Journal of Vegetables Sciences
Vol 4, No 7, Spring & Summer 2020, Pages (13-24)
DOI: 10.22034/iuvs.2020.122347.1084

دو فصلنامه علمی- پژوهشی علوم سبزی‌ها
سال ۴- شماره ۷- بهار و تابستان ۱۳۹۹- صفحات (۲۴-۱۳)

تأثیر بور و اسید سالیسیلیک بر برخی خصوصیات رویشی و بیوشیمیایی کاهو (*Lactuca sativa* L.) در سیستم هیدروپونیک

ابراهیم مولایی‌لرد[۱]، رسول آذرمی[۲*] و بهروز اسماعیل‌پور[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

* نویسنده مسئول: r_azarmi@uma.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲)

چکیده

بور یک عنصر ریزمغذی ضروری در گیاهان عالی است ولی بیش‌بود آن در خاک و آب آبیاری مشکلات جدی در رشد و تولید گیاهان ایجاد می‌کند. از آن‌جایی که اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاه محسوب می‌شود، کاربرد برون‌زای آن ممکن است اثرات نامطلوب بیش‌بود بور در کاهو (*Lactuca sativa* L.) را تعدیل نماید. این آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر بور و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی کاهو رقم سیاهو، به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح اسید سالیسیلیک (صفر، ۰/۵ و یک میلی‌مولار) و بور در سه سطح (۰/۰۵، ۰/۵ و یک میلی‌مولار) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت بور در محلول غذایی، وزن تر و خشک برگ، سطح برگ، محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید برگ کاهش یافت. بیشترین مقدار بور برگ و محتوای پرولین، قند محلول، فنول کل و نشت الکترولیت در گیاهان تغذیه شده با غلظت یک میلی‌مولار بور و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار در گیاهان شاهد (فاقد بور و اسید سالیسیلیک) به‌دست آمد. بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز به‌ترتیب در غلظت یک و ۰/۵ میلی‌مولار بور به ثبت رسید. افزایش غلظت بور در محلول غذایی از ۰/۰۵ میلی‌مولار به یک میلی‌مولار، مقدار بور برگ را ۹/۳ برابر افزایش داد. نتایج این آزمایش نشان داد که بیش‌بود بور، رشد گیاه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک نتوانست سمیت بور در کاهو را تعدیل نماید.

واژه‌های کلیدی: اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید، رشد، سمیت بور، کاهو.

مقدمه

کاهو (*Lactuca sativa* L.) یکی از سبزی‌های مهم برگی بوده که به‌صورت سالادی و تازه‌خوری مصرف می‌شود. این گیاه سرشار از ویتامین‌ها و مواد مغذی ضروری از قبیل آهن، منگنز، فسفر، پتاسیم، بتاکاروتن و ویتامین ث می‌باشد، که برای سلامتی

انسان ضروری است (Xue *et al*., 2001). بسیاری از تنش‌های زیستی و غیرزیستی تولید این محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهند، تنش‌های غیرزیستی می‌توانند تقریباً همه فرآیندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی را در گیاهان از مراحل اولیه جوانه‌زنی بذر تا مرحله بلوغ گیاه تحت تأثیر قرار دهند و در نهایت باعث کاهش شدید در عملکرد اقتصادی گیاهان شوند (Khan *et al*., 2015).

بور یکی از عناصر ضروری کم‌مصرف است، اما مقدار بیش از حد آن باعث ایجاد مسمومیت در گیاهان می‌شود. بیش‌بود بور در خاک و آب‌های شور مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌وفور یافت می‌شود. همچنین زهکشی ضعیف خاک‌های شور می‌تواند سبب تجمع مقادیر بیش از حد بور در محلول خاک شود. در ایران از بین تمامی منابع آلوده‌کننده، آب آبیاری مهم‌ترین عامل افزایش بور در خاک است (Tabatabaei, 2009). با وجود اثرات مفید بور بر رشد و نمو گیاهان، سمیت آن می‌تواند باعث کاهش تقسیم سلولی ریشه، جلوگیری از گسترش دیواره سلولی، کاهش در محتوای کلروفیل برگ، مقدار لیگنین و سوبرین، کاهش رشد ریشه، شاخساره و شدت فتوسنتز، کلروز برگ و در نهایت کاهش چشم‌گیر در عملکرد محصول شود (Herrera–Rodriguez *et al*., 2010).

