

بررسی نقش فتوسنتزی برگ و گل آذین گلرنگ در عملکرد و محتوی روغن تحت تنش کم آبی

سعید حضرتی^{۱*}، نادر صالح نیا^۲، امیررضا صادقی بختوری^۱، هادی اسدپور^۲، بهمن پاسبان اسلام^۳

- ۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
 ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
 ۳- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، آذربایجان شرقی، تبریز، ایران

* مسئول مکاتبه: saeid.hazrati@azaruniv.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.320094.1168

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴

چکیده

به منظور بررسی نقش فتوسنتزی برگ و گل آذین گلرنگ در پشتیبانی عملکرد و محتوای روغن تحت تنش کم آبی، آزمایشی روی رقم بهاره گلدشت به صورت اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتور اصلی تنش کم آبی در سه سطح (بدون تنش، تنش از مرحله شروع گل‌دهی، تنش از زمان ۵۰ درصد گل‌دهی) و فاکتور فرعی حذف برگ‌ها و پوشش گل آذین در چهار سطح (شاهد، حذف برگ تیپ پایین، حذف برگ تیپ بالا و پوشش گل آذین) بودند. نتایج نشان داد اعمال تنش کم آبی از مرحله شروع گل‌دهی و از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی به ترتیب ۱۶/۴ و ۷/۹ درصد عملکرد دانه را کاهش داد، در حالی که عملکرد روغن تنها تحت تأثیر تیمار اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی کاهش معنی‌دار ۴/۴ درصدی را نشان داد. با توجه به نتایج، مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده اسمیلت‌ها برای پر شدن دانه گلرنگ و تولید روغن، برگ‌های بالای کانوپی بودند؛ همچنین بر اساس نتایج، گلبرگ‌ها نیز نقش مهمی را در پر شدن دانه‌ها، در هر دو شرایط عدم تنش کم آبی و کم آبی بعد از مرحله گل‌دهی دارند. در تیمار بدون تنش کم آبی، بیشترین میزان شاخص برداشت ۳۹/۷ درصد مربوط به عدم حذف برگ و کم‌ترین میزان (۳۸/۶ درصد) مربوط به حذف برگ‌های تیپ بالا بود. بر اساس نتایج تحقیق گل آذین نقش مؤثری در عملکرد دانه و در نتیجه عملکرد روغن گلرنگ داشت. اعمال تنش کم آبی از مرحله شروع گل‌دهی نیز عملکرد دانه و روغن را در گلرنگ کاهش قابل توجهی داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تنش خشکی، دانه‌های روغنی، عملکرد روغن، منبع و مخزن

مقدمه

اقتصادی و اجتماعی باشد. به طور کلی، آنچه در انتخاب گیاهان زراعی برای کشت در یک منطقه اهمیت دارد، سازگاری آن‌ها با عوامل محیطی است. انتخاب محصولات زراعی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مانند کشور ایران، به دلیل شرایط خاص اقلیمی، کمبود آب و حساسیت خاک‌ها در مقابل فرسایش و تخریب، از اهمیت بیشتری برخوردار است (Bhattarai et al., 2020).

میزان تولید جهانی گلرنگ در سال ۲۰۱۹ معادل ۶۲۳۹۹۷ تن بود که در بیش از ۶۰ کشور دنیا تولید می‌شود که عمده تولید کنندگان آن، هند، آمریکا و مکزیک هستند (FAO, 2020). علی‌رغم اینکه گیاه زراعی گلرنگ دارای قابلیت‌های ارزشمند بوده، بومی ایران است و در گوشه و کنار کشور ذخایر ژنتیکی این گیاه به وفور یافت می‌شود، ولی متأسفانه تا امروز توجه زیادی به آن نشده است. در حالی که در کشورهایی مانند

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L) به دلیل داشتن خصوصیات مطلوب زراعی، استفاده‌های مختلف صنعتی و کیفیت بالای روغن، به عنوان یک گیاه با ارزش شناخته شده است. مقاومت نسبتاً مطلوب به خشکی و شوری، این گیاه را در زمره مهم‌ترین گیاهان تنوع‌دهنده الگوی کشت و پایدار کننده اقتصاد تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار داده است (Naderi et al., 2005). گلرنگ یکی از گیاهان دانه روغنی و بومی کشور است. وجود گونه‌های وحشی پراکنده در سراسر کشور نشان‌دهنده سازگاری مناسب این گیاه با شرایط آب و هوایی ایران است (Nasseri et al., 2017).

ایران از نظر اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. گسترش کشت گیاهان متحمل به این شرایط از نظر زراعی می‌تواند یکی از راه‌کارهای مهم مدیریتی برای بهبود شرایط

جهانی، به طوری که توسط تغییر دما و دی‌اکسیدکربن با کاهش دسترسی به آب در اثر کاهش بارندگی منعکس می‌شود (Weiss *et al.*, 2020) و جهت افزایش عملکرد، مستلزم اصلاح گیاهان زراعی با روابط منبع و مخزن متفاوت است. در نهایت روابط منبع و مخزن می‌تواند در بهبود رشد و عملکرد گیاهان در شرایط کم‌آبی نقش مهمی را داشته باشد، تحقیقات نشان داده که مهار پیری برگ‌های القا شده در اثر کم‌آبی با دست‌کاری ژنتیکی در تنباکو، می‌تواند مقاومت به خشکی را در گیاهان افزایش دهد (Cortleven *et al.*, 2019).

با توجه به اینکه اطلاعات در زمینه سهم فتوسنتزی اندام‌های مختلف گیاه گلرنگ در عملکرد دانه و روغن محدود است و معمولاً سهم فتوسنتزی اندام‌های مختلف در عملکرد تابع شرایط محیطی است؛ بنابراین، هدف از این تحقیق ارزیابی نقش برگ‌ها و گل‌آذین در تأمین مواد فتوسنتزی و تأثیر آن بر عملکرد گیاه گلرنگ تحت تنش کم‌آبی بود. هم‌چنین نقش برگ‌ها و گل‌آذین در کاهش اثرات تنش کم‌آبی و بهبود عملکرد گلرنگ و تأثیر هم‌زمان تنش کم‌آبی و حذف برگ‌ها در عملکرد و درصد روغن گلرنگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی استان آذربایجان شرقی با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۸۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۹۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۸/۸ متر از سطح دریا به صورت آزمایش اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۸ در فصل بهار روی رقم گلدشت اجرا شد. فاکتور اصلی تنش شامل کم‌آبی در سه سطح (بدون تنش (شاهد)، تنش از مرحله شروع گل‌دهی، تنش از زمان ۵۰ درصد گل‌دهی) و فاکتور فرعی حذف برگ‌ها و پوشش گل‌آذین در چهار سطح (شاهد (عدم حذف برگ)، حذف برگ تیپ پایین، حذف برگ تیپ بالا و پوشش گل‌آذین بودند. در تیمار حذف برگ‌ها زمانی که بوته‌های گلرنگ به ۱۰ درصد گل‌دهی رسیده باشد با دست و ضد عفونی شده حذف گردید و پوشش گل‌آذین نیز با فویل آلومینیومی پوشانده شد. آبیاری از زمان کاشت تا شروع گل‌دهی با استفاده از تشتک تبخیر آب در کرت‌های بدون تنش خشکی و عادی در زمان ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک

ایالات متحده آمریکا تلاش‌های زیادی برای عرضه ارقام جدید و مناسب گلرنگ صورت گرفته و روز به روز بر اهمیت، سطح زیر کشت و عملکرد دانه این گیاه افزوده می‌شود (Mansouri *et al.*, 2020).

