

## تأثیر سالیسیلیک اسید و براسینواستروئید در تعدیل اثرات تنش آبی در دو رقم گندم (*Triticum aestivum*)

مریم جهانی دوقزلو<sup>۱</sup> و یحیی امام<sup>۲\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۶/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۲۷)

### چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی است و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد به‌عنوان یک روش برای مقابله با خشکی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران می‌باشد. به‌منظور مطالعه تأثیر دو تنظیم‌کننده رشد براسینواستروئید و سالیسیلیک اسید بر جوانه‌زنی و رشد دو رقم گندم در شرایط تنش کم‌آبی آزمایشی در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در سال ۱۳۹۳ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل دو رقم گندم (شیراز و سیروان)، آبیاری (۱۰۰٪ و ۵۰٪ ظرفیت مزرعه) و تنظیم‌کننده‌های رشد (براسینواستروئید و سالیسیلیک اسید) بود. در این آزمایش کم‌آبی باعث افزایش معنی‌دار شاخص سبزی‌نگی (۵۰/۵۸ درصد)، کاهش معنی‌دار محتوی نسبی آب برگ (۱۰/۲۴ درصد)، وزن خشک سنبله (۱۷/۲۲ درصد)، وزن صد دانه (۱۴/۱۴ درصد)، وزن خشک بوته (۸/۷۴ درصد) و وزن دانه هر بوته (۱۹/۲۱ درصد) شد، لیکن کاربرد تنظیم‌کننده رشد براسینواستروئید به‌صورت محلول‌پاشی بوته‌ها با غلظت ۲۵ و ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید موجب جبران بخشی از این خسارت شد. به‌علاوه، پیش‌تیمار بذر ارقام گندم توسط براسینواستروئید باعث افزایش درصد و سرعت سبز شدن آنها گردید. برتری رقم سیروان، به‌عنوان رقم متحمل به خشکی، از نظر تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بر رقم شیراز که رقم حساس به خشکی می‌باشد نشان داده شد.

واژه‌های کلیدی: درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، شاخص سبزی‌نگی، محتوی نسبی آب برگ

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

\*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yaemam@shirazu.ac.ir

## مقدمه

غلات مهم‌ترین گیاهان غذایی کره زمین و تأمین‌کننده ۷۰٪ غذای مردم کره زمین می‌باشند. دو غله گندم و برنج روی هم تقریباً ۶۰٪ انرژی مورد نیاز بشر را تأمین می‌کنند (۲۰). گندم مهم‌ترین گیاه زراعی روی کره خاکی است (۲۰ و ۴۱). بیشترین سطح زیر کشت و تولید به گندم اختصاص دارد، به طوری که بنابر آمار سازمان خواروبار جهانی، در سال ۲۰۱۳ میلادی میزان تولید جهانی گندم ۷۱۳/۲۱ میلیون تن بوده است (۲۷).

خشکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای محیطی است که تولید محصولات کشاورزی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش تولید می‌شود. تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب گندم می‌شود (۵۵). خشکی با کوتاه کردن طول دوره پُر شدن دانه گندم باعث کاهش عملکرد دانه، وزن هزار دانه و وزن هکتولتر شده است (۲۴). نتایج پژوهش پیرسته‌انوشه و امام (۳۹)، نشان داد که تنش کم‌آبی موجب کاهش شدید طول سنبله، تعداد دانه در سنبلک، تعداد دانه و سنبلک در سنبله، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت گردید. یکی از راه‌های مقابله و تطابق با خشکی استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (Plant Growth Regulators) است (۷). براسینواستروئیدها (Brassinosteroids) هورمون‌های استروئیدی هستند که رشدونمو گیاه را تنظیم می‌کنند. براسینواستروئیدها (BRs) باعث افزایش سازگاری گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی می‌شوند (۶، ۸، ۹ و ۳۶). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که براسینواستروئیدها می‌توانند موجب طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های سلولی مثل طویل شدن ساقه، رشد لوله دانه‌گرده، تشکیل ریشه، القاء بیوسنتز اتیلن، فعال کردن پمپ پروتون و تنظیم بیان ژن شود (۲۸، ۳۲ و ۳۴).

کاربرد نوعی براسینواستروئید موجب افزایش محتوای نسبی آب، فعالیت نیترات ردیکتاز، محتوای کلروفیل و میزان فتوسنتز شد. در این پژوهش در گیاهان تیمار شده با براسینواستروئید

اثرات مفید در قالب ویژگی‌هایی هم چون سطح برگ بیشتر، تولید زیست‌توده زیادتر، عملکرد دانه و اجزای عملکرد قابل مشاهده بود (۴۳). هم‌چنین تیمار بوته‌های گندم با نوعی براسینواستروئید در تنش شوری باعث بهبود رشد گندم در شرایط شور و غیر شور شد (۴۵). صفاری و همکاران (۴۲)، گزارش کردند که کاربرد براسینواستروئید در گیاه کلزا از راه افزایش بیان ژن‌های مربوط به آنزیم کاتالاز و کلروفیل موجب افزایش تحمل گیاه کلزا به خشکی شده است.

استفاده از تنظیم‌کننده رشد گیاهی سالیسیلیک اسید (Salicylic Acid) باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیر زنده می‌شود و به‌عنوان یک روش برای جلوگیری از اثرات مخرب تنش‌های محیطی به‌حساب می‌آید، این تنش‌ها شامل گرما (۱۴)، سرما (۵۲)، فلزات سنگین و خشکی (۴۸) بوده است.

سالیسیلیک اسید (SA) موجب افزایش میزان کل پروتئین محلول و فعالیت کلروفیل a و b در گندم‌های کشت شده در شرایط خشکی شده است. در این پژوهش بهبود تنظیم روزنه‌ای، ماندگاری کلروفیل برگ، افزایش کارایی استفاده از آب و تحریک رشد ریشه، دلیل مقابله با خشکی بوده است (۴۱). مشاهده شده است که عملکرد اقتصادی ارقام گندم رشد یافته در شرایط خشکی، وقتی که با سالیسیلیک اسید تیمار شدند افزایش یافت (۲ و ۲۳).

