تأثیر کاربرد اسید سالیسلیک بر جوانه‌زنی گندم بهاره (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش خشکی

اصغر گنجه[۱]، علی عبادی[۲]، سدابه جهانبخش[۳]، قاسم پرمون[۴*]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۲]استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۳]دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۴]دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۴

چکیده

به‌منظور ارزیابی پرایمینگ با اسید سالیسلیک بر جوانه‌زنی گندم بهاره تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در دانشگاه محقق اردبیلی انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی (صفر، ۳-، ٦- و ۹- بار) و پیش‌تیمار در با اسید سالیسلیک (صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار) بود. بر اساس نتایج مشخص گردید که اثرات متقابل تنش خشکی و اسید سالیسلیک بر صفات وزن خشک ریشه‌چه، سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی تأثیر معنی‌داری داشتند و بقیه صفات مورد آزمایش تحت تأثیر اثرات اصلی تنش و محلول پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند. تنش خشکی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و شاخص‌های وزنی قدرت بذر شد به‌طوری که تغییرات آن‌ها با افزایش شدت تنش به‌صورت خطی تغییر یافت. با توجه به معادلات رگرسیونی مشاهده شد به ازای افزایش یک بار در تنش خشکی درصد جوانه‌زنی ۰/٦٤ درصد و یکنواختی جوانه‌زنی ۰/۰۹۷ واحد کاهش یافت. همچنین مقایسه میانگین سرعت، متوسط زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و وزن خشک ریشه‌چه نیز نشان داد، کاربرد اسید سالیسلیک موجب کاهش تأثیرات منفی تنش خشکی بر این صفات شد. کاربرد اسید سالیسلیک ۲ میلی‌مولار بالاترین سرعت جوانه‌زنی و کمترین متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی را به خود اختصاص داد. به‌طور کلی بیشترین شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گندم در غلظت ۲ میلی‌مولار اسید سالیسلیک به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ، درصد جوانه‌زنی، شاخص قدرت بذر، کم‌آبی، گندم

*نویسنده مسئول: ghasem.parmoon@gmail.com

مقدمه

در سال‌های اخیر افزایش روزافزون جمعیت جهان و بروز بحران غذا برای اکثر کشورها به‌ویژه کشورهای در حال توسعه و فقیر و مزایای مختلفی که گندم در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی دارد، این گیاه را تبدیل به ابزار سیاسی- اقتصادی کرده است. گندم با نام علمی *Triticum aestivum* L. مهم‌ترین گیاه زراعی در دنیا است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی انسان‌ها دارد. این محصول تأمین کننده ۲۰ درصد انرژی و ۹۳-۷۸ درصد پروتئین موجود در جیره غذایی بشر می‌باشد (Mohseni-nasab et al., 2010).

مهم‌ترین چالش پیش رو در تولید اکثر محصولات کشاورزی از جمله گندم، تنش خشکی است. خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی بوده که ٤٠ تا ٦٠ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش رشد و عملکرد در گندم نیز می‌شود (Majer et al., 2008). از جمله عواملی که بر جوانه‌زنی تأثیرگذار است، تنش اسمزی می‌باشد. این تنش با کاهش سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی را نیز تغییر می‌دهند. برای مثال، تأثیر تنش کم‌آبی حاصل از پلی‌اتیلن گلایکول ٦٠٠٠، در کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی بذور تریتیکاله (Yagmur and Kaydan, 2008)، پنبه (Soltani et al., 2008) و سورگوم و ارزن مرواریدی (Khalesro and Aghaalikhani, 2007) نیز معنی‌دار گزارش گردیده است.

افزایش مقاومت گیاهان از راه‌های مختلف شامل اصلاح نباتات و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد، امکان‌پذیر است. در مقایسه با روش‌های اصلاحی که اغلب بلند مدت و هزینه بر می‌باشند، پرایمینگ بذر تکنیکی است که باعث بهبود استقرار گیاهچه در محیط می‌شود. در چنین شرایطی بذور در شرایط کنترل شده از نظر رطوبت، تهویه و درجه حرارت قرار می‌گیرند. پرایمینگ شامل کنترل جذب آب و خشک شدن مجدد بذر می‌باشد که باعث تغییرات بیوشیمیایی در درون بذر به هنگام جذب آب و همچنین بعد از کاشت می‌شود. سودمندی پرایمینگ بر روی رشد و نمو گیاهان مربوط به اثرات مستقیم و غیرمستقیم این فرآیند می‌باشد. تأثیر بر جوانه‌زنی، سبز شدن و سرعت رشد گیاهان از اثرات غیرمستقیم و تاثیر بر روی رشد و سرعت رشد اثرات مستقیم پرایمینگ می‌باشد. هدف کلی پرایمینگ بذر، آبدهی جزئی آن می‌باشد به‌طوری که بذور مرحله اول (جذب فیزیکی آب) و دوم (شروع فرآیندهای بیوشیمیایی و هیدرولیز قندها) جوانه‌زنی را پشت سر گذاشته ولی از ورود به مرحله سوم جوانه‌زنی (مصرف قند توسط جنین و رشد ریشه‌چه) باز می‌ماند (Bradford, 1995). گزارش‌های متعددی مبنی بر تأثیر مثبت پرایمینگ بر جوانه‌زنی و سبز شدن در گیاهان مختلف وجود دارد (Demir kaya et al., 2006). اسمو پرایمینگ بذور ذرت با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول و نیترات پتاسیم باعث تسریع جوانه‌زنی در دمای پایین ۱۰ درجه سانتی‌گراد گردید (Basra et al., 1989). در تحقیقی طی هالوپرایمینگ با نیترات پتاسیم، درصد جوانه‌زنی، قدرت بذر و رشد ماریتیغال (*Silybum marianum*) تحت پرایمینگ با تیمار افزایش پیدا کرد (Parmoon et al., 2013b).

