پژوهش‌های بذر ایران/ سال هفتم/ شماره دوم/ ۱۳۹۹/ صفحات: ۸۷-۷۱

مقاله پژوهشی

تأثیر پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های سبز شدن و وزن دانه گندم (*Triticum aestivum*) رقم پارسی در شرایط تنش کم‌آبی

اصغر گنجه [۱]، علی عبادی [۲]، قاسم پرمون [۳،*]، سدابه جهانبخش [۲]

چکیده مبسوط

مقدمه: تنش کم‌آبی از عواملی است که بر جوانه‌زنی بذر اثر می‌گذارد. این تنش، سرعت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد و در تنش‌هایی با شدت بالا علاوه بر سرعت، درصد جوانه‌زنی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. پیش‌تیمار بذر از طریق تغییر دادن فعالیت‌های متابولیک پیش از ظهور ریشه‌چه موجب بهبود جوانه‌زنی می‌شود. این مطالعه به‌منظور ارزیابی تأثیر پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های سبز شدن و وزن دانه گندم تحت تنش کم‌آبی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: این مطالعه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی با سه تکرار انجام گرفت. عامل اول شامل غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک (صفر (شاهد)، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و تنش کم‌آبی (۲۵، ۴۵، ۶۵ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی) بود.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، شاخص‌های سبز شدن (درصد، سرعت و یکنواختی سبز شدن، زمان لازم برای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد سبز شدن) در سطح احتمال خطای ۱ درصد تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار گرفتند. اثر اسید سالیسیلیک نیز بر شاخص‌های سبز شدن معنی‌دار شد. اثر متقابل تنش در اسید سالیسیلیک در سطح احتمال خطای ۱ درصد بر یکنواختی سبز شدن و در سطح احتمال خطای ۵ درصد بر زمان لازم برای ۹۰ درصد سبز شدن تأثیرگذار بود. روند تغییرات ارتفاع بوته و میزان سنبله‌دهی نیز در اثر تنش کم‌آبی کندتر شده به‌طوری که هم شیب تغییرات و هم ارتفاع و درصد سنبله‌دهی نهایی در اثر تنش کم‌آبی کاهش (۲۲ و ۷ درصدی) یافت. پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در غلظت ۲ میلی‌مولار نیز بیشترین تأثیر را بر این دو صفت داشته و موجب کاهش شیب تغییرات آن‌ها (۱۷ و ۱۳ درصد) و افزایش مقدار نهایی آن‌ها (۳۴ و ۱۰ درصد) نیز گردید. وزن خشک بوته در سطح احتمال خطای ۵ درصد تحت تأثیر برهم‌کنش تنش کم‌آبی و اسید سالیسیلیک قرار گرفتند. ارتفاع نهایی و وزن دانه دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبی و اسید سالیسیلیک قرار گرفت. بالاترین وزن دانه از ظرفیت زراعی ۸۵ و ۶۵ درصد با میانگین‌های ۰/۷۹ و ۰/۷۵ گرم در بوته مشاهده شد که با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند. بالاترین وزن دانه ۰/۷۲ گرم در بوته در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک نیز از غلظت ۲ میلی‌مولار بدست آمد که در مقایسه با شاهد ۲۵۰ درصد افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: به طوری کلی مشاهده شد که تنش کم‌آبی موجب کاهش شدید در سرعت و درصد سبز شدن گندم شده و رشد گیاه نیز به‌شدت در این شرایط کاهش یافته که در نهایت میزان تولید نیز به‌شدت کاهش یافت. کاربرد اسید سالیسیلیک به‌عنوان پیش‌تیمار بذر موجب بهبود شاخص‌های سبز شدن و رشد و وزن دانه گندم شده به‌طوری که در غلظت ۲ میلی‌مولار بالاترین وزن دانه را به خود اختصاص داده و می‌تواند به‌عنوان تیمار بهبود دهنده شناخته شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سرعت سبز شدن، گندم، مدل رگرسیونی، هورمون گیاهی

جنبه‌های نوآوری:

۱- واکنش مراحل مختلف رشد گیاه گندم به تنش کم آبی با استفاده از رابطه‌های غیره خطی کمی‌سازی شد.
۲- ارتباط سبز شدن و وزن دانه گندم در شرایط تنش کم آبی و پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک بررسی گردید.

[۱] کارشناسی ارشد علف‌های هرز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
[۲] استاد و دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
[۳] دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
[*] رایانامه نویسنده مسئول: Parmoon@uma.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1399.7.2.3.2
DOI: 10.29252/yujs.7.2.71
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۱)

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) ۶۰ درصد انرژی مورد نیاز بشر را تأمین می‌کند و به‌عنوان مهم‌ترین گیاه زراعی در بسیاری از زمین‌های کشاورزی کشت می‌گردد و عامل بسیار مهمی برای پایداری سیاسی و اقتصادی و همچنین عامل مؤثری در بهبود درآمد کشاورزان محسوب می‌گردد (کایدن[1] و همکاران، ۲۰۰۶).

مهم‌ترین چالش در تولید محصولات کشاورزی از جمله گندم، تنش کم‌آبی است. کم‌آبی مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان بوده که ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش رشد و عملکرد در گندم نیز می‌شود (مسوله و ساسین[2]، ۲۰۲۰). کاهش پتانسیل آب در اثر تنش کم‌آبی باعث کاهش تقسیم سلولی، رشد اندام‌های گیاه، کاهش فتوسنتز خالص، سنتز پروتئین و تغییر توازن هورمونی می‌گردد (جی[3] و همکاران، ۲۰۱۰).

تنش کم‌آبی از عواملی است که بر جوانه‌زنی بذر اثر می‌گذارد. این نوع تنش‌ها سرعت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد و در تنش‌هایی با شدت بالا علاوه بر جوانه‌زنی درصد جوانه‌زنی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌عنوان مثال گزارش شده است که در ارقام مختلف گندم در فشار اسمزی ۰/۱۵- مگاپاسکال جوانه نزده است (جاجرمی[4] و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج به‌دست آمده از سلطانی[5] و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که تنش شوری و خشکی به‌طور معنی‌داری درصد سبزشدن گندم را کاهش داد. فرهادی[6] و همکاران (۲۰۱۷)، تنش کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه خشک را یکی از مهمترین عوامل مؤثر در عملکرد محصولات زراعی می‌داند. کم‌آبی اولین عامل محدود کننده تولید گندم در مناطق نیمه‌خشک می‌باشد. محدودیت آب طی رشد و نمو زایشی (قبل از رسیدگی فیزیولوژیک) عملکرد و اجزای عملکرد دانه را کاهش می‌دهد که بستگی به‌شدت و زمان وقوع تنش دارد (رضوی[7]، ۲۰۰۸).

پیش‌تیمار بذر از راهکارهای پیش از کشت بذر است که نمو گیاهچه را از طریق تغییر دادن فعالیت‌های متابولیک پیش از ظهور ریشه‌چه و به‌طور کلی افزایش میزان جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه تحت تأثیر قرار می‌دهد (لطیفی و امیدی[8]، ۲۰۲۰). پیش‌تیمار بذر باعث تغییرات بیوشیمیایی در درون بذر به هنگام جذب آب و همچنین بعد از کاشت می‌شود. سودمندی پیش‌تیمار بذر بر روی رشد و نمو گیاهان مربوط به اثرات مستقیم و غیرمستقیم این فرایند می‌باشد. اثرات مستقیم پیش‌تیمار بذر بر جوانه‌زنی، سبز شدن و سرعت رشد گیاهان، بیشتر از اثرات غیرمستقیم این فرایند می‌باشد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که پیش‌تیمار بذر موجب خروج سریع‌تر گیاهچه، تحمل بهتر گیاه به خشکی، گلدهی زودتر و افزایش عملکرد گیاهان نخود (*Cicer arietinum*)، ذرت (*Zea mays*) و گندم در مناطق نیمه خشک می‌گردد (موسوی[9] و همکاران، ۲۰۰۹).

