

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر تنش آبی و پوشش‌های توری بر بهره‌وری آب، کیفیت دانه و عملکرد سویا در منطقه مرطوب

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۲

چکیده

مدیریت بهینه آب آبیاری حتی در مناطق مرطوب، به دلیل نوسانات و توزیع نامناسب بارندگی در طول فصل رشد و بروز تنش‌های موقتی آبی، اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح تنش آبی (بدون تنش (NWS)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی (WSF) و مرحله پر شدن غلاف (WSP) و چهار سطح پوشش توری (0، 30، 50 و 80٪) بودند. نتایج نشان داد که تیمارهای WSP و WSF به ترتیب موجب کاهش حدود ۱۲ و ۲۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار NWS شد. استفاده از تیمار پوشش توری 30٪ عملکرد دانه را حدود ۱۴ درصد افزایش داد و بهره‌وری آب را در مقایسه با تیمارهای پوشش توری 50٪ و 80٪ و شاهد بهبود بخشید. تنش آبی در تیمار WSP باعث افزایش اولئیک اسید و کاهش لینولئیک و بویژه لینولئیک اسید تا حدود ۲۸ درصد شد. تیمار پوشش توری 80٪ عملکرد زیست‌توده را حدود ۲۷ درصد کاهش داد و باعث افت برخی شاخص‌های کیفی دانه شد. در مجموع، نتایج نشان داد که تلفیق مدیریت مناسب آبیاری با تیمار پوشش توری 30٪ می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش عملکرد، بهبود بهره‌وری آب و حفظ کیفیت دانه سویا در مناطق مرطوب باشد.

واژه‌های کلیدی: پر شدن غلاف، زیست‌توده، قطع آبیاری، لینولئیک اسید، مدیریت آب

مقدمه

پروتئین‌های حیوانی محسوب می‌شود. سطوح بالای پروتئین، نقش قابل توجهی در امنیت غذایی دنیا ایفا می‌کند (Assefa et al., 2019). همچنین حاوی حدود ۱۸ تا ۲۲ درصد روغن (FAOSTAT, 2022) و مقادیر قابل توجهی از اسیدهای چرب اشباع مانند پالمیتیک و استئاریک، اسیدهای چرب غیر اشباع همچون اولئیک، لینولئیک و لینولنیک می‌باشد که بر خواص تغذیه‌ای و فیزیکی روغن تأثیر می‌گذارند و در بازارهای جهانی اهمیت بالایی دارند (بیش از ۹۸ درصد اسیدهای چرب در این دسته‌ها قرار دارند) (Zhao et al., 2024).

تنش آبی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید سویا، به ویژه در مراحل حساس رشد مانند گلدهی و پر شدن غلاف، می‌تواند به طور قابل توجهی عملکرد، رشد زیستی گیاه و کیفیت دانه را کاهش دهد (Yarasir et al., 2024). گیاهان دانه روغنی عمدتاً تابستانه هستند که بدون آبیاری توجیه اقتصادی ندارند که در این میان، سویا گیاهی با مصرف آب بالا است (کیانی و همکاران، ۱۴۰۱). بنابراین افزایش تولید و عملکرد از طریق تنظیم آبیاری با توجه به

سویا (*Glycine max L.*) یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در جهان است که به عنوان منبع ارزشمند پروتئین و روغن در تغذیه انسان، خوراک دام و صنایع غذایی شناخته می‌شود. دانه سویا به طور متوسط دارای تقریباً ۳۵ تا ۴۰ درصد پروتئین با کیفیت بالاست که شامل اسیدهای آمینه ضروری بوده و جایگزین مناسبی برای

- ۱- استادیار گروه هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تولیدات محصولات گلخانه‌ای، گروه باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۳- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی کشاورزی، 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
- (*)-نویسنده مسئول: saeid.shiukhy@gmail.com

DOI: [10.22034/ijid.2026.570848.2662](https://doi.org/10.22034/ijid.2026.570848.2662)

محدودیت منابع آب در کشور حائز اهمیت است. گونه‌های مختلف گیاهی سطوح مختلفی از پاسخ به تنش آبی را از جمله پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی نشان می‌دهند (Shaheen et al., 2016). حساسیت گیاه به تنش آبی در مراحل مختلف نمو در گیاه سویا متفاوت است و در مرحله‌ی زایشی بیشتر از رویشی گزارش شده است (He et al., 2017). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که کمبود آب در مراحل زایشی سویا باعث کاهش فتوسنتز، کاهش سطح برگ و افت چشمگیر عملکرد دانه می‌شود و این اثرات در شرایط مختلف اقلیمی قابل مشاهده است (Anda et al., 2021). نتایج پژوهش لورنسو (۲۰۲۰) نشان داد، کمبود آب در مراحل گلدهی و توسعه اولیه غلاف، عملکرد را تا ۸۵ درصد کاهش می‌دهد (Lourenço, 2020). علاوه بر این، تنش آبی می‌تواند ترکیب بیوشیمیایی دانه‌ها از جمله پروتئین، روغن و اسیدهای چرب را تغییر دهد که پیامدهای مهمی برای ارزش تغذیه‌ای و ویژگی‌های پردازش محصول دارد (Amanullah et al., 2025). نتایج چنگ و همکاران نشان داد که در رقم مقاوم به سایه در مقایسه با رقم حساس به سایه، با افزایش جذب انرژی نوری و فتوسنتز در سطوح مختلف سایه‌بان گیاه، موجب ارتقای توسعه مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ساقه شده و در نهایت از کاهش عملکرد در کشت ردیفی جلوگیری می‌کند (Cheng et al., 2022). در مطالعه‌ای محتوای پروتئین در دانه سویا در تیمارهای تنش آبی نسبت به تیمار بدون تنش، بلافاصله پس از اعمال تنش آبی کاهش یافت (Nakagawa et al., 2018). نواب پور و همکاران (۱۳۹۶) بیان کردند با افزایش شدت تنش آبی درصد روغن دانه‌های سویا متناسب با شدت تنش کاهش می‌یابد (نواب‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهش گابال و زیتون نشان داده شد، که تنش آبی بر پروفایل اسیدهای چرب ذرت تأثیر گذاشت و تغییرات قابل توجهی در اسیدهای پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک ایجاد کرد. به‌طوریکه شرایط تنش باعث ایجاد تغییر در مسیرهای سنتز اسیدهای چرب شد (Gabal and Zaitoun, 2015). کبیر و همکاران بیان کردند که به‌کارگیری پوشش‌های توری از طریق تعدیل خرداقلیم مزرعه، بهبود رشد رویشی، کاهش بروز اختلالات فیزیولوژیک و بیماری‌های گیاهی و نیز افزایش طول فصل برداشت، نقش مؤثری در افزایش عملکرد و ارتقای کیفیت محصولات گیاهی ایفا می‌کند (Kabir et al., 2022). در مطالعه دیگری، محتوای پروتئین در بین ژنوتیپ‌ها متغیر بود، به‌طوریکه برخی تحت شرایط تنش خشکی افزایش و برخی دیگر کاهش ۵ درصدی را تجربه کردند. اما، تنش خشکی عموماً محتوای روغن را کاهش داد و این کاهش، در برخی از ژنوتیپ‌ها به ۲۲ درصد هم رسید (Krisnawati and Adie, 2017).