اسید سالیسلیک و مشتقات آن از جمله ترکیبات جدیدی هستند که به‌عنوان فیتوهورمون در برخی گیاهان عمل می‌کنند و اخیراً مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. اسید سالیسلیک یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید به گروهی از ترکیبات فنلی تعلق دارد که به‌عنوان یک مولکول مهم برای تعدیل پاسخ‌های گیاه به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Senaratna et al., 2000). مشخص شده است که اسید سالیسلیک در شکوفا شدن جوانه‌ها، نفوذپذیری غشاء، تنفس میتوکندری، بسته شدن روزنه‌ها، انتقال مواد، فتوسنتز، سرعت رشد و جذب یون‌ها تأثیرگذار است. اثر اسید سالیسلیک در جلوگیری از تنش‌های زیستی (Alvarez, 2000) و غیر زیستی نیز مورد توجه قرار گرفته است (Tissa

et al., 2000). اسید سالیسلیک نقش مهمی در ایجاد مقاومت به تنش‌های محیطی بـر عهـده دارد (Raskin, 1992). در مورد اثر اسید سالیسلیک بر جوانه‌زنی گزارش شده که در خیساندن دانه‌های جو در محلول اسـید سالیسـلیک افـزایش درصد جوانه‌زنی مشـاهده شـده اسـت (Shakirova et al., 2003; Rajasekaran et al., 2002; Borsani et al., 2001). طی پژوهشی بر روی گل‌گاوزبان، رشد گیاهچه و شاخص قدرت بـذر در اثـر کـاربرد غلظـت‌هـای اسـید سالیسـلیک افزایش پیدا کرد (Gholizadeh et al., 2015). همچنین گزارش دیگری در مورد اثر اسید سالیسلیک بر جوانه‌زنی گیـاه گندم بهاری نشان داد که اسید سالیسلیک می‌تواند درصد جوانه‌زنی را در گیاه گندم بهاری افزایش دهد (Afzal et al., 2006). همچنین در مورد اثر اسید سالیسلیک بر روی گیاه گندم نشان داده شد که اسید سالیسلیک بر وزن خشک ساقه و ریشه افزایش قابل‌ملاحظه‌ای داشته است؛ و بیشترین وزن‌تر و خشک مربوط به تیمار اسـید سالیسـلیک بـوده اسـت (Kaydan et al., 2007). در گزارش دیگری که در مورد گیاه سویا آمده رشد بخش هوایی و ریشه و ارتفاع گیاه تحت تأثیر اسید سالیسلیک افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان داده‌اند (Gutierrel *et al.*, 1998). استیل اسید سالیسلیک و اسید سالیسلیک و سایر فرم‌های اسید سالیسلیک وزن خشک ذرت و سویا را افزایش دادند ولی بر طول ریشه و ساقه اثـری نداشتند (Khan et al., 2003).

با توجه به رشد جمعیت ایران و جهان و کمبود غذا در سطح دنیا، بررسی تمام راهکارهایی که سبب افزایش تولید و استفاده بهینه از منابع می شود ضروری می‌باشد به همین خاطر این مطالعه با هدف، تشخیص میزان مقاومت گندم بهاره در سطوح تنش خشکی مورد اعمال شده در مرحله جوانه‌زنی و همچنین بررسی تأثیر پیش تیمار اسید سالیسلیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۳۹۵ در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح تنش خشکی صفر، ۳-، ٦- و ۹- بار و پیش‌تیمار در محلول اسید سالیسلیک صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار بودند. در این آزمایش شاخص‌های قدرت بذر، شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها اندازه‌گیری شدند. برای این منظور بذور گندم پس از ضدعفونی با هیپوکلرید سدیم ۵٪ به مدت ۲ دقیقه و اتانول ٪۹٦ به مدت ۳۰ ثانیه، به‌خوبی با آب مقطر شسته شدند و به مدت ٢٤ ساعت در محلول‌های اسید سالیسلیک به مدت ٢٤ ساعت و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور جداگانه خیسانده شدند. پس از آن بذرهای خیس خورده به پتری دیش‌های استریل حاوی کاغذ صافی انتقال یافت. همچنین برای ایجاد تنش خشکی از محلول پلی‌اتیلن گلایکول به میزان ۷ میلی‌لیتر در هر پتری دیش استفاده شد. سپس درب پتری دیش‌ها را با پارافیلم بسته و برای جوانه‌زنی در ژرمیناتور در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. شمارش بذور جوانه‌زده هر ۱۲ ساعت یک‌بار و به مدت ۷ روز انجام گرفت. همچنین در روز آخر آزمایش نیز طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در همه گیاهچه‌های جوانه‌زده برحسب میلی‌متر و بر اساس میانگین محاسبه شد و جهت برآورد وزن خشک آن‌ها ریشه‌چه و ساقه‌چه، ٢٤ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند پس از آن توزین با استفاده از ترازوی دجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ صورت گرفت. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی بذور از برنامه جرمین[1] استفاده شد که این برنامه D10 (مدت زمان که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد حداکثر خود

1. Germin

برسد)، D50 (مدت زمان که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد) و D90 (یعنی مدت زمان که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد) را محاسبه می‌کند. این برنامه پارامترهای یاد شده را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه-زنی (در روز) از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Soltani et al., 2001). یکنواختی جوانه‌زنی[1] به‌صورت تکمیل زمان برای رسیدن از ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی محاسبه گردید؛ که در این صفت هر چه عدد به‌دست آمده کمتر باشد، نشان دهند یکنواختی بیشتر جوانه‌زنی بذرها است (Soltani et al., 2001).

رابطه (۱) $$R50=1/D50$$

رابطه (۲) $$GU =D90 - D10$$

مدت زمان رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی نیز بر اساس فرمول زیر محاسبه شد. در این رابطه N جوانه‌زنی نهایی, ni nj نیز تعداد بذور جوانه‌زده در مدت زمان بین ti– tj می‌باشد (Coolbear, 1984).