اسید سالیسیلیک یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید و ترکیبات متعلق به آن از مشتقات فنل‌های گیاهی می‌باشد که معمولاً قابل‌حل در آب بوده و یک ترکیب آنتی‌اکسیدانتی و از جمله هورمون‌های گیاهی است (زکی و رادوان[10]، ۲۰۱۱) که به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان مهم در پاسخ‌های گیاه به تنش‌های متعدد زیستی و غیر زیستی، شناخته شده است (عارف[11] و همکاران، ۲۰۱۷). اسید سالیسیلیک با اثراتی که دارد و همچنین به دلیل سنتز اتیلن باعث تعدیل اثرات تنش می‌شود. مشخص‌شده است که اسید سالیسیلیک بر رشد و نمو و ایجاد مقاومت در برابر تنش‌ها تأثیرگذار می‌باشد (رافیقو[12] و همکاران، ۲۰۱۱). در مورد اثر اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی بذر گزارش شده که در خیساندن دانه‌های جو (*Hordeum vulgare*) در محلول اسید سالیسیلیک افزایش درصد جوانه‌زنی مشاهده شده است (شاکیروا[13] و همکاران، ۲۰۰۳).

همچنین گزارش دیگری در مورد اثر اسید

[1] Kaydan
[2] Masouleh and Sassine
[3] Ji
[4] Jajromy
[5] Soltani
[6] Farhadi
[7] Razavi
[8] Latifi and Omidi
[9] Moosavi
[10] Zaki and Radwan
[11] Arefi
[12] Rafique
[13] Shakirova

سالیسیلیک بر جوانه‌زنی گندم نشان داده که اسید سالیسیلیک می‌تواند درصد جوانه‌زنی را در گندم افزایش دهد (افضل[1] و همکاران، ۲۰۰۶). گزارش شد که کاربرد اسید سالیسیلیک در گندم می‌تواند با برطرف کردن تنش شوری وضعیت گیاه را بهبود بخشد (معتمدی و بنی سعید[2]، ۲۰۱۴). همچنین شعاع و میری[3] (۲۰۱۲) کاربرد اسید سالیسیلیک به بهبود رشد در تنش شوری در گندم به گیاه کمک می‌کند. با توجه به نقش حیاتی گندم در تأمین غذایی و همچنین با توجه به کاهش روز افزون منابع آب‌های شیرین جهت کشاورزی، این پژوهش با هدف بررسی میزان مقاومت گندم بهاره به سطوح مختلف تنش کم‌آبی و همچنین بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های سبز شدن، رشد گیاهچه و وزن دانه گندم انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در گلخانه دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل، غلظت‌های اسید سالیسیلیک (صفر (شاهد)، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و تنش کم‌آبی (۲۵، ۴۵، ۶۵ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی) بود. در این پژوهش شاخص‌های سبز شدن (درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، یکنواختی سبز شدن، زمان لازم برای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد سبز شدن)، روند تغییرات ارتفاع بوته و درصد خوشه‌دهی، ارتفاع نهایی بوته، وزن خشک نهایی بوته و وزن دانه اندازه‌گیری شد.

برای این منظور بذرها گندم رقم پارسی که رقمی بهاره، نسبتاً زودرس و نیمه مقاوم به بیماری‌ها، پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت ۲ دقیقه، به خوبی با آب مقطر شسته شدند و در محلول‌های اسید سالیسیلیک به مدت ۲۴ ساعت (بر اساس پیش آزمایش زمان لازم برای پیش‌تیمار تعیین شد) و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به‌طور جداگانه خیسانده شدند. پس از پیش‌تیمار بذرها شسته شده و تا رسیدن به رطوبت اولیه در دمای آزمایشگاه خشک شدند. سپس بذرهای گندم به‌صورت دستی در گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی کشت شدند. بافت خاک گلدان‌ها، لومی- شنی، با هدایت الکتریکی ۰/۶۲ دسی زیمنس و پی اچ ۷/۸ و دارای ۰/۶۲ درصد کربن آلی، میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم ۰/۰۶، ۸/۵ و ۱۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی ۲۵، ۴۵، ۶۵ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی به روش وزنی صورت گرفت. در این روش، بعد از تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها در آزمایشگاه، میزان رطوبت لازم برای خاک براساس ظرفیت زراعی به صورت گرم در هر کیلوگرم خاک محاسبه شد و گلدان‌ها به‌صورت روزانه دو نوبت توزین شده و افت وزن ایجاد شده براساس تبخیر و تعرق در خاک از طریق آبیاری جبران شد.

برای محاسبه درصد، سرعت و یکنواختی سبز شدن بذرها از برنامه Germin استفاده شد که در این برنامه D_{10} (مدت زمانی که طول می‌کشد تا سبز شدن به ۱۰٪ حداکثر خود برسد)، D_{50} (یعنی مدت زمان لازم تا سبز شدن به ۵۰٪ حداکثر خود برسد) و D_{90} (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا سبز شدن به ۹۰٪ حداکثر خود برسد) را محاسبه می‌کند. این برنامه پارامترهای یاد شده را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون‌یابی منحنی افزایش سبز شدن در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت سبز شدن (در روز) از طریق رابطه ۱ محاسبه شد. یکنواختی سبز شدن (EU) به‌صورت تکمیل زمان برای رسیدن از ۱۰٪ حداکثر سبز شدن به ۹۰٪ حداکثر سبز شدن از طریق رابطه ۲ محاسبه گردید؛ که در این صفت هر چه عدد به‌دست آمده کمتر باشد، نشان دهنده یکنواختی بیشتر سبز شدن بذرها است (سلطانی[4] و همکاران، ۲۰۰۱).

رابطه (۱): $R50=1/D_{50}$

رابطه (۲): $EU = D_{90} - D_{10}$

مدت زمان رسیدن به ۱۰، تا ۹۰ درصد سبز شدن نیز بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد. در این رابطه N سبز شدن نهایی و n_i و n_j نیز تعداد بذرهای سبزشده در مدت زمان بین t_i – t_j می‌باشد (کولبر[5]، ۱۹۸۴).

[1] Afzal
[2] Motamdy and Banysaid
[3] Shoa and Miri
[4] Soltani
[5] Coolbear

رابطه (۳):

$$D_{10,\ 50,\ 90} = t_i + [(N/2-n_i)\ (t_j - t_i)]/\ (n_j-n_i)$$

برای بررسی تغییرات ارتفاع بوته و میزان سنبله‌دهی نیز هر سه روز یک بار ارتفاع بوته‌ها با استفاده از خط‌کش و به‌صورت غیره تخریبی انجام شده و در نهایت ارتفاع بوته و تعداد خوشه در بوته به ازای هر ۶ روز یک بار محاسبه و برای برازش مدل مورد استفاده قرار گرفت.

پس از پایان زمان آزمایش، گیاهان کف‌بر شدند و از هر گلدان ۵ بوته به‌طور جداگانه با ترازوی دیجیتال توزین شدند. پس از ثبت وزن‌تر اندام هوایی گیاهی، برای مدت ۴۸ ساعت درون آون و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا خشک شوند. سپس بافت‌های گیاهی از آون خارج شده و با ترازوی دیجیتال وزن شدند. ارتفاع بوته از اندازه‌گیری ارتفاع ۴ ساقه اصلی هر گلدان و برحسب سانتی‌متر از سطح خاک تا سنبلچه انتهایی بدون در نظر گرفتن ریشک اندازه‌گیری شد و میانگین آن به‌عنوان ارتفاع بوته نهایی یادداشت شد. برای تعیین وزن دانه متوسط وزن دانه در ۵ بوته بعد از رسیدگی کامل و برداشت کردن تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver 9/1) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد صورت گرفت. برای رسم گراف‌ها از نرم افزار Excel استفاده گردید برای برازش مدل‌های که در ادامه آورده شده است نیز از نرم افزار Sigma plot (11) استفاده شد.

مدل خطی $f = y_0+b\times x$

مدل درجه دوم $f=y_0+a\times x+b\times x^2$

yo= عرض از مبدأ، a = شیب تغییرات ۱ و b = شیب تغییرات ۲

مدل سیگموئیدی $f= a/(1+\exp(-(x-x0)/b))$

مدل سینگل $f=y_0+(a/x)+(b/x^2)$

a= بیشترین مقدار صفات اندازه‌گیری شده b= شیب تغییرات x_0= مقدار x ی که به ۵۰ درصد مقدار a می‌رسد.

