گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۲)، ۸(۱): ۱۰۵-۱۲۰

مقاله پژوهشی

بررسی برخی ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیک و بیوشیمیایی آکاسیا (*Acacia salicina*) تیمار شده با بسپارهای ابرجاذب در شرایط تنش خشکی

نورالله معلمی*، اسمعیل خالقی، عباس دانایی فر

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

n.moallemi@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲

چکیده

تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های نازیوا (غیر زیستی) است که رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از راهکارهای مدیریت رطوبت خاک و تحمل گیاهان به تنش خشکی استفاده از مواد آلی سازگار با محیط زیست از جمله بسپارهای ابر جاذب است. برای بررسی برخی ویژگی های مورفو-فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نهال‌های آکاسیا، پژوهشی با استفاده از سه نوع بسپار ابر جاذب (A200، SNF و Barbary) با سه غلظت (صفر، ۱ و ۲ گرم بر کیلوگرم) در سه سطح تنش خشکی (دور آبیاری اول، دوم و سوم) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه انجام گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی، نورساخت (فتوسنتز)، تعرق، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و کاروتنوئید شد و میزان نشت یونی، پرولین و کربوهیدرات کل را به طور معنی‌داری افزایش داد و کاربرد ابرجاذب‌ها موجب افزایش تحمل آکاسیا به تنش خشکی گردید، به طوری که استفاده از بسپارهای ابر جاذب Barbary در غلظت ۱ گرم بر کیلوگرم در دور آبیاری اول دارای بیشترین وزن تر اندام هوایی (۱۴۴ گرم) و میزان کلروفیل (۱/۷۳ میلی‌گرم بر گرم) بود. استفاده از ابرجاذب A200 در غلظت یک گرم بر کیلوگرم در دور آبیاری اول موجب افزایش ۵/۴۸٪ میزان نورساخت و در غلظت دو گرم بر کیلوگرم در دور آبیاری اول موجب افزایش ۴۱/۶۶٪ میزان تعرق و ۱۱/۰۶٪ محتوای نسبی آب برگ نسبت به عدم کاربرد گردید. همچنین استفاده از ابر جاذب SNF در غلظت دو گرم بر کیلوگرم در دور آبیاری اول موجب افزایش ۳۶/۵۸٪ میزان کاروتنوئید نسبت به عدم کاربرد این ابر جاذب در هفته اول شد. کاربرد A200 در غلظت دو گرم بر کیلوگرم در دور آبیاری سوم موجب کاهش نشت یونی به میزان ۲۲/۵۰٪ نسبت به عدم استفاده از این ابر جاذب در دور آبیاری اول شد. کاربرد ابر جاذب SNF در غلظت یک گرم بر کیلوگرم در دور آبیاری اول میزان پرولین را ۲۲/۰۸٪ نسبت به عدم کاربرد SNF کاهش داد. بنابراین استفاده از بسپار ابر جاذب به ویژه Barbary تحمل گیاهان را نسبت به تنش خشکی افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بسپار، خشکی، نورساخت، کربوهیدرات.

مقدمه

آکاسیا با نام علمی *Acacia salicina* L. متعلق به تیره لوبیاسانان و یک تثبیت‌کننده نیتروژن است. این گونه، بومی مناطق خشک در جنوب استرالیا است که به عنوان گونه چند منظوره به مناطق دیگر معرفی شده است و در زمینه تغذیه دام، فضای سبز و احیاء مناطق خشک کاربرد دارد (Oliet *et al.*, 2016). همچنین بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از ساکنان روستایی و فروشنده گیاهان طبی این گیاه دارای مصارف دارویی فراون از جمله تسکین‌دهنده دردهای التهابی است (Bouhlel *et al.*, 2009). علاوه بر این، در مقایسه با سایر گونه‌های بومی و غیر بومی زمین‌های خشک مدیترانه‌ای، در بالاترین سطح اصلاح کنندگی خاک و بهبود ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک قرار دارد (Oliet *et al.*, 2016). به دلیل رشد زیاد دارای خاصیت اصلاح کنندگی سریع خاک بوده و به عنوان یک گونه غیر بومی بسیار مناسب برای احیاء مناطق مدیترانه‌ای که شرایط آب و هوایی خشک دارند محسوب می‌شود. این گونه نسبت به تنش‌های نازیوا از جمله خشکی مقاوم است (Oliet *et al.*, 2016). خشکی یک اصطلاح هواشناسی است و معمولا به عنوان یک دوره بدون بارش تعریف می‌شود. به طور کلی تنش خشکی زمانی اتفاق می‌افتد که آب موجود در خاک کاهش یابد و شرایط جوی باعث کاهش مداوم آب از طریق تبخیر و تعرق شود که منجر به تغییر عملکرد متابولیسم، کاهش رنگدانه‌های نورساختی و ویژگی های رویشی از قبیل ارتفاع گیاه می‌شود (Jaleel *et al.*, 2009). در شرایط تنش خشکی، افزایش گونه‌های فعال اکسیژن موجب آسیب به غشاء، ساختار یاخته، افزایش نشت یونی، کاهش میزان نورساخت و در نتیجه توقف رشد گیاه می‌شود (Islam *et al.*, 2011). در تنش خشکی برخی واکنش‌های متابولیکی ایجاد می‌شود که می‌تواند به سازگاری بیشتر در برابر تنش کمک کند (Islam *et al.*, 2011). به علت کمبود منابع آب، مدیریت رطوبت خاک در شرایط تنش بسیار مهم است (Islam *et al.*, 2011). مواد جاذب سنتی مانند فوم پلی یورتان برخلاف بسپارهای ابر جاذب[1] بیشتر آب جذب شده خود را هنگام فشرده شدن از دست خواهند داد (Zohuriaan-Mehr & Kabiri, 2008). ابر جاذب‌ها را براساس بار الکتریکی به حالت آنیونی، کاتیونی و خنثی طبقه‌بندی می‌کنند. اکثر ابر جاذب‌های تجاری که در کشاورزی حائز اهمیت هستند از نوع آنیونی هستند (Zohuriaan-Mehr & Kabiri, 2008). این ژل‌های هیدروفیلی که به عنوان هیدروژل نامیده می‌شوند، شبکه زنجیره‌ای از بسپارها هستند که در برخی موارد به عنوان ژل‌های کلوئیدی یافت می‌شوند و در بستر پراکنده می‌شوند. این هیدروژل‌ها با جذب آب متورم و به مقدار قابل توجهی آب را نگه می‌دارند که به انعطاف‌پذیری آنها کمک می‌کند. این مواد به دو حالت شیمیایی از طریق واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی از طریق تغییرات برگشت‌پذیر ساختار بلوری و تخلخل موجب جذب آب می‌شوند (Zohuriaan-Mehr & Kabiri, 2008). بنابراین برای محافظت از خاک مخصوصاً خاک‌های ضعیف و خاک‌های در معرض فرسایش مناسب هستند. پلی‌آکریل‌آمید با پایه نمک پتاسیم یک ابر جاذب مصنوعی است که تا پنج سال در خاک فعالیت دارد و باعث ذخیره آب می‌شود. بنابراین استفاده از بسپارهای ابرجاذب یک تکنولوژی محبوب ذخیره آب برای کشاورزانی است که در مناطق خشک و نیمه خشک کشاورزی می‌کنند (Islam *et al.*, 2011). بسپارهای ابر جاذب باعث جذب و نگهداری آب و مواد غذایی می‌شوند و در موقع نیاز آب و مواد غذایی را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. کاربرد بسپارهای ابر جاذب موجب تولید گیاهان با هزینه‌ی پایین‌تر،