از آنجایی که کشاورزی مدرن به شدت به مدیریت مؤثر آب متکی است حفظ عرضه پایدار جهانی سویا مستلزم اجرای راهکارهای مؤثر در این زمینه است (Panotra et al., 2024). در سال‌های اخیر، توجه

بیشتری به راهکارهای مدیریتی زراعی برای کاهش اثرات منفی تنش آبی معطوف شده است. یکی از این راهکارها استفاده از پوشش‌های توری^۱ است که می‌تواند با تعدیل شرایط خرداقلیمی مانند دما، تبخیر و تعرق و شدت تابش نور، اثرات منفی تنش‌های محیطی را کاهش داده و شرایط رشد را بهبود دهد (Shiukhy-Soqanloo and Shamgani Mashhadi, 2025). در سایر محصولات زراعی نشان داده شده است که پوشش توری می‌تواند عملکرد، کیفیت محصول و بهره‌وری مصرف آب را تحت شرایط نامطلوب محیطی افزایش دهد، اما اطلاعات محدود و متناقضی در مورد کاربرد آن برای سویا در دسترس است. در یک مطالعه‌ای گندم زمستانه از مرحله جوانه‌زنی تا رسیدگی در معرض تیمارهای مختلف سایه قرار گرفت. نتایج نشان داد که، اعمال سایه در سطوح ۹۲٪ و ۸۵٪ تابش نه تنها باعث کاهش عملکرد نشد، بلکه عملکرد دانه نسبت به شاهد افزایش یافت، این موضوع نشان‌دهنده توان نسبی گیاه برای جبران یا تعدیل اثر محدودیت نور از طریق سازگاری‌های مورفوفیزیولوژیک است (Li et al., 2010). چن و همکاران نشان دادند، که کاهش شدت نور در مرحله پر شدن دانه برنج علت مستقیم کاهش عملکرد است و تغییر در کیفیت نور ممکن است عامل کلیدی کاهش کیفیت دانه باشد (Chen et al., 2019). پژوهشی دیگر به بررسی تأثیر پوشش‌توری و تنش خشکی در طول دوره پر شدن دانه گندم را بر فتوسنتز، عملکرد دانه و صفات کیفی در یک آزمایش گلخانه‌ای پرداخت. نتایج نشان داد که پوشش‌های توری در طول پر شدن دانه، عملکرد دانه، وزن هر دانه و به‌طور قابل توجهی محتوای پروتئین دانه را کاهش و محتوای نشاسته دانه را افزایش داد (Naseer et al., 2022). نتایج پژوهش بونی و همکاران نشان داد پوشش توری ۴۰٪، بازپسندی و کیفیت میوه سیب را حتی در شرایط آبیاری محدود بهبود بخشید و تقریباً ۵۰٪ در مقایسه با روش‌های سنتی در مصرف آب صرفه‌جویی کرد (Boini et al., 2022).

با توجه به جایگاه ایران در تولید دانه روغنی با ارزش سویا در جهان و اهمیت روزافزون سویا در تولید روغن و پروتئین و از طرفی لزوم بررسی تأثیرات نامطلوب تنش آبی در سال‌های اخیر، موجب شد تا این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات تنش آبی و سطوح مختلف پوشش توری بر عملکرد، بهره‌وری آب، کیفیت و پروفایل اسیدهای چرب دانه سویا انجام شود. نتایج این تحقیق می‌تواند به توسعه راهکارهای مدیریتی کارآمدتر برای بهبود پایداری تولید سویا در شرایط تغییرات اقلیمی کمک کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی واقع در

زمان برداشت به روش معمول آبیاری شدند. لازم به ذکر است که از سرپناه بارش^۲ برای جلوگیری از ریزش باران به درون کرت‌ها استفاده گردید. پوشش‌های توری نیز متناسب با ابعاد کرت‌ها و با ارتفاع ۲/۵ متر بر روی پایه‌های فلزی نصب شدند. اطلاعات مربوط به خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه گردید.

برای سنجش 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 داده شد. سنجش میزان عملکرد دانه و زیست توده با استفاده از ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۱ توزین شد. برای ارزیابی اثربخشی سطوح مختلف تنش آبی و پوشش‌های توری، شاخص WP_{ET} طبق رابطه ۱ محاسبه گردید (Wang et al., 2023). این شاخص بینشی در مورد استفاده بهینه از منابع آب فراهم کرده و به شناسایی شیوه‌های آبیاری پایدار در شرایط زیست‌محیطی متنوع کمک می‌کند (Shamgani et al., 2024).

$$WP_{ET} = \frac{GY}{ET} \quad (1)$$

که در آن GY عملکرد دانه ($Kg. ha^{-1}$) و ET تبخیر و تعرق ($m^3. ha^{-1}$) که با استفاده از داده‌های تحت تبخیر کلاس A که در ایستگاه محل اجرای آزمایش موجود است، به دست آمده است.

شاخص برداشت نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید: که در آن GY: عملکرد دانه بر حسب ($Kg. ha^{-1}$), BY: عملکرد زیست توده ($Kg. ha^{-1}$) و HI: شاخص برداشت بر حسب (%) می‌باشد.

$$HI = \frac{GY}{BY} \quad (2)$$

اندازه‌گیری محتوای روغن و پروتئین

برای تعیین محتوای روغن و پروتئین دانه، ۱۰۰ گرم دانه از هر تکرار نمونه‌برداری شد. استخراج روغن با استفاده از روش سوکسله با هگزان به عنوان حلال انجام شد و متعاقباً درصد روغن تعیین شد. برای تعیین پروتئین، ۰/۵ گرم دانه منجمد در ۱/۵ میلی‌لیتر بافر کاملاً همگن شد و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس غلظت پروتئین با استفاده از روش کوماسی تعیین و به صورت درصد بیان شد (Bradford, 1976).

اندازه‌گیری اسیدهای چرب

پروفایل اسیدهای چرب با روش AOAC1993 بر اساس انجام متیلاسیون اسیدهای چرب به استرهای متیل اسیدهای چرب (FAMES) تعیین گردید. ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های تهیه‌شده با دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل GC-17A با ستون شیشه‌ای

استان مازندران که به ترتیب دارای طول و عرض جغرافیایی ($39^{\circ}36' N$, $53^{\circ}04' E$) و ارتفاع از سطح دریا ۱۴- متر می‌باشد، انجام گرفت (Asgari et al., 2021). شکل ۱ جزئیات موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی توسعه‌یافته دومارتن^۱، این منطقه دارای اقلیم معتدل مرطوب می‌باشد (Rahimi et al., 2013). همچنین میانگین بلندمدت دمای سالانه $17/3^{\circ}C$ درجه سانتی‌گراد و بارندگی سالانه $638/7$ میلی‌متر می‌باشد. اطلاعات مربوط به پارامترهای مؤثر بر شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش در طول دوره فصل رشد و نمو سویا در جدول ۱ ارائه گردید. در طول این دوره، مجموع بارندگی به $203/4$ میلی‌متر رسید که تقریباً 23% از کل تبخیر و تعرق ($887/3$ میلی‌متر) را جبران می‌کند. کمینه دما در طول فصل سویا در ماه ژوئن $16/8$ درجه سانتی‌گراد بود و بیشینه دما در ماه ژوئیه به $32/1$ درجه سانتی‌گراد رسید.

