تأثیر سالیسیلیک اسید بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ارقام مختلف گندم (*Triticum aestivum*) تحت تنش مس

محبوبه بصیری[۱]، محسن موسوی‌نیک[۲]، آسیه سیاهمرگوئی*[۳]، مریم زارع[۴]

[۱] دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زابل

[۲] دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زابل

[۳] استادیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۴] دانشجوی کارشناسی‌ارشد اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۹

چکیده

تحقیقات نشان داده است که سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی سبب ایجاد مقاومت در گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی می‌شود. به‌منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه پنج رقم گندم متداول در منطقه سیستان تحت تنش فلز سنگین مس، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه زابل در سال ۱۳۹۳ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سالیسیلیک اسید در دو سطح (صفر و ۰/۰۱ میکرومولار)، فلز سنگین مس در پنج سطح (صفر، ۱، ۲، ۳ و ٤ میلی‌مولار) و پنج رقم گندم (کلک افغانی، هامون، هیرمند، سیستان و بولانی) بود. نتایج نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد افزایش یافت. درصد جوانه‌زنی ارقام مختلف نیز با افزایش غلظت مس، کاهش معنی‌داری یافت. مدل لجستیک سه پارامتره، رابطه بین سطوح مختلف مس و درصد جوانه‌زنی ارقام گندم را به‌خوبی توجیه نمود. با افزایش غلظت مس، روند جوانه‌زنی در کلیه ارقام کاهش پیدا کرد، اما رقم سیستان نسبت به ارقام دیگر، غلظت‌های مختلف مس را بهتر تحمل کرد. به‌طوری که این رقم، در غلظت ۳۲/۷۱ میلی‌مولار مس با کاهش ۵۰ درصدی جوانه‌زنی مواجه شد در حالی‌که در رقم بولانی، غلظت ۳/۹۲ میلی‌مولار مس، باعث کاهش ۵۰ درصدی جوانه‌زنی گردید. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر این بود که اعمال غلظت‌های مختلف فلز سنگین مس باعث کاهش معنی‌دار مؤلفه‌های رشد در ارقام گندم مورد بررسی شد، همچنین اثر پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید در سطوح بالای مس نقش تعدیل‌کننده‌ای در رشد داشت.

واژگان کلیدی: درصد جوانه‌زنی، فلزات سنگین، گندم، هورمون‌های گیاهی

*نویسنده مسئول: siahmarguee@gau.ac.ir

مقدمه

تنش‌های محیطی زیادی بر رشد و نمو تولید محصول در گیاهان تأثیر می‌گذارند، از این عوامل می‌توان به خشکی، سرما، گرما، شوری و عناصر سمی اشاره کرد (Sairam et al., 2005). فلزات سنگین از جمله عوامل مختل‌کننده محیط-زیست به شمار می‌روند. این عناصر می‌توانند وارد شبکه غذایی شده و از طریق تولیدات گیاهی به مصرف انسان برسند.

فلزات سنگین به روش‌های گوناگون مانع رشد گیاهان می‌شوند. تجزیه زیستی کلروفیل در حضور فلزات سنگین از عوامل مهم کاهش کلروفیل محسوب می‌شود (Gulfraz et al., 2003). بر اساس نظر مولاشیوتس و همکاران (Molassiotis et al., 2005) فلزات سنگین با تجمع در دیواره سلولی، ورود به سیتوپلاسم و ایجاد اختلال در متابولیسم طبیعی سلول، منجر به کاهش رشد می‌شوند. البته فلزات سنگین با کاهش تورژسانس سلول موجبات کاهش تقسیم سلولی و مهار رشد سلول‌ها را فراهم می‌آورند (Baccouch et al., 2001). این عناصر با القای تولید انواع مختلف اکسیژن فعال، آسیب‌های جدی را به سلول وارد می‌کنند (Madhava and Sresty, 2000). انباشته شدن فلزات سنگین در محیط ریشه سبب کاهش جذب آب و مواد غذایی، کاهش انتقال آب و برهم خوردن تعادل آب، مهار فعالیت آنزیم‌ها، کاهش متابولیسم سلولی، کاهش فتوسنتز، تنفس و تعرق، فقدان نیتروژن و فسفر و در نتیجه مهار رشد، تسریع پیری و حتی مرگ گیاه می‌گردد (County, 2006).

عنصر مس یکی از عناصر کم‌مصرف و ضروری مورد نیاز گیاه است (Yang et al., 2002). اما غلظت‌های بالای آن می‌تواند باعث تنش اکسیداتیو و اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک ازجمله فتوسنتز و رشد گیاه شود (Mohammadi et al., 2013). در اکثر گیاهان در صورتی‌که غلظت این عنصر به ۳۰-۲۰ میکروگرم بر گرم ماده خشک برسد سبب مسمومیت گیاه می‌شود، که توقف رشد ریشه و رنگ تیره برگ از بارزترین علائم مسمومیت این عنصر است (Mohasseli, 2003). مشکل اصلی گیاه در محیط محتوی فلزات سنگین مانند مس انباشتگی یون این فلزات و ممانعت از جذب کاتیون‌های ضروری مانند آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز است (Mohammadi et al., 2013). تحمل تنش ناشی از عناصر سنگین در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به عنوان کلید استقرار گیاهان تحت شرایط محدودکننده می‌باشد. اولین مکانیسم‌های سمیت فلزات سنگین از طریق اختلال در فعالیت کاتالیزوری آنزیم‌ها، آسیب به غشای سلولی و محدود کردن رشد ریشه بروز می‌یابد. این کاهش در رشد ریشه در اثر کاهش تقسیم سلولی اتفاق می‌افتد (Singh et al., 2007; Verma et al., 2011). تحقیقات انجام شده در این زمینه حاکی از کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین کاهش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در مرحله جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بذور گیاهان در اثر سمیت عنصر مس می‌باشد (LariYazdi et al., 2011; Bashmakov et al., 2005; Saberi et al., 2011).

طی سال‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای بر نقش اسید سالیسیلیک به عنوان یک ملکول پیام‌رسان مهم در واکنش گیاه به عوامل بیماری‌زا انجام شده است (Vicente and Plasencia., 2011). سالیسیلیک قابل حل در آب بوده و یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی و از جمله هورمون‌های گیاهی است (Zaki and Radwan., 2011) که نقش مهمی در پاسخ گیاه به تنش‌های غیر زنده مانند خشکی، سرما، فلزات سنگین سمی، گرما و تنش اسمزی دارد. نقش حمایتی سالیسیلیک اسید مربوط به تنظیم رادیکال‌های آزاد، آنتی‌اکسیدان‌ها، القاء بیان ژن، جذب و پخش عناصر است. القای گل‌دهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن، تأثیر در باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس از نقش‌های مهم سالیسیلیک اسید بشمار می‌رود (Singh and Usha, 2003). بررسی‌ها نشان می‌دهد که سالیسیلیک اسید سبب تغییر پاسخ گیاهان به سرما، دمای بالا، تنش شوری، تنش اسمزی و علف‌کش‌ها می‌گردد و رشد گیاه را تحت این شرایط بهبود می‌بخشد (Belkhadi et al.,

2010)، همچنین این ماده تأثیرات تخریبی فلزات سنگین بر رشد را نیز تعدیل می‌کند (Drazic and Mihailovic., 2005). تحقیقات نشان می‌دهد کاربرد این ماده تخریب غشای ایجاد شده توسط سرب در گیاه برنج (Mishra and Choudhuri., 1999)، سمیت منگنز در گیاه خیار (Shi and Zhu, 2008)، تنش اکسیداتیو القا شده توسط جیوه در گیاه یونجه (Zhou et al., 2009)، سمیت کادمیوم در گیاهان جو و ذرت (Metwally et al., 2003) را بهبود بخشیده است.