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد براسینواستروئید و سالیسیلیک اسید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک دو رقم حساس و متحمل به خشکی گندم در شرایط تنش کم‌آبی طراحی و اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۳، در گلخانه پژوهشی بخش زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در باجگاه (۱۲ کیلومتری شمال غربی شیراز با عرض جغرافیایی

طرف برگ تا زمانی ادامه یافت که از نوک برگ قطره‌های محلول شروع به چکیدن کرد. اعمال تیمار تنش کم‌آبی در مرحله ۵۰٪ گل‌دهی انجام شد (۴۳). یک تا دو روز پس از ظهور کامل سنبله به‌عنوان مرحله گل‌دهی در نظر گرفته شد (۲۰). درصد وزنی رطوبت (FC) ۱۹/۵ درصد بود. آبیاری گلدان‌ها هر بار تا حد ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (برای تیمار شاهد) و ۵۰٪ ظرفیت زراعی (برای تیمار تنش کم‌آبی) انجام گرفت و مقدار آب مورد نیاز برای هر گلدان تا رسیدن به حد FC مورد نظر براساس وزن گلدان محاسبه می‌شد.

شاخص‌های درصد و سرعت سبز شدن، شاخص سبزی‌نگی، محتوای نسبی آب برگ، پرچم، وزن خشک شاخساره، وزن خشک سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه هر بوته اندازه‌گیری و محاسبه شد.

برای محاسبه شاخص درصد جوانه‌زنی از فرمول زیر استفاده شد (۱۱).

(۱)

$$GP = 100(N'/N)$$

که در آن GP درصد جوانه‌زنی (Germination Percentage)، N' تعداد بذرهای جوانه زده و N تعداد کل بذر می‌باشد.

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی (۳۳) از رابطه زیر استفاده شد.

(۲)

$$GR = \sum_{i=1}^n S_i / D_i$$

در این فرمول‌ها GR سرعت جوانه‌زنی (Germination Rate) (تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز)،  $S_i$  تعداد بذر جوانه‌زده در هر شمارش،  $D_i$  تعداد روز تا شمارش  $n$ ام،  $n$  تعداد دفعات شمارش است.

اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی یک ماه پس از اعمال تنش خشکی در ساعات اولیه روز از برگ پرچم تمامی بوته‌ها توسط دستگاه اسپد (SPAD-502, Minolta, Japan) انجام شد. برای محاسبه محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content) از فرمول زیر استفاده شد (۴۴):

(۳)

$$\%RWC = 100 \left( \frac{f_w - d_w}{s_w - d_w} \right)$$

۴۶° ۵۲ شرقی، طول جغرافیایی ۷' ۲۹ شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل:

الف. دو رقم گندم، شیراز به‌عنوان رقم حساس به خشکی، و رقم سیروان به‌عنوان رقم متحمل به خشکی

ب. دو سطح آبیاری شامل ۵۰٪ ظرفیت مزرعه (تیمار کم‌آبی) و ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه (به‌عنوان شاهد)

ج. تنظیم‌کننده‌های رشد شامل شاهد (پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با آب مقطر)، محلول‌پاشی با غلظت ۲۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید، محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید، پیش‌تیمار با غلظت ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید، پیش‌تیمار با غلظت ۷۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید، پیش‌تیمار با غلظت ۷۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید و محلول‌پاشی با غلظت ۲۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید، پیش‌تیمار با غلظت ۷۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید و محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید، پیش‌تیمار با غلظت ۷۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت یک میلی‌مولار و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت یک میلی‌مولار (۴۸).

ابتدا بذور گندم در غلظت‌های ذکر شده خیس‌انده و پس از گذشت شش ساعت از محلول بیرون آورده شدند و به‌منظور خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در هوای اتاق بر روی کاغذ صافی نگهداری شدند. سپس گلدان‌های پنج کیلویی با نسبت ۱:۲ از خاک (بافت سیلتی-لومی) و پرلیت پر شد. به‌منظور زهکشی مناسب گلدان‌ها در کف آنها تا ارتفاع دو سانتی‌متری سنگ‌ریزه ریخته شد. در هر گلدان ۱۵ بذر سالم گندم کاشته شد و پس از عملیات تنک کردن در مرحله سه برگی، به پنج بوته در گلدان رسید. اعمال تیمارهای تنظیم‌کننده‌های رشد ۲۵ روز پس از کاشت انجام شد (۴۳). محلول‌پاشی در صبح زود انجام شد و در زمان محلول‌پاشی سطح گلدان‌ها با پلاستیک پوشانده شد تا از جذب خاکی جلوگیری شود. عمل محلول‌پاشی با محلول‌پاش دستی به‌صورت یکنواخت در دو

موجب تحریک تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها و در نهایت بهبود و افزایش رشد گیاه می‌شود (۲۹).

### محتوی نسبی آب برگ (RWC)

اثر رقم بر محتوی نسبی آب غیر معنی‌دار و اثر تنش در سطح یک درصد و تنظیم‌کننده رشد در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). تیمار تنش کم‌آبی موجب کاهش معنی‌دار محتوی نسبی آب برگ پرچم گندم شد به طوری که در تیمار آبیاری معمول محتوی نسبی آب برگ پرچم ۱۰/۲۴ درصد بیشتر از تیمار تنش کم‌آبی بود (جدول ۲).

کاربرد تنظیم‌کننده رشد براسینوستروئید و سالیسیلیک اسید موجب افزایش معنی‌دار محتوی آب نسبی برگ پرچم نسبت به تیمار شاهد شد، به نحوی که محلول‌پاشی براسینوستروئید با غلظت ۲۵ و ۵۰ براسینوستروئید و هم‌چنین محلول‌پاشی یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید توانست باعث افزایش محتوی نسبی آب نسبت به تیمار عدم کاربرد تنظیم‌کننده رشد شود (شکل ۲). اثر مثبت براسینوستروئید بر RWC در شرایط تنش به معنی افزایش جذب آب در گیاهان مورد آزمایش می‌باشد. کاربرد تنظیم‌کننده رشد براسینوستروئید در گیاهان مختلف از جمله گندم (۴۳ و ۵۱)، گوجه‌فرنگی (۵۶)، برنج (۲۱) باعث افزایش RWC شده است. محتوی نسبی آب برگ گیاه ذرت در اثر تنش شوری کاهش یافت و پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و براسینوستروئید موجب افزایش معنی‌دار RWC شد (۱).

