



ارزیابی پاسخ فیزیولوژیکی و پارامترهای رشد سویا به تأثیر ترکیبی تنش خشکی و مدیریت آبیاری

سعید شیوخی سوغانلو^{۱*}، محمدعلی غلامی سفیدکوهی^۲، مهدی عارف راد^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱

چکیده

چالش کم آبی و بروز تنش خشکی، لزوم ارزیابی تأثیر توأم تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر ثبات تولید محصولات راهبردی را بسیار حائز اهمیت ساخته است. در این پژوهش، مطالعه‌ای میدانی بصورت کرت خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار در طول سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل عامل اصلی تنش خشکی در سه سطح (بدون تنش (FC100)، تنش خشکی متوسط (FC75) و تنش خشکی شدید (FC50)) و عامل فرعی منبع آبیاری در دو سطح (پساب شهری و آب چاه) در نظر گرفته شد. بر پایه یافته‌ها، تأثیر بروز تنش خشکی بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای سویا بسیار معنی دار بود. به طوری که در شرایط بدون تنش، برتری محسوس بر شرایط تنش متوسط FC75 و تنش شدید FC50 نشان داد. همچنین آبیاری با پساب شهری نسبت به آب چاه، باعث بهبود صفات مورفولوژیکی، تعداد غلاف با دو دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه شد و تا حدی اثرات نامطلوب تنش خشکی را جبران نمود. بر اساس نتایج، محتوای MDA، بیشترین میزان پرولین و آنزیم‌های CAT و POD در شرایط تنش شدید خشکی FC50 مشاهده شد. به طوری که در مقایسه با شرایط تنش متوسط FC50 و بدون تنش، افزایش معنی داری را نشان داد. با توجه به امکان بروز تنش خشکی در طول فصل رشد سویا، راهکار کاربردی و امکان پذیر مدیریت آبیاری با پساب شهری (با رعایت معیارهای کیفی و بهداشتی) می‌تواند جهت تعدیل اثرات منفی تنش خشکی توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پساب شهری، تعداد غلاف، خصوصیات مورفولوژیک، تنش آبی

مقدمه

بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Maleki, 2012). تنش خشکی ناشی از کمبود بارندگی طولانی مدت و کمبود آب آبیاری است که منجر به کاهش آبرسانی به لایه خاکورزی خاک برای مدت طولانی و در نتیجه کمبود آب مؤثر برای جذب و بهره‌برداری محصول می‌شود (Wang et al., 2022). در چنین شرایطی، جذب مقادیر کافی آب برای ریشه‌های گیاه مشکل است، که همراه با تقاضای تبخیر بالا، در فعالیت فیزیولوژیکی طبیعی اختلال ایجاد می‌کند (Xu et al., 2018). گزارش شده است

سویا (*Glycine max L.*) به دلیل تنوع ژنتیکی و سازگاری وسیع، در دامنه گسترده‌ای از عرض‌های جغرافیایی کشت می‌شود (Aghayari et al., 2016). عمده‌ترین منبع تولید روغن و پروتئین گیاهی است که بالاترین سطح زیر کشت را در بین گیاهان روغنی جهان به خود اختصاص داده است (FAO, 2019). همچنین دارای حدود ۱۸-۲۲ درصد روغن و ۳۵-۴۰ درصد پروتئین می‌باشد، که از این جهت

^۳ دکتری اصلاح نباتات، گرایش ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان

^۱ استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*نویسنده مسئول: Saeid.Shiukhy@gmail.com)

^۲ استاد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

نحوه ارجاع مقاله:

شیوخی سوغانلو، س.، غلامی سفیدکوهی، م.، عارف راد، م. ۱۴۰۳. ارزیابی پاسخ فیزیولوژیکی و پارامترهای رشد سویا به تأثیر ترکیبی تنش خشکی و مدیریت آبیاری. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۶۲-۷۴. DOI: 10.22125/agmj.2024.456389.1168
Shiukhy Soqanloo, S., Gholami Sefidkouhi, M., Aref Rad M. 2025. Evaluation of physiological response and growth parameters of Soybean to combined effects of drought stress and irrigation management. Journal of Agricultural Meteorology, 12(2): 62-74. DOI: 10.22125/agmj.2024.456389.1168

مطالعات (Senapati et al., 2018)، (Freitas et al., 2016) و (Basal and Szabo, 2020) مؤید تأثیر تنش خشکی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو سویا می‌باشد. در شرایط عادی، گونه‌های اکسیژن فعال^۱ تولید شده در سلول‌های گیاهی با سیستم‌های پاکسازی که برای این منظور تکامل یافته‌اند، مقابله می‌کنند (Wang et al., 2014). برای حفظ متابولیسم طبیعی گیاه، گیاهان گونه‌های اکسیژن فعال اضافی را از طریق فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی درون سلولی حذف می‌کنند تا اثرات نامطلوب بالقوه تنش خشکی بر متابولیسم طبیعی گیاه را کاهش دهند (Medina et al., 2021). (Feng et al (2020) بیان کردند که تنش خشکی می‌تواند باعث تجمع گونه‌های اکسیژن فعال شده و باعث افزایش پراکسیداسیون لیپیدی غشاء شود. علاوه بر این، تنش خشکی می‌تواند سرعت جوانه زنی بذر را کاهش دهد، به اندام‌های فتوسنتزی آسیب برساند و ارتفاع بوته، تعداد غلاف و عملکرد را کاهش دهد. در شرایط تنش خشکی، گیاهان سویا محتوای آب خود را از دست می‌دهند، در نتیجه باعث پژمردگی و افتادگی برگ‌ها، عدم تعادل وضعیت آب گیاه و کاهش پتانسیل آب سلولی و تورژسانس می‌شوند (Zhang et al., 2020). اگر گیاه برای مدت طولانی در شرایط خشک قرار گیرد، پدیده از دست دادن آب سلولی تشدید شده و باعث آسیب غیر قابل برگشت به بافت‌های گیاه می‌شود که در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Shen et al., 2017). برای مقاومت در برابر آسیب‌های احتمالی، گیاهان مکانیسم‌هایی را برای سازگاری با محیط‌های نامطلوب در درازمدت ایجاد کرده‌اند و تحت تغییرات فیزیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی قرار می‌گیرند تا با استرس سازگار شوند و چرخه زندگی خود را با موفقیت کامل کنند (Ma et al., 2020). افزایش فراوانی وقوع خشکسالی و عدم توزیع نامناسب بارندگی‌ها در طول فصل رشد و نمو گیاهان موجب شده است که توجه بسیاری از محققین و پژوهشگران علوم کشاورزی به استفاده از منابع نامتعارف آب به‌عنوان راهکاری مناسب و امکان‌پذیر در شرایط کم‌آبی و چالش کمبود منابع آب، جلب شود (Tabatabaei et al., 2020). تأمین‌تأمین آب‌های نامتعارف (پساب‌ها) چندان