۱- Super absorbance polymers

مدیریت منابع آب و افزایش آب در دسترس برای گیاهان، بهبود ساختمان، تخلخل و نفوذپذیری خاک، تخلیه آسان‌تر دی‌اکسید کربن از ناحیه ریشه و افزایش جذب آب و مواد غذایی می‌شود (Nazarli *et al.*, 2011). حدود ۳/۵ میلیارد هکتار زمین به عبارتی ۳۰٪ زمین‌های جهان به وسیله‌ی فعالیت‌های انسانی تخریب شده‌اند و مواد آلی آنها کاهش یافته است. از بزرگترین چالش‌های بشر احیاء این زمین‌ها است که راه حل مناسب آن استفاده از بسپارهای ابر جاذب است. چون این مواد آب‌دوست و حاوی گروه کربوکسیلیک هستند (Huettermann *et al.*, 2009). کاربرد بسپارهای ابر جاذب روی سویا در شرایط تنش خشکی موجب افزایش عملکرد و ویژگی های رویشی از جمله سطح برگ و سرعت رشد گردید (Yazdani *et al.*, 2007). Esmaeili و Danaeifar (2022) در نتایج حاصل از پژوهش خود گزارش کردند که استفاده از بسپار ابر جاذب موجب افزایش طول ریشه و کاهش میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز در گیاه مورد معطر تحت شرایط تنش خشکی گردید. Li و همکاران (2018) بیان کردند که تنش خشکی موجب توقف رشد و نمو گیاه و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود؛ در حالی که استفاده از بسپارهای ابر جاذب موجب افزایش وزن گیاه، میزان کلروفیل و نورساخت تحت شرایط تنش گردید. همچنین استفاده از بسپارهای ابر جاذب موجب افزایش میزان جذب عناصر غذایی تحت شرایط تنش می‌شود (Moallemi *et al.*, 2022). Tomaskova و همکاران (2020) گزارش کردند که استفاده از ابرجاذب‌ها موجب افزایش تخلخل خاک، تبادل گازی ریشه و ریزوسفر، جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش رشد گیاه می‌گردد. این مواد با افزایش آب موجود در خاک و کاهش تبخیر و تعرق از گیاه، موجب زنده ماندن و افزایش رشد گیاهان تحت تنش می‌شوند. ابرجاذب‌ها به فلزات سنگین متصل و از اثرات سمی این فلزات در گیاه جلوگیری می‌کنند و همچنین اثرات مضر شوری را تحت شرایط تنش کاهش می‌دهند (Huettermann *et al.*, 2009). در پژوهشی، Sayyari و Ghanbari (2012) گزارش کردند که استفاده از این مواد روی فلفل[۱] باعث افزایش ویژگی های رویشی از قبیل وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، سطح برگ، ارتفاع گیاه و افزایش میزان کلروفیل، محتوای نسبی آب و عملکرد تحت رژیم‌های مختلف آبیاری شد، اما میزان پرولین را کاهش داد.

باتوجه به این که تنش‌های غیر زنده از جمله خشکی، رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ لذا هدف از این تحقیق بررسی مقایسه کاربرد سه نوع بسپار ابر جاذب A200، SNF و Barbary در سه سطح بر ویژگی های مورفو-فیزیولوژیک و بیوشیمیایی درخت آکاسیا[۲] تحت شرایط تنش خشکی برای کشت در مناطق عاری از پوشش گیاهی استان خوزستان و برای مقابله با ریزگردها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

کاشت و مراقبت گیاهان

برای انجام پژوهش ابتدا نهال‌های یکساله آکاسیا همیشه سبز (دارای برگ‌های پایا، سرنیزه‌ای، طول ۱۲ – ۱۶ سانتیمتر و عرض ۷ – ۱۲ میلیمتر و ضخیم) در تاریخ ۱۳۹۷/۱۰/۲۱ از یک گلخانه تجاری واقع در شهرستان اهواز تهیه و به مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز منتقل گردید. سپس نهال‌ها همراه با خاک اطراف در گلدان‌هایی (با ارتفاع ۴۰،

۱- *Capsicum annuum*

۲- *Acacia salicina*

قطر دهانه ۳۵ و قطر کف ۳۰ سانتی‌متر) که حاوی دو قسمت حجمی خاک و یک قسمت کود دامی بودند، کشت شدند. وزن هر گلدان محتوی خاک ۲۵ کیلوگرم بود. ته گلدان‌ها حاوی پنج سوراخ بود که برای زهکش بهتر مقداری سنگریزه در کف گلدان استفاده شد.

هیدروژل‌های به‌کار رفته شامل سه نوع Barbary، A200 و SNF (Barbary تولید شده از شرکت صالح فرانسه، A200 تولید شرکت نانو آرین ایرانیان و SNF تولید شرکت از شرکت آکوازورب فرانسه) که هر کدام به مقدار صفر، یک و دو گرم به ازای هر کیلوگرم خاک استفاده شدند. هیدروژل‌ها مطابق با دستورالعمل شرکت تولیدکننده تهیه و همزمان با کشت در بستر گیاه در اختیار ریشه قرار گرفتند. به این صورت که هیدروژل Barbary یک ساعت قبل از اعمال، در آب خیسانده شد (به ازای ۵۰ گرم هیدروژل Barbary، پنج لیتر آب) تا حالت ژله‌ای پیدا کند و سپس در بستر گیاه قرار گرفت و هیدروژل A200 و SNF بدون خیساندن در بستر گیاه قرار گرفتند. تنش خشکی دو هفته پس از کاشت نهال‌ها اعمال شد. تنش خشکی در سه سطح شامل آبیاری گلدان‌ها بعد از یک هفته (دور آبیاری اول)، دو هفته (دور آبیاری دوم) و سه هفته (دور آبیاری سوم) بود (میزان آبیاری بر اساس محاسبه آب تبخیر شده از گلدان‌های شاهد اعمال شد). آزمایش به صورت فاکتوریل ۳×۳×۳ با ۲۷ تیمار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار شامل سه نوع بسپار ابر جاذب (Barbary، A200 و SNF)، سه غلظت (صفر، ۲۵ و ۵۰ گرم در هر گلدان) و سه سطح تنش خشکی (یک‌هفته، دوهفته و سه‌هفته) به اجرا درآمد. پس از پایان آزمایش در تاریخ ۹۸/۸/۱۳ گیاهان از گلدان خارج و برای بررسی تأثیر بسپارهای ابر جاذب در افزایش تحمل به تنش خشکی صفات زیر (وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه) اندازه گیری شدند:

وزن تر و خشک اندام هوایی

در آزمایشگاه، اندام هوایی از ریشه جدا و با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن تر اندام هوایی اندازه‌گیری و پس از قرار دادن نمونه‌ها در آون به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد.

وزن تر و خشک ریشه

پس از پایان آزمایش و جدا کردن ریشه از اندام هوایی ابتدا خاک اطراف ریشه را از طریق شستشو جدا کرده و آب اضافی ریشه‌ها از طریق گذاشتن آنها در دستمال‌های کاغذی گرفته شد. سپس وزن تر ریشه با استفاده از ترازوی دیجیتال و وزن خشک ریشه‌ها پس از خشک شدن در آون به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد.

تبادلات گازی (نورساخت و تعرق)

تبادلات گازی از جمله نورساخت (A) و تعرق (E) با یک دستگاه قابل حمل (مدل Lci Console, UK) در شرایط نوری کامل (از ساعت ۸ تا ۱۰/۵ صبح) بر روی برگ‌های گره سه تا شش در طول آزمایش اندازه‌گیری شد. در نهایت نورساخت برحسب میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه و تعرق بر حسب میلی مول بر متر مربع بر ثانیه گزارش شد.

نشت یونی

پایداری غشا یاخته‌ای با اندازه‌گیری هدایت الکترولیتی[1] بر اساس روش Lutts و همکاران (1996) اندازه گیری شد. مقدار مساوی از برگ‌ها (٦ دیسک یک سانتی‌متری) پس از شستشو با آب دو بار تقطیر درون لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل منتقل شد. پس از گذاشتن نمونه‌ها به مدت ٢٤ ساعت در دمای آزمایشگاه روی شیکر EC1 قرائت شد. در مرحله بعد نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس در اتوکلاو قرار گرفت که پس از خنک شدن (EC2) قرائت و در نهایت درصد نشت یونی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

رابطه ۱: $EC\%=(EC1/EC2) \times 100$

محتوای نسبی آب

برای اندازه‌گیری این صفت نیم گرم از قسمت‌های سالم برگ جدا و با کمک ترازوی دیجیتالی توزین و به پتری دیش‌های حاوی آب مقطر منتقل و به مدت ٢٤ ساعت در دمای محیط (۲۳ درجه سلیسیوس) و در تاریکی قرار داده شد. پس از حذف رطوبت اضافی، وزن آماس آنها اندازه گیری شد. بعد از این مرحله، قطعات برگ به مدت ٤٨ ساعت به آون ۷۰ درجه سلیسیوس منتقل و وزن خشک آنها تعیین گردید. سپس با استفاده از رابطه ۲ محتوی نسبی آب برگ محاسبه شد (Bingham & Smart, 1974).