مقاومت به کم‌آبی یک ویژگی مهم در گیاهان جهت افزایش عملکرد گیاهان است. برای بهبود این ویژگی، اصلاح گیاهان نیازمند تغییرات اساسی در خصوصیات ویژه‌ای از گیاه است که در نهایت باعث افزایش مقاومت گیاهان به کم‌آبی می‌شود (Maleki *et al.*, 2013). گلرنگ به عنوان گیاهی سازگار به مناطقی با بارندگی زمستانه و بهاره اندک و هوای خشک در طول دوره گل‌دهی، پر شدن دانه از یک سو و با داشتن ریشه‌های طولی و با توان جذب آب بالا از بخش‌های عمیق‌تر خاک از سوی دیگر، دانه روغنی متحمل به کمبود آب به حساب می‌آید (Zaffaroni, 2020).

مطالعات نشان داده که تنش خشکی می‌تواند روی رشد اندام‌های مختلف گیاه تأثیر و منجر به تغییر در خصوصیات مورفولوژیکی گیاه شود، در گیاهان متحمل به خشکی در کل بافت گیاه، سطوح مولکولی و فیزیولوژیکی تغییرات ایجاد می‌شود. ظهور یک یا ترکیبی از تغییرات اصلی توانایی گیاهان را به تحمل کاربرد محدود آب تعیین می‌کند (Caser *et al.*, 2018). تنش کمبود آب از طریق تغییر رنگ برگ‌ها و سپس پیری زودرس آن‌ها سبب کاهش فتوسنتز و شاخص سطح برگ گلرنگ می‌شود (de Lima Bueno *et al.*, 2020). گزینش ژنوتیپ‌های بهاره گلرنگ در شرایط کشت آبی بر مبنای قطر ساقه، قطر طبق، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه باعث بهبود عملکرد دانه می‌گردد (Ali *et al.*, 2020). تجمع اسمیلات‌ها در دانه و تنفس کانوبی مخازنی مشابه از نظر میزان مصرف و عمده‌ترین مخازن بعد از گرده‌افشانی و در طی پر شدن دانه‌ها هستند که تأمین نیاز این دو مخزن بیش از ظرفیت فتوسنتزی کانوبی است؛ بنابراین ذخایر ساقه در نهایت برای تأمین نیاز اسمیلات‌های دانه‌ها نیاز خواهند بود. باید در نظر داشت که میزان فتوسنتز گیاه در صورت وقوع خشکی بعد از گرده‌افشانی به شدت کاهش می‌یابد (Liu *et al.*, 2020). روابط مختلف منبع و مخزن مطلوب برای عملکرد بالا بین گیاهان زراعی یا حتی درون یک گونه گیاهی در شرایط مختلف، مستلزم درک مکانیکی تداخل منبع و مخزن می‌باشد؛ بنابراین آب و هوای

سانتی متری پشته به صورت خشکه کاری کاشته شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری های بعد با فاصله هر پنج روز یکبار اعمال گردید. پس از کاشت و استقرار بوته ها، در مرحله ی دو الی چهار برگی اقدام به تنک و وجین گردید و عملیات وجین تا پایان رشد رویشی ادامه یافت. مبارزه با مگس گلرنگ با سم دیازینون در اواخر تیرماه و مبارزه با سفیدک گلرنگ با سم توپاس در اوسط مردادماه انجام شد.

تبخیر آب انجام گرفت. در کرت های دارای تنش کم آبی، آبیاری در زمان ۱۶۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر آب انجام گرفت. قبل از کاشت از عمق ۳۰-۰ سانتی متری مزرعه نمونه خاک تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آنالیز خاک در جدول ۱ ارائه شده است. ابعاد هر کرت دو در سه متر مربع بود. قبل از کاشت، بذور با قارچ کش بنومیل دو در هزار تیمار گردید. در مزرعه بذور گلرنگ در محل داغ آب پشته هایی که به فاصله ۳۰ سانتی متری از هم قرار داشتند و در عمق ۱/۵

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Some physical and chemical properties of the studied soil

هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	بافت خاک Soil texture
1.42	8.17	1.29	0.12	51.85	1085	لومی شنی Sandy loam

اندازه گیری صفات رشدی و عملکردی

بعد از حذف اثرات حاشیه ای تعداد ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب شد و متغیرهای وزن خشک اندام های هوایی، قطر طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در واحد سطح مورد ارزیابی قرار گرفتند. ابزارهای مورد استفاده خطکش (برای اندازه گیری ارتفاع بوته)، کولیس دیجیتالی (برای اندازه گیری قطر طبق) و ترازوی دیجیتالی (برای وزن هزار دانه و وزن خشک اندام های هوایی) بودند. برای اندازه گیری دمای برگ با استفاده از دما سنج مادون قرمز مدل 825-T₂ ساخت کارخانه تستو ایتالیا اندازه گیری شد. تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و دمای آن ها اندازه گیری و میانگین مربوطه تعیین شد. هم چنین اندازه گیری دمای برگ بین ساعات ۱۱ الی ۱۴ صورت گرفت.

شاخص سبزینگی

برای این منظور در مرحله حداکثر رشد رویشی (اوایل دوره پر شدن دانه) با استفاده از دستگاه اسپاد^۱ شاخص سبزینگی در پنج بوته و از سه لایه مختلف پایین، وسط و بالای بوته در یک برگ انتخاب شده اندازه گیری شد.

درصد روغن

استخراج روغن با استفاده از حلال دی اتیل اتر صورت گرفت. بدین منظور دو گرم بذر برای روغن گیری پودر و به داخل لوله های آزمایشی ریخته شد. حدود ۱۰ میلی لیتر از حلال دی اتیل اتر به لوله های آزمایشی اضافه شد و محلول آماده سازی شده با استفاده از دستگاه ورتکس هم زده شد تا محلول یکنواختی بدست آید. سپس، محتوای لوله های آزمایشی به داخل فالکون ۵۰ میلی لیتری انتقال داده شدند. فالکون ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از رسوب تفاله های بذر در قسمت انتهایی فالکون ها، محلول باقی مانده در قسمت بالایی فالکون ها که شامل دی اتیل اتر همراه با روغن بذور بود، جمع آوری شده و محتویات آن به لوله ی آزمایشی دیگری که از قبل وزن شده بود ریخته شد. به منظور جداسازی حلال از ماده ی روغنی، محلول ها به داخل دستگاه آون با دمای ۳۰ درجه ی سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت منتقل شدند. پس از تبخیر و جدا شدن حلال دی اتیل اتر، تنها ماده ی باقی مانده روغن گلرنگ بود که وزن آن با کسر وزن لوله ی آزمایشی محتوی روغن از لوله ی آزمایشی که از قبل وزن شده بود بدست آمد (Zeinali et al., 2018). برای محاسبه عملکرد روغن درصد روغن در عملکرد بذر در هکتار ضرب و عملکرد روغن بدست آمد.

1. SPAD

آنالیز آماری

فتوسنتزی به اندام‌های زایشی هستند (Rossi and Privitello, 2019).

قبل از تجزیه آماری، تست نرمال بودن داده‌ها انجام و سپس تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری صفات مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

قطر طبق

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس قطر طبق به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای آبیاری و حذف اندام فتوسنتزی قرار گرفت اما برهم‌کنش سطوح آبیاری و حذف اندام تأثیر معنی‌داری بر قطر طبق نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های قطر طبق تحت تأثیر تیمار تنش نشان داد که تیمارهای اعمال تنش نتایج متفاوتی را بر قطر طبق گلرنگ باعث شدند؛ به طوری که تیمار اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی کاهش معنی‌دار ۱/۷ درصدی را در قطر طبق گلرنگ باعث شد، در حالی که تیمار اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی به طور معنی‌داری بر این صفت افزود و این صفت را به میزان ۷ درصد افزایش داد (جدول ۴). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌های قطر طبق تحت تأثیر حذف اندام، تیمارهای حذف برگ‌های پایین بوته و پوشش گل‌آذین تأثیر معنی‌داری بر قطر طبق نداشت و تنها حذف برگ‌های بالای بوته اثر معنی‌دار کاهشی بر این صفت داشت، در تیمار حذف برگ‌های بالای بوته قطر طبق در مقایسه با عدم حذف اندام به میزان ۱۹/۲ درصد کمتر بود (جدول ۵).