که سویا نسبت به سایر حبوبات و محصولات زراعی به برخی تنش‌های غیرزیستی حساس است (Wei et al., 2018; Talebi et al., 2013). تنش غیرزیستی عمده‌ای که بر تولید و کیفیت سویا تأثیر می‌گذارد، تنش خشکی است و با توجه به اینکه شدت تنش خشکی در چند دهه گذشته به طور فزاینده‌ای مورد توجه و ثبت قرار گرفته است، درک تأثیر تنش خشکی بر عملکرد محصولات بسیار حائز اهمیت می‌باشد. چنین درکی می‌تواند در اتخاذ تصمیمات مدیریتی و برنامه‌ریزی آبیاری کارآمد بوده و تا حدی نوسانات مربوط به خشکسالی در تولید مواد غذایی را کاهش دهد (Basal and Szabo; 2020). حساسیت گیاه به خشکی از مرحله‌ای به مرحله دیگر در طول چرخه زندگی گیاه متفاوت است. این نتیجه در مورد سویا نیز گزارش شده است. علاوه بر این، گزارش شده است که سویا در مراحل رویشی نیاز آبی کمی دارد، در حالی که در مراحل زایشی نیاز آبی آن افزایش می‌یابد (He et al., 2017). این امر باعث می‌شود گیاهان در سازگاری با شرایط بروز تنش با توجه به نوع گونه گیاه و زمان وقوع تنش در هر یک از مراحل رشد و نمو، پاسخ متفاوتی را نشان دهند (Shiukhy Soqanloo, 2023). (Yan et al (2013) گزارش کردند که در تنش خشکی در مراحل اولیه دوره زایشی به طور قابل توجهی بر عملکرد تأثیر نمی‌گذارد، در حالی که خشکی در مراحل پر شدن غلاف به طور قابل توجهی عملکرد را کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد با ریزش گل‌ها و عدم تشکیل غلاف در نتیجه بروز تنش خشکی همبستگی بالایی دارد (Bhatia and Jumrani, 2016). (Jumrani et al (2017) بیان کردند که در مراحل رویشی با قرار گرفتن سویا در معرض تنش خشکی امکان ایجاد سطح برگ کمتر، سرعت فتوسنتز و زیست توده کمتر نیز افزایش می‌یابد. با این حال، این امکان وجود دارد که گیاهان تحت تنش پس از سپری شدن دوره تنش، تا حدی بهبود یافته و بازیابی شوند. از سوی دیگر، بروز تنش خشکی در انتهای دوره زایشی منجر به افزایش نرخ ریزش گل و کاهش تعداد غلاف‌ها و دانه‌های توسعه یافته شده، که فرصت کمتری برای بازیابی داشته و در نتیجه کاهش قابل توجه عملکرد را به دنبال خواهد داشت. نتایج برخی از

¹ Reactive oxygen species

سطح (بدون تنش (FC100)، تنش خشکی متوسط (FC75) و تنش خشکی شدید (FC50) و عامل فرعی منبع آبیاری در دو سطح (پساب شهری^۱ (UWW) و آب چاه^۲ (WW))، در سه تکرار در طول سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. اطلاعات مربوط به ویژگی‌های پساب و آب چاه و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ گزارش شد. عملیات کاشت بذور سویا رقم ویلیامز، در تاریخ ۱۳ خرداد به صورت دستی و به روش هیرم کاری در کرت‌هایی با ابعاد (۲×۳) در ۴ ردیف با رعایت فاصله ۱۰ سانتی‌متر در داخل ردیف‌ها و ۳۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها انجام شد. همچنین فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۲ متر در نظر گرفته شد. بلافاصله پس از پایان عملیات کاشت، آبیاری انجام شد. رطوبت خاک با استفاده از تانسومتر پایش و زمانی که میزان آن به ۷۰ درصد می‌رسید، آبیاری صورت می‌گرفت. پس از رسیدن گیاه به مرحله ۸-۶ برگ، تیمارهای تنش خشکی در هر دور از آبیاری اعمال شدند و از سرپناه بارش^۳ برای جلوگیری از ریزش باران به درون کرت‌ها استفاده شد. اطلاعات مربوط به منابع آب آبیاری و خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ ارائه گردید. پیش از کاشت بر اساس آزمون تجزیه خاک مزرعه، کودهای مورد نیاز به خاک اضافه شدند. بسته به نیاز گیاه در طی دوره‌ی رشد کوددهی با کود ۲۰-۲۰-۲۰ NPK (نیتروژن به‌عنوان، نیترات: ۵/۶٪، آمونیوم، ۴/۰٪، اوره، ۱۰/۴٪؛ فسفات به‌عنوان P2O5، ۲۰/۰٪؛ و پتاس به‌عنوان K2O، ۲۰/۰٪) همراه با عناصر کم مصرف منگنز (۰/۰۳٪)، بُر (۰/۰۲٪) و مولیبدن (۰/۰۰۱٪) بصورت سرک (EDTA) انجام شد. برای سنجش عملکرد و اجزای عملکرد، با رعایت اثر حاشیه‌ای ۵ بوته از دو خط میانی هر کرت به طور تصادفی برداشت و برای سنجش صفات مورد نظر به آزمایشگاه انتقال داده شد. صفات گیاه شامل ارتفاع گیاه (برحسب سانتی‌متر)، تعداد شاخه‌های جانبی (شمارش)، تعداد غلاف (تعداد غلاف تک‌دانه، دو دانه، سه دانه و پوک (شمارش)) و در نهایت وزن صد دانه و عملکرد دانه (با استفاده از ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۱) توزین شدند.

دشوار نبوده و هزینه بالایی هم ندارد. بنابراین به دلیل اینکه حاوی غلظت مطلوبی از عناصر غذایی است، با بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک، منجر به افزایش تولید محصول می‌شود (Tripathi, 2016). همچنین با کاهش مصرف کودهای شیمیایی، برای کاهش آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی نیز جایگزین مناسبی می‌باشد (Fattahi et al., 2016). Alizadegan et al (2022a) بیان نمودند که آبیاری با پساب تصفیه شده در مقایسه با آب چاه، افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد زیست توده، وزن هزار دانه و شاخص برداشت ذرت را به‌همراه داشت. Yazdani et al (2017) نیز گزارش کردند که آبیاری با فاضلاب نسبت به آب کشاورزی باعث افزایش عملکرد دانه شد (Swain et al., 2020). با ارزیابی اثرگذاری کاربرد لجن فاضلاب بر عملکرد، جذب عناصر غذایی و کارایی مصرف عناصر غذایی نشان دادند که، کاربرد مقادیر بالای لجن فاضلاب، افزایش در ارتفاع گیاه و میزان سبزیگی برگ‌های اسفناج در مقایسه با تیمار شاهد را در پی داشت. با توجه به وقوع تنش خشکی در طی مراحل مختلف فنولوژیکی گیاهان در طول دوره رشد و نمو و پیامدهای ناشی از آن، اهمیت نوع پاسخ گیاهان زراعی بویژه گیاهان راهبردی، برای سازگاری با شرایط خشکی در هر منطقه بسیار ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. لذا هدف از این پژوهش، ارزیابی پاسخ سویا به اثرات ترکیبی تنش خشکی و مدیریت آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه شرقی، ارتفاع ۱۰ متر پایین‌تر از سطح دریا، میانگین دما ۱۷/۹ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی ۶۵۰ میلی‌متر، در طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. شرایط آب و هوایی منطقه براساس طبقه‌بندی اقلیمی گسترش یافته دومارتن، مرطوب می‌باشد. آزمایش با آرایش کرت خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای آزمایشی شامل؛ عامل اصلی تنش خشکی در سه

² Well water

³ Rain shelter

¹ Urban wastewater

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، منبع آبیاری و حداکثر حد مجاز استفاده از پساب برای مصارف کشاورزی
 Table 1- Physico-chemical characteristics of soil, source of irrigation and maximum permissible limits for wastewater application in agriculture

Characteristics	pH	NTU	TDS	TSS	EC	TP	COD	N	Ca	Na	Mg
	(ds.m ⁻¹)					(mg.l ⁻¹)					
(UWW)	8.1	2.9	663	27	1.06	4.9	17	0.5	100	58	18.1
(WW)	7.2	9.9	629.3	16	0.78	2.2	11.1	0.5	60	69	16.1
(IRNDOE)	6-8.5	50	-	100	-	6	200	-	-	-	100
(WHO, 1992)	6-8.5	-	450	-	0.7	4	-	-	-	-	-
(FAO, 2006)	6-8.5	-	450	-	0.7	4	-	-	-	-	-
Soil	Depth	Texture	pH	EC	OM	OC	P	K	N		
	(0-30cm)	Sand-loam		(ds.m ⁻¹)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(%)		
				0.55	1.72	0.52	4	146	0.1		

فعالیت آنزیم پراکسیداز

برای تخمین میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (POD) مخلوط واکنش حاوی ۲۷۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیمی ۲۵ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر بافر گایاکول ۵ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی و ۱۰۰ میکرولیتر محلول H₂O₂ با حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر تهیه شد. افزایش جذب بوسیله تشکیل تترآگایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه و هر ۳۰ ثانیه ثبت شد (Tang and Newton, 2005).

