گیاه و زیست فناوری ایران
Iranian Journal of Plant & Biotechnology (IJPB)

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر صفات مورفوفیزیولوژیک و میزان اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط تنش شوری

علیرضا قبادی[۲] و علیرضا لادن‌مقدم (نویسنده مسئول)[۲*]

۱- کارشناس‌ارشد، گروه علوم باغبانی، واحد علی‌آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی‌آباد کتول، ایران، Alireza.Ghf1959@gmail.com

۲*- دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، ladan_moghaddam@yahoo.com

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۲

Evaluation of the effect of salicylic acid on morphological and physiological traits and essential oil of (*Mentha piperita* L.) under salinity stress

Alireza Ghobadi[2] and Alireza Ladan Moghadam (Corresponding author)[2*]

1- M.Sc Student, Department of Horticulture, Aliabad katoul Branch, Islamic Azad University, Aliabad katoul, Iran, Alireza.Ghf1959@gmail.com

2*- Associate Professor, Department of Horticulture, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, ladanmoghadam.alireza@gmail.com

Received: May 2023 Accepted: October 2023

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر صفات رویشی، فیزیولوژیک و میزان اسانس گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط تنش شوری، آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در سه تکرار در گلخانه‌ای واقع در شمال ایران انجام شد، تیمارها شامل محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و تنش شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلرید سدیم) بود که تنش شوری در مرحله شش برگی هفته‌ای دو بار به صورت آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نیز در سه مرحله از مرحله چهار برگی به فاصله زمانی ۱۰ روز یکبار اعمال شد. نتایج نشان داد، افزایش تنش شوری کلیه صفات مورد ارزیابی به جز پرولین را کاهش داد و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تاثیر مثبتی در بهبود این صفات تحت شرایط تنش داشت، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، محتوای کلروفیل کل و درصد اسانس در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری شاهد و بیشترین طول ریشه در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. همچنین بیشترین محتوای فنل و فلاونوئید در تیمار اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود و در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیز بیشترین محتوای پرولین مشاهده شد. لذا با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر را جهت کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه نعناع فلفلی توصیه نمود.

کلمات کلیدی: اسید سالیسیلیک، شوری، فنل، فلاونوئید، نعناع فلفلی

Abstract

In order to investigate the effect of salicylic acid foliar application on the vegetative and physiological traits and the amount of essential oil of peppermint plant (*Mentha piperita* L.) under salinity stress conditions, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design in three replications in a greenhouse located in the north of Iran. The treatments included Foliar spraying of salicylic acid (zero, 50 and 100 mg/l) and salinity stress (zero, 50, 100 and 150 mg/l of sodium chloride) were the salinity stress at the six-leaf stage twice a week in the form of irrigation and foliar spraying of salicylic acid. It was applied in three stages of the four-leaf stage at a time interval of 10 days. The results showed that all the evaluated traits were significant at the level of 1 and 5%, increasing the salinity steress reduced all the evaluated traits except proline and salicylic acid foliar application had a positive effect on improving these traits under stress conditions. Fresh and dry weight of shoots and roots, plant height, total chlorophyll and essential oil percentage in salicylic acid treatment 100 mg/l and control salinity level and maximum root length in salicylic acid treatment 100 mg/l and the salinity level of 50 mg/l were obtained. Also, the highest content of phenol and flavonoids was observed in the treatment of salicylic acid 50 mg/l and the salinity level of 50 mg/l, and in the treatment of salicylic acid 100 mg/l and the salinity level of 150 mg/l the highest proline was observed. Therefore, according to the results of the present study, foliar application of salicylic acid at a concentration of 100 mg/l can be recommended to reduce the negative effects of salinity stress on peppermint.