با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک و نظر به اینکه جوانه‌زنی به عنوان اولین مرحله نموی در گیاهان و یکی از مراحل مهم و حساس و یک فرایند کلیدی در سبز شدن گیاهچه می‌باشد (De Villiers et al., 1994)، مطالعه بازدارندگی این مراحل در گیاهانی که در معرض آلاینده‌ها قرار گرفته‌اند راه مناسبی برای درک اثرات سمی آنها در گیاهان محسوب می‌شود. بنابراین در پژوهش حاضر میزان اثر بخشی کاربرد خارجی هورمون سالیسیلیک اسید بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ارقام مختلف گندم تحت تنش مس طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه پنج رقم گندم متداول در منطقه سیستان تحت تنش مس، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار، در پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه زابل در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید در دو سطح (صفر و ۰/۰۱ میکرومولار)، غلظت‌های مختلف مس در ۵ سطح (صفر، ۱، ۲، ۳ و ٤ میلی‌مولار) و پنج رقم گندم (کلک افغانی، هامون، هیرمند، سیستان و بولانی) بود. بذور گندم مورد مطالعه از بخش تهیه و اصلاح نهال و بذر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زهک واقع در استان سیستان و بلوچستان تهیه شدند. ابتدا بذور ارقام گندم مورد مطالعه با هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به‌مدت ۱ دقیقه ضدعفونی و سپس ۳ مرتبه با آب مقطر شسته شد. جهت جلوگیری از رشد و فعالیت میکروب‌های مختلف، پتری‌دیش‌ها در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک ساعت استریل شدند. قسمتی از بذرها به‌مدت ۸ ساعت در محلول‌های ۰/۰۱ و ۰/۱ میکرومولار سالیسیلیک اسید خیسانده شدند. سپس بذور به پتری دیش‌های حاوی کاغذ صافی واتمن شماره ۱ انتقال داده شدند. هر پتری دیش به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد و در آن، ۲۵ عدد بذر قرار گرفت. به هر پتری‌دیش مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از محلول تیمار موردنظر اضافه گردید و سپس پتری‌دیش‌ها به داخل ژرميناتور با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. برای جلوگیری از تبخیر و تغییر در غلظت عصاره، درب پتری‌ها بسته و با پارافیلم پوشانده شدند.

به‌منظور تعیین سرعت جوانه‌زنی، شمارش بذور جوانه زده ارقام مختلف گندم به صورت روزانه انجام گرفت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه، به‌اندازه حداقل ۲ میلی‌متر بود. شمارش تا زمانی‌که تعداد بذور جوانه‌زده تا سه روز متوالی در هر نمونه ثابت بود، ادامه یافت. در کلیه تیمارها، علاوه بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، برای هر تکرار منحنی پیشرفت جوانه‌زنی نسبت به زمان (ساعت) ترسیم و زمان لازم برای ۱۰ درصد (D_{10})، ۵۰ درصد (D_{50})، ۹۰ درصد (D_{90}) و ۹۵ درصد (D_{95}) جوانه‌زنی از طریق درون‌یابی برآورد گردید. همچنین، عکس زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی ($1/D_{50}$) به‌عنوان سرعت جوانه‌زنی (GR) در نظر گرفته شد. به این منظور از برنامه Germin (Soltani et al., 2005) استفاده شد.

برای تعیین شاخص بنیه گیاهچه (SVI)[2] که معیار مناسبی جهت تخمین قدرت گیاهچه است از معادله (۱) استفاده شد (Abdual-baki and Anderson, 1973). در این معادله، RL و SL به ترتیب طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه و n تعداد کل بذور جوانه زده در روز آخر می‌باشند.

$$SVI = \frac{(RL+SL)}{n} \quad (۱)$$

در پایان آزمایش ده گیاهچه از هر تیمار به‌صورت تصادفی انتخاب شده و میانگین وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس این نمونه‌ها، به آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شده و پس از گذشت ٤٨ ساعت، وزن خشک گیاهچه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم تعیین شد. آنالیز داده‌ها و ترسیم اشکال با استفاده از نرم افزار SAS, Ver 9.1، Sigma Plot و Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در ارقام گندم مورد بررسی (کلک افغانی، هامون، هیرمند، سیستان و بولانی) با پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید نشان داد که واکنش ارقام گندم هامون، هیرمند و سیستان در پاسخ به پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید تقریباً مشابه بود اما ارقام کلک افغانی و بولانی نسبت به سایر ارقام از حساسیت بیشتری برخوردار بودند، به‌طوری‌که روند جوانه‌زنی تجمعی در این دو رقم در شرایط پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید و عدم وجود سالیسیلیک اسید کاملاً متفاوت بود و در شرایط بدون پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید روند جوانه‌زنی کاهش محسوسی را نشان داد. این مسئله نشان داد که پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید می‌تواند روند جوانه‌زنی آنها را بهبود بخشد. اما در ارقام گندم هامون، هیرمند و سیستان تفاوت چشمگیری بین پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید و شرایط بدون آن مشاهده نگردید (شکل ۱–الف).

روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در بین ارقام مورد بررسی نیز نشان داد که رقم سیستان دارای بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی تجمعی بود اما با وجود این، بین ارقام سیستان، هامون، هیرمند و کلک افغانی تفاوت معنی‌داری از نظر درصد جوانه‌زنی تجمعی مشاهده نشد و در بین ارقام مورد بررسی رقم بولانی کم‌ترین درصد جوانه‌زنی تجمعی را نشان داد (شکل ۱–ب).

بررسی اثر ارقام مختلف گندم در سطوح مختلف مس نشان داد که افزایش غلظت مس سبب کاهش معنی‌داری درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد گردیده است ($P<0.01$). واکنش ارقام گندم از نظر درصد جوانه‌زنی تجمعی به سطوح مختلف مس کاملاً متفاوت بود. به‌طوری که در رقم سیستان بین سطوح مختلف مس تفاوت معنی‌داری از نظر درصد جوانه‌زنی تجمعی مشاهده نشد اما در ارقام هامون، هیرمند و کلک افغانی با افزایش غلظت مس تا ٤ میلی‌مولار درصد جوانه‌زنی تجمعی نسبت به سطوح پائین‌تر کاهش محسوسی یافت. همچنین رقم بولانی بیشترین حساسیت را به سطوح مختلف مس نشان داد (شکل ۱–ج)

تحمل عناصر سنگین در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به‌عنوان کلید استقرار گیاهان تحت شرایط محدودکننده است. پاسخ به تنش‌های محیطی در گیاهان عالی یک پدیده پیچیده و غیرقابل انکار می‌باشد. نتایج مشابهی توسط

[2]. Seedling Vigor Index

(Ayas and kadioglu, 1997 ؛Davies et al., 2001) درباره اثرات بازدارندگی مس بـر جوانـه‌زنـی دانـه‌هـای گیاهـان مختلف به‌دست آمده است.