محتوای پرولین

برای اندازه‌گیری پرولین از روش Bates (1973) استفاده شد. ۰/۵ گرم برگ را با هاون له کرده و 10 میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به آن افزوده و درون یخ قرار گرفت. نمونه‌ها در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه، سانتریفیوژ نموده تا مواد اضافی از محلول جدا شود. دو میلی‌لیتر آن را برداشته و به آن ۲ میلی‌لیتر اسید نینهدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص افزوده شد و پس از قرار دادن در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه به مدت یک ساعت به آب یخ منتقل شد. ۴ میلی‌لیتر تولوئن به آن افزوده و پس از ۲۰ ثانیه تکان شدید جذب بخش رنگی بالایی در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. داده‌های بدست آمده در پایان آزمایش داده‌ها، با بهره‌گیری از نرم افزار SAS9.2 تجزیه و تحلیل شدند و از آزمون چند دامنه دانکن برای مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد استفاده شد.

آنزیم کاتالاز

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از طریق محاسبه جذب H₂O₂ در ۲۴۰ نانومتر انجام شد (Aebi, 1984). این عمل، بلافاصله بعد از استخراج عصاره صورت گرفت. اجزا واکنش سه میلی‌لیتری داخل کووت شامل ۲۹۵۰ میکرولیتر محلول H₂O₂ (۲۸۰۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیمی-پتاسیمی ۵۰ میلی‌مولار با pH=7 و ۱۵۰ میلی‌لیتر H₂O₂ که به جذب ۰/۵ برسد) و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی صاف شده بود. با اضافه کردن عصاره آنزیمی به محلول H₂O₂، واکنش آغاز گردید. کاهش جذب ۲۴۰ نانومتر در بازه زمانی دو دقیقه به فاصله ۲۰ ثانیه برآورد شد. از تفاضل اولین جذب با آخرین جذب میزان تخریب H₂O₂ ثبت شد.

محتوای مالون دی‌آلدئید

در این آزمایش به ۵۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون صاف شده هر یک از نمونه‌ها، ۱۰۰ میکرولیتر از محلول TBA (تیو باربیتوریک اسید) اضافه شد و داخل حمام بن ماری در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد و به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت و سپس، بلافاصله به مدت ۳۰ دقیقه روی یخ سرد شدند و دوباره به مدت ۱۰۰۰۰ دور و ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. میزان مالون دی‌آلدئید با اندازه‌گیری جذب در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد. از تفاضل بین جذب در دو طول موج مذکور و استفاده از ضریب خاموشی ۱۵۵ mM⁻¹ cm⁻¹ مقدار MDA بدست آمد.

نتایج و بحث

شهری بر صفات ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد غلاف دارای دو دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). اما تأثیر چندان قابل توجهی بر تعداد غلاف پوک، تک‌دانه و سه دانه نداشت. همچنین یافته‌ها حاکی از آن بود که اثر برهمکنش تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر هیچ‌کدام از صفات مورد اندازه‌گیری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در جدول ۲ ارائه گردید. بر پایه یافته‌ها، تأثیر تنش خشکی بر صفات ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد غلاف پوک، تک‌دانه، دو دانه، سه دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). نتایج نشان داد که آبیاری با پساب

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر ویژگی‌های سویا در طول دوره رشد و نمو

Table 2- The result of analysis of variance the drought stress and irrigation management effects on soybean characteristics at during growth season

(S.O.V)	df	PH (cm)	NLSh -	NSPD -				100-SW (g)	Yield (kg.ha ⁻¹)
				0	1	2	3		
Block (B)	2	13.389ns	0.1667ns	8.1667ns	13.7223ns	20.055ns	48.223ns	0.1088ns	4020.93ns
Drought Stress (Ds)	2	766.723**	9.50**	156.16**	702.889**	8702.72**	3194.389**	3.0838**	886894.12**
(B × Ds)	4	4.89ns	0.667ns	1.8334ns	12.388ns	62.88ns	56.055ns	0.1363ns	3981.763ns
Source of Irrigation (SI)	1	34.723**	1.3889**	1.389ns	2.00ns	206.723**	0.500ns	3.2088*	69552.06**
(Ds × SI)	2	7.722ns	0.0556ns	0.3889ns	4.667ns	5.7223ns	15.50ns	0.44ns	644.276ns
(Error)	6	3.0556	0.1667	1.3889	22.611	12.6122	25.334	0.2716	4472.667
(Total)	17	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V	-	1.6	9.7	10.9	15.6	4.4	3.9	2.8	10.8

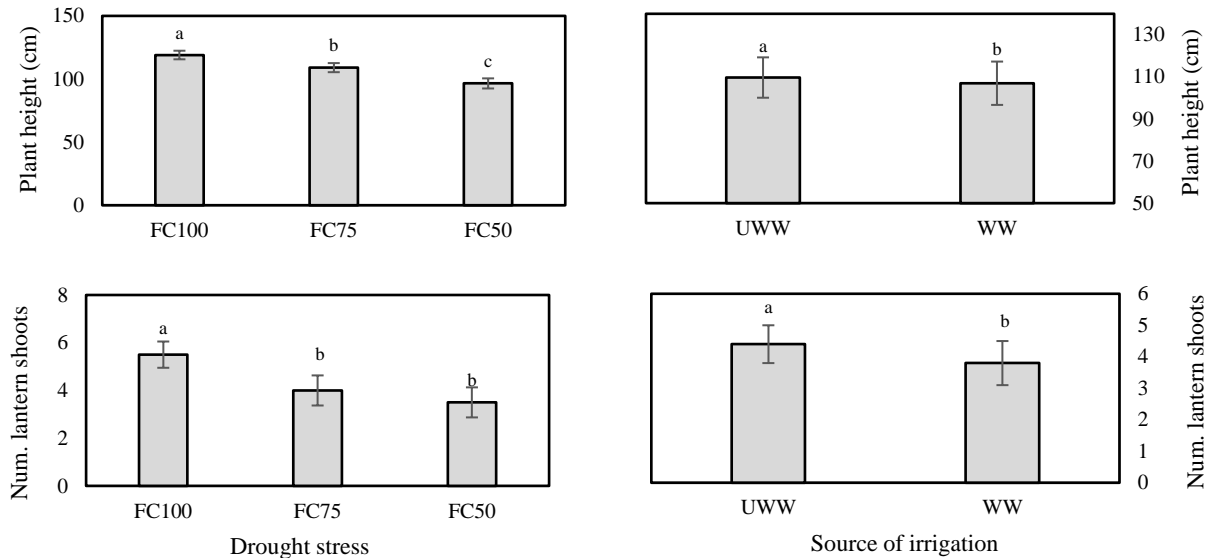
PH: Plant height; NLSh: Number of lantern shoots; NSPD: Number of seeds per pod; 100-SW: Seed weight.

**, * and ns: They indicate significance at 1%, 5% and non-significance levels, respectively (Duncan, $P \leq 0.05$)

مقایسه میانگین‌ها، در شرایط بدون تنش بیشترین میزان تعداد غلاف پوک، تک دانه، دو دانه و سه دانه به ترتیب با ۱۵/۱، ۳۶/۳، ۱۱۸ و ۱۵۳ مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان غلاف پوک و دو دانه به ترتیب با ۵ و ۴۱/۸ در شرایط تنش خشکی شدید FC50 و کمترین میزان غلاف تک دانه و سه دانه مربوط به شرایط تنش خشکی متوسط FC75 و تنش خشکی شدید FC50 بود. اما میان شرایط تنش خشکی متوسط FC75 و تنش خشکی شدید FC50 تفاوت چندان قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد (شکل ۲). همچنین نتایج گویای آن بود که بیشترین وزن صد دانه را شرایط بدون تنش و تنش خشکی متوسط FC75 به ترتیب با ۱۸/۷ و ۱۸/۲ گرم به خود اختصاص دادند. در حالیکه کمترین میزان وزن صد دانه در شرایط تنش خشکی شدید FC50 با مقدار ۱۷/۳ گرم مشاهده شد (شکل ۲). بر اساس نتایج، عملکرد دانه در شرایط بدون تنش با ۱۰۶۰/۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که در مقایسه با شرایط تنش خشکی متوسط FC75 و تنش خشکی شدید FC50 به ترتیب با ۳۲ و ۴۶ درصد کاهش مواجه شد.