Keywords: Flavonoids, Phenol, Peppermint, Salicylic acid, Salinity

مقدمه و کلیات

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) گیاه دارویی ارزشمندی است که بومی مناطق مدیترانه‌ای می‌باشد و اندام هوایی آن دارای اسانس، ترکیب‌های فنلی، فلاونوئیدها، اسیدهای چرب، ویتامین‌ها، عناصر معدنی و اسید سالیسیلیک است (Rita and Animesh, 2011). مهمترین ترکیب‌های فیتوشیمیایی نعناع فلفلی در اسانس آن است که ارزش آن به میزان منتول، منتون، پولگون و منتوفوران بستگی دارد، این گیاه در صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و خاصیت ضدباکتری و قارچی، آنتی‌اکسیدانی و ضدتومور آن مورد مطالعه قرارگرفته‌است (Najjarzadeh *et al*., 2017). تنش شوری یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان است که از طریق افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک، برهم خوردن تعادل عناصر غذایی و همچنین ایجاد سمیت ناشی از تجمع سدیم و کلر در گیاه باعث اختلال در رشد گیاه می‌شود، همچنین پاسخ گیاه به شوری به غلظت نمک و نسبت یون‌ها بستگی دارد، در خاک‌های شور یا سدیمی، غلظت بالای سدیم نه تنها باعث اختلال در جذب پتاسیم در ریشه‌ها می‌شود، بلکه ممکن است، غشای سلول‌های ریشه را نیز تخریب کرده و توان آن را در ورود انتخابی سایر یون‌ها تغییر دهد (آقائی و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه استفاده از انواع اسیدهای آلی برای بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی رواج پیدا کرده است (Heidari and Minaei, 2014). اسید سالیسیلیک از ترکیبات فنلی و یکی از هورمون‌های گیاهی است که در همه اندام‌های گیاهی وجود دارد و بر طیف وسیعی از واکنش‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی در گیاهان موثر است، اسید سالیسیلیک بر افزایش رشد گیاه، میزان کلروفیل، افزایش جذب و انتقال یون‌ها موثر است، هم‌چنین موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، متابولیت‌های ثانویه و ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌شود (Belkhadi *et al*., 2010). پیرامون تاثیر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و تنش شوری نتایج نور افکن و انگوتی، (۱۳۹۷) در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) نشان داد، تنش شوری موجب کاهش شاخص سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، وزن خشک ساقه، سطح ویژه برگ و افزایش نشت الکترولیت و تعداد برگ در گیاه شد، در حالیکه کاربرد اسید سالیسیلیک موجب بهبود صفات تحت تنش شوری گردید، همچنین در پژوهشی دیگر عندلیبی و همکاران (۱٤۰۰)، اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و تنش شوری را بر بالنگو شهری (*Lallemantia iberica* (M.B.) Fisch. & C.A. Mey) مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد، افزایش شدت تنش شوری ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی، محتوی کلروفیل و عملکرد دانه را کاهش داد، در حالیکه محتوای پرولین و درصد اسانس افزایش یافت و کاربرد اسید سالیسیلیک موجب بهبود صفات مورد ارزیابی گردید. با توجه به اهمیت استفاده از اسیدهای آلی جهت کاهش اثرات تنش شوری، هدف از این پژوهش بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و میزان اسانس گیاه

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری می‌باشد.

فرآیند پژوهش

کشت گیاهان و اعمال تیمارها: به منظور بررسی اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر صفات مورفوفیزیولوژیک و میزان اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط تنش شوری آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در نیمه دوم اردیبهشت ماه سال ۱٤۰۰ در گلخانه‌ای واقع در شهرستان گرگان اجرا گردید. تیمارها شامل محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و تنش شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلرید سدیم) و شرایط گلخانه شامل میانگین دمای روز و شب ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی حدود ٦۰ درصد و نور ٦۰ تا ۷۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود. ریزوم‌های شستشو داده شده و در نیمه دوم اردیبهشت ماه سال ۱٤۰۰ در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۸ سانتی‌متر در عمق ۳ تا ٤ سانتی‌متری کشت شدند، شرایط آبیاری گیاهان تا پیش از اعمال تیمارها یکسان بود و پس از استقرار گیاهان در گلدان‌ها در مرحله شش برگی اقدام به اعمال تیمارهای مورد بررسی شد. محلول شوری در غلظت‌های مختلف تهیه شد و به صورت آبیاری، گیاهان هفته‌ای دو بار آبیاری شدند. جهت تهیه محلول اسید سالیسیلیک از آب مقطر استفاده شد و تیمارهای شاهد توسط آب مقطر محلول‌پاشی شدند، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نیز در سه مرحله از مرحله چهار برگی به فاصله زمانی ۱۰ روز یکبار اعمال و در نهایت نمونه برداری و ارزیابی صفات حدود ۲ هفته بعد از آخرین محلول پاشی در مرحله گلدهی انجام شد.

وزن تر و خشک اندام هوایی: وزن تر اندام هوایی با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت صدم گرم توزین شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون ٤۰ درجه نگهداری شدند و در نهایت توسط ترازوی دیجیتالی با دقت صدم گرم توزین شد (Soroori *et al.*, 2022).

ارتفاع و طول ریشه: ارتفاع گیاه و طول ریشه نیز با استفاده از متر فلزی اندازه‌گیری شد (Soroori *et al.*, 2022).

کلروفیل کل: محتوای کلروفیل کل با استفاده از روش شرح داده شده توسط Danaee و Abdossi (2019) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV Visible مدل Spectro Flex 6600) در طول موج‌های ٦٦۳ نانومتر برای کلروفیل a و ٦٤۵ نانومتر برای کلروفیل b اندازه‌گیری و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

پرولین: مقدار پرولین برگ بر اساس روش Momeni و همکاران (۲۰۲۱) و در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ بیان شد.

فنل: میزان فنل کل با استفاده از معرف فولین-سیکالچیو اندازه‌گیری شد و میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷٦۰ قرائت شد و بر حسب میلی‌گرم (گالیک اسید) بر

گرم وزن خشک برگ محاسبه شد (McDonald *et al.*, 2001).

فلاونوئید: جهت اندازه گیری میزان فلاونوئید برگ، میزان جذب عصاره‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤١٥ نانومتر قرائت گردید و در نهایت برحسب میلی‌گرم (کوئرستین) بر گرم وزن خشک برگ بیان شد (Chang *et al.*, 2002).

