

اثر عصاره جلبک دریایی بر رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی شمعدانی عطری (*Pelargonium*

graveolens cv. Bourbon) در شرایط تنش شوری

سیده شقایق نبوی^۱، مرضیه قنبری جهرمی^{۱*}، نجم‌الدین مرتضوی^۲

۱- گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

۲- دانشکده کشاورزی، گروه باغبانی، دانشگاه زنجان، زنجان

✉ ghanbari@iaau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۸/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۲۵

چکیده

استفاده از کودهای زیستی برای کاهش اثرهای تنش‌های محیطی در گیاهان اهمیت ویژه‌ای دارد. پژوهش حاضر برای بررسی اثر عصاره جلبک دریایی بر رشد، خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی شمعدانی عطری (*Pelargonium graveolens* cv. Bourbon) زیر تنش شوری انجام شد. تنش شوری در سه سطح (۰، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) با عصاره جلبک (۰، ۵/۰، ۱ و ۲ گرم در لیتر)؛ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که تنش شوری ۱۲۰ میلی‌مولار سبب کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک گیاه (وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه) و میزان رنگدانه‌های نورساختی (سبزینه a، b و کل) گیاه شد. استفاده از عصاره جلبک سبب کاهش اثر تنش شوری در شمعدانی عطری شد. در تنش شوری ۱۲۰ میلی‌مولار و عدم کاربرد عصاره جلبک بیشترین مقدار ساخت کربوهیدرات محلول (۳۶/۶۹٪) و پرولین (۳۷/۶۳٪) نسبت به شاهد مشاهده شد. نتایج کلی پژوهش نشان داد که شمعدانی عطری نسبت به تنش شوری ملایم تا حدودی نسبت به تنش شوری شدید، متحمل‌تر عمل نمود و عصاره جلبک نقش مهمی در تعدیل اثر منفی تنش شوری با افزایش رشد و تولید ترکیبات متابولیک گیاه شمعدانی عطری دارد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش محیطی، محرک زیستی، وزن تر.

مقدمه

گونه‌های شمعدانی از نظر صنعت گلکاری و تولید اسانس ژرانیوم دارای اهمیت هستند (Juliani et al., 2006)، شمعدانی عطری^۱ گیاهی مفید و پرکاربرد است که در تزئین فضای سبز شهری و معابر و نیز گلجای‌های شهری، مواد آرایشی و صابون‌ها، داروسازی، عطرسازی، صنایع غذایی و به عنوان ضدعفونی‌کننده‌های هوا و آب (Ali et al., 2018) و برای ضدعفونی و تحریک سیستم لنفاوی و نیز درمان زخم‌ها، آبسه و تب استفاده می‌شود (Lalli et al., 2008). شوری از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای نازیوا است. بنابراین کاهش اثرات تنش شوری، می‌تواند اثر مثبتی بر افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی و دارویی داشته باشد (Singh et al., 2015).

بررسی اثر عصاره جلبک بر تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان تحت تنش شوری می‌تواند موضوع مهمی در زمینه فیزیولوژی گیاهان و کشاورزی باشد. این موضوع شامل اثراتی مانند تغییرات در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، تغییرات در تولید فیتوهورمون‌ها، اثر بر جذب یون‌های نمکی، تغییرات در محتوای آب و سایر پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان می‌شود (Asadi et al., 2022).

در پژوهشی که برای بررسی اثر محرک‌های زیستی بر رشد و تحمل به تنش سرما در گیاه حنا^۱ انجام شد، نتایج نشان داد که با افزایش شدت سرما برخی شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی به صورت معنی‌داری کاهش یافتند. اما استفاده از عصاره جلبک یک گرم بر لیتر با افزایش پارامترهای حفاظتی گیاه باعث افزایش مقاومت به سرما در گیاه حنا گردید (Ghanbari et al., 2023).

در مطالعه‌ای مروری به بررسی اثر عصاره جلبک آبی بر عملکرد گیاهان زینتی پرداخته شد. عصاره جلبک دریایی در کشاورزی ارگانیک برای تشویق توسعه و تقویت عملکرد کیفی محصولات گل و گیاه استفاده می‌شود. اثربخشی عصاره جلبک دریایی کاملاً بر سطوح هورمونی گیاهان یا در غیر این صورت ریزمغذی‌های موجود در عصاره خام (عمدتاً سیتوکینین‌ها) به اثبات رسیده است. جلبک‌های دریایی نه تنها هورمون‌های رشد و همچنین مواد مغذی کم مصرف و پرمصرف را برای افزایش رشد و کیفیت گسترده طیف وسیعی از محصولات زینتی فراهم می‌کنند بلکه اثرات زیست محیطی بسیار کمتری نیز نسبت به کودهای شیمیایی دارند (Kularathne et al., 2021). در پژوهشی، اثر عصاره جلبک بر بهبود عملکرد و ویژگی‌های رشدی گیاه همیشه بهار^۲ تحت تنش شوری ارزیابی شد، عصاره جلبک موجب بهبود خصوصیات رشدی گیاه و کاهش اثر منفی تنش گردید (Kalhor et al., 2018).

بنابراین با توجه به وسعت اراضی تحت تنش شوری، انجام آزمایش‌های مربوطه برای کاهش اثرات سوء و شناسایی اثرات احتمالی مثبت به‌کارگیری عصاره جلبکی برای تعدیل تنش‌های شوری ضروری به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر برای بررسی اثر غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی بر خصوصیات کمی و کیفی شمعدانی عطری^۳ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با دو مشاهده در گلخانه پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در بهار و تابستان ۱۴۰۲ انجام شد. فاکتور اول شامل تنش شوری در سه سطح صفر (شاهد)، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl و فاکتور دوم محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی به مقادیر نیم، یک و دو گرم در لیتر و بدون محلول پاشی بود. برای این منظور، نشاء چهار برگی شمعدانی عطری تهیه و درون گلدان‌هایی به قطر ۱۹ سانتی‌متر با بستر کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۲:۱ کاشته شد. عصاره جلبک دریایی سارگاسوم مورد استفاده به صورت خشک و پودر شده از شرکت افراگستر یگانه خریداری شد. نمک کلرید سدیم از شرکت (Merck) ساخت کشور آلمان تهیه گردید. پودر عصاره جلبک دریایی سارگاسوم ۴۵٪ ماده مؤثره، به رنگ قهوه‌ای سیاه و حلالیت ۹۹٪ در آب، دارای ۲۰ گرم در لیتر اسید آلزینیک، ۱۰۰ گرم ماده آلی، چگالی ۱/۱۰-۱، ۵ گرم در لیتر نیتروژن، ۰/۵ گرم در لیتر فسفر و ۲۰ گرم در لیتر پتاسیم بود (Esmailpour et al., 2020).



آبیاری تمامی گلدان‌ها تا مرحله استقرار نشا (یک هفته پس از انتقال نشا به گلدان) توسط آب مقطر بود. تیمارهای شوری با استفاده از کلرید سدیم به صورت آب آبیاری و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی به تعداد چهار مرتبه و به فواصل ۱۰ روز یک‌بار و آبشویی هر ۷ روز یک‌بار اعمال شد. دمای روزانه گلخانه 25 ± 2 درجه سلسیوس و دمای شبانه 20 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت ۶۰-۵۰٪ بود. کنترل دما به وسیله دماسنج و دمانگار انجام شد. منبع نور، نور خورشید بود که به صورت طبیعی تأمین شد. شدت نور ۱۰۰۰۰ لوکس بود. برای گیاهان از منبع نور مصنوعی استفاده نشد. نوع پوشش گلخانه پلاستیکی بود.

