

# تأثیر تنش خشکی و اشعه ماوراء بنسفس (UV-C) بر سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنژیمی و غیر آنژیمی در سه رقم گندم (*Triticum aestivum L.*)

زینب رضایی فر<sup>۱</sup>، سیامک فلاحتی<sup>۱</sup> و اسماعیل قلی نژاد<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup>گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، <sup>۲</sup>گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور

(تاریخ دریافت: ۱۴/۱۲/۱۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۰۶/۲۸/۱۳۹۶)

چکیده:

تنش خشکی و اشعه UV به عنوان عوامل محیطی تنش‌زا اثرات زیانباری بر فرایندهای فیزیولوژیکی و رشد گونه‌های گیاهی دارد. لذا به منظور بررسی تاثیر تنش خشکی UV-C و UV-B بر سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنژیمی و غیر آنژیمی در ارقام مختلف گیاه گندم (*Triticum aestivum L.*), آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۴ اجرا گردید. عامل اول شامل تنش خشکی در دو سطح (شاهد و تنش خشکی با اعمال ۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، عامل دوم شامل اشعه UV در دو سطح (شاهد و اشعه UV-C) و عامل سوم سه رقم گندم ("زارع"، "پیشگام" و "میهن") بود. در این تحقیق صفات موروفولوژیک، رنگیزه‌های فتوستتری و آنژیم‌های موثر بر سیستم دفاعی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی و اشعه UV محتواهای فلاونوئیدها در رقم "میهن" افزایش و در رقم "پیشگام" کاهش معنی‌داری یافت در حالی که در همین شرایط (تنش خشکی و اشعه UV) محتواهای آنتوسیانین‌ها افزایش معنی‌داری نشان داد. تیمار خشکی و اشعه UV سبب ایجاد تنش اکسیداتیو در ارقام مختلف گیاه گندم شد. علاوه بر این تنش خشکی ترکیبات فنلی را افزایش داد و موجب افزایش فعالیت آنژیم‌های آنتی اکسیدان نظری کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز شد. محتواهای کربوهیدرات‌های محلول نیز تحت شرایط تنش خشکی افزایش معنی‌داری یافت. در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV محتواهای پرولین را در کلیه ارقام حدود ۳۱ درصد افزایش داد در حالی که این افزایش در شرایط بدون تنش خشکی ۲۲ درصد بوده است. افزایش فعالیت آنژیم‌های آنتی اکسیدانی در هر سه واریته مشاهده شد، همچنین محتواهای مالوندی‌آلثید و پرولین در هر سه رقم مورد مطالعه افزایش یافت. اشعه UV باعث کاهش معنی‌دار محتواهای کلروفیل a<sup>a</sup> و کلروفیل b<sup>b</sup> کل شد. همچنین تیمار با اشعه UV-C باعث کاهش وزن خشک ریشه و ساقه و طول ریشه و ساقه در هر سه رقم شد. کاربرد توان تنش خشکی و اشعه UV باعث تشدید خسارات واردہ به گیاه شد. همچنین رقم "زارع" با توجه به افزایش میزان فلاونوئیدها و آنتوسیانین نسبت به ارقام "میهن" و "پیشگام" رقم متحمل به تنش خشکی شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، اشعه UV، تنش خشکی، فلاونوئیدها، گندم

مقدمه:

هستند. بنابراین روز به روز از میزان زمین‌های مناسب برای کشاورزی کاسته می‌شود، در حالی که نیاز غذایی بشر روز به روز در حال افزایش است. تنش آبی نفوذ پذیری غشا را افزایش می‌دهد و تجمع رادیکال‌های آزاد را در گیاهان القا خشکی، وسیع‌ترین عوامل ایجاد کننده تنش در گیاهان در سطح جهان می‌باشند. بیش از ۴۵ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان به طور دائم یا مکرر تحت تاثیر خشکی

آنتوسیانین مورد بررسی قرار دادند و مشاهده نمودند که رشد رویشی به طور معنی‌داری کاهش یافته است (قناطی و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین در آزمایش دیگری اشعه UV-C باعث کاهش معنی‌دار پروتئین برگ در گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.) شد (جهران بین و همکاران، ۱۳۹۴؛ شهبازی و همکاران، ۱۳۹۵؛ خواجه و همکاران، ۱۳۹۴؛ Ganji Arjenaki *et al.*, 2012؛ Salwa and Osama, 2014) در آزمایش دیگری گزارش شد با افزایش تنش کم آبی، صفات میزان پروتئین، فلاونوئید، کلروفیل کل و کاروتونوئیدهای گیاه گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.) کاهش معنی‌داری یافت (بلوچی و همکاران، ۱۳۸۷). کاهش ضخامت لایه آزن در اثر افزایش آلاینده‌ها، سبب گردید (بلوچی و همکاران، ۱۳۸۷). تابش اشعه UV-C منجر به کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل، کاروتونوئید، پروتئین و کربوهیدرات در گیاه گندم شد (رحمت زاده و خارا، ۱۳۸۷؛ Sakuraba *et al.*, 2013؛ Bandurska *et al.*, 2014).

گندم مهم‌ترین غله در جهان می‌باشد. به علت راندمان تولید زیاد و نیز امکان کشت آن در اکثر نقاط جهان و همچنین قابلیت پخت و خواص منحصر به فرد تغذیه‌ای و صنعتی و کیفیت فوق العاده گلوتون، هیچ غله‌ای نمی‌تواند با آن رقابت نماید (Al-Mahasneh, 2006). با توجه به اینکه تاکنون هیچ تحقیقی در مورد تاثیر متقابل تنش خشکی و اشعه UV-C بر ارقام مختلف گندم که آینده غذایی انسان‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد انجام نشده است لذا این پژوهش با هدف بررسی تاثیر تنش خشکی و اشعه UV بر رنگیزهای فتوستزی، سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی روز سه رقم گندم انجام گرفت.

#### مواد و روش‌ها:

بذرهای ارقام ("زارع"، "پیشگام" و "میهن") گندم (*Triticum aestivum* L.) (بدلیل معرفی شدن به عنوان ارقام متحمل به بیماری زنگ، سرما و کم آبیاری توسط مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و استفاده در سطح وسیع توسط کشاورزان در استان و زود بازده بودن آن) از سازمان تحقیقات جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی تهیه گردید. بذرهای ارقام مورد مطالعه پس از ضد عفنونی شدن و جوانه‌زنی در گلدان‌های حاوی ماسه و خاک به نسبت ۵ به ۱، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار کشت گردید. رشد تحت شرایط دمایی کنترل شده  $2 \pm 25$  درجه سانتی‌گراد با تناوب نوری روشنایی ۱۶ ساعته انجام گرفت. از آب مقطر (حدود ۱۰ سی سی) برای آبیاری یک در روز در میان و محلول غذایی

می‌کند (Sun and Waters, 2003). محققان گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتونوئیدها، پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در گیاه گندم شد (جهران بین و همکاران، ۱۳۹۴؛ شهبازی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Ganji Arjenaki *et al.*, 2012؛ Salwa and Osama, 2014) در آزمایش دیگری گزارش شد با افزایش تنش کم آبی، صفات میزان پروتئین، فلاونوئید، کلروفیل کل و کاروتونوئیدهای گیاه گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.) کاهش معنی‌داری یافت (بلوچی و همکاران، ۱۳۸۷). کاهش ضخامت لایه آزن در اثر افزایش آلاینده‌ها، سبب گاهش جذب پرتوهای ماوراء بنفش خورشید به وسیله‌ی این لایه و وارد آمدن آسیب به موجودات زنده، از جمله گیاهان می‌شود (Krizek *et al.*, 1998). از جمله اثرات مضر این اشعه در گیاهان می‌توان به کاهش فوتوستزی بدنبال کاهش رنگدانه‌های فتوستزی، تجزیه پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و القاء تنش اکسیداتیو اشاره کرد (Allen *et al.*, 1998). گونه‌های گیاهی مختلف پاسخ‌های متفاوتی در برابر آسیب‌های اشعه UV بروز می‌دهند (Wargent and Jordan., 2013). از جمله پاسخ‌های گیاهان، تجمع رنگیزهای جذب کننده طیف نوری در ناحیه ماوراء بنفش، مانند آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها می‌باشد (Buer *et al.*, 2010). علاوه بر نقش متنوع فلاونوئیدها در فیزیولوژی، بیوشیمی و اکولوژی گیاهان، فلاونوئیدها نقش بسیار مهمی در تغذیه انسان دارند (Martens and Mithofer, 2005). موثرترین مکانیسم حفاظتی غیر آنزیمی تحریک شده تحت تنش خشکی و UV، بیوستزی فلاونوئیدها و ترکیب‌های فنلی جذب کننده اشعه UV است (Jaakola, 2013) که علاوه بر نقش آنتی اکسیدانی به عنوان ترکیبات جذب کننده ویژه اشعه UV نقش مهمی ایفا می‌کند. محققان نشان دادند که اشعه UV-C باعث کاهش طول اندام‌های هوایی، تعداد و طول ریشه در گیاه آلوئه ورا (*Aloe vera* L.) شد اما تعداد شاخساره را افزایش داد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۹). پژوهشگران دیگری نیز تاثیر اشعه UV-C را بر برخی صفات گیاه صبر زرد (*Aloe vera* L.) مانند کلروفیل، فلاونوئید و

شدن کامل نمونه‌ها، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

**سنجدش محتوای کلروفیل و کاروتینوئید:** برای سنجش محتوای کلروفیل و کاروتینوئید از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) استفاده شد. بدین منظور ۰/۲ گرم از برگ‌های دوم و سوم گیاه با ۱۰ سی سی استون ۷/۷ در هاون چینی کاملاً تمیز و خشک بطور کامل سائیده شد و پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (Chalice) ساخت شرکت Wagtech در ۴۰۰ دور در دقیقه (rpm)، میزان جذب نوری آن‌ها در مقابل نمونه شاهد (استون) توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر Universal ساخت کمپانی Hettich (برای کلروفیل a) در طول موج‌های ۶۶۳ (برای کلروفیل b) و ۶۴۸ (برای کاروتینوئید) خوانده شد و پس از تعیین درصد جذب نوری آنها با استفاده از روابط زیر محتوای کلروفیل a و b و کاروتینوئیدها تعیین گردید و با واحد mg/gFW ارائه شد.

$$\text{Chla} (\mu\text{g/ml}) = \frac{12/25A_{648} - 2/79A_{663}}{A_{663}/A_{648}} \quad (1)$$

$$\text{Chlb} (\mu\text{g/ml}) = \frac{21/5A_{648} - 5/1A_{663}}{A_{663}/A_{648}} \quad (2)$$

$$\text{Carotenoid} = \frac{(100A_{470} - 1.82\text{Chla} - 85.02\text{Chlb})}{198} \quad (3)$$

**سنجدش فلاونوئیدها :** برای سنجش فلاونوئیدها ۰/۲ گرم ماده گیاهی شامل بافت ریشه و برگ‌ها در ۳ میلی لیتر اتانول اسیدی (اتانول و اسید استیک به نسبت ۹۹ به ۱) خوب ساییده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰ rpm سانتریفیوژ شد. محلول رویی به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. میزان جذب نمونه‌ها پس از سرد شدن توسط اسپکتروفوتومتر در سه طول موج ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه محتوای فلاونوئیدها، از منحنی استاندارد کوئرستین ساخت شرکت مرک با غاظت‌های ۲۰-۸۰ میلی گرم در لیتر استفاده شد (Krizek *et al.*, 1998).

