مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2021.353010.2924

جلد ۳۷، شماره ۴، صفحه ۵۹۵-۵۸۴ (۱۴۰۰) | شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350905.1400.37.4.2.9

بررسی تأثیر هیدروژل بر افزایش مقاومت به خشکی گیاه دارویی *Hibiscus sabdariffa* L.

سید غلامرضا سجادی[۱]، ابوالفضل توسلی[۲*] و مهدی دادمهر[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه پیام نور، مرکز زاهدان، زاهدان، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، زاهدان، ایران، پست الکترونیک: Tavassoli.abolfazl@yahoo.com

۳- استادیار، گروه نانوبیوتکنولوژی، دانشگاه پیام نور، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: دی ۱۳۹۹ | تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۴۰۰ | تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر هیدروژل بر رشد، عملکرد و برخی ترکیب‌های ثانویه چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در شرایط تنش خشکی، پژوهشی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه‌ای واقع در جنوب شهرستان دلگان، استان سیستان و بلوچستان اجرا گردید. این تحقیق به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی به‌عنوان فاکتور اصلی در چهار سطح (آبیاری در ظرفیت زراعی، آبیاری در ۸۵٪ ظرفیت زراعی، آبیاری در ۷۰٪ ظرفیت زراعی و آبیاری در ۵۵٪ ظرفیت زراعی) و مصرف هیدروژل به‌عنوان فاکتور فرعی در سه سطح (مصرف هیدروژل A200، مصرف هیدروژل سیلیکات و بدون مصرف هیدروژل) بودند. صفات کمّی ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد گل در بوته، وزن تر و خشک بوته، عملکرد کاسبرگ تازه و خشک و شاخص برداشت و صفات کیفی مقدار آنتوسیانین و ترکیب‌های فنلی کاسبرگ اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار صفات کمّی از تیمار آبیاری کامل همراه با کاربرد هیدروژل A200 حاصل گردید. اما تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمار آبیاری کامل همراه با مصرف هیدروژل سیلیکات و آبیاری کامل بدون مصرف هیدروژل وجود نداشت. همچنین، تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار فوق با تیمارهای کاربرد هر دو نوع هیدروژل در محتوی رطوبت ۷۰٪ و ۸۵٪ ظرفیت زراعی مشاهده نگردید. صفات کیفی با افزایش شدت تنش افزایش یافتند. کاربرد هیدروژل نیز در مقایسه با عدم استفاده از آن به‌دلیل تعدیل شرایط تنش توسط هیدروژل منجر به کاهش محتوی آنتوسیانین و ترکیب‌های فنلی کاسبرگ شد.

واژه‌های کلیدی: ترکیب‌های ثانویه، دلگان، ظرفیت زراعی، عملکرد، گیاه دارویی، هیدروژل.

مقدمه

تحقیقات سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که بیش از ۸۰٪ جمعیت جهان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و مناطق دور افتاده که فاقد امکانات بهداشتی و رفاهی مناسب و جدید هستند، از گیاهان دارویی و ذخایر غنی طب سنتی و طب گیاهی بومی به‌منظور رفع نیازهای اولیه بهداشتی و درمانی خود استفاده می‌کنند (WHO, 2017). بنابراین برنامه‌ریزی کشت و تولید انبوه گیاهان دارویی در سطوح صنعتی و بهره‌برداری و استفاده از آنها در صنایع دارویی، بهداشتی و آرایشی و به‌دنبال آن توجه دقیق و جدی به آن،

می‌تواند علاوه بر تأمین نیاز صنایع داروسازی کشور نسبت به مواد مؤثره دارویی، ایجاد اشتغال پایدار کرده و درآمد ارزی قابل توجهی را از طریق صادرات فرآورده‌های گیاهان دارویی نصیب کشور نماید که سبب بالا رفتن رشد اقتصادی کشور و رفاه عمومی جامعه شود (Omidbaigi, 2015).

در بین گیاهان دارویی، چای ترش با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* L. یکی از محصولات گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است که رشد آن در عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی تا ۲۵ درجه جنوبی محدود شده است. این گیاه یک‌ساله، ایستا، درختچه‌ای، انبوه و به‌رنگ سبز تیره متمایل به قرمز می‌باشد. رنگ قرمز درخشان و عطر منحصربه‌فرد، آن را به یک محصول غذایی با ارزش تبدیل کرده است. کاسبرگ‌ها در گیاه چای ترش از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده و بیشترین بخش مورد استفاده، کاسبرگ‌های آن است. کاسبرگ‌ها برای تهیه نوشیدنی سرد یا گرم، مربا و ژله مورد استفاده قرار می‌گیرد (Alnadif *et al*., 2017). این گیاه بومی ایران نبوده و در ایران تنها در استان سیستان و بلوچستان شرایط مطلوب برای کشت آن فراهم است. شهرستان‌های دلگان، نیکشهر، ایرانشهر، چابهار و مهرستان عمده مناطق کشت چای در سیستان و بلوچستان محسوب می‌شوند و بیش از ۹۰٪ چای ترش استان در شهرستان دلگان تولید می‌شود.

یکی از عوامل مهم در کاهش رشد چای ترش وقوع تنش کم‌آبی است. حضور و اثر این نوع تنش در مناطق خشک و نیمه‌خشک چشمگیر است، جایی که باران محدود و تبخیر بالاست (Mohamed *et al*., 2015). بنابراین، در مناطق گرمسیری برای بدست آوردن حداکثر محصول از واحد سطح، استفاده کارآمد از آب در دسترس و جلوگیری از اتلاف آن ضروریست. علاوه‌بر سیستم‌های مدرن آبیاری، امروزه با بکاربردن ترکیب‌های جدید مانند سوپر جاذب‌ها (هیدروژل) به‌ویژه در مناطق خشک توانسته‌اند به میزان قابل توجهی از اتلاف آب در مزارع جلوگیری نمایند (Narjary *et al*., 2012؛ Thombare *et al*., 2018).