رابطه (۳) $$D\ 50 = ti + [(N/2-ni)\ (tj -ti)]/\ (nj-ni)$$

شاخص‌های وزنی و طولی قدرت گیاهچه، مطابق روش زیر اندازه‌گیری و محاسبه شد (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

رابطه (٤) شاخص وزنی قدرت = (وزن خشک گیاهچه × درصد جوانه‌زنی) /۱۰۰

رابطه (۵) شاخص طولی قدرت = (طول گیاهچه × درصدجوانه‌زنی) /۱۰۰

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (Ver 9.1)، و رسم نمودارها با استفاده از Excel انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی نشان داد، درصد و یکنواختی سرعت جوانه‌زنی تنها تحت تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسلیک در سطح یک درصد قرار گرفتند، این در حالی بود که متوسط زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی علاوه بر اثرات اصلی، برهم‌کنش تنش خشکی و اسید سالیسلیک بر مقدار آن دارای تفاوت آماری معنی‌داری بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌های مربوطه نشان داد، تنش موجب کاهش درصد جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی (افزایش ضریب) شد به‌طوری که تغییرات آن‌ها با افزایش شدت تنش به‌صورت خطی کاهش یافت. با توجه به معادلات رگرسیونی مشاهده شد به ازای افزایش یک‌بار در تنش خشکی درصد جوانه‌زنی ۰/٦٤ درصد و یکنواختی جوانه‌زنی ۰/۰۹۷ واحد کاهش یافت (شکل ۱ و ۲ الف). همچنین مشاهده شد، تغییرات درصد و یکنواختی جوانه‌زنی در اثر اسید سالیسلیک به‌صورت معادله درجه سوم بوده و اسید سالیسلیک موجب بهبود درصد و یکنواختی جوانه‌زنی شد. بالاترین درصد جوانه‌زنی از کاربرد ۲ میلی‌مولار و کمترین یکنواختی جوانه‌زنی نیز از کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسلیک بدست آمد (شکل ۱ و ۲ ب). مقایسه میانگین مربوط به سرعت و متوسط زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نیز نشان داد، کاربرد اسید سالیسلیک موجب کاهش تأثیرات منفی تنش خشکی بر سرعت و متوسط زمان جوانه‌زنی شد. تغییرات سرعت و متوسط زمان جوانه‌زنی به‌صورت

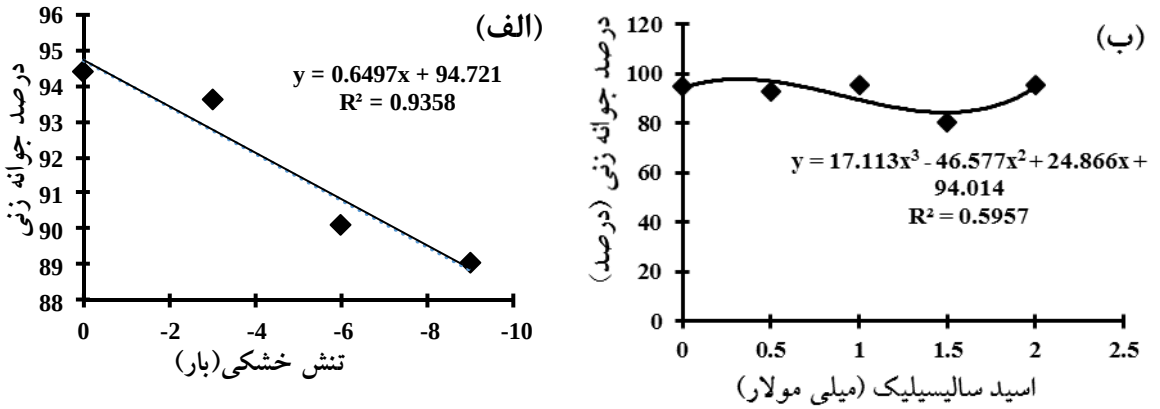
1. Germination uniformity (GU)

معادله درجه دوم بود. کاربرد اسید سالیسلیک ۲ میلی‌مولار بالاترین سرعت جوانه‌زنی و کمترین متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی را به خود اختصاص داد (شکل ۳ و ٤).

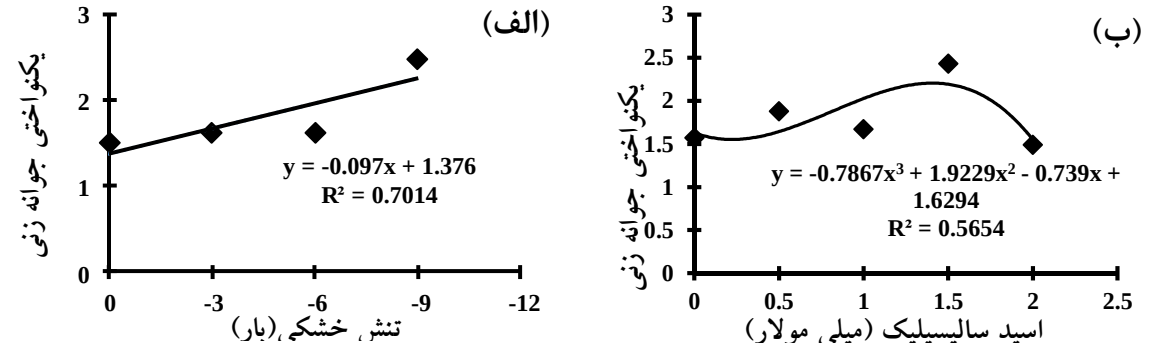
جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی گندم بهاره تحت تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسلیک.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	یکنواختی جوانه‌زنی	متوسط زمان برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی
تنش خشکی	۳	۱۰۱/۲٤*	۰/۰۵٦**	۳/۰۳**	۲/۵۹**
اسید سالیسلیک	٤	۵۰٤/٤۰**	۰/۰۲۹**	۱/۷۰**	۰/۸۲**
تنش خشکی× اسید سالیسلیک	۱۲	۱۲/۱۳^{ns}	۰/۰۰۵**	۰/۲۳^{ns}	۰/۱٦*
خطای آزمایشی	٤۰	۲٦/٦٦	۰/۰۰۱	۰/۳۷	۰/۰۷
ضریب تغییرات (درصد)	–	۵/٦۲	۹/٤۲	۱۰/۰٤	۱۰/٦۹