### شاخص سبزی‌نگی

تیمار تنش کم‌آبی و تنظیم‌کننده رشد در سطح یک درصد بر شاخص سبزی‌نگی اثر معنی‌دار داشت و اثر رقم غیر معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر برهم‌کنش تنش کم‌آبی و تنظیم‌کننده رشد بر شاخص سبزی‌نگی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش کم‌آبی در گلخانه سبب افزایش معنی‌دار شاخص سبزی‌نگی شد (جدول ۲). هم در شرایط تنش کم‌آبی و هم در شرایط آبیاری کامل تیمارهای تنظیم‌کننده رشد توانستند اثر منفی ناشی

RWC (%): محتوای نسبی آب، fw: وزن تر برگ، dw: وزن خشک برگ، sw: وزن اشباع برگ.

برای اندازه‌گیری وزن خشک بوته، پس از کف‌بر نمودن بوته از سطح خاک، به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $70 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند و پس از آن توزین شدند.

برای انجام محاسبات آماری و تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS و برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. نمودارها با استفاده از برنامه Excel ترسیم شد.

## نتایج و بحث

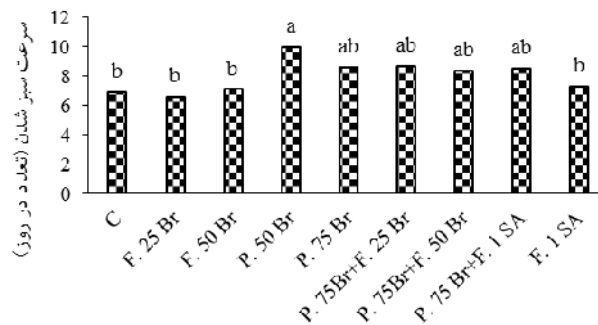
### درصد و سرعت سبز شدن

اثر رقم بر درصد سبز شدن در سطح یک درصد معنی‌دار شد. رقم در سطح یک درصد و تنظیم‌کننده رشد در سطح پنج درصد بر سرعت جوانه‌زنی اثر معنی‌دار داشتند (جدول ۱). بیشترین سرعت سبز شدن در آزمایش گلخانه‌ای مربوط به پیش‌تیمار بذر با غلظت ۵۰ میکروگرم در لیتر با میانگین ۱۰ بذر در روز بود که با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار داشت (شکل ۱). با بررسی پژوهش‌های انجام شده مشاهده شد که برنج (۴) و (۳۶)، آرابیدوبسیس (۴۹) و سورگوم (۵۳) با براسینوستروئیدها، باعث بهبود و افزایش درصد جوانه‌زنی آنها می‌شود. جوانه‌زنی نتیجه شکستن پوسته بذر و بزرگ شدن رویان می‌باشد (۱۲). در ابتدا به نظر می‌رسید که براسینوستروئید در شکستن پوسته بذر نقش دارد (۵۰)، اما پژوهش‌های بعدی نشان‌داد اثر براسینوستروئید در جوانه‌زنی به دلیل تحریک طویل شدن محور زیر لپه (هیپوکوتیل) و نمو رویان می‌باشد. مطالعه بر روی گیاه آرابیدوبسیس (۴۹) نشان‌داد که هورمون ۲۴-اپی براسینولید (نوعی براسینوستروئید) می‌تواند نقشی مشابه با جیبرلین در افزایش جوانه‌زنی بذر داشته باشد و احتمالاً کاهش بیوستتوز و حساسیت به آبسزیک اسید یا افزایش بیوستتوز و حساسیت به جیبرلین، دلیل افزایش جوانه‌زنی بذرهای خیس‌انده شده در محلول حاوی ۲۴-اپی براسینولید است. تیمار براسینوستروئید

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش کم آبی و تنظیم کننده های رشد بر برخی ویژگی های مورفوفیزیولوژیک دو رقم گندم در گلخانه

وزن دانه هر بوته		وزن خشک بوته	وزن صد دانه	وزن سنبله	شاخص سبزیگی	محتوای نسبی آب	میانگین زمان سبز شدن	سرعت سبز شدن	درصد سبز شدن	درجه آزادی	منابع تغییرات
۴۶/۸۱ <sup>ns</sup>	۰/۷۸ <sup>ns</sup>	۰/۹۱*	۰/۳۴ <sup>ns</sup>	۴۷۶/۷۳**	۳۳۶/۹ <sup>ns</sup>	۱۹/۳ <sup>ns</sup>	۱۶/۸۲ <sup>ns</sup>	۱۴۸/۹۵ <sup>ns</sup>	۳	۳	بلوک (R)
۳۸۲/۷۵*	۲۶۶/۲۰**	۱۷/۵۰**	۵۳/۸۰**	۱۴۷۸/۱۳**	۱۴۹۹/۱۰**	۹/۴۸ <sup>ns</sup>	۲/۰۳ <sup>ns</sup>	۹/۶۴ <sup>ns</sup>	۱	۱	کم آبی (S)
۲۷۰/۱*	۳۸۸/۲۰**	۱/۱۵*	۱۴/۵۰**	۶۰/۱ <sup>ns</sup>	۲/۱۲ <sup>ns</sup>	۳۰۹/۷۰**	۲۹۱/۹۰**	۱۸۹۷/۲۰**	۱	۱	رقم (V)
۱۳۸/۴*	۱۵/۰**	۰/۵۰ <sup>ns</sup>	۱/۵۲*	۴۷۸/۸**	۴۶۳/۸۶*	۴۲/۳۸ <sup>ns</sup>	۱۹/۳۸*	۲۶۱/۱۸ <sup>ns</sup>	۸	۸	تنظیم کننده رشد (P)
۱۷۵/۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۱/۳۱ <sup>ns</sup>	۱۰۲/۶ <sup>ns</sup>	۲/۱۲ <sup>ns</sup>	۵۰/۱ <sup>ns</sup>	۱۰/۶۵ <sup>ns</sup>	۶۳/۹۹ <sup>ns</sup>	۱	۱	S × V
۷۹/۳ <sup>ns</sup>	۷/۱۱**	۰/۵۶*	۱/۶۶*	۱۲۰/۳**	۸۸/۶۵ <sup>ns</sup>	۵۱/۱۶ <sup>ns</sup>	۲۷/۹۳**	۱۷۷/۴۹ <sup>ns</sup>	۸	۸	S × P
۲۲/۶ <sup>ns</sup>	۴/۴۵ <sup>ns</sup>	۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۴۵ <sup>ns</sup>	۱۰/۶ <sup>ns</sup>	۱۶/۲۱ <sup>ns</sup>	۲۴/۳۵ <sup>ns</sup>	۱۵/۷۹ <sup>ns</sup>	۸۵/۸۴ <sup>ns</sup>	۸	۸	V × P
۴۱/۳ <sup>ns</sup>	۳/۳۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۴۲ <sup>ns</sup>	۱۰/۶ <sup>ns</sup>	۱۶/۲۱ <sup>ns</sup>	۲۹/۰۴ <sup>ns</sup>	۳/۲۲ <sup>ns</sup>	۱۸۲/۳۱ <sup>ns</sup>	۸	۸	S × V × P
۵۶/۹	۲/۳۰	۰/۲۶	۰/۶۹	۴۰/۵	۲۲۱/۳۱	۲۸/۹۳	۹/۱۷	۱۵۲/۶۱	۱۰۸	۱۰۸	خطا
۱۵/۵	۵/۵۵	۱۱/۲۰	۱۲/۷۵	۲۰/۴	۵/۹۵	۱۱/۸۷	۱۹/۰۹	۱۶/۳۲			ضرب تغییرات (I)