طول دوره تنش ۴۰ روز بود. EC آب خروجی زهکش هر هفته اندازه‌گیری شد. یک هفته پس از اتمام دوره تیماردهی، نمونه‌برداری از گیاهان انجام شد و صفات رشدی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی آن‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

وزن خشک و تر اندام هوایی و ریشه: برای اندازه‌گیری وزن تر، یک گیاه از هر گلدان را از سطح خاک (محل طوقه) قطع نموده و پس از انتقال به آزمایشگاه وزن تر اندام هوایی و ریشه آن‌ها اندازه‌گیری شد. بوته‌هایی که از محل طوقه جدا شدند، پس از شستشوی مختصر و جدا کردن خاک در آون با دمای ۴۸ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفته و سپس وزن خشک (اندام هوایی و ریشه به طور جداگانه) با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱٪ اندازه‌گیری شد (Inbar et al., 1994).

سنجش میزان رنگدانه‌های گیاهی: برای مقایسه میزان رنگدانه‌های گیاهی، مقدار نیم گرم از ماده گیاهی در هاون چینی ریخته، سپس با استفاده از نیتروژن مایع خرد و به خوبی له شد. ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰٪ به نمونه اضافه شد، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد. مقداری از نمونه داخل بالن، در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای سبزینه a و ۶۴۵ نانومتر برای سبزینه b و ۴۷۰ برای کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda مقدار جذب قرائت شد. در نهایت با استفاده از روابط ۱ تا ۳ میزان سبزینه a، b و کارتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V/100W \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V/100W \quad (2)$$

$$\text{Carotenoides} = 100(A_{470}) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227 \quad (3)$$

V = حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A = جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W = وزن تر نمونه بر حسب گرم

محتوای نسبی آب برگ (RWC): نمونه‌برداری با استفاده از قیچی از برگ رفرنس (آخرین برگ نمو یافته) تمامی تیمارهای آزمایشی انجام و نمونه‌ها بی درنگ درون یخ قرار گرفته و در آزمایشگاه وزن تر آن‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد (برگ‌ها نباید دچار شکستگی و پارگی باشند)، سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شده و به مدت ۲۴ ساعت در سردخانه در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار گرفتند (در صورت در اختیار نداشتن سردخانه می‌توان از یخچال استفاده نمود). بعد از ۲۴ ساعت



وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار گرفته و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری شد. با قرار دادن اعداد حاصل از توزین با ترازوی دارای دقت یک ده هزارم در رابطه ۴، RWC بدست آمد (Ritchie et al., 1990).

$$RWC = \frac{Fw - Dw}{Sw - Dw} \times 100 \quad (4)$$

Fw: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری

Dw: وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون

Sw: وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر

اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول: ابتدا به عصاره‌های برگ، محلول سولفات مس اضافه شد و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت، سپس به نمونه‌ها محلول اسید فسفومولیبدیک اضافه شد و پس از پخش یکسان، رنگ آبی در لوله‌ها پدید آمد. جذب نور در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda خوانش و غلظت قندهای احیاکننده با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Somogyi, 1952).

اندازه‌گیری میزان پرولین: میزان پرولین با روش واکنش نین‌هیدرین (Bates et al., 1973) تعیین گردید. ۳۰۰ میلی‌گرم از ساقه - برگ با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳٪ هموژنیزه شد و سپس با کاغذ صافی واتمن شماره دو صاف گردید. دو میلی‌لیتر از محلول صاف شده برداشته و به آن دو میلی‌لیتر محلول نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال افزوده شد و محلول حاصل پس از یک ساعت قرارگیری در بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد برای توقف واکنش بر روی یخ قرارداده شد. سپس چهار میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط اضافه شده و پس از چند دقیقه همزدن شدید، محلول صورتی رنگ فوقانی برای قرائت جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda قرار گرفت و میزان پرولین در عصاره با استفاده از منحنی استاندارد پرولین خالص محاسبه شد.

درصد اسانس: تقطیر با آب و به کمک دستگاه اسانس‌گیری کلونجر صورت گرفت. مقدار ۱۰۰ گرم نمونه برگ خشک شده از هر تیمار با آسیاب شدن مختصر، درون بالن شیشه‌ای دستگاه تقطیر ریخته شد. سپس به محتویات داخل بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شده به مقداری که سطح گیاه را کاملاً بپوشاند. مدت زمان اسانس‌گیری ۳ ساعت بود. بازده اسانس به صورت درصد تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری: پس از انجام توزیع داده‌ها و یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی، تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل انجام شد. در مرحله نخست تجزیه واریانس ساده برای صفات اندازه‌گیری شده و پس از آن میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ مورد مقایسه قرار گرفت. رسم نمودارها و جداول آماری نیز توسط نرم‌افزارهای Excel و Word 2007 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

صفات وزنی: اثر اصلی و برهمکنش تنش شوری و جلبک بر صفات وزنی (وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه) شمعدانی عطری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱).



بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی (۳۵۱/۰۰ گرم) و وزن خشک اندام هوایی (۸۵/۰۰ گرم) مربوط به تیمار عدم تنش شوری (شاهد) با کاربرد جلبک ۲ گرم بر لیتر و کمترین میزان وزن تر (۱۷۵/۶۷ گرم) و وزن خشک (۴۷/۶۷ گرم) مربوط به تنش شدید (۱۲۰ میلی مولار نمک) و عدم محلول پاشی بود (شکل ۱).

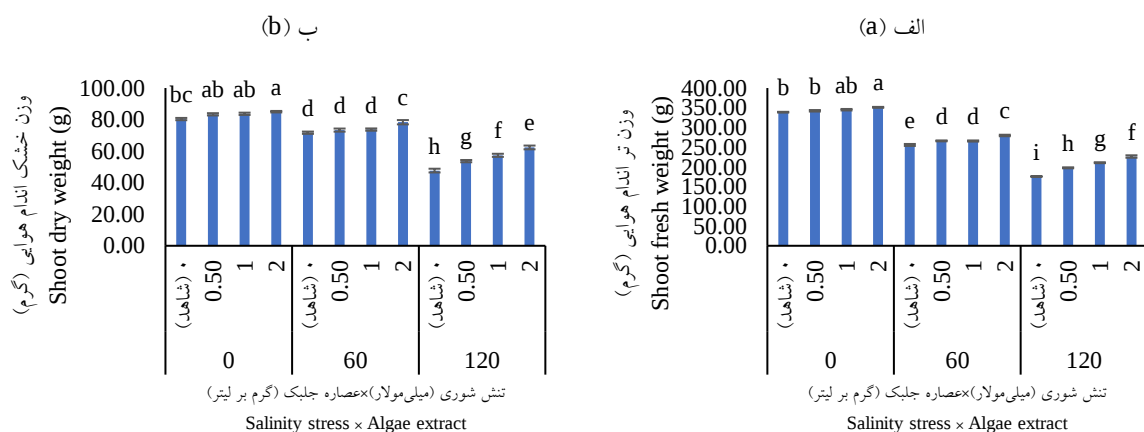
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر صفات وزنی گیاه شمعدانی عطری.

Table 1- Analysis of variance effect of the effect of different treatments on the weight traits of the geranium.

وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی	درجه آزادی	منابع تغییر
Dry weight of the root	Fresh weight of the root	Dry weight of Shoot	Fresh weight of shoot	DF	S.O.V.
457.33**	3971.44**	2427.44**	60386.11**	2	تنش شوری Salt stress
10.00**	87.88**	115.81**	1300.69**	3	جلبک Algae
1.44**	12.41**	17.44**	224.89**	6	تنش شوری × جلبک Salt stress × Algae
0.28	1.00	3.72	13.58	24	خطا Error
2.33	1.45	2.72	1.36	-	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

** بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۱٪ می باشد.

**Indicates significance at the probability level of 1%.



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری × جلبک بر وزن تر (الف) و وزن خشک (ب) اندام هوایی شمعدانی عطری. میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 1- Comparison results of the average interaction effect of salinity stress × algae on fresh weight (a) and dry weight (b) of geranium aerial parts. In each column, means with at least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.

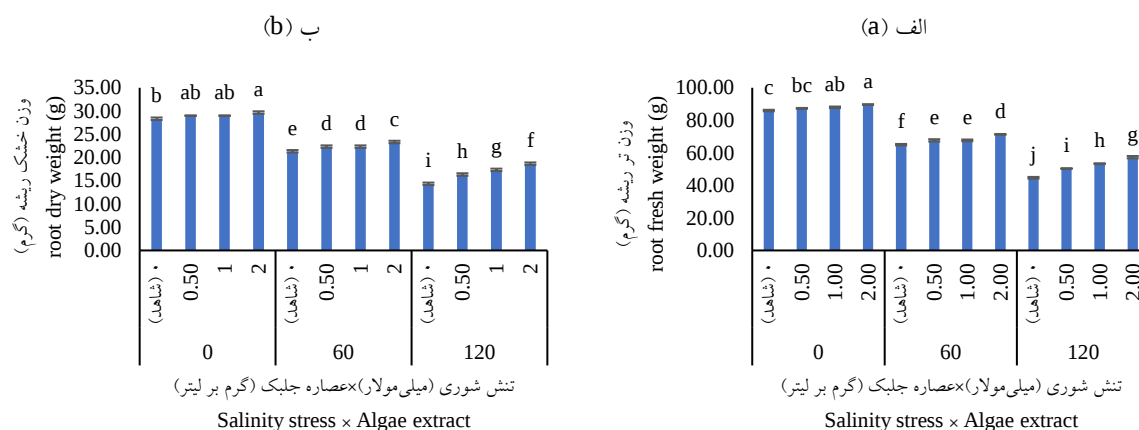


بستر رشدی که شور و حاوی مقادیر فراوانی یون باشد، باعث اختلال در متابولیسم سایر عناصر غذایی شده و رقابت ناشی از یونهای Na^+ با K^+ و Cl^- با NO_3^- موجب اختلال در جذب این عناصر شده و در نتیجه رشد و بیومس گیاه کاهش پیدا می‌کند. یکی از مشخصه‌های اثرگذار در تحمل شوری، حفظ آماس یاخته بوده و تنظیم اسمزی در اثر جذب نمک (یونهای نمکی) و ساخت مواد آلی است. گیاهان برای ساخت مواد آلی (مثل گلاسیسین، بتائین، پرولین، مانیتول و سوریتول) انرژی زیادی را صرف کرده که با مصرف این مقدار انرژی برای تنظیم اسمزی، رشد اندام هوایی و در نتیجه وزن گیاه کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند (Yasir et al., 2021).

جلبک دریایی منجر به افزایش ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد و سطح برگ و اغلب صفات مورفولوژیکی در شرایط تنش می‌گردد (Ahmadpour et al., 2021; Mohamadpoor et al., 2022). اثر مثبت جلبک بر شاخص‌های رشد ممکن است به حضور اکسین (Vinoth et al., 2019)، سیتوکنین (Shukla et al., 2018) و سایر عوامل تقویت کننده رشد (Zhang et al., 2010) و همچنین عناصر ریزمغذی (Khan et al., 2009) مربوط باشد.

شوری آثار مخربی بر بافت پارانشیم نردبانی و فضای بین یاخته ای برگ دارد که این خود سبب کاهش سطح برگ، ارتفاع بوته و اندام هوایی می‌گردد. با کاهش سطح برگ، نورساخت و در نهایت وزن ساقه و برگ کاهش یافته که منجر به کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی می‌شود. از طرف دیگر، در غلظت‌های بالاتر نمک، یونهای سدیم و کلر باعث مسمومیت گیاه شده و فعالیت گیاه را مختل می‌کنند به این ترتیب مواد غذایی لازم برای رشد و نمو یاخته‌های تامین نشده و توسعه اندام هوایی به کندی رخ می‌دهد (Wu et al., 2018).

بیشترین میزان وزن تر ریشه (۸۹/۶۷ گرم) و وزن خشک ریشه (۲۹/۶۷ گرم) مربوط به عدم تنش شوری (شاهد) با کاربرد جلبک ۲ گرم بر لیتر و کمترین میزان وزن تر ریشه (۴۴/۶۷ گرم) و وزن خشک ریشه (۱۴/۳۳ گرم) مربوط به تنش شدید (۱۲۰ میلی‌مولار) و عدم محلول‌پاشی بود (شکل ۲).



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری × جلبک بر وزن تر (الف) و وزن خشک (ب) ریشه شمعدانی عطری. میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 2- Comparison results of the average interaction effect of salinity stress × algae on fresh weight (a) and dry weight (b) of geranium root. In each column, means with at least one letter in common are not significantly different at the Duncan's 1% probability level.



ریشه گیاهان به خاطر ارتباط مستقیم با شوری بیشتر از دیگر اعضا در معرض تنش شوری قرار داشته و به عنوان فیلتری عمل می‌کند که کنترل عبور یون‌ها را در دست داشته و نسبت مطلوبی بین یون‌های سدیم و پتاسیم برای فعالیت‌های یاخته ای فراهم می‌سازد (Wu et al., 2018).

افزایش رشد گیاه، تحریک رشد ریشه، تأخیر در پیری و بهبود مقاومت به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری و درجه حرارت تحت اثر کاربرد عصاره جلبک گزارش گردیده است (Jacomassi et al., 2022). اثرات مفید کاربرد عصاره جلبک روی گیاهان به دلیل وجود هورمون‌های رشد و عناصری مانند آهن، مس، روی، کبالت، مولیبدن، منگنز، نیکل، ویتامین‌ها و آمینواسیدها است که موجب افزایش در جذب آب و بیوماس گیاه، تأخیر در پیری، تحریک ریشه‌زایی و رشد ریشه می‌شود (Hamouda et al., 2022).

در شرایط تنش شوری، با افزایش غلظت نمک میزان وزن تر و خشک ریشه کاهش یافت. دلایل مختلفی برای کاهش رشد ریشه در شرایط تنش وجود دارد که شامل محدودیت رشد یاخته به دلیل پتانسیل پایین آب در محیط کشت، وجود یون‌های حاصل از شوری و خاصیت سمیت آن‌ها و بالاخره اختلال در روند عادی رشد گیاه می‌باشد (Kumari et al., 2021). همچنین نتایج حاصل از این پژوهش با پژوهش‌های پیشین مبنی بر اثر مثبت عصاره جلبک دریایی در افزایش وزن تر و خشک کاهو^۱ (Yusuf et al., 2019) و گوجه فرنگی^۲ (Guo et al., 2022) همسو است.

رنگدانه‌های نورساختی: اثر اصلی و برهمکنش تنش شوری و جلبک بر رنگدانه‌های نورساختی (سبزینه a، b و کل و کاروتنوئید) شمعدانی عطری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر رنگدانه‌های نورساختی گیاه شمعدانی عطری.