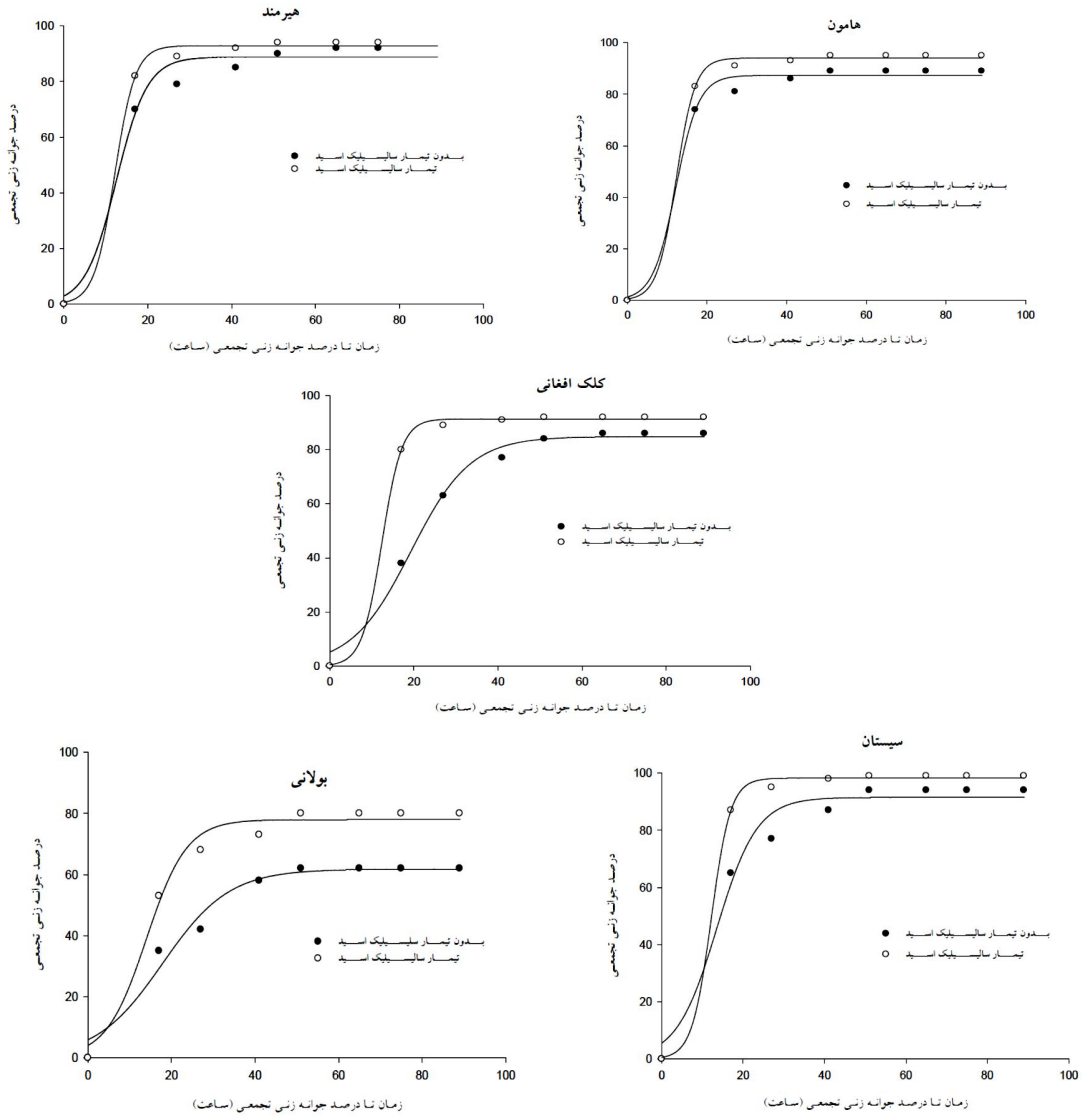
نتایج تجزیه واریانس اثر سالیسیلیک اسید و غلظت‌های مختلف مس بر ارقام گنـدم (هـامون، بـولانی، سیسـتان و کلک افغانی) در جدول (۱) ذکر شده است. نتایج اثر سالیسیلیک اسید بـر درصـد و سـرعت جوانـه‌زنـی، یکنـواختی جوانه‌زنی، زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی، زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، زمان تا ۹۰ درصـد جوانـه‌زنـی و زمـان تـا ۹۵ درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش توان و پتانسـیل جوانـه‌زنـی بوسـیله سالیسـیلیک اسـید نیـز توسـط شاکیرووا و ساهابوتدینووا (Shakirova and Sahabutdinova, 2003) در گندم گزارش شده است.

اثر غلظت‌های مختلف مس نیز بر درصد و سرعت جوانه‌نی معنی‌دار بود و با افزایش غلظت مس درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در غلظت صفر میکرومولار به‌ترتیب (۹۷/۸۶ درصد و ۰/۱۰۶ بذر در ساعت) بود و کم‌ترین درصد و سرعت جوانه‌زنی (۷۰/۸۰ و ۰/۰۶۷) در غلظت ٤ میکرومولار مشاهده شد (جدول ۱)، همچنین با افزایش غلظت مس یکنواختی جوانه‌زنی کمتر و زمان تـا ۱۰ درصـد جوانـه‌زنـی، زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی و زمان تا ۹۵ درصد جوانه‌زنی افزایش یافت.

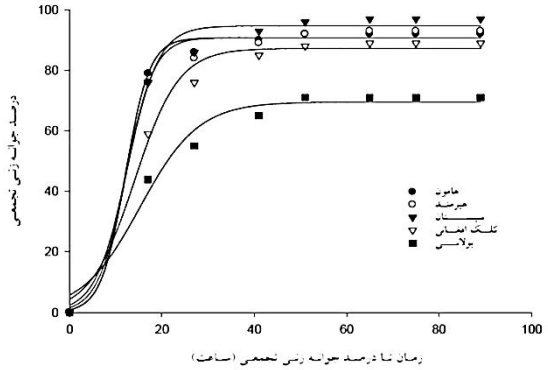
نتایج تجزیه واریانس اثر رقم بر درصد و سرعت جوانه‌زنی نیز معنی‌دار بود. در بین ارقام مورد بررسی بیشترین درصد جوانه‌زنی با ۹٦/۵۳ درصد مربوط به رقم سیستان بود و رقم بولانی با ۷۱/۳۳ درصد کمترین درصد جوانه‌زنی را داشت (جدول ۱). همچنین بیشترین (۰/۱۰۲ بذر در ساعت) و کم‌ترین (۰/۰٦۸ بذر در ساعت) سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب به ارقام هامون و بولانی تعلق داشت. غلظت‌های مختلف مس و رقم، نیز بر کلیه صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری داشت (P≤۰/۰۱)، همچنین اثرات متقابل سالیسیلیک اسید، سطوح مختلف غلظت مس و نوع رقم بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی، زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی، زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی و زمان تا ۹۵ درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بود (P≤۰/۰۱) (جدول ۱). همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود تیمار سالیسیلیک اسید در ارقام هامون، هیرمند، سیستان و کلک افغانی تأثیر چندانی بر درصد جوانه‌زنی نداشته، اما در رقم بولانی تیمار سالسیسیلیک اسید سبب افزایش معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی شد که این نشان از حساسیت بیشتر رقم بولانی و تأثیر مثبت پیش‌تیمار سالسیسیلیک اسید بر بهبود جوانه‌زنی این رقم بود. افزایش توان و پتانسیل جوانه‌زنی توسط سالیسیلیک اسید نیز توسط شاکیرووا و ساهابوتدینووا (Shakirova and Sahabutdinova, 2003) بر گندم و نیز کاربرد توأم سالیسیلیک اسید و کادمیم بر بهبود جوانه‌زنی نخود گزارش شده است.

اثر متقابل سطوح مختلف مس و رقم نیز نشان داد که با افزایش غلظت مس، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. با این وجود در رقم سیستان، حتی در سطوح بالای مس (٤ میلی‌مولار) کاهش قابل‌توجهی در درصد جوانه‌زنی مشاهده نشد، اما در ارقام کلک افغانی و مخصوصاً بولانی کاهش درصد جوانه‌زنی با افزایش غظت مس بسیار چشمگیر بود، این نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این ارقام به غلظت‌های بالاتر مس و مقاومت بیشتر رقم سیستان به مس بود (شکل ۳). با بررسی ضرایب برآورد شده معادله سیگموئیدی سه پارامتره برازش داده شده به تغییرات درصد جوانه‌زنی ارقام گندم در مقابل سطوح مختلف مس (جدول ۲) مشخص گردید که رقم بولانی با ۸۷/۵۲ درصد، کمترین میزان جوانه‌زنی را در شرایط تیمار با مس داشت. در این رقم غلظت ۳/۹۲ میلی‌مولار مس سبب کاهش ۵۰ درصد جوانه‌زنی گردید. در بین ارقام فوق، رقم سیستان کمترین تأثیر را از غلظت‌های مختلف مس دریافت کرد، بطوریکه بیشترین