اسید سالیسیلیک به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد، با تولید سیگنال، ژن‌های دفاعی گیاه را در شرایط تنش تحریک می‌کند؛ با تشدید این سیگنال‌ها، سنتز پروتئین‌های دفاعی القاء و در پی آن گیاهان در مقابل تنش‌ها محافظت می‌شوند. اسید سالیسیلیک نقش اساسی در تنظیم رشد و نمو گیاه تحت شرایط تنش‌های محیطی ایفا می‌کند (Yalpani *et al*., 1994). تأثیر اسید سالیسیلیک بر رشد گیاهان بستگی به نوع گیاه، مرحله رشدی و غلظت آن دارد (Rivas-San Vicente & Plasencia, 2011). تأثیر تحریک‌کنندگی رشد توسط اسید سالیسیلیک می‌تواند ناشی از تغییرات هورمونی، جذب و انتقال یون، بهبود رشد، فتوسنتز، هدایت روزنه و مقدار کلروفیل باشد (Belkhadi *et al*., 2014). گزارش شده است که اسید سالیسیلیک با بهبود سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش رادیکال آزاد پراکسید هیدروژن موجب تجمع پرولین، اسیدهای آمینه آزاد، پروتئین‌های محلول و کربوهیدرات در گیاهان تیمار شده با غلظت بالای بور می‌شود (El-Shazoly *et al*., 2019). استفاده برون‌زای اسید سالیسیلیک در غلظت پایین ممکن است باعث سازگاری و مقاومت گیاهان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی در اثر افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شود (Belkhadi *et al*., 2014).

تحت شرایط مسمومیت بور، وزن تر و خشک گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon lycopersicum* Mill.) و فلفل (*Capsicum annum* L.) کاهش یافت (Eraslan *et al*., 2007) در حالی‌که نفوذپذیری غشاء و تجمع پرولین افزایش یافت. همچنین تحت شرایط بیش‌بود بور در گوجه‌فرنگی، بر مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ و در فلفل بر مقدار نیتروژن، فسفر، منیزیم و گوگرد افزوده شد (Eraslan *et al*., 2007). از طرف دیگر کاربرد غلظت‌های مختلف بور در گیاه کاهو نشان داد که با افزایش غلظت بور در محیط ریشه، وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی کاهش یافت و در مقابل، مقدار بور در برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Sahin *et al*., 2017).

از آن‌جا که مقادیر بیش‌بود بور می‌تواند باعث اختلال در رشد و فرآیندهای متابولیکی شود و

کاربرد اسید سالیسیلیک می‌تواند مقاومت گیاهان را در برابر تنش بور افزایش دهد، لذا هدف از این تحقیق ارزیابی تأثیر سطوح مختلف بور و اسید سالیسیلیک بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی و همچنین بررسی علائم ظهور سمیت بور در گیاه کاهو رقم سیاهو بود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثرات بور و اسید سالیسیلیک بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی کاهو، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتور اول تیمار بور در سه سطح ۰/۰۵، ۰/۵ و یک میلی‌مولار در محلول غذایی و فاکتور دوم اسید سالیسیلیک در سه سطح صفر، ۰/۵ و یک میلی‌مولار بودند.

برای انجام آزمایش، بذرهای کاهو رقم سیاهو از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه و در اواسط شهریور ماه در سینی نشاء کشت شدند و بعد از یک ماه گیاهچه‌ها به گلدان‌هایی با حجم پنج لیتر و حاوی یک گیاه انتقال داده شدند. بستر کشت گلدان، حاوی کوکوپیت و پرلایت به نسبت ۱:۱ بود. برای تهیه محلول غذایی از فرمول هوگلند و آرنون تغییریافته استفاده گردید (Hoagland & Arnon, 1950). غلظت عناصر موجود در محلول هوگلند و آرنون در جدول ۱ آمده است. pH محلول غذایی بستر کشت، در محدوده ۶/۳ و هدایت الکتریکی بستر کشت در محدوده ۲/۲- ۲ دسی‌زیمنس بر متر تنظیم شده بود. هدایت الکتریکی بستر کشت به‌طور مداوم اندازه‌گیری و هر هفته آبشویی بستر به‌منظور اجتناب از افزایش شوری بستر صورت می‌گرفت. گیاهچه‌های کاهو بعد از استقرار کامل (پنج برگی) با غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۵ و یک میلی‌مولار بور از منبع نمک اسید بوریک (H_3BO_3) در محلول غذایی آبیاری شدند. غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار بور به‌عنوان غلظت بهینه در محلول غذایی و به‌عنوان تیمار شاهد و غلظت‌های ۰/۵ و یک میلی‌مولار بور در محلول غذایی به‌عنوان غلظت بیش‌بود بور در نظر گرفته شد. تیمار اسید سالیسیلیک یک هفته قبل از اعمال تیمار بور در پنج مرحله با فاصله زمانی یک هفته و تیمار شاهد اسید سالیسیلیک با استفاده از آب مقطر محلول‌پاشی شدند. برداشت بخش هوایی کاهو در مرحله رشد رویشی کامل انجام شده و صفات مورد نظر مورد سنجش قرار گرفتند.