\* و \*\* به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



تنظیم کننده رشد

شکل ۱. تأثیر غلظت‌های مختلف تنظیم کننده‌های رشد براسینواستروئید و سالیسیلیک اسید بر سرعت سبز شدن ارقام گندم در آزمایش گلخانه‌ای در شرایط تنش کم‌آبی. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد. C: شاهد (پیش تیمار و محلول پاشی با آب مقطر)، F. 25 Br: محلول پاشی ۲۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید (Br)، F. 50 Br: محلول پاشی ۵۰  $\mu\text{g L}^{-1}$  Br، P. 50 Br: پیش تیمار ۷۵  $\mu\text{g L}^{-1}$  Br و محلول پاشی ۲۵  $\mu\text{g L}^{-1}$  Br، P. 75 Br: پیش تیمار ۷۵  $\mu\text{g L}^{-1}$  Br، P. 75Br+F. 25 Br: پیش تیمار ۷۵  $\mu\text{g L}^{-1}$  Br و محلول پاشی ۲۵  $\mu\text{g L}^{-1}$  Br، P. 75Br+F. 50 Br: پیش تیمار ۷۵  $\mu\text{g L}^{-1}$  Br و محلول پاشی ۵۰  $\mu\text{g L}^{-1}$  Br، P. 75Br+F. 1 SA: پیش تیمار ۷۵  $\mu\text{g L}^{-1}$  Br و محلول پاشی ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، F. 1 SA: محلول پاشی ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید.

تنظیم کننده رشد نیز بر وزن سنبله در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). تنش کم‌آبی موجب کاهش ۱۷/۲۳ درصدی وزن سنبله نسبت به آبیاری معمول شد (جدول ۲). بیشترین میانگین وزن سنبله در تیمار آبیاری معمول و محلول پاشی ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید با میانگین ۸/۷۶ گرم حاصل شد و کمترین میانگین وزن خشک سنبله مربوط به شرایط آبیاری ۵۰٪ ظرفیت زراعی و عدم کاربرد تنظیم کننده رشد بود (جدول ۳). گزارش شده است که براسینواستروئید علاوه بر اثر بر فعالیت‌های متابولیک متفاوت، جذب آب و مواد معدنی از جمله نیتروژن را در اثر سنتز انواعی از پروتئین افزایش می‌دهد و از این طریق موجب افزایش رشد و در نهایت عملکرد دانه می‌گردد (۴۳).

#### وزن صد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبی بر وزن صد دانه در سطح یک درصد و رقم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود.

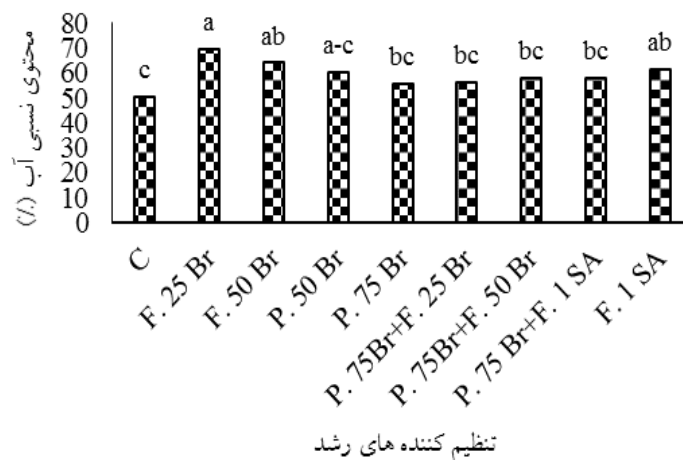
از کم‌آبی را بر شاخص سبزی‌نگی کاهش دهد. به طوری که در هر دو حالت محلول پاشی بوته‌های گندم با براسینواستروئید در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکروگرم در لیتر و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید موجب کاهش معنی‌دار شاخص سبزی‌نگی نسبت به حالت عدم کاربرد تنظیم کننده رشد گردید (جدول ۳). افزایش شاخص سبزی‌نگی در شرایط تنش کم‌آبی احتمالاً به علت کاهش سطح برگ و تجمع کلروفیل در سطح کمتر برگ می‌باشد (۱۳). در آزمایشی که بر روی گیاه کلزا در تنش شوری انجام شد، تیمار براسینواستروئید و سالیسیلیک به تنهایی و هم‌چنین کاربرد توأم این دو ماده موجب بهبود آثار ناشی از تنش بر شاخص سبزی‌نگی شد. دلیل احتمالی این امر آن است که براسینواستروئید در بیان ژن‌های ویژه سنتز آنزیم‌های مؤثر بر تولید کلروفیل می‌تواند نقش داشته باشد (۲۶).