Table 2- Results of variance analysis of the effect of different treatments on photosynthetic pigments of geranium plant

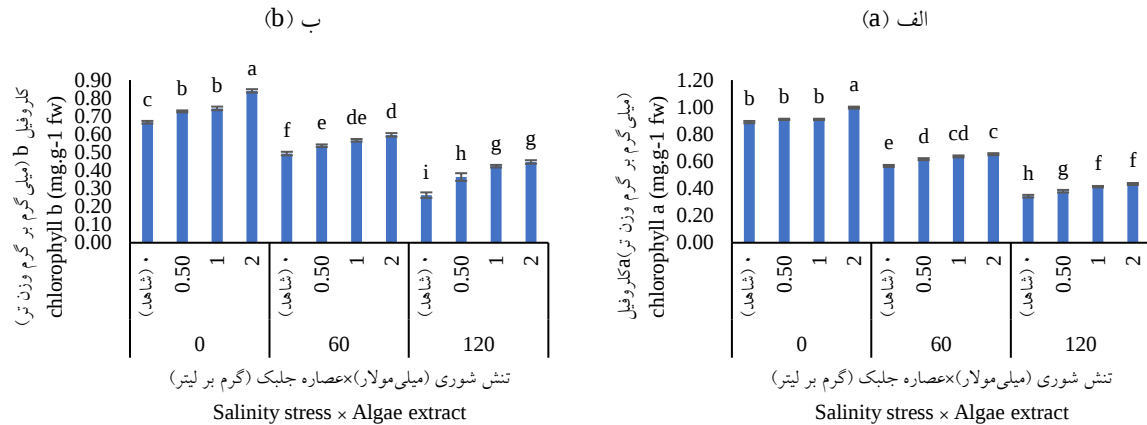
منابع تغییر	درجه آزادی	سبزینه a	سبزینه b	سبزینه کل	کاروتنوئید
S.O.V.	DF	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Carotenoid
تنش شوری	2	0.86**	0.41**	2.46**	0.28**
Salt stress					
جلبک	3	0.01**	0.04**	0.10**	0.01**
Algae					
تنش شوری × جلبک	6	0.001**	0.002**	0.005**	0.001**
Salt stress × Algae					
خطا	24	0.0002	0.0005	0.0009	0.0003
Error					
ضریب تغییرات (درصد)	-	2.39	4.11	2.53	3.35
CV (%)					

** بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

** Indicate significance at the probability level of 1%.



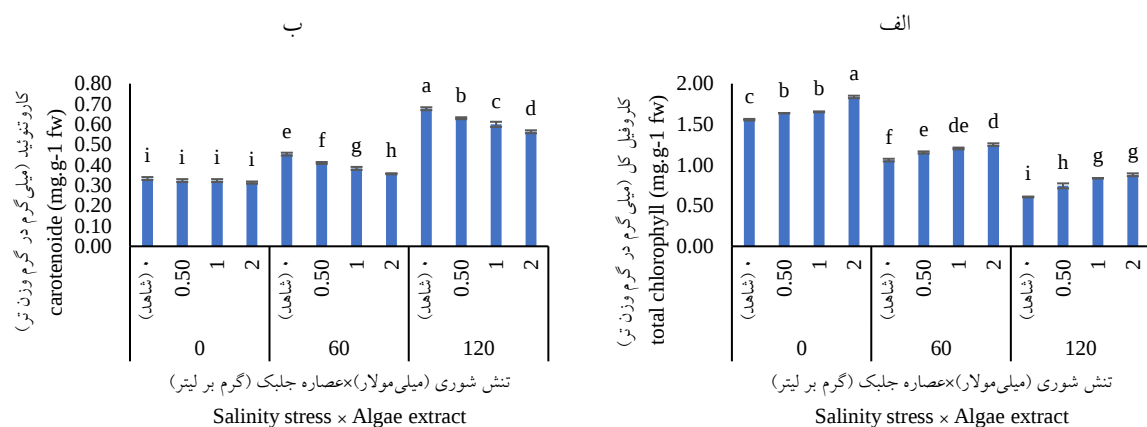
بیشترین میزان سبزینه a (۱/۰۰ میلی گرم بر گرم وزن تر) و سبزینه b (۰/۸۴ میلی گرم در گرم وزن تر) مربوط به عدم تنش شوری (شاهد) با کاربرد جلبک ۲ گرم بر لیتر و کمترین میزان سبزینه a (۰/۳۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) و سبزینه b (۰/۲۶ میلی گرم در گرم وزن تر) مربوط به تنش شوری شدید (۱۲۰ میلی مولار) و عدم محلول پاشی بود (شکل ۳).



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری×جلبک بر میزان سبزینه a (الف) و سبزینه b (ب) شمعدانی عطری. میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 3- Comparison results of the average interaction effect of salinity stress × algae on the amount of chlorophyll a (a) and chlorophyll b (b) of geranium. In each column, means with at least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.

بیشترین میزان سبزینه کل (۱/۸۴ میلی گرم در گرم وزن تر) مربوط به عدم تنش شوری (شاهد) با کاربرد جلبک ۲ گرم بر لیتر و کمترین آن (۰/۶۱ میلی گرم در گرم وزن تر) مربوط به تنش شوری شدید (۱۲۰ میلی مولار) و عدم محلول پاشی بود، بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/۶۸ میلی گرم در گرم وزن تر) مربوط به همین تیمار بود (شکل ۴).



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری×جلبک بر میزان سبزینه کل (الف) و کاروتنوئید (ب) برگ شمعدانی عطری. میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 4- Results of the comparison of the average interaction effect of salinity stress × algae on the amount of total chlorophyll (a) and carotenoid (b) of geranium leaves. In each column, means with at least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.



عصاره به دست آمده از جلبک دریایی غیرسمی بوده و آلودگی زیست محیطی ایجاد نمی نماید. کاربرد عصاره جلبک دریایی، با افزایش میزان پرولین، ایجاد تنظیم اسمزی، کاهش تجزیه سبزینه و کاهش نشت غشاء، سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی می گردد (Esmailpour et al., 2020؛ Rahghoshahi et al., 2022).

تنش شوری از رشد گیاهان می کاهد و تولید محصول در نتیجه بر هم خوردن تعادل در جذب عناصر ضروری، آب و تنش اکسیداتیو کاهش می یابد. اگرچه رشد گیاه، نتیجه فرایندهای فیزیولوژیک منظم و کامل است و مهار رشد گیاه توسط عوامل محیطی را نمی توان تنها به یک فرایند فیزیولوژیک خاص نسبت داد؛ اما پدیده فیزیولوژیک غالب، نورساخت است (Yakhin et al., 2017). رشد گیاه و تولید زیست توده به میزان نورساخت خالص بستگی دارد و تنش شوری، بسته به شدت آن بر نورساخت اثر می گذارد (Farhadi et al., 2020). تنش شوری تعادل بین تولید گونه های فعال اکسیژن و از بین رفتن آن ها را برهم می زند. تنش شوری با القای تنش آبی، موجب بسته شدن روزنه، کاهش غلظت دی اکسیدکربن در یاخته های مزوفیل برگ گیاهان تحت تنش و تجمع NADPH در کلروپلاست می شود. در این شرایط مقدار $NADP^+$ در دسترس برای انجام واکنش های نوری نورساخت کاهش یافته، بنابراین اکسیژن به عنوان پذیرنده الکترون عمل کرده و منجر به تولید رادیکال سوپراکسید و به دنبال آن سایر گونه های فعال اکسیژن و در نهایت تنش اکسیداتیو می شود (Rahikainen et al., 2016).