ویژگی‌های مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی میزان ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی را تحت تأثیر قرار داد. به‌طوریکه بیشترین میزان ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی به ترتیب با ۱۱۹ سانتی‌متر و ۵/۵ در شرایط بدون تنش مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی مربوط به شرایط تنش خشکی شدید FC50 به ترتیب با ۹۶/۵ سانتی‌متر و ۳ بود (شکل ۱). همچنین در شرایط آبیاری با پساب شهری ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی به ترتیب با ۱۰۹/۷ سانتی‌متر و ۴/۴ در مقایسه با آبیاری با آب چاه با ۱۰۷ سانتی‌متر و ۳/۸ برتری محسوس و قابل توجهی داشت (شکل ۱). در واقع نتایج نشان داد که آبیاری با پساب شهری نسبت به آب چاه، با تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه، تا حدی توانایی جبران بخشی از اثرات نامطلوب و منفی بروز تنش خشکی بر گسترش اندام‌های هوایی و سطح سایه‌بان گیاه را دارا می‌باشد. بر پایه نتایج

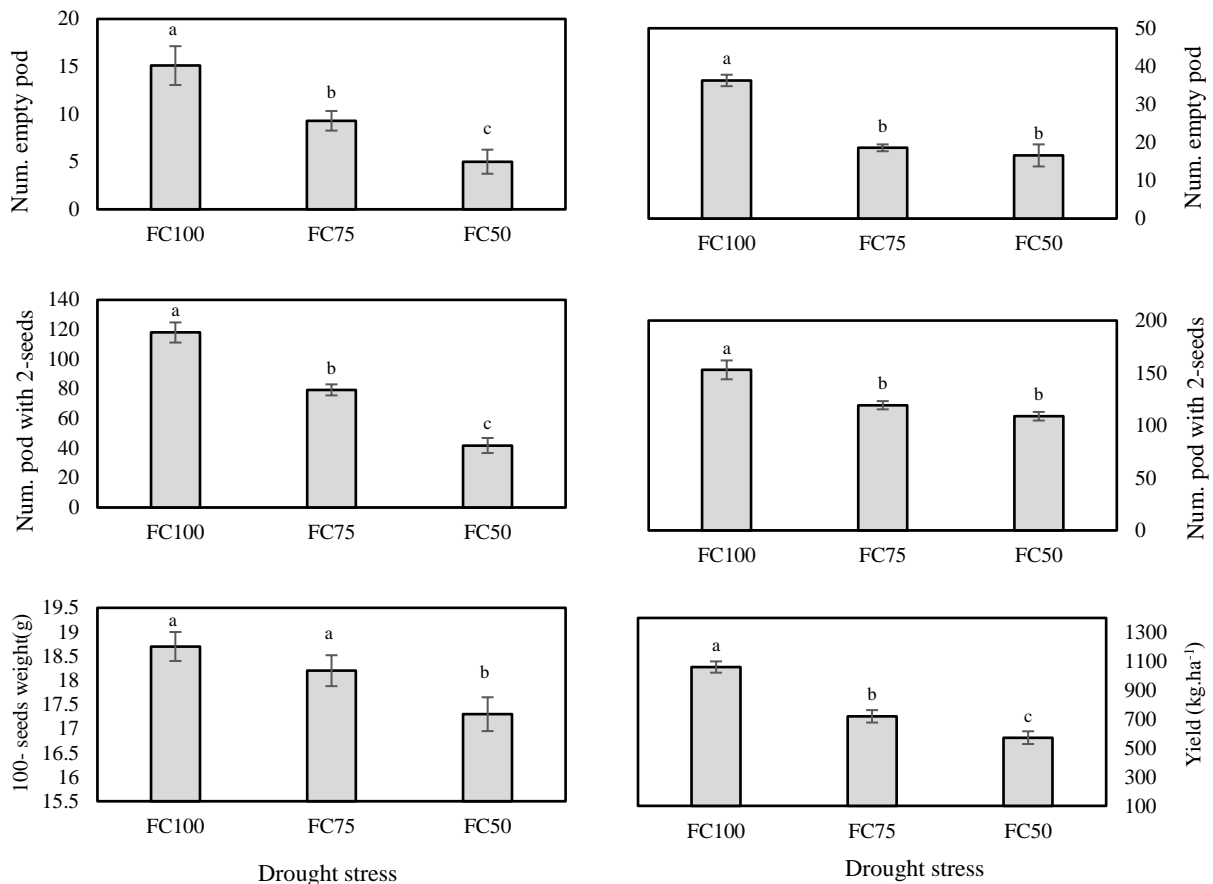


شکل ۱- ارزیابی تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر صفات مورفولوژیکی سویا در طول فصل رشد

Figure 1- Evaluation of the drought stress and irrigation management on morphological trait of soybean at during growth season

گونه و ژنوتیپ، سن و اندازه گیاه، میزان رشد و همچنین شدت و مدت تنش بستگی دارد (Ma et al., 2020). Navabpour et al (2017) بیان نمودند که شرایط محیطی علاوه بر عوامل ژنتیکی، در عملکرد نهایی نقش مهمی را ایفا می‌کند. گیاهان با قرار گرفتن در شرایط تنش خشکی و در اثر کمبود آب، دچار کاهش چشمگیری در رشد و توسعه سلول به خصوص در اندام‌های هوایی می‌شوند (Bahrololomi et al., 2019). گیاهان با ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی نظیر؛ قندها، یون‌های معدنی، پروتئین‌ها و ترکیبات آلی بویژه پرولین به مقابله و کاهش اثرات ناشی از بروز تنش خشکی می‌پردازند (Shadmand and Afkari, 2018). ارتفاع گیاهان علاوه بر فاکتورهای ژنتیکی، تحت تأثیر برخی عوامل محیطی از جمله؛ کمیت و کیفیت نور و رطوبت قرار می‌گیرند (Omidi et al., 2021). اندام‌های هوایی گیاه بویژه برگ قسمت اصلی گیاه است که بیشتر محصولات فتوسنتزی در آن سنتز می‌شوند، در مواجهه با بروز تنش خشکی تعداد برگ‌های گیاه و سطح برگ تا اندازه قابل توجهی دچار کاهش می‌شوند (Fahim et al., 2023). به دنبال کاهش سطح، برگ جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه نیز کاهش می‌یابد (Banger et al., 2019).

