# بررسی کاربرد سوپرجاذب بر برخی صفات فتوسنتزی وفیزیولوژیک گندم در شرایط تنش خشکی

حسین محمودی[۱] و احمد افکاری*[۲]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت، واحد کلیبر، دانشگاه آزاد اسلامی، کلیبر، ایران.

۲) استادیار گروه زراعت، واحد کلیبر، دانشگاه آزاد اسلامی، کلیبر، ایران.

* نویسنده مسئول: **ahmad.afkari55@gmail.com**

**این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.**

**تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۰۱** **تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۰۷**

## چکیده

**تنش خشکی یکی از عوامل مهم محدود کننده رشد و نمو گیاهان زراعی می‌باشد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بارخرد شده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کلیبر در سال زراعی ۱۳۹۶ اجرا گردید. در این آزمایش تأثیر سه سطح تنش خشکی پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در کرت‌های اصلی و سه سطح صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب در کرت‌های فرعی بر صفات فیزیولوژیکی گندم رقم میهن مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب بر هدایت روزنه‌ای، پایداری غشای سلولی، پرولین و شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب نشان داد که حداکثر میزان شاخص کلوفیل ۶/۷۰ درصد، هدایت روزنه‌ای ۷/۴۵ مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه و پایداری عشای سلولی ۴۸/۲۵ درصد توسط تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار کاربرد سوپرجاذب در سطح تنش خشکی ۶۰ میلی‌متر تبخیر حاصل شد. نتایج مقایسه میانگین تیمارها مشخص نمود که بیش‌ترین میزان تعرق ۶/۱۰ میلی‌مول آب در متر مربع در ثانیه، سرعت فتوسنتز ۲۸/۲۳ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه، حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II ۰/۸۹۴ و میزان دی‌اکسیدکربن روزنه‌ای ۵۵۶/۰۲ میلی‌مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه مربوط به تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و بیش‌ترین میزان کروبوهیدات‌های محلول ۱۲۱/۳۱ میکروگرم گلوگز در گرم وزن تر مربوط به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر بود. استفاده از سوپرجاذب به‌طور معنی‌دار صفات فیزیولوژیکی نظیر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شدت تعرق، حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II و شاخص کلروفیل را افزایش داد. بنابراین، تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و مصرف ۷۵ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار به‌عنوان تیمار برتر برای دستیابی به بیش‌ترین میزان صفات فیزیولوژی گندم توصیه می‌گردد.**

**واژه‌های کلیدی:** تعرق، خشکی، سرعت فتوسنتز و فلورسانس کلروفیل.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.46.8.0 ]

**مقدمه**

در کشور ایران اقلیم خشک و نیمه‌خشک اغلب مناطق را تحت اثر قرار داده و به‌خصوص خشکسالی‌های اخیر بر مشکل کم‌آبی افزوده است. در شرایط محدودیت منابع آب، تغییر الگوی کشاورزی به‌سمت کشت گیاهان سازگار به خشکی می‌تواند راهکار بسیار مناسبی باشد (چهل‌گردی و همکاران، ۱۳۹۳). در طی بروز تنش خشکی، گیاهان با ذخیره مواد تنظیم کننده اسمزی همانند اسیدهای آمینه، قندها، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها سعی در مقابله با تنش دارند. در میان ترکیبات آلی، پرولین یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های اسمزی به‌شمار می‌رود (شادمند و افکاری، ۱۳۹۷). در شرایط تنش خشکی و گرما، غشاء سلولی پایداری خود را از دست داده و مواد محلول از سلول تراوش می‌یابد، لذا حفظ تمامیت غشا طی شرایط تنش نشانه‌های از وجود راهکارهای کنترلی در گیاه در تحمل به پسابیدگی است (سی‌وسه‌مرده و همکاران، ۱۳۹۳). به‌نظر می‌رسد که در شرایط تنش خشکی، تنش‌های اکسیداتیو به‌عنوان تنش ثانویه عمل کرده و ضمن کاهش پایداری غشاء سلولی، سرعت فتوسنتز و در نهایت عملکرد را کاهش می‌دهند (Fazeli *et al.*, 2007). بررسی پایداری غشای سلولی یکی از راهکارهای شناخت میزان تحمل تنش‌های محیطی از جمله خشکی در گیاهان می‌باشد (Munns, 2002). Farhoudi و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده نمودند تنش خشکی سبب تخریب شدید غشای سلولی برگ ارقام سویا شد. محتوای کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می باشد (منجم و همکاران، ۱۳۹۰). Ohashi و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده نمودند، تنش خشکی به‌دلیل کاهش غلظت کلروفیل و هدایت روزنه‌ای کاهش فتوسنتز ارقام سویا را در پی داشت. کارایی فتوشیمیایی یک علامت مفید است که برای ارزیابی فتوسیستم II وضعیت سیستم فتوسنتزی گیاه استفاده می‌شود. اندازه‌گیری این صفت غیرمخرب بوده و برای مقاصد آزمایشگاهی و مزرعه‌ای به‌کار می‌رود (Flexas *et al.*, 2000). Shangguan و همکاران (۲۰۰۰) طی تحقیقی بر روی گندم زمستانه تحت تنش خشکی، تغییری در کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II مشاهده نکردند. Gale و همکاران (۲۰۰۲) نیز مشاهده کردند با اعمال تنش خشکی بر روی ارقام گندم تغییری در برگ‌های سازگار شده به تاریکی ایجاد نمی‌شود و نشان می‌دهد که کارایی کوآنتوم فتوسیستم II طی تنش کاهش نمی‌یابد. عبدلی و همکاران (۱۳۹۲) بیان کرد که تجمع کربوهیدرات‌های محلول مانند گلوکز، فروکتوز، ساکارز و اسیدهای آمینه با پایداری غشاهای زیستی، پروتئین‌ها و مقاومت به‌خشکی و شوری در گیاهان همبستگی مثبت و معنی‌داری را دارد. آسیمیلاسیون خالص دی-اکسیدکربن از طریق فرایند فتوسنتز، اولین مرحله تولید بیوماس است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۳). مکانیسم فتوسنتزی در کلروپلاست‌ها به‌طور عمده پیچیده است و در طی مراحل اولیه خشکی محدودیت عمده در فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه‌ها می‌باشد (Chaves, 2002). نقصان در فتوسنتز خالص در اثر تنش خشکی بیش‌تر به بسته بودن روزنه یا همان

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]

کاهش هدایت روزنه‌ای مربوط است (احمدی موسوی و همکاران، ۱۳۸۹). هم‌چنین افزایش در کارایی تعرق می‌تواند هم به‌دلیل افزایش میزان فتوسنتز و هم به‌دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای باشد (Polley, 2002). با توجه به چالش‌های موجود در منطقه در رابطه با محدودیت منابع آب، اما استفاده از سوپرجاذب برای رفع آسیب‌های خشکسالی و کمبود رطوبت خاک کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان داد که در این زمینه پژوهش‌های کاربردی در گیاه گندم در منطقه کلیبر صورت نگرفته است. به‌همین دلیل، این آزمایش با هدف بررسی کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر برخی صفات فتوستنزی و فیزیولوژیک گندم در شرایط تنش خشکی اجرا شد.