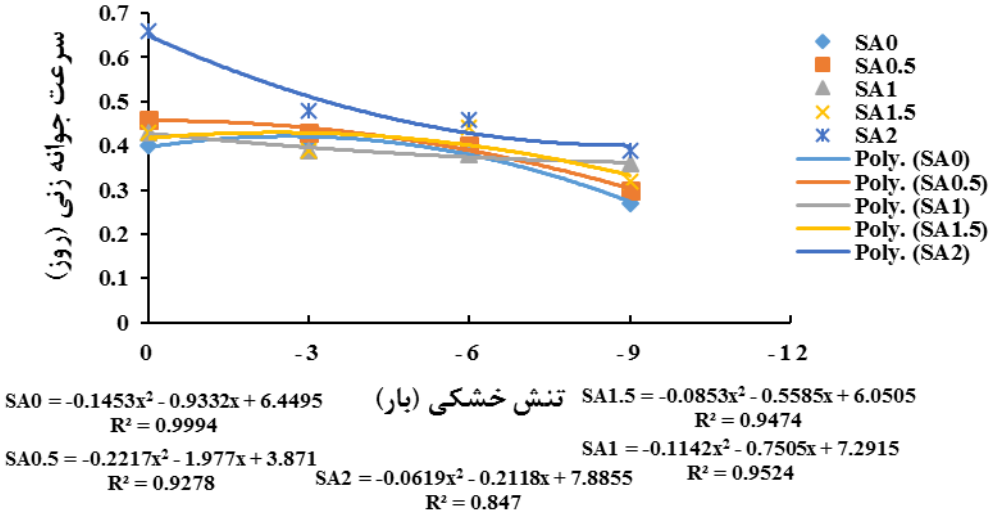
ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد



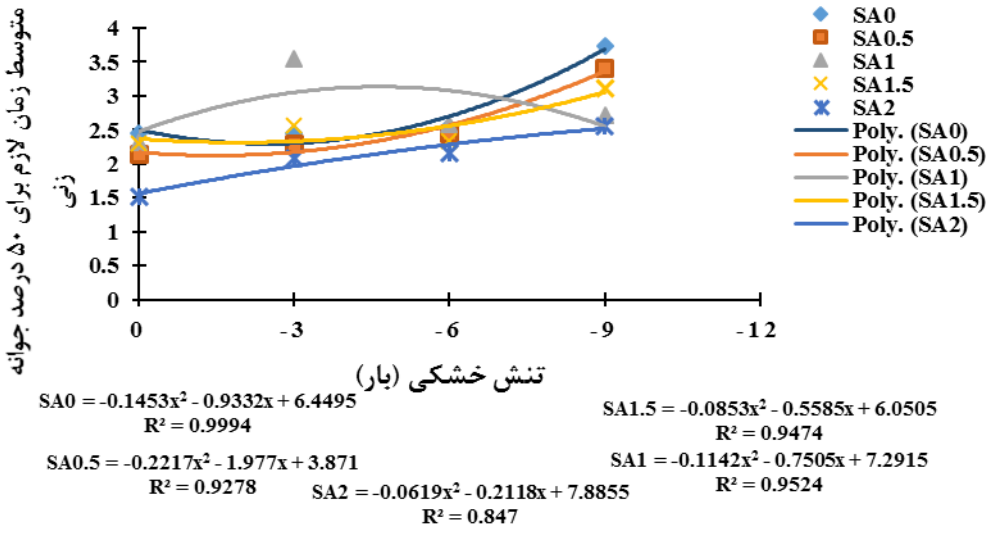
شکل ۱: تغییرات درصد جوانه‌زنی بذور گندم بهاره طی سطوح تنش خشکی (الف) و غلظت‌های اسید سالیسلیک (ب).



شکل ۲: تغییرات یکنواختی جوانه‌زنی بذور گندم بهاره طی سطوح تنش خشکی (الف) و غلظت‌های اسید سالیسلیک (ب).



شکل ۳: برهمکنش تنش خشکی و اسید سالیسلیک بر سرعت جوانه‌زنی بذور گندم.



شکل ٤: برهمکنش تنش خشکی و اسید سالیسلیک بر متوسط زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذور گندم.

تنش خشکی بر جنبه‌های مختلف گیاه اثر می‌گذارد و موجب کاهش و به تأخیر افتادن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام‌های هوایی و کاهش تولید ماده خشک می‌شود (Saidian, 1996). محققان گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی درصد و سرعت جوانه‌زنی ارقام گندم کاهش پیدا یافت (Baalbaki et al., 1999). گالشی و همکاران (Galeshi et al., 2007) گزارش کردند که با منفی‌تر شدن پتانسیل آب (۱- تا ۸- بار)، مؤلفه‌های جوانه‌زنی (درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی) کاهش یافت، ولی طول ساقه‌چه و وزن خشک آن نسبت به سایر صفات، کاهش بیشتری نشان داد. کاهش درصد جوانه‌زنی بذور ماش در شرایط تنش خشکی توسط دی و کار (De and Kar, 1995) هم گزارش شده است. اسید سالیسلیک روی بسیاری از فرآیندهای گیاهان مانند جوانه‌زنی بذور، نفوذپذیری غشاها و سرعت رشد اثر داشته و از این طریق موجب بهبود جوانه‌زنی و متناسب با آن رشد بهتر گیاهچه را به همراه دارد (Khan et al., 2003). دولت‌آبادیان و همکاران (Doulatabadian et al., 2009) به‌منظور بررسی اثر پیش تیمار