این در حالی بود که در شرایط تنش خشکی متوسط FC75 میزان عملکرد دانه ۷۱۹/۴ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی شدید FC50 میزان عملکرد دانه ۵۷۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. اما میان شرایط تنش خشکی متوسط FC75 و تنش خشکی شدید FC50 تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲). بر اساس یافته‌های بدست آمده از مقایسه میانگین‌ها، آبیاری با پساب شهری بر ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد غلاف دارای سه دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه نسبت به آبیاری با آب چاه برتری قابل توجهی داشت. به‌طوریکه بیشترین میزان ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد غلاف دو دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه به ترتیب با ۱۰۹/۷ سانتی‌متر، ۴/۴، ۸۳/۱، ۱۸/۵ گرم و ۶۷۹/۴ کیلوگرم در هکتار به شرایط آبیاری با پساب شهری اختصاص یافت (جدول ۳). تنش خشکی یک عامل محدودکننده و مهم در مراحل اولیه رشد و استقرار گیاه است. فرآیند رشد و نمو شامل تقسیم سلول، طول‌شدن سلول‌ها و تمایز است و این مراحل به علت وابستگی آنها به فشار آماس به کمبود آب بسیار حساس هستند. در شرایط کم‌آبی با کاهش تورژسانس رشد و توسعه سلول در اندام‌های هوایی نیز دچار افت می‌گردد (Sadat Rasti Sani et al., 2014). پاسخ گیاهان به شرایط تنش بسیار پیچیده است و به عوامل دیگری مانند



شکل ۲- ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا در طول فصل رشد

Figure 2- Evaluation of drought stress effects on yield and yield components of soybean at during growth season

جدول ۳- ارزیابی اثر ساده مدیریت آبیاری بر صفات مورفولوژیک و عملکرد و اجزای عملکرد سویا در طول فصل رشد

Table 3- Evaluation of the irrigation management on morphological trait and yield and yield components of soybean at during growth season

Source of irrigation	Yield and yield components			Morphological characteristics	
	Grain yield (kg.ha ⁻¹)	100-Grain weight (g)	2-Grain per pod	Num. Lantern Shoots	Plant height (cm)
UWW	679.4a	18.5a	83.1a	4.4a	109.7a
WW	555.1b	17.7b	76.3b	3.8b	107b

Means with the same letter are not significantly different

مربوط به کاهش زیست توده اندامهای هوایی و ریشه و کاهش تخصیص زیست توده به دانه در نتیجه وقوع تنش خشکی بود. نتایج Divsalar et al., (2016) نیز دال بر کاهش بسیار چشمگیر تعداد و وزن غلاف سویا نسبت به مدت وقوع تنش خشکی بویژه شرایط تنش خشکی شدید بود. هم‌سنجی این نتایج و برخی مطالعات دیگر از جمله (Ray et al., 2018; Tripathi et al., 2016; Mahfooz et al., 2020; Omidi, 2021; Badiei et al., 2016)، با یافته‌های این پژوهش کاملاً

در واقع این اولین مکانیسم گیاه برای مقابله با خشکی به شمار می‌رود. معمولاً ارتفاع بوته بخش مهمی در تعیین عملکرد نیست ولی ارقامی که ارتفاع بلندتری دارند دارای عملکرد بیولوژیک بیشتری می‌باشند (Shiukhy soqanloo et al., 2020). Farooqi (2019) نشان دادند که کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ، تسریع پیری برگ و تنش اکسیداتیو ناشی از بروز تنش خشکی، از پیامدهای منفی قابل توجه بر عملکرد سویا بود. بر پایه گزارش (Du et al (2020)، کاهش وزن دانه

شدید خشکی در مقایسه با آبیاری با آب چاه، وضعیت مطلوب‌تری داشتند. در واقع کیفیت پساب شهری توانسته است تا حدی اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد.

ویژگی‌های فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس پاسخ فیزیولوژیکی گیاه سویا بر اثر ترکیبی تنش خشکی و مدیریت آبیاری در جدول ۴ ارائه گردید. بر پایه یافته‌ها، تأثیر تنش خشکی بر پراکسیداسیون لیپیدی غشا^۱ (محتوای مالون دی‌آلدهید)، تنظیم اسمزی^۲ (محتوای پرولین) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی^۳ (پرواکسیداز و کاتالاز) بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). همچنین نتایج حاکی از آن بود که تأثیر آبیاری با پساب شهری و اثر برهمکنش تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر پاسخ فیزیولوژیکی گیاه سویا معنی‌دار نبود (جدول ۴).

همسو بود. به‌طور کلی، پساب حاوی غلظت مطلوبی از عناصر غذایی می‌باشد که با بهبود خصوصیات خاک، باعث افزایش تولید محصول می‌شود (Gatta et al., 2015). برخی عناصر مغذی محلول در پساب‌های شهری پتانسیل افزایش حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهند (Ghazavi and Orest., 2016). همچنین پساب‌ها بدلیل فراهمی نیتروژن در خاک، موجب افزایش عملکرد می‌گردند (Shiukhy Soqanloo, 2023). Alizadegan et al (2022a) بیان نمودند که آبیاری با پساب بواسطه فراهم ساختن عناصر مغذی بیشتر در مقایسه با آب چاه، ارتقای بهره‌وری سیستم فتوسنتزی و در نهایت افزایش عملکرد محصول را به دنبال داشت. نتایج Swain et al (2020) نیز حاکی از افزایش صفات مورفولوژیکی و جذب عناصر غذایی توسط گیاه اسفناج تحت شرایط آبیاری با پساب بود. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که آبیاری با پساب شهری هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش متوسط و

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی سویا در طول فصل رشد

Table 4- The result of analysis of variance of drought stress and irrigation management effects on physiological characteristics of soybean at during growth season

S.O.V	Df	Physiological characteristics			
		MDA (nmol.g ⁻¹ FW)	Proline (µg.g ⁻¹)	POD (U.g ⁻¹ FW.min ⁻¹)	CAT (U.g ⁻¹ FW.min ⁻¹)
Block (B)	2	0.035ns	0.00007ns	0.0650ns	0.0037ns
Drought Stress (Ds)	2	0.485*	0.0016**	0.6650**	1.2484**
(B × Ds)	4	0.0400ns	0.0001ns	0.0175ns	0.0226ns
Source of Irrigation (SI)	1	0.0005ns	0.00001ns	0.00055ns	0.0151ns
(Ds × SI)	2	0.0372ns	0.000016ns	0.0072ns	0.0105ns
Error	6	0.0683	0.00027	0.0533	0.0170
Total	17	-	-	-	-
C.V	-	10.5	11	9.1	10.6

** , * and ns: They indicate significance at 1%, 5% and non-significance levels, respectively (Duncan, $P \leq 0.05$)

می‌شود محتوای مالون دی‌آلدهید در شرایط تنش خشکی متوسط FC75 و شرایط بدون تنش تفاوت چندانی نداشت. روند تغییرات تنظیم اسمزی نیز مشابه به روند پراکسیداسیون لیپیدی غشا، افزایشی بود. به‌طوریکه کمترین میزان محتوای پرولین در شرایط بدون تنش و شرایط تنش خشکی متوسط FC75 به‌ترتیب با $0.03 \mu\text{g.g}^{-1}$ و 0.04 مشاهده شد. در حالیکه بیشترین میزان محتوای پرولین را شرایط تنش خشکی شدید FC50 با $0.06 \mu\text{g.g}^{-1}$ به خود اختصاص داد (شکل ۳). بر پایه نتایج، با افزایش سطوح تنش خشکی، میزان

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، پراکسیداسیون لیپیدی غشا با گذر از شرایط بدون تنش به سمت بروز تنش خشکی متوسط FC75 و تنش خشکی شدید FC50، دارای روندی افزایشی بود. به طوری که بیشترین میزان محتوای مالون دی‌آلدهید در شرایط تنش خشکی شدید FC50، با مقدار $2/8 \text{ nmol.g FW. min}^{-1}$ مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی متوسط FC75 و شرایط بدون تنش به ترتیب با $0.000016 \text{ nmol.g. FW. min}^{-1}$ و $2/4$ و $2/2$ بود (شکل ۳). همانطور که در شکل ۳ مشاهده

