوند (Miyashita et al., 2005)، از این رو، شاید بتوان کاهش در مقدار رطوبت نسبی برگ را به‌عنوان شاخصی در بروز تنش خشکی، بیان



شکل ۳. برهمکنش آبیاری و زئولیت بر رطوبت نسبی برگ شاهدانه.

Fig. 3. Interaction between irrigation and zeolite on hemp relative water content.



شکل ۴. برهمکنش آبیاری و ژئولیت بر نشت الکترولیت‌های برگ شاهدانه.

Fig. 4. Interaction of Irrigation and zeolite on Leaf Hemp Electrolyte Leakage.

گزارش شد. همچنین در بررسی گیاهان کلزا (Zahedi et al., 2009) و آفتابگردان (Gholamhoseini et al., 2007)، برهمکنش کاربرد ژئولیت و رژیم‌های مختلف آبیاری معنی‌دار گزارش شد. به نظر می‌رسد که با کاهش میزان رطوبت، نقش ژئولیت در حفظ و انتقال آسان‌تر رطوبت در ریزوسفر گیاه برجسته بود. به دیگر سخن، مطابق شکل ۵، در شرایط تنش خفیف (تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه) اختلاف میان کاربرد و عدم کاربرد ژئولیت نسبت به دیگر سطوح نمایان‌تر بود. از طرف دیگر، با توجه به وجود همبستگی بالا بین ویژگی‌های عملکرد دانه و وزن برگ (جدول ۴) و وجود رابطه منفی بین دمای کانوپی و عملکرد دانه که پیش‌ازاین توسط بولتا و همکاران (Balota et al., 2007) بیان شد، چنین به نظر می‌رسد که احتمالاً برتری در صفاتی مانند وزن برگ، گیاه را در جذب میزان بالاتر نور، دی‌اکسید کربن و در نتیجه تولید بالاتر ماده خشک و در نهایت عملکرد دانه بیشتر یاری کرده است؛ به عبارت دیگر، زمانی که گیاه به واسطه کاربرد ژئولیت، میزان تنش کمتری را دریافت کرد، تولید دانه آن افزایش یافت.

نتیجه‌گیری

بررسی ویژگی‌های مورد ارزیابی در پژوهش حاضر نشان داد که حضور ژئولیت، در شرایط کمبود رطوبت نقش چشم‌گیری در بهبود کارکردهای مربوط به برگ به‌ویژه نشت

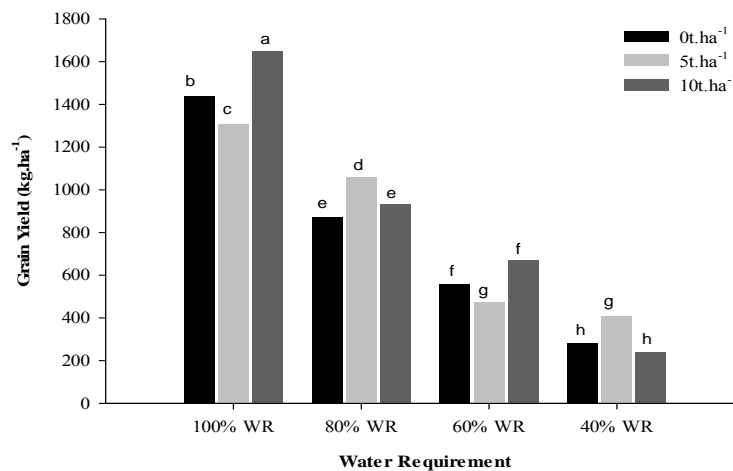
عملکرد دانه

مطابق نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر آبیاری و برهمکنش آبیاری و ژئولیت در سطح احتمال یک درصد و اثر ژئولیت در سطح احتمال پنج درصد بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل آبیاری و ژئولیت بر عملکرد دانه نشان داد که تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰ تن ژئولیت در هکتار (۱۶۴۸ کیلوگرم بر هکتار) بالاترین میزان عملکرد دانه را داشت و نسبت به تیمارهای تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی و ۱۰ تن ژئولیت و بدون ژئولیت به ترتیب ۸۵ و ۸۲ درصد دانه بیشتر تولید کرد (شکل ۵).

