تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳، ص ۵۲۰-۵۰۱

مقاله پژوهشی

اثر تنش کم‌آبیاری بر عملکرد وش، ویژگی‌های فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی ارقام پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)

حمید کوهکن[1*]، علی نخ‌زری مقدم[2]، علی راحمی کاریزکی[2]، عمران عالیشاه[3]

۱- دانشجوی دکتری رشته اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

۲- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

۳- موسسه تحقیقات پنبه کشور (گرگان)، ایران

* مسئول مکاتبه: kouhkan.hamid@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.413281.1371**

چکیده

به‌منظور بررسی پاسخ ۱۰ رقم پنبه به تنش کم‌آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه گنبدکاووس در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد. عامل اصلی تنش کم‌آبیاری در دو سطح شامل دو مرتبه آبیاری (تشکیل غنچه و شروع گل‌دهی) و عدم تنش چهار مرتبه آبیاری (تشکیل غنچه، شروع گل‌دهی، شروع تشکیل غوزه و ابتدای باز شدن غوزه) و عامل فرعی ارقام پنبه در ۱۰ سطح شامل شایان، ساحل، سپید، ساجدی، گلستان، لطیف، ارمغان، پرتو، مای و لودوس بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که مالون‌دی آلدئید و عملکرد وش تحت تأثیر سال قرار گرفتند و هر سال جداگانه مقایسه میانگین انجام شد، سایر صفات کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، پرولین و قندهای محلول تحت تأثیر متقابل تنش کم‌آبیاری × رقم قرار گرفتند. رقم گلستان از نظر میزان پرولین و قندهای محلول به‌ترتیب با ۲/۹۱ و ۲۷/۰۶ بیش‌ترین میزان در شرایط تنش کم‌آبیاری به خود اختصاص داد. بیش‌ترین عملکرد وش طی سال اول و دوم در شرایط عدم تنش متعلق به رقم ساجدی به‌ترتیب با ۴۵۹۶ و ۴۵۹۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد وش در شرایط تنش کم‌آبیاری سال اول و دوم متعلق به رقم سپید به‌ترتیب با ۱۶۴۹ و ۱۷۵۶ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد ارقام گلستان و ساجدی جز ارقام متحمل به تنش و رقم‌های ساحل و سپید جز ارقام حساس به تنش آبی و با عملکرد ضعیف بوده بقیه ارقام جز ارقام نیمه حساس به تنش آبی معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، ساجدی، کاروتنوئید، کلروفیل

مقدمه

پنبه (*Gossypium hirsutum L.*) از جمله با ارزش‌ترین محصولات کشاورزی و مهم‌ترین گیاه لیفی جهان می‌باشد که به‌عنوان یک گیاه روغنی محسوب می‌شود. این گیاه به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین گیاهان اقتصادی و صنعتی مورد کشت و کار در جهان مطرح می‌باشد (Saleem *et al*., 2009). پنبه به‌عنوان یکی از محصولات راهبردی در استان گلستان می‌باشد و گیاهی است که به کم‌آبیاری، زمان و مقدار آب کم‌آبیاری پاسخ زیادی نشان می‌دهد به‌طوری‌که ممکن است در بعضی از مراحل نمو رشد به کم‌آبیاری حساس بوده و یا در برخی از مراحل اصلاً به آب نیاز ندارد (Alishah, 2014). تغییر اقلیم جهانی با افزایش دما و تغییر بارندگی، بر دسترسی به آب تأثیر داشته و طی مدت زمان کوتاهی این تغییرات می‌تواند بر پایداری تولید پنبه در جهان تأثیر منفی داشته باشد (Steduto *et al*., 2017). بهره‌وری مطلوب از آب می‌تواند منجر به حفظ و استفاده مطلوب از آن شود (Himanshu *et al*., 2013). کمبود منابع کم‌آبیاری در جهان به‌عنوان یکی از عوامل اصلی محدودکننده تولید محصولات زراعی به‌شمار می‌رود و از این رو استفاده بهینه از آب در جهت افزایش تولید مستلزم شناخت علمی از مراحل نمو حساس به تنش‌کم‌آبیاری می‌باشد (Khaitov and Teshaev, 2015). کمبود آب، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های تنش‌های غیرزیستی بوده که تأثیر منفی بر روی مراحل مختلف رشد نمو پنبه می‌گذارد. کمبود آب از طریق کاهش محتوای آب، باعث بسته شدن روزنه، کاهش تعرق و کاهش فتوسنتز و نهایتاً تأثیر منفی بر روی گیاهان می‌گذارد (Martinez-Romero *et al*., 2019; Mbava *et al*., 2020). کمبود آب باعث کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ و تغییر تسهیم جذب کربن در بافت‌های گیاه می‌شود (Zain *et al*.,

2014). تنش کم‌آبیاری باعث کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ پنبه گردید. پاسخ ژنوتیپ‌های مورد بررسی متفاوت بود (Sumartini *et al*., 2013). با افزایش تنش خشکی، سرعت فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و محتوای رطوبت نسبی برگ کاهش و در مقابل میزان نشت الکترولیت‌های برگ افزایش می‌یابد (Hassani Moghadam *et al*., 2015). محققین اظهار داشتند تنش خشکی موجب افزایش درصد پرولین و قندهای محلول و کاهش متغیرهای کلروفیل، نسبت کلروفیل a به b و پایداری غشاء سلولی می‌شود. در ژنوتیپ‌های متحمل پرولین و قند محلول بیش‌تری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس مشاهده شد (Chowdhury *et al*., 2018) یکی از دلایل کاهش میزان غلظت کلروفیل به‌دلیل اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌باشد (Silva, 2007). کاهش میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها با افزایش تنش کم‌آبیاری در گیاهان مختلف توسط (Yu, 2007) گزارش شده است. مهم‌ترین دلیل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش، کاهش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در سنتز کلروفیل و تولید آن است (Viera Santos, 2004). پاسخ متابولیکی ارقام پنبه به محیط متفاوت است. در این رابطه توسط (Edalatifard *et al*., 2007) گزارش شده که با وجود بالا بودن میزان پلی فنول‌ها، پرولین و کاروتنوئیدها در ارقام مقاوم پنبه در مقایسه با ارقام حساس، در شرایط کم‌آبیاری ترکیبات فنولی و کاروتنوئیدهای این ارقام کاهش خواهد یافت. در زراعت پنبه، تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها می‌شود (Tang *et al*., 2007; Gur *et al*., 2010). اما میزان پرولین افزایش یافته که نقش آن در افزایش مقاومت به خشکی، بسته به مرحله رشد و شدت تنش متغیر است (Guo *et al*., 2015). طبق مطالعات انجام شده توسط (Liu, 2014; Devi and Giridhar, 2015) گزارش شده در ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و در شرایط تنش میزان پرولین به شدت افزایش می‌یابد. افزایش پرولین در نتیجه افزایش فعالیت آنزیم‌های تولیدکننده مانند پرولین کربوکسیلات سنتاز در مقایسه با آنزیم‌های تجزیه کننده مانند پرولین دکربوکسیلاز و نیز تغییر مسیر آسیمیلات‌ها به سمت تولید پرولین می‌باشد (Saeidnejad and Rajaei, 2015). آسیب به غشاهای سلولی از دیگر اثرات تنش خشکی می‌باشد. گونه‌های اکسیژن فعال که در اثر تنش خشکی ایجاد می‌شوند، می‌توانند ماکرومولکول‌های سلولی را مورد تهاجم قرار دهند و از این طریق به غشاء آسیب بزنند یا باعث تجمع مالون‌دی آلدئید شوند (Tang *et al*., 2007). پراکسیده شدن چربی‌ها با اندازه‌گیری میزان مالون‌دی آلدئید برآورد می‌شود. در ژنوتیپ‌های مختلف پنبه، با افزایش شدت تنش خشکی، میزان مالون‌دی آلدئید افزایش یافته، که بیان‌گر وجود تنش اکسیداتیو می‌باشد (Deeba, 2012). در مورد پاسخ پنبه به تنش خشکی از نظر میزان مالون‌دی آلدئید نتایج متناقضی گزارش شده است. بررسی ارقام مختلف پنبه در شرایط خراسان رضوی نشان داد که شرایط تنش خشکی سبب افزایش اسمولیت‌ها از جمله قندهای محلول، پرولین و گلایسین بتایین شد و این افزایش در رقم متحمل به خشکی ورامین بیش‌تر از رقم حساس کوکر ۳۴۹ بود (Mehrabadi, 2014). در شرایط تنش خشکی میزان پرولین به شدت افزایش یافت. این افزایش ناشی از افزایش میزان فعالیت‌های آنزیم‌های تولید کننده مانند پرولین کربوکسیلاز سنتاز در قیاس با آنزیم‌های تجزیه‌کننده مثل پرولین دکربوکسیلاز و نیز تغییر مسیر آسیمیلات‌ها به سمت تولید پرولین بود (Liu *et al*., 2014). هدف از این پژوهش با توجه به اهمیت تنش‌کم‌آبیاری در کشاورزی و کشت پنبه در مناطق عمدتاً نیمه خشک و خشک، بررسی عملکرد وش، ویژگی‌های فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی ارقام پنبه در شرایط تنش کم‌آبیاری و همچنین شناسایی ارقام متحمل به تنش کم‌آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش کم‌آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی ۱۰ رقم پنبه، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس اجرا شد. بر اساس تقیسم‌بندی آب و هوایی کوپن منطقه دارای اقلیم مدیترانه‌ای گرم و نیمه خشک با میانگین حداقل دمای دو ساله ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دمای دو ساله ۳۰/۸ درجه سانتی‌گراد و مجموع بارندگی سالانه طی دوره رشد پنبه ۱۷۶ میلی‌متر بود (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین درجه حرات و بارندگی ماهانه در طول فصل رشد پنبه طی دو سال