رابطه ۲:

$$\text{محتوای نسبی آب برگ}(\%) = \left(\frac{\text{وزن خشک برگ}-\text{وزن برگ تازه}}{\text{وزن خشک برگ}-\text{وزن برگ آماس}}\right) \times ۱۰۰$$

میزان کلروفیل و کاروتنوئیدهای برگ

برای اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler (1987) استفاده شد. ۱۰۰ میلی‌گرم از برگ‌های فریز شده در نیتروژن مایع در هاون با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ پودر و به لوله آزمایش منتقل شد و سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس مقدار جذب محلول رونشین با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٦٦٣/٦، ٦٤٦/٦ و ٤٧٠ نانومتر قرائت شد و در نهایت بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بر اساس روابط ۵-۳ گزارش گردید.

رابطه ۳:

$[chl\ a] = 12.25\ A663.6 - 2.55\ A646.6$

رابطه ٤: $[chl\ b] = 20.31\ A646.6 - 4.91\ A663.6$

رابطه ۵: $[chl\ a+b] = 17.76\ A646.6 + 7.34\ A663.6$

که در آن A663.6 میزان جذب در طول موج ٦٦٣/٦ نانومتر و A646.6 میزان جذب در طول موج ٦٤٦/٦ نانومتر است.

میزان کاروتنوئید طبق رابطه ٦ محاسبه گردید.

رابطه ٦: $Cx+c= (1000\times A470-1.90Chla-63.14Chlb)/214$

که در آن A470 میزان جذب در طول موج ٤٧٠ نانومتر است.

۱- Electrolytic conductivity

برای بیان داده‌ها براساس میلی‌گرم بر گرم از رابطه ۷ استفاده شد.

رابطه ۷:

$$\mathrm{Chl}\left(\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{g}}\right) = \left(\frac{\mathrm{chl}\left(\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{l}}\right) \times 0.01(\mathrm{l})}{\mathrm{weight\ (g)}}\right)$$

استخراج عصاره برای اندازه‌گیری پرولین آزاد و قندهای محلول کل

بدین منظور، نیم گرم نمونه برگی منجمد شده، با پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ در هاون چینی له گردید. ادامه استخراج طی دو مرحله شستشو و هر مرحله با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ ادامه یافت. عصاره‌های الکلی جمع‌آوری شده، به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ٤°C و سرعت ۳۵۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید (Irigoyen *et al.*, 1992).

برای استخراج پرولین از نمونه‌ها، دو میلی‌لیتر از عصاره الکلی تهیه شده، در لوله‌های آزمایش درپوش‌دار ۱۵ ml ریخته شد و به آن، دو میلی‌لیتر نین‌هیدرین اسید و دو میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال افزوده شد. محلول حاصل ابتدا به مدت یک ساعت در حمام آب جوش و پس از آن در ظرف آب یخ قرار داده شد. پس از خنک شدن، چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله آزمایش اضافه گردید. بلافاصله جذب اسپکتروفتومتری فاز فوقانی نمونه‌ها، در طول موج ۵۲۰ nm قرائت گردید و مقدار پرولین نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد (Bates *et al.*, 1973).

میزان کل کربوهیدارت‌های محلول

برای اندازه‌گیری قندهای محلول کل ابتدا ۱۰۰ µl از عصاره الکلی تهیه شده، در لوله‌های آزمایش درپوش‌دار ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد و سه میلی‌لیتر معرف آنترون تازه آماده شده، به آن افزوده شد. سپس لوله‌های آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شدند. پس از خنک شدن لوله‌های آزمایش، جذب نمونه‌ها (استانداردها) در طول موج ٦۲۵ nm با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید (Irigoyen *et al.*, 1992).

واکاوی داده‌ها

پس از پایان آزمایش داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 تجزیه و تحلیل و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ برای مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد.

نتایج

مقایسه میانگین داده‌های مورفولوژیکی (جدول ۱) نشان داد که استفاده از بسپارهای ابر جاذب در هر سه سطح تنش وزن تر اندام هوایی را افزایش می‌دهند که این افزایش در برخی موارد معنی‌دار گردید. افزایش وزن تر اندام هوایی مرتبط با افزایش مقدار بسپارهای ابر جاذب بود به طوری که بیشترین وزن تر اندام هوایی در دور آبیاری اول و در غلظت یک گرم بر کیلوگرم بسپار ابر جاذب Barbary به دست آمد که موجب افزایش ٦۱/٦۳٪ وزن تر اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد ابر جاذب A200 در همین دور آبیاری گردید و کمترین وزن تر اندام هوایی در دور آبیاری دوم و شرایط عدم استفاده از بسپار ابر جاذب SNF به دست آمد که کاهش ٤۵/٤۸٪ نسبت به شرایط مشابه در دور آبیاری اول داشت. وزن خشک اندام هوایی همچنین تحت تأثیر تیمارهای مورد آزمایش قرار گرفت به طوری که تنش خشکی موجب توقف رشد و در نتیجه اثرات منفی بر وزن خشک اندام هوایی گردید و استفاده از هیدروژل‌ها موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی تحت تنش خشکی شدند به طوری که بیشترین وزن خشک اندام هوایی (۷۱/۹۵ گرم) در دور آبیاری اول با غلظت یک گرم بر کیلوگرم بسپار

ابرجاذب Barbary به دست آمد و آن را نسبت به اغلب تیمارها به طور معنی‌داری افزایش داد. کمترین وزن خشک اندام هوایی در دور آبیاری سوم و شرایط عدم کاربرد بسپار ابر جاذب SNF به دست آمد که کاهش ۴۲/۹۰٪ نسبت به شرایط مشابه در دور آبیاری اول داشت. استفاده از بسپارهای ابر جاذب در دورهای آبیاری اول، دوم و سوم وزن تر و خشک ریشه را نسبت به عدم استفاده از هیدروژل‌ها افزایش دادند که این افزایش در برخی موارد نسبت به عدم کاربرد بسپارهای ابر جاذب معنی‌دار گردید. بیشترین وزن تر (۸۳/۶۹ گرم) و خشک (۳۷/۷۰ گرم) ریشه در دور آبیاری سوم و غلظت دو گرم بر کیلوگرم بسپار ابر جاذب Barbary به دست آمد که نسبت به اغلب تیمارها افزایش معنی‌داری در وزن تر و خشک ریشه داشت و کمترین وزن تر و خشک ریشه در دور آبیاری اول و شرایط عدم استفاده از بسپار ابر جاذب A200 به دست آمد.

جدول ۱- اثرات سه گانه تنش خشکی در بسپارهای ابر جاذب در غلظت بر برخی ویژگی های مورفولوژیک گیاه آکاسیا

Table 1. The triple effects of drought stress on superabsorbent polymers (SAP) in concentration on some Acacia morphological parameters characteristics.