نتایج و بحث

شاخص‌های سبز شدن

نتایج مربوط به شاخص‌های سبز شدن نشان داد، درصد، سرعت و یکنواختی سبز شدن، زمان لازم برای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد سبز شدن در سطح احتمال خطای ۱ درصد تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار گرفتند. اثر اسید سالیسیلیک نیز در سطح احتمال خطای ۱ درصد بر درصد و سرعت سبز شدن، زمان لازم برای ۱۰ و ۵۰ درصد و در سطح احتمال خطای ۵ درصد بر زمان لازم ۹۰ درصد سبز شدن معنی‌دار شد. اثر متقابل تنش در اسید سالیسیلیک نیز در سطح احتمال خطای ۱ و ۵ درصد بر یکنواختی سبز شدن و زمان لازم برای ۹۰ درصد سبز شدن تأثیرگذار بود (جدول ۱).

مقادیر پیش‌بینی نشان داد، تغییرات درصد و سرعت سبز شدن گندم در طی تنش کم‌آبی به‌صورت سیگموئیدی و متوسط زمان ۱۰ و ۵۰ درصد سبز شدن به‌صورت درجه دوم بود. تنش موجب کاهش درصد و سرعت سبز شدن و افزایش متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۱۰ و ۵۰ درصد سبز شدن گندم شد. بالاترین درصد و سرعت سبز شدن که توسط پارامتر a مدل مشخص می‌شود به‌ترتیب ۹۴/۵ درصد و ۰/۱۶ بر روز بود. شیب تغییرات (b) که نشان دهنده شدت تغییرات در اثر تنش می‌باشد در مورد درصد و سرعت سبزدشن ۸/۱۴ و ۷/۸۱ تخمین زده شد. همچنین با توجه به X_0 که نشان دهنده ظرفیت زراعی که صفت مورد نظر به ۵۰ درصد مقدار اولیه می‌رسد و تعیین کننده آستانه تحمل این صفت به تنش می‌باشد برای درصد و سرعت سبزشدن ۱۹ و ۲۰ درصد تخمین زده شد. پارامترهای a و b در مدل درجه دوم که نشان دهنده شیب تغییرات می‌باشند در مورد متوسط زمان ۱۰ و ۵۰ درصد به‌ترتیب ۰/۰۷- و ۰/۲۳- و ۰/۰۰۰۴ و ۰/۰۰۰۱ بود که نشان دهنده افت شدید متوسط زمان ۵۰ درصد در مقایسه با ۱۰ درصد می‌باشد (جدول ۲).

اثر اسید سالیسیلیک بر درصد و سرعت سبز شدن گندم نشان داد، بالاترین درصد و سرعت سبز شدن از مصرف ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌دست آمد که با غلظت ۲ میلی‌مولار اختلاف آماری نداشت. همچنین کمترین متوسط زمان لازم برای ۱۰ و ۵۰ درصد سبز شدن از این غلظت مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس تأثیر اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های سبز شدن و تولید نهایی گندم تحت تنش کم‌آبی

Table 1. Results of analysis of variance of emergence index and final grain weight of wheat influenced by salicylic acid under water deficit stress

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS								
		درصد سبز شدن Emergence percentage	سرعت سبز شدن Emergence rate	یکنواختی سبز شدن Emergence uniformity	زمان برای سبز شدن Time to emergence			ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک بوته Dry weight	وزن دانه Grain weight
					10%	50%	90%			
کم‌آبی (D) Water deficit	3	1976.60**	0.0070**	16.24**	4.93**	20.50**	22.42**	536.05**	1.124**	0.775**
اسید سالیسیلیک (S) Salicylic acid	2	1369.10**	0.0055**	5.28^{ns}	4.50**	14.58**	7.70*	812.45**	0.688**	1.028**
اثرات متقابل D×S	6	124.86^{ns}	0.0004^{ns}	13.84**	0.44^{ns}	1.62^{ns}	6.26*	26.01^{ns}	0.035*	0.101^{ns}
خطای آزمایشی Error	24	145.94	0.0002	2.27	0.26	0.91	1.96	15.78	0.013	0.049
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	14.12	11.71	30.48	10.08	13.40	14.26	9.59	13.23	43.46

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد. ns,* and **, are non-significant and significant at probability level 5% and 1% respectively

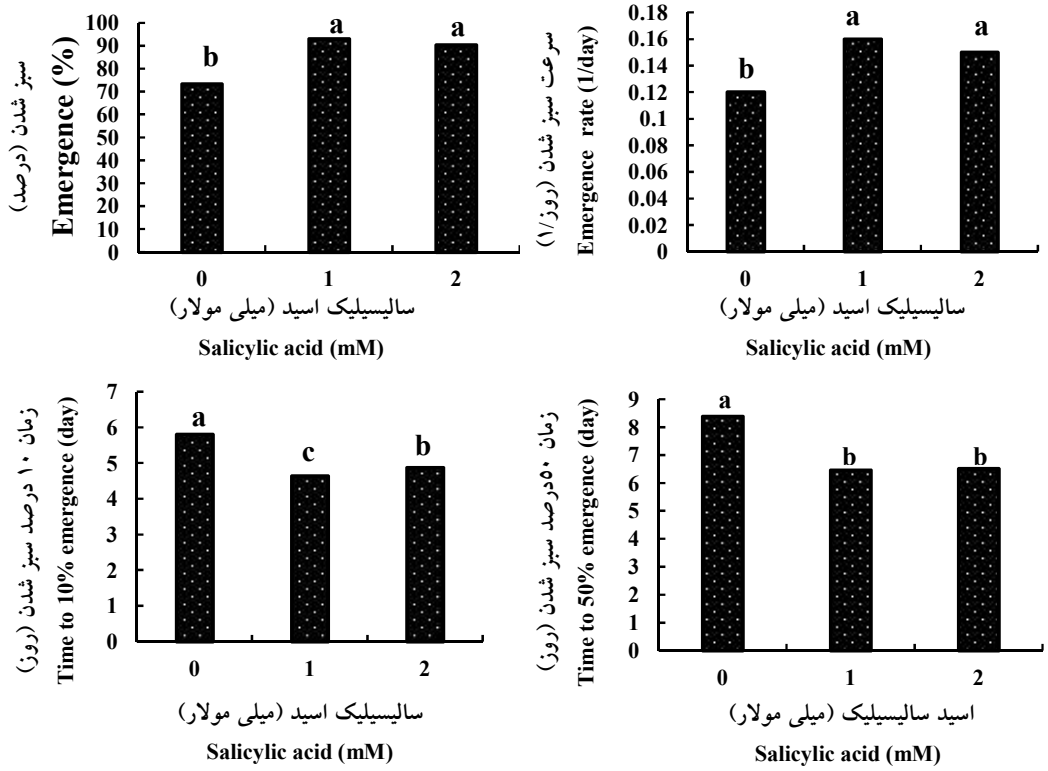
جدول ۲. نتایج پارامترهای تخمین شده رگرسیونی اثر اصلی سطوح تنش کم‌آبی بر شاخص‌های سبز شدن گندم

Table 2. Results of parameter estimates of the main effects of water deficit levels on emergence index of wheat

صفت Traits	تنش کم‌آبی (درصد ظرفیت زراعی) Water deficit stress (FC%)				تابع Function	پارامترهای تخمین شده Estimated parameters			R^2	RMSE
	80	60	40	20		a	b	x_0 or y_0		
درصد سبز شدن Emergence	96.5a	92.1b	91.1b	65.3c	f= a/(1+exp(-(x-x_0)/b))	094.26±1.38	8.14±2.07	19.08±1.57	0.99	1.76
سرعت سبز شدن (روز/۱) Emergence rate (1/day)	0.16a	0.15b	0.15b	0.10c	f= a/(1+exp(-(x-x_0)/b))	0.15±0.005	7.81±4.29	20.40±2.80	0.97	0.006
زمان ۱۰ درصد سبز شدن (روز) Time to 10% emergence (day)	6.2a	5.1b	4.9b	4.4c	f=y_0+a*x+b*x^2	-0.07±0.04	0.0004±0.0004	7.67±1.05	0.94	0.30
زمان ۵۰ درصد سبز شدن (روز) Time to 50% emergence (day)	6.2c	6.5b	6.5b	9.5a	f=y_0+a*x+b*x^2	-0.23±0.10	0.001±0.0009	13.97±2.46	0.92	0.72
ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	49.2a	46.3b	40.1c	32.4d	f = y_0+b*x	-	0.03±-0.29	1.87±57.65	0.96	1.41
وزن دانه (گرم در بوته) Grain weight /plant (g)	0.79a	0.75a	0.39b	0.20c	f= a/(1+exp(-(x-x_0)/b))	0.82±0.10	12.05±4.63	81.33±6.63	0.97	0.07

a= بیشترین مقدار صفات اندازه‌گیری شده b= شیب تغییرات x_0= مقدار x ی که به ۵۰ درصد مقدار a می‌رسد yo= عرض از مبدأ.