Table 1- Average of monthly temperature and rainfall in growing season of cotton in two years

ماه Month	میانگین حداکثر درجه حرارت Average maximum temperature (°C)		میانگین حداقل درجه حرارت Average minimum temperature (°C)		بارندگی Total rainfall (mm)	
	1400 2021	1401 2022	1400 2021	1401 2022	1400 2021	1401 2022
فروردین March-April	23.6	22.1	9.5	8.8	16.6	11.9
اردیبهشت April-May	29.6	25.7	14.9	14.0	20.0	87.6
خرداد May-June	36.3	34.8	20.1	17.8	12.2	2.2
تیر June-July	39.1	36.8	24.2	23.0	11.8	0.0
مرداد July-August	37.9	36.0	23.9	23.2	25.3	26.4
شهریور August-Sept	35.4	36.1	23.0	19.6	5.3	2.3
مهر Sept-October	26.3	31.5	14.7	18.0	52.5	12.3
آبان October-Nove	19.6	22.5	7.2	9.9	23.5	42.5

جدول ۲- ارقام پنبه مورد استفاده در مطالعه

Table 2- Cotton varieties used in the study

شماره رقم Cultivar num	نام رقم Cultivar name	شجره Pedigree	منشأ Origin
V1	شایان	توده های خارجی وارداتی از یونان	ایران
	Shayan	Imported foreign masses from Greece	Iran
V2	ساحل	تلاقی بین استرین ۳۴۹ وکوکر ۱۰۰ ویلت	بلغارستان
	Sahel	Cross between strain 349 and Koker 100 Wilt	Bulgaria
V3	سپید	گزینش بر روی رقم سای اکرا ۳۲۴	استرالیا
	Sepid	Selection on Sai Akra 324	Australia
V4	ساجدی	گزینش توده بذری وارداتی کشور پاکستان	ایران
	Sajdi	Selection of imported seed mass of Pakistan	Iran
V5	گلستان	گزینش بر روی رقم ۴۳۲۵۹	ایران
	Golestan	Selection on 43259 number	Iran
V6	لطیف	لاین اصلاحیCRI-NNC	ایران
	Latif	Corrective line CRI-NNC	Iran
V7	ارمغان	گزینش بر روی رقم ۴۳۳۴۷	ایران
	Armaghan	Selection on 43347 number	Iran
V8	پرتو	داخلی	ایران
	Parto	domestic	Iran
V9	مای	وارداتی	ترکیه
	May	imported	Turkey
V10	لودوس	وارداتی	ترکیه
	Ludos	imported	Turkey

عامل اصلی تنش آبی در دو سطح شامل دو مرتبه آبیاری در مراحل تشکیل غنچه و شروع گل‌دهی (تنش کم‌آبیاری) و چهار مرتبه آبیاری در مراحل تشکیل غنچه، شروع گل‌دهی، شروع تشکیل غوزه و ابتدای باز شدن غوزه (عدم تنش) بود. عامل فرعی ارقام پنبه شامل شایان، ساحل، سپید، ساجدی، گلستان، لطیف، ارمغان، پرتو، مای و لودوس (۱۰ رقم) بود که از

موسسه تحقیقات پنبه کشور (گرگان) تهیه شد (جدول ۲).

هر کرت شامل چهار خط کاشت پنج متری به فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. کم‌آبیاری به‌صورت بارانی به مقدار ۳۸۹۵ متر مکعب در هکتار در تیمار بدون تنش و ۲۰۱۰ متر مکعب در هکتار در تیمار تنش بود. قبل از کاشت زمین آبیاری غرقابی شد و پس از گاورو شدن، سه مرتبه دیسک عمود بر هم زده شد. عملیات کاشت نیمه دوم اردیبهشت‌ماه انجام شد. مصرف کود بر مبنای آزمون تجزیه خاک با برداشت نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد (جدول ۳).

جدول ۳- برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 3- Some physical and chemical characteristics of the soil used in experiment (depthof 0-30 cm)

خصوصیات Characteristic	مقدار Quantity
هدایت الکتریکی EC (dS/m)	1.3
اسیدیته pH	7.7
مواد خنثی شونده Neutralizing agents (%)	8.5
کربن آلی Organic carbon (%)	1.44
نیتروژن کل Total nitrogen (%)	0.14
فسفر قابل جذب Acceptable phosphorus (ppm)	13.4
پتاسیم قابل جذب Acceptable potassium (ppm)	356
رس Clay (%)	28
لای Lay (%)	64
ماسه Sand (%)	8

مقدار مصرف کود اوره ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره ۴۶ درصد) که یک‌سوم آن به‌همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل ۴۶ درصد در زمان کاشت به زمین داده شد و دو سوم دیگر همراه با آبیاری در مراحل تشکیل غنچه و شروع گل‌دهی به‌صورت سرک به زمین داده شد. در هر کپه سه بذر کاشته شد که در مرحله چهار برگی بوته‌های اضافی حذف و یک بوته باقی گذاشته شد. فاصله بین کرت‌ها و تکرارها به‌ترتیب یک و یک و نیم متر بود. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی (وجین دستی) طی دو مرحله انجام شد. در طول دوره رشد و نمو مبارزه شیمیایی بر علیه آفات با سموم کوراکرون، استامی‌پراید، سایپرمترین و دیازینون انجام شد. در دو هفته آخرین مرحله اعمال تیمار تنش، نمونه‌گیری از دو برگ جوان انتهایی جهت اندازه‌گیری و ثبت میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، مالون دی‌آلدئید، قندهای محلول انجام شد و نمونه‌ها بلافاصله در فویل آلومینیومی و فلاسک حاوی یخ قرار داده شد و سپس به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، مقدار ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ که رگ‌برگ خشبی آن جدا شده در هاون چینی ریخته و با استفاده از نیتروژن مایع خرد شد. با افزایش استون ۸۰ درصد حجم نهایی به ۲۰ میلی‌لیتر رسید. از قسمت کاملاً صاف شده محلول حاصل برای کاهش ناخالصی‌های احتمالی ۱۸ میلی‌لیتر برداشت شد و در سانتریفیوژ (مدل سیگما ساخت آمریکا) با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه عصاره‌گیری شد. سپس مقداری از عصاره جدا شده داخل کووت ریخته شد. قبل از اندازه‌گیری نمونه‌ها، از استن ۸۰ درصد به‌عنوان شاهد استفاده شد. نمونه‌ها به دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Biochrom

libera- S22) انتقال داده شد و میزان جذب به‌طور جداگانه در طول موج ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها قرائت شد (Arnon, 1967). پس از ثبت داده‌های اولیه در نرم‌افزار اکسل، مقدار کلروفیل a و b ، کلروفیل‌کل و کاروتنوئید هر نمونه طبق رابطه‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۴) محاسبه شد.

$$\text{Chlorophyll a} = \frac{[11.64(D663) - 2.16(D645)]\times V}{(1000 \times W)} \quad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll b} = \frac{[20.97(D645) - 3.94(D663)]\times V}{(1000 \times W)} \quad (۲)$$

$$\text{Chlorophyll Total} = \frac{[18.8(D645) + 7.7(D663)]\times V}{(1000 \times W)} \quad (۳)$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{[1000(D470) - 3.27(cha) - 104(chb)]/\ 229\times V}{(1000 \times W)} \quad (۴)$$

برای اندازه‌گیری و ثبت محتوای نسبی آب برگ پس از توزین نمونه (وزن تازه)، نمونه به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شد، مجدد وزن (وزن تورژسانس) شد. در مرحله بعد، نمونه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و سپس وزن گردید (وزن خشک). محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه (۵) اندازه‌گیری شد (Schlemmer *et al.*, 2005).

$$RWC = \frac{F_W - D_W}{S_W - D_W} \times 100 \quad (۵)$$

که در آن Fw: وزن تر برگ، Dw: وزن خشک برگ و Sw: وزن اشباع برگ می‌باشد.

میزان مللون‌دی آلدئید به روش استوارت و بیولی (Stewart and Bewley., 1980) انجام شد. در این روش برای هر نمونه ۰/۱ گرم بافت تازه برگ گیاه در ۵ میلی‌متر از محلول ۰/۱ درصد تری‌کلرواستیک اسید هموژن و به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۸۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردیدند. یک میلی‌لیتر از سوپرناتات با ۴ میلی‌لیتر از محلول ۲۰ درصد تری‌کلرواستیک اسید با محتوی ۰/۵ میلی‌لیتر اسید تیوبار بیتوریک مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس نگهداری و سپس به حمام آب سرد منتقل گردید. نمونه‌ها مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۲ نانومتر ثبت گردید. میزان قند محلول به روش اشلیگل (Schlegel, 1956) تعیین شد. میزان پرولین با روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*, 1973) از طریق دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۶ نانومتر و با استفاده از نمودار استاندارد بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن برگ‌تر گیاه تعیین شد. برداشت وش پنبه در دو زمان یعنی اواسط مهر و اواسط آبان انجام شد. برداشت چین اول زمانی انجام شد که حدود ۵۰ درصد غوزه‌ها کاملاً باز شده بودند. عملکرد کل از مجموع دو چین به‌دست آمد. داده‌ها در نرم‌افزار اکسل ثبت شد. تجزیه آماری با کمک نرم افزار SAS (Version 9) محاسبه شد و مقایسهٔ میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح آماری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

جهت ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایش آزمون بارتلت انجام شد، نتایج کاس اسکور نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایش بجز عملکرد وش و مالن‌دی آلدئید در طی دو سال بود. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب آزمایش، حاکی از معنی‌دار شدن عامل سطح اصلی تنش‌کم‌آبیاری و اثر عامل رقم و هم‌چنین اثر متقابل تنش کم‌آبیاری × رقم برای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل‌کل، کاروتنوئید، محتوای رطوبت نسبی برگ، پرولین و قندهای محلول در سطح آماری ۱ درصد بود. نتایج تجزیه مرکب نیز نشان داد مالن‌دی آلدئید و عملکرد وش تحت تأثیر سال قرار گرفتند و اثر متقابل سال × تنش کم‌آبیاری، رقم × سال و سال × رقم × تنش کم‌آبیاری از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار داشت، لذا با توجه به نتایج اثر سال در آزمون بارتلت، مقایسه میانگین برای دو ویژگی به‌صورت جداگانه تجزیه و تحلیل شد (جدول ۴).

رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a ، b و کاروتنوئید)

کلروفیل a

میزان کلروفیل a تحت اثر متقابل تنش‌کم‌آبیاری و رقم قرار گرفت. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌کم‌آبیاری × رقم نشان داد که در شرایط تنش‌کم‌آبیاری میزان کلروفیل a در همه ارقام کاهش یافت و این کاهش در ارقام مختلف متفاوت بود. در شرایط بدون تنش‌کم‌آبیاری بیش‌ترین میزان کلروفیل a متعلق بود به رقم شایان با میانگین ۵/۷۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ

بود که تفاوت معنی‌داری با رقم ساجدی نداشت. کمترین میزان مربوط به رقم سپید با ۳/۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود. در شرایط تنش‌کم‌آبیاری حداکثر میزان مربوط به ارقام لودوس و پرتو به‌ترتیب با ۴/۰۹ و ۳/۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ، درحالی‌که حداقل میزان متعلق به ارقام سپید و ساحل به‌ترتیب با ۲/۰۴ و ۲/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود (جدول ۵). کلروفیل a حساسیت بیش‌تری به تنش خشکی دارد (Mafakheri *et al.*, 2010)، به‌همین جهت میزان تغییرات کلروفیل a در شرایط تنش‌کم‌آبیاری بیش‌تر می‌باشد. با توجه به اینکه کلروفیل a رنگیزه مرکزی فتوسنتز است، شدت تنش خشکی بر میزان آن تأثیر زیادی خواهد داشت. همسو با نتایج این تحقیق در مطالعه محقق دیگری میزان کلروفیل a تحت تأثیر شدت تنش خشکی قرار گرفت، به‌طوری‌که در تنش ۵۰ درصد نیاز کم‌آبیاری گیاه به کمترین مقدار رسید (Elsayed *et al.*, 2019).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب ویژگی‌های مورد آزمون

Table 4- Composite variance analysis of test characteristics

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean Square								
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	رطوبت نسبی برگ Leaf moisture content	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugars	مالن دی آلدئید M.D.A	عملکرد وش Boll yield
سال Year	1	0.33$^{n.s}$	0.01$^{n.s}$	0.22$^{n.s}$	0.03$^{n.s}$	0.184$^{n.s}$	0.003$^{n.s}$	0.807$^{n.s}$	5.125*	70374*
خطا ۱ Error 1	4	0.01	0.01	0.02	1537	1.922	0.010	0.282	1.656	24543.2
تنش‌کم‌آبیاری water stress	1	87.98**	0.28**	78.34**	133441**	19187**	68.18**	784.7**	5111**	110085701**
سال × تنش کم‌آبیاری WS×Y	1	0.17$^{n.s}$	0.03$^{n.s}$	0.06$^{n.s}$	2.35$^{n.s}$	2.182$^{n.s}$	0.001$^{n.s}$	0.296$^{n.s}$	4.752*	129101**
خطا ۲ Error 2	4	0.03	0.01	0.01	944.9	3.491	0.014	0.564	2.452	10913.7
رقم Cultivar	9	2.54**	0.50**	2.39**	37300**	177.2**	0.074**	51.26**	20.95**	1063640**
تنش کم‌آبیاری × رقم WS × C	9	5.04**	1.10**	4.64**	22822**	453.5**	0.097**	43.94**	19.69**	218974**
رقم × سال Y× C	9	0.08$^{n.s}$	0.03$^{n.s}$	0.02$^{n.s}$	36.63$^{n.s}$	1.738$^{n.s}$	0.002$^{n.s}$	0.523$^{n.s}$	2.904*	41262**
تنش کم‌آبیاری × رقم × سال Y× C × WS	9	0.05$^{n.s}$	0.02$^{n.s}$	0.01$^{n.s}$	47.08$^{n.s}$	0.639$^{n.s}$	5.432$^{n.s}$	0.131$^{n.s}$	2.540*	63295**
خطا ۳ Error 3	72	0.07	0.01	0.01	805.4	1.844	0.001	0.797	1.077	7992
ضریب تغییرات (%) CV (%)	-	5.96	8.26	3.05	7.76	2.65	4.60	4.42	8.63	2.93

*، **و $^{n.s}$ به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪، ۱٪ و غیر معنی‌دار

**,* and $^{n.s}$ represent significant difference at P < 0.01, P < 0.05 and not significant, respectively.

کلروفیل b

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌کم‌آبیاری × رقم نشان داد بیش‌ترین میزان کلروفیل b تحت شرایط بدون تنش مربوط به ارقام گلستان و پرتو به‌ترتیب با ۱/۷۱ و ۱/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ، درحالی‌که کمترین میزان مربوط به ارقام مای و ارمغان به‌ترتیب با ۱/۱۳ و ۱/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود و در شرایط تنش بیش‌ترین میزان کلروفیل b مربوط به ارقام ساحل و شایان به‌ترتیب با ۱/۱ و ۱/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود، در حالی که کمترین میزان متعلق به ارقام ساجدی و ارمغان به ترتیب با ۰/۴۴ و ۰/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود (جدول ۵).

میزان کلروفیل b نیز در شرایط تنش کمتر از شرایط کم‌آبیاری نرمال بود. ارقام تحت تأثیر شدت تنش کم‌آبیاری قرار گرفت، ولی شدت تنش تأثیر چندانی بر این ویژگی نداشت (Hanci and Cebei, 2014).

کلروفیل کل

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبیاری × رقم نشان داد بیش‌ترین میزان کلروفیل‌کل تحت شرایط عدم تنش متعلق به ارقام شایان و گلستان به‌ترتیب با ۷/۱۰ و ۷/۰۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و کمترین میزان مربوط به ارقام سپید، ارمغان و مای به‌ترتیب با ۴/۶۷، ۵/۶۸ و ۵/۸۷ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود، درحالی‌که در شرایط تنش کم‌آبیاری بیش‌ترین میزان مربوط به ارقام لودوس و پرتو به‌ترتیب با ۵/۰۹ و ۴/۷۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و کمترین میزان متعلق به ارقام سپید و ساجدی به‌ترتیب با ۲/۸۸، ۳/۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود (جدول ۵).

یکی از اثرات تنش رطوبتی در گیاهان، کاهش میزان فتوسنتز است که باعث کاهش میزان کلروفیل‌های a و b در شرایط تنش کم‌آبیاری می‌شود (Aydogdu *et al*., 2018). کلروفیل‌ها ۳۰-۲۰ درصد کل چربی غشاء تیلاکوئیدی را تشکیل می‌دهند. انواع کلروفیل‌ها موجود در غشاء تیلاکوئیدی گیاهان عالی با پلی پپتیدهای خاصی ترکیب شده و کمپلکس رنگیزه- پروتئین را تشکیل می‌دهند. تغییرات کمپلکس رنگیزه- پروتئین باعث تغییر میزان کلروفیل در غشاء تیلاکوئید می‌شود (Jones *et al*., 2013). کمپلکس رنگیزه- پروتئین در پاسخ به شرایط محیطی تغییر یافته و در نتیجه میزان کلروفیل‌ها را نیز در پاسخ به محیط تغییر می‌دهند.

یکی از شرایط محیطی مؤثر بر میزان کلروفیل تنش خشکی می‌باشد که هم به‌علت اختلال در مسیر بیوسنتز کلروفیل‌ها و هم به‌علت تنش اکسیداتیو ناشی از انواع گونه‌های اکسیژن فعال می‌تواند میزان کلروفیل‌ها را کاهش دهد. افزون بر این، تنش خشکی وضعیت کم‌آبیاری بافت‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد بر فرآیندهای توسعه کلروپلاست تأثیر منفی می‌گذارد و آهنگ انباشت کلروفیل در کلروپلاست را کند می‌کند (Dbira *et al*., 2018).

کاروتنوئید

مقایسه میانگین کاروتنوئید نشان داد، بیش‌ترین میزان کاروتنوئید تحت شرایط عدم تنش متعلق به ارقام ارمغان و گلستان به‌ترتیب با ۵۲۱/۶۲ و ۵۰۷/۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و کمترین میزان مربوط به ارقام ساحل و ساجدی به‌ترتیب با ۲۴۲/۶ و ۳۵۲/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ، در حالی‌که در شرایط تنش کم‌آبیاری بیش‌ترین میزان کاروتنوئید مربوط به ارقام شایان و گلستان به‌ترتیب با ۴۳۴/۰۸ و ۳۸۸/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و کمترین میزان متعلق به ارقام پرتو و سپید به‌ترتیب با ۲۰۴/۴۴ و ۲۷۹/۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود (جدول ۵).

تنش‌کم‌آبیاری باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود و کاهش میزان کلروفیل یکی از نشانه‌های عادی تنش اکسیداتیو است (Ebtedaee and Shekafandeh, 2016).

مطالعات محققین کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی را تأیید می‌کنند که با مطالعه حاضر مطابقت دارد (Meier *et al*., 2011; Hannoufa and Hossain 2012).