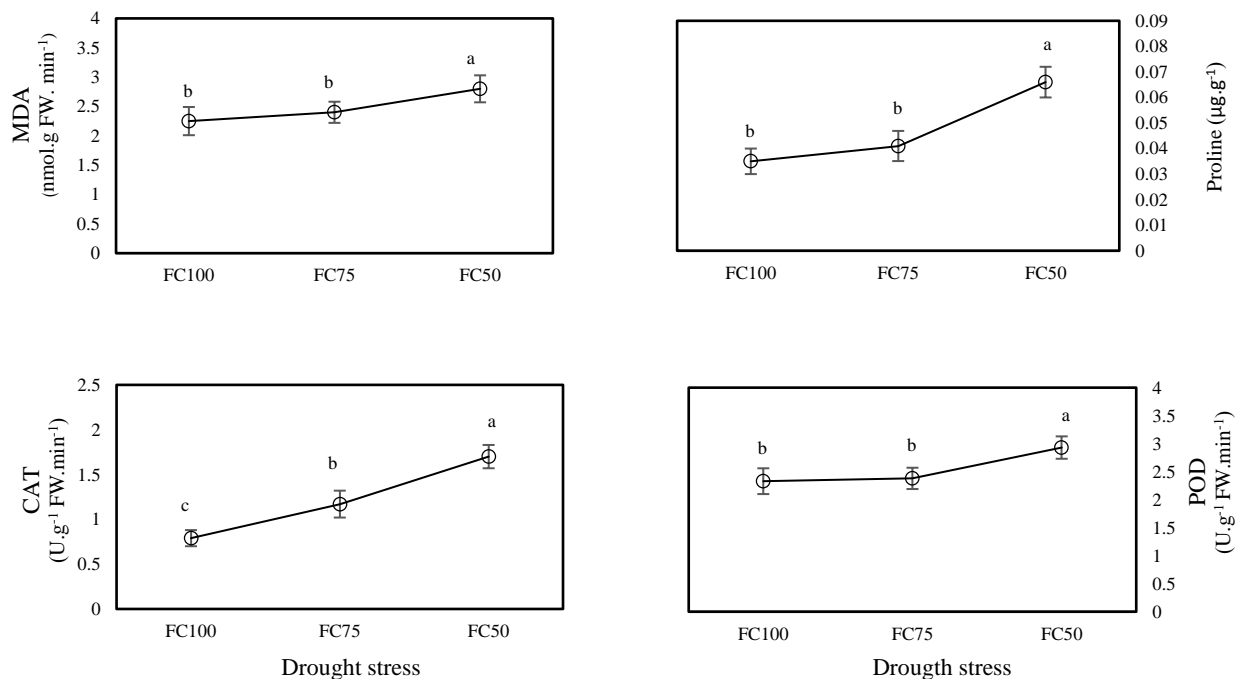
³ Antioxidant Enzyme Activity

¹ Membrane Lipid Peroxidation

² Osmotic Adjustment

روندی افزایشی داشت اما نسبت به آنزیم کاتالاز با شدت کمتری همراه بود. به طوریکه میزان فعالیت آنزیم پروکسیداز در شرایط تنش خشکی متوسط FC75 و شرایط بدون تنش به ترتیب با $2/38 \text{ U.g}^{-1} \text{ FW.min}^{-1}$ و $2/33$ تفاوت چندانی محسوسی با یکدیگر نداشت، اما در شرایط تنش خشکی شدید FC50 با مقدار $2/93 \text{ U.g}^{-1} \text{ FW.min}^{-1}$ افزایش قابل توجهی را در مقایسه با شرایط تنش خشکی متوسط FC75 و شرایط بدون تنش نشان داد (شکل ۳).

فعالیت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت. به‌طوریکه فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط بدون تنش با مقدار $0/79 \text{ U.g}^{-1} \text{ FW.min}^{-1}$ در مقایسه با شرایط بروز تنش خشکی متوسط FC75 با کاهش ۴۸ درصدی و با شرایط بروز تنش خشکی شدید FC50، با کاهش بسیار چشمگیر ۱۱۵ درصدی مواجه شد. در واقع با افزایش میزان سطوح تنش، فعالیت آنزیم کاتالاز نیز افزایش چشمگیری داشت (شکل ۳). همچنین یافته‌ها نشان دادند که فعالیت آنزیم پروکسیداز نیز در شرایط بروز تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش



شکل ۳- ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر پاسخ فیزیولوژیکی سویا در طول فصل رشد

Figure 3- Evaluation of drought stress effects on soybean physiological response at during growth season

and Zhai (2007) نیز بیان نمودند که با افزایش شدت خشکسالی، بافت، نفوذپذیری غشاء و محتوای MDA به تدریج افزایش یافت و فعالیت‌های CAT و POD در ابتدا افزایش یافت و متعاقباً کاهش یافت. که دلیل آن ممکن است به تفاوت در روش کاشت، ارقام و شرایط محیطی نسبت داده شود. گیاهان می‌توانند با کاهش سطح برگ تحت تنش خشکی، تلفات آب ناشی از تعرق را کاهش دهند. Fahim et al (2023) نیز نشان دادند که با افزایش سطح تنش خشکی در شش رقم مورد مطالعه انگور، میزان MDA در بیشتر ارقام افزایش

در شرایط دسترسی محدود طولانی مدت به آب، گیاهان تحت تغییرات مورفولوژیکی با هدف مقابله با اثرات نامطلوب تنش قرار می‌گیرند (Wang et al., 2022). علاوه بر این، محتوای MDA به طور کلی با تنش افزایش می‌یابد. بنابراین، محتوای MDA به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید غشایی برای بازتاب توانایی گیاهان در پاسخگویی به شرایط نامطلوب، مانند خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ru et al., 2006). نتایج Du et al., (2020) نشان داد که سطوح MDA ذرت و سویا با افزایش شدت و مدت خشکسالی افزایش می‌یابد. Mo

غذایی موجود و بهبود حاصلخیزی خاک، نشان داد که تا حدی توانایی جبران اثرات منفی تنش خشکی متوسط و شدید را نسبت به آبیاری با آب چاه دارد. همچنین برگ‌های سویا با تجمع مولکول‌های فعال اسمزی، تنظیم مثبت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پراکسیداسیون لیپیدی غشا برای حفظ ثبات غشای سلولی و به حداقل رساندن آسیب‌های احتمالی ناشی از تنش خشکی، گونه‌های اکسیژن واکنشگر را حذف کردند. بر پایه یافته‌ها، می‌توان اینگونه اظهار داشت که، لزوم تحقیقات مقاومت به خشکی در گیاه سویا در زمینه پیش‌بینی‌های پیشرفته و دقیق و هشدارهای اولیه در مناطق مستعد خشکسالی و مدیریت کارآمد آبیاری در راستای تولید پایدار، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش از محل طرح پژوهشی باشماره ۰۵-۱۴۰۲-۰۲ توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری حمایت شده و بدینوسیله از حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126.
- Aghayari, F., Faraji, A., Kordkatooli, A. 2016. Determination of yield and yield components response of soybean (*Glycine max* L.) to swing date, temperature and sunshine hours. *Journal of Agroecology*, 7(4), 547-562. (In Farsi)
- Alizadegan, F., Gholami Sefidkouhi, M. A., Shiukhy Soqanloo, S. 2022a. Evaluation of treated wastewater irrigation effect on yield components and yield of maize (single cross 704). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 15(6), 1328-1337. (In Farsi)
- Alizadegan, F., Gholami Sefidkouhi, M. A., Shiukhy Soqanloo, S. 2022b. Evaluation of wastewater effects on soil chemical characteristics, microelements concentrations; heavy metals accumulation and maize yield (Single Cross 704). *Journal of Water and Soil*, 36(4), 1328-1337. (In Farsi)
- Badiei, A., Karandish, F., Tabatabai, S. 2016. The effect of irrigation with raw and treated municipal wastewater on wheat yield and microbial