**سنجدش آنتوسیانین‌ها:** برای سنجش آنتوسیانین، ۰/۲ گرم از اندام هوایی گیاه در ۳ میلی لیتر مтанول اسیدی (متنول و اسید کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱) خوب ساییده و سپس عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰ rpm سانتریفیوژ شد. محلول رویی به مدت یک شب در تاریکی داخل دسیکاتور جهت حذف حلال قرار داده شد و بعد بمدت ۱۰ دقیقه با ۴۰۰۰ rpm

هوگلند در هفته یک بار جهت بهبود شرایط رشد گیاهان استفاده گردید (سامانی و همکاران، ۱۳۹۵).

عامل اول شامل تنش خشکی در دو سطح (شاهد و تنش خشکی با اعمال ۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، عامل دوم شامل اشعه UV در دو سطح (شاهد و اشعه UV-C) و عامل سوم ارقام گندم بود.

پس از مرحله چهار برگی شدن ارقام گندم، اعمال تیماری ای تنش خشکی و اشعه UV آغاز شد. برای اعمال تنش خشکی ابتدا ظرفیت زراعی گلدان‌ها محاسبه و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی برای آبیاری نمونه‌های تحت تنش خشکی استفاده شد. برای تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها، گلدانی را که دارای زهکش است پر از آب نموده و رویش با پلاستیکی پوشش داده شد تا تبخیر صورت نگیرد و آب اضافی فقط از طریق زهکش خارج گردد بعد از ۲۴ ساعت از خاک گلدان نمونه برداشته و وزن خاک مرطوب اندازه‌گیری شد سپس خاک مرطوب به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا وزن خاک خشک بدست آید درصد رطوبت وزنی خاک که همان ظرفیت زراعی است با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (موسوی و اخوان، ۱۳۸۶):

$$\text{رابطه ۱} \quad \frac{\text{وزن مرطوب}}{\text{وزن خاک خشک}} = \frac{100}{\text{ظرفیت زراعی}}$$

برای اعمال تنش اشعه UV-C از یک عدد لامپ (UV-C) ۹۰ سانتی‌متری با طول موج ۲۵۴ نانومتر و ولتاژ ۱۰۲ ولت، توان مصرفی ۳۰ وات و جریان ۳۷۰ میلی آمپر استفاده گردید. گیاهان به مدت ۱۰ روز و هر روز ۳ دقیقه (در طرف صبح و حوالی ساعت ۱۳-۱۱ در خاموشی)، تحت تیمار اشعه UV-C با شدت روزانه ۱۲ کیلوژول بر متر مربع قرار گرفتند در حالی که گیاهان شاهد اشعه دریافت نکردند. نمونه‌ها ۱۰ روز پس از اعمال تیمارها برداشت شدند و برای سنجش صفات مورد نظر استفاده شدند.

**تعیین وزن خشک بخش هوایی و ریشه:** برای اندازه‌گیری وزن خشک، بخش هوایی و ریشه گیاه به‌طور جداگانه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون SHIMAZCO ساخت ایران) قرار داده شدند و پس از خشک

آنزیم‌ها توسط بافر فسفات سدیم  $0.1\text{ Molar}$  ( $\text{pH}=7$ ) حاوی پلی‌وینیل پیرولیدون (PVP)  $2\%$  از برگ‌ها انجام گرفت و روشنایر پس از  $20$  دقیقه سانتریفیوژ در دمای  $4$  درجه سانتی‌گراد با  $20000$  دور در دقیقه مورد استفاده قرار گرفت.

**بررسی فعالیت آنزیم سوپراکسیدیسموتاز (SOD):** فعالیت آنزیم سوپراکسیدیسموتاز براساس ممانعت فتوشیمیایی از احیای نیتروبلوترازولیوم اندازه‌گیری شد.  $2/65$  میلی‌لیتر محلول واکنش شامل (بافر فسفات پتاسیم  $0.1\text{ mmol/L EDTA}$   $0.2\text{ mL}$ ,  $\text{pH}=7/8$   $67\text{ mmol/L mL}$  حاوی سیانیدسدیم  $0.3\text{ mmol/L}$ ,  $0.3\mu\text{L}$   $50\text{ }\mu\text{L}$  عصاره آنزیمی،  $1/1$  نیتروبلوترازولیوم  $1/5\text{ mmol/L}$  و  $50\mu\text{L}$  ریبوфلاوین) مخلوط و یکنواخت گردید. این محلول به مدت  $15$  دقیقه در زیر تابش نور سفید با شدت  $5000$  لوکس قرار گرفت و سپس جذب آن در  $nm 560$  قرائت گردید. مقداری از آنزیم که نصف حداقل ممانعت از احیای NBT را باعث شود به عنوان یک واحد از آنزیم معرفی می‌شود (Winterbourn *et al.*, 1976).

**بررسی فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD):** سرعت بخشیدن به پلیمریزاسیون گایاکول توسط پراکسیداز مبنای سنجش فعالیت این آنزیم قرار گرفت. مخلوط واکنش از  $1/5\text{ mL}$   $0.1\text{ mol/L}$  بافر سیترات- فسفات- بورات-  $0.1\text{ mol/L}$   $1/5\text{ mL}$   $50\text{ }\mu\text{L}$  گایاکول  $15\text{ mmol/L}$   $25\mu\text{L}$  عصاره آنزیمی و  $50\text{ }\mu\text{L}$  پراکسیدهیدروژن  $3/3\text{ mmol/L}$   $470\text{ nm}$  تشکیل شده بود. با استفاده از افزایش جذب در طول موج  $470\text{ nm}$  و ضریب خاموشی  $1-26/61\text{ mol-1}$  برای گایاکول فعالیت پراکسیداز محاسبه گردید. مقدار آنزیم لازم برای تولید  $1$  میکرومول تراگایاکول در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین به عنوان یک واحد آنزیم پراکسیداز در نظر گرفته شد (Chance and Maehly, 1955).

**بررسی فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT):** فعالیت کاتالاز با دنبال نمودن تجزیه  $H_2O_2$  در طول موج  $240\text{ nm}$  و اعمال ضریب خاموشی  $1-39/4\text{ cm-1}\cdot mol^{-1}$  محسوبه گردید. مخلوط واکنش از  $1/5\text{ mL}$  بافر سیترات- فسفات- بورات-  $0.1\text{ mol/L}$   $H_2O_2$   $7/5\text{ mL}$   $50\text{ }\mu\text{L}$  عصاره آنزیمی و  $13\mu\text{L}$   $10\text{ mmol/L}$  تشکیل شده بود. مقدار آنزیم لازم برای تجزیه

سانتریفیوژ گردید و جذب محلول رویی آن در طول موج  $550$  نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV 2100, UNICO USA) خوانده شد. برای محاسبه محتوای آنتوسیانین، از ضریب خاموشی  $\text{cm}^{-2}\text{mol}^{-6}$   $33000$  استفاده شد (Masukasu *et al.*, 2003).

**سنجش محتوای کربوهیدرات‌های محلول:** ابتدا بخش هواپی و ریشه گیاه در آون با دمای  $70$  درجه سانتی‌گراد به مدت  $48$  ساعت خشک و آسیاب شدند.  $1/1$  گرم از نمونه آسیاب شده توزین و درون لوله آزمایش حاوی  $10\text{ میلی‌لیتر}$  آتانول  $80/7/7\%$  ریخته شد و به مدت یک هفته در دمای  $4$  درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس محلول‌ها با کاغذ واتمن صاف گردید. به منظور حذف رسوبات اضافی و ترکیبات دیگر، به هر محلول، پنج میلی‌لیتر از محلول  $5/5\text{ %}$  سولفات روی و پنج میلی‌لیتر از محلول هیدروكسید باریم  $3/3\text{ %}$   $N$  اضافه شد و محلول حاصل به مدت  $10$  دقیقه با سرعت  $3000$  دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به  $2\text{ میلی‌لیتر}$  از محلول روئی نمونه‌ها، یک میلی‌لیتر محلول  $5/5\text{ %}$  فل و پنج میلی‌لیتر اسید سولفوریک  $98/7\text{ %}$  اضافه شد. سی دقیقه پس از آماده سازی محلول‌ها، جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج  $485\text{ nm}$  نانومتر قرائت شد. محتوای کربوهیدرات نمونه‌ها با استفاده از محلول‌های استاندارد گلوکز و با واحد میلی‌گرم در  $g$  وزن خشک (Sheligi, 1986) محاسبه شد (mg/g. DW).