محققی گزارش نمودند به‌دنبال تنش کم‌آبیاری آناتومی برگ تغییر یافته و برگ‌ها کوچک‌تر و ضخیم‌تر می‌شوند و در نتیجه غلظت کلروفیل‌ها به‌ویژه کلروفیل b و کاروتنوئیدها گیاه بیش‌تر می‌شود (Kalantar Ahmadi *et al*., 2014).

جدول ۵- اثر متقابل تیمارهای ارقام پنبه و کم‌آبیاری بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در پنبه

Table 5- Interaction effect of treatments of cotton cultivars and water deficit on the measured characteristics in cotton

کم‌آبیاری Deficit Irrigation	رقم Cultivar	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/gD.W)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/gD.W)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg/gD.W)	کاروتنوئید Carotenoid (mg/gD.W)	محتوای نسبی رطوبت برگ R.W.C (%)	پرولین Proline (mg/gfw)	قندهای محلول Soluble sugars
بدون تنش No-Stress	ارمغان Armaghan	5.08^{cd}	1.40^{e}	5.68^{e}	521.62^{a}	60.37^{cd}	1.35^{gh}	17.45^{gh}
	پرتو Parto	5.04^{d}	1.62^{ab}	6.67^{b}	378.7^{de}	63.06^{b}	1.52^{f}	17.80^{efg}
	ساجدی Sajdi	5.58^{ab}	1.41^{de}	6.69^{d}	352.3^{ef}	59.92^{cd}	1.30^{hi}	16.65^{h}
	ساحل Sahel	4.29^{ef}	1.58^{abc}	5.87^{gh}	242.6^{i}	78.58^{a}	1.44^{fg}	17.77^{fg}
	سپید Sepid	3.14^{h}	1.54^{bcd}	4.67^{ij}	386.0^{cd}	55.81^{f}	1.34^{ghi}	18.17^{efg}
	شایان Shayan	5.71^{a}	1.39^{e}	7.10^{a}	413.1^{bc}	59.23^{de}	1.24^{ij}	18.29^{efg}
	گلستان Golestan	5.34^{bc}	1.71^{a}	7.05^{a}	507.7^{a}	58.05^{e}	1.10^{k}	17.93^{efg}
	لطیف Latif	4.89^{de}	1.46^{cde}	6.36^{c}	374.8^{de}	63.07^{b}	1.15^{jk}	17.81^{efg}
	لودوس Ludos	4.83^{de}	1.39^{e}	6.22^{c}	387.5^{cd}	79.30^{a}	1.32^{hi}	17.93^{efg}
	مای May	4.69^{e}	1.13^{f}	5.82^{e}	426.4^{b}	60.79^{c}	1.37^{gh}	16.69^{efg}
تنش کم‌آبیاری Deficit Irrigation Stress	ارمغان Armaghan	2.65^{i}	0.6^{i}	3.25^{k}	331.1^{fg}	30.51^{m}	2.58^{e}	26.87^{ab}
	پرتو Parto	3.98^{f}	0.76^{h}	4.74^{h}	204.4^{j}	38.10^{k}	2.90^{ab}	19.81^{ef}
	ساجدی Sajdi	2.66^{i}	0.44^{j}	3.10^{l}	322.1^{g}	33.25^{l}	2.80^{bcd}	23.98^{c}
	ساحل Sahel	2.18^{j}	1.1^{g}	3.28^{k}	339.1^{fg}	40.10^{j}	2.75^{cd}	21.75^{d}
	سپید Sepid	2.04^{j}	0.84^{gh}	2.88^{m}	280.0^{h}	44.53^{h}	2.88^{ab}	19.71^{e}
	شایان Shayan	2.82^{i}	1.09^{f}	3.91^{i}	434.1^{b}	46.62^{g}	2.70^{d}	24.31^{c}
	گلستان Golestan	3.32^{gh}	0.92^{g}	4.24^{gh}	388.8^{cd}	42.97^{i}	2.91^{a}	27.06^{a}
	لطیف Latif	3.58^{g}	0.93^{g}	4.51^{fg}	352.9^{ef}	40.84^{j}	2.90^{ab}	24.75^{c}
	لودوس Ludos	4.09^{f}	1.00^{g}	5.09^{f}	360.4^{def}	28.12^{n}	2.85^{abc}	25.98^{b}
	مای May	3.15^{h}	0.94^{g}	4.09^{hi}	310.8^{g}	40.24^{j}	2.88^{ab}	19.51^{ef}
	$LSD_{0.05}$	0.28	0.13	0.18	30.02	1.53	0.10	0.94

میانگین‌هایی با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد باهم ندارند.

Means with common letters in each column do not have a significant difference at the level of 1%.

محتوای نسبی رطوبت برگ

مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش کم‌آبیاری × رقم نشان داد با مصرف آب کمتر (تنش)، محتوای نسبی آب برگ پنبه به‌طور معنی‌دار کاهش پیدا کرد. بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط عدم تنش کم‌آبیاری با ۷۹/۳۰ و ۷۸/۵۸ درصد به‌ترتیب متعلق به ارقام لودوس و ساحل و کمترین با ۵۵/۸۱ و ۵۸/۰۵ درصد به‌ترتیب متعلق به ارقام سپید و گلستان بود، درحالی‌که تحت شرایط تنش کم‌آبیاری حداکثر محتوای نسبی رطوبت برگ متعلق به ارقام شایان و سپید با ۴۴/۶۲ و ۴۴/۵۳ درصد و کمترین مربوط به ارقام لودوس و ارمغان با ۲۸/۱۲ و ۳۰/۵۱ درصد بود (جدول ۵). محتوای رطوبت نسبی برگ، میزان جذب آب از طریق بافت‌ها و سلول‌های گیاه را نشان می‌دهد که بیانگر فعالیت‌های متابولیکی گیاه است (Sadeghipour and Aghaei, 2012). کاهش محتوای رطوبت برگ طی تنش رطوبتی باعث بسته شدن روزنه‌های گیاه می‌شود (Khan *et al*., 2010). محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان مهم‌ترین و بهترین شاخص اندازه‌گیری واکنش گیاه به تنش خشکی می‌باشد که محتوای نسبی آب برگ به‌طور مستقیم وضعیت آب گیاه را منعکس می‌کند (Yazdanpanah *et al*., 2011). ارقام متحمل مقادیر کمتری از کاهش محتوای نسبی آب برگ را در مواجهه با تنش کم‌آبیاری در مقایسه با ارقام حساس نشان دادند (جدول ۵). محققی ارتباط خوبی را بین محتوای نسبی بالاتر آب برگ با سازگاری بیش‌تر ارقام به مناطق خشک گزارش نموده است (Blum *et al*., 1981).

پرولین

پاسخ ارقام به تنش کم‌آبیاری از نظر متابولیت پرولین متفاوت بود، چرا که تنش رطوبتی میزان پرولین را افزایش داد. حداکثر میزان پرولین تحت شرایط تنش کم‌آبیاری در ارقام گلستان، پرتو و مای به‌ترتیب با ۲/۹۱، ۲/۹۰ و ۲/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و حداقل میزان پرولین متعلق به ارقام ارمغان و لودوس به‌ترتیب با ۲/۵۸ و ۲/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ تعلق داشت، درحالی‌که تحت شرایط عدم تنش بیش‌ترین میزان پرولین متعلق به ارقام پرتو و ساحل به‌ترتیب با ۱/۵۲ و ۱/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و کمترین میزان مربوط به ارقام گلستان و لطیف با ۱/۱۰ و ۱/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود (جدول ۵). افزایش میزان پرولین در اثر تنش با تحریک مسیرهای تولید یا جلوگیری از تجزیه آن روی می‌دهد. تعیین اثرات تنش خشکی بر آنزیم‌های این مسیرها، سازوکارهای افزایش پرولین را مشخص می‌کند (Saeid nejad and Rajaei, 2015). تنش کم‌آبیاری در ارقام حساس و مقاوم، فعالیت پرولین دکربوکسیلاز را کاهش می‌دهد و کاهش فعالیت پرولین دکربوسکیلاز می‌تواند مانع از دکربوکسیله شدن این اسید آمینه شده و غلظت آن را در سیتوسول افزایش می‌دهد. در دوره ترمیم اثر تنش رطوبتی، هم پرولین القا شده با تنش و هم فعالیت آنزیم‌های پرولین کربوسکیلات سنتاز و پرولین کربوکسیلات ردکتاز کاهش می‌یابد. افزایش مقدار پرولین با تنظیم افزایشی پرولین کربوکسیلات سنتاز و کاهش بیان پرولین دکربوکسیلاز انجام می‌گیرد و می‌تواند در مقاوم ساختن پنبه به تنش کم‌آبیاری مؤثر باشد (Parida *et al*., 2008). تنش خشکی باعث افزایش پرولین می‌شود که این افزایش در رقم متحمل پنبه بومی بیش‌تر است (Mehrabadi, 2014). در پژوهش دیگری نیز چنین افزایشی در میزان پرولین ارقام مقاوم پنبه در مقایسه با ارقام حساس در مراحل مختلف رشدی گزارش شده است (Devi and Giridhar, 2015).

قندهای محلول

اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم بر میزان قندهای محلول نشان داد تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری میزان آن افزایش می‌یابد بر این اساس، بیش‌ترین میزان قندهای محلول تحت تنش کم‌آبیاری متعلق به ارقام گلستان و ارمغان به‌ترتیب با ۲۷/۰۶ و ۲۶/۸۷ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و کمترین متعلق به ارقام سپید و مای به‌ترتیب با ۱۹/۵۱ و ۱۹/۷۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ مشاهده شد و بیش‌ترین میزان قندهای محلول تحت شرایط عدم تنش مربوط به ارقام شایان و سپید به‌ترتیب با ۱۸/۲۹ و ۱۸/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و کمترین میزان متعلق به ارقام ساجدی و مای به‌ترتیب با ۱۶/۶۵ و ۱۶/۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵). فتوسنتز و رشد گیاه تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار می‌گیرند، اما قبل از اینکه فتوسنتز تحت تأثیر تنش قرار گیرد رشد اندام هوایی گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که با افزایش تنش کم‌آبیاری، میزان قندهای محلول در اندام هوایی گیاه به‌طور معنی‌دار

افزایش می‌یابد، انباشته شدن قندهای محلول در پاسخ به تنش خشکی در مطالعات فراوانی ثابت شده است (Karimi *et al.*, 2012).