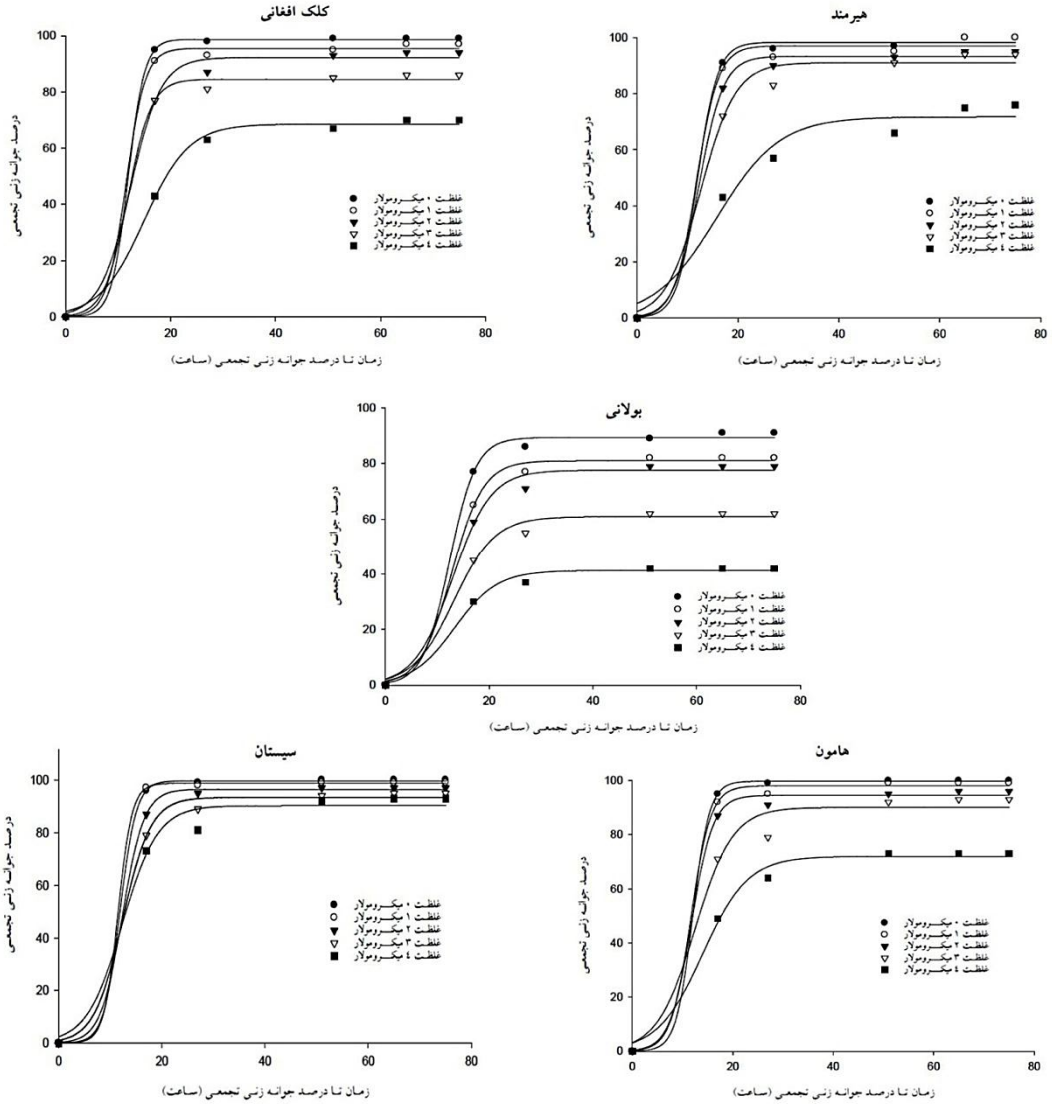
مقدار G_{max} (۱۰۰) و X_{50} (۳۲/۷۱) و کمترین مقدار G_{rate} (۱/۱۸) در این رقم مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که رقم بولانی حساسیت بیشتری را نسبت به سایر ارقام به مس نشان می‌دهد.



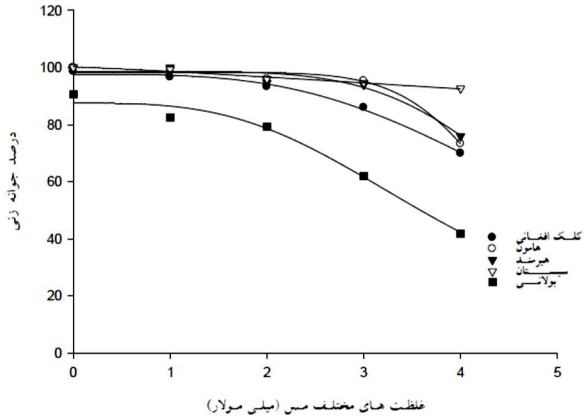
شکل ۱-الف: اثر پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید بر درصد جوانه‌زنی تجمعی در ارقام مختلف گندم



شکل ۱-ب: اثر ارقام مختلف گندم بر درصد جوانه‌زنی تجمعی



شکل ۱-ج: اثر سطوح مختلف مس بر درصد جوانه‌زنی تجمعی در ارقام مختلف گندم



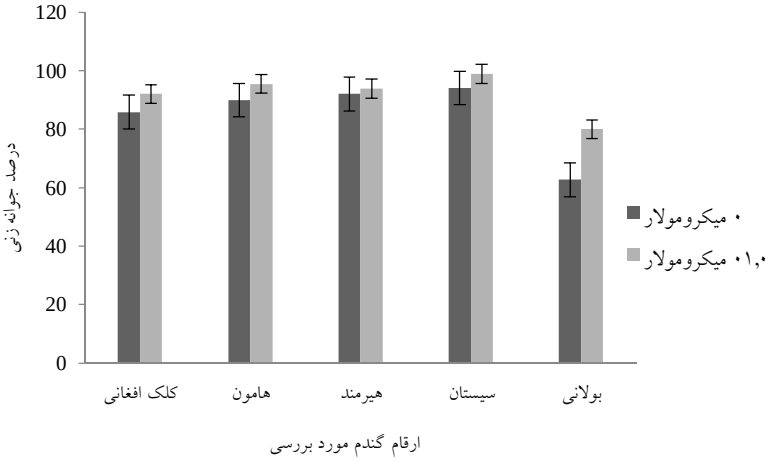
شکل۲- اثر متقابل پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک و رقم بر درصد جوانه‌زنی

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در ارقام مختلف گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	حداکثر جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	یکنواختی جوانه‌زنی	زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی	زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی	زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی	زمان تا ۹۵ درصد جوانه‌زنی
اسیدسالیسیلیک(a)	۱	۱۹۱۵/۳۰**	۰/۰۱۷۷۲**	۲۳۹٤/۷۲**	۹۱/٦۱۹**	۸٤۱/۹۱۸**	۳٤۲۲/۷٦۸**	۳۸٥٦/۱٤۰**
مس (b)	٤	۳٤۹۸/۷٦**	۰/۰۰۷۲۱**	۹۲۸/٦۹**	۳۹/۸٦۰**	۲۷۷/٤٦٦**	۱۳۱٦/۸۸٦**	۱۳۱٦/۸۱۹**
رقم (c)	٤	۲۹۷۳/۲۲**	۰/۰۰٥۲٥**	۲٦۸٦۸**	۲٦/۲٦٤**	۱۸۸/۹۰۲**	۱۰۰۹/٦۰۳**	۷۲۱/۰۸۱**
a*b	٤	۲۳۸/۷۷**	۰/۰۰۰۹٤**	۹۸/۳۸**	۲٦/۳٥٦**	۱۱۲/۷۹٦**	۱۳۳/۲۱۰**	٥۱/٥۰۸^{ns}
a*c	٤	۲٦۳/٥۷**	۰/۰۰۱۳۰**	۱۳۸/۰۹**	۲٤/۲۱۲**	۱۰۰/۱۰۲**	۲۲۹/۷۲۲**	۳٤۲/۷۹۲**
b*c	۱٦	۲۳۹/۷٦**	۰/۰۰۰۱۸**	۱۲۰/۸۹**	۸/۷۸۱**	۱۱/۳٤۲**	۱۲۰/۱۸۷**	۱٥٦/۱٤۲**
a*b*c	۱٦	٥٤/۳۷**	۰/۰۰۰۳٤**	۷٤/۳۰**	۸/۷۸۲**	۱٦/۸۲٤**	۷٤/٦۱۱**	٦۳/۰٤٤^{ns}
خطا	-	۷/۷۸	۰/۰۰۰۰٦٤	۳۱/۸۸	۰/۷۰۷	٤/۰٥۳	۳۳/۰۸۸	٥۲/۳۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۳/۱٥۳	۹/۱۹۲	۲۱/٦۷	۲۹/۱۷	۱٥/٦۳	۱۹/۸۷۹	۲۰/٦٦
اسید سالیسیلیک								
۰		۹۲/۰٥^{a}	۰/۰۹۸۱^{a}	۲۲/۰٥۷^{a}	۳/٦٦٤^{a}	۱۰/٥۰۰^{a}	۲٤/۱٥۸^{a}	۲۹/۸۷^{a}
۰/۰۱ میکرومولار		۸۹/۹۰^{b}	۰/۰۷٦٤^{b}	۳۰/۰٤۹^{b}	۲/۱۰۰^{b}	۱٥/۲٤۳^{b}	۳۳/۷۱۲^{b}	٤۰/۰۱^{b}
سطوح مس								
صفر میکرومولار		۹۷/۸٦^{a}	۰/۱۰٦^{a}	۱۹/۷۲^{d}	۱/۹۳۱^{d}	۹/٦٥^{e}	۲۱/٦٦^{d}	۲٦/٦٥^{c}
یک میکرومولار		۹٥/٤٦^{b}	۰/۰۹٦^{b}	۲۱/۷٥^{d}	۲/۱٦۷^{cd}	۱۰/۷۷^{d}	۲۳۹۲/^{d}	۳۰/۲۱^{c}
دو میکرومولار		۹۱/۸٦^{c}	۰/۰۸۸^{c}	۲٥/٦٥^{c}	۲/٤۹٦^{c}	۱۲/٤۱^{c}	۲۸/۱٤^{c}	۳٥/۷۷^{b}
سه میکرومولار		۸٦/٤^{d}	۰/۰۷۷^{d}	۳۰/۰۹^{b}	۳/۰۰۱^{b}	۱٤/۱۱^{b}	۳۳/۰۹^{b}	۳۸/۸٥^{b}
چهار میکرومولار		۷۰/۸۰^{e}	۰/۰٦۷^{e}	۳۳/۰٤^{a}	٤/۸۱٥^{a}	۱۷/٤۰^{a}	۳۷/۸٥^{a}	٤۳/۲۱^{a}
رقم								
کلک افغانی		۸۸/۹۳^{c}	۰/۰۷۹^{c}	۲٥/۰۷^{b}	٤/۳٥^{a}	۱٥/۳٤^{a}	۲۹/٤۳^{b}	۳٤/۱۳۰^{b}
هامون		۹۲/٦٦^{b}	۰/۱۰۲^{a}	۲۰/٦٤^{c}	۲/۰٤^{c}	۱۰/٤^{c}	۲۲/٦۹^{c}	۲۹/٦۹^{c}
هیرمند		۹۲/۹۳^{b}	۰/۰۹٤^{b}	۲٤/٦٥^{b}	۲/۳۱^{c}	۱۱/۲٤^{cb}	۲٦/۹۷^{b}	۳٤/۹۸^{b}
سیستان		۹٦/٥۳^{a}	۰/۰۹۱^{b}	۲٤/۷۹^{b}	۲/٤٤^{c}	۱۱/۷۷^{b}	۲۷/۲۳^{b}	۳۲/۹٦^{cb}
بولانی		۷۱/۳۳^{d}	۰/۰٦۸^{d}	۳٥/۱۰۷^{a}	۳/۲٤^{b}	۱٥/۷٦^{a}	۳۸/۳٤^{a}	٤۲/۹٤^{a}

