



ارزیابی تأثیر توامان سایه‌دهی و تنش خشکی بر بهره‌وری آب و عملکرد کمی و کیفی سویا

سعید شیوخ سوغانلو^{۱*}، بهاره شامگانی مشهدی^۲، سحر باطبی^۳، ساويز باطبي^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۵

چکیده

با کاهش فراهمی آب ناشی از پیامدهای گرمایش جهانی و ضرورت افزایش بهره‌وری آب، استفاده از فناوری‌های کاربردی مانند پوشش‌های توری جهت سایه اندازی موضوع مطالعات متعددی بوده است. در این پژوهش، طرح آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران تحت تیمارهای مختلف سایه‌دهی (بدون سایه‌دهی، ۸۰ (SH-80)، ۵۰ (SH-50) و ۳۰ (SH-30) درصد گذرای نور) و تنش خشکی (بدون تنش، NDS)، (قطع آبیاری در مرحله گلدهی، DSF) و (قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی، DSP) انجام شد. بر پایه یافته‌ها، اثر متقابل سایه‌دهی و تنش خشکی در صفات تعداد غلاف، تعداد غلاف پوک، تک دانه، دو دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه بسیار معنی‌دار شد ($P \leq 0.01$). بطوریکه در ترکیب تیماری SH-30 و NDS، بیشترین میانگین تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه و عملکرد دانه به‌ترتیب با ۷۹/۱، ۱۶/۷ گرم و ۱۱۷۰/۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان فعالیت کلروفیل a و b مربوط به ترکیب تیماری SH-30 و NDS به ترتیب با ۰/۹ و ۰/۳۳ میلی گرم در گرم مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین بهره‌وری آب (WP_i) در ترکیب تیماری SH-50 و DSF، و بهره‌وری آب بر اساس تبخیر-تعرق (WP_{ET}) در ترکیب تیماری SH-30 و NDS به ترتیب با ۲/۴ و ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد. در مجموع به کارگیری روش سایه‌دهی در شرایط بدون تنش، ویژگی‌های کمی و کیفی سویا را افزایش داد. در نتیجه، استفاده از پوشش‌های توری SH-30 و 30 برای تعدیل اثرات نامطلوب تنش خشکی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تعداد غلاف، زیست توده، سویا، کلروفیل

مقدمه

ایران هستند (Safari and khalilian., 2020). براساس مطالعات، پتانسیل عملکرد سویا در ایران حدود ۴۶۸۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است، در حالی که میانگین عملکرد واقعی آن در مزارع ۲۲۵۷ کیلوگرم در هکتار گزارش می‌شود. این مقدار در مقیاس جهانی به بیش از ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده شکاف قابل توجه بین ظرفیت بالقوه و عملکرد فعلی در ایران است (Nehbandani et al., 2020). ویژگی برجسته

سویا (*Glycine max L.*) به‌عنوان مهم‌ترین منبع تولید روغن و پروتئین گیاهی است که قابلیت کشت در دامنه گسترده‌ای از عرض‌های جغرافیایی را دارد (Shiukhy Soqanloo et al., 2024) و سازگاری قابل توجهی با شرایط آب و هوایی مختلف دارد (Nargund et al., 2024). استان‌های گلستان، اردبیل و مازندران به ترتیب با تولید ۳۵۲۰۰، ۲۶۵۰۰ و ۶۲۵۱ تن، پیشتازان تولید سویا در

^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تولیدات محصولات گلخانه‌ای، گروه باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۴ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تولیدات محصولات گلخانه‌ای، گروه باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۱ استادیار گروه هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*)نویسنده مسئول: saeid.shiukhy@gmail.com

^۲ دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

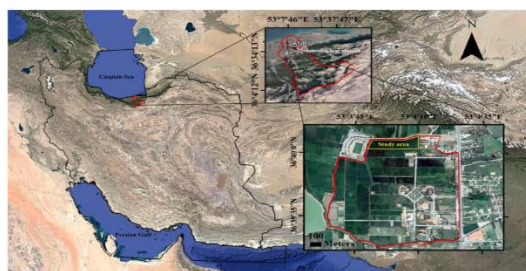
نحوه ارجاع مقاله:

شیوخ سوغانلو، س.، شامگانی مشهدی، ب.، باطبی، س.، باطبی، س. ۱۴۰۵. بررسی تأثیر فناوری‌های سبز و بهره‌وری انرژی بر تغییر اقلیم در کشورهای عضو BRICS. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۴ (۱): ۶۸-۸۰. DOI: 10.22125/agmj.2025.532656.1185
Shiukhy Soqanloo, S., Shamgani Mashhadi, B., Batebi, S., Batebi, S. 2026. Assessment of the Combined Effects of Shading and Drought Stress on Water Productivity and Yield of Soybean. Journal of Agricultural Meteorology, 14 (1): 68-80. DOI: 10.22125/agmj.2025.532656.1185

این گیاه، توانایی تثبیت نیتروژن است که ۶۰ تا ۷۰ درصد از کل تثبیت نیتروژن بیولوژیک جهانی را شامل می‌شود. این قابلیت نه تنها مصرف کودها و سموم شیمیایی را کاهش می‌دهد، بلکه سویا را به گزینه‌ای سازگار با محیط زیست و مناسب برای کشت گسترده تبدیل کرده است. چنین مزایایی، سویا را در زمره محصولات سبز قرار داده و اهمیت آن را در تأمین امنیت غذایی و پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی دوچندان می‌کند (Santachiara et al., 2019). تغییر اقلیم بر الگوهای اقلیمی و چرخه هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد و می‌تواند فراوانی یا شدت رویدادهای حدی اقلیمی مانند امواج گرما و خشکسالی را افزایش دهد و در نهایت تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان را با چالش مواجه سازد (Rezaei et al., 2022). تغییرات آب و هوایی باعث افزایش تقاضای آب در بخش کشاورزی، مصرف آب بیشتر و افزایش تبخیر و تعرق در گیاهان می‌شود (Tian et al., 2023). بخشی از این اثرها به صورت کاهش بهره‌وری آب و در نتیجه کاهش عملکرد ناشی از بروز تنش خشکی مشاهده می‌شود (Oguz et al., 2021). تنش خشکی ناشی از کمبود بارندگی طولانی مدت منجر به کاهش رطوبت و آب قابل دسترس در منطقه توسعه ریشه گیاه در مدت طولانی و در نتیجه کمبود آب مؤثر برای جذب و بهره‌برداری محصول می‌شود (Wang et al., 2022). این تنش فرآیندهای تقسیم سلولی و رشد را مهار می‌کند و منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جریان CO₂ به سلول‌های مزوفیلی می‌شود (Prasad et al., 2015). همچنین دسترسی گیاه به نیتروژن، جذب نیتروژن و فعالیت آنزیم‌های تثبیت نیتروژن را کاهش می‌دهد (Roshdi et al., 2023). در نهایت، تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد و کیفیت گیاهان می‌شود (Nazir et al., 2022). با توجه به اینکه شدت تنش خشکی در چند دهه گذشته به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است، درک تأثیر تنش خشکی بر عملکرد محصولات بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Shiukhy-Soqanloo et al., 2024). 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 Szabó, 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 et al., 2024). سایه‌دهی به فرآیند کنترل میزان جذب نور خورشید توسط گیاهان از طریق استفاده از سازه‌ها، مواد، یا پوشش‌هایی برای ایجاد سایه اشاره دارد. تابش خورشیدی به عنوان یکی از مهمترین متغیرهای هواشناسی، نقش حیاتی در تولید بیوماس گیاهی دارد. تابش، که به طور مستقیم بر رشد محصول و پتانسیل عملکرد تأثیر می‌گذارد، کارایی استفاده از انرژی خورشیدی را به عنوان یک ویژگی کلیدی در گیاهان مطرح می‌کند (Caron et al., 2018). تغییرات در میزان تابش می‌تواند بر رشد، مورفولوژی و آناتومی گیاه تأثیر بگذارد (Fan et al., 2018) و بر فیزیولوژی گیاه و بیوشیمی سلولی تأثیرات منفی داشته باشد (Contin et al., 2014). کاهش تشعشعات خورشیدی می‌تواند گیاهان را به طرق مختلفی تحت تأثیر قرار دهد. برخی از گونه‌های گیاهی با نشان دادن ویژگی‌هایی مانند تغییر زاویه برگ، برگ‌های بزرگ‌تر و نازک‌تر با محتوای کلروفیل بالاتر، تغییر جهت کلروپلاست و کاهش نسبت ریشه به ساقه، نقطه جبران نور و سرعت تنفس تاریک، با شرایط نور کم سازگار می‌شوند (Ghassemi et al., 2013). گیاه سویا با داشتن سطح برگ‌های وسیع و تولید سریع برگچه‌ها، تا زمانی که سایه‌دهی خودکار اتفاق بیفتد، تابش خورشیدی را به طور نسبتاً بالایی جذب می‌کند (Tibolla et al., 2019). پرتوهای خورشیدی با برخورد به صفحه سایه‌انداز، جهت خود را تغییر می‌دهند. این امر به نوبه خود میانگین شار تابش خورشیدی رسیده به گیاهان سویا را تغییر داده و بر عملکرد و ویژگی‌های محصول تأثیر می‌گذارد. دینامیک تابش خورشیدی در شرایط سایه‌دهی قابل تغییر است و اصلی‌ترین تغییرات آن از طریق ایجاد یک خرداقلیم است که می‌تواند منجر به کاهش دمای هوا و احتمالاً افزایش نسبت تابش خورشیدی پراکنده شود، که در تبدیل کارآمد فتوسنتز در نظر گرفته می‌شود (Zainali et al., 2023). ایران به‌عنوان یکی از کشورهای دارای