a= maximum measured traits, b= slop, x_0= The x value reaches 50% of value the of a, yo= content



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر اصلی اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های سبز شدن گندم

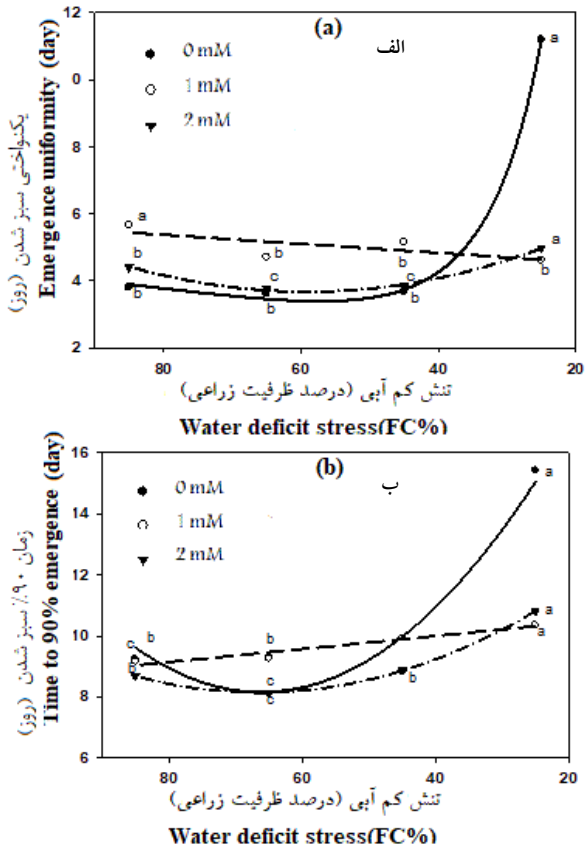
Fig. 1. Mean comparison of the main salicylic acid effect on the emegence index of wheat

مقادیر پیش‌بینی برهم‌کنش تنش در اسید سالیسیلیک در یکنواختی و متوسط زمان ۹۰ درصد سبز شدن نشان داد، یکنواختی در شرایط عدم استفاده از اسید سالیسیلیک روند تغییرات در طی تنش کم‌آبی لگاریتمی بوده، ولی با استفاده از غلظت ۱ میلی‌مولار روند تغییرات خطی و با مصرف اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار تغییرات به‌صورت درجه دوم تغییر یافت. تغییرات متوسط زمان لازم برای ۹۰ درصد سبز شدن نیز در غلظت‌های صفر و ۲ میلی‌مولار به‌صورت درجه دوم و در غلظت ۱ به‌صورت خطی بود (جدول ۳).

اثر اسید سالیسیلیک در جلوگیری از تنش‌های زیستی و غیر زیستی مثل UV، کم‌آبی، شوری، گرما، سرما و فلزات سنگین نیز مورد توجه قرار گرفته است (بلاخادی[1] و همکاران، ۲۰۱۰). معتمدی و بنی سعید (۲۰۱۴) گزارش کردند، پیش تیمار کردن بذرهای گندم با اسید سالیسیلیک موجب گردید تا سرعت و درصد گیاهچه‌های سبز شده در مزرعه افزایش یابد. علاوه بر جوانه‌زنی، سرعت و یکنواختی جوانه‌زدن و سبز شدن نیز از پارامترهای مهم کیفیت بذر می‌باشند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱). جوانه‌زنی سریع بذر و سبز شدن یکنواخت در استقرار موفق گیاهان تحت شرایط تنش ضروری است (برادفورد[2]، ۱۹۸۶). اسید سالیسیلیک با اثر بر مقدار آبسزیک اسید باعث تکامل واکنش‌های ضد تنش (تجمع پرولین) در گیاهچه‌های گندم می‌شود (شاکیروا و همکاران، ۲۰۰۳). گزارش شده است، پیش‌تیمار بذر باعث افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن بذر می‌گردد (دمیرکیا[3] و همکاران، ۲۰۰۶). میارصادقی[4] و همکاران (۲۰۱۰)، گزارش کردند که بالاترین درصد سبز کردن، شاخص سبزکردن و کمترین روزهای سبز کردن ذرت مربوط به غلظت ۱۵۰۰

[1] Belkhadi

[2] Bradford
[3] Demir Kaya
[4] Miyar Sadeghi



شکل ۲. تغییرات رگرسیونی اثر متقابل تنش کم‌آبی و اسید سالیسیلیک بر یکنواختی سبز شدن (الف) و زمان ۹۰ درصد سبز شدن (ب) (نقاط مقدار مشاهده شده و خطوط مقدار پیش بینی شده است).

Fig. 2. Regression variations in interaction of water deficit stress and salicylic acid on emergence uniformity (a) and time to 90% emergence (b) (points are observed data and lines are prediced values)

میکرومولار اسید سالیسیلیک بود. اسید سالیسیلیک از طریق افزایش مقدار آبسیزیک اسید باعث پیش سازگاری نسبت به تنش‌های اکسیداتیو می‌شود. با توجه به اینکه بذرهایی که سریعتر جوانه می‌زنند و گیاهچه‌های آن‌ها، سریع‌تر در بالای خاک ظاهر می‌شوند، زودتر از بقیه عمل فتوسنتز خود را آغاز کرده در مقایسه با گیاهچه‌های همجوار شانس تولید گیاهان استقرار یافته و بزرگتر را خواهد داشت (میارصادقی و همکاران، ۲۰۱۰).

در این آزمایش نیز تیمارهایی که سبز شدن سریعتر داشتند، دیگر صفات ارزیابی شده برای نمو گیاهچه نیز افزایش یافت. در این آزمایش با افزایش تنش کم‌آبی، روند کاهش معنی‌داری در درصد و سرعت جوانه‌زنی این گیاه مشاهده گردید که این چنین نتایجی در مورد گیاهانی همچون گندم (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳) و ذرت (دی فیگیریرو[1] و همکاران، ۲۰۰۳)، نیز مشاهده شد. کاهش فرایند جوانه‌زنی در اثر تنش کم‌آبی می‌تواند با کاهش جذب آب توسط بذرها ارتباط داشته باشد که باعث می‌شود فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی صورت گیرد و درنتیجه، مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و از این رو سرعت جوانه‌زنی نیز کاهش یابد (مارچنر[2]، ۱۹۹۵). در آزمایشی در کنجد (*Sesamum indicum*) مشخص شد که تأثیر پیش‌تیمار بذر و تنش شوری بر درصد سبز شدن گیاهچه و زمان لازم برای ۵۰ درصد سبز شدن معنی‌دار شد (فرودل[3] و همکاران، ۲۰۱۱).

[1] De Figueiredo
[2] Marchner
[3] Froodel

میزان و سرعت رشد بوته

نتایج تغییرات ارتفاع بوته در زمان‌های مختلف نشان داد، میزان رشد گندم در تنش‌های مختلف و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک متفاوت بود. روند ارتفاع بوته گندم به‌صورت سیگموئیدی بود. تنش کم‌آبی موجب کاهش میزان ارتفاع گندم شد (شکل ۳). بالاترین میزان ارتفاع گندم با میانگین ۵۳/۳۳ سانتی‌متر در ۸۵ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میزان رشد نیز با میانگین ۳۷/۷۷ سانتی‌متر مربوط به تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) بود. شیب تغییرات ارتفاع بوته که نشان دهند سرعت رشد می‌باشد در شرایط بدون تنش ۸/۳ بوده که در اثر تنش به ۶/۴۵ کاهش یافت (جدول ۴).

