

تأثیر سوپر جاذب A200، بتونیت و تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک و ویتامین ث کاهو در شرایط کشت گلخانه‌ای

اکرم ولی زاده قلعه بیگ^{۱*}، سید حسین نعمتی^۲، علی تهرانی فر^۳ و حجت امامی^۴

(تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۴)

چکیده

تنش آب بحران جهانی است که تهدیدی جدی برای کشاورزی محسوب می‌شود. پلیمرهای سوپر جاذب با بهبود شرایط فیزیکی خاک، مانع از تنش‌های رطوبتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردند. به منظور بررسی تأثیر دو نوع سوپر جاذب طبیعی (بتونیت) و مصنوعی (A200) بر رشد کاهو، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد و مقادیر دو نوع سوپر جاذب، هر یک در سه سطح (صفر، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد وزنی) و دو رژیم آبیاری (۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تیمار ۰/۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، مقدار محتوای نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای نسبت به تیمار ۰/۶۰٪ بیشتر بود. مقدار نشت الکترولیت، ویتامین ث، مواد جامد محلول و کلروفیل b در سطح ۰/۶۰٪ ظرفیت زراعی بیشتر بود. کاربرد ۰/۳ درصد وزنی بتونیت به ترتیب سبب کاهش حدود ۷۴، ۱۹ و ۳۱ درصدی نشت الکترولیت، ویتامین ث و مواد جامد محلول و افزایش ۳، ۲، ۲۲ و ۸ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و کلروفیل کل نسبت به شاهد شد. در حالی که کاربرد ۰/۳ درصد وزنی سوپر جاذب A200 به ترتیب کاهش ۲۸، ۱۸ و ۳۷ درصدی نشت الکترولیت، ویتامین ث و مواد جامد محلول و افزایش ۶، ۳۲، ۲۵ و ۴۲ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد شد. این نتایج حاکی از آن است که توان بتونیت در کاهش اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی تا حدودی به اندازه سوپر جاذب مصنوعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیولوژیک، سوپر جاذب مصنوعی، سوپر جاذب طبیعی، تنش کم‌آبی

مقدمه

از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هیدروژل‌های سوپر جاذب، پلیمرهای به شدت آب‌دوست هستند و ضمن برخورداری از سرعت و ظرفیت زیاد جذب آب، در موقع نیاز ریشه، به راحتی آب و مواد غذایی محلول در آن را در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهند. این سوپر جاذب‌ها به صورت طبیعی و مصنوعی وجود داشته، ترکیباتی بی‌بو و بی‌خطر برای محیط‌زیست و بافت‌های گیاهی می‌باشند (۸). بتونیت از جمله سوپر جاذب‌های طبیعی است که از گروه کانی‌های ۲:۱ بوده و مخلوطی از کانی‌های

در مناطق خشک، محور کشاورزی را آب تشکیل می‌دهد. بنابراین، همگرایی کلیه عملیات کشاورزی باید در جهت استفاده مطلوب از آب و به حداکثر رساندن عملکرد به ازای هر واحد آب مصرفی باشد (۹). از این رو، توجه به نقش مدیریتی کاربرد برخی از مواد افزودنی اصلاح کننده، نظیر هیدروژل‌های سوپر جاذب، به منظور استفاده بهینه از آب در کشاورزی، برای افزایش عملکرد محصولات زراعی، تحت شرایط تنش کم‌آبی،

۱، ۲، ۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: valizadeh8248@gmail.com

رسی است که دارای مقدار زیادی مونت موریلونیت می‌باشد و چسبندگی زیادی دارد (۶). این ماده، به دلیل ساختارش، قابلیت جذب آب و مواد معدنی را داشته، همچنین از شسته شدن مواد معدنی موجود در خاک جلوگیری نموده و باعث حاصلخیزی خاک می‌شود (۲۲). در زمینه به‌کارگیری سوپرجاذب‌ها تحقیقاتی به‌عمل آمده است. از جمله، می‌توان به نتایج آریکیریزا و همکاران (۱۹) تحت تنش خشکی در گلخانه اشاره کرد. اصلاح خاک با ۰/۲ و ۰/۴ درصد سوپرجاذب باعث افزایش بیومس ۹ گونه زینتی شد. آنها اعلام کردند که با اضافه کردن این مواد به خاک، رطوبت در محدوده ظرفیت زراعی حفظ شده، که باعث افزایش فتوسنتز و بهره‌وری مصرف آب در گیاهان مورد آزمایش شده است. همچنین، نتایج حاصل از تحقیق شی و همکاران (۲۰) برای تعیین اثر دو نوع پلیمر سوپرجاذب بر دانه‌های صنوبر، تحت تنش خشکی و شوری، نشان داد که کاربرد ۰/۵ درصد سوپرجاذب، از دو نوع پلیمر، می‌تواند مقدار رشد بوته و تبادلات گازی برگ را کاهش دهد. در تحقیقی دیگر، علت افزایش زیست‌توده دانه‌های اکالیپتوس و بلوط را افزایش جذب دی‌اکسید کربن، افزایش تعرق و فعالیت روزنه‌ها در بسترهای حاوی سوپرجاذب استاکوزورب گزارش کردند (۲۱).

از طرفی، آب یکی از اجزای عمده بافت گیاه، معرف شیمیایی در فرایندهای فتوسنتز و تجزیه حلال و وسیله انتقال مواد سوخت و ساز شده و عناصر معدنی داخل گیاهان و همچنین برای رشد و افزایش اندازه سلول گیاهی لازم است. بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد تحت تأثیر کاهش آب قرار گرفته و کمبود شدید آب ممکن است موجب مرگ گیاهان گردد (۳).