پلیمرهای سوپرجاذب (هیدروژل) ازجمله مشتقات مواد نفتی هستند که برای افزایش کارآیی استفاده از آب و نگهداری آن در اطراف ریشه گیاهان در شرایط خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Abdallah, 2019). براساس تعادل ترمودینامیکی، در این مواد در حالی‌که قابلیت شیمیایی آب در محیط بیش از هیدروژل باشد، نفوذ آب از محیط به داخل این مواد انجام شده که این عمل باعث جذب تورم این پلیمرها تا چندین برابر حجم اولیه خواهد شد، در حالی‌که قابلیت شیمیایی آب در هیدروژل بالاتر از محیط باشد، نفوذ آب از هیدروژل به سمت محیط اطراف بوده و یا به عبارت دیگر عمل دفع انجام می‌شود که این پدیده با انقباض هیدروژل همراه است. این خاصیت باعث شده که از این مواد به‌منظور حفظ رطوبت خاک و یک روش برای جلوگیری از اتلاف رطوبت در خاک به‌ویژه در محیط اطراف ریشه استفاده گردد (Abedi Koupai *et al*., 2008؛ Abobatta, 2018).

براساس مطالعات انجام شده در مورد برخی گیاهان ازجمله ریحان (Shahhoseini *et al*., 2012)، انیسون (Arabi *et al*., 2015)، زنجبیل (Kumar *et al*., 2018) و لوبیا (Satriani *et al*., 2018). مشخص شده که استفاده از هیدروژل در شرایط بروز کمبود آب می‌تواند منجر به افزایش رشد و عملکرد این گیاهان شود اما در مورد گیاه دارویی چای ترش هنوز این امر به خوبی مشخص نشده است، ازاین‌رو احتمال دارد با بکارگیری هیدروژل در شرایط بروز تنش خشکی بتوان هم بر میزان رشد این گیاه افزود و هم بتوان سبب افزایش عملکرد آن شد. بنابراین، این تحقیق با هدف مطالعه تأثیر هیدروژل بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای برخی ترکیب‌های ثانویه گیاه دارویی چای ترش تحت شرایط تنش خشکی در منطقه دلگان استان سیستان و بلوچستان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه‌ای واقع در جنوب شهرستان دلگان اجرا شد. شهر دلگان با طول جغرافیای ۲۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۹ ثانیه طول شمالی و

۵۹ درجه و ۴۱ دقیقه و ۱۷ ثانیه عرض شرقی و ارتفاع ۳۸۳ متر از سطح دریا واقع شده است. شهرستان دلگان مطابق با اقلیم‌بندی کوپن در منطقه خشک کشور قرار دارد.

برای مشخص نمودن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از اقدام به کشت از خاک محل کاشت نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های مورد نظر برای تجزیه فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیای خاک آزمایش محل کاشت

بافت خاک	پتاس قابل جذب (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	نیتروژن کل (٪)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS/m)
لوم شنی	۳۱۵	۶/۰۱	۰/۱۲	۷/۰۸	۱/۲۵

این تحقیق به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی از چهار سطح تنش آبی شامل S_1: آبیاری در ظرفیت زراعی، S_2: آبیاری در ۸۵٪ ظرفیت زراعی، S_3: آبیاری در ۷۰٪ ظرفیت زراعی و S_4: آبیاری در ۵۵٪ ظرفیت زراعی به‌عنوان فاکتور اصلی و مصرف هیدروژل در سه سطح شامل H_1: مصرف هیدروژل A200، H_2: مصرف هیدروژل سیلیکات و H_3: بدون مصرف هیدروژل به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. مقدار مصرف هیدروژل برای هر بوته ۱۵۰ میلی‌گرم در نظر گرفته شد.

زمین محل آزمایش در اوایل بهار قبل از کاشت تا عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متر شخم زده شد. بلافاصله پس از انجام شخم زمین دیسک زده شد و در نهایت پس از تسطیح زمین، اقدام به کرت‌بندی طرح تحقیقاتی مطابق با نقشه طرح آزمایشی گردید. نحوه پیاده کردن نقشه طرح آزمایش نیز بدین صورت بود که هر بلوک از ۱۲ کرت تشکیل شد. مساحت هر کرت ۱۲ مترمربع و در هر کرت ۶ ردیف کاشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متری و طول ۴ متری قرار گرفت. فواصل کرت‌های فرعی از یکدیگر ۱ متر و کرت‌های اصلی ۲ متر در نظر گرفته شد.

پس از آماده‌سازی بستر بذر و قبل از کاشت مصرف کود براساس نتایج آزمون خاک به زمین زراعی اضافه گردید. مصرف کود بدین صورت بود که مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره به کرت‌های آزمایشی داده شد. کود سرک در دو مرحله (اوایل رشد و ابتدای مرحله گلدهی) هر بار به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره به‌صورت نواری پای بوته‌ها داخل شیاری به کرت‌های آزمایشی اضافه گردید. کاشت بذرهای چای ترش در تاریخ ۹۶/۲/۲ به‌صورت دستی و در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متر خاک انجام شد. پس از آبیاری اول که بلافاصله پس از کاشت انجام شد، آبیاری‌های بعدی مطابق با تیمارهای تنش خشکی و تعیین محتوای رطوبت خاک که بر مبنای ظرفیت زراعی و با استفاده از دستگاه TDR مدل دلتا تی تعیین می‌شد انجام گردید. اولین جوانه‌زنی در تاریخ ۹۶/۲/۱۷ مشاهده شد و تا ۹۶/۳/۱ بیش از ۸۰٪ بذرهای هر کرت سبز شد. در مرحله ۵-۴ برگی تنک در سطح مزرعه انجام شد. وجین نیز دو بار در طی فصل رشد (همزمان با تنک محصول و مرحله طویل شدن ساقه) انجام گردید. برداشت در تاریخ ۹۶/۷/۲ زمانی که کاسبرگ کاملاً از غوزه جدا گردید انجام شد.