تنش خشکی Drought stress	بسپار ابر جاذب SAP	سطح (گرم) Level (gr)	وزن تر اندام هوایی (گرم) Shoot fresh weight (gr)	وزن خشک اندام هوایی (گرم) Shoot dry weight (gr)	وزن تر ریشه (گرم) Root fresh weight (gr)	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (gr)
دورآبیاری اول	A200	0	89.09^{d-g}	35.21^{ghi}	28.58^{i}	14.49^{f}
		1	90.17^{d-g}	42.68^{d-i}	40.11^{e-i}	17.95^{c-f}
		2	98.90^{c-f}	41.92^{e-i}	38.12^{f-i}	18.19^{c-f}
	SNF	0	125.37^{abc}	52.07^{cde}	46.86^{b-i}	24.94^{b-f}
		1	128.18^{ab}	56.82^{cd}	47.70^{b-i}	27.86^{a-e}
		2	134.84^{a}	57.64^{bc}	50.67^{b-h}	26.76^{a-f}
	Barbary	0	124.97^{abc}	58.84^{bc}	52.71^{b-h}	23.45^{b-f}
		1	144.00^{a}	71.95^{a}	50.89^{b-h}	29.09^{abc}
		2	136.51^{a}	70.48^{ab}	66.68^{ab}	28.12^{a-d}
دور آبیاری دوم	A200	0	99.79^{c-f}	44.30^{c-i}	33.20^{hi}	14.51^{f}
		1	103.81^{b-e}	51.20^{c-f}	46.98^{b-i}	23.20^{b-f}
		2	104.20^{b-e}	50.47^{c-f}	42.67^{d-i}	20.70^{b-f}
	SNF	0	68.35^{g}	30.09^{hi}	37.71^{f-i}	15.65^{def}
		1	86.77^{d-g}	39.48^{e-i}	39.80^{e-i}	17.19^{c-f}
		2	104.54^{b-e}	45.34^{c-g}	46.93^{b-i}	19.38^{b-f}
	Barbary	0	99.21^{c-f}	46.63^{c-g}	35.61^{ghi}	15.32^{ef}
		1	105.90^{b-e}	53.64^{cde}	58.73^{b-f}	27.07^{a-f}
		2	109.16^{bcd}	53.51^{cde}	44.70^{c-i}	19.18^{b-f}
دور آبیاری سوم	A200	0	81.84^{d-g}	34.62^{ghi}	47.69^{b-i}	20.80^{b-f}

37.59^{a}	65.28^{abc}	41.25^{e-i}	88.18^{d-g}	1	
26.23^{a-f}	54.88^{b-g}	44.79^{c-g}	101.56^{b-e}	2	
17.45^{c-f}	45.63^{b-i}	29.73^{i}	73.06^{fg}	0	SNF
20.18^{b-f}	42.30^{d-i}	36.93^{f-i}	80.24^{efg}	1	
25.31^{b-f}	59.84^{b-e}	39.16^{e-i}	103.51^{b-e}	2	
27.53^{a-e}	62.32^{bcd}	42.88^{d-i}	73.84^{fg}	0	Barbary
30.96^{ab}	66.49^{ab}	33.16^{ghi}	70.84^{g}	1	
37.70^{a}	83.69^{a}	40.75^{e-i}	79.11^{efg}	2	

برای هر صفت میانگین‌های با دستکم یک حرف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P<0.05$) ندارند.

For each parameter, the averages with at least one same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول ۲ افزایش شدت تنش خشکی میزان نورساخت را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد، به طوری که در دور آبیاری سوم و عدم کاربرد بسپار ابر جاذب SNF کمترین میزان نورساخت به دست آمد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که استفاده از بسپارهای ابر جاذب تحت شرایط تنش خشکی میزان نورساخت را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد، به طوری که بیشترین میزان نورساخت (۱۵/۲۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) در دور آبیاری اول با غلظت یک گرم در کیلوگرم هیدروژل A200 به دست آمد که نسبت به برخی تیمارها در دور آبیاری دوم و همه تیمارهای دور آبیاری سوم افزایش معنی‌داری داشت. همچنین نسبت به عدم کاربرد A200 در دور آبیاری اول میزان نورساخت را ۴۸٪ افزایش داد. کمترین میزان نورساخت (۴/۴۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) در دور آبیاری سوم و شرایط عدم استفاده از بسپار ابر جاذب Barbary به دست آمد. همچنین میزان تعرق تحت تأثیر اعمال تیمارها قرار گرفت و افزایش غلظت بسپارهای ابر جاذب در اغلب موارد میزان تعرق را تحت شرایط تنش خشکی افزایش داد که این افزایش در برخی موارد معنی‌دار شد و اعمال تنش خشکی در دور آبیاری دوم و سوم میزان تعرق را در اغلب موارد نسبت به دور آبیاری اول کاهش داد. مقدار دو گرم در کیلوگرم بسپار ابر جاذب A200 در دور آبیاری اول دارای بیشترین میزان تعرق بود که افزایش ۴۱/۶۶٪ نسبت به شرایط عدم استفاده از این ابر جاذب گردید و در دور آبیاری سوم و شرایط عدم کاربرد Barbary کمترین میزان تعرق (۰/۲۹ میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) به دست آمد که کاهش ۵۰٪ در میزان تعرق نسبت به شرایط مشابه در دور آبیاری اول داشت. افزایش شدت تنش خشکی میزان نشت یونی را به طور معنی‌داری افزایش داد و استفاده از هیدروژل‌ها در اغلب موارد میزان نشت یونی را نسبت به شرایط عدم استفاده از هیدروژل‌ها کاهش دادند به طوری که بیشترین میزان نشت یونی در شرایط عدم استفاده از بسپار Barbary در دور آبیاری سوم به دست آمد که افزایش ۳۶/۳۸٪ نسبت به شرایط مشابه در دور آبیاری اول داشت و مقدار دو گرم بر کیلوگرم A200 در دور آبیاری سوم دارای کمترین میزان نشت یونی (۱۳/۴۳٪) بود که کاهش ۲۲/۵۰٪ی نسبت به عدم استفاده از A200 در دور آبیاری اول داشت. استفاده از بسپارهای ابر جاذب محتوای نسبی آب را در همه موارد نسبت به شرایط عدم استفاده از بسپارها افزایش دادند که این افزایش در برخی موارد معنی‌دار شد. مقدار دو گرم بر کیلوگرم بسپار ابر جاذب A200 در دور آبیاری اول داری بیشترین میزان محتوای نسبی آب (۶۹/۶۶٪) بود که

افزایش ۱۱/۰۶٪ی نسبت به عدم کاربرد این ابر جاذب داشت. عدم کاربرد SNF در دور آبیاری سوم دارای کمترین میزان محتوای نسبی آب بود که کاهش ۳۰/۳۸٪ نسبت به کاربرد یک گرم بر کیلوگرم SNF در دور آبیاری اول داشت.

جدول ۲- اثرهای سه گانه تنش خشکی در بسپارهای ابر جاذب در غلظت بر برخی ویژگی های فیزیولوژیک گیاه آکاسیا.

Table 2. The triple effects of drought stress on superabsorbent polymers (SAP) in concentration on some Acacia physiological characteristics.

تنش خشکی Drought stress	بسپار ابر جاذب SAP	سطح (گرم) Level (gr)	نورساخت (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) Photosynthesis (µmol m-^{2}s^{-1})	تعرق (میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه) Transpiration (mmol/m^{2}s)	نشت یونی (٪) Electrical leakage (%)	محتوای نسبی آب (درصد) Relative water content (%)
دور آبیاری اول	A200	0	14.41^{a}	0.60^{bcd}	17.33^{f-i}	62.72^{a-d}
		1	15.20^{a}	0.84^{a}	14.17^{ij}	69.23^{a}
		2	15.10^{a}	0.85^{a}	14.15^{ij}	69.66^{a}
	SNF	0	10.53^{b-e}	0.39^{fg}	20.00^{def}	57.62^{b-g}
		1	15.19^{a}	0.68^{abc}	16.85^{f-j}	68.19^{a}
		2	15.18^{a}	0.36^{fg}	15.12^{hij}	67.80^{a}
	Barbary	0	10.24^{b-e}	0.58^{b-e}	18.99^{efg}	56.59^{c-h}
		1	12.57^{abc}	0.76^{ab}	14.48^{hij}	59.87^{b-f}
		2	13.61^{ab}	0.61^{bcd}	14.81^{hij}	60.48^{b-e}
دور آبیاری دوم	A200	0	5.51^{gh}	0.38^{fg}	15.58^{g-j}	48.69^{ij}
		1	8.38^{d-g}	0.69^{abc}	18.86^{efg}	50.28^{hij}
		2	12.51^{abc}	0.71^{abc}	18.07^{e-h}	59.59^{b-f}
	SNF	0	8.22^{d-g}	0.33^{fg}	25.06^{abc}	60.61^{b-e}
		1	15.19^{a}	0.53^{c-f}	25.11^{abc}	64.05^{ab}
		2	14.65^{a}	0.71^{abc}	23.73^{abc}	63.07^{abc}
	Barbary	0	9.71^{c-f}	0.44^{d-g}	25.25^{abc}	51.99^{hij}
		1	11.51^{a-d}	0.69^{abc}	25.67^{a}	53.86^{e-j}
		2	13.20^{abc}	0.30^{g}	25.47^{a}	55.86^{d-i}
دور آبیاری سوم	A200	0	6.50^{fgh}	0.34^{fg}	20.03^{def}	49.50^{hij}
		1	6.90^{e-h}	0.34^{fg}	14.83^{hij}	53.10^{f-j}
		2	9.77^{c-f}	0.62^{bcd}	13.43^{j}	55.60^{e-i}
	SNF	0	3.90^{h}	0.40^{efg}	25.33^{ab}	47.47^{j}
		1	5.34^{gh}	0.53^{c-f}	22.94^{a-d}	51.09^{g-j}
		2	8.67^{d-g}	0.68^{abc}	18.90^{efg}	50.97^{g-j}
	Barbary	0	4.40^{h}	0.29^{g}	25.90^{a}	48.32^{j}
		1	5.64^{gh}	0.33^{fg}	21.69^{b-e}	53.94^{e-j}

53.04^{f-j}	21.55^{cde}	0.46^{d-g}	6.85^{e-h}	2

برای هر صفت میانگین‌های با دستکم یک حرف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P<0.05$) ندارند.