کاهو (*Lactuca sativa* L.) یکی از اعضای خانواده Asteraceae، از جمله سبزی‌های برگ‌ری و آبدار است که آب در فرایندهای فیزیولوژیک اساسی نظیر فتوسنتز، واکنش‌های متابولیک، حفظ آماس، فرم و استحکام مکانیکی آن نقش اصلی را ایفا می‌کند. کاهو به صورت تجاری در بسیاری از کشورها در سراسر جهان تولید شده و به‌عنوان یک محصول سبزی پرورش داده می‌شود (۱۶). در ایران نیز کاهو در بسیاری از مناطق تولید

می‌گردد. به‌علت سطح زیاد برگ‌های کاهو و زیاد بودن تبخیر آب، از جمله گیاهان حساس به تنش خشکی می‌باشد. بنابراین، برای افزایش کمی و کیفی در تولید این محصول، استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب، به ویژه در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک می‌تواند مؤثر واقع گردد.

این تحقیق با هدف بررسی ماده معدنی بنتونیت به‌عنوان یک نوع سوپرجاذب طبیعی در کمک به کاهش اثرهای نامطلوب تنش خشکی از طریق تأمین رطوبت مورد نیاز گیاه و همچنین مقایسه آن با نوع مصنوعی پلیمر سوپرجاذب A200 صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح تنش خشکی، بنتونیت و سوپرجاذب بر خصوصیات فیزیولوژیک کاهو، آزمایشی در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. پس از توزین هر گلدان با ارتفاع ۲۵ و عرض دهانه ۳۰ سانتی‌متر، گلدان‌ها به نسبت ۱:۲ از خاک زراعی سطحی و شن پر شدند. براساس نتایج آزمون خاک، بافت خاک از نوع لوم شنی بوده و درصد رطوبت وزنی آن در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب ۲۴/۴ و ۱۲/۵ درصد تعیین گردید (جدول ۱). سپس، مقادیر سوپرجاذب A200 در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ درصد وزنی/ وزنی، به‌ترتیب صفر، ۱۵ و ۳۰ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک هر گلدان، به ترتیب S_0 ، S_1 و S_2) و بنتونیت (صفر، ۱۵ و ۳۰ درصد وزنی/ وزنی، به‌ترتیب صفر، ۱۵ و ۳۰ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک هر گلدان، به‌ترتیب B_0 ، B_1 و B_2) با خاک هر گلدان مخلوط گردید. درصد وزنی ترکیبات تشکیل‌دهنده بنتونیت استفاده شده در جدول ۲ آمده است. در این آزمایش، از بذر کاهوی اصلاح شده رقم سیاهو جهت تهیه نشا استفاده شد و یک عدد نشا در مرحله ۴ برگگی به هر گلدان منتقل گردید. برای اطمینان از استقرار نشاها تا مرحله ۶-۸ برگگی، همه گلدان‌ها در حد ۱۰۰٪ نیاز آبی آبیاری شدند و تیمارهای تنش خشکی پس از اطمینان از استقرار گیاه، در دو سطح ۶۰٪

جدول ۱. درصد وزنی ترکیبات تشکیل دهنده بنتونیت مورد آزمایش

ترکیب	درصد وزنی
SiO ₂	۶۱/۵-۷۱/۷
Al ₂ O ₃	۱۱/۵-۱۵/۱
Fe ₂ O ₃	۲/۴-۳/۲
MgO	۱/۱-۳/۴
Na ₂ O	۰/۵-۳/۵
K ₂ O	۰/۴-۱/۱
CaO	۱/۶-۲/۷
TiO ₂	۰/۳-۰/۶

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نقطه پژمردگی دائم (%)	ظرفیت زراعی (%)	مواد آلی (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m-1)	اسیدیته pH	پتاسیم K (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	نیتروژن N (mg/kg)	Sand	Silt (%)	Clay
۱۲/۵	۲۴/۴	۰/۲۸۱	۱/۲۰	۸/۱۲	۲۵/۰۱	۱/۲۲	۸/۲۵	۷۰	۱۸	۱۲

در آب مقطر به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق محاسبه گردید. در نهایت، برای تعیین وزن خشک، از آن به مدت ۴۸ ساعت و دمای ۷۵ درجه سلسیوس استفاده شد (۱۷).

نشت الکترولیت (EL)

در این روش، ابتدا قطعاتی برگی با اندازه یک سانتی متر تهیه شد. این قطعات، پس از شستشو، همراه با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر در لوله های آزمایش قرار گرفتند. سپس، لوله ها به مدت ۱۸ ساعت به وسیله شیکر شدیداً تکان داده شدند. در این مرحله، هدایت الکتریکی اولیه (Ci) به وسیله دستگاه هدایت سنج (Jenway مدل ۴۵۱۰) اندازه گیری شد. سپس، لوله های آزمایش جهت کشته شدن یاخته های برگی به اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. پس از سرد شدن محتویات داخل لوله های آزمایش، هدایت الکتریکی ثانویه (Cs) نیز اندازه گیری شد. در نهایت، مقادیر نشت الکترولیت از رابطه زیر محاسبه شد (۱۴):

$$EL = (Ci / Cs) \times 100 \quad [2]$$

ویتامین ث (Vitamin c)

میزان ویتامین ث بر اساس استخراج اسید اسکوربیک نمونه، با

(DS₁) و (DS₂)٪ ظرفیت زراعی به روش توزین روزانه اعمال گردید. در مرحله حداکثر رشد رویشی، صفاتی چون کل مواد جامد محلول (TSS) با استفاده از دستگاه رفاکتومتر، شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل سنج (Minolta, 502, SPAD, Japan) در برگ های جوان توسعه یافته، هدایت روزنه ای با دستگاه پرومتر (Company LI-1600, LI-COR) اندازه گیری شدند. محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، ویتامین ث و محتوای کلروفیل نیز طبق روش های ذکر شده در زیر اندازه گیری شدند.