قبل از برداشت نهایی، جهت تعیین و محاسبه اجزاء عملکرد و صفات مورفولوژیک به‌طور تصادفی از هر پلات ۵ بوته انتخاب و برداشت شد. برای محاسبه عملکرد کاسبرگ نیز با رعایت اثر حاشیه، سطح ۲ مترمربع از هر

کرت برداشت شد. در این آزمایش صفات ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد گل در بوته، وزن تر و خشک بوته، عملکرد کاسبرگ تازه و خشک، شاخص برداشت، محتوای آنتوسیانین و ترکیب‌های فنلی کاسبرگ اندازه‌گیری گردید. شاخص برداشت با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

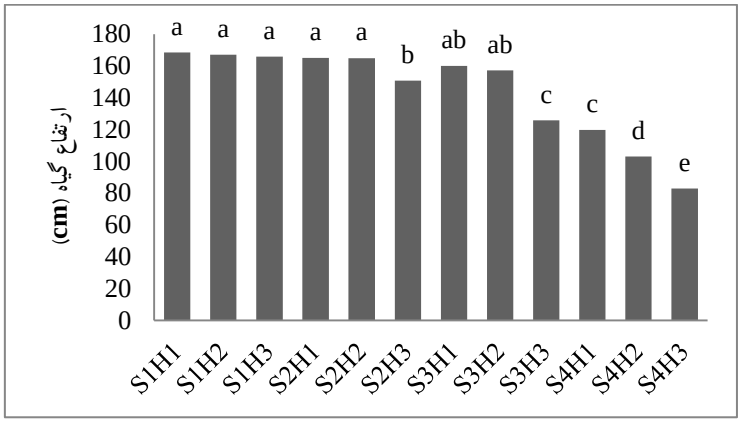
۱۰۰ × وزن خشک بوته (کیلوگرم در هکتار) / وزن خشک کاسبرگ (کیلوگرم در هکتار) = شاخص برداشت

آنتوسیانین کاسبرگ به روش Wagner (۱۹۷۹) و مقدار کل ترکیب‌های فنلی نیز به روش Al-Farsi و همکاران (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد.

در نهایت داده‌های بدست آمده از آزمایش، با نرم‌افزار SAS v9.4 مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. نمودارها نیز با برنامه EXCEL رسم شدند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده نشان داد که تنش خشکی، هیدروژل و اثر متقابل این دو فاکتور اثر معنی‌داری بر صفت ارتفاع بوته چای ترش داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش این دو فاکتور نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته چای ترش از تیمار آبیاری کامل همراه با کاربرد هیدروژل A200 حاصل گردید. اما تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمار آبیاری کامل همراه با مصرف هیدروژل سیلیکات و آبیاری کامل بدون مصرف هیدروژل وجود نداشت. همچنین تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ذکرشده با تیمارهای کاربرد هیدروژل‌های A200 و سیلیکات در زمان آبیاری مزرعه در ۸۵٪ و ۷۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده نشد (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و کاربرد هیدروژل بر صفت ارتفاع بوته چای ترش

برای صفات تعداد شاخه فرعی و تعداد گل در بوته چای ترش نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای تنش خشکی و هیدروژل اثر معنی‌داری بر این صفات دارند اما اثر متقابل این دو فاکتور بر صفات ذکرشده معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که با افزایش شدت تنش، تعداد شاخه فرعی و تعداد گل در بوته کاهش قابل توجهی یافت و کمترین مقادیر صفات ذکرشده از تیمار آبیاری در مرحله ۵۵٪ ظرفیت زراعی حاصل شد. اما با بهبود وضعیت آبیاری مزرعه، تعداد شاخه فرعی و تعداد گل در بوته گیاه دارویی چای ترش افزایش یافت، به‌طوری که بیشترین مقدار صفات ذکرشده از تیمار آبیاری در ظرفیت زراعی حاصل شد. البته برای صفت تعداد شاخه فرعی تفاوت

آماری معنی‌داری بین تیمار آبیاری در ظرفیت زراعی و آبیاری در ۸۵٪ ظرفیت زراعی مشاهده نشد (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارهای هیدروژل نیز نشان داد که به‌طور کلی کاربرد هیدروژل در مقایسه با عدم استفاده از آن سبب بهبود صفات تعداد شاخه فرعی و تعداد گل در بوته می‌گردد. در بین دو نوع هیدروژل مورد استفاده نیز مشخص شد که مصرف هیدروژل A200 در مقایسه با هیدروژن سیلیکات اثر بهتری بر افزایش صفات ذکرشده دارد (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی چای ترش

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی	تعداد گل در بوته	وزن تر بوته	وزن خشک بوته
		میانگین مربعات				
تکرار	۲	۰/۰۶ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۵ ns	۲۱/۹۵ ns	۱۴/۸۶ ns
تنش خشکی	۳	۳۷/۲۱ **	۱۳/۰۹ **	۲۹/۹۵ **	۲۵۱۰۱۰/۸۲ **	۱۳۲۵۱۷/۵۳ **
اشتباه اصلی	۶	۱/۲۳	۱/۰۱	۱/۱۸	۱۵۶/۴۴	۱۲۸/۹۱
هیدروژل	۲	۴۲/۱۱ **	۱۹/۷۵ **	۳۳/۶۹ **	۲۰۱۵۴۹/۱۳ **	۱۶۱۱۵۲/۹۰ **
اثر متقابل	۶	۱۴/۸۱ **	۱۰/۰۲ **	۱۳/۰۰ **	۱۴۳۹۸۲/۷۱ **	۹۲۳۱۶/۰۸ **
اشتباه فرعی	۱۶	۱/۳۸	۱/۱۲	۱/۲۶	۲۴۶/۰۷	۱۶۸/۳۵
ضریب تغییرات	-	۸/۲۵	۷/۹۳	۸/۱۴	۶/۲۳	۶/۸۲

* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و ns غیرمعنی‌دار بودن می‌باشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی چای ترش

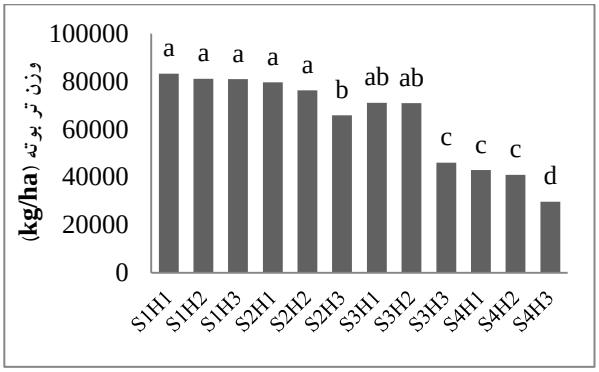
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد تازه کاسبرگ	عملکرد خشک کاسبرگ	شاخص برداشت	آنتوسیانین	فنل کل
		میانگین مربعات				
تکرار	۲	۲/۹۵ ns	۰/۱۴ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۱۱ ns	۰/۰۹ ns
تنش خشکی	۳	۴۱۲۵۰/۶۴ **	۹۶/۴۸ **	۹/۲۱ *	۱۰/۹۷ **	۱۶/۴۸ **
اشتباه اصلی	۶	۱۰۱/۷۰	۲/۵۷	۰/۹۸	۱/۳۴	۱/۹۷
هیدروژل	۲	۶۸۲۳۵/۱۲ **	۱۱۳/۲۶ **	۱۳/۶۵ *	۱۵/۷۹ *	۱۸/۳۲ *
اثر متقابل	۶	۳۲۴۸۷/۹۴ **	۷۳/۲۱ **	۷/۹۸ ns	۹/۰۶ ns	۱۲/۷۶ ns
اشتباه فرعی	۱۶	۱۳۵/۵۲	۳/۴۶	۲/۰۹	۴/۷	۱/۸۸
ضریب تغییرات	-	۷/۰۱	۷/۲۷	۹/۴۹	۸/۵۵	۶/۲۴

* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و ns غیرمعنی‌دار بودن می‌باشد.