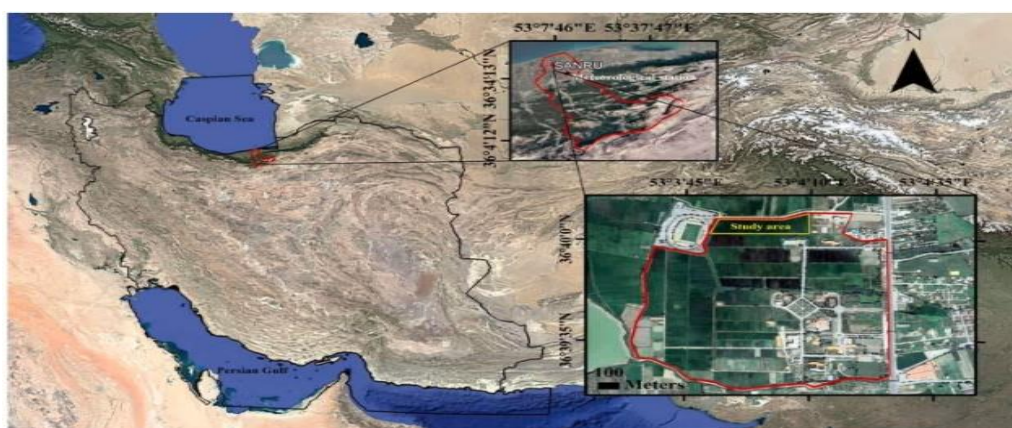
به منظور ارزیابی تأثیر تنش آبی و پوشش‌های توری بر پاسخ گیاه سویا، آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل؛ عامل اول تنش آبی در سه سطح [بدون قطع آبیاری (NWS)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی (WSF) و قطع آبیاری در مرحله پر شدن غلاف (WSP)] و عامل دوم پوشش‌های توری در چهار سطح (۰، ۳۰، ۵۰ و ۸۰ درصد ممانعت از ورود نور به کانوپی) بود. عملیات کاشت بذور سویا رقم آراین، در تاریخ ۱۲ خرداد در کرت‌هایی با ابعاد $1/2 \times 2$ با ۴ ردیف کشت شد. به طوریکه، فاصله خطوط کاشت ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف کاشت ۱۰ سانتی‌متر بود. همچنین فاصله بین بلوک‌ها نیز ۲ متر در نظر گرفته شد (شکل ۲). بلافاصله پس از پایان عملیات کاشت، اولین آبیاری انجام شد. روش آبیاری سطحی به صورت کرتی بوده و از تانسیمتر برای پایش رطوبت خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. بدین ترتیب زمانی که رطوبت خاک به ۷۰ درصد می‌رسید ($SWC=70$)، آبیاری صورت می‌گرفت (شیوخو سوغانلو و همکاران، ۱۴۰۴). لازم به ذکر است تانسیمترها پیش از نصب، کالیبره و پایدار شدند و از آب مقطر جهت پر کردن محفظه استفاده گردید تا از تشکیل حباب هوا جلوگیری شود. از زمان کاشت بذر تا پیش از رسیدن به مراحل مورد نظر برای اعمال تنش آبی (گلدهی و غلاف‌دهی)، آبیاری به طور معمول بصورت سطحی انجام شد و میزان آب مصرفی نیز به دقت ثبت گردید. اما با رسیدن به مراحل گلدهی و پر شدن دانه در غلاف، تیمارهای تنش آبی در هر دور از آبیاری بصورت قطع کامل آبیاری تا پایان مرحله مورد نظر، اعمال می‌شدند، و بلافاصله پس از اتمام مرحله مورد نظر دوباره تا

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش آبی و پوشش‌های توری بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا در جدول ۳ ارائه گردید. بر اساس نتایج بدست آمده، اثر ساده تنش آبی بر صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت، محتوای پروتئین، درصد روغن و بهره‌وری آب معنی‌داری بود ($P \leq 0.05$). اما بر میزان زیست توده تأثیر چندانی نداشت و تغییرات تقریباً یکسان بود. همچنین استفاده از پوشش‌های توری تمامی صفات مورد اندازه‌گیری را تحت تأثیر قرار داد و تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P \leq 0.05$). همچنین یافته‌ها حاکی از آن بود که اثر برهمکنش تنش آبی و پوشش توری بر صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت و بهره‌وری آب بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$).

مویین و با شناساگر یونی شعله‌ای (FID) انجام شد. حجم تزریق نمونه حدود ۰/۳ گرم روغن در ۷ میلی‌لیتر حلال (هگزان یا ایزواکتان) بود. سپس ۲ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم ۲ نرمال در متانول اضافه گردید و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به خوبی مخلوط شد. سپس ۰/۴ میلی‌لیتر از محلول در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد با اسپلیت تزریق شد. درجه حرارت ستون ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، آشکار کننده ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، محل تزریق نمونه ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان گاز حامل (نیتروژن) ۱۰ میلی‌لیتر بر دقیقه به کار برده شد (فاطمی، ۱۳۹۴).

در پایان داده‌های به‌دست آمده با بهره‌گیری از نرم‌افزار SASver9.2 تجزیه و تحلیل شدند و آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

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

تبخیر (mm)	درصد رطوبت	بارندگی (mm)	دمای بیشینه (C°)	دمای میانگین	دمای کمینه	فصل رشد
۱۹۳/۶	۶۹	۷/۶	۳۰/۴	۲۴/۷	۱۹	خرداد
۱۷۳/۵	۷۱	۲۲	۳۲/۱	۲۷/۱	۲۲/۱	تیر
۱۳۶/۳	۷۴	۳۰/۸	۳۲	۲۷/۵	۲۳	مرداد
۱۴۲/۵	۷۱	۴۱/۳	۳۱/۶	۲۶/۵	۲۱/۴	شهریور
۸۰	۷۴	۷۶/۳	۲۶/۶	۲۱/۷	۱۶/۸	مهر
۱۶۱/۴	۷۱/۲	۲۵/۴	۳۱/۵	۲۶/۴	۲۱/۳	آبان

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک			اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds.m ⁻¹)	کربن آلی (%)	ماده آلی (%)	نیتروژن (%)	فسفر (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (mg.kg ⁻¹)
رس (%)	سیلت (%)	شن (%)							
۲۳	۴۰	۳۷	۷/۶	۱/۸	۱/۲	۲	۰/۱	۱۳	۳۷۰



شکل ۲- نمایی از کرت‌های آزمایشی سویا با سطوح متفاوت ممانعت نوری (پوشش‌های توری)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش آبی و پوشش توری بر عملکرد کمی و کیفی و بهره‌وری آب سویا

میانگین مربعات						درجه آزادی df	منبع تغییرات
بهره‌وری آب	روغن	پروتئین	شاخص برداشت	عملکرد دانه	عملکرد زیست توده		
۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۸۳۵۳ ⁿ	۰/۰۱۴۶ ^{ns}	۶۶/۵۱۸۶ ^{ns}	۹۳۳/۳۳ ^{ns}	۲	بلوک
۰/۴۵۷۱ ^{**}	۰/۰۳۵۸ ^{**}	۱۰۲/۱۵ ^{**}	۲۰/۰۹۰۰ ^{**}	۱۸۶۵۲۵/۰۵۴۴ ^{**}	۱۱۳۴۰۸/۳۳ [*]	۲	تنش آبی
۰/۳۴۳۴ ^{**}	۰/۰۰۷۵ ^{**}	۱۶۸/۴۳ ^{**}	۸۲/۲۴۰۹ ^{**}	۱۴۲۸۹۶/۳۴۶۹ ^{**}	۴۱۹۶۳۱۳/۸۹ ^{**}	۳	پوشش توری
۰/۰۰۵۷ ^{**}	۰/۰۰۰۹ ^{ns}	۲/۷۸ ^{ns}	۳/۷۷۵۷ [*]	۲۳۴/۹۷۸۹ ^{**}	۸۴۲۰۸/۳۳ ^{ns}	۶	تنش آبی × پوشش توری
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۲/۰۲	۴۶/۶۳۴۴	۴۶/۶۳۴۴	۴۳۷۵۴/۵۵	۲۲	خطا
-	-	-	-	-	-	۳۵	کل
۰/۷	۱/۴	۳/۴	۵/۱	۰/۷	۴/۴		ضریب تغییرات (C.V)

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و ns عدم معنی داری

- عملکرد دانه

به ترتیب نمایانگر افزایش ۱۴ و ۴ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد بود. این در حالی بود که در تیمار پوشش توری ۸۰٪ میزان عملکرد دانه با ۷۵۵/۴ کیلو گرم در هکتار، با کاهش ۱۸/۵ درصدی مواجه شد. بر پایه یافته‌ها، اثر برهمکنش تنش آبی و پوشش توری نیز میزان عملکرد دانه را با تغییرات متفاوتی مواجه ساخت. به طوری که بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به ترکیب تیماری ۳۰٪ NWS- با ۱۱۷۰/۲ کیلو گرم در هکتار بود که در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش ۱۱ درصدی را به همراه داشت. در حالی که کمترین میزان آن در ترکیب تیماری ۸۰٪ WSP- با ۵۸۳/۷ کیلو گرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۴۵ درصد کاهش نشان داد، که بسیار قابل توجه بود (شکل ۳).