تحقیقات نشان داده که کم‌آبی کاهش معنی‌داری را در تعداد برگ‌های گلرنگ باعث می‌شود و کاهش میزان تولید اسمیلات‌های تولیدی تحت تأثیر کم‌آبی دلیل اصلی کاهش رشد طبق تحت تأثیر کم‌آبی می‌باشد (Ghassemi-Golezani and Mammabi, 2019). کاهش در قطر طبق با اعمال تنش در مرحله شروع گل‌دهی کاملاً منطقی به نظر می‌رسد؛ چرا که بعد از این مرحله طبق‌ها شروع به رشد می‌کنند و تنش با اعمال محدودیت‌هایی بر میزان تولید اسمیلات‌ها و انتقال آن‌ها از برگ‌ها به طبق، از رشد طبق می‌کاهد (Hahn et al., 2020). مطالعه‌ای نشان داد که برگ‌های بخش بالایی گیاهان، مهم‌ترین نقش را عملکرد دانه دارند، زیرا این اندام‌ها، نزدیک‌ترین منابع

وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که وزن هزار دانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای آبیاری و تیمار حذف اندام فتوسنتزی قرار گرفت و برهم‌کنش سطوح آبیاری و حذف اندام بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری بر وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه (۴۲/۷ گرم) مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین وزن هزار دانه (۴۲/۱ گرم) مربوط به تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی بود (جدول ۴). هم‌چنین مقایسه میانگین تیمار حذف اندام نشان داد بین تیمارهای حذف برگ‌های پایین بوته و حذف برگ‌های بالای بوته با عدم حذف اندام اختلاف معنی‌داری وجود داشت، ولی در تیمار پوشش گل‌آذین وزن هزار دانه کمتری در مقایسه با عدم حذف اندام به دست آمد. در تیمار پوشش گل‌آذین وزن هزار دانه ۳۸/۸ گرم بود که در مقایسه با عدم حذف اندام به میزان ۱۲/۴ درصد کمتر بود (جدول ۵). بر اساس یافته‌های محققین پوشش گل‌آذین در گلرنگ نقش مهمی را در پر شدن دانه‌های گلرنگ دارند (Iamonico and Mokni, 2019)، هم‌چنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که گل‌آذین از مهم‌ترین منابع فتوسنتزی در پر شدن دانه‌ها به شمار می‌آید. در مطالعات دیگران با بررسی ارقام گلرنگ بهاره گزارش کردند که وزن هزار دانه تحت تنش خشکی قرار گرفت در گلرنگ از بین اجزای عملکرد، وزن هزار دانه از بقیه مهم‌تر است زیرا بسیاری از عوامل تنش‌زای محیطی که در دوره پر شدن دانه تظاهر می‌کند، با ایجاد پوکی دانه به رغم اندازه معمول آنها موجب سبک شدن دانه‌ها و کاهش عملکرد می‌گردد (Heshmati et al., 2017).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد سطوح آبیاری، حذف اندام و برهم‌کنش سطوح آبیاری و حذف اندام در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گلرنگ داشتند (جدول ۲). مقایسات میانگین نشان داد در سطوح بدون تنش بیشترین میزان عملکرد دانه، به میزان ۱۳۰۵ کیلوگرم در هکتار، مربوط به عدم حذف برگ بود و کم‌ترین میزان عملکرد دانه به

تولید دانه را کاهش می‌دهد، لذا منجر به ضعیف شدن رابطه بین اسمیلات‌ها و تعداد دانه و نازایی گلچه‌ها می‌شود (Moosavi *et al.*, 2017). کم آبی در مراحل پس از گل‌دهی نیز کاهش شدیدی را در عملکرد دانه با کاستن از تعداد و وزن دانه‌ها باعث می‌شود. از دلایل مهم کاهش در تعداد دانه و وزن دانه‌ها، کاهش دوره پر شدن دانه و کاهش سطح سبز گیاه قابل ذکر هستند (Herrmann *et al.*, 2020). بررسی‌ها نشان داده که با اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی، به دلیل مشکلات ایجاد شده در اثر گرده‌افشانی و باروی گلچه‌ها، تعداد دانه‌های تشکیل شده کاهش می‌یابد (Mangwe *et al.*, 2020). علی‌رغم این یافته‌ها در بررسی حاضر تعداد دانه تحت تأثیر کم آبی قرار نگرفت، با این وجود نمی‌توان تأثیر کم آبی در مرحله آغاز گل‌دهی بر تشکیل دانه‌ها را نادیده گرفت. با این وجود با اعمال تنش در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی، کم آبی تنها با کاهش اسمیلات‌های مورد نیاز برای پر شدن دانه‌ها، از عملکرد دانه می‌کاهد (Barker Plotkin *et al.*, 2021).

میزان ۱۲۳۴ کیلوگرم در هکتار مربوط به حذف برگ تیپ بالا بود. در سطوح تنش از مرحله گل‌دهی بیشترین میزان ۱۱۱۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به عدم حذف برگ و کم‌ترین میزان عملکرد دانه ۱۰۰۸/۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به حذف برگ تیپ بالا بود. در شرایط تنش از زمان ۵۰ درصد گل‌دهی بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به ترتیب مربوط به عدم حذف برگ و حذف برگ تیپ بالا به میزان ۱۲۱۱/۶ و ۱۱۲۵/۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (شکل ۱).

مهم‌ترین و تأثیرگذارترین فاکتور در گیاهان زراعی صفت عملکرد دانه می‌باشد. به نظر می‌رسد در مرحله‌ی رشد رویشی تنش خشکی منجر به کاهش سطح برگ، شاخص سطح برگ و فتوسنتز در واحد سطح برگ می‌شود. در نتیجه کاهش عملکرد در این مرحله به واسطه‌ی کاهش تعداد دانه در غوزه می‌باشد کاهش عملکرد در مرحله‌ی زایشی به واسطه‌ی کاهش دوره‌ی پر شدن دانه‌ها، کوچک شدن دانه‌ها و کاهش وزن دانه‌ها می‌باشد (Jamali *et al.*, 2020). کم آبی سنتز هورمون‌های درگیر در