مقادیر پیش‌بینی نشان داد، تغییرات ارتفاع بوته در اثر اسید سالیسیلیک نیز به‌صورت سیگموئیدی بود (شکل ۳). کاربرد اسید سالیسیلیک موجب بهبود میزان و سرعت تغییرات ارتفاع بوته گندم شد. بالاترین میزان رشد (پارامتر a) با میانگین ۵۴ سانتی‌متر مربوط به کاربرد ۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار نیز از عدم استفاده از این هورمون به‌دست آمد. کاربرد اسید سالیسیلیک موجب کاهش شیب تغییرات ارتفاع گندم و افزایش متوسط زمان رسیدن به بالاترین مقدار رشد گندم شد (X_0). شیب تغییرات گندم در شرایط عدم استفاده از اسید سالیسیلیک ۸/۳ بوده که با مصرف ۲ میلی‌مولار این ماده مقدار آن به ۷/۶ رسید که موجب شد زمان رسیدن به بالاترین میزان رشد به ۳۴ روز افزایش یابد که این باعث می‌شود دوره رشد در گیاه افزایش پیدا کند (جدول ۵).

نتایج سنبله‌دهی نشان داد، سنبله‌دهی گندم در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و تنش کم‌آبی متفاوت بود. سنبله‌دهی گندم در تنش‌های ملایم افزایش یافته ولی با شدت یافتن تنش کاهش نشان داد (شکل ۴). در شرایط عدم تنش، سنبله‌دهی ۱۰۰ درصد صورت گرفته که در اثر تنش شدید میزان سنبله‌دهی به ۹۰ درصد کاهش یافت. شیب تغییرات نیز از ۴/۸ به ۴/۲۴ در ۶۵ درصد ظرفیت زراعی رسیده، ولی با شدت یافتن تنش به ۵ و ۴/۵ افزایش یافت. تنش موجب افزایش زمان رسیدن به بالاترین میزان سنبله‌دهی از ۶۹ روز به ۷۲/۳ روز شد. در واقع تنش باعث کاهش سرعت سنبله‌دهی در گیاه می‌شود که این امر می‌تواند احتمال پر شدن کامل دانه‌ها را به همراه داشته باشد (جدول ۴).

مقادیر پیش‌بینی نشان داد، کاربرد اسید سالیسیلیک موجب بهبود سنبله‌دهی گندم شد. کاربرد ۱ و ۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک موجب بهبود سنبله‌دهی از ۹۱ به ۱۰۰ درصد شده که کاهش شیب تغییرات ۴/۷ را به‌همراه داشت. پیش‌تیمار از طریق افزایش طول دوره سنبله دهید و ملایم‌تر کردن روند تغییرات سنبله‌دهی موجب کاهش شیب تغییرات در این صفت می‌شود (جدول ۵).

به نظر می‌رسد در ابتدای فصل رشد و قبل از ساقه رفتن، از آنجائی‌که تمام ماده خشک حاصل تولید برگ می‌کند و نیز به علت نفوذ نور بیش‌تر به داخل جامعه گیاهی و سایه‌اندازی کم‌تر برگ‌ها بر روی یکدیگر و جذب خالص و در نتیجه تنفس کم‌تر میزان سرعت رشد نسبی بالا بوده و به‌تدریج به دلیل متراکم شدن کانوپی، میزان سرعت رشد نسبی روندی کاهشی داشته و در آخر فصل رشد به دلیل پیری گیاه، افزایش بافت‌های ساختمانی، کاهش کارایی تولید و متوقف شدن فعالیت‌های گیاه در تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های رویشی و زایشی میزان سرعت رشد نسبی به کم‌ترین مقدار خود طی فصل رشد گندم می‌رسد (پناهیان و جماعتی[1]، ۲۰۰۹).

سرعت رشد محصول در مراحل اولیه به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و هم‌چنین درصد کم نور خورشید که توسط گیاهان جذب می‌شود کم می‌باشد زیرا سطح برگ افزایش یافته و نور کم‌تری از میان کانوپی به سطح خاک نفوذ می‌کند. البته به نظر می‌رسد علت اصلی روند نزولی سرعت رشد محصول در طول دوره پایانی رشد مربوط به کاهش مقدار شاخص سطح برگ و نیز کاهش شدت تشعشع در آخر فصل باشد که خود متأثر از افزایش تقاضا و در نهایت پیری برگ‌ها می‌باشد (نصیری‌زاده[2] و همکاران، ۲۰۰۶).

[1] Panahyan and Jamaati
[2] Nasirzadeh

جدول ۳. پارامترهای تخمین شده رگرسیونی اثر متقابل تنش کم‌آبی و اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های سبز شدن گندم

Table 3. Parameter estimates of the interaction of water deficit stress and salicylic acid on wheat emergence index

صفت Traits	اسید سالیسیلیک (میلی مولار) Salicylic (mM)acid	تابع Funaction	پارامترهای تخمین شده Estimated parameters				
			a	b	x_0 or y_0	R^2	RMSE
یکنواختی سبز شدن (روز) Emegence uniformity (day)	0	$f=y_0+(a/x)+(b/x^2)$	-537.4±68.9	1537.3±128.5	0.08±0.76	0.99	0.19
	1	$f = y_0+b*x$	-	0.01±0.009	4.29±0.54	0.51	0.41
	2	$f=y_0+a*x+b*x^2$	-0.13±0.01	0.0011±0.0001	7.54±0.30	0.99	0.08
زمان ۹۰ درصد (روز) Time to 90% emegence (day)	0	$f=y_0+a*x+b*x^2$	-0.53±0.23	0.004±0.002	25.98±5.84	0.90	1.70
	1	$f = y_0+b*x$	-	-0.02±0.003	10.85±0.23	0.93	0.17
	2	$f=y_0+a*x+b*x^2$	-0.20±0.008	0.001±7.54	15.00±0.20	0.99	0.06
وزن بوته (گرم) Dry weight (g)	0	$f = y_0+b*x$	-	0.011±0.001	-0.02±7	0.97	0.05
	1	$f = y_0+b*x$	-	0.010±0.001	0.30±0.06	0.98	0.04
	2	$f = y_0+b*x$	-	0.018±0.0008	0.11±0.05	0.99	0.03

a= بیشترین مقدار صفات اندازه‌گیری شده b= شیب تغییرات x_0= مقدار x ی که به بالاترین مقدار a می‌رسد y_0= عرض از مبدأ.

a= maximoum measured traits, b= slop, x_0= The x value reaches the highest value of a, yo= content

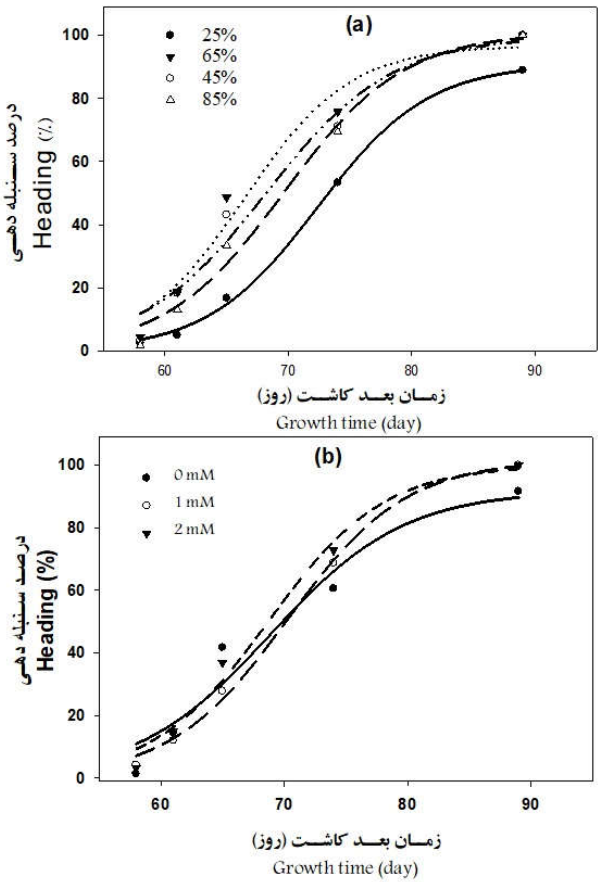
کاربرد اسید سالیسیلیک از طریق بهبود سرعت سبز شدن باعث می‌شود که گیاه در رقابت با گیاهان دیگر پیشی گرفته و از منابع موجب بهتر استفاده کند که این توانایی گیاه با افزایش میزان و سرعت رشد در ادامه قابل مشاهده است (موسوی و همکاران، ۲۰۰۹).