سانتی‌گراد و میانگین سالانه بارندگی بلندمدت ۶۵۰ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱ جزئیات بیشتری از موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در نشان می‌دهد. سایر اطلاعات مربوط به شرایط محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد و نمو گیاه سویا نیز در جدول ۱ ارائه گردید. به‌منظور تأثیر سایه‌دهی (Shading) بر عملکرد گیاه سویا (Glycine max L.) تحت شرایط تنش خشکی، آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای آزمایشی شامل؛ عامل اول سایه‌دهی (SH) با پوشش‌های توری (رنگ سبز) در چهار سطح (عبور ۸۰ درصد نور (SH-80)، عبور ۵۰ درصد نور (SH-50)، عبور ۳۰ درصد نور (SH-30) و تیمار شاهد (بدون سایه‌دهی (Control)) عامل دوم تنش خشکی (DS) در سه سطح (بدون تنش (NDS)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی (DSF)، قطع آبیاری در مرحله شدن دانه در غلاف (DSP)) در سه تکرار، در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی منطقه مطالعاتی

(Shamgani et al., 2024)

Figure 1- Geographical location and topography of the study area (Shamgani et al., 2024)

مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک بسیار شناخته می‌شود که در سال‌های اخیر، تنش خشکی و کاهش بارندگی خسارات شدیدی به بخش کشاورزی آن وارد کرده است. این خسارات حتی در بخش‌های شمالی ایران که بارندگی سالیانه بالایی هم دارند، مشاهده می‌شود. اقتصاد بیش از نیمی از مردم در استان‌های گلستان و مازندران به کشاورزی وابسته است و این امر تحت تأثیر رکود در بخش کشاورزی قرار گرفته است. از طرفی بحران کمبود منابع آب و چالش کم‌آبی موجود که در سال‌های اخیر در طول دوره کشت گیاه سویا در منطقه به‌وضوح مشاهده می‌شود و توزیع نامناسب و توقف بارش در مراحل انتهایی دوره رشد، تأمین نیاز آبی گیاه را بیش از پیش با چالش و نگرانی مواجه ساخته است. بنابراین، هدف از این پژوهش ارزیابی تأثیر توام سایه‌دهی و تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی سویا در راستای توسعه کشاورزی و دستیابی به عملکرد پایدار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان ساری دارای طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۵۳ درجه و ۱ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی است، که شرایط آب و هوایی آن براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، معتدل و مرطوب می‌باشد (Shamgani et al., 2024). این منطقه دارای ارتفاع ۱۴ متر بالاتر از سطح دریا، میانگین دمای سالانه بلندمدت ۱۷/۹ درجه

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش

Table 1- Summary of climatic data during the growing seasons

Growing season	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmean (°C)	Rainfall (mm)	Relative humidity (%)	Pan evaporation (mm)
Jun	19	30.4	24.7	7.6	69	193.6
Jul	22.1	32.1	27.1	22	71	173.5
Aug	23	32	27.5	30.8	74	136.3
Oct	21.4	31.6	26.5	41.3	71	142.5
Sept	16.8	26.6	21.7	76.3	74	80
Oct	21.3	31.5	26.4	25.4	71.2	161.4

شد. روش آبیاری سطحی بوده و از تانسیموتر برای پایش رطوبت خاک استفاده شد. بدین ترتیب زمانی که رطوبت خاک به ۷۰ درصد می‌رسید (SWC=70)، آبیاری صورت می‌گرفت. از زمان کاشت بذر تا پیش از رسیدن به مراحل مورد نظر برای اعمال تنش خشکی (گلدهی و غلاف‌دهی)، آبیاری به‌طور معمول بصورت سطحی انجام می‌گردید و

عملیات کاشت بذور سویا رقم ویلیامز، در تاریخ ۱۲ خرداد در کرت‌هایی با ۴ خط به طول ۲ متر، ابعاد کرت ۱/۲×۲، فاصله خطوط کاشت ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف کاشت ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. همچنین فاصله بین بلوک‌ها نیز ۲ متر در نظر گرفته شد. بلافاصله پس از پایان عملیات کاشت، اولین آبیاری انجام

از پهنک برگ جوان سویا را با دستگاه پانچ جدا کرده و در ۸ سی سی متانول ۱۰۰٪ ریخته شد و در محیط تاریک و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد مدت ۲۴ ساعت نگهداری گردید. جذب عصاره با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (uv-1800PC) به ترتیب در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ خوانده شد. در نهایت با استفاده از معادلات ۱ الی ۳ محاسبه شدند. برای سنجش شاخص سبزی‌نگی، برگ‌های نزدیک به‌راس در ساقه اصلی انتخاب شده و سپس با دستگاه کلروفیل‌سنج میزان کلروفیل برگ‌ها اندازه‌گیری شد و در نهایت میانگین اعداد قرائت شده ثبت گردید.

$$\text{Chlorophyll a } (\mu\text{g/ml}) = [(16.72 A_{665.2} - 9.16 A_{652.4}) / 1000 * 8\text{cc}] / W \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b } (\mu\text{g/ml}) = [(34.09 A_{652.4} - 15.28 A_{665.2}) / 1000 * 8\text{cc}] / W \quad (2)$$

$$\text{Carotenoid } (\mu\text{g/ml}) = [(1000 A_{470} - 1.63 \text{ Ca} - 104.96 / 221) / 1000 * 8\text{cc}] / W \quad (3)$$

بهره‌وری آب

در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی، بهره‌وری آب (WP) به عنوان عملکرد محصول تولید شده به ازای هر واحد آب مصرفی تعریف می‌شود (Waqas et al., 2020). بهره‌وری آب به عنوان یک معیار ارزشمند برای ارزیابی اثربخشی استراتژی‌های مزرعه‌ای، به‌ویژه در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، عمل می‌کند. این معیار همچنین بینشی را در مورد زمان و مکان صرفه‌جویی در آب ارائه می‌دهد (Ebrahimirad et al., 2018). با این حال، ذینفعان مختلف ممکن است WP را به شیوه‌های متفاوتی تفسیر کنند. کل آب مصرفی در مزرعه ترکیبی از آبیاری و بارندگی است. در این شرایط، WP بر اساس آبیاری و بارش محاسبه می‌شود تا کارایی کلی مصرف آب را منعکس کند. برای ارزیابی اثربخشی سناریوهای آبیاری مختلف، شاخص‌های مختلف WP طبق معادلات ۴ الی ۶ محاسبه شده است (Wang et al., 2023). این شاخص‌ها بینشی در مورد استفاده بهینه از منابع آب فراهم کرده و به شناسایی شیوه‌های آبیاری پایدار در شرایط زیست‌محیطی متنوع کمک می‌کنند (Shamgani et al., 2024).

$$WP_{I+P} = \frac{GY}{I+P} \quad (4)$$

$$WP_{ET} = \frac{GY}{ET} \quad (5)$$

$$WP_T = \frac{GY}{T} \quad (6)$$

میزان آب مصرفی نیز به‌دقت پایش گردید. اما با بروز مراحل گلدهی و غلاف‌دهی، تیمارهای تنش خشکی در هر دور از آبیاری با قطع آبیاری، اعمال می‌شدند. لازم به ذکر است که از سرپناه بارش^۱ برای جلوگیری از ریزش باران به درون کرت‌ها استفاده گردید. اطلاعات مربوط به خاک مزرعه آزمایش در جدول ۲ ارائه گردید. پیش از کاشت بر اساس آزمون تجزیه خاک مزرعه، کودهای مورد نیاز به خاک اضافه می‌شوند. بسته به نیاز گیاه در طی دوره‌ی رشد کوددهی با کود ۲۰-۲۰-۲۰ NPK (نیترژن به‌عنوان، نیترات: ۶/۵٪؛ آمونیوم، ۴/۴٪؛ اوره، ۱۰/۴٪؛ فسفات به‌عنوان P₂O₅، ۲۰/۲۰٪؛ و پتاس به‌عنوان K₂O، ۲۰/۲۰٪) همراه با عناصر کم مصرف منگنز (۳/۰٪)، بُر (۲/۰٪) و مولیبدن (۱۰/۰٪) بصورت سرک (EDTA) انجام شد.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های خاک محل آزمایش
Table 2- Some of the soil characteristics of experimental site

Parameter	Value
Sand (%)	23
Texture Silt (%)	40
Clay (%)	37
pH	7.6
EC×10 ³ (ds.m ⁻¹)	1.8
O.C (%)	1.2
O.M (%)	2
N (%)	0.1
P (mg.kg ⁻¹)	13
K (mg.kg ⁻¹)	370

صفات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد

برای سنجش صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد، با رعایت اثر حاشیه‌ای ۶ بوته از دو خط میانی هر کرت به طور تصادفی برداشت و برای سنجش صفات مورد نظر به آزمایشگاه انتقال داده‌شد. صفات گیاه شامل ارتفاع گیاه (حسب 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 و زیست توده (با استفاده از ترازو دیجیتالی با دقت ۰/۰۱) توزین شدند.