**مواد و روش‌ها**

این آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بارخرد شده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کلیبر از توابع استان آذربایجان‌شرقی اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح تنش خشکی ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیرکلاس A در کرت‌های اصلی و سه سطح ۰، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب در کرت‌های فرعی بودند. در اوایل پاییز به‌منظور آماده سازی زمین جهت کاشت، عمل شخم و بعد از آن دیسک انجام شد. کشت بذر رقم میهن بر اساس وزن هزار دانه و قوه نامیه با تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع صورت گرفت. هر واحد آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به طول ۵ متر و به فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. مقدار بذر با در نظر گرفتن ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار، برای هر واحد آزمایش محاسبه گردید و در عمقی بالاتر از عمق قرارگیری سوپرجاذب (سوپرجاذب به‌صورت ماده خشک و نواری به‌وسیله دست‌پاش در لایه ۱۵ سانتی‌متر از سطح خاک قرار گرفت) یعنی در عمق شش سانتی‌متری از سطح خاک قرار گرفت و در تاریخ ۱۰ آبان ماه ۱۳۹۶ کشت شد. بر اساس نتایج حاصل از آزمون خاک، کود نیتروژنی به‌صورت اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار طی سه مرحله (در هنگام کاشت، پنجه‌زنی و در مرحله قبل از گلدهی) و کودهای فسفر و پتاسیم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب از منابع سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم استفاده شد. عملیات داشت و مبارزه با علف‌های هرز (وجین)، به‌طور یکسان در کلیه کرت‌ها انجام گردید. اعمال تنش از تاریخ ۹۷/۰۲/۲۰ انجام شد، به این صورت که آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A) انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. در این تحقیق از پلیمر سوپرجاذب از نوع سوپر آب آ-۲۰۰[1] (محصول شرکت رهاب رزین به تحت لیسانس پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران) استفاده شد. مشخصات پلیمر سوپرجاذب مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

1- Superab A200

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.46.8.0 ]

**جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش**

| عمق (سانتی‌متر) | بافت خاک | اسیدیته | هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) | فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | نیتروژن (درصد) | رس (درصد) | سیلت (درصد) | شن (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰-۳۰ | شنی لومی | ۷/۱ | ۱/۸ | ۱۲ | ۱۸۵ | ۰/۰۶ | ۳۲ | ۲۷ | ۴۱ |

**جدول۲: مشخصات پلیمر سوپرجاذب مورد استفاده**

| ترکیبات | پلیمر اکریلات پتاسیم و پلی‌اکریل آمید |
|---|---|
| مواد خشک | ۹۰-۸۵ درصد |
| وزن مخصوص | ۱/۱ (گرم در سانتی‌متر مکعب) |
| اسیدیته | ۸/۱ |
| جذب میزان حداکثر | ۴۰۰-۱۵۰ برابر |
| کاتیونی تبادل ظرفیت | ۴/۶ (میلی‌اکی‌والان بر گرم) |
| عمر مفید | ۵ سال |

### فتوسنتز و ویژگی‌های وابسته به آن

در مرحله پس از گلدهی برگچه وسطی هر برگ (برگ قبل از آخر) درون اتاقک اندازه‌گیری، طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگچه به‌طرف بالا قرار گیرد تا نور کافی دریافت کند. داده‌های اصلی هدایت روزنه‌ای بر اساس (مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه)، دی‌اکسیدکربن میزان روزنه‌ای (میلی‌مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه)، شدت تعرق بر اساس (میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) و سرعت فتوسنتز بر اساس (میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه) با استفاده از دستگاه فتوسنتزمتر ایرگا (مدل LCA4) با میانگین‌گیری از سه قرائت گزارش گردید (حیدری و همکاران، ۱۳۹۳).

### شاخص محتوای کلروفیل

شاخص محتوای کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (CCM -۲۰۰) استفاده گردید. برای این منظور از هر کرت فرعی در مرحله پس از گلدهی، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و از قسمت وسط برگچه‌های وسطی جوان‌ترین برگ (برگ قبل از آخر) اندازه‌گیری گردید (Dere *et al*., 1998).

### اندازه‌گیری کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II

اندازه‌گیری کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در ساعت ۱۰ الی ۱۲ صبح به صورت تصادفی از نمونه‌های انتخاب شده از سه برگ به‌عمل آمد (۱۴ روز پس از گرده‌افشانی)، به‌طوری که قسمت میانی برگ پرچم با زدن گیره مخصوص به-

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.46.8.0 ]

مدت۲۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفته و سپس با استفاده از دستگاه فلورومتر (استرس‌سنج) قابل حمل (مدل OS-30 ساخت شرکت OPTI SCIENCES) مقدار فلورسانس کلروفیل برگ‌ها ثبت گردید. Fv/Fm میزان عملکرد کوانتومی فتوسیستم II مطابق رابطه ۱ محاسبه شد (Arnon, 1949):

رابطه ۱: $Fv/Fm = (Fm- Fo)/Fm$

که در این رابطه Fm (فلورسانس کمینه): میزان فلورسانس حداکثر، بعد از تابیدن یک پالس نور اشباع بر روی گیاه سازگار شده به تاریکی، Fo (فلورسانس بیشینه): میزان فلورسانس بعد از آنکه روی گیاه سازگار شده به تاریکی یک پرتو تعدیل شده و ضعیف تابیده شد و Fv (فلورسانس متغیر): $(Fv = (Fm- Fo)$ می‌باشد.

**اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی**

برای اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی یک گرم بافت برگ بالغ را پس از شستشو با آب مقطر، در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر در قوطی‌های فیلم استریل شده شناور شده و به‌مدت چهار ساعت در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از این مدت هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی آب توسط هدایت سنج الکتریکی مدل Inob1 در دمای اتاق سنجیده شد. سپس نمونه‌ها به حمام بخار بنماری منتقل شده و به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از این مدت نمونه‌ها از انکوباتور خارج شده در دمای اتاق خنک شدند. در این زمان مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها را اندازه گرفته و از رابطه ۲ پایداری غشای سلولی اندازه‌گیری شد (فرهودی و همکاران، ۱۳۹۳).