For each parameter, the averages with at least one same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

مطابق با نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها (جدول سه) تنش خشکی میزان کلروفیل کل را کاهش داد و استفاده از بسپارهای ابر جاذب میزان کلروفیل را در اغلب موارد به طور معنی داری افزایش داد. از میان همه تیمارهای مورد استفاده مقدار یک گرم در کیلوگرم هیدروژل Barbary در دور آبیاری اول دارای بیشترین میزان کلروفیل بود که افزایش ۲۰/۹۷٪ در میزان کلروفیل نسبت به عدم کاربرد این ابر جاذب در دور آبیاری اول داشت و دور آبیاری دوم با پایین‌ترین میزان SNF دارای کمترین میزان کلروفیل (۰/۷٤میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود که کاهش ۳۳/۷۸٪ نسبت به یک گرم در گیلوگرم SNF داشت. بیشترین میزان کلروفیل در دور آبیاری دوم در مقدار یک گرم بر کیلوگرم هیدروژل Barbary و بیشترین میزان کلروفیل در دور آبیاری سوم در غلظت دو گرم بر کیلو گرم بسپار ابر جاذب SNF به دست آمد. میزان کاروتنوئید تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده در آزمایش قرار گرفت به طوری که میزان کاروتنوئید در دور آبیاری دوم و سوم نسبت به دور آبیاری اول کاهش معنی‌داری پیدا کرد و کمترین میزان کاروتنوئید در دور آبیاری سوم به دست آمد و استفاده از هیدروژل‌ها موجب افزایش میزان کاروتنوئید نسبت به شرایط عدم استفاده از هیدروژل‌ها گردید. بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/٥٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در دور آبیاری اول و مقدار دو گرم بر کیلوگرم بسپار ابر جاذب SNF به دست آمد که افزایش ۳٦/٥۸٪ در میزان کاروتنوئید نسبت به عدم کاربرد این بسپار داشت. در دور آبیاری اول بسپار ابر جاذب A200 در غلظت دو گرم بر کیلوگرم، بسپار ابر جاذب SNF در غلظت یک و دو گرم بر کیلوگرم و بسپار Barbary در غلظت یک و دو گرم میزان کاروتنوئید را نسبت به عدم استفاده از این ابر جاذب‌ها به طور معنی‌داری افزایش دادند. استفاده از بسپارهای ابر جاذب میزان پرولین را در گیاه آکاسیا تحت شرایط تنش خشکی کاهش دادند که این کاهش در برخی موارد معنی‌دار گردید. بیشترین میزان پرولین در بالاترین دور آبیاری بدون استفاده از هیدروژل Barbary به دست آمد که افزایش ۳٤/٦۰٪ نسبت به تیمار مشابه در دور آبیاری اول داشت و کمترین میزان پرولین در غلظت یک گرم بر کیلوگرم SNF در دور آبیاری اول به دست آمد که کاهش ٤٤/۸۳، ۲۲/۰۸ و ٤۲/۳۲٪ به ترتیب نسبت به عدم استفاده از ابر جاذب A200، SNF و Barbary داشت. افزایش شدت تنش خشکی میزان کربوهیدرات را در گیاه آکاسیا افزایش داد، به طوری که بیشترین میزان کربوهیدرات (٤٤/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار دو گرم بر کیلوگرم SNF در دور آبیاری سوم به دست آمد که این افزایش در اغلب موارد معنی‌داری گردید و کمترین میزان کربوهیدرات (۱۰/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در دور آبیاری اول و عدم کاربرد بسپار ابر جاذب A200 به دست آمد.

جدول ۳- اثرهای سه گانه تنش خشکی در بسپارهای ابر جاذب در غلظت بر میزان کلروفیل، کاروتنوئید، پرولین و کربوهیدرات گیاه آکاسیا.

Table 3. The triple effects of drought stress on superabsorbent polymers (SAP) in concentration on chlorophyll, carotenoids, proline and total soluble carbohydrates.

تنش خشکی Drought stress	بسپار ابر جاذب SAP	سطح (گرم) Level (gr)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll (mg g^{-1} f.w)	کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر) Carotenoids (mg g^{-1} f.w)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر) Proline (µmol/g fw)	کربوهیدرات (میلی گرم بر گرم وزن تر) Carbohydrate (mg/g fw)
دور آبیاری اول	A200	0	1.00^{hij}	0.31^{de}	11.51^{b-g}	10.07^{m}
		1	1.32^{b-g}	0.38^{bcd}	9.95^{f-i}	14.19^{j-m}
		2	1.41^{b-f}	0.39^{bc}	10.79^{d-h}	13.04^{lm}
	SNF	0	1.20^{d-i}	0.41^{bc}	8.15^{ij}	11.99^{lm}
		1	1.42^{a-e}	0.53^{a}	6.35^{j}	13.81^{klm}
		2	1.22^{c-h}	0.56^{a}	6.54^{j}	19.36^{f-l}
	Barbary	0	1.43^{a-e}	0.36^{cd}	11.01^{d-g}	16.48^{i-m}
		1	1.73^{a}	0.45^{b}	8.82^{hi}	20.60^{e-l}
		2	1.50^{a-d}	0.43^{bc}	9.46^{ghi}	21.75^{e-k}
دور آبیاری دوم	A200	0	0.78^{j}	0.14^{jkl}	12.02^{b-f}	18.49^{g-m}
		1	1.30^{b-g}	0.22^{f-j}	11.35^{c-g}	25.19^{d-i}
		2	1.04^{g-j}	0.17^{h-k}	10.82^{d-h}	26.91^{d-g}
	SNF	0	0.74^{j}	0.14^{kl}	13.23^{abc}	17.35^{h-m}
		1	0.99^{hij}	0.21^{f-k}	10.93^{d-h}	24.33^{d-i}
		2	0.91^{ij}	0.15^{jkl}	9.47^{ghi}	22.03^{e-k}
	Barbary	0	1.39^{b-f}	0.23^{e-h}	13.46^{abc}	22.61^{e-j}
		1	1.47^{a-e}	0.28^{ef}	12.45^{b-e}	25.67^{d-h}
		2	1.38^{b-f}	0.27^{ef}	11.80^{b-f}	32.48^{bcd}
دور آبیاری سوم	A200	0	0.98^{hij}	0.25^{e-h}	13.54^{ab}	22.13^{e-k}
		1	1.49^{a-d}	0.27^{ef}	10.97^{d-g}	28.06^{def}
		2	1.46^{a-e}	0.25^{efg}	12.05^{b-f}	29.11^{cde}
	SNF	0	1.05^{g-j}	0.04^{m}	13.48^{abc}	36.67^{abc}
		1	1.51^{a-d}	0.03^{m}	10.31^{e-h}	40.17^{ab}
		2	1.55^{ab}	0.07^{lm}	11.04^{d-g}	44.01^{a}
	Barbary	0	0.92^{hij}	0.18^{g-k}	14.82^{a}	29.40^{cde}
		1	1.10^{f-i}	0.17^{h-k}	12.34^{b-e}	36.58^{abc}
		2	1.17^{e-i}	0.22^{f-i}	12.71^{bcd}	42.95^{a}

برای هر صفت میانگین‌های با دستکم یک حرف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P<0.05$) ندارند.