اثر تنش کم‌آبی و رقم بر وزن سنبله در سطح یک درصد و اثر تنظیم کننده‌های رشد در سطح پنج درصد بر وزن سنبله هر بوته گندم معنی‌دار بود. هم‌چنین برهم‌کنش تنش کم‌آبی و

جدول ۲. اثر تنش کم آبی و رقم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک ارقام گندم در آزمایش گلخانه‌ای در شرایط تنش کم آبی

تیمار	محتوی نسبی آب (%)	شاخص سبزی‌نگی	وزن خشک سنبله (g)	وزن صد دانه (g)	وزن خشک بوته (g)	وزن دانه هر بوته (g)
شاهد	۶۲/۵ <sup>a</sup>	۲۱/۳ <sup>b</sup>	۷/۱۴ <sup>a</sup>	۴/۶۵ <sup>a</sup>	۲۸/۶ <sup>a</sup>	۵۳/۶ <sup>a</sup>
آبیاری کم آبی	۵۶/۱ <sup>b</sup>	۴۳/۱ <sup>a</sup>	۵/۹۱ <sup>b</sup>	۴/۲۵ <sup>b</sup>	۲۶/۱ <sup>b</sup>	۴۳/۳ <sup>b</sup>
شیراز	۵۹/۲ <sup>a</sup>	۳۱/۶ <sup>a</sup>	۶/۲۱ <sup>b</sup>	۴/۵۱ <sup>b</sup>	۲۵/۷ <sup>b</sup>	۴۷/۲ <sup>b</sup>
رقم سیروان	۵۹/۴ <sup>a</sup>	۳۲/۸ <sup>a</sup>	۶/۸۵ <sup>a</sup>	۴/۶۹ <sup>a</sup>	۲۹/۰ <sup>a</sup>	۴۹/۹ <sup>a</sup>

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد (LSD  $\leq 0.05$ ).



تنظیم‌کننده‌های رشد

شکل ۲. تأثیر غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد براسینواستروئید و سالیسیلیک اسید بر محتوی نسبی آب برگ پرچم هر بوته ارقام گندم در آزمایش گلخانه‌ای در شرایط تنش کم آبی. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد. C: شاهد (پیش تیمار و محلول پاشی با آب مقطر)، F. 25 Br: محلول پاشی ۲۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید (Br): F. 50 Br: محلول پاشی ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید (Br): P. 75 Br: پیش تیمار ۷۵ میکروگرم در لیتر سالیسیلیک اسید (P): P. 75 Br + F. 25 Br: ۷۵ میکروگرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۲۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید (Br): P. 75 Br + F. 50 Br: ۷۵ میکروگرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید (Br): P. 75 Br + F. 1 SA: ۷۵ میکروگرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (SA): F. 1 SA: ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (SA).

۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید بود، لذا به نظر می‌رسد در این تیمار مقدار ماده مصرفی بیش از حد مجاز بوده و حالت سمیت ایجاد کرده باشد. این نتیجه در مورد ویژگی‌های ارتفاع ساقه و وزن خشک بوته نیز مشاهده شد (جدول ۳).

نتایج به دست آمده مبنی بر کاهش وزن دانه گندم در شرایط کم آبی با نتایج سایر پژوهشگران (۱۹ و ۳۹) مطابقت دارد. این کاهش ناشی از کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید مواد پروده در اثر کم آبی می‌باشد (۳۷). هم‌چنین باید به این نکته نیز

هم‌چنین برهمکنش تنظیم‌کننده رشد و تنش کم آبی نیز در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار بر وزن صد دانه داشت (جدول ۱). تنش کم آبی موجب کاهش میانگین وزن صد دانه شد و رقم سیروان نسبت به رقم شیراز میانگین وزن صد دانه بیشتری داشت (جدول ۲). بیشترین میانگین وزن صد دانه در شرایط آبیاری معمول و محلول پاشی ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید حاصل شد و کمترین میانگین وزن صد دانه در شرایط آبیاری ۵۰٪ ظرفیت زراعی و استفاده توأم پیش تیمار ۷۵ و محلول پاشی

جدول ۳. برهمکنش تنظیم‌کننده‌های رشد براسینواستروئید و سالیسیلیک اسید و تنش کم‌آبی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک ارقام گندم

تنش	تنظیم‌کننده رشد	شاخص سبزی‌نگی	وزن خشک سنبله (g)	وزن صد دانه (g)	وزن خشک بوته (g)
	۱	۳۲/۹	۷/۵۵	۴/۷۰	۲۶/۷
	۲	۱۴/۲	۶/۸۲	۴/۹۶	۳۰/۲
	۳	۱۴/۶	۸/۷۶	۵/۲۴	۳۱/۴
	۴	۲۰/۲	۶/۹۱	۴/۹۹	۲۷/۷
شاهد	۵	۲۰/۷	۷/۳۸	۵/۰۶	۲۷/۱
	۶	۲۶/۳	۶/۴۲	۴/۹۰	۲۸/۵
	۷	۳۰/۰	۶/۵۴	۴/۷۷	۲۶/۹
	۸	۱۵/۶	۶/۹۱	۴/۶۵	۲۸/۶
	۹	۱۵/۹	۷/۲۷	۴/۵۱	۳۰/۸
	۱	۴۸/۲	۵/۵۱	۴/۰۵	۲۶/۰
	۲	۳۴/۱	۶/۲۷	۴/۷۳	۲۶/۱
	۳	۳۸/۳	۶/۰۲	۴/۴۸	۲۶/۱
	۴	۴۰/۸	۵/۷۴	۴/۴۰	۲۷/۵
کم‌آبی	۵	۴۷/۹	۶/۱۳	۴/۰۵	۲۵/۶
	۶	۴۰/۹	۶/۷۲	۳/۹۹	۲۵/۸
	۷	۴۳/۳	۵/۶۷	۳/۵۱	۲۴/۹
	۸	۴۴/۴	۵/۸۵	۴/۴۳	۲۶/۰
	۹	۳۵/۰	۵/۴۷	۴/۴۷	۲۶/۵
	LSD	۶/۱	۱/۴۳	۰/۵۷	۳/۶۵

حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ( $LSD \leq 0.05$ ). تیمارهای PGR به اختصار عبارتند از؛ ۱: پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با آب مقطر (به‌عنوان شاهد)، ۲: محلول‌پاشی ۲۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید (Br)، ۳: محلول‌پاشی  $50 \mu\text{g L}^{-1}$  Br، ۴: پیش‌تیمار  $50 \mu\text{g L}^{-1}$  Br، ۵: پیش‌تیمار  $75 \mu\text{g L}^{-1}$  Br، ۶: پیش‌تیمار  $75 \mu\text{g L}^{-1}$  Br و محلول‌پاشی  $25 \mu\text{g L}^{-1}$  Br، ۷: پیش‌تیمار  $75 \mu\text{g L}^{-1}$  Br و محلول‌پاشی  $50 \mu\text{g L}^{-1}$  Br، ۸: پیش‌تیمار  $75 \mu\text{g L}^{-1}$  Br و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، ۹: محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید.