رابطه ۲: $\text{پایداری غشای سلولی} = (E1/E2) \times ۱۰۰$

که در این رابطهE1 هدایت الکتریکی محلول قبل از حمام بخار و E2 هدایت الکتریکی محلول بعد از حمام بخار می‌باشد.

**اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول**

برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول ابتدا ۰/۵ گرم بافت سبز به همراه ۱۰ سی‌سی الکل اتانول ۹۵ درصد را در لوله‌های آزمایش در بسته قرار داده و به‌مدت یک ساعت درحمام بن‌ماری در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و پس از سرد شدن یک سی‌سی از نمونه را بر داشته و به آن یک سی‌سی فنل ۰/۵ درصد و پنج سی‌سی اسیدسولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید. میزان نور جذبی در ۴۸۳ نانومتر در اسپکتوفتومتری یادداشت و میزان کربوهیدرات استخراجی بر اساس میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر از جدول استاندارد استخراج گردید (Irigoyen *et al*., 1992).

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.46.8.0 ]

**اندازه‌گیری پرولین برگ**

برای اندازه‌گیری پرولین برگ، ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ تر در ۱۰ میلی‌متر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به وسیله هاون، هموژن شده و عصاره حاصل صاف گردید. ۲ میلی‌لیتر اسید استیک و ۲ میلی‌لیتر ناین هیدرین به ۲ میلی‌متر از عصاره صاف شده بالا، اضافه شد. محلول حاصل به‌مدت ۱ ساعت در حمام آب و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. غلظت پرولین نمونه‌ها در تولوئن با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates *et al*., 1973).

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

**نتایج و بحث**

**سرعت فتوسنتز**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی و سوپرجاذب بر سرعت فتوسنتز اثر معنی‌دار داشت، اما برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب بر سرعت فتوسنتز معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر سرعت فتوسنتز نشان داد که بیش‌ترین میزان فتوسنتز با میانگین ۲۸/۲۳ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه، از تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین میزان فتوسنتز با میانگین ۹/۰۶ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه، از تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از اثرات روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای باشد. به‌عبارت دیگر فتوسنتز از دو طریق تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، اول آنکه بسته شدن روزنه‌ها دسترسی کلروپلاست را به دی‌اکسیدکربن محدود می‌کند، دوم آنکه پایین بودن پتانسیل آب اثرات مستقیمی بر ساختمان اجزای دخیل در فتوسنتز دارد. عموماً پذیرفته شده است که محدودیت روزنه‌ای عامل اصلی تعیین کننده کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از سوپرجاذب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری میزان سرعت فتوسنتز را افزایش داد. در این میان بیش‌ترین میزان سرعت فتوسنتز با میانگین ۲۸/۰۸ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه، از تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین میزان سرعت فتوسنتز با میانگین ۱۲/۹۲ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه، از تیمار عدم استفاده از سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۴). تنش کم‌آبی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش توسعه‌ی برگ‌ها می‌شود و به‌دلیل کاهش دی‌اکسیدکربن در دسترس گیاه میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد (مجدم و

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]

همکاران، ۱۳۹۵). در این تحقیق نیز اعمال تنش تنش خشکی باعث کاهش سرعت فتوسنتز گیاه شد. اختلاف در میزان این اثر نشان‌دهنده‌ی اثر سطوح مختلف تیمارهای سوپرجاذب روی گندم می‌باشد.

**اتاقک زیر روزنه غلظت دی‌اکسیدکربن**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی و سوپرجاذب بر میزان دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد اثر معنی‌داری را نشان دادند، اما برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب بر صفت فوق معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه نشان داد که بیش‌ترین میزان دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه با میانگین ۵۵۶/۰۲ میلی‌مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه، از تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین میزان دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه با میانگین ۴۱۴/۸۳ میلی‌مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه، از تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. غلظت دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه‌ای بالا نشان‌گر این است که در شرایط تنش، دی‌اکسیدکربن وارد شده به برگ به‌خوبی در فتوسنتز مورد استفاده قرار نگرفته است. در مقابل، کاربرد سوپرجاذب باعث شد تا مقدار دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه به‌طور معنی‌داری کاهش یابد (جدول ۴). در بین تیمارهای سوپرجاذب، تیمار شاهد بیش‌ترین میزان دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه‌ای با میانگین ۵۴۲/۰۵ میلی‌مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه، را دارا بود که از این لحاظ اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها با مقادیر (۷۵ و ۱۵۰کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب) داشتند. کم‌تر بودن میزان دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه‌ای در تیمارهای ۷۵ و ۱۵۰کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، به‌دلیل عمل محافظتی سوپرجاذب بر آنزیم‌های فتوسنتزی باشد که موجب افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان شده است. نتایج به‌دست آمده با نتایج حاصل از تحقیق پاک‌مهر و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. Koc و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند در تیمارهای تحت تنش‌های شدید کم‌آبی، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه‌ای در گندم دوروم را می‌توان به کاهش شدید در هدایت مزوفیلی و در نتیجه کاهش ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست نسبت داد که در این صورت دی‌اکسیدکربن وارد شده به برگ نمی‌تواند به‌خوبی در فتوسنتز مورد استفاده قرار گیرد.

**شدت تعرق**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی و سوپرجاذب بر شدت تعرق اثر معنی‌داری را نشان داد، اما برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب بر شدت تعرق معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین میزان تعرق (۶/۱۰ میلی‌مول آب در متر مربع در ثانیه) از تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین مقدار شدت تعرق (۱/۱۶ میلی‌مول آب در متر مربع در ثانیه) از تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. کاهش میزان تعرق در

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]

تیمارهای تحت تنش احتمالاً به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از سوپرجاذب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری میزان شدت تعرق را افزایش داد. در این میان بیش‌ترین میزان شدت تعرق با میانگین ۶/۲۴ میلی‌مول آب در متر مربع در ثانیه، از تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین میزان شدت تعرق با میانگین ۲/۹۰ میلی‌مول آب در متر مربع در ثانیه، از تیمار عدم استفاده از سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۴). سرعت تعرق نشانگر گشودگی بیش‌تر روزنه‌ها و به تبع آن بیانگر جذب بهتر آب از خاک است. در واقع افزایش تعرق سبب افزایش هدر رفت آب توسط گیاه شده و گیاه جهت جلوگیری از کاهش بیش از حد آب، روزنه‌های خود را می‌بندد. بسته شدن روزنه‌ها مانع از ورود دی‌اکسیدکربن به درون گیاه و در نتیجه کاهش فتوسنتز و در نهایت بیوماس و عملکرد می‌گردد. کاهش تعرق منجر به افزایش دمای برگ می‌شود که ممکن است منجر به تجزیه کلروفیل گردد. تعرق روزنه‌ای بالا احتمالاً منجر به آسیمیلاسیون بیش‌تر دی‌اکسیدکربن و در نهایت بیوماس و تولید بیش‌تر می‌شود (پاک‌مهر و همکاران، ۱۳۹۳). زمانی که گیاه با کمبود آب مواجه می‌شود در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها، سرعت تعرق به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Hirayama *et al.*, 2006).