ارتفاع بوته و وزن دانه

ارتفاع بوته گندم تحت تأثیر تنش کم‌آبی و اسید سالیسیلیک قرار گرفت (جدول ۱). نمودار مربوط به روند تغییرات ارتفاع بوته در تنش کم‌آبی نشان داد، در اثر تنش ارتفاع بوته به‌صورت خطی کاهش یافت. مقادیر پیش‌بینی نشان داد، شیب تغییرات ارتفاع بوته ۰/۲۹- بود که این نشان دهنده کاهش ۰/۲۹ واحدی وزن دانه به ازای هر یک واحد افزایش تنش کم‌آبی است (جدول ۲). کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش ارتفاع نهایی بوته گندم شد. به‌طوری که افزایش ارتفاع از ۳۵ به ۵۰ سانتی‌متر در اثر مصرف اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار به‌دست آمد (شکل ۵).

نتایج تجزیه واریانس وزن دانه گندم نشان داد، وزن خشک بوته در سطح احتمال خطای ۱ درصد تحت تأثیر تنش کم‌آبی و اسید سالیسیلیک و در سطح احتمال خطای ۵ درصد تحت تأثیر برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت. وزن دانه نیز در سطح ۱ احتمال خطای درصد تحت تأثیر تنش کم‌آبی و اسید سالیسیلیک قرار گرفتند (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد، تنش کم‌آبی موجب کاهش وزن دانه شد. روند تغییرات وزن دانه به‌صورت سیگموئیدی بود (جدول ۲). مقایسه میانگین مربوط به اسید سالیسیلیک نشان داد، کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش وزن دانه شد. به‌طوری که مصرف ۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بالاترین مقادیر این صفت را به خودش اختصاص داد. برهم‌کنش تنش کم‌آبی در اسید سالیسیلیک در مورد وزن نهایی بوته نشان داد، روند تغییرات وزن بوته گندم در شرایط استفاده و عدم استفاده از اسید سالیسیلیک به‌صورت خطی تغییر پیدا کرد. تغییرات وزن نهایی بوته نیز در شرایط عدم استفاده از اسید سالیسیلیک به‌صورت خطی تغییر پیدا کرد. مقادیر پیش‌بینی نشان داد، در شرایط عدم کاربرد اسید سالیسیلیک، به ازای هر یک درصد تغییر در ظرفیت



شکل ۳. تغییرات رگرسیونی اثر تنش کم‌آبی (الف) و اسید سالیسیلیک (ب) بر ارتفاع بوته گندم در زمان‌های مختلف (نقاط مقدار مشاهده شده و خطوط مقدار پیش بینی شده است).

Fig. 3. Regression variations in the effect of water deficit stress (a) and salicylic acid (b) on height of wheat over differents times (points are observation data and lines are prediced values)

زراعی، وزن نهایی بوته ۰/۰۱۱ گرم کاهش پیدا می‌کند که این تغییرات در شرایط مصرف ۱ میلی مولار اسید سالیسیلیک به ۰/۰۱۰ گرم کاهش یافت (شکل ۶).

طبق تحقیقات صورت گرفته کمبود آب از عوامل اصلی افت عملکرد در گندم می‌باشد (فولی[1] و همکاران، ۲۰۱۱؛ فلکس[2] و همکاران، ۲۰۱۳). تنش کم‌آبی از طریق کاهش سرعت رشد گیاه باعث کاهش ارتفاع می‌شود و هر چه زمان اعمال تنش به مراحل انتهایی فصل رشد نزدیک‌تر باشد تنش تأثیر کمتری بر ارتفاع گیاه دارد که در نهایت کاهش عملکرد را به همراه دارد. در آزمایشی بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و کمترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری معادل ۵۰ درصد آبی گیاه به ثبت رسید (فراست[3]، ۲۰۱۰). همچنین در پژوهش صابری[4] و همکاران (۲۰۱۵)، تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد جو شد که با نتایج این آزمایش روی گندم مطابقت دارد. نتایج پژوهش میری[5] و همکاران (۲۰۱۵) بر ذرت نشان داد که تأثیر تیمارهای آبیاری بر عملکرد دانه، آب مصرفی و وزن هزار دانه معنی‌دار شد.

مطالعات نشان داده است که کمبود آب منجر به کاهش محتوای نسبی آب در برگ‌ها می‌شود. مقادیر بالای محتوای نسبی آب و مقادیر پایین اتلاف آب برگ به‌عنوان شاخص‌های مهم برای وضعیت آب پیشنهاد

[1] Foley
[2] Flexas
[3] Ferast
[4] Saberi
[5] Miri

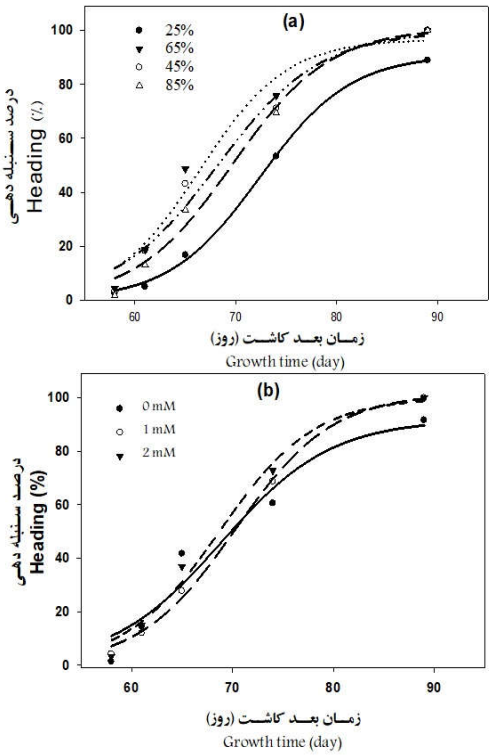
شده‌اند (جونس[1] و همکاران، ۲۰۰۸). در گزارش وکیلی بسطام[2] و همکاران (۲۰۱۶) کم‌آبی برای صفت محتوای نسبی آب معنی‌دار بود. گزارش شده است که اسید سالیسیلیک در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی قرار دارند نقش حفاظتی دارد (جوسف[3] و همکاران، ۲۰۱۰).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار در لیتر اسید سالیسیلیک در نیشکر موجب افزایش میزان ارتفاع، وزن‌تر اندام هوایی، وزن‌تر ریشه و کاهش نفوذپذیری نسبی غشاء به سدیم برگ شد (چهار لنگ بدیل[4] و همکاران، ۲۰۱۵).

طی پژوهشی در گیاه ذرت گزارش شد اسید سالیسیلیک سبب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید (سینگ و کیور[5]، ۱۹۸۰). طی گزارشی، تنش کم‌آبی سبب کاهش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در هر گیاه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص برداشت گردید و تیمار اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد کرچک تأثیر معنی‌داری داشتند. بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت ۲۵۰ میکرومول بود که نشان دهنده تأثیر اسید سالیسیلیک در بهبود اثرات تنش کم‌آبی گردید (ایزدی و تدین[6]، ۲۰۱۵).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی مشاهده می‌شود که تنش کم‌آبی موجب کاهش توان گیاه در سبز شدن و استقرار شده و همچنین در ادامه رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نهایت میزان تولید را نیز به شدت کاهش می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بین کاربرد اسید سالیسیلیک و تنش کم‌آبی برهمکنش معنی‌داری به جز برای برخی از صفات وجود نداشت و این هورمون دارای اثر مثبت بر سبز شدن، رشد بوته‌های گندم و وزن دانه بود، به‌طوری که در غلظت ۱ میلی‌مولار دارای بیشترین تأثیرگذاری مشاهده می‌شود.



شکل Error! No text of specified style in document. تغییرات رگرسیونی اثر تنش کم‌آبی (الف) و اسید سالیسیلیک (ب) بر درصد خوشه‌دهی گندم (نقاط مقدار مشاهده شده و خطوط مقدار پیش بینی شده است).

Fig. 4. Regression variations in the effect water deficit stress (a) and salicylic acid (b) on heading of wheat (points are observation data and lines are prediced values)

[1] Gunes
[2] Vakili Bostam
[3] Joseph
[4] Chaharlang Badil
[5] Singh and Kaur
[6] Izadi and Tadion

جدول ۴. پارامترهای تخمین شده رگرسیونی اثر سطوح تنش کم‌آبی بر ارتفاع و سنبله‌دهی گندم

Table 4. Estimated regression parameters of the effects of water deficit stress on growth height and heading of wheat.