**سنجش محتوای پروتئین‌های محلول کل:** برای محاسبه پروتئین از روش برادفورد استفاده شد (Bradford, 1976). برای این منظور  $1/1$  گرم از بافت ریشه و برگ‌ها در  $10\text{ میلی‌لیتر}$  بافر فسفات  $50\text{ میلی‌مolar}$  ساییده و عصاره حاصل به مدت  $15$  دقیقه در  $14000$  دور سانتریفیوژ شد. مقدار  $1\text{ میلی‌لیتر}$  بافر برادفورد ( $10\text{ % کوماسی بیرلیانت بلو W/V}$  با  $5\text{ میلی‌لیتر}$  اتانول  $95/7\text{ %}$ ) با  $1/1$  میلی‌لیتر عصاره پروتئینی مخلوط گردید. پس از  $5$  دقیقه جذب نمونه توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج  $595\text{ nm}$  نانومتر خوانده شد. از آلبومین گاوی برای رسم منحنی استاندارد و تعیین محتوای پروتئین نمونه‌ها با واحد  $mg\cdot g^{-1}\cdot FW^{-1}$  استفاده شد.

**استخراج آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدان:** استخراج

مدت ۱ ساعت درون یخ سرد شدند. مقدار ۴ میلی لیتر تولوئن به محلول لوله‌ها اضافه و به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتكس به هم زده شد. پس از اندازه گیری جذب محلول‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر منحنی استاندارد رسم و معادله خط تعیین شد. با قراردادن جذب نمونه‌ها در معادله خط، محتوای پرولین محاسبه شد (در طول آزمایش نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد) (Bates *et al.*, 1973). برای رسم منحنی استاندارد از پرولین استفاده گردید.

**روش‌های آماری:** تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS، MSTATC و رسم نمودارها با استفاده از Excel انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

#### نتایج و بحث:

**تجزیه واریانس صفات:** نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده تنش خشکی، اشعه UV، رقم و همچنین اثرات متقابل آنها بر صفات مورد مطالعه در جدول یک نشان داده شده است (جدول ۱).

**مقایسه میانگین صفات رشدی:** مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین و کمترین طول ساقه به ترتیب از ارقام "زارع" در شرایط بدون تنش خشکی و بدون اشعه UV و میهن در شرایط تنش خشکی بدست آمد (جدول ۲ و ۳). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، طول ساقه را حدود ۱۶ درصد کاهش داد (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV طول ساقه را در کلیه ارقام حدود ۱۰ درصد کاهش داد در حالی که این کاهش در شرایط بدون تنش خشکی ۱۷ درصد بوده است.

بیشترین و کمترین طول ریشه به ترتیب از ارقام پیشگام در شرایط بدون تنش اشعه UV تحت آبیاری نرمال و "زارع" در شرایط تنش خشکی و اعمال اشعه UV بدست آمد (جدول ۴). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، طول ریشه را حدود ۲۰ درصد کاهش داد (جدول ۴). در شرایط

یک میکرومول آب اکسیژنه در دقیقه به عنوان یک واحد آنزیم کاتالاز معرفی می‌شود (Obinger *et al.*, 1997).

**سنجدش مالون دی‌آلدئید (MDA):** برای اندازه گیری مالون دی‌آلدئید ۰/۰ گرم بافت گیاهی تر شامل ریشه و برگ ۰/۱ های گیاه با ۲ میلی لیتر محلول تری کلرواستیک اسید استخراج و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد، سپس ۰/۵ میلی لیتر از روشناور با ۲ میلی لیتر محلول تری کلرواستیک اسید ۰/۵٪ حاوی تیوباربیتوریک اسید مخلوط شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب جوش با دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد. بعد از این مدت لوله‌ها را سریع در یخ سرد کرده و جذب آنها را در طول موج ۵۳۲ نانومتر در مقابل شاهد که به جای عصاره حاوی محلول استخراج است، اندازه گیری کرده و محتوای مالون دی‌آلدئید نمونه‌ها با واحد  $\text{nmol.g}^{-1}\text{FW}^{-1}$  با استفاده از ضرب خاموشی (Heath and Packer, 1968) محاسبه شدند ( $155\text{cm}^{-1}\text{mmol}^{-1}$ ).

**سنجدش پراکسیدهیدروژن ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ):** محلول استخراج شده در تری کلرواستیک اسید (۰/۱ درصد  $w/v$ ) به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ سانتریفیوژ شده و روشناور مورد استفاده قرار گرفت. ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی لیتر از محلول واکنشی شامل ۱۰ میلی مولار بافر فسفات پتاسیم ( $\text{pH}=7$ ) و یک مولار یدید پتاسیم اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در تاریکی به منظور انجام واکنش قرار گفت. جذب نمونه‌ها در ۳۹۰ نانومتر توسط اسپکترو فوتومتر اندازه گیری شد. مقادیر بر اساس منحنی استاندارد  $\text{H}_2\text{O}_2$  محاسبه شد (Zhang *et al.*, 2012).

**اندازه گیری محتوای پرولین:** ۰/۲ گرم ماده تر گیاهی با هاون خرد شده و درون لوله آزمایش ریخته شد، سپس ۱۰ میلی لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ به آن اضافه شد و نمونه‌ها درون یخ قرار داده شد. پس از سانتریفیوژ در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد، مقدار ۲ میلی لیتر از عصاره حاصل با ۲ میلی لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط شد.

نمونه‌ها پس از قرار گیری در حمام آب گرم ۸۰ درجه به

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاه گندم

میانگین مریبعتات (MS)							درجه آزادی	منابع تغییرات
b	a	کلروفیل a	کلروفیل b	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	طول ریشه	طول ساقه	
۵۲/۶۸ ns	۱۷/۱۶*	۰/۰۰۰۰۶۹ ns	۰/۰۰۰۰۲۵ ns	۱۳/۹۳ ns	۲۲۸/۵۱**	۱	تشخیصی	
۹۲/۱۲*	۱۱۴/۵۶**	۰/۰۰۰۰۰۲۷ ns	۰/۰۰۰۰۰۲۷ ns	۲۰/۵۵ ns	۱۸۳/۷۰**	۱	UV	
۵۲/۴۸ ns	۲۷/۰۴**	۰/۰۰۰۰۴*	۰/۰۰۰۰۳۵ ns	۱۶۴/۸۶**	۷۴/۵۸**	۲	رقم	
۷۱/۴۰ **	۱۴۸/۹۲**	۰/۰۰۰۰۰۲۷ ns	۰/۰۰۰۰۳۳ ns	۰/۴۹ ns	۲۲/۰۶ ns	۱	UV × تشخیصی	
۲۱/۲۰ **	۲۶/۱۵**	۰/۰۰۱۰**	۰/۰۰۰۳۰ ns	۲/۹۵ ns	۳۰/۱۲۱*	۲	تشخیصی × رقم	
۴۸/۴۸ ns	۹/۴۸ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۱*	۴۷/۲۸*	۲۹/۷۹*	۲	UV × رقم	
۲۴/۸۶ ns	۱/۲۷ ns	۰/۰۰۰۱۴ ns	۰/۰۰۰۳۰ ns	۱۵۷/۵۵**	۱۳/۶۲ ns	۲	تشخیصی × UV × رقم	
۲۳/۴۴	۴/۴۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳۲	۱۱/۰۸۶	۸/۱۶	۲۴	خطا	
۲۲/۱۹	۱۰/۶۷	۳۰/۲۶	۲۵/۸۳	۱۷/۲۳	۹/۶۴	-	ضریب تغییرات (C.V.)	

\*\*، \* و ns به ترتیب اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی دار

ادامه جدول ۱-

میانگین مریبعتات (MS)						درجه آزادی	منابع تغییرات
کربوهیدرات	فلاؤنورئیدها	آنتوسیانین ها	کاروتینوئید	کلروفیل کل			
۸۶۳/۳۹**	۳/۲۵**	۰/۷۰*	۹۴/۱۸**	۱۲۹/۹۹*	۱	تشخیصی	
۸۶۲/۰۳**	۰/۹۴**	۰/۴۸*	۱۹/۹۳ ns	۴۱۲/۰۲**	۱	UV	
۵۸۹/۴۴**	۱/۱۴**	۳۲/۷۸**	۱۲/۱۸ ns	۱۳۴/۱۲**	۲	رقم	
۴۲۰/۸۶**	۰/۶۴**	۱۹/۰۹**	۰/۲۶ ns	۱۵۱/۴۸**	۱	UV × تشخیصی	
۱۳۶۰/۲۱**	۱/۵۷**	۳/۰۴**	۷۰/۸۲**	۳۷۱/۵۸**	۲	تشخیصی × رقم	
۲۱۷/۸۷**	۱/۹۱**	۱۹/۰۱*	۱۵/۰۲ ns	۲۰/۰۹ ns	۲	UV × رقم	
۲۰۷۶/۶**	۲/۰۳**	۳/۲۶**	۱۱۶/۵۵**	۲۶/۷۲ ns	۲	تشخیصی × UV × رقم	
۲/۹۴	۰/۰۵	۰/۱۰۸	۹/۸۹	۲۱/۷۴	۲۴	خطا	
۲/۰۹	۳/۷۶	۹/۹۴	۲۰/۶۷	۱۱/۲۰	-	ضریب تغییرات (C.V.)	