اندازه گیری محتوای رطوبت نسبی (RWC)

برای بررسی وضعیت آب گیاه از شاخص RWC که بر اساس معادله زیر محاسبه می شود، استفاده گردید:

$$RWC = \frac{(Fw - Dw)}{(Tw - Dw)} \times 100 \quad [1]$$

که Fw ، Dw و Tw به ترتیب نشان دهنده وزن تر، خشک و آماس نمونه های برگی تهیه شده است. برای این منظور، پس از تهیه ۲۰ قطعه برگی به اندازه تقریباً ۵×۵ میلی متر، ابتدا وزن تر آنها اندازه گیری شد. وزن آماس نمونه ها نیز پس از خیساندن آنها

جدول ۳. تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر سطوح تنش خشکی، بتونیت و سوپر جاذب بر صفات فیزیولوژیک، ویتامین ث و مواد جامد محلول کاهو

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوی رطوبت نسبی (RWC)	نشث الکترولیت (EL)	ویتامین ث (Vit c)	کل مواد جامد محلول (TSS)	شاخص کلروفیل (SPAD)	هدایت روزنه‌ای	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل (a+b)
سطوح تنش خشکی	۱	۷۸۶/۹۸**	۹۲۸۶/۸۰**	۷۴۱/۱۲**	۰/۰۰۰۵**	۵۵/۴۹**	۴۷۶/۲۶**	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۳۵*	۰/۰۶۴ ^{ns}
سطوح بتونیت	۲	۵۹/۵۴**	۹۷۰۹/۳۹**	۲۴۴/۶۶**	۰/۰۰۲۴**	۱۱/۷۴*	۳۷۲۱/۴۵**	۱/۷۳**	۰/۴۷۹**	۲/۴۷**
سطوح سوپر جاذب	۲	۱۸۱/۰۱**	۶۲۲/۵۴**	۲۰۰/۳۷**	۰/۰۰۳۷**	۲۱۰۳/۰۹**	۴۵۳۵/۸۳**	۲۷/۳۱**	۲/۸۷**	۴۶/۶۶**
تنش خشکی × بتونیت	۲	۹۳/۹۴**	۳۹۷۱/۶۱**	۳/۱۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰ ^{ns}	۶۷/۰۳**	۱۰۰۳/۸۸**	۱/۹۴**	۰/۱۲۷**	۲/۹۴**
تنش خشکی × سوپر جاذب	۲	۱۱۳/۹۹**	۳۷/۳۰**	۱/۶۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۶۶ ^{ns}	۲۱/۲۱**	۱۲۰/۱۹**	۰/۹۶**	۰/۲۵۴**	۱/۲۵**
سطوح بتونیت × سوپر جاذب	۴	۹۴/۸۸**	۱۶۷/۸۸**	۵/۰۴**	۰/۰۰۰۰۲۲ ^{ns}	۶۲/۹۹**	۲۴۶۶/۸۵**	۲/۷۸**	۱/۳۰**	۷/۰۱**
تنش خشکی × بتونیت × سوپر جاذب	۴	۲۲۵/۰۵**	۷۰/۸۹**	۰/۹۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۶۶ ^{ns}	۲۱۳/۳۳ ^{ns}	۱۵۴/۶۰**	۰/۸۱**	۰/۲۵۰**	۱/۸۲**
خطای آزمایش	۵۴	۳/۰۱	۲/۱۱	۱/۳۱	۰/۰۰۰۰۳۳	۳/۰۲	۱۸/۱۸	۰/۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۶۲

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار

CHL_t کلروفیل کل است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ (P<0.05) انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردیدند.

نتایج و بحث

محتوای رطوبت نسبی (RWC)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر سطوح مختلف تنش خشکی، بتونیت، سوپر جاذب و برهمکنش آنها در مورد محتوای رطوبت نسبی معنی‌دار شد (P<۰/۰۱). مقدار RWC در سطح ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، نسبت به سطح ۶۰٪ ظرفیت زراعی، ۸٪ بیشتر بود. سطوح مختلف پلیمر سوپر جاذب

استفاده از محلول اسید متافسفریک، همراه با اسید استیک و عیارسنجی با ماده رنگی ۲ و ۶ دی کلروفنل ایندوفنل تا ظهور رنگ صورتی روشن تعیین گردید (۵).

محتوای کلروفیل

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل، ۲۰۰ میلی‌گرم برگ تازه از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته جدا و به منظور استخراج رنگدانه‌ها از ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۹٪ استفاده شد. میزان جذب در طول موج‌های ۶۵۳ و ۶۶۶ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر انجام گرفت. در نهایت، بر اساس روابط زیر مقدار کلروفیل a و b محاسبه شد (۱۲):