صفت traits	تنش کم‌آبی (ظرفیت زراعی) Water deficit (FC)	تابع Funaction	پارامترهای تخمین شده Estimated parameters				
			a	b	x_0	R^2	RMSR
ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	85	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	53.33±1.73	8.30±0.92	32.49±1.10	0.98	2.61
	65	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	52.13±2.16	8.21±1.14	33.45±1.38	0.97	3.20
	45	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	46.41±1.66	7.30±1.02	31.50±1.20	0.97	2.89
	25	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	37.77±1.32	6.45±0.94	32.61±1.12	0.97	2.42
سنبله‌دهی (٪) Heading (%)	85	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	100.91±7.42	4.81±0.94	69.67±1.42	0.98	6.39
	65	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	96.69±10.05	4.27±1.46	66.43±1.95	0.96	9.77
	45	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	99.68±10.63	5.06±1.49	68.15±2.13	0.97	9.18
	25	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	90.98±2.44	4.50±.35	72.35±0.48	0.99	2.04

a= بیشترین مقدار صفات اندازه‌گیری شده b= شیب تغییرات x_0= مقدار x ی که به ۵۰ درصد مقدار a می‌رسد.

a= maximum measured traits, b= slop, x_0= The x value reaches 50% of value the of a

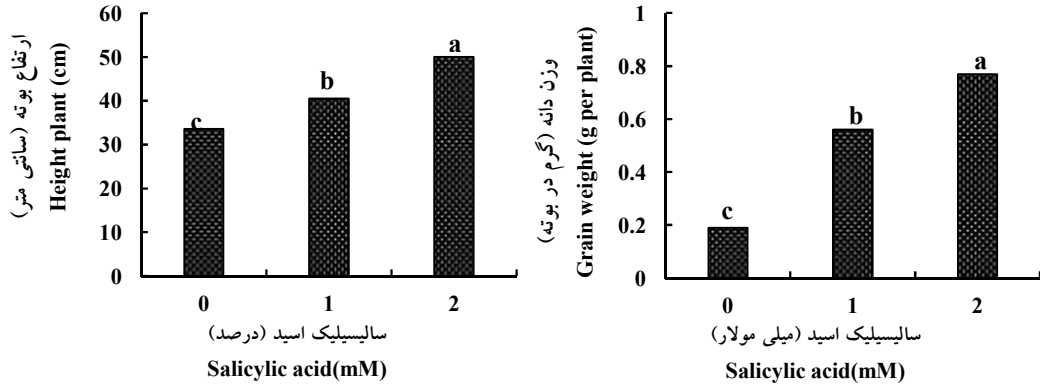
جدول ۵. پارامترهای تخمین شده رگرسیونی اثر اصلی اسید سالیسیلیک بر ارتفاع بوته و سنبله‌دهی گندم

Table 5. Estimated regression parameters of effect salicylic acid on plant height and heading of wheat

صفت traIts	اسید سالیسیلیک (میلی مولار) Salicylic acid (mM)	تابع Funaction	پارامترهای تخمین شده Estimated parameters				
			a	b	x_0	R^2	RMSR
ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	0	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	40.29±1.316	8.37±0.88	30.15±1.02	0.98	1.87
	1	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	47.39±1.75	6.97±1.02	32.24±1.21	0.97	3.07
	2	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	54.18±2.24	7.60±1.10	34.27±1.33	0.97	3.46
سنبله‌دهی (٪) Heading (%)	0	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	91.95±14.29	5.44±2.23	68.88±3.20	0.94	11.56
	1	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	100.64±3.40	4.77±0.42	70.28±0.64	0.99	2.90
	2	$f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	100.14±7.04	4.70±0.91	68.70±1.36	0.98	6.25

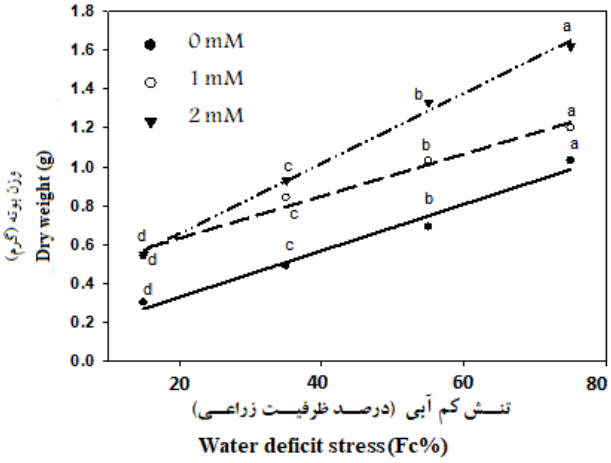
a= بیشترین مقدار صفات اندازه‌گیری شده b= شیب تغییرات x_0= مقدار x ی که به ۵۰ درصد مقدار a می‌رسد.

a= maximum measured traits, b= slop, x_0= The x value reaches 50% of value the of a



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر اصلی اسید سالیسیلیک بر ارتفاع بوته و وزن دانه گندم

Fig. 5. Mean comparison of the salicylic acid main effect on plant height and grain weight of wheat



شکل ۶. تغییرات رگرسیونی اثرات متقابل تنش کم‌آبی و اسید سالیسیلیک بر وزن بوته گندم (نقاط مقدار مشاهده شده و خطوط مقدار پیش بینی شده است).

Fig. 6. Regression variations in the effects of water deficit stress and salicylic acid on the plant weight of wheat (points are observation data and lines are prediced values).

منابع

Afzal, I., Basra, S.M.A., Faroog, M., and Nawaz, A. 2006. Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. International Journal Agriculture Biology, 8(1): 23-28.

Aref, S., Lary yazdi, H. and Amiri, H. 2017. Interaction Copper and salicylic acid on carbohydrate content, proline, catalase activity two cultivar *Vigna radiata* L. Journal of Al-Zahra University (Applied Biology), 31(1): 95-111. [In Persian with English Summary].

Belkhadi, A., Hediji, H., Abbes, Z., Nouairi, I., Barhoumi, Z., Zarrouk, M., Chaibi, W., and Djebali, W. 2010. Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in *Linum usitatissimum* L. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73(5): 1004-1011. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.03.009

Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. HortScience (USA), 21: 1105-1112.

Chaharlang Badi, F, Barry, M., Shamili, M. and Tahmasebi, Z. 2015. Effect of different salicylic acid levels on growth improvement and some physiological and biochemical indices of

sugarcane (*Saccharum officinarum*) under salinity stress. Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 8(2): 307-317. [In Persian with English Summary].

Coolbear, P. 1984. The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. Journal of Experimental Botany, 35: 1609-1617. https://doi.org/10.1093/jxb/35.11.1609

De Figueiredo, E, Al buquerque, M.C. and De Carvalho, N.M. 2003. Effect of the type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Helianthus annuus* L.), soybean (*Glycine max* L.), and maize (*Zea mays* L.) seeds with different levels of vigor. Seed Science Technology, 31: 465-479. https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.2.23

Demir Kaya, M., Okçu, G., Atak, M., Çikili, Y. and Kolsarici, O. 2006. Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European Journal of Agronomy, 24(4): 291-295. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001

Farhadi, H. Azizi, M. and Nemat, S.H. 2017. The effect of water deficit stress on morphological characteristics and yield components of landraces (*Trigonella foenum-graecum* L.) fenugreek eight. Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 1(1):120-131. [In Persian with English Summary].

Ferast, M. 2010. Effect of water deficit stress on agronomic, physiological, and biochemical characteristics of safflower cultivars. Master's Degree in Agriculture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Arak Branch. 134p. [In Persian with English Summary].

Flexas, J., Niinemets, U., Galle, A., Barbour, M.M. and Centritto, M. 2013. Diffusional conductances to CO as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency. Photosynthesis Research, 117(1): 45-59. https://doi.org/10.1007/s11120-013-9844-z

Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., and Mueller, N.D. 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature, 478: 337-342. https://doi.org/10.1038/nature10452

Froodel S., Sadrabadi HaghighiR. and Nabavi CalatS. M. 2012. Effect of Seed Priming on Seedling Growth of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under Salinity Stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 9(3):535-543. [In Persian with English Summary].

Gunes, A., Inal, A., Adak, M.S., Bagci, E.G., Cicek, N. and Eraslan, F. 2008. Effect of drought stress implemented at pre- or post-anthesis stage on some physiological parameters as screening criteria in chickpea cultivars. Russian Journal of Plant Physiology, 55(1): 59-67. https://doi.org/10.1134/S102144370801007X

Izadi, Z. and Tadion, M. 2015. Effect of salicylic acid and spermine on yield and grain components of (*Ricinus communis* L.). under drought stress conditions. Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 8(2): 159-167. [In Persian with English Summary].