^{ns} : غیر معنی‌دار و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

در هر ستون، جدول مقایسه میانگین تیمارهای دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.



شکل ۳- اثر متقابل سطوح مختلف مس و رقم بر میانگین درصد جوانه‌زنی

جدول ۲- ضرایب برآورد شده معادله سیگموئیدی سه پارامتره برای توصیف روند تغییرات درصد جوانه‌زنی در ارقام مختلف گندم در مقابل غلظت‌های مختلف مس.

رقم	G_{max}	X_{50}	G_{rate}	R^2	P-Value
کلک افغانی	۹۷/۶۲±۳/۲۱	۵/۲۶±۱/۲۵	۳/۴۳±۱/۰۱	۰/۹۹	۰/۰۰۵۴
هامون	۹۸/۳۲±۱/۱۹	۴/۵۷±۱/۶۵	۸/۰۲±۲/۲۵	۰/۹۸	۰/۰۱۶
هیرمند	۹۸/۷۱±۱/۴۳	۴/۹۹±۱/۰۶	۵/۴۸±۱/۵۳	۰/۹۶	۰/۰۴۰
سیستان	۱۰۰±۲/۵۱	۳۲/۷۱±۳/۲۴	۱/۱۸±۱/۷۴	۰/۹۷	۰/۰۲۶
بولانی	۸۷/۵۲±۳/۴۶	۳/۹۲±۱/۱۶	۳/۲۴±۱/۳۹	۰/۹۸	۰/۰۱۶۷

G_{max}: نشان‌دهنده حداکثر جوانه‌زنی است.

X_{50}: نشان‌دهنده غلظتی از مس است که حداکثر درصد جوانه‌زنی در آن، ۵۰ درصد کاهش یافته است.

G_{rate}: نشان‌دهنده شیب کاهش جوانه‌زنی در اثر افزایش غلظت مس است.

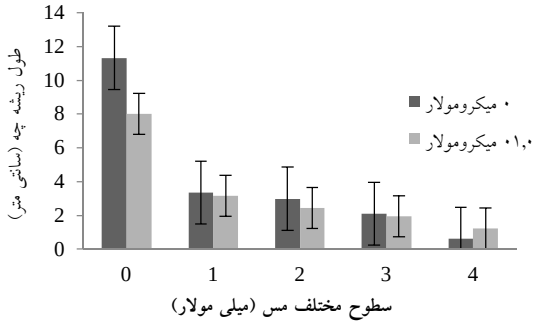
نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید، غلظت‌های مختلف مس و رقم بر خصوصیات گیاهچه ارقام مختلف گندم در جدول (۳) نشان داده شده است. اثر پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید و غلظت‌های مختلف مس بر طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که بیشترین میزان طول ریشه‌چه در تیمار بدون سالیسیلیک اسید و غلظت صفر میلی‌مولار مس (آب مقطر) (۱۱/۳۲ سانتی‌متر) و کمترین آن در تیمار بدون سالیسیلیک اسید و غلظت ٤ میلی‌مولار مس (۰/٦۱ سانتی‌متر) حاصل شد (شکل ٤). اما با افزایش غلظت مس، هم در شرایط پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید و هم بدون پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید طول ریشه‌چه کاهش یافت. بجز تیمار شاهد، در مابقی سطوح مختلف مس بین تیمارهای سالیسیلیک اسید و بدون سالیسیلیک اسید تفاوت معنی‌داری از نظر طول ریشه‌چه وجود نداشت، اما در سطوح بالاتر (٤ میلی‌مولار) تیمار سالیسیلیک اسید نسبت به تیمار بدون سالیسیلیک اسید طول ریشه‌چه بیشتری داشت. این موضوع نشان می‌دهد که اثر پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید در سطوح بالای تنش نسبت به شرایط نرمال بیشتر است و باعث افزایش تحمل گیاه به شرایط نامساعد می‌شود.

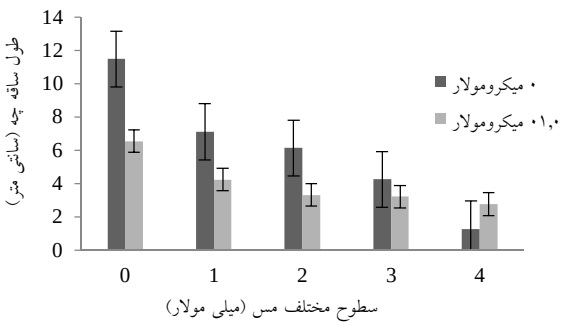
ریشه‌ها نخستین مکانی هستند که تحت تأثیر فلزات سنگین قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمار مس در غلظت‌های بالا مخصوصاً ٤ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌دار رشد طولی ریشه می‌شود (شکل ٤). این

نتایج با گزارش‌های ایکبال و همکاران (Iqbal et al., 2001) مبنی بر کاهش رشد ریشه در گیاه *Caesalpinia pulcherima* تحت تیمار ppm ۱۰۰ کروم نیز مطابقت دارد. بارسلو و همکاران (Barcelo et al., 1986) گزارش کردند که تماس ریشه با کروم موجود در محیط می‌تواند به فروپاشی و ناتوانی بعدی ریشه برای جذب آب از محیط کشت و در نتیجه کاهش رشد ریشه منجر شود. دلیل دیگر کاهش رشد ریشه که در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد، قهوه‌ای و چوبی شدن ریشه‌ها در اثر تنش فلز سنگین مس بود.

همچنین بیشترین میزان طول ساقه‌چه در تیمار بدون سالیسیلیک اسید و غلظت صفر میلی‌مولار مس (آب مقطر) (۱۱/٤۹ سانتی‌متر) و کمترین میزان طول ساقه‌چه در تیمار بدون سالیسیلیک اسید و غلظت ٤ میلی‌مولار مس (۱/۲۹ سانتی‌متر) حاصل شد (شکل ۵). همانند طول ریشه‌چه، با افزایش غلظت مس طول ساقه‌چه نیز کاهش محسوسی یافت، اما در سطوح بالاتر مس شرایط پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید نسبت به شرایط بدون پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید وضعیت بهتری بوجود آورد، این مسئله می‌تواند نشان‌دهنده نقش سالیسیلیک اسید به ایجاد مقاومت در شرایط تنش مربوط باشد.