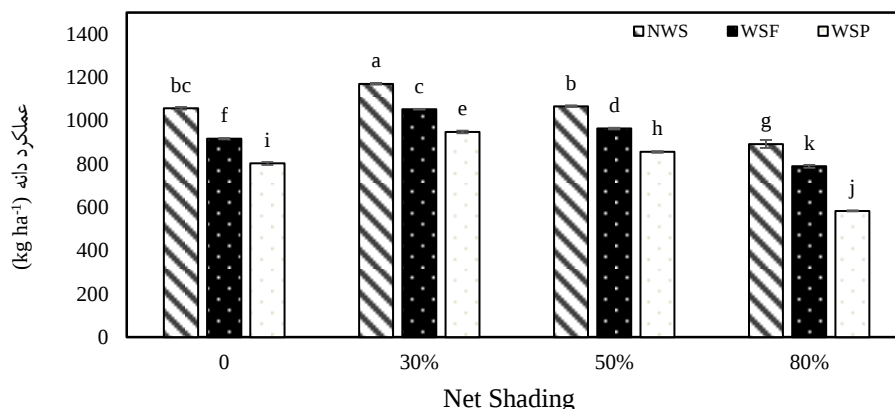
- شاخص برداشت

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان شاخص برداشت در تیمارهای تنش آبی WSP و ۳۰٪ WSP نسبت به تیمار NWS (۱۷ درصد) به ترتیب با ۲۲/۲ و ۲۰/۱ درصد بالاتر بود. اما

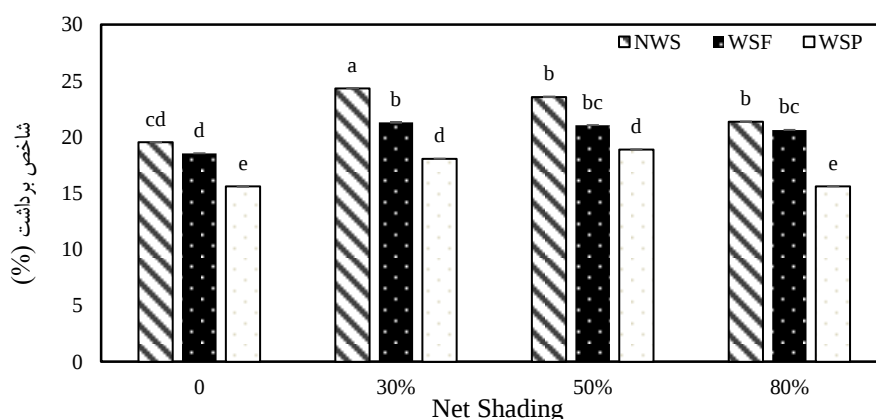
بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، قطع آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن غلاف سویا نسبت به تیمار بدون قطع آبیاری، تأثیر بسیار قابل توجهی بر میزان عملکرد دانه داشت. به طوریکه در تیمار NWS میزان عملکرد ۱۰۴۶/۷ کیلو گرم در هکتار مشاهده شد. این در حالی بود که در تیمارهای تنش آبی WSP و WSF میزان عملکرد دانه به ترتیب ۹۳۱/۲ و ۷۶۷/۶ کیلو گرم در هکتار مشاهده شد، که هر یک به ترتیب نشان از کاهش ۱۲ و ۲۷ درصدی عملکرد دانه بود. لذا نتایج گویای آن بود که بروز تنش آبی در مرحله پر شدن غلاف، عملکرد دانه را بیشتر تحت تأثیر قرار داد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از پوشش‌های توری نیز میزان عملکرد دانه را دستخوش تغییرات کاملاً محسوس نمود. به طوریکه در شرایط بدون پوشش توری (تیمار شاهد)، میزان عملکرد ۹۲۵/۹ کیلو گرم در هکتار ثبت شد. در حالیکه میزان عملکرد دانه در بین تیمارهای پوشش توری مختلف متفاوت بود. به طوری که در تیمارهای پوشش توری ۳۰٪ و ۵۰٪ میزان عملکرد دانه به ترتیب ۱۰۵۷/۲ و ۹۶۲/۳ کیلو گرم در هکتار بود، که

در نهایت با میزان ۲۰/۱ و ۲۱/۵ درصد بدست آمد. همچنین اثر برهمکنش تنش آبی و پوشش توری بر میزان شاخص برداشت نشان داد که بیشترین و کمترین میزان شاخص برداشت به ترتیب در ترکیب‌های تیماری NWS-30% و WSP-80% با ۲۴/۳ و ۱۵/۶ درصد مشاهده شد (شکل ۴).

نتایج تغییرات شاخص برداشت در بین تیمارهای پوشش توری متفاوت بود. به طوریکه در تیمار پوشش توری 30% شاخص برداشت در مقایسه با تیمار شاهد (۱۹/۹ درصد) با کاهش ۱۰/۵ درصدی مواجه شد و به مقدار ۱۷/۸ رسید اما در تیمارهای پوشش توری 50% و 80% میزان شاخص برداشت به ترتیب ۱ و ۸ درصد افزایش یافت و



شکل ۳- بررسی اثر برهمکنش سطوح تنش آبی و پوشش‌های توری بر میزان عملکرد دانه سویا

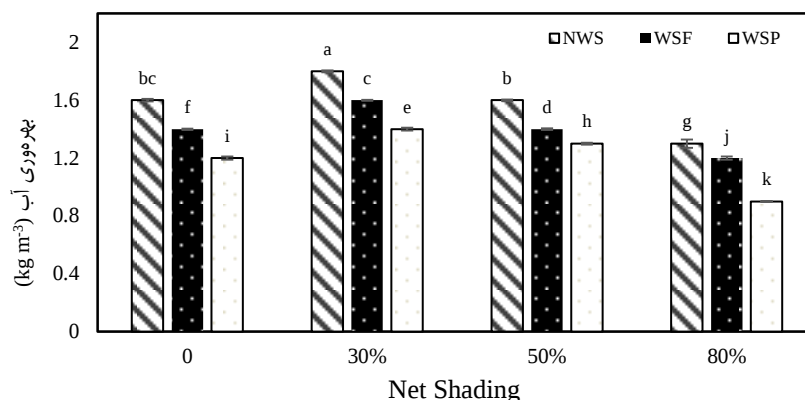


شکل ۴- بررسی اثر برهمکنش سطوح تنش آبی و پوشش‌های توری بر میزان شاخص برداشت سویا

این برتری در تیمار 30% آشکارتر بود. اما میزان بهره‌وری آب در تیمار پوشش توری 80% با ۱/۱ کیلوگرم در مترمکعب، نسبت به تیمار شاهد تفاوتی نداشت. بررسی اثر برهمکنش تنش آبی و پوشش توری حاکی از آن بود که بیشترین میزان بهره‌وری آب مربوط به ترکیب تیماری NWS-30% با ۱/۸ کیلو گرم در مترمکعب بود. در حالی که کمترین میزان آن در ترکیب تیماری WSP-80% با ۰/۹ کیلو گرم در مترمکعب مشاهده شد.