\*\*، \* و ns به ترتیب اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی دار

ماوراءبنفسش عمدتاً منجر به تشکیل دیمرهای پریمیدین سیکلو بوتانت و پریمیدین پریمیدون می‌گردد که منجر به جهش در گیاهان می‌شود چنانچه جهش در قسمت فعل ژن اتفاق افتاد ممکن است سبب خسارت اقتصادی در کشاورزی، تأخیر در گل دهی و غیره شود (Pal *et al.*, 1998). تاثیر پرتو UV بر گیاهان شامل تغییرات مورفولوژیک از جمله ایجاد میان گره های کوچک، کاهش وزن، کاهش بیوماس، وزن تر و خشک

تشخیصی، کاربرد اشعه UV طول ریشه را در کلیه ارقام به جز رقم پیشگام حدود ۷ درصد کاهش داد در حالی که این کاهش در شرایط بدون تنش خشکی جز در رقم پیشگام حدود ۲۳ درصد بوده است. بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری طول ریشه و ساقه نشان داد که اشعه UV-C باعث کاهش معنی دار طول ریشه و ساقه شد. علت این امر کاهش تقسیم سلولی در نتیجه اثر اشعه ماوراء بنفسش بر همانند سازی DNA است. اشعه

## ادامه جدول ۱-

میانگین مربعات (MS)							درجه آزادی	منابع تغییرات
MDA	آنزیم پراکسیداز	آنزیم کاتالاز	آنزیم SOD	آنزیم پروتئین	پرولین			
۹۸۶/۹ **	۰/۴۲ **	۸۷۲۰/۷۹۹ **	۸۷۵۰/۹۷ **	۸/۹۱ **	۰/۰۴ ns	۱	تنفس خشکی	
۴/۹ ns	۰/۰۰۱ ns	۲۷۱۹/۲۷ **	۲۶۳۵/۳۱ **	۱/۳۱ ns	۴۰/۵۷ ns	۱	UV	
۲۶۶/۶ **	۰/۰۲۳ **	۸۳۶۹/۸۶ **	۱۱۰۵/۴۰۸ **	۰/۲۹ ns	۵۵/۶۷ ns	۲	رقم	
۶۵/۷۹ ns	۰/۰۱۲ **	۴/۲۷ ns	۴۲۸۰/۱۱ **	۰/۲۵ ns	۱۷/۱۹ ns	۱	UV × تنفس خشکی	
۱۰۲/۵۳ **	۰/۰۱۶ **	۷۷۱۰/۵۲ **	۱۷۹۸/۱۵۸ **	۱/۸۷ ns	۱۱۸/۷۵ *	۲	تنفس خشکی × رقم	
۳۱۹/۱۷ **	۰/۱۲ **	۸۱۱۲/۹۴ **	۱۰۹۹/۱۶۲ **	۰/۲۷ ns	۳۱/۹۱ ns	۲	UV × رقم	
۴۷۸/۰۲ **	۰/۱۲۳ **	۶۸۳۶/۶۵ **	۱۸۹۲/۴۱۵ **	۰/۱۶ ns	۵۲/۸۲ ns	۲	تنفس خشکی × UV × رقم	
۱۷/۴۹	۰/۰۰۰۵۸	۲/۹۶	۱۳/۳۳	۰/۶۷۲	۳۰/۱۶	۲۴	خطا	
۳۱/۸۱	۱۵/۱۱	۲/۴۸	۸/۸۶	۱۰/۸۶	۳۳/۵۸	-	ضریب تغییرات (C.V.)	

\*\* و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیر معنی‌دار

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنفس خشکی × رقم بر صفات مورد مطالعه در گیاه گندم

پرولین	کلروفیل کل	وزن خشک ریشه (گرم)	طول ساقه (سانسی متر)	تیمار (تنفس خشکی × رقم)
۱۵/۴۵ ab	۳۰/۵۶ c	۰/۰۳۳ bc	۲۲/۸۳ a	تنفس خشکی × "پیشگام"
۲۰/۲۷ a	۴۰/۴۵ b	۰/۰۲۳ c	۱۵/۸۵ b	تنفس خشکی × "میهن"
۲۰/۵۰ a	۴۰/۶۰ b	۰/۰۳۱ bc	۱۷/۴۰ b	تنفس خشکی × "زارع"
۱۲/۶۹ b	۴۵/۲۵ ab	۰/۰۵۱ a	۲۴/۳۳ a	آبیاری نرمال × "پیشگام"
۱۲/۹۹ b	۴۴/۷۳ ab	۰/۰۳۸ ab	۱۷/۹۳ b	آبیاری نرمال × "میهن"
۱۶/۱۹ ab	۴۸/۱۶ a	۰/۰۴۳ ab	۱۷/۵۵ b	آبیاری نرمال × "زارع"

اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل اشعه UV × رقم بر صفات مورد مطالعه در گیاه گندم

کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه)	وزن خشک ساقه (گرم)	طول ساقه (سانسی متر)	تیمار (اشعة UV × رقم)
۳۳/۳۱ c	۰/۰۳۵ ab	۲۵/۵۱ b	اشعة UV × "پیشگام"
۳۹/۰۴ b	۰/۰۴۰ ab	۲۴/۷۸ b	اشعة UV × "میهن"
۴۲/۳۶ ab	۰/۰۲۵ b	۳۱/۸۱ a	اشعة UV × "زارع"
۴۲/۴۹ ab	۰/۰۰۵۰ a	۳۰/۱۳ a	شاهد × "پیشگام"
۴۶/۱۳ a	۰/۰۴۱ ab	۳۲/۴۰ a	شاهد × "میهن"
۴۶/۴۰ a	۰/۰۰۴۳ ab	۳۳/۱۳ a	شاهد × "زارع"

اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی  $\times$  UV-C × رقم بر صفات مورد مطالعه

آنژیم سوپراکسیدیسموتاز		کربوهیدرات		کاروتینوئید		طول ریشه		تیمار	
( واحد بر میلی گرم پروتئین)		( میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه )		( میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه )		( سانتی متر )		( تنش خشکی $\times$ UV-C رقم )	
آبیاری نرمال	تشخیص	آبیاری نرمال	تشخیص	آبیاری نرمال	تشخیص	آبیاری نرمال	تشخیص	آبیاری نرمال	تشخیص
۱۵/۷۹ def	۹۴/۷۷ <sup>a</sup>	۵۶/۹۳ <sup>i</sup>	۱۰۳/۳۴ <sup>b</sup>	۱۴/۸۱ <sup>ab</sup>	۱۲/۴۸ <sup>b</sup>	۲۵ <sup>ab</sup>	۲۰/۶۶ <sup>bed</sup>	"پیشگام" $\times$ UV-C	
۹/۴۷ fg	۲۱/۰۶ <sup>bed</sup>	۶۵/۲۶ <sup>h</sup>	۸۴/۱۱ <sup>e</sup>	۱۸/۷۷ <sup>a</sup>	۱۲/۱۰ <sup>b</sup>	۱۶/۰۶ <sup>de</sup>	۱۶/۴۶ <sup>de</sup>	"میهن" $\times$ UV-C	
۲۱/۰۷ bed	۲۴/۷۴ <sup>b</sup>	۵۲/۷۰ <sup>j</sup>	۱۰۰/۹۰ <sup>bc</sup>	۱۸/۶۸ <sup>a</sup>	۱۷/۹۳ <sup>ab</sup>	۱۷/۳۳ <sup>d</sup>	۱۱/۰۸ <sup>e</sup>	"زارع" $\times$ UV-C	
۱۱/۵۸ efg	۲۳/۱۶ <sup>bc</sup>	۶۸/۶۰ <sup>g</sup>	۱۲۸/۹۸ <sup>a</sup>	۱۷/۷۰ <sup>ab</sup>	۱۳/۵۳ <sup>ab</sup>	۲۹/۳۳ <sup>a</sup>	۱۹/۳۳ <sup>bed</sup>	بدون اشعه "پیشگام"	
۷/۳۷ <sup>g</sup>	۱۶/۵۰ <sup>cde</sup>	۵۷/۳۱ <sup>i</sup>	۹۵/۵۱ <sup>d</sup>	۱۷/۵۸ <sup>ab</sup>	۱۷/۰۴ <sup>ab</sup>	۱۹/۰۳ <sup>bed</sup>	۱۸/۳۳ <sup>cd</sup>	بدون اشعه "میهن"	
۹/۴۷ fg	۱۶/۸۵ <sup>cde</sup>	۷۲/۱۸ <sup>f</sup>	۹۸/۳۴ <sup>cd</sup>	۱۷/۱۷ <sup>ab</sup>	۴/۷۱ <sup>c</sup>	۲۴/۰۶ <sup>abc</sup>	۱۴/۶۶ <sup>de</sup>	بدون اشعه "زارع"	

اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی  $\times$  UV-C × رقم بر صفات مورد مطالعه

آنتوسیانین		فلاؤنوتئید		MDA		آنژیم پراکسیداز		آنژیم کاتالاز		تیمار	
( میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه )		( میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه )		( نانومول بر گرم وزن تر گیاه )		( واحد بر میکرو گرم پروتئین )		( واحد بر میکرو گرم پروتئین )		( تنش خشکی $\times$ UV-C رقم )	
آبیاری	تشخیص	آبیاری	تشخیص	آبیاری	تشخیص	آبیاری	تشخیص	آبیاری	تشخیص	آبیاری	تشخیص
۱/۲۴ <sup>f</sup>	۲/۴۲ <sup>e</sup>	۷/۲۳ <sup>ab</sup>	۵/۱۷ <sup>d</sup>	۸/۰۶ <sup>bc</sup>	۳۶/۱۱ <sup>a</sup>	۰/۰۴۳ <sup>f</sup>	۰/۲۴ <sup>c</sup>	۱۶/۷۴ <sup>h</sup>	۷۸/۸۶ <sup>d</sup>	"پیشگام" $\times$ UV-	
۱/۱۲ <sup>f</sup>	۲/۲۴ <sup>e</sup>	۷/۳۹ <sup>ab</sup>	۶/۳۷ <sup>ab</sup>	۷/۰۴ <sup>bc</sup>	۱۲/۰۵ <sup>bc</sup>	۰/۰۹ <sup>e</sup>	۰/۴۴ <sup>b</sup>	۳۳/۵۹ <sup>g</sup>	۱۹۷/۱۵ <sup>a</sup>	"میهن" $\times$ UV-C	
۵/۴۵ <sup>c</sup>	۷/۶۶ <sup>a</sup>	۶/۱۷ <sup>ab</sup>	۶/۲۵ <sup>ab</sup>	۶/۶۶ <sup>bc</sup>	۱۱/۱۳ <sup>bc</sup>	۰/۰۹ <sup>e</sup>	۰/۵۶ <sup>a</sup>	۳۷/۰۵ <sup>f</sup>	۱۸۳/۶۴ <sup>b</sup>	"زارع" $\times$ UV-C	
۶/۰۵ <sup>b</sup>	۳/۳۳ <sup>d</sup>	۶/۰۳ <sup>b</sup>	۵/۰۸ <sup>c</sup>	۱۴/۱۱ <sup>b</sup>	۹/۹۲ <sup>bc</sup>	۰/۰۴ <sup>f</sup>	۰/۱۵ <sup>d</sup>	۱۷/۳۰ <sup>h</sup>	۵۴/۳۶۰ <sup>e</sup>	بدون اشعه "پیشگام"	
۱/۳۶ <sup>f</sup>	۱/۹۷ <sup>e</sup>	۷/۳۶ <sup>ab</sup>	۳/۹۱ <sup>e</sup>	۷/۴۴ <sup>bc</sup>	۳۱/۸۳ <sup>a</sup>	۰/۰۱۳ <sup>f</sup>	۰/۰۵ <sup>ef</sup>	۴/۵۷ <sup>j</sup>	۱۴۲/۶۲ <sup>c</sup>	بدون اشعه "میهن"	
۵/۴۵ <sup>c</sup>	۲/۳۶ <sup>e</sup>	۶/۲۳ <sup>ab</sup>	۶/۵۲ <sup>a</sup>	۵/۱۲ <sup>c</sup>	۸/۲۲ <sup>bc</sup>	۰/۰۲۳ <sup>f</sup>	۰/۱۵ <sup>d</sup>	۱۱/۳۰ <sup>i</sup>	۵۴/۵۳ <sup>e</sup>	بدون اشعه "زارع"	

اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

پیشگام در شرایط آبیاری نرمال و بدون اشعه UV و رقم "میهن" در شرایط تنش خشکی بدست آمد (جدول ۲). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، وزن خشک ریشه را حدود ۲۱ درصد کاهش داد (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV طول ریشه را در کلیه ارقام حدود ۳۵ درصد کاهش داد در حالی که این کاهش در شرایط بدون تنش خشکی ۲۰ درصد بوده است. کاهش وزن خشک ریشه در گیاه گندم با افزایش تنش خشکی در سایر تحقیقات نیز

ریشه، وزن تر و خشک اندام های هوایی، کاهش سطح برگ و همچنین کاهش تولید مثل و ممانعت از رشد و طویل شدن هیپوکوتیل می باشد (رحمت زاده و خارا، ۱۳۸۷).