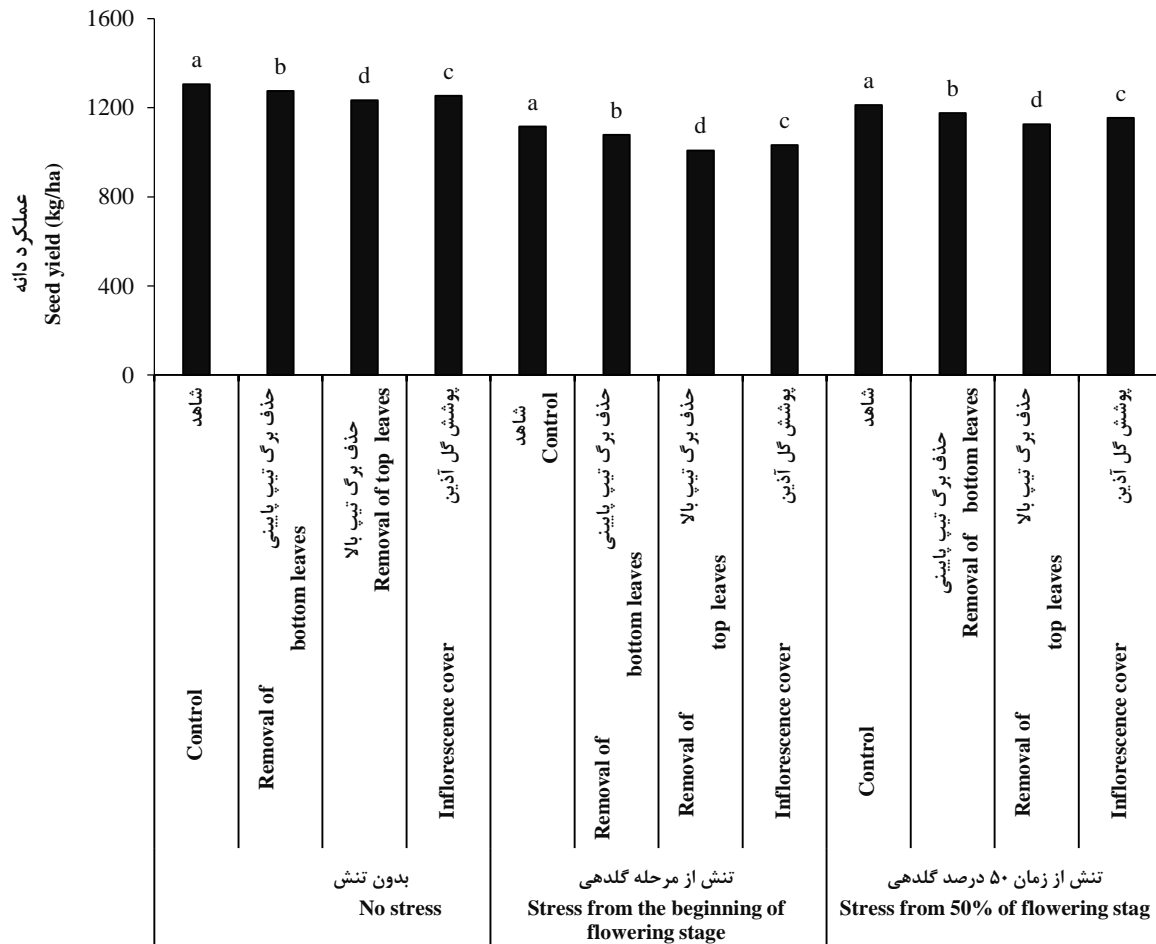
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت تنش کم آبی و حذف اندام‌های مختلف فتوسنتزی روی گلرنگ بهاره

Table 2- Analysis of variance for study characteristics under water stress and removal of different photosynthetic organs on spring safflower

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square				
		قطر طبق Head diameter	وزن هزار دانه 1000 Seeds weight	عملکرد دانه Seed yield	زیست توده Biomass	دمای برگ Leaf temperature
تکرار Replication	2	15.25*	71.31*	257**	421.52**	0.91 ^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	2	4.08*	1.23*	130697**	342896*	5.50**
خطای اصلی Main error	4	2.83	22.53	32.91	219.44	0.38
حذف اندام Removal organ (R)	3	3.62*	75.33*	12954**	36411**	0.97 ^{ns}
آبیاری × حذف اندام I × R	6	3.04 ^{ns}	27.25 ^{ns}	275.5**	3763**	0.89 ^{ns}
خطای کل Total error	18	2.93	16	32.5	0.69	0.54
ضریب تغییرات C.V (%)		13.17	9.45	0.49	0.32	2.70

ns, *, ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, ** not significant, Significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر حذف منابع فتوسنتزی روی عملکرد دانه تحت شرایط تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد (حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد)

Figure 1- Effect of removal of different photosynthetic organs and water stress at different growth stages on seed yield (Means within a column followed by the same letters have not significantly difference ($p \leq 0.05$)).

عملکرد زیست‌توده

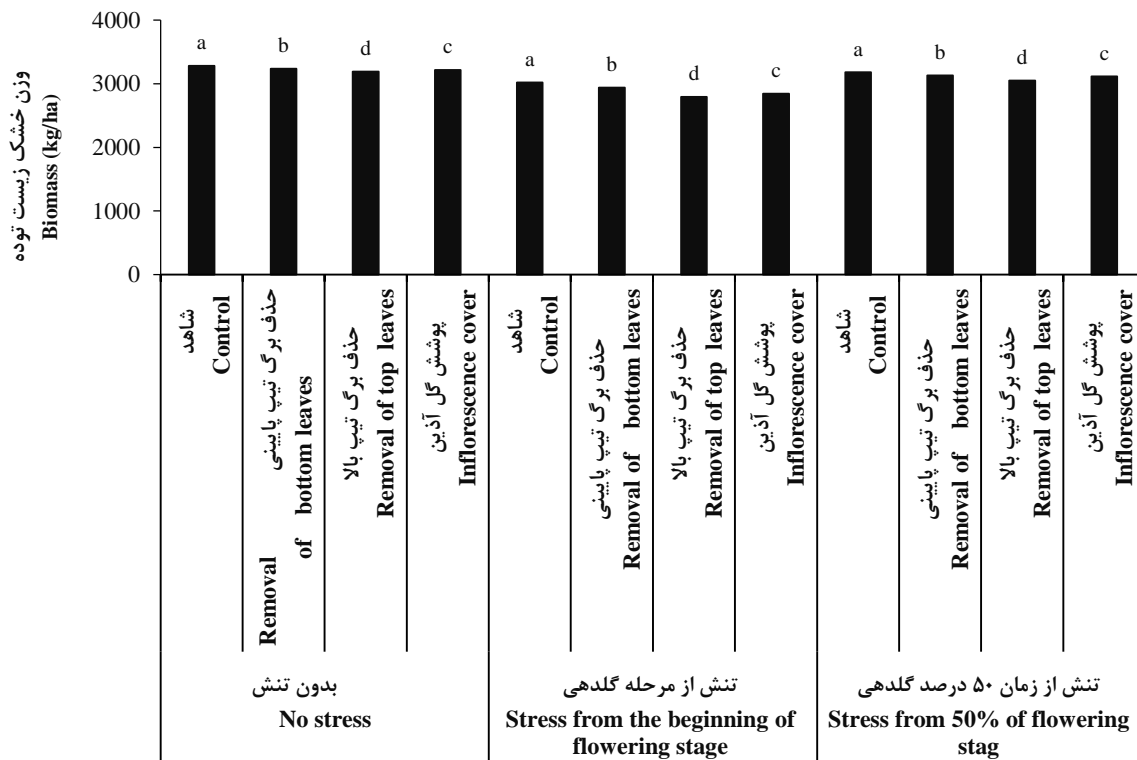
از مرحله شروع گل‌دهی کاهش بیشتری در وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی به دست آمد. هم‌چنین مقایسات میانگین تیمار حذف اندام‌های فتوسنتز کننده نشان می‌دهد بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی مربوط به تیمار شاهد و کمترین مربوط به حذف برگ‌های بالا می‌باشد. تیمارهای حذف برگ‌های پایین بوته، حذف برگ‌های بالای بوته و پوشش گل‌آذین به ترتیب ۱/۸، ۴/۷ و ۳/۲ درصد از وزن خشک اندام هوایی بوته‌های گل‌رنگ کاست که این کاهش نشان می‌دهد که برگ‌های بالای بوته‌های گل‌رنگ بیشترین تأثیر را در افزایش وزن خشک اندام هوایی بوته‌های گل‌رنگ دارند (شکل ۲).