- بهره‌وری آب

یافته‌های به دست آمده از ارزیابی میزان بهره‌وری آب در شکل ۵ ارائه شد. همانطور که در شکل ۵ نیز ملاحظه می‌شود، در تیمار بدون قطع آبیاری NWS میزان بهره‌وری آب با ۱/۶ کیلوگرم در مترمکعب بیشتر از تیمارهای تنش آبی WSF و WSP به ترتیب با ۱/۴ و ۱/۲ کیلوگرم در مترمکعب بود. همچنین نتایج نشان داد که تیمارهای پوشش توری 30% و 50% به ترتیب با ۱/۶ و ۱/۴ کیلوگرم در مترمکعب در مقایسه با تیمار شاهد (۱/۱) برتری محسوسی داشتند و



شکل ۵- بررسی اثر برهمکنش سطوح تنش آبی و پوشش‌های توری بر میزان بهره‌وری آب سویا

- زیست‌توده

نتایج ارزیابی میزان عملکرد زیست‌توده نشان داد که بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده در تیمار NWS با ۴۷۷۵/۸ کیلو گرم در هکتار مشاهده شد که در مقایسه با تیمارهای تنش آبی WSF و WSP به ترتیب دچار کاهش ۴ و ۵ درصدی شد. همچنین نتایج گوپای آن بود که میزان عملکرد زیست‌توده در تیمار بدون پوشش (شاهد) نسبت به تیمار پوشش توری 30% تفاوت چندان قابل توجهی نداشت اما در مقایسه با تیمارهای پوشش توری 50% و 80% به- ترتیب با کاهش ۱۳/۳ و ۲۷ درصدی مواجه شد (جدول ۴).

- پروتئین نامحلول و روغن

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، میزان محتوای پروتئین نامحلول دانه در تیمار تنش آبی WSP با ۴۵/۰ درصد نسبت به تیمار WSF با ۴۱/۱ درصد بالاتر بود اما هر دو تیمار در مقایسه با تیمار

NWS با ۳۷/۳ درصد، برتری مشهودی داشتند. نتایج نشان داد که متناسب با افزایش درصد پوشش‌های توری میزان پروتئین دانه کاهش یافت. به‌طوریکه میزان تغییرات پروتئین نامحلول دانه در تیمارهای شاهد (۴۴/۵) و پوشش توری 30% (۴۳/۶) تقریباً ناچیز بود و تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. اما در تیمارهای پوشش توری 50% و 80% میزان پروتئین نامحلول دانه با افت ۱۲ و ۱۷ درصدی همراه شد. بر پایه نتایج حاصل، بیشترین و کمترین میزان روغن به‌ترتیب مربوط به تیمارهای تنش آبی WSP و NWS با ۰/۸۵ و ۰/۷۸ درصد بود. همچنین میزان روغن در تیمارهای پوشش توری نسبت به تیمار شاهد دستخوش کاهش شد. به‌طوریکه تیمار شاهد با ۰/۹۱ درصد بیشترین میزان روغن را به خود اختصاص داد. در حالی که میزان روغن در تیمارهای پوشش توری 30%، 50% و 80% به‌ترتیب ۰/۸۲، ۰/۷۹ و ۰/۷۶ مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف تنش آبی و پوشش‌های توری بر عملکرد زیست‌توده، پروتئین نامحلول و درصد روغن دانه

سویا				
تیمار	سطح	عملکرد زیست‌توده (kg. ha ⁻¹)	پروتئین (%)	روغن (%)
تنش آبی	NWS	۴۷۷۵/۸a	۳۷/۳c	۰/۷۸c
	WSF	۴۵۸۱/۶b	۴۱/۱b	۰/۸۱b
	WSP	۴۶۷۰ab	۴۵a	۰/۸۵a
LSD	-	۱۷۷/۱	۱/۲	۰/۱۰
پوشش‌های توری	0	۵۱۷۱/۲a	۴۴/۵a	۰/۹۱a
	30%	۵۲۵۵/۵a	۴۳/۶a	۰/۸۲b
	50%	۴۴۸۲/۲b	۳۹/۲b	۰/۷۹c
	80%	۳۷۹۳/۳c	۳۷/۱c	۰/۷۶d
LSD	-	۲۰۴/۵	۱/۳۹	۰/۱۲

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند

شد، که با نتایج بلالوئی و همکاران، رانی و همکاران، آصفا و همکاران و وی و همکاران همخوانی دارد (Bellaloui et al., 2017; Rani et al., 2022; Assefa et al., 2018; Wei et al., 2023). همچنین کاهش کیفیت دانه با افزایش شدت پوشش توری نشان داد که محدودیت نور سنتز ترکیبات ذخیره‌ای را مختل می‌کند. یافته‌های مورد و همکاران و لیو و همکاران نیز مؤید نتایج حاصل از این پژوهش بود (Board et al., 2019; Liu et al., 2022).

– اسیدهای چرب

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش آبی و پوشش توری بر میزان اسیدهای چرب دانه سویا در جدول ۵ ارائه شد. بر پایه یافته‌ها، اثر تنش آبی بر میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک، لینولئیک و لینولنیک اسید بسیار معنی‌داری بود ($P \leq 0.01$). اما بر میزان استئاریک اسید اثر قابل توجهی نداشت. همچنین اثر پوشش توری بر میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک، لینولئیک و لینولنیک و استئاریک بسیار معنی‌داری بود ($P \leq 0.01$). یافته‌ها حاکی از آن بود که اثر برهمکنش تنش آبی و پوشش توری تنها بر صفت پالمیتیک اسید بسیار معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود، اما میزان سایر اسیدهای چرب را چندان تحت تأثیر قرار نداد.

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش آبی، به‌ویژه در مرحله پر شدن غلاف، عملکرد دانه سویا را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد، که با یافته‌های هی و همکاران و لیو و همکاران همخوانی دارد (He et al., 2017; Liu et al., 2021). کاهش کمتر عملکرد در تنش آبی مرحله گلدهی نسبت به مرحله پر شدن غلاف نیز مطابق نتایج بیلالوئی و همکاران است که توان جبرانی سویا در مراحل اولیه رشد را نشان می‌دهد (Bellaloui et al., 2016). افزایش شاخص برداشت تحت تنش آبی با گزارش سرزینی و همکاران همسو است (Cerezini et al., 2019). پوشش‌های سایه‌انداز ملایم (50-30%) عملکرد و بهره‌وری آب را افزایش دادند، در حالی که پوشش شدید (80%) اثر منفی داشت، که با یافته‌های ایلچ و همکاران، سلواراج و همکاران و یانگ و همکاران مطابقت دارد (Ilic et al., 2017; Selvaraj et al., 2020; Yang et al., 2018; Taiz et al., 2022). بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب در ترکیب NWS-30٪ مشاهده شد، که با نتایج عبدالموگود و همکاران، مورالس و همکاران و هاتفیلد و دولد مشابه بود (Abdel-Mawgoud et al., 2019; Morales et al., 2021; Hatfield and Dold, 2019). بهره‌وری آب در تنش شدید آبی و پوشش 80% نیز با گزارش ژانگ و همکاران مطابقت دارد (Zhang et al., 2020). تنش آبی موجب افزایش نسبی محتوای پروتئین نامحلول و کاهش درصد روغن دانه

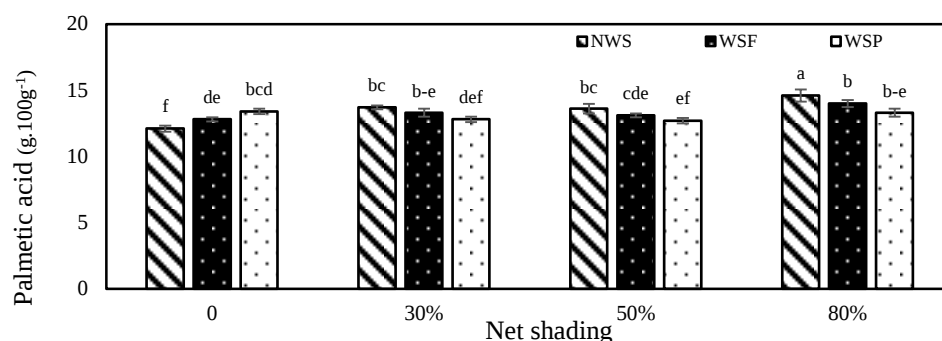
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش آبی و پوشش توری بر میزان اسیدهای چرب دانه سویا