مقایسه میانگین نشان داد بیشترین (۰/۰۵۵ گرم) و کم ترین (۰/۰۲۵ گرم) وزن خشک ساقه به ترتیب از ارقام پیشگام در شرایط بدون اشعه UV و "زارع" در شرایط اعمال اشعه UV بدست آمد (جدول ۳).

حداکثر و حداقل وزن خشک ریشه به ترتیب از ارقام

کلروفیل a و b ارقام مختلف گندم معنی دار است و موجب کاهش کلروفیل a و b در گیاهان شد. کاهش محتوای کلروفیل در نتیجه خشکی در ارقام مختلف گیاه گندم با نتایج به دست آمده در گیاه گندم (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۵) مطابقت دارد. کاهش محتوای کلروفیل به دلیل ممانعت از ستتر آن و یا افزایش فعالیت کلروفیلаз (Muller *et al.*, 2014) و همچنین فتواسیداسیون غیرآنژنیمی کلروفیل در اثر تابش پرتوهای ماوراء بنفش اتفاق میافتد (Piri *et al.*, 2011). مطالعات انجام گرفته توسط محققان دیگر در بیشتر موارد حاکی از کاهش محتوای کلروفیل در گیاهان تحت تیمار اشعه UV میباشد، کاهش این رنگیزه ها در گیاهانی مانند گندم (Rahmatzadeh *et al.*, 2007; Nyoman Rupiasih *et al.*, 2016 and Khara, 2007) نیز گزارش شده است.

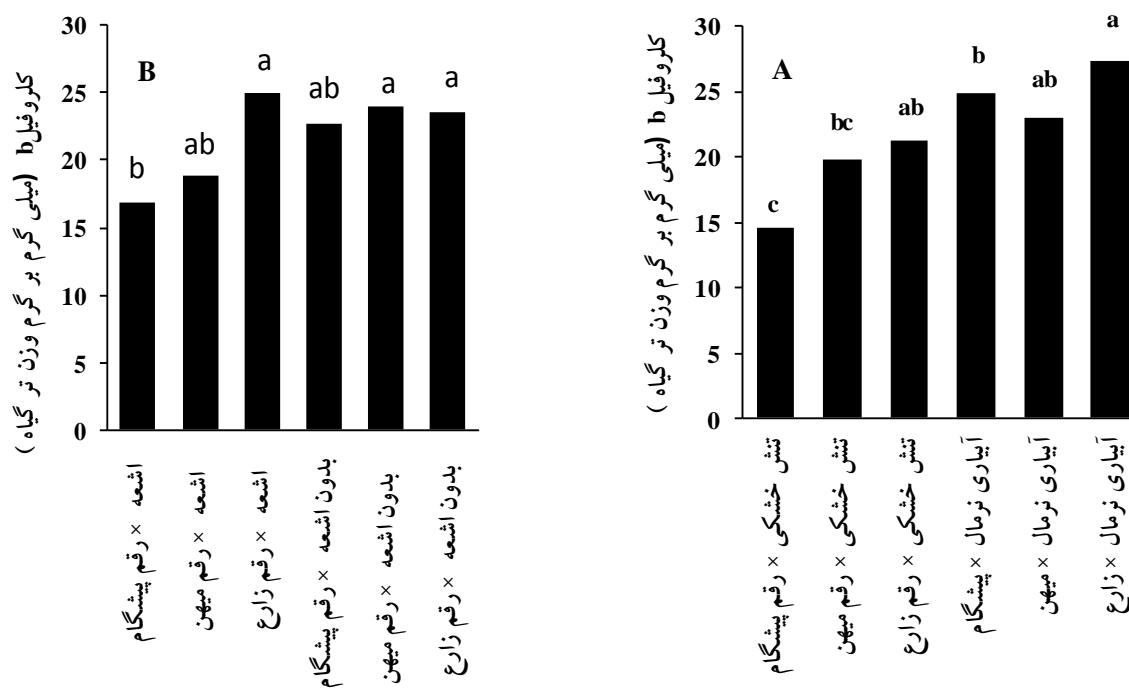
بیشترین میزان کاروتینوئید به ترتیب از رقم "میهن" ۱۸/۷۷ (میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه) و رقم "زارع" (۱۸/۸۸) میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه) در شرایط بدون تنفس خشکی و با اعمال تنفس UV حاصل شد. کمترین محتوای کاروتینوئید نیز از رقم "زارع" ۴/۷۱ میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه) در شرایط تنفس خشکی و بدون اعمال تنفس UV بدست آمد (جدول ۴). تنفس خشکی در مقایسه با آبیاری نرمال (بدون تنفس خشکی) میزان کاروتینوئید را به میزان ۲۵ درصد کاهش داد (جدول ۴). بهشتی و تدین (۱۳۹۶) نیز در بررسی تنفس خشکی روی لوبیا کاروتینوئید را کاهش داد این نتایج با یافته های ما در این تحقیق مطابقت داشت. در شرایط تنفس خشکی، تنفس اشعه UV در مقایسه با شاهد (بدون اعمال تنفس اشعه UV) محتوای کاروتینوئید را در رقم "زارع" حدود ۷۴ درصد افزایش داد در حالی که اعمال تنفس اشعه UV در دو رقم "پیشگام" و "میهن"، محتوای کاروتینوئید را کاهش داد (جدول ۴). اگرچه کاروتینوئیدها نسبت به کلروفیل ها حساسیت کمتری در برابر تنفس ها دارند، ولی گزارش شده است که تنفس آبی و سوری محتوای کاروتینوئیدها را در تعدادی از گیاهان کاهش داده است (Parida *et al.*, 2004).

گزارش شده است (گلستانی فر و همکاران، ۱۳۹۶؛ Salwa and Osama, 2014).

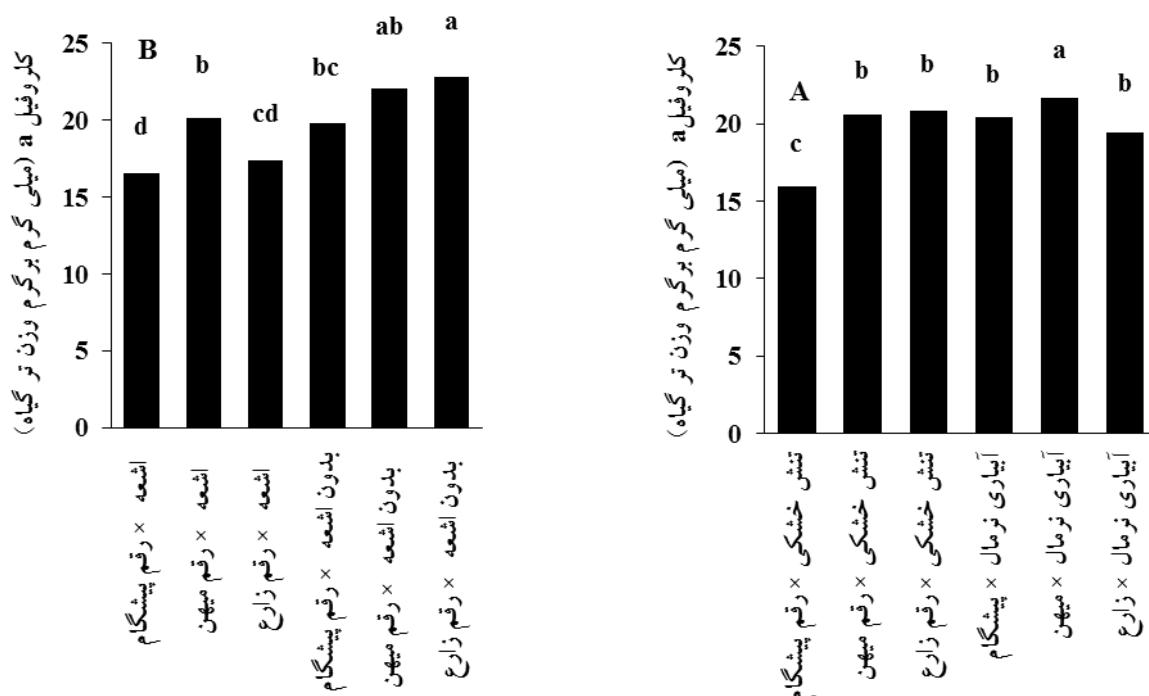
همچنین در این تحقیق، تیمار UV-C باعث کاهش معنی دار وزن خشک ساقه هر سه رقم گندم شد. در گیاهانی مانند باقلاء، (Nyoman Rupiasih *et al.*, 2016) و گندم (*Vicia faba*) آفتابگردان (*Zea mays*)، ذرت (*Helainthus annuus*) و چاودار (*Secale cereale*) (Tossi *et al.*, 2009) و گیاه (Zhang *et al.*, 2012) (*Begonia semperflorens*) رشد و ارتفاع گیاه در اثر UV گزارش شده است. کاهش وزن ریشه و ساقه تحت تاثیر اشعه UV، بیانگر کاهش تولید بیوماس در این تیمارها است و این یک پاسخ عمومی در بسیاری از گونه های گیاهی است. یکی از دلایل کاهش وزن ریشه و ساقه تحت شرایط تنفس شوری، کاهش فعالیت آنزیم رو بیسکو و کاهش فتوسترن است (Ahmad and Sharma, 2010).