کاهش مقدار رنگیزه های نورساختی در شرایط تنش شوری می تواند عمدتاً به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه نورساختی، فتواکسیداسیون سبزینه ها، واکنش آن ها با رادیکال اکسیژن، تخریب پیش ماده های ساخت کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل های جدید و فعال شدن آنزیم های تجزیه کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز و اختلالات هورمونی باشد. محتوای سبزینه برگ به عنوان یک عامل مهم در تعیین ظرفیت نورساختی برگ محسوب می شود و کاهش محتوای سبزینه به عنوان یک عامل غیرروزیه ای می تواند منجر به کاهش ظرفیت نورساختی برگ شود (Banerjee & Roychoudhury, 2019). با افزایش غلظت نمک ها در گیاه، یاخته برای حفظ تعادل اسمزی خود محلول های سازگار همچون پرولین را در سیتوپلاسم خود انباشته می کند. با توجه به مشابه بودن مسیر بیوسنتزی پرولین و سبزینه، با افزایش میزان کلرید سدیم، غلظت نمک در یاخته بالا رفته و متابولیسم گیاهی بیشتر در برای ساخت پرولین پیش می رود و میزان ساخت سبزینه کاهش پیدا می کند. انباشت پرولین و کاروتنوئید و نیز کاهش میزان سبزینه واکنش سریعی نسبت به شرایط تنش است (Lungoci et al., 2023). جلبک دریایی منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ، میزان سبزینه، نورساخت خالص، پایداری غشاء یاخته و محتوای کاروتنوئید در شرایط تنش می گردد (Mohamadpoor et al., 2022). اثر مثبت کاربرد عصاره جلبک بر رنگدانه های نورساختی، ناشی از کاهش تخریب سبزینه در هنگام تنش است (Martynenko et al., 2016).

خصوصیات بیوشیمیایی: اثر اصلی تنش شوری و جلبک بر خصوصیات بیوشیمیایی (محتوای نسبی آب برگ، قندهای محلول و پرولین) و درصد اسانس شمعدانی عطری در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود، برهمکنش تیمارهای بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱٪ و بر قندهای محلول، پرولین و درصد اسانس در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۳).



جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر صفات بیوشیمیایی گیاه شمعدانی عطری.

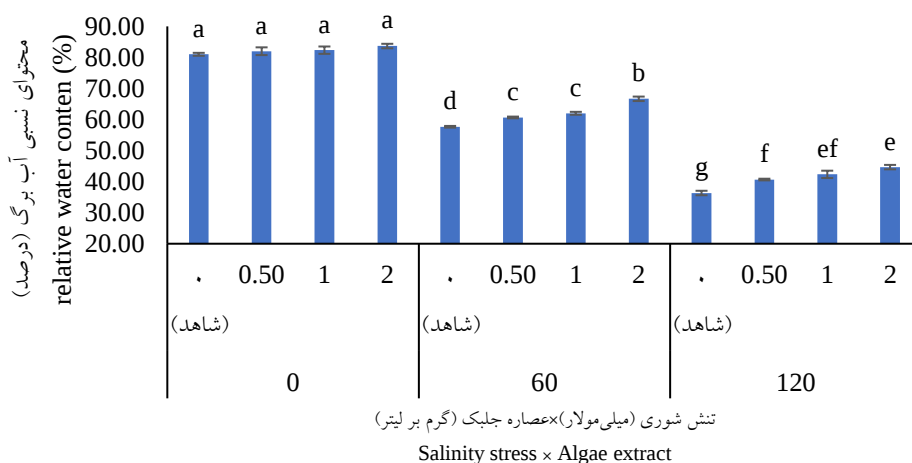
Table 3- Analysis of the variance effect of different treatments on the biochemical traits of the geranium plant.

درصد اسانس Essential oil percentage	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugars	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content	درجه آزادی DF	منابع تغییر S.O.V.
4.67**	2.87**	11.95**	5104.75**	2	تنش شوری Salt stress
0.17**	0.06**	0.18**	68.52**	3	جلبک Algae
0.08**	0.008**	0.09**	7.16*	6	تنش شوری × جلبک Salt stress × Algae
0.009	0.002	0.009	2.67	24	خطا Error
3.87	1.29	1.30	2.65	-	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

** و * بیانگر معنی داری در سطح احتمال یک و ۵٪ می باشد.

** and * respectively indicate significance at the probability level of 1 and 5 percent.

بیشترین مقدار عددی محتوای نسبی آب مربوط به عدم تنش شوری (شاهد) و کاربرد عصاره جلبک ۲ گرم بر لیتر بود (شکل ۵).



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری × جلبک بر محتوای نسبی آب برگ شمعدانی عطری. میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 5- Comparison results of the average interaction effect of salinity stress × algae on the relative water content of geranium leaves. In each column, means with at least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.

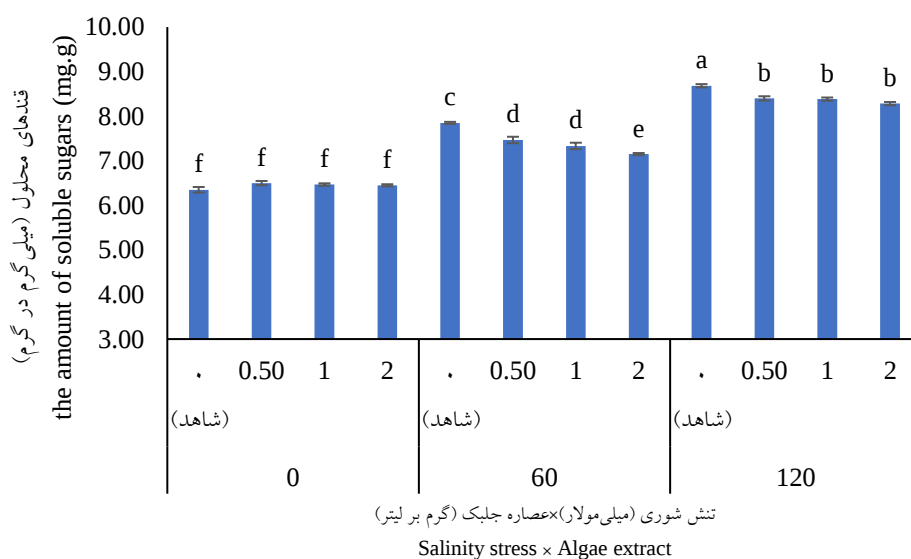


محتوای نسبی آب برگ شمععدانی عطری با افزایش شدت تنش کاهش یافت. در گیاه ریحان سبز^۱، تنش شوری میزان محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد (Bernstein et al., 2017).

بیشترین میزان قندهای محلول (۸/۶۸ میلی گرم در گرم وزن تر) مربوط به تنش شوری شدید (۱۲۰ میلی مولار) و عدم محلول پاشی و کمترین آن مربوط به عدم تنش شوری (شاهد) بود (شکل ۶).

اصولاً گیاهان برای حفظ آماس یاخته ای در شرایط تنش شوری موادی به نام اسمولیت ساخته که این مواد باعث منفی تر شدن پتانسیل آب درون یاخته ای شده و حفظ آماس یاخته ای می شوند. اسمولیت ها قابلیت انحلال زیادی داشته و معمولاً در غلظت های بالا سمیتی برای یاخته ایجاد نمی کنند. یکی از این اسمولیت ها قندها بوده که باعث منفی تر کردن پتانسیل اسمزی در سیتوپلاسم شده و به جداسازی Na^+ در واکوئل کمک نموده که در نهایت موجب تنظیم اسمزی می شوند (Vives-Peris et al., 2018).