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای سنجش صفات فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل ab و کارتنوئید، از روش کارتر و ناپ استفاده شد (Carter and Knapp, 2001). ابتدا ۶ دیسک

¹ Rain shelter

ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در هر بوته، تعداد غلاف پوک، سه دانه، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست توده اثر بسیار معنی داری داشت ($P \leq 0.01$). همچنین تنش خشکی بر صفات تعداد غلاف در هر بوته، تعداد غلاف پوک، تک دانه، دودانه، سه دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه تأثیر بسیار معنی داری داشت ($P \leq 0.01$). اما بر ارتفاع گیاه و عملکرد زیست توده اثر قابل توجهی نداشت. همچنین یافته‌ها حاکی از آن بود که اثر برهمکنش سایه‌دهی و تنش خشکی بر صفات تعداد غلاف در هر بوته، تعداد غلاف پوک، تک دانه، دودانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه بسیار معنی دار بود ($P \leq 0.01$).

که در آن GY عملکرد دانه (Kg ha^{-1}) است، I و P به ترتیب حجم آب آبیاری و بارندگی ($\text{T am}^3 \text{ha}^{-1}$) تعرق است و ET به تبخیر تعرق ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) است. در پایان داده‌های بدست آمده با بهره‌گیری از نرم افزار SASver9.2 تجزیه و تحلیل شدند و آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سایه‌دهی و تنش خشکی بر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد سویا در جدول ۳ ارائه گردید. نتایج نشان داد، سایه‌دهی بر صفات

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سایه‌دهی و تنش خشکی بر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد سویا

Table 3- The result of analysis of variance the shading and drought stress affects on growth trait, yield and yield components of soybean

(S.O.V)	df	PH	PN	SNPP				Biomass	100-SW	Yield
				0	1	2	3			
B	2	48.03 ^{ns}	1.0 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.01 ^{ns}	7.2 ^{ns}	0.9*	933.3 ^{ns}	0.04 ^{ns}	66.52 ^{ns}
Sh	3	5983.5**	92.9**	1.8**	11.7 ^{ns}	30.7 ^{ns}	1.9**	4196313.9**	1.9**	142896.32**
Ds	2	0.9 ^{ns}	101.4**	2.78**	39.1**	291.4**	6.6**	113408.3 ^{ns}	44.5**	186525.02**
Sh × Ds	6	1.6 ^{ns}	9.1**	1.9**	37.0**	74.0**	0.3455 ^{ns}	84208.3 ^{ns}	0.4**	234.9**
Error	22	2.99	0.7	0.17	3.9	14.6	0.2	43754.5	0.06	46.6
Total	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V	-	3.2	1.1	8.5	6.9	10.7	13.9	4.5	1.7	0.7

B: Block; Sh: Shading; Ds: Drought stress; PH: Plant height; PN: Pod number per plant; SNPP: seeds number per pod; 100-SW: one hundred seeds weight.

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

۳۰/۱ و ۲۷/۶ مشاهده شد. بیشترین تعداد تک دانه در تیمارهای تنش خشکی نیز در DSP با تعداد ۳۰/۲۵ مشاهده شد. بیشترین میانگین تعداد دو دانه در غلاف در تیمارهای شاهد و SH-30 به ترتیب با ۳۶/۸ و ۳۶/۶ و کمترین میزان آن در SH-50 با تعداد ۳۲/۸ مشاهده گردید. بیشترین و کمترین میانگین تعداد سه دانه در غلاف در SH-30 و SH-80 به ترتیب با ۴/۰۸ و ۳ مشاهده شد. بیشترین میانگین تعداد دو دانه و سه دانه در غلاف در تیمار بدون تنش NDS به ترتیب با مقادیر ۴۱/۲ و ۴/۴ بود. در حالیکه کمترین میانگین تعداد دو دانه و سه دانه در غلاف در تیمارهای DSF و DSP به ترتیب برابر با ۳۲/۹، ۳۲/۴ و ۳/۱ بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد زیست توده در تیمارهای شاهد و SH-30 به ترتیب برابر ۵۱۷۱/۲ و ۵۲۵۵/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در SH-80 با مقدار ۳۷۹۳/۳ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین و کمترین میانگین عملکرد

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین و کمترین میانگین ارتفاع گیاه مربوط به تیمارهای SH-80 و شاهد به ترتیب با ۱۵۵/۷ و ۹۷/۳ سانتی متر بود. این در حالی بود که میانگین ارتفاع گیاه در تیمارهای تنش خشکی تفاوت قابل توجهی نداشتند (جدول ۴). بیشترین و کمترین میانگین تعداد غلاف در تیمارهای SH-30 و SH-80 به ترتیب با مقادیر ۷۴/۲ و ۶۷/۱ بود. در مقابل در تیمارهای تنش خشکی بیشترین و کمترین میزان آن، مربوط به تیمارهای NDS و DSF به ترتیب با تعداد ۷۴/۴ و ۶۸/۶ مشاهده شد. بیشترین میانگین تعداد غلاف پوک در تیمارهای شاهد و SH-30 به ترتیب با ۵/۱ و ۵/۲ و کمترین میزان آن در SH-80 با تعداد ۴/۴ مشاهده شد. از طرفی در تیمارهای تنش خشکی بیشترین تعداد در DSF و DSP به ترتیب با مقادیر ۵/۱ و ۵/۰۸ و کمترین آن در NDS با تعداد ۴/۲ گزارش شد. بیشترین و کمترین تعداد تک دانه در غلاف در تیمارهای SH-30 و SH-80 به ترتیب با مقادیر

۱۳/۵ گرم و ۹۲۵/۹ کیلوگرم در هکتار بود. وزن صد دانه و عملکرد دانه در تیمار بدون تنش NDS به ترتیب با ۱۶/۰۲ گرم و ۱۰۴۶/۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. در حالی که کمترین میزان آنها مربوط به تیمار DSP به ترتیب با ۱۲/۱ گرم و ۷۹۷/۶ کیلوگرم در هکتار بود.

زیست توده در تیمار NDS و DSF به ترتیب برابر ۴۷۷۵/۸ و ۴۵۸۱/۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. بیشترین میانگین وزن صد دانه و عملکرد دانه در تیمار SH-30 به ترتیب برابر ۱۴/۵ گرم و ۱۰۵۷/۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. در حالیکه کمترین میانگین وزن صد دانه در SH-50 و میانگین عملکرد دانه در تیمار شاهد به ترتیب با مقادیر

جدول ۴- ارزیابی اثر ساده سایه دهی و تنش خشکی بر ویژگی های رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد سویا

Table 4- Evaluation of the shading and drought stress affects on growth trait, yield and yield components of soybean

Treatment	Level	PH (cm))	PN	SNPP				Biomass (kg ha ⁻¹))	100-SW (g))	Yield (kg ha ⁻¹))
				0	1	2	3			
Shading	Control	97.3d	73.5a	5.1a	27.8b	36.8a	3.7ab	5171.2a	14.1b	925.9c
	30	130.1c	74.2a	5.2a	28.2ab	36.6a	4.08a	5255.5a	14.5a	1057.2a
	50	147b	70.8b	4.5b	30.1a	32.8b	3.4bc	4482.2b	13.5c	962.3b
	80	155.7a	67.1c	4.4b	27.6b	35.8ab	3c	3793.3c	14.3b	755.4d
LSD	-	4.1	0.8	0.4	1.9	3.7	0.4	204.5	0.2	6.6
Drought stress	NDS	132.6a	74.4a	4.2b	27.3b	41.2a	4.4a	4775.8a	16.02a	1046.7a
	DSF	132.2a	68.6c	5.1a	27.5b	32.9b	3.1b	4581.6b	14.2b	931.2b
	DSP	132.7a	71.2b	5.08a	30.5a	32.4b	3.1b	4670.0ab	12.1c	797.6c
	LSD	3.5	0.6	0.3	1.6	3.2	0.4	177.1	0.2	5.7