اسانس: جهت استخراج اسانس اندام هوایی نعناع فلفلی از دستگاه کلونجر (Shimadzu modelQP5050A) استفاده شد و در نهایت میزان اسانس بر حسب درصد وزنی در صد گرم ماده خشک بیان گردید (Asgarian *et al.*, 2021).

تجزیه و تحلیل آماری: آنالیز آماری توسط نرم‌افزار آماری SAS (ver 9.1) انجام گردید. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱ و ۵ درصد ارزیابی و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel (۲۰۱٦) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تنش شوری و محلول‌پاشی بر وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، ارتفاع گیاه، طول ریشه، کلروفیل کل، پرولین و درصد اسانس در سطح آماری ۱ درصد و بر وزن خشک ریشه، فنل و فلاونوئید در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تنش شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر برخی صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی

Table 1. Analysis of variance of the effect of salt stress and salicylic acid foliar application on morpho-physiological traits and essential oil of *Mentha piperita* L.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	ارتفاع گیاه	طول ریشه	کلروفیل کل	پرولین	فنل	فلاونوئید	درصد اسانس
شوری	۳	۳۹۹/۳۸ **	۲۸۳/۸٤ **	۳۵۲/۱۳۸ **	۲٤٥/٦٨ **	۳٦۳/۸۸ **	۳٤۳/۱۰ **	۱۹٥/۰۳ **	۳۹٥/۹۲ **	۱۸٦/٦٥ **	۱۳٤/٤۱**	۱۲۱/٥٦**
اسید سالیسیلیک	۲	۱۳۰/۷۰ **	۹۰/۳٦ **	۱۰۸/۰۲ **	۸۷/۳۸٤ **	۱۲۹/۰۹ **	۱۱۰/۷۸ **	٦۰/۰۸ **	۱۳۷/٥۹ **	٦۹/۲٤ **	٤۹/۲۱*	٤۹/۷۸**
شوری× اسید سالیسیلیک	٦	۸٥/۳٤ **	۷۸/٥۸ **	۸۳/۷٥ **	٦٦/۷۹ *	۹۷/٤۹ **	۸۹/۳۹ **	۳۸/٤۳ **	۹۱/۷۰ **	٤۹/۳۲ *	۲۷/۳۸*	۳٥/٦۳**
خطا	۲٤	۰/۷۲	۰/٥٦	۰/۹٦	۰/۱۹	۰/۳۷	۰/٥۷	۰/۲٥	۰/٤۷	۰/۱۲	۰/۲٦	۰/۱۹
ضریب تغییرات(٪)	-	۱۲/٦۲	۱۳/۸۳	۱۰/٤۱	۱۲/۲٥	۱۳/٦۳	۱۳/۸٤	۸/۹۸	۱۱/۳٥	۹/۳٤	۱۰/۲۷	۸/۳

****، *، ns به ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار**

وزن تر و خشک اندام هوایی: بررسی داده‌ها نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی (۲۳/۷۳–۶/۴۵ گرم) در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری شاهد و کمترین (۷/۱۷ – ۲/۵ گرم) در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (جدول ۲).

وزن تر و خشک ریشه: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک ریشه به ترتیب با ۶/۴–۳ گرم مربوط به تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری شاهد و کمترین با ۵/۵۸–۱/۲ گرم مربوط به تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۲).

ارتفاع گیاه: نتایج نشان داد، در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری شاهد بیشترین (۲۵/۵ سانتی‌متر) و تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کمترین (۱۱/۵ سانتی‌متر) ارتفاع گیاه مشاهده شد (جدول ۲).

طول ریشه: بررسی ها نشان داد، بیشترین طول ریشه با ۲۱/۸۳ سانتی‌متر مربوط به تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شوری ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۱۰/۳۶ سانتی‌متر مربوط به تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۲).

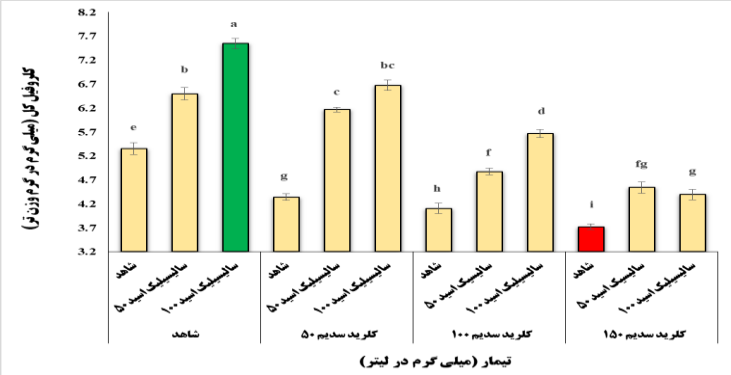
جدول ۲- اثر تنش شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های رشدی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Table 2. The effect of salt stress and salicylic acid foliar application on the growth indices of *Mentha piperita* L.