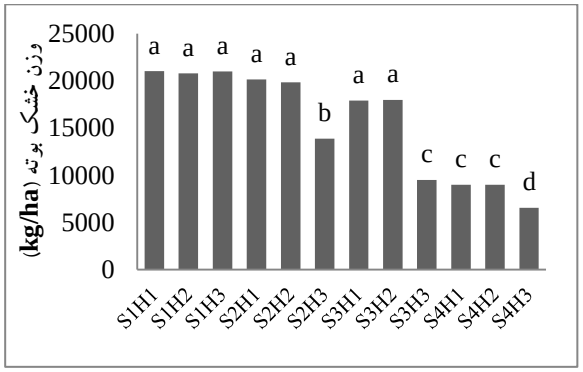
تنش خشکی، کاربرد هیدروژل و اثر متقابل این دو فاکتور تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر وزن تر و خشک بوته (جدول ۲) و عملکرد کاسبرگ تازه و خشک چای ترش (جدول ۳) داشت. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و کاربرد هیدروژل بیانگر آن بود که بیشترین مقادیر صفات ذکرشده از تیمار آبیاری کامل همراه با کاربرد

هیدروژل A200 (S_1H_1) حاصل گردید. اما تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمار آبیاری کامل همراه با مصرف هیدروژل سیلیکات (S_1H_2) و آبیاری کامل بدون مصرف هیدروژل (S_1H_3) وجود نداشت. همچنین تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار ذکرشده با تیمارهای کاربرد هیدروژل‌های A200 در زمان آبیاری مزرعه در ۸۵ (S_2H_1) و ۷۰ (S_3H_1) درصد ظرفیت زراعی و هیدروژل سیلیکات در محتوای رطوبت ۸۵٪ (S_2H_3) و ۷۰٪ (S_3H_3) ظرفیت زراعی مشاهده نشد (شکل‌های ۵-۲). نتایج ذکرشده حکایت از آن دارد که کاربرد هر دو نوع هیدروژل در شرایط بدون تنش (آبیاری مزرعه در ظرفیت زراعی خاک) هیچگونه تأثیری در مقایسه با عدم مصرف هیدروژل در شرایط آبیاری در ظرفیت زراعی بر صفات ذکرشده ندارد، اما با افزایش شدت تنش و کاهش میزان رطوبت خاک به ۸۵٪ تا ۷۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه مصرف هر دو نوع هیدروژل قادر است عملکردی مشابه با عدم شرایط تنش (رطوبت خاک درشرایط ظرفیت زراعی مزرعه) حاصل نماید. داده‌های حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل صفات نیز این موضوع را به‌طور شفاف‌تری بیان می‌نماید. با توجه به این داده‌ها، عملکرد وزن تر بوته در شرایط آبیاری در ظرفیت زراعی و بدون استفاده از هیدروژل (S_1H_3) به میزان ۸۰۸۹۹/۹۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که این میزان در شرایط مصرف هیدروژل A200 و محتوای رطوبت خاک ۸۵٪ (S_2H_1) و ۷۰٪ (S_3H_1) ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۷۹۶۳۴/۲۴ و ۷۰۹۹۹/۶۵ کیلوگرم در هکتار بود که در واقع یک کاهش غیرمعنی‌دار ۱/۵۶ و ۱۲/۲۳ درصدی را تجربه کرد (شکل ۲). این مقادیر برای وزن خشک بوته در تیمار S_1H_3 به میزان ۲۰۹۹۸/۵۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که این میزان در تیمار S_2H_1 و S_3H_1 به‌ترتیب ۲۰۱۲۵/۷۳ و ۱۷۸۹۸/۴۸ کیلوگرم در هکتار بود که یک کاهش غیرمعنی‌دار ۴/۱۵ و ۱۱/۰۶ درصدی را نشان می‌دهد (شکل ۳). مقادیر ذکرشده برای صفت عملکرد کاسبرگ تازه نیز بدین صورت بدست آمد که عملکرد در تیمار S_1H_3 به میزان ۷۰۱۰/۲۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که این میزان در تیمار S_2H_1 و S_3H_1 به‌ترتیب ۷۰۰۹/۹۹ و ۶۶۸۹/۵۴ کیلوگرم در هکتار بود که بیانگر یک کاهش غیرمعنی‌دار ۰/۰۰۳۱ و ۴/۵۷ درصدی است (شکل ۴). در نهایت مقادیر ذکرشده برای صفت عملکرد کاسبرگ خشک بدین صورت حاصل شد که عملکرد در تیمار S_1H_3 به میزان ۷۸۰/۴۹ کیلوگرم در هکتار و در تیمارهای S_2H_1 و S_3H_1 به‌ترتیب ۷۷۷/۳۸ و ۷۲۵/۶۱ کیلوگرم در هکتار بود که حکایت از یک کاهش غیرمعنی‌دار ۰/۳۹ و ۷/۰۳ درصدی برای صفت عملکرد کاسبرگ خشک دارد (شکل ۵). نتایج برای هیدروژل سیلیکات نیز در تمامی صفات مذکور مشابه با هیدروژل A200 حاصل شد. در شرایط تنش بسیار شدید نیز (رطوبت ۵۵٪ ظرفیت زراعی خاک) کاربرد هیدروژل A200 (S_4H_1) و سیلیکات (S_4H_2) به‌ترتیب منجر به افزایش معنی‌دار ۳۰/۶۷ و ۲۷/۴۷ درصدی وزن تر بوته (شکل ۲)، ۲۷/۲۲ و ۲۷/۱۹ درصدی وزن خشک بوته (شکل ۳)، ۲۶/۷۴ و ۲۵/۱۰ درصدی عملکرد کاسبرگ تازه (شکل ۴) و ۲۸/۷۲ و ۲۸/۱۰ درصدی عملکرد کاسبرگ خشک (شکل ۵) چای ترش در مقایسه با تیمار رطوبت ۵۵٪ ظرفیت زراعی خاک و بدون استفاده از هیدروژل (S_4H_3) شد.