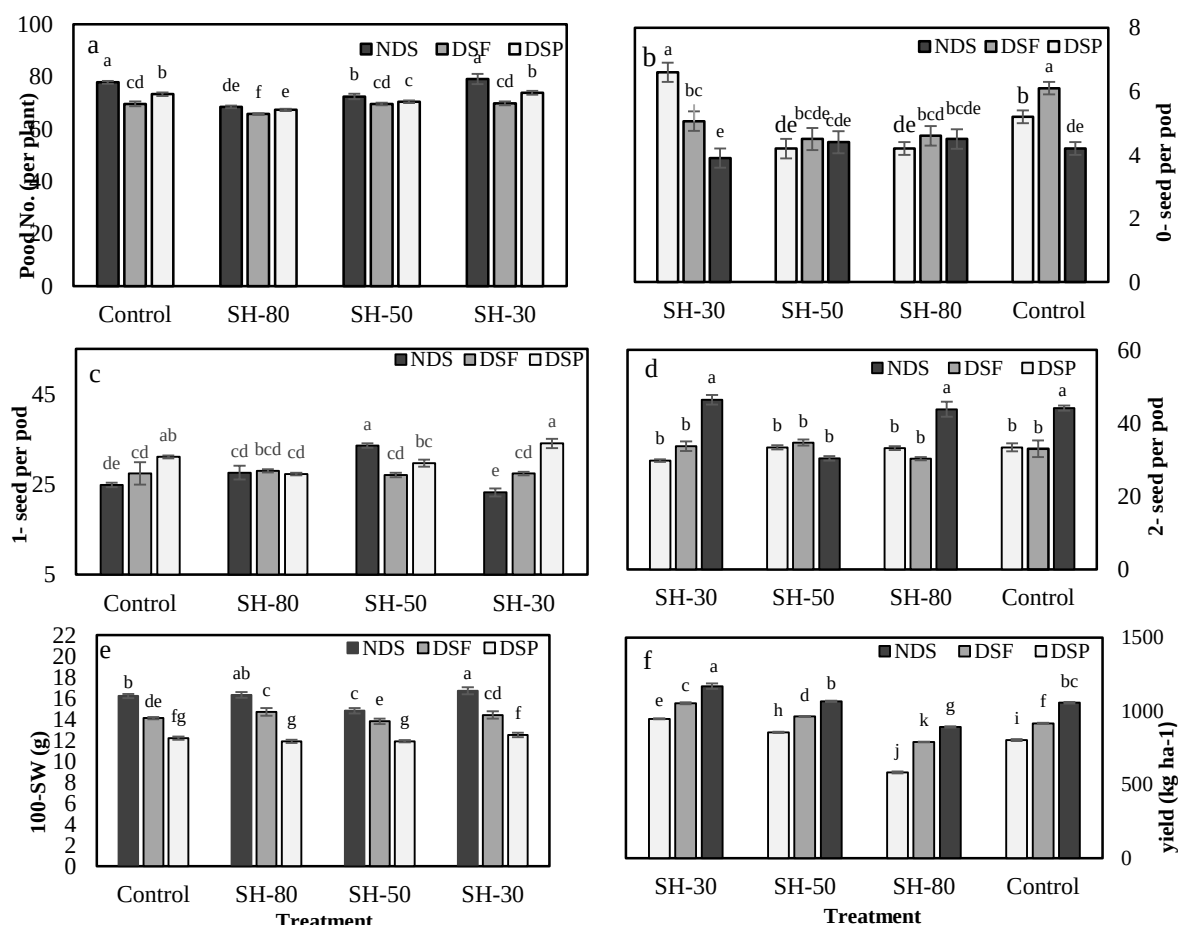
Means with the same letter in each column, are not significantly different (Duncan ≤ 0.05)

۱۱/۹ گرم مشاهده گردید (شکل 2-e). بیشترین عملکرد دانه در ترکیب تیماری SH-30 و NDS با مقدار ۱۱۷۰/۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان آن در ترکیب تیماری SH-80 و DSP با مقدار ۵۸۳/۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل 2-f). تنش خشکی یکی از عوامل محدودکننده و مهم در مراحل اولیه رشد و استقرار گیاهان است. فرآیند رشد و نمو گیاه شامل تقسیم سلولی، طولی شدن سلول ها و تمایز بافت ها می باشد که این مراحل به دلیل وابستگی به فشار آماس و میزان آب در دسترس، بسیار حساس هستند. کاهش دسترسی به آب در شرایط کم آبی باعث کاهش فشار تورژسانس سلولی می شود که این امر منجر به کاهش رشد و توسعه سلول ها به ویژه در اندام های هوایی گیاه می گردد (Shiukhy-Soqanloo et al., 2025). پاسخ گیاهان به تنش خشکی فرآیند پیچیده ایست که تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله؛ میزان رشد و شدت و مدت تنش، گونه و ژنوتیپ، سن و اندازه گیاه قرار دارد (Ma et al., 2020). علاوه بر عوامل ژنتیکی، شرایط محیطی نیز نقش بسزایی در عملکرد نهایی گیاهان ایفا می کنند (Jahanbakhsh et al., 2020). به طور کلی، کاهش دسترسی به آب در شرایط تنش خشکی موجب کاهش چشمگیر رشد و توسعه سلولی، به ویژه در اندام های هوایی، می شود که این موضوع به واسطه کاهش فشار تورژسانس

همانطور که مشاهده می شود بر پایه نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش سایه دهی و تنش خشکی تأثیر قابل توجهی بر صفات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد سویا داشت. به طوریکه در شرایط بدون تنش خشکی ((NDS)، سایه دهی باعث کاهش تعداد غلاف در بوته شده است. بطوریکه بیشترین تعداد غلاف در ترکیب های تیماری شاهد و SH-30 با تنش خشکی NDS به ترتیب با مقادیر ۷۷/۸ و ۷۹/۱ مشاهده شد. در حالیکه کمترین تعداد غلاف در ترکیب تیماری SH-80 و DSF با تعداد ۶۵/۷ ثبت شد (شکل 2-a). بیشترین تعداد غلاف پوک در ترکیب های تیماری SH-30 و DSP، شاهد و DSF به ترتیب با ۶/۶ و ۶/۱ و کمترین تعداد غلاف پوک در ترکیب تیماری SH-30 و NDS با تعداد ۳/۹ مشاهده گردید (شکل 2-b). بیشترین تعداد تک دانه در غلاف در تیمار ترکیبی SH-50 و NDS با مقدار ۳۳/۶ مشاهده شد و کمترین تعداد آن در ترکیب تیماری SH-30 و NDS با مقدار ۲۳/۲۲ مشاهده شد (شکل 2-c). همچنین شکل (2-d) نشان می دهد بیشترین تعداد دو دانه در غلاف در ترکیب های تیماری کنترل، SH-50 و SH-80 و NDS به ترتیب با مقادیر ۴۴/۱، ۴۳/۸ و ۴۶/۴ بود. بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در ترکیب تیماری SH-30 و NDS با مقدار ۱۶/۷ گرم و کمترین میزان آن در ترکیب های تیماری SH-80 و DSP و SH-50 و DSP با مقدار

بگذارند. نتایج برخی مطالعات از جمله Tibolla et al., (2019; Zainali et al., 2023) حاکی از آن بود که سایه-دهی موجب افزایش جذب تابش خورشیدی شود، بویژه از طریق ایجاد یک خرداقلیمی که می‌تواند منجر به کاهش دمای هوا و احتمالاً افزایش نسبت تابش خورشیدی پراکنده شود (مؤثر در تبدیل کارآمد فتوسنتز). یافته‌ها این پژوهش نیز نشان دادند که در سطوح سایه‌دهی SH-30 و SH-50 در مقایسه با سطح SH-80 برتری محسوسی مشاهده شد. در واقع با افزایش میزان شدت سایه‌دهی، عملکرد و اجزای عملکرد دچار افت شده و روندی کاهشی را در پیش گرفتند که مؤید آن بود که افزایش در میزان سایه‌دهی تا حد قابل مشخصی به سود گیاه بوده و دارای محدودیت می‌باشد. هم‌سنگی این نتایج با سایر مطالعات مبنی افزایش کمیت و کیفیت سویا تحت تأثیر تیمار سایه‌دهی نسبت به شرایط بدون سایه‌دهی کاملاً همسو بود.