معنی‌داری پیدا کرد. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که تنش خشکی می‌تواند ساختار غشای سلولی را تغییر داده، باعث آسیب غشای سلولی، افزایش نفوذپذیری غشا و تجمع تعداد زیادی رادیکال‌های آزاد زیستی شود که بر عملکرد طبیعی سلول‌ها مؤثر بوده و در نتیجه بر عملکرد فیزیولوژیکی طبیعی سویا تأثیر گذار خواهد بود (Wang et al., 2022). نتایج Jiang et al., (2019) حاکی از افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ اسپند تحت تنش خشکی بود. (Gao et al., 2016) نشان دادند که فعالیت SOD، POD و CAT در برگ سویا ابتدا افزایش و سپس با زمان فرآوری کاهش یافت. مولکول‌های فعال اسمزی مانند پرولین، نفوذپذیری سلول را تحت تنش کاهش می‌دهند و غلظت یون‌های معدنی را حفظ می‌کنند تا رشد طبیعی گیاه را تضمین کنند. نتایج Wang et al., (2014) نشان داد که سطح پرولین در سویا در طی تنش خشکی به طور قابل توجهی افزایش یافت و تعداد ارقام مقاوم به خشکی به طور قابل توجهی در مقایسه با ارقام حساس به خشکی افزایش یافت. (Gao et al., 2009) مشاهده کردند که با افزایش مدت خشکی، محتوای پرولین افزایش یافت. Zhuang et al., (2020) دریافته‌اند که تنش خشکی باعث افزایش سطح پرولین و قند محلول در برگ ذرت شد. علاوه بر این، هر چه شدت تنش افزایش یافت، سطح پرولین و قند محلول نیز با افزایش همراه بود. (Li 2019) بیان نمود که خشکی می‌تواند به طور قابل توجهی رشد ریشه و فرآیندهای فیزیولوژیکی مرتبط را تغییر دهد و در نتیجه بر عملکرد سویا تأثیر بگذارد. هم‌سنجی این نتایج با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

با توجه به بروز تنش خشکی و عدم توزیع مناسب براندگی‌ها در طول دوره رشد و نمو سویا در منطقه مورد مطالعه و از طرف دیگر دسترسی محدود به منابع آب، باعث شده است که ارزیابی پاسخ گیاه به شرایط بروز تنش و اثر بخشی آبیاری با پساب شهری بر تعدیل اثرات منفی تنش خشکی در اولویت تحقیقات قرار گیرد. بر اساس نتایج بدست آمده، اثرات نامطلوب بروز تنش خشکی متوسط و شدید باعث کاهش در ویژگی‌های مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا گردید. آبیاری با پساب شهری بدلیل محتوای عناصر

- Freitas, M. E., de Souza, L. C. F., Salton, J. C., Serra, A. P., Mauad, M., Cortez, J. W., Marchetti, M. E. 2016. Crop rotation affects soybean performance in no-tillage system under optimal and dry cropping seasons. *Australian Journal of Crop Science*, 10, 353–361.
- Gao, L., Liu, L., Dong, S., Zu, W., Sun, C. 2009. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics in leaves of soybean seedlings. *Journal of Northeast Agriculture University*, 40, 1–4.
- Gao, X., Liu, L., Liu, B., Ma, Y., Wang, R., Dong, S. 2016. Effect of drought stress simulated by PEG on antioxidant enzyme activities and antioxidant capacity in soybean. *Soybean Science*, 35, 616–636.
- Gatta, G., Libutti, A., Gagliardi, A., Beneduce, L., Brusetti, L., Borruso, L., Disciglio, G., Tatantino, E. 2015. Treated agro-industrial wastewater irrigation of tomato crop: Effects on qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. *Agricultural Water Management*, 149, 33-43.
- Ghazavi, R., Orest, M. 2016. Investigation the effect of irrigation with municipal wastewater on accumulation of some pollutants and chemicals elements in plant and its effect on their ecological characteristics (A case study: *Eucalyptus Globulus*). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 4(8), 13-29. (In Farsi)
- He, J., Du, Y. L., Wang, T., Turner, N. C., Yang, R. P., Jin, Y., Xi, Y., Zhang, C., Cui, T., Fang, X. W. 2017. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* L.) under drought. *Agricultural Water Management*, 179, 236–245.
- Jiang, Z., Li, C., Yu, L., Tang, G. 2019. Effects of drought stress on MDA content and 3 antioxidant enzymes activities in leaves of *Carya illinoensis*. *Acta Agriculturae Shanghai*, 35, 7–10
- Jumrani, K., Bhatia, V. S., Pandey, G. P. 2017. Impact of elevated temperatures on specific leaf weight, stomatal density, photosynthesis and chlorophyll fluorescence in soybean. *Photosynthesis Research*. 131, 333–350.
- Li, W. 2019. Research progress in understanding the effects of drought on growth of the soybean root system and the efficiency of irrigation. *Acta Pratacultrae Sinica*, 28, 192–202
- Ma, Y., Celeste Dias, M., Freitas, H. 2020. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Chemistry*, 11, 1-18.
- Mahfooz, Y., Yasar, A., Guijan, L., Islam, Q. U., Tabinda Akhtar, A. B., Rasheed, R., Irshad, S., properties of soil and plants. *Journal of Water and Soil Science*, 4(2), 215-228. (In Farsi)
- Bahrololomi, S., Raeini Sarjaz, M., Pirdashti, H. 2019. The effect of drought stress on the activity of antioxidant enzymes, malondialdehyde, soluble protein and leaf total nitrogen contents of soybean (*Glycine max* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(1), 17-28. (In Farsi)
- Banger, P., Chaudhury, A., Tiwari, B., Kumar, S., Kumari, R., Bhat, K. V. 2019. Morphophysiological and biochemical response of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) varieties at different developmental stages under drought stress. *Turkish Journal of Biology*, 43, 58 -69.
- Basal, O., Szabó, A. 2020. Physiology, yield and quality of soybean as affected by drought stress. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 8, 247–252.
- Bates, L. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205- 207.
- Bhatia, V. S., Jumrani, K. A. 2016. Maximin-minimax approach for classifying soybean genotypes for drought tolerance based on yield potential and loss. *Plant Breed*, 136, 691–700.
- Divsalar, M., Tahmasebi Sarvestani, Z., Modares Sanavi, S. A. M., Hamidi, A. 2016. Investigating the effect of drought stress in the form of interruption of irrigation in reproductive growth stages Quantitative and qualitative yield of soybean cultivars. *Journal of Crop Improvement*, 18(2), 481-493. (In Farsi)
- Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., Xie, F. 2020. Effect of drought stress at reproductive stages on growth and nitrogen metabolism in soybean. *Agronomy*, 10, 1-21.
- Fahim, S., Ghanbari, A., Naji, A. M., Shokohian, A. A, Maleki Lajayer, H. 2023. Impact of drought stress on morphological and physiological traits in some Iranian grape cultivars. *Plant Process and Function*, 11 (47), 249-266. (In Farsi)
- FAO. 2019. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed on 25 December 2019).
- Farooqi, Z. U. R. 2021. Phytoremediation of inorganic pollutants: An eco-friendly approach, its types and mechanisms. *Plant Environment*, 1(20), 110-129.
- Fattahi, K., Babazadeh, H., Shirshahi, F. 2016. Yield Barley and its Components Irrigated with Brackish and Grey Water. *Water Resources Engineering*, 8(27), 23-30. (In Farsi)
- Feng, W., Lu, H., Yao, T., Yu, Q. 2020. Drought characteristics and its elevation dependence in the Qinghai-Tibet plateau during the last half-century. *Scientific Reports*, 10(14323), 1-11.