نهایت عملکرد بوته‌ها شده است (۳ و ۴۶).

#### وزن خشک بوته

اثر تنش کم‌آبی، رقم، تنظیم‌کننده رشد و برهمکنش تنش کم‌آبی و تنظیم‌کننده رشد بر وزن خشک بوته گندم در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). آبیاری گلدان‌ها در حد ۵۰٪ ظرفیت زراعی موجب کاهش معنی‌دار میانگین وزن بوته آنها

توجه شود که خشکی باعث رسیدن سریع‌تر دانه‌ها شده که این موضوع در کاهش میانگین وزن دانه‌ها مؤثر می‌باشد و بنابراین افزایش میانگین وزن دانه‌ها در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید می‌تواند به دلیل افزایش فتوسنتز برگ و مواد پروده و یا حتی طولانی شدن دوره سبزمانی برگ‌ها بوده باشد (۲۵). در تأیید نتایج پژوهش حاضر گزارش شده است که کاربرد براسینواستروئید در گیاه نخود باعث افزایش وزن دانه و در



در اثر کاربرد براسینواستروئید بر فعالیت‌های متابولیک و عملکرد دانه و تحمل در برابر انواع تنش می‌تواند به دلیل بیان بیشتر ژن‌های پاسخ‌دهنده در برابر تنش (۱۵ و ۲۸)، تحریک تولید هورمون‌های دیگر (۱۷ و ۵۴)، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و تنظیمات اسمزی (۱۶ و ۳۶)، کارایی فتوسنتزی بالاتر (۳۱ و ۳۵)، افزایش پایداری غشاء (۳۲ و ۴۷) و یا سنتز پروتئین‌های ویژه (۳۲) باشد. به‌طور کلی براسینواستروئیدها در صورتی که در غلظت مناسب و مرحله رشدی مناسب گیاه مورد استفاده قرار گیرند، می‌توانند در تعدیل انواع تنش‌ها مفید واقع شوند (۹). بر طبق نتایج پژوهش‌های مختلف براسینواستروئیدها نه تنها موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شوند، بلکه کیفیت گیاهان زراعی و تحمل آنها به انواع تنش را افزایش می‌دهند (۵، ۶، ۹ و ۵۱).

### نتیجه‌گیری

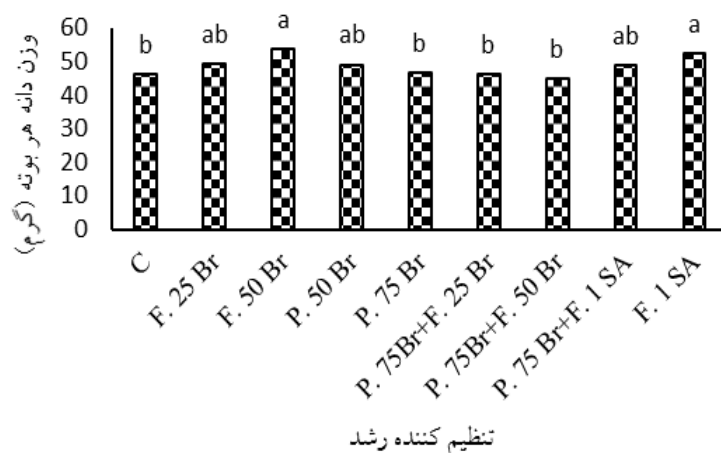
کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد براسینواستروئید و سالیسیلیک اسید سبب کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی شد. از میان تیمارهای تنظیم‌کننده رشد محلول‌پاشی براسینواستروئید با غلظت ۵۰ میکروگرم در لیتر بیشترین تأثیر را بر بهبود فاکتورهای سطح برگ پرچم، شاخص سبزی‌نگی، طول سنبله، وزن خشک سنبله، وزن صد دانه، وزن خشک بوته و وزن دانه هر بوته داشت. هم‌چنین محلول‌پاشی براسینواستروئید با غلظت ۲۵ میکروگرم در لیتر بیشترین اثر را بر محتوی آب نسبی برگ، شاخص سبزی‌نگی، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن خشک بوته توانست داشته باشد. تیمار محلول‌پاشی یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید از طریق اثر معنی‌دار بر شاخص سبزی‌نگی، ارتفاع بوته، تعداد سنبلك بارور و تعداد دانه در هر سنبله، وزن خشک و وزن دانه بوته موجب بهبود آثار ناشی از کم‌آبی بر بوته‌های گندم شد. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از این مواد می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی در بهبود عملکرد در مناطق خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد شود.

شد و میانگین وزن خشک بوته رقم سیروان نسبت به رقم شیراز بیشتر بود (جدول ۲). بیشترین میانگین وزن خشک بوته در حالت آبیاری معمول و محلول‌پاشی ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید و کمترین آن در حالت عدم کاربرد تنظیم‌کننده رشد و آبیاری ۵۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۳). بهنام‌نیا و همکاران (۱۰) با بررسی اثر برهمکنش تنش خشکی و کاربرد ۲۴-آپی براسینولید بر وزن تر و خشک گیاه گوجه‌فرنگی نشان دادند که کمبود آب باعث کاهش وزن شد و تیمار براسینواستروئید به‌طور معنی‌داری وزن تر و خشک گیاه را تحت شرایط تنش و شاهد افزایش داد. کاربرد توأم سالیسیلیک اسید و براسینواستروئید در کلزا (۲۶) و ذرت (۱) توانست کاهش وزن خشک ناشی از شوری را بهبود بخشد.

### وزن دانه هر بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش کم‌آبی در سطح یک درصد و اثر رقم و تنظیم‌کننده رشد در سطح پنج درصد بر وزن دانه هر بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). وزن دانه هر بوته گندم در اثر تنش کم‌آبی ۱۸/۶۴ درصد کاهش یافت. هم‌چنین وزن دانه هر بوته رقم سیروان با میانگین ۴۹/۹۱ گرم نسبت به رقم شیراز با تفاوت معنی‌دار بیشتر بود (جدول ۲). محلول‌پاشی بوته‌های گندم با ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید و هم‌چنین یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید موجب افزایش معنی‌دار وزن دانه هر بوته گندم شد (شکل ۳). گزارش شده است که کاربرد براسینواستروئید باعث افزایش نقل و انتقال در گیاه می‌شود (۲۲ و ۳۸) که این در نهایت منجر به افزایش تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (۴۳).