تنش شوری (میلی‌گرم در لیتر کلرید سدیم)	اسید سالیسیلیک (میلی‌گرم در لیتر)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	طول ریشه (سانتی‌متر)
شاهد	۰	۱۵/۳۰^{e}	۴/۸^{d}	۴/۰۸^{e}	۲/۰۰^{c}	۲۱/۱^{c}	۱۵/۰۰
	۵۰	۱۷/۶۵^{d}	۵/۳۲^{b}	۵/۱۵^{c}	۲/۱۹^{b}	۲۳/۵^{b}	۱۶/۰۳^{e}
	۱۰۰	۲۳/۷۳^{a}	۶/۴۵^{a}	۶/۴^{a}	۳/۰۰^{a}	۲۵/۵^{a}	۱۹/۴۶^{b}
۵۰	۰	۱۲/۴۳^{fg}	۳/۶۶^{f}	۴/۳۸^{d}	۲/۱۵^{d}	۱۸/۸۳^{e}	۱۷/۰۰^{d}
	۵۰	۱۹/۵۳^{c}	۴/۵۷^{d}	۵/۶۳^{b}	۲/۲۸^{c}	۲۰/۰۰^{d}	۱۸/۳۳^{c}
	۱۰۰	۲۰/۳۶^{b}	۵/۹۳^{c}	۵/۷۴^{b}	۲/۵۳^{b}	۲۳/۳۳^{b}	۲۱/۸۳^{a}
۱۰۰	۰	۸/۶۶^{g}	۳/۰۰^{fg}	۳/۰۰^{g}	۱/۸۲^{f}	۱۵/۰۰^{f}	۱۴/۱۱^{f}
	۵۰	۱۰/۸۶^{fg}	۳/۷۳^{f}	۳/۰۸^{e}	۱/۹۲^{e}	۱۳/۸۳^{fg}	۱۷/۰۰^{d}
	۱۰۰	۱۴/۶۴^{f}	۴/۶۳^{d}	۴/۵۲^{d}	۲/۳^{c}	۱۶/۸۳^{ef}	۱۸/۳۳^{c}
۱۵۰	۰	۷/۱۷^{h}	۲/۵^{g}	۲/۵۸^{h}	۱/۵^{h}	۱۱/۵^{g}	۱۰/۳۶^{h}
	۵۰	۹/۸۹^{g}	۲/۹۴^{fg}	۳/۱۵^{f}	۱/۶۵^{g}	۱۲/۶۶^{fg}	۱۱/۶۶^{gh}
	۱۰۰	۱۲/۴۷^{fg}	۳/۹۳^{e}	۳/۹۵^{e}	۱/۹۱^{f}	۱۱/۱۶^{h}	۱۲/۶^{g}

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq0.05$ است

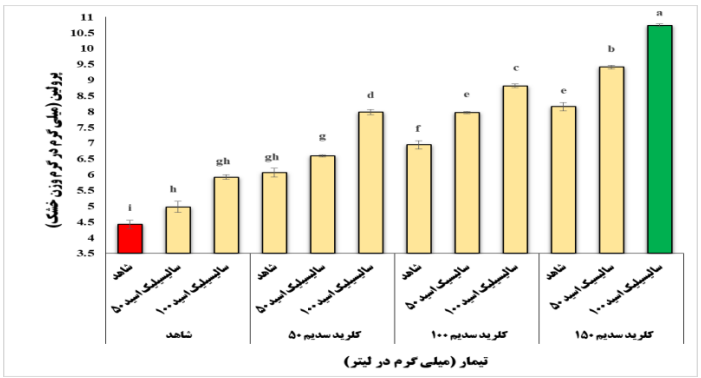
کلروفیل کل: نتایج مقایسه میانگین داده نشان داد، بیشترین و کمترین کلروفیل کل گیاه به ترتیب با ۷/۵٤ و ۳/۷۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و سطح شوری شاهد و شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱- اثر شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر مجتوای کلروفیل کل نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 1- The effect salt stress and salicylic acid foliar application on total leaf chlorophyll content of *Mentha piperita* L.

پرولین: نتایج نشان داد، در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین (۱۰/۷۳ میلی‌گرم در لیتر) و شاهد کمترین (٤/٤۲ میلی‌گرم در لیتر) پرولین مشاهده شد (شکل ۲).

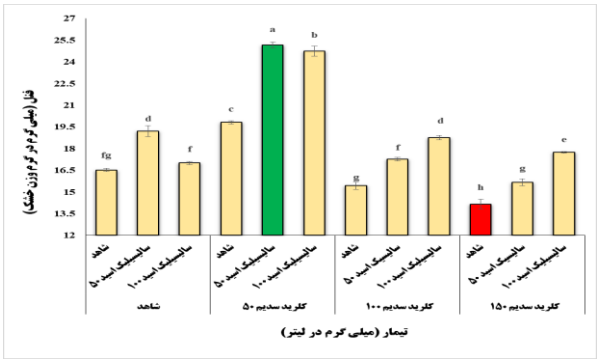


شکل ۲- اثر شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای پرولین نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 2- The effect salt stress and salicylic acid foliar application on proline content of *Mentha piperita* L.