$$[3] \quad CHL_a = 15 / 65A_{666} - 7 / 34A_{653}$$

$$[4] \quad CHL_b = 27 / 05A_{653} - 11 / 21A_{666}$$

$$[5] \quad CHL_t = CHL_a + CHL_b$$

که CHL_a میزان کلروفیل a، CHL_b میزان کلروفیل b و

ویتامین ث (Vit c)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثرهای ساده سطوح تنش خشکی، بتونیت، سوپر جاذب و برهمکنش بتونیت و سوپر جاذب در مورد ویتامین ث در سطح ۱٪ معنی دار شد. ولی برهمکنش تنش خشکی و بتونیت، تنش خشکی و سوپر جاذب و اثر متقابل سه گانه خشکی، بتونیت و سوپر جاذب تفاوت معنی داری را نشان ندادند. مطابق شکل ۱، سطوح صفر و ۱۵٪ بتونیت در سطح تنش ۶۰٪ بیشترین مقادیر (۳۳/۳۳ و ۳۲/۵۸ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) و سطح ۳٪ در سطح ۱۰۰٪ کمترین میزان (۲۰/۸۳ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) ویتامین ث را نشان دادند. از جمله تغییرات در گیاهان به عنوان پیام آور حضور تنش و مقابله با آن، افزایش سطوح آنتی اکسیدان های مختلف است. اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از جمله ترکیبات آنتی اکسیدانی است که از تخریب بافت ها توسط رادیکال های آزاد جلوگیری می کند، که میزان آن در شرایط خشکی در جهت کاهش آثار مخرب تنش افزایش یافته است.

کل مواد جامد محلول (TSS)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که فقط اثرهای ساده سطوح تنش خشکی، بتونیت و سوپر جاذب برای مواد جامد محلول در سطح احتمال خطای ۱٪ معنی دار بوده و کلیه اثرهای متقابل معنی دار نشد. تیمارهای فاقد بتونیت، سوپر جاذب یا ترکیب این دو ماده، بیشترین میزان مواد جامد محلول را نشان دادند. با به کارگیری هر دو ماده نگهدارنده رطوبت و همچنین افزایش سطح به کار برده شده، میزان مواد جامد محلول کاهش یافت. علت افزایش مواد جامد محلول در شرایط تنش توسط بلوم (۱۳) به این شکل ذکر شده است که یکی از وظایف مهم گیاه طی تنش خشکی، حفظ آماس سلولی از طریق تنظیم اسمزی است که این عمل به وسیله یک فرایند فعال تجمع مواد قابل حل مناسب طی رشد و در زمان تنش آب رخ می دهد.

در مقایسه با شاهد (صفر گرم) از RWC بیشتری برخوردار بودند. بین سطوح بتونیت از این نظر تفاوت معنی داری وجود نداشت، ولی با شاهد دارای تفاوت بوده و مقدار بیشتری را نشان داد (جدول ۴). ترکیب ۳٪ درصد بتونیت و ۳٪ درصد پلیمر سوپر جاذب بیشترین مقدار RWC (با میانگین ۸۶/۱۱ درصد) را نشان داد (جدول ۵). RWC بیشتر احتمالاً از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل می شود، که به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتری آب در شرایط تنش است. اعلامی و همکاران (۱) در مورد چمن و فاضلی رستم پور و همکاران (۱۰) در مورد ذرت دانه ای به نتایج مشابهی دست یافتند.

نشت الکترولیت (EL)

در شرایط تنش، بعضی از قسمت های فسفولیپیدهای دو لایه ای غشا حالت کروی پیدا کرده و ساختار غشا به ساختار منفذدار تبدیل می شود و نشت مواد روی می دهد (۱۱). میزان خسارت غشاهای سلولی بر اثر تنش خشکی از طریق اندازه گیری نشت الکترولیت از سلول سنجیده می شود که در شرایط تنش خشکی، پایداری غشای سلولی جزء اصلی تحمل به تنش است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) مشخص گردید که اثر سطوح مختلف تنش خشکی، بتونیت، سوپر جاذب و برهمکنش آنها در مورد نشت الکترولیت در سطح ۱٪ معنی دار شد. مطابق جدول ۴، تیمارهای فاقد بتونیت یا سوپر جاذب و تیمارهای دارای آن، به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر نشت یونی را نشان دادند. از طرفی، با توجه به نتیجه مقایسه میانگین اثر متقابل بتونیت و سطوح تنش در جدول ۶ (مقدار ۳٪ درصد بتونیت و تیمار ۱۰۰٪) و اثر متقابل بتونیت و سوپر جاذب در جدول ۵ (ترکیب ۳٪ درصد از این دو ماده)، به ترتیب با مقادیر ۹/۴۵ و ۹/۴۹ درصد، کمترین میزان نشت یونی را نشان داده که نمایانگر تنش کمتر می باشد.

جدول ۴. میانگین اثر سطوح تنش خشکی، بتونیت و سوپرچاذب بر صفات فیزیولوژیک، ویتامین ث و مواد جامد محلول کاهو