جدول ۱ - غلظت عناصر معدنی در محلول هوگلند و آرنون تغییر یافته

عنصر	غلظت (میلی‌مولار)	عنصر	غلظت (میکرو مولار)
نیترات	۱۴/۱	آهن	۸۰
آمونیوم	۰/۴	منگنز	۹
فسفر	۱/۱	مس	۳
پتاسیم	۵/۳	روی	۷
کلسیم	۴/۲	مولیبدن	۰/۱
منیزیم	۱/۲		

در پایان آزمایش، ۴۵ روز پس از انتقال نشاء، کل بوته از بستر کشت خارج و وزن تر برگ با ترازوی دیجیتال (AND, GF-800, Japan) ثبت شد. وزن خشک برگ از طریق قرار دادن در آون (JeioTech, OF-22G, South Korea) در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت به‌دست

آمد. میانگین سطح برگ یک گیاه از هر تکرار توسط دستگاه سطح‌سنج دیجیتال (BioScientific ADC, AM 300) و تعداد برگ کاهو از طریق شمارش تعداد برگ‌ها ثبت گردید. برای سنجش محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید، مقدار یک گرم از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته کاهو با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد عصاره‌گیری و پس از سانتریفیوژ به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۸۰۰۰ دور در دقیقه، به‌ترتیب در طول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۴۵/۸ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Lichtenthaler & Wellburn, 1983; Arnon, 1949).

برای سنجش میزان پرولین به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت تازه برگ در پنج میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید هموژنیزه شد. سپس به دو میلی‌لیتر از عصاره حاصل، دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص اضافه شد و در پی آن چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌ها اضافه و با تشکیل دو فاز جداگانه، فاز رنگی فوقانی با دستگاه اسپکتروفتومتر (Jenway 6705 UV/VIS Spectrophotometer, England) در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. برای اندازه‌گیری مقدار قند محلول ابتدا مقدار ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ با پنج میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد ساییده و سانتریفیوژ شد و فاز مایع و شفاف بالایی به‌دقت جدا گردید. سپس به ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره‌ی حاصل، سه میلی‌لیتر آنترون اضافه شد؛ سپس میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. برای محاسبه غلظت قندهای محلول از منحنی استاندارد گلوگز استفاده شد (Irigoyen *et al*., 1992).

برای سنجش محتوای مواد فنولی، مواد تازه گیاهی با پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد مخلوط و در تاریکی به‌مدت ۴۸ ساعت نگهداری شد؛ سپس یک میلی‌لیتر اتانول به یک میلی‌لیتر از عصاره حاصل اضافه و با آب مقطر به حجم پنج میلی‌لیتر رسانده شد. در پی آن ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتیو و یک میلی‌لیتر کربنات سدیم هفت درصد به نمونه‌ها اضافه گردید. پس از یک ساعت نگهداری در تاریکی، مقدار جذب در طول موج ۷۲۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شد. استاندارد با استفاده از اسید گالیک تهیه گردید (Marinova *et al*., 2005).

برای ارزیابی درصد نشت الکترولیت از برگ‌های بالغ به تعداد ۱۵ دیسک تهیه و در فالکون ۱۰ میلی‌لیتری ریخته و هدایت الکتریکی اولیه بعد از ۲۴ ساعت قرائت شد (EC_0)؛ سپس به‌مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو نگهداری و هدایت الکتریکی ثانویه آن ثبت گردید (EC_1). درصد نشت الکترولیت از رابطه زیر محاسبه گردید (Sairam & Srivastata, 2001).

رابطه (۱)

درصد نشت الکترولیت= $(EC_0/ EC_1) \times ۱۰۰$

برای استخراج عصاره آنزیم، ۰/۵ گرم بافت تر برگ بالغ در پنج میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم سرد (۱۰۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷/۵) محتوی پلی‌وینیل پیرولیدون یک درصد و EDTA همگن شده و به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز، مقداری از عصاره آنزیمی با بافر فسفات (۵۰ میلی‌مولار، pH=۷/۸) حاوی گایاکول ۴۰ میلی‌مولار و پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی‌مولار مخلوط شد. میزان تولید تتراگایاکول در ۴۷۰ نانومتر در یک دقیقه توسط طیف‌سنج نوری اندازه‌گیری و فعالیت ویژه آن به‌صورت گرم وزن تر در واحد دقیقه بیان گردید (Hemeda & Kelin, 1990). برای سنجش فعالیت آنزیم

آسکوربات پراکسیداز مقداری از عصاره آنزیمی با بافر فسفات (۵۰ میلی‌مولار، pH=۷) حاوی اسید آسکوربیک ۲۵۰ میکرومولار، آب اکسیژنه ۱/۵ میلی‌مولار و EDTA ۰/۵ میلی‌مولار مخلوط شد و جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر قرائت گردید. پس از یک دقیقه توقف، دوباره جذب قرائت شده و اختلاف جذب محاسبه و عدد نهایی به‌صورت گرم وزن تر بر دقیقه گزارش گردید (Nakano & Asada, 1987).

برای سنجش مقدار بور برگ، ۰/۵ گرم از برگ در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به روش هضم تر آماده شدند؛ سپس عصاره حاصل در ۰/۱ نرمال اسید کلریدریک حل گردید و محتوای بور به روش رنگ‌سنجی در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از روش آزومتین- اچ تعیین گردید (Wolf, 1971).