بررسی منابع حاکی از آن است که کاربرد براسینواستروئید قادر است تحمل به انواع تنش را در گیاهان مختلف از جمله برنج (۴) و گندم (۴۵) در تنش شوری و برنج در خشکی (۲۱) افزایش دهد. هم‌چنین در منابع مختلف اثر افزایشی سالیسیلیک اسید بر رشد در گیاه گندم در تنش خشکی (۴۸)، ذرت (۳۰) و جو (۱۸) در شوری گزارش شده است. اثر مفید مشاهده شده



شکل ۳. تأثیر غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد براسینواستروئید و سالیسیلیک اسید بر وزن دانه هر بوته ارقام گندم در آزمایش گلخانه‌ای در شرایط تنش کم‌آبی. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد. C: شاهد (پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با آب مقطر)، F. 25 Br، F. 50 Br، P. 75 Br، P. 75Br+F. 25 Br، P. 75Br+F. 50 Br، P. 75 Br+F. 1 SA، F. 1 SA: محلول‌پاشی ۲۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید (Br)، محلول‌پاشی ۵۰ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید (Br)، محلول‌پاشی ۷۵ میکروگرم در لیتر براسینواستروئید (Br)، محلول‌پاشی ۲۵ میکروگرم در لیتر سالیسیلیک اسید (SA)، محلول‌پاشی ۵۰ میکروگرم در لیتر سالیسیلیک اسید (SA)، محلول‌پاشی ۷۵ میکروگرم در لیتر سالیسیلیک اسید (SA) و تیمارهای ترکیبی: P. 75 Br + F. 25 Br، P. 75 Br + F. 50 Br، P. 75 Br + F. 1 SA، F. 1 SA + F. 25 Br، F. 1 SA + F. 50 Br، F. 1 SA + F. 75 Br.

#### منابع مورد استفاده

- Agami, R. A. 2013. Alleviating the adverse effects of NaCl stress in maize seedlings by pretreating seeds with salicylic acid and 24-epibrassinolide. *South African Journal of Botany* 88: 171-177.
- Agarwal, S., R. Sairam, G. Srivastava and R. Meena. 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum* 49(4): 541-550.
- Ali, B., S. Hayat and A. Ahmad. 2007. 28-Homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environmental and Experimental Botany* 59: 217-223.
- Anuranha, S. and S. Seeta Rao SSR, 2001. Effect of brassinosteroids on salinity stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regulation* 33: 151-153.
- Anuranha, S. and S. Seeta Rao SSR, 2003. Application of brassinosteroids to rice seeds (*Oryza sativa* L.) reduced the impact of salt stress on growth, prevented photosynthetic pigment loss and increased nitrate reductase activity. *Plant Growth Regulation* 40: 29-32.
- Ashraf, M., N. Akram, R. Arteca and M. Foolad. 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences* 29 (3): 162-190.
- Ashraf, M., H. Athar, P. Harris and T. Kwon. 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in Agronomy* 97: 45-110.
- Bajguz, A. 2000. Effect of brassinosteroids on nucleic acids and protein content in cultured cells of *Chlorella vulgaris*. *Plant Physiology and Biochemistry* 38: 209-215.
- Bajguz, A. and S. Hayat. 2009. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* 47(1): 1-8.
- Behnamnia, M., KH. M. Kalantari and F. Rezanejad. 2009. Exogenous application of brassinosteroid alleviates drought-induced oxidative stress in *Lycopersicon esculentum* L. *General and Applied Plant Physiology* 35: 22-34.
- Belcher, E. W. and L. Miller. 1974. Influence of substrate moisture level on the germination of sweet gum and pine seed. *Proceeding of the Association of Official Seed Analysis* 65: 88-89.
- Bradford, K. J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Horticultural Science* 21: 1105-1112.