فنل: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، بیشترین فنل (۲۵/۱٦ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار سالیسیلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شوری ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین (۱٤/۰٦ میلی‌گرم در گرم)

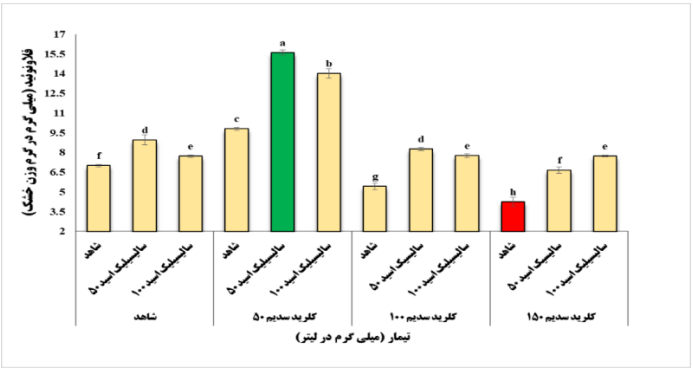
مربوط به شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۳).



شکل ۳- اثر شوری و محلول‌پاشی پاسید سالیسیلیک بر محتوای فنل نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 3- The effect salt stress and salicylic acid foliar application on phenol content of *Mentha piperita* L.)

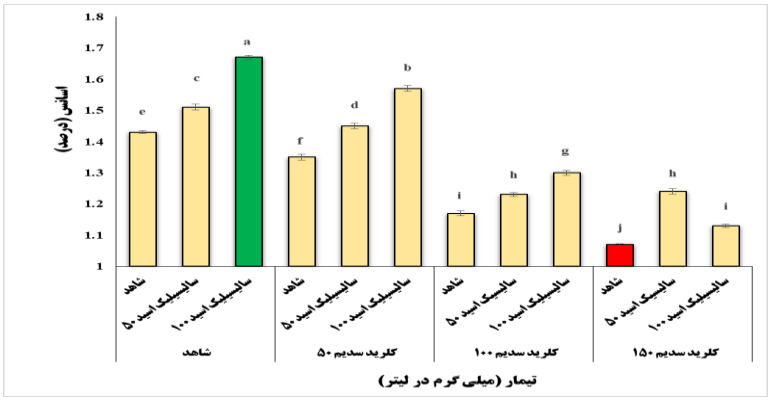
فلاونوئید: بررسی داده‌ها نشان داد، بیشترین محتوای فلاونوئید (۱۵/٦ میلی‌گرم در گرم) در تیمار اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری شاهد و کمترین (٤/۲۵ میلی‌گرم در گرم) در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد (شکل ٤).



شکل ٤- اثر شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای فلاونوئید نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 4- The effect salt stress and salicylic acid foliar application on flavenoid content of *Mentha piperita* L.

اسانس: بررسی‌ها نشان داد، بیشترین میزان اسانس با ۱/٦۷ درصد مربوط به تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۱/۰۷ درصد مربوط به شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود (ن شکل ۵).



شکل ۵- اثر شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر درصد اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 5- The effect salt stress and salicylic acid foliar application on essential oil of *Mentha piperita* L.

در این پژوهش تنش شوری وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نعناع فلفلی را کاهش داد، زیرا تنش شوری موجب کاهش پتانسیل آب، عدم تعادل یونی و سمیت در گیاه می‌شود، که موجب تحت تاثیر قرار دادن رشد گیاه در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تغییر در طیف جذبی کلروپلاست‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود و در نهایت موجب کاهش شاخص‌های رشدی گیاه می‌گردد (Fazeli *et al.*, 2018). اسید سالیسیلیک نیز به عنوان مولکول پیام رسان، اساساً در پاسخ به تنش‌های محیطی در گیاهان نقش دارد، در شرایط تنش در بافت‌های گیاه، تجمع یافته و سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری می شود، این تاثیر مثبت می‌تواند به افزایش میزان فتوسنتز، تولید ماده خشک و نیز جذب بیشتر مواد معدنی توسط گیاه در ارتباط باشد (Eshghi *et al.*, 2017). مطابق با نتایج این تحقیق در گیاه درمنه (*Artemisia annua* L.) تاثیر مثبت اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری توسط اسکندری زنجانی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش شده است. تنش شوری موجب کاهش ارتفاع گیاه گردید، ارتفاع گیاه یکی از خصوصیات مورفولوژیکی است که به شدت تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد و در این شرایط عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش، کوتاه شدن دوره رشد گیاه و نیز مکانیزم‌های فرار از تنش همگی می‌توانند مانع از توسعه عادی سلول‌ها و درنتیجه کاهش ارتفاع گیاه شوند (Munns and Tester,2008)، از سویی دیگر کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش ارتفاع گیاه تحت تنش شوری گردید، زیرا اسید سالیسیلیک با افزایش در مقدار هورمون‌های اکسین و سیتوکینین موجب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (Shakirova *et al.*, 2003)، مطابق با نتایج این تحقیق در گیاه به لیمو (*Lippia citriodora*) نیز نقش مثبت اسید سالیسیلیک بر افزایش ارتفاع گیاه در شرایط تنش شوری گزارش شده است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج این تحقیق نشان داد، طول ریشه در سطح شوری ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد افزایش یافت، در حالیکه با افزایش شدت تنش از میزان آن کاسته شد، این کاهش ممکن است به دلیل