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها توسط نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) تجزیه آماری و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

مقدار بور و علائم سمیّت بور

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش غلظت بور در محلول غذایی، از ۰/۰۵ میلی‌مولار به یک میلی‌مولار، مقدار بور برگ ۹/۳ برابر افزایش یافت (جدول ۳). همچنین مقدار بور برگ در غلظت اسید سالیسیلیک ۰/۵ و یک میلی‌مولار به‌ترتیب ۵/۵ و ۱۳/۲ درصد بیشتر از غلظت شاهد اسید سالیسیلیک بود (جدول ۲).

در این آزمایش علائم سمیت بور روی برگ‌ها شدید نبود. این علائم به‌صورت سوختگی در حاشیه برگ‌های کاهو فقط در غلظت یک میلی‌مولار بور در اواخر دوره رشد مشاهده گردید. علائم سمیت بور روی برگ‌ها توسط تیمار اسید سالیسیلیک تعدیل نشد. لازم به ذکر است که علائم سمیت در کاهو از برگ‌های جوان شروع شد و سپس به برگ‌های پیر انتقال یافت، چون‌که بور در برگ‌های جوان بیشتر از برگ‌های پیر در شرایط سمیت تجمع می‌یابد (Chatzissavvidis & Therios, 2010). نتایج این آزمایش همسو با یافته‌های Eraslan و همکاران (۲۰۰۷) در گیاه گوجه‌فرنگی و فلفل بود که گزارش کردند با افزایش غلظت بور در محیط ریشه، غلظت بور در برگ نیز افزایش یافت. وجود علائم سمیت در برگ‌های جوان ممکن است ناشی از انتقال بور از برگ‌های بالغ به بافت‌های در حال رشد باشد. زیرا در شرایط سمیت، در برگ‌های بالغ کربوهیدرات انباشته شده و در نتیجه انتقال بور به برگ‌های جوان انجام می‌شود (Han *et al.*, 2008).

شاخص‌های رشدی کاهو

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، وزن تر برگ کاهو در ترکیب تیماری ۰/۰۵ میلی‌مولار بور و صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در حدود ۵۵ درصد بیشتر از ترکیب تیماری یک میلی‌مولار بور و اسید سالیسیلیک بود. حداکثر سطح برگ کاهو (۶۸۷۰ سانتی‌مترمربع در بوته) مربوط به تیمار شاهد (۰/۰۵ میلی‌مولار بور) و ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و حداقل آن (۳۶۸۹ سانتی‌مترمربع در بوته) به تیمار یک میلی‌مولار بور و اسید سالیسیلیک اختصاص داشت که کاهش ۴۰ درصدی در سطح برگ کاهو در تیمار یک میلی‌مولار بور و اسید سالیسیلیک مشاهده گردید (جدول ۲). همچنین وزن خشک برگ در گیاهان تغذیه شده با غلظت بور یک و ۰/۵ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۱/۶ و ۱۸/۱ درصد در مقایسه با غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار بور کاهش یافت (جدول ۳).

در این آزمایش کاربرد بور بسته به غلظت مورد استفاده سبب کاهش وزن تر و خشک برگ در

غلظت یک میلی‌مولار بور و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نسبت به تیمار شاهد شد. در این مطالعه، اسید سالیسیلیک منجر به کاهش وزن تر و خشک و سطح برگ شد که این نتیجه با بسیاری از تحقیقات مبنی بر تخفیف اثرات تنش‌های خشکی، شوری و عناصر سنگین در گیاهان مختلف توسط اسید سالیسیلیک مغایرت دارد (Chaparzadeh & Hosseinzad Behboud, 2015). اسید سالیسیلیک نقش دوگانه‌ای دارد و به‌عنوان یک اکسیدکننده قوی، تأثیر آن بستگی به غلظت، شرایط محیطی و گونه‌ی گیاه دارد. زمانی‌که در غلظت پایین به‌کار برده شود قادر است از شدت تنش‌های محیطی بکاهد (Horvath *et al.*, 2007). افزایش سطوح بور در فلفل و گوجه‌فرنگی وزن تر و خشک را کاهش داد (Eraslan *et al.*, 2007). اما در این تحقیق دلیل کاهش وزن تر و خشک برگ کاهو در سمیت یک میلی‌مولار بور ممکن است ناشی از کاهش محتوای کلروفیل، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و نشت الکترولیت باشد. از طرف دیگر کاهش بیشتر سطح برگ در غلظت یک میلی‌مولار بور می‌تواند ناشی از اختلال در برخی فرآیندهای متابولیکی نظیر کاهش توسعه مناطق مریستمی باشد.

محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها محتوای کلروفیل a در غلظت بور ۰/۵ و یک میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۷/۳۷ و ۴۴/۱۹ درصد، محتوای کلروفیل b در غلظت‌های ۰/۵ و یک میلی‌مولار به‌ترتیب ۵/۲۰ و ۱۳/۹۸ درصد و محتوای کلروفیل کل در غلظت بور ۰/۵ و یک میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۲/۸۶ و ۳۵/۷۵ درصد نسبت به تیمار شاهد بور کاهش نشان داد (جدول ۲).

محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۰/۵ و یک میلی‌مولار باعث کاهش غلظت کلروفیل a، b و کل گردید. همچنین با افزایش غلظت بور در محلول غذایی، محتوای کاروتنوئید برگ کاهو کاهش یافت و کاهش ۳۲/۵ درصد در غلظت یک میلی‌مولار بور مشاهده شد (جدول ۳).

در این مطالعه کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در گیاهان تغذیه شده با غلظت‌های بالای بور ممکن است به‌خاطر آسیب ناشی از غلظت بالای بور به بافت برگ، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز و تجمع پرولین باشد. در این مطالعه با افزایش غلظت بور در محلول غذایی، محتوای کاروتنوئید کاهش یافت که دلیل آن ممکن است به‌خاطر حساسیت این رقم به مسمومیت بور باشد. محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در غلظت ۰/۵ و یک میلی‌مولار باعث تشدید بیشتر مسمومیت بور شد. بنابراین تأثیر اسید سالیسیلیک روی گیاهان وابسته به غلظت آن است که در غلظت پایین عملکرد و کارایی دستگاه فتوسنتزی بهبود می‌یابد ولی در غلظت‌های بالا می‌تواند تأثیر منفی بر رشد داشته باشد. کاهش کلروفیل در غلظت‌های بیش‌بود بور می‌تواند باعث کاهش کارایی فتوسنتز شود (Papadakis *et al.*, 2004). در پژوهشی Chaparzadeh و Hosseinzad-Behboud (۲۰۱۵) گزارش کردند که محتوای کلروفیل در تیمار با اسید سالیسیلیک در برگ‌های تربچه (*Raphanus sativus* L.) کاهش یافته است. از آن‌جایی که گلوتامات پیش‌نیاز بیوسنتز کلروفیل و پرولین می‌باشد، کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند فرصتی برای تولید بیشتر پرولین تحت شرایط تنش باشد (Chaparzadeh & Hosseinzad-Behboud, 2015).

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر بور و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در کاهو

بور (میلی‌مولار)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	غلظت بر (میلی‌گرم بر گرم)	وزن تر برگ (گرم)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
۰/۰۵	۰	۱۸/۳^{a}	۲۸۰/۰^{a}	۶۱۴۸^{b}	۳۰/۹۷^{a}	۶/۶۶^{a}	۳۷/۶۳^{a}
	۰/۵	۲۴/۳^{a}	۲۵۴/۴^{b}	۶۸۷۰^{a}	۲۳/۲۹^{b}	۵/۸۶^{ab}	۲۹/۱۵^{b}
	۱	۲۸/۲^{a}	۲۴۹/۵^{b}	۶۰۵۳^{b}	۲۳/۳۳^{b}	۵/۹۴^{ab}	۲۹/۲۷^{b}
۰/۵	۰	۱۳۲/۶^{a}	۲۱۰/۵^{c}	۵۱۰۸^{c}	۲۰/۴۳^{c}	۵/۳۶^{b}	۲۵/۷۹^{c}
	۰/۵	۱۳۶/۷^{a}	۲۱۰/۰^{c}	۵۰۱۳^{c}	۱۷/۹۳^{d}	۶/۳۶^{a}	۲۴/۲۹^{cd}
	۱	۱۴۴/۳^{a}	۲۰۹/۵^{c}	۵۱۰۸^{c}	۱۸/۰۰^{d}	۵/۷۸^{ab}	۲۳/۷۸^{d}
۱	۰	۲۰۹/۰^{a}	۱۹۸/۵^{c}	۴۸۲۴^{cd}	۱۵/۹۴^{e}	۵/۳۷^{b}	۲۱/۳۱^{e}
	۰/۵	۲۱۹/۰^{a}	۱۸۷/۰^{c}	۴۵۴۰^{d}	۱۴/۳۸^{e}	۵/۳۵^{b}	۱۹/۷۳^{e}
	۱	۲۳۴/۶^{a}	۱۵۲/۰^{d}	۳۶۸۹^{e}	۱۲/۹۸^{e}	۵/۱۶^{c}	۱۸/۱۴^{e}

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌داری می‌باشند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده بور و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در کاهو

تیمار	غلظت (میلی‌مولار)	وزن خشک برگ (گرم)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	فنول کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
بور (میلی‌مولار)	۰/۰۵	۱۶/۹۴^{a}	۷/۷۰^{a}	۹/۵۳^{c}
	۰/۵	۱۲/۸۱^{b}	۶/۷۵^{b}	۱۱/۲۸^{b}
	۱	۱۲/۳۳^{c}	۵/۱۹^{c}	۱۵/۰۹^{a}
اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	۰	۱۳/۷۷^{a}	۶/۹۵^{a}	۱۱/۱۹^{c}
	۰/۵	۱۳/۱۳^{a}	۶/۲۷^{c}	۱۱/۴۷^{b}
	۱	۱۳/۹۳^{a}	۶/۴۳^{bc}	۱۳/۲۳^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌داری می‌باشند.

محتوای پرولین، قند محلول و فنول برگ کاهو

غلظت پرولین برگ کاهو در ترکیب تیماری یک میلی‌مولار بور و اسید سالیسیلیک در حدود ۴۵۴ درصد بیشتر از ترکیب تیماری ۰/۰۵ میلی‌مولار بور و صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود (جدول ۴).