**مقایسه میانگین رنگیزه های فتوسترن:** نتایج نشان داد که محتوای کلروفیل a و b در گیاهانی که در محیط خشک رشد کردند، کاهش یافت (شکل A-۱ و شکل C-۲). مقایسه میانگین نشان داد کمترین محتوای کلروفیل a تحت تنفس خشکی مربوط به رقم پیشگام بود اما اعمال تنفس خشکی تفاوت معنی داری بین ارقام "زارع" و "میهن" ایجاد نکرد (شکل A-۱). همچنین کمترین محتوای کلروفیل a تحت تنفس اشعه UV مربوط به رقم پیشگام بود (شکل B-۱). بیشترین (۲۴/۹۸) میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه) و کمترین (۱۶/۷۹ میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه) محتوای کلروفیل b به ترتیب از رقم "زارع" و "پیشگام" در شرایط اعمال تنفس اشعه UV بدست آمد (شکل D-۲). تنفس خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، محتوای کلروفیل گیاه را حدود ۱۶ درصد کاهش داد (شکل A-۱). همچنین محتوای کلروفیل کل گیاه نیز تحت تنفس خشکی و اشعه UV کاهش معنی داری نشان داد (جداول ۲ و ۳).

مقایسه میانگین ها نشان داد که تیمار خشکی و اشعه UV در مقایسه با شاهد کلروفیل کل را به ترتیب به میزان ۲۰ و ۱۵ درصد کاهش داد (جداول ۲ و ۳). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر توأم خشکی و اشعه UV-C بر محتوای



شکل ۲- تاثیر تنش خشکی (A) و اشعه UV (B) بر محتوای کلروفیل b (mg / g . FW) در ارقام مختلف گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، از لحاظ آماری نسبت به یکدیگر معنی دار می باشند ( $p < 0.05$ ,  $n=3$ ).



شکل ۱- تاثیر تنش خشکی (A) و اشعه UV (B) بر محتوای کلروفیل a (mg / g . FW) در ارقام مختلف گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، از لحاظ آماری نسبت به یکدیگر معنی دار می باشند ( $p < 0.05$ ,  $n=3$ ).

با نقش آن در حفاظت از ساختارهای فتوستنتزی در برابر اثرات

کاروتئینید در اغلب گیاهان به اثبات رسیده است که در ارتباط

محافظت می‌کنند (Gould *et al.*, 2009). افزایش آنتوسبیانین در شرایط تنش خشکی و اشعه UV-C در سایر مطالعات روی گیاه گندم گزارش شده است (Balouchi *et al.*, 2009). ترکیبات جذب کننده UV که اغلب فلاونوئیدها یا مشتقان هیدروکسی سینامیک اسید مثل آنتوسبیانین هستند می‌توانند در اپیدرم و در واکوئل تجمع یابند و یا به صورت باند به دیواره یا کوتیکول قرار بگیرند که تجمع آن‌ها نوعی مکانیسم حفاظتی برای Carvalho *et al.*, 2010) افزایش میزان آنتوسبیانین در گیاهان مختلف تحت تنش‌های زیستی گزارش شده است (Gould *et al.*, 2009).

همان طورکه در جدول (۴) مشاهده می‌شود، تیمار خشکی باعث افزایش معنی‌دار محتوای کربوهیدرات‌های محلول، در گیاهان شد اما تنش اشعه UV در هر دو شرایط (آبیاری نرمال و تنش خشکی) باعث کاهش در محتوای کربوهیدرات شد (جدول ۴). به طور کلی بیشترین میزان افزایش در رقم "پیشگام" تحت تنش خشکی مشاهده شد. در پژوهش حاضر تحت تنش خشکی محتوای کربوهیدرات محلول اندام هوایی افزایش یافت. نتایج مشابه در گیاهانی مثل گندم (Keles and Oncel, 2004) مشاهده شده است که در ارتباط با افزایش تجزیه نشاسته و تجمع کربوهیدرات‌های محلول مثل گلوکز، فروکتوز، سوکروز و فروکتان است.

نتایج حاصل از بررسی محتوای کربوهیدرات‌های محلول تحت تابش C UV-NIS نشان داد که این پرتو در هر رقم باعث کاهش معنی‌دار سطح کربوهیدرات‌های محلول در اندام هوایی شد. علت کاهش کربوهیدرات می‌تواند کاهش میزان فتوستتر باشد زیرا اشعه UV با تاثیر بر فتوسیستم ۲، غشاء تیلاکوئیدی، آنزیم روبیسکو و برخی از آنزیم‌های چرخه کلوبن سترز کربوهیدرات را کاهش می‌دهد (مهدویان و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین گزارش شده است تنش اشعه UV باعث تخریب پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و کربوهیدرات‌ها می‌گردد (Costa *et al.*, 2002) کاهش محتوای کربوهیدرات‌های محلول تحت تاثیر پرتوهای ماوراء بنسن در گیاه گندم توسط

Zhang *et al.*, 2012; Yao, 2014; Yeo *et al.*, 2011 کاروتوئیدها در گیاهان تحت تنش اشعه UV در دسترس می‌باشد (Tossi *et al.*, 2009).

مقایسه میانگین آنتی اکسیدان‌های غیر آنزیمی: در شرایط تنش خشکی محتوای فلاونوئیدها را کاهش داد البته در رقم "میهن" و "زارع" افزایش مشاهده شد که معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین و کمترین فلاونوئید به ترتیب از تیمار تنش خشکی و بدون اشعه UV از رقم "زارع" (۶/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) و رقم "میهن" (۳/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) بدست آمد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی، ارقام مختلف گندم نسبت به تیمار اشعه UV عکس العمل‌های متفاوتی نشان دادند به طوری که کاربرد اشعه UV محتوای فلاونوئید در رقم "میهن" را به میزان ۳۹ درصد افزایش داد در حالی که در رقم "پیشگام" کاربرد اشعه UV محتوای فلاونوئید را کاهش داد (جدول ۴). افزایش ترکیبات فنلی جذب کننده اشعه UV در پاسخ به تنش ناشی از این اشعه یک پاسخ شناخته شده در گیاهان می‌باشد که در گستره وسیعی از گیاهان مشاهده شده است (Syed *et al.*, 2012; Buer *et al.*, 2010).

بیشترین (۶/۶۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) و کمترین (۱/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) محتوای آنتوسبیانین به ترتیب از ارقام "زارع" در شرایط تنش خشکی و اشعه UV و تنش خشکی و "میهن" در شرایط بدون تنش اشعه UV و بدون اعمال تنش خشکی بدست آمد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی و اشعه UV در مقایسه با شرایط تنش خشکی و بدون اشعه UV، محتوای آنتوسبیانین‌ها افزایش معنی‌داری یافت (شکل ۴). در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV محتوای آنتوسبیانین‌ها را در ارقام "میهن" و "زارع" به ترتیب حدود ۱۳ و ۶۵ درصد افزایش داد در حالی که در شرایط آبیاری نرمال، کاربرد اشعه UV، محتوای آنتوسبیانین‌ها را در رقم "پیشگام" حدود ۸۰ درصد کاهش داد (جدول ۴). به طور کلی آنتوسبیانین‌ها به عنوان جاذب پرتوهای ماوراء بنسن در اپیدرم عمل کرده و بافت‌های گیاهی را از صدمات ناشی از این پرتوها

پروپانال دی متیل استیل می باشند که افزایش آنها به عنوان شاخص افزایش تنش اکسیداتیو محسوب می شود. مالون دی آلدئید حاصل تجزیه اسیدهای چرب غیر اشباع است، که به عنوان شاخص زیستی پراکسیداسیون لیپیدها زمانی که در معرض ROS قرار گرفته اند، شناخته می شود (Eraslan *et al.*, 2008). آزمایشی که در دو گونه برنج انجام گرفت، نیز نشان داد که گونه حساس برنج (28-IR MDA) بیشتری در شرایط تنش داشت، ولی گونه مقاوم Pokkali MDA کمتری تولید کرد (Demiral and Turkan, 2005) باعث افزایش معنی دار محتوای مالون دی آلدئید می شود. افزایش مشاهده شده برای محتوای MDA تحت تنش اشعه UV در این مطالعه با نتایج سایر محققان روی گندم مطابقت داشت (Balouchi *et al.*, 2009).

مقایسه میانگین آنتی اکسیدان های آنزیمی: نتایج نشان داد با اعمال تنش خشکی فعالیت آنزیم سوپراکسیدیسموتاز افزایش معنی داری پیدا کرد (جدول ۴). در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی، اعمال تنش اشعه UV محتوای SOD را نسبت به تیمار شاهد (بدون اشعه UV) در تمامی ارقام مورد مطالعه افزایش داد به طوری که در شرایط تنش خشکی، اشعه UV در مقایسه با شاهد بدون اشعه UV محتوای SOD را حدود ۶۰ درصد افزایش داد. در شرایط آبیاری نرمال مقدار افزایش محتوای SOD با کاربرد اشعه UV حدود ۴۰ درصد بود و این نشان دهنده این موضوع است که تنش خشکی تاثیر اشعه UV بر محتوای SOD را در تمامی ارقام تشدید کرده است (جدول ۴).

بین سه رقم مورد مطالعه، بیشترین تغییرات در رقم "پیشگام" مشاهده شد. به طور کلی بیشترین محتوای فعالیت آنزیم، در رقم "پیشگام" تحت تنش خشکی و اشعه UV مشاهده شد و کمترین محتوای فعالیت در رقم "میهن" مشاهده شد (جدول ۴). سلول های گیاهی با داشتن سیستم دفاع آنتی اکسیدان و افزایش ظرفیت آن در شرایط تنش زا تا حد امکان در مقابل تنش اکسیداتیو مقاومت می کنند (Turkan *et al.*, 2009; Abedini and Daei-Hassani, 2009).