منبع تغییرات	درجه آزادی df	پالمیتیک اسید	اولئیک اسید	لینولئیک اسید	لینولنیک اسید	استئاریک اسید
بلوک	۲	۰/۲۵۵۸ ^{ns}	۰/۱۳۵۳ ^{ns}	۳/۶۸۷۷ ^{ns}	۰/۰۳۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۱۹ ^{ns}
تنش آبی	۲	۰/۶۵۵۸ ^{**}	۲/۵۶۴۷ ^{**}	۱۶/۴۱۲۱ ^{**}	۳/۰۴۰۷ ^{**}	۰/۰۰۱۰ ^{ns}
پوشش توری	۳	۰/۶۵۵۸ ^{**}	۴/۸۸۵۲ ^{**}	۱۸/۸۵۷۷ ^{**}	۱۱/۵۰۶۹ ^{**}	۰/۰۷۶۹ ^{**}
تنش آبی × پوشش توری	۶	۱/۹۸۲۱ ^{**}	۰/۰۱۳۰ ^{ns}	۱/۰۹۶۲ ^{ns}	۰/۰۲۱۰ ^{ns}	۰/۰۰۱۰ ^{ns}
خطا	۲۲	۰/۱۳۷۹	۰/۰۴۴۹	۲/۰۳۵۳	۰/۰۶۵۹	۰/۰۰۷۷
کل	۳۵	–	–	–	–	–
ضریب تغییرات (C.V)	–	۴/۴	۰/۷	۵/۱	۳/۴	۱/۴

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد و ns عدم معنی‌داری

نیز افزایش یافت. به‌طوریکه در تیمار شاهد میزان پالمیتیک اسید ۱۲/۸ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب بود در حالیکه این میزان در تیمارهای پوشش توری 30%، 50% و 80% به‌ترتیب با افزایش ۳، ۴ و ۸/۵ درصدی مواجه شد. همچنین اثر برهمکنش تنش آبی و پوشش توری بر میزان پالمیتیک اسید نشان داد که بیشترین و کمترین میزان آن، به‌ترتیب در ترکیب‌های تیماری NWS-80% و NWS-0 با ۱۴/۶ و ۱۲/۱ درصد مشاهده شد (شکل ۶).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان پالمیتیک اسید مربوط به تیمار تنش آبی NWS با ۱۳/۵ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب بود و کمترین مقدار آن در تیمار WSP با ۱۳ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب بدست آمد. در واقع بروز تنش آبی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه میزان پالمیتیک اسید را نسبت به شرایط بدون تنش آبی کاهش داد که این کاهش در تیمار WSP شدیدتر بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش تراکم پوشش‌های توری میزان پالمیتیک اسید



شکل ۶- بررسی اثر برهمکنش سطوح تنش آبی و پوشش‌های توری بر میزان پالمیتیک اسید دانه سویا

(جدول ۶). همچنین نتایج گویای آن بود که بیشترین میزان استتاریک اسید در تیمارهای تنش آبی WSF و WSP به‌ترتیب با ۱/۹ و ۱/۹ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب حاصل شد. همانطور که ملاحظه می‌شود این دو تیمار تفاوت معنی‌دار نداشتند. اما در مقایسه با تیمار NWS برتری خفیفی داشتند. نکته قابل توجه در ارزیابی تغییرات میزان استتاریک اسید ناشی از تیمارهای پوشش توری در این بود که تفاوت معنی‌داری میان هیچ یک از سطوح تیمارهای پوشش توری بر میزان استتاریک اسید وجود نداشت و تغییرات تقریباً یکسان بود (جدول ۶).

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر ترکیب اسیدهای چرب دانه سویا دارد، به‌طوری که اسیدهای غیراشباع نسبت به اسیدهای اشباع حساس‌تر هستند. کاهش پالمیتیک اسید در تنش آبی، به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه، نشان‌دهنده تأثیر منفی کمبود آب بر مسیرهای بیوسنتز اسیدهای چرب اشباع است، که با یافته‌های Bellaloui و همکاران (۲۰۱۷) و Wei و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی دارد. افزایش پالمیتیک اسید در سایه‌اندازی شدید (۸۰٪) حاکی از تغییر متابولیسم به سمت اسیدهای اشباع است (Liu et al., 2022). تنش آبی موجب افزایش اولئیک اسید و کاهش لینولئیک و لینولنیک اسید شد، که حساسیت بالای اسیدهای چرب غیراشباع به کمبود آب را نشان می‌دهد (Assefa et al., 2018; Rani et al., 2022; Wei et al., 2023). سایه‌اندازی ۳۰٪ می‌تواند ناشی از شرایط نوری و دمایی مطلوب برای فعالیت آنزیم اولئات دسچوراز باشد (Ilić et al., 2017; Selvaraj et al., 2020). سایه‌اندازی ملایم (۳۰-۵۰٪) موجب افزایش نسبی لینولئیک و لینولنیک اسید شد، در حالی که سایه‌اندازی شدید (۸۰٪) اثر کاهشی داشت، که با یافته‌های Yang و همکاران (۲۰۱۸) و Liu و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. استتاریک اسید تحت تأثیر تنش آبی و پوشش توری تغییر معنی‌داری نشان نداد و پایداری آن در شرایط محیطی تأیید شد (Board et al., 2019).

بر اساس یافته‌ها، تیمار WSP با ۱۷/۷ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب بیشترین میزان میانگین اولئیک اسید دانه را به خود اختصاص داد. این درحالی بود که تیمارهای WSF و NWS به‌ترتیب با ۱۷/۱ و ۱۶/۴ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از پوشش توری ۳۰٪ بیشترین میزان اولئیک اسید را در مقایسه با سایر تیمارها با ۱۷/۸ گرم در ۱۰۰۰ گرم اسید چرب داشت. تیمارهای پوشش توری ۵۰٪ و شاهد به‌ترتیب با ۱۷/۰ و ۱۶/۹ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب تفاوت چندانی نداشتند اما هر دو تیمار در مقایسه با تیمار پوشش توری ۸۰٪ (۱۶/۵) گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب) برتر بودند (جدول ۶). اسید چرب لینولئیک اسید در تیمار NWS دارای بیشترین مقدار (۶۴/۱) گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب) بود و کمترین مقدار آن در تیمارهای WSF و WSP به‌ترتیب با ۶۲/۲ و ۶۱/۷ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب مشاهده شد. شایان ذکر است که تفاوت قابل توجهی بین تیمارهای تنش آبی دیده نشد. همچنین بیشترین مقدار لینولئیک اسید مربوط به تیمارهای پوشش توری ۳۰٪ و ۵۰٪ به‌ترتیب با ۶۴/۱ و ۶۳/۴ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب بود و کمترین مقدار آن در تیمارهای تنش NWS و پوشش توری ۸۰٪ به‌ترتیب با ۶۱/۸۷ و ۶۱/۲۴ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب ثبت شد (جدول ۶). بررسی نتایج تغییرات میزان لینولئیک اسید در بین تیمارهای تنش آبی بیانگر آن بود که میزان لینولئیک اسید با بروز تنش آبی در تیمارهای WSF و WSP در مقایسه با تیمار NWS با افت چشمگیری مواجه شد. به‌طوری‌که میانگین لینولئیک اسید در تیمار NWS با ۷/۱ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب مشاهده شد. این مقدار میانگین در تیمارهای WSF و WSP به‌ترتیب با کاهش محسوس و قابل توجه ۱۳ و ۲۸ درصدی همراه بود. نتایج بررسی تغییرات میزان لینولئیک اسید در بین تیمارهای پوشش توری متفاوت بود و روند یکسانی نداشت. به‌طوری‌که میزان لینولئیک اسید در تیمارهای پوشش توری ۳۰٪ و ۵۰٪ به‌ترتیب با ۶/۸ و ۶/۴ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب نسبت به تیمار شاهد (۶ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب) افزایش یافتند اما استفاده از تیمار پوشش توری ۸۰٪ با ۵/۵ گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب میزان لینولئیک اسید را کاهش داد.