در تحقیق حاضر با تجمع پرولین در برگ، مقدار وزن خشک کاهو نیز کاهش یافت؛ زیرا پرولین یکی از اجزای اصلی پروتئین‌های ساختاری در گیاهان است که توانایی تعدیل اثرات منفی تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان را دارا است. در واقع پرولین در سلول نقش کلیدی در تنظیم اسمزی و همچنین پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن ایفا می‌کند (Mittler, 2002). بنابراین پرولین در شرایط تنش، در سلول ذخیره می‌شود. افزایش در غلظت پرولین تحت تنش بور می‌تواند به‌خاطر تجزیه پروتئین‌های غنی از پرولین یا مصرف کمتر پرولین در سنتز پروتئین و تنظیم متابولیسم نیتروژن باشد (Cervilla *et al.*, 2012).

محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک تأثیری در تعدیل سمیّت بور نداشت. نتایج این تحقیق هم راستا با یافته‌های Pancheya و همکاران (۱۹۹۶) بود که گزارش کردند که با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک تا یک میلی‌مولار، محتوای پرولین نیز افزایش یافت.

بر پایه نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان قند محلول برگ کاهو (۳۲/۹۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در ترکیب تیماری یک میلی‌مولار بور و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار آن (۱۸/۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در ترکیب تیماری ۰/۰۵ میلی‌مولار بور و صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌دست آمد (جدول ۴).

در پژوهش حاضر بیش‌بود بور باعث افزایش قند محلول در گیاهان شد. در شرایط تنش، قندهای محلول به‌منظور تنظیم اسمزی و حفظ آماس در سلول‌های گیاهی افزایش پیدا می‌کنند. گیاهان با ایجاد سازوکارهای حفاظتی متفاوتی از قبیل تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی مانع از تنش اکسیداتیو می‌شوند (Tian & Lei, 2006). در غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار بور و با افزایش سطح محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک محتوای کربوهیدرات افزایش یافت. افزایش قند محلول در سمیت بور ناشی از هیدرولیز کربوهیدرات‌ها بود تا برای مقابله با گونه‌های اکسیژن فعال در شرایط سمیت بور تجمع ترکیبات اسمزی بیشتر گردد. تجمع بیشتر کربوهیدرات‌ها به‌نظر می‌رسد به‌خاطر محدودیت در استفاده به‌جای افزایش سنتز آن باشد و این فرآیند باعث کاهش وزن خشک می‌شود و نتایج مشابهی در این زمینه در بررسی‌های سایر پژوهشگران نیز آمده است (Siddiqui *et al*., 2013).

در مورد محتوای فنول نیز با افزایش غلظت بور و اسید سالیسیلیک مقدار فنول افزایش قابل‌توجهی داشت (جدول ۳)، ترکیبات فنولی به‌خاطر فعالیت آنتی‌اکسیدانی نقش حفاظتی در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارند.

Sayyadi و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان داشتند که با ایجاد تنش‌های محیطی امکان افزایش کمی در متابولیت‌های ثانویه از قبیل فنول فراهم می‌شود. زیرا ترکیبات فنولیکی موجب تسهیل در جذب عناصر غذایی، افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های مربوط به فتوسنتز و انتقال بهتر مواد پرورده از منبع به مخزن می‌شوند.

در آزمایشی روی گوجه‌فرنگی، غلظت دو میلی‌مولار بور باعث افزایش غلظت فنول کل برگ شد که همسو با پژوهش حاضر بود (Luis *et al*., 2012). ترکیبات فنولی در برگ‌های کاهو تحت تنش بور به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. ترکیبات فنولی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان، می‌تواند اثرات سمی تنش‌ها را کاهش داده و بنابراین از آسیب فیزیولوژیکی به گیاهان جلوگیری کند. اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک مولکول سیگنالی گیاه نقش کلیدی در رشد، نمو و واکنش‌های دفاعی ایفا می‌کند. اسید سالیسیلیک احتمالاً می‌تواند آنزیم‌های ویژه متابولیسم ثانویه برای تولید ترکیبات دفاعی از قبیل ترکیبات فنولی را القاء نماید.

درصد نشت الکترولیت

کمترین میزان نشت الکترولیت (۱۳/۶۸ درصد) در ترکیب تیمار ۰/۰۵ میلی‌مولار بور و صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌دست آمد (جدول ۳).

بیش‌بود بور منجر به افزایش درصد نشت الکترولیت شد و محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک نتوانست اثرات منفی نشت الکترولیت را بهبود ببخشد. افرایش درصد نشت الکترولیت ممکن است به‌خاطر تغییر اسیدهای چرب ساختار غشا باشد که منجر به افزایش نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌ها و ماکرومولکول‌ها می‌گردد (Beltrano &

Ronco, 2008). تخریب غشای سلولی به‌دلیل تولید گونه‌های اکسیژن فعال در گوجه‌فرنگی و فلفل نیز گزارش شده است (Eraslan *et al.*, 2007).