For each parameter, the averages with at least one same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

بحث

بر اساس یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر تنش خشکی موجب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی شد و کاربرد بسپارهای ابر جاذب موجب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی تحت شرایط تنش خشکی گردید. تنش خشکی موجب کاهش قطر ساقه و پتانسیل آب مورد نیاز برای طویل شدن ساقه و در نتیجه موجب کاهش ارتفاع گیاه می‌شود. کمبود آب موجب کاهش طویل شدن یاخته، تورم یاخته، حجم یاخته و درنهایت رشد یاخته می‌شود که موجب کاهش ارتفاع و وزن تر و خشک گیاه می‌گردد. همچنین این کاهش می‌تواند به علت انسداد آوند چوبی و آبکش و کاهش انتقال مواد غذایی باشد. تنش خشکی همچنین تعداد برگ و سطح برگ را کاهش می‌دهد و موجب کاهش وزن تر اندام هوایی می‌گردد. همچنین کاهش وزن در اثر تنش خشکی می‌تواند به علت کاهش میزان نورساخت و تولیدات نورساختی باشد، چون موجب از دست رفتن بیش از حد برگ‌ها می‌گردد (Oraee & Moghadam., 2013). در پژوهشی، Khaleghi و Moallemi (2018) بر اساس یافته‌های حاصل از پژوهش خود گزارش کردند که تنش خشکی وزن تر و خشک گیاه زیتون را به طور معنی‌داری کاهش داد و استفاده از بسپارهای ابر جاذب تحت تنش خشکی موجب بهبود روابط آبی گیاه و در نتیجه شرایط مورفولوژیکی گیاه زیتون نسبت به شرایط تنش گردید. کمبود آب برای همه‌ی سیستم‌های زنده از جمله سیستم تولیدات کشاورزی یک بحران جدی است. هیدروژل‌های جذب کننده آب می‌توانند با استفاده از آب باران یا آب آبیاری رطوبت را جذب و نگهداری کنند و در زمان تقاضای آبی گیاهان آن را به صورت تدریجی در اختیار گیاهان قرار دهند. هیدروژل‌های ساخته شده از بسپارهای گیاهی برای محصولات کشاورزی مناسب‌ترند زیرا دسترسی محصولات به آب خاک را بهبود بخشیده و به محصولات بی‌ضرر از جمله آب و دی‌اکسیدکربن تجزیه می‌شوند. این بسپارهای ابر جاذب ۲۰۰ برابر وزن خود آب جذب می‌کنند و وزن گیاه را افزایش می‌دهند (Mazloom *et al.*, 2020). در پژوهشی، Mazloom و همکاران (2020) بر اساس یافته‌های حاصل از پژوهش خود بیان کردند که یکی از دلایل افزایش وزن گیاه توسط هیدروژل‌ها این است که همزمان با فعالیت‌های بیولوژیکی، آب را در اختیار گیاه قرار می‌دهند و موجب تقسیم و طویل شدن یاخته می‌شوند. از دلایل دیگر تحریک رشد ریشه‌ها و تولید هورمون‌هایی از قبیل اکسین است که به اندام هوایی منتقل شده و باعث طویل شدن ارتفاع و افزایش ویژگی‌های رویشی گیاه می‌گردد. همچنین، Li و همکاران (2018) بر اساس نتایج حاصل از یافته‌های خود بیان کردند که کاربرد بسپارهای ابر جاذب تحت شرایط تنش خشکی موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک اطراف ریشه و کاهش اثرات کمبود آب، کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش رشد و وزن خشک گیاه می‌شود. این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد. بر اساس یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر، استفاده از بسپارهای ابر جاذب موجب افزایش وزن ریشه تحت تنش خشکی گردید. در پژوهشی Tongo و همکاران (2014) گزارش کردند که استفاده از بسپارهای ابر جاذب موجب افزایش وزن ریشه، حجم، سطح و طول ریشه گردید. در واقع استفاده از بسپارهای ابر جاذب موجب بهبود شرایط فیزیولوژیکی خاک و افزایش ریشه‌های ثانویه و تراکم ریشه می‌شوند. از این طریق ریشه‌ها دسترسی بیشتری به آب قابل استفاده دارند و جذب آب و مواد معدنی توسط ریشه‌ها افزایش می‌یابد که موجب افزایش وزن و طول ریشه می‌شوند. نتایج حاصل از پژوهش حاضر مبنی بر اثر استفاده از بسپارهای ابر جاذب بر وزن تر ریشه و خشک ریشه با نتایج حاصل از پژوهش‌های قبلی مطابقت دارد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان نورساخت در گیاه آکاسیا تحت شرایط تنش خشکی کاهش یافت. تنش خشکی موجب کاهش سنتز آدنوزین تری فسفات و فعالیت آنزیم روبیسکو می‌گردد و در نهایت میزان نورساخت را کاهش می‌دهد. همچنین واکنش‌های بیوشیمیایی کمبود آب موجب افزایش فعالیت اکسیژنازی آنزیم روبیسکو، کاهش میزان تثبیت کربن دی اکسید و بسته شدن روزنه‌ها شده که موجب کاهش نورساخت می‌گردد (Mathobo *et al.*, 2017). Liu و همکاران (2013) در نتایج حاصل از یافته‌های خود بیان کردند که در طول تنش خشکی، میزان تبادلات گازی کاهش می‌یابد. در بیشتر گیاهان، پاسخ به تنش خشکی موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق می‌شود. بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت مزوفیلی موجب محدود شدن کربن دی‌اکسید در دسترس می‌شود که موجب کاهش غلظت و تثبیت کربن دی‌اکسید کلروپلاست می‌گردد. این کاهش نه تنها فعالیت کربوکسیلاسیونی را کاهش داده بلکه سبب تشکیل بیشتر گونه‌های فعال اکسیژن شده و موجب خسارت به پروتئین‌ها و غشا می‌شود. همچنین سبب کاهش محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین بنسون و توقف تبادلات گازی از جمله نورساخت می‌گردد. میزان نورساخت، ظرفیت جذب کربن دی‌اکسید را نشان می‌دهد که می‌تواند تحت تأثیر غلظت‌های بسپارهای ابر جاذب قرار بگیرد. در پژوهشی Yang و همکاران (2020) در نتایج حاصل از پژوهش خود بیان کردند که همه غلظت‌های بسپارهای ابر جاذب موجب افزایش میزان نورساخت نسبت به شاهد می‌شوند. بسپارهای ابر جاذب از طریق بهبود رطوبت خاک، کاهش تغییرات دمای روزانه، افزایش ظرفیت جذب آب، نگهداری آب در شرایط کمبود، کاهش اثرات منفی تنش خشکی، افزایش جذب مواد غذایی موجب افزایش میزان کلروفیل و در نهایت موجب افزایش طولانی شدن زمان نورساخت، تعرق، و هدایت روزنه می‌گردند که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

بر اساس نتایج به دست آمده، تنش خشکی موجب افزایش نشت یونی گردید و استفاده از پلیمرهای ابر جاذب تحت شرایط تنش میزان نشت یونی را کاهش داد. در پژوهشی Kenawy و همکاران (2018) گزارش کردند که تنش خشکی موجب افزایش معنی‌داری در نشت یونی گردید و شاخص آسیب به برگ‌ها و غشاء با افزایش کمبود آب تشدید شد. اما مخلوط کردن بسپارهای ابر جاذب با خاک قبل از کشت به طور قابل توجهی موجب کاهش اثرات بد تنش خشکی شد و همچنین پایداری و یکپارچگی غشاء را افزایش داد. تغییر در نشت الکترولیتی غشای برگ‌ها با پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع مرتبط هست که سیالیت و یکپارچگی غشا را حفظ می‌کند. تنش خشکی با ایجاد تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن موجب تغییرات بیوشیمیایی در سطح یاخته‌ها و اندامک‌ها می‌گردد و به علت پراکسیداسیون لیپیدی موجب آسیب به غشاء و افزایش نشت یونی می‌گردد. استفاده از بسپارهای ابر جاذب به علت تداوم شرایط تهویه خاک و بهبود روابط آبی گیاه موجب کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، کاهش نشت یونی، کاهش پراکسیداسیون لیپیدی در برگ‌ها و تشدید رشد طبیعی گیاه تحت شرایط تنش خشکی می‌شود. نتایج حاصل از مطالعات گذشته در خصوص استفاده از بسپارهای ابر جاذب تحت تنش خشکی بر میزان نشت یونی با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد. مطابق با نتایج حاصل از پژوهش حاضر تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب در آکاسیا گردید. افزایش شدت تنش خشکی موجب کاهش معنی‌داری در محتوای نسبی آب می‌شود که این به نوبه‌ی خود موجب کاهش نورساخت می‌گردد. تنظیم اسمزی به رشد یاخته و توسعه‌ی گیاه تحت تنش کمک خواهد کرد و استفاده از از بسپارهای ابر جاذب موجب افزایش محتوای نسبی آب تحت شرایط تنش