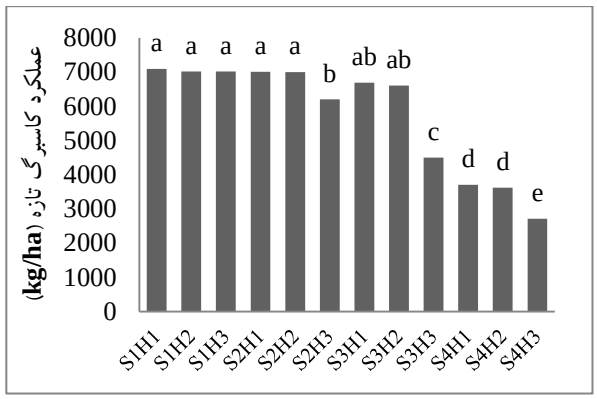
اثر تنش خشکی و کاربرد هیدروژل در سطح احتمال ۵٪ بر شاخص برداشت معنی‌دار بود اما برهم‌کنش این دو فاکتور بر صفت ذکرشده اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). مطابق با نتایج مقایسه میانگین تیمارها، کاهش دفعات آبیاری سبب کاهش شاخص برداشت شد، به‌طوری که بیشترین مقدار شاخص برداشت از آبیاری در ظرفیت زراعی گیاه بدست آمد. با افزایش شدت تنش نیز از شاخص برداشت گیاه کاسته شد، به‌طوری که در تیمار آبیاری در ۵۵٪ ظرفیت زراعی به کمترین حد خود رسید (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارهای هیدروژل نیز نشان داد که کاربرد هیدروژل A200 و سیلیکات در مقایسه با عدم استفاده از آن سبب افزایش معنی‌دار ۲۶/۰۰ و ۲۳/۲۸ درصدی شاخص برداشت می‌گردد. در مقایسه بین دو نوع هیدروژل مورد استفاده نیز مشخص شد مصرف هیدروژل A200 به نسبت هیدروژن سیلیکات سبب افزایش ۳/۵۴ درصدی شاخص برداشت چای ترش می‌شود، اما این افزایش غیرمعنی‌دار نیست (جدول ۴).



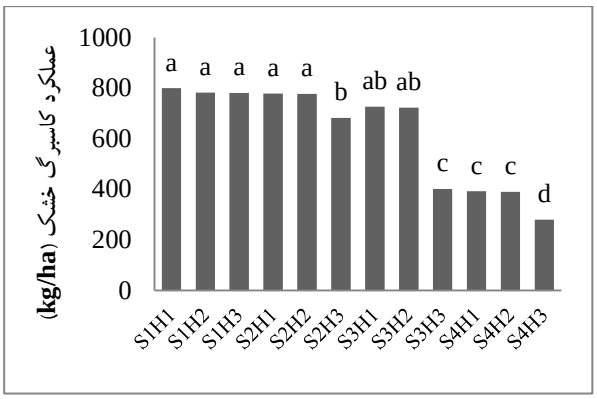
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و کاربرد هیدروژل بر صفت وزن تر بوته چای ترش



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و کاربرد هیدروژل بر صفت وزن خشک بوته چای ترش



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و کاربرد هیدروژل بر صفت عملکرد کاسبرگ تازه چای ترش



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و کاربرد هیدروژل بر صفت عملکرد کاسبرگ خشک چای ترش

اثر تنش خشکی در سطح احتمال ۱٪ و کاربرد هیدروژل در سطح احتمال ۵٪ بر محتوای آنتوسیانین و ترکیب‌های فنلی کاسبرگ معنی‌دار بود اما اثر متقابل این دو فاکتور بر صفات ذکرشده معنی‌داری نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که با افزایش شدت تنش، محتوای آنتوسیانین و ترکیب‌های فنلی کاسبرگ افزایش قابل توجهی یافت، به‌طوری که بیشترین مقادیر صفات ذکرشده به‌ترتیب با میانگین ۵/۷۸ و ۱۷/۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک از تیمار آبیاری در مرحله ۵۵٪ ظرفیت زراعی حاصل گردید. اما با آبیاری مزرعه و کاهش شدت تنش از محتوای مقادیر یادشده کاسته شد و در تیمار آبیاری در ظرفیت زراعی کمترین مقادیر آنتوسیانین و ترکیب‌های فنلی به‌ترتیب با میانگین‌های ۲/۰۸ و ۱۱/۰۵ میلی‌گرم بر گرم ورن خشک حاصل شد (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارهای هیدروژل نیز نشان داد که کاربرد هیدروژل در مقایسه با عدم استفاده از آن سبب کاهش محتوای آنتوسیانین و ترکیب‌های فنلی کاسبرگ می‌شود (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین تیمارهای تنش خشکی و هیدروژل بر صفات مورد بررسی چای ترش

تیمار	تعداد شاخه فرعی در بوته	تعداد گل در بوته	شاخص برداشت (٪)	آنتوسیانین (میلی‌گرم/گرم وزن خشک)	فنل کل (میلی‌گرم/گرم وزن خشک)
تنش خشکی					
رطوبت ظرفیت زراعی	۱۳/۸۳ a	۱۳۷/۹۱ a	۳/۹۱ a	۲/۰۸ c	۱۱/۰۵ d
رطوبت ۸۵٪ ظرفیت زراعی	۱۲/۱۰ a	۱۲۹/۲۶ b	۳/۷۸ a	۳/۷۶ b	۱۲/۹۱ c
رطوبت ۷۰٪ ظرفیت زراعی	۹/۶۷ b	۹۱/۴۴ c	۲/۵۶ b	۴/۰۲ b	۱۵/۱۱ b
رطوبت ۵۵٪ ظرفیت زراعی	۷/۰۲ c	۷۹/۷۵ d	۲/۴۷ b	۵/۷۸ a	۱۷/۰۴ a
هیدروژل					
کاربرد هیدروژل **A200**	۱۲/۹۷ a	۱۴۲/۵۸ a	۴/۲۳ a	۲/۸۵ b	۱۲/۴۷ b
کاربرد هیدروژل سیلیکات	۱۱/۰۶b	۱۲۸/۱۴b	۴/۰۸a	۲/۹۱b	۱۲/۸۹b
بدون کاربرد هیدروژل	۹/۴۹ c	۱۱۴/۷۳ c	۳/۱۳ b	۴/۰۹ a	۱۵/۶۶ a

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشند.