مالون‌دی آلدئید

تنش کم‌آبیاری باعث افزایش میزان مالون‌دی آلدئید در هر دو سال مطالعه در شرایط بدون تنش شد. در سال اول، بیش‌ترین میزان مالن‌دی آلدئید در شرایط تنش کم‌آبیاری متعلق به رقم ساحل با ۲۴/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود. کمترین میزان مربوط به رقم لودوس با ۴/۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ تحت شرایط عدم تنش بود و در سال دوم بیش‌ترین میزان مالن‌دی آلدئید در شراط تنش کم‌آبیاری مربوط به رقم ساحل با ۲۴/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و کمترین متعلق به رقم لودوس با ۴/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ در شرایط بدون تنش کم‌آبیاری بود (جدول ۸). طی دو سال مطالعه بیش‌ترین یکپارچگی غشاء متعلق به رقم ساحل بود که حاکی از آسیب بیش‌تر تنش کم‌آبیاری به غشای سلولی بود. کمترین شاخص آسیب به غشاء از نظر میزان مالون‌دی آلدئید مربوط به رقم لودوس بود گزارش شده است که با افزایش شدت تنش، میزان مالون دی آلدئید ژنوتیپ‌های مختلف پنبه افزایش و ثبات غشاء کاهش می‌یابد که بیان‌گر وجود تنش اکسیداتیو است (Deeba *et al.*, 2012).

عملکرد وش

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبیاری × رقم در دو سال آزمایش نشان داد تنش کم‌آبیاری کاهش شدید عملکرد وش پنبه را به دنبال داشت. از نظر عملکرد وش بین ارقام مورد بررسی، اختلاف معنی‌دار وجود داشت، که این امر نشان‌دهنده تنوع بین ارقام و پاسخ ارقام مختلف به شرایط تنش کم‌آبیاری بود. مقایسه میانگین ارقام مورد مطالعه در شرایط عدم تنش نشان داد که بیش‌ترین عملکرد وش طی سال اول و دوم مطالعه مربوط به رقم ساجدی با ۴۵۹۶ و ۴۵۹۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد وش را در شرایط تنش کم‌آبیاری در سال اول و دوم متعلق به رقم سپید با ۱۶۴۹ و ۱۷۵۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۸). نتایج نشان می‌دهد که میانگین عملکرد وش در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش کاهش شدیدی داشته است. تنش کم‌آبیاری با تأثیر منفی بر تعداد و وزن غوزه در بوته باعث کاهش عملکرد وش پنبه شد. بالا یا پایین بودن پتانسیل عملکرد در این ارقام را می‌توان با متغیر بودن ویژگی‌های مربوط به عملکرد وش در آنها و هم‌چنین پاسخ متفاوت نسبت به شرایط تنش کم‌آبیاری مرتبط دانست (Edalatifard *et al.*, 2007). محققی با بررسی ۱۴ ژنوتیپ پنبه برای عملکرد وش برای هر دو شرایط کم‌آبیاری نرمال و تنش اختلاف معنی‌دار مشاهده و تنوع خوبی را بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد وش گزارش نمودند (Sediq *et al.*, 2014).

همبستگی بین عملکرد وش، ویژگی‌های فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی در شرایط عدم تنش و تنش کم‌آبیاری

نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های مورد مطالعه در شرایط عدم تنش‌آبیاری نشان داد که بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار میزان کاروتنوئید با پرولین (۰/۸۸**) و کلروفیل‌کل (۰/۴۶**) و کمترین همبستگی منفی و معنی‌دار میزان کلروفیل a با کاروتنوئید (-۰/۵۵**)، کلروفیل b با پرولین (-۰/۴۴**) و محتوای نسبی رطوبت برگ با قندهای محلول (-۰/۴۴**) نشان داد. همچنین عملکرد وش پنبه بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار در شرایط عدم تنش آبی با میزان پرولین (۰/۳۱*) و کمترین همبستگی منفی و معنی‌دار با مالن دی‌آلدئید (-۰/۳۳*) نشان داد. نتایج همبستگی قندهای محلول نشان داد بجز کلروفیل‌کل و کاروتنوئید در سایر ویژگی‌های عملکرد وش و فیزیولوژیک مورد مطالعه همبستگی غیرمعنی‌دار و منفی را دارا بود (جدول ۶). ارقامی که میزان کلروفیل، کاروتنوئید و محتوای رطوبت نسبی بالایی دارند، احتمالاً ارقام متحمل به شرایط تنش آبی هستند. نتایج همبستگی عملکرد وش و سایر ویژگی‌های فیزیولوژیکی در شرایط تنش کم‌آبیاری نشان داد بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین میزان کاروتنوئید با پرولین (۰/۹۴**) و کلروفیل a با عملکرد وش (۰/۵۵**) و کلروفیل کل با محتوای رطوبت نسبی برگ (۰/۵۲**) داشته و کمترین همبستگی منفی و معنی‌دار بین میزان کاروتنوئید و محتوای نسبی رطوبت برگ (-۰/۷۱**) و میزان کلروفیل b (-۰/۶۳**) نشان داد. بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار در شرایط تنش کم‌آبیاری بین

عملکرد وش با کلروفیل a (**۰/۵۲)، کاروتنوئید (**۰/۴۱) و پرولین (**۰/۳۲) نشان داد. همچنین عملکرد وش پنبه بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار در شرایط تنش کم‌آبیاری با میزان کلروفیل a (**۰/۵۵) و کمترین همبستگی منفی و معنی‌دار با محتوای نسبی رطوبت برگ (*۰/۴۱-) نشان داد. (جدول ۷). ارقامی که دارای میزان کلروفیل، کاروتنوئید و محتوای رطوبت نسبی برگ بالایی دارند، احتمالاً مقاومت بهتری نسبت به تنش آبی دارند. نتایج نشان داد ارقامی که میزان پرولین بیش‌تری داشتند، میزان قندهای محلول بالاتری دارند. در شرایط تنش آبیاری میزان کلروفیل، کاروتنوئید و درصد رطوبت نسبی برگ کاهش یافته و میزان پرولین، قندهای محلول و مالن‌دی آلدئید افزایش نشان داد افزایش تجمع مالون‌دی آلدئید با کاهش محتوای نسبی رطوبت برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ که تحت تنش کم‌آبیاری قرار گرفته بوند با هم ارتباط دارد (Labudda, 2013). یکی از عوامل مهم در رشد و توسعه گیاهان، میزان رنگیزه‌های فتوسنتز می‌باشد. بالا بودن محتوای کلروفیل در برگ‌ها نشان‌دهنده کارآیی بیش‌تر برگ در جذب نور و عمل فتوسنتز و در نهایت تولید افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌باشد (Hanci and Cebei, 2014). با توجه به نتایج حاصل از تحقیق و ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های ارقام پر محصول و متحمل به تنش آبی مورد مطالعه رقم گلستان و ساجدی جز ارقام متحمل به تنش و رقم‌های ساحل و سپید جز ارقام حساس به تنش آبی و با عملکرد ضعیف بوده بقیه ارقام جز ارقام نیمه حساس به تنش آبی معرفی شدند.

تجزیه خوشه‌ای (کلاستر)

تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که برای تعیین تفاوت‌های بین جوامع مختلف گیاهی و جانوری و دسته‌بندی آن‌ها به گروه‌های مختلف بر اساس فاصله ژنتیکی یا تشابه ژنتیکی به‌کار می‌رود (Ghorbanpour et *al*., 2017) تجزیه خوشه‌ای ارقام پنبه بر اساس ویژگی‌های فیزیولوژیکی مورد بررسی در شرایط غیر تنش و تنش کم‌آبیاری بر اساس روش وارد (Ward) و فاصله اقلیدوسی با در نظر گرفتن خط برش فرضی موجب دسته‌بندی ارقام پنبه در در سه گروه قرار گرفتند (شکل‌های ۱ و ۲). در شرایط عدم تنش آبیاری گروه اول شامل ارقام ساحل، ارمغان و سپید قرار داشتند این گروه بدلیل کاهش عملکرد وش و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاروتنوئید به گروه حساس به شرایط تنش کم‌آبیاری نام‌گذاری شد. گروه دوم شامل ارقام پرتو، شایان، مای، لودوس و لطیف قرار داشت که از نظر عملکرد وش متوسط، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاروتنوئید، پرولین و قندهای محلول میزان متوسطی دارا بودند و به گروه نیمه حساس به کم‌آبیاری معرفی شد و گروه سوم شامل ارقام ساجدی و گلستان که از نظر عملکرد وش نسبت به سایر ارقام دارای میانگین عملکرد وش بیشتری دارا بوده همچنین از نظر رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل‌کل و کاروتنوئید بیش‌ترین میزان را به خود اختصاص دادند که به گروه مقاوم به شرایط عدم تنش آبیاری نام‌گذاری شدند (شکل ۱). گروه‌بندی ارقام در شرایط تنش کم‌آبیاری باعث تقسیم‌بندی ارقام به سه گروه، گروه نیمه مقاوم، مقاوم و حساس به کم‌آبیاری گردید در شرایط تنش کم‌آبیاری ارقام در سه گروه قرار گرفتند که شامل گروه اول ارقام شامل لطیف، شایان، ارمغان و ساجدی که دارای عملکرد وش متوسط و از نظر سایر ویژگی‌های فیزیولوژیکی میزان متوسطی را داشتند که به گروه نیمه مقاوم به تنش آبیاری معروف شدند. گروه دوم متعلق به رقم گلستان با بیش‌ترین عملکرد وش در شرایط تنش کم‌آبیاری و از نظر میزان پرولین و قندهای محلول بیش‌ترین میزان را به خود اختصاص داد و به‌عنوان رقم مقاوم به تنش کم‌آبیاری معرفی شد و گروه سوم شامل ارقام پرتو، ساحل، لودوس، مای و سپید دارای عملکرد وش کمتری داشته و از سایر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد وش پایینی داشته و به گروه حساس به تنش می‌باشند (شکل ۲). بنابر این، بر اساس نتیجه به‌دست آمده از این تحقیق می‌توان با انتخاب ارقام مختلف جهت انجام کارهای به‌زراعی برای اصلاح خصوصیات مهم زراعی و دست‌یابی برای لاین‌ها و ارقام امید بخش در پنبه مورد استفاده قرار گیرد. بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهی در ۴۰ ژنوتیپ پنبه نشان داد که بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های پنبه در سه گروه متمایز طبقه‌بندی گردید که این موضوع برای گزینش و کاربرد آن در برنامه‌های مختلف به‌نژادی را تسهیل می‌کند (Alishah., 2020).