کاهش دسترسی ریشه به مواد فتوسنتزی اندام هوایی، تنش اسمزی و سمیت یونی ناشی از تنش شوری در اطراف ریشه باشد (Saqib and Qureshi, 2004)، همچنین محلول‌پاشی سالیسیلیک طول ریشه را افزایش داد، زیرا کاربرد سالیسیلیک اسید موجب هدایت مواد فتوسنتزی بیشتری به سمت ریشه می‌شود و در نتیجه رشد طولی ریشه را بهبود می‌بخشد (عبداللهی و شکاری، ۱۳۹۲)، مطابق با نتایج این آزمایش محمدیان و همکاران (۱۳۹٤)، تاثیر منفی تنش شوری بر شاخص‌های ریشه بادام زمینی و عبداللهی و شکاری (۱۳۹۲)، تاثیر مثبت اسید سالیسیلیک را بر طول ریشه گیاهچه‌های گندم گزارش نمودند. نتایج نشان داد، تنش شوری موجب کاهش کلروفیل گیاه گردید که می‌تواند به علت فعال شدن مسیر کاتابولیسمی کلروفیل و یا عدم سنتز کلروفیل باشد، همچنین تنش شوری به دلیل تأثیر بر عوامل روزنه ای و کاهش ورودی اکسید کربن به سلول‌ها، کاهش سطح برگ، کاهش جذب نیتروژن به عنوان عنصر معدنی مهم در سنتز رنگدانه کلروفیل و کاهش فعالیت‌های فیتوشیمیایی موجب کاهش کلروفیل در گیاه می‌گردد (Hajiboland and Cheraghvareh, 2014). اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز و همچنین کاهش گونه‌های فعال اکسیژن با تحت تأثیر قرار دادن فرآیندهای بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی منجر به افزایش محتوای کلروفیل در گیاه می‌شود (Dolatmand shahri and Haghshenas, 2016). نتایج این آزمایش با نتایج آزادواری و همکاران (۱۳۹۹) در گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) مطابقت دارد. نتایج نشان داد، با افزایش غلظت کلرید سدیم محتوای پرولین گیاه افزایش یافت، زیرا تجمع پرولین یک پاسخ دفاعی اولیه برای حفظ فشار اسمزی در سلول است، افزایش میزان پرولین مقاومت به تنش را به وسیله جلوگیری از مهار نوری، پراکسیداسیون لیپیدهای اشباع و اکسیداسیون پروتئین‌ها افزایش می‌دهد، همچنین در پاکسازی رادیکال‌های هیدروکسیل در تنش اکسیداتیو ناشی از شوری نقش دارد (Islam *et al.*, 2009). اسید سالیسیلیک با القای برهمکنش‌های حفاظتی با واسطه هورمون اسید آبسزیک منجر به تجمع پرولین در گیاه می‌شود (Yoshiba *et al.*, 2005). نتایج این تحقیق همسو با نتایج رضایی نسب و همکاران (۱۳۹۷)، در گیاه اسطوخودوس (*Lavendula officinalis* L.) می‌باشد. نتایج این آزمایش نشان داد میزان فنل در تنش شوری ۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت، اما با افزایش تنش از میزان آن کاسته شد، تنش انرژی برانگیخته فراوانی به وجود می‌آورد و یکی از راه‌ها برای پخش این انرژی، تولید پلی فنل‌ها به ویژه در ساختارهای فتوسنتزی است (Tattini *et al.*, 2004)، در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) نیز افزایش فنل تحت تنش شوری گزارش شده است (فیروزه و همکاران، ۱۳۹۷)، همچنین اسید سالیسیلیک نیز به عنوان مولکول پیام رسان کلیدی در فعال‌سازی پاسخ‌های اختصاصی دفاعی گیاه منجر به کاهش تولید مواد اولیه و بیوسنتز و تجمع انواع ترکیبات ثانویه گیاهی از جمله ترکیبات فنولی می‌گردد (Neumann *et al.*, 2009). درویژه و همکاران (۱۳۹۸)، نیز اثر مثبت