**هدایت روزنه‌ای**

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش خشکی، سوپرجاذب و برهم‌کنش آن‌ها بر هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). اعمال تنش خشکی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای گیاهان شد. در مقابل، کاربرد سوپرجاذب موجب افزایش هدایت روزنه‌ای شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش در سوپرجاذب بر هدایت روزنه‌ای نشان داد که بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای با میانگین ۷/۴۵ مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه در تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای با میانگین ۲/۹۳ مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و عدم مصرف سوپرجاذب دیده شد (جدول ۵). کاهش هدایت روزنه‌ای می‌تواند به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی باشد، از این طریق تلفات آب به حداقل برسد. تنظیم هدررفت آب از طریق بسته شدن روزنه‌ها ممکن است به‌عنوان یک مکانیسم مقاومت به خشکی عمل کند، اما باعث افزایش دمای برگ می‌شود. اگر اجتناب از تنش خشکی فقط به واسطه بسته شدن روزنه‌ها باشد به‌علت افزایش دمای برگ و توقف فتوسنتز نامطلوب خواهد بود. نتایج حیدری و همکاران (۱۳۹۳) موید همین مطلب است. هنگامی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد روزنه‌ها تمایل به بسته شدن دارند. این واکنش بسته شدن در ابتدا توسط آبسیزیک‌اسید ریشه القا می‌شود. علاوه بر این، کاهش پتانسیل آماس در برگ نیز بر بسته شدن روزنه‌ها در تنش خشکی مؤثر است که احتمالاً از طریق آبسیزیک اسید ساخته شده در برگ اثر می‌گذارد. می‌توان چنین بیان کرد که در شرایط بدون تنش

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]

فضای روزنه‌ای کاملاً باز بوده و هیچ نوع رابطه معنی‌داری بین سرعت فتوسنتز و میزان هدایت روزنه‌ای وجود ندارد، اما با افزایش تنش و به‌دنبال آن با افزایش مقاومت روزنه‌ای ارتباط این دو بیش‌تر و معنی‌دارتر می‌شود. افزایش مقاومت روزنه‌ای در شرایط تنش توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (جوادی‌پور و همکاران ۱۳۹۲). هم‌چنین کاهش در سرعت آسیمیلاسیون عموما به‌خاطر بسته شدن روزنه‌ها بود. از طرفی احتمالاً در دسترس بودن دی‌اکسیدکربن در کلروپلاست، که به‌طور عمده توسط هدایت روزنه‌ای تنظیم می‌شود، در پاسخ به کمبود آب، به‌عنوان سیگنالی برای تنظیم متابولیکی در برگ عمل می‌کند (Flexas *et al*., 2008). به طور کلی، تنش خشکی موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای شده است.

**حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی و سوپرجاذب بر حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، اما برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب بر صفت فوق معنی‌دار نشدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II با میانگین ۰/۸۹۴ از تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین مقدار این صفت با میانگین ۰/۷۸۳ از تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از سوپرجاذب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II را افزایش داد. در این میان بیش‌ترین کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II با میانگین ۰/۸۸۳، از تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین میزان کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II با میانگین ۰/۶۹۷ از تیمار عدم استفاده از سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۴). مقدار کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترونا‌ز فتوسیستم II است، بنابراین کاهش ۲/۳ درصد میزان عملکرد کوانتومی فتوسیستم II نشانه کاهش میزان حفاظت نوری بوده و هم‌چنین دلیلی است بر اینکه تنش خشکی بر کارایی فتوسنتزی اثر معنی‌داری داشته است. کاهش کارایی فتوسیستم II در زمانی که برگ‌ها به‌طور ناگهانی در معرض نور شدید قرار گیرند و یا وقتی که در معرض محدودیت آبی قرار گیرد اتفاق می افتد (Paknejad *et al*., 2007). Gale و همکاران (۲۰۰۲) در ارقام مختلف گندم مشاهده کردند که با اعمال تنش خشکی تغییری در میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II به‌وجود نمی‌آید. بنا به اظهار عبدلی و همکاران (۱۳۹۲) میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II همبستگی مثبتی با تحمل به خشکی دارد و ارقامی که عملکرد کوانتوم بیش‌تری دارند، تحمل خشکی بالاتری خواهند داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که کاهش میزان عملکرد کوانتومی فتوسیستم II عمدتاً به خاطر وقوع آشفتگی در کلروپلاست بوده و کاهش عدد کلروفیل‌متر

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.46.8.0 ]

نیز این موضوع را تأیید می‌کند، زیرا فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط داشته و می‌توان از آن به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری کارایی فتوسیستم نام برد.