از آنجاکه بروز اثرات تنش خشکی بر عملکرد به عوامل مختلفی بستگی دارد، ایجاد تنش خشکی شدید ممکن است منجر به بسته شدن روزنه‌ها و به دنبال آن اختلال در جذب دی‌اکسید کربن و در نتیجه تولید ماده خشک (به‌عنوان برآیند رخدادهای بیان‌شده) گردد. بهادر و همکاران (Bahador et al., 2015a) گزارش کردند که اثر ژئولیت بر عملکرد دانه ارقام ماش معنی‌دار بود و دلیل آن را قابلیت نگهداری بیشتر آب در خاک در تیمارهای استفاده از ژئولیت بیان کردند. همچنین در پژوهش‌های دیگر نیز اثر معنی‌دار ژئولیت بر عملکرد گیاهان زراعی ماش (Bahador et al., 2015b)، گندم (Tsadilas and Argyropoulos, 2010)، تربچه (Safaei et al., 2008) و کلزا (Noori et al., 2006)

وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ویژگی‌های شاخص سطح برگ با وزن برگ، استفاده از زئولیت در شرایط تنش خشکی در گیاه شاهدانه که نتیجه آن افزایش عملکرد دانه و نیز بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه و کاهش اثرات مخرب ناشی از تنش مانند نشت الکترولیت‌ها و بالا رفتن دمای سایه‌گستر بود را می‌توان نتیجه مثبت و قابل قبولی قلمداد کرد.

الکترولیت‌ها، مکانیسم فعالیت روزنه‌ها، سطح و وزن برگ گیاه داشت. قرار گرفتن دو تیمار کاربرد زئولیت در شرایط تأمین ۴۰ درصد نیاز رطوبتی با عدم کاربرد زئولیت در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز رطوبتی گیاه شاهدانه در یک سطح آماری در ویژگی سطح برگ، نشان داد که با کاربرد زئولیت، امکان تولید سطح برگ بیشتر و به دنبال آن، تولید عملکرد دانه بالاتر، احتمالاً با مصرف آب کمتر وجود داشت. همچنین به دلیل



شکل ۵. برهمکنش آبیاری و زئولیت بر عملکرد دانه شاهدانه.

Fig. 5. Interaction between irrigation and zeolite on grain yield.

منابع

- Alizadeh, A., 2008. Plant, Soil and Water Relationship. Emam reza publication. Mashhad, Iran. [In Persian].
- Bahador, M., Abdali Mashhadi, A.R., Siadat, A., Fathi, Gh., Lotfi Jalal-abadi, A., 2015a. Effect of Zeolite and seed priming on grain nitrogen content, leaf chlorophyll and traits dependent to grain yield of Mung bean (*Vigna radiata* L.) cultivars. Journal of Plant Process and Function. 4(11), 137-147. [In Persian with English Summary].
- Bahador, M., Abdali Mashhadi, A.R., Siadat, S.A., Fathi, Gh., Lotfi Jalal-abadi, A., 2015b. Effect of seed pelleting and Priming on protein and seed yield of mung bean (*Vigna radiata* L.) varieties in Ahvaz. Iranian Journal of Pulses Research. 6(1), 32-41. [In Persian with English Summary].
- Balota, M., Payne, W.A., Evett, S.R., Lazar, M.D., 2007. Canopy temperature depression sampling to assess grain yield and genotypic differentiation in winter wheat. Journal of Crop Science. 47, 1518-1529.
- Benjamin, J., 2007. Effects of Water Stress on Corn Production. USDA Agricultural Research Service. Akron University.
- Dadhah, A., 2010. Salinity effect on germination and seedling growth of four medicinal plants. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26(3), 358-369. [In Persian with English Summary].