فعالیت آنزیم پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز

بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش غلظت بور در محلول غذایی، فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت. کاربرد اسید سالیسیلیک نسبت به تیمار شاهد آن باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز گردید (جدول ۴).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ فقط تحت تأثیر اثر ساده اسید سالیسیلیک و اثر متقابل تیمار بور و اسید سالیسیلیک قرار گرفت. به‌طوری‌که گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی ۰/۵ میلی‌مولار بور و اسید سالیسیلیک، کمترین فعالیت آنزیم و ۰/۵ میلی‌مولار بور و صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ را داشتند (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر بور و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در کاهو

بور (میلی‌مولار)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	نشت الکترولیت (٪)	آنزیم پراکسیداز (واحد در گرم وزن تر در دقیقه)	آنزیم آسکوربات پراکسیداز (واحد در گرم وزن تر در دقیقه)
۰/۰۵	۰	۱۴/۸۲^{f}	۱۸/۲۷^{e}	۱۳/۶۸^{d}	۳۰/۶۶^{cd}	۲/۵۱^{d}
	۰/۵	۱۵/۸۶^{ef}	۲۰/۱۳^{d}	۱۴/۳۸^{d}	۲۹/۳۳^{cd}	۳/۳۳^{b}
	۱	۱۶/۷۵^{d}	۲۲/۰۹^{c}	۱۴/۶۵^{d}	۳۲/۳۳^{cd}	۲/۶۸^{cd}
۰/۵	۰	۲۶/۲۰^{cf}	۲۱/۲۱^{cd}	۱۶/۸۰^{bc}	۲۷/۳۳^{cd}	۳/۷۸^{a}
	۰/۵	۲۷/۲۲^{cd}	۲۵/۵۵^{b}	۱۵/۶۵^{dc}	۲۲/۰۰^{d}	۲/۴۷^{d}
	۱	۲۸/۲۲^{cd}	۲۵/۸۳^{b}	۱۶/۹۷^{bc}	۳۲/۰۰^{cd}	۲/۸۹^{bcd}
۱	۰	۳۴/۵۶^{c}	۲۶/۱۰^{b}	۱۷/۴۲^{b}	۳۷/۰۰^{c}	۳/۱۲^{bc}
	۰/۵	۵۰/۸۰^{b}	۳۱/۸۹^{b}	۱۹/۴۴^{a}	۵۰/۶۶^{b}	۳/۰۷^{bc}
	۱	۶۷/۳۵^{a}	۳۲/۹۲^{a}	۲۰/۸۱^{a}	۶۵/۰۰^{a}	۲/۹۱^{bcd}

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌داری می‌باشند.

حداکثر فعالیت آنزیم پراکسیداز در بالاترین غلظت بور و اسید سالیسیلیک مشاهده شد. گیاهان برای مقابله و محافظت از خود در مقابل آسیب‌های ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال دارای سیستم آنتی‌اکسیدانی هستند. در واقع مقاومت گیاهان نسبت به سمیت عناصر به توانایی آن‌ها در محدود کردن ورود عناصر به داخل سلول و فعال‌سازی سیستم تدافعی آنتی‌اکسیدانی بستگی دارد (Sharma & Dubey, 2005). تنش‌های مختلف محیطی شامل تنش‌های زیستی و غیرزیستی سبب تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن شده و تنش اکسیداتیو ایجاد می‌کنند. در شرایط سمیت و تنش یکی از اولین نشانه‌ی بیش‌بود بور در برگ افزایش سطح سوپراکسید و پراکسید هیدروژن است (Cervilla *et al.*, 2012). پراکسیداز یکی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است که نقش مهمی در

تسریع تبدیل پراکسید هیدروژن به مولکول آب و اکسیژن دارد. همکاری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر پراکسیداز به‌طور مؤثری رادیکال سوپراکسید و پراکسید هیدروژن را تجزیه نموده و گیاهان را در برابر گونه‌های اکسیژن فعال بسیار سمی هیدروکسیل محافظت می‌کنند (Gratao *et al.*, 2005). در نهایت، با توجه به یافته‌های حاصل از این پژوهش، بور به‌دلیل القا تنش اکسیداتیو و افزایش گونه اکسیژن فعال سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه کاهو شد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سمیت بور باعث کاهش وزن تر و خشک و سطح برگ، کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید برگ گردید، در حالی‌که محتوای قند محلول، پرولین، فنول، درصد نشت الکترولیت و آنزیم آنتی‌اکسیدانی برگ‌های کاهو افزایش یافت. با توجه به نتایج این پژوهش غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار بور مناسب‌ترین غلظت بور در محلول غذایی است و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌داری بر تعدیل تنش بور نداشت؛ این نتایج مغایر با بسیاری از تحقیقات است که گزارش کردند کاربرد اسید سالیسیلیک می‌تواند تا حدی از اثرات منفی تنش بور بکاهد.