بحث

همانطور که نتایج آزمایش نشان داد تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار تمام صفات کمّی مورد بررسی چای ترش شد. در همین رابطه تحقیقی بر روی ژنوتیپ‌های گیاه چای ترش در شرایط تنش خشکی انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد. در واقع کاهش قابلیت آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب کاهش قابلیت فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها و در نتیجه افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌گردد (Mohamed *et al*., 2015). به طبع کاهش ارتفاع گیاه در اثر تنش خشکی، تعداد شاخه‌های فرعی و همچنین تعداد گل در بوته نیز کاهش قابل توجهی را تجربه کرد. در تحقیقات انجام شده بر روی چای ترش محققان از همبستگی بالای ارتفاع بوته با تعداد شاخه فرعی و تعداد گل در بوته حکایت کرده‌اند (Mohamed *et al*., 2015).

از وزن تر و خشک بوته و همچنین عملکرد کاسبرگ تر و خشک چای ترش نیز تحت تأثیر تنش خشکی به میزان قابل توجهی کاسته شد. در آزمایشی که بر روی ۵ گونه گیاه دارویی انجام شد، نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش ماده خشک و شاخص سطح برگ گیاهان می‌شود. محققان این آزمایش بیان کردند که در شرایط تنش خشکی، به‌دلیل کاهش مواد فتوسنتزی، وزن خشک بوته کاهش می‌یابد و گیاه برای فرار از خشکی و حفظ بقاء زودتر گل می‌دهد، بنابراین بیشترین مقدار وزن خشک در درجه روز رشد کمتری نسبت به شرایط بدون تنش بدست می‌آید (Lebaschy & Sharifi Ashoorabadi, 2004). این کاهش همچنین می‌تواند تحت تأثیر تخصیص بیشتر بیوماس تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها و یا در اثر کاهش میزان کلروفیل و یا بازدهی فتوسنتز باشد (Dong *et al*., 2019). همچنین علت کاهش عملکرد کاسبرگ تازه و خشک گیاه در تیمارهای تنش را می‌توان به اثرهای کاهش حجم آب قابل دسترس برای رشد گیاه و به‌طبع آن کاهش قابلیت جذب بالای عناصر غذایی در این شرایط نسبت داد. ازاین‌رو به نظر می‌رسد که در تیمار ۵۵٪ ظرفیت زراعی که حداقل آب در دسترس ریشه گیاه می‌باشد، تجمع املاح در محیط ریشه،

باعث کاهش قابلیت اسمزی محیط آن شده و سبب بروز سمّیت ویژه یونی و کمبود یون‌های غذایی می‌شود. بنابراین گیاه برای مقابله با چنین شرایطی، بخشی از مواد پرورده را به ریشه برای توسعه سیستم ریشه منتقل نموده، در نتیجه از سهم اختصاص یافته به تولید قسمت‌های زایشی کاسته می‌شود (Firouzi Irandegani, 2013).

شاخص برداشت گیاه نیز در اثر تنش خشکی کاهش یافت. در واقع کاهش شاخص برداشت چای ترش در اثر افزایش شدت تنش ممکن است به دلیل اثر تنش ناشی از تأخیر در آبیاری بر عملکرد گل باشد. دلیل این مسئله را می‌توان با توجه به آنچه از تجزیه و آنالیز داده‌های مربوط به عملکرد خشک بوته و گل بدست آمده مشخص کرد. با توجه به آنکه مقدار شاخص برداشت در واقع تناسبی میان عملکرد گل به عملکرد خشک بوته است، ازاین‌رو به نظر می‌رسد از آنجایی که مقدار این دو پارامتر تحت تأثیر میزان آبیاری در ظرفیت‌های زراعی مختلف قرار گرفته‌اند، شاخص برداشت گیاه را نیز تحت تأثیر قرار داده‌اند. در تحقیقی بر روی گیاه دارویی بابونه دلیل کاهش شاخص برداشت گیاه در شرایط تنش خشکی شدید را به حساسیت بیشتر رشد زایشی در مقایسه با رشد رویشی گیاه در شرایط وقوع تنش نسبت دادند. همچنین در این تحقیق گزارش شد که کاهش شاخص برداشت بدلیل کاهش تخصیص مواد پرورده به قسمت‌های زایشی ایجاد می‌شود (Firouzi Irandegani, 2013).

برخلاف صفات کمّی گیاه که در اثر تنش با اُفت قابل ملاحظه‌ای مواجه شدند، محتوای صفات کیفی گیاه شامل ترکیب‌های ثانویه آنتوسیانین و فنل کل کاسبرگ در شرایط تنش با افزایش مواجه شد. در همین رابطه تحقیقی با هدف بررسی برخی صفات فیتوشیمیایی گیاه دارویی چای ترش در شرایط مختلف رطوبتی انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار فنل کل کاسبرگ در سطح آبیاری ۶۰٪ نیاز آبی گیاه بیشترین و کمترین مقدار آن نیز در سطح آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه بدست آمد. این نتیجه دقیقاً برای محتوای آنتوسیانین کاسبرگ نیز رخ داد (Parsa Motlagh *et al*., 2018). ترکیب‌های فنلی شامل گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه هستند که بسیاری از ترکیب‌های حلقوی مثل ترکیب‌های فنل، فلاون‌ها، فلاونوئیدها، تانن‌ها و لیگنین‌ها و حتی اسیدهای آمینه حلقوی مثل تریپتوفان، تیروزین و پرولین را شامل می‌شوند. این ترکیب‌ها دارای نقش‌های متعدد اکولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند نقش‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانی می‌باشند. البته افزایش سنتز این ترکیب‌ها در اثر محرک‌های متعدد محیطی مانند حملات میکروبی، پرتوهای فرابنفش و تنش‌های فیزیکی و شیمیایی محیطی گزارش شده است (Ghorbanli *et al*., 2012). به‌عنوان مثال بررسی روی اکالیپتوس نشان داد که تحت شرایط تنش آبی ترکیب‌های فنلی در گیاه افزایش می‌یابد (Schwambach *et al*., 2008). آنتوسیانین‌ها نیز رنگدانه‌های محلول در آب هستند که متعلق به خانواده فلاونوئیدها می‌باشند. آنتوسیانین موجود در گیاه به‌عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند و گیاه را در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت می‌کند. این رنگدانه در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی افزایش یافته و گیاه را در برابر رادیکال‌های آزاد محافظت می‌نماید (Tahkorpi, 2010).