اسید سالیسیلیک بر میزان فنل گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) را گزارش نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد، محتوای فلاونوئید در سطح تنش شوری ۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت، در حالیکه افزایش شدت تنش موجب کاهش محتوای فلاونوئید گردید، شوری و اسید سالیسیلیک هر کدام در مسیرهای فیزیولوژیک متفاوت، موجب تنظیم ژن‌های بیوسنتزی فلاونوئید می‌شوند، همچنین افزایش بیوسنتز فلاونوئیدها با افزایش گلوتاتیون-S-ترانسفراز همراه است، این آنزیم در انتقال فلاونوئیدها به واکوئل به منظور پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن نقش دارد (Gondor *et al*., 2016)، همچنین بررسی‌ها نشان داده است که اسید سالیسیلیک با بیان ژن‌های مربوط به آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در بیوسنتز فنیل پروپانوئید نقش دارند و القای این ژن موجب تجمع ترکیبات فلاونوئیدی در گیاه می‌شود (Canellas *et al*., 2015). اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر میزان فلاونوئید توسط Bistgani و همکاران (۲۰۱۹) در گیاه آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) گزارش شده است. افزایش تنش شوری میزان اسانس نعناع فلفلی را کاهش داد، برخی از پژوهشگران معتقدند که افزایش میزان سدیم در محیط ریشه و محدود شدن عرضهٔ سیتوکنین از ریشه‌ها به شاخه‌ها و در نتیجه تغییر نسبت بین سیتوکنین و اسید آبسیزیک برگ دلیل کاهش عملکرد اسانس است (شبانکاره و همکاران، ۱۳۹٤). همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک موجب بهبود میزان اسانس در شرایط تنش گردید، زیرا اسید سالیسیلیک به عنوان عامل انتقال دهنده سیگنال‌های دریافت تنش، سبب فعال شدن سیستم دفاعی گیاه و تحریک تولید اسانس می‌شود، در نتیجه کاربرد اسید سالیسیلیک با ایجاد تنش کاذب تولید اسانس را افزایش می‌دهد، همچنین از سویی دیگر با بهبود فتوسنتز و رشد گیاه موجب افزایش اسانس پیکر رویشی گیاه می‌شود (Rezaei Chiyaneh and Pirzad, 2014). مطابق با نتایج این پژوهش تنش شوری موجب کاهش درصد اسانس در نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷) گردید و کاربرد اسید سالیسیلیک نیز در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) موجب افزایش میزان اسانس شد (Sadeghian *et al*., 2013).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، محتوای کلروفیل کل و درصد اسانس در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری شاهد و بیشترین طول ریشه در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. همچنین بیشترین محتوای فنل و فلاونوئید در تیمار اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود و در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیز بیشترین محتوای پرولین مشاهده شد. با توجه با این که تنش شوری شاخص‌های رشدی و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی را کاهش داد، اما کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با بهبود اثرات تنش

موجب افزایش خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی نعناع فلفلی گردید.

منابع

۱) اسکندری زنجانی، ک.، شیرانی راد، ا.، مرادی اقدم، ا. و ت، طاهرخانی. ۱۳۹۱. اثر کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه دارویی درمنه (*Artemisia annua* L.). اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۲٤ (٦): ٤١٤-٤٢٨.

۲) آزادواری، ح.، نعیمی، م.، قلیزاده، ع. و ع، نخ زری مقدم. ۱۳۹۹. مطالعه کاربرد اسید سالیسیلیک بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت شرایط آبیاری مختلف. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۳ (٤): ۱۹۰٤-۱٦۲٦ .

۳) درویژه ح.، زاهدی، م. و ب، عباس زاده. ۱۳۹۸. تاثیر محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر رشد و خصوصیات ریشه گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) تحت تنش خشکی .مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۸ (۳۰): ۲۲۵-۲٤۲.

٤) رضایی نسب، ف.، پازکی، ع. و ر، منعم. ۱۳۹۷. اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک بر قندهای محلول, پرولین و آنزیم‌های اسطوخودوس (*Lavendula officinalis* L.) تحت تنش شوری. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱(۱): ۱٦۹-۱۵۹.

۵) عندلیبی، ب.، محمدی آذر، م.، اسماعیل پور، ب. و ف، شکاری. ۱٤۰۰. بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس *Lallemantia iberica* (M.B.) Fisch. & C.A. Mey. تحت تنش شوری، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۷(۲): ۳۸۰-۳٦٤.

٦) فیروزه، ر.، خاوری نژاد، ر.، نجفی، ف. و س، سعادتمند. ۱۳۹۷. اثرات جیبرلین بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی, پرولین, فنل و فلاونوئید در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش شوری. پژوهش‌های گیاهی (زیست شناسی ایران)، ۳۱(٤): ۸۸۹- ۹۰۱ .

۷) قاسمی، م.، قاسمی، ش.، حسینی نسب، ف. و رضایی، ن. ۱۳۹۸. بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژی گیاه به لیمو (*citriodora Lippia*) تحت تنش شوری. پژوهش‌های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲٦(٤): ۱٦۳-۱۷٦.

۸) قربانی، م.، موحدی، ز.، خیری، ع. و م، رستمی. ۱۳۹۷. تاثیر تنش شوری بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک و کمیت و کیفیت اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱(۲): ٤۲۰-٤۱۳.

9) Asgarian, H., Abdossi, V., Danaee, E. and A, Ladan Moghadam. 2021. Effects of using humic acid and selenium on some morphophysiological characteristics of Calendula officinalis L. under salinity stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(4): 596-611.