بررسی‌ها نشان داده که برگ‌های بالای بوته‌ها به دلیل موقعیت خود نور بیشتری را نسبت به برگ‌های پایینی جذب

نتایج تجزیه واریانس برای صفت وزن خشک زیست‌توده بیانگر این است که سطوح آبیاری در سطح احتمال یک درصد و حذف اندام‌ها و برهم‌کنش سطوح آبیاری و حذف اندام‌ها در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند (جدول ۲). مقایسات میانگین نشان داد بیشترین وزن خشک زیست‌توده در تیمار بدون تنش به دست آمد و در تیمارهای اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی و اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی وزن خشک اندام هوایی کمتری در مقایسه با بدون تنش مشاهده گردید. در تیمارهای اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی و اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی وزن خشک زیست‌توده بوته‌های گل‌رنگ به ترتیب ۲۸۹۹ و ۳۱۱۸ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به این نتایج در تیمار اعمال تنش

فتوسنتز توجیه می‌کند. در مطالعه‌ای تنش کم آبی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی گلرنگ گردید و محققان بیان کردند این کاهش می‌تواند ناشی از کاهش سطح فتوسنتزی گیاه باشد که باعث کاهش اسمیلات‌های مورد نیاز برای رشد می‌شود (Hussain *et al.*, 2020).

می‌کنند و بنابراین از تولید اسمیلات‌های بیشتری برخوردارند (Al-Samarrae *et al.*, 2020). از سوی دیگر برگ‌های بالای بوته جوان‌تر بوده و کارایی جذب و اسمیلاسیون بیشتری را نسبت به برگ‌های پایین بوته دارند (Musacchi *et al.*, 2021) که این مسئله به وضوح نقش مهم برگ‌های بالای بوته را در امر



شکل ۲- تأثیر حذف منابع فتوسنتزی و تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد روی وزن خشک زیست توده (حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد)

Figure 2- Effect of removal of different photosynthetic organs and water stress at different growth stages on biomass (Means within a column followed by the same letters have not significantly difference ($p \leq 0.05$)).

می‌توان به شاخص‌های فیزیولوژیکی معینی نسبت داد و به طور غیرمستقیم وضعیت آبی گیاه را برآورد کرد. بدیهی است هرچه شدت تنش وارده به گیاه بیشتر باشد، اختلاف دمای هوا و برگ نیز بیشتر خواهد بود. دمای بالای برگ در گیاهان تحت تنش خشکی نسبت به محیط مجاور، نشان‌دهنده بسته شدن روزنه‌ها، تبادل گازی ضعیف و کاهش خنک شدن گیاه به وسیله تعرق می‌باشد. در صورتی که در شرایط بدون تنش خشکی، دمای برگ‌ها پایین‌تر از هوای مجاور است. کاهش سطح برگ بر اثر تنش خشکی موجب انتقال سریع دمای برگ به سطح آن گردیده و باعث افزایش دمای برگ می‌شود (Aziz *et al.*, 2018).

دمای برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر آبیاری در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر دمای برگ داشت اما حذف اندام‌های فتوسنتزی بر دمای برگ تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). مقایسات میانگین رژیم کم آبی نشان داد در بین سطوح تنش، تنش از مرحله دانه بستن بیشترین دمای برگ (۲۷/۹ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین آن در سطوح بدون تنش (شاهد) به میزان ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید (جدول ۴). استفاده از دامسنج مادون قرمز ابزار مفیدی در تشخیص تنش کم آبی وارده به گیاه است؛ به عبارت دیگر، دمای برگ را

میانگین ۲۹۲/۴ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین با مقدار ۲۷۹/۱ کیلوگرم در هکتار از تیمار تنش از مرحله گل‌دهی به دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین در مقایسات میانگین تیمار حذف اندام‌ها بیشترین عملکرد روغن از تیمار شاهد (بدون تنش) با میانگین ۲۹۸/۸ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین عملکرد روغن در حذف برگ‌های تیپ بالا ۲۷۹/۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۵). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که روند تغییرات عملکرد روغن معنی‌دار می‌باشد که این نتایج نشان می‌دهد نقش عملکرد دانه در تغییر عملکرد روغن، بیشتر از درصد روغن می‌باشد و حذف اندام تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر درصد روغن گلرنگ نداشت. در طی بررسی روی گلرنگ کاهش معنی‌داری را در عملکرد روغن دانه تحت تأثیر کم‌آبی به دست آوردند. این محققین کاهش درصد روغن و حتی عملکرد دانه را دلیل بر افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر کم‌آبی گزارش نمودند (Dev et al., 2020). در مطالعه‌ای روی آفتابگردان نتایج نشان داد که حذف برگ‌های بالای بوته‌های آفتابگردان بیشترین کاهش را در عملکرد روغن باعث می‌شود (Hassan et al., 2021).

در آزمایشی دمای برگ صفت مناسبی در گزینش ژنوتیپ‌های بهاره متحمل به خشکی گلرنگ بوده است و تغییرات دمای تاج پوشش برگ با شدت تنش خشکی همبستگی داشته و با کاهش آب قابل استفاده خاک، پتانسیل آب گیاه و در نتیجه تعرق برگ، دمای تاج پوشش برگ افزایش می‌یابد. هم‌چنین دمای تاج پوشش برگ با محتوای نسبی آب برگ همبستگی داشته و با کاهش آن، افزایش می‌یابد (Kumar and Sharma 2010). در مطالعه‌ای دمای برگ آفتابگردان در شرایط کمبود آب حدود ۵-۳ درجه سانتی‌گراد بیشتر از برگ‌های بدون تنش دیده بود (Humplik et al., 2015).

عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که سطوح آبیاری و حذف اندام‌ها در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد روغن گلرنگ داشتند، اما اثر متقابل سطوح آبیاری و حذف اندام‌ها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های عملکرد روغن تحت تأثیر تیمارهای سطوح آبیاری نشان داد بیشترین عملکرد روغن از تیمار شاهد با

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت تنش کم‌آبی و حذف اندام‌های مختلف فتوسنتزی روی گلرنگ بهاره

Table 3- Analysis of variance for study characteristics under water stress and removal of different photosynthetic organs on spring safflower

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square		
		شاخص کلروفیل Chlorophyll index	عملکرد روغن Oil yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	65.75 ns	73.92 ^{ns}	0.079 ^{**}
آبیاری Irrigation (I)	2	101.88 ^{ns}	873.8 ^{**}	22.69 ^{**}
خطای اصلی Main error	4	47.05	5.587	0.008
حذف اندام Removal organ (R)	3	147.36 [*]	592.7 ^{**}	1.862 ^{**}
آبیاری × حذف اندام I × R	6	28.25 ^{ns}	68 ^{ns}	0.033 ^{**}
خطای کل Total error	18	28.11	29.1	0.00075
ضریب تغییرات C.V (%)		7.20	1.86	0.22