در رابطه با کاربرد هیدروژل‌های مورد استفاده در این آزمایش، نتایج نشان داد که هیدروژل به‌دلیل اثر تعدیل‌کنندگی تنش قادر به بهبود عملکرد گیاه به‌ویژه در شرایط مواجهه گیاه با تنش است. در آزمایشی مشاهده شد که کاربرد هیدروژل به‌ویژه در شرایط تنش خشکی ارتفاع گیاه دارویی انیسون و همچنین برخی صفات مورفولوژیکی این گیاه مانند تعداد شاخه فرعی را در مقایسه با عدم استفاده از این ماده در شرایط تنش افزایش می‌دهد که دلیل آن حفظ آب و جلوگیری از تنش توسط پلیمر سوپرجاذب است (Arabi *et al*., 2015).

در دو تحقیق بر روی گیاه ذرت نیز نشان داده شد که هیدروژل‌های سوپر جاذب باعث بهبود عملکرد بیولوژیکی گیاه ذرت به‌ویژه در شرایط تنش خشکی می‌شوند. یافته‌های این تحقیقات حکایت از آن داشت که کاربرد

هیدروژل‌های سوپر جاذب از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش شستشوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه و همچنین هوادهی بهتر در خاک می‌تواند سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه گردد (Tekiner, 2016؛ Chaithra & Sridhara, 2018). همچنین سوپر جاذب‌ها علاوه‌بر افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌توانند عملکرد اقتصادی گیاه را از طریق افزایش مواد غذایی برای مدت طولانی، رشد سریع‌تر و مطلوب‌تر ریشه با ذخیره مواد غذایی و کاهش شستشو مواد غذایی موجود در خاک بهبود بخشند (Guilherme *et al.*, 2015؛ Montesano *et al.*, 2015؛ Galeş *et al.*, 2016).

همچنین در این آزمایش مشخص شد که محتوای آنتوسیانین و ترکیب‌های فنلی کاسبرگ در اثر مصرف هیدروژل کاهش می‌یابد که به‌دلیل اثر تعدیل‌کنندگی شدت تنش و دسترسی بهتر گیاه به محتوای رطوبت خاک در اثر کاربرد این مواد پلیمری است. در همین رابطه آزمایشی بر روی محتوای اسانس گیاه دارویی مرزه تحت تأثیر کاربرد هیدروژل و در شرایط تنش خشکی انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار اسانس مرزه (کارواکرول) در تیمار تنش رطوبتی شدید و مصرف ۶۰ میلی‌گرم هیدروژل به ازای هر بوته بدست آمد و کمترین مقدار محتوای اسانس نیز از تیمار شاهد (بدون تنش) و کاربرد ۱۲۰ میلی‌گرم هیدروژل به ازای هر بوته حاصل شد (Beiranvandi *et al.*, 2020).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که مطالعات این تحقیق نشان داده شد که تنش در هر سطحی سبب کاهش خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه چای ترش می‌شود. همانطور که در نتایج این آزمایش مشاهده گردید کمترین میزان صفات کمّی مورد بررسی از تیمار شدیدترین تنش خشکی یعنی رطوبت ۵۵٪ ظرفیت زراعی خاک بدست آمد. اما کاربرد هیدروژل چه از نوع A200 و چه از نوع سیلیکات قادر است تا حدود بسیار زیادی خسارت‌های ناشی از تنش را جبران نموده و سبب بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه چای ترش گردد، به‌طوری که تنها در مورد عملکرد کاسبرگ این گیاه که جزء اقتصادی محصول محسوب می‌گردد کاربرد هیدروژل سبب شد گیاه قادر باشد تا شدت تنش خشکی برابر رطوبت ۷۰٪ ظرفیت زراعی خاک را تحمل کرده و عملکردی قابل قبول در مقایسه با شرایط عدم تنش داشته باشد. برخلاف صفات کمّی گیاه، صفات کیفی گیاه شامل محتوای آنتوسیانین و ترکیب‌های فنلی کاسبرگ با بروز شدت تنش افزایش یافت و آبیاری مناسب و شرایط بدون تنش منجر به کاهش تولید این ترکیب‌ها در کاسبرگ گیاه شد. همچنین استفاده از هیدروژل نیز به سبب تعدیل اثرهای تنش در گیاه از میزان تولید این ترکیب‌ها در کاسبرگ گیاه به میزان زیادی کاست.

منابع مورد استفاده

- Abdallah, A.M., 2019. The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress. International Soil and Water Conservation Research, 7(3): 275-285.
- Abedi Koupai, J., Eslamian, S.S. and Asad Kazemi, J., 2008. Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. Ecohydrology and Hydrobiology, 8(1): 67-75.
- Abobatta, W., 2018. Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. Advances in Agriculture and Environmental Science, 1(2): 59-64.
- Al-Farsi, M., Alsalvar, C., Morris, A., Baron, M. and Shadih, F., 2005. Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 53(19): 7592-7599.
- Arabi, Z., Kabusi, K. and Rezvantalab, N., 2015. Effect of irrigation and Super-absorbent hydrogels on morphological characteristics, yield and essential oil of anise (*Pimpinella anisum* L.). Journal of Crop Production, 8(4): 51-66.
- Beiranvandi, M., Akbari, N., Ahmadi, A., Mumivand, H. and Nazarian, F., 2020. Interaction of biochar and superabsorbent on the composition of *Satureja rechingeri* Jamzad essential oil under drought stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 36(5): 780-793.
- Chaithra, G.M. and Sridhara, S., 2018. Growth and yield of rainfed maize as influenced by application of super absorbent polymer and Pongamia leaf mulching. International Journal of Chemical Studies, 6(5): 426-430.