از جمله مزایای استفاده از عصاره جلبک دریایی افزایش جذب عناصر از خاک به دلیل افزایش قندها و ترشحات در ریشه است. در نتیجه جمعیت میکروبی مفید در محیط ریشه با افزایش این ترشحات تحریک می شوند و موجب افزایش دسترسی بیشتر به عناصر، مواد سرکوب کننده بیماری ها، ویتامین ها و سایر مواد مفید برای گیاه می گردند (Shukla Singh et al., 2018; et al., 2018).

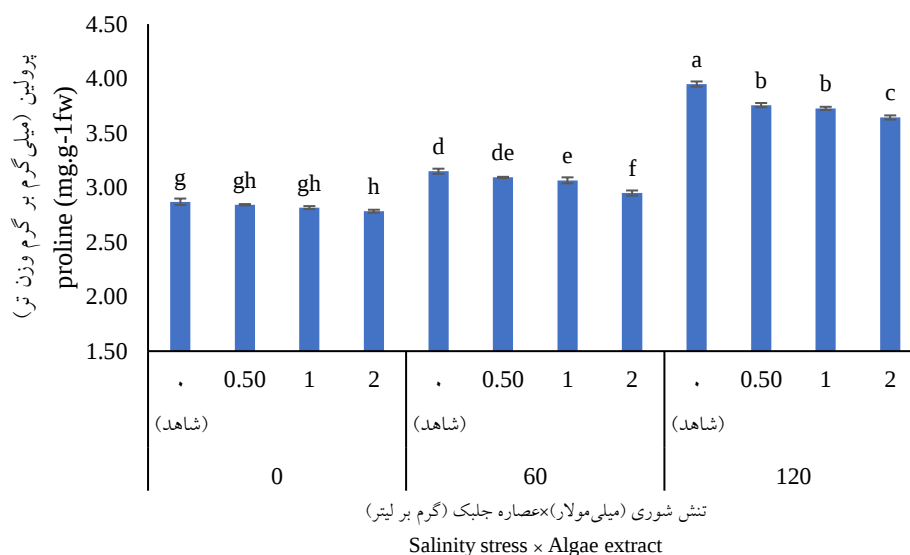


شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری × جلبک بر میزان قندهای محلول شمععدانی عطری. میانگین های دارای دستکم یک حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 6- The results of the comparison of the average interaction effect of salinity stress × algae on the amount of soluble sugars of geranium. In each column, means with at least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.



بیشترین میزان پرولین (۳/۹۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تنش شدید (۱۲۰ میلی مولار) بدون محلول پاشی و کمترین آن (۲/۷۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به عدم تنش شوری (شاهد) و با کاربرد تیمار جلبک ۲ گرم بر لیتر بود که از لحاظ آماری با کاربرد تیمارهای جلبک ۰/۵ و ۱ گرم بر لیتر مربوط به عدم تنش شوری در یک رده آماری قرار دارد (شکل ۷).



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری × جلبک بر میزان پرولین شمعدانی عطری. میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 7- Comparison results of the average interaction effect of salinity stress × algae on the amount of proline of geranium. In each column, means with at least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.

پرولین که نقش مهمی در تنظیم اسمزی گیاهان دارد در شوری بالا افزایش می‌یابد. افزایش پرولین در گیاهان به هنگام تنش یک نوع مکانیسم دفاعی است. پرولین با چندین مکانیسم مانند جاروب کردن هیدروکسیل، تنظیم اسمزی، جلوگیری از دناتوره شدن آنزیم‌ها و حفظ ساخت پروتئین، بردباری و مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها را بالا می‌برد (Meena et al., 2019). در پژوهش حاضر شمعدانی عطری مانند سایر گیاهان برای دفاع در برابر تنش حاصل از نمک NaCl میزان پرولین آزاد را افزایش داد که طبق نظر محققان نشان دهنده دفاع گیاه در برابر تنش است (El Moukhtari et al., 2020). افزایش پرولین تحت تنش شوری در سنج‌د تلخ^۱ (Qin et al., 2009) و مرکبات (Vives-Peris et al., 2018) گزارش شد که با یافته‌های ما مطابقت دارد. پرولین کمترین اثر بازدارندگی را بر رشد یاخته‌ها دارد و پایدارترین اسید آمینه‌ای است که در برابر هیدرولیز اکسیداتیو مقاومت کرده و نقش مهمی در حفاظت گیاه از طریق پایداری غشا سلولی و حذف رادیکال‌های آزاد دارد (Ghafari-zadeh et al., 2018).



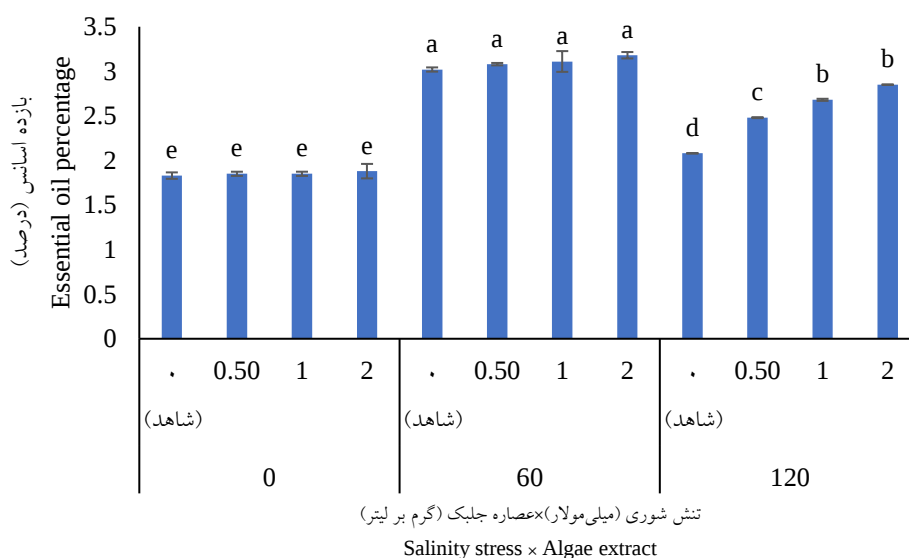
همچنین تنش شوری باعث می‌شود که گلوتامین که پیش ماده مشترک ساخت سبزینه و پرولین است، کمتر در مسیر بیوسنتز سبزینه شرکت داشته باشد و بیشتر در ساخت پرولین مصرف می‌شود، به همین دلیل مقدار سبزینه کاهش و مقدار پرولین افزایش می‌یابد (Bybordi, 2012).

پرولین به عنوان یک محافظ شیمیایی باعث پایداری فرم پروتئین‌ها شده و از به هم خوردن شکل طبیعی ترکیبات آنزیمی ممانعت می‌نماید. با توجه به این که پرولین در گیاه شمع‌دانی عطری تحت تیمار جلبک، بیشتر از گیاهان فاقد جلبک بود؛ کاربرد جلبک‌های دریایی همانند کاربرد سیتوکینین برای گیاه است (Erulan, 2009).

بسیاری از عملکردهای اصلی گیاهان مانند رشد، نورساخت، ساخت پروتئین، تنفس و تولید انرژی تحت اثر تنش شوری قرار می‌گیرند. اختلال در جذب مواد معدنی، مهار ریشه و به دنبال آن کاهش جذب آب همچنین تغییر در نفوذپذیری غشا از دیگر اثرات مخرب تنش شوری گیاهان است. پرولین در تنظیم اسمزی، یک واکنش تطابقی به تنش شوری بوده که مستلزم افزایش مواد محلول در یاخته است که به حفظ آماس یاخته و باز بودن روزنه‌ها، عمل نورساخت و ادامه فرآیندهای رشدی گیاه در طی تنش کمک می‌کند (Dichala et al., 2021).