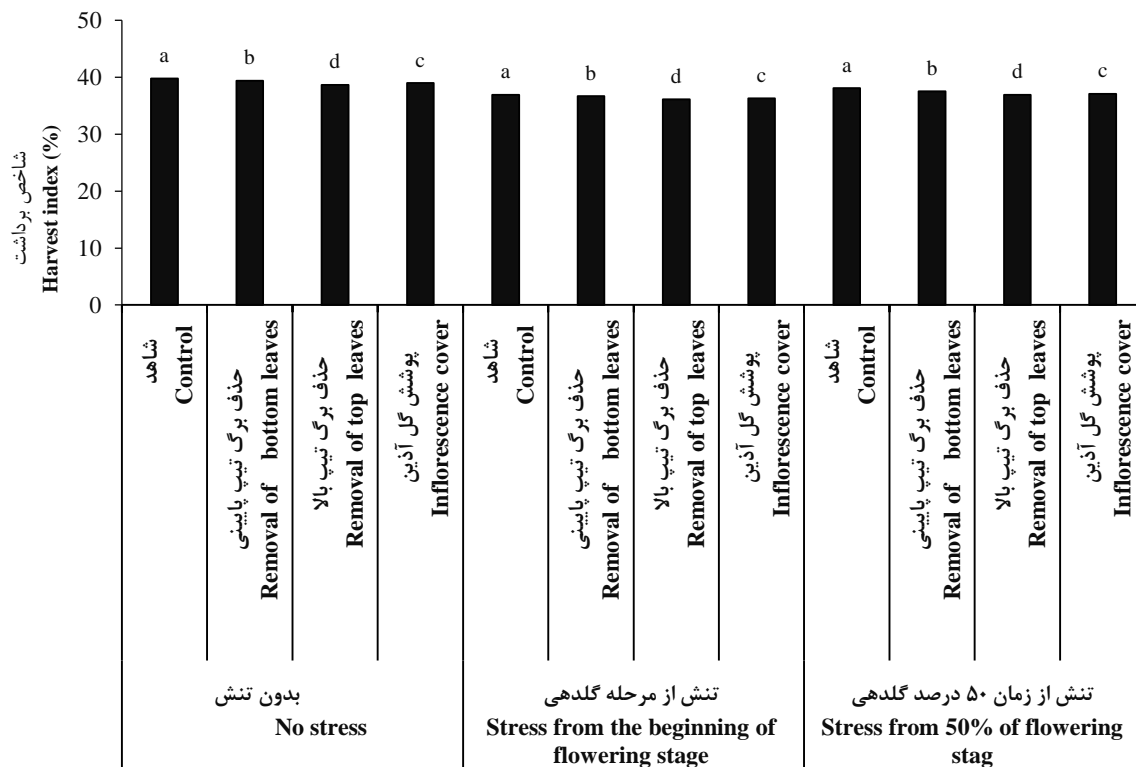
ns, *, ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, ** not significant, Significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

شاخص برداشت

درصد) مربوط به عدم حذف برگ‌ها بود (شکل ۳). تغییرات شاخص برداشت در سطوح مختلف آبیاری بستگی به تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی و دانه دارد به عبارت دیگر، اگر تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی بیشتر از عملکرد دانه باشد، در این صورت با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص برداشت افزایش پیدا می‌کند. در تحقیقی کاهش معنی‌داری در شاخص برداشت گلرنگ تحت تأثیر کم آبی به دست آمد. این محققین اظهار داشتند که با اعمال کم آبی در مرحله زایش که رشد تقریباً پایان یافته، از عملکرد اقتصادی کاسته می‌شود، ولی در وزن خشک اندام هوایی تغییری حاصل نگردید که این امر باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود (Farooq *et al.*, 2020). حذف منبع باعث کاهش اسمیلات‌ها برای پر شدن دانه می‌شود و بنابراین از شاخص برداشت کاسته می‌شود (Hunter *et al.*, 2020).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح آبیاری، حذف اندام و اثر متقابل سطوح آبیاری و حذف اندام در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشتند (جدول ۳). مقایسات میانگین نشان داد تیمارهای اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی و اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی کاهش معنی‌داری را در شاخص برداشت باعث شدند در سطوح بدون تنش بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۹/۷ درصد) مربوط به عدم حذف برگ بود و کم‌ترین میزان شاخص برداشت (۳۸/۶ درصد) مربوط به حذف برگ‌های تیپ بالا بود. در سطوح تنش از مرحله گل‌دهی بیشترین و کم‌ترین میزان شاخص برداشت به ترتیب (۳۶/۹ درصد) و (۳۶/۱ درصد) مربوط به عدم حذف برگ و حذف برگ‌های تیپ بالا بود. همچنین در سطوح تنش از زمان ۵۰ درصد گل‌دهی بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۸/۱)



شکل ۳- تأثیر حذف منابع فتوسنتزی و تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد روی شاخص برداشت (حروف‌های یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد)

Figure 3- Effect of removal of different photosynthetic organs and water stress at different growth stages on harvest index (Means within a column followed by the same letters have not significantly difference ($p \leq 0.05$)).

شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که حذف اندام در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل داشت، اما سطوح آبیاری و اثر متقابل سطوح آبیاری و حذف اندام تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳). مقایسات میانگین نشان داد که شاخص کلروفیل بین تیمارهای عدم حذف اندام با حذف برگ‌های بالای بوته و پوشش گل‌آذین اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی در تیمار حذف برگ‌های پایین بوته شاخص کلروفیل بیشتری در مقایسه با عدم حذف اندام به دست آمد. دو تیمار حذف برگ‌های پایین بوته شاخص کلروفیل ۷۸/۳ بود که در مقایسه با عدم حذف اندام به میزان ۷/۴ درصد بیشتر بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد حذف برگ‌های پایین با تخصیص مواد غذایی بیشتر به برگ‌های بالا باعث افزایش شاخص کلروفیل برگ‌های گلرنگ شده است؛ چرا که با حذف برگ‌های پایین،

میزان مخازن دریافت‌کننده مواد غذایی مورد نیاز برای تولید کلروفیل و از جمله نیتروژن و آهن کاهش یافته و برگ‌های بالا مواد غذایی بیشتری را دریافت می‌کنند که می‌تواند در تولید کلروفیل به کار برود (Raghavendra and Reddy, 2020). محتوی کلروفیل یک عامل محدود کننده غیر روزنه‌ای فتوسنتز محسوب می‌شود؛ بنابراین کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند یکی از عوامل کاهش فتوسنتز باشد. همبستگی مثبت بین محتوای کلروفیل و سرعت فتوسنتز در مرحله اوج تنش نیز تأییدی بر این مسئله است (Kamali and Shahabian, 2021). در تحقیقی گزارش داده شد که برگ‌های گیاهان ذرت و گندم تحت تنش کم‌آبی نسبت به برگ‌های همان گیاهان تحت آبیاری مطلوب، دارای عدد کلروفیل بالاتری بودند (Yang et al., 2020).

جدول ۴- اثر سطوح آبیاری در مراحل مختلف رشد بر صفات مورد مطالعه گلرنگ بهاره

Table 4- Effect of water stress at different growth stages on characteristics of safflower

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	قطر طبق Head diameter (cm)	وزن هزار دانه 1000 Seeds weight (g)	عملکرد روغن Oil yield (kg)	عملکرد دانه Seed yield (kg)	دمای برگ Leaf temperature (°C)	زیست توده Biomass (kg)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	شاخص برداشت Harvest index (%)
بدون تنش No stress	12.75 a	42.77 a	292.4 a	1267 a	26.60 b	3232.08 a	71.14 a	39.19 a
تنش از مرحله گلدهی Stress from the beginning of flowering stage	12.58 a	42.28 a	279.1 b	1058.3 c	26.98 b	2899.5 c	76.84 a	36.49 c
تنش از مرحله ۵۰ درصد گلدهی Stress from 50% of flowering stage	13.66 a	42.16 a	295.07 a	1166.9 b	27.92 a	3118.7 b	72.94 a	37.41 b

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

Means within a column followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

جدول ۵- تأثیر حذف اندام‌های مختلف فتوسنتزی روی صفات گلرنگ

Table 5- Effect of removal of different photosynthetic organs on characteristics of safflower