soils in relation to hydrogel application. Geoderma, 187-188: 94-101.
- Omidbaigi, R., 2015. Production and Processing of Medicinal Plant (Vol. 1). Astan Quds Razavi Press, 348p.
- Parsa Motlagh, B., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R. and Azami Sardooei, Z., 2018. Phytochemical characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under different fertilizer systems and irrigation water. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 33(6): 928-940.
- Satriani, A., Catalano, M. and Scalcione, E., 2018. The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: A case-study in Southern Italy. Agricultural Water Management, 195: 114-119.
- Schwambach, J., Ruedell, C.M., de Almeida, M.R., Penchel, R.M., de Araújo, E.F. and Fett-Neto, A.G., 2008. Adventitious rooting of Eucalyptus *glubus*×*maidennii* mini-cutting derived from mini-stumps grown in sand bed and intermittent flooding trays: a comparative study. New Forests, 36(3): 261-271.
- Shahhoseini, R., Omidbaigi, R. and Kiani, D., 2012. Effect of biological fertilizers of biosulfur, nitroxin and super absorbent polymer on growth, yield and essential oil content of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Horticultural Science, 26(3): 246-254.
- Tahkorpi, M., 2010. Anthocyanins under drought and drought related stresses in Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). Academic Dissertation to be Presented with the Assent of the Faculty of Science of the University of Oulu, 46p.
- Tekiner, M., Yildirim, M., Türkmen, C., Oral, A. and Izci, B., 2016. Determination of the effects of hydrogel on irrigation program for maize cultivated in the field conditions. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, 5: 87-92.
- Thombare, N., Mishra, S., Siddiqui, M.Z., Jha, U., Singh, D. and Mahajan, G.R., 2018. Design and development of guar gum based novel, superabsorbent and moisture retaining hydrogels for agricultural applications. Carbohydrate Polymers, 185: 169-178.
- Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in protoplast. Plant Physiology, 64: 88-93.
- WHO (World Health Organization), 2017. World Health Statistics: Monitoring health for the SDGs.
- Dong, S., Jiang, Y., Dong, Y., Wang, L., Wang, W., Ma, Z., Yan, C., Ma, C. and Liu, L., 2019. A study on soybean responses to drought stress and rehydration. Saudi Journal of Biological Sciences, 26(8): 2006-2017.
- Firouzi Irandegani, A., 2013. Effect of sulfure fertilizer different levels on yield and essence content of Chamomile (*Matricaria chamomilla*) in drought stress condition. M.Sc. thesis, Department of Agriculture, Payame Noor University, Zahedan center, Iran.
- Galeş, D.C., Trincă, L.C., Cazacu, A., Peptu, C.A. and Jităreanu, G., 2016. Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. Geoderma, 267: 102-111.
- Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, Gh. and Zakeri, A., 2012. Investigation on the effects of water stress on antioxidant compounds of *Linum usitatissimum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27(4): 6447-658.
- Guilherme, M.R., Aouada, F.A., Fajardo, A.R., Martins, A.F., Paulino, A.T., Davi, M.F.T., Rubira, A.F. and Munizaf, E.C., 2015. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. European Polymer Journal, 72: 365-385.
- Kumar, R.R, Nadukeri, S., Kolakar, S.S., Hanumanthappa, M., Shivaprasad, M. and Dhananjaya, B.N., 2018. Effect of hydrogel on growth, fresh yield and essential oil content of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 3: 482-485.
- Lebaschy, M.H. and Sharifi Ashoorabadi, E., 2004. Growth indices of some medicinal plants under different water stresses. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 20(3): 249-261.
- Alnadif, A.M., Mirghani, M.S. and Hussein, I., 2017. Unconventional Oilseeds and Oil Sources. Academic Press, 382p.
- Mohamed, B.B., Sarwar, M.B., Hassan, S., Rashid, B., Aftab, B. and Husnain, T., 2015. Tolerance of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Genotypes to Drought Stress at Vegetative Stage. Advancement in Life Sciences, 2(2): 74-82.
- Montesano, F.F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A. and Serio, F., 2015. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 4: 451-458.
- Narjary, B., Aggarwal, P., Singh, A., Chakraborty, D. and Singh, R., 2012. Water availability in different

Effects of hydrogel on drought resistance of medicinal plant roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)

S.G. Sajjadi[1], A. Tavassoli[2*] and M. Dadmehr[3]

1- M.Sc. graduate of Agronomy, Department of Agriculture, Payame Noor University, Zahedan center, Zahedan, Iran
2*- Corresponding author, Department of Agriculture, Payame Noor University, Zahedan center, Zahedan, Iran
E-mail: Tavassoli.abolfazl@yahoo.com
3- Department of Nanobiotechnology, Payame Noor University, Mashhad, Iran

Received: December 2020 Revised: July 2021 Accepted: July 2021

Abstract

To investigate the effects of hydrogel on growth, yield, and some secondary metabolites of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under drought stress conditions, an experiment was conducted in a farm located in the south of Dalgan city, Sistan and Baluchestan province in the 2017-2018 crop year. This research was carried out as a split plot experiment in a randomized complete block design with three replications. The experimental treatments included drought stress as main plot at four levels (irrigation at FC (field capacity), 85% of FC, 70% of FC, and 55% of FC), and hydrogel consumption as sub plot at three levels (A200 hydrogel consumption, silicate hydrogel consumption, and no hydrogel consumption). The quantitative traits including plant height, number of sub-branches per plant, number of flower per plant, plant fresh and dry weight, sepal fresh and dry yield, and harvest index and qualitative traits including content of anthocyanin and sepal phenolic compounds were measured. The results showed that the highest amount of quantitative traits was obtained from full irrigation treatment with the consumption of A200 hydrogel. But there was no significant difference between this treatment and the treatments of full irrigation with silicate hydrogel consumption and full irrigation without hydrogel. Also, no significant difference was observed between the above three treatments and the treatments of both types of hydrogels application in 85% and 70% of FC. The qualitative traits increased with increasing the stress intensity. The hydrogel consumption in comparison with not consuming it led to a decrease in the amount of anthocyanin and sepal phenolic compounds due to the modification of stress conditions by hydrogel.

Keywords: Secondary metabolites, Dalgan, field capacity, yield, medicinal plant, hydrogel.