**پایداری غشای سلولی**

با توجه به نتیجه تجزیه واریانس داده‌ها، پایداری غشای سلولی در سطح احتمال ۱ درصد تحت اثر تنش خشکی و سطوح مختلف پلیمر سوپرجاذب قرار گرفت و اثر متقابل آن‌ها در مورد این صفت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش در سوپرجاذب بر پایداری غشای سلولی نشان داد که بیش‌ترین مقدار پایداری غشای سلولی با میانگین ۴۸/۲۵ درصد در تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین مقدار پایداری غشای سلولی با میانگین ۳۸/۲۰ درصد در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و عدم مصرف سوپرجاذب دیده شد (جدول ۵). تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی فرونشاننده گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد که این امر منجربه افزایش پراکسیداسیون چربی‌های غشایی و در نتیجه خسارت به پایداری غشای سلولی و هم‌چنین تخریب رنگدانه‌ها می‌گردد (Masoumi *et al*., 2010). با افزایش میزان تنش در دوره رشد تراوش مواد بیش‌تری صورت گرفته و در نتیجه پایداری غشاء سلولی کاهش یافت. افزایش درصد آسیب سلولی احتمالاً به‌دلیل کاهش درصد آب در ساختمان غشاء سلولی است زیرا ۵۰- ۳۰ درصد ساختمان غشاء را آب تشکیل می‌دهد (چهل‌گردی و همکاران، ۱۳۹۳). بررسی تخریب غشاهای سلولی و نشت‌پذیری غشا ناشی از تخریب غشاهای سلولی یکی از معیارهای بررسی واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله خشکی است (Munns, 2002). سی‌وسه‌مرده و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که کاربرد ۵۴ میلی‌گرم ازت در کیلوگرم خاک در شرایط آبیاری مطلوب میزان پایداری غشای سلولی در برابر خشکی را در گیاه جو افزایش داد. گرچه گزارش شده است که در غلات زمستانه پایداری غشای سلولی در برابر تنش گرمایی و خشکی در ارقام مقاوم بیش‌تر از ارقام حساس است (Gavuzzi *et al*., 1997). حقیقی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که بیش‌ترین شاخص پایداری غشا سلول، در تیمار ظرفیت زراعی ۵۰ درصد و کاربرد ۱۰ درصد پلیمر سوپرجاذب حجمی مشاهده شد. Inze و Van Montagu (۱۹۹۵) گزارش کردند مقادیر نشت یونی از یاخته‌های برگی در سطوح رطوبتی پایین، بیش‌تر اتفاق می‌افتد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت مصرف سوپرجاذب موجب کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی بر غشاء سیتوپلاسمی می‌شود که نتایج به‌دست آمده با گزارش‌های Esmaeelpour و همکاران (۲۰۰۹) در ارقام لوبیا قرمز مطابقت دارد.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]

**جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس صفات ارزیابی شده گندم تحت تأثیر تنش خشکی و سوپرجاذب**

| | | میانگین مربعات | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| منابع تغییرات | درجه آزادی | فتوسنتز | شدت تعرق | میزان دی اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه‌ای | هدایت روزنه‌ای | پایداری غشای سلولی | حداکثر کارآیی فتوشیمیایی II فتوسیستم | پرولین | کربوهیدرات | شاخص کلروفیل |
| تکرار | ۲ | ۵/۰۰۹$^{ns}$ | ۰/۶۳۷$^{ns}$ | ۶۱۲۳/۷۴$^{ns}$ | ۱/۹۲۵$^{ns}$ | ۲۸۱/۹۲$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۵$^{ns}$ | ۰/۲۸۹$^{ns}$ | ۴۹۳۸$^{ns}$ | ۱/۲۸۴$^{ns}$ |
| تنش خشکی | ۲ | ۱۴/۸۲$^{**}$ | ۷/۰۰۴$^{*}$ | ۲۲۹۷۶/۸۱$^{*}$ | ۴/۵۲۸$^{*}$ | ۱۲۳۹/۰۸$^{**}$ | ۰/۰۰۷$^{**}$ | ۴/۹۱$^{**}$ | ۱۳۹۹۲$^{**}$ | ۲۹/۳۵$^{**}$ |
| اشتباه اصلی | ۴ | ۰/۳۹۲ | ۰/۳۰۴ | ۹۸۲/۲۷۴ | ۰/۰۵۷ | ۱۲/۱۷ | ۰/۰۰۰۶ | ۰/۴۹ | ۲۶۴۹ | ۰/۰۲۹ |
| سوپرجاذب | ۲ | ۱۴/۲۳$^{**}$ | ۰/۹۲$^{**}$ | ۷۱۹/۶۸$^{**}$ | ۱/۹۳$^{*}$ | ۷۹/۴۶$^{**}$ | ۰/۰۰۰۵$^{**}$ | ۵/۳۹$^{**}$ | ۱۱۰۸$^{**}$ | ۲/۶۸۴$^{**}$ |
| تنش × سوپرجاب | ۴ | ۱/۷۳$^{ns}$ | ۰/۰۴۱$^{ns}$ | ۲۸/۶۰۹$^{ns}$ | ۰/۰۸۵$^{*}$ | ۹/۳۷$^{*}$ | ۰/۰۰۰۳$^{ns}$ | ۰/۷۸۹$^{*}$ | ۹۲۱$^{ns}$ | ۰/۴۶۲$^{**}$ |
| اشتباه فرعی | ۱۲ | ۰/۷۲۹ | ۰/۰۸۲ | ۴۸/۲۶ | ۰/۱۹ | ۶/۷۶ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۲۸ | ۵۶۹ | ۰/۲۱۶ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۱۴/۰۶ | ۱۳/۸۲ | ۴/۹۳ | ۱۹/۴۲ | ۷/۳ | ۳/۴۹ | ۱۱/۷۹ | ۱۲/۰۸ | ۱۰/۳۳ |

و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

**جدول ۴: مقایسه میانگین اثرات ساده صفات اندازه‌گیری شده گندم تحت تأثیر تنش خشکی و سوپرجاذب**

| تیمارهای آزمایش | کربوهیدرات‌های محلول (میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر) | میزان دی‌اکسیدکربن روزنه‌ای (میلی‌مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه) | سرعت فتوسنتز (میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه) | شدت تعرق (میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) | حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II |
|---|---|---|---|---|---|
| تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر) | | | | | |
| ۶۰ | ۸۹/۱۱$^{c}$ | ۵۵۶/۰۲$^{a}$ | ۲۸/۲۳$^{a}$ | ۶/۱۰$^{a}$ | /۸۹۴$^{a}$ |
| ۹۰ | ۱۰۹/۱۲$^{b}$ | ۴۷۹/۰۱$^{b}$ | ۲۳/۵۱$^{b}$ | ۴/۰۹$^{b}$ | ۰/۸۷۱$^{b}$ |
| ۱۲۰ | ۱۲۱/۳۱$^{a}$ | ۴۱۴/۸۳$^{c}$ | ۹/۰۶$^{c}$ | ۱/۱۶$^{c}$ | ۰/۷۸۳$^{c}$ |
| سوپرجاذب (کیلوگرم در هکتار) | | | | | |
| ۰ | ۷۶/۰۳$^{c}$ | ۵۴۲/۰۵$^{b}$ | ۱۲/۹۲$^{c}$ | ۳/۹$^{c}$ | ۰/۶۹۷$^{c}$ |
| ۷۵ | ۹۲/۲۷$^{bc}$ | ۴۶۱/۳۶$^{a}$ | ۲۸/۰۸$^{a}$ | ۶/۲۴$^{a}$ | ۰/۸۸۳$^{a}$ |
| ۱۵۰ | ۱۱۴/۳۱$^{a}$ | ۴۵۹/۰۹$^{ab}$ | ۲۵/۱۳$^{b}$ | ۵/۲۸$^{b}$ | ۰/۸۰۴$^{b}$ |

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.46.8.0 ]