- Gholamhoseini, M., Agha alikhani, M., Malakouti, M.J., 2008. Effect of zeolite in decreasing nitrogen leaching on a sandy soil under forage rapeseed cultivation. *Journal of Soil Research (Water and Soil Sciences)*, 23(1), 49-60. [In Persian with English Summary].
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Jamshidi, E., 2007. The effect of irrigation regimes and fertilizer treatments on grain yield and elements concentration in leaf and grain of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Pajouhesh & Sazandegi*. 79, 91-100. [In Persian with English Summary].
- Gholizadeh, A., Esfahani, M., Azizi, M. 2006. The study on the effect of different levels of zeolit and water stress on characteristics and quality of moldavian balm. *Pajouhesh & Sazandegi*. 73, 96-102. [In Persian with English Summary].
- Ghoulam, C., Foursy, A., Fares, K., 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*. 47, 39-50.
- Ghoulam, C., Foursy, A., Fares, K., 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*. 47, 39-50.
- Golestani, S., Assad, M.T., 1998. Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. *Euphytica*, 103, 293-299.
- Husain, M.M., Reid, J.B., Othman, H., Galiagher, J.N., 1990. Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate. I. Root and shoot adaptations to drought stress. *Field Crops Research*. 23(1), 1-17.
- Jones, H.G., Corlett, J.E., 1992. Current topics in drought physiology. *Journal of Agricultural Science*. 119, 291-296.
- Karimzadeh Soureshjani, H., Emam, Y., Moori, S., 2011. Effect of post-anthesis drought stress on yield, yield components and canopy temperature of bread wheat cultivars. *Journal of Plant Process and Function*. 1(1), 38-56. [In Persian with English Summary].
- Lawlor, D.W., Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*. 25, 275-294.
- Levitt, J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol. II, Academic Press. 2th edition, USA.
- Mediavilla, V., Jonquera, M., Schmid-Slembrouck, I., Soldati, A., 1998. Decimal code for growth stages of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of the International Hemp Association*. 5, 68-74.
- Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T., Kimura, K., 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and Experimental Botany*. 53(2), 205-214.
- Munˆoz-Perea, C.G., Allen, R.G., Westermann, D.T., Wright, J.L., 2007. Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. *Euphytica*. 155, 393-402.
- Noori, M., Zendehtel, M., Ahmadi, A., 2006. Using natural zeolite for the improvement of soil salinity and crop yield. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 88(1), 77-84.
- Pessarakli, M., 2001. Handbook of Plant and Crop Physiology: Second Edition, Revised and Expanded, USA.
- Ranjbar, M., Esfahany, M., Kavousi, M., Yazdani, M.R., 2004. Effect of irrigation and natural zeolite application on yield and quality of Tobacco (*Nicotiana tabaccum* var. Coker347). *Journal of Agricultural Science* 1(2): 63-76. [In Persian with English Summary].
- Reddy, T.Y., Reddy, V.R., Anbumozhi, V., 2003. Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) to drought stress and its amelioration: A critical review. *Plant Growth Regulators*. 41, 75-88.
- Richard, G.A., Luis, S.P., Lisbon, P. Martin, S. 1998. FAO irrigation and drainage paper No. 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO, Water Resources, Development and Management Service. Rome, Italy 326p.
- Rigoberto, R.S., Joseu, K.S., Jorge Alberto, A.G., Carlos, T.L., Joaquin, O.C., Kelly, J.D. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean

- cultivars. *Field Crops Research*. 85(6), 203-211.
- Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodríguez-Valentín, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J., Covarrubias, A.A., 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*. 56, 24-34.
- Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodríguez-Valentín, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J., Covarrubias, A.A., 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*. 56, 24-34.
- Rucker, K.S., Kevin, C.K., Holbrook, C.C., Hook, J.E., 1995. Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. *Journal of Peanut Science*. 22, 14-18.
- Safaei, R., Shiranirad, A.H., Mirhadi, M.J., Delkhosh, B., 2008. Effect of zeolite on agronomic traits of two rape seed cultivars on drought stress. *Journal of Plant and Environment*. 15, 63-79. [In Persian with English Summary].
- Selahvarzi, Y., Tehranifar, A., Gezanchian, A., 2007. Physiomorphological changes under drought stress and rewating in endemic and exotic turfgrasses. *Iranian journal of horticultural science and technology*, 9(3), 193-204. [In Persian with English Summary].
- Siddique, M.R.B., Hamid, A., Islam, M.S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 41, 35-39.
- Tsadilas, C.D. Argyropoulos, G., 2010. Effect of clinoptilolite addition to soil on wheat yield and nitrogen uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37(15), 2691-2699.
- Wen-zhong, Z., Ya-dong, H., Hong-juan, D., 2007. Relationship between canopy temperature at flowering stage and soil water content, yield components in rice. *Rice Science*. 14(1), 67-70.
- Zahedi, H., Noor-Mohamadi, Gh., Shirani Rad, A.H., Habibi, D., Akbar Boojar, M.. 2009. The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth, yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. *World Applied Sciences*. 7, 255-262.