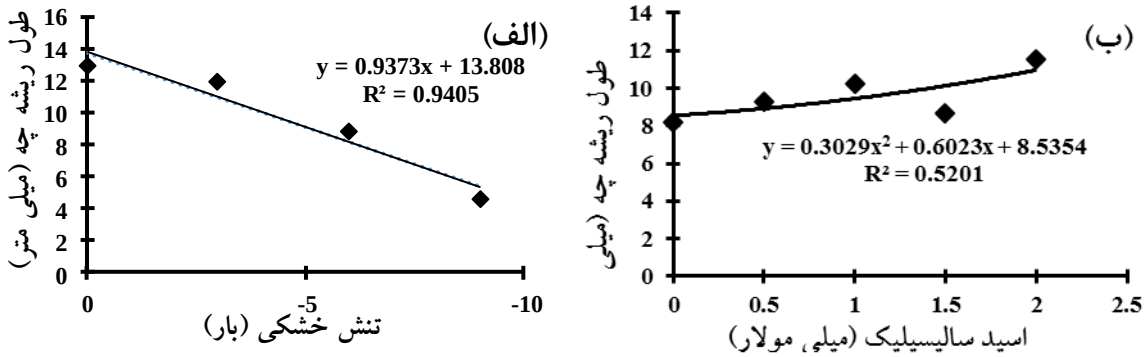
سالیسلیک اسید بر جوانه‌زنی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه گندم در تنش شوری، نشان دادند که اسید سالیسلیک تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی داشته و هم در تیمار شاهد و هم در تیمارهای تنش سبب افزایش جوانه‌زنی می‌شود. در گزارش دیگری که در مورد اثر اسید سالیسلیک و آسکوربیک اسید بر جوانه‌زنی گیاه گندم آمده است، بیشترین درصد جوانه‌زنی در غلظت پایین این دو ترکیب مشاهده شده است (Afzal et al., 2006). در گزارشی که در مورد گیاه گندم و جو تحت تیمار اسید سالیسلیک و شوری آمده است، درصد جوانه‌زنی افزایش یافته و این نشانه نقش اسید سالیسلیک در بهبود شرایط تنش در گیاهان است (Hanan and Deef, 2007). در مورد اثر محافظتی اسید سالیسلیک در سایر تنش‌ها هم گزارش‌هایی دارد؛ مثلاً در تنش گرما در خردل (Data 1998)، تنش سرما در گیاهان مختلف (kang et al., 2003; Tasgin et al., 2003)، تنش فلزات سنگین در جو (Metwally et al., 2003) و خشکی در گندم (Singh and Usha, 2003) وجود دارد که اسید سالیسلیک در تمام موارد فوق، باعث کاهش اثرات منفی تنش در جوانه‌زنی این گیاهان شده است.

رشد گیاهچه و شاخص‌های قدرت بذر: با توجه به نتایج تجزیه واریانس رشد گیاهچه و شاخص‌های قدرت، تنها تحت تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسلیک در سطح یک درصد قرار گرفتند این در حالی بود که برهم‌کنش تنش خشکی و اسید سالیسلیک تنها بر وزن خشک ریشه‌چه در سطح پنج درصد دارای تفاوت آماری معنی‌داری بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های مربوطه نشان داد، تنش موجب کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و شاخص‌های وزنی قدرت شد، به‌طوری که تغییرات آن‌ها با افزایش شدت تنش به‌صورت خطی تغییر (شاخص وزنی قدرت به‌صورت درجه دوم) یافت (شکل ۵، ٦، ۸ و ۹ الف). با توجه به معادلات رگرسیونی مشاهده شد به ازای افزایش یک‌بار در تنش خشکی طول ریشه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه، به ترتیب ۰/۹۳ و ۱/۰۱ واحد کاهش یافتند (شکل ۱ و ۲ الف). همچنین مشاهده شد، تغییرات وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در اثر اسید سالیسلیک به‌صورت معادله درجه دوم بوده و اسید سالیسلیک موجب بهبود صفات فوق شد. همچنین بالاترین شاخص‌های قدرت بذر از کاربرد ۲ میلی‌مولار بدست آمد (شکل ۸ و ۹ ب). مقایسه میانگین مربوط به وزن خشک ریشه‌چه نیز نشان داد، کاربرد اسید سالیسلیک موجب کاهش تأثیرات منفی تنش خشکی بر وزن خشک ریشه‌چه شد. تغییرات وزن خشک ریشه‌چه به‌صورت معادله درجه دوم بود. کاربرد اسید سالیسلیک ۲ میلی‌مولار بالاترین وزن خشک ریشه‌چه را به خود اختصاص داد (شکل ۸).