سلولی اتفاق می‌افتد و نهایتاً بر عملکرد کلی گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Shiukhy-Soqanloo et al., 2024). فرآیند رشد گل به غلاف‌های بالغ در طول مرحله گلدهی و غلاف‌بندی، تعداد و کیفیت غلاف سویا را تعیین می‌کند (Luo et al., 2022). در پاسخ به اثرات پیامدهای بروز تنش خشکی، راهکار سایه‌دهی به‌عنوان یک راهبرد مدیریتی می‌تواند به کاهش این اثرات نامطلوب بر گیاهان کمک کند. Caron et al., (2018) بیان نمودند که تابش خورشیدی به عنوان یکی از مهمترین متغیرهای هواشناسی، نقش حیاتی در تولید بیوماس گیاهی دارد. این تابش، که به طور مستقیم بر رشد محصول و پتانسیل عملکرد تأثیر می‌گذارد، کارایی استفاده از انرژی خورشیدی را به عنوان یک ویژگی کلیدی در گیاهان مطرح می‌کند. نتایج Fan et al., (2019) نشان داد که تغییرات در میزان تابش می‌تواند بر رشد، مورفولوژی و آناتومی گیاه تأثیر



شکل ۲- اثر برهمکنش سایه‌دهی و تنش خشکی بر صفات رویشی، اجزای عملکرد و عملکرد نهایی

Figure 2- The effect of the interaction of shading and drought stress on vegetative traits, yield components, and final yield

رنگیزه های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سایه‌دهی و تنش خشکی بر فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی سویا در جدول ۵ ارائه گردید. بر پایه نتایج، اثرات ساده سایه‌دهی و تنش خشکی بر شاخص سبزیگی، فعالیت کلروفیل a، b و کارتنوئید بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). همچنین یافته‌ها حاکی از آن بود که اثر برهمکنش سایه‌دهی و تنش خشکی بر فعالیت کلروفیل a، b معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$) اما تأثیر چندانی بر شاخص سبزیگی و محتوای کارتنوئید نداشت. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میانگین سبزیگی، کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در SH-30 به ترتیب با

۳۷/۳، ۰/۷۷، ۰/۲۷ و ۰/۲۵ مشاهده شد. کمترین سبزیگی در تیمارهای شاهد و SH-80 ترتیب با مقادیر ۲۹/۹ و ۳۱/۶ بود. این در حالی بود که کمترین کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در تیمار شاهد به ترتیب با مقادیر ۰/۱۳، ۰/۲۲ و ۰/۱۳ مشاهده گردید. از طرفی در تیمارهای تنش خشکی بیشترین میانگین سبزیگی، کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در تیمار NDS به ترتیب با ۳۴/۷، ۰/۵۹، ۰/۲۷ و ۰/۲۳ مشاهده شد. کمترین میانگین سبزیگی، کلروفیل a و کلروفیل b در تیمارهای DSF به ترتیب با مقادیر ۳۳/۰۷، ۰/۴۵، ۰/۲۱ و ۰/۱۸ و DSP با مقادیر ۳۱/۷، ۰/۴۳، ۰/۲ و ۰/۱۷ بود (جدول ۶).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سایه‌دهی و تنش خشکی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی سویا

Table 5 - Results of variance analysis of the effect of shading and drought stress on soybean photosynthetic pigments

(S.O.V)	df	Mean square (MS)			
		SPAD	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid
Block B))	2	2.1825 ^{ns}	0.0108 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.0003 ^{ns}
Shading (SH)	3	91.611 ^{**}	0.5956 ^{**}	0.0353 ^{**}	0.0349 ^{**}
Drought stress (Ds)	2	27.5275 ^{**}	0.1103 ^{**}	0.0196 ^{**}	0.0138 ^{**}
(SH × Ds)	6	2.1119 ^{ns}	0.0277 [*]	0.0014 ^{**}	0.0010 ^{ns}
(Error)	22	2.99	0.0084	0.0002	0.0013
(Total)	35	-	-	-	-
C.V	-	5.21	19.12	7.34	19.16

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

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده سایه‌دهی و تنش خشکی بر شاخص سبزیگی و رنگیزه‌های فتوسنتزی سویا

Table 6 - The result of LSD post hoc of the shading and drought stress on SPAD and photosynthesis pigments of soybean

Treatment	Level	Mean square (MS)			
		SPAD	Chlorophyll a (mg. g ⁻¹)	Chlorophyll b (mg. g ⁻¹)	Carotenoid (mg. g ⁻¹)
Shading	Control	29.9c	0.22d	0.13c	0.10c
	30	37.3a	0.77a	0.27a	0.25a
	50	33.7b	0.67b	0.25b	0.22b
	80	31.6c	0.30c	0.24b	0.21b
LSD	-	1.69	0.026	0.016	0.015
Drought stress	NDS	34.7a	0.59a	0.27a	0.23a
	DSF	33.07b	0.45b	0.21b	0.18b
	DSP	31.7b	0.43b	0.20c	0.17b
LSD	-	1.46	0.02	0.01	0.013

Means with the same letter are not significantly different.

شکل ۳ نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش سایه‌دهی و تنش خشکی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی سویا را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، سایه‌دهی در NDS باعث افزایش کلروفیل a و کلروفیل b شد. بطوریکه بیشترین کلروفیل a در ترکیب‌های تیماری SH-30 و SH-50 و تنش خشکی NDS به ترتیب با مقادیر ۰/۸۵ و ۰/۹ بود. در حالیکه کمترین کلروفیل a در ترکیب‌های تیماری شاهد و DSP

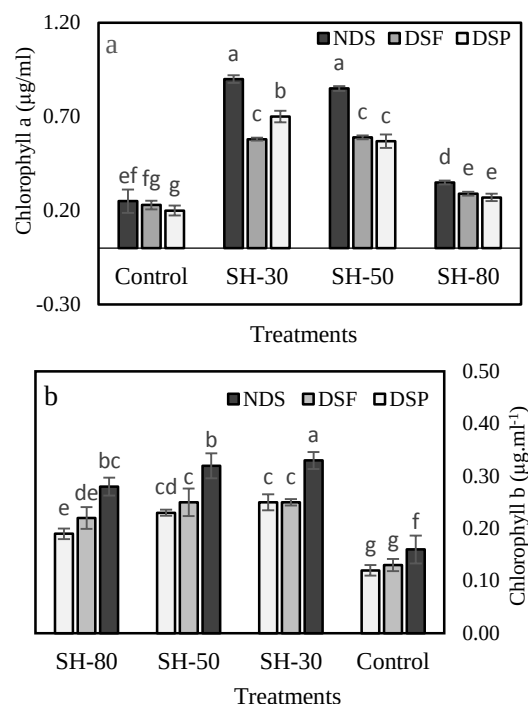
با مقدار ۰/۲ (شکل 3-a) و کمترین کلروفیل b در ترکیب‌های تیماری شاهد و DSP و ترکیب تیماری شاهد و DSF به ترتیب با مقادیر ۰/۱۲ و ۰/۱۳ مشاهده شد (شکل 3-b). رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a و b نقش مهم و کلیدی را در فرآیند فتوسنتز و تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی شیمیایی ایفا می‌کنند. تنش خشکی نقش بسیار

در مسیر بیوسنتز کلروفیل تحریک می‌کند و باعث تجمع کلروفیل a و کلروفیل b می‌شود (Li et al., 2020). در پژوهش‌های پیشین نشان تایید شده است که میزان محتوای کلروفیل با توجه به میزان دسترسی نور متغیر است. در مطالعه (Yari et al., 2014) با بیشتر شدن درصد سایه‌دهی میزان کلروفیل a افزایش داشت که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت. از طرف دیگر برخی از محققان به نتایجی دست یافتند که افزایش سایه‌دهی منجر به کاهش محتوای کلروفیل شد (Zaman et al., 2022; Khalid et al., 2019; Asghar et al., 2021; Fan et al., 2018; Yang et al., 2017). نتایج این تحقیق نشان داد که برهمکنش سایه‌دهی و تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر کلروفیل a و b دارد، اما تأثیر چندانی بر سبزیگی و کارتنوئید نداشته است. این یافته‌ها با مطالعه (Zhang et al., 2018) مطابقت داشت که گزارش کردند سایه‌دهی می‌تواند تا حدی اثرات منفی تنش خشکی را بر دستگاه فتوسنتزی کاهش دهد، زیرا کاهش تابش مستقیم نور می‌تواند از گرمایش بیش‌ازحد برگ‌ها و کاهش تعرق جلوگیری کند. با این حال، در شرایط سایه‌دهی شدید همراه با تنش خشکی، ممکن است گیاه نتواند به‌خوبی با شرایط سازگار شود، که این امر منجر به کاهش بیشتر رنگیزه‌ها می‌گردد.