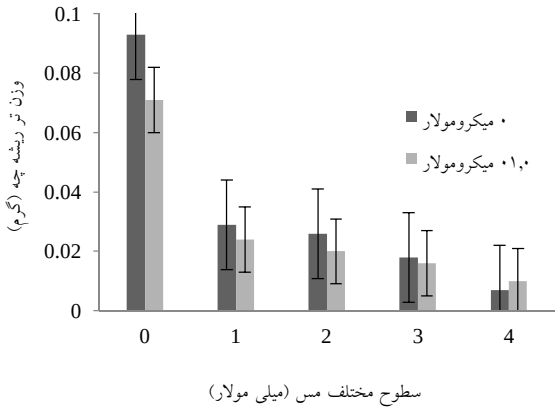


شکل ٤- اثر متقابل تیمار اسید سالیسیلیک و سطوح مختلف مس بر میانگین طول ریشه‌چه

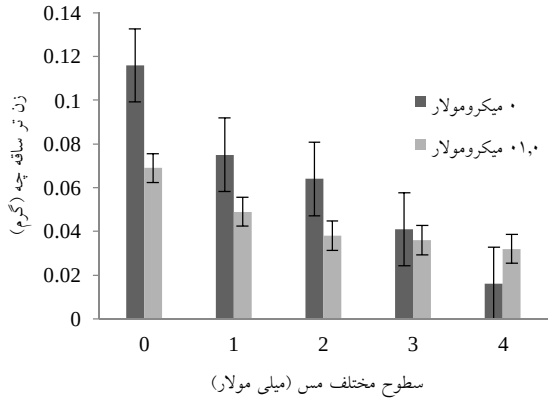


شکل ۵- اثر متقابل تیمار اسید سالیسیلیک و سطوح مختلف مس بر میانگین طول ساقه‌چه

اثر متقابل سالیسیلیک اسید و سطوح مختلف مس معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که با افزایش سطوح مختلف مس، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه هم در شرایط تیمار با سالیسیلیک اسید و هم در شرایط بدون اسید سالیسیلک کاهش یافت، اما در شرایط تیمار با سالیسیلیک اسید، در غلظت‌های پائین‌تر مس، عدم استفاده از سالیسیلیک اسید باعث بهبود فاکتورهای فوق گردید اما ارقام مختلف گندم سطوح بالاتر مس (٤ میلی‌مولار) را در شرایط تیمار با سالیسیلیک اسید بهتر تحمل کردند و در این شرایط نسبت به تیمار شاهد وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه بیشتری داشتند (شکل‌های ٦ و ۷). بنابراین سالیسیلیک اسید می‌تواند در شرایط تنش‌های شدیدتر باعث بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه شود.



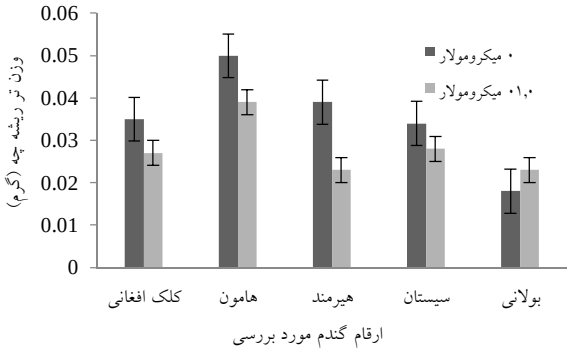
شکل ٦- اثر متقابل تیمار اسیدسالیسیلیک و سطوح مختلف مس بر میانگین وزن تر ریشه‌چه



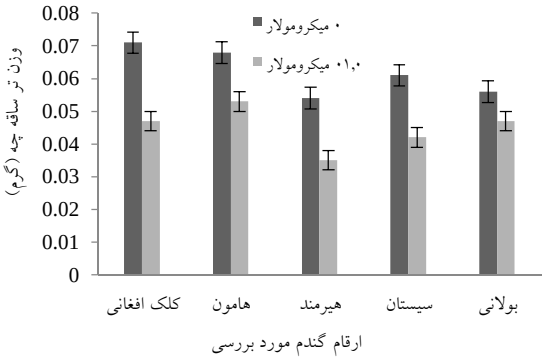
شکل۷- اثر متقابل تیمار اسیدسالیسیلیک و سطوح مختلف مس بر میانگین وزن تر ساقه‌چه

تیمارهای توأم سالیسیلیک اسید و ارقام مختلف گندم در شکل (۸) نشان داده شده است. همان‌طورکه مشخص است، ارقام مختلف گندم پاسخ‌های متفاوتی به تیمار سالیسیلیک اسید از خود نشان دادند. در بین ارقام، رقم هامون چه در شرایط تیمار با سالیسیلیک اسید و چه در شرایط عدم کاربرد آن دارای بیشترین وزن تر ریشه‌چه بود و تیمار با سالیسیلیک اسید بیشترین تأثیر را بر رقم بولانی داشت، چرا که در شرایط تیمار با سالیسیلیک اسید وزن تر ریشه‌چه در این رقم افزایش یافت. طبق نتایج بدست آمده ار مطالعات قبلی رقم بولانی یک رقم ذاتاً ضعیفی است بنابراین مصرف سالیسیلیک اسید در این رقم می‌تواند باعث بهبود خصوصیات گیاهچه آن شود.

همچنین اثر متقابل تیمارهای توأم سالیسیلیک اسید و ارقام مختلف گندم بر وزن تر ساقه‌چه نیز نشان داد که تیمار سالیسیلیک اسید در همه ارقام مورد بررسی باعث کاهش وزن تر ساقه‌چه شد. در بین ارقام، رقم هامون بیشترین وزن تر ساقه‌چه را در شرایط تیمار با سالیسیلیک اسید از خود نشان داد (شکل ۹).



شکل۸- اثر متقابل تیمار اسید سالیسیلیک و ارقام مختلف گندم بر میانگین وزن تر ریشه‌چه

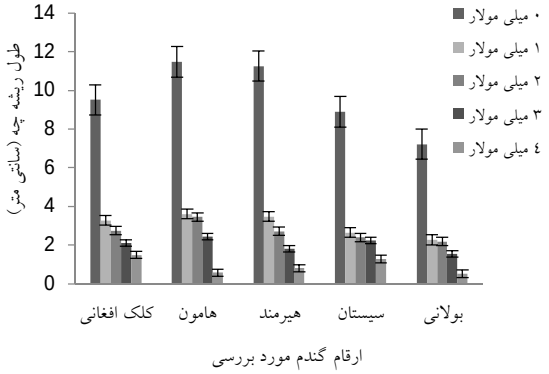


شکل۹- اثر متقابل تیمار اسید سالیسیلیک و ارقام مختلف گندم بر میانگین وزن تر ریشه‌چه

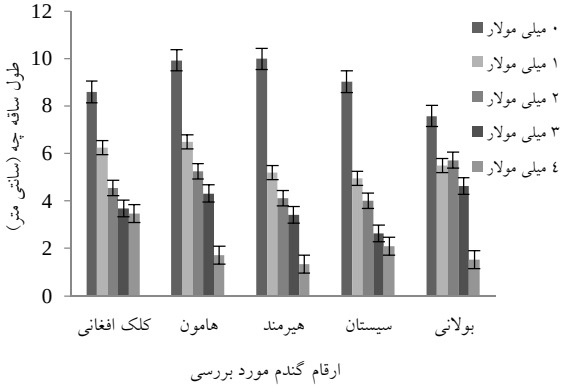
همان‌طور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت مس در تمامی ارقام مورد بررسی طول ریشه‌چه نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری پیدا کرد، اما ارقام کلک افغانی و سیستان حتی در بالاترین سطح مس (٤ میلی‌مولار)،

طول ریشه‌چه بیشتری (به‌ترتیب ۱/٤۹ و ۱/۲۷ سانتی‌متر) نسبت به سایر ارقام مورد بررسی از خود نشان دادند. همانند طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه نیز با افزایش غلظت مس کاهش معنی‌داری را نشان داد. در بین ارقام مورد بررسی نیز رقم کلک افغانی سطوح مختلف مس را بهتر تحمل کرد و در سطح ٤ میلی‌مولار مس با ۳/٤۷ سانتی‌متر بیشترین طول ساقه‌چه را در این تیمار دارا بود (شکل ۱۱).