سایر محققان گزارش شده است (Zu *et al.*, 2004). به طور کلی بیشترین میزان افزایش در رقم "پیشگام" تحت تنش خشکی و بدون اشعه UV مشاهده شد.

بیشترین و کمترین محتوای پرولین به ترتیب از ارقام "زارع" و "میهن" در شرایط تنش خشکی بدست آمد (جدول ۲). تنش خشکی، محتوای پرولین را در کلیه ارقام حدود ۲۶ درصد افزایش داد (جدول ۲). بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری محتوای پرولین نشان داد که خشکی محتوای پرولین را به طور معنی داری افزایش داد. تجمع پرولین در انواع تنش ها مثل شوری، خشکی و فلزات سنگین در بسیاری از گیاهان به دلیل افزایش سنتز آن و یا کاهش تخریب آن گزارش شده است (Parida and Das, 2005; Kavi Kishor *et al.*, 2005). تاثیر اشعه UV در این مطالعه روی پرولین معنی دار نبود (جدول ۱).

به طور کلی تغییرات محتوای پروتئین فقط تحت تنش خشکی معنی دار بود و در سایر تیمارها تغییرات معنی داری مشاهده نشد. نتایج حاصل نشان داد که خشکی باعث کاهش محتوای پروتئین شد.

با اعمال تنش خشکی محتوای مالون دی آلدئید در هر سه رقم مورد مطالعه افزایش معنی داری یافت. تنش خشکی در مقایسه با آبیاری نرمال محتوای MDA را حدود ۵۷ درصد افزایش داد (جدول ۴). عکس العمل ارقام مورد مطالعه گندم از نظر محتوای MDA نسبت به تیمار تنش اشعه UV متفاوت بود. در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV محتوای MDA را در رقم "پیشگام" افزایش معنی داری یافت در حالی که در همین شرایط محتوای MDA در رقم "میهن" کاهش معنی داری پیدا کرد (جدول ۴). در شرایط آبیاری نرمال، تغییرات محتوای MDA در هر سه رقم معنی دار نبود (جدول ۴). یکی از موارد آسیب خشکی، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا می باشد که منجر به آسیب غشایی، تخریب پروتئینی، غیر فعال شدن آنزیم ها، از بین رفت نرگانه ها و تخریب رشته DNA می باشد. حاصل پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، ترکیباتی مثل مالون دی آلدئید، پروپانال، بوتانال، هگزانال، هپتانال و

پراکسیدازها (گروه III) که نقش آنها اکسید کردن فنل‌ها با استفاده از  $H_2O_2$  است در حفاظت طبیعی در برابر اشعه UV در گیاهان نقش دارند (Syed et al., 2012).

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ارقام مختلف گیاه گندم در این تحقیق نشان داد که تنفس خشکی و اشعه UV-C باعث وارد آمدن آسیب به این گیاه شد. تنفس خشکی و اشعه UV موجب کاهش میزان کلروفیل، طول ریشه و ساقه و وزن خشک ریشه و ساقه شد. ارقام گندم در حفظ وضعیت خود و مقابله با تنفس، سیستم دفاع غیرآنزیمی خود را افزایش داد. ارقام مختلف گندم عکس‌العمل‌های متفاوتی در مقابله تنفس‌های وارد از خود نشان دادند. افزایش میزان ترکیبات جاذب UV مانند فلاونوئیدها که مکانیسم دفاعی در برابر پرتوهای ماوراء بنتف هستند، مشاهده گردید. با توجه به افزایش میزان فلاونوئیدها و آنتوسیانین در رقم "زارع" نسبت به اثر توام تنفس خشکی و اشعه UV-C این رقم مقاوم‌تر از دو رقم پیشگام و میهن می‌باشد. خشکی و تنفس ماوراء بنتف، باعث القاء تنفس اکسیداتیو و افزایش مالون‌دی‌آلدئید شد که با تغییر سطح فعالیت آنزیم‌های سیستم دفاع آنتی اکسیدان همراه بود. بنابراین در نتیجه گیری کلی می‌توان بیان کرد که گیاه گندم تا حدی توانایی مقابله با تنفس خشکی و اشعه UV را دارد. ولی اگر شدت تنفس خشکی زیاد باشد، حتی مکانیسم‌های مقاومتی گیاه نمی‌تواند با این تنفس شدید مقابله کرده و از گیاه دفاع کند؛ ولی اشعه UV اثرات تخربی کمتری نسبت به تنفس خشکی در گیاه گندم ایجاد کرد. اما کاربرد توام تنفس خشکی و اشعه UV اثرات تخربی شدیدی بر گیاه گندم داشت.

2015) و برنج (*Oriza sativa*) (Chawla et al., 2013) نشان داده است که گیاهان متتحمل در مقایسه با گیاهان غیرمتتحمل دارای سیستم دفاع آنتی اکسیدانی کارآمدتری می‌باشند.

تیمار گیاه توسط اشعه UV باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیدیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز شد. مشابه این نتیجه برای گیاهانی مانند آراییدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*)، ذرت، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) و کلزا (*Brassica napus*) در پاسخ به تأثیر اشعه UV گزارش شده است (Muller et al., 2014; Tossi et al., 2009).

تنفس خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در هر سه رقم گیاه گندم شد که این افزایش از نظر آماری معنی‌دار بود. اشعه UV نیز موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد که نسبت به گیاهان شاهد در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. کاربرد توام خشکی و اشعه UV اثر افزایشی بر فعالیت آنزیم کاتالاز داشت و باعث افزایش قابل توجه در فعالیت آنزیم کاتالاز شد. بیشترین محتوای آنزیم کاتالاز مربوط به رقم "میهن" تحت تنفس خشکی و اشعه UV بود که این افزایش از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۴). یافته‌های ما در این تحقیق با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Syed et al., 2012; Tossi et al., 2009).

تنفس خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه گندم شد. در شرایط تنفس خشکی، کاربرد اشعه UV محتوای آنزیم پراکسیداز را افزایش داد در حالی که کاربرد اشعه UV در شرایط نرمال محتوای آنزیم پراکسیداز را کاهش داد (جدول ۴). به طور کلی بیشترین میزان فعالیت آنزیم مربوط به رقم "زارع" تحت تنفس خشکی و اشعه UV و کمترین میزان مربوط به رقم "میهن" بدون دریافت تنفس خشکی و اشعه UV بود (جدول ۴). آنزیم پراکسیداز نیز یکی از اجزای مهم سیستم دفاعی گیاهان می‌باشد که باعث حذف  $H_2O_2$  تولید شده به واسطه عمل SOD می‌شود. POD در مراحل اولیه‌ی ریشه زایی و القا نمو بهتر ریشه‌های فرعی دخالت دارد. گروهی از

### منابع

- بلوچی، ح.ر.، مدرس ثانوی، س.ع.م.، امام، ی. و بزرگر، م. (۱۳۸۷) تأثیر تنفس کم آبی، ازدیاد دی اکسید کربن و اشعه UV بر صفات کیفی برگ پرچم گندم دوروم (*Triticum turgidum L.*)، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲(۴۵): ۱۶۷-۱۸۱.

بهشتی، ص. و تدین، ع. (۱۳۹۶) اثر تنفس خشکی و محلول پاشی اسید هیومیک بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی لوبیا لیما (*Phaseolus lunatus L.*). فرآیند و کارکرد گیاهی ۶(۱۴-۱).

جهان بین، ش.، وفایپور، م.، یدوی، ع.ر. و بهزادی، ا. (۱۳۹۴) بررسی رشد و برخی خصوصیات گندم رقم الوند در شرایط کم آبیاری و محلول پاشی پتاسیم دی هیدرات فسفات، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۵(۳): ۱۰۳-۱۱۸.

خواجه، م.، موسوی نیک، س.م.، سیروس مهر، ع.ر.، یدالهی ده چشممه، پ. و امیری، ا. (۱۳۹۴) اثر تنفس کم آبی و محلول پاشی سیلیکون بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوستتری گندم در منطقه سیستان، فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۷(۲۶): ۱۹-۵.

رحمت زاده، س. و خارا، ج. (۱۳۸۷) تاثیر پرتوی UV-C بر روی رشد و برخی از فاکتورهای ریخت شناسی و فیزیولوژیک در گیاهان گندم همزیست با سه گونه از قارچ‌های میکوریز، مجله زیست شناسی ایران ۲۱(۱): ۵۲-۶۳.

سامانی، م.، دردی پور، ا.، خرمالی، ف. و بازرگان، ک. (۱۳۹۵) تاثیر نسبت‌های مختلف Ca: B بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در گندم، نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار ۶(۳): ۱۷۳-۱۸۲.

شهبازی، ه.، ارزانی، ا. و اسماعیل زاده مقدم، م. (۱۳۹۵) تاثیر تنفس خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم، مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۵(۱۵): ۱۲۳-۱۳۱.

صادقی، ن.، شفیعی حاجی آباد، م. و شوکتی، ا.م. (۱۳۸۹) بررسی اثر اشعه UV-C و تنظیم کننده‌های رشد گیاهی بر آلوده ورا (*Aloe vera L.*)، داروهای گیاهی ۲: ۳۷-۴۶.

قناتی، ف.، احمدی، ز. و عبدالمالکی، پ. (۱۳۸۵) تاثیر پرتوی فرابینفس C بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی در گیاه صبر زرد (*Aloe vera L.*), فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۲: ۳۱۵-۳۳۱.

گلستانی‌فر، ف.، محمودی، س.، زمانی، غ. و سیاری زهان، م.ح. (۱۳۹۶) اثر تنفس خشکی بر کارآیی مصرف آب و وزن خشک ریشه گندم (*Triticum aestivum L.*) و چاودار (*Secale cereal L.*) در شرایط رقابت، پژوهش‌های زراعی ایران ۱۵(۲): ۱-۱۲.

موسوی، س. ف. و اخوان، س. (۱۳۸۶) اصول آبیاری. انتشارات کنکاش. ۴۱۰ صفحه.

مهردیان، ک.، قربانی، م.، منوچهری کلانتری، خ. و محمدی، غ.ع. (۱۳۸۵) تاثیر باندهای مختلف اشعه ماوراء بنفش بر عوامل فیزیولوژیکی و ریخت شناسی فلفل (*Capsicum annuum L.*), مجله زیست شناسی ایران ۱۹(۱): ۴۳-۵۳.