(a+b) کل (گرم/گرم وزن تر)	کلروفیل b	کلروفیل a	کلروفیل (میلی گرم/گرم وزن تر)	هدایت روزنه ای	شاخص کلروفیل (میلی مول/متر مربع ثانیه)	محلول (TSS)	کل مواد جامد (SPAD)	ویتامین ث (میلی گرم/گرم وزن تر)	نشت	محتوی نسبی آب	
										الکترونیته (i)	برگ
۵/۱۰ a	۱/۱۴ a	۳/۹۸ a	۴۴/۳۷ b	۸۹/۱۵ b	۰/۰۶۲ a	۳۱/۳۳ a	۳۸/۷۵ a	۷۶/۷۲ b	۰/۶۰		
۵/۰۴ a	۱/۰۹ b	۳/۹۵ a	۴۶/۱۳ a	۹۵/۵۹ a	۰/۰۴۶ b	۲۴/۹۱ b	۱۶/۰۴ b	۸۳/۳۳ a	۰/۱۰۰		
بتونیت (درصد وزنی)											
۴/۹۷ b	۰/۹۷ c	۴/۰ b	۴۴/۴۶ b	۷۸/۱۴ c	۰/۰۶۳ a	۳۰/۲۹ a	۵۰/۳۶ a	۷۸/۲۱ b	۰		
۴/۸۲ c	۱/۱۳ b	۳/۶۸ c	۴۵/۵۰ a	۹۷/۶۸ b	۰/۰۵۶ b	۲۹/۶۲ b	۱۸/۸۸ b	۸۱/۰۸ a	۰/۱۵		
۵/۴۳ a	۱/۲۵ a	۴/۲۱ a	۴۷/۷۹ a	۱۰۱/۲۸ a	۰/۰۴۳ c	۲۴/۴۵ c	۱۲/۹۴ c	۸۰/۷۸ a	۰/۳۰		
سوپرچاذب (درصد وزنی)											
۳/۸۰ c	۰/۷۸ c	۳/۰۱ c	۳۷/۵۲ c	۷۸/۵۶ c	۰/۰۶۶ a	۳۱/۱۶ a	۳۰/۰۱ a	۷۷/۲۴ c	۰		
۴/۸۵ b	۱/۰۹ b	۳/۷۶ b	۴۲/۹۵ b	۹۲/۴۹ b	۰/۰۵۵ b	۲۷/۷۹ b	۳۰/۶۴ a	۸۰/۱۰ b	۰/۱۵		
۶/۵۶ a	۱/۴۷ a	۵/۱۲ a	۵۵/۵۵ a	۱۰۶/۰۵ a	۰/۰۴۱ c	۲۵/۴۱ c	۲۱/۵۲ b	۸۲/۸۳ a	۰/۳۰		

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح بتونیت و سوپر جاذب بر صفات فیزیولوژیک، ویتامین ث و مواد جامد محلول کاهو

تیمار	محتوی نسبی آب برگ (%)	نشست الکترولیت (%)	ویتامین ث (میلی گرم/میلی لیتر)	کل مواد جامد محلول (TSS)	شاخص کلروفیل (SPAD)	کلروفیل a (میلی گرم/میلی لیتر)	کلروفیل b (میلی گرم/میلی لیتر)	کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر)
بتونیت	۰	۵۵/۹۸ a	۳۴/۱۲ a	۰/۰۷۵ a	۳۶/۴۲ f	۲/۹۸ f	۰/۷۱ g	۳/۶۹ g
۰	۰/۱۵	۵۶/۹۸ a	۳۰/۰۰ c	۰/۰۶۵ b	۴۲/۰۲ d	۳/۷۳ de	۰/۸۰ f	۴/۵۳ e
۰/۳۰	۰/۳۰	۳۸/۵۴ b	۲۶/۷۵ d	۰/۰۵۰ cd	۵۸/۹۲ a	۵/۲۹ b	۱/۳۹ c	۶/۶۸ b
۰	۰	۲۰/۶۲ c	۳۲/۰۰ b	۰/۰۷۰ ab	۳۶/۳۵ f	۲/۹۹ f	۰/۶۹ g	۳/۶۸ g
۰/۱۵	۰/۱۵	۱۹/۴۷ c	۲۹/۱۲ c	۰/۰۵۵ c	۴۵/۷۴ c	۳/۹۴ cd	۱/۶۰ b	۵/۵۴ c
۰/۳۰	۰/۳۰	۱۶/۵۵d fg	۲۷/۷۵ d	۰/۰۴۵ d	۵۴/۴۲ b	۴/۱۱ c	۱/۱۱ d	۵/۲۲ d
۰	۰	۱۳/۴۵ e	۲۷/۳۷ d	۰/۰۵۵ c	۳۹/۰۰ e	۳/۰۸ f	۰/۹۵ e	۴/۰۳ f
۰/۱۵	۰/۱۵	۱۵/۸۸ d	۲۴/۲۵ e	۰/۰۴۵ d	۴۱/۰۸ d	۳/۶۰ e	۰/۸۷ f	۴/۴۷ e
۰/۳۰	۰/۳۰	۹/۴۹ f	۲۱/۷۵ f	۰/۰۳۰ e	۵۳/۳۰ b	۵/۹۶ a	۱/۹۲ a	۷/۷۹ a

در هر ستون، میانگین‌هایی که در یک حرف متفاوتند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌داری هستند.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و بتونیت بر صفات فیزیولوژیک، ویتامین ث و مواد جامد محلول کاهو