**شاخص کلروفیل برگ**

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص کلروفیل برگ در سطح احتمال ۱ درصد تحت اثر تنش خشکی، سوپرجاذب و هم‌چنین برهم‌کنش تنش × سوپرجاب قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای تنش خشکی و سوپرجاذب نشان داد که بیش‌ترین مقدار شاخص کلروفیل برگ با میانگین ۶/۷۰ درصد در تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین مقدار شاخص کلروفیل برگ با میانگین ۵/۱۰ درصد در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و عدم مصرف سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۵). کاهش میزان محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی، احتمالاً به‌دلیل افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و هم‌چنین، اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۳). در واقع محتوای کلروفیل برگ به افزایش سطوح تنش خشکی واکنش نشان داد، به‌طوریکه کم‌ترین مقدار کلروفیل مربوط به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر بود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ، روند کاهش تدریجی را همراه با افزایش تنش خشکی نشان داد کاهش این رنگیزه‌های مهم فتوسنتزی می‌تواند به‌علت اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری در سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد. قهرمانی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش نمودند گیاهانی که شاخص کلروفیل بالاتری دارند پایداری بیش‌تری داشته و مدت زمان استفاده از تشعشع و فتوسنتز در آن‌ها افزایش می‌یابد. تنش کمبود آب تمام صفات زراعی همچون محتوی کلروفیل را کاهش می‌دهد، اما به کار بردن سوپرجاب تمام صفات زراعی نظیر محتوی کلروفیول را افزایش می‌دهد (Tohidi-moghadam *et al*., 2009). تخریب کلروپلاست‌ها و تجزیه کلروفیل در اثر فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز از جمله عوامل مؤثر بر کاهش شاخص کلروفیل در شرایط تنش کمبود آب محسوب می‌شود (دهباشی و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج تحقیق حاضر نیز افزایش شاخص کلروفیل برگ تحت تیمارهای سوپرجاذب را نشان داد.

**کربوهیدرات‌های محلول**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی و سوپرجاذب بر تجمع تنظیم‌کننده اسمزی (کربوهیدرات‌های محلول) در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، اما برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب بر صفت فوق معنی‌دار نشدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر کربوهیدرات‌های محلول نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر بر میزان تجمع کربوهیدرات در بافت سبز برگ افزوده شد. بنابراین بیش‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول با میانگین ۱۲۱/۳۱ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر از تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول با میانگین ۸۹/۱۱ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر از تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از سوپرجاذب نسبت به شاهد

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]

به‌طور معنی‌داری کربوهیدرات‌های محلول را افزایش داد. در این میان بیش‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول با میانگین ۱۱۴/۳۱ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول با میانگین ۷۶/۰۳ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر از تیمار عدم استفاده از سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۴). Saeidi و Moradi (۲۰۱۱) بیان کردند که در تیمار شاهد و سطوح تنش خشکی میزان قندهای محلول موجود در میانگره آخر و ما قبل آخر ساقه گندم رقم متحمل زاگراس به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم مرودشت بود. مهم‌ترین تأثیر پلیمر سوپرجاذب در تجمع کربوهیدرات‌های محلول ملاحظه گردید، کاربرد سوپرجاذب با فراهم آوری آب قابل دسترس برای گیاه تا حدودی از تجمع کربوهیدرات‌های محلول که در واکنش به کمبود آب و برای تنظیم پتانسیل اسمزی ایجاد می‌گردد جلوگیری کرد که نتایج با پژوهش‌های چهل‌گردی و همکاران (۱۳۹۳) بر کاربرد سوپرجاذب در کاهش اثرات منفی خشکی در گیاه ارزن دم روباهی (*Setaria italica*) مطابقت دارد.

**جدول ۵: نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش صفات اندازه‌گیری شده گندم تحت تأثیر تنش خشکی و سوپرجاذب**

| تیمارهای آزمایشی | | شاخص کلروفیل (درصد) | پرولین (میکرومول در گرم وزن تر) | پایداری غشای سلولی (درصد) | هدایت روزنه‌ای (مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه) |
|---|---|---|---|---|---|
| تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر) | سوپرجاذب (کیلوگرم در هکتار) | | | | |
| | ۰ | ۶/۳۱$^{a}$ | ۳/۵$^{c}$ | ۴۴/۴۷$^{ab}$ | ۵/۶۳$^{b}$ |
| ۶۰ | ۷۵ | ۶/۷۰$^{a}$ | ۳/۶۲$^{c}$ | ۴۸/۲۵$^{ab}$ | ۷/۴۵$^{a}$ |
| | ۱۵۰ | ۶/۵۷$^{a}$ | ۴/۰۰$^{bc}$ | ۴۵/۶۰$^{a}$ | ۶/۸۹$^{a}$ |
| | ۰ | ۵/۴۵$^{b}$ | ۳/۹۱$^{b}$ | ۴۰/۸۷$^{c}$ | ۳/۵۹$^{cd}$ |
| ۹۰ | ۷۵ | ۵/۸۵$^{b}$ | ۴/۰۲$^{b}$ | ۴۱/۹۹$^{b}$ | ۵/۴۱$^{b}$ |
| | ۱۵۰ | ۵/۷۲$^{b}$ | ۴/۴۱$^{b}$ | ۴۴/۱۴$^{b}$ | ۶/۶۸$^{a}$ |
| | ۰ | ۵/۱۰$^{c}$ | ۴/۴۳$^{ab}$ | ۳۸/۲۰$^{cd}$ | ۲/۹۳$^{d}$ |
| ۱۲۰ | ۷۵ | ۵/۵۰$^{b}$ | ۴/۵۴$^{ab}$ | ۳۹/۳۲$^{c}$ | ۴/۷۵$^{bc}$ |
| | ۱۵۰ | ۵/۳۶$^{bc}$ | ۴/۹۳$^{a}$ | ۴۱/۹۸$^{b}$ | ۴/۱۹$^{c}$ |

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

### پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که مقدار پرولین به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت اثر تنش خشکی و سوپرجاذب قرار گرفت و اثر متقابل آن‌ها در مورد این صفت نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۳). در این مطالعه مشاهده شد که خشکی بر میزان پرولین اثرگذار بوده است، به‌طوری که مقدار پرولین با افزایش شدت تنش خشکی افزایش پیدا کرد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و سوپرجاذب نشان داد که بیش‌ترین غلظت پرولین برگ با میانگین ۴/۹۳ میکرومول در گرم وزن تر از تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و ۱۵۰ کیلوگرم در

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.46.8.0 ]

هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین مقدار پرولین برگ میانگین ۳/۵۰ میکرومول در گرم وزن تر از تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و عدم مصرف سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۵). تجمع پرولین در بافت‌های گیاهی یکی از نشانه‌های واضح تنش‌های محیطی به‌ویژه در گیاهان تحت تنش خشکی است. به نظر می‌رسد گیاه بیشتر انرژی خود را صرف تولید پرولین و بالا بردن غلظت شیره سلولی کرده، در نتیجه میزان تولید کلروفیل در این تیمار کاهش یافت. دهباشی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند زمانی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شود یکی از این آمینواسیدها پرولین است. در پژوهش دیگر مشخص شد تنش خشکی در مراحل مختلف رشد در برنج، میزان پرولین را افزایش داده است (Pirdashti *et al*., 2009).