حذف اندام‌های فتوسنتزی	قطر طبق	وزن هزار دانه	عملکرد روغن	عملکرد دانه	زیست توده	شاخص کلروفیل	شاخص برداشت
Removal of different photosynthetic organs	Head diameter (cm)	1000 Seeds weight (g)	Oil yield (kg)	Seed yield (kg)	Biomass (kg)	Chlorophyll index	Harvest index (%)
شاهد Control	13 a	44.30 a	298.8 a	1210.5 a	3161.1 a	72.95 bc	38.25 a
حذف برگ‌های پایین Removal of leaves of bottom	12.66 a	45.17 a	291.1 b	1176.2 b	3102.7 b	78.38 a	37.86 b
حذف برگ‌های بالا Removal of leaves from the top	13.88 a	41.28 ab	279.6 c	1122.6 d	3012.2 d	74.60 ab	37.22 d
پوشش گل آذین Inflorescence cover	12.44 a	38.86 b	286.01 b	1146.8 c	3057.7 c	68.62 c	37.46 c

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

Means within a column followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری کلی

سایر صفات، تمامی تیمارهای حذف اندام کاهش معنی‌داری را باعث شد که نشان‌دهنده اهمیت هر سه منبع فتوسنتزی برگ‌های پایین، برگ‌های بالا و گل آذین در این صفات می‌باشد. با این وجود با توجه به نتایج مهم‌ترین منبع فتوسنتزی در بیوماس، عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت، برگ‌های بالای بوته بود. بر اساس نتایج حاصل عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای حذف برگ‌های پایین بوته، حذف برگ‌های بالای بوته و پوشش گل آذین به ترتیب به میزان ۲/۸، ۷/۲ و ۵/۲ درصد کاهش یافت. لذا این نتایج نشان می‌دهد که منبع فتوسنتزی گل آذین نیز نقش مؤثری را در عملکرد دانه گلرنگ و در نتیجه عملکرد روغن دارد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

در این مطالعه تیمار اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی در قطر طبق گلرنگ، بیوماس، عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت کاهش بیشتری را در مقایسه با اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی باعث شد. تیمارهای اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی و اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی کاهش به ترتیب ۱۶/۴ و ۷/۹ درصدی را در عملکرد دانه‌های گلرنگ باعث گردید. لذا تنش از مرحله شروع گل‌دهی کاهش بیشتری را باعث می‌شود که با توجه به نتایج ناشی از کاهش تعداد دانه بود. بر اساس نتایج این مطالعه تنها تیمار حذف برگ‌های پایین بوته به طور معنی‌داری و به میزان ۷/۴ درصد بر شاخص کلروفیل برگ‌های گلرنگ افزود، وزن هزار دانه نیز تنها تحت تأثیر پوشش گل آذین قرار گرفت. تیمار پوشش گل آذین کاهش ۱۲/۴ درصدی را در وزن هزار دانه گلرنگ باعث شد. در

References

- Ali, F., Yilmaz, A., Chaudhary, H.J., Nadeem, M.A., Rabbani, M.A., Arslan, Y. and Baloch, F.S. 2020. Investigation of morphoagronomic performance and selection indices in the international safflower panel for breeding perspectives. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(2): 103-120.

- Al-Samarrae, R.R., Atabani, A.E., Uguz, G., Kumar, G., Arpa, O., Ayanoglu, A. and Farouk, H.** 2020. Perspective of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as a potential biodiesel feedstock in Turkey: characterization, engine performance and emissions analyses of butanol–biodiesel–diesel blends. *Biofuels*, 11(6): 715-731.
- Aziz, A., Akram, N.A. and Ashraf, M.** 2018. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123: 192-203.
- Barker Plotkin, A., Blumstein, M., Laflower, D., Pasquarella, V.J., Chandler, J.L., Elkinton, J.S. and Thompson, J.R.** 2021. Defoliated trees die below a critical threshold of stored carbon. *Functional Ecology*, 35(10): 2156-2167.
- Bhattacharai, B., Singh, S., Angadi, S.V., Begna, S., Saini, R. and Auld, D.** 2020. Spring safflower water use patterns in response to pre-season and in-season irrigation applications. *Agricultural Water Management*, 228: 105876.
- Caser, M., D'Angiolillo, F., Chitarra, W., Lovisolo, C., Ruffoni, B., Pistelli, L. and Scariot, V.** 2018. Ecophysiological and phytochemical responses of *Salvia sinaloensis* Fern. to drought stress. *Plant Growth Regulation*, 84(2): 383-394.
- Cortleven, A., Leuendorf, J.E., Frank, M., Pezzetta, D., Bolt, S. and Schmölling, T.** 2019. Cytokinin action in response to abiotic and biotic stresses in plants. *Plant Cell Environment*, 42(3): 998-1018.
- De Lima Bueno, P., Santos, R.F., Bassegio, D., Lewandoski, C.F., Maziero, C.L., de Souza, D.M. and Montiel, C.B.** 2020. Safflower genotypes affected by nitrogen fertilization in subtropical conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 14(9): 1420-1426.
- Dev, S., Sachan, A., Dehghani, F., Ghosh, T., Briggs, B.R. and Aggarwal, S.** 2020. Mechanisms of biological recovery of rare-earth elements from industrial and electronic wastes: A review. *Chemical Engineering Journal*, 397: 124596.
- FAO.** 2020. Food and Agriculture organization of the United Nations. Retrieved. 3(13): 2012.
- Farooq, A., Bukhari, S.A., Akram, N.A., Ashraf, M., Wijaya, L., Alyemeni, M.N. and Ahmad, P.** 2020. Exogenously applied ascorbic acid-mediated changes in osmoprotection and oxidative defense system enhanced water stress tolerance in different cultivars of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Plants Basel*, 9: 104.
- Ghassemi-Golezani, K. and Mamnabi, S.** 2020. Some physiological responses and yield of maize affected by seed aging and priming duration. *Plant Breeding and Seed Science*, 79: 63-70.
- Hahn, C., Lüscher, A., Ernst-Hasler, S., Suter, M. and Kahmen, A.** 2021. Timing of drought in the growing season and strong legacy effects determine the annual productivity of temperate grasses in a changing climate. *Biogeosciences*, 18(2): 585-604.
- Hassan, N., Qadir, G., Hassan, F.U., Akmal, M. and Sultan, T.** 2021. Impact of phosphate solubilizing bacteria in combination with di-ammonium phosphate on growth and development of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 44(16): 2359-2370.
- Herrmann, I., Bdolach, E., Montekyo, Y., Rachmilevitch, S., Townsend, P.A. and Karnieli, A.** 2020. Assessment of maize yield and phenology by drone-mounted superspectral camera. *Precision Agriculture*, 21(1): 51-76.
- Heshmati, S., Amini Dehaghi, M. and Fathi Amirkhiz, K.** 2017. Effects of biological and chemical phosphorous fertilizer on grain yield, oil seed and fatty acids of spring safflower in water deficit conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1): 159-169.
- Hunter, M.C., Sheaffer, C.C., Culman, S.W. and Jungers, J.M.** 2020. Effects of defoliation and row spacing on intermediate wheatgrass I: Grain production. *Agronomy Journal*, 112(3): 1748-1763.