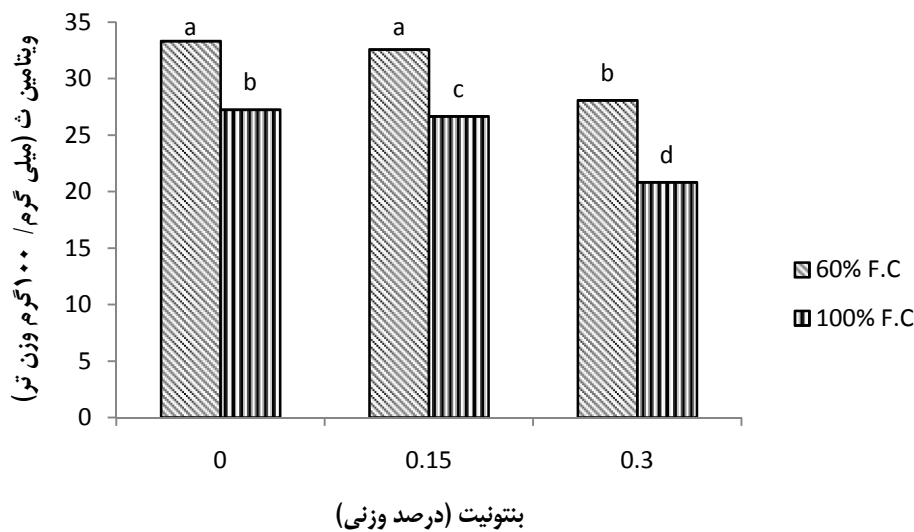
تنش خشکی <th>بتونیت <th>محتوی نسبی آب برگ (%) <th>نشست الکترولیت (%) <th>کل مواد جامد محلول (TSS) <th>شاخص کلروفیل (SPAD) <th>هدایت روزنه‌ای (میلی مول/متر مربع ثانیه) <th>کلروفیل a (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل b (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر) </th></th></th></th></th></th></th></th></th>	بتونیت <th>محتوی نسبی آب برگ (%) <th>نشست الکترولیت (%) <th>کل مواد جامد محلول (TSS) <th>شاخص کلروفیل (SPAD) <th>هدایت روزنه‌ای (میلی مول/متر مربع ثانیه) <th>کلروفیل a (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل b (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر) </th></th></th></th></th></th></th></th>	محتوی نسبی آب برگ (%) <th>نشست الکترولیت (%) <th>کل مواد جامد محلول (TSS) <th>شاخص کلروفیل (SPAD) <th>هدایت روزنه‌ای (میلی مول/متر مربع ثانیه) <th>کلروفیل a (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل b (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر) </th></th></th></th></th></th></th>	نشست الکترولیت (%) <th>کل مواد جامد محلول (TSS) <th>شاخص کلروفیل (SPAD) <th>هدایت روزنه‌ای (میلی مول/متر مربع ثانیه) <th>کلروفیل a (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل b (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر) </th></th></th></th></th></th>	کل مواد جامد محلول (TSS) <th>شاخص کلروفیل (SPAD) <th>هدایت روزنه‌ای (میلی مول/متر مربع ثانیه) <th>کلروفیل a (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل b (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر) </th></th></th></th></th>	شاخص کلروفیل (SPAD) <th>هدایت روزنه‌ای (میلی مول/متر مربع ثانیه) <th>کلروفیل a (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل b (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر) </th></th></th></th>	هدایت روزنه‌ای (میلی مول/متر مربع ثانیه) <th>کلروفیل a (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل b (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر) </th></th></th>	کلروفیل a (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل b (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر) </th></th>	کلروفیل b (میلی گرم/میلی لیتر) <th>کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر) </th>	کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/میلی لیتر)
۰	۰	۷۵/۴۹ e	۷۶/۵۷ a	۰/۰۷۱ a	۴۳/۴۸ d	۷۴/۳۰ e	۳/۶۸ c	۰/۹۱ d	۴/۶۰
۰/۶۰	۰/۱۵	۷۵/۹۴ e	۲۳/۲۶ b	۰/۰۶۵ b	۴۶/۴۶ b	۱۰۱/۲۱ b	۳/۸۶ c	۱/۲۱ b	۵/۰۸
۰/۳۰	۰/۳۰	۷۸/۷۲ d	۱۶/۴۲ c	۰/۰۵۱ cd	۴۳/۱۷ d	۹۱/۹۳ c	۴/۳۹ a	۱/۲۹ a	۵/۶۳
۰	۰	۸۰/۴۸ c	۲۴/۱۶ b	۰/۰۵۵ c	۴۵/۷۴ bc	۸۱/۹۸ d	۴/۳۱ a	۱/۰۳ c	۵/۳۴
۰/۱۰۰	۰/۱۵	۸۲/۸۴ b	۱۴/۴۹ d	۰/۰۴۸ d	۴۴/۵۴ cd	۹۴/۱۵ c	۳/۵۰ d	۱/۰۵ c	۴/۵۵
۰/۳۰	۰/۳۰	۸۶/۶۷ a	۹/۴۵ e	۰/۰۳۵ e	۴۸/۰۹ a	۱۱۰/۶۴ a	۴/۰۴ b	۱/۲۰ b	۵/۲۳

در هر ستون، میانگین‌هایی که در یک حرف متفاوتند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌داری هستند.

کلوئیل (SPAD) سطح خطای ۱٪ و اثر ساده بتونیت در سطح ۵٪ معنی‌دار بودند.

طبق جدول ۳، نتایج تجزیه واریانس شاخص کلروفیل (SPAD)، اثرهای ساده سطوح تنش خشکی، سوپر جاذب، اثرهای متقابل تنش خشکی، بتونیت و سوپر جاذب در بین سطوح ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد بتونیت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ ولی با شاهد تفاوت داشت. با افزایش سطح

بتونیت، میانگین‌هایی که در یک حرف متفاوتند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌داری هستند.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح تنش خشکی و بنزنوتیازول بر میزان ویتامین ث کاهو (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند)

بر متر مربع. ثانیه) مربوط به تیمار فاقد بنزنوتیازول و سوپرچادز بود (شکل ۲). هنگامی که گیاه در معرض تنش آبی قرار می‌گیرد روزنه‌ها تمایل به بسته شدن دارند. این واکنش بسته شدن در ابتدا توسط آبسزیک اسید (ABA) ریشه القا می‌شود. علاوه بر این، کاهش پتانسیل آماس در برگ نیز بر بسته شدن روزنه‌ها در تنش خشکی مؤثر است که احتمالاً از طریق ABA ساخته شده در برگ اثر می‌گذارد. ABA روی کانال پتاسیم اثر می‌گذارد که مانع باز شدن و سبب تحریک بسته شدن می‌شود و در حقیقت اجازه ورود پتاسیم را نمی‌دهد (۷). به طور کلی، تنش خشکی موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای شده است.