گردید (Keshavars *et al.*, 2012). Khadem و همکاران (2012) در نتایج حاصل از یافته‌های خود بیان کردند که کاهش محتوای نسبی آب در برگ‌ها ارتباط مستقیمی با کاهش محتوای نسبی آب در خاک دارد که به دلیل افزایش تبخیر و تعرق از سطح خاک و کاهش فعالیت ریشه می‌باشد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های قبلی مطابقت دارد.

بر اساس نتایج به دست آمده اعمال تنش خشکی موجب کاهش کلروفیل در گیاه آکاسیا گردید. کاهش کلروفیل می‌تواند به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد تحت شرایط تنش خشکی باشد. این رادیکال‌های آزاد از طریق پراکسداسیون و تجزیه موجب کاهش کلروفیل می‌شوند که در نهایت موجب تغییرات قابل توجهی در گیاهان می‌شوند (Sayyari & Ghanbari, 2012). Mathobo و همکاران (2017) گزارش کردند که تنش خشکی موجب آسیب به برگ‌ها، زرد شدن آن‌ها و در نتیجه کاهش محتوای کلروفیل می‌گردد. همچنین کاهش محتوای کلروفیل به علت تنش خشکی و کمبود آب در گیاهانی مانند گندم، ذرت، سویا، نخود و برنج گزارش شده است. کاهش محتوای کلروفیل به علت آسیب به کلروپلاست ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن از جمله O_2 و H_2O_2 است که در اثر تنش خشکی تولید می‌شوند. Afkari (2018) در نتایج حاصل از پژوهش خود گزارش کرد که تنش خشکی میزان کلروفیل و کاروتنوئید را کاهش می‌دهد در پاسخ به تنش خشکی گونه‌های مختلف اکسیژن تولید و موجب کاهش رنگدانه‌های نورساختی می‌شوند. این کاهش می‌تواند به علت اختلال در جذب عناصر غذایی باشد که برای سنتز رنگدانه‌های نورساختی نیاز است. همچنین این کاهش می‌تواند به علت توقف مراحل مختلف بیوسنتز کلروفیل و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد. در پژوهشی، Sayyari و Ghanbari (2012) گزارش کردند که استفاده از بسپارهای ابر جاذب می‌تواند با استفاده از مقاومت شاخص‌های فیزیولوژیکی موجب حفظ کلروفیل و تداوم نورساخت برگ‌ها تحت شرایط تنش گردد. همچنین با قرار دادن تدریجی آب در اختیار گیاه سطح نوسانات رطوبتی را به حداقل می‌رساند و این یکی از مهم‌ترین کاربردهای این مواد در کشاورزی است. بسپارهای ابر جاذب با افزایش جذب و ظرفیت نگهداری آب، تنظیم فشار اسمزی، افزایش جذب عناصر غذایی و قرار دادن تدریجی آب در اختیار گیاهی که تحت تنش هست موجب بهبود فاکتورهای فیزیولوژیک، کلروفیل و کاروتنوئید می‌گردند (Afkari, 2018). نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر در ارتباط با استفاده از بسپارهای ابر جاذب تحت شرایط تنش خشکی بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های قبلی مطابقت دارد.

مطابق با نتایج به دست آمده در این تحقیق با افزایش شدت تنش خشکی میزان پرولین افزایش می‌یابد و با افزایش غلظت بسپارهای ابر جاذب میزان پرولین کاهش می‌یابد. Kenawy و همکاران (2018) در پژوهشی بیان کردند که پرولین اسیدآمینه-ای است که تحت تنش خشکی افزایش می‌یابد و بیشترین میزان پرولین در کمترین مقدار آب به دست آمد. همچنین بیان کردند که میزان پرولین در حضور استفاده از بسپارهای ابر جاذب به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. کاربرد بسپارهای ابر جاذب یک روش بسیار مناسب برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. به دلیل نقشی که این بسپارها در افزایش ظرفیت جذب و نگهداری آب در تنش خشکی دارند، موجب کاهش اثرات بد تنش خشکی در شرایط کمبود آب می‌شوند (Nazarli *et al.*, 2010). Li و همکاران (2019) بر اساس نتایج حاصل از پژوهش خود گزارش کردند که بسپارهای

ابر جاذب با بهبود وضعیت آبی گیاه محیط مناسبی برای رشد گیاه تحت شرایط تنش فراهم می‌کنند و شدت تنش و میزان پرولین را کاهش می‌دهند.

مطابق با نتایج حاصل از پژوهش حاضر تنش خشکی موجب افزایش میزان کربوهیدرات گردید. کربوهیدرات مولکول‌هایی هستند که از اهمیت اساسی برای زندگی روی زمین برخوردارند و به عنوان حامل‌های اولیه انرژی جذب شده از خورشید عمل می‌کنند. برای سال‌های زیادی دانشمندان کربوهیدرات را منحصراً به عنوان بخشی از مسیرهای متابولیک مشاهده می‌کردند اما اکنون ثابت شده که به عنوان سیگنال‌های مولکولی عمل می‌کنند (Hanson & Smeekens, 2009). تحت شرایط تنش خشکی میزان نورساخت کاهش می‌یابد و تقاضا برای سنتز اسمولیت‌ها از جمله کربوهیدرات محلول افزایش می‌یابد که از تخریب پروتئین و مرگ گیاه جلوگیری می‌کند (Xue *et al.*, 2008). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج حاصل از مطالعات گذشته مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر استفاده از بسپارهای ابر جاذب A200، SNF و Barbary تحت شرایط تنش خشکی ویژگی های مورفو-فیزیولوژیک و بیوشیمیایی آکاسیا را تحت تأثیر قرار دادند. به طوری که از میان سه نوع ابر جاذب مورد استفاده بیشترین میزان فتوسنتز، تعرق، محتوای نسبی آب و کمترین میزان نشت یونی مربوط به نوع A200 بود. بیشترین میزان کلروفیل، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه مربوط به ابر جاذب Barbary و بیشترین میزان کاروتنوئید، کربوهیدرات و کمترین میزان پرولین مربوط به SNF بود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از مرکز مبارزه با ریزگردهای دانشگاه شهید چمران اهواز که اعتبار لازم برای این پژوهش را تامین نموده است، کمال تشکر و قدردانی را به‌عمل می آورند.

منابع

Afkari, A. (2018). Impact of Super Absorbent Polymer on Physiological Traits and Activity of Antioxidant Enzymes in Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Mihan) Affected Drought Stress Conditions. *Journal of Crop Nutrition Science, 4*, 1-14.

Bates, L. S., Waldaren, R. P., Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-208.

Bouhlel, I., Skandrani, I., Nefatti, A., Valenti, K., Ghedira, K., Mariotte, A. M., Chekir-Ghedira, L. (2009). Antigenotoxic and antioxidant activities of isorhamnetin 3-O neohesperidoside from *Acacia salicina*. *Drug and Chemical Toxicology, 32*, 258-267.

Esmaeili, S., Danaeifar, A. (2022). Improved growth indices and tolerance of myrtle (*Myrtus communis* L.) to water-deficit stress by alleviating antioxidants and compatible osmolytes using a superabsorbent polymer. *Flower and Ornamental Plants, 7*, 163-172.