بهره‌وری آب

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سایه‌دهی و تنش خشکی بر بهره‌وری آب سویا در جدول ۷ ارائه گردید. بر اساس یافته‌ها تأثیر سایه‌دهی و تنش خشکی بر بهره‌وری آب براساس ابیاری ((WP_i ، آبیاری و بارندگی (WP_{i+p}) و تبخیر تعرق (WP_{ET}) بسیار معنی‌دار بودند ($P \leq 0.01$). همچنین اثر برهمکنش سایه‌دهی و تنش خشکی بر بهره‌وری آب براساس ابیاری (WP_i) و تبخیر تعرق (WP_{ET}) بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). که بیانگر آن است که سایه‌دهی می‌تواند تا حدودی اثرات منفی خشکی را کاهش دهد. با این حال، برای شاخص WP_{i+p} ، این تعامل معنی‌دار نبوده، که ممکن است ناشی از تفاوت در محاسبه این شاخص یا رفتار فیزیولوژیکی متفاوت گیاه در شرایط ترکیبی باشد. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میانگین WP_i ، WP_{ET} ، WP_{i+p} در تیمار SH-30 به ترتیب با ۲/۳۵، ۱/۹۴ و ۱/۶۳ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد. کمترین WP_i در تیمار شاهد با ۱/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب، کمترین WP_{i+p}

مهمی را به عنوان یک عامل ایجادکننده اختلال در فیزیولوژی گیاه ایفا می‌کند.

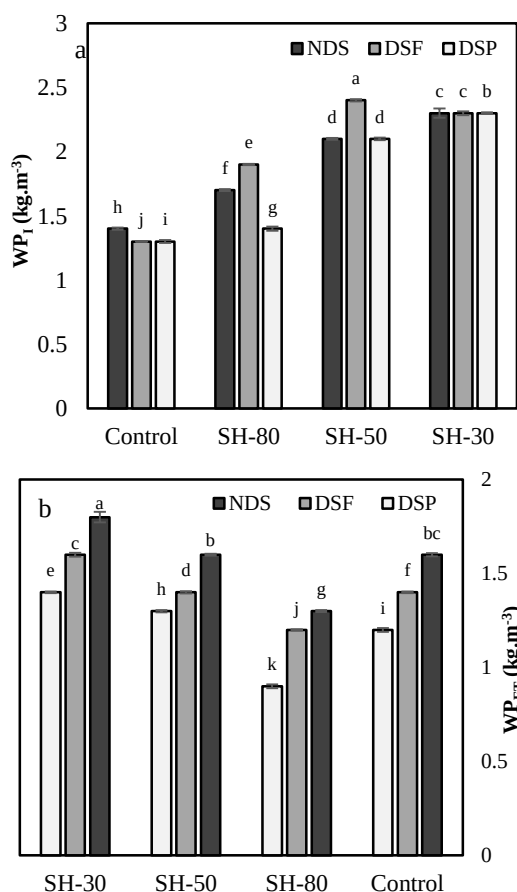


شکل ۳- اثر برهمکنش سایه‌دهی و تنش خشکی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی سویا

Figure 3- The effect of the interaction of shading and drought stress on soybean photosynthetic pigments

ازاینرو، کاهش در میزان فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی که ارتباط تنگاتنگی با ژنوتیپ و نوع گونه گیاه دارد، نشانه خوبی برای در معرض قرار گرفتن گیاهان در برابر تنش‌های محیطی به ویژه تنش خشکی به حساب می‌آیند (Morshadloo et al., 2015) و باعث حفظ و پایداری ظرفیت فتوسنتزی در شرایط بروز تنش خشکی می‌شود (Jianguo et al., 2018). نتایج (Shiukhy Soqanloo et al., 2023) نیز حاکی از آن بود که با بروز تنش خشکی فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان سبزیگی با کاهش قابل توجهی همراه بود. نتایج (Emami Bistagani et al., 2021) نیز حاکی از آن بود که میزان کلروفیل در شرایط بروز تنش متناسب با شدت تنش، کاهش یافت. همسنگی نتایج این پژوهش با برخی مطالعات از جمله (Asadi et al., 2025; Shamsabadi et al., 2023; Zhang et al., 2018; Zegaoui et al., 2017) مبنی بر کاهش میزان کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها در شرایط بروز تنش خشکی کاملاً مطابقت داشت. از طرفی سایه‌دهی متابولیت‌ها و فعالیت‌های ژنی را

در بین تیمارهای تنش خشکی، DSF عملکرد بهتری داشته و مقدار WP_I بیشتری را در بیشتر سطوح سایه‌دهی نشان داده است، که می‌تواند حاکی از مقاومت بیشتر این تیمار در برابر شرایط کم‌آبی باشد. افزایش سطح سایه‌دهی تا یک میزان مشخص، مقدار WP_I را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد، به‌ویژه در تیمار SH-50 که بالاترین مقدار WP_I در تیمار DS مشاهده شد. این امر بیانگر آن است که سایه‌دهی می‌تواند با کاهش تبخیر و تعرق و محافظت از گیاه در برابر دمای بالا، بهره‌وری مصرف آب را بهبود بخشد. از سوی دیگر، تنش خشکی به دلیل محدودیت در جذب و مصرف آب توسط گیاه، باعث کاهش بهره‌وری می‌شود، هرچند ممکن است گیاه با کاهش سطح تعرق، بهره‌وری نسبی آب را حفظ کند.



شکل ۴- اثر برهمکنش سایه‌دهی و تنش خشکی بر بهره‌وری آب سویا

Figure 4- The effect of the interaction of shading and drought stress on soybean

نتایج Yang et al., (2022) نشان داد که سایه‌دهی ۳۰-۵۰ درصد می‌تواند تبخیر از سطح برگ را تا ۲۰ درصد

در تیمارهای شاهد و SH-80 به ترتیب با مقادیر ۱/۱۹ و ۱/۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین WP_{ET} در SH-80 با مقدار ۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده گردید.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سایه‌دهی و تنش

خشکی بر بهره‌وری آب سویا

Table 7- Results of variance analysis of the effect of shading and drought stress on Soybean water productivity

S.O.V	df	WP_I	WP_{I+P}	WP_{ET}
(B) Block	2	0.0002 ^{ns}	0.0063 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Shading (Sh)	3	1.8993 ^{**}	1.0718 ^{**}	0.3434 ^{**}
Drought stress (Ds)	2	0.0990 ^{**}	0.8108 ^{**}	0.4571 ^{**}
(Sh × Ds)	6	0.0629 ^{**}	0.0596 ^{ns}	0.0057 ^{**}
(Error)	22	0.0002	0.0500	0.0001
(Total)	35	-	-	-
C.V	-	0.7589	14.50	0.7869

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

بر پایه نتایج هر دو عامل سایه‌دهی و تنش خشکی اثر معنی‌داری بر بهره‌وری آب سویا داشتند، اما شدت این تأثیرات برحسب نوع شاخص بهره‌وری متفاوت بود. سایه‌دهی می‌تواند از طریق تعدیل دمای محیط و کاهش اتلاف آب، کاهش تبخیر و تعرق یا بهبود شرایط فیزیولوژیکی گیاه در برابر تنش به افزایش بهره‌وری آب کمک کند. از سوی دیگر، تنش خشکی به دلیل محدودیت در جذب و مصرف آب توسط گیاه، باعث کاهش بهره‌وری می‌شود، هرچند ممکن است گیاه با کاهش سطح تعرق، بهره‌وری نسبی آب را حفظ کند. شکل ۴ نتایج اثر برهمکنش سایه‌دهی و تنش خشکی بر بهره‌وری آب سویا را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، بیشترین WP_I در ترکیب تیماری SH-50 با تنش خشکی DSF با مقدار ۲/۴ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد. در حالیکه کمترین WP_I در ترکیب تیماری شاهد و تنش خشکی DSF با مقدار ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب بدست‌آمد (شکل ۴-ا). بیشترین WP_{ET} در ترکیب تیماری SH-30 و تنش خشکی NDS با مقدار ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن در ترکیب تیماری SH-80 و تنش خشکی DSP با مقدار ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد (شکل ۴-ب). بر پایه نتایج در تیمار شاهد (بدون سایه‌دهی)، کمترین مقدار WP_I در بین تمامی شرایط دیده شد که نشان می‌دهد عدم وجود سایه در شرایط تنش خشکی تأثیر منفی‌تری بر بهره‌وری آب دارد.