- bean cultivars under drought tension. *Crop Physiology Journal*, 10 (39), 61-77. (In Farsi)
- Shen, S. Y., Wu, Y. X., Zheng, Y. S. 2017. Review on drought response in plants from phenotype to molecular. *Current Biotechnology*, 7, 169-176.
- Shiukhy Soqanloo, S. 2023. Modeling the impact of water deficit on wheat yield under climate change conditions. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (1), 71-89. (In Farsi)
- Shiukhy Soqanloo, S., Mousavi-Baygi, M., Torabi, B., Raeini-Sarjaz, M. 2021. Evaluation of climate change effects on irrigated wheat CV. Mehregan yield under drought stress condition (Case study: Varamin). *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(2), 15-28. DOI: 10.22125/agmj.2021.297373.1121
- Swain, A., Singh, S. K., Mohapatra, K. K., Patra, A. 2020. Effect of sewage sludge application on yield, nutrients uptake and nutrient use efficiency of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Annals of Plant and Soil Research*, 22(3), 305-309.
- Tabtabaei, S. H., Nourmahnad, N., Golestani Kermani, S., Tabtabaei, S. A., Najafi, P., Heidarpour, M. 2020. Urban wastewater reuse in agriculture for irrigation in arid and semi-arid regions - A review. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 9: 193-220.
- Talebi, R., Ensafi, M. H., Baghebani, N., Karami, E., Mohammadi, K. H. 2013. Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes to drought stress. *Environmental and Experimental Biology*, 11, 9-15.
- Tripathi, V., Rajput, T. B.S., Patel, N. 2016. Biometric properties and selected chemical concentration of cauliflower influenced by wastewater applied through surface and subsurface drip irrigation system. *Journal of Cleaner Production*, 139, 142-153.
- Wang, X., Wu, Z., Zhou, Q., Wang, X., Song, S., Dong, S. 2022. Physiological Response of Soybean Plants to Water Deficit. *Frontiers in Plant Science*, 12, 809692.
- Wang, Y. P., Wang, X.M., Hou, G.Q., Sun, X.H., Bai, Y.F., Qi, Y.X. 2014. Influence of drought stress on physiological and biochemical characteristics of different eco-types of soybeans. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30, 93-100.
- Wei, Y., Jin, J., Jiang, S., Ning, S., Liu, L. 2018. Quantitative Response of Soybean Development and Yield to Drought Stress during Different Growth Stages in the Huaibei Plain. *China Agronomy*, 8, 89-97.
- Xu, Z.R., Zhang, J.Q., Wang, M., Cao, X.D., Liu, L.L., Xu, H.G. 2018. Effect of drought stress on the growth and physiological characteristics of nine Naeem, U. 2020. Critical risk analysis of metals toxicity in wastewater irrigated soil and crops: a study of a semi-arid developing region. *Scientific Reports*, 10(12845), 1-10.
- Maleki, A., Naderi, A., Siyadat, A., Tahmasebi, A., Fazel, Sh. 2012. The effect of drought stress in different phenological stages on soybean yield and yield components. *Journal of Research in Agricultural Sciences*, 4(15), 71-82. (In Farsi)
- Medina, E., Kim, S. H., Yun, M., Choi, W. G. 2021. Recapitulation of the Function and Role of ROS Generated in Response to Heat Stress in Plants. *Plants*, 10 (2), 371
- Mo, H., Zhai, X. L. 2007. Effects of drought stress on protective enzymes activities and membrane lipid peroxidation in leaves of soybean seedlings. *Hubei Agricultural Science*, 1, 45-48.
- Navabpour, S., Hezarjaribi, E., Mazandarani, A. 2017. Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(4), 491-503. (In Farsi)
- Ohkawa, H., Ohishi, N., Yagi, K. 1979. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*, 95(2), 351-358.
- Omidi, H., Pirjalili, F., Ahmadi, K. 2021. Evaluation of the Effect of Drought Stress on Morphophysiological Characteristics of Three Populations of Balangu (*Lallemantia royleana* Benth.). *Journal of Horticultural Science*, 34(4), 605-620. (In Farsi)
- Ray, R. R. L., Fares, A., Risch, E. 2018. Effects of Drought on Crop Production and Cropping Areas in Texas. *Agricultural and Environmental Letters*, 14:1-5.
- Ru, G. X., Hao, S. J., Ru, T. Q., Wang, S. K. 2006. Relationship between physiology indexes of Robinia Pseudoacacia clones and drought resistance. *J. Henan Institute of Science and Technology (Natural Sciences Edition)*, 34, 37-40
- Sadat Rasti Sani, M., Lahouti, M., Ganjeali, A. 2014. Effect of drought stress on some Morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal Pulses Research*, 5(1), 103-116. (In Farsi)
- Senapati, N., Stratonovitch, P., Paul, M.J., Semenov, M.A. 2018. Drought Tolerance during Reproductive Development Is Important for Increasing Wheat Yield Potential under Climate Change in Europe. *Journal of Experimental Botany*, 70, 2549-2560.
- Shadmand, H., Afkari, A. 2018. The Effect of superabsorbent polymer application on some biochemical traits and relative water content of

- Zhang, K., Ruben, G.B., Li, X., Li, Z., Yu, Z., Xia, J. 2020. A comprehensive assessment framework for quantifying climatic and anthropogenic contributions to streamflow changes: a case study in a typical semi-arid North China basin. *Environmental Modelling and Software*, 128, 104704.
- Zhuang, K.Z., Wu, R.H., Zhang, C.Y., Zhang, H., Gao, Y.B., Li, Z.X. 2020. Effects of drought and re-watering at seedling stage on growth and physiological characteristics of maize. *Shandong Agricultural Science*, 52, 56–61.
- species of wild ornamental plants in Lanzhou. *Pratacultare Science*, 35, 2865–2871.
- Yan, C.J., Wang, W.B., Xiao-Jie, T.U., Wang, C.L., Zhang, L.J., Qiang, D.U., Song, S.H. 2013. Effect of Drought Stress at Different Growth Stage on Yield and Root Characteristics of Soybean. *Soybean Science*, 1, 59–67.
- Yazdani, A., Saffari, M., Ranjbar, Gh. 2017. Effect of treatment with treated municipal wastewater on grain yield and accumulation of heavy metals in grain of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 4, 284-296 (In Farsi)



Evaluation of physiological response and growth parameters of Soybean to combined effects of drought stress and irrigation management

S. Shiukhy Soqanloo^{1*}, M. Gholami Sefidkouhi², M. Aref Rad³

Received: 08/05/2024

Accepted: 01/09/2024

Abstract

The challenge of water scarcity, the lack of water resources and the subsequent occurrence of drought stress, has made it very important to evaluate the combined effect of drought stress and irrigation management on the sustainability of strategic crops. An experiment with split-plot randomized complete block design in three replications was carried out during the growth season 2023-2024, in the research farm of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources (SANRU), Sari, Iran. Treatments include; the main factor of drought stress was considered in three levels (non-stress (FC100), moderate drought stress (FC75) and severe drought stress (FC50)) and the secondary factor of irrigation source was considered in two levels (urban wastewater (UWW) and well water (WW)). Based on the findings, the effect of drought stress on the morphological characteristics, yield and components of soybean was significant. Therefore, the control (non-stress) treatment showed an obvious superiority over the two other applied stress treatments. In addition, irrigation with urban wastewater compared to well water improved the morphological characteristics, the number of pods with 2-seeds, 100-seed weight, and the seed yield and partially compensated the adverse effects of drought stress. Based on the results, highest content of MDA, Proline, CAT and POD enzymes was observed in FC50 or severe water stress conditions, with a significant increase comparing to FC75 and non-stress treatments. Considering the possible occurrence of drought stress during the soybean growth season, the practical and feasible option of urban wastewater application as a source of irrigation (observing essential quality criteria) can be recommended to alleviate the water stress effects.

Keywords: Antioxidant enzymes, Morphological characteristic, Pod number, Urban wastewater, Water stress



¹ Assistant Professor of Agro-Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran

(*Corresponding Author Email Address: Saeid.Shiukhy@gmail.com)

² Professor of Water and Drainage, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran

³ Ph. D. in Plant Breeding and Genetic Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Recourses University, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

شیوخ‌ی سوغانلو، س.، غلامی سفیدکوهی، م.، عارف راد، م. ۱۴۰۳. ارزیابی پاسخ فیزیولوژیکی و پارامترهای رشد سویا به تأثیر ترکیبی تنش خشکی و مدیریت آبیاری. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۶۲-۷۴. DOI: 10.22125/agmj.2024.456389.1168

Shiukhy Soqanloo, S., Gholami Sefidkouhi, M., Aref Rad M. 2025. Evaluation of physiological response and growth parameters of Soybean to combined effects of drought stress and irrigation management. Journal of Agricultural Meteorology, 12(2): 62-74. DOI: 10.22125/agmj.2024.456389.1168

Shiukhy Soqanloo, S., Gholami Sefidkouhi, M., Aref Rad M. 2025. Evaluation of physiological response and growth parameters of Soybean to combined effects of drought stress and irrigation management. Journal of Agricultural Meteorology, 12(2): 62-74. DOI: 10.22125/agmj.2024.456389.1168