جدول ۶- همبستگی بین ویژگی‌های فیزیولوژیک مورد مطالعه دو ساله تحت شرایط عدم تنش آبی

Table 6- correlation between the of the physiological characteristics of the two-year study under the condition of no water stress

همبستگی صفات Traits correlate	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
کلروفیل a: (۱) Chlorophyll a	1								
کلروفیل b: (۲) Chlorophyll b	*-0.38	1							
کل کلروفیل: (۳) Total Chlorophyll	*-0.29	-0.12	1						
کاروتنوئید: (۴) Carotenoid	**-0.55	*-0.37	**0.46	1					
محتوای نسبی رطوبت برگ: (۵) R.W.C	*0.33	-0.16	-0.19	-0.18	1				
پرولین: (۶) Proline	*-0.37	**-0.44	*0.36	**0.88	0.31	1			
قندهای محلول: (۷) Soluble sugars	-0.24	0.23	0.13	-0.02	**-0.44	-0.23	1		
مالن‌دی آلدئید: (۸) M.D.A	-0.20	*-0.37	0.12	*0.37	-0.12	*0.30	-0.11	1	
عملکرد وش: (۹) Boll yield	-0.20	0.07	0.05	0.23	0.19	*0.31	-0.11	*-0.33	1

**و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and *: significant at level of 1 and 5%, respectively

جدول ۷- همبستگی بین ویژگی‌های فیزیولوژیک مورد مطالعه دو ساله تحت شرایط تنش کم‌آبیاری

Table 7- correlation between of the physiological characteristics of the two-year study under the conditions of low water stress

همبستگی صفات Traits correlate	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
کلروفیل a: (۱) Chlorophyll a	1								
کلروفیل b: (۲) Chlorophyll b	-0.03	1							
کل کلروفیل: (۳) Total Chlorophyll	-0.22	-0.18	1						
کاروتنوئید: (۴) Carotenoid	-0.09	-0.63**	-0.08	1					
محتوای نسبی رطوبت برگ: (۵) R.W.C	-0.15	0.29*	0.52**	-0.71**	1				
پرولین: (۶) Proline	-0.19	-0.67**	0.16	0.94**	-0.41	1			
قندهای محلول: (۷) Soluble sugars	-0.02	0.28*	-0.25*	-0.13	-0.19	-0.27*	1		
مالن‌دی آلدئید: (۸) M.D.A	-0.25*	-0.24	0.30	0.05	0.03	0.07	-0.25	1	
عملکرد وش: (۹) Boll yield	0.55**	-0.33*	-0.03	0.41*	-0.41*	0.32*	-0.38*	0.00	1

**و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and *: significant at level of 1 and 5%, respectively

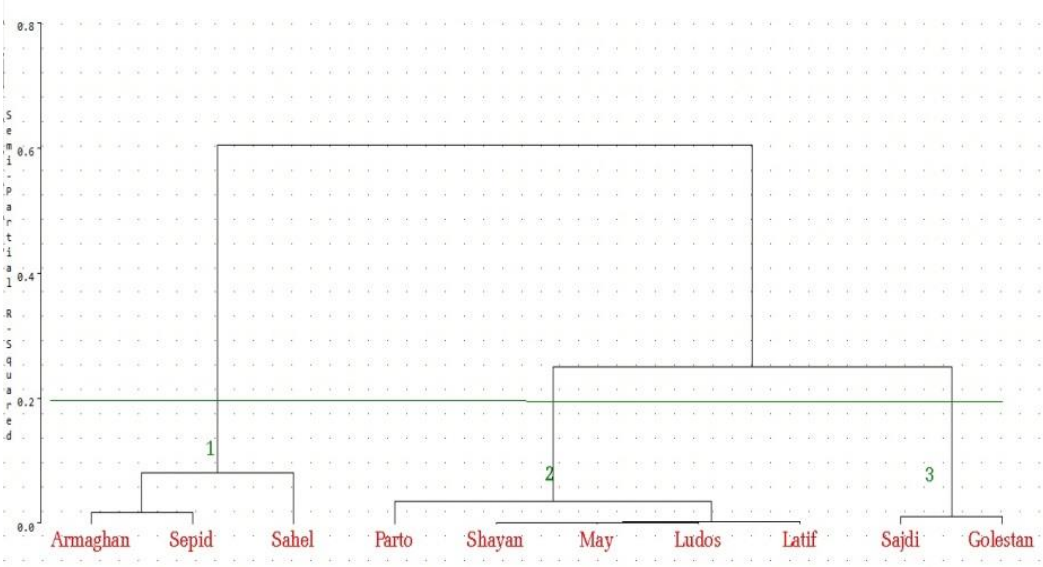
جدول ۸- مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در ترکیب تیمارهای مختلف روی ارقام پنبه در دو سال زراعی

Table 8- Means Comparison of characteristics studied in the combination of different treatments on cotton cultivars in two crop years

کم‌آبیاری Deficit Irrigation	رقم Cultivar	مالن‌دی آلدئید MDA (mg/gfw)		عملکرد وش Boll Yield ($kg.ha^{-1}$)	
		سال اول One year	سال دوم Two year	سال اول One year	سال دوم Two year
بدون تنش No-Stress	ارمغان Armaghan	5.67^{fg}	5.72^{fg}	3776^{d}	3758^{f}
	پرتو Parto	4.64^{fg}	4.79^{fg}	4233^{b}	4284^{b}
	ساجدی Sajdi	5.65^{fg}	5.53^{fg}	4596^{a}	4593^{a}
	ساحل Sahel	5.72^{fg}	5.63^{fg}	3527^{e}	3126^{h}
	سپید Sepid	6.49^{f}	6.19^{f}	3657de	3532^{g}
	شایان Shayan	4.72^{fg}	4.81^{fg}	4054^{bc}	4037^{c}
	گلستان Golestan	5.76^{fg}	5.87^{fg}	4563^{a}	4473^{a}
	لطیف Latif	5.80^{fg}	5.83^{fg}	4015^{c}	3903de
	لودوس Ludos	4.35^{g}	4.48^{g}	4024^{c}	3997^{cd}
	مای May	6.25^{fg}	5.82^{fg}	4225^{b}	3826^{ef}
تنش کم‌آبیاری Irrigation Stress	ارمغان Armaghan	18.93^{bcd}	19.05^{b}	2223^{gh}	2110^{klm}
	پرتو Parto	15.77^{e}	15.70^{d}	2107^{hi}	1826^{o}
	ساجدی Sajdi	19.17^{bcd}	18.68^{cb}	2371^{fg}	2279^{j}
	ساحل Sahel	24.31^{a}	24.58^{a}	1830^{ij}	1985^{n}
	سپید Sepid	19.48^{bcd}	14.06^{de}	1649^{k}	1756^{o}
	شایان Shayan	17.38^{de}	17.35^{c}	2045^{hi}	2159^{jkl}
	گلستان Golestan	17.48^{cde}	14.58^{de}	2535^{f}	2688^{i}
	لطیف Latif	17.47^{cde}	18.17^{bc}	2314^{g}	2043^{mn}
	لودوس Ludos	20.15^{b}	19.59^{b}	1793^{k}	2187^{jk}
	مای May	19.42^{bc}	19.69^{b}	1992^{ij}	1998^{mn}
	$LSD_{0.05}$	1.96	1.6	183	123.9

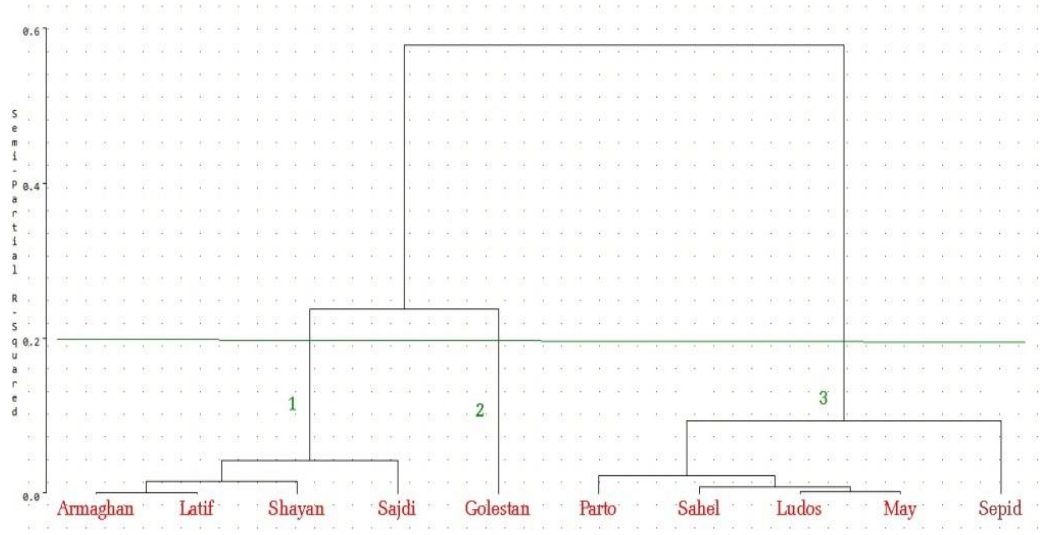
میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد با هم ندارد.