Jajromy, V. 2012. Effect of drought stress on germination indices in seven wheat cultivars (*T. aestivum* L.). Journal Agronomy and Plant Breding, 8(4): 183-192.

Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D.C., Jenkins, C.L. D., Condon, A.G., Richards, R.A. and Dolferus, R. 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. Plant, Cell and Environment, 33(6): 926-942. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02130.x

Joseph, B., Jini, D., Sujatha, S. 2010. Insight in to role of exogenous salicylic acid on plant growth under salt environment. Asian Journal of Crop Science, 2(4): 226-235. https://doi.org/10.3923/ajcs.2010.226.235

Kaydan, D., Yagmur, M. and Okut, N. 2006. Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). Tarim Bilimleri Dergisi,

13(2): 114-119. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000000444

Latifi, S.A. and Omidi H. 2020. Effect of priming on seed germination and rice seedling characteristics of anbarboo cultivar, under water deficit tension. Scientific Journal of Crop Physiology, 11: 5-14. [In Persian with English Summary].

Marchner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. 889p.

Masouleh, S.S.S., and Sassine, Y.N. 2020. Molecular and biochemical responses of horticultural plants and crops to heat stress. Ornamental Horticulture, 26(2): 148-158. https://doi.org/10.1590/2447-536x.v26i2.2134

Miri, H.R, Shokati, H.H. and Armin, M. 2015. Response of yield and yield components of maize under the influence of relative dryness of root and potassium fertilizer. Nursing Agriculture (Research and Development), 35-42. [In Persian with English Summary].

Miar Sadeghi S., Shakari F., Fotouet R. and Zangani, A. 2010. Effect of pre-treatment with salicylic acid on vigor and seedlings growth of canola under water deficit conditions. Plant Biology, 2: 55-70. [In Persian with English Summary].

Moosavi, A., Tavakkol Afshari, R., Sharif-Zadeh, F. and Aynehband, A. 2009. Effect of seed priming on germination characteristics, polyphenol oxidase and peroxidase activities of four amaranth cultivars. Journal Food Agricultural and Environmental, 7(3-4): 353-358.

Motamedi, M. and Bany Said, A.K. 2014. Effect of salicylic acid on germination and seedling growth of wheat cultivars under salt stress conditions (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Production Sciences, 3(2): 43-57. [In Persian with English Summary].

Nasirzadeh, A., Hosseini Marvost, S.U. and Mazaherian, D. 2006. Effect of density on growth physiological indices in three maize cultivars in Marvast region of Yazd. Proceedings of the 9th Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran, 234p. [In Persian with English Summary].

Panahyan, M. and Jamaati, S. H. 2009. Study of variation trend of growth indices in lentil under drought stress. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(4): 4314-4326.

Rafique, N., Raza, H., Qasim, M., and Iqbal, N. 2011. Pre-sowing application of ascorbic acid and salicylic acid to seed of pumpkin and seedling response to salt. Pakistan Journal of Botany, 43(6): 2677-2682.

Razavi, R. 2008. Effect of irrigation elimination on wheat growth stages on water consumption efficiency and its quantitative and qualitative yield. Journal of Soil and Water Sciences, 22(1): 137-144. [In Persian with English Summary].

Saberi, M.H., Nikkhah, H.R., Tajaly, H. and Arezjo, A. 2015. Effects of seasonal drought stress on yield and determination of the best tolerance index in promising barley strata. Agriculture (Research and Construction), 27-34. [In Persian with English Summary].

Shakirova, F.M., Shakhbutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdionova, R.A. and Fatkhutdionova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. Plant Science, 164: 317-322. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6

Shoa, M. and Miri, H. 2012. Reducing the effects of salinity stress on the morphophysiological properties of wheat through the use of salicylic acid. Electronic Journal of Crop Production, 5: 71-88. [In Persian with English Summary].

Singh, G. and Kaur, M. 1980. Effect of growth regulators on podding and yield of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). Indian Journal Plant Physiology 23: 366-370.

Soltani, A., Galeshi, S. Zainali, E. and Latifi, N. 2001. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science and Technology,

30(1): 51-60.

Soltani, E. Kamkar, B. Galeshi, S. and Akramghaderi, F. 2009. The effect of seed aging on wheat emergence on the response of environmental stress. Electronic Journal of Crop Production, 2(2): 43-58. [In Persian with English Summary].

Soltani, E., Soltani, A. and Oveisi, M. 2013. Modeling seed aging effect on wheat seedling emergence in drought stress: Optimizing germin program to predict emergence pattern. Journal of Crops Improvement, 15(2): 147-160. [In Persian with English Summary].

Vakili Bostam, Sh., Ramezanpur, S.S., Soltanlou, H., Zainili-Nezhad, Kh. and Brzuy, A. 2016. Study of drought tolerance characteristics in mutagenic wheat line at germination and adult plants. Environmental stresses in Agricultural Sciences, 10(1): 45-53. [In Persian with English Summary].

Zaki, R.N. and Radwan, T.E. 2011. Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. Journal of Applied Sciences Research, 7: 42-55.

Iranian Journal of Seed Research, 2021, 7(2) : 71-87

Yasouj University

Research Article

Effect of Seed Priming by Salicylic Acid on Emergence Indices and Grain Weight of Wheat (*Triticum aestivum* Parsi *var.*) under Water Deficit Stress

Asgar Ganje[1], Ali Ebadie[2], Ghasem Parmoon[3,*], Soodabeh Jahanbaksh[2]

Extended Abstract

Introduction: Water deficit stress is one of the important factors affecting seed germination. This stress decrease germination rate and affects germination percentage under high levels as well. Seed priming improves germination by changing metabolic activities before radicle emergence. This investigation was conducted to evaluate the effect of seed priming by salicylic acid on the emergence index and grain weight of spring wheat under water deficit stress.

Material and Method: These experiments were conducted as factorial based on the completely randomized design with three replicates in the greenhouse of the Faculty of the Agriculture Sciences University of Mohaghegh Ardabili. Experiment treatments included different salicylic acid concentrations (0, 1, 2 mM) and water deficit stresses (25%, 45%, 65% and 85% Field capacity).

Result: According to results, emergence index (emergence percentage and emergence rate, uniformity emergence, and times to 10, 50, and 90% emergence) was influenced at 1% by water deficit stress. The effect of salicylic acid was significant on the emergence index. The interactions of water deficit stress and salicylic acid were effective at 1% on emergence uniformity and time to 90% emergence. Changes in plant height and heading rate were lower under water deficit stress. Also, both slope (b) and maximum content (a) decreased by water stress (22% and 7%). Priming by salicylic acid at 2 mM had the highest effect on both traits and resulted in a decrease in their slopes (17% and 13%) and an increase in their maximum content (34 and 10%). Plant dry weight was influenced by the interactions of water deficit stress and salicylic acid at 5% level. The plant's final height and grain weight was influenced by water deficit stress and salicylic acid. The highest grain weight was obtained at 80% and 60% field capacity with means of 0.79 and 0.75 g, which had no significant differences with eachother. The heights grain weight (0.72 g) was obtained by application of 2 mM salicylic acid which led to an increase of 250% compared to control.

Conclusions: Overall, we showed that water deficit stress resulted in decreased emergence rate and emergence percentage of wheat and finally declined plant growth and grain weight. Application of salicylic acid in seed priming resulted in improvement in the emergence index, growth, and grain weight of wheat. Also, the highest grain weight was observed at 2 mM concentration and it can be considered as the enhancing treatment.

Keyword: Drought stress, Emergency rate, Regression model, PGRs, Wheat

***Highlights*:**

1- Response of plant growth stage to stress was quantified using nonlinear regression.
2- Relationship between emergence and grain weight was investigated under stress and priming by salicylic acid.

[1] Master of Science, weed sciencse, Faculty Agricuture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2] Professor and Associate Professor, Faculty Agricuture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[3] Ph.D. Faculty Agricuture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* Corresponding author, E-mail: ghasem.parmoon@gmil.com

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1399.7.2.3.2

DOI: 10.29252/yujs.7.2.71

(Received: 31.05.2019; Accepted: 10.02.2020)