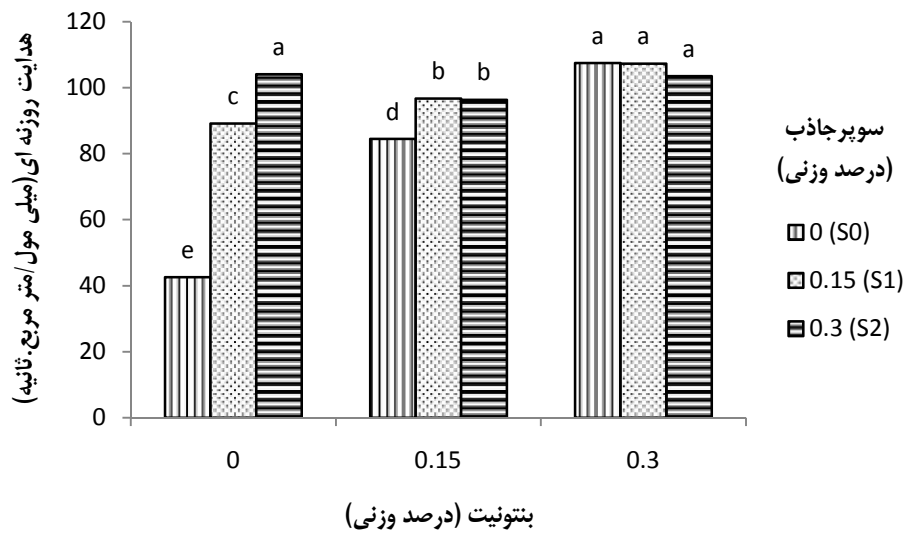
محتوای کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر ساده سطوح تنش خشکی برای کلروفیل b، در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار شد و برای کلروفیل a و کلروفیل کل معنی‌دار نبود. سایر اثرهای ساده و کلیه اثرهای متقابل در مورد این صفات در سطح خطای ۱٪ معنی‌دار شد. بیشترین و کمترین محتوای

سوپرچادز، بر میزان این شاخص افزوده شد (جدول ۴)، به طوری که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص (به ترتیب ۴۸/۰۹ و ۴۳/۴۸) در تیمارهای ۰/۳ درصد بنزنوتیازول با سطح ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و شاهد با سطح ۶۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۵). مطابق نتیجه فاضلی رستم‌پور و همکاران (۱۰) تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل ذرت دانه‌ای گردید و حداکثر شاخص کلروفیل در طول فصل رشد، در تیمار آبیاری مطلوب و حداقل آن، در تیمار تنش شدید دیده شد.

هدایت روزنه‌ای

کلیه اثرهای ساده و متقابل تنش خشکی، بنزنوتیازول و سوپرچادز برای صفت هدایت روزنه‌ای در سطح خطای ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). هدایت روزنه‌ای در تیمارهای ترکیبی ۰/۳ درصد بنزنوتیازول و صفر، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد سوپرچادز و تیمار ترکیبی سطح صفر بنزنوتیازول و ۰/۳ درصد سوپرچادز بیشترین مقدار بوده و بین این تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین میزان هدایت روزنه‌ای (۴۲/۵۶ میلی‌مول



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح بتونیت و سوپر جاذب بر هدایت روزه ای کاهو (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند)

نتیجه گیری

به طور کلی، کاربرد ۰/۳ درصد وزنی بتونیت به ترتیب سبب کاهش حدود ۷۴، ۱۹ و ۳۱ درصدی صفات نشت الکترولیت، ویتامین ث و مواد جامد محلول و افزایش ۲، ۳، ۲۲ و ۸ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدایت روزه ای و کلروفیل کل نسبت به شاهد شد. در مورد ۰/۳ درصد وزنی سوپر جاذب A200 به ترتیب کاهش ۲۸، ۱۸ و ۳۷ درصدی نشت الکترولیت، ویتامین ث و مواد جامد محلول و افزایش ۶، ۳۲، ۲۵ و ۴۲ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدایت روزه ای و کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد شد. این نتایج حاکی از آن است که توان بتونیت در کاهش اثر منفی ناشی از تنش خشکی تا حدودی به اندازه سوپر جاذب مصنوعی می باشد. با توجه به نتایج حاصل شده و اینکه سوپر جاذب های مصنوعی دارای هزینه زیادی می باشند که هر کیلوگرم آن دارای هزینه ای نزدیک به ۱۸ هزار تومان می باشد و همچنین توجه به فراوانی کانسره های بتونیت و هزینه کم آن (هر کیلوگرم ۱۷۰ تومان)، استفاده از مواد معدنی از جمله بتونیت در ترکیب با پلیمرهای سوپر جاذب مصنوعی و یا استفاده به صورت مجزا از

کلروفیل به ترتیب مربوط به بالاترین سطح هر دو نوع سوپر جاذب و شاهد بود. خشکی باعث شکسته شدن کلروپلاست ها و کاهش میزان کلروفیل می گردد. گیاهانی که حساسیت بیشتری به خشکی دارند کمپلکس کلروفیل- پروتئین و لیپید آن ها ناپایدارتر می باشد. در اثر خشکی، شکل پلاستیدهای جدید کلروفیل a، کلروفیل b کاهش می یابد و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b تغییر می کند (۱۸). تحقیق رازیان و پیرزاد (۲) در مورد بایونه آلمانی نشان می دهد که در تنش های شدید خشکی، کاهش قابل توجهی در محتوی کلروفیل نسبت به شرایط متعادل آبیاری به وجود می آید. بنابراین، تنش های با خشکی ملایم، مقادیر کلروفیل a، b و کل را افزایش داد. و با ادامه تنش شدید خشکی، این مقادیر به حداقل میزان خود رسید و بیشترین میزان محتوای کلروفیل با به کارگیری بیشترین میزان سوپر جاذب حاصل شد. این نتیجه منطبق بر یافته های اعلامی و همکاران (۱) و شیخ مرادی و همکاران (۴) در مورد چمن نیز می باشد. در تحقیقی دیگر، افزایش محتوای کلروفیل a و b ذرت دانه ای با کاربرد نسبت حجمی ۱۰:۹۰ (پلیمر سوپر جاذب: خاک شنی) در شرایط تنش شوری گزارش شد (۱۵).