Means with common letters in each column do not have a significant difference at the level of 1%.



شکل ۱- گروه بندی ارقام پنبه تحت شرایط عدم تنش کم‌آبیاری بر اساس فاصله اقلیدسی و الگاریتم میانگین به روش Ward

Figure 1- Grouping of cotton cultivars under conditions of lack of irrigation stress based on Euclidean distance and mean algorithm by Ward method.



شکل ۲- گروه بندی ارقام پنبه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری بر اساس فاصله اقلیدسی و الگاریتم میانگین به روش Ward

Figure 2- Grouping of cotton cultivars under water stress conditions based on Euclidean distance and average algorithm by Ward method.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، ارقام با کاربرد تیمارهای تنش کم‌آبیاری، از نظر ویژگی‌های مرتبط با رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنتی اکسیدان‌های غیر آنزیمی و عملکرد وش اختلاف معنی‌داری را نشان داد. مطالعه تجزیه مرکب اثر متقابل ارقام تحت تنش کم‌آبیاری طی دو سال زراعی عملکرد وش و مالن‌دی آلدئید اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. اکثر ویژگی‌های مورد مطالعه تحت تأثیر شدت تنش کم‌آبیاری و مرحله رشد قرار گرفتند. میزان پرولین با افزایش تنش بیش‌تر شده به‌طوری‌که در سطح تنش متوسط دو مرحله کم‌آبیاری (تشکیل غنچه و شروع گل‌دهی) نسبت به شرایط عدم تنش افزایش قابل توجهی داشت. میزان کلروفیل a تحت تأثیر شدت تنش قرار گرفته، ولی در میزان کلروفیل b تغییر زیادی مشاهده نشد، زیرا کلروفیل a نسبت به کلروفیل b حساسیت زیادی به تنش کم‌آبیاری داشته به همین دلیل میزان تغییرات کلروفیل a در شرایط تنش بیش‌تر از کلروفیل b بود. میزان کاروتنوئید با

افزایش روند شدت تنش کم‌آبیاری میزان آن کاهش یافته است. کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی را می‌توان عموماً به تخریب ساختار کلروپلاست، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها نسبت داد. در رابطه با تأثیر تنش کم‌آبیاری روی فعالیت‌های آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی پرولین، قندهای محلول و مالن‌دی آلدئید تحت تأثیر شدت تنش کم‌آبیاری مقدار آن‌ها افزایش یافت. مقایسه میانگین عملکرد ارقام پنبه طی دو سال نشان می‌دهد، که میانگین عملکرد وش پنبه در شرایط تنش‌کم‌آبیاری نسبت به شرایط عدم تنش در سال اول و دوم به‌ترتیب ۵۱/۳ و ۵۳/۲ درصد کاهش داشته است که کاهش عملکرد وش پنبه در اثر کاهش تعداد غوزه در بوته تحت شرایط تنش کم‌آبیاری بود. عملکرد وش پنبه بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار در شرایط عدم تنش آبی با میزان پرولین (۰/۳۱*) و در شرایط تنش آبیاری با میزان کلروفیل a (۰/۵۵**) و کمترین همبستگی منفی و معنی‌دار در شرایط عدم تنش با مالن‌دی آلدئید (-۰/۳۳*) و در شرایط تنش با محتوای نسبی رطوبت برگ (-۰/۴۱*) نشان داد. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق و ضرایب همبستگی بین ویژگی‌ها ارقام متحمل به تنش آبی مورد مطالعه رقم‌های گلستان و ساجدی جز ارقام متحمل به تنش و رقم‌های ساحل و سپید جز ارقام حساس به تنش آبی و بقیه ارقام جز ارقام نیمه حساس به تنش آبی معرفی شدند.

سپاسگزاری

نویسنده بر خود وظیفه می‌داند از زحمات و همکاری مسئولین آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی گنبد کاووس تقدیر و تشکر نمایم.

References

Alishah, A., 2014. Studying the adaptability and quantitative and qualitative characteristics of promising cotton cultivars in temperate and cold regions of Iran. Final Report of Cotton Research Institute, Iran, Gorgan, pp. 34. [In Persian].

Alishah, O., 2020. Assessment of genetic variability, heritability and association of plant attributes with lint yield and fiber quality in advanced lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, *22*(4), pp.350-364. [In Persian]. **doi: 10.52547/abj.22.4.350**

Parida, A.K., Dagaonkar, V.S., Phalak, M.S. and Ourangabadkar, L.P., 2008. Differential responses of the enzymes involved in proline biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery. *Acta Physiologiae Plantarum*, *30*(5), pp.619-627.

Aydogdu, M.H., Karli, B., Dogan, H.P., Sevinc, G., Eren, M.E. and Kucuk, N., 2018. Economic analysis of agricultural water usage efficiency in the GAP-Harran plain: cotton production sampling, sanliurfa-Turkey. *International Journal of Advances in Agriculture Sciences*, *12*(3), pp.12-19.

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*, *23*(1), pp.12-121.

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Journal of Plant and Soil*, *39*(1), pp.205-207. **doi: 10.1007/bf00018060**

Blum, A., Gozlan, G. and Mayer, J., 1981.The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm. *Crop Science*, *21*(4), pp.495-499. **doi: 10.2135/cropsci1981.0011183x002100040004x**

Chowdhury, J., Karim, M., Khaliq, Q. and Ahmed, A., 2017. Effect of drought stress on Bio-chemical change and cell membrane stability of soybean genotypes. *Bangladesh Journal Agricultural Research*, *42*(3), pp.475-485. **doi: 10.3329/bjar.v42i3.34506**.

Dbira, S., Al Hassan, M., Gramazio, P., Ferchichi, A., Vicente, O., Prohens, J. and Boscaiu, M., 2018. Variable

levels of tolerance towater stress (drought) and associated biochemical markers in tunisian barley landraces. *Journal of Molecules*, *23*(3), pp.1-15. **doi: 10.1016/j.plaphy.2012.01.002.**

Devi, M.A. and Giridhar, P., 2015. Variations in physiological response, lipid peroxidation, antioxidant enzyme activities, proline and isoflavones content in soybean varieties subjected to drought stress. *proceedings of the national academy of sciences, India section B: biological sciences*, *85*(1), pp.35-44. **doi: 10.1007/s40011-013-0244-0.**

Ebtedaee, M. and Shekafandeh, A., 2016. Morph-physiological changes of two cultivars of pomegranate 'Rabab' and 'Shisheh Gap' under water stress conditions. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *17*(2), pp.209-220. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.16807154.1395.17.2.7.5**

Edalatifard, L., Galeshi, S., Soltani, A. and Akramghaderi, F., 2007. The role of morphophysiological traits in drought tolerance of cotton genotypes. *Journal of Agricultural Science and Natural Resource*, *13*(2). [In Persian].

Elsayed A.I., Elhamahmy, M.A.M., Rafudeen, M., Mohamed, A.H. and Omar, A.A., 2019. The impact of drought stress on antioxidant responses and accumulation of flavonolignans in milk thistle (*Silybum marianum* L Gaertn). *Plants*, *8*(12), pp.611-625. **doi: 10.3390/plants8120611**.

Gur, A., Demirel, U., Ozden, M., Kahraman, A. and Copur, O., 2010. Diurnal gradual heat stress affects antioxidant enzymes, proline accumulation and some physiological components in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *African Journal of Biotechnology*, *9*(7), pp.1008-1015. **doi: 10.5897/ajb09.1590**

Ghorbanpour, A., Salemi, A., Tajik Ghanbary, M.A., Pirdashti, H. and Dehbashi, A., 2017. Relationship between fruit yield and its components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars using multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding*, *9*(24), pp.22-29. **doi: 10.29252/jcb.9.24.22**

Guo, W.Q., Zhang, P.T., Li, C.H., Yin, J.M. and Han, X.Y., 2015. Recovery of root growth and physiological characters in cotton after salt stress relief. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *75*(1), pp.85-91. **doi: 10.4067/s0718-58392015000100012.**

Hannoufa, A. and Hossain, Z., 2012. Regulation of carotenoid accumulation in plants. *Journal of Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *1*(3), pp.198-202. **doi: 10.1016/j.bcab.2012.03.004**

Hassani Moghadam, E., Esna-Ashari, M. and Rezaeinejad, A., 2015. Effect of drought stress on some physiological characteristics in six commercial iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) Cultivars. *Plant Products Thechnology*, *15*(1), pp.1-11. [In Persian].

Hanci, F. and Cebei, E., 2014. Investigation of proline, chlorophyll and carotenoids changes under drought stress in some onion (*Allium Cepa* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, *2*, pp.1499-1504.

Himanshu, S.K., Singh, A.K., Kumar, S. and Kalura, P., 2013. Response of broccoli to irrigation scheduling and methods under drip, sprinkler and surface irrigation. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, *2*(4), pp.777-782.

Jones, R.O., Thomas, H., Waalard, H. and Jones, S.R., 2013. The molecular life of plants (No. 581.15/. 16 MOL).