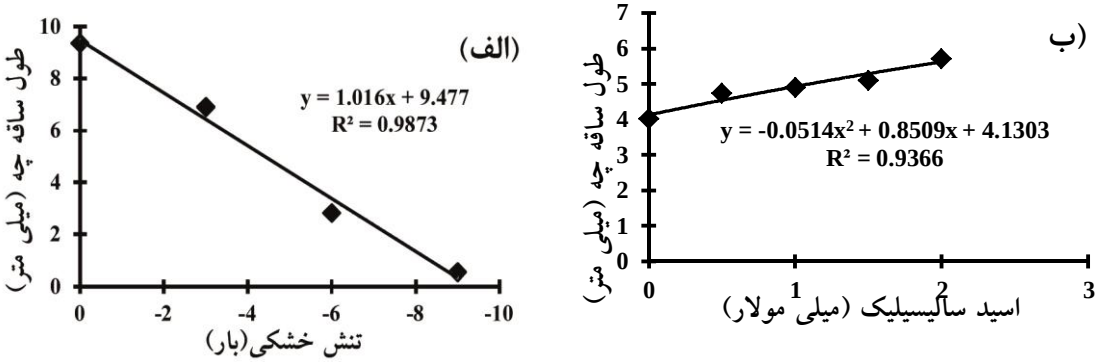
جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس رشد گیاهچه و شاخص‌های قدرت گندم بهاره تحت تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسلیک.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	شاخص طولی قدرت	شاخص وزنی قدرت
تنش خشکی	۳	۲۱۰/۱٦**	۲۳٥/۱۹**	۳۷/٦۱**	۱۱۲/۹٦**	۸۱۰/۳۲**	۲۳۹/۷۹**
اسید سالیسلیک	٤	۲۱/٤٦**	٤/٤۹**	۲/۸۸^{ns}	٥/٥٤**	٥۳/٥۸**	۲۳/۱۱**
تنش خشکی× اسید سالیسلیک	۱۲	۲/۱٤^{ns}	۰/٥۷^{ns}	۲/۹۳*	۰/۹۲^{ns}	۳/٥٥^{ns}	٤/٦۸^{ns}
خطای آزمایشی	٤۰	۲/٥۰	۰/۹٥	۱/٥۱	۰/۸۱	٥/۹۲	۳/۱٦
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱٦/٤۹	۱۹/۸۹	۱۹/٦۳	۱۸/٤۹	۱۸/۰۳	۱۷/۲٥

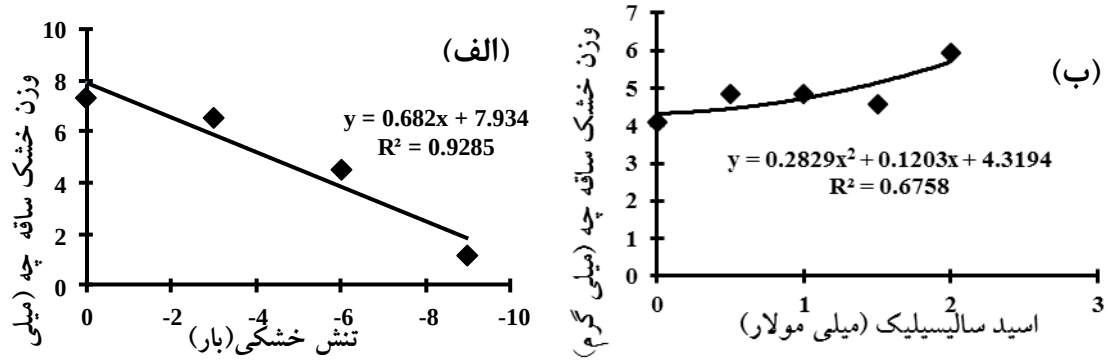
ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ٥ و ۱ درصد.



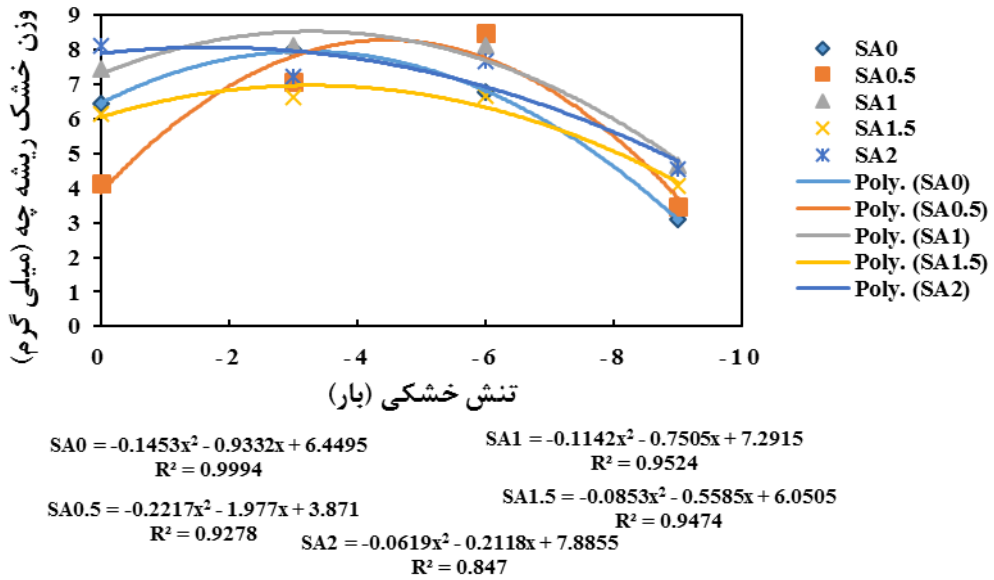
شکل ۵: تغییرات طول ریشه‌چه بذور گندم بهاره طی سطوح
تنش خشکی (الف) و غلظت‌های اسید سالیسلیک (ب).



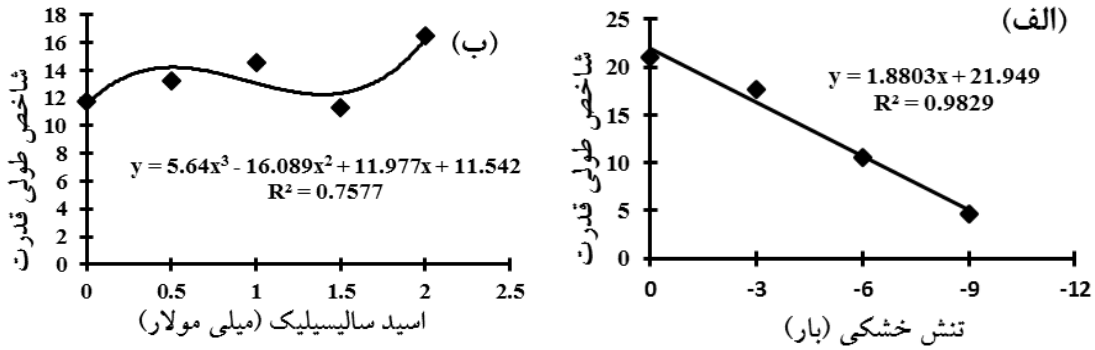
شکل ٦: تغییرات طول ساقه‌چه بذور گندم بهاره طی سطوح
تنش خشکی (الف) و غلظت‌های اسید سالیسلیک (ب).