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

11) Bistgani, Z. E., Hashemi, M., DaCosta, M., Craker, L., Maggi, F. & Morshedloo, M. R. 2019. Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and Thymus daenensis Celak. Industrial Crops and Products, 135: 311-320

12) Canellas, L. P., Silva, S. F., and F. L, Olivares. 2015. Foliar application of Herbaspirillum Seropedicae and humic acid increase maize yields. Journal of Food Agriculture and Environment, 13: 146-153.

13) Chang, C. C., Yang, M. H., Wen H. M. and J. C, Chern. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food and Drug Analysis, 10(3):178-182.

14) Danaee, E. and V, Abdossi. 2019. Evaluation of the effect of foliar application of iron, potassium and zinc nanocholate on enzymatic activity and

nutritional value of some leafy vegetables. Technology and Nutrition, 16(2): 45-53.
15) Eshghi, S., Moharami, S. and B, Jamali. 2017. Effect of salicylic acid on growth, yield and fruit quality of strawberry cv. 'Paros' under salinity conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 7(4): 163-174.
16) Fazeli, A., Zarei, B. and Z, Tahmasebi. 2018. The effect of salinity stress and salicylic acid on some physiological and biochemical traits of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Plant Biology, 9(4): 68-83.
17) Gondor, O. K., Janda, T., Soos, V., Pal, M., Majlath, I., Adak, M. K., Balazs, E. and G, Szalai. 2016. Salicylic acid induction of flavonoid biosynthesis pathways in wheat varies by treatment. Frontiers in Plant Science, 7: 1447.
18) Hajiboland, R. and L, Cheraghvareh. 2014. Influence of Si supplementation on growth and some physiological and biochemical parameters in saltstressed tobacco (*Nicotiana rustica* L.) plants. Journal of Sciences, 25(3):205-217
19) Heidari, M. and A, Minaei. 2014. The effect of drought stress and humic acid on flower yield and concentration of high nutrients in borage (Borago officinalis L). Journal of Plant Production Research, 21(1): 167-182.
20) Islam, M.M., Hoque, M.A., Okuma, E., Banu, M.N., Shimoishi, Y., Nakamura, Y. and Y, Murata. 2009. Exogenous proline and glycinebetaine increase antioxidant enzyme activities and confer tolerance to cadmium stress in cultured tobacco cells. Journal of Plant Physiology, 166(15): 1587-1597.
21) Kumar, P.A. and D. A Bandhu. 2005. Tolerance Salt and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60: 324- 349.
22) McDonald, S., Prenzler, PD., Autolovich, M. and K, Robards. 2001. Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. Food Chemistry, 73: 73-84.
23) Momeni, A. 2010. Geoghephical distrbiotion and salinity level of Iranian soils. Irannian Journal of Siol Re- seach, 24(3):1-5.
24) Momeni, S., fahmideh, L., Emamjomeh, A., Solouki, M. and J, Zahiri. 2021. Effect of drought stress on morphological and physiological traits of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 15(60): 61-78.
25) Munns, R. and M, Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annu Rev Plant Biol, 59: 651-81
26) Najjarzadeh, S., Panahandeh, J., Salteh, S. and F, Zaare-Nahandi. 2017. Effect of salicylic acid and putrescine on some physiological characters and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Horticultural Science, 47(4): 655-667.
27) Neumann, K. H., Kumar, A. and J, Imani. 2009. Plant cell and tissue culture. A tool in biotechnology. Springer, Verlag Berlin Heidelberg. 333pp.
28) Rita, P. and D.K Animesh. (2011). An updated overview on peppermint (*Mentha* piperita L.). International Research *Journal* of Pharmacy, 2(8): 1-10.
29) Sadeghian, F., Hadian, J., Hadavi, M., Mohamadi, A., Ghorbanpour, M. and R, Ghafarzadegan. 2013. Effects of Exogenous Salicylic Acid Application on Growth, Metabolic Activities and Essential Oil Composition of Satureja khuzistanica Jamzad. J. Med. Plants, 12 (47): 70-82
30) Saqib, M., Akhtar, J. and R.H, Qureshi. 2004. Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil: II. Root growth and leaf ionic relations. Soil and Tillage Research, 77(2): 179-187.
31) Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bozrutkova, M.V., Fatkhutdinova, R.A. and D.R, Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Sci, 164:317.
32) Soroori, S., Danaee, E., hemmati, K. and A ladanmoghadam. 2022. Effect of spermidine foliar application on some morphophysiological traits and secondary metabolites of marigold (*Calendula officinalis* L.) under drought stress. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 17(66): 108-125.
33) Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Massai, R., Remorini, D. and G, Agati. 2004. Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of *Ligustrum vulgare* under excess light and drought stress. New Phytologist, 163: 547-561.

34) Yoshiba, Y., Yamada, M., Morishita, H., Uran, K., Shiozaki, N., Yamaguchi, K. and K, Shinozaki. 2005. Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress. Experimental Botany, 56 (417): 1975-1986.