Karimi, S., Abbaspour, H., Sinaki, J.M. and Makarian, H., 2012. Effects of water deficit and chitosan spraying on osmotic adjustment and soluble protein of cultivars castor bean (*Ricinus communis* L.). *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, *8*(3), pp.160–169.

Kalantar Ahmadi, S.A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Daneshian, J. and Siadat, S.A., 2014. Effects of water stress and nitrogen on changes of some amino acids and pigments in canola. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, *9*(3), pp.114-122.

Khan, N., Syeed, S., Masood, A., Nazar, R. and Iqbal, N., 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology*, *1*(1), pp.1-8. **doi: 10.4081/pb.2010.e1**

Khaitov, B. and Teshaev, S., 2015. The effect of arbuscular mycorrhiza fungi on cotton growth and yield under salinated soil condition. *Journal of Cotton Genomics and Genetics*, *6*(3), pp.1-5. **doi: 10.5376/cgg.2015.06.0003**

Liu, G., Li, X., Jin, S., Liu, X., Zhu, L., Nie, Y. and Zhang, X., 2014. Overexpression of rice NAC gene SNAC1 improves drought and salt tolerance by enhancing root development and reducing transpiration rate in transgenic cotton. *PloS One*, *9*(1), pp.11-42. **doi: 10.1371/journal.pone.0086895**

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B.P.C. and Sohrabi, Y., 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, *4*(8), pp.580-585.

Martinez-Romero, A., Dominguez, A. and Landeras, G., 2019. Regulated deficit irrigation strategies for different potato cultivars under continental Mediterranean-Atlantic conditions. *Agricultural of Journal Water Management*, *216*(1), pp.164-176. **doi: 10.1016/j.agwat.2019.01.030**

Mbava, N., Mutema, M., Zengeni, R., Shimelis, H. and Chaplot, V., 2020. Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide metaanalysis. *Agricultural Water Management*, *228*(3), pp.105878. **doi: 10.1016/j.agwat.2019.105878**

Mehrabadi, H.R., 2014. Investigation on effects of drought stress on growth and physiological aspects of cotton at controlled and filed conditions, PhD thesis. pp:490. Agricultural College of Ferdowsi University, Mashhad. [In Persian]. **doi: 10.22067/jpp.v31i1.45715**

Meier, S., Tzfadia, O., Vallabhaneni, R., Gehring, C. and Wurtzel, E.T., 2011. A transcriptional analysis of carotenoid, chlorophyll and plastidial isoprenoid biosynthesis genes during development and osmotic stress responses in Arabidopsis thaliana. *Journal of BMC Systems Biology*, *19*(5), pp.1-77. **doi: 10.1186/1752-0509-5-77**

Saleem, M.F., Anjum, S.A., Shakeel, A., Ashraf, M. and Khan, H.Z., 2009. Effect of row spacing on earliness and yield in cotton. *Pakistan Journal of Botany*, *41*(5), pp.2179-2188.

Saeid nejad, A.H. and Rajaei, P., 2015. Antioxidative responses to drought and salinity stress in plants, A comprehensive review. *International Journal of Life Sciences*, *9*(2), pp.1-8. **doi: 10.5555/20153209086**

Schlegel, H.G., 1956. The utilization of organic acids by chlorella in the light. *Plant Journal*, *47*(5), pp.510-526.

Schlemmer, M.R, Francis, D.D., Shanahan, J.F. and Schepers, J.S., 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal*, *97*(1), pp.106– 112. **doi: 10.2134/agronj2005.0106**

Sediq, S., Bajit, M., Qadri, M.Q. and Samadzadeh, A.R., 2014. Determining suitable indicators to evaluate drought tolerance in cotton genotypes. *Final Report of Cotton Research Institute*, *Iran, Gorgan*, *3*(2), pp.41-53. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijcr.2016.106769**

Steduto, P., Hoogeveen, J., Winpenny, J. and Burke, J., 2017. Coping with water scarcity: An action framework for agriculture and food security. *FAO Water Reports*, pp.38, Rome, Italy.

Silva, M.A., Jifon, J.L, Silva, J.A. and Sharma, V., 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Braz. *Journal of Plant Physiology*, 19(3), pp.193-201. **doi: .10.1590.s1677-04202007000300003**

Stewart, R.R. and Bewley, J.D., 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, *65*(2), pp.245-248. **doi: 10.1104/pp.65.2.245**

Sumartini, E.S., Mulyani, S. and Abdurakhman, M., 2013. Screening of cotton lines *(Gossypium hirsutum L.*) tolerance to drought at germination stage with PEG-6000. *Jurnal Litteri*, *19*(3), pp.139-146. **doi: 10.5897/joda2021.0067**

Tang, W., Luo, Z., Wen, S.M., Dong, H.Z., Xin, C.S. and Li, W.J., 2007. Comparison of inhibitory effects on leaf photosynthesis in cotton seedlings between drought and salinity stress. *Cotton Science*, *19*(2), pp.28-32.

Viera Santos, C., 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Journal of Science Horticulturae*, *103*(1), pp.93-99. **doi: 10.1016/j.scienta.2004.04.009**

Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A. and Abbassi, F., 2011. The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of Satureja hortensis. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(4), pp.798-807. **doi: 10.5897/ajar10.405**

Yu, X., X, Du. and Song, L. 2007. Effects of water stress on the growth and ecophysiology of seedlings of the Rhustyphina. *Scientia Silvge Sinicae*, *43*(11), pp.57-61.

Zain, N.A.M., Ismail, M.R., Mahmood, M., Puteh, A. and Ibrahim, M.H., 2014. Alleviation of water stress effects on MR220 rice by application of periodical water stress and potassium fertilization. *Molecules Journal*, *19*(2), pp.1795-1819. **doi: 10.3390/molecules19021795**

Zhang, Z., Zhang, X., Hu, Z., Wang, S., Zhang, J., Wang, X. and Zhang, B., 2015. Lack of K-dependent oxidative stress in cotton roots following coronatine-induced ROS accumulation. *PloS One*, *10*(5), pp.64-76. **doi: 10.1371/journal.pone.0126476**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 2, Summer 2024, P. 501-520

Effect of low irrigation stress on yield, physiological characteristics and Non-enzymatic antioxidants of cotton cultivars (*Gossypium hirsutum* L.)

Hamid Kouhkan[1*], Ali Nakhzari Moghaddam[2], Ali Rahemi Karizaki[2], Omran Alishah[3]

[1] Ph.D. Student of Agrotechnology - Ecology of Agronomy Plants, Department of Plant Production, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
[2] Plant Production Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
[3] Cotton Research Institute of Gorgan, Iran
[*]Corresponding Author: kouhkan.hamid@yahoo.com

Received: 25 August 2023 Accepted: 22 October 2023 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.413281.1371**

Abstract

Introduction: Due to Iran's location in the arid and semi-arid region of the world, the possibility of drought is high. Therefore, implementing low irrigation to increase the efficiency of limited water resources is a scientific solution to reduce water consumption. On the other hand, irrigation deficit in cotton is the most important factor limiting production worldwide, which indicates the need for optimal use of water resources to determine the real water needs of cotton plants. Therefore, development and introduction of drought tolerant cultivars and useful method to improve water productivity and efficiency in the face of drought and water scarcity. The aim of this experiment was to evaluate cotton cultivars by measuring traits related to photosynthetic pigments and yield in order to select drought tolerant cultivars.

Materials and Methods: The present study, evaluated physiological traits of 10 cotton cultivars that were known as tolerant cultivar under irrigation deficit based on the measurement of traits and mechanisms of drought tolerance split-plot arrangement using randomized complete blocks design with three replications in 2021 and 2022 years, in the educational and research farm of Gonbadkavos University (Golestan province), Iran. Experimental research includes two different irrigation regime The main factor of irrigation stress in two levels including low irrigation stress (two times of irrigation in the stages of bud formation and beginning of flowering) and no stress (four times of irrigation in the stages of bud formation, beginning of flowering, beginning of bud formation and beginning of bud opening) and the factor Sub-types of cotton were included in 10 levels (Shayan, Sahel, Sepid, Sajidi, Golestan, Latif, Armaghan, Parto, Mai and Lodos). The studied traits include physiological characteristics such as chlorophyll a, b and carotenoids, proline and boll yield. Photosynthetic pigments were measured by spectrophotometer and its concentration was performed by Arnon (1967) method.

Results and Discussion: Based on the results of this experiment, cultivars with low irrigation stress treatments showed a significant difference in terms of traits related to photosynthetic pigments and non-enzymatic antioxidants and their yield. The study of compound analysis of interaction effect of cultivars in the stress of low irrigation during two crop years showed a significant difference in the yield of Vash and malendialdehyde. Most of the studied traits were affected by the intensity of low irrigation stress and growth stage. The amount of proline increased with the increase of stress so that at the medium stress level of two stages of irrigation (bud formation and beginning of flowering) it increased significantly compared to the condition of no stress. The amount of chlorophyll a was affected by the intensity of stress, but there was no significant change in the amount of chlorophyll b. In the first and second year, the highest yield of rice in non-stress conditions belonged to Sajidi variety with 4596 and 4593 kg/ha^{-1}, respectively, and the lowest yield in water stress conditions in the first and second year belonged to Sepid variety, with 1649 and 1756 kg/ha^{-1}, respectively. The decrease in the yield of cotton was due to the decrease in the number of bolls in the plant under the condition of low irrigation stress.

Conclusion: The results of this study indicated the traits of tolerance cultivars under irrigation deficit. Also, cultivars showed different reactions to the studied traits. According to the results of the research and the correlation coefficients between the traits, among the water stress tolerant cultivars studied, Golestan and Sajidi cultivars are among the stress tolerant cultivars, Sahil and Sepid cultivars are the sensitive cultivars to water stress, and the other cultivars are the semi-sensitive cultivars. Water stress was introduced.

Keywords: Carotenoid, Chlorophyll, Proline, Sajdi