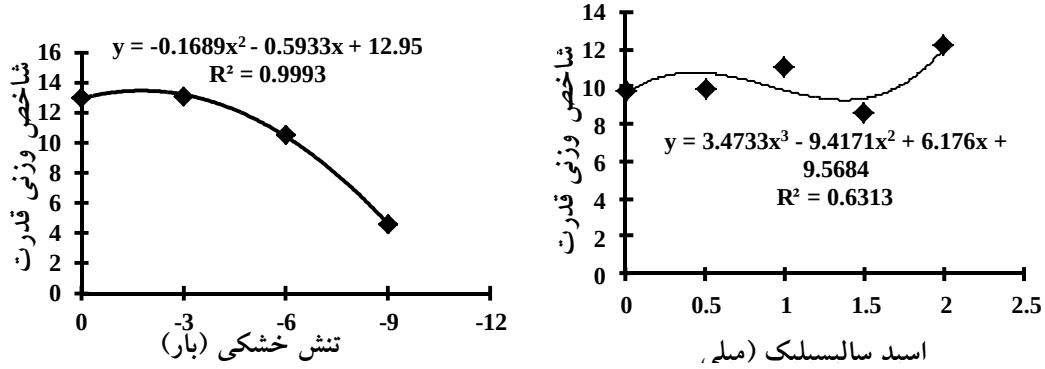
شکل ۷: تغییرات وزن خشک ساقه‌چه بذور گندم بهاره طی سطوح تنش خشکی (الف)
و غلظت‌های اسید سالیسلیک (ب).



شکل ۸: تغییرات وزن خشک ریشه‌چه بذور گندم بهاره طی تنش خشکی و اسید سالیسلیک.



شکل ۹: تغییرات شاخص طولی قدرت بذور گندم بهاره طی سطوح
تنش خشکی (الف) و غلظت‌های اسید سالیسلیک (ب).



شکل ۱۰: تغییرات شاخص وزنی قدرت بذور گندم بهاره طی سطوح
تنش خشکی (الف) و غلظت‌های اسید سالیسلیک (ب).

مطالعات نشان می‌دهد که اسید سالیسلیک نقش کلیدی در برابر تنش خشکی دارد (Hayat et al., 2005). کاهش رشد اجزای گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) در شرایط تنش‌های خشکی و شوری در سایر تحقیقات در مورد بذور عدس (Turk et al., 2004)، ماش (De and Kar, 1995) و نخود فرنگی (Okcu et al., 2005) نیز گزارش شده است. تنش خشکی در سویا و نخود موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و قدرت بذر شد (Karan et al., 1985). مرادی و رضوانی مقدم (Moradi and Rezvani-Moghadam, 2010)، در پژوهشی به بررسی تأثیر پیش تیمار بذر توسط سالیسلیک اسید در شرایط تنش شوری بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشد گیاهچه رازیانه پرداختند. از بین سطوح سالیسلیک اسید، پیش تیمار با غلظت یک میلی‌مولار بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه را دارا بود و غلظت ۱/۵ میلی‌مولار، بالاترین نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه را داشت. گزارش شده که کاربرد خارجی اسید سالیسلیک وزن خشک گیاه را در دانه‌رست‌های گندم افزایش می‌دهد (Singh and Usha, 2003). به‌طور مشابه تیمار با اسیدسالیسیلیک وزن‌تر و خشک ریشه و ساقه را در گیاه جو افزایش داد (Metwally et al., 2003). در پرایمینگ با اسید سالیسلیک شاخص قدرت بذر در گیاه ماریتیغال افزایش یافت به‌طوری که پرایمینگ با غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدسالیسیلیک دارای بیشترین میزان شاخص قدرت بذر بوده است (Parmoon et al., 2013a).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی دیگر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم بهاره شد و کاربرد اسید سالیسلیک در محدوده غلظت‌های ۱/۵ تا ۲ میلی‌مولار غلظت مناسبی جهت افزایش جوانه‌زنی بذور و رشد بهتر گیاهچه‌ها گندم و افزایش تحمل این گیاه به تنش خشکی رو موجب شد.

References

Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. Crop Science, 13: 630-633.

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 of Agricultural Biological. 1: 23-28.

Alvarez, M. 2000. Salicylic acid in the machinery of hypersensitive cell death and disease resistance. Plant mol. Biol. 44: 429-442.

Baalbaki, R.Z., Zurayk, R.A., Blelk, M.M. and Tahouk, S.N. 1999. Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. Seed. Sci. Technol. 27: 291-302.

Basra, A.S., Dhillon, R. and Malik, C.P. 1989. Influence of seed pretreatment with plant growth regulators on metabolic alterations of germinating maize embryos under stressing temperature regimes. Anm. Bot. (London) 64: 37-41.

Borsani, O., Valpuesta, V. and Botella M.A. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings Plant physiology 126: 1024-1030.

Bradford, K.J. 1995. Water relations in seed germination. In "Seed Development and germination" (J. Kigel and G. Galile, Eds.), PP. 351-396. Marcel Dekker Inc., New York.

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.

Data, J.F, Lopez-Delgado, H., Foyer, C.H. and Scott, I.M. 1998. Parallel changes in H_2O_2 and catalase during thermo tolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. Plant Physiology. 116: 1351-1537.

De, R. and Kar, R.K. 1995. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*) under water stress induced by PEG 6000. Seed Science and Technol. 23: 301-308.