بیشترین درصد اسانس مربوط به تنش ملایم شوری (۶۰ میلی‌مولار) و همه تیمارهای کاربرد جلبک بود و کمترین آن نیز مربوط به عدم تنش شوری (شاهد) و همه تیمارهای کاربرد جلبک بود (شکل ۸).

در پژوهشی که به منظور بررسی اثر تنش شوری بر بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات گیاه نعنای فلفلی^۲ در حضور سلنیوم، انجام شد، استفاده از آب شور، موجب تشدید کاهش وزن خشک و تر، تعداد گره و درصد اسانس گردید (Shamsabadi et al., 2023). با افزایش شدت تنش، محتوای اسانس گشنیز^۳ به طور معنی‌داری افزایش یافت (Gholizadeh et al., 2020).



شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری × جلبک بر درصد اسانس شمع‌دانی عطری. میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 8- Comparison results of the average interaction effect of salinity stress × algae on the Essential oil percentage. In each column, means with at least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.



نتیجه گیری

با توجه به نتایج برهمکنش تیمارها، اگرچه تنش شوری در گیاه شمععدانی عطری موجب کاهش صفات وزنی شد اما عصاره جلبک (خصوصاً غلظت دو گرم در لیتر) صفات وزنی را بهبود بخشید. میزان رنگدانه‌های نورساختی گیاه شمععدانی عطری تحت اثر تنش شوری کاهش و با کاربرد عصاره جلبک افزایش یافت. بیشترین میزان سبزینه در شرایط عدم تنش شوری و کاربرد دو گرم در لیتر عصاره جلبک ارزیابی شد، در حالی که کمترین مقدار عددی مربوط به تیمار ۱۲۰ میلی مول نمک و عدم محلول پاشی عصاره جلبک بود. در شرایط تنش میزان قند محلول، پرولین و درصد اسانس افزایش پیدا کرد که استفاده از عصاره جلبک موجب انباشت بیشتر این ترکیبات در بافت گیاه شمععدانی عطری شد تا تحمل گیاه نسبت به تنش افزایش یابد.

منابع

- Ahmadpour, R., Salimi, A., Zeydi, H., Armand, N. (2021). Use of seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract in mitigating the negative effects of water deficit stress in chickpea by evaluating morphophysiological indicators. *Iranian Journal Pulses Research*, 12(2), 199-213. (In Persian).
- Ali, E.F., Hassan, F.A.S., Elgimabi, M. (2018). Improving the growth, yield and volatile oil content of *Pelargonium graveolens* L. Herit by foliar application with moringa leaf extract through motivating physiological and biochemical parameters. *South African Journal of Botany*, 119, 383-389.
- Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*, 23, 112-121.
- Asadi, M., Rasouli, F., Amini, T., Hassanpouraghdam, M.B., Souri, S., Skrovankova, S., Mlcek, J., Ercisli, S. (2022). Improvement of photosynthetic pigment characteristics, mineral content, and antioxidant activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) by arbuscular mycorrhizal fungus and seaweed extract foliar application. *Agronomy*, 12(8), 1943.
- Banerjee, A., and Roychoudhury, A. (2019) Cold stress and photosynthesis. In: P. Ahmad, M. Abass Ahanger, M. Nasser Alyemeni & P. Alam (Eds.) *Photosynthesis, productivity and environmental stress*. Hoboken: Wiley, 2, 27-37.
- Bates, L.S. (1973). Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Bernstein, N., Sela, (Saldinger) S., Dudai, N., Gorbatshevich, E. (2017). Salinity stress does not affect root uptake, dissemination and persistence of *Salmonella* in sweet-basil (*Ocimum basilicum*). *Frontiers in Plant Science*, 8, 675.
- Bybordi, A. (2012). Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. *Life Science Journal*, 9(4), 1092-1101.
- Dichala, O., Therios, I., Papadopoulos, A., Chatzistathis, T., Chatzisavvidis, C., Antonopoulou, C. (2021). Effects of varying concentrations of different salts on mineral composition of leaves and roots of three pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 275, 109718.
- El Moukhtari, A., Cabassa-Hourton, C., Farissi, M., Savouré, A. (2020). How Does Proline Treatment Promote Salt Stress Tolerance During Crop Plant Development? *Frontiers in Plant Science*, 11, 1127.
- Erulan, V. (2009). Studies on the effect of sargassum polysystem extract on the growth and biochemical composition of *Cajanus cajan* (L) Mill sp. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 6, 392-399.
- Esmailpour, B., Fatemi, H., Moradi, M. (2020). Effects of Seaweed Extract on Physiological and Biochemical Characteristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Water-Deficit Stress Conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 11(1), 59-69. (In Persian)
- Farhadi, S., Sabet, M.S., Malboobi M.A., Moieni A. (2020). The critical role of AtPAP17 and AtPAP26 genes in Arabidopsis phosphate compensation network. *Frontiers in Plant Science*, 11, 565865.
- Ghafari-zadeh, A., Seyyed nejad, S.M., Gilani, A. (2018). Studies on the effect of seaweed liquid fertilizer (*Nizamuddinina zanardinii*) in different levels of urea on some growth parameters and antioxidant activity of seedlings *Triticum aestivum* cv. 'Chamran2'. *Applied Biology*, 31(1), 207-227. (In Persian).
- Ghanbari, M., Farahmand, H., Nasibi, F. (2023). A study on the effect of seaweed extract carrageenan and salicylic acid (as bio stimulants) on growth and tolerance to chilling stress in bedding plant *Impatiens walleriana*. *Plant Process and Function*, 11(47): 11. (In Persian).
- Gholizadeh, A., Dehghani, H., Khodadadi, M. (2020). Analysis of compatibility for essential oil yield in coriander under different irrigation regimes using GGE biplot method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(4), 189-199. (In Persian).