براساس نظر مولاشیوتس و همکاران (Molassiotis et al., 2005) فلزات سنگین با تجمع در دیواره سلول، ورود به سیتوپلاسم و ایجاد اختلال در متابولیسم طبیعی سلول منجر به کاهش رشد می‌شوند. البته فلزات سنگین با کاهش تورژسانس سلول موجبات کاهش تقسیم سلولی و مهار رشد سلول‌ها را فراهم می‌آورند (Baccouch et al., 2001). فلزات سنگین با القای تولید انواع مختلف اکسیژن فعال، آسیب‌های جدی را به سلول وارد می‌کنند (Madhava and Sresty, 2000). انباشته شدن فلزات سنگین در محیط ریشه سبب کاهش جذب آب و مواد غذایی، کاهش انتقال آب و برهم خوردن تعادل آب، مهار فعالیت آنزیم‌ها، کاهش متابولیسم سلولی، کاهش فتوسنتز، تنفس و تعرق، فقدان نیتروژن و فسفر و در نتیجه مهار رشد، تسریع پیری و حتی مرگ گیاه می‌گردد (County, 2006).

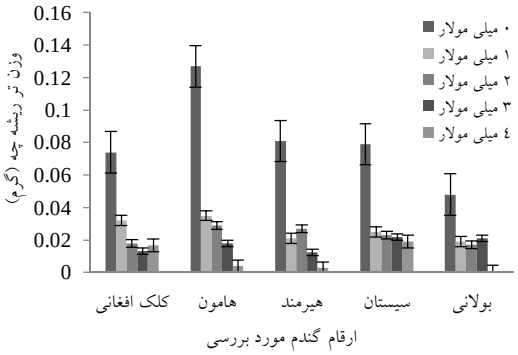


شکل ۱۰- اثر متقابل سطوح مختلف مس و ارقام مختلف گندم بر میانگین طول ریشه‌چه

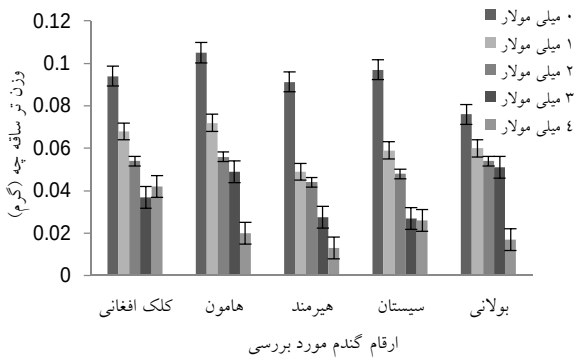


شکل ۱۱- اثر متقابل سطوح مختلف مس و ارقام مختلف گندم بر میانگین طول ساقه‌چه

اثر متقابل سطوح مختلف مس و ارقام مورد بررسی نشان داد که وزن تر ریشه‌چه و وزن تر ساقه‌چه نیز با افزایش غلظت مس کاهش یافت. در سطوح بالای مس (٤ میلی‌مولار) رقم سیستان با ۰/۰۱۹ گرم و رقم هامون با ۰/۰٤۲ گرم به‌ترتیب دارای بیشترین وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه بودند (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). رسولی و همکاران (Rasouli et al., 2013) در تحقیقی با بررسی اثرات مس و نیکل بر جوانه‌زنی گیاه توت روباهی گزارش کردند غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم مس و نیکل اثر معنی‌داری بر مؤلفه‌های رشد داشت .کاهش در وزن تر و خشک ریشه به‌طور مستقیم به کاهش رشد ریشه مربوط بود، زیرا رشد مستقیماً بر وزن تر گیاه تأثیر می‌گذارد و با افزایش غلظت فلزات، رشد نیز کاهش یافت.



شکل۱۲- اثر متقابل سطوح مختلف مس و ارقام مختلف گندم بر میانگین وزن تر ریشه‌چه



شکل۱۳- اثر متقابل سطوح مختلف مس بر میانگین وزن تر ساقه‌چه در ارقام گندم مورد بررسی

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن تر ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	شاخص بنیه گیاهچه
اسیدسالیسیلیک (a)	۱	۱۸/۵۲**	۱۵٦/٤۳**	۲/۱۷**	۰/۰۰۱۹**	۰/۰۱۱**	۰/۰۰۰۰۰۲۱^{ns}	۰/۰۰۵**	۰/٦٤**
مس (b)	٤	۳۵٤/۷۹**	۲۰۳/٦۹**	۲/۳٤**	۰/۰۲۵**	۰/۰۲**	۰/۰۰۱۷**	۰/۰۰۵٦**	۱/۵۲**
رقم (c)	٤	۷/۱۱**	٤/٦٦**	۰/۰۹۵**	۰/۰۰۲۱**	۰/۰۰۱۲**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۳۱**	۰/۰۵**
a*b	٤	۱۷/۰۸**	٤۳/۳۳**	۰/۰۵**	۰/۰۰۰٦٤**	۰/۰۰٤۲**	۰/۰۰۰۰۰٤**	۰/۰۰٤٤**	۰/۱۹۱**
a*c	٤	٤/۹۱**	٤/۲۵**	۰/۰۳۷**	۰/۰۰۰۳٦**	۰/۰۰۰۲۳**	۰/۰۰۰۰۰٦۵**	۰/۰۰۰۳۱**	۰/۰۲۱**
b*c	۱٦	۳/۸٦**	۳/۸۵**	۰/۰٦۷**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰٤۲**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۲۹**	۰/۰۳۷**
a*b*c	۱٦	۱/۲۲**	۲/۹۸**	۰/۰٤۹**	۰/۰۰۰۱۹**	۰/۰۰۰۳٤**	۰/۰۰۰۰۰۳۲**	۰/۰۰۰۲٦**	۰/۰۲**
خطا		۰/۱۸	۰/۱٤	۰/۰۰٦۳	۰/۰۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۰۱٦	۰/۰۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۰۵۳	۰/۰۰۱۱
ضریب تغییرات (cv)		۱۱/٤٤	۷/۵۹	۱۲/۲۷	۲۲/۷۹	۷/٤۳	۱۸/٤۸	۲۱/۹۳	۸/٦۵
اسیدسالیسیلیک									
۱		٤/۰۷^{a}	٦/۰٦^{a}	۰/۷۷^{a}	۰/۰۳۵^{a}	۰/۰٦۲^{a}	۰/۰۰٦^{a}	۰/۰۱٦^{a}	۰/٤٤^{a}
۰		۳/۳۷^{b}	٤/۰۲^{b}	۰/۵۲^{b}	۰/۰۲۸^{b}	۰/۰٤۵^{b}	۰/۰۰۰۷^{a}	۰/۰۰٤۷^{b}	۰/۳۱^{b}
سطوح مس									
صفر میکرومولار		۹/٦۷^{a}	۹/۰۲^{a}	۱/۱۰^{a}	۰/۰۸۳^{a}	۰/۰۹۳^{a}	۰/۰۱۹^{a}	۰/۰۳۵^{a}	۰/۷۹^{a}
یک میکرومولار		۳/۲٦^{b}	۵/٦۸^{b}	۰/٦۳^{b}	۰/۰۲٦^{b}	۰/۰٦۲^{b}	۰/۰۰۳٤^{b}	۰/۰۰٦۱^{b}	۰/۳۷^{b}
دو میکرومولار		۲/۷۱^{c}	٤/۷۳^{c}	۰/٦۱^{b}	۰/۰۲۵^{b}	۰/۰۵۱^{c}	۰/۰۰۳۲^{b}	۰/۰۰٤۷^{c}	۰/۳۳^{c}
سه میکرومولار		۲/۰۳^{d}	۳/۷٤^{d}	۰/۵٦^{c}	۰/۱۷^{c}	۰/۰۳۸^{d}	۰/۰۰۱۹^{c}	۰/۰۰۳۹d^{c}	۰/۲۸^{d}
چهار میکرومولار		۰/۹۳^{e}	۲/۰۳^{e}	۰/۳۳^{d}	۰/۰۰۸۸^{d}	۰/۰۲٤^{e}	۰/۰۰۱۳^{d}	۰/۰۰۲۹^{d}	۰/۱٦^{e}
رقم									
کلک افغانی		۳/۸۳^{b}	۵/۳۱^{b}	۰/٦۸^{a}	۰/۰۳۱^{b}	۰/۰۵۹^{a}	۰/۰۰۳۸^{b}	۰/۰۱۲^{ab}	۰/۳۹^{b}
هامون		٤/۳۱^{a}	۵/۵٤^{a}	۰/٦٤^{b}	۰/۰٤٤^{a}	۰/۰٦^{a}	۰/۰۱٦^{a}	۰/۰۱۲^{ab}	۰/٤۰^{b}
هیرمند		٤/۰۱^{b}	٤/۸۱^{c}	۰/٦۷^{a}	۰/۰۲۹^{c}	۰/۰٤۵^{c}	۰/۰۰۲۸^{c}	۰/۰۱۱^{b}	۰/۳٦^{c}
سیستان		۳/۳۳^{c}	٤/۵٤^{d}	۰/٦۸^{a}	۰/۰۳٤^{b}	۰/۰۵۱^{b}	۰/۰۰۳۷^{b}	۰/۰۱۲^{a}	۰/۳۲^{d}
بولانی		۳/۱۳^{c}	٤/۹۹^{c}	۰/۵۵^{c}	۰/۰۲۱^{d}	۰/۰۵۲^{b}	۰/۰۰۲۷^{c}	۰/۰۰٤۹^{c}	۰/٤۲^{a}