Abedini, M. and Daie-Hassani, B. (2015) Salicylic acid affects wheat cultivars antioxidant system under saline and non-saline condition. Russian Journal of Plant Physiology 62: 604-610.

Ahmad, P. and Sharma, S. (2010) Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba L.*) under NaHCO<sub>3</sub> stress. International Journal of Plant Production 4: 79-86.

Allen, D. J., Nogues, S. and Baker, R. N. (1998) Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis. Journal of experimental Botany 328:1775-1788.

Al-Mahasneh, M. A. (2006) Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. Journal of Food Engineering 2: 120-130.

Balouchi, H. R., Sanavy, S. A. M. M., Emam, Y. and Dolatabadian, A. (2009) UV radiation, elevated CO<sub>2</sub> and water stress effect on growth and photosynthetic characteristics in durum wheat. Plant Soil Environment 10: 443-453.

Bandurska, H., Niedziela, J. and Chadzinikolau, T. (2013) Separate and combined responses to water deficit and UV-B radiation. Plant Science 213:98-105.

Bates, L. S., Walderen, R. D. and Taere, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39: 205-207.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72(1-2): 248-254.

Buer, C. S., Imin, N. and Djordjevic, M. A. (2010) Flavonoids: New Roles for Old Molecules. Journal of Integrative Plant Biology 52: 98-111.

- Carvalho, R. F., Quecini, V. and Peres, L. E. P. (2010) Hormonal modulation of photo morphogenesis-controlled anthocyanin accumulation in tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv *Micro-Tom*) hypocotyls: Physiological and genetic studies. *Plant Science* 178: 258-264.
- Chance, B. and Maehly, A. C. (1955) Assay of catalases and peroxidases, in *Methods in Enzymology*. Academic Press. 764-775.
- Chawla, J., Zhu, C., Li, L., Sun, Z. and Pan, X. (2013) effects of exogenous salicylic acid on growth and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-metabolizing enzymes in rice seedlings under lead stress. *Journal of Environmental Sciences* 191: 44-49.
- Costa, H., Gallego, S. M. and Tomaro, M. L. (2002). Effects of UV-B radiation on antioxidant defense system in sunflower cotyledons. *Plant Science* 162 (6): 939-945.
- Demiral, T. and Turkan, I. (2005) Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense system and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Environmental and Experimental Botany* 53: 247-257.
- Eraslan, F., Ali, I., David, A., Pilbeam, J. and Gunes, A. (2008) Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. cv). Matador grown under boron toxicity and salinity. *Plant Growth Regulation* 55: 207-219.
- Ganji Arjenaki, F., Jabbari, R. and Morshedi, A. (2012) Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *International Journal of Agriculture and Crop Scien* 4(11): 726-729.
- Gould, K., Davies, K. and Winefield, C. (2009) Anthocyanin, Biosynthesis, Functions, and Applications. 1(3):117-231.
- Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 125(1): 189-198.
- Jaakola, L. (2013) New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits. *Journal of Trends Plant Science* 18: 477-483.
- Kavi Kishor, P. B., Sangam, S., Amrutha, R. N., Sri Laxmi, P., Naidu, K. R., Rao, K. R. S. S., Rao, S., Reddy, K. J., Theriappan, P. and Steenivasulu, N. (2005) Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants :Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science* 883: 424-438.
- Keles, Y. and Oncel, I. (2004) Growth and solute composition in two wheat species experiencing combined influence of stress conditions. *Russian Journal of plant physiology* 51: 203-208.
- Krizek, D. T., Britz, S. J. and Mirecki, R. M. (1998) Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce. *Physiologia Plantarum* 103(1): 1-7.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.
- Martens, S. and Mithofer, A. (2005) Flavones and flavone synthases. *Phytochemistry* 66: 2399–2407.
- Masukasu, H., Karin, O. and Kyoto, H. (2003) Enhancement of anthocyanin biosynthesis by sugar in radish (*Raphanus sativus*) hypocotyls. *Plant Science* 164: 2: 259 - 265.
- Muller-Xing, R., Xing, Q. and Goodrich, J. (2014) Footprints of the sun: memory of UV and light stress in plants. *Frontiers in Plant Science* 5: 1-12.
- Nyoman Rupiasih, N. and Pandit B. V. (2016) Effect of UV-C radiation and hypergravity on germination, growth and content of chlorophyll of wheat seedlings. Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Theoretical and Applied Physics P.1719.
- Obinger, C., Maj, M., Nicholls, P. and Loewen, P. (1997) Activity, Peroxide Compound Formation, and Heme d Synthesis in *Escherichia coli* Catalase. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 342(1): 58-67.
- Pal, M., Jain, V. and Sengupta, U. K. (1998) Influence of enhanced UV-B radiation on mustard: Cultivar response. *Indian Journal of Plant Physiology* 3(3): 188-193.
- Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants :a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
- Parida, A. K., Das, A. B., Mittra, B. and Mohanty, P. (2004) Salt-stress induced alterations in protein profile and protease activity in the mangrove, *Bruguiera parviflora* L. *Naturforsch* 59 :408-414.
- Piri, E., Babaeian, M., Tavassoli, A. and Esmaeilian, Y. (2011) Effects of UV irradiation on plants. *African Journal of Microbiology Research* 5: 1710-1716.
- Rahmatzadeh, S. and Khara, J. (2007) Influence of Ultraviolet-C radiation on some growth parameters of mycorrhizal wheat plants. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10 (23): 4275-4278.
- Sakuraba, Y., Lee, SH., Kim, Y.S., Park, O.K., Hörtensteiner, S. and Paek, N.C. (2014) Delayed degradation of chlorophylls and photosynthetic proteins in *Arabidopsis* autophagy mutants during stress-induced leaf yellowing. *Journal of Experimental Botany* 65(14):3915-25.
- Salwa A. R. and Osama A. M. (2014) Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Science* 59(1): 133–145
- Shelgl, H. Q. (1986) Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta Journal* 47-51.

- Sun, T. L. and Waters, I. (2003) Review of prospects for germplasm improvement for water logging tolerance in wheat, barley and oats. *Plant Soil* 253: 1- 34.
- Syed, S. B., Lakshmi, N. M. and Gowda, B. B. (2012) Poly phenolics profile and antioxidant properties of *Raphanus sativus* L. *Natural Product Research* 26(6): 557–563.
- Tossi, V., Lamattina, L. and Cassia, R. (2009) An increase in the concentration of abscisic acid is critical for nitric oxide-mediated plant adaptive responses to UV-B irradiation. *The New Phytologist* 181(4): 871-879.
- Turkan, M., Iwanzik, W. and Teramura, A. H. (2009) Effects of water logging damage in wheat seedling. Effects on Growth, Protein and Flavonoid Content. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 110(5): 459-467.
- Wargent, J., Jordan, B. R. (2013) From Ozone Depletion to Agriculture: Understanding the Role of UV Radiation in Sustainable Crop Production. *New Physiologist* 197: 1058-1076.
- Winterbourn, C. C., McGrath, B. M. and Carrell, R.W. (1976) Reactions involving superoxide and normal and unstable haemoglobins. *The Biochemical Journal* 3(155): 493–502.
- Yao, X. (2014) Grain yield, starch, protein, and nutritional element concentrations of winter wheat exposed to enhanced UV-B during different growth stages. *Journal of Cereal Science* 60(1): 31-36.
- Yeo, Y., Danna, C. H., Zemp, F. J., Titov, V., NazemCiftci, O. and Przybylski, R. (2011) UV-C irradiated *Arabidopsis* and *Tobacco* emit volatiles that trigger genomic instability in neighboring Plants. *Journal of the Plant Cell* 23: 3842–3852
- Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. and Xia, X. J. (2012) Photo protective roles of anthocyanin in *Begonia semperflorens*. *International Journal of Plant Science* 179: 202-208.
- Zu, Y., Li, Y., Chen, J. and Chen, H. (2004). Intraspecific responses in grain quality of 10 wheat cultivars to enhanced UV-B radiation under field conditions. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 74 (2-3): 95-100.

## The effect of drought stress and Ultraviolet on antioxidant defensive system of enzyme and non-enzyme in three varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.)

Zeynab Rezayi Far<sup>1</sup>, Siamak Fallahi<sup>1</sup> and Esmaeil Gholinezhad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Biology – University of Payame Noor

<sup>2</sup>Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University

(Received: 04/03/2017, Accepted: 19/09/2017)

### Abstract

Drought stress and ultraviolet radiation as stressful environmental factors have deleterious effects on physiological and growth of plants. So in order to evaluate the effect of drought stress and Ultraviolet on photosynthesis pigments and antioxidant defensive system of enzyme and non-enzyme in three varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.), a pot experiment was conducted by using factorial based on completely randomized design (RCD) with three replications in 2015. Treatments were drought stress in two levels (control and drought stress by applying 25% of field capacity) and ultraviolet radiation (control and UV-C) and three wheat varieties ("Zare", "Pishgham" and "Mihan"). In this study, morphological traits, photosynthetic pigments and enzymes affecting on defense system were studied. The results showed that under drought stress and UV rays, the content of flavonoids increased in " Mihan" and decreased significantly in "Pishgham" cultivar, while in the same conditions (drought stress and UV radiation), the content of anthocyanins increased significantly. Treatment drought stress and UV caused oxidative stress in different varieties of wheat. In addition drought stress increased phenolic compounds and cause to enhance antioxidant enzymes such as catalase activity, superoxide dismutase and peroxidase. The content of soluble sugars increased under drought stess conditions. In drought stress condition, application UV increased proline amount in all three varieties about 31 percent but in optimum irrigation increased up to 22 percent. Increase of activity of antioxidant enzymes was observed in all three varieties, as well as the content of malondialdehyde and proline increased in all three varieties. UV radiation caused a significant reduction in the concentration of chlorophyll a, b and total chlorophyll. Also drought stress and UV reduced significantly root and stem dry weight, root and stem length. The interaction between drought stress and ultraviolet radiation increased damage to the plant. Also "Zare" variety according to increasing flavonoids and anthocyanin comparison with "Pishgham" and "Mihan" varieties was proven as tolerant to drought stress.

**Key words:** Anthocyanin, Drought stress, Flavonoids, UV radiation, Wheat.

Gholinezhad1358@yahoo.com