- Guo, M., Wang, X-S., Guo, H-D., Bai, S-Y., Khan, A., Wang, X-M., Gao, Y-M., Li, J-S. (2022). Tomato salt tolerance mechanisms and their potential applications for fighting salinity: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 949541.
- Hamouda, R.A., Shehawy, M.A., El Din, S.M.M., Albalwe, F.M., Albalawi, H.M.R., Hussein, M.H. (2022). Protective role of *Spirulina platensis* liquid extract against salinity stress effects on *Triticum aestivum* L. *Green Processing and Synthesis*, 11(1), 648-658.
- Inbar, O., Oren, A., Scheinowitz, M., Rotstein, A., Dlin, R., Casaburi, R. (1994). Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20- to 70-yr-old men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 538-546.
- Jacomassi, L.M., Viveiros, J.O., Oliveira, M.P., Momesso, L., de Siqueira, G.F., Crusciol, C.A.C. (2022). A Seaweed Extract-Based Biostimulant Mitigates Drought Stress in Sugarcane. *Frontiers in Plant Science*, 13, 865291.
- Juliani, H.R., Koroch, A., Simon, J.E., Hitimana, N., Daka, A., Ranarivelo, L., Langenhoven, P. (2006). Quality of geranium oils (*Pelargonium* species): Case studies in Southern and Eastern Africa. *Journal of Essential Oil Research*, 18, 116-121.
- Kalhor, M., Dehestani-Ardakani, M., Shirmardi, M., Gholamnejad, J. (2018). Response of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) to interaction effects of salt stress and organic soil amendments. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(4), 1005-1021. (In Persian).
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4), 386-399.
- Kularathne, M.N., Srikrishnah, S., Sutharsan, S. (2021). Effect of seaweed extracts on ornamental plants. *Current Agriculture Research Journal*, 9(3), 149-160.
- Kumari, S., Chhillar, H., Chopra, P., Khanna, R.R., Khan, M.I.R. (2021). Potassium: A track to develop salinity tolerant plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 167, 1011-1023.
- Lalli, J.Y.Y., Van Zyl, R.L., Van Vuuren, S.F., Viljoen, A.M. (2008). In vitro biological activities of South African *Pelargonium* (Geraniaceae) species. *South African Journal of Botany*, 74, 153-157.
- Lungoci, C., Motrescu, I., Filipov, F., Rumbu, C.M., Jitareanu, C.D., Ghitau, C.S., Puiu, I., Robu, T. (2023). Salinity stress influences the main biochemical parameters of *Nepeta racemosa* Lam. *Plants*, 12, 583.
- Martynenko, A., Shotton, K., Astatkie, T., Petrash, G., Fowler, C., Neily, W., Critchley, A.T. (2016). Thermal imaging of soybean response to drought stress: the effect of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract. *Springer Plus*, 5(1), 1393. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3019-2>
- Meena, M., Divyanshu, K., Kumar, S., Swapnil, P., Zehra, A., Shukla, V., et al. (2019). Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. *Heliyon*, 5, e02952.
- Mohamadpoor, Gh., Farzaneh, S., Khomari, S., Seyed Sharifi, R., Esmailpour, B. (2022). Effect of humic acid and seaweed extract on growth and yield of quinoa under drought stress. *Journal of Crop Improvement (Journal of Agriculture)*, 24(3), 869-885. (In Persian).
- Qin, J., Dong, Wy., He, Kn. et al. (2009). Short-term responses to salinity of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seedlings in the extremely cold and saline Qinghai region of China. *Forestry Studies in China*, 11, 231-237.
- Rahghoshahi, M., Panahi Kord Laghari, Kh., Rahimi, M.M. (2022). Study on humic acid and algae effects on grain yield and agronomical characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(2), 286-300. (In Persian).
- Rahikainen, M., Pascual, J., Alegre, S., Durian, G., Kangasjärvi, S. (2016). PP2A phosphatase as a regulator of ROS signaling in plants. *Antioxidants*, 5(1), 8.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., Holaday, A.S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
- Shamsabadi, V., Banejad, H., Ansari, H., and Nemati, S.H. (2023). Investigating water productivity and some characteristics of *Mentha piperita* L. under salinity and drought stress in the presence of Selenium. *Water Management in Agriculture*, 9(2), 115-130. (In Persian).
- Shukla, P.S., Borza, T., Critchley, A.T., Hiltz, D., Norrie, J., Prithiviraj, B. (2018). *Ascophyllum nodosum* extract mitigates salinity stress in *Arabidopsis thaliana* by modulating the expression of miRNA involved in stress tolerance and nutrient acquisition. *PloS One*, 13(10), e0206221.
- Shukla, P.S., Shotton, K., Norman, E., Neily, W., Critchley, A.T., Prithiviraj, B. (2018). Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. *AoB Plants*, 10(1), plx051.



- Singh, I., Anand, K.G.V., Solomon, S., Shukla, S.K., Rai, R., Zodape, S.T., Ghosh, A. (2018). Can we not mitigate climate change using seaweed-based biostimulant: a case study with sugarcane cultivation in India. *Journal of Cleaner Production*, 204, 992–1003.
- Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V.P., Prasad, S.M. (2015). Roles of Osmo protectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(3), 407-426.
- Somogyi, M. (1952). Notes on sugar determination. *Journal of Biological Chemistry*, 195, 19-23.
- Sridhar, S., Rengasamy, R. (2011). Effect of seaweed liquid fertilizer on growth, pigment concentration and yield of *Amaranthus rosburghinus* and *Amaranthus tricolor* under field trial. *Journal of Current Research*, 3, 131-134.
- Vinoth, S., Gurusaravanan, P., Sivakumar, S., Jayabalan, N. (2019). Influence of seaweed extracts and plant growth regulators on in vitro regeneration of *Lycopersicon esculentum* from leaf explant. *Journal of Applied Phycology*, 31(3), 2039–2052.
- Vives-Peris, V., Gómez-Cadenas, A., Pérez-Clemente, R.M. (2018). Salt stress alleviation in citrus plants by plant growth-promoting rhizobacteria *Pseudomonas putida* and *Novosphingobium* sp. *Plant Cell Reports*, 37(11): 1557-1569.
- Wu, H., Zhang, X., Giraldo, J.P., Shabala, S. (2018). It is not all about sodium: Revealing tissue specificity and signaling roles of potassium in plant responses to salt stress. *Plant and Soil*, 431, 1–17.
- Yakhin, O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin, I.A., Brown, P.H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049.
- Yasir, T.A., Khan, A., Skalicky, M., Wasaya, A., Rehmani, M.I.A., Sarwar, N., Mubeen, K., Aziz, M., Hassan, M.M., Hassan, F.A.S., et al. (2021). Exogenous sodium nitroprusside mitigates salt stress in Lentils (*Lens culinaris* Medik.) by affecting the growth, yield, and biochemical properties. *Molecules*, 26, 2576.
- Yusuf, R., Kristianse, P., Warwick, N. (2019). Effect of two seaweed products and equivalent mineral treatments on Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Growth. *Journal of Agronomy*, 18(3), 100-106.
- Zhang, X., Wang, K., Ervin, E.H. (2010). Optimizing dosages of seaweed extract-based cytokinins and zeatin riboside for improving creeping bentgrass heat tolerance. *Crop Science*, 50(1), 316–320.





Effects of seaweed extract on the growth and biochemical characteristics of scented-leaved geranium (*Pelargonium graveolens*) under salinity stress conditions

Seyedeh Shaghayegh Nabavi¹, Marzieh Ghanbari Jahromi^{1,*}, Seyed Najmmaddin Mortazavi²

1. Department of Horticultural Sciences and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran

2. Associate professor, College of Agriculture, Department of Horticulture, University of Zanjan, Zanjan

✉ ghanbari@iau.ac.ir

Received: 2024/02/03, Revised: 2024/11/15, Accepted: 2024/11/15

Abstract

The use of biofertilizers is of particular importance in mitigating the effects of environmental stresses on plants. The present study was conducted to investigate the effect of seaweed extract on the growth, physiological, and biochemical characteristics of scented geranium (*Pelargonium graveolens* L.) under salt stress. Salt stress was applied at three levels (0, 60, and 120 mM) in combination with seaweed extract (0, 0.5, 1, and 2 g/L) in a factorial arrangement based on a completely randomized design with three replications. The results showed that salt stress at 120 mM significantly reduced the morphological traits of the plant (fresh and dry weight of aerial parts and roots) and the levels of photosynthetic pigments (chlorophyll a, b, and total). The application of seaweed extract alleviated the effects of salt stress on scented geranium. Under 120 mM salt stress and without seaweed extract, the highest levels of soluble carbohydrates (36.69%) and proline (37.63%) were observed compared to the control. Overall, the results indicated that scented geranium exhibited greater tolerance to mild salt stress compared to severe salt stress, and seaweed extract played a significant role in mitigating the negative effects of salt stress by enhancing growth and the production of metabolic compounds in scented geranium.

Keywords: Biostimulant, Dry weight, Environmental stress, Proline.