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف تنش آبی و پوشش‌های توری بر اسیدهای چرب دانه سویا

تیمار	سطح	پالمیتیک اسید (g.100g ⁻¹)	اولئیک اسید (g.100g ⁻¹)	لینولئیک اسید (g.100g ⁻¹)	لینولئیک اسید (g.100g ⁻¹)	استتاریک اسید (g.100g ⁻¹)
تنش آبی	NWS	۱۳/۵a	۱۶/۴c	۶۴/۱a	۷/۱a	۱/۸b
	WSF	۱۳/۳ ab	۱۷/۱b	۶۲/۲b	۶/۲b	۱/۹a
	WSP	۱۳/۰b	۱۷/۷a	۶۱/۷b	۵/۲c	۱/۹a
	LSD	-	۰/۳۱	۰/۱۷	۱/۲۰	۰/۰۷
پوشش توری	0	۱۲/۸c	۱۷/۰b	۶۱/۸b	۶/۰c	۱/۹a
	30%	۱۳/۲b	۱۷/۸a	۶۴/۱a	۶/۸a	۱/۹a
	50%	۱۳/۳b	۱۶/۹b	۶۳/۴a	۶/۴b	۱/۹a
	80%	۱۳/۹a	۱۶/۵c	۶۱/۲b	۵/۵d	۱/۹a
	LSD	-	۰/۳۶	۰/۲۰	۱/۳۹	۰/۰۸

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش آبی در مراحل حساس رشد سویا، به‌ویژه گلدهی و پر شدن دانه، تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و ترکیب کیفی دانه، به‌ویژه پروفیل اسیدهای چرب دارد. کاهش عملکرد و تغییر ترکیب اسیدهای چرب غیراشباع، به‌ویژه لینولئیک اسید، بیانگر حساسیت بالای سویا به محدودیت رطوبتی در مراحل زایشی است. استفاده از پوشش‌های توری با تراکم متوسط (۳۰٪ و ۵۰٪) توانست اثرات منفی تنش آبی را تعدیل کرده و برخی صفات کمی و کیفی دانه، از جمله میزان اولئیک و لینولئیک اسید، را بهبود دهد، در حالی که سایه‌اندازی شدید (۸۰٪) در برخی موارد اثر منفی داشت. بررسی برهم‌کنش تنش آبی و پوشش توری نشان داد که تنها بر میزان پالمیتیک اسید اثر معنی‌دار دارد، که حاکی از حساسیت مسیرهای اسیدهای چرب اشباع به تغییرات همزمان رطوبت و شدت نور است. با توجه به محدودیت‌های این پژوهش که شامل اندازه نمونه محدود، عدم بررسی مستقیم فعالیت آنزیم‌ها و مسیرهای ژنتیکی مرتبط با بیوسنتز اسیدهای چرب و تمرکز بر یک منطقه جغرافیایی خاص بود، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده پاسخ‌های فیزیولوژیک و فعالیت آنزیم‌ها و ژن‌های کلیدی بیوسنتز اسیدهای چرب در شرایط تنش آبی و سایه‌اندازی با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار گیرد تا مکانیسم‌های زیربنایی اثرات تنش آبی و پوشش توری بر کیفیت دانه سویا روشن‌تر شود.

سیاسگذاری

این پژوهش از محل طرح پژوهشی با شماره ۰۷-۱۴۰۳-۰۲ توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری حمایت‌شده و

بدینوسیله از حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- شیوخی سوغانلو، س.، شامگانی مشهدی، ب.، باطبی، س.، باطبی، س. ۱۴۰۴. ارزیابی تأثیر توام سایه‌دهی و تنش خشکی بر بهره‌وری آب و عملکرد کمی و کیفی سویا. هوشناسی کشاورزی، انتشار آنلاین.
- فاطمی، ح. ۱۳۹۴. انتشارات شیمی مواد غذایی انتشارات سهامی انتشار چاپ پنجم، صفحات ۴۵۷ - ۴۸۰.
- کیانی، ع.، کمالی، م. و عباسی، فریبرز. ۱۴۰۱. بررسی بهره‌وری آب آبیاری سویا در مزارع استان گلستان. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۶(۱): ۶۹-۸۲.
- نواب پور، س.، هزارجریبی، ا. و مازندرانی، ا. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر تنش خشکی بر صفات مهم زراعی و میزان پروتئین و روغن دانه در ژنوتیپ‌های سویا (*Glycin max* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۲۲(۴): ۴۹۱-۵۰۳.
- Abdel-Mawgoud, A. M. R., Tantawy, A. S., Hafez, M. M. and Habib, H. A. 2019. Growth, yield, and water use efficiency of soybean under shade netting and deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management. 223, 105699. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105699>
- Asgari, A., Darzi-Naftchali, A., Nadi, M., and Saberali, S. F. 2021. Improvement in canola yield and growth indices and water-use efficiency with subsurface drainage in a humid climate. Paddy and Water