Demir kaya M., Gamze, O., Atak, M., Cikili, 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: 291-295.

Doulatabadian, A., Modarres Sanavy, S.A.M. and Etemadi, F. 2009. Effect of pretreatment of salicylic acid on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination under salt stress. Iranian journal of biology. 21(4): 692- 702. (In Persian).

Galeshi, S., Farzaneh, S., Soltani, A. and Rezaei, J. 2007. Evaluation of drought tolerance in forty cotton genotypes at germination stage. Journal of Agriculture Science Natural Research. 13(2): 42-57. (In Persian).

Gholizadeh, L., Parmoon, G.H., Shokrpoor, A., Mosanei, H. and Sanaei, S. 2015. Effect of role of salicylic acid on improve germination *Borago officinalis* L. Seed Research. 5(1): 13- 23. (In Persian).

Ghorbani, M.H., Soltani, A. and Amiri, S. 2008. The effect of salinity and seed size on response of wheat gwrmination and seedling growth. Journal. Agri. Sci. Natur. 14(6): 211-219. (In Persian).

Gutierrel-Coronado, M., Trejo, C.L. and Larque-Saavedra, A. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in *soybean.* Plant Physiology Biochemist. 36 :563-565.

Hanan E. and Deef, A. 2007. Influence of salicylic acid on stress Tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare* .Advances in Biological Research. 1(2) :40-48.

Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B. and Ahmad, A. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. J. Acta. Agro. Hung. 53:433–437.

Janda, T., Szalai, G., Tari I. and Paldi E. 1999. Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) Plants. Planta. 208: 175-180.

Kang, G.Z., Wang, C.H., Sun, G.C. and Wang, Z.X. 2003. Salicylic acid changes activities of H_2O_2 - metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings. Environ Exp. Bot. 50: 9-15.

Karan, S., Afria, B. and Singh. K. 1985. Seed germination and seedling growth of chick pea (*Cicer arietium*) under water stress. Seed Research. 13: 1-9.

Kaydan, D., Yagmur, M. and Okut N. 2007. Effects of salicylic Acid on the Growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L). Tarim Balmier Dergisi. 13(2): 114-119.

Khalesro, Sh. and Aghaalikhani, M. 2007. Effect of salinity and water deficit stress on seed germination of forage sorghum and pearl millet. J. Pajouhesh and Sazandegi. 77:153-163. (In Persian).

Khan, W., Prithiviraj, B. and Smith, D.L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant physiology. 160: 485-492.

Majer, P., Sass, L., Lelley, T., Cseuz, L., Vass, I., Dudits, D. and Pauk, J. 2008. Testing drought tolerance of wheat by a complex stress diagnostic system installed in greenhouse. Acta. Biol. Sze. 52: 97-100. Master's Thesis. University of Tehran, Iran.

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

Mohsen-Nasab, F., Sharafizadeh, M. and Siadat, A. 2010. Effect of accelerated aging on germination planet wheat cultivars in the club condition. Journal of Plant crops Physiology. 2(3): 60-72. (In Persian).

Moradi, R. and Rezvani-Moghadam, P. 2010. Effect of pretreatment by salicylic acid under salinity stress on germination and characters growth (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian journal of Field Crops Research. 8(3): 489- 500.

Okcu, G., Kaya, M.D. and Atak, M. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). Turkish Journal Agriculture. For. 29: 237-242.

Parmoon, GH., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S. and Davari, M. 2013a. Effect of seed priming by salicylic acid on the physiological and biochemical traits of aging milk thistle (*Silybum marianum*) seeds. Field Crops plants. 7(4): 223-234.

Parmoon, Gh., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S. and Davari, M. 2013b. The Effect of Seed Priming and Accelerated Aging on Germination and Physiochemical Changes in Milk Thistle (*Silybum marianum*). Not Scienca Biologycal, 5(2): 1-8.

Rajasekaran L.R., Stiles A., Surette, M.A., Sturz, A.V., Blake T.J., Caldwell C. and Nowak J. 2002. Stand Establishment Technologies for processing *Carrots* :Effects of various temperature regimes on germination and the role of salicylates in promoting germination at low temperatures. Canadian Journal of Plant Science. 82: 443-450.

Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. Annual. Rev. Plant Physiology Plant Mol. Biol., 43: 439-463.

Senaratna, T., Touchel, D., Bumm, E. and Dixon, K. 2000. Acetyl salicylic acid induces multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regular. 30: 157-161.

Shakirova F.M., Sakhabutdinova A.R., Bozrutkova M.V., Fatkhutdinova R.A. and Fatkhutdinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity Plant Science. 164: 317-322.

Singh, B. and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedling under water stress. Plant Growth Regular. 39: 137-141.

Soltani E., Ghaderi, A. and Memar, H. 2008. The effect of priming on germination components and seeding growth of cotton seeds under drought. Journal Agricultural Science Natural Research. 14(5): 9-16. (In Persian).

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 Technology, 30: 51-60. (In Persian).

Szaboles, I. 1994. Soils and salinization. In handbook of plant and crop stress. CRC press. Edition 2nd. pp: 1-12.

Tasgin, E., Atici, Q. and Nalbantogle, B. 2003. Effects of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter *Wheat* levees. Plant Growth Regular. 41 :231-236.

Tissa, S., Darren, T., Eric, B. and Kinsley, D. 2000. Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regular. 30: 157-161. Wheat cultivar in Khuzestan environmental condition. The Science Journal Agriculture. 27: 65-76.

Turk, M.A., Tahawa, A.R.M. and Lee, K.D. 2004. Seed germination and seedling growth of three lentil cultivars under moisture stress. Asian Journal of Plant Sciences. 3: 394-397.

Yagmur, M. and Kaydan, D. 2008. Alleviation of osmotic stress of water and salt in germination and seedling growth of triticale with seed priming treatments. African Journal Biotech. 7(13): 2156-2162.