13. Chapman, S. C. and H. J. Barreto. 1997. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agronomy Journal* 89:557-562.
14. Dat, J. F., H. Lopez-Delgado, C. H. Foyer and I. M. Scott. 1998. Parallel changes in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiology* 116(4): 1351-1357.
15. Dhaubhadel, S., S. Chaudhary, K. F. Dobinson and P. Krishna. 1999. Treatment with 24-epibrassinolide, A brassinosteroid, increases the basic thermotolerance of *Brassica napus* and tomato seedlings. *Plant Molecular Biology* 40(2): 333-342.
16. Divi, U. K. and P. Krishna. 2010. Brassinosteroids confer stress tolerance. *Plant Stress Biology: From Genomics to Systems Biology* pp.119-135.
17. Divi, U. K., T. Rahman and P. Krishna. 2010. Brassinosteroid-mediated stress tolerance in Arabidopsis shows interactions with abscisic acid, ethylene and salicylic acid pathways. *BioMed Central Plant Biology* 10(1): 151-165.
18. El-Tayeb, M. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45(3): 215-224.
19. Emam, Y. H. Karimzadeh Sureshjani, S. Moori and K. Maghsoudi. 2013. Yield Response of Bread and Durum Wheat to Different Levels of Auxin and Cytokinin Application under Terminal Drought Stress Conditions. *Journal of Crop Production and Processing* 3(8): 93-104. (In Farsi).
20. Emam, Y. 2013. Cereal Crop Production (1<sup>st</sup> Edition). Shiraz University Press. Shiraz, Iran. (In Farsi).
21. Farooq, M., A. Wahid, S. M. A. Basra and I. U. Din. 2009. Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 262-269.
22. Fujii, S., K. Hirai and H. Saka. 1991. Growth-regulating action of brassinolide in rice plants. In: Proceeding of the Symposium Series-American Chemical Society American, Washington. (USA). pp. 306-311.
23. Gomez, L., L. Blanca and C. S. Antonio. 1993. Evidence of the beneficent action of the acetyl salicylic acid on wheat genotypes yield under restricted irrigation. In: Proceeding of the Scientific Meeting on Forestry, Livestock and Agriculture, Mexico. pp. 112.
24. Gooding, M., R. Ellis, P. Shewry and J. Schofield. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science* 37(3): 295-309.
25. Hayat, S., B. Ali and A. Ahmad. 2007. Salicylic acid: biosynthesis, metabolism and physiological role in plants, pp. 1-14. In: S. Hayat and A. Ahmad (Ed.), A Plant Hormone. Springer Netherlands.
26. Hayat, S., P. Maheshwari, A. S. Wani, M. Irfan, M. N. Alyemeni and A. Ahmad. 2012. Comparative effect of 28-homobrassinolide and salicylic acid in the amelioration of NaCl stress in *Brassica juncea* L. *Plant Physiology and Biochemistry* 53: 61-68.
27. <http://www.FAO.org>
28. Kagale, S., U. K. Divi, J. E. Krochko, W. A. Keller and P. Krishna. 2007. Brassinosteroid confers tolerance in Arabidopsis thaliana and *Brassica napus* to a range of abiotic stresses. *Planta* 225(2): 353-364.
29. Kang, Y. Y. and S. R. Guo. 2011. Role of brassinosteroids on horticultural crops. pp: 269-288. In: S. Hayat and A. Ahmad (Ed.), Brassinosteroids: A class of Plant Hormone. Springer Netherlands.
30. Khodary, S. F. A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology* 6: 5-8.
31. Krishna, P. 2003. Brassinosteroid-mediated stress responses. *Journal of Plant Growth Regulation* 22(4): 289-297.
32. Kulaeva, O. N., E. A. Burkhanova, A. B. Fedina, V. A. Khokhlova, G. A. Bokebayeva, H. M. Vorbrodt and G. Adam. 1991. Effect of brassinosteroids on protein synthesis and plant-cell ultrastructure under stress conditions. In: Proceeding of the ACS Symposium Series-American Chemical Society, USA. pp. 141-155.
33. Maguire, J. D. 1962. Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop science* 2: 176-177.
34. Mandava, N. B. 1988. Plant growth-promoting brassinosteroids. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 39(1): 23-52.
35. Ogwen, J. O., X. S. Song, K. Shi, W. H. Hu, W. H. Mao, Y. H. Zhou and S. Nogues. 2008. Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Plant Growth Regulation* 27(1): 49-57.
36. Ozdemir, F., M. Bor, T. Demiral and I. Turkan. 2004. Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, proline content and antioxidative system of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *Plant Growth Regulation* 42(3): 203-211.
37. Pessaraki, M. 2001. Handbook of Plant and Crop Physiology. 2<sup>nd</sup> Ed. Marcel Dekker, Inc. New York.
38. Petzold, U., S. Peschel, I. Dahse and G. Adam. 1992. Stimulation of source applied 14C sucrose export in *Vicia faba* plants by brassinosteroids, GA3 and IAA. *Acta Botanica Neerlandica* 41(4): 469-479.

39. Pirasteh Anosheh, H. and Y. Emam. 2012. Yield and yield component responses of bread and durum wheat to PGRs under drought stress conditions in field and greenhouse. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 5(1): 1-17. (In Farsi).
40. Pirasteh-Anosheh, H., Y. Emam, M. Ashrafand, M. Foolad. 2012. Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. *Advanced Studies in Biology* 11: 501-520.
41. Reynolds, M., M. Gutierrez-Rodriguez and A. Larque-Saavedra. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment: I: Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research* 66(1): 37-50.
42. Saffari, M, J. Ahmad, N. A. Khosh Kholgh Sima and Z. Shobbar. 2014. Influence of brassinosteroid and cytokinin hormones spray on activity and gene expression of catalase and proline in two cultivars of canola under drought stress. *Modern Genetics Journal* 9(3): 329-342. (In Farsi).
43. Sairam R. 1994. Effects of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. *Plant Growth Regulation* 14: 173-181.
44. Schonfeld, M. A., R. Jhonson, B. F. Carver and D. W. Mornhinweg. 1998. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science* 28: 526-531.
45. Shahbaz, M. and M. Ashraf. 2007. Influence of exogenous application of brassinosteroid on growth and mineral nutrients of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany* 39(2): 513-522.
46. Shahid, M., M. Pervez, R. Balal, N. Mattson, A. Rashid, R. Ahmad, C. Ayyub and T. Abbas. 2011. Brassinosteroid (24-Epibrassinolide) enhances growth and alleviates the deleterious effects induced by salt stress in Pea (*Pisum sativum* L.). *Australian Journal of Crop Science* 5(5): 500-510.
47. Shen, X. Y., J. Y. Dai, A. C. Hu, W. L. Gu, R. Y. He and B. Zheng. 1990. Studies on physiological effects of brassinolide on drought resistance in maize. *Journal of Shenyang Agricultural University* 21(3): 191-195.
48. Singh, B. and K. Usha. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation* 39: 137-141.
49. Steber, C. M. and P. McCourt. 2001. A role for brassinosteroids in germination in Arabidopsis. *Plant Physiology* 125: 763-769.
50. Szekeres, M., K. Nemeth, Z. Koncz-Kalman, T. Altmann, G. P. Redei, F. Nagy, J. Schell and C. Koncz. 1996. Brassinosteroids rescue the deficiency of CYP90, a cytochrome P450, controlling cell elongation and de-etiolation in Arabidopsis. *Cell* 85: 171-182.
51. Talaat, N. B. and B. T. Shawky. 2012. 24-Epibrassinolide ameliorates the saline stress and improves the productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental and Experimental Botany* 82: 80-88.
52. Taşgin, E., O. Atici and B. Nalbantoglu. 2003. Effects of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter wheat leaves. *Plant Growth Regulation* 41(3): 231-236.
53. Vardhini B. V., S. S. R. Rao. 2003. Amelioration of osmotic stress by brassinosteroids on seed germination and seedling growth of three varieties of sorghum. *Plant Growth Regulation* 41: 25-31.
54. Vert, G., J. L. Nemhauser, N. Geldner, F. Hong and J. Chory. 2005. Molecular mechanisms of steroid hormone signaling in plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 21: 177-201.
55. Xue, Q., Z. Zhu, J. T. Musick, B. Stewart and D. A. Dusek. 2006. Physiological mechanisms contributing to the increased water-use efficiency in winter wheat under deficit irrigation. *Journal of Plant Physiology* 163(2): 154-164.
56. Yuan, G. F., C. G. Jia, Z. Li, B. Sun, L. P. Zhang, N. Liu and Q. M. Wang. 2010. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. *Scientia Horticulturae* 126(2): 103-108.