- T. ... and Yang, W. 2022. Shade-tolerant soybean reduces yield loss by regulating its canopy structure and stem characteristics in the maize-soybean strip intercropping system. *Frontiers in Plant Science*. 13: 848893.
- Abou Gabal, A. A. and Zaitoun, F. A. 2015. Seed oil content and fatty acids composition of maize under heat and water stress. *Alexandria Science Exchange Journal*. 36(JULY-SEPTEMBER): 274-281.
- Board, J. E. and Kahlon, C. S. 2019. Soybean yield formation: What controls it and how it can be improved. *Crop Science*. 59: 1-18. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.08.0503>
- FAO. 2022. FAOSTAT statistical database. Rome. <https://www.fao.org/faostat>
- Hatfield, J. L. and Dold, C. 2019. Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*. 10: 103. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>
- He, J., Du, Y. L., Wang, T., Turner, N. C., Yang, R. P., Jin, Y. ... and Li, F. M. 2017. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought. *Agricultural Water Management*. 179: 236-245.
- Ilic, Z. S., Milenković, L. and Šunić, L. 2017. Effect of shading by coloured nets on yield and quality of soybean. *Scientia Horticulturae*. 225: 529-537. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.047>
- Kabir, M. Y., Nambeesan, S. U., Bautista, J., & Díaz-Pérez, J. C. 2022. Plant water status, plant growth, and fruit yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under shade nets. *Scientia Horticulturae*, 303, 111241.
- Krisnawati, A. and Adie, M. M. 2017. Protein and oil contents of several soybean genotypes under normal and drought stress environments at reproductive stage. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*. 7(4): 252-261.
- Li, H., Jiang, D., Wollenweber, B., Dai, T. and Cao, W. 2010. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. *European Journal of agronomy*. 33(4): 267-275.
- Liu, X., Jin, J., Wang, G. and Herbert, S. J. 2021. Soybean yield physiology and drought stress responses. *Agricultural Water Management*. 245: 106660. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106660>
- Liu, Y., Li, S. and Chen, F. 2022. Light limitation during reproductive growth affects soybean seed quality. *Plants*. 11: 1452. <https://doi.org/10.3390/plants11111452>
- Lourenço, L. F. 2020. O efeito da deficiência hídrica em plantas de soja (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Environment. 19(1): 23-33.
- Amanullah, Khan, J. A. and Yasir, M. 2025. Improving soybean yield and oil productivity: an integrated nutrient management approach for sustainable soybean production. *BMC Plant Biology*. 25(1): 293.
- Anda, A., Simon, B., Soós, G., Teixeira da Silva, J. A. and Menyhárt, L. 2021. Water stress modifies canopy light environment and qualitative and quantitative yield components in two soybean varieties. *Irrigation Science*. 39(5): 549-566.
- Assefa, Y., Purcell, L. C., Salmeron, M., Naeve, S., Casteel, S. N., Kovács, P. ... and Ciampitti, I. A. 2019. Assessing variation in US soybean seed composition (protein and oil). *Frontiers in Plant Science*. 10: 298.
- Assefa, Y., Carter, P. and Bajjalieh, N. 2018. Yield responses of soybean to drought stress: A review. *Agronomy Journal*. 110: 1-14. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.02.0098>
- Bellaloui, N., Mengistu, A., Paris, R. L. and Smith, J. R. 2016. Soybean seed composition as affected by drought stress. *Journal of Crop Improvement*. 30: 1-20. <https://doi.org/10.1080/15427528.2016.1148601>
- Bellaloui, N., Smith, J. R., Gillen, A. M. and Ray, J. D. 2017. Effect of water stress on soybean seed protein, oil, fatty acids, and minerals. *Frontiers in Plant Science*. 8: 2132. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02132>
- Board, J. E. and Kahlon, C. S. 2019. Soybean yield formation: What controls it and how it can be improved. *Crop Science*. 59: 1-18. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.08.0503>
- Boini, A., Bortolotti, G., Perulli, G. D., Venturi, M., Bonora, A., Manfrini, L. and Corelli-Grappadelli, L. 2022. Late ripening apple production benefits from high shading and water limitation under exclusion netting. *Horticulturae*. 8(10): 884.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*. 72(1-2), 248-254. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).
- Cerezini, P., Kuwano, B. H. and dos Santos, M. B. 2019. Drought stress effects on soybean reproductive development. *Plant Physiology and Biochemistry*. 144: 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.09.020>
- Chen, H., Li, Q. P., Zeng, Y. L., Deng, F. and Ren, W. J. 2019. Effect of different shading materials on grain yield and quality of rice. *Scientific reports*. 9(1): 9992.
- Cheng, B., Wang, L., Liu, R., Wang, W., Yu, R., Zhou,

- region. *Agricultural Water Management*, 305: 109106.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109106>
- Shiukhy Soqanloo, S., and Shamgani Mashhadi, B. 2025. Urban wastewater effects on chlorophyll fluorescence parameters, water productivity, and soybean yield under drought stress. *Journal of Central European Agriculture*. 26(4): 915-926.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M. and Murphy, A. 2022. *Plant Physiology and Development* (7th ed.). Sinauer Associates.
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108067>
- Wei, Y., Jin, J. and Jiang, S. 2023. Water stress effects on soybean oil biosynthesis and seed quality. *Industrial Crops and Products*. 198: 116637.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116637>
- Yang, F., Feng, L. and Liu, Q. 2018. Effect of shade on soybean growth and yield. *Field Crops Research*. 219: 181-188.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.013>
- Yaraşır, N., Yiğit, A. and Ereku, O. 2024. Yield and quality responses of soybean (*Glycine max*. L. Merr.) varieties inoculated with rhizobia strains under drought stress. *Turkish Journal Of Field Crops*. 29(2): 165-176.
- Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Wang, Y. and Shao, L. 2020. Water use efficiency and drought adaptation of soybean. *Agricultural Water Management*. 239: 106246.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106246>
- Zhao, S., Yan, F., Liu, Y., Sun, M., Wang, Y., Li, J., Zhang, X., Yang, X. and Wang Q. 2024. Glycine max acyl-acyl carrier protein thioesterase B gene overexpression alters lipid content and fatty acid profile of Arabidopsis seeds. *Functional Plant Biology*. 51:FP23001.
<https://doi.org/10.1071/FP23001>
- Morales, A., Kaiser, E. and Yin, X. 2021. Shade and drought interactions on crop water productivity. *Global Change Biology*. 27: 3473-3486.
<https://doi.org/10.1111/gcb.15638>
- Nakagawa, A. C., Itoyama, H., Ariyoshi, Y., Ario, N., Tomita, Y., Kondo, Y. and Ishibashi, Y. 2018. Drought stress during soybean seed filling affects storage compounds through regulation of lipid and protein metabolism. *Acta Physiologiae Plantarum*. 40(6): 111.
- Naseer, M. A., Hussain, S., Nengyan, Z., Ejaz, I., Ahmad, S., Farooq, M. and Xiaolong, R. 2022. Shading under drought stress during grain filling attenuates photosynthesis, grain yield and quality of winter wheat in the Loess Plateau of China. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 208(2): 255-263.
- Panotra, N., Sharma, R., Sharma, V., Kumar, A., Rahman, T., Kadam, G. L. and Singh, B. 2024. Agricultural water conservation methods: Application, difficulties, and innovation. *Journal of Scientific Research and Reports*. 30(11): 605-614.
- Rani, A., Kumar, V. and Verma, S. K. 2022. Drought-induced changes in soybean seed protein and oil content. *Journal of Plant Physiology*. 268: 153581.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153581>
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M., Khalili, A. 2013. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and applied climatology*. 112: 409-418.
<https://doi.org/10.1007/s00704-012-0741-8>
- Selvaraj, M. G., Vergara, A. and Montenegro, F. 2020. Shade netting improves crop productivity under water-limited environments. *Agricultural Systems*. 178: 102761.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102761>
- Shaheen, T., Riaz, M. S. and Zafar, Y. 2016. Soybean production and drought stress. In *Abiotic and biotic stresses in soybean production*. Academic Press. 177-196.
- Shamgani-Mashhadi, B., Nadi, M., Darzi-Naftchali, A., and Shiukhy Soqanloo, S. 2024. Improving sustainability of rice-canola rotation through water and nitrogen management in a humid

Effects of Water Stress and Shade Net on Water Productivity, Seed Quality and Yield of Soybean in Humid Region

S .Shiukhy-Soqanloo^{*1}, S. Batebi², B. Shamgani Mashhadi³, S. Batebi⁴

Recived: Jan.05, 2026

Accepted: May.23, 2026

Abstract

Optimized irrigation management is crucial even in humid regions due to rainfall variability and uneven distribution during the growing season, which may cause transient water stress. In this study, A factorial experiment in a randomized complete block design with three replications was conducted at the growth season 2024-2025. Treatments included three water stress levels: no-water stress (NWS), irrigation withheld at flowering (WSF), and irrigation withheld at pod-filling (WSP), and four shade net levels (0%, 30%, 50%, and 80%). Results showed that WSF and WSP reduced seed yield by approximately 12% and 27%, respectively, compared to NWS. The 30% shade net increased seed yield by about 14% and improved water productivity compared to 50%, 80%, and no shade treatments. Water stress at pod-filling (WSP) increased oleic acid and decreased linoleic and particularly linolenic acids by up to 28%. Dense shading (80%) reduced biomass by about 27% and negatively affected some quality traits. Overall, the findings indicate that combining appropriate irrigation management with mild shading (30%) can be an effective strategy to enhance yield, improve water productivity, and maintain soybean seed quality in humid regions.

Keywords: Biomass, Irrigation withheld, Linolenic acid, Pod-filling, Water management

1- Assistant Professor of Agro-meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- 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

3- Ph.D. candidate of Agro-meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Sari, 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

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