**نتیجه‌گیری**

بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، می‌توان بیان کرد که با اعمال تنش خشکی صفات فیزیولوژیکی، میزان تعرق، تبادلات گازی و سرعت فتوسنتز کاهش یافت. اما استفاده از سوپرجاذب به‌طور معنی‌داری صفات فیزیولوژیکی نظیر محتوای نسبی آب، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شدت تعرق، حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II و شاخص کلروفیل را افزایش داد. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد افزایش سرعت فتوسنتز با کاربرد سوپرجاذب می‌تواند از طریق کاهش مقاومت مزوفیلی و اثرات روزنه‌ای انجام گردد. زیرا هم در گیاهان تحت تنش و هم در گیاهان تحت شرایط غیر تنش میزان کربن دی‌اکسید زیر اتاقک روزنه‌ای در مقایسه با گیاهان تیمار شاهد پایین‌تر بود که بیانگر آسمیلاسیون بهتر کربن در قسمت مزوفیل برگ می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب از طریق تعدیل اثرات منفی تنش خشکی و حفظ پایداری غشای سلولی باعث افزایش صفات فتوسنتزی و فیزیولوژیک گندم شد.

**منابع**

**احمدی موسوی، ع.، منوچهری‌کلانتری، خ.، جعفری، ر.، حسیبی، ن. و مهدویان، ک. ۱۳۸۹.** بررسی اثرات ۲۴ -اپی براسینولید و تنش کم‌آبی بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.). مجله پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). ۸(۲۳): ۲۸۲-۲۷۵.

**پاک‌مهر، آ.، شکاری، ف. و راستگو، م. ۱۳۹۳.** اثر پرایمینگ بذر با سالیسیلیک‌اسید روی برخی صفات فتوسنتزی لوبیا چشم‌بلبلی تحت تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی. نشریه پژوهش های حبوبات ایران. ۲(۵): ۳۰-۱۹.

**جوادی‌پور، ز.، موحدی‌دهنوی، م. و بلوچی، ح. ر. ۱۳۹۲.** ارزیابی پارامترهای فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ تحت تنش شوری. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۲(۶): ۵۶-۳۵.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]

**چهل‌گردی، ع.، صفاری، م. و عبدالشاهی، ر. ۱۳۹۳.** بررسی اثر پلیمر سوپرجاذب، سولفات پتاسیم و کود دامی بر صفات فیزیولوژیک ارزن دم‌روباهی (*Setaria italic*) در شرایط آبیاری و تنش خشکی. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۲(۷): ۴۳-۶۰.

**حقیقی، م.، مظفریان، م. و عفیفی‌پور، ز. ۱۳۹۳.** بررسی تأثیر پلیمر سوپرجاذب و سطوح مختلف کم آبیاری بر رشد و برخی خصوصیات کمی و کیفی میوه گوجه فرنگی (*Lycopersicum esculentum* L.). نشریه علوم باغبانی. ۱(۲۸): ۱۲۵-۱۳۳.

**حیدری، ن.، پوریوسف، م. و توکلی، ا. ۱۳۹۳.** تأثیر تنش خشکی بر فتوسنتز، پارامترهای وابسته به آن و محتوای نسبی آب گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). ۵(۲۷): ۸۳۹-۸۲۹.

**دهباشی، ص.، لادن‌مقدم، ع. ر. و غفوریان، ع. ۱۳۹۳.** اثر سوپر جاذب بر کاهش اثر تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیکی گل جعفری (*Tagetes marigold*). نشریه پژوهش‌های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران. ۳(۹): ۸۱-۷۲.

**سی‌وسه‌مرده، ع.، فاتح، ح. و بدخشان، ه. ۱۳۹۳.** واکنش سرعت فتوسنتز، پایداری غشاء و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به تنش خشکی و کود ازته در دو رقم جو تحت شرایط کنترل شده. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۲ (۱۲): ۲۱۵-۲۲۸.

**شادمند، ح. و افکاری، ا. ۱۳۹۷.** اثر کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر برخی صفات بیوشیمیایی و محتوی نسبی آب ارقام لوبیا تحت تنش خشکی. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰(۳۹): ۷۷-۶۱.

**عبدلی، م.، سعیدی، م.، سعید جلالی‌هنرمند، س.، سیروس منصوری‌فر، س. و قبادی، م. ا. ۱۳۹۲.** بررسی برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و ارتباط آن‌ها با عملکرد و اجزای آن در ارقام پیشرفته گندم نان در شرایط تنش کم‌آبی پس از گرده‌افشانی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱(۶) : ۶۳-۴۷.

**فرهودی، ر.، مدحج، ع. و پاینده، خ. ۱۳۹۳.** اثر تنش خشکی پایان فصل بر فتوسنتز، عملکرد دانه و بنیه بذر پنج رقم سویا. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶ (۲۴) :۵۵-۴۱.

**قهرمانی، م.، عبادی، ع.، پرمون، ق. و جهانبخش، س. ۱۳۹۴.** بررسی اثر تنش کم‌آبی بر شاخص‌های فتوسنتزی و عملکرد علوفه ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷(۲۵): ۷۴-۵۹.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]

**مجدم، م.، پاینده، خ.، لک، ش. و مرعشی، ک. ۱۳۹۵.** اثر پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ذرت بهاره (*Zea mays* L) در شرایط تنش کمبود آب. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸(۳۲): ۷۳-۶۱.

**منجم، س.، احمدی، ع. و محمدی، و. ۱۳۹۰.** اثر تنش خشکی بر میزان فتوسنتز، تسهیم مواد پرورده و عملکرد دانه ارقام کلزا. مجله علوم زراعی ایران. ۳(۱۳): ۵۳۳-۵۴۷.

**Arnon, D. I. 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology. 24: 1-15.

**Bates, L S., Waldern, R.P. and Tear, I.D. 1973.** Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

**Chaves, M . 2002.** Water stress in the regulation of photosynthesis in the field. Annuual of Botany. 89: 907-916.

**Dere, S., Gunes, T. and Sivaci, R. 1998.** Spectrophotometric determination of chlorophyll- a, b and carotenoids contents of some algae species using different solvents. Botany. 22: 13-17.