Reference

- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Belkadhi, A., De Haro, A., Soengas, P., Obregon, S., Cartea, M. E., Chaibi, W. & Djebali, W. (2014). Salicylic acid increases tolerance to oxidative stress induced by hydrogen peroxide accumulation in leaves of cadmium-exposed flax (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 647-654.
- Beltrano, J. & Ronco, M. G. (2008). Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20(1), 29-37.
- Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M. & Ruiz, J. M. (2012). Parameters symptomatic for boron toxicity in leaves of tomato plants. *Journal of Botany Hindawi Publishing Corporation*, 10, 1-17.
- Chaparzadeh, N. & Hosseinzad-Behboud, E. (2015). Evidence for enhancement of salinity induced oxidative damages by salicylic acid in radish (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Plant Physiology & Breeding*, 5(1), 23-33.
- Chatzissavvidis, C. & Therios, I. (2010). Response of four olive (*Olea europaea* L.) cultivars to six B concentrations: Growth performance, nutrient status and gas exchange parameters. *Scientia Horticulturae*, 127(1), 29-38.
- El-Shazoly, R. M., Metwally, A. A. & Hamada, A. M. (2019). Salicylic acid or thiamin increases tolerance to boron toxicity stress in wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 42(7), 702-722.
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. & Alpaslan, M. (2007). Boron toxicity alters nitrate reductase activity, proline accumulation, membrane permeability, and mineral constituents of tomato and pepper plants. *Journal of Plant Nutrition*, 30(6), 981-994.

- Gratao, P. L., Polle, A., Lea, P. J. & Azevedo, R. A. (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*, 32(6), 481-494.
- Han, S., Chen, L. S., Jiang, H. X., Smith, B. R., Yang, L. T. & Xie, C. Y. (2008). Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 165(13), 1331-1341.
- Hemeda, H. M. & Klein, B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. *Journal of Food Science*, 55(1), 184-185.
- Herrera-Rodriguez, M. B., Gonzalez-Fontes, A., Rexach, J., Camacho-Cristobal, J. J., Maldonado, J. M. & Navarro-Gochicoa, M. T. (2010). Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. *Plant Stress*, 4(2), 115-122.
- Hoagland, D. R. & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. *California Agriculture Experimental Station Circular*, 374, 1-32.
- Horvath, E., Szalai, G. & Janda, T. (2007). Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(3), 290-300.
- Irigoyen, J. J., Einerich, D. W. & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1), 55-60.
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A. & Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1-17.
- Lichtenthaler, H. K. & Wellburn, A. R. (1983). Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls a and b Leaf Extracts in Different Solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591-592.
- Marinova, D., Ribarova, F. & Atanassova, M. (2005). Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40(3), 255-260.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405-410.
- Nakano, Y. & Asada, K. (1987). Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by mono dehydro ascorbate radical. *Plant and Cell Physiology*, 28(1), 131-140.
- Pancheva, T. V., Popova, L. P. & Uzunova, A. N. (1996). Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *Journal of Plant Physiology*, 149, 57-63.
- Papadakis, I. E., Dimassi, K. N., Bosabalidis, A. M., Therios, I. N., Patakas, A. & Giannakoula, A. (2004). Boron toxicity in 'Clementine'mandarin plants grafted on two rootstocks. *Plant Science*, 166(2), 539-547.
- Rivas-San Vicente, M. & Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 62(10), 3321-3338.
- Sahin, S., Klsa, D., Goksu, F. & Gebologlu, N. (2017). Effects of boron applications on the physiology and yield of lettuce. *Annual Research & Review in Biology*, 21(6), 1-7.
- Sairam, R. K. & Srivastava, G. C. (2001). Water stress tolerance of wheat (T*riticum aestivum* L.): variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186(1), 63-70.

- Sayyadi, E., Ahmadi, J., Asghari, B. & Hosseini, S. M, (2015). Evaluation of the effects of drought and salinity on the phenolic compounds of the medicinal plant (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Ecophytochemistry of Medicinal Plants*, 2(4), 50-61. (In Farsi)
- Sharma, P. & Dubey, R. S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 35-52.
- Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Sakran, A. M., Ali, H. M., Basalah, M. O., Faisal, M. & Al-Amri, A. A. (2013). Calcium-induced amelioration of boron toxicity in radish. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(1), 61-71.
- Tabatabaei, S. J. (2009). *Principles of Plant Mineral Nutrition*. Kharazmi. Tabriz. Iran. (In Farsi)
- Tian, X. & Lei, Y. (2006). Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, 50(4), 775-778.
- Wolf, B. (1971). The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2(5), 363-374.
- Xue, H., Aziz, R. M., Sun, N., Cassady, J. M., Kamendulis, L. M., Xu, Y. & Klaunig, J. E. (2001). Inhibition of cellular transformation by berry extracts. *Carcinogenesis*, 22(2), 351-356.
- Yalpani, N., Enyedi, A. J., Leon, J. & Raskin, I. (1994). Ultraviolet light and ozone stimulate accumulation of salicylic acid, pathogenesis-related proteins and virus resistance in tobacco. *Planta*, 193(3), 372-376.