- Hussain, M.I., Farooq, M., Muscolo, A. and Rehman, A.** 2020. Crop diversification and saline water irrigation as potential strategies to save freshwater resources and reclamation of marginal soils, A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 28695-28729.
- Humplik, J.F., Lazar, D., Husickova, A. and Spichal, L.** 2015. Automated phenotyping of plant shoots using imaging methods for analysis of plant stress responses—a review. *Plant Methods*, 11(1): 29.
- Iamónico, D. and El Mokni, R.** 2019. *Amaranthus palmeri* (*Amaranthaceae* L.) in Tunisia, a second record for the continental African flora and nomenclatural notes on *A. sonoriensis* nom. nov. pro *A. palmeri* var. *glomeratus*. *Bothalia*, 47(1): a2100.
- Jamali, S., Goldani, M. and Zeynodin, S.M.** 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield and water productivity on Quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(6): 1687-1697.
- Kamali, M.I. and Shahabian, M.** 2021. Effects of supplemental irrigation and nitrogen fertilization on yield and qualitative characteristics of wheat in Mazandaran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(6): 2217-2233.
- Kumar, A. and Sharma, K.D.** 2010. Leaf water content—a simple indicator of drought tolerance in crop plants. *Indian Journal of Agricultural Science*, 80: 1095-1097.
- Liu, H., Ma, L., Wang, Z., Liu, Y. and Alsaadi, F.E.** 2020. An overview of stability analysis and state estimation for memristive neural networks. *Neurocomputing*, 391: 1-12.
- Maleki, A., Naderi, A., Naseri, R., Fathi, A., Bahamin, S. and Maleki, R.** 2013. Physiological performance of soybean cultivars under drought stress. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 2(6): 38-44.
- Mangwe, M.C., Bryant, R.H., Moreno Garcia, C.A., Maxwell, T.M. and Gregorini, P.** 2020. Functional traits, morphology, and herbage production of vernalised and non-vernalised chicory cv. Choice (*Cichorium intybus* L.) in response to defoliation frequency and height. *Plants*, 9(5): 611.
- Mansouri, S.M., Mehrparvar, M., Amiri Domari, M. and Mozafari, H.** 2020. Evaluation of physiological indices of induced changes in safflower cultivars under biotic stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(4): 896-905.
- Moosavi, S.G.R., Ramazani, S.H.R., Hemayati, S.S. and Gholizade, H.** 2017. Effect of drought stress on root yield and some morpho-physiological traits in different genotypes of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 20(3): 167-174.
- Musacchi, S., Iglesias, I. and Neri, D.** 2021. Training Systems and Sustainable Orchard Management for European Pear (*Pyrus communis* L.) in the Mediterranean Area: A Review *Agronomy*, 11(9): 1765.
- Naderi, M.R., Nourmohammadi, G., Majidi, H.E., Darvish, F., Shiranirad, A.H. and Madani, H.** 2005. Evaluation of summer safflower response to different intensities of drought stress in Isfahan region. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 7(3): 212-225.
- Nasseri, S., Mahvi, A.H., Seyedsalehi, M., Yaghmaeian, K., Nabizadeh, R., Alimohammadi, M. and Safari, G.H.** 2017. Degradation kinetics of tetracycline in aqueous solutions using peroxydisulfate activated by ultrasound irradiation: effect of radical scavenger and water matrix. *Journal of Molecular Liquids*, 241: 704-714.
- Raghavendra, T. and Reddy, Y.R.** 2020. Efficacy of defoliant on yield and fiber quality of American cotton in semi-arid conditions. *Indian Journal of Agricultural Research*, 54(3): 404-407.
- Rossi, R.E. and Privitello, L.M.** 2019. Defoliation of *Digitaria eriantha* Steudel: forage production, structure and radiation and water use efficiency. *Pastos y Forrajes*, 42(2): 106-116.
- Weiss, M., Jacob, F. and Duveiller, G.** 2020. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environmen*, 236: 111402.

- Yang, H., Zhang, H., Yang, Y., Wang, X., Deng, T., Liu, R. and Ba, Y.** 2020. Hypoxia induced exosomal circRNA promotes metastasis of colorectal Cancer via targeting GEF-H1/RhoA axis. *Theranostics*, 10(18): 8211.
- Zaffaroni, A.** 2020 AdS black holes, holography and localization. *Living Reviews in Relativity*, 23(1): 1-79.
- Zeinali, H., Sameti, H., Stafylakis, T., Burget, L. and Cernocky, J.** 2018. DeepMine Speech Processing Database: Text-Dependent and. *Proc. Odyssey 2018 The Speaker and Language Recognition*, 386-392.

Study the photosynthesis role of leaf and inflorescence in safflower yield and oil content under water deficit stress

Saeid Hazrati^{1*}, Nader Salehnia², Amir Reza Sadeghi Bakhtvari¹, Hadi Asadpour², Bahman Pasban Eslam³

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

² Ms.c Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

³ Crop and Horticultural Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran

*Corresponding Author: saeid.hazrati@azaruniv.ac.ir

Received: 15 December 2021 Accepted: 27 January 2021 DOI: 10.22034/CSRAR.2022.320094.1168

Abstract

Introduction: Drought stress is an unavoidable factor that exists in a wide range of environments without boundaries or clear warning, diminishing plant biomass production and quality. It is caused by changes in temperature, light intensity, and precipitation levels. This is despite its cumulative, multidimensional nature, which has a negative impact on plant morphology, physiological, biochemical, and molecular characteristics, as well as the photosynthetic capacity. Plants evolve different adaptation mechanisms to cope with water scarcity, including physiological and biochemical responses, which vary according to species. Plants respond to drought by altering their growth pattern and structural dynamics, reducing transpiration loss through modulation of stomata conductance and distribution, leaf rolling, varying root-to-shoot ratio dynamics, increasing root length, accumulating compatible solutes, and enhancing transpiration efficiency, adjusting hormone levels, and delaying senescence. The purpose of this study was to examine the photosynthetic role of safflower leaves and inflorescence on seed yield and oil content under water stress at Shahid Madani University of Azarbaijan in 2019 using the spring cultivar (Goldasht).

Materials and Methods: This study examined the effects of different irrigation regimes (no stress, water stress from the beginning of flowering stage, and water stress from 50% of flowering stage) and removing different types of photosynthetic organs (control, removal of leaves from the bottom of the plant, removal of leaves from the top of the plant, and inflorescence cover) on the growth and yield characteristics of safflower. SAS software (version 9.2) was used to perform an analysis of variance (SAS Institute Inc. 2002). At a probability level of 0.05, Duncan's Multiple Range Test was used to separate the means. Using a Class A Evaporation Pan, plots without drought and normal stress were irrigated to a depth of 80 mm from the time of planting until the beginning of flowering. Irrigation was performed at 160 mm evaporation time from water evaporation pans on water-stressed plots.

Results and Discussion: The highest 1000-seed weight (42.7 g) was associated with the control treatment, whereas the lowest weight (42.1 g) was associated with 50% flowering stress. During stress (seed filling stage), leaf temperatures were 27.9 °C and 26.6 °C, respectively (control). At the beginning of the flowering stage and at the 50% flowering stage, water stress reduced seed yield by 16.4% and 7.9%, respectively. The oil yield decreased significantly by 4.4%, only when the stress treatment was applied from the beginning of flowering. According to the results, the most important source of assimilates for safflower seed filling and oil yield is the top leaves. Also, in this study, the petals play an important role in filling the seeds, both under conditions of full irrigation and water stress. Under full irrigation, the highest harvest index (39.7%) was associated with non-removal of leaves, while the lowest harvest index (38.6%) was associated with removal of top leaves. Without removing the leaves, the highest seed yield (1305 kg/ha) was obtained without water stress. There

was no significant difference in chlorophyll index between removing the top leaves of the plant and the inflorescence cover, but more chlorophyll index was obtained by removing the bottom leaves than when organs were not removed. In both treatments, removing the bottom leaves increased the chlorophyll index by 7.4% compared to not removing the leaves.

Conclusion: Studies confirm that removing the leaves at the plant's base increases the chlorophyll index of safflower plants. Additionally, the inflorescence cover plays a significant role in safflower seed and oil yield. Beginning with the flowering stage, safflower seed and oil yields are negatively impacted by water stress.

Keywords: Drought stress, Irrigation, Oil yield, Seed oil, Source and sink