**Esmaeelpour, P., Habibi, D. and Tavassoli, A. 2009.** Super absorbent polymer water effect on different cultivars of red beans and physiological traits under drought stress under greenhouse conditions. Journal Plant Ecosystem Research. 21(6): 75-91.

**Farhoudi, R. 2007.** Effect of salt stress on seedlings growth and ions homeostasis of soybean (*Glysin max*) cultivars, International Journal of Biology. 11 (2): 25-32.

**Fazeli, F., Ghorbanli, M. and Niknam, V. 2007.** Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in tow sesame cultivars. Journal of Biologia Plantarum. 51: 98-103.

**Flexas, J., Briantais, J. M., Cerovic, Z., Medrano, H. and Moya, I. 2000.** Steady-state and maximum chlorophyll flurescence response to water stress in grapevine leaves: a new remote sensing system. Remote Sensing Environment. 73: 283-297.

**Flexas, J., Ribas-Carbo, M., Diaz-Espejo, A., Galmes, J. and Medrano, H. 2008.** Mesophyll conductance to $CO_2$: current knowledge and future prospects. Plant Cell Environment.31: 602-621.

**Gale, A., Csiszar, J., Tari, I. and Erdei, L. 2002.** Change in water and chlorophyll fluorescence parameters under osmotic stress in wheat cultivars. Proceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. 85-86 pp.

**Gavuzzi, P., Rizza, F. Palumbo, M. Campanile, R. G. Ricciardi G. L. and Borghi, B. 1997.** Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of plant Science. 77(4): 523-531.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]

**Hirayama, M., Wada, Y. and Nemoto, H. 2006.** Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. Breed Science. 56: 47-54.

**Inze, D. and Van Montagu, M. 1995.** Oxidative stress in plants. Current Opinion in Biotechnology. 6: 153-158.

**Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez, D. M. 1992.** Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago saviiva*). Plants Physiology Plantarum. 84: 55-60.

**Koc, M., Barutcular, C. and Genc, I. 2003.** Photosynthesis and productivity of old and modern durum wheats in Mediterranean environment. Crop Science. 43: 2089-2098.

**Masoumi, A., Kafi, M. Khazaei, H. R. and Davari, K. 2010.** Effect of drought stress on water status, electrolyte Leakage and enzymatic antioxidants of Kochia (*Kochia scoparia*) under saline conditions. Pakistan Journal of Botany. 42(5): 3517-3524.

**Munns, R. 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment. 25: 239-250.

**Ohashi, Y., Saneoka, H. and Fujita, K. 2012.** Effect of water stress on growth, photosynthesis, and photoassimilate translocation in soybean and tropical pasture legume siratro. Soil Science and Plant Nutrition. 46(2): 417-425.

**Paknejad, F., Nasri, M., Tohidi Moghadam, H. R., Zahedi, H. and Jami Alahmad, M. 2007.** Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. Journal Biological Sciences. 7: 841- 847.

**Pirdashti, H., Tahmasebi-Sarvestani, Z. and Bahmanyar, A. 2009.** Comparison of physiological responses among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. World Academy of Science. 49: 52-54.

**Polley, H. W. 2002.** Implication of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency. Crop Science. 42: 131-140.

**Saeidi, M. and Moradi, F. 2011.** Effect of post-anthesis water stress on remobilization of soluble carbohydrates from peduncle and penultimate internodes to the developing grains of two bread wheat cultivars. Iranian Journal Crop Science. 13(3): 548-564.

**Shangguan, Z., Shao, M. and Dyckmans, J. 2000.** Effects of nitrogen nuttition and water deficit on net photosynthetic rate chlorophyll florescence in wheat. Plant Physiology. 156: 45-51.

**Tohidi-Moghadam, H. R., Shirani Radi, A. H., Nour-Mohammadi, G., Habibi, D., Modarres-sanavy, S. A. M., Mashhadi-Akbar–boojar, M. and Dolatabadian, A. 2009.** Response of six oil seed rape genotypes to water stress and hydrogel application. Pesquisa Agropecuaria Tropical. 39: 243-250.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]

# Physiological traits of wheat in drought stress conditions

H. Mahmoudi[1] and A. Afkari[*2]

1) M.Sc. student Department of Agronomy, Kaleibar Branch, Islamic Azad University, Kaleibar, Iran.
2) Assistant Professor Department of Agronomy, Kaleibar Branch, Islamic Azad University Kaleibar, Iran.

***Corresponding Author: ahmad.afkari55@gmail.com**

**This article is extracted from M.Sc. thesis.**

**Received date: 2020.01.21** **Accepted date: 2020.05.27**

## Abstract

**Drought stress is one of the most important factors limiting the growth and development of crops. This experiment was conducted using a split-plot arrangement in randomized complete block design with 3 replications in research field of Islamic Azad University of Kaleibar, Iran in crop year 2017. In this experiment, the effect of three levels of drought stress after 60, 90 and 120 mm evaporation from Class A evaporation pan in the main plots and three levels of zero, 75 and 150 kg.ha$^{-1}$ in sub-plots on the physiological characteristics in wheat (*Triticum aestivum* cv.Mihan) the comparison was made. The results of analysis of variance showed that the interaction of drought stress and superabsorbent on stomatal conductanc, cell membrane stability, proline and leaf chlorophyll index was significant. The results of comparison the mean interaction between drought stress and superabsorbent showed that the maximum chlorophyll index 6.70%, stomatal conductance 7.45 mol$Co_2$.$^{m\text{-}2.s\text{-}1}$ and cell nomadic stability 48.25% was evaporated by 75 kg / ha treatment of superabsorbent application at drought in 60 mm evaporation, respectively. Comparison of the average treatment showed that the highest transpiration rate 6.10 µmol $H_2O$. m$^{-2.s-1}$, photosynthesis rate 28.23 mol$Co_2$.$^{m\text{-}2.s\text{-}1}$, maximum photochemical efficiency of PSII .894 and leaf internal $Co_2$ 556.02 mol$Co_2$.$^{m\text{-}2.s\text{-}1}$ was related to treatment 60 mm evaporation and the highest amount of soluble carbohoids 121.31 µg glucose.g fw was related to treatment 120 mm evaporation. The use of superabsorbents significantly increased physiological traits such as relative water content, photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate, maximal photochemical efficiency of photosystem II, and chlorophyll index. Therefore, irrigation of 60 mm evaporation and consumption of 75 kg.ha$^{-1}$ of superabsorbent as the best treatment is recommended to achieve the maximum amount of wheat physiological traits.**

**Keywords:** Transpiration, Drought, Photosynthesis rate and Chlorophyll fluorescence.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.8.0 ]