تنش خشکی برای افزایش عملکرد گیاه و ارتقای بهره‌وری آب مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش از محل طرح پژوهشی باشماره ۰۷-۱۴۰۳ 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

- Asadi, P. Moradi, H., Shiukhy Soqanloo, S. 2025. Evaluation of the precise irrigation management and potassium silicate application effects on the quantitative and qualitative yield of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Water management in agriculture*, 2(24), 147-162. (In Farsi)
- Asghar, M.A., Heng-ke, J., Zhao-wei S., Xi-yu, C., Xi-yu, H., Imran, B., Ahmad, B., Hao, Z., Yue-ning, Y., Jing, SH., Hui, Y., Liang, Y., Chun-yan, L., Wen-yu, Y., Xin, S and Jun-bo, D. 2021. Interactive effect of shade and PEG induced osmotic stress on physiological responses of soybean seedlings. *Journal of Integrative Agriculture*, 20 (9), 2382-2394.
- 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.
- Caron, B. O., Sgarbossa, J., Schwerz, F., Elli, E. F., Eloy, E., Behling, A. 2018. Dynamics of solar radiation and soybean yield in agroforestry systems. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90 (4), 3799-3812.
- Carter, G. A., Knapp, A. K. 2001. Leaf optical properties in higher plants: Linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*, 88 (4), 677-684.
- Contin, D. R., Soriani, H. H., Hernandez, I., Furriel, R. P. M., Munne-Bosch, S., Martinez, C. A. 2014. Antioxidant and photoprotective defenses in response to gradual water stress under low and high irradiance in two Malvaceae tree species used for tropical forest restoration. *Trees*, 28, 1705-1722.
- Ebrahimirad, H., Amiri, E., Babazadeh, H., Sedghi, H. 2018. Calibration and evaluation of Ceres-Rice model under different density and water managements. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16 (5), 6469-6482.
- Emami Bistagani, Z. Bakhshandeh, A.M. 2021, *Physiology of Environmental Stresses in Medicinal Plants*, Education Publishing House

کاهش دهد. همچنین Wang et al., (2023) بیان کردند که سایه‌دهی از خشک شدن سریع خاک جلوگیری کرده و دسترسی گیاه به آب را افزایش می‌دهد. در مقابل، سایه‌دهی شدید (SH-80) ممکن است با محدود کردن فتوسنتز، رشد گیاه را کاهش داده و در نتیجه بهره‌وری آب را تحت تأثیر قرار دهد. هم‌سنجی یافته‌های بدست آمده با نتایج Gao et al., (2020) که گزارش کردند سایه‌دهی بیش از ۶۰٪ می‌تواند منجر به کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب شود، همسو بود.

نتیجه‌گیری

تغییرات آب و هوایی افزایش تقاضای آب در بخش کشاورزی، مصرف آب بیشتر و افزایش تبخیر و تعرق در گیاهان را در پی خواهد داشت. نمود بخشی از این اثرات به صورت کاهش بهره‌وری تولید محصول و کاهش عملکرد بسیار مشهود می‌باشد و باعث ایجاد چالش‌ها و نگرانی‌هایی در میان صاحب‌نظران و پژوهشگران حوزه کشاورزی شده است. در پاسخ به این چالش‌ها، راهکار سایه‌دهی به‌عنوان یک راهبرد مدیریتی مطرح شده است که می‌تواند به کاهش تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی بر گیاهان کمک کند. نتایج این پژوهش نشان داد که، وقوع تنش خشکی در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی موجب کاهش قابل توجهی در صفات مورفولوژیک و عملکرد و اجزای عملکرد سویا از جمله؛ تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه و زیست‌توده شد. همچنین فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، b و کارتنوئید و شاخص سبزیگی برگ سویا نیز با بروز تنش در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی دچار کاهش محسوسی در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. استفاده از پوشش‌های توری با درصدهای متفاوت جذب تابش‌های خورشیدی دریافتی در سطوح ۳۰، ۵۰ و ۸۰ درصد توانست تا حدودی اثرات نامطلوب تنش خشکی را تعدیل کند که در این میان سطوح ۳۰ و ۵۰ درصد برتری قابل توجهی را در مقایسه با سطح ۸۰ درصد نشان دادند. بر پایه یافته‌ها، با توجه به حساسیت گیاه سویا به بروز تنش خشکی در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی، لزوم مدیریت آبیاری در این مراحل اهمیت بسیار بالایی دارد و توصیه می‌گردد پوشش‌های توری سایه‌انداز بویژه پوشش ۳۰ درصد به عنوان یک راهکار مؤثر برای تعدیل اثرات منفی

- and its antioxidant activities. *Natural product research*, 34 (16), 2276-2282.
- Morshadloo, M.R., Salami, A., Nazeri, V., and Kriker, L. 2015. Phytochemical, physiological, and expression evaluation of some genes involved in the biosynthesis pathway of secondary metabolites in marjoram (*Origanum vulgare* L.) under water stress conditions. PhD thesis, University of Tehran. 300 pages. (In Farsi)
- Nargund, R., Bhatia, V. S., Sinha, N. K., Mohanty, M., Jayaraman, S., Dang, Y. P., Dalal, R. C. 2024. Assessing soybean yield potential and yield gap in different agroecological regions of India using the DSSAT model. *Agronomy*, 14 (9), 1929.
- Nazir, F., Peter, P., Gupta, R., Kumari, S., Nawaz, K., Khan, M. I. R. 2024. Plant hormone ethylene: A leading edge in conferring drought stress tolerance. *Physiologia Plantarum*, 176 (1), e14151.
- Nehbandani, A., Soltani, A., Hajjarpoor, A., Dadrasi, A., Nourbakhsh, F. 2020. Comprehensive yield gap analysis and optimizing agronomy practices of soybean in Iran. *The Journal of Agricultural Science*, 158 (8-9), 739-747.
- Oguz, M. C., Aycan, M., Oguz, E., Poyraz, I., Yildiz, M. 2022. Drought stress tolerance in plants: Interplay of molecular, biochemical and physiological responses in important development stages. *Physiologia*, 2 (4), 180-197.
- Prasad, P. V. V., Staggenborg, S. A., Ristic, Z. 2008. Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth, and yield processes of crop plants. *Response of Crops to Limited Water: Understanding and Modeling Water Stress Effects on Plant Growth Processes*, 1, 301-355.
- Rezaei, E. E., Webber, H., Asseng, S., Boote, K., Durand, J. L., Ewert, F., MacCarthy, D. S. 2023. Climate change impacts on crop yields. *Nature reviews earth environment*, 4 (12), 831-846.
- Roshdi, F., Movahhedi Dehnav, M., Salehi, A., Balochi, H. R. 2023. Morphophysiological responses and nutrient uptake of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) to the application of biofertilizers and methyl jasmonate under drought stress conditions. *Journal of Plant Biological Sciences*, 15 (4), 97-132. (In Farsi)
- Santachiara, G., Salvagiotti, F., Rotundo, J. L. 2019. Nutritional and environmental effects on biological nitrogen fixation in soybean: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 240, 106-115.
- Satari Yuzbashkandi, S., Khalilian, S. 2020. On projecting climate change impacts on soybean yield in Iran: An econometric approach. *Environmental Processes*, 7, 73-87.
- Shamgani-Mashhadi, B., Nadi, M., Darzi-Naftchali, A., Soqanloo, S. S. 2024. Improving (Agricultural Education and Extension Institute), 444p.
- Fan, Y., Chen, J., Cheng, Y., Raza, M. A., Wu, X., Wang, Z., Yang, F. 2018. Effect of shading and light recovery on the growth, leaf structure, and photosynthetic performance of soybean in a maize-soybean relay-strip intercropping system. *PloS one*, 13 (5), e0198159.
- Fan, Y., Chen, J., Wang, Z., Tan, T., Li, S., Li, J., Yang, F. 2019. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) seedlings response to shading: Leaf structure, photosynthesis and proteomic analysis. *BMC Plant Biology*, 19, 1-12.
- Gao, J., Liu, Z., Zhao, B., Dong, S., Liu, P., Zhang, J. 2020. Shade stress decreased maize grain yield, dry matter, and nitrogen accumulation. *Agronomy Journal*, 112 (4), 2768-2776.
- Ghassemi-Golezani, K., Bakhshy, J., Zehtab-Salmasi, S., Moghaddam, M. 2013. Changes in leaf characteristics and grain yield of soybean (*Glycine max* L.) in response to shading and water stress. *International Journal of Biosciences*, 3 (2), 71-79.
- 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.
- Jahanbakhsh, S., Moradi, R., khajoei-Nejad, G., Naghizadeh, M. 2020. Effect of planting date, drought stress and salicylic acid on yield and biochemical characteristics of quinoa. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51 (4), 55-71. (In Farsi)
- Jianguo, Q.L., Simin, S., Lin, Y., Mingjun, LI, Fengwang, M.A and Yangjun, ZOU. 2018. Potassium uptake and transport in apple roots under drought stress. *Horticultutal plants journal*.
- Khalid, M. H. B., Raza, M. A., Yu, H. Q., Sun, F. A., Zhang, Y. Y., Lu, F. Z., Li, W. C. 2019. Effect of shade treatments on morphology, photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of soybeans (*Glycine max* L. Merr.). *Applied Ecology Environmental Research*, 17 (2), 2551; 2569.
- Li, Y., Jeyaraj, A., Yu, H., Wang, Y., Ma, Q., Chen, X., Li, X. (2020). Metabolic regulation profiling of carbon and nitrogen in tea plants [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] in response to shading. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68 (4), 961-974.
- Luo, K., Yuan, X., Xie, C., Liu, S., Chen, P., Du, Q., Yang, W. 2022. Diethyl aminoethyl hexanoate increase relay strip intercropping soybean grain by optimizing photosynthesis aera and delaying leaf senescence. *Frontiers in Plant Science*, 12.
- Ma, Y., Bao, Y., Zhang, W., Ying, X., Stien, D. 2020. Four lignans from *Portulaca oleracea* L.