گزینه‌هایی هستند که می‌توانند ضمن کاستن از شدت تنش آب مؤثر واقع گردند. خشکی، در بهبود شرایط رشدی گیاه و استفاده بهینه از منابع

منابع مورد استفاده

۱. اعلامی، م.، ع. تهرانی‌فر، غ. ح. داوری نژاد و ی. سلاح ورزی. ۱۳۹۰. بررسی اثر سوپرچاذب، پاکلوبوترازول و دور آبیاری بر خصوصیات کیفی و رشد چچم (*Lolium perenne cv. Barbal*) در شرایط آب و هوایی مشهد. علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۳): ۲۸۸-۲۹۵.
۲. رازبان، م. و ع. پیرزاد. ۱۳۹۰. بررسی اثر کاربرد مقادیر مختلف سوپرچاذب تحت رژیم‌های آبیاری متفاوت بر رشد و تحمل کم آبی در کشت دوم بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*). دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۱(۴): ۱۲۳-۱۳۷.
۳. سرمدنیا، غ. ح. و ع. کوچکی. ۱۳۶۶. جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم (ترجمه). چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۴. شیخ مرادی، ف.، ع. ارجی، ا. اسماعیلی و و. عبدوسی. ۱۳۹۰. بررسی اثر دور آبیاری و پلیمر سوپرچاذب روی برخی خصوصیات کیفی چمن اسپورت. علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۲): ۱۷۰-۱۷۷.
۵. صداقت، ن. و ف. حسینی. ۱۳۸۹. تأثیر نوع بسته بندی و دمای نگهداری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی آب لیمو. پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران ۶(۱): ۱۸.
۶. عابدی کوپایی، ج. و ف. سهراب. ۱۳۸۳. تأثیر کانی‌های زئولیت و بتونیت بر خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه شهید چمران، اهواز، صفحات ۵۶۲-۵۶۷.
۷. کافی، م.، ا. برزوئی، م. صالحی، ع. کمندی، ع. معصومی و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۸. کبیری، ک. ۱۳۸۴. هیدروژل‌های سوپرچاذب: معرفی و کاربردها. سومین دوره آموزشی و سمینار کاربرد کشاورزی هیدروژل‌های سوپرچاذب، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، آبان، کرج.
۹. کوچکی، ع. و ا. عزیزاده. ۱۳۶۵. اصول زراعت در مناطق خشک. انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۷۰ صفحه.
۱۰. فاضلی رستم‌پور، م.، م. ثقه الاسلامی و س. موسوی. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تنش خشکی و سوپرچاذب بر محتوی نسبی آب و شاخص کلروفیل برگ و رابطه‌ی آن‌ها با عملکرد دانه در ذرت. فیزیولوژی گیاهان زراعی ۲(۱): ۱۳-۱۹.
۱۱. میر جلیلی، ع. ۱۳۸۴. گیاهان در محیط‌های تنش‌زا. انتشارات نوربخش.
۱۲. وحدتی مشهدیان، ن. ۱۳۹۰. بررسی اثرات تنش شوری بر روی پاسخ‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی سه نوع شبدر با پتانسیل استفاده در فضای سبز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
13. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Inc., pp. 45-56.
14. Blum, A. and A. Ebercon. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21: 43-47.
15. El Sayed, H. and A. El Sayed. 2011. Influence of salinity stress on growth parameters, photosynthetic activity and cytological studies of *Zea mays* L. plant using hydrogel polymer. Agric. Biol. J. North Am. 2(6): 907-920.
16. Judd, W.S., C.S. Campbell, E.A. Kellogg and P.F. Stevens. 1999. Plant Systematics: A Phylogenetic Approach. Sinauer Assoc., Sunderland.
17. Kramer, P.J. 1983. Plant Water Relations. Academic Press, New York.
18. Lawlor, D.W. and G. Comic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell Environ. 25(2): 275-294.

19. Orikiriza, L.J.B., H. Agaba, M. Tweheyo, G. Eilu, J.D. Kabasa and A. Huttermann. 2009. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions. *Clean Soil Air Water* 37: 615-620.
20. Shi, Y., J. Li, J. Shao, S. Deng, R. Wang, N. Li, J. Sun, H. Zhang, X. Zheng, D. Zhou, A. Huttermann and S. Chen. 2010. Effects of stockosorb and luquasorb polymers on salt and drought tolerance of *Populus popularis*. *Sci. Hort.*124: 268-273.
21. Specht, A. and J.H. Jones. 2000. Improving water delivery to the roots of recently transplanted seedling trees: The use of hydrogels to reduce leaf loss and hasten root establishment. *Forest Res.* 1: 117-123.
22. Stejskal, M. 1996. Mining and Treatment of Silicate. (In Czech). Silikatavy Svaz, Praha, 443 p.