Hanson, J., Smeekens, S. (2009). Sugar perception and signaling an update. *Current Opinion in Plant Biology, 12*, 562-567.

Huettermann, A., Orikiriza, L. J., Agaba, H. (2009). Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands. *CLEAN–Soil, Air, Water, 37*, 517-526.

Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativd*) plants. *Physiologia Plantarum, 84*, 55-60.

Islam, M. R., Hu, Y., Mao, S., Jia, P., Eneji, A. E., Xue, X. (2011). Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 91*, 813-819.

Islam, M. R., Xue, X., Mao, S., Ren, C., Eneji, A. E., Hu, Y. (2011). Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in oat (*Avena sativa* L.) under drought stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 91*, 680-686.

Jaleel, C. A., Manivannan, A. M., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R. Y., Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture Biology, 11*, 100-105.

Kenawy, E. R., Saad-Allah, K., Hosny, A. (2018). Mitigation of drought stress on three summer crop species using the superabsorbent composite Gelatin-gp (AA-co-AM)/RH. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 49*, 2828-2842.

Keshavars, L., Farahbakhsh, H., Golkar, P. (2012). The effects of drought stress and super absorbent polymer on morphphysiological traits of pear millet (*Pennisetum glaucum*). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3*, 148-154.

Khadem, S. A., Galavi, M., Ramrodi, M., Mousavi, S. R., Rousta, M. J., Rezvani-Moghadam, P. (2010). Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. *Australian Journal of Crop Science, 4*, 642-745.

Khaleghi, E., Moallemi, N. (2018). Effect of superabsorbent polymers on some morphological characteristics of olive cultivars' Baghmalek 'and' Dezphol' under water deficit. *Journal of Horticulture Science, 31*, 671-682 (in Persian).

Li, J., Liu, L., Zhou, H., Li, M. (2018). Improved viability of areca (*Areca catechu* L.) seedlings under drought stress using a superabsorbent polymer. *HortScience, 53*, 1872-1876.

Li, Y., Shi, H., Zhang, H., Chen, S. (2019). Amelioration of drought effects in wheat and cucumber by the combined application of super absorbent polymer and potential. *Biofertilizer, 7*, 6073-6088.

Lichtenthaler, H. K. (1987). ChloropHylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology, 148*, 350-382.

Liu, D., Wu, L., Naeem, M. S., Liu, H., Deng, X., Xu, L., Zhou, W. (2013). 5-Aminolevulinic acid enhances photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and antioxidant system in oilseed rape under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum, 35*, 2747-2759.

Lutts, S., Kinet, M., Bouhranmon, J. (1996). Na-Cl induced senesce in leave of rice (*Oryza sativa*) cultivars difference in salinity resistance. *Annuals of Botany, 78*, 389-398.

Mathobo, R., Marais, D., Steyn, J. M. (2017). The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultural Water Management, 180*, 118-125.

Mazloom, N., Khorassani, R., Zohury, G. H., Emami, H., Whalen, J. (2020). Lignin-based hydrogel alleviates drought stress in maize. *Environmental and Experimental Botany, 175*, 1-8.

Moallemi, N., Khaleghi, E., Danaeifar, A. (2022). Investigating the effect of using three types of superabsorbent polymers on NPK absorption under drought stress conditions. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization, (Scientific Journal of Agriculture). 45*, 153-166. (in Persian).

Nazarli, H., Zardashti, M. R., Darvishzadeh, R., Najafi, S. (2010). The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower under greenhouse condition. *Notulae Scientia Biologicae, 2*, 53-58.

Nazarli, H., Faraji, F., Zardashti, M. R. (2011). Effect of drought stress and polymer on osmotic adjustment and photosynthetic pigments of sunflower. *Cercetari Agronomice in Moldova, 44*, 35-41.

Oliet, J. A., Planelles, R., Artero, F., Domingo-Santos, J. M. (2016). Establishing *Acacia salicina* under dry Mediterranean conditions: The effects of nursery fertilization and tree shelters on a mid-term experiment with saline irrigation. *Ciencia e investigación agraria, 43*, 69-84.

Oraee, A., Moghadam, E. G. (2013). The effect of different levels of irrigation with superabsorbent (SAP) treatment on growth and development of Myrobalan (*Prunus cerasifera*) seedling. *African Journal of Agricultural Research, 8*, 1813-1816.

Sayyari, M., Ghanbari, F. (2012). Effects of super absorbent polymer A200 on the growth, yield and some physiological responses in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under various irrigation regimes. *International Journal of Agricultural and Food Research, 1*, 21-36.

Smart, R. E., Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology, 53*, 258–260.

Tongo, A., Mahdavi, A., Sayad, E. (2014). Effect of superabsorbent polymer aquasorb on chlorophyll, antioxidant enzymes and some growth characteristics of *Acacia victoriae* seedlings under drought stress. *Ecopersia, 2*, 571-583.

Tomášková, I., Svatoš, M., Macků, J., Vanická, H., Resnerová, K., Čepl, J., Dohrenbusch, A. (2020). Effect of different soil treatments with hydrogel on the performance of drought-sensitive and tolerant tree species in a semi-arid region. *Forests, 11*, 1-15.

Yang, F., Cen, R., Feng, W., Liu, J., Qu, Z., Miao, Q. (2020). Effects of Super-Absorbent Polymer on Soil Remediation and Crop Growth in Arid and Semi-Arid Areas. *Sustainability, 12*, 1-13.

Yazdani, F., Allahdadi, I., Akbari, G. A. (2007). Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition. *Pakistan Journal Biological Science, 10*, 4190-4196.

Xue, G. P., McIntyre, C. L., Glassop, D., Shorter, R. (2008). Use of expression analysis to dissect alterations in carbohydrate metabolism in wheat leaves during drought stress. *Plant Molecular Biology, 67*, 197-214.

Zohuriaan-Mehr, M. J., Kabiri, K. (2008). Superabsorbent polymer materials: a review. *Iranian Polymer Journal, 17*, 451-168.

Flower and Ornamental Plants (2023), 8(1): 105-120
Research article

Investigating some morpho-physiological and biochemical traits of Acacia (*Acacia salicina*) treated with superabsorbent polymers under drought stress condition

Noorollah Moallemi*, Esmaeil Khaleghi, Abbas Danaeifar

Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz
n.moallemi@scu.ac.ir

Abstract
Drought stress is the most important abiotic stress that affects the growth and development of plants. One of the strategies for soil moisture management and plant tolerance to drought stress is the use of organic materials compatible with the environment, including superabsorbent polymers. In order to investigate some morpho-physiological and biochemical characteristics of Acacia seedlings, this research was conducted with three types of superabsorbent polymers (A200, SNF and Barbary) at three concentrations (0, 1 and 2 g/kg) at three levels of drought stress (one week, two weeks and three weeks irrigation intervals). This experiment was factorial in randomized complete block design with three replications under field condition. The results showed that drought stress caused a significant decrease in fresh and dry weight of shoot, photosynthesis, transpiration, relative water content, chlorophyll and carotenoid content and significantly increased ion leakage, proline and total carbohydrates. The application of superabsorbent polymers increased the tolerance of Acacia to drought stress so that the use of 1 g/kg Barbary superabsorbent polymers in the first week had the highest shoot fresh weight (144 g) and the amount of chlorophyll (1.73 mg/g fw). in the first week, the use of 1 g/kg A200 superabsorbent polymer increased the rate of photosynthesis by 5.48% and the use of 2 g/kg A200 increased the rate of transpiration by 41.66% and the relative water content of leaves by 11.06% compared to control (0 gr/kg A200). Also, in the first week, the use of 2 g/kg SNF super absorbent increased the amount of carotenoids by 36.58% compared to 0 g/kg SNF. The use of 2 g/kg A200 in the third week reduced ion leakage by 22.50% compared to 0 g/kg A200 in the first week. The use of SNF superabsorbent at a concentration of 1 g/kg in the first week reduced the amount of proline by 22.08% compared to 0 gr/kg SNF. Therefore, the use of superabsorbent polymers especially Barbary increases the tolerance of Acasia to drought stress.
Keywords: Carbohydrates, Drought, Photosynthesis, Polymer.