- Evaluating the impact of climate change on water productivity of maize in the semi-arid environment of Punjab, Pakistan. *Sustainability*, 12 (9), 3905.
- Xu, R., Li, Y., Guan, K., Zhao, L., Peng, B., Miao, C., Fu, B. 2022. Divergent responses of maize yield to precipitation in the United States. *Environmental Research Letters*, 17 (1), 014016.
- Yan, C. J., Wang, W. B., Tu, X. J., Wang, C. L., Zhang, L. J., Du, Q., Song, S. H. 2013. Effect of drought stress at different growth stages on yield and root characteristics of soybean. *Soybean Science*, 1, 59-67.
- Yang, F., Liao, D., Wu, X., Gao, R., Fan, Y., Raza, M. A., Yang, W. 2017. Effect of aboveground and belowground interactions on the intercropping yields in maize-soybean relay intercropping systems. *Field Crops Research*, 203, 16-23.
- Yang, L., Liu, H., Tang, X., Li, L. 2022. Tomato evapotranspiration, crop coefficient and irrigation water use efficiency in the winter period in a sunken Chinese solar greenhouse. *Water*, 14 (15), 2410.
- Yari Kamrani, L., Ghobadi, M. E., Ghobadi, M., Jalali Honarmand, S. 2014. Investigation of the effect of shading on the chlorophyll status in different stages of chickpea growth, 13th Iranian Conference on Agricultural Sciences and Plant Breeding and 3rd Iranian Conference on Seed Science and Technology, Karaj. (In Farsi)
- Zainali, S., Lu, S. M., Stridh, B., Avelin, A., Amaducci, S., Colauzzi, M., Campana, P. E. 2023. Direct and diffuse shading factors modelling for the most representative agrivoltaic system layouts. *Applied Energy*, 339, 120981.
- Zaman, S., Shen, J., Wang, S., Wang, Y., Ding, Z., Song, D. Wang, M. 2022. Effects of shading nets on reactive oxygen species accumulation, photosynthetic changes, and associated physiochemical attributes in promoting cold-Induced damage in *Camellia sinensis* (L.) Kuntze. *Horticulturae*, 8 (7), 637.
- Zegaoui, Z., Planchais, S., Cabassa, C., Djebba, R., Belbachir, O. A., Carol, P. 2017. Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought *Journal of Plant Physiology*. 218: 26-34.
- Zhang, Y., Yu, S. H. I., Gong, H. J., Zhao, H. L., Li, H. L., Hu, Y. H., Wang, Y. C. (2018). Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 17 (10), 2151-2159.
- sustainability of rice-canola rotation through water and nitrogen management in a humid region. *Agricultural Water Management*, 305, 109106.
- Shamsabadi, V., Banjad, H., Ansari, H., and Nemati, S.H. 2013. Investigating Influence Drought Stress and Salinity Stress on Photosynthetic Pigments and Concentration of Elements of *Mentha Piperita* L in Condition Selenium. *Water Management in Agriculture*, 1 (10), 95-110. (In Farsi)
- 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. (In Farsi)
- Shiukhy Soqanloo, S., Gholami, M.A., Ghasemi, Y. 2023. Effect of water stress and urban wastewater on the heavy metals concentration, yield and quality of basil. *Journal of Horticultural Science*, 37 (3), 723-739. (In Farsi).
- Shiukhy-Soqanloo, S., Gholami Sefidkouhi, M. A., Arefrad, M. 2024. Evaluation of The Water Stress and Irrigation Management Effects on Soil CO₂ Emission, Water Productivity and Soybean Yield (*Glycine max* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22 (3), 343-357. (In Farsi)
- Tian, X., Dong, J., Jin, S., He, H., Yin, H., Chen, X. 2023. Climate change impacts on regional agricultural irrigation water use in semi-arid environments. *Agricultural Water Management*, 281, 108239.
- Tibolla, L. B., Schwerz, F., Sgarbossa, J., Elli, E. F., Nardini, C., Medeiros, S. L. P., Caron, B. O. 2019. Effect of artificial shading on soybean growth and yield. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14 (4), 1-7.
- Wang, C., Xu, M., Wang, Y., Batchelor, W. D., Zhang, J., Kuai, J., Ling, L. 2022. Long-term optimal management of rapeseed cultivation simulated with the CROPGRO-canola model. *Agronomy*, 12 (5), 1191.
- Wang, S., Xiong, J., Yang, B., Yang, X., Du, T., Steenhuis, T. S., Kang, S. 2023. Diversified crop rotations reduce groundwater use and enhance system resilience. *Agricultural Water Management*, 276, 108067.
- Waqas, M. M., Shah, S. H. H., Awan, U. K., Waseem, M., Ahmad, I., Fahad, M., Ali, S. 2020.



Assessment of the Combined Effects of Shading and Drought Stress on Water Productivity and Yield of Soybean

S. Shiukhy Soqanloo^{1*}, B. Shamgani Mashhadi², S. Batebi³, S. Batebi⁴

Received: 05/06/2025

Accepted: 27/09/2025

Abstract

As a result of global warming and water availability reduction, application of new applied technologies such as shading nets have been widely studied in recent decades. This study aimed to investigate the effects of different shading levels and drought stress on soybean yield. A factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications during the 2024 growing season at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran. The treatments included four shading levels (0 (control), 80% (SH-80), 50% (SH-50), and 30% (SH-30) light transmission) and three drought stress levels (no stress (NDS), irrigation withheld at flowering stage (DSF), and irrigation withheld at pod development stage (DSP)). The interaction between shading and drought stress significantly influenced key agronomic traits, including the number of pods per plant, number of empty pods, 1-seed and 2-seed occurrence, 100-seed weight, and grain yield ($P \leq 0.01$). The combination of SH-30 and NDS resulted in the highest pod number (79.1), hundred-seed weight (16.7 g), and grain yield (1170.2 kg/ha). Moreover, the greatest chlorophyll a and b content (0.9 and 0.33 mg.g⁻¹, respectively) was observed under the same treatment. Additionally, the highest water productivity index (WPI) was recorded under SH-50 and DSF treatments (2.4 kg.m⁻³), while the highest water productivity of evapotranspiration (WPET) was achieved with SH-30 and NDS treatments (1.8 kg.m⁻³). Overall, the findings revealed that applying shading nets, particularly SH-30 and SH-50, can enhance soybean yield and physiological yield under both normal and drought-stressed conditions. Therefore, the use of shading nets can be recommended as an effective strategy to alleviate the adverse effects of water stress on soybean growth.

Keywords: Biomass, Chlorophyll, Pod number, Water productivity



¹ Assistant Professor of Agricultural Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

(*Corresponding Author Email Address: saeid.shiukhy@gmail.com)

² Ph.D. candidate of AgroMeteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

³ Graduate student of Science in Greenhouse Crop Production, Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran.

⁴ Graduate student of Science in Greenhouse Crop Production, Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran.

نحوه ارجاع مقاله:

شیوخ‌ی سوغانلو، س.، شامگانی مشهدی، ب.، باطبی، س.، باطبی، س. ۱۴۰۵. بررسی تأثیر فناوری‌های سبز و بهره‌وری انرژی بر تغییر اقلیم در

کشورهای عضو BRICS. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۴ (۱): ۶۸-۸۰. DOI: 10.22125/agmj.2025.532656.1185

Shiukhy Soqanloo, S., Shamgani Mashhadi, B., Batebi, S., Batebi, S. 2026. Assessment of the Combined Effects of Shading and Drought Stress on Water Productivity and Yield of Soybean. Journal of Agricultural Meteorology, 14 (1): 68-80. DOI: 10.22125/agmj.2025.532656.1185