^{ns} : غیر معنی‌دار و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

در هر ستون، جداول مقایسه میانگین تیمارهای دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج بدست آمده از این بررسی نشان داد که سطوح مختلف مس بر مؤلفه‌های رشد بذور ارقام مختلف گندم اثر منفی داشت، غلظت‌های بالای این عناصر در روزهای آخر این آزمایش رشد ریشه را متوقف و باعث مرگ ریشه شد اما با توجه به نقش تعدیل‌کنندگی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش در این بررسی مشخص شد که در سطوح بالای تنش بذور تیمار شده با سالیسیلیک اسید از روند جوانه‌زنی و رشد بهتری برخوردار بودند.

Reference

Abdual-baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Relationship between decarboxilation of glutamic acid and vigour in soybean seed, Crop Science, 13: 222–226.

Ayas, F.A. and Kadioglu, A. 1997. Effect of heavy metals (Zn, Cd, Cu, Ni, Hg) on the soluble proteibands of germination Lens esulenta L. seeds. *Turkish Journal of Botany*, 21(2):85-88.

Baccouch, S., Chaoui, A. and Ferjani, E.El. 2001. Nickel toxicity induces oxidative damage in Zea mays roots. Journal of Plant Nutrition, 24(7): 1085-1097.

Barcelo, J., Poschenrieder, C. and Gunse, B. 1986. Water relations of chromium VI treated bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender) under both normal and water stress condition. Journal of Experimental botany. 37: 178-187.

Bashmakov, D.I., Lukatkin, A.S., Revin, V.V., Duchovskis, P., Brazaityte, A. and Baranauskis, K. 2005. Growth of maize seedlings affected by different concentration of heavy metals. J. Ekologija, 3: 22-27.

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, 1-8.

Bezrukova, M., Sakhabutdinova, V., Fatkhutdinova, R., Kyldiarova, R.A., Shakirova, I. and Sakhabutdinova F.A.R. 2001. The role of hormonal changes in protective action of salicylic acid on growth of wheat seedlings under water deficit. Agrochemiya (Russ), 2: 51–54.

County, N. 2006. Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. International Journal Applied Science and Engineering, 3: 243-252.

Davies, F.T., Puryear, J.D., Newton, R.J., Egilla, J.N. and Grossi, J.A.S. 2001. Mycorrhizal fungi enhance accumulation and tolerance of chromium in sunflower (*Helianthus annuus*). Journal of Plant Physiology. 158: 777-786.

De Villiers, A.J., Van Rooyrn, M.W., Theron, G.K. and Van Deventer, H.A. 1994. Germination of three Namaqualand pioneer species, as influenced by salinity, temperature and light. Seed Sci. and Technol. 22: 427-433.

Drazic, G. and Mihailovic, N. 2005. Modification of cadmium toxicity in soybean seedlings by salicylic acid. Plant Physiology.168: 511-517.

Gulfraz, M., Mussaddeq, Y., Khanum, R. and Ahmad, T. 2003. Metal contamination in wheat crop (*Triticum aestivum* L.) irrigated with industrial effluent. Online. Journal of Biological Science, 3(3): 335-339.

Iqbal, M.Z., Saeeda, S. and Shafiq, M. 2001. Effects of chromium on an important arid tree (*Caesalpinia pulcherrima*) of Karachi city, Pakistan. Ecology (Bratislava). 20: 411-422.

LariYazdi, H., Chehregani A. and Kordi, F. 2011. Effect of copper and salicylic acid on germination of wheat *Triticum aestivum* L. (Marvdasht and Bahar). Fifth National Conference on New Ideas in Agriculture. Esfahan. (In Persian).

Madhava, R.K.V. and Sresty, T.V.S. 2000. Antioxidative parameters in the seedling of pigeonpea (Cajanus cajan L. Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. Plant Science, 157(1): 113-128.

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi M. and Dietz, K. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiology 132: 272-281.

Mohammadi, Z., Nabavi Kalat, S.M. and Sadrabadi Haghaghi, R. 2013. Effect of copper sulfate and salt stress on seed germination and proline content of psyllium (*Plantago psyllium*). American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 13: 148-152.

Mohasseli, V. 2003. Effects of different levels of copper on growth and chemical composition of wheat variety Falat Staff. Pajouhesh-va-Sazandegi. 61: 25-31. (In Persian).

Molassiotis, A., Satipoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G. and Therios, I. 2005. Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of apple rootstock EM9 (Malus domestica Borkh). Environmental and Experimental Botany. In press.

Rasouli, D., Fakheri, B.A., Farhadvand, S. and Minai, A. 2013. Effects of seed treatment with copper and nickel on germination and growth of Sanguisorba minor L. Journal of Rangeland. 7(30). 202.

Saberi M., Shahriari A. and Tarnian F. 2011. Investigation the effects of cadmium chloride and copper sulfate on germination and seedling growth of Agropyron elongatum. Mod. Appl. Sci. 5(5): 232-243.

Sairam R.K., Srivasta G.C., Agarwal S. and Meena R.C. 2005. Difference in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. Biologia Plant arum 49(1):85-91.

Shakirova F.M. and Sahabutdinova D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic aicd and salinity. Plant Sci. 164: 317-322.

Shi Q. and Zhu Z. 2008. Effects of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber. Environmental and Experimental Botany 63:317-326.

Singh D., Nath K. and Kumar Sharma Y. 2007. Response of wheat seed germination and seedling growth under copper stress. J. Environ. Biol. 28, 409-414.

Soltani A., Galeshi S., Zeinali E. and Latifi N. 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. Seed Sci. Technol. 29: 653-66.

Sundaramoorthy P., Alagappan C., Kaliyaperumal S. G., Pachikkaran U. and Logalashmanan B. 2010. Chromium stress in paddy: (i)Nutrient status of paddy under chromium stress; (ii) Phytoremediation of chromium by aquatic and terrestrial weeds. Comptes Rendus Biologies, 333: 597-607.

Verma J.P., Singh V. and Yadav J. 2011. Effect of copper sulphate on seed germination, plant growth and peroxidase activity of Mung Bean (*Vigna radiate*). In. J. Bot. 7(2): 200-204.

Vicente M.R. and Plasencia J. 2011. Salicylic acid beyond defence: its role inplant growth and development. J. Exp. Bot. 62: 1–18.

Yang, X., Long, X.X., Ni, W.Z., Yang, X.E., Ni, W.Z., Ye, Z.Q., He, Z.l., Stoffella, P.J. and Calvert, D.V. 2002. Assessing copper thresholds for phytotoxicity and potential dietary toxicity in selected vegetable crops. J. Environ. Sci. Health B. 37: 625-635.

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. J. Appl. Sci. Res. 7: 42-55.

Zhou, Z.S., Guo, K., Abdou-Elbaz, A. and Yang, Z. M. 2009. Salicylic acid alleviates mercury toxicity by preventing oxidative stress in roots of Medicago sativa. Environmental and